

Міністерство освіти і науки України
Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка

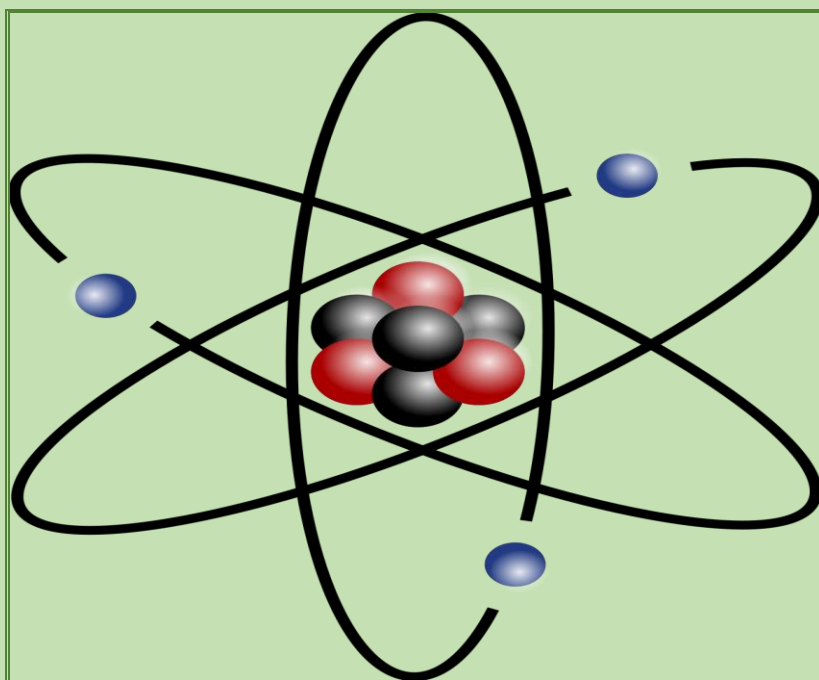
**О. М. РАЧКОВСЬКИЙ,
С. В. Оптасюк,
О. Г. Чорна**

ЗАГАЛЬНА ФІЗИКА

«ОПТИКА»

(ТЕОРІЯ + ПРАКТИКА + ЕКСПЕРИМЕНТ)

*НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ ПОСІБНИК ДЛЯ СТУДЕНТІВ
СПЕЦІАЛЬНОСТІ 014 СЕРЕДНЯ ОСВІТА (ФІЗИКА)*



Електронне видання

Кам'янець-Подільський

2022

УДК 535(075.8)

ББК 22.34я73

P27

Рекомендувала вчена рада Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка (протокол № 9 від 29.09.2022 р.)

Рецензенти:

О. М. Павлюк, кандидат педагогічних наук, викладач методист,
голова циклової комісії природничо-математичних дисциплін
Кам'янець-Подільського коледжу індустрії, бізнесу та інформаційних технологій;

Р. М. Білик, кандидат педагогічних наук, вчитель фізики вищої категорії
Кам'янець-Подільського ліцею I-III ступенів «Славутинка» Хмельницької обласної ради.

Рачковський О. М., Оптасюк С. В., Чорна О. Г.

P27 Загальна фізика «Оптика» (теорія + практика + експеримент): навчально-методичний посібник для студентів спеціальності 014 Середня освіта (Фізика) [Електронний ресурс]. Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2022. 180 с.

Електронна версія доступна за покликаннями:

URL: <http://elar.kpnu.edu.ua:8081/xmlui/handle/123456789/6798>

В першій частині посібника коротко висвітлено основні теоретичні відомості з загальної фізики, розділ оптика. Друга частина містить тематику практичних занять, приклади розв'язку задач до них та тестові завдання для контрольної перевірки знань. В третій частині описані навчальні лабораторні роботи з оптики стосовно діючих державних програм ВНЗ.

УДК 535(075.8)

ББК 22.34я73

© **О. М. Рачковський, С. В. Оптасюк,
О. Г. Чорна, 2022**

ЗМІСТ

<u>ВСТУП</u>	5
<u>ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА</u>	8
<u>ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА</u>	22
<u>ПЛАНИ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ</u>	22
<u>ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗКУ ЗАДАЧ</u>	36
<u>ТЕМАТИЧНІ ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ</u>	56
<u>ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА</u>	77
<u>Робота №1. ВИЗНАЧЕННЯ ЛІНІЙНИХ РОЗМІРІВ МАЛИХ ТІЛ І ЗБІЛЬШЕННЯ МІКРОСКОПУ</u>	82
<u>Робота № 2. ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ СКЛА ЗА ДОПОМОГОЮ МІКРОСКОПУ</u>	86
<u>Робота № 3. ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ РІДИНИ ЗА ДОПОМОГОЮ РЕФРАКТОМЕТРА</u>	90
<u>Робота № 4. ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ ПОВІТРЯ ВІД ТИСКУ</u>	96
<u>Робота № 5. ВИЗНАЧЕННЯ ГОЛОВНОЇ ФОКУСНОЇ ВІДСТАНИ РОЗСІВНОЇ ЛІНЗИ</u>	103
<u>Робота № 6. ВИЗНАЧЕННЯ ГОЛОВНОЇ ФОКУСНОЇ ВІДСТАНИ ЗБІРНОЇ ЛІНЗИ</u>	106
<u>Робота № 7. ВИЗНАЧЕННЯ РАДІУСА КРИВИЗНИ ЛІНЗИ ЗА ДОПОМОГОЮ КІЛЕЦЬ НЬЮТОНА</u>	111
<u>Робота №8. ВИЗНАЧЕННЯ ДІАПАЗОНУ ДОВЖИН ХВИЛЬ ВИДИМОГО СВІТЛА ЗА ДОПОМОГОЮ ДИФРАКЦІЙНОЇ ГРАТКИ</u>	115
<u>Робота № 9. ПЕРЕВІРКА ЗАКОНУ МАЛЮСА</u>	121
<u>Робота № 10. ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ РОЗЧИНУ ЦУКРУ ПОЛЯРИМЕТРОМ</u>	127
<u>Робота №11. ВИЗНАЧЕННЯ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ МІКРОСКОПА</u>	130

<u>Робота № 12. ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА</u>	
<u>ЗАЛОМЛЕННЯ СКЛА НА ОПТИЧНІЙ ШАЙБІ</u>	132
<u>Робота № 13. ВИВЧЕННЯ СФЕРИЧНИХ ДЗЕРКАЛ</u>	135
<u>Робота № 14. ПЕРЕВІРКА ЗАКОНІВ ОСВІТЛЕНOSTІ</u>	140
<u>Робота № 15. ВИМІРЮВАННЯ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ</u>	
<u>І ТОВЩИНИ ТОНКИХ ПЛІВОК</u>	
<u>МЕТОДОМ ІНТЕРФЕРЕНЦІЇ</u>	143
<u>Робота № 16. ВИВЧЕННЯ СФЕРИЧНОЇ І ХРОМАТИЧНОЇ АБЕРАЦІЇ ЛІНЗ</u>	
<u>НА ОПТИЧНІЙ ЛАВІ</u>	150
<u>Робота № 17. ВИЗНАЧЕННЯ ЗБІЛЬШЕННЯ</u>	
<u>ТА ПОЛЯ ЗОРУ ОПТИЧНОЇ ТРУБИ</u>	154
<u>Робота № 18. ВИЗНАЧЕННЯ ЗБІЛЬШЕННЯ ЛУПИ</u>	
<u>ПО ВЕЛИЧИНІ ПРЕДМЕТА ТА ЙОГО ЗОБРАЖЕННЯ</u>	158
<u>Робота №19. ВИЗНАЧЕННЯ ГОЛОВНОЇ ФОКУСНОЇ ВІДСТАНІ</u>	
<u>ЗБІРНОЇ ЛІНЗИ ПО МЕТОДУ ГРИМЗЕЛЯ</u>	162
<u>Робота №20. ВИВЧЕННЯ ЗАКОНІВ ВІДБИВАННЯ СВІТЛА ВІД</u>	
<u>ПЛОСКИХ ДЗЕРКАЛ. ПОБУДОВА ЗОБРАЖЕННЯ В</u>	
<u>ПЛОСКОМУ ДЗЕРКАЛІ</u>	167
<u>ДОВІДКОВІ ДАНІ</u>	172
<u>РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА</u>	179

ВСТУП

У процесі вивчення курсу оптики має сформуватись уявлення про її роль у вивченні оточуючого світу, де розкривається зміст матерії і форм її рухів, простору і часу як форм існування матерії, практичне значення оптики для пізнання світу, використання її можливостей у технічному прогресі людства, сучасні моделі й уявлення про природу формування випромінювання, його поширення та взаємодії з речовиною. На основі вивчення класичних і квантових теорій і моделей формується цілісна сучасна картина світу.

Особливість вивчення оптики у ВНЗ полягає в тому, що студенти мають оволодіти системою вмінь і навичок, які б давали можливість ефективно передавати знання наступним поколінням, виховувати в них допитливість, інтерес до знань, любов до творчої праці. Вивчення теоретичного матеріалу супроводжується формуванням умінь їх застосування для аналізу та розрахунку простих оптичних систем, а також виробленню навичок вимірювань за допомогою оптичних інструментів. Самостійна робота передбачає поглиблення теоретичних знань, аналіз сучасного стану використання оптичних явищ для практичних потреб людства й тренування у застосуванні теорій та моделей.

Завдання: Ознайомити студентів з основними поняттями, явищами, моделями та законами, що їх описують, стосовно поширення світла у однорідних та неоднорідних середовищах; виробити вміння застосування теоретичних знань для аналізу і опису процесів, розрахунку або оцінки їх протікання; виробити навички практичного використання оптичних інструментів.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен **знати:**

- коротку історію розвитку уявлень про світло;
- основи математичних, загально-технічних і прикладних дисциплін, зокрема класичної (лінійної) та лазерної (нелінійної) оптики;
- вклад українських вчених у розвиток оптики та оптичних методів дослідження, основні закони геометричної оптики;

- принципи побудови зображень в оптичних системах (дзеркала, лінзи);
- будову і принцип дії основних оптичних пристроїв;
- недоліки оптичних систем та методи їх усунення;
- явища хвильової оптики (інтерференція, дифракція, поляризація, дисперсія);
- оптичні схеми інтерференційних пристроїв;
- безконтактні оптичні методи контролю якості поверхні;
- суть принципу Гюйгенса-Френеля в оптиці;
- методи реалізації явища дифракції, типи дифракційних ґраток;
- суть дифракції рентгенівських променів та її використання у рентгеноструктурному аналізі;
- явище поляризації, поляризаційні пристрої та їх використання;
- суть явища дисперсії, поняття класичної і квантової моделей;
- основні уявлення про нелінійну оптику;
- методи вимірювання швидкості поширення світла;
- навчальні плани, діючі шкільні програми, вимоги до організації та проведення освітньої діяльності, шкільні підручники, методичні рекомендації, допоміжні засоби навчання та їх дидактичні можливості, методику організації та проведення позакласної і гурткової роботи;
- основне обладнання, яке використовується в оптичних дослідженнях;
- методи обробки і представлення результатів експериментальних досліджень;
- питання охорони праці і техніки безпеки при роботі з обладнанням та інструментами;
- принципи роботи з джерелами знань: навчальною літературою, спеціальною науковою літературою, документами, довідниками, періодичною пресою;
- основні принципи отримання, збору, аналізу, порівняння, систематизації і узагальнення інформації, фактів природних явищ і процесів, практику підготовки інформаційних і науково-методичних матеріалів;
- форми і методи організації діяльності учнів в рамках цілей Малої Академії Наук.

Вміти:

- ефективно застосовувати теоретичні професійні знання у практичній діяльності: при розв'язуванні якісних та кількісних задач, виконанні програмних навчальних лабораторних робіт);
- монтувати й налагоджувати роботу оптичних пристроїв різного призначення, виконувати необхідні вимірювання;
- формувати в учнів науковий світогляд, почуття національної свідомості, дисципліни, виховувати повагу до духовних цінностей Вітчизни, дбати про естетичну і екологічну культуру вихованців;
- навчати і виховувати учнів як особистостей на конкретному навчальному матеріалі з врахуванням вікових та індивідуальних відмінностей і соціально-психологічних особливостей учнівських колективів;
- прищепити учням навички самостійної роботи у навчанні, використовувати прогресивні методи і форми навчання;
- здійснювати постановку оптичних досліджень, вести спостереження, пояснити учням природні явища і процеси, здійснювати природоохоронну роботу;
- використовувати навчально-лабораторне обладнання, технічні засоби навчання, електронно-обчислювальну техніку на різних видах занять і в поза-класній роботі;
- забезпечити дотримання вимог техніки безпеки;
- виконувати інсталяцію та налагодження роботи комп'ютерних програм;
- на практиці застосовувати знання з наукової організації і охорони праці;
- організувати гурткову та індивідуальну роботу з учнями, які мають нахил і цікавість до вивчення фізики;
- організовувати і проводити олімпіади та конкурси.

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Природа світла. Корпускулярно-хвильовий дуалізм. За електромагнітною теорією Максвелла світло є електромагнітною хвилею, тобто електромагнітними коливаннями, що поширюються в просторі. Довжина хвилі λ дорівнює відстані, на яку поширюється світлове коливання за період T , тобто

$$\lambda = cT, \text{ або } \lambda = \frac{c}{\nu},$$

де c – швидкість світла у вакуумі, ν – частота світлових коливань.

Світло, яке сприймає око людини, – *видиме світло* – це електромагнітні хвилі з довжиною від 380 нм. (фіолетове) до 770 нм. (червоне). Випромінювання з довжиною хвиль менше 380 нм. називається *ультрафіолетовим*, а випромінювання з довжиною хвиль, що перевищують 770 нм. – *інфрачервоним*.

Наприкінці XIX ст. були відкриті такі явища як фотоефект, тиск світла, теплове випромінювання розжарених тіл, які електромагнітна теорія пояснити не могла. Ці явища пояснюються лише *квантовою теорією світла*, за якою світло випромінюється не безперервно, а певними порціями – квантами світла, або фотонами.

Отже, світло має подвійну природу; це одночасно потік електромагнітних хвиль і мікрочастинок (фотонів). В одних фізичних явищах проявляються хвильові властивості світла (їх вивчає хвильова оптика). Інші явища переконують нас у тому, що світло – це потік дискретних частинок – фотонів (ці явища вивчає квантова оптика). Дискретну природу світла називають також *корпускулярною* (від латин. корпускула – частинка). За сучасними уявленнями світло має корпускулярно-хвильову природу, являючи собою єдність протилежних властивостей. Прояв світлом як хвильових, так і корпускулярних властивостей називається *корпускулярно-хвильовим дуалізмом* (від латин. дуалізм – подвійність).

Швидкість світла. Першим великим успіхом у вивченні електромагнітної природи світла було вимірювання швидкості світла. Вперше це здійснив у 1676 р. датський астроном О. Ремер, спостерігаючи затемнення супутника Юпітера Іо.

Ремер порівняв результати двох спостережень затемнення, виконаних з інтервалом півроку. Одне виконувалося в момент, коли відстань між Юпітером і Землею була мінімальною, а друге – коли ця відстань була максимальною (рис. 1). Ремер помітив, що у положенні 2, коли через шість місяців Земля переходить на протилежну частину своєї орбіти, затемнення починається на 22 хв. пізніше, ніж це було тоді, коли Земля знаходилась у положенні 1. Знаючи час запізнення затемнення і діаметр орбіти Землі, Ремер визначив швидкість світла.

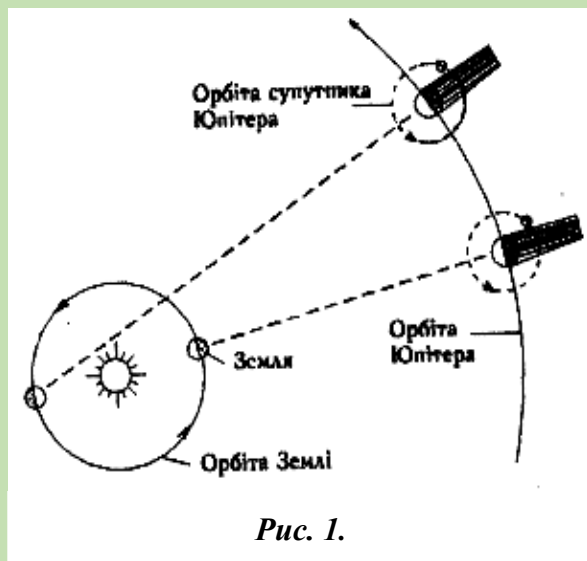


Рис. 1.

Сучасні точні виміри показують, що швидкість світла дорівнює 299 792 458 м/с. або приблизно 300 000 км/с. Швидкість світла у вакуумі є найбільшою швидкістю зі швидкостей, які є в природі.

Швидкість світла в середовищі. Швидкість поширення світла в середовищі завжди менша, ніж у вакуумі. Абсолютним показником заломлення n прозорого середовища називається відношення швидкості світла c у вакуумі до швидкості світла v в даному середовищі:

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

Відносним показником заломлення n_{21} одного середовища відносно другого називається відношення швидкостей світла в першому v_1 та другому v_2 середовищах:

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2}. \quad (2)$$

Враховуючи (1), можна записати $n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$.

Отже, відносний показник заломлення двох середовищ дорівнює відношенню їх абсолютних показників заломлення. Якщо $n_{21} > 1$, швидкість поши-

рення світла в другому середовищі менша, ніж у першому, в цьому разі друге середовище називається *оптично більш густим*.

Розглянемо, як електромагнітна теорія Максвелла пояснює зміну довжини світлової хвилі при переході з одного середовища в інше.

У вакуумі довжина світлової хвилі λ пов'язана із швидкістю світла і його частотою ν такою формулою:

$$\lambda = \frac{c}{\nu}. \quad (3)$$

У середовищі довжина хвилі λ_c пов'язана із швидкістю світла так:

$$\lambda_c = \frac{v}{\nu}, \quad (4)$$

де ν – частота світла, яка при переході з одного середовища в інше не змінюється. Поділивши (3) на (4), маємо:

$$\frac{\lambda}{\lambda_c} = \frac{c}{v} = n. \quad (4')$$

Отже, довжина світлової хвилі в даному середовищі зменшується порівняно з довжиною хвилі у вакуумі в стільки разів, у скільки при цьому зменшується швидкість світла. При переході з одного середовища в інше довжина хвилі змінюється прямо пропорційно швидкості поширення світла:

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{v_2}{v_1}.$$

Треба пам'ятати, що колір випромінювання визначається частотою коливань, яка при переході з одного середовища в інше не змінюється.

Закони геометричної оптики. *Геометрична оптика* – це розділ оптики, що розглядає питання поширення світла в різних оптичних системах (лінзах, призмах і т. д), при цьому світло розглядається як сукупність світлових променів. Експериментально встановлені наступні закони геометричній оптики.

Закон оборотності світлових променів. Нехай на деяку ідеальну оптичну систему падає промінь A і виходить з неї відповідний йому промінь B . Якщо пустити новий падаючий промінь назустріч B , одержимо новий промінь, що виходить із системи і йде назустріч променю A . Інакше кажучи, *промінь, який поширюється по шляху відбитого чи заломленого, піде по шляху падаючого променя.*

Закон прямолінійного поширення світла: в однорідному середовищі світло поширюється прямолінійно. Цим законом пояснюється, наприклад, утворення геометричної тіні від освітлюваних предметів.

Закони відбивання та заломлення світла.

На межі поділу двох середовищ частина світла відбивається, а частина – заломлюється. *Кут падіння α* називається кут між падаючим променем та перпендикуляром до межі поділу, проведеним у точці падіння (рис. 2, а). *Кут відбивання α'* – це кут між відбитим променем і тим самим перпендикуляром.

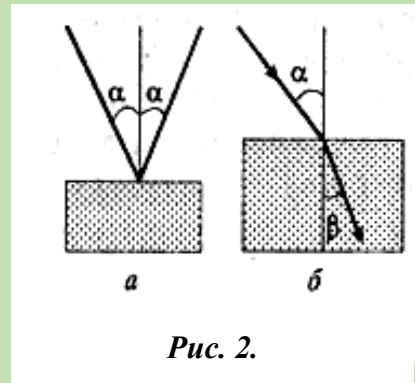


Рис. 2.

Кут заломлення β – це кут між заломленим променем і тим самим перпендикуляром до поверхні (рис. 2,б).

Закони відбивання світла:

1. Падаючий промінь, відбитий промінь і перпендикуляр до межі поділу двох середовищ, проведений у точці падіння променя, лежать у одній площині.
2. Кут відбивання дорівнює куту падіння: $\alpha = \alpha'$.

Закони заломлення світла:

1. Падаючий промінь, заломлений промінь і перпендикуляр до межі поділу середовищ, проведений у точці падіння променя, лежать у одній площині.
2. Відношення синусів кутів падіння і заломлення є сталим, і дорівнює відносному показнику заломлення даних середовищ:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{21} \quad (5)$$

Повне відбивання. Коли світловий промінь з більш густого середовища 1 падає на межу поділу з менш густим середовищем 2 і виходить в друге середовище, то кут заломлення β більше кута падіння α (рис. 3). Якщо поступово збільшувати кут падіння α , то кут β також буде зростати. При певному значенні кута падіння α_0 , меншому за 90° , кут заломлення β дорівнюватиме 90° і заломлений промінь ковзатиме вздовж межі. При дальшому збільшенні кута

падіння, тобто при $\alpha > \alpha_0$ падаючий промінь вже не буде заломлюватись – все світло відіб'ється в те саме середовище, звідки й поширювалось.

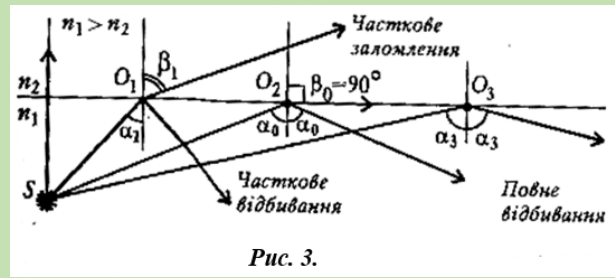


Рис. 3.

Описане явище називається *повним відбиванням*, а кут α_0 – *граничним кутом повного відбивання*. Значення α_0 можна знайти з закону заломлення:

$$\frac{\sin \alpha_0}{\sin 90^\circ} = \frac{1}{n} \Rightarrow \sin \alpha_0 = \frac{1}{n},$$

де $n > 1$ – відносний показник заломлення першого середовища (оптично більш густого) відносно другого. Повне відбивання використовують у так званій *волоконній оптиці* для передавання світла і зображення по пучках прозорих гнучких волокон – так званих *світловодах*. За допомогою скляних призм (для скла граничний кут повного відбивання $\alpha_{гр} = 42^\circ$) можна повертати промені на 90° , на 180° , повертати зображення при прямому баченні.

Плоске дзеркало. Якщо паралельні промені, які падають на поверхню, залишаються паралельними і після відбивання, то таке відбивання називається *дзеркальним*, а сама поверхня – *плоским дзеркалом*. На рис. 4 показана побудова зображення світної точки A в плоскому дзеркалі. З точки A проводять два довільних променя S_1 і S_2 , що падають на плоске дзеркало MN і відбиваються від нього. Продовження цих променів перетинаються в точці A' , яка і є зображенням точки A .

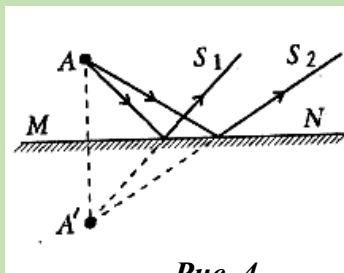


Рис. 4.

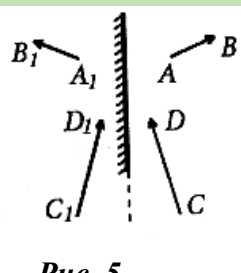


Рис. 5.

За допомогою плоского дзеркала дістають пряме уявне зображення дійсних предметів в натуральну величину, симетричне відносно площини дзеркала (рис. 5).

Якщо позначити відстань від дзеркала до предмета через d , відстань від дзеркала до зображення через f , то можна записати формулу плоского дзеркала: $d = -f$.

Заломлення в плоскопаралельній пластинці. *Плоскопаралельна пластинка* – це прозоре тіло, обмежене паралельними площинами. Після прохо-

дження крізь плоскопаралельну пластинку промінь незмінює свого напрямку, а лише зміщується на відстань x паралельно самому собі (рис. 6).

Неважко показати, що відстань x пов'язана з товщиною пластинки d формулою $x = d \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\cos \beta}$, де α – кут падіння, β – кут заломлення.

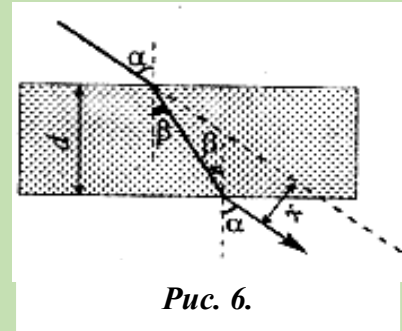


Рис. 6.

Заломлення в призмі. Призма – це прозоре тіло, обмежене двома заломними гранями, розміщеними під певним кутом φ одна до одної. На рис. 7 зображено переріз призми площиною, перпендикулярною до її ребер. Заломлення променя відбувається на заломних гранях AB і BC призми. Якщо матеріал призми оптично більш густий довкілля, заломлений промінь обидва рази відхиляється до основи призми AC .

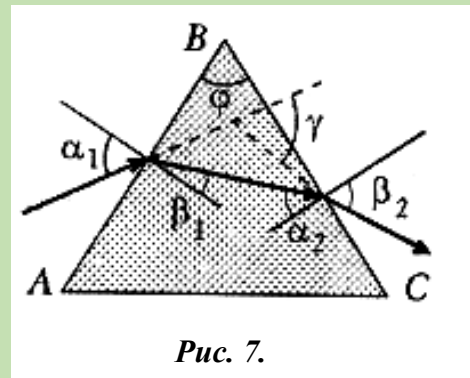


Рис. 7.

Кут φ між заломними гранями називається *заломним кутом призми*. Кут γ між продовженням променя, що падає на призму і променем, що виходить з призми називається *кутом відхилення променя від початкового напрямку*.

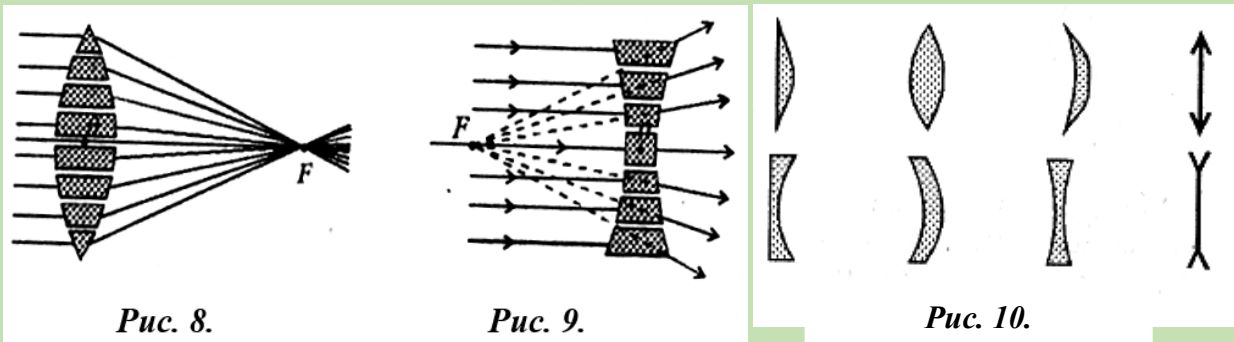
Можна показати, що зв'язок між цими кутами такий: $\gamma = \alpha_1 + \beta_2 - \varphi$, де α_1 – кут падіння променя на грань AB , β_2 – кут заломлення променя гранню BC .

Лінзи. Лінза – це прозоре тіло, обмежене з обох боків сферичними поверхнями (іноді одна з поверхонь може бути плоскою). Внаслідок кривизни поверхонь промені, які проходять крізь лінзу, два рази заломлюються (як і в призмі), змінюючи напрям поширення.

Зміни у ході променів, створювані лінзою, легко з'ясувати на моделі з призм (рис. 8). Призми можна підібрати так, що паралельні промені, проходячи їх, зберуться майже усі в одній точці F . Якщо ці призми скласти впритул, то вони створюють тіло, за формою близьке до опуклої лінзи. Виявляється, що опукла лінза має властивість збирати паралельні промені в одній точці. Тому опуклу лінзу називають *збиральною*.

Іншими словами, збиральна лінза – це лінза, яка перетворює пучок паралельних променів у пучок променів, що сходяться. Збиральна лінза в середині товща, ніж на краях.

Модель дії вгнутої лінзи (рис. 9) показує, що паралельні промені, проходячи вгнутою лінзу, розходяться. Тому вгнутою лінзу називають *розсіювальною*. Іншими словами, *розсіювальна лінза* це лінза, що перетворює пучок паралельних променів у пучок променів, що розходяться. Розсіювальна лінза в середині тонша, ніж на краях. На малюнках збиральні і розсіювальні лінзи умовно зображують прямими лініями з відповідними стрілками (рис. 10).



Зауважимо, що збиральна лінза є опуклою, а розсіювальна – вгнутою лише коли показник заломлення речовини лінзи більший за показник заломлення довкілля.

Пряма, яка проходить центри кривизни C і C' сферичних поверхонь лінзи, називається *головною оптичною віссю*. Точку O , яка лежить в лінзі на її оптичній осі і через яку промінь проходить, не змінюючи напрямку, називають *оптичним центром лінзи*.

Будь-яка пряма, яка проходить через оптичний центр лінзи під кутом до головної оптичної осі, називаються *побічною оптичною віссю*. Дослід показує, що промінь світла, який йде вздовж будь-якої оптичної осі, проходить через лінзу без зміни напрямку поширення.

Фокуси лінзи. У повітрі або у вакуумі всі промені, паралельні головній оптичній осі збиральної лінзи, після проходження лінзи відхиляються до осі і проходять через одну точку F на головній оптичній осі (рис. 8). Точка F називається *головним фокусом лінзи*. Площина, яка проходить через головний фокус лінзи перпендикулярно до головної оптичної осі, називається *фокальною площиною*.

Щодо розсіювальної лінзи, то вона перетворює пучок променів, паралельних її оптичній осі, у пучок променів, що розходяться (рис. 9). Але й у розсіювальної лінзи є фокус, тільки він *уявний*. Якщо пучок променів, що розходяться, продовжити в бік, протилежний їх напрямку, то продовження променів перетнуться в точці F , що лежить на оптичній осі з того ж боку, з якого падає світло на лінзу (рис. 9). Ця точка називається *головним уявним фокусом розсіювальної лінзи*: Уявним він називається тому, що в ньому перетинаються не промені, що пройшли через лінзу, а прямі, що їх продовжують.

У лінзи, що знаходиться в однорідному середовищі, два головних фокуси розташовані на однакових відстанях від її оптичного центра. Відстань від оптичного центра лінзи до її головного фокуса називається *фокусною відстанню F лінзи*: $|OF| = F$ (рис. 8, 9).

Коли промені падають на збиральну лінзу паралельно її побічній осі, наприклад AB (рис. 11), то після заломлення в лінзі вони збираються на тій самій осі в одній точці B , яку називають *фокусом лінзи*. Очевидно, різних фокусів у лінзи безліч, але, як показує дослід, усі вони розміщені в *фокальній площині*. Фокальною називається площина, що перпендикулярна головній оптичній осі і проходить через її головний фокус. Кожна лінза має дві фокальні площини.

Якщо промені падають на розсіювальну лінзу паралельно її побічній осі, то після заломлення в лінзі вони розходяться так, що їх продовження збігаються в одній точці на фокальній площині (рис. 12).

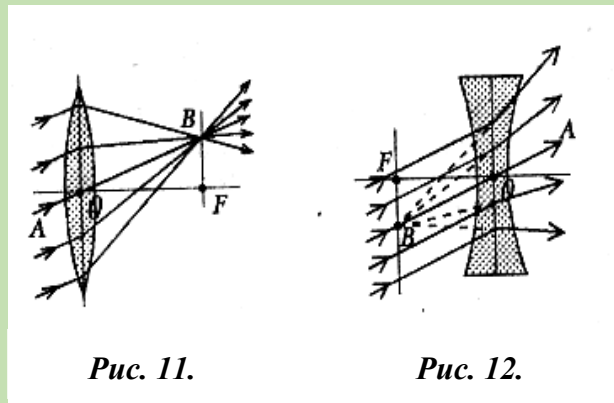


Рис. 11.

Рис. 12.

Оптична сила лінзи. Величина, обернена фокусній відстані, називається *оптичною силою лінзи*: $D = \frac{1}{F}$.

Одиниця оптичної сили лінзи – *діоптрія* (дптр) ($1 \text{ дптр} = 1 \text{ м}^{-1}$). Для збиральних лінз $D > 0$, для розсіювальних лінз $D < 0$.

Побудова зображень в лінзі. Для побудови зображення предметів в лінзі використовуються такі промені:

- падаючий на лінзу паралельно головній оптичній осі, який після заломлення проходить через головний фокус (рис. 13);
- промінь, що проходить через оптичний центр лінзи і не змінює свого напрямку після заломлення й виходу з лінзи;
- промінь, який йде до лінзи, падаючи на неї, проходить через головний фокус, а після заломлення й виходу з лінзи йде паралельно головній оптичній осі.

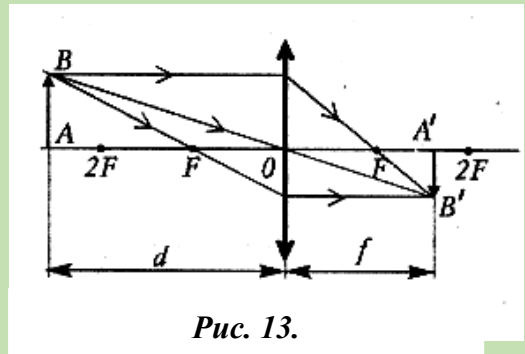


Рис. 13.

Зрозуміло, що для побудови зображення будь-якої світної точки в лінзі достатньо провести два з трьох вказаних променів.

На рис. 13 напрямленим відрізком AB позначено предмет, а відрізком $A'B'$ – його зображення в збиральній лінзі, побудоване з використанням трьох променів, що виходять з точки A . Буквами d і f позначено відстані від центра лінзи O вздовж її головної оптичної осі відповідно до предмета AB і до його зображення $A'B'$.

Величини d і f пов'язані з фокусною відстанню лінзи F формулою тонкої

лінзи:
$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}.$$

Формула лінзи застосовна для знаходження відстані до зображення при будь-якому розташуванні предмета відносно лінзи. Для збиральної лінзи по-

переду $\frac{1}{F}$ ставиться знак «плюс», для розсіюваль-

ної – знак «мінус». Величина $\frac{1}{f}$ – додатна, якщо зо-

браження дійсне і від'ємна, якщо зображення уявне.

Зображення предмета в розсіювальній лінзі при будь-якій відстані d від предмета до лінзи завжди уявне, пряме, зменшене і розміщене між переднім фокусом і лінзою (рис. 14), причому $|f| < d$.

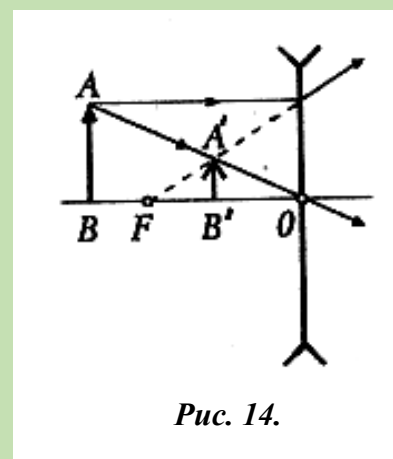


Рис. 14.

Збільшенням лінзи Γ називається відношення лінійного розміру зображення $H = |A'B'|$ до лінійного розміру предмета $h = |AB|$ (рис. 13, 14): $\Gamma = \frac{H}{h}$.

З рис. 14 бачимо, що $\frac{H}{h} = \frac{f}{d}$, тому збільшення лінзи можна визначити за

формулою: $\Gamma = \frac{f}{d}$.

Проекційний апарат. За допомогою проекційних апаратів дістають на екрані дійсні збільшені зображення предметів. Таким предметом може бути освітлюваний ззаду малюнок чи фотознімок, виготовлений на прозорій основі – *діапозитив* (від грецьк. *dia* – прозорий). В цьому разі проекційний апарат називається *діапроектором*. Хід променів в проекційному апараті показано на рис. 15.

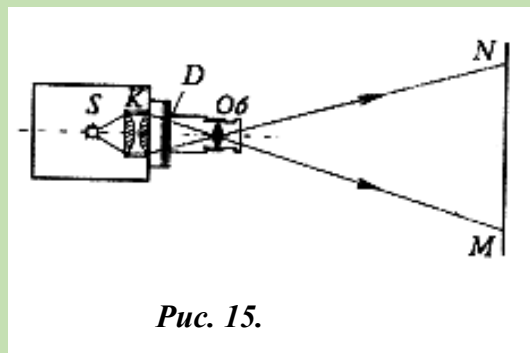


Рис. 15.

Інтерференція світла. Хвильова оптика вивчає сукупність явищ, у яких виявляється хвильова природа світла (інтерференція, дифракція, дисперсія, поляризація).

Хвилям будь-якої природи властива *інтерференція* – накладання у просторі двох хвиль, внаслідок чого підсилюється або послаблюється результуюча амплітуда. Світло – хвильовий процес і йому теж властива інтерференція. *Інтерференцією світла* називається явище додавання двох світлових хвиль, внаслідок чого спостерігається стійка в часі картина посилення або послаблення результуючих світлових коливань у різних точках простору.

Когерентні хвилі. Щоб дістати стійку інтерференційну картину (чергування максимумів і мінімумів освітленості), потрібні хвилі, які мають однакові довжини і сталу різницю фаз у будь-якій точці простору. Такі хвилі називаються *когерентними*.

Когерентні світлові хвилі добувають, поділяючи за допомогою якогонебудь пристрою хвилю, що йде від одного джерела світла, на дві. Якщо ці хвилі пройдуть різні шляхи, а потім знову будуть зведені і накладені одна на

одну, то вони прийдуть у точку зустрічі з якоюсь певною різницею фаз $\Delta\varphi$. Ця різниця фаз пов'язана з різницею ходу $\Delta = l_2 - l_1$ двох інтерферуючих променів наступною формулою: $\Delta\varphi = \frac{2\pi\Delta l}{\lambda}$, де λ – довжина світлової хвилі.

На рис. 16 показаний випадок, коли різниця ходу двох когерентних хвиль у точці C дорівнює одній довжині хвилі (або двом напівхвилям). В цьому разі в точці C відбувається підсилення світлових коливань.

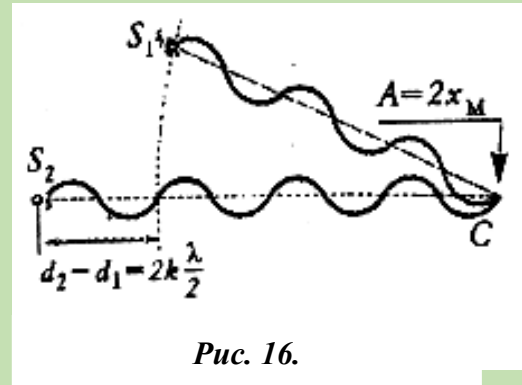


Рис. 16.

Сформулюємо умову виникнення інтерференційного максимуму: якщо різниця

ходу Δ двох когерентних хвиль, що прийшли в точку спостереження C , дорівнює парному числу напівхвиль або цілому числу довжин хвиль, амплітуда світлових коливань буде максимальною: $\Delta = 2k \frac{\lambda}{2} = k\lambda$ ($k = 0, 1, 2, \dots$), де k – порядок максимуму; λ – довжина хвилі.

Умова виникнення інтерференційного мінімуму: інтерференційний мінімум в деякій точці простору виникає тоді, коли різниця ходу Δ двох когерентних хвиль, що прийшли в дану точку, дорівнює непарному числу напівхвиль:

$$\Delta = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}.$$

Способи спостереження інтерференції світла. Інтерференція в тонких плівках. Райдуні кольори тонких плівок на поверхні води, покритій тонким шаром нафти або гасу, на поверхні мильної плівки, на мильній бульбашці і т. д. пояснюються явищем інтерференції в тонких плівках.

Різниця ходу променів в тонких плівках виникає внаслідок проходження світлом різних оптичних шляхів (наприклад, на рис. 17 показані два променя $1''$ і $2'$, які потрапляють в око спостерігача). Когерентність хвиль, відбитих від зовнішньої і внут-

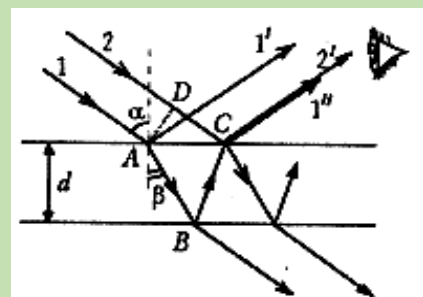


Рис. 17.

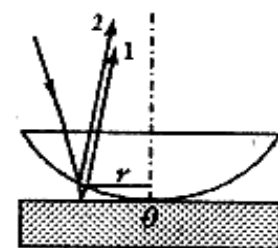


Рис. 18.

рішньої поверхонь плівки, забезпечується тим, що ці хвилі є частинами *того самого* світлового пучка.

Кільця Ньютона. Кільцями Ньютона називається інтерференційна картина, яка утворюється в найпростішому випадку на опукло-плоскій лінзі, яка дотикається в точці O з плоскопаралельною пластиною (рис. 18). Промінь 1, двічі проходячи повітряний проміжок, інтерферує з променем 2, який виникає при відбиванні від опуклої поверхні лінзи на межі *скло-повітря*. Інтерференційна картина має вигляд світлих і темних концентричних кілець, оскільки всі точки кільця з радіусом r мають однакову різницю ходу і дадуть або підсилення, або послаблення світла.

Дифракція світла. Дифракція – огинання хвилями перешкод – властива будь-якому хвильовому руху, отже, вона властива й світлу. Дифракція світла – це явище непрямолінійного поширення світла, огинання ним перешкод і заходу хвиль за межу тіні. Явище дифракції вказує на порушення законів геометричної оптики.

Принцип Гюйгенса-Френеля. Явище дифракції можна пояснити за допомогою методу, запропонованого Френелем (*принцип Гюйгенса-Френеля*).

Згідно з *принципом Гюйгенса*, кожна точку фронту хвилі можна розглядати як самостійне джерело коливань (джерело вторинних хвиль). Френель доповнив цей принцип, висловивши припущення, що усі джерела вторинних хвиль когерентні і тому можуть інтерферувати в будь-якій точці простору, внаслідок чого елементарні вторинні хвилі можуть гасити або підсилювати одна одну. Отже, за принципом Гюйгенса-Френеля, дифракція виникає внаслідок інтерференції вторинних хвиль.

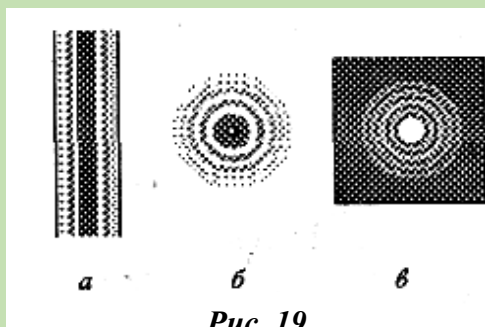


Рис. 19.

На рис. 19 наведені дифракційні картини, які О. Френель дістав, вивчаючи дифракцію світла: а) від дротини; б) від круглого непрозорого диска; в) від круглого отвору.

Дифракційна решітка. Для спостереження чітких дифракційних картин застосовують дифракційні решітки. Дифракційна решітка – це сукупність великої кількості вузьких щілин, розділених вузькими непрозорими проміжками ши-

риною b . Якщо ширина прозорих щілин a , ширина непрозорих проміжків b , то величина $d = a + b$ називається *сталюю* решітки або її *періодом*.

Період решітки d пов'язаний з числом штрихів N_0 , нанесених на одиницю довжини решітки формулою: $d = \frac{1}{N_0}$.

Звичайна дифракційна решітка – це добре відполіроване скло, на якому алмазом нанесені тонкі штрихи. Світло проходить між штрихами і не проходить крізь штрихи. У решіток високої якості кількість штрихів досягає кількох тисяч на 1 мм.

Розглянемо хід променів через дифракційну решітку (мал. 20). Нехай на решітку падає монохроматична хвиля з плоским хвильовим фронтом (плоска хвиля). Вторинні хвилі в щілинах створюють світлові хвилі, які поширюються в усіх напрямках і інтерферують, тобто гасять або підсилюють одна одну. Інтерферує кожна пара паралельних променів, що йдуть від двох точок сусідніх щілин, віддалених на відстань d одна від одної. Як зрозуміло з мал. 20, підсилення відбувається, коли різниця ходу двох таких променів дорівнює цілому, числу довжин хвиль:

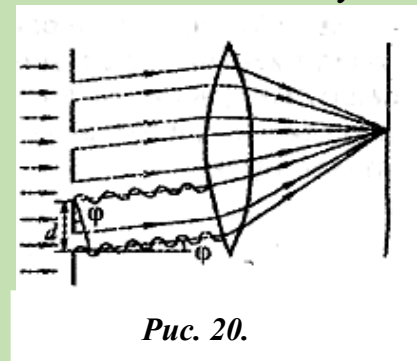


Рис. 20.

$$d \sin \varphi = k \lambda , \quad (6)$$

де φ – кут відхилення світлових променів від перпендикуляра до площини решітки, $k = 0,1,2,\dots$ – *порядок дифракційного максимуму*, λ – довжина хвилі падаючого світла.

Якщо світлові промені, що пройшли через дифракційну решітку, сфокусувати на екрані за допомогою лінзи, можна спостерігати чергування максимумів і мінімумів освітленості, тобто світлих і темних смуг. Місце максимумів на екрані визначають кути φ , які відповідають умові (6).

Оскільки місце максимумів (крім центрального, що відповідає $k = 0$) залежить від довжини хвилі, то решітка розкладає біле світло на спектр. На екрані виникають яскраві смуги (*дифракційні спектри*) з райдужним чергуванням кольорів. Чим більше значення λ , тим далі від центрального максимуму той чи інший максимум, що відповідає певній довжині хвилі.

За допомогою дифракційної решітки можна дуже точно визначити довжину світлової хвилі. Якщо період решітки відомий, то визначення довжини хвилі зводиться до вимірювання кута φ , який відповідає напрямку на максимум.

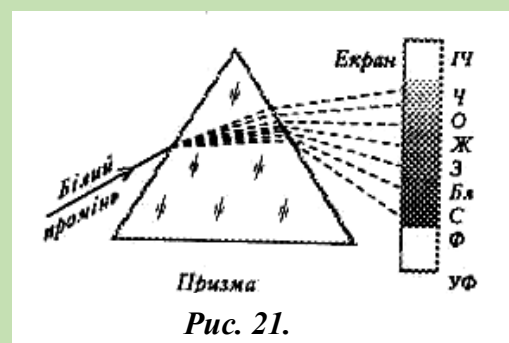
Дисперсія. Дисперсією світла називається явище залежності абсолютного показника заломлення світла речовиною від частоти ν падаючого на речовину світла (або від довжини хвилі у вакуумі). Дисперсія виникає внаслідок взаємодії світла з речовиною. У вакуумі дисперсія не спостерігається.

Як правило, показник заломлення світла n зростає із збільшенням частоти світла ν ; такий характер залежності $n(\nu)$ називають *нормальною дисперсією*. Нормальна дисперсія характерна для більшості прозорих діелектричних речовин – скла, льоду, води, алмазу тощо. Показник заломлення світла пов'язаний із швидкістю V поширення світла в речовині формулою $n = \frac{c}{V}$. Тому

зменшення показника заломлення n із збільшенням довжини хвилі, характерне для нормальної дисперсії, рівносильне зростанню швидкості хвилі в середовищі. Чим більша довжина хвилі, тим більша швидкість її поширення в середовищі. Отже, з найбільшою швидкістю в речовині поширюються хвилі, які ми сприймаємо як червоне світло, а з найменшою – хвилі, які ми сприймаємо як фіолетове світло.

Підсумовуючи вищесказане про дисперсію світла, можна дати більш глибоке її визначення: *дисперсією хвиль* називають залежність швидкості їх поширення в середовищі від частоти (або від довжини хвилі).

Проявом дисперсії є розкладання призмою білого світла у спектр. Хвилі, які входять до складу білого світла, в речовині поширюються з різними швидкостями. Проходячи через призму, складові частини білого променя зазнають різного заломлення і відображаються на екрані у вигляді яскравої видовженої смужки (спектра) з райдужним чергуванням кольорів (рис. 21).



ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

ПЛАНІ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

Тема заняття 1: Закони відбивання світла. Дзеркала.

Кількість годин – 2.

Мета заняття: виробити навички розв'язання задач з використанням законів відбивання світла, побудови зображень у плоских та сферичних дзеркалах.

План практичного заняття:

- сформулювати закони відбивання світла;
- пояснити принцип побудови зображень у плоских дзеркалах;
- вивести формулу сферичного дзеркала;
- дати означення фокуса дзеркала;
- описати послідовність побудови зображень у вгнутих та опуклих сферичних дзеркалах;
- визначити збільшення дзеркала;
- навести приклади застосування дзеркал.

Попередня підготовка (опрацювання основної та додаткової літератури; практичні завдання).

Аудиторна робота. Розв'язати задачі: [6, 7, 8].

Завдання додому: [6, 7].

Тема заняття 2: Закони заломлення світла.

Кількість годин – 2.

Мета заняття: виробити навички розв'язання задач на проходження світла через плоско паралельні пластинки та призми

План заняття:

- закони заломлення;
- поняття абсолютного та відносного показників заломлення;
- явище повного внутрішнього відбивання;
- принцип Ферма;
- геометрична та оптична довжина шляху променів;
- оптичні ефекти у неоднорідних середовищах (міражі, мерехтіння зображень);
- проходження світла крізь призми;
- поворотні та оборотні призми Дове.

Попередня підготовка:

- вивчення теоретичного матеріалу лекцій;
- опрацювання матеріалу, винесеного на самостійну роботу.

Аудиторна робота. Розв'язати задачі: [6, 7, 8].

Завдання додому: [6, 7].

Тема заняття 3: Проходження світла через лінзи.

Кількість годин – 2.

Мета заняття: виробити навички побудови зображень у лінзах та простих оптичних системах.

План заняття:

- означення лінзи;
- типи лінз;
- проходження світла через лінзи;
- формула лінзи;
- означення фокуса лінзи;
- фокальна площина та її властивість;
- побудова зображень у лінзах;
- збільшення лінз.

Попередня підготовка:

- вивчення теоретичного матеріалу лекцій;
- опрацювання матеріалу, винесеного на самостійну роботу.

Аудиторна робота. Розв'язати задачі: [6, 7, 8].

Завдання додому: [6, 7].

Тема заняття 4: Оптичні прилади

Кількість годин – 2.

Мета заняття: виробити навички у побудові зображень в мікроскопі, телескопі, фотоапараті, проекційних пристроях.

План заняття:

- хід променів у лупі;
- будова ока людини, відстань найкращого зору;
- недоліки зору та методи їх виправлення;
- хід променів у мікроскопі;
- хід променів у телескопах (рефрактори, рефлектори та комбіновані);
- проекційна техніка.

Попередня підготовка:

- вивчення теоретичного матеріалу лекцій;
- опрацювання матеріалу, винесеного на самостійну роботу.

Аудиторна робота. Розв'язати задачі: [6, 7, 8].

Завдання додому: [6, 7].

Тема заняття 5: Елементи фотометрії

Кількість годин – 2.

Мета заняття: виробити навички у визначенні основних фотометричних величин.

План заняття:

- джерела світла;
- приймачі світла (суб'єктивні та об'єктивні);
- світловий потік;
- сила світла;
- світність та яскравість;
- освітленість поверхні.

Попередня підготовка:

- вивчення теоретичного матеріалу лекцій;
- опрацювання матеріалу, винесеного на самостійну роботу.

Аудиторна робота. Розв'язати задачі: [6, 7, 8].

Завдання додому: [6, 7].

Тема заняттяб: Інтерференція світла

Кількість годин – 2.

Мета заняття: виробити навички застосування різних методів отримання інтерференції.

План заняття:

- суть явища інтерференції світла;
- умови когерентності;
- умови максимумів та мінімумів освітленості;
- дослід Т. Юнга;
- методи реалізації інтерференції.

Попередня підготовка:

- вивчення теоретичного матеріалу лекцій;
- опрацювання матеріалу, винесеного на самостійну роботу.

Аудиторна робота. Розв'язати задачі: [6, 7, 8].

Завдання додому: [6, 7].

Тема заняття 7: Інтерференція у тонких плівках, інтерферометри

Кількість годин – 2.

Мета заняття: виробити навички визначення результатів взаємодії світлових хвиль у тонких плівках та інтерферометрах.

План заняття:

- проходження світла через тонкі плівки, смуги рівного нахилу;
- смуги рівної товщини;
- кільця Ньютона (у прямому та відбитому світлі);
- просвітлення лінз і дзеркал;
- двопроменеві інтерферометри;
- багатопроменеві інтерферометри (еталон Фабрі-Перо).

Попередня підготовка:

- вивчення теоретичного матеріалу лекцій;
- опрацювання матеріалу, винесеного на самостійну роботу.

Аудиторна робота. Розв'язати задачі: [6, 7, 8].

Завдання додому: [6, 7].

Тема заняття 8: Дифракція світла

Кількість годин – 2.

Мета заняття: виявити рівень уміння застосовувати теоретичні знання для пояснення явища дифракції світла.

План заняття:

- означення явища дифракції світла;
- ідеї Френеля і Фраунгофера;
- метод зон Френеля;
- умови настання явища дифракції;
- дифракція від круглого екрану та круглого отвору.

Попередня підготовка:

- вивчення теоретичного матеріалу лекцій;
- опрацювання матеріалу, винесеного на самостійну роботу.

Аудиторна робота. Розв'язати задачі: [6, 7, 8].

Завдання додому: [6, 7].

Тема заняття 9: Дифракційні ґратки

Кількість годин – 2.

Мета заняття: виробити навички розв'язання задач на проходження світла крізь дифракційні ґратки.

План заняття:

- суть явища дифракції Фраунгофера на одному отворі;
- дифракція світла на багатьох отворах;
- дифракційні ґратки та їх типи (амплітудні, фазові, амплітудно-фазові);
- зміна роздільної здатності дифракційних ґраток.

Попередня підготовка:

- вивчення теоретичного матеріалу лекцій;
- опрацювання матеріалу, винесеного на самостійну роботу.

Аудиторна робота. Розв'язати задачі: [6, 7, 8].

Завдання додому: [6, 7].

Тема заняття 10: Роздільна здатність оптичних пристроїв

Кількість годин – 2.

Мета заняття: виробити навички визначення впливу явища дифракції на роздільну здатність оптичних пристроїв.

План заняття:

- поняття роздільної здатності;
- роздільна здатність людського ока;
- роздільна здатність оптичних пристроїв;
- методи підвищення роздільної здатності.

Попередня підготовка:

- вивчення теоретичного матеріалу лекцій;
- опрацювання матеріалу, винесеного на самостійну роботу.

Аудиторна робота. Розв'язати задачі: [6, 7, 8].

Завдання додому: [6, 7].

Тема заняття 11: Дифракція рентгенівських променів

Кількість годин – 2

Мета заняття: виробити навички визначення основних параметрів кристалів методом дифракції рентгенівських променів.

План заняття:

- кристал як просторова дифракційна ґратка;
- формула Вульфа-Брегга для дифракції рентгенівських променів;
- методи орієнтації кристалів та визначення періодів трансляцій;
- оцінка досконалості кристалів, рентгенографія.

Попередня підготовка:

- вивчення теоретичного матеріалу лекцій;
- опрацювання матеріалу, винесеного на самостійну роботу.

Аудиторна робота. Розв'язати задачі: [6, 7, 8].

Завдання додому: [6, 7].

Тема заняття 12: Поляризація світла

Кількість годин – 2.

Мета заняття: виробити навички розв'язання задач на поляризацію світла.

План заняття:

- природне та поляризоване світло;
- види поляризації;
- поляризація при відбиванні та заломленні світла, кут Брюстера, формули Френеля, стопа Столетова.

Попередня підготовка:

- вивчення теоретичного матеріалу лекцій;
- опрацювання матеріалу, винесеного на самостійну роботу.

Аудиторна робота. Розв'язати задачі: [6, 7, 8].

Завдання додому: [6, 7].

Тема заняття 13: Поляризаційні пристрої

Кількість годин – 2.

Мета заняття: виробити навички розв'язання задач на проходження світла крізь поляризаційні пристрої.

План заняття:

- поняття оптичної активності та оптичної осі кристалу;
- призма Ніколя, хід променів у ній;
- поляризатори та аналізатори, закон Малюса;
- поляризаційні компенсатори, пластинки λ , $\lambda / 2$ та $\lambda / 4$.

Попередня підготовка:

- вивчення теоретичного матеріалу лекцій;
- опрацювання матеріалу, винесеного на самостійну роботу.

Аудиторна робота. Розв'язати задачі: [6, 7, 8].

Завдання додому: [6, 7].

Тема заняття 14: Штучна анізотропія

Кількість годин – 2.

Мета заняття: виробити навички розв'язання задач на явища штучної анізотропії.

План заняття:

- природня оптична активність, повертання площини поляризації;
- фотопружний ефект та його використання;
- електрооптичні явища, ефекти Керра та Поккельса;
- магнітооптичні явища, ефекти Фарадея, Коттона-Мутона.

Попередня підготовка:

- вивчення теоретичного матеріалу лекцій;
- опрацювання матеріалу, винесеного на самостійну роботу.

Аудиторна робота. Розв'язати задачі: [6, 7, 8].

Завдання додому: [6, 7].

ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗКУ ЗАДАЧ

Розв'язування задач сприяє виробленню навичок у студентів використовувати теоретичні знання з окремих розділів курсу оптики, побудові схем проходження світла через різні системи, дає змогу застосувати набуті знання з математики при складанні рівнянь, їх розв'язання та аналізу отриманих результатів.

При цьому варто користуватись загальноприйнятими вимогами до розв'язання задач з фізики, а саме:

- ретельно прочитати умову задачі, записати всі відомі величини та обрати зручні одиниці числових значень;
- з'ясувати явище чи процес про які йдеться в задачі;
- виконати рисунок, що допоможе у аналізі явища;
- записати загальні закони чи математичні співвідношення для явища;
- отримати кінцевий варіант математичного виразу та виконати обчислення;
- проаналізувати отриманий результат і звірити його з відповіддю, якщо така є.

Задача 1. Тонка скляна ($n = 1,5$) двоопукла лінза з однаковими радіусами кривизни 17 см., розділена двома середовищами з показниками заломлення $n_1 = 1,33$ і $n_2 = 1,40$. З першого середовища на лінзу падає пучок променів, паралельних головній оптичній вісі. На якій відстані від лінзи вони перетнуться?

Розв'язок:

Шукана відстань a є заднім фокусом лінзи. Тут ми не можемо застосувати формулу, яка справедлива, коли лінза з обох боків оточена одним і тим же середовищем. Для розв'язку задачі скористаємось формулою, застосувавши її по черзі до обох поверхонь лінзи. Для першої (лівої) поверхні:

$$n / a_2 - n_1 / a_1 = (n - n_1) / R_1,$$

де a_2 – відстань від лінзи до точки S' , в якій би перетнулись промені, якби не було другої поверхні. Вважаючи точку S' за уявний предмет, запишемо формулу для другої сферичної поверхні:

$$n_2 / a - n / a_2 = (n_2 - n) / R_2$$

де $a = OF_2$ – шукана відстань. Додавши почленно рівняння $n / a_2 - n_1 / a_1 = (n - n_1) / R_1$ і $n_2 / a - n / a_2 = (n_2 - n) / R_2$, і враховуючи, що для паралельного пучка світла $a_1 = -\infty$, отримуємо:

$$n_2 / a = (n - n_1) / R_1 + (n_2 - n) / R_2.$$

Запишемо числові значення величин з урахуванням правила знаків:

$$R_1 = 17 \text{ см.}, R_2 = -17 \text{ см.}$$

Обчислення дають $a = 88 \text{ см.}$

Зауваження: Якщо паралельний пучок світла падає на лінзу з протилежного боку, то, позначивши через a' відстань від лінзи до точки перетину заломлених променів (передня фокусна відстань), і повторивши всі міркування, маємо:

$$n_1 / a' = (n_1 - n) / R_1 + (n - n_2) / R_2$$

Врахуємо, що світло поширюється справа наліво, маємо з використанням правила знаків, що вирази (3) і (4) однакові. Значить:

$$a / a' = OF_2 / OF_1 = n_2 / n_1.$$

Таким чином, фокусні відстані лінзи, по обидва боки якої різні середовища, пропорційні показникам заломлення середовищ.

Задача 2. Людина, що стоїть на березі водойми, розглядає камінь, який лежить на дні. Глибина водойми 1 м. На якій відстані від поверхні води людини бачить камінь, якщо промінь зору складає з вертикаллю кут 60° ?

Розв'язок:

Сприймання глибини простору, тобто, віддалі до спостережуваного предмета, обумовлено зором двома очима. Спостереження світної точки одним оком не дає відчуття глибини, а дає можливість лише судити про те, в якому напрямку знаходиться точка. При спостереженні двома очима світна точка здається розміщеною там, де перетинаються промені зору, що відповідають обом очам спостерігача.

Проте, промені, що виходять з точки S каменю, після заломлення на поверхні води не утворюють гомоцентричного пучка: продовження різних пар променів перетинаються в різних точках. Тому видима глибина водойми залежить від розміщення очей. Вважаємо, що очі людини знаходяться на одній горизонталі.

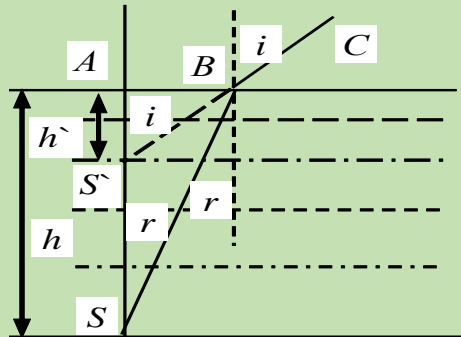


Рис. 1

Можемо знайти положення точки S' . Нехай промінь BC (рис. 1) потрапляє в око людини. Щоб цей промінь потрапив в друге око, потрібно повернути малюнок навколо вертикалі на певний кут, який залежить від відстані між очима, слідує:

$$AB = h \cdot \operatorname{tg} r = h' \cdot \operatorname{tg} i.$$

Враховуючи, що показник заломлення води $n = \sin i / \sin r$, отримаємо

$$h' = h (\operatorname{tg} r / \operatorname{tg} i) = h (\sin r / \cos r : \sin i / \cos i) = h / n \cdot \cos i / [1 - (\sin^2 i) / n^2]^{1/2}.$$

Підставивши в формулу числові значення величин, знаходимо: $h' = 0,5$ м.

Зауваження:

1. Якщо промінь зору направити по нормалі до поверхні води ($i = 0$), то отримаємо: $h' = h / n$. При $i = \pi / 2$ маємо $h' = 0$.
2. Якщо очі і точка S розташовані в одній вертикальній площині, то точка S' буде видимою в іншому місці.

Задача 3. Світна точка S знаходиться на головній оптичній осі центрованої системи двох тонких лінз на відстані 44 см. від першої лінзи. Відстань між лінзами 30 см. Де отримується зображення точки, якщо фокусна відстань кожної лінзи 30 см.?

Розв'язок:

Щоб обчислити координату точки S_2 на оптичній вісі, застосуємо формулу лінзи до кожної з них. Для лінзи 1:

$$1 / a_2 - 1 / a_1 = 1 / f, \quad (1)$$

де: a_2 – відстань від лінзи 1 точки S' (її координата). Для лінзи 2 координата точки S' , яка тепер розглядається як предмет, виразиться величиною $a_2 - L$ незалежно від того, по який бік від лінзи 2 розміщена точка S' . Значить:

$$1 / a_3 - 1 / (a_2 - L) = 1 / f. \quad (2)$$

Тут a_3 – відстань від лінзи 2 до точки S_2 (її координата). Виключивши з рівнянь (1), (2) величину a_2 і враховуючи, що $a_1 = -40$ см., маємо:

$$a_3 = f(a_1 f - a_1 L - fL) / (f^2 + 2a_1 f - fL - a_1 L) = 22 \text{ см.}$$

Знак величина a_3 показує, що точка S_2 розташована на відстані 22 см. по ходу променя (тобто, справа) від лінзи 2.

Задача 4. Як зміниться освітленість зображення протяжного віддаленого об'єкта (планети) на сітківці ока при переході від спостереження неозброєним оком до спостереження в телескоп із збільшенням Γ , діаметр об'єктива якого D . Розглянути випадки: 1) $\Gamma < D / d_o$; 2) $\Gamma > D / d_o$, де d_o – діаметр зіниці ока. Втратами світла в телескопі знехтувати.

Розв'язок:

Збільшення телескопа:

$$\Gamma = f_{об} / f_{ок} = D / d,$$

де: d – діаметр пучка світла: що виходить з окуляра. Позначимо освітленість сітківки ока через E_o , а ока, озброєного телескопом – через E . За означенням освітленості маємо:

$$E_o = k\Phi_o / S_o; E = k\Phi / S,$$

де: Φ_o , Φ – світлові потоки, що входять в око неозброєне і озброєне телескопом відповідно; k – коефіцієнт, що показує, яка доля світлового потоку, що ввійшов в око, досягне сітківки, S_o , s – площі зображення на сітківці неозброєного і озброєного ока.

Поділивши почленно ці рівності і, базуючись на тому, що площа зображення пропорційна квадрату його лінійних розмірів, маємо:

$$E / E_o = \Phi / \Phi_o \cdot S_o / S = \Phi / \Phi_o \cdot 1 / \Gamma^2$$

Розглянемо випадки за умовою задачі.

1) $\Gamma > D / d_o$ тобто $d < d_o$. Значить, весь світловий потік, що потрапив в об'єктив, виходить з окуляра і попадає в око. Оскільки об'єкт (планета) створює однакову освітленість на поверхні об'єктива телескопа і неозброєного ока, то відношення Φ / Φ_o можна замінити відношенням площ об'єктива і зіниці: $E / E_o = (D / D_o)^2 \cdot 1 / \Gamma^2$.

За умовою $\Gamma > D / d_o$, тому $E < E_o$.

2) $\Gamma < D / d_o$, тобто $d > d_o$. В цьому випадку лише частина світлового потоку, що виходить з телескопа, попадає в око. Щоб знайти відношення Φ / Φ_o врахуємо, що телескоп перетворює падаючий на об'єктив світловий пучок і зменшує його діаметр в Γ разів. При цьому площа перерізу пучка зменшується в Γ^2 разів, а густина світлового потоку в пучку (відношення світлового потоку до площі перерізу) зростає в Γ^2 разів. Тому і при озброєнні ока телескопом світловий потік, що входить через зіницю в око, зростає в Γ^2 разів. Маємо:

$$E / E_o = \Gamma^2 \cdot 1 / \Gamma^2 = 1.$$

Значить $E = E_o$ – телескоп не змінює освітленості сітківки ока.

Зауваження: ці міркування не будуть справедливими при спостереженні зірок, оскільки їх зображення завжди будуть точковими. Тому тут завжди освітленість сітківки буде зростати при використанні телескопа.

Задача 5. Ліхтар освітлення створює пучок світла у формі конуса з кутом розхилу $2\varphi = 40^\circ$. Світловий потік ліхтаря дорівнює 80 клм. Вважаючи, що світловий потік всередині конусу рівномірний, визначити силу світла ліхтаря.

Розв'язок:

Сила світла ізотропного джерела рівна відношенню світлового потоку Φ до тілесного кута w , в межах якого він поширюється: $I = \Phi / w$.

Виразимо тілесний кут через кут розхилу конуса.

$$dw = 2\pi \sin\varphi d\varphi.$$

Тілесний кут, що відповідає куту розхилу 2φ конусу, виразиться інтегралом:

$$w = 2\pi \int \sin\varphi d\varphi$$

Інтегруючи, отримуємо:

$$w = 2\pi(1 - \cos\varphi_0) = 4\pi \sin^2 \varphi / 2.$$

Тоді: $I = \Phi / 4\sin^2 \varphi / 2$

Обчислюємо: $I = 8 \cdot 10^4 / 4 \cdot 3.14 \cdot \sin^2 10^\circ = 2.11 \cdot 10^5$ кд.

Задача 6. Люмінесцентна циліндрична лампа діаметром 2,5 см. і довжиною 40 см. створює на відстані 5 м в напрямку, перпендикулярному до вісі лампи, освітленість 1 лк. Вважаючи лампу за косинусний випромінювач, визначити: а) силу світла в даному напрямку; б) яскравість; в) світність лампи.

Розв'язок:

а) Більший з двох розмірів лампи – довжина – в 12 разів менша відстані, на якій виміряно освітленість. Тому лампу можна вважати за точкове джерело, а значить:

$$E = I / R^2, \text{ звідки } I = ER^2.$$

Маємо: $I = 1 \cdot 5^2 = 25$ кд.

б) Яскравість $B = I / s$, де s – площа проекції лампи на площину, перпендикулярну до напрямку спостереження. Для циліндричної лампи площа має форму прямокутника довжиною l і шириною d . Значить: $B = I / ld$.

$$B = 25 / 0.4 \cdot 0.025 = 2.5 \cdot 10^3 \text{ кд/м}^2.$$

в) Оскільки лампу вважаємо за косинусний випромінювач, то її світність $R = \pi B = 3.14 \cdot 2.5 \cdot 10^3 = 7.9 \cdot 10^3$ лк.

Задача 7. Інтерференцію отримано методом дзеркала Ллойда. Відстань від джерела до екрану 1 м, а від площини плоского дзеркала – 2 мм. Довжина світлової хвилі 0.5 мкм. 1) Що буде спостерігатись в т. А екрану – підсилення чи послаблення світла? 2) Як зміниться освітленість т. А, якщо на шляху прямого променя перпендикулярно до нього поставити плоско паралельну пластинку скла ($n = 1.55$) товщиною 6 мкм?

Розв'язок:

Побудуємо уявне зображення S_2 джерела світла S_1 в дзеркалі (рис. 2). Джерела S_1 і S_2 когерентні, тому при накладанні хвиль на екрані виникне інте-

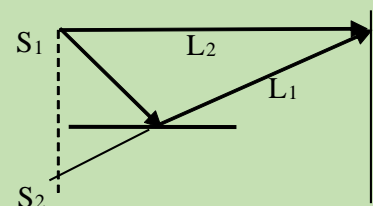


Рис. 2.

рференційна картина. Результат інтерференції залежить від оптичної різниці ходу променів, тобто від кількості k півхвиль, що вкладаються в оптичній різниці ходу

$$k = 2\Delta / L$$

Якщо k ціле парне число, то освітленість буде максимальною; коли ж k – ціле непарне число, то освітленість мінімальна. При дробовому значенні k буде часткове підсилення або послаблення світла, залежно до якого парного чи непарного воно ближче.

1) Оптична різниця ходу променів буде рівна геометричній різниці $L_1 - L_2$, бо обидва промені поширюються в повітрі, і додаткової різниці ходу $\lambda / 2$, обумовленої зміною фази коливань на π при відбиванні від середовища, оптично більш густого (дзеркала). Тому

$$\Delta_1 = L_2 - L_1 + \lambda / 2.$$

Так як $L_2 = (L_1^2 + H^2)^{1/2}$, то:

$$L_2 - L_1 = L_1[1 + (H / L_1)^2]^{1/2} - L_1 = L_1\{[1 + (H / L_1)^2]^{1/2} - 1\}.$$

Величина $H / L_1 \ll 1$, тому для наближеного обчислення можна використати формулу $(1 + a)^{1/2} \sim 1 + a / 2$ при $a \ll 1$. Застосувавши її, отримуємо:

$$L_2 - L_1 = L_1[1 + 1/2(H / L_1)^2 - 1] = H^2 / 2L_1.$$

Підставивши цей вираз у формулу $\Delta_1 = L_2 - L_1 + \lambda / 2$ маємо:

$$\Delta_1 = H^2 / 2L_1 + \lambda / 2$$

Знаючи різницю ходу, за формулою знаходимо k_1 :

$$k_1 = 2 (H^2 / 2L_1 + \lambda / 2) / \lambda = H^2 / L_1 + 1.$$

Так як $H = 2h$, то: $k_1 = 4h^2 / L_1 + 1$.

Виразивши всі одиниці в мікрометрах, маємо

$$k_1 = 4 \cdot (2 \cdot 10^3)^2 / 1 \cdot 10^6 \cdot 0.5 + 1 = 32 + 1 = 33.$$

Таким чином, оскільки в різниці ходу вкладається непарне число півхвиль, то в т. А буде максимальне послаблення світла (виконується умова мінімального освітлення).

2) Скляна пластинка товщиною d , поставлена перпендикулярно на шляху ходу променя змінить оптичну довжину шляху. Тепер оптична довжина шляху

ху l_1 буде складатись з геометричної довжини шляху $l_1 - d$ і оптичної довжини шляху nd променя в пластинці, тобто

$$L_1 = (L - d) + nd = L_1 + (n - 1)d.$$

Оптична різниця ходу променів

$$\Delta_2 = L_2 - L_1 + \lambda / 2 = L_2 - [L_1 + (n - 1)d] + \lambda / 2,$$

або

$$\Delta_2 = \Delta_1 - (n - 1)d.$$

Кількість довжин півхвиль, що вкладається на цій різниці ходу:

$$k_2 = 2D_2 / l = 2[D_1 - (n - 1)d] / l.$$

Розрахунки дають $k_2 = 19.8$.

Кількість півхвиль виявилась дробовою. Наблизимо її до ближчого цілого числа 20. Значить в точці A буде підсилення світла, бо число парне.

Задача 7. На товсту скляну пластинку ($n = 1.5$), покриту тонкою плівкою з показником заломлення 1.4, нормально падає паралельний пучок монохроматичного світла з довжиною хвилі 0.6 мкм. При якій товщині плівки відбиті промені будуть максимально ослаблені внаслідок інтерференції?

Розв'язок:

Оскільки показник заломлення повітря ($n_1 = 1.00029$) менший показника заломлення плівки ($n_2 = 1.4$), який в свою чергу менший показника заломлення скла ($n_3 = 1.5$), то в обох випадках відбивання буде від межі з оптично більш густим середовищем. Тому фаза коливання падаючого променя зміниться на π і точно так же зміниться фаза коливань заломленого променя при відбиванні в точці виходу з пластини. Значить, результат інтерференції цих променів буде таким, коли б ніякої зміни фаз променів не було.

Як відомо, умова максимального ослаблення світла при інтерференції в тонких плівках буде, коли різниця ходу променів рівна непарному числу півхвиль:

$$D = (2k + 1)\lambda / 2.$$

Знаходимо, що оптична різниця ходу

$$\Delta = (AB + BC)n_2 - ADn_1.$$

Умова максимального ослаблення світла матиме вигляд:

$$AB = BCn_2 - ADn_1 = (2k + 1)\lambda / 2.$$

Оскільки кут падіння променів рівний нулю, то

$$AD = 0; AB + BC = 2d,$$

де d – товщина плівки. Тоді:

$$\Delta = 2dn_2 = (2k + 1)\lambda / 2.$$

Звідки товщина плівки: $d = [(2k + 1)\lambda / 4n_2]$.

Вважаючи $k = 0, 1, 2, 3, \dots$, отримаємо ряд можливих значень товщини плівки: $d_0 = \lambda / 4n_2 = 0.11$ мкм.

$$d_1 = 3\lambda / 4n_2 = 0.33 \text{ мкм, і т.д.}$$

Задача 8. На скляний клин нормально до його грані падає монохроматичне світло з довжиною хвилі 0.6 мкм. Визначити кут клина, якщо на 1 см припадає 10 інтерференційних смуг.

Розв'язок:

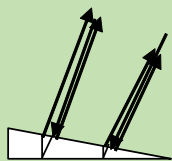


Рис. 3.

Паралельний пучок світла, що падає нормально на грань клина, відбивається від його верхньої і нижньої граней. Ці промені когерентні, тому спостерігається стійка інтерференційна картина. Оскільки інтерференційні смуги спостерігаються при малих кутах клина, то промені 1 і 2 (рис. 3) будуть практично паралельними.

Темні смуги будуть для тих ділянок клина, для яких різниця ходу променів кратна непарній кількості півхвиль: $D = (2k + 1)\lambda / 2$, де $k = 0, 1, 2, 3, \dots$

Різниця ходу двох променів складається з різниці оптичних шляхів цих променів $2d_k n \cos i_2$ і половини довжини хвилі $\lambda / 2$. Додаткова різниця ходу в півхвилі виникає при відбиванні від оптично більш густого середовища. Таким чином, маємо:

$$d_k n \cos i_2 + \lambda / 2 = (2k + 1)\lambda / 2,$$

де n – показник заломлення скла ($n = 1.5$), d_k – товщина клина в тому місці, де спостерігається темна смуга, що відповідає номеру k , i_2 – кут заломлення, λ – довжина хвилі.

За умовою задачі кут падіння променів рівний нулю, значить і кут заломлення буде таким же. Тому останній вираз можемо записати: $2d_{kn} = k\lambda$.

Нехай довільній темній смузі номеру k відповідає товщина клину d_k , а темній смузі за номером $k + 10$ відповідає товщина клину $d_k + 10$. Згідно умови задачі десять смуг вкладаються на довжині в 1 см. Тоді шуканий кут буде рівним

$$\alpha = (d_k + 10 - d_k) / \lambda,$$

де через малість кута прийнято $\sin a \sim a$ (а виражено в радіанах). Маємо:

$$\alpha = [(k + 10)\lambda / 2n - k\lambda / 2n] / \lambda = 5\lambda / n\lambda = 2 \cdot 10^{-4} \text{ рад.}$$

Виразимо кут в градусах. Співвідношення між радіаном і секундою:

$$1 \text{ рад} = 206265'' = 2.06'' \cdot 10^5.$$

Тобто: $\alpha = 2 \cdot 10^{-4} \cdot 2.06 \cdot 10^5 = 41.2''$.

Задача 9. Для визначення показника заломлення прозорих речовин використовують інтерферометр Релея з довжиною трубок 10 см. Інтерференційну картину спостерігали при довжині хвилі світла 0.589 мкм, коли в обох трубках було повітря. Якщо повітря в одній з трубок замінили аміаком, то інтерференційна картина змістилась на 17 смуг. Визначити показник заломлення аміаку n_1 , якщо для повітря $n = 1.00029$.

Розв'язок:

Згідно принципу Гюйгенса, дві щілини в освітленій діафрагмі можна розглядати як вторинні джерела світла. Оскільки на діафрагму падає світло від одного джерела, то обидві щілини є когерентними джерелами і на екрані виникає інтерференційна картина. Результат інтерференції визначається різницею ходу променів. Для світлих смуг маємо:

$$D = \pm 2k(\lambda / 2) = \pm k\lambda.$$

де k – номер даної смуги (відрахунок ведеться від центральної смуги, для якої $k = 0$).

Заміна повітря аміаком в одній з трубок привела до зміни оптичної довжини шляху світлового променя на величину $d = n_1L - nL$.

На стільки ж зміниться і величина D . При цьому зміняться і умови інтерференції. При зміщенні картини на N смуг різниця ходу змінилась на величину $N\lambda$.

Тому $n_1L - nL = \pm N\lambda$. Знак визначається напрямком зміщення.

Маємо: $n_1 = n + N\lambda / L = 1.00039$.

Задача 10. На щілину шириною 0.1 мм. нормально падає паралельний пучок світла з довжиною хвилі 0.6 мкм. Дифракційна картина проектується на екран за допомогою лінзи, яка щільно прилягає до щілини. Знайти ширину центрального максимуму дифракційної картини, якщо відстань до екрану 1 м.

Розв'язок:

Центральний максимум займає проміжок між краями правого і лівого мінімумів, тому ширину центрального максимуму приймемо рівною відстані між цими мінімумами.

Мінімуми інтенсивності світла при дифракції від однієї щілини спостерігаються під кутами j , які визначаються з умови

$$d \sin \varphi = k\lambda,$$

де d – ширина щілини, λ – довжина хвилі світла, k – порядок мінімуму ($k = 1, 2, 3, \dots$).

В нашому випадку $k = 1$.

Відстань між двома мінімумами на екрані:

$$x = 2L \operatorname{tg} \varphi.$$

Зазначимо, що при малих кутах $\operatorname{tg} \varphi \sim \sin \varphi$, тому останній вираз можемо записати

$$x = 2L \sin \varphi.$$

Виразимо $\sin j$ з умови дифракційного мінімуму і отримуємо:

$$x = 2Lk\lambda / d.$$

Підставимо числові значення і отримаємо:

$$x = 2.1 \cdot 0.6 \cdot 10^{-6} / 0.1 \cdot 10^{-3} = 1.2 \text{ см.}$$

Задача 11. Між точковим джерелом світла з довжиною хвилі 0.5 мкм і екраном розташували діафрагму з круглим отвором радіусом 1 мм. Відстань від діафрагми до джерела і екрану становить відповідно 1 м і 2 м. Як зміниться освітленість екрану в точці, що лежить проти центру отвору, якщо діафрагму забрати?

Розв'язок:

В результаті дифракції світла на краях отвору діафрагми та інтерференції вторинних хвиль на екрані виникне дифракційна картина – чергування світлих і темних кілець. При цьому в точці, яка є центром картини, буде світла або темна пляма в залежності від кількості зон Френеля, що вкладаються в поверхні хвильового фронту, обмеженого краями отвору. Праний кількості відповідає темна пляма, непарній – світла. Для розрахунку кількості зон Френеля скористаємось виразом, вважаючи величину r_k рівною радіусу отвору діафрагми r . Маємо:

$$k = r^2(a + b) / ab\lambda = 3.0.$$

Таким чином, в точці спостереження буде світла пляма.

Щоб відповісти на питання задачі, зазначимо таке. Поскільки $r \ll a$ і $r \ll b$, то світлові коливання, що приходять в точку спостереження від кожної з трьох зон Френеля, мають майже однакові амплітуди. При цьому коливання, що приходять з двох сусідніх зон мають протилежні фази, тому гасять одне одного і весь ефект зводиться до дії однієї зони, наприклад першої. Відомо також, що дія всієї хвилі (коли немає діафрагми) рівна половині дії першої зони Френеля. Значить, відсутність діафрагми приведе до зменшення амплітуди світлових коливань в 2 рази. Оскільки освітленість пропорційна квадрату амплітуди світлових коливань, то вона зменшиться в 4 рази.

Задача 12. На щілину падає нормально пучок монохроматичного світла. Розміщена за щілиною лінза з фокусною відстанню 2 м проектує на екран дифракційну картину у вигляді світлих і темних смуг. Ширина центральної світлої смуги 5 см. Як потрібно змінити ширину щілини, щоб центральна смуга займала весь екран при будь-якій його ширині?

Розв`язок:

Зображена на малюнку крива показує розподіл інтенсивності світла на екрані.

Центральна світла смуга розташована між двома мінімумами першого порядку. Її ширина x залежить від кута дифракції φ , що відповідає першому мінімуму. В свою чергу цей кут пов`язаний з шириною щілини d . Оскільки при зміні ширини щілини від d_1 до d_2 величини λ і k залишаються сталими, то

$$d_1 / d_2 = \sin \varphi_1 / \sin \varphi_2,$$

де кути з індексами 1 і 2 відповідають першим дифракційним мінімумам при розмірах щілини d_1 і d_2 відповідно.

З умови задачі випливає, що кут φ_1 малий, тому

$$\sin \varphi_1 \sim \operatorname{tg} \varphi_1 = x / 2f.$$

З другого боку, щоб центральна смуга займала весь екран при будь-якій його ширині, повинна виконуватись умова $\varphi_2 = \pi / 2$, $\sin \varphi_2 = 1$. Враховуючи це, маємо:

$$d_2 = x d_1 / 2f = d_1 / 40.$$

Таким чином, ширину щілини потрібно зменшити в 40 разів.

Задача 13. Визначити довжину хвилі монохроматичного світла, що падає нормально на дифракційну ґратку з періодом 2.2 мкм, якщо кут між максимумами першого і другого порядків спектру 15° .

Розв`язок:

Нехай φ_1 , φ_2 – кути дифракції, що відповідають максимумам першого і другого порядків.

За умовою $\varphi_1 - \varphi_2 = \Delta \varphi$.

З формули для дифракційних максимумів слідує:

$$d \sin \varphi_1 = \lambda, \quad d \sin \varphi_2 = 2\lambda$$

Система рівнянь

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \Delta \varphi, \quad d \sin \varphi_1 = \lambda, \quad d \sin \varphi_2 = 2\lambda$$

містить три невідомих величини: φ_1 , φ_2 , λ .

Розділивши почленно $d\sin\varphi_1 = \lambda$ і $d\sin\varphi_2 = 2\lambda$, маємо:

$$\sin\varphi_2 = 2\sin\varphi_1,$$

або враховуючи

$$\sin(\varphi_1 + \Delta\varphi) = 2\sin\varphi_1.$$

Розв'язавши це тригонометричне рівняння відносно $\sin\varphi_1$, маємо:

$$\sin\varphi_1 = d\sin\Delta\varphi / (5 - 4\cos\Delta\varphi)^{1/2}.$$

Тепер з $d\sin\varphi_1 = \lambda$ з врахуванням $\sin\varphi_1 = d\sin\Delta\varphi / (5 - 4\cos\Delta\varphi)^{1/2}$ знаходимо шукану величину:

$$\lambda = d\sin\Delta\varphi / (5 - 4\cos\Delta\varphi)^{1/2}.$$

Підставивши в останній вираз числові значення, отримуємо: $\lambda = 0.54$ мкм.

Задача 14. При якій мінімальній кількості штрихів дифракційної ґратки з періодом 2.9 мкм можна розділити компоненти дублету жовтої лінії натрію ($\lambda_1 = 0.5890$ мкм і $\lambda_2 = 0.5896$ мкм)?

Розв'язок:

Кількість штрихів N ґратки пов'язана з її роздільною здатністю R і порядком спектру k співвідношенням, звідки випливає, що

$$N = R / k.$$

Мінімальному значенню N_{\min} відповідає мінімальне значення R_{\min} і максимальне число k , тобто

$$N_{\min} = R_{\min} / k_{\max}.$$

Мінімальна роздільна сила ґратки R_{\min} , необхідна для розділення дублету (двох складових) жовтої лінії натрію, виражається через величини довжин хвиль λ_1 , λ_2 за формулою, звідки маємо:

$$R_{\min} = \lambda_1 / (\lambda_2 - \lambda_1)$$

Число k_{\max} знайдемо з формули дифракційної ґратки, якщо в ній прийmemo $\sin\varphi = 1$, $\lambda = \lambda_2$ (останнє співвідношення гарантує, що обидві компоненти дублету з порядковим номером k_{\max} буде видно). Обрахунки дають значення $k_{\max} = 4.9 = 4$. Таким чином маємо:

$$N_{\min} = \lambda_1 / 4(\lambda_2 - \lambda_1) = 2.5 \cdot 10^2.$$

Задача 15. Природне світло падає під кутом Брюстера на поверхню скла з показником заломлення 1.6. Визначити коефіцієнт відбиття світла

Розв'язок:

Коефіцієнт відбиття r показує, яку долю від інтенсивності падаючого світла I становить інтенсивність відбитого світла Γ , тобто:

$$r = \Gamma / I$$

Світло, відбите від діелектрика під кутом Брюстера, повністю поляризоване. При цьому у відбитому промені присутні лише коливання, перпендикулярні площині падіння. Тому на основі формул Френеля маємо:

$$\Gamma = \Gamma = \Gamma \sin^2(i_B - r).$$

Поскільки в природньому світлі величина I складає половину повної інтенсивності I , то з врахування попередніх формул:

$$r = (I / I) \sin^2(i_B - r) = 0.5 \sin^2(i_B - r).$$

Кути i_B , r можна визначити, знаючи показник заломлення n скла. За законом Брюстера $\operatorname{tgi}_B = n = 1.6$. Звідки $i_B = 58^\circ$, $r = 90^\circ - 58^\circ = 32^\circ$;

$$i_B - r = 26^\circ. \text{ Тоді з } r = (I / I) \sin^2(i_B - r) = 0.5 \sin^2(i_B - r)$$

отримаємо:

$$r = 0.5 \sin^2 26^\circ = 0.10 = 10\%.$$

Задача 16. За формулами Френеля визначити коефіцієнт відбиття природного світла при нормальному падінні на поверхню скла ($n = 1.5$).

Розв'язок:

Коефіцієнт відбиття (див. попередню задачу) $r = \Gamma / I$. В усіх випадках, крім падіння світла під кутом Брюстера, відбитий промінь містить коливання як паралельні, так і перпендикулярні до площини падіння. Тому за формулами Френеля можемо записати, що

$$r = (\Gamma + \Gamma) / (I + I).$$

Оскільки на скло падає природне світло (не поляризоване), то

$$I = I.$$

Для відбитого світла в загальному випадку $\Gamma = \Gamma$. Проте, при нормальному падінні світла, коли площина падіння стає невизначеною (бо вона проходить через падаючий промінь і нормаль до поверхні), відбитий промінь залишається природнім. Тому, вибравши довільно площину падіння, запишемо:

$$\Gamma = \Gamma.$$

З наведених вище формул знаходимо, що

$$r = \Gamma / I = \Gamma / I.$$

Будь-яка з останніх рівностей може бути виражена відповідною формулою Френеля. Проте, при нормальному падінні світла, коли $i = 0$, $r = 0$, формули Френеля стають невизначеними. Щоб розкрити невизначеність, будемо вважати кути i , r досить малими, але відмінними від нуля (світло падає майже нормально). Тоді з формул Френеля можна визначити коефіцієнт відбиття світла. Наприклад, замінивши синуси малих кутів значеннями кутів, маємо: $r = \Gamma / I = (i - r)^2 / (i + r)^2$.

Розділивши чисельник і знаменник дробу на r і враховуючи, що для малих кутів $i / r = n$, маємо:

$$r = (n - 1)^2 / (n + 1)^2 = 4 \cdot 10^{-2} = 4\%.$$

Задача 17. Параксіальний пучок світла проходить крізь центровану оптичну систему з п'яти скляних лінз ($n = 1.5$). Враховуючи результати попередньої задачі, визначити, яка доля світла пройде через прилад. Поглинанням світла в склі знехтувати.

Розв'язок:

З умови задачі випливає, що світло, проходячи оптичну систему, падає нормально (або майже нормально) на поверхні всіх лінз. Проходячи кожну лінзу, світло відбивається двічі: один раз – на передній поверхні лінзи, другий раз – на задній поверхні. Очевидно, що доля світла, яка пройшла крізь всю систему, залежить від коефіцієнтів відбиття світла на обох поверхнях кожної лінзи.

Вважаємо, що лінзи знаходяться в повітрі. Відбиття світла від передньої поверхні відповідає випадку, розглянутому в попередній задачі, тому для коефіцієнта відбиття маємо: $r = (n - 1)^2 / (n + 1)^2$.

При відбитті світла від задньої поверхні лінзи середовища «скло-повітря» міняються ролями. Якщо у виразі $r = (n - 1)^2 / (n + 1)^2$ замість n підставити обернену величину $n' = 1 / n$, де n' – показник заломлення повітря відносно скла, то

$$r_1 = (n' - 1)^2 / (n' + 1)^2 = (1/n - 1)^2 / (1/n + 1)^2 = (1 - n)^2 / (1 + n)^2.$$

Порівнявши вирази бачимо, що $r_1 = r$. Таким чином, для всіх $2N$ поверхонь лінз коефіцієнти відбиття світла однакові.

Нехай I – інтенсивність світла, що падає на систему лінз, I_1 – інтенсивність світла, яке пройшло крізь першу межу. На цій межі відіб'ється (rI) світла. Тоді

$$rI + I_1 = I, \text{ або ж } I_1 = I - rI = I(1 - r).$$

Аналогічно, інтенсивність світла, що пройшло другу межу,

$$I_2 = I_1(1 - r) = I(1 - r)^2 \text{ і т.д.}$$

Тоді, інтенсивність світла, яке пройшло крізь всю систему лінз:

$$I_{2N} = I(1 - r)^{2N}.$$

Взявши числове значення коефіцієнту відбиття з попередньої задачі, знаходимо: $I_{2N} / I = (1 - r)^{2N} = (0.96)^{10} = 0.7$.

Задача 18. Два ніколи N_1 і N_2 розташовані так, що кут між площинами коливань рівний 60° . При проходженні кожного з ніколів втрати світла на відбиття і поглинання становлять 5%.

1. В скільки разів зменшиться інтенсивність світла при проходженні через ніколь N_1 ?
2. В скільки разів зменшиться інтенсивність світла після проходження через обидва ніколи?

Розв'язок:

1. Природне світло, падаючи на грань призми Ніколя, внаслідок подвійного променезаломлення розчіплюється на два промені: звичайний і незвичайний. Обидва промені мають однакову інтенсивність і повністю поляризовані. Площина коливань для незвичайного (e) променя лежить в площині ма-

люнка (площина головного перерізу). Площина коливань для звичайного (o) променя перпендикулярна до площини малюнка. Звичайний промінь внаслідок повного внутрішнього відбиття на межі склеяння призми (межа AB) падає на чорну поверхню призми і поглинається в ній. Незвичайний промінь проходить крізь призму, зменшуючи свою інтенсивність на величину втрат. Таким чином, інтенсивність світла, яке пройшло крізь першу призму:

$$I_1 = 0.5I_o(1 - k),$$

де $k = 0.05$ (5%) – відносна втрата інтенсивності світла і призмі, I_o – інтенсивність природного світла, що падає на перший ніколь.

Відносну зміну інтенсивності світла отримаємо, поділивши інтенсивність природного світла I_o на інтенсивність поляризованого світла I_1 :

$$I_o / I_1 = I_o / 0.5I_o(1 - k) = 2 / (1 - k).$$

Підставивши числові значення, знаходимо:

$$I_o / I_1 = 2 / (1 - 0.05) = 2.1.$$

2. Плоскополяризований промінь світла інтенсивності I_1 падає на ніколь N_2 і також розщеплюється на звичайний і незвичайний. Звичайний промінь повністю поглинається призмою, а інтенсивність незвичайного променя I_2 , що вийшов з призми N_2 , визначається законом Малюса (без врахування втрат в другому ніколі):

$$I_2 = I_1 \cos^2 \alpha,$$

де α – кут між площиною коливань в поляризованому промені і площиною коливань, які пропускає ніколь N_2 без послаблення. Враховуючи втрати інтенсивності в другому ніколі, маємо:

$$I_2 = I_1(1 - k) \cos^2 \alpha.$$

Шукане зменшення інтенсивності при проходженні світла крізь обидві призми знайдемо, поділивши інтенсивність природного світла на інтенсивність світла I_2 :

$$I_o / I_2 = I_o / I_1(1 - k) \cos^2 \alpha.$$

Замінивши відношення I_o / I_1 виразом з випадку (1), отримаємо:

$$I_o / I_2 = 2 / (1 - k)^2 \cos^2 \alpha.$$

Обчислимо:

$$I_o / I_2 = 2 / (1 - 0.05)^2 \cos^2 60^\circ = 8.86.$$

Тобто, проходженні світла крізь перший ніколь інтенсивність світла зменшується в 2.1 рази, а після проходження двох призм – у 8.86 рази.

Задача 19. З кварцу потрібно вирізати пластинку, паралельну оптичній вісі кристалу, товщиною біля 0.6 мм так, щоб плоскополяризований промінь жовтого світла ($\lambda = 0.589$ мкм), пройшовши пластинку, став поляризованим по колу. Розрахувати товщину пластинки, якщо для жовтих променів в кварці показники заломлення звичайного і незвичайного променів відповідно дорівнюють:

$$n_o = 1.544, n_e = 1.553.$$

Розв'язок:

Швидкість світла в кристалі залежить від кута α між вектором світлових коливань E і оптичною віссю кристалу. Оскільки в кварці при $\alpha = \pi / 2$ швидкість світла найбільша, то показник заломлення n_e – найменший; при $\alpha = 0$ ситуація зворотна. Тому, якщо на пластинку кварцу K , вирізану паралельно оптичній вісі кристалу, падає плоскополяризований промінь, світлові коливання якого мають амплітуду E_o і становлять кут α з віссю кристалу, то всередині пластинки буде поширюватись в одному напрямку, але з різними швидкостями два промені – дві компоненти поляризованого світла.

В одному промені – звичайному – коливання перпендикулярні оптичній вісі і мають амплітуду $E_o \sin \alpha$, а в другому – незвичайному – коливання паралельні оптичній вісі і мають амплітуду $E_o \cos \alpha$. Зазначимо, що при $\alpha = 45^\circ$ амплітуди обох променів однакові.

Маючи різні швидкості поширення, звичайний і незвичайний промені, пройшовши пластинку K , отримують певну різницю фаз φ , яка пов'язана з оптичною різницею ходу Δ співвідношенням:

$$\varphi = 2\pi\Delta / \lambda.$$

де величина різниці ходу променів визначається:

$$\Delta = \lambda(n_e - n_o).$$

З цих виразів знаходимо, що різниця фаз обох променів буде:

$$\varphi = 2\pi\lambda(n_e - n_o) / \lambda.$$

При додаванні взаємно перпендикулярних коливань однакових періодів, але різних фаз виникнуть еліптичні коливання, при яких кінець вектора E описує еліпс. Зокрема, при рівності амплітуд ($\alpha = 45^\circ$) і різниці фаз $\varphi = \pi / 2$ еліпс перетвориться в коло – світло буде поляризоване по колу. Такий же результат буде, якщо різниця фаз рівна

$$\varphi = \pi / 2 + 2k\pi, (k = 0, 1, 2, 3, \dots)$$

З останніх двох рівностей знаходимо товщину пластинки кварцу, при якій світло буде мати поляризацію по колу:

$$\lambda = [(k + \lambda / 4)\lambda] / (n_e - n_o).$$

Підставивши в $\lambda = [(k + \lambda / 4)\lambda] / (n_e - n_o)$ числові значення (λ приймаємо рівним 0.6 мкм), знаходимо для числа k значення 8.9. Оскільки k повинно бути цілим, то округлюємо результат до ближчого цілого числа: $k = 9$. Підставивши це значення в $\lambda = [(k + \lambda / 4)\lambda] / (n_e - n_o)$ знаходимо точну товщину пластинки для кругової поляризації світла:

$$\lambda = 0.605 \text{ мм.}$$

ТЕМАТИЧНІ ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

Фотометрія

1. Фотометрія – це розділ оптики, в якому вивчають...

- а) основні поняття оптики та закони;*
- б) накладання світлових хвиль та їх відхилення від прямолінійного руху;*
- в) світло та прилади його вимірювання;*
- г) способи вимірювання світлових явищ, розробляють методи їх вимірювання.*

2. Світло – це...

- а) видима енергія;*
- б) видиме випромінювання;*
- в) промені;*
- г) світлова енергія.*

3. Світловий промінь – це лінія...

- а) вздовж якої поширюється світло;*
- б) поширення енергії;*
- в) поширення коливань;*
- г) вздовж якої поширюються промені.*

4. Спектр, що має неперервні різнокольорові смужки називають...

- а) суцільним;*
- б) лінійним;*
- в) нерозривним;*
- г) лінійчастим.*

5. Формула яскравості:

а) $L = \frac{dS \cos \Theta}{dI}$;

$$б) L = \frac{dI}{dS \cos \Theta};$$

$$в) L = \frac{dI \cos \Theta}{dS};$$

$$г) L = \frac{dI}{dS}.$$

6. Формула світності:

$$а) M = \frac{d\Phi}{dI};$$

$$б) M = \frac{d\Phi}{dS};$$

$$в) M = \frac{dI}{d\Phi};$$

$$г) M = \frac{dS}{d\Phi}.$$

7. Під силою світла розуміють фізичну величину, яка чисельно дорівнює...

- а) світловому потоку, що випромінюється точковим джерелом світла через одиничний тілесний кут;
- б) світловому потоку, що випромінюється природним джерелом світла за певний проміжок часу;
- в) відношенню світлового потоку до освітленості, що визначає світловий потік;
- г) добутку світлового потоку до тілесного кута.

8. Експозиція визначається...

- а) освітленістю і проміжку часу освітлення поверхні;
- б) джерелом світла;
- в) імпульсом і моментом імпульсу світлових хвиль;
- г) силою світла і освітленістю.

9. Для плоскої монохроматичної хвилі, поляризованої по колу, вектор густини потоку моменту імпульсу визначається формулою:

а) $M = \frac{\omega}{S};$

б) $M = \left(\frac{S}{\omega}\right)^2;$

в) $M = \frac{S}{\omega};$

г) $M = S\omega;$

10. Яскравість визначається формулою:

а) $B_\varphi = d\Phi d\Omega d\sigma \cos \varphi;$

б) $B_\varphi = \frac{d\Phi^2}{d\Omega d\sigma \cos \varphi};$

в) $B_\varphi = \left(\frac{d\Phi}{d\Omega d\sigma \cos \varphi}\right)^2;$

г) $B_\varphi = \frac{d\Phi}{d\Omega d\sigma \cos \varphi}.$

11. Монохроматичне світло являє собою сукупність

а) *точкових джерел, що розміщені один біля одного;*

б) *випромінювань, частота яких змінюється неперервно у вузькому інтервалі;*

в) *випромінювань з кількох джерел;*

г) *випромінювань, частота яких не змінюється.*

12. Енергія, що переноситься світловими променями за одиницю часу через поверхню $d\sigma$ у тілесному куті $d\Omega$, називається...

а) *потокм випромінювання;*

б) *світловим потоком;*

в) *світловою ефективністю;*

г) *густина світлової енергії.*

Геометрична оптика

1. Світло в однорідному прозорому середовищі поширюється...

- а) по колу;*
- б) уздовж дуги;*
- в) по дотичній;*
- г) прямолінійно.*

2. Заломлення характеризується...

- а) кутом падіння і кутом відбивання;*
- б) кутом відбивання і кутом заломлення;*
- в) кутом заломлення і кутом падіння;*
- г) кутом падіння і кутом огинання.*

3. Виберіть найбільш повну і правильну відповідь. Лінзи характеризуються...

- а) лінією, форму, прозорість;*
- б) лініями, точками, поверхнями;*
- в) поверхнями, кривизною, точками;*
- г) точками, лініями, прозорість.*

4. В похмурий день туристи фотографують один одного. Виберіть правильну відповідь.

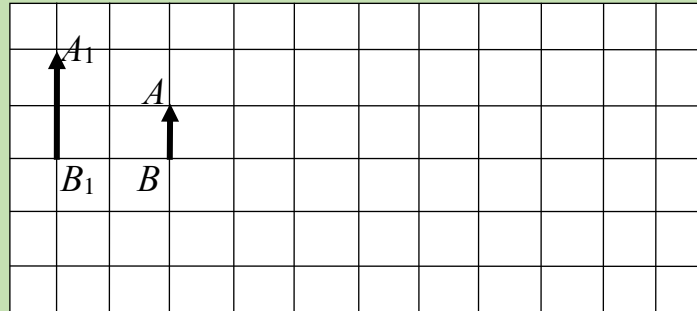
- а) об'єктив дає на плівці уявне зображення туриста;*
- б) зображення на плівці виходить перевернутим;*
- в) затвор фотоапарата має відкриватися на більший час, ніж при фотографуванні в ясний сонячний день;*
- г) всі твердження правильні.*

5. Фокусна відстань однієї лінзи становить 25 см., а друга – у два рази менша. Визначте, на скільки відрізняється їх оптична сила.

- а) 2 дптр;*
- б) 4 дптр;*

- в) 6 дптр;
- г) 8 дптр.

6. На рисунку показані предмети AB і його зображення A_1B_1 отримане за допомогою лінзи. Відстань між лініями сітки дорівнює 5 см. Вкажіть правильне твердження.



- а) лінза є збиральною. Оптична сила більше 1 дптр;
- б) зображення A_1B_1 є дійсними і пряме;
- в) лінза є розсіювальною. Оптична сила менша 1 дптр;
- г) зображення A_1B_1 є пряме і уяви.

7. Скільки разів заломлюється промінь, який падає під кутом 45° на плоскопаралельну пластину і виходить з неї?

- а) 3 рази;
- б) 2 рази;
- в) 1 раз;
- г) промінь не заломлюється.

8. Волоконна оптика – це певна галузь науки та техніки, в якій використовують оптичні...

- а) явища в прозорих діелектричних світлопроводах;
- б) прилади з використанням кольорових лінз;
- в) явища в непрозорих середовищах;
- г) прилади для знаходження аберацій.

9. Предмет перебуває на відстані 150 см. від збиральної лінзи, фокусна відстань якої становить 20 см. Яке буде зображення предмета і на скільки воно відрізняється від його розмірів.

- а) зображення зменшене в 4 рази, пряме, уявне;*
- б) зображення збільшене в 4 рази, перевернуте, дійсне;*
- в) зображення збільшене в 4 рази, пряме, уявне;*
- г) правильної відповіді немає.*

10. Світловий промінь падає на тригранну порожнисту призму, яка міститься в посудині з водою. Нехтуючи товщиною граней, які будуть промені в призмі після виходу з неї.

- а) перший кут буде заломлений менше ніж кут падіння, а другий – більше;*
- б) перший кут буде заломлений більше ніж кут падіння, а другий – менше;*
- в) всі кути будуть однаковими;*
- г) правильної відповіді немає.*

11. Оптична сила лінзи дорівнює 5 дптр. Чому дорівнює фокусна відстань цієї лінзи?

- а) 10 см.;*
- б) 10,5 см.;*
- в) 20 см.;*
- г) 20,5 см.*

12. Світло падає на поверхню скла з показником заломлення $1,5$. $2/3$ кута між падаючим і відбитим променем становить 80° . Визначте, чому дорівнює кут заломлення променя.

- а) 36° ;*
- б) 38° ;*
- в) 40° ;*
- г) 46° .*

Інтерференція світла

1. Інтерференцією світла називається...

- а) утворення стійкої картини тах і тіп освітленості при накладанні двох або більшого числа когерентних світлових хвиль;*
- б) утворення монохроматичної хвилі;*
- в) накладання двох або більшого числа світлових об'єктів під дією світла;*
- г) утворення стійкої картини при накладанні двох зображень.*

2. Вкажіть, за яких умов спостерігається інтерференція:

- а) амплітуди коливань хвиль повинні бути однаковими;*
- б) амплітуди і частота коливань хвиль повинні бути однаковими;*
- в) довжини хвиль повинні бути однаковими;*
- г) світлові хвилі повинні бути когерентними.*

3. Вкажіть формулу для визначення інтерференційного максимуму (вважайте $k = 0, 1, 2, \dots$)

- а) $\Delta l = (2k + 1)\lambda$;*
- б) $\Delta l = (2k - 1)\lambda$;*
- в) $\Delta l = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}$;*
- г) $\Delta l = k\lambda$.*

4. Вкажіть результат інтерференції в точці на екрані, якщо різниця ходу двох когерентних хвиль до неї дорівнює цілому числу довжин хвиль:

- а) інтерференційний максимум;*
- б) інтерференційний мінімум;*
- в) може бути і максимум і мінімум;*
- г) відбивання світла від межі розділу двох середовищ.*

5. У деяку точку простору надходить дві когерентні світлові хвилі довжиною 600 нм з різницею ходу $1.2 \cdot 10^{-6}$ м. Що станеться в цій точці внаслідок інтерференції в повітрі, у воді, у склі з показником заломлення 1,5?

- а) підсилення, підсилення, підсилення;*
- б) підсилення, послаблення, послаблення;*
- в) підсилення, послаблення, підсилення;*
- г) послаблення, підсилення, послаблення.*

6. Жовті промені з довжиною хвилі $5,89 \cdot 10^{-5}$ см., пройшовши через вузькі щілини, відстань між якими 0,1 мм., падають на екран і дають інтерференційні смуги. Визначити відстань між центрами двох сусідніх слуг, якщо відстань від щілини до екрана 1 м.

- а) 1.589 см.;*
- б) 1 см.;*
- в) 0,0589 см.;*
- г) 0,589 см.*

7. Два когерентних джерела світла з довжиною хвилі $5 \cdot 10^{-7}$ м розміщені на відстані 2 мм. одне від одного. Паралельно лінії, яка сполучає джерела, розміщено екран на відстані 2 м від них. Що спостерігатиметься в точці екрана, яка міститься під одним з джерел – світла чи темна пляма?

- а) світла пляма;*
- б) темна пляма;*
- в) чергування плям;*
- г) правильної відповіді немає.*

8. Монохроматичне світло з довжиною хвилі $4,4 \cdot 10^{-7}$ м переходить із скла у вакуум. Визначити, на скільки при цьому збільшиться довжина хвилі, якщо абсолютний показник заломлення скла 1,5. З якою швидкістю світло поширюється в склі?

- а) на $2,2 \cdot 10^{-7}$ м; $2 \cdot 10^8$ м/с;*
- б) на $0,22 \cdot 10^{-7}$ м; $4 \cdot 10^8$ м/с;*
- в) на $22 \cdot 10^{-7}$ м; $2 \cdot 10^8$ м/с;*
- г) на $4 \cdot 10^{-7}$ м; $4 \cdot 10^8$ м/с.*

9. Екран освітлений двома точковими джерелами когерентного світла, довжина хвилі якого 400 нм. У деякій точці екрана спостерігаються інтерференційний мінімум. Вкажіть можливу різницю ходу двох світлових хвиль до цієї точки:

- а) 2,2 мкм;*
- б) 1,9 мкм;*
- в) 1,5 мкм;*
- г) 2,4 мкм.*

10. Як змінюватиметься інтерференційна картина на екрані якщо когерентні джерела будуть випромінювати монохроматичне світло з більшою довжиною хвилі?

- а) відстань між мінімумами зменшуватиметься, мінімуми стискаються;*
- б) відстань між максимумами збільшуватиметься, максимуми розширюватимуться;*
- в) відстань між мінімумами збільшуватиметься;*
- г) відстань між максимумами зменшуватиметься.*

11. На шляху одного з інтерферуючих променів розміщена перпендикулярно до нього тонка скляна пластинка ($n = 1,6$). Внаслідок цього центральна світла смуга змістилася в положення, де до того була шоста світла смуга, не рахуючи центральної. Яка товщина пластини, якщо довжина світлової хвилі 0,66 мкм.

- а) 7,5 мкм;*
- б) 1,9 мкм;*
- в) 3 мкм;*
- г) 6,6 мкм.*

Дифракція світла

1. Роздільна здатність дифракційної решітки визначається за формулою

$$a) R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda};$$

$$б) R = \frac{\Delta\lambda}{\lambda};$$

$$в) R = \Delta\lambda\lambda;$$

$$г) R = \frac{\Delta\lambda^2}{\lambda}.$$

2. Яка із наведених формул є формула Вульфа-Брегга (умова дифракційного максимуму)

$$a) 2d = \pm k \sin \varphi \lambda;$$

$$б) 2d \sin \varphi = \pm k \lambda;$$

$$в) 2d \lambda = \pm k \sin \varphi;$$

$$г) \pm kd \sin \varphi = 2\lambda.$$

3. Умова дифракційного мінімуму

$$a) 2d \sin \varphi = (2k + 1) \frac{\lambda}{\Delta\lambda};$$

$$б) (2k + 1)d \sin \varphi = \frac{\lambda}{\Delta\lambda};$$

$$в) 2d = (2k + 1) \frac{\lambda}{\Delta\lambda};$$

$$г) (2k + 1)d \sin \varphi = 2 \frac{\lambda}{\Delta\lambda}.$$

4. За допомогою дифракційної решітки з періодом $2 \cdot 10^{-2}$ м дістали дифракційний спектр першого порядку на відстані $2,43 \cdot 10^{-2}$ м від центрального, а відстань від решітки до екрана 1 м. Визначити довжину світлової хвилі

$$a) 5,86 \cdot 10^{-2} \text{ м};$$

$$б) 6,6 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

в) $4,89 \cdot 10^{-7} \text{ м};$

г) $6,6 \cdot 10^{-7} \text{ м}.$

5. Розміри зон Френеля визначаються формулами:

а) $r_k = \sqrt{\frac{a+b}{ab}} k \lambda;$

б) $r_k = k \lambda \sqrt{\frac{ab}{a+b}};$

в) $r_k = \sqrt{\frac{k \lambda}{ab+b}};$

г) $r_k = \sqrt{\frac{ab}{a+b}} k \lambda.$

6. Знайти найбільший порядок спектра для жовтої лінії натрію з довжиною хвилі $5,89 \cdot 10^{-7} \text{ м}$, якщо період дифракційної решітки $2 \cdot 10^{-6} \text{ м}$.

а) 1;

б) 3;

в) 2;

г) 4.

7. На дифракційну решітку перпендикулярно до її поверхні падає монохроматичний пучок світла з довжиною хвилі 500 нм. На відстані 1 м паралельно решітці розміщений екран, на якому відстань між центральним і третім дифракційним зображенням становить 15 см. Який період дифракційної решітки?

а) $10^{-2} \text{ м};$

б) $10^{-3} \text{ м};$

в) $10^{-4} \text{ м};$

г) $10^{-5} \text{ м}.$

8. Дифракційна решітка, на кожному міліметрі якої нанесено 75 штрихів, освітлюється монохроматичним світлом з довжиною хвилі 500 нм. На якій відстані від решітки розміщений екран, на якому утворюється дифракційний спектр, якщо відстань від центрального зображення до другого спектра становить 11,25 см.?

а) 1 м;

б) 1,5 м;

в) 2 м;

г) 2,5 м.

9. Який кут відхилення променів зеленого монохроматичного світла, довжина якого 540 нм, у спектрі другого порядку, одержану за допомогою дифракційної ґратки з періодом 0,02 мм?

- a) 3° ;
- б) 10° ;
- в) 2° ;
- г) 5° .

10. За допомогою дифракційної решітки, що має 40 штрихів на 1 мм., визначили спектрометром довжину хвилі жовтого світла, випущеного розжареною парою натрію. Під час вимірювання виявилось, що четверте дифракційне зображення щілини відхилено на 6° від центрального зображення. Чому дорівнює довжина хвилі жовтого світла?

- a) $6,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$;
- б) $4 \cdot 10^{-7} \text{ м}$;
- в) $6,5 \cdot 10^{-9} \text{ м}$;
- г) $4 \cdot 10^9 \text{ м}$.

11. Дифракційна ґратка, період якої 1 мкм, освітлюється зеленим світлом з довжиною хвилі 500 нм. Визначте найбільший порядок спектра, який можна спостерігати за допомогою цієї ґратки.

- a) 6;
- б) 5;
- в) 4;
- г) 3.

12. Формула лінійної дисперсії:

- a) $D_{\text{лін}} = \frac{dl^2}{d\lambda}$;
- б) $D_{\text{лін}} = dl + d\lambda$;
- в) $D_{\text{лін}} = \frac{d\lambda}{dl}$;
- г) $D_{\text{лін}} = \frac{dl}{d\lambda}$.

Поляризація світла

1. Яке явище експериментально підтверджує, що вільні електромагнітні хвилі поперечні?

- а) інтерференції;*
- б) фотоефекту;*
- в) поляризації;*
- г) дисперсії.*

2. Закінчіть речення: «Поляризація є...»

- а) еліптична і колова;*
- б) колова і сферична;*
- в) пряма і пропорційна;*
- г) еліптична і пряма.*

3. Закінчіть речення: «Світло, в якому напрям коливань електричного вектора в будь-якій площині простору з часом не змінюється, називають...»

- а) природним;*
- б) плоскополяризованим;*
- в) частково поляризованим;*
- г) еліптично поляризованим.*

4. Закінчіть речення: «Якщо для електричного вектора існує переважаючий напрям, то світло називають...»

- а) природним;*
- б) плоскополяризованим;*
- в) частково поляризованим;*
- г) еліптично поляризованим.*

5. Ступінь поляризації визначається виразом:

*а)
$$P = \frac{|I_x - I_y|}{I_x + I_y};$$*

б) $P = \frac{l_x l_y}{l_z};$

в) $P = \frac{l_x}{l_y};$

г) $P = \frac{l_x l_y}{l_x + l_y}.$

6. Який вчений встановив кількісні співвідношення для амплітуд відбитого і заломленого світла з коливаннями в площині падіння і перпендикулярній до неї?

- а) О. Ремер;
- б) Т. Юнг;
- в) І. Фізо;
- г) О. Френель.

7. Закінчіть речення: «Співвідношення $\operatorname{tg} i_B = n / n_0$ виражає...»

- а) співвідношення Юнга;
- б) закон Енштейна;
- в) співвідношення Фізо;
- г) закон Брюстера.

8. Яке явище спостерігав Бартоліні при проходженні світла крізь кристал ісландського шпату?

- а) поляризації;
- б) відбивання;
- в) подвійного заломлення променів;
- г) абсолютного поглинання променів.

9. Закінчіть речення: « Вираз $B = \frac{k}{\lambda}$ називається ...»

- а) коефіцієнтом пропорційності;
- б) сталою Керра;
- в) сталою Верде;
- г) пропорційністю поляризації.

10. Закінчіть речення: «Вираз $I = I_1 \cos^2 \beta$ виражає...»

- a) закон Брюстера;
- б) закон Малюса;
- в) закон Фізо;
- г) закон Гюйгенса.

11. Різниця фаз між звичайним і незвичайним променями, яка виникає при проходженні пластинки, залежатиме не тільки від товщини пластинки, але й відкута падіння i визначатиметься співвідношенням:

a)
$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{d}{\cos i} (n_o - n_e);$$

б)
$$\delta = \frac{2\pi \cos i}{(n)};$$

в)
$$\delta = \frac{\sin i}{2\pi\omega} d;$$

г)
$$\delta = 2\pi d \frac{(n_o + n_e)}{\cos i}.$$

12. Визначити за допомогою формул Френеля коефіцієнт відбивання світла на межі повітря – скло при майже нормальному його падінні ($i \approx 0$).

- a) 0,2%;
- б) 12%;
- в) 70%;
- г) 4%.

Розсіяння, поглинання, дисперсія світла

1. Закінчіть речення: «Поширення світла в середовищі у напрямках, відрізнених від напрямку поширення падаючої хвилі, називається...»

- а) розсіянням світла;*
- б) поглинанням світла;*
- в) поляризацією світла;*
- г) заломленням світла.*

2. Що відбувається зі світлом під час проходження паралельного пучка світла крізь шар прозорого середовища?

- а) його інтенсивність збільшується;*
- б) його інтенсивність зменшується;*
- в) нічого не відбувається;*
- г) світло повністю відбивається.*

3. Закінчіть речення: «Дисперсією називають залежність показника заломлення від...»

- а) кута падіння променів;*
- б) частоти коливань;*
- в) густини середовища;*
- г) оптичної густини середовища.*

4. Закінчіть речення: «Дисперсією речовини, для якої $\frac{dn}{d\lambda} < 0$, називають...»

- а) аномальною дисперсією;*
- б) кутовою дисперсією;*
- в) лінійною дисперсією;*
- г) нормальною дисперсією.*

5. Як називається розсіяння, що виникає в оптичному середовищі, в якому поширюються акустичні хвилі?

- a) розсіяння Мандельштама-Бріллюена;
- б) молекулярне розсіяння;
- в) вторинне розсіяння;
- г) релеївське розсіяння.

6. Як називається середовище, показник заломлення якого залежить від координат?

- a) каламутне;
- б) молекулярне;
- в) оптично неоднорідне;
- г) оптично однорідне.

7. Закінчіть речення: «Величина $\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \frac{1}{\rho} = R$ називається...»

- a) формулою Лоренца-Лоренца;
- б) питомою поглинання;
- в) питомою випромінювання;
- г) питомою рефракцією.

8. Виберіть вираз, що виражає закон Релея:

- a) $I = \frac{\lambda^4}{4}$;
- б) $I = \frac{1}{\lambda}$;
- в) $I \sim \frac{1}{\lambda^4}$;
- г) $I \sim \frac{\lambda^4}{1}$.

9. Закінчіть речення: «Співвідношення $I = I_0 e^{-\alpha_0 c_0 l}$ виражає закон...»

- a) Бугера-Ламберта-Бера;
- б) Фрелея;

- в) Фізо;
- г) Юнга.

10. Закінчіть речення: «Інтенсивність розсіяного світла залежить від кута розсіяння і виражається формулою...»

- а) $I_{\theta} = I_{\perp} \cos \theta$;
- б) $I_{\theta} = I_{\perp} (1 + \cos^2 \theta)$;
- в) $I_{\perp} = I_{\theta} (1 - \sin I)$;
- г) $\theta_e = I_{\theta} \sin^{-1} I$.

11. Виберіть формулу для визначення абсолютного значення флуктуації густини для ідеального газу:

- а) $\overline{\Delta \rho} = \frac{m^2}{v} N_0$;
- б) $\overline{\Delta \rho} = \frac{m^2}{v} N_{0m^4}$;
- в) $\overline{\Delta N} = \frac{m^2}{v} I_0$;
- г) $\overline{\Delta \rho^2} = \frac{m^2 N_0}{v_0}$.

12 Коефіцієнт поглинання кремнію 10^4 см^{-1} . Якої товщини шар кремнію пропускає 50% інтенсивності світла?

- а) $d = 0,93 \text{ мкм}$;
- б) $d = 6554 \text{ м}$;
- в) $d = 6,93 \text{ мкм}$;
- г) $d = 93,6 \text{ мкм}$;

Релятивістські ефекти в оптиці

1. Вкажіть вченого, який вперше визначив швидкість світла в лабораторних умовах:

- a) Фуко;
- б) Фізо;
- в) Бродлей;
- г) Майкельсон.

2. Вкажіть вченого, який вперше визначив швидкість світла астрономічним способом:

- a) Ісаак Ньютон;
- б) Олаф Ремер;
- в) Іполит Фізо;
- г) Томас Юнг.

3. Вкажіть фізичну величину, що вимірюється у світлових роках:

- a) час;
- б) маса;
- в) енергія;
- г) довжина.

4. Закінчіть речення: «Залежність частоти від відносної швидкості джерела і приймача називають...»

- a) ефект Фарадея;
- б) ефект Керра;
- в) ефект Доплера;
- г) ефект Комптона.

5. Що змінюється в повздовжньому ефекті Доплера?

- a) довжина хвилі;
- б) частота;

- в) енергія;
- г) напруга.

6. Вкажіть вченого, який створив загальну теорію відносності, яку називають також релятивістською теорією тяжіння:

- а) А. Ейнштейн;
- б) І. Ньютон;
- в) А. Бонч-Бруєвич;
- г) Т. Юнг.

7. Який вчений виявив зміщення спектральних ліній у випромінюванні деяких небесних тіл?

- а) Доплер;
- б) Голіцин;
- в) Фізо;
- г) Белопольський.

8. Які вчені вперше здійснили дослідження ефекту Доплера в лабораторних умовах?

- а) Юнг і Белопольський;
- б) Фізо і Юнг;
- в) Фізо і Голіцин;
- г) Белопольський і Голіцин.

9. Вкажіть формулу, що виражає ефект Доплера:

а)
$$v = v_0 \frac{\sqrt{1 - \beta^2}}{1 + \beta \cos \theta};$$

б)
$$v = \frac{\sqrt{\cos^2 \theta}}{1 + \beta};$$

в)
$$v = v_0 + \cos^2 \beta;$$

г)
$$v = v_0 \frac{1 + \beta \cos \theta}{\sqrt{1 - \beta^2}}.$$

10. Що виражає дане співвідношення $v' = v \sqrt{\frac{1 - v/c}{1 + v/c}}$?

- а) перехід від циклічної частоти ω до звичайної ν ;
- б) перехід від звичайної частоти ν до циклічної ω ;
- в) відношення циклічної ω до звичайної ν
- г) додавання частот.

11. Закінчіть речення: «Співвідношення $u = \frac{u' + v}{1 + \frac{u'v}{c^2}}$ виражає...»

- а) додавання частот;
- б) ефект Доплера;
- в) теорему Фізо;
- г) теорему додавання швидкостей.

12. Два прискорювачі викидають назустріч один одному дві частинки з швидкостями $v_1 = 200000$ км/с і $v_2 = 150000$ км/с. Яка швидкість першої частинки відносно другої?

- а) $98 \cdot 10^{11}$ м/с;
- б) $23,4 \cdot 10^{-8}$ м/с;
- в) $2,625 \cdot 10^8$ м/с;
- г) 0,4455 км.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Значне місце у вивченні загальної фізики займають навчальні лабораторні роботи з розділу «Оптика». Це пояснюється розвитком науки і техніки. Лабораторні роботи дають можливість вивчення, вимірювання та пояснення різних фізичних явищ, а також відтворення в лабораторних умовах фізичних процесів з метою їх детальнішого вивчення. Студенти повинні виробити стійкі і свідомі навички в проведенні вимірювань, обробці, представленні та поясненні отриманих результатів. Особливу увагу слід звернути на дотримання вимог техніки безпеки.

Підготовка до виконання робіт

Перед виконанням лабораторної роботи студент повинен:

- опрацювати інструкцію до роботи;
- знати мету виконання роботи та основні її завдання;
- усвідомити основні теоретичні положення і закони, на яких базується виконання роботи;
- якщо самостійне опрацювання матеріалу за літературою, вказаною в інструкції, виявилось недостатнім для розуміння суті явищ чи процесів, слід звернутись за консультацією до викладача;
- ознайомитись з робочим місцем та обладнанням, яке використовується в процесі виконання роботи;
- якщо спосіб використання окремого обладнання студенту невідомий, то йому потрібно взяти у лаборанта технічну інструкцію до цього обладнання і опрацювати її; рівень роботи студента з обладнанням оцінює лаборант;
- чітко розмежувати величини, які слід виміряти в ході виконання роботи і величини, які будуть обчислені;
- знати порядок виконання роботи та послідовність операцій;
- підготувати таблиці для запису результатів вимірювань і обрахунків, а також папір для побудови графіків.

Допуск до виконання робіт

Допуск до виконання лабораторних робіт дає керівник занять. У співбесіді зі студентом (або бригадою) встановлюється ступінь їх готовності до заняття. Якщо студент не може сформулювати основні положення теорії, на яких базується робота, описати послідовність виконання досліджень, не вміє працювати з обладнанням – то він до виконання роботи не допускається.

Після отримання допуску студенти одержують додатковий інструктаж з техніки безпеки на робочому місці стосовно конкретної роботи, уточнені завдання до роботи, беруть в лаборанта додаткове обладнання чи прилади. Допуск студентів до виконання робіт оцінюється і фіксується в лабораторному журналі.

Виконання лабораторних робіт та дотримання вимог техніки безпеки

При виконанні лабораторних робіт слід дотримуватись таких правил:

1. Дотримуватись розпорядку роботи в лабораторії і правил техніки безпеки, з якими студенти ознайомлені на вступному занятті та при допуску до виконання роботи.
2. Без перевірки викладачем або лаборантом готовності до дії установки і електричної схеми не можна починати вимірювання, щоб не зіпсувати прилади. Напруга на робочі місця подається лише з дозволу керівника занять чи лаборанта. Самостійно вмикати розподільний щит або змінювати положення перемикачів на ньому забороняється.
3. Не можна брати без дозволу прилади з інших робочих місць.
4. Якщо в процесі виконання роботи виникають неполадки в роботі приладів або обладнання, про це слід негайно повідомити керівника заняття і лаборанта. Самостійно налагоджувати роботу приладів не дозволяється.
5. Будьте обережні при роботі з приладами, які працюють під напругою, а також при роботі з вимірювальними приладами (мікрометр, штангенциркуль і т.д.). Повертати їх гвинти слід при малих зусиллях. Якщо цього зробити не вдається, зверніться до керівника занять чи лаборанта.

6. Результати вимірювань занести до таблиць, заздалегідь продумавши їх форму, якщо вона не вказана в інструкції.
7. Вимірювання кожної величини проводити не менше трьох разів, щоб звести до мінімуму похибки.
8. Після закінчення експерименту, не розбираючи пристрою, слід обчислити кінцеві результати; якщо вони незадовільні, треба заново провести вимірювання.
9. Обговорити з керівником занять чи лаборантом отримані результати. Вони підписуються викладачем або лаборантом.
10. При захисті лабораторних робіт студент подає короткий письмовий звіт з результатами вимірювань, обчисленими величинами та побудованими графіками, висновками. В процесі захисту він повинен відповісти на поставлені керівником занять питання стосовно лабораторної роботи чи окремих її частин.
11. Рекомендується в кінці заняття звітувати за попередньо виконані лабораторні роботи.
12. Якщо студент не захистив більше трьох виконаних лабораторних робіт, він може бути недопущений до виконання наступних.
13. В кінці кожної роботи міститься 9 контрольних запитань, відповівши на які студент отримує оцінку за п'ятибальною або відповідною шкалою ESTC:
 - а) відповівши на два запитання – «достатньо» – «E»;
 - б) відповівши на чотири запитання – «задовільно» – «D»;
 - в) відповівши на шість запитань – «добре» – «C».
 - г) відповівши на вісім запитань – «дуже добре» – «B»;
 - д) відповівши на всі дев'ять запитань – «відмінно» – «A».

Відпрацювання лабораторних робіт

- Якщо студент не був допущений до виконання робіт через свою невідповідність, або ж пропустив заняття по хворобі чи іншій причині, то відпрацювання пропущених робіт проводиться у дні та години, вказані у графіку роботи лабораторії.

- Студент повинен отримати допуск до заняття, виконати всі дослідження, обробити результати вимірювання і обговорити їх з викладачем чи лаборантом.
- В лабораторному журналі фіксується дата відпрацювання таких занять.

Визначення похибок при вимірюваннях

Нехай N_1, N_2, \dots, N_n – результати окремих вимірювань даної величини, а n – кількість вимірювань. Середнє арифметичне цих результатів $N_c = \frac{N_1 + N_2 + \dots + N_n}{n}$, тобто величина найбільш близька до дійсного значення, називається ***середнім значенням***.

Кожне фізичне вимірювання повинно бути повторено декілька разів. Різниця $\Delta N_1, \Delta N_2, \dots, \Delta N_n$ між середнім значенням N_c і значеннями N_1, N_2, \dots, N_n , які отримані при окремих вимірюваннях, тобто: $N_c - N_1 = \Delta N_1$; $N_c - N_2 = \Delta N_2$;; $N_c - N_n = \Delta N_n$ – називають ***абсолютними похибками***, вони можуть бути додатні або від’ємні.

Для отримання ***середньої абсолютної похибки*** беруть середнє арифметичне абсолютних значень (модулів) окремих похибок, тобто $\Delta N_c = \frac{|\Delta N_1| + |\Delta N_2| + \dots + |\Delta N_n|}{n}$. Відношення $\frac{\Delta N_1}{N_c}, \frac{\Delta N_2}{N_c}, \dots, \frac{\Delta N_n}{N_c}$ називають

відносними похибками окремих вимірювань.

Відношення середньої абсолютної похибки результату ΔN_c до його середнього значення N_c дає ***середню відносну похибку результату вимірювань***

$E = \frac{\Delta N_c}{N_c}$. Відносні похибки прийнято виражати в процентах $E = \frac{\Delta N_c}{N_c} \cdot 100\%$.

Дійсне значення вимірюваної величини $N_{\text{дійсне}} = N_c \pm \Delta N_c$.

Побудова графіків при вимірюваннях

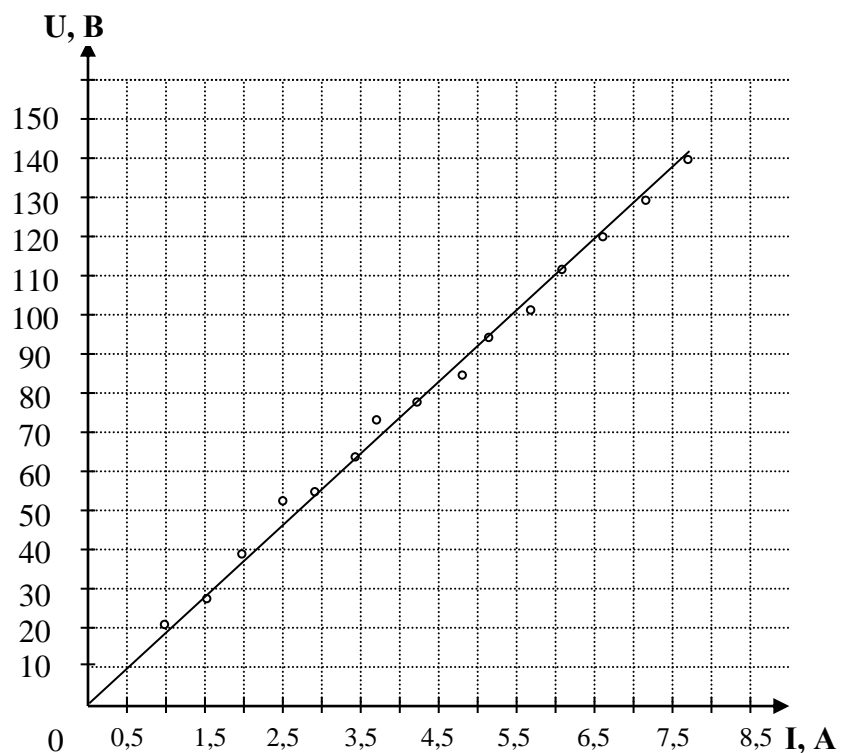
При побудові графіків слід дотримуватись таких правил:

1. Графік повинен мати назву – залежність між якими величинами він показує.
2. Позначити осі координат і одиниці вимірювання величин.

3. Вибрати раціональний масштаб осей (прямий однаковий, прямий різний, обернений, логарифмічний, напівлогарифмічний, квадратичний тощо). Вибраний масштаб повинен на графіку зобразити залежність досліджуваних величин прямою лінією. Якщо в роботі вибір масштабу не вказано, зробіть це самі.
4. Графік повинен займати всю площу малюнка.
5. Перед тим як будувати графік, треба в'яснити, яку функціональну залежність показує цей графік (пряма, крива, гіпербола, парабола і т.д.).

Приклад: Графік залежності напруги від сили струму

№ з/п	U, м	I, A
1.	22	0,99
2.	28	1,52
3.	39	1,98
4.	52	2,50
5.	54	2,95
6.	64	3,45
7.	73	3,70
8.	77	4,25
9.	85	4,82
10.	94	5,15
11.	102	5,65
12.	111	6,08
13.	120	6,59
14.	129	7,13
15.	140	7,68



Робота №1

ВИЗНАЧЕННЯ ЛІНІЙНИХ РОЗМІРІВ МАЛИХ ТІЛ І ЗБІЛЬШЕННЯ МІКРОСКОПУ

Мета: Навчитись визначати збільшення мікроскопу з використанням окулярного мікрометра і вимірювати розміри малих тіл за допомогою мікроскопу.

Обладнання: мікроскоп, освітлювач, окулярний мікрометр, об'єктивний мікрометр, об'єкти для вимірювання, механічний мікрометр.

Теоретична частина

Вперше мікроскоп було сконструйовано у Голландії на початку XVII століття. Він застосовується для збільшення кута, під яким ми розглядаємо предмети, що невидимі неозброєним оком.

Якість мікроскопу визначається величиною поля зору, збільшенням, роздільною здатністю і апертурою. Оптична схема мікроскопа та утворення зображення в ньому показано на рис. 1.

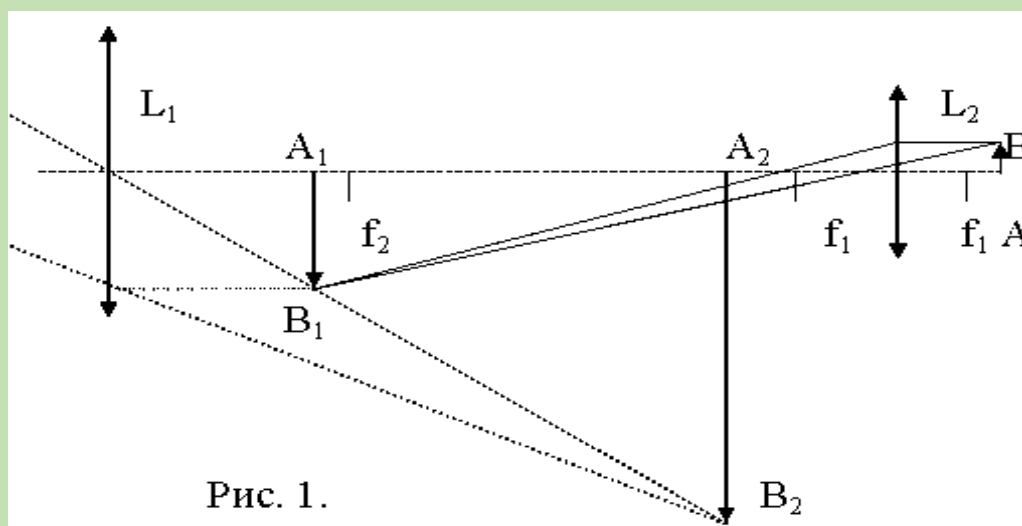


Рис. 1.

Короткофокусна лінза L_2 є об'єктивом, а лінза L_1 – окуляром. Предмет AB розміщується перед об'єктивом на віддалі, трохи більшій за передню фокусну віддаль об'єктива, тобто між фокусом і подвійним фокусом. Тому

об'єктив створює значно збільшене зображення A_1B_1 , причому збільшення буде:

$$\Gamma_{об} = \Delta / f_1 = A_1B_1 / AB, \quad (1)$$

де: f_1 – фокусна віддаль об'єктива; Δ – відстань від об'єктива до зображення (завдяки малості f_1 її можна вважати рівною віддалі від об'єктива до першого фокусу окуляра). Можна також вважати Δ рівною віддалі від об'єктива до окуляра, що визначає довжину тубуса мікроскопа. З формули (1) маємо:

$$A_1B_1 = AB (\Delta / f_1). \quad (2)$$

Конструкція мікроскопа така, що зображення, яке дає об'єктив, розміщується до окуляра ближче, ніж його фокусна відстань. Завдяки цьому окуляр створює уявне збільшене зображення A_2B_2 , причому:

$$\Gamma_{ок} = A_2B_2 / A_1B_1 = 25 / f_2, \quad (3)$$

де f_2 – фокусна віддаль окуляра; 25 – відстань найкращого зору ока (тут використано той факт, що окуляр вважається як лупа, через яку ми розглядаємо зображення A_1B_1), а для нормального ока віддаль найкращого зору складає 25 см. З формули (3) випливає, що:

$$A_2B_2 = A_1B_1 (25 / f_2). \quad (4)$$

Збільшення мікроскопу Γ дорівнює відношенню лінійних розмірів зображення A_2B_2 до розмірів предмета AB , тобто:

$$\Gamma = A_2B_2 / AB. \quad (5)$$

Враховуючи вирази (2), (4) і (5), отримаємо збільшення мікроскопу:

$$\Gamma = (\Delta 25) / (f_1 f_2) \text{ або } \Gamma = \Gamma_{об} \cdot \Gamma_{ок}. \quad (6)$$

Таким чином, збільшення мікроскопа тим більше, чим більша довжина тубуса і чим менші фокусні відстані об'єктива і окуляра. Дифракційні явища обмежують збільшення і сучасні оптичні мікроскопи мають найбільші збільшення до 2500 разів. Для отримання значних збільшень використовують електронні та тунельні мікроскопи.

Збільшення об'єктиву мікроскопа можна визначити суб'єктивним методом за допомогою окулярного та об'єктивного мікрометрів. Окулярний мікрометр – це шкала з поділками на скляній пластинці, що закріплена у тубусі на рівні площини, в якій дає зображення об'єктив.

Збільшення мікроскопу можна записати як $\Gamma_m \sim 1/a$, де a – ціна поділки окулярного мікрометра при відомих збільшеннях об'єктива та окуляра (в цій роботі позначено через a_2). Тоді, при використанні різних окулярів і об'єктивів, маємо:

$$\Gamma_{m1} / \Gamma_{m2} = (\Gamma_{ок1} \cdot \Gamma_{об1}) / (\Gamma_{ок2} \cdot \Gamma_{об2}) = a_{22} / a_{21}, \quad (7)$$

де a_{22} – ціна поділки окулярного мікрометра при використанні окуляра $ок_2$ і об'єктива $об_2$. При незмінному окулярі (5^x , 7^x , 10^x або 15^x) маємо:

$$(\Gamma_{ок1} \cdot \Gamma_{об1}) / (\Gamma_{ок1} \cdot \Gamma_{об2}) = a_{22} / a_{21}, \text{ або: } \Gamma_{об1} / \Gamma_{об2} = a_{22} / a_{21}.$$

Тоді:

$$\Gamma_{об2} = (\Gamma_{об1} \cdot a_{22}) / a_{21}. \quad (8)$$

Якщо ціна поділки окулярного мікрометра відома, то можна визначити розміри предметів, помістивши їх замість об'єктивного мікрометра.

Поле зору мікроскопа визначається з виразу:

$$L = n \cdot a, \quad (9)$$

де n – кількість поділок шкали, що видимі в полі зору, a – ціна поділки шкали.

Експериментальна частина

1. Покласти на предметний столик об'єктивний мікрометр з ціною поділки $a_2 = 0,01$ мм і отримати чітке зображення шкали.
2. Сумістити шкали окулярного і об'єктивного мікрометрів і визначити ціну поділки окулярного мікрометра для трьох об'єктивів із збільшеннями: 8, 40 і x (x – невідомий) за формулою:

$$a_1 = \frac{n_2 \cdot a_2}{n_1},$$

де n_1 та n_2 – відповідно кількість поділок шкали окулярного та об'єктивного мікрометрів.

3. Визначити збільшення невідомого об'єктива x за формулами:

$$\Gamma_{об(x)} = \frac{\Gamma_{об(8)} \cdot a_{1(8)}}{a_{1(x)}}; \quad \Gamma_{об(x)} = \frac{\Gamma_{об(40)} \cdot a_{1(40)}}{a_{1(x)}}.$$

4. Визначити збільшення мікроскопа для трьох об'єктивів за формулою 6.
5. Знайти розміри запропонованих об'єктів.

6. Порівняти їх з розмірами, отриманими за допомогою механічного мікрометра.
7. Визначити абсолютну та відносну похибку вимірювань.
8. Визначити поле зору для різних збільшень об'єктиву за формулою 9.

Контрольні запитання

1. Будова оптичного мікроскопа та призначення основних його частин.
2. Побудувати хід променів у мікроскопі.
3. Записати формулу збільшення мікроскопа.
4. Як визначається ціна поділки окулярного мікрометра?
5. Як залежить ціна поділки окулярного мікрометра від збільшення об'єктива?
6. Яка різниця між ціною поділки окулярного мікрометра у випадку вимірювання розмірів предмета і у випадку визначення збільшення об'єктива?
7. Дайте означення аберації.
8. Назвіть види аберації. Що вони являють собою?
9. Назвіть основні види мікроскопів. Область їх застосування.

Література

1. Ландсберг Г.С. Оптика. Москва: Наука, 1976. 928 с.
2. Князев С.І. Фізичний практикум. Москва: Наука, 1962. Ч. 3.
3. Чепуренко В.Г. Керівництво до лабораторних робіт з фізики. Київ, 1964.
4. Кучерук І.М., Дущенко В.Т. Загальна фізика. Оптика. Київ: Вища школа, 1991. 463 с.
5. Годжаєв Н.М. Оптика. Москва: Вища школа, 1997. 432 с.

Робота № 2

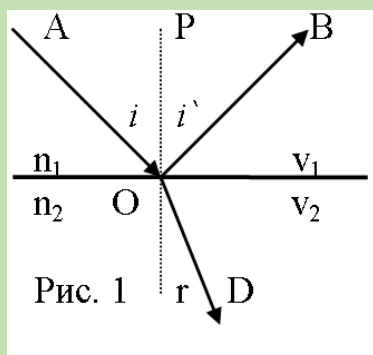
ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ СКЛА ЗА ДОПОМОГОЮ МІКРОСКОПУ

Мета: Навчитись визначати показник заломлення плоско-паралельних пластинок скла за допомогою мікроскопу.

Обладнання: вимірювальний мікроскоп з мікрометричним гвинтом, мікромметр, вимірювальні скляні пластинки з штрихами на обох поверхнях, освітлювач.

Теоретична частина

При проходженні світла крізь рівну і плоску межу двох прозорих речовин різної оптичної густини, падаючий промінь AO



розділяється на два: відбитий OB і заломлений OD (рис. 1). Напрями поширення променів визначаються законами відбивання і заломлення світла:

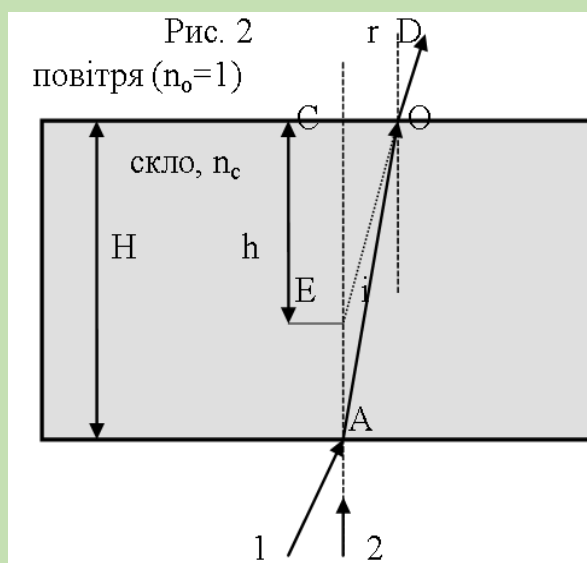
1. Падаючий промінь OA , відбитий промінь OB

та заломлений промінь OD , а також нормаль PO в точку падіння лежать в одній площині.

2. Кут відбивання BOP чисельно рівний куту падіння AOP .

3. Синус кута падіння i відноситься до синуса кута заломлення r , як швидкість світла в першому середовищі v_1 до швидкості світла в другому середовищі v_2 :

$$\sin i / \sin r = v_1 / v_2$$



Останній закон вказує на те, що світло поширюється в різних середовищах з різною швидкістю, але відношення цих швидкостей для взятих двох середовищ є величиною сталою і визначає відносний показник заломлення другого середовища відносно першого:

$$v_1 / v_2 = \text{const} = n_{21}.$$

Тобто,

$$\sin i / \sin r = n_{21}.$$

Абсолютний показник заломлення визначає відношення швидкостей поширення світла у вакуумі і в середовищі:

$$n_1 = c / v_1, n_2 = c / v_2, n_{21} = v_1 / v_2 = n_2 / n_1.$$

Для визначення показників заломлення є різні методи. Один з них – за допомогою мікроскопу з урахуванням принципу Ферма. В основу методу взято явище уявного зменшення товщини скляної пластинки внаслідок заломлення променів, які проходять у склі, якщо дивитись на пластинку перпендикулярно до її поверхні. Схема проходження світлових променів крізь скляну пластинку показана на рис. 2. Для наочності кут падіння променя 1 взято значно більшим, ніж у реальних випадках.

В точку A , яка знаходиться на нижній поверхні скляної пластинки, падають два промені світла 1 і 2. Промінь 2 падає на пластинку нормально до її поверхні і тому проходить не заломлюючись і виходить у точці C . Промінь 1 заломлюється і виходить з пластинки в точці O у напрямку OD .

Промінь OD утворює кут заломлення r більший, ніж кут падіння i . Якщо дивитись з точки D в напрямку DO , то спостерігач буде бачити точку перетину променів не в точці A , а у точці E , тобто товщина пластинки буде здаватись рівною CE .

З рис. 2 видно, що уявна товщина пластинки $CE = h$ менша дійсної її товщини $CA = H$. Для променів, близьких до нормального падіння, кути падіння і заломлення малі. Тому синуси кутів можна замінити їх тангенсами і за законами заломлення променів (розглядаємо їх зворотній хід, тобто від D до A):

$$n_{ск} = \sin r / \sin i = \text{tgr} / \text{tgi}.$$

Або ж: $n_{ск} = H \cdot CO / h \cdot CO = H / h$.

Отже, показник заломлення скла можна знайти із співвідношення дійсної (геометричної) товщини пластинки до її уявної (оптичної) товщини. Дійсна

товщина пластинки може бути виміряна мікрометром, а уявна – мікроскопом з мікрометричним гвинтом.

В цій роботі реалізується нормальне падіння променів на поверхню пластинки. Маємо, що геометрична товщина H пластинки рівна її дійсній товщині. Уявна (видима) товщина може бути знайдена на основі принципу Ферма – вона рівна оптичній довжині шляху променів у пластинці, тобто:

$$H = n \cdot h.$$

Звідси: $n = H / h$.

Експериментальна частина

1. Виміряти за допомогою мікрометра товщину скляної пластинки H в тому місці, де нанесені штрихи. Значення записати в міліметрах.
2. Визначити уявну товщину пластинки h . Для цього пластинку покласти на столик мікроскопу під об'єктив так, щоб обидва штрихи перетинали оптичну вісь приладу. Після цього:
 - а) рухаючи тубус, домагаються чіткого зображення видимого у мікроскоп штриха, нанесеного на верхню площину пластинки. Записати відлік мікрометричного гвинта мікроскопа і надалі вважати його за нульовий відлік (від нього проводяться подальші відліки);
 - б) опускати тубус мікроскопа до отримання чіткого зображення штриха, нанесеного на нижню поверхню пластинки. Новий відлік мікрометричного гвинта дає нам уявну товщину h пластинки:

$$h = (NZ + 0,002m) \text{ мм},$$

де N – число повних обертів барабана гвинта при переведенні чіткості з верхнього штриха на нижній; $Z = 0,002 \cdot 50$ – крок гвинта; (50 – число поділок в одному повному оберті барабану, 0,002 – ціна однієї поділки барабану гвинта); m – число поділок в неповному оберті гвинта.

Як видно, за один повний оберт барабана мікрометричного гвинта, тубус мікроскопу переміщується на $Z = 0,1$ мм.

3. Обчислити показник заломлення скла за формулою: $n = H/h$.
4. Виміри дійсної і уявної товщини пластинки виконати не менше трьох разів, знайти середнє значення показника заломлення та абсолютну і відносну похибки.

Результати занести до таблиці

№	H, мм	Відлік мікрометричного гвинта		h, мм	n	Δn	$\Delta n / n, \%$
		m	N				
Середнє значення							
Кінцевий результат: $n = n_c \pm \Delta n$							

Контрольні запитання

1. Сформулюйте основні закони геометричної оптики.
2. В чому полягає фізичний зміст абсолютного показника заломлення речовини?
3. Який фізичний зміст відносного показника заломлення?
4. Як пов'язаний показник заломлення середовища з швидкістю поширення світла в ньому?
5. Яке фізичне явище зумовлене залежністю n від ν ?
6. Сформулюйте принцип Ферма.
7. Чому при розгляданні предмету крізь плоску скляну пластинку він здається розташованим ближче?
8. Накресліть хід променів у мікроскопі.
9. Які фактори впливають на точність результатів, отриманих у цій роботі? Як їх вплив можна зменшити?

Література

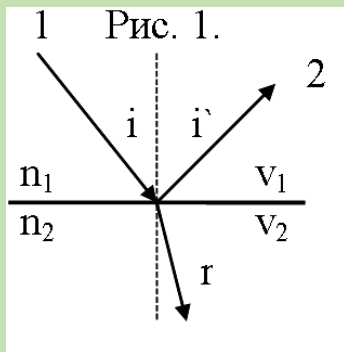
1. Ландсберг Г.С. Оптика. Москва: Наука, 1976. 928 с.
2. Князев С.І. Фізичний практикум. Москва: Наука, 1962. Ч. 3.
3. Чепуренко В.Г. Керівництво до лабораторних робіт з фізики. Київ, 1964.
4. Кучерук І.М., Дущенко В.Т. Загальна фізика. Оптика. Київ: Вища школа, 1991. 463 с.
5. Годжаєв Н.М. Оптика. Москва: Вища школа, 1997. 432 с.

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ РІДИНИ ЗА ДОПОМОГОЮ РЕФРАКТОМЕТРА

Мета: вивчити конструкцію і принцип роботи рефрактометра та визначити залежність показника заломлення розчину від його концентрації.

Обладнання: рефрактометр, набір розчинів різної концентрації, піпетка, освітлювач, чиста безворсова тканина.

Теоретична частина



Розглянемо два середовища, швидкість поширення світла в яких різна. На межі поділу цих середовищ відбувається зміна напрямку поширення світла. Це явище носить назву **заломлення** або **рефракції світла** (рис. 1). Тут реалізуються закони відбивання і заломлення світла:

1. Промінь, що падає, заломлений і відбитий, а також перпендикуляр до межі поділу середовищ, поставлений в точці падіння, лежать в одній площині.
2. Кут відбивання дорівнює куту падіння.
3. Відношення синуса кута падіння до синуса кута заломлення рівне відношенню швидкостей світла у першому і другому середовищах:

$$\sin i / \sin r = v_1 / v_2 = n_{21}, \quad (1)$$

де i – кут падіння, r – кут заломлення, v_1 , v_2 – швидкості світла в першому і другому середовищах, n_{21} – показник заломлення другого середовища відносно першого (відносний показник заломлення).

Абсолютний показник заломлення n середовища визначається відношенням швидкості поширення світла у вакуумі до його швидкості у даному середовищі, тому:

$$n_{21} = v_1 / v_2 = c \cdot n_2 / c \cdot n_1 = n_2 / n_1. \quad (2)$$

При переході світла з середовища з меншим показником заломлення (оптично менш густе середовище) в середовище з більшим показником заломлення (оптично більш густе середовище) кут падіння буде більшим кута заломлення (рис. 2, а). Якщо промінь падає на межу поділу середовищ під найбільшим кутом $i = \pi / 2$ (промінь ковзає по межі поділу), то він буде заломлюватись під кутом $r_{zp} < \pi / 2$.

Такий кут з найбільшим кутом заломлення для цих середовищ носить назву **граничного кута заломлення**. З формули (1) маємо:

$$n_{21} = \sin(\pi / 2) / \sin r_{zp} = 1 / \sin r_{zp} = n_2 / n_1.$$

Звідки

$$\sin r_{zp} = n_1 / n_2 \quad (3)$$

Якщо світло переходить з оптично більш густого середовища в оптично менш густе, то кут заломлення буде більшим, ніж кут падіння (рис. 2, б). При деякому куті падіння i променя кут заломлення буде складати $\pi / 2$,

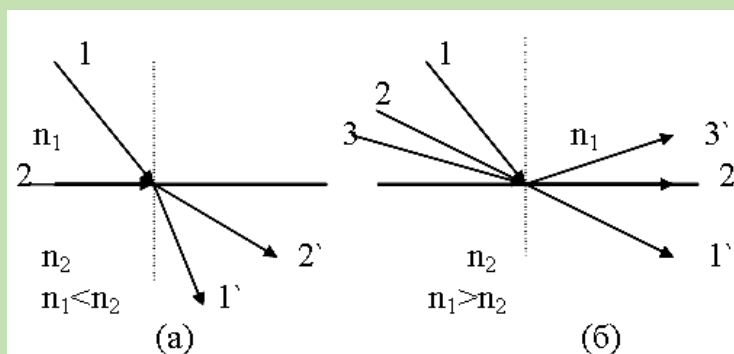


Рис. 2. Зміна ходу променя при переході з менш оптично густого середовища в більш густе (а) і з більш густого в менш густе (б).

тобто заломлений промінь ковзає по межі поділу середовищ.

При збільшенні кута падіння заломлення світла не відбуватиметься, весь падаючий пучок відіб'ється від межі поділу. Це явище носить назву **повного внутрішнього відбивання**. Кут i , при яком це явище настає, називається **граничним кутом повного відбивання** і позчається i_{zp} . Маємо:

$$n_{21} = \sin i_{zp} / \sin(\pi / 2) = n_2 / n_1,$$

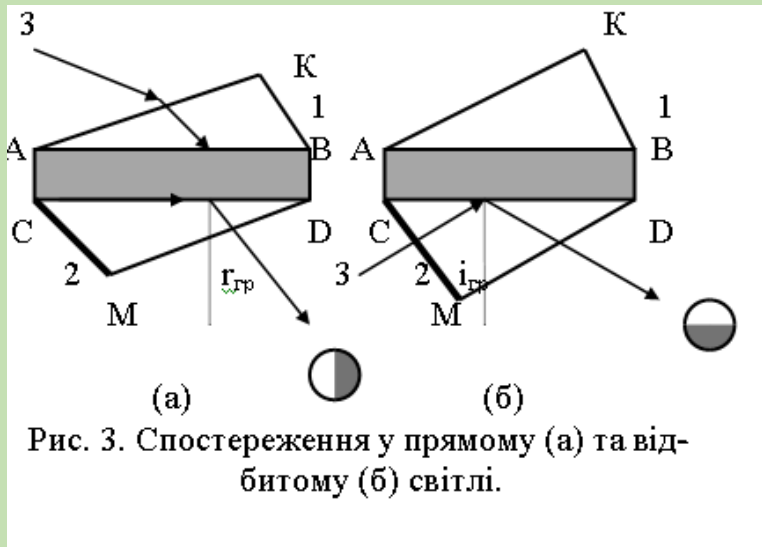
або:

$$\sin i_{zp} = n_2 / n_1. \quad (4)$$

Таким чином, граничний кут заломлення і граничний кут повного відбивання для даних середовищ залежить від показників заломлення. Це знайшло відображення в приладах для вимірювання показника заломлення речовин – **рефрактометрах**, які використовуються при визначенні чистоти води, концентрації розчинів, ідентифікації різних речовин тощо.

Опис приладу

Основну частину рефрактометра складають дві прямокутні призми 1 та 2, виготовлені з одного сорту скла (рис. 3, а). Призми дотикаються гіпотенузними гранями, між якими є прошарок товщиною до 0,1 мм. Між призмами розміщують краплю рідини, показник заломлення якої слід визначити.



Промінь світла від джерела 3 спрямовують на бічну грань призми 1. Для кращого спостереження варто використовувати сонячне світло. Заломившись, він падає на гіпотенузну грань AB . Поверхня AB матова, тому на ній світло розсіюється і, проходячи через досліджувану рідину, падає на грань CD нижньої призми під кутом в межах від 0° до 90° .

Якщо показник заломлення рідни менший за показник заломлення скла, з якого виготовлені призми, то промені світла входять у призму 2 під кутами в межах від 0° до 90° . Внутрішня частина цього кута буде освітлена, а зовнішня – темна. Тому поле зору в зоровій трубці розділене на дві частини – темну і світлу. Вигляд границі «світло – тінь» показана на рисунку 3. Межа відокремлення світла і тіні визначається граничним кутом заломлення, який залежить від показника заломлення досліджуваної рідини.

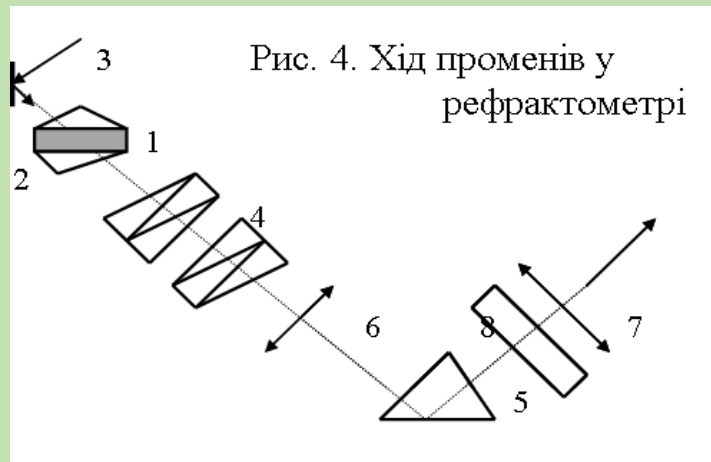
Якщо ж досліджувана рідина має значний коефіцієнт поглинання (слабопрозора, забарвлена), то, щоб запобігти втратам енергії при проходженні світла через рідину, вимірювання ведуть у відбитому світлі. Хід променів у рефрактометрі для цього випадку показаний на рис. 3, б. Промінь світла від джерела проходить через матову бічну поверхню CM нижньої призми 2. При цьому світло розсіюється і падає під кутами ($0^\circ - 90^\circ$) на гіпотенузну грань CD , яка дотикається до досліджуваної рідини.

Якщо рідина оптично менш густа, ніж скло, з якого виготовлена призма, то промені, що падають під кутами, більшими, будуть відбиватись і виходити

через другу бічну грань нижньої призми в зорову трубу. Поле зору в трубі теж буде розділене на освітлену і затемнену частини. Розташування межі відокремлення світла і тіні у цьому випадку визначається граничним кутом повного відбивання, який залежить від показника заломлення рідини.

Рефрактометром можна досліджувати речовини, показник заломлення яких менший показника заломлення скла вимірювальних призм. Оптична схема приладу показана на рис. 4.

В рефрактометрі використовується джерело 3 білого світла. Внаслідок дисперсії при проходженні призм 1 і 2 межа світла і тіні стає кольоровою. Щоб запобігти цьому, перед об'єктивом зорової труби розміщений компенсатор 4. Він складається з



двох однакових призм, які мають різні показники заломлення. Кожна призма склеєна з трьох призм, які теж мають різні показники заломлення. Призми підбирають так, щоб монохроматичний промінь з довжиною хвилі $\lambda = 0,5893$ мкм (довжина хвилі жовтої лінії натрію) після проходження компенсатора не відхилився. Промені з іншими довжинами хвиль відхиляються цими призмами в різних напрямках.

Зміщуючи призми компенсатора за допомогою ручки, досягають того, щоб межа світла і тіні стала найбільш чіткою.

Пройшовши компенсатор, промінь світла потрапляє в об'єктив зорової труби 6. Зображення межі відокремлення «світло – тінь» розглядають в окуляр 7. Одночасно в окулярі видно шкалу 8. Оскільки граничний кут заломлення і граничний кут відбиття залежать від показника заломлення рідини, то на шкалі рефрактометра зображено цей показник заломлення.

Оптична система рефрактометра містить також поворотну призму 5. Вона дає можливість спрямувати вісь зорової труби перпендикулярно до призм 1 і 2, що робить спостереження більш зручним.

В спільній фокальній площині об'єктива і окуляра зорової труби розміщена скляна пластинка, на якій нанесена візирна лінія (або хрестик, утворений тонкими нитками). Переміщуючи зорову трубу, досягають співпадання візирної лінії з межею «світло – тінь» і за шкалою визначають показник заломлення досліджуваної рідини. В окремих сучасних рефрактометрах зорова труба закріплюється нерухомо, а система вимірювальних призм може повертатись.

Експериментальна частина

1. Розмістити джерело світла так, щоб спостереження велось у прямому світлі.
2. Відкинути верхню призму рефрактометра і за допомогою піпетки нанести на нижню призму 2-3 краплі дистильованої води. Опустити верхню призму.
3. Сфокусувати окуляр, отримати чіткі зображення поля зору, візира і шкали.
4. Переміщуючи зорову трубу, отримати в полі зору межу відокремлення «світло-тінь». Лінія відокремлення повинна бути чіткою і не мати забарвлення.
5. Сумістити візир з межею відокремлення «світло-тінь». Якщо рефрактометр відрегульований вірно, то показник шкали повинен відповідати показнику заломлення $n = 1,333$ (при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$).
6. Перевіривши правильність показів приладу, переходьте до вимірювання показників заломлення розчинів різної концентрації. Для цього на чисту нижню призму слід наносити по черзі розчини різної концентрації і, суміщуючи візир з межею відокремлення «світло-тінь», визначити за шкалою показники заломлення розчинів. Для кожного розчину вимір показника заломлення n виконати тричі і знайти середнє значення n_c . Результати вимірів занести в таблицю.
7. Побудуйте графік залежності показника заломлення від концентрації розчину.
8. Виміряйте показник заломлення розчину невідомої концентрації. За графіком знайдіть концентрацію цього розчину.

Результати вимірювання n та C розчинів

Проба	$C, \%$	n_1	n_2	n_3	n_c
Дист.	0				

Контрольні запитання

1. Будова та оптична схема рефрактометра.
2. Принцип дії рефрактометрів.
3. Хід променів через вимірювальну призму рефрактометра.
4. Вивести формулу, що використовується для градування шкали рефрактометра.
5. Явище рефракції світла: причина, закони, фізичний зміст.
6. Явище повного відбивання, граничний кут заломлення.
7. З яких міркувань обирають вимірювальну призму та досліджувану рідину? Що буде видно в зоровій трубці рефрактометра, якщо умови не виконуються?
8. Назвіть інші методи вимірювання показника заломлення.
9. Від чого залежить точність вимірювань?

Література

1. Ландсберг Г.С. Оптика. Москва: Наука, 1976. 928 с.
2. Князев С.І. Фізичний практикум. Москва: Наука, 1962. Ч. 3.
3. Чепуренко В.Г. Керівництво до лабораторних робіт з фізики. Київ, 1964.
4. Кучерук І.М., Дущенко В.Т. Загальна фізика. Оптика. Київ: Вища школа, 1991. 463 с.

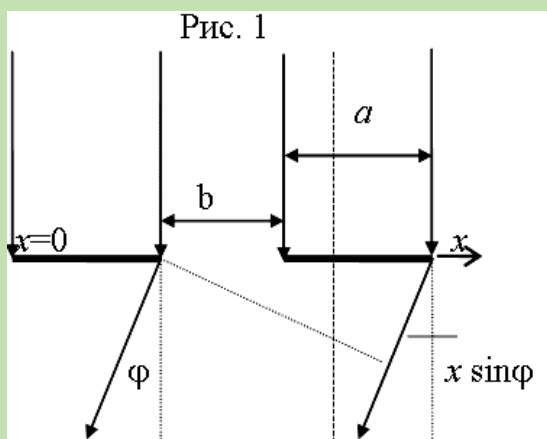
Робота № 4

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ ПОВІТРЯ ВІД ТИСКУ

Мета: Експериментально дослідити залежність показника заломлення повітря від тиску при незмінній температурі.

Обладнання: інтерферометр Релея, балон з краном, насос Комовського, водяний манометр, таблиці.

Теоретична частина



Принцип роботи інтерферометра базується на явищі дифракції Фраунгофера від двох щілин. Нехай на екран з двома щілинами нормально падає плоска монохроматична хвиля. Розглянемо дифракційну картину за екраном.

Розрахуємо інтенсивність світлових коливань хвилі, напрям поширення якої складає деякий кут φ з нормаллю до екрану (рис. 1). Застосуємо до розрахунку принцип Гюйгенса-Френеля.

Елемент щілини dx посилає в напрямку φ хвилю з амплітудою, яка пропорційна dx . Фаза коливань, які приходять у точку спостереження від елемента з координатою x , відрізняється від коливань, що виходять від елемента з координатою $x = 0$, на величину $k_x \cdot \sin \varphi$, де k – хвильове число. Коливання ds у точці спостереження, викликане цим елементом, можна записати так:

$$ds = C \cdot \cos \varphi (\omega t - k_x \cdot \sin \varphi) dx, \quad (1)$$

де C – коефіцієнт пропорційності, ω – частота коливань. Результат S сумарної дії усіх елементів обох щілин знайдемо методом інтегрування виразу (1) по

значеннях x , які відповідають відкритим частинам екрану. Будемо вважати, що кут φ досить малий (що відповідає дійсності), тому $\sin \varphi \approx \varphi$.

Припустимо також, що у правій щілині створено додаткову різницю ходу Δ , однакою для всіх її елементів. Це дасть можливість зобразити зміщення інтерференційних смуг, яке використовується для вимірів в інтерферометрі Релея. Інтегруючи (1), знайдемо:

$$S = \int_0^b C \cos(\omega t - k_x \sin \varphi) dx = \int_a^{a+b} C \cos(\omega t - k_x \varphi - k \Delta) dx \quad (2)$$

Перетворення дають:

$$S = 2cb \frac{\sin\left(\frac{kb\varphi}{2}\right)}{\frac{kb\varphi}{2}} \cos\left(\frac{k\Delta + ka\varphi}{2}\right) \cos\left[\omega t - \frac{k\Delta + k(a+b)\varphi}{2}\right] \quad (3)$$

Інтенсивність світлових коливань рівна квадрату їх амплітуди, тому:

$$I = \left\{ I_0 \frac{\sin^2\left(\frac{kb\varphi}{2}\right)}{\left(\frac{kb\varphi}{2}\right)^2} \right\} \{ 2[1 + \cos(k\Delta + ka\varphi)] \}, \quad (4)$$

тут I_0 – інтенсивність світла в центрі дифракційної плями, якщо відкрита лише одна щілина. З (4) видно, що залежність $I(\varphi)$ розкладається на добуток двох співмножників. Перший з них описує розподіл інтенсивності в дифракційній картині Фраунгофера від однієї щілини. Другий – обумовлений інтерференцією світлових коливань, які приходять в точку спостереження від різних щілин. Нас цікавлять найбільш яскраві інтерференційні смуги, розташовані в межах першого дифракційного максимуму, тобто на ділянці

$$|\varphi| \leq |\varphi_0| = 2\pi / kb = \lambda / b,$$

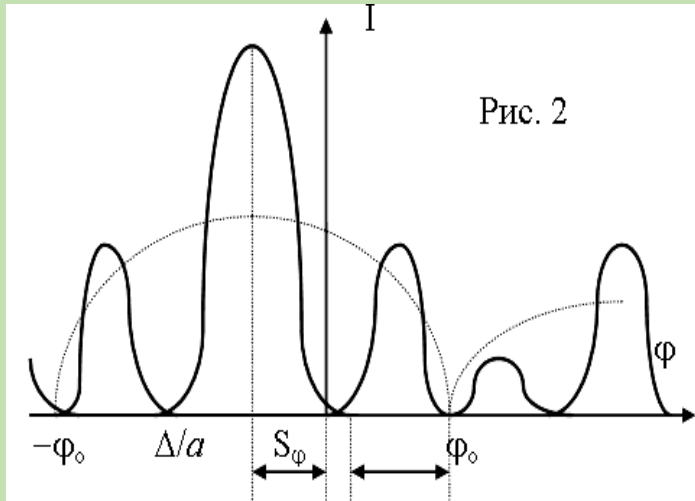
де λ – довжина світлової хвилі. Інтерференційні максимуми знаходяться один від одного на рівних кутових відстанях S_φ :

$$S_\varphi = 2\pi / ka = \lambda / a.$$

Отримати цей вираз ви можете самостійно.

В межах першого дифракційного максимуму міститься N_0 інтерференційних смуг:

$$N_0 = 2\varphi_0 / S_\varphi = 2a / b.$$



Картина залежності $I(\varphi)$ показана на рис. 2. Зміщення інтерференційних смуг від середини центрального дифракційного максимуму ($\varphi = 0$) визначається зсувом фаз Δ і дорівнює Δ / a . Якщо одну з щілин закрити, то розподіл інтенсивності опишеться першим співмножником

(4), тобто пунктирною лінією на рис. 2. Якщо закрити іншу щілину, і першу відкрити, то центральний дифракційний максимум буде на тому ж місці. Таким чином, дифракційні картини від кожної щілини накладаються одна на одну, що є ознакою дифракції Фраунгофера.

Спостереження інтерференційних смуг у білому світлі

В попередніх розрахунках ми вважали світло монохроматичним. На практиці в інтерферометрі Релея використовується біле світло. Це приводить до того, що:

- При роботі з монохроматичним світлом зсув фаз між коливаннями в двох щілинах на 2π або на $2\pi m$ (m – ціле число) не змінює фазових співвідношень і через це не може бути виявлений в досліді. Тому величину $k\Delta$ можна визначити лише з точністю до $2\pi m$. При використанні білого світла інтерференційні смуги будуть забарвленими, бо інтерференційні смуги з різними довжинами хвиль зміщені одна відносно одної. Виняток складає лише центральна (нульова) смуга, в максимумі якої різниця ходу коливань рівна нулю. В цій смузі накладаються інтерференційні максимуми усіх довжин хвиль, тому вона буде білою. При $\Delta = 0$ ця смуга міститься на ділянці $\varphi = 0$ і зміщена при інших Δ . За її зміщенням можна знайти різницю ходу.
- Згідно (4) інтерференційні смуги можуть виникати як при малих, так і при будь-яких значеннях Δ . Це теж є результатом припущення про монохро-

матичність світла. Реальні світлові коливання мають скінченну довжину пакету і тому мають скінченний спектральний інтервал. При значеннях Δ , які перевищують довжину світлового пакету ($0,3, \dots, 3$) м, інтерференційна картина не спостерігатиметься, бо хвилі не будуть когерентними.

Будова інтерферометра Релея

Світло лампи L збирається за допомогою конденсора K на входній щілині приладу, яка розташована у фокальній площині об'єктиву O , і разом з ним складає коліматор інтерферометра (рис. 3). Промінь, проходячи крізь коліматор K , потрапляє на подвійну щілину S_1, S_2 паралельним пучком. Дифракційна картина, що утворилась у фокальній площині об'єктиву O_2 , розглядається в окуляр O_3 .

Застосування коліматора і окуляра еквівалентно віддаленню щілини C і площини спостереження на нескінченно велику відстань від подвійної щілини. Це забезпечує виконання умови дифракції Фраунгофера при малих розмірах пристрою.

Інтерференційна картина, утворена від двох освітлених монохроматичним світлом щілин, являє собою систему світлих і темних смуг. Положення світлої і темної смуги визначається різницею ходу променів. Коли на шляху променів, що виходять з щілин S_1 і S_2 , поставити кювети довжиною L з різними речовинами, які мають показники заломлення n_1 і n_2 , то оптична різниця ходу буде:

$$\Delta = n_1L - n_2L = (n_1 - n_2)L = \Delta nL$$

Якщо на шляху одного з променів розмістити компенсаторну пластинку змінної товщини d (клин), яка створює додаткову різницю ходу $\Delta_1 = nd$ то, переміщуючи цю пластинку, можна досягти такого положення, коли різниця ходу, яку дають кювета і пластинка, рівна нулю. Це значить, що інтерференційні смуги повернуться в початкове положення.

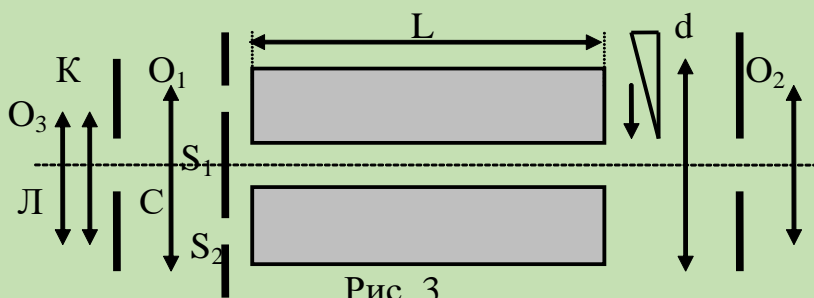
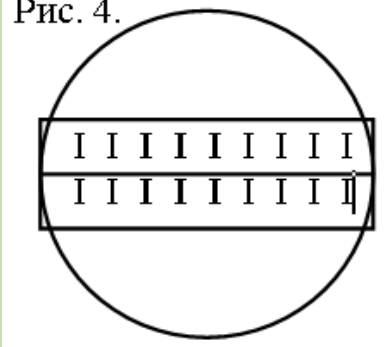


Рис. 3.

Для спостереження зміщення інтерференційної картини промені від подвійних щілин розділяються на дві частини. Верхні промені проходять через кювети, а нижні обходять їх. В результаті цього утворюється дві системи смуг. Додаткова різниця ходу в кюветах викликає зміщення верхньої системи смуг відносно нижньої (рис. 4).

Рис. 4.



За допомогою компенсаторного пристрою системи смуг суміщають. Мікрометричний гвинт компенсатора проградуєвано так, що поворот на одну поділку змінює різницю ходу на $\lambda / 30$. Якщо суміщення смуг досягається поворотом на N поділок, то:

$$\Delta = (N \cdot \lambda) / 30, \text{ або } L \cdot \Delta n = (N\lambda) / 30.$$

Звідси:

$$\Delta n = (N \cdot \lambda) / 30 \cdot L. \quad (5)$$

Експериментальна частина

В роботі за допомогою інтерферометра Релея досліджується залежність показника заломлення повітря від тиску при незмінній температурі. За нормальних умов показник заломлення повітря приймаємо рівним 1. Показник заломлення газу пов'язаний з концентрацією молекул N_m співвідношенням:

$$n - 1 = 2\pi N_m \alpha, \quad (6)$$

де α – здатність молекул до поляризації. З іншого боку, основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії

$$p = N_m k T, \quad (7)$$

де k – константа Больцмана, T – температура. З цих рівнянь випливає, що при сталій температурі зміна показника заломлення Δn і зміна тиску Δp пов'язані простою залежністю:

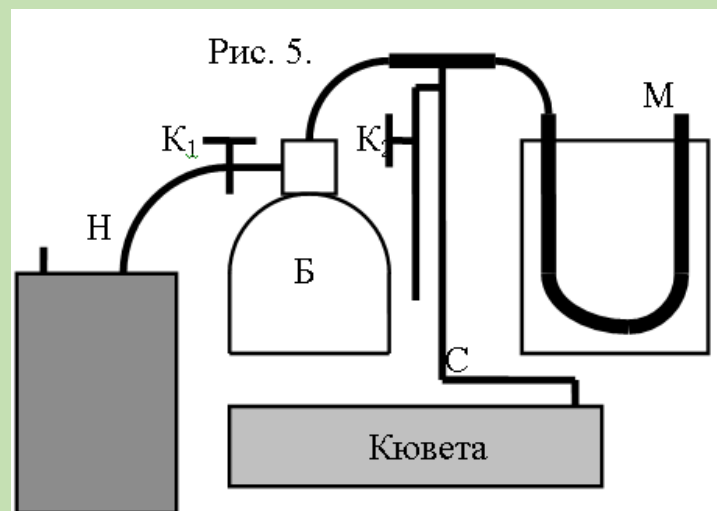
$$\Delta n = (2\pi\alpha / kT)\Delta p. \quad (8)$$

Величина Δn вимірюється за допомогою інтерферометра Релея і обчислюється за формулою (5). Величину Δp визначають за допомогою водяного манометра. Одночасне вимірювання цих величин (і температури) дає можли-

вість оцінити поляризованість молекул повітря. Тут слід вважати, що повітря складається з суміші газів, тому ми отримаємо усереднене значення поляризованості такої суміші.

Для вимірювання залежності показника заломлення повітря від тиску в інтерферометр Релея поміщають дві кварцові кювети однакової довжини. Матеріал кювет створить однакову додаткову різницю ходу променів, що не вплине на положення інтерференційних смуг. Тиск повітря в одній з кювет змінюють насосом Комовського як вище атмосферного, так і нижче. Різниця тисків вимірюється водяним манометром M .

Загальна схема пристрою показана на рис. 5. Кран K_1 дає можливість сполучити систему чи з атмосферою, чи з насосом H . Перехід від нагнітання до розрідження (і навпаки) здійснюється шляхом приєднання гумового шлангу до відповідного штуцера насоса.



Баласт B збільшує загальний об'єм системи і дозволяє повільно змінювати тиск повітря в кюветі. Кран K_2 сполучає систему з атмосферою через капіляр C . При цьому різниця тисків Δp змінюється поступово. Після змін тиску слід почекати певний час (1-2 хвилини), щоб встановилась температура в системі.

Процес вимірювання

Обидві кювети заповнюють повітрям при атмосферному тиску (кран K_1 з'єднує систему з атмосферою, кран K_2 – закритий). При цьому різниця ходу Δ рівна нулю і нульова (біла) смуга знаходиться в центрі дифракційної картини. Після цього тиск в одній з кювет змінюють на величину Δp , внаслідок чого показник заломлення зазнає змін на Δn . Між променями виникає різниця ходу $\Delta = L \cdot \Delta n$. В результаті цього відбувається зміщення інтерференційних смуг. За допомогою мікрометричного гвинта слід відновити інтерференційну

картину і за числом поділок шкали гвинта знайти Δn . Проводячи вимірювання кілька разів при різних Δp , будують графік залежності Δn від Δp . За результатами вимірювань оцінюють поляризацію молекул повітря.

Застереження: Змінюючи тиск повітря, слідкуйте за рівнем води у водяному манометрі, щоб вона не виливалась з трубок.

Контрольні запитання

1. Суть принципу Ферма в оптиці.
2. Будова інтерферометра Релея.
3. Принцип дії інтерферометра Релея.
4. У чому полягає суть явища інтерференції?
5. Які умови забезпечують отримання інтерференційної картини?
6. Що зумовлює зміну показника заломлення повітря при зміні його тиску?
7. Який фізичний зміст поляризованості молекул?
8. Який показник заломлення газів (абсолютний чи відносний) можна визначити з використанням інтерферометра Релея? Відповідь обґрунтуйте.
9. Принцип роботи водяного манометра.

Довідка: 1 мм. вод. ст. = 9,81 Па.

Література

1. Ландсберг Г.С. Оптика. Москва: Наука, 1976. 928 с.
2. Князев С.І. Фізичний практикум. Москва: Наука, 1962. Ч. 3.
3. Чепуренко В.Г. Керівництво до лабораторних робіт з фізики. Київ, 1964.
4. Кучерук І.М., Дущенко В.Т. Загальна фізика. Оптика. Київ: Вища школа, 1991. 463 с.
5. Годжаєв Н.М. Оптика. Москва: Вища школа, 1997. 432 с.

Робота № 5

ВИЗНАЧЕННЯ ГОЛОВНОЇ ФОКУСНОЇ ВІДСТАНІ РОЗСІВНОЇ ЛІНЗИ

Мета: навчитись експериментально визначати головну фокусну відстань розсівної лінзи різними методами.

Обладнання: оптична лава, розсівна лінза, конденсор, освітлювач з вмонтованим предметом, екран.

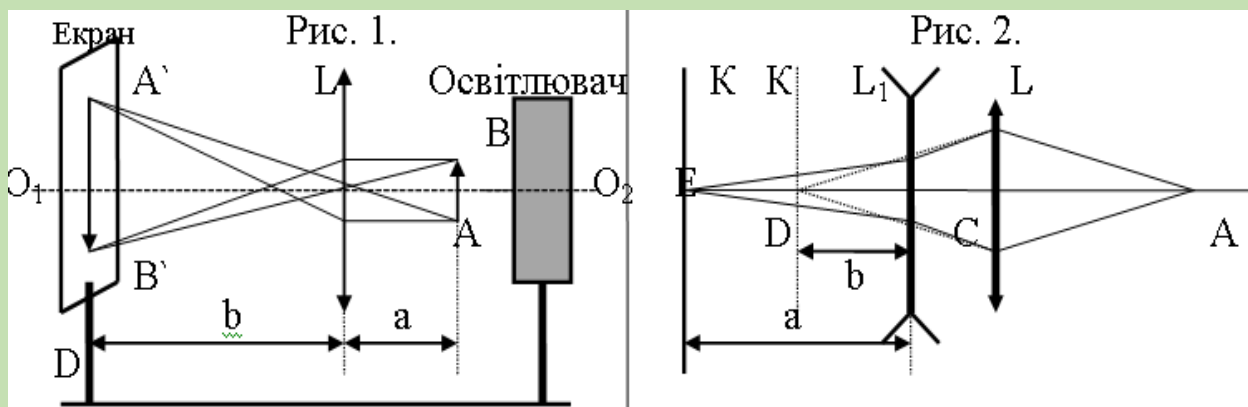
Теоретична частина

1. Оптична схема пристрою.
2. Хід променів у лінзі.
3. Головна фокусна відстань розсівної лінзи.

Експериментальна частина

Вгнута або розсівна лінза дає уявне зображення. Фокусну відстань розсівної лінзи визначають так.

1. Збирають схему за рис. 1.
2. Відмічають точку D – положення екрану, коли утворюється чітке зображення предмету (рис. 2).



3. Між конденсором L і точкою D розташовують розсівну лінзу L_1 . Знову домагаються чіткого зображення предмета на екрані, яке з точки D переміститься в точку E . Для лінзи L_1 предметом є зображення в точці D , яке дає лінза L від предмета A .

Користуючись оборотністю ходу променів в системі лінз, можна розглядати ці промені світла, як такі, що поширюються з точки E . Тоді точка D буде уявним зображенням точки E (після заломлення променів у лінзі L_1). Тобто, відстань $EC = a$, $DC = b$. Виміряйте ці відстані не менше трьох разів.

4. Значення $EC = a$, $DC = b$ підставити у формулу лінзи:

$$1/a + 1/b = 1/f. \quad (1)$$

Прийmemo до уваги, що f і b мають в цьому випадку від'ємний знак, тому:

$$1/a - 1/b = -1/f. \quad (2)$$

Звідси:

$$f = (ab) / (a - b). \quad (3)$$

Обчислити збільшення лінзи, як відношення розмірів зображення до розмірів предмета

$$k = (A'B') / (AB) \quad (4)$$

Отримані експериментально і обчислені результати занести до таблиці.

№	a , см.	b , см.	AB , см.	$A'B'$, см.	k	f , см.	Δf , см.	$\Delta f / f$, %
Середнє значення								

Контрольні запитання

1. Лінзи і їх основні параметри.
2. Формула лінзи.
3. Дайте означення оптичного центру, оптичної вісі.
4. Що таке оптична сила лінзи? В яких одиницях вимірюється фокусна відстань та оптична сила лінзи?
5. Накресліть хід променів в розсівній лінзі.
6. Охарактеризуйте зображення, яке утворюється через розсівну лінзу.

7. За яких умов система із збірної та розсівної лінзи даватиме дійсне зображення?
8. Методи визначення фокусної відстані розсіювальної лінзи.
9. Аберация лінз.

Література

1. Ландсберг Г.С. Оптика. Москва: Наука, 1976. 928 с.
2. Князев С.І. Фізичний практикум. Москва: Наука 1962. Ч. 3.
3. Чепуренко В.Г. Керівництво до лабораторних робіт з фізики. Київ, 1964.
4. Кучерук І.М., Дущенко В.Т. Загальна фізика. Оптика. Київ: Вища школа, 1991. 463 с.
5. Годжаєв Н.М. Оптика. Москва: Вища школа, 1997. 432 с.

Робота № 6

ВИЗНАЧЕННЯ ГОЛОВНОЇ ФОКУСНОЇ ВІДСТАНІ ЗБІРНОЇ ЛІНЗИ

Мета: навчитись експериментально визначати фокусну відстань збірної лінзи різними методами.

Обладнання: оптична лава, рейтер з двоопуклою лінзою, рейтер з електричною лампочкою в футлярі, рейтер з прозорим екраном, рейтер з непрозорим екраном, два вістря на підставках.

Теоретична частина

Головну фокусну віддадь збірної лінзи можна знайти з формули тонкої лінзи:

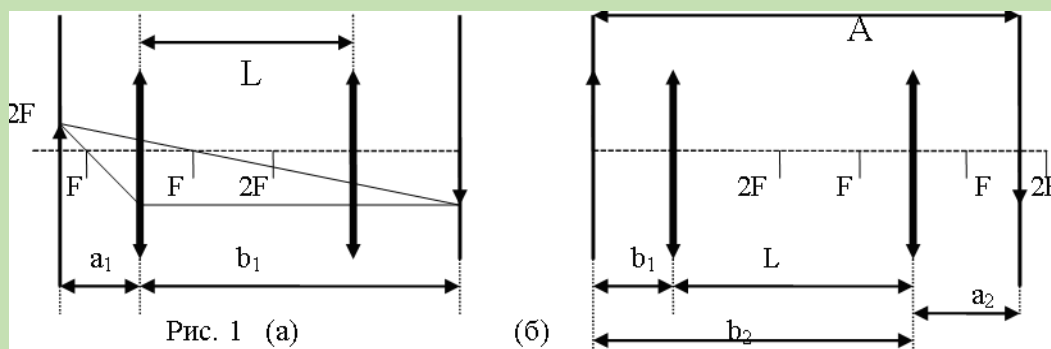
$$1/f = 1/a + 1/b, \text{ або: } f = (ab) / (a + b), \quad (1)$$

де a – відстань від предмета до лінзи, b – відстань від лінзи до зображення предмету (рис. 1, а, б).

Якщо відстань від предмету до екрану, яку позначимо через A , перевищує $4f$, то завжди знайдуться два таких положення, при яких на екрані утворюється чітке зображення: в першому випадку зменшене, а в другому – збільшене.

Позначимо для одного випадку віддадь предмета і одного зображення від лінзи через a_1 і b_1 , а для другого – через a_2 і b_2 . Оскільки віддадь між предметом і екраном при переміщенні лінзи залишається незмінною, то:

$$a_1 + b_1 = a_2 + b_2 \quad (2)$$



Позначивши відстань між обома положеннями лінзи через L , легко бачити, що коли лінза розташована даліше від предмета, то

$$a_1 = (A + L) / 2; b_1 = (A - L) / 2,$$

а в другому випадку:

$$a_2 = (A - L) / 2; b_2 = (A + L) / 2.$$

Дійсно, з рисунка видно, що: $A = b_1 + L + a_2$.

Але, $a_2 = b_1$, тоді:

$$A = 2a_2 + L; a_2 = (A - L) / 2.$$

З іншого боку, з рисунка 1 видно, що:

$$A = a_2 + b_2.$$

Але $a_2 = (A - L) / 2$; $A = (A - L) / 2 + b_2$. Тоді:

$$b_2 = (A + L) / 2.$$

Формула (1) для будь-якого з цих випадків дає:

$$2 / (A + L) + 2 / (A - L) = 1 / f.$$

Звідки:

$$f = [(A + L)(A - L)] / 4A. \quad (3)$$

Описаний спосіб є найбільш точним. В інших випадках вимірюючи відстань до лінзи, мають на увазі її середину (по товщині). В дійсності відстань слід відраховувати від відповідних головних площин, положення яких визначити досить важко. У цьому методі така похибка виключається тим, що вимірюється не відстань до лінзи, а її переміщення. Зменшуючи повільно віддаль між предметом і екраном, знайдемо, що ті два положення лінзи, які дають чітке збільшене і зменшене зображення, наближаються одне до одного і, нарешті, співпадають при деякій незначній відстані між екраном і лінзою. Тоді буде існувати лише одне положення, при якому лінза дає на екрані зображення предмета, яке за величиною рівне розміру предмета. Для цього випадку $a = b = 2f$. У формулі (3) $L = 0$, тоді

$$f = A^2 / 4A = A / 4.$$

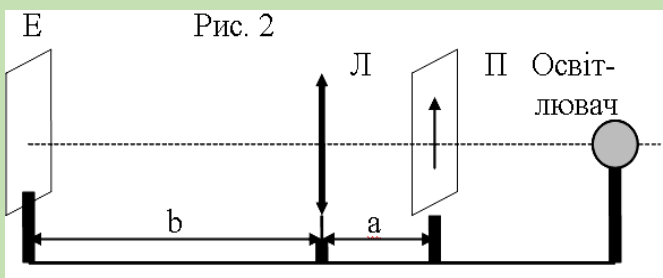
Якщо лінза тонка, то відстань від предмету до зображення рівна $2a$ або $4f$. Ця обставина дає можливість визначати фокусну відстань лінзи. Роботу можна проводити не лише з освітленим предметом і екраном, а й за методом відсутності паралаксу. У цьому випадку електричну лампочку і екран замінюють двома вістрями.

Експериментальна частина

На столі розміщують горизонтально оптичну лаву, вздовж якої можна переміщати на рейтерах такі прилади: освітлювач OC , екран із стрілкою Π , екран E з масштабом і двоопуклу лінзу L . Всі ці прилади встановлюються так, щоб центри їх лежали на одній висоті, площини екранів були перпендикулярними до осі оптичної лави, а оптична вісь лінзи – паралельна їй. Відстань між приладами відраховують за масштабом, розташованим вздовж оптичної лави.

Перший метод

1. Помістити екран з масштабом на досить великій віддалі від предмета, ставлять лінзу між ними і пересувають її, поки на екрані з масштабом отримується чітке зображення предмета Π (рис. 2). Відмітивши положення лінзи, екрану і предмета, пересувають рейтер з лінзою в інше положення. Отримують знову чітке зображення предмета. Оскільки візуальна оцінка чіткості зображення неточна, то виміри слід повторити не менше 5 разів. До того ж доцільно провести частину вимірювань при збільшеному, а частину – при зменшеному зображенні.



2. З кожного окремого виміру за формулою (1) визначають фокусну відстань лінзи. З отриманих результатів беруть середнє значення і обчислюють похибки. Щоб

впевнитись, що форма зображення залежить від величини і форми отвору лінзи, розміщують по чергову перед лінзою або за нею різні діафрагми.

Результати вимірювань і обрахунків занести до таблиці 1.

№ виміру	1	2	3	4	5
a , см.					
b , см.					
F , см.					
F_c , см.					
ΔF , см.					
$\Delta F / F$, %					
$F = F_c \pm \Delta F$, см.					

Другий метод

1. Встановивши екран з стрілкою і екран, на якому на якому отримується зображення стрілки на відстані A , що більша за $4F$, розміщують лінзу між ними, і пересуваючи її, добиваються на екрані чіткого зображення, наприклад збільшеного. Зафіксувавши це положення лінзи, зсувають її трохи вбік і знову повертають назад до отримання чіткого зображення. Так проводять кілька разів і визначають середнє положення лінзи. Пересуваючи лінзу, отримують інше чітке зображення, але вже зменшене. Повторюють це кілька разів і визначають нове середнє положення лінзи.

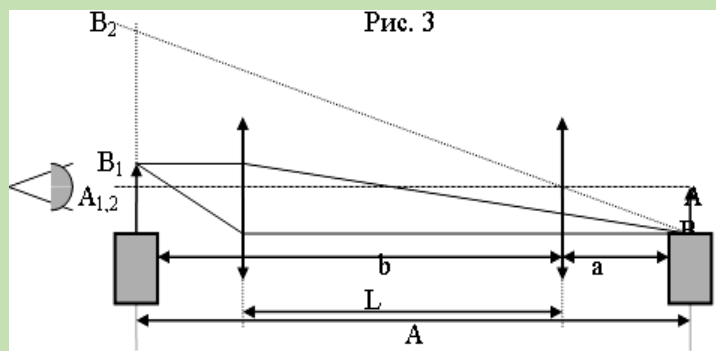
2. Вимірявши відстань A між предметом і екраном, а також середнє значення переміщення L лінзи, визначають її фокусну відстань за формулою (4).

3. Результати занести до таблиці 2.

№	A, см.	L, см.	F = [(A + L)(A - L)] / 4A, см.
F, см.			
ΔF, см.			
відносна похибка, %			
F = F _c ± ΔF, см.			

Третій метод

1. На місце електричної лампочки встановлюють два вістря. Шляхом переміщення одного вістря знаходять місце положення чіткого збільшеного зображення другого вістря, яке утворюється в лінзі (рис. 3). Вимірюють віддалі a , b , A і обчислюють фокусну відстань за формулою (1).



Не змінюючи положення вістря, переміщують лінзу і отримують чітке зменшене зображення другого вістря. Вимірюють віддалі a , b , переміщення лінзи L . За формулами (1) і (4) обчислюють фокусну відстань лінзи.

2. Дослід повторюють кілька разів і обчислюють похибки вимірювань.
3. Результати обчислень фокусної відстані за формулами (1) і (4) порівнюють між собою і з результатами методів 1 і 2.
4. Зробити висновки щодо точності результатів цих методів.

Контрольні запитання

1. Що називається лінзою?
2. Вивести формулу лінзи.
3. Означення фокусу головної оптичної осі лінзи.
4. Як можна визначити фокусну відстань збірної лінзи методом переміщень?
5. Побудувати зображення світної точки, що знаходиться на головній оптичній осі збірної лінзи.
6. Побудуйте для збірної лінзи зображення, коли предмет знаходиться:
 - між фокусом і подвійним фокусом;
 - за подвійним фокусом;
 - між лінзою і фокусом.

Яке збільшення отримується в кожному з випадків?

7. Чому метод переміщення вважається найбільш точним?
8. Основні означення геометричної оптики (світна точка, оптичне зображення, оптична система, гомоцентричний пучок, стигматичне зображення, параксіальні промені).
9. Оптична система ока людини. Недоліки оптичної системи ока і методи їх усунення.

Література

1. Ландсберг Г.С. Оптика. Москва: Наука, 1976. 928 с.
2. Князев С.І. Фізичний практикум. Москва: Наука, 1962. Ч. 3.
3. Чепуренко В.Г. Керівництво до лабораторних робіт з фізики. Київ, 1964.
4. Кучерук І.М., Дущенко В.Т. Загальна фізика. Оптика. Київ: Вища школа, 1991. 463 с.
5. Годжаєв Н.М. Оптика. Москва: Вища школа, 1997. 432 с.

ВИЗНАЧЕННЯ РАДІУСА КРИВИЗНИ ЛІНЗИ ЗА ДОПОМОГОЮ КІЛЕЦЬ НЬЮТОНА

Мета: ознайомитися із методами отримання кілець Ньютона, навчитись визначати радіус кривизни лінзи за допомогою кілець Ньютона.

Прилади та матеріали: освітлювач, опукла лінза, об'єктив, екран, плоскопаралельна пластинка, фільтр, мікроскоп.

Теоретична частина

При проходженні монохроматичного світла крізь систему, яка складається з щільно притиснутих одна до одної плоскопаралельної пластинки та опуклої лінзи на екрані, поставленому за цією системою, спостерігається інтерференційна картина, яка являє собою чергування світлих і темних кілець Ньютона.

Відомо, що:

1) геометрична різниця ходу променів: $\Delta r = r_2 - r_1$;

2) оптична різниця ходу променів, якщо промені проходять в середовищі з показником заломлення $n \neq 1$: $\delta = \Delta r \cdot n = (r_2 - r_1)n = r_2n - r_1n$, де r_2n і r_1n – оптичні довжини шляху,

3) при відбитті від оптично більш густого середовища світлова хвиля (вектор E) губить половину хвилі $\lambda / 2$. Ця втрата половини хвилі рівноцінна збільшенню оптичної довжини шляху на $\lambda / 2$ і враховується при обчисленні,

4. умова інтерференції: для максимуму $\delta = 2k \lambda / 2 = k\lambda$; для мінімуму $\delta = (2k + 1)(\lambda / 2)$.

Інтерференція світла в природі спостерігається на поверхнях тонких плівок – мильних, нафтових або масляних, на поверхні води.

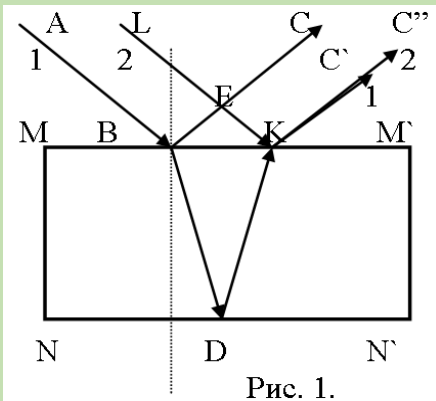


Рис. 1.

Розглянемо інтерференцію на тонкій плівці. Промінь (рис. 1) падає на верхню поверхню плівки MM' . При цьому отримують відбитий промінь BC і заломлений – BD . На поверхні NN' промінь BD також відбивається (промінь DK) і заломлюється. В точку K завжди попаде якийсь промінь LK (2), що належить світловому пучку.

Промені KC' (1) і KC'' (2) когерентні. При накладанні вони або підсилюють, або послаблюють один одного в залежності від їх оптичної різниці ходу, яка буде рівна: $\delta = n\Delta r$

$$\delta = (BD + DK)n - (BE + \lambda / 2)n_0 = (BD + DK)n - (BE + \lambda / 2),$$

де n – показник заломлення речовини плівки, а $\lambda / 2$ – втрата півхвилі променем LK при відбиванні від плівки MM' .

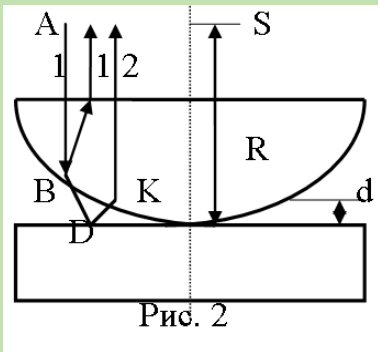


Рис. 2

Аналогічно отримуються і кільця Ньютона. Тут роль тонкої плівки виконує повітряний прошарок між опуклою поверхнею лінзи і плоско-паралельною пластинкою. Різниця ходу променів (рис. 2).

$$\delta = (BD + DK) + \lambda / 2.$$

У зв'язку з тим, що товщина повітряного прошарку d дуже мала,

У зв'язку з тим, що товщина повітряного прошарку

$$BD \approx DK \approx d \text{ і } \delta = 2d + \lambda / 2.$$

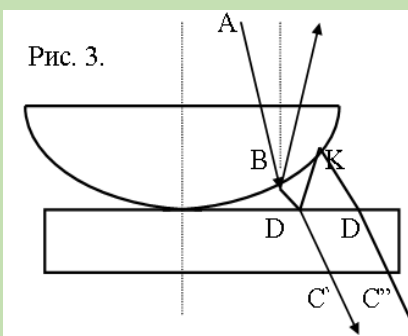


Рис. 3.

Кільця Ньютона можна спостерігати і у прямому світлі (рис. 3). Промені KC' і KC'' будуть когерентні. Різниця ходу в них буде:

$$\delta = 2d + \lambda / 2. \quad (1)$$

В цій роботі кільця Ньютона можна спостерігати в прямому світлі. Розглянемо трикутник OBM (рис.4), $OB = R$ – радіус кривизни лінзи, $BM = r$ – радіус кільця Ньютона:

$$OB^2 = BM^2 + MO^2,$$

або:

$$R^2 = r^2 + (R - d)^2$$

$$R^2 = r^2 + R - 2Rd + d^2.$$

Так як $d \ll R$, величиною d^2 можна знехтувати, тоді $2dR = r^2$, звідки:

$$d = (r^2) / 2R.$$

Підставимо це значення d в (1), одержимо:

$$\delta = r^2 / R + 2(\lambda / 2).$$

Для темних кілець:

$$\delta = (2k + 1)(\lambda / 2);$$

$$r^2 / R + 2(\lambda / 2) = (2k + 1)(\lambda / 2);$$

$$r^2 / R = k\lambda - (\lambda / 2).$$

Для m темного кільця формула записується так:

$$(r^2 / R)m = m\lambda - (\lambda / 2). \quad (2)$$

Для k темного кільця:

$$(r^2k) / R = k\lambda - (\lambda / 2);$$

$$R = (r^2k) / (k - 1/2)\lambda. \quad (3)$$

Віднімемо з рівняння (2) вираз (3), одержимо:

$$(r_m^2 - r_k^2) / R = (m - k)\lambda,$$

звідки

$$R = ((r_m + r_k)(r_m - r_k)) / (m - k)\lambda. \quad (4)$$

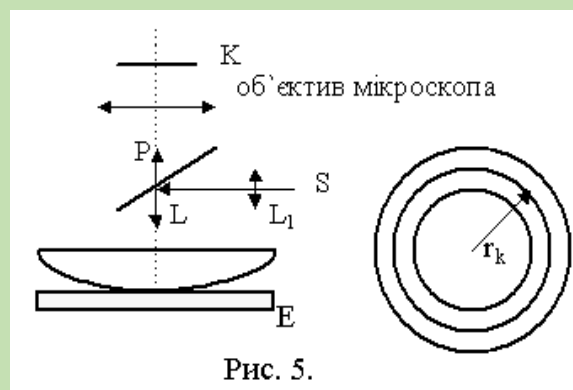
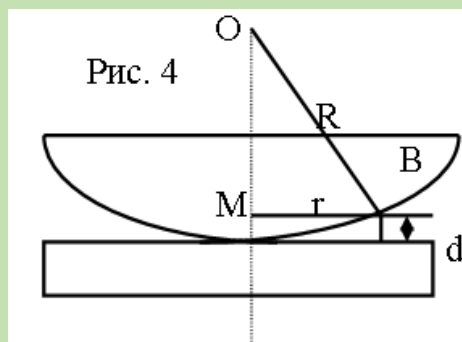
Експериментальна частина

Пристрій, який використовується в даній роботі, зображений на рис. 5.

S – джерело світла – електрична лампа розжарення, κ – монохроматичний світлофільтр, що пропускає світло, довжину хвилі якого вимірюють, L_1 – лінза, яка направляє світло на напівпрозору пластинку P , E – скляна пластинка, на якій лежить плоско-опукла лінза

L , D – мікроскоп з окулярною шкалою, ціна поділки якого 0,02 мм.

Монохроматичні промені, які падають на напівпрозору пластинку P , відбиваючись і проходячи крізь лінзу L , попадають на пластинку E . Інтерферен-



ційна картина розглядається у мікроскоп. Розташувачи око над окуляром мікроскопа, спостерігач буде бачити у збільшеному вигляді кільця Ньютона. За допомогою окулярного мікрометра можна визначити радіуси цих кілець. Роботу виконують у такому порядку. Освітлюють установку, фокусують мікроскоп, домагаючись доброї видимості кілець. Відраховують окулярним мікрометром діаметри першого d_1 і останнього d_m чітко видимого темного кільця. Обчислюють радіуси кілець r_1 і r_2 .

За формулою (4) обчислюють R і повторюють виміри для різних світлофільтрів.

Контрольні запитання

1. Явище інтерференції. Кільця Ньютона
2. Чому інтерференційна картина, яка спостерігається, складається із ряду темних і світлих кілець?
3. Виведіть формулу (4). Радіуси яких кілець треба виміряти, щоб похибки були мінімальні?
4. При спостеріганні у відбитому світлі центральне коло виявилось світлим. Чому? Як усунути центральне світле коло?
5. В чому полягає умова максимумів і мінімумів світла при інтерференції когерентних променів?
6. Що буде спостерігатися в центрі, якщо спостереження проводити у прямому світлі?
7. Де щільніше розміщені інтерференційні кільця – у центрі або на периферії? Чому?
8. Чому інтерференційна картина зникає при збільшені відстані між лінзою і пластинкою?
9. Чому радіус кривизни лінзи повинен бути великим?

Література

1. Ландсберг Г.С. Оптика. Москва: Наука, 1976. 928 с.
2. Князев С.І. Фізичний практикум. Москва: Наука, 1962. Ч. 3.
3. Чепуренко В.Г. Керівництво до лабораторних робіт з фізики. Київ, 1964.
4. Кучерук І.М., Душенко В.Т. Загальна фізика. Оптика. Київ: Вища школа, 1991. 463 с.

ВИЗНАЧЕННЯ ДІАПАЗОНУ ДОВЖИН ХВИЛЬ ВИДИМОГО СВІТЛА ЗА ДОПОМОГОЮ ДИФРАКЦІЙНОЇ ГРАТКИ

Мета роботи: знайомство з практичними методами визначення довжини світлової хвилі і з вимірюванням діапазону довжин хвиль видимої ділянки повного електромагнітного спектра випромінювання.

Обладнання: проекційний ліхтар), набір дифракційних ґраток (50-100 штрихів), екран з міліметровою шкалою, вимірювальна лінійка, щілина.

Теоретична частина

Явище дифракції світла – це відхилення світлових хвиль від прямолінійного шляху у випадку проходження світла через малі отвори або мимо малого непрозорого екрану (отвору) в оптично однорідному середовищі.

Дифракція світлових хвиль практично спостерігається, якщо розміри отворів або перешкод одного порядку з довжиною світлових хвиль або, якщо спостерігач дифракції знаходиться на великій відстані від отвору або перешкоди. Явище дифракції, як і інтерференція, властиве хвильовому процесу.

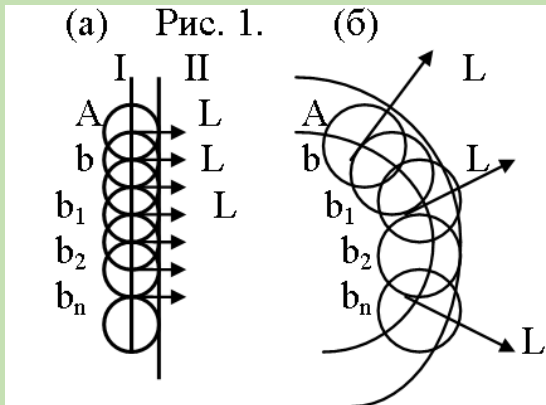
Розглянемо два випадки дифракції:

1. Перешкода або отвір, на якому відбувається дифракція світла, знаходиться на скінченній віддалі від екрану, а якому відбувається спостереження (дифракція Френеля).

2. Дифракція спостерігається для плоских світлових хвиль – в паралельних променях (дифракція Фраунгофера). В цьому випадку дифракційна картина спостерігається лише за допомогою лінзи, яка збирає промені у фокальній площині, або оком, що акомодоване на нескінченність.

При розрахунках дифракційних явищ користуються принципом, який запропонував Френель. Він носить назву принципу Гюйгенса-Френеля. Принцип Гюйгенса-Френеля являє собою природний розвиток принципу Гюйген-

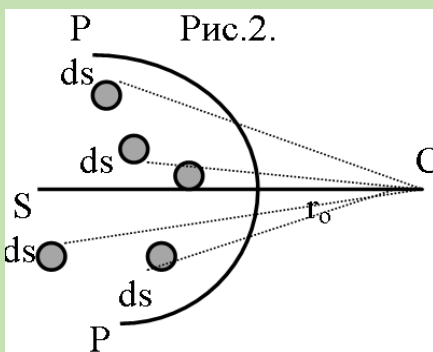
са. Принцип Гюйгенса формулюється так: кожна точка хвильової поверхні світлових хвиль є джерелом вторинних (елементарних) хвиль. Огинаюча поверхня вторинних хвиль стає новим положенням хвильової поверхні що утворює світлова хвиля, яка розповсюджується (рис. 1,а).



На рис. 1, а – утворення світлової хвилі, на рис. 1, б – сферичної: I – старе положення сферичної поверхні – фронту хвиль ; II – нове положення, A – вторинні (елементарні) світлові хвилі з центрами в точках b, b_1, b_2, \dots , L – світлові промені – напрям розповсюдження хвиль.

Принцип Гюйгенса розв'язує задачу про розповсюдження хвильового фронту, але не розв'язує задачі про інтенсивність хвиль (елементарних – A), які ідуть в різних напрямках. Принцип Гюйгенса-Френеля розглядає інтенсивність результуючої хвилі як результат інтерференції вторинних хвиль.

Таким чином, принцип Гюйгенса-Френеля являє собою поєднання принципу Гюйгенса (розповсюдження хвильового фронту) з формулюванням Френеля про інтерференцію елементарних хвиль, яке зводиться до того що, при розповсюдженні в просторі світлових хвиль, світло буде спостерігатися лише там, де вторинні хвилі при інтерференції підсилюють одна одну.



Інтерференція вторинних хвиль, за Френелем, відбувається таким чином: нехай з точки S (рис. 2.) розповсюджується сферична хвиля. Оточимо джерело світлових хвиль уявною поверхнею PP і будемо вважати її джерелом світлових хвиль.

В точку C яка знаходиться на віддалі r_0 від поверхні PP буде поступати випромінювання від нескінченно малих елементів ds поверхні PP (рис.2).

Випромінювання елементів ds можна розглядати як допоміжні когерентні джерела, тому в точці C вторинні хвилі, які виходять із ds , будуть інтерферувати між собою і їх сукупна дія визначиться в точці C як інтерференційний ефект. В точці C зможемо спостерігати світло лише в тому разі, якщо вторин-

ні хвилі від ds при інтерференції підсилять одна одну. На тих ділянках, де вторинні хвилі при додаванні гасять одна одну, буде темно.

Принцип Гюйгенса-Френеля має загальне значення і служить для пояснення різних світлових явищ, в тому числі і для пояснення прямолінійного розповсюдження світла. Принцип Гюйгенса-Френеля – це лише інструмент для розрахунків на пряму розповсюдження хвиль і розподілення їх інтенсивності за різними напрямками; вторинні хвилі є фіктивними. Застосовуючи принцип Гюйгенса до світлових хвиль і, користуючись методом зон Френеля, можна строго математично довести, що в точку C (рис. 2) світлова хвиля розповсюджується дуже тонким пучком (практично – променем), тобто довести, що світло розповсюджується прямолінійно.

Дифракція Фраунгофера (дифракція плоских хвиль)

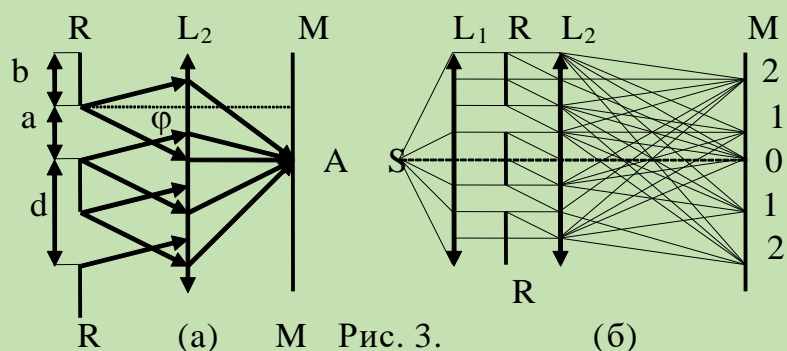
Розглянемо два випадки:

- 1) дифракція на дифракційній ґратці;
- 2) дифракція на вузькій щілині.

1. Найбільш цікавий випадок дифракції одержується при використанні **ДИФРАКЦІЙНИХ ГРАТОК**. Найпростіша дифракційна ґратка – це скляна пластинка, на яку за допомогою точної ділильної машини нанесено паралельно одна одній рисочки і залишені вузькі непошкоджені смужки. Процарапані місця непрозорі для світла, і світлові хвилі, які підходять до ґратки огинають ці риси. Періодом ґратки або сталою ґратки d називають суму розмірів прозорі a і непрозорі b ділянок: (рис. 3, а)

$$d = a + b.$$

Якщо освітити дифракційну ґратку RR пучком когерентних паралельних променів, які падають перпендикулярно до поверхні ґратки, то спостерігається цікаве



явище: із світлом, яке проходить через вузькі прозорі смужки ґратки RR , відбувається дифракція, тобто воно відхиляється вбік від свого попереднього напрямку. Промені відхиляються під різними кутами (на рис. 3 показано відхилення променів для одного кута дифракції φ). Оскільки кожен щілину дифракційної ґратки можна вважати самостійним джерелом когерентних коливань, то на екрані MM в фокальній площині лінзи L_2 стануть додаватися багаточисельні пучки променів, які приходять в різні точки екрану з різними фазами коливання (на рис. 3, а дано лише одну точку A для кута φ , на рис.3, б показано картину для більшої кількості променів). Іншими словами, внаслідок явища дифракції (відхилення променів на різні кути φ) відбувається інтерференція світлових променів.

Якщо джерело світла випромінює світло різних довжин хвиль, то внаслідок інтерференції на екрані з'являється зображення щілин ґратки, забарвлені в різні кольори (максимуми світла). Якщо ж джерело світла дає монохроматичне випромінювання – світло однієї довжини хвилі (таке світло можна одержати, якщо поставити на шляху променів світлофільтри), то зображення щілин на екрані (світлові максимуми) будуть забарвлені в один колір – колір світлофільтра.

Крім кольорових зображень щілин спостерігаються ще темні ділянки, де, в результаті інтерференції, відбулося повне гасіння хвиль (світлові мінімуми).

Уся картина на екрані – сукупність максимумів – носить назву дифракційних спектрів. Умова виникнення максимумів світла визначається із співвідношення : $d\sin\varphi = \delta$, де δ – різниця ходу променів 1 і 2 (рис.3, а)

Якщо δ кратна цілому числу хвиль, тобто $\delta = k\lambda$, то одержимо максимум світла в точці A на екрані, і формула буде мати вигляд:

$$d\sin\varphi = k\lambda \quad (1)$$

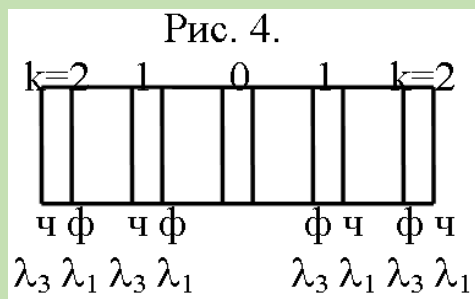
де d – стала дифракційної ґратки, або період ґратки, φ – кут дифракції, k – ціле число, порядок спектра по відношенню до нульової (центральної) смуги ($k = 0, 1, 2, \dots$; рис. 3, б), λ – довжина хвилі монохроматичного світла. Розв'язуючи рівняння (1) відносно λ , одержимо :

$$\lambda = (d\sin\varphi) / k. \quad (2)$$

Цей вираз – основна розрахункова формула для обчислення довжин світлових хвиль за допомогою дифракційної ґратки і носить назву формули дифракційної ґратки.

Аналіз формули (2) показує, що для різних довжин хвиль положення світлових максимумів буде різним. Звідси випливає, що дифракційна ґратка – це прилад, що розкладає біле світло на складові частини, з її допомогою одержується дифракційний спектр.

Схематичний вигляд дифракційного спектру показано на рис. 4. При $k = 0$ умова максимуму задовольняється для усіх довжин хвиль, тобто при $k = 0$ спостерігається центральна світла нульова смуга, яка відповідає невідхиленому пучку променів такого світла, яким був колір дже-



рела. При $k = 1$ симетрично по обидві сторони від центральної смуги дифракційні кольорові лінії, від фіолетової до червоної. Вони відповідають різним довжинам хвиль, які входять до складу змішаного світла. Ця група ліній носить назву спектра 1-го порядку. Червона частина спектру відхилена більше за фіолетову.

При $k = 2$ утворюється подібна група ліній – спектр 2-го порядку і т.д. Лінії спектрів більш високих порядків менш інтенсивні, і фактично, ясно спостерігаються спектри не вище 3-го порядку.

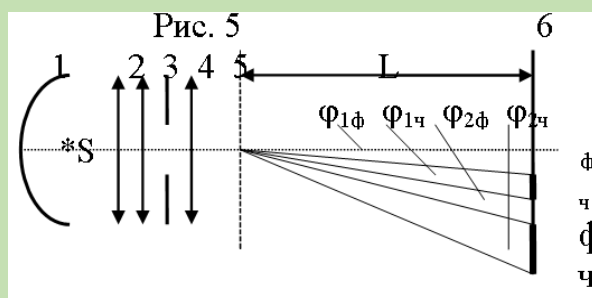
2. У випадку однієї щілини одержимо дифракцію від щілини. Умова максимуму у цьому випадку буде:

$$b \sin \varphi = \pm(2k + 1)(\lambda / 2); k = 1, 2, 3, \dots ;$$

де k – порядок дифракційного максимуму (порядок спектру), b – ширина щілини, φ – кут дифракції. При $k = 0$, одержимо центральний максимум нульового порядку.

Експериментальна частина

1. Схема пристрою показано на рис. 5, де: 1 – рефлектор, S – джерело світла (потужна лампа розжарення); 2 – конденсор; 3 – щілина (регульована); 4 – об'єктив ФОСа; 5 – дифракційна ґратка; 6 – екран з міліметровою шкалою.



2. Шляхом переміщення об'єктива і ґратки досягають чіткого зображення на екрані дифракційних спектрів першого і другого порядків.

3. Вимірюємо віддаль від білої смуги до фіолетових кольорів спектрів першого і другого порядків ($S_{1\phi}$, $S_{2\phi}$).

4. Аналогічно вимірюємо віддаль до червоних ділянок спектрів першого і другого порядку ($S_{1ч}$, $S_{2ч}$).

5. Вимірюємо віддаль L від дифракційної ґратки до екрану в точці зображення спектру.

6. Результати вимірів заносимо в таблицю.

№	L	$S_{1\phi}$	$S_{1ч}$	$S_{2\phi}$	$S_{2ч}$	$\lambda_{1\phi}$	$\lambda_{1ч}$	$\lambda_{2\phi}$	$\lambda_{2ч}$	$\lambda_{сф}$	$\lambda_{сч}$

7. За формулою (2) знаходимо довжини хвиль фіолетового і червоного світла і визначаємо їх середні значення.

Контрольні запитання

1. Дайте означення дифракції, дифракційної ґратки.
2. Яка будова дифракційної ґратки? Дати означення періоду дифракційної ґратки.
3. Як пояснити дифракційні явища, що спостерігаються у одній та двох щілинах?
4. Дати означення дифракційного спектра. Чим він відрізняється від спектра, який одержано за допомогою призми?
5. Які промені дифракційного спектра якнайдалі відхиляються від початкового напрямку?
6. На що і як впливає зміна величини сталої дифракційної ґратки?
7. Чому необхідно, щоб щілина коліматора знаходилася у його головному фокусі? Чому зорова труба перед спостерігачем має бути встановлена на нескінченність?
8. Для яких порядків спектрів довжина світлової хвилі визначається точніше?
9. Застосування явища дифракції.

Література

1. Ландсберг Г.С. Оптика. Москва: Наука, 1976. 928 с.
2. Князев С.І. Фізичний практикум. Москва: Наука, 1962. Ч. 3.
3. Чепуренко В.Г. Керівництво до лабораторних робіт з фізики. Київ, 1964.
4. Кучерук І.М., Дущенко В.Т. Загальна фізика. Оптика. Київ: Вища школа, 1991. 463 с.
5. Годжаев Н.М. Оптика. Москва: Вища школа, 1997. 432 с.

ПЕРЕВІРКА ЗАКОНУ МАЛЮСА

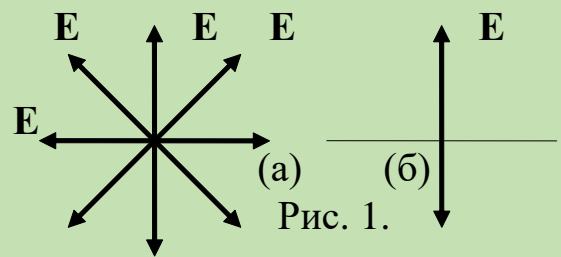
Мета: ознайомитись з основними поняттями і законами поляризованого світла; перевірити на практиці виконання закону зміни інтенсивності поляризованого світла при його проходженні крізь аналізатор.

Обладнання: люксметр, поляризатор і аналізатор (поляроїди), стопа Столетова, діафрагма, джерело світла (ФОС), оптична лава, екран.

Теоретична частина

Світлові хвилі – хвилі поперечні. Характеризуються вони не лише енергією, яку переносять і довжиною хвилі, а й напрямом коливань векторів напруженостей змінних електричного E і магнітного H полів.

Світло, в якому вектори E і H мають всі можливі напрямки коливань, носить назву природного (світло Сонця, ламп). Ця хаотична зміна напрямів площин коливань векторів E і H обумовлена тим, що ми одночасно спостерігаємо випромінювання мільярдів атомів, і природне світло є накладанням величезної кількості лінійно поляризованих хвиль. Площина коливань цих векторів неперервно змінюється (рис. 1,а). Якщо коливання вектора E (а значить і H) відбувається в одній площині, то хвиля носить назву плоскополяризованої (рис. 1,б).

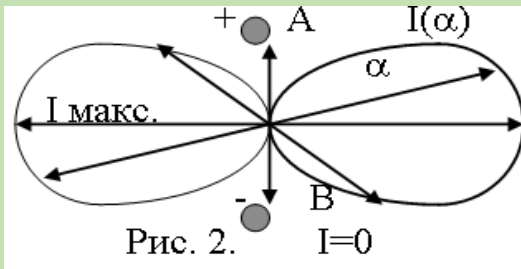


Площина, в якій відбувається коливання вектора E , носить назву площини коливань, а площина, яка проходить через світловий промінь і перпендикулярна до площини коливань – це площина поляризації променя.

Виконати поляризацію світла, тобто відібрати з природного світла складові вектора E , які коливаються в певній площині, можна різними засобами. Прилади, здатні перетворити природне світло в поляризоване, називають **поляризаторами**, а прилади, які дозволяють провести аналіз променя на ступінь його

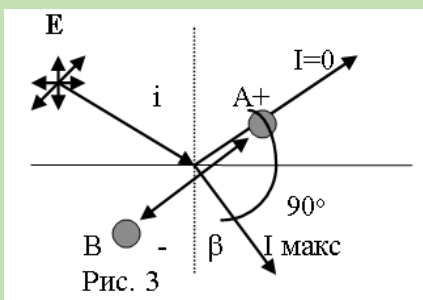
поляризації, називають **аналізаторами**. Будь-який поляризатор може бути аналізатором. Принцип їх дії оснований на тих змінах в структурі променя світла, які відбуваються при його проходженні крізь ізотропні та анізотропні середовища (поляризаційні призми, поляроїди) і при відбиванні світла.

Поляризація при відбиванні і заломленні світла на межі “повітря-діелектрик”



Електромагнітна хвиля, яка падає на поверхню діелектрика, викликає коливання в атомах і молекулах речовини. Атоми і молекули самі починають випромінювати електромагнітні хвилі (вторинні). Причому, напрям коливань електронів співпадає з напрямом коливань електричного вектора E падаючої хвилі. Інтенсивність випромінювання електронами вторинних хвиль залежить від напрямку осі диполя AB (рис. 2).

В напрямі осі диполя AB (коливання електрона) інтенсивність рівна нулю, а у перпендикулярному – максимальна. Якщо заломлені і відбиті промені складають кут $i + \beta = \pi / 2$ (рис. 3), то у відбитому промені будуть повністю коливання вектора E , які виконуються в площині падіння, бо вони співпадають з напрямом осі диполя AB . Тоді ці коливання будуть відбуватися в заломленому промені (в площині малюнка вони показані стрілками).



У відбитому промені коливання вектора E будуть лише в площині, яка перпендикулярна малюнку (ці коливання показані крапками). Таким чином, відбитий промінь при певному куті падіння буде поляризований повністю.

Кут i носить назву кута повної поляризації (рис. 3) або кута Брюстера. Для повної поляризації має місце закон Брюстера:

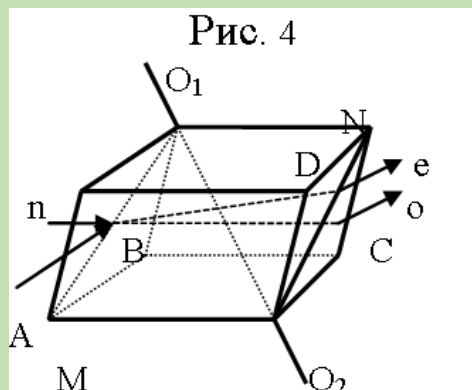
$$\operatorname{tgi} = n = \sin i / \cos(90^\circ - \beta) = \sin i / \cos i \quad (1)$$

де n – показник заломлення діелектрика.

Заломлений промінь буде частково поляризованим. Щоб заломлений промінь став повністю поляризованим, його пропускають через кілька плоскостепенних пластинок діелектрика, наприклад, стопу Столетова.

Поляризація при проходженні природного світла крізь анізотропні середовища (подвійне променезаломлення, поляроїди)

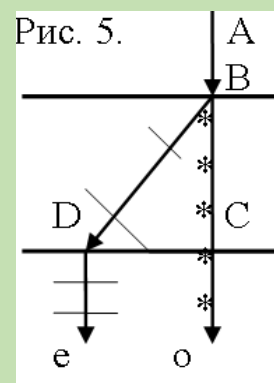
Явище подвійного променезаломлення можна спостерігати в анізотропних середовищах (анізотропним є середовище, фізичні властивості якого в різних напрямках різні). Прикладом таких середовищ є кристали кварцу, ісландського шпату. На рис. 4 показано проходження світла через кристал ісландського шпату. Пряма O_1O_2 носить назву кристалографічної вісі кристалу (пряма, що з'єднує протилежні тупі кути). Будь-який напрям в кристалі, паралельний до O_1O_2 , носить назву оптичної вісі кристалу. Переріз MO_1O_2 – головний переріз кристалу, або головна площина.



Цей переріз проходить через оптичну вісь і нормаль, яка проведена в точку B падіння променя.

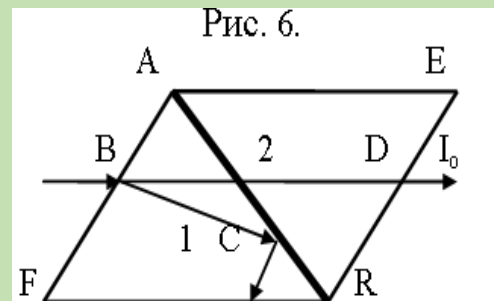
Природний промінь AB розділяється в кристалі на два промені BD і BC . Промінь BD називають незвичайним променем (e). Показник заломлення кристалу n_e для незвичайного променя залежить від напрямку променя. Звідси, в різних напрямках незвичайний промінь в кристалі поширюється з різними швидкостями.

Промінь BC називають звичайним променем (o). Швидкість його в кристалі не залежить від напрямку (рис. 5). Показник заломлення кристалу n_o для звичайного променя не залежить від напрямку його поширення. Вздовж оптичної осі швидкості обох променів однакові, тобто в цьому напрямі не відбувається подвійного променезаломлення.



Обидва промені, які вийшли з кристалу, поляризовані. Коливання вектора E в промені BD здійснюються в площині головного перерізу кристалу (помічено рисками), а в промені BC – в площині, перпендикулярній до головного перерізу (показано крапками). Властивості обох променів, за виключенням напрямку поляризації, абсолютно однакові.

Щоб використати такі поляризовані промені для технічних цілей, їх треба відокремити один від одного. Це здійснюється в призмі Ніколя FAER. Для виготовлення призми Ніколя природній кристал ісландського шпату розрізають певним чином по лінії AR , полірують і обидві половини склеюють “канадським бальзамом” (рис. 6). Якщо на ніколь падає природне світло, то в призмі воно розділюється. Звичайний промінь 1 , доходячи до шару “канадського бальзаму”, в точці C зазнає повного внутрішнього відбивання, бо для нього канадський бальзам оптично менш густий, ніж ісландський шпат, тобто: $n_{ш} > n_{кб}$.



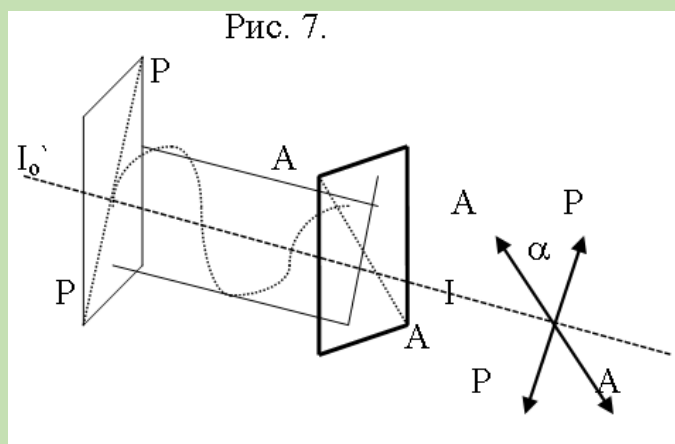
Таким чином, звичайний промінь відбивається і поглинається в оправі призми. Незвичайний промінь 2 вільно проходить через шар канадського бальзаму і виходить з призми повністю поляризованим. Така призма носить назву поляризаційної.

Крім подвійного променезаломлення, для поляризації світла застосовують штучні плівки – поляроїди. Це можуть бути целулоїдні плівки з домішками герпатиту (сірчаноокислий йод-хінін). Така плівка пропускає лише незвичайні промені і поглинає звичайні.

Проходження світла через систему “поляризатор-аналізатор”.

Закон Малюса

Для аналізу ступеня поляризації застосовують пристрої, які носять назву аналізаторів. Тут використовують ті ж самі поляризатори (діелектрики, призми Ніколя, поляроїди). Розглянемо проходження світла через два поляроїди (рис. 7). З поляроїда P виходить



плоскополяризоване світло (вектор E коливається в напрямі PP). Другий поляроїд A – аналізатор, в ньому коливання E можуть відбуватись вздовж AA . За

законом Малюса, інтенсивність світла I , яке виходить з аналізатора, пропорційна косинусу кута α між напрямками площин коливань вектора E поляризатора і аналізатора, тобто:

$$I = I_o \cos^2 \alpha, \quad (2)$$

де I_o – інтенсивність світла, яке виходить з поляризатора P . Якщо I_o^0 – інтенсивність природного світла, то:

$$I_o = I_o^0 / 2. \quad (3)$$

Закон Малюса легко вивести. Інтенсивність світла пропорційна квадрату амплітуди, тому

$$I_o = E_P^2, I = E_A^2, \quad (4)$$

де E_P і E_A – амплітуди коливань, що пройшли поляризатор і аналізатор. З рис. 7 видно, що

$$E_A = E_P \cos \alpha. \quad (5)$$

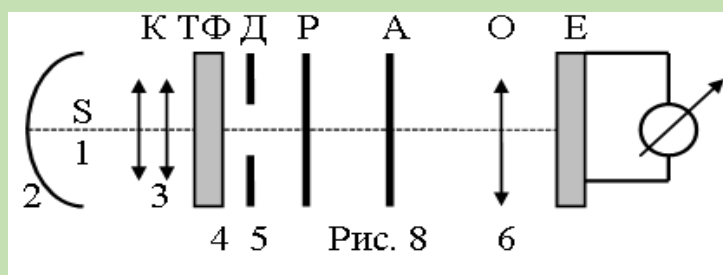
Підставивши (5) в (4), маємо:

$$I = E_A^2 = (E_P \cos \alpha)^2 = E_P^2 \cos^2 \alpha = I_o \cos^2 \alpha.$$

Якщо напрям площин коливань поляризатора і аналізатора взаємно перпендикулярні ($\alpha = 90^\circ$), то говорять, що поляризатор і аналізатор схрещені (поставлені на гасіння світла – через схрещені поляризатори світло не проходить). Якщо напрям площин поляризатора PP і аналізатора AA співпадають ($\alpha = 0$), то інтенсивність світла, яке проходить, буде максимальною. Для будь-якого іншого кута α інтенсивність світла визначають за формулою (2).

Експериментальна частина

1. Для перевірки закону Малюса збирають схему, показану на рис. 8, де: 1 – джерело світла (лампа розжарення 500 Вт); 2 – рефлектор; 3 – конденсор; 4 – тепловий фільтр; 5 – діафрагма; 6 – об'єktiv для отримання чіткого зображення діафрагми на екрані; P – поляризатор; A – аналізатор з лімбом для відрахунку кутів; E – екран люксметра.



2. Ввімкнути лампу, зняти аналізатор і люксометром заміряти інтенсивність світла, що проходить через поляризатор. Після цього положення люксометра не змінювати. При потребі зміни його чутливості перемикає діпазони вимірювань.

3. Поставити аналізатор на місце і, повертаючи його, добитись максимальних показів люксометра. В цьому випадку кут між площинами поляризатора і аналізатора рівний нулю.

4. Повертати лімб аналізатора і фіксувати покази люксометра через кожних 5° . Так змінювати кут до повороту на 90° . Дослід повторити тричі. Побудувати графік залежності фотоструму люксометра від $\cos^2\alpha$.

5. Замінити поляризатор стопою Столетова і виконати ті ж вимірювання.

Контрольні запитання

1. Поясніть явище поляризації світла.
2. Яке світло називається: частково поляризованим? плоско поляризованим? поляризованим по колу? Схематичні позначення.
3. Яке світло називається природним? Як схематично зображується природне світло?
4. Сформулювати закон Брюстера.
5. Сформулювати і довести закон Малюса.
6. При якій умові виникає інтерференція поляризованих променів?
7. Чи має око людини здатність розрізняти поляризоване і неполяризоване світло?
8. Які є поляризаційні пристрої? Накресліть хід променів в них.
9. Дайте означення оптичної анізотропії.

Література

1. Ландсберг Г.С. Оптика. Москва: Наука, 1976. 928 с.
2. Князев С.І. Фізичний практикум. Москва: Наука, 1962. Ч. 3.
3. Чепуренко В.Г. Керівництво до лабораторних робіт з фізики. Київ, 1964.
4. Кучерук І.М., Дущенко В.Т. Загальна фізика. Оптика. Київ: Вища школа, 1991. 463 с.
5. Годжаєв Н.М. Оптика. Москва: Вища школа, 1997. 432 с.

ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ РОЗЧИНУ ЦУКРУ ПОЛЯРИМЕТРОМ

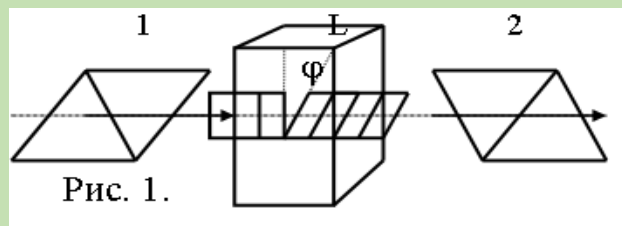
Мета: ознайомитись з будовою та принципом дії поляриметра, навчитись визначати концентрацію розчину цукру за допомогою поляриметра.

Обладнання: поляриметр, трубки з розчином цукру, лінійка.

Теоретична частина

Окремі, так звані, “оптично активні” речовини, наприклад розчин цукру, мають здатність повертати площину коливань поляризованого світла.

Нехай дві призми Ніколя 1 і 2 перехрещені і не пропускають світла (рис. 1). Помістимо між ними шар розчину цукру. Тоді площина коливань поляризованого світла, яке вийшло з ніколя 1, при проходженні розчину цукру повернеться на певний кут φ .



Площина коливань променя, який падає на ніколь 2, вже не буде перпендикулярною його головному перерізу, тому через ніколь 2 світло буде частково проходити. Щоб ніколь 2 знову не пропускав світло, його потрібно повернути на такий же кут φ слідом за повернутою площиною коливань променя, який пройшов через розчин цукру.

Кут повертання площини коливань пропорційний товщині L шару розчину цукру та його концентрації C : $\varphi = kLC$.

Звідси:

$$C = \varphi / kL. \quad (1)$$

Таким чином, для знаходження концентрації розчину цукру достатньо змінити кут повертання площини коливань променя світла, яке проходить

крізь шар цього розчину певної товщини. До того ж, необхідно знати величину сталої приладу k .

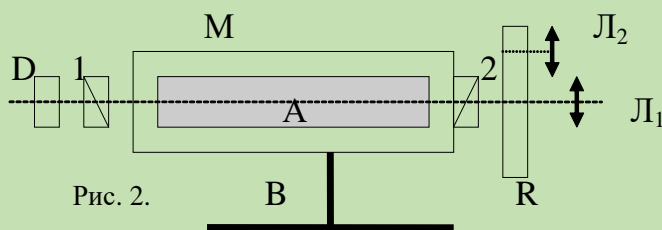


Рис. 2.

В цій роботі використано прилад, який має назву поляриметр і його будову показано на рис. 2. Головні його частини – дві призми Ніколя, які розміщені в

металевій трубці M , що підтримується штативом B . На ніколь 1 падає природний промінь світла від джерела D . Поляризоване світло падає на ніколь 2, який може повертатись за допомогою кремальєри (гвинта) R навколо вісі приладу. Кути повороту ніколя 2 відраховуються за допомогою ноніуса на градусному лімбі через лінзу L_2 . Важливо встановити з достатньою точністю ніколи в стан перехрещення, спостерігаючи зміну інтенсивності світла, що пройшло через них, за допомогою лінзи L_1 . Тому для підвищення точності в поляриметрі введено допоміжні оптичні частини. Поле зору здається поділеним на дві половини. Другий ніколь повертають до тих пір, коли обидві половини поля зору матимуть однакові затемнення. Частина стінки корпусу може відкидатись на завісах. Всередину корпусу поміщають по черзі трубки A з досліджуваними розчинами цукру.

Експериментальна частина

1. Вмикають джерело світла.
2. Відкидають стінку корпусу M поляриметра, щоб перевірити, чи вийнята трубка з розчином цукру.
3. Обертанням кремальєри R встановлюють аналізатор на темряву з однаковим затемненням обох половин поля зору, спостерігаючи в окуляр L_1 .
4. Через верхній окуляр L_2 можна бачити лімб з ноніусом. Якщо лімб встановлений вірно, то кут φ має бути рівним нулю.
5. Сталу приладу k визначають так: трубку відомої довжини L_o (в дм) з розчином цукру відомої концентрації C_o поміщають між двома ніколями. (Трубка з відомою концентрацією розчину має довжику 2 дм). Закривають кришку M і, обертуючи кремальєру R , домагаються однакового затемнення

поля зору, такого, як це було в початковому стані приладу. За ноніусом окуляра L_2 відраховують кут φ_0 повороту площини поляризації.

6. Підставивши значення кута повороту, відомі значення C_0 і L_0 , визначають сталу приладу. Дослід повторюють тричі і знаходять середнє значення k .

7. Інші трубки з розчинами цукру по черзі розміщують в поляриметрі, знаходять значення кута повороту для різних трубок. Всі досліди повторюють тричі.

8. Підставивши значення кута повороту і довжин трубок, визначають концентрації розчинів цукру. Результати заносять до таблиці.

Таблиця

Концентрації розчинів цукру

№	k_c	L_1 , дм	φ_1	C_1 ,%	L_2 , дм	φ_2	C_2 ,%

Контрольні запитання

1. Яке світло називають плоскополяризованим?
2. Що таке площина поляризації?
3. Подвійне променезаломлення.
4. Призма Ніколя, хід променів у ній.
5. Чому півтіньовим методом зручніше користуватись, ніж двома призмами Ніколя?
6. Будова поляриметра і хід променів у ньому.
7. Для чого в поляриметрі вмонтовані світлофільтри?
8. Чому окуляр поляриметра треба фокусувати на бікварцову пластинку?
9. Застосування поляризованого світла.

Література

1. Ландсберг Г.С. Оптика. Москва: Наука, 1976. 928 с.
2. Князєв С.І. Фізичний практикум. Москва: Наука, 1962. Ч. 3.
3. Чепуренко В.Г. Керівництво до лабораторних робіт з фізики. Київ, 1964.

Робота №11

ВИЗНАЧЕННЯ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ МІКРОСКОПА

Мета: Вивчити будову та принцип дії мікроскопа, навчитись визначати роздільну здатність мікроскопа.

Обладнання: мікроскоп, лінійка.

Теоретична частина

1. Будова мікроскопа.
2. Хід променів в мікроскопі.
3. Роздільна здатність мікроскопа – мінімальна відстань між двома точками, які видно в мікроскопі окремо, визначає його роздільну здатність

$$d \geq \frac{0,5\lambda_0}{n \sin u}.$$

Експериментальна частина

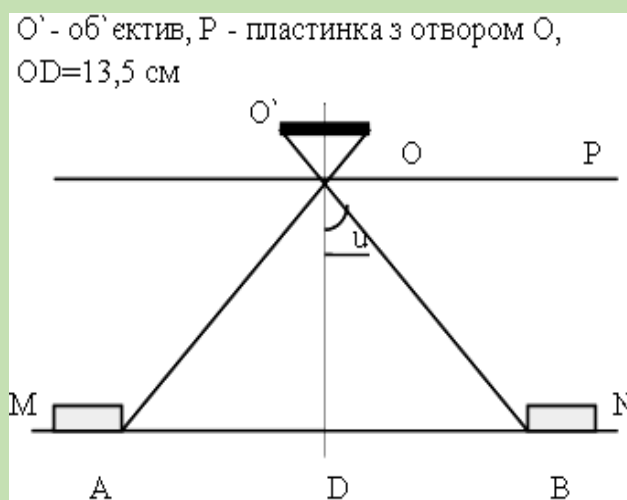
1. На предметному столику мікроскопа закріпити пластинку з отвором.
2. Встановити різкість країв в глибині отвору.
3. Зняти окуляр і крізь об'єктив розглядати зображення лінійки.
4. Встановити показники M і N на границю поля зору.
5. Визначити віддаль (AB) і об-
рахувати числову апертуру

$$\sin u = \frac{AB}{2AO}.$$

6. Розрахувати роздільну здатність, прийнявши $\lambda_0 = 0,55$ мкм для білого світла і $n = 1$ для повітря.

7. Провести вимірювання декілька раз і знайти середнє значення та

обчислити похибки. Отримані результати занести в таблицю.



Контрольні запитання

1. Будова, оптична схема мікроскопа.
2. Яка величина називається роздільною віддаллю мікроскопа ?
3. Яка величина називається роздільною здатністю мікроскопа ?
4. Від яких величин залежить роздільна здатність мікроскопа і методи її збільшення ?
5. Яку величину називають збільшенням мікроскопа?
6. Способи збільшення роздільної здатності мікроскопа.
7. Апертурний кут об'єктива мікроскопа і його числова апертура.
8. Застосування мікроскопів.
9. Дифракційна теорія роздільної здатності мікроскопа.

Література

1. Ландсберг Г.С. Оптика. Москва: Наука, 1976. 928 с.
2. Князев С.І. Фізичний практикум. Москва: Наука, 1962. Ч. 3.
3. Чепуренко В.Г. Керівництво до лабораторних робіт з фізики. Київ, 1964.
4. Кучерук І.М., Дущенко В.Т. Загальна фізика. Оптика. Київ: Вища школа, 1991. 463 с.
5. Годжаєв Н.М. Оптика. Москва: Вища школа, 1997. 432 с.

Робота № 12

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ СКЛА НА ОПТИЧНІЙ ШАЙБІ

Мета: ознайомитись з поняттям показника заломлення, навчитись експериментально визначати показник заломлення скла на оптичній шайбі.

Прилади та матеріали: шайба Гартля, плоскоопукла лінза, призми, джерело струму.

Теоретична частина

Закон заломлення виражається формулою:

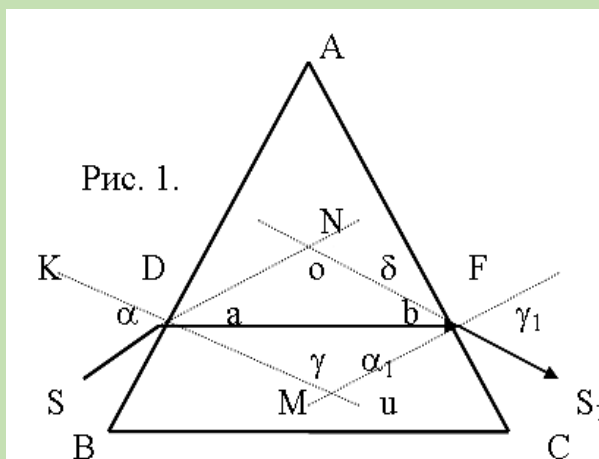
$$n = \sin \alpha / \sin \gamma, \quad (1)$$

де α – кут падіння, γ – кут заломлення, n – показник заломлення.

При проходженні променя із більш густого середовища в менш густе може відбутися повне внутрішнє відбивання. Кут падіння, при якому заломлений промінь проходить по поверхні розділу двох середовищ (кут заломлення стає рівним 90°), називається граничним кутом. В цьому випадку закон заломлення прийме вигляд :

$$n = 1 / \sin \alpha, \quad (2)$$

де n – показник заломлення більш густого середовища по відношенню до менш густого.



Для трикутної призми формулу (1) можна перетворити. Нехай переріз ABC (рис. 1) – переріз призми площиною, паралельною нижній основі. Кут A називається заломлюючим кутом призми, кут падіння променя SD – α , γ – кут його заломлення. В точці F

промінь повторно заломлюється і виходить з призми в напрямі FS_1 . Кут падіння на грань AC позначимо α_1 , а кут заломлення γ_1 . З малюнка видно, що

$$\angle \alpha = \angle a + \angle \gamma \quad (3)$$

$$\angle \gamma_1 = \angle b + \angle \alpha_1 \quad (4)$$

Кут δ , утворений продовженням падаючого променя SD і заломленого FS_1 , називається кутом відхилення, і дорівнює:

$$\angle \delta = \angle a + \angle b. \quad (5)$$

З рівнянь (3) і (4) знаходимо: $\angle a = \angle \alpha - \angle \gamma$, $\angle b = \angle \gamma_1 - \angle \alpha_1$

Підставляючи їх у формулу (5) одержимо:

$$\angle \delta = \angle \alpha - \angle \gamma + \angle \gamma_1 - \angle \alpha_1. \quad (6)$$

Кут δ буде найменшим, коли кут падіння променя SD на грань AB і кут виходу променя із призми будуть рівними, тобто $\angle \alpha = \angle \gamma_1$. Але, якщо $\angle \alpha = \angle \gamma_1$, то і $\angle \gamma = \angle \alpha_1$, так як $n = \sin \alpha / \sin \gamma$ і $n = \sin \gamma_1 / \sin \alpha_1$.

Таким чином із рівнянь маємо:

$$\angle \delta = \angle 2\alpha - \angle 2\gamma. \quad (7)$$

З малюнку легко впевнитись, що $\angle u = \angle \gamma + \angle \alpha_1 = \angle 2\gamma$ і $\angle u = \angle A$, або

$$\angle A = \angle 2\gamma. \quad (8)$$

Із рівнянь (7) і (8) маємо: $\angle \delta = \angle 2\alpha - \angle A$, звідки $\alpha = (A + \delta) / 2$, а з рівняння (7) $\gamma = (\angle A) / 2$.

Використовуючи формулу (1), одержимо:

$$n = (\sin(A + \delta) / 2) / (\sin A / 2). \quad (9)$$

Отже, для визначення показника заломлення призми потрібно визначити кут найменшого відхилення і заломлюючий кут призми.

Експериментальна частина

1. Від'юстирувати оптичний прилад.
2. Закріпити плоскоопуклу лінзу на диску так, щоб центр її співпадав з центром диска, а плоска сторона була розміщена горизонтально по діаметру.
3. Перевірити вірність установки, пропускаючи промінь вертикально по діаметру через центр лінзи. Якщо промінь не заломлюється і, вийшов з лінзи, освітлює диск до кінця, проводять вимірювання.

4. Повертаючи освітлювач так, щоб промінь падав під різними кутами (10° , 20° , 30° , 40° , ...), обчислити показник заломлення скла лінзи за формулою (1).
5. Обчислити показник заломлення за формулою (2), вимірявши граничний кут повного внутрішнього відбивання.
6. Закріпити на оптичній шайбі призму таким чином, щоб промінь від освітлювача проходив близько вершини заломлюючого кута.
7. Повертаючи призму, визначити кут найменшого відхилення і обчислити показник заломлення призми.
8. Дані вимірів занести у таблицю.

Контрольні запитання

1. В чому полягають закони заломлення світла?
2. Що означає оборотність падаючого і заломленого променів?
3. В яких випадках відбувається повне внутрішнє відбивання?
4. Дайте означення граничного кута повного внутрішнього відбивання.
5. Що називається абсолютним показником заломлення?
6. Як йдуть промені всередині призми, коли кут відхилення найменший?
7. Яка залежність між заломлюючим кутом призми і кутом найменшого відхилення?
8. Чи існують речовини із від'ємним показником заломлення?
9. Якого практичного застосування набуло явище повного відбивання?

Література

1. Ландсберг Г.С. Оптика. Москва: Наука, 1976. 928 с.
2. Князев С.І. Фізичний практикум. Москва: Наука, 1962. Ч. 3.
3. Чепуренко В.Г. Керівництво до лабораторних робіт з фізики. Київ, 1964.
4. Кучерук І.М., Дуценко В.Т. Загальна фізика. Оптика. Київ: Вища школа, 1991. 463 с.
5. Годжаєв Н.М. Оптика. Москва: Вища школа, 1997. 432 с.

ВИВЧЕННЯ СФЕРИЧНИХ ДЗЕРКАЛ

Мета: ознайомитися із правилами проходження променів та побудови зображення об'єкта крізь сферичні дзеркала.

Обладнання: сферичні дзеркала, оптична лава, екран, предмет, штатив, джерело світла.

Теоретична частина

Відполірована поверхня частини кулі носить назву **сферичного дзеркала**. Центром кривизни дзеркала є центр тієї кулі, частина якої є відповідною поверхнею. Сферичні дзеркала бувають **угнутими і опуклими**: в першому випадку відполірована поверхня обернена до центру кривизни, в другому – в протилежний бік.

Центральна точка, середина відповідної поверхні, носить назву **полюса** дзеркала. Перетин дзеркала площиною, що проходить через центр кривизни і полюс, носить назву **головного перетину**. Пряма, що проходить через центр кривизни і полюс, носить назву **головної оптичної осі** або просто **оптичної осі** дзеркала. Промені, що проходять біля оптичної осі, носять назву **осьових** або **центральных**. **Радіусом кривизни** дзеркала є радіус кулі, частина якої являє відбивну поверхню. Він дорівнює відстані полюса до центра кривизни. **Головним фокусом** називають точку, в якій перетинаються після відбиття від дзеркала промені, що падають на нього паралельно головній оптичній осі. Віддаль головного фокуса від полюса дзеркала називають **головною фокусною віддалю** дзеркала.

Безпосереднє вимірювання фокусної віддалі виходить не дуже точним, оскільки утворення "точкового" джерела світла або абсолютно паралельного пучка променів важко здійснити. Майже паралельними можна вважати сонячні промені. Іноді, для швидкого, але грубого вимірювання фокусної віддалі,

користуються променями, які виходять від лампи, що знаходиться на великій відстані від дзеркала. Для більш точного визначення фокусної віддалі угнутого дзеркала в геометричній оптиці використовують співвідношення для осьових променів, що зв'язують віддаль світної точки до полюса дзеркала d , віддаль від зображення до полюса f і радіус кривизни R .

$$1/d + 1/f = 2/R. \quad (1)$$

Для опуклого дзеркала формула (1) приймає вигляд:

$$1/f - 1/d = 2/R. \quad (2)$$

Якщо предмет знаходиться в нескінченній віддаленості від дзеркала ($d = \infty$), то падаючі промені паралельні головній оптичній осі. Тоді формула (1) має вигляд: $1/f = 2/R$, звідки

$$F = f = R/2. \quad (3)$$

Користуючись виразом (3), перетворимо формулу (1):

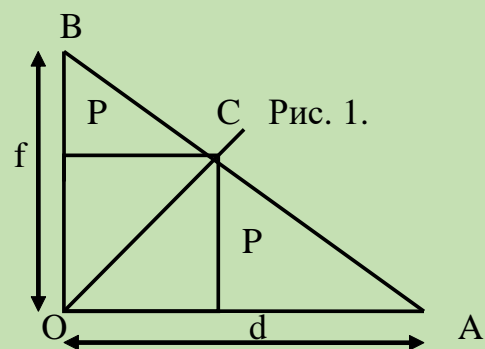
$$1/d + 1/f = 1/F. \quad (4)$$

Формули (1) і (4) – основні формули для дослідження сферичних дзеркал. Цими формулами користуються для знаходження однієї з трьох величин F , f , d , якщо обидві інші відомі. Крім того, існує залежність між розмірами предмета X і його зображення Y з F , f і d .

$$x/y = (d - F)/F = F/(f - F). \quad (5)$$

Формули (4) і (5) дійсні лише в тих випадках, коли падаючі промені складають з оптичною віссю дзеркала малі кути.

Іноді використовуються графічні методи для визначення величини F за даними d і f . Припустимо, що $OA = d$ і $OB = f$ (рис. 1). Нехай пряма OC , що ділить прямий кут при вершині O пополам, перетинає пряму BA в точці C . Тоді площа трикутника BOA дорівнює сумі площин трикутника COA та COB ,

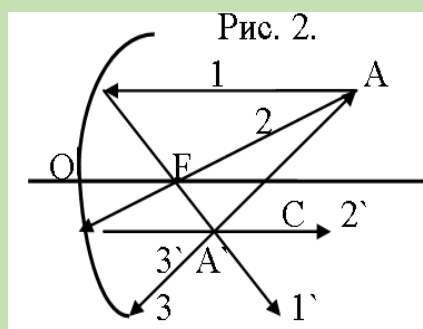


тобто можна записати: $fd/2 = Pd/2 + Pf/2$, але $fd/(f + d) = F$, значить $P = F$.

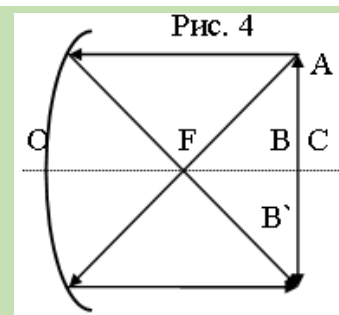
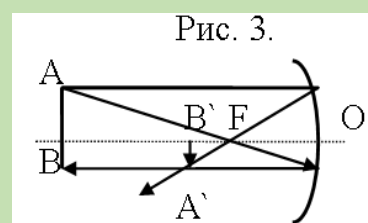
Звідси випливає, що головна фокусна відстань визначається будь-якою координатою P точки C . Якщо по осях координат відкласти ряд значень d та f , то для усіх відповідних пар d та f усі аналогічні прямі AB перетнуться в точці

C , звiсно, в межах, допустимих дослiдом похибок. Середнє значення координати таких точок C може бути прийнято за величину F .

Для побудови зображення в угнутому дзеркалі можна користуватися трьома променями, шлях яких після відбиття від дзеркала відомий (рис. 2), а саме:



- 1) промінь, паралельний головній оптичній осі, після відбиття від дзеркала проходить через головний фокус;
- 2) промінь, який іде із головного фокуса дзеркала, після відбиття іде паралельно головній оптичній осі дзеркала;
- 3) промінь, який іде із геометричного центра дзеркала, відбивається у зворотному напрямку по тій же прямій.

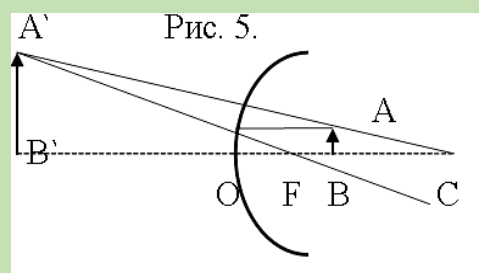


Обладнання:

- 1) оптична лавка із шкалою;
- 2) дзеркало з тримачем;
- 3) екран з нанесеним на нього масштабом;
- 4) предмет, наклеєний на матове скло, (трикутник);
- 5) освітлювач.

Опис пристрою

Дзеркало, предмет і екран для одержання дійсного зображення предмету, закріплюється на спеціальних тримачах, які можуть пересуватись по лаві. Шкала, яка є на лаві, дає можливість визначити віддаль d і f з точністю до одного міліметра. Предметом є трикутник, вирізаний із чорного паперу і наклеєний на кальку так, що він не пропускає падаючого світла. Одержання видимого на екрані зображення можливо лише при інтенсивному освітленні



предмету за допомогою освітлювача, який знаходиться позаду трикутника з калькою. Екран – це міліметровий папір, що наклеєний на щільний картон. Екраном, також, може бути матове скло або калька, наклеєна на рамку так, щоб можна було бачити зображення на провіт.

Експериментальна частина

1. Встановлюють предмет (рис. б) від дзеркала на відстані, що явно більша за подвоєну фокусну віддаль. Підбирають таке положення екрану, щоб зображення було най-

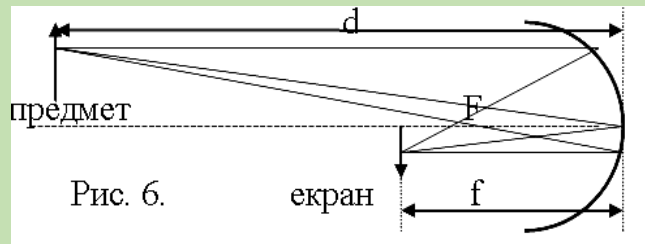


Рис. 6.

більш чітким. Відрахувавши по шкалі віддаль d і f і вимірявши за допомогою циркуля-вимірювача і міліметрової лінійки величину дійсної висоти трикутника X_1 і висоти його зображення Y_1 , дійсної довжини основи X_2 і його зображення Y_2 , вносять ці дані в таблицю.

№	віддаль		F_1	висота		F_2	основа		F_3
	d	f		x_1	y_1		x_2	y_2	
	$F_{1c}, \text{ см.} =$			$F_{2c}, \text{ см.} =$			$F_{3c}, \text{ см.} =$		
	$F_c, \text{ см.}$								
	$\Delta F, \text{ см.}$								
	$\Delta F / F, \%$								
	$F = F_c \pm \Delta F$								

2. Наближаючи предмет до дзеркала або віддаляючи від нього, знову знаходять розташування екрану, відповідає найбільшій чіткості і вимірюють d, f, x_1, x_2, y_1, y_2 . Досліди повторюють від 3-х до 5-ти разів при рівних віддаль предмета від дзеркала.

3. З результатів кожного досліду обчислюють F , користуючись виразами:

$$F = df / (d + f). \quad (1)$$

$$F = yd / (x + y). \quad (2)$$

$$F = xf / (x + y), \quad (3)$$

що витікають із рівностей $1 / F = 1 / d + 1 / f$ та $x / y = (d - f) / F = F / (f - F)$.

В формулах (2) і (3) замість x і y беруть x_1 та y_1 (відповідні значення для висот предметів і зображення) або x_2 та y_2 (відповідні значення для основи предмета і його зображення).

Крім визначення F , порівнюють величини відношень y_1 / x_1 і y_2 / x_2 і встановлюють: чи викликає дзеркало спотворення форми зображення.

Контрольні запитання

1. Дайте означення сферичного дзеркала.
2. Формула сферичного дзеркала.
3. Дайте означення оптичного центра та полюса дзеркала.
3. Хід променів крізь сферичні дзеркала.
4. Правила побудови зображень, які утворюються за допомогою сферичних дзеркал.
5. Чому при проведенні дослідів слід предмет ставити на віддалі, що перевищує $2F$?
6. Яким буде і де утвориться зображення у вгнутому дзеркалі, якщо $F < d < 2F$? $F > d$?
7. Побудувати зображення у всіх трьох випадках.
8. Застосування сферичних дзеркал.

Література

1. Ландсберг Г.С. Оптика. Москва: Наука, 1976. 928 с.
2. Князев С.І. Фізичний практикум. Москва: Наука, 1962. Ч. 3.
3. Чепуренко В.Г. Керівництво до лабораторних робіт з фізики. Київ, 1964.
4. Кучерук І.М., Дущенко В.Т. Загальна фізика. Оптика. Київ: Вища школа, 1991. 463 с.
5. Годжаєв Н.М. Оптика. Москва: Вища школа, 1997. 432 с.

Робота № 14

ПЕРЕВІРКА ЗАКОНІВ ОСВІТЛЕНОСТІ

Мета: ознайомитися із основними фотометричними величинами, експериментально перевірити закони фотометрії.

Обладнання: експериментальна установка, мультиметр.

Теоретична частина

Потоком випромінювання Φ називають енергію, яка переноситься світловим променем за одиницю часу на площадку dS в тілесному куті Ω . Нехай з точкового джерела світла площадку dS видно під тілесним кутом $d\Omega$. Тоді ця площадка отримуватиме за $1c$ енергію, рівну $d\Phi_1$. Точкове джерело характеризується силою світла I :

$$I = d\Phi / d\Omega. \quad (1)$$

Очевидно, що $d\Phi_1 = d\Phi \cos \alpha$, де α – кут між нормаллю до площадки і світловим променем. Тому маємо:

$$d\Phi_1 = Id\Omega \cos \alpha. \quad (2)$$

Нехай R – відстань від джерела світла до площадки. Тоді за означенням тілесного кута $d\Omega = dS / R^2$, і з врахуванням (2):

$$d\Phi = (IdS \cos \alpha) / R^2. \quad (3)$$

Освітленість визначається світловим потоком, що падає на одиницю площі, тобто $E = d\Phi / dS$, тоді:

$$E = (I \cos \alpha) / R^2. \quad (4)$$

На місці площадки розташовано один з p - n -переходів напівпровідникового транзистора МП-38 або аналогічного, який відіграє роль фотоприймача. Опір електронно-діркового переходу, ввімкненого в зворотному напрямку, суттєво залежить від його освітленості. Це обумовлено тим, що при дії світла в домішковому напівпровіднику значно зростає концентрація неосновних носіїв заряду. Завдяки цьому на межі p - n -переходу відбувається перерозподіл

об'ємного заряду і виникає різниця потенціалів. Таким чином, зміну освітленості переходу можна фіксувати за зміною фотоелектрорушійної сили, оскільки $U \sim E$.

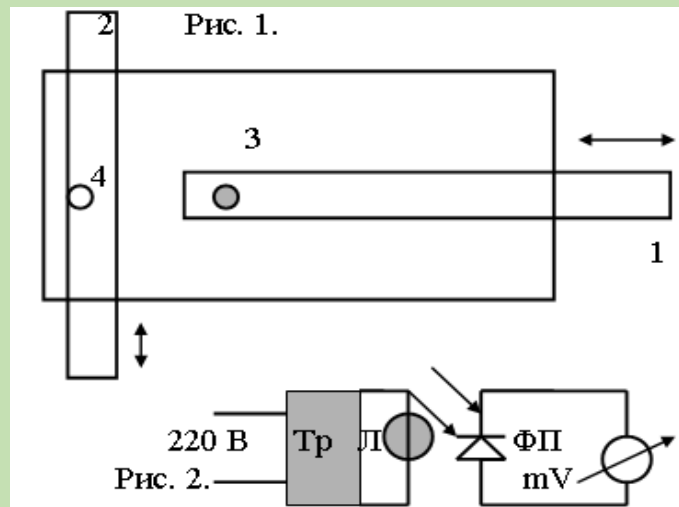
В цій роботі закон освітленості перевіряється у двох варіантах:

- а) змінюється лише R ;
- б) змінюється R і α .

Опис пристрою

Схема пристрою показана на рис. 1. Джерелом світла є електрична лампочка розжарення робочою напругою до 6 В. Лампочка 3 закріплена на лінійці 1, а приймач світла 4 – на лінійці 2.

Вся конструкція поміщена у світлонепроникний ящик для захисту від денного освітлення.



Експериментальна частина

1. Зібрати схему за рис. 2.
2. Лінійку 2 розташувати так, щоб зліва і справа були однакові значення показів (при цьому кут падіння світла на приймач буде рівний нулю).
3. Встановити початкову віддаль лампи від приймача найменшою і виміряти її.
4. Змінюючи значення R , фіксувати зміну фотоелектрорушійної сили, яку показує мілівольтметр. Дані занести в табл. 1.
5. Побудувати графік залежності $U = f(1 / R^2)$.
6. Розташувати лампочку на найбільшій відстані від приймача і, змінюючи за допомогою лінійки 2 положення приймача, фіксувати зміну напруги. Дані занести до табл. 2.
7. Побудувати залежність $U = f(\cos \alpha / R^2)$.

Таблиця 1

$R, \text{ м}$	$1 / R^2, \text{ м}^{-2}$	$U_1, \text{ мВ}$	$U_2, \text{ мВ}$	$U_3, \text{ мВ}$	$U_c, \text{ мВ}$

Таблиця 2

R	α	$\cos \alpha$	$U_1, \text{ мВ}$	$U_2, \text{ мВ}$	$U_3, \text{ мВ}$	$U_c, \text{ мВ}$

Контрольні запитання

1. Назвати основні фотометричні величини. Одиниці їх вимірювання.
2. Дайте означення перерахованих фотометричних величин.
3. Розповісти про будову та принцип роботи експериментального пристрою.
4. Як світлова енергія перетворюється в електричну в р-п-переході?
5. Що називають джерелом світла.
6. Класифікація джерел світла.
7. Назвіть основні фактори, що враховуються при розрахунках освітленості.
8. Наведіть приклади технічних пристроїв, що реагують на надходження світлової енергії.
9. Закон зворотних квадратів фотометрії.

Література

1. Ландсберг Г.С. Оптика. Москва: Наука, 1976. 928 с.
2. Князев С.І. Фізичний практикум. Москва: Наука, 1962. Ч. 3.
3. Чепуренко В.Г. Керівництво до лабораторних робіт з фізики. Київ, 1964.
4. Кучерук І.М., Дущенко В.Т. Загальна фізика. Оптика. Київ: Вища школа, 1991. 463 с.
5. Годжаєв Н.М. Оптика. Москва: Вища школа, 1997. 432 с.

Робота № 15

ВИМІРЮВАННЯ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ І ТОВЩИНИ ТОНКИХ ПЛІВОК МЕТОДОМ ІНТЕРФЕРЕНЦІЇ

Мета роботи: Навчитись вимірювати товщину тонких плівок і показник заломлення методом інтерференції світла.

Обладнання. тонкі плівки, кутомірні пристрої, довідникова література.

Теоретична частина

Поширення світла в будь-якому середовищі є проявом інтерференції. Якщо на поверхню речовини падає світлова хвиля, то під її дією кожна молекула (атом) речовини здійснює вимушені коливання і випромінює хвилі з тією самою частотою і фазою. Внаслідок інтерференції усіх хвиль виникають відбитий і заломлений промені. В усіх інших напрямках результуюча амплітуда коливань дорівнює нулю.

Розглянемо ідеалізований випадок, коли дві хвилі монохроматичні (мають однакову довжину λ) і мають однакові частоти. Монохроматична хвиля – це синусоїдальна хвиля з сталими в часі частотою ω , амплітудою A і початковою фазою коливань φ . Амплітуда і фаза коливань при переході від однієї точки простору до іншої можуть зазнавати змін, а частота коливань залишається сталою в усьому процесі.

Розглянемо детальніше процес додавання коливань. Нехай хвилі поширюються від джерел S_1 і S_2 і зумовлюють коливання однакової частоти в одному напрямі.

Коливання, викликані цими хвилями, в точці O (рис.1) виражаються рівняннями: першої:

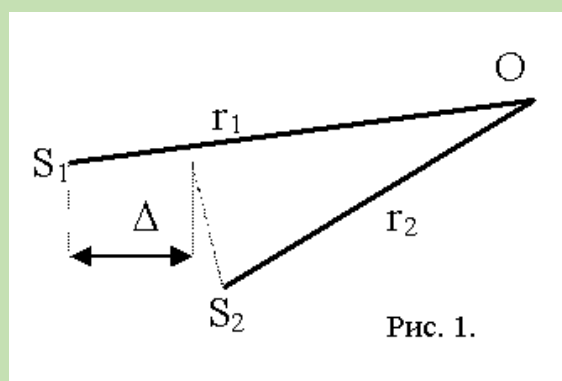


Рис. 1.

$$E_1 = E_{01} \cos[\omega t - (2\pi r_1) / \lambda], \quad (1)$$

другої:

$$E_2 = E_{02} \cos[\omega t - (2\pi r_2) / \lambda], \quad (2)$$

де E_{01} і E_{02} – амплітуди коливань вектора напруженості електричного поля в точці O ; r_1 і r_2 – відстані від джерел S_1 і S_2 до точки O , в якій відбувається накладання хвиль. Оскільки в точці O відбувається додавання двох гармонічних коливань однакового періоду, що відбуваються в одному напрямі, то результуюче коливання теж буде гармонічним з тим самим періодом і в тому самому напрямі, тобто:

$$E = E_0 \cos(\omega t + \varphi). \quad (3)$$

Амплітуду E_0 і початкову фазу φ цього коливання визначимо за формулами:

$$E_0^2 = E_{01}^2 + E_{02}^2 + 2E_{01}E_{02} \cos[2\pi(r_1 - r_2) / \lambda] \quad (4)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{E_{01} \sin \varphi_1 + E_{02} \sin \varphi_2}{E_{01} \cos \varphi_1 + E_{02} \cos \varphi_2}, \quad (5)$$

де

$$\varphi_1 = 2\pi r_1 / \lambda, \quad \varphi_2 = 2\pi r_2 / \lambda.$$

Для випадку, коли амплітуди коливань однакові, тобто $E_{01} = E_{02}$, формула (4) має вигляд:

$$E_0^2 = 2E_{01}^2 + 2E_{01}^2 \cos[2\pi(r_1 - r_2) / \lambda]. \quad (6)$$

Фаза результуючого коливання в точці O залежить від розміщення цієї точки і початкових фаз коливань у джерелах випромінювання. Величину $\Delta = r_1 - r_2$ називають різницею ходу променів (тут вважається, що середовище, де поширюються хвилі, має показник заломлення $n = 1$).

Інтенсивність світла пропорційна квадрату амплітуди, тому в точці O вона матиме вигляд:

$$I = 2I_1 + 2I_1 \cos \Delta \varphi = 2I_1 + 2I_1 \cos[2\pi(r_1 - r_2) / \lambda]. \quad (7)$$

Проаналізуємо останню формулу. Якщо початкові фази не залежать від часу, то їх різниця буде сталою (в окремих випадках може дорівнювати нулю), тому повна різниця фаз результуючого коливання теж не залежатиме від часу. Позначимо її через $\Delta \varphi$. Тобто:

$$\Delta\varphi = 2\pi(r_1 - r_2) / \lambda. \quad (8)$$

Світлові хвилі, для яких різниця фаз з часом не змінюється, називаються **когерентними**. Джерела світла, що випромінюють такі хвилі, також називаються когерентними.

Для випадку, коли джерело світла розташоване у нескінченності, відбиті від поверхонь пластинки пучки поширюватимуться паралельно, що показано на рис. 2. Оскільки пучки 1 і 2 утворені поділом пучка SA , то вони когерентні і на екрані E , площина якого збігається з фокальною площиною лінзи, спостерігається інтерференційна картина. Залежно від різниці ходу пучків 1 і 2 в точці P на екрані E спостерігатимемо максимум або мінімум. Знайдемо різницю ходу пучків.

Нехай пластина з показником заломлення n завтовшки h розміщена в повітрі, показник заломлення якого можна вважати рівним 1, тобто $n_o = 1$. Оптична різниця ходу між пучками 1 і 2:

$$\Delta = (AB + BC)n - (AD \pm \lambda / 2). \quad (9)$$

Додаткова різниця ходу $\lambda / 2$ виникає внаслідок зміни фази коливань світлового вектора на π при відбиванні пучка 1 від верхньої поверхні пластини ($n_o < n$). Для випадку, коли $n < n_o$, зміна фаз коливань на π відбулась би при відбиванні пучка 2 від нижньої поверхні пластинки і тоді в (1) перед $\lambda / 2$ потрібно ставити знак мінус. З рис. 2. маємо:

$$AB = BC = h / \cos\beta;$$

$$AD = AC \sin\alpha = 2h \operatorname{tg}\beta \sin\alpha,$$

де α і β – відповідно кути падіння і заломлення. Враховуючи, що

$$\sin\alpha / \sin\beta = n / n_o = n, \quad (n_o = 1),$$

дістанемо:

$$\begin{aligned} \Delta &= \frac{2hn}{\cos\beta} - 2h \operatorname{tg}\beta \sin\alpha - \frac{\lambda}{2} = 2hn \cos\beta - \frac{\lambda}{2} \\ &= 2hn \sqrt{1 - \sin^2\beta} - \frac{\lambda}{2} = 2h \sqrt{n^2 - \sin^2\alpha} - \frac{\lambda}{2}. \end{aligned} \quad (10)$$

У точці P буде максимум, якщо $\Delta = k\lambda$, тобто:

$$2h \sqrt{n^2 - \sin^2\alpha} - (\lambda / 2) = k\lambda. \quad (11)$$

Мінімум буде за умови $\Delta = (2k + 1)\lambda / 2$, тоді:

$$2h\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} - (\lambda / 2) = (2k + 1)(\lambda / 2). \quad (12)$$

З (11) і (12) випливає, що для сталих величин h , n і λ кожному куту падіння відповідає своя інтерференційна смуга. Такі смуги називають *смугами* або *лініями рівного нахилу*.

При розгляді інтерференції від плоскопаралельної пластинки ми користувались двома променями (1 і 2), різниця інтенсивностей яких незначна (пластинка досить тонка і має мале поглинання). У створенні інтерференційної картини беруть участь також промені 3, 4 і т.д. Оскільки ці і інші промені зазнають три-, п'ятиразового відбивання і їх інтенсивність значно зменшується, то їхньою дією можна знехтувати.

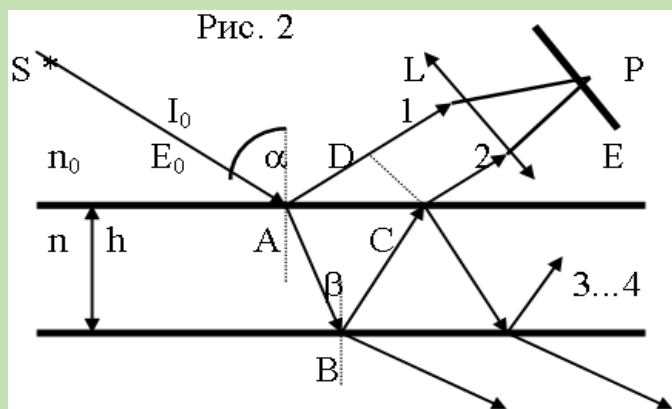
Експериментальна частина

В цій роботі інтерференційна картина отримується методом, зображеним на рис. 2. Вважаємо, що товщина тонкої плівки по всій поверхні однакова. Роль лінзи виконує око людини. Робота виконується в такій послідовності:

1. Кутомірний інструмент і тонку плівку розміщують на горизонтальній поверхні столу. Оцінюють, які кольори у відбитому світлі можна спостерігати в цій плівці.

2. За допомогою кутомірного інструменту вимірюємо кут відбитого променя, при якому ми бачимо певний колір плівки. В таблицю записуємо значення кутів і довжин λ хвиль. Значення λ для різних кольорів світла подані в довідковій таблиці. Вимірювання проводимо не менше трьох разів для кожного кольору.

3. З формули (11) маємо вираз для обчислення товщини тонкої плівки. Так, як у більшості випадків втрачається півхвилі при відбитті світла від верхньої та нижньої поверхонь плівки, то доданок $\pm\lambda/2$ в розрахунках не враховується. Тому формула для обчислень має вигляд:



$$h = \frac{\lambda}{2\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}. \quad (13)$$

Тут враховано, що для найбільш яскравої інтерференції $k = 1$.

Для кожної пари значень λ і α обчислюємо товщину плівки, а потім знаходимо її середнє значення.

4. У випадку, коли показник заломлення плівки невідомий, його можна знайти з сумісного розв'язку рівняння (13) для двох пар значень λ і α . Записавши формулу (13) для цих пар значень, маємо:

$$h = \frac{\lambda_1}{2\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha_1}}, \quad h = \frac{\lambda_2}{2\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha_2}}.$$

Поділивши одне рівняння на друге, маємо вираз для обчислення показника заломлення плівки:

$$n = \sqrt{\frac{\lambda_1^2 \sin^2 \alpha_2 - \lambda_2^2 \sin^2 \alpha_1}{\lambda_1^2 - \lambda_2^2}}. \quad (14)$$

5. Результати вимірювань і обчислень занести до таблиці 2.

6. За результатами роботи обчислити абсолютні і відносні похибки та записати кінцеві результати у вигляді:

$$h = h_c \pm \Delta h; \quad n = n_c \pm \Delta n.$$

Довідкові дані: Для плівки SiO_2 , нанесеної на Si : $n_{SiO_2} = 1,47$; $n_{Si} = 3,74$.

Таблиця 1

Кольори світла та відповідні їм довжини хвиль

Колір видимого світла	λ , мкм
Фіолетовий	0,4 – 0,44
Синій	0,44 – 0,495
Голубий	0,495 – 0,52
Зелений	0,52 – 0,56
Жовтий	0,56 – 0,60
Оранжевий	0,60 – 0,64
Червоний	0,64 – 0,76

Таблиця 2

№	$\alpha, ^\circ$	$\lambda \cdot 10^{-6}, \text{ м}$	n	$h \cdot 10^{-6}, \text{ м}$
Плівка №1				
Середні значення				
Плівка №2				
Середні значення				

Контрольні запитання

1. В чому полягає суть явища інтерференції?
2. Які хвилі називаються когерентними?
3. Чому для отримання інтерференції різниця ходу хвиль повинна бути сталою?
4. Чому для спостереження інтерференції світла різниця ходу хвиль не повинна перевищувати 3 м?
5. Умови максимуму та мінімуму.
6. На рис. 2 зображено спосіб отримання інтерференційної картини, локалізованої на безмежності (промені 1 і 2 паралельні. тому умовно перетинаються на безмежності). За яких умов інтерференційна картина буде локалізованою на поверхні плівки?
7. Які фактори і в якій мірі впливають на точність результатів роботи?
8. Будова та принцип дії інтерферометрів.
9. Наведіть приклади практичного застосування інтерференції світла.

Література

1. Годжаев Н.М. Оптика. Москва: Высшая школа, 1997. 432 с.
2. Кучерук І.М., Дущенко В.П. Загальна фізика. Оптика. Квантова фізика. Київ: Вища школа, 1991. 463 с.
3. Ландсберг Г.С. Оптика. Москва: Наука, 1976. 928 с.
4. Князев С.И. Физический практикум. Ч. 3. 1962.

5. Кортнев А.В., Рублев К.В. Практикум по физике. Москва, 1965.
6. Мойсова Н.Н. Практикум з курсу загальної фізики. Москва, 1970.
7. Чепуренко В.Г. Керівництво до лабораторних робіт з фізики. Київ, 1964.
8. Євграфова Н.Н., Каган В.Л. Вказівки до лабораторних робіт з фізики.
9. Гольдін Л.Л. Керівництво до лабораторних робіт з фізики.
10. Вуд Р. Физическая оптика.

Робота № 16

ВИВЧЕННЯ СФЕРИЧНОЇ І ХРОМАТИЧНОЇ АБЕРАЦІЇ ЛІНЗ НА ОПТИЧНІЙ ЛАВІ

Мета: навчитись експериментально визначати сферичну і хроматичну аберації лінз на оптичній лаві.

Обладнання: 1) оптична лава і до неї чотири рейтера; 2) точкове джерело світла; 3) коліматорна лінза; 4) набір досліджуваних лінз; 5) екран, закріплений на рухомій підставці; 6) кругла і кільцева діафрагми; 7) червоний і фіолетовий світлофільтри.

Теоретична частина

Фокусна відстань тонкої лінзи F пов'язана з показником заломлення n речовини лінзи формулою

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

де R_1 і R_2 – радіуси обмежуючих лінзу сферичних поверхонь. У свою чергу, показники заломлення проміння різної довжини хвилі мають різну величину, тобто n є функцією довжини хвилі λ заломлюваного лінзою світла. Внаслідок цього фокуси проміння різної довжини хвилі виявляються на різних відстанях від лінзи. З видимого проміння найменшу довжину фокусної відстані має фіолетове проміння, а найбільшу – червоні, як показано на рис. 1. Тому зображення плоского або просторового предмету на плоскому екрані для випадку немонохроматичного джерела світла закрашено по краях. Для прозорих середовищ залежність n від λ визначається емпіричною формулою

$$n = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} + \dots, \quad (2)$$

де A , B , C – константи, характерні для даної речовини.

Графічне зображення залежності (2) носить назву дисперсійної кривої для даної речовини.

Розібраний недолік лінз носить назву хроматичної аберації. Мірою хроматичної аберації вважається різниця фокусних відстаней лінзи $\rho = F_k - F_f$ для червоного і

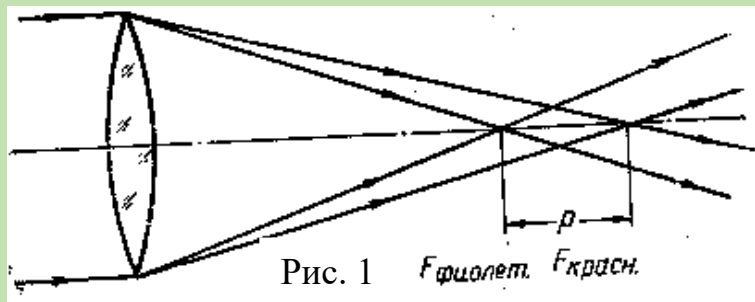


Рис. 1 $F_{\text{фиолет.}}$ $F_{\text{красн.}}$

фіолетового проміння, які лежать на кінцях видимого спектру. Для товстих лінз а також для систем лінз хроматична аберация може бути практично усунена шляхом відповідного підбору сорту скла, дисперсійних кривих для лінз і розмірів лінз, що входять в систему. У лінз вгнутих і опуклих хроматична аберация викликає протилежну розбіжність проміння різних довжин хвиль. Тому для знищення хроматичної аберации користуються системою двох лінз, опуклою і вгнутою які мають рівні і протилежні дисперсії, але нерівні оптичні сили. Скло звичайно підбирають так, щоб повністю знищити аберацию для фраунгоферових ліній (4860 А) і (6560 А). Тоді і аберация по всій центральній ділянці спектру буде сильно ослаблена.

Опис методу і приладів

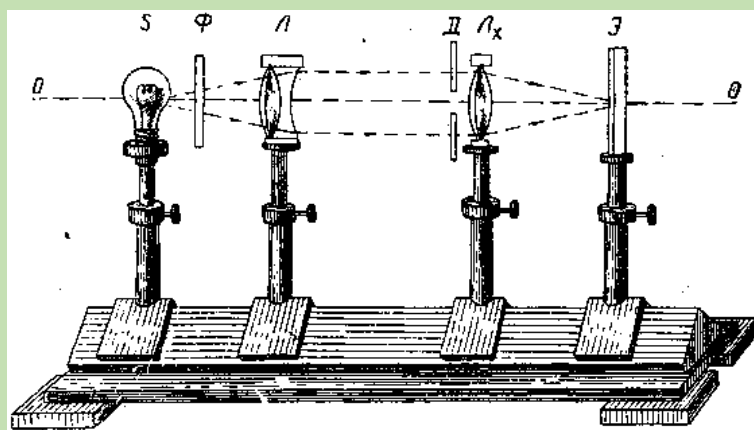


Рис. 2. Розташування приладів для визначення міри хроматичної і сферичної аберации

На рейтерах оптичної лави (рис. 2) встановлюють джерело світла S , коліматорну лінзу L , досліджувану лінзу L_x і екран E . Джерелом світла в даній роботі служить маленька автомобільна лампочка, яка живиться або від окре-

мої батареї, або від знижувального трансформатора. Лампочку S встановлюють в головному фокусі коліматорної лінзи L . Пучок паралельних променів, що вийшли з лінзи L , проходять через досліджувану лінзу L_x і збираються в її головній фокальній площині. Встановлюють екран E , одержують на ньому зображення волоска лампочки S , помітне спотворене внаслідок сферичної і хроматичної аберації лінзи. Для дослідження сферичної аберації в даному випадку застосовують дві діафрагми D . Одна діафрагма має круглий отвір невеликого діаметра, через який проходить тільки вузький пучок параксіальних променів, інша – кільцева щілина.

Для дослідження хроматичної аберації в роботі застосовують два світлофільтри Φ , червоний і фіолетовий. Світлофільтри поміщають на шляху світлового проміння, поблизу джерела світла; діафрагми вставляють в спеціальний проріз безпосередньо перед лінзою L_x .

Експериментальна частина

1. Лінзи L і L_x встановлюють так, щоб їх головні оптичні осі співпадали і знаходилися на прямій 00 . На цій же прямій 00 (рис. 2) розташовують з одного боку лампочку S , з іншою – екран E , закріплений на рухомій підставці. Виміри проводять з декількома лінзами.

2. Для дослідження сферичної аберації користуються одним яким-небудь світлофільтром, наприклад червоним. Одержують різке зображення волоска лампочки на екрані один раз при круглій і інший раз при кільцевій діафрагмі (пересувають тільки екран). Різниця відліку положення екрану по рухомій підставці в тому і іншому випадку безпосередньо дає наближену величину повздовжній сферичній аберації досліджуваної лінзи.

3. Для дослідження хроматичної аберації користуються однією з діафрагм, наприклад кільцевою. Одержують різке зображення волоска лампочки один раз при червоному світлофільтрі і інший раз при фіолетовому (пересувають тільки один екран). Різниця відліку положення екрану по рухомій підставці в тому і іншому випадку дає міру хроматичної аберації досліджуваної лінзи.

Додаткове завдання:

1. Накреслити схему досліду визначення міри сферичної і хроматичної аберації.

Контрольні запитання

1. Перерахуйте основні недоліки лінз.
2. В чому полягає суть явища аберації?
3. В чому полягає хроматична аберація?
4. Яким чином можна визначити сферичну аберацію на оптичній лаві?
5. Як можна зменшити хроматичну аберацію?
6. Яким чином можна визначити хроматичну аберацію на оптичній лаві?
7. Чим відрізняється хроматична аберація від сферичної?
8. Методи усунення недоліків лінз.
9. Від чого залежить точність вимірювань у даній роботі?

Література

1. Ландсберг Г.С. Оптика. Москва: Наука, 1976. 928 с.
2. Князев С.І. Фізичний практикум. Москва: Наука, 1962. Ч. 3.
3. Чепуренко В.Г. Керівництво до лабораторних робіт з фізики. Київ, 1964.
4. Кучерук І.М., Дущенко В.Т. Загальна фізика. Оптика. Київ: Вища школа, 1991. 463 с.
5. Годжаєв Н.М. Оптика. Москва: Вища школа, 1997. 432 с.

Робота № 17

ВИЗНАЧЕННЯ ЗБІЛЬШЕННЯ ТА ПОЛЯ ЗОРУ ОПТИЧНОЇ ТРУБИ

Мета: навчатись визначати збільшення та поле зору оптичної труби.

Обладнання: 1) оптична труба; 2) стінний масштаб; 3) рулетка.

Теоретична частина

У наш час існує величезна кількість оптичних приладів. Їх можна поділити на групи за тими явищами, на яких основана їх дія. До них належать, наприклад, фотометри, інтерферометри, поляриметри, спектрометри, пірметри та ін. Окрему групу становлять оптичні прилади, за допомогою яких одержують зображення предметів. До них відносяться прилади, що озброюють людське око (лупа, мікроскоп, зорова труба) та дають зображення на екрані (фотоапарат, проєкційний апарат). В даному випадку нас цікавить зорова труба. Відмітимо, що вона складається з об'єктива та окуляра, при чому задній фокус об'єктива збігається з переднім фокусом окуляра. Така система називається телескопічною. Для одержання чіткого зображення відстань між об'єктивом і окуляром можна змінювати. У фокальній площині об'єктива утворюється дійсне зображення AB' віддаленого предмета AB .

Збільшенням зорової труби D називається відношення лінійного розміру зображення n до лінійного розміру предмета N .

а) визначення збільшення оптичної труби

Наводять трубу на стінний масштаб, який знаходиться на відстані декількох метрів від труби, і фокусують її на чіткість. Відраховують кількість N поділок, видимих в трубу. Одночасно другим, незброєним оком дивляться поза трубою на стінний масштаб. Домагаються того, щоб зображення в трубі

накладалось на видимий неозброєним оком масштаб, і відмічають межі поля зору труби (рис. 1. і 2.).

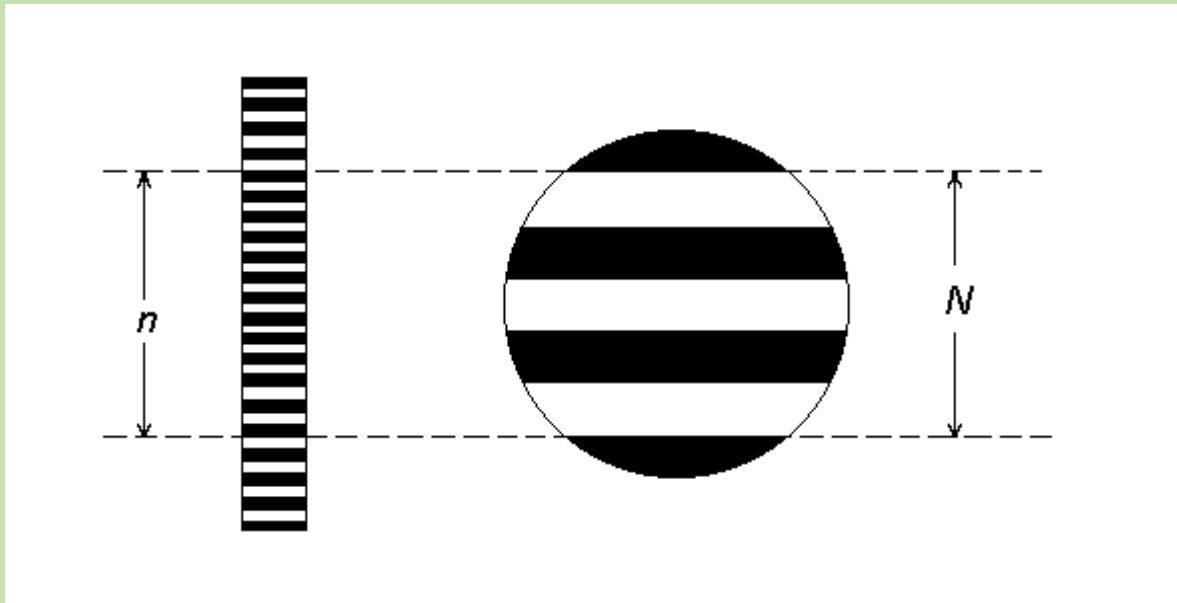


Рис. 1. Стінний масштаб

Рис. 2. Поле зору труби

Всю цю операцію зручніше виконувати вдвох – один дивиться в трубу, а другий стоїть біля масштабу і відмічає межі поля зору труби (верхню і нижню) і рахує кількість поділок стінного масштабу n , які співпадають з поділками N його зображення, які видно в трубу. Збільшення труби знаходять за формулою:

$$D = \frac{n}{N}$$

і обчислюють похибки. Таким способом можна виконувати визначення збільшення тільки при малих збільшеннях. Цей метод не точний, тому що умови досліду не відповідають умовам використання труби: зорова труба використовується для розглядання досить далеко віддалених предметів, а відстань, доступна в лабораторних умовах, порівняно мала.

б) визначення поля зору труби

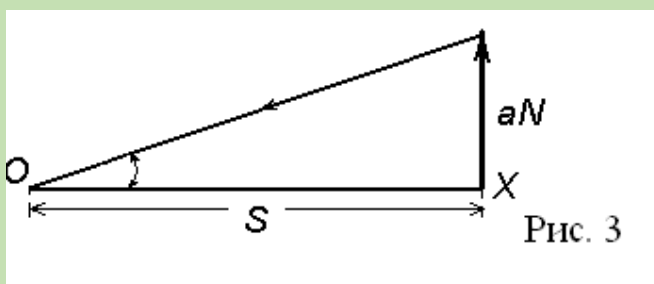


Рис. 3

Поле зору труби виражається тим кутом, під яким видимі неозброєним оком дві точки, зображення яких в трубі виявляється на кінцях одного з діаметрів кола, яке обмежує поле зору.

Вимірюють відстань S (рис. 3) від об'єктива труби до масштабу рулеткою. Кількість поділок масштабу, які видно в трубу, складає N (перша частина роботи).

Тоді поле зору оптичної труби, виражене в градусах, визначається за формулою

$$2\alpha = 57,3 \frac{aN}{S},$$

де a – кількість поділок масштабу в см.; $57,3$ – коефіцієнт переходу від радіан до градусів.

Дані вимірювань записують в звітну таблицю.

Визначення збільшення та поля зору труби

№	Збільшення труби			Поле зору труби		
	К-ть поділок шкали n	К-ть поділок зображення шкали, видимих в трубу	Збільшення $D = \frac{n}{N}$	Ціна поділки шкали $a = 2\text{см}$	Відстань від труби до масштабу S	$\alpha = \frac{57,3aN}{2S}$
Збільшення труби	Середні результати			Похибки		
Поле зору						

Контрольні запитання

1. Для чого служить зорова труба?
2. Що називається зображенням, яке отримується в оптичних приладах?
3. Накреслити хід променів в оптичній трубці.
4. Що називається збільшенням оптичної труби?
5. Що називається полем зору труби?

6. Як визначається збільшення та поле зору оптичної труби за допомогою рейки?
7. Перерахуйте відомі вам оптичні прилади та сфери їх застосування.
8. Від яких факторів залежить чіткість зображення, отриманого за допомогою оптичних приладів?
9. Від яких факторів залежить точність вимірів у роботі?

Література

1. Физический практикум по оптике / под ред. С.И. Князева.
2. Кучерук І.М., Горбачук І.Т. Загальний курс фізики. Т. 3.
3. Пастушенко С.М., Пастушенко Т.С. Фізика. Довідник для учнів.
4. Бутиков Е.И., Быков А.А., Кондратьев А.С. Физика в примерах и задачах.

Робота № 18

ВИЗНАЧЕННЯ ЗБІЛЬШЕННЯ ЛУПИ ПО ВЕЛИЧИНІ ПРЕДМЕТА ТА ЙОГО ЗОБРАЖЕННЯ

Мета: ознайомитись з принципом дії лупи, навчитись визначати збільшення лупи.

Прилади: 1) оптична лава; 2) тримач для лінз; 3) тримач для тонкого дроту; 4) тримач з міліметровою шкалою; 5) допоміжна шкала на вертикальній стійці; 6) освітлювач з матовою лампою; 7) збірні лінзи з оптичною силою 10-12 діоптрій.

Теоретичні відомості

Лупа являє собою двовипуклу лінзу, поміщену так, що на відстані найкращого зору (приблизно 25 см.) виходить пряме збільшене уявне зображення предмета (рис. 1).

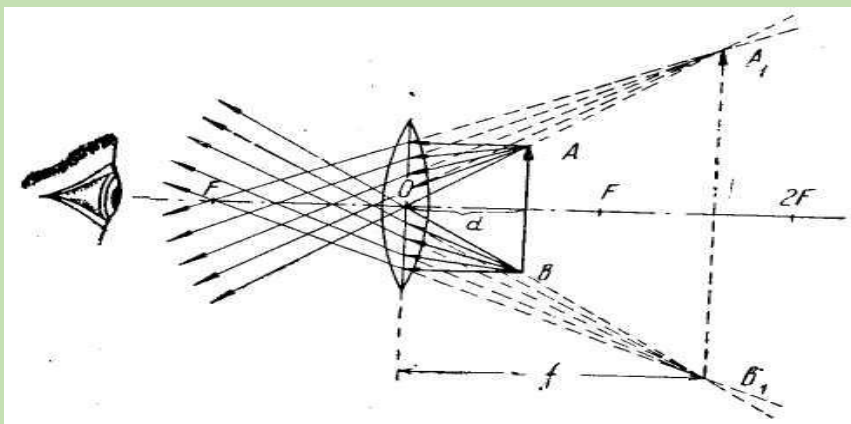


Рис. 1. Зображення в лупі

На рис. 1 зображено хід променів у лупі, де AB – предмет, що розглядається, A_1B_1 – зображення предмета, F – фокусна відстань лупи і D_0 – відстань найкращого зору.

Для нормального ока

ця відстань дорівнює 25 см. Збільшення лупи D виражається відношенням величини зображення до величини предмета. Але так як зображення уявне і може прямувати в нескінченність, то збільшення D виражають відношенням тангенса кута зору, під яким видне зображення, до тангенса кута зору, під яким видно предмет, якби він був поміщений на відстані найкращого зору.

На рис. 2 подана схема визначення збільшення лупи.

$$D = \frac{\operatorname{tg} U}{\operatorname{tg} U_1};$$

але

$$\operatorname{tg} U = \frac{A'B'_1}{F}$$

$$\text{і } \operatorname{tg} U_1 = \frac{C_1B_1}{D_0}$$

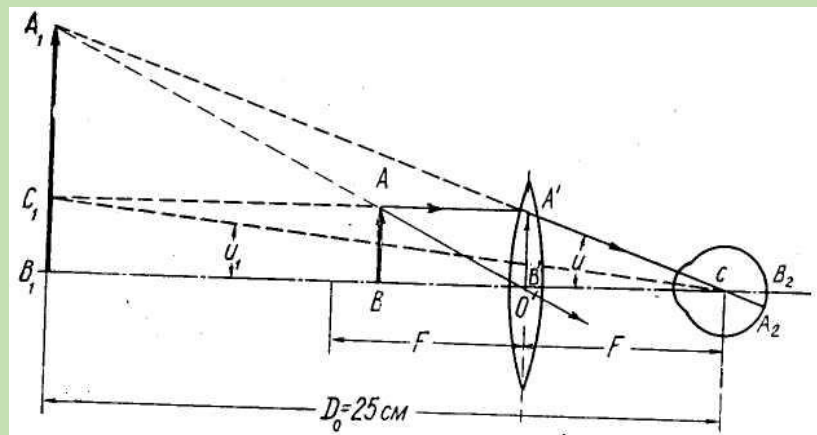


Рис. 2. Визначення збільшення лупи

На підставі рівності $C_1B_1 = A'B'_1$ можемо написати

$$D = \frac{A'B'_1}{F} : \frac{A'B'_1}{D_0} = \frac{D_0}{F}$$

тобто збільшення лупи дорівнює відстані найкращого зору, поділеному на її фокусну відстань.

Експериментальна частина

1. На оптичній лаві встановлюють лінзу і вертикальну міліметрову шкалу на такій відстані, щоб, наблизивши, наскільки можливо, око до лупи, побачити найбільш виразне уявне зображення шкали.

2. Ставлять збоку на відстані найкращого зору додаткову міліметрову шкалу. Одним оком, прикладеним впритул до лупи, розглядають зображення першої шкали, а іншим оком одночасно повз лупу розглядають додаткову шкалу, поставлену на відстані найкращого зору. Поділку зображення першої шкали будуть здаватися значно більшими другої шкали, видимої незброєним оком. Визнача-

ють, скільком поділкам додаткової шкали відповідає ділянка в 2-3 поділки на зображенні. Величину збільшення лупи обчислюють по формулі

$$D = \frac{\text{tg}U}{\text{tg}U_1} = \frac{n_2}{n_1}.$$

3. Вимірявши відстань від лупи до зображення і знаючи фокусну відстань лупи, перевіряють, чи виконується загальна формула збільшення лупи.

4. Дослід повторюють п'ять разів, причому бажано, щоб n_1 відповідно n_2 мали різні значення.

5. Результати вимірів заносять у таблицю.

Визначення збільшення лупи по довжині предмета і зображення

Звітна таблиця

№ досліду	Лупа			
	n_1	n_2	$D = \frac{n_2}{n_1}$	F
Середнє арифметичне з отриманих значень збільшення				
Середня абсолютна похибка				
Середня відносна похибка у %				
Остаточний результат				

Контрольні запитання

1. Що являє собою лупа?
2. Що таке відстань найкращого зору?
3. Що таке фокусна відстань лупи?
4. Що називають збільшенням лупи?
5. Як визначити збільшення лупи по величині предмета і його зображення?
6. Як залежить збільшення лупи від фокусної відстані?
7. Що розуміють під збільшенням кута зору Γ ?
8. Практичне застосування лупи.

9. Які фактори впливають на точність проведення вимірів?

Література

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т. Загальний курс фізики. Київ, 1999. Т. 3.
2. Кучерук І.М., Дущенко В.П. Загальна фізика. Оптика, квантова фізика. Київ: Вища школа, 1991. 928 с.
3. Ландсберг Г.С. Оптика. Москва: Наука. 928 с.
4. Князев С.И. Физический практикум. Ч. 3. 1962.
5. Гольдін Л.Л. Керівництво до лабораторних робіт з фізики.

Робота №19

ВИЗНАЧЕННЯ ГОЛОВНОЇ ФОКУСНОЇ ВІДСТАНІ ЗБІРНОЇ ЛІНЗИ ПО МЕТОДУ ГРИМЗЕЛЯ

Мета: навчитись експериментально визначати фокусну відстань збірної лінзи різними методами.

Обладнання: 1) оптична лава; 2) матова лампочка; 3) екран із сіткою; 4) збірна лінза; 5) плоске дзеркало; 6) вістря на підставці.

Теоретична частина

Лінзою називається оптично прозоре середовище обмежене частинами сферичних поверхонь.

Головну фокусну віддаль збірної лінзи можна знайти з формули тонкої лінзи: $1/f = 1/a + 1/b$, або $f = (ab)/(a + b)$, де: a – відстань від предмета до лінзи (AO), b – відстань від лінзи до зображення (OA').

Фокусом лінзи називається точка, що лежить на оптичній осі в якій збираються після заломлення всі промені, що проходять паралельно головній оптичній осі.

Фокальною називається площина яка проходить через фокус перпендикулярно до головної оптичної осі.

Пояснення методу

Предметом P служить металева сітка, освітлювана маленькою електричною лампочкою. Безпосередньо позаду лінзи L закріплюється за допомогою жорстких кутиків плоске дзеркало Z . Установка полягає в тому, що, переміщуючи лінзу, одержують різке зображення сітки на шматочку B білого паперу, приклеєного на екрані поряд з сіткою (рис. 1). Зображення повинне мати натуральну величину. Цією обставиною можна скористатися для перевірки

установки, порівнюючи між собою розміри клітинок сітки і її зображення. При такій установці промені світла, що виходять з фокусу лінзи після лінзи, робляться паралельними.

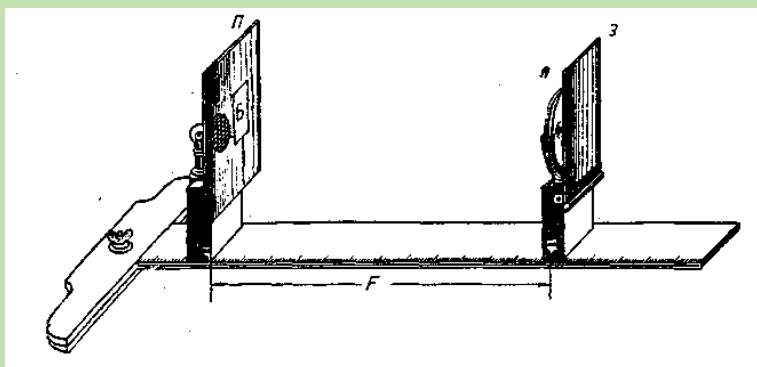


Рис. 1. Визначення головної фокусної відстані збірної лінзи по методу Гримзеля

Після відбиття від плоского дзеркала вони залишаються теж паралельними і тому, пройшовши по дорозі назад через лінзу, сходяться в її фокусі, де і дають зображення предмету. Якщо екран з металевою сіткою замінити вістрям, то роботу можна виконати по методу відсутності паралакса.

Експериментальна частина

Перший спосіб

1. Встановлюють електричну лампочку, екран з сіткою, збірну лінзу і плоске дзеркало, як показано на рис. 1. Переміщаючи лінзу, одержують різке зображення сітки на папері екрану поряд з сіткою у натуральну величину. Вимірюють за шкалою відстань від предмету (сітки) до лінзи (до її середньої площини). Ця відстань є шукана фокусна відстань збірної лінзи.
2. Зміщують лінзу і знов описаним вище способом знаходять F .
3. Таких вимірювань роблять від 3 до 5. Обчислюють середній результат і похибки вимірювань.

Другий спосіб

На місце екрану встановлюють вістря (рис. 2). Шляхом переміщення вістря спочатку добиваються його зображення в натуральну величину та зникнення паралакса між вістрям і його зворотним зображенням. Це відбудеться у

тому випадку, коли вістря і його зворотне зображення знаходяться на одній вертикалі у фокальній площині збірної лінзи.

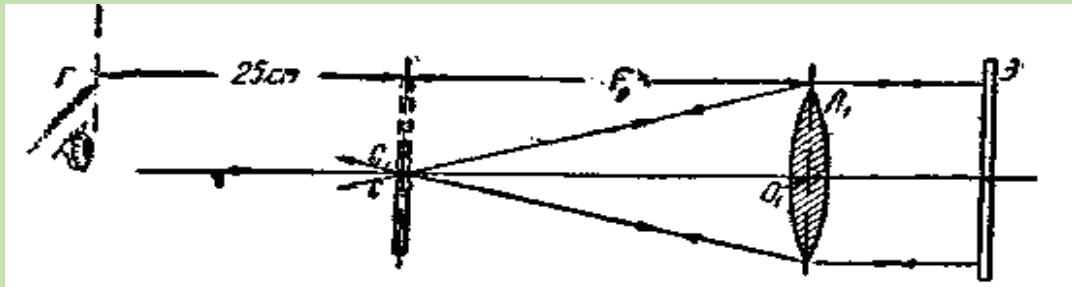


Рис. 2. Визначення головної фокусної відстані збірної лінзи по методу відсутності паралакса

Після такої установки вимірюють відстань між вістря і збіркою лінзою. Воно буде шуканою головною фокусною відстанню збірної лінзи F .

Дослід повторюють не менше п'яти разів, знаходять середнє арифметичне з набутих значень фокусної відстані і обчислюють похибки результату.

Дані вимірювань записують в таблицю.

Слід відмітити, що *оптична лінза* (нім. *Linse*, лат. *Lens* – чечевиця) – найпростіший оптичний елемент, виготовлений із прозорого матеріалу, обмежений двома заломлюючими поверхнями, які мають спільну вісь, або взаємно-перпендикулярні площини симетрії. При виготовленні лінз для видимого діапазону світла, використовують оптичне або органічне скло, в УФ-діапазоні – кварц, флюорит, і т. д., в ІЧ-діапазоні – спеціальні сорти скла, кремій, сапфір, германій, ряд солей тощо.

Здебільшого лінзи мають аксіальну симетрію й обмежені двома сферичними поверхнями однакового або різного радіусу.

Оптичні лінзи зазвичай виготовляються зі скла або пластику. Природною оптичною лінзою є кришталік ока.

Залежно від розташування центрів сферичних поверхонь та їхнього радіусу розрізняють наступні типи лінз:

- 1) двовипукла лінза;
- 2) плоско-випукла лінза;
- 3) збірний меніск;
- 4) двоввігнута лінза;

- 5) плоско-ввігнута лінза;
- 6) розсіювальний меніск.

В залежності від того, сходяться чи розходяться паралельні пучки променів після проходження лінзи, лінзи поділяють на збірні й розсіювальні.

Таблиця

Визначення головної фокусної відстані збірної лінзи за методом Гримзеля

№ виміру	1	2	3	4	5
Значення головної фокусної відстані F в см.					
Середнє арифметичне із отриманих значень головної фокусної відстані в см.					
Середня абсолютна похибка в см.					
Середня відносна похибка в %					
Кінцевий результат в см					

Контрольні запитання

1. Що називають лінзою?
2. Що таке фокусна відстань лінзи?
3. Що таке фокальна площина лінзи?
4. Як визначається головна фокусна відстань збірної лінзи за методом Гримзеля?
5. Як визначається головна фокусна відстань збірної лінзи за методом паралаксу?
6. Чому за вище описаним методом не можна визначити фокусну відстань розсіювальної лінзи?
7. Перерахуйте відомі вам методи визначення головної фокусної відстані збірної лінзи, крім запропонованого у роботі.
8. Назвіть переваги методу Гримзеля.
9. Які фактори впливають на точність проведення вимірювань?

Література

1. Ландсберг Г.С. Оптика. Москва: Наука, 1976. 928 с.
2. Князев С.І. Фізичний практикум. Ч. 3. 1962.
3. Вуд Р. Фізична оптика.
4. Чепуренко В.Г. Керівництво до лабораторних робіт з фізики. Київ, 1964.
5. Кучерук І.М., Дущенко В.Т. Загальна фізика. Оптика. Київ: Вища школа, 1991. 463 с.
6. Годжаєв Н.М. Оптика. Москва: Вища школа, 1997. 432 с.

Робота №20

ВИВЧЕННЯ ЗАКОНІВ ВІДБИВАННЯ СВІТЛА ВІД ПЛОСКИХ ДЗЕРКАЛ. ПОБУДОВА ЗОБРАЖЕННЯ В ПЛОСКОМУ ДЗЕРКАЛІ

Мета: Вивчити закони відбивання світла від плоских дзеркал та принцип побудови зображення в плоскому дзеркалі.

Обладнання: 1) лінійка вимірвальна; 2) транспорир; 3) блок живлення; 4) лампочка на підставці з ковпачком; 5) ключ; 6) плоске дзеркало; 7) білий папір; 8) лист картону; 9) 4 булавки з великими головками.

Теоретична частина

Дзеркалом називається поверхня, що повністю відбиває промені.

Закон відбивання:

При відбиванні світла від дзеркальної поверхні падаючий промінь, відбитий промінь і нормаль в точку падіння лежать в одній площині, причому кут падіння α дорівнює куту відбивання β .

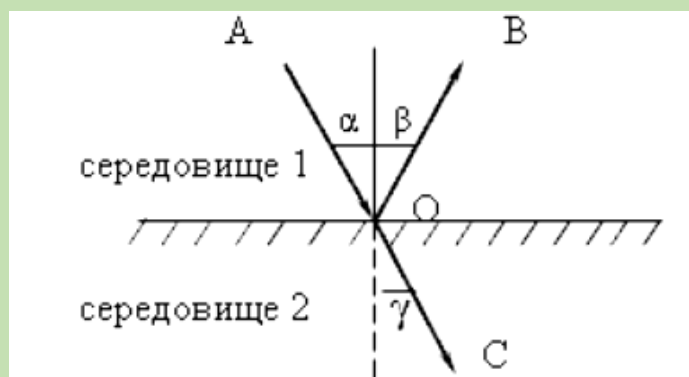


Рис. 1. Куты падіння, відбивання і заломлення променя світла

Опис установки

Збирають електричний ланцюг з акумуляторної батареї, освітлювача і ключа. Освітлювачем служить лампочка розжарення з спеціальним ковпачком-

ком, що має вузьке вікно на рівні нитки нагрівання. Перед освітлювачем встановлюється екран з щілиною; за ним розміщують горизонтальний лист чистого паперу. Потім, включивши струм, знаходять досвідченим шляхом таке положення освітлювача по відношенню до екрану, при якому смужка світла на папері була б виразною і яскравою. Якщо в деякому місці вказаної вище світлої смуги вертикально поставити плоске дзеркало, то при правильному розташуванні приладів відбитий від дзеркала пучок світла дає на папері слід у вигляді такої ж світлої смужки, але направленої вже під деяким кутом до початкового напрямку.

Описана установка дозволяє візуально прослідити за переміщенням відображеного променя. Шляхом вимірювання для декількох положень дзеркала кутів падіння і віддзеркалення можна впевнитись в рівності цих кутів.

Експериментальна частина

Дослід 1

1. Встановлюють після екрану плоске дзеркало (рис. 2) так, щоб на горизонтально розташованому листі паперу одержався яскравий заломлений пучок проміння. Добре заструганим олівцем проводять на папері лінію уздовж дзеркала і помічають підставу перпендикуляра в точці падіння пучка проміння.

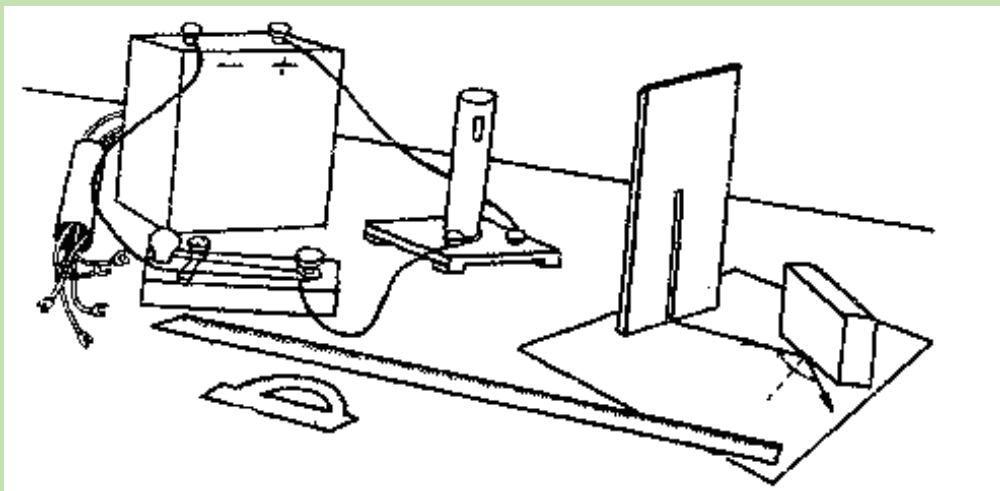


Рис. 2. Устаткування для вивчення заломлення світла в плоскому дзеркалі

Далі помічають початок падаючого (у самої щілини) і, нарешті, відбитого (у краю листа) пучка.

2. Знімають з листка паперу дзеркало. За допомогою транспортира і лінійки креслять падаючий і заломлений промінь і перпендикуляр до площини дзеркала в точці падіння проміння. Вимірюють одержані кути падіння і заломлення, записуючи їх величину на кресленні.

3. Повторюють дослід кілька разів, встановлюючи дзеркало під різними кутами до падаючого променя. По одержаних кресленнях роблять висновок про те, що при заломленні світла від площини дзеркал кут падіння променя рівний куту його заломлення. Для проведення роботи затемнене приміщення необов'язкове; корисно вікна частково затемнити тільки при безпосередньому падінні сонячного проміння на робочі столи.

Дослід 2

Робота полягає в тому, щоб побудувати уявне зображення точки в плоскому дзеркалі і перевірити на досліді симетричне розташування уявного зображення і предмету відносно плоского дзеркала.

1. На листок паперу, покладений на картон, ставлять плоске дзеркало, прикріплене для стійкості до прямокутного бруска (рис. 3). В папір вколюють вертикально булавку *A* так, щоб в дзеркалі було видно її зображення (рис. 3).

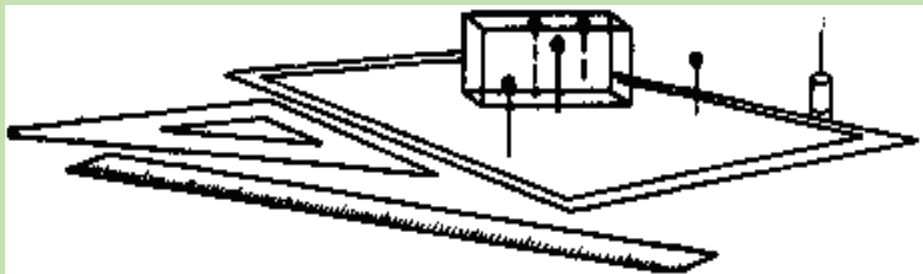


Рис. 3. Устаткування до роботи «Побудова зображення в плоскому дзеркалі»

Потім в іншому місці, але недалеко від дзеркала, вколюють булавку *B* і на можливо більшій відстані булавку *C*. При цьому останні дві булавки і зображення булавки *A* повинні бути розташовані по одній прямій лінії. Щоб зробити достатньо точну установку булавок вздовж прямої розташовують око на рівні паперу і, спостерігаючи одним оком, добиваються такого положення булавок, при якому вони закриватимуть один одного.

2. Після цього дві останні булавки виймають, відзначають олівцем проколи від них і дослід повторюють, щоб таким самим способом одержати дру-

гу пару крапок, D і E (рис. 4). Проводять вздовж площини дзеркала гостро за-
струганим олівцем пряму лінію MN і, знявши дзеркало з паперу, приступають
до побудови зображення крапки A .

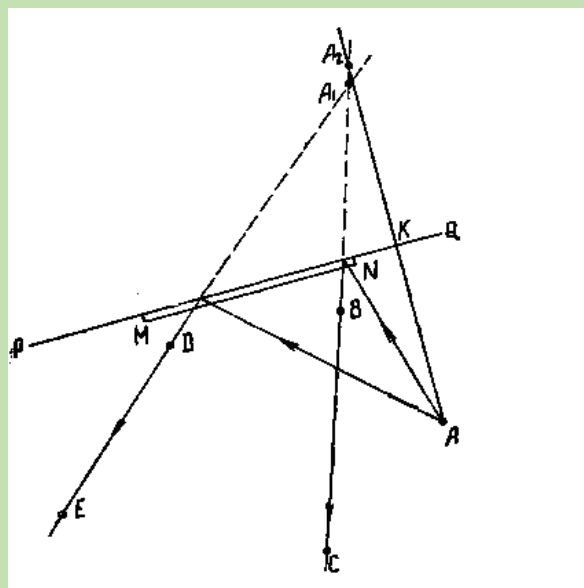


Рис. 4. Побудова уявного зображення в плоскому дзеркалі

3. Якщо заломлюючою є задня поверхня дзеркала, то вимірюють лінійкою товщину скла і на цій відстані за допомогою косинця і лінійки креслять пряму PQ , паралельну MN . Потім через відповідні крапки проводять прямі BC і DE . Продовжують вказані прямі пунктиром за лінію дзеркала до перетину їх між собою. Точка перетину цих двох прямих A_1 і буде уявним зображенням точки A .

4. Зображення точки A в плоскому дзеркалі і сама точка A повинні розташуватися щодо площини дзеркала симетрично. Щоб перевірити це положення, з точки A опускають перпендикуляр на лінію PQ і на його продовженні відкладають відрізок KA_2 рівний KA . Одержана точка A_2 повинна бути відображенням точки A і, отже, повинна співпадати з точкою A_1 . На практиці неминуче буде спостерігатися деяке розходження цих точок, як це показано на рисунку. Розбіжність є наслідком неточності в розташуванні булавок, недосконалості креслярських інструментів, кривизни дзеркала. Проте розбіжність звичайно настільки незначна що зображення цілком можна визнати розташованим симетрично предмету.

Додаткове завдання

Побудувати зображення точки в плоскому дзеркалі.

Контрольні запитання

1. Дайте означення дзеркала.
2. Як побудувати зображення в плоскому дзеркалі?
3. Де виходить уявне зображення точки в плоскому дзеркалі по відношенню до самої точки і дзеркала?
4. Як пояснити розбіжність дійсного положення зображення точки від знайденого досвідченим шляхом положення зображення її.
5. В чому полягають закони заломлення світла?
6. Як показати на досліді, що кут падіння променя рівний куту його заломлення?
7. Які потрібні прилади для вивчення законів заломлення світла від плоского дзеркала?
8. Наведіть приклади застосування плоских дзеркал.
9. Які фактори впливають на точність вимірювань?

Література

1. Ландсберг Г.С. Оптика. Москва: Наука, 1976. 928 с.
2. Князев С.І. Фізичний практикум. Москва: Наука, 1962. Ч. 3.
3. Чепуренко В.Г. Керівництво до лабораторних робіт з фізики. Київ, 1964.
4. Кучерук І.М., Дущенко В.Т. Загальна фізика. Оптика. Київ: Вища школа, 1991. 463 с.
5. Годжаєв Н.М. Оптика. Москва: Вища школа, 1997. 432 с.

ДОВІДКОВІ ДАНІ

Таблиця 1

Основні фізичні сталі

Назва величини	Позначення	Значення величини	Одиниці вимірювання
Швидкість світла у вакуумі	c	$2,99792458 \cdot 10^8$	м/с
Швидкість звуку при 0°C	v	332	м/с
Швидкість звуку у воді	v	1450	м/с

Таблиця 2

Найважливіші оптичні одиниці в системі СІ

Найменування фізичної величини	Найменування одиниці	Позначення українське	Позначення міжнародне
Енергія випромінювання	джоуль	$Дж$	J
Об'ємна густина енергії випромінювання	джоуль на кубічний метр	$Дж/м^3$	J/m^3
Потік випромінювання, потужність випромінювання	ват	$Вт$	W
Поверхнева густина потоку випромінювання	ват на квадратний метр	$Вт/м^2$	W/m^2
Енергетична світність (випромінюваність)	ват на квадратний метр	$Вт/м^2$	W/m^2
Енергетична освітленість (опромінюваність)	ват на квадратний метр	$Вт/м^2$	W/m^2
Енергетична експозиція (промениста експозиція)	джоуль на квадратний метр	$Дж/м^2$	J/m^2
Енергетична сила світла (сила випромінювання)	ват на стерадіан	$Вт/ср$	W/sr

Продовження таблиці 2

Енергетична яскравість (променистість)	ват на стерадіан-квадратний метр	$Вт/(ср \cdot м^2)$	$W/(sr \cdot m^2)$
Спектральна густина енергетичної світності за довжиною хвилі	ват на метр в кубі	$Вт/м^3$	W/m^3
Спектральна густина енергетичної сили світла за довжиною хвилі	ват на метр-стерадіан	$Вт/(м \cdot ср)$	$W/(m \cdot sr)$
Спектральна густина енергетичної яскравості за довжиною хвилі	ват на стерадіан-метр в кубі	$Вт/(ср \cdot м^3)$	$W/(sr \cdot m^3)$
Лінійний показник поглинання	метр в мінус першому ступені	$м^{-1}$	m^{-1}
Сила світла	кандела	$кд$	kd
Світловий потік	люмен	$лм$	lm
Спектральна світлова ефективність (спектральний світловий еквівалент потоку випромінювання; видність випромінювання)	люмен на ват	$лм/Вт$	lm/W
Освітленість	люкс	$лк$	lk
Світність	люмен на квадратний метр	$лм/м^2$	lm/m^2
Яскравість	кандела на квадратний метр	$кд/м^2$	kd/m^2
Світлова експозиція	люкс–секунда	$лкс$	lks
Світлова віддача джерела	люмен на ват	$лм/Вт$	lm/W
Стала обертання площини поляризації	радіан на метр	$рад/м$	rad/m
Питома стала обертання площини поляризації	радіан-метр в квадраті на кілограм	$рад \cdot м^2/кг$	$rad \cdot m^2/kg$

Таблиця 3

Множники і префікси для утворення кратних і часткових одиниць

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

Таблиця 4

Показники заломлення деяких речовин n

Речовина	n
Повітря (н.у.)	1,0002926
Вуглекислий газ	1,00045
Гелій	1,000036
Вода	1,332986
Гліцерин	1,4729
Бензол	1,500
Органічне скло	1,51
Скло	1,485-1,925
Фіаніт	2,15-2,18
Кремній	4,010
Алмаз	2,419
Кварц	1,544

Продовження таблиці 4

Лід	1,31
Олія оливкова	1,46
Цукор	1,56
Кам'яна сіль	1,516
Спирт етиловий	1,36
Слюда	1,56-1,60

Таблиця 5

Показники заломлення води при $T = 293K$

Довжина хвилі, нм	n	Довжина хвилі, нм	n
1256,0	1,3210	508,6	1,3360
643,8	1,3308	486,1	1,3371
656,3	1,3311	480,0	1,3374
643,8	1,3314	434,0	1,3403
589,3	1,3330	303,4	1,3581
546,1	1,3345	214,4	1,4032

Таблиця 6

Абсолютні показники заломлення деяких рідин для жовтої спектральної лінії D натрію ($\lambda_D = 589,3$ нм)

Рідина	T, K	n_D
Етиловий спирт	291,2	1,36242
Метилловий спирт	287,5	1,33118
Гліцерин	293,0	1,47300
Ацетон	292,4	1,35886
Анілін	293,0	1,58630

Таблиця 7

Таблиця відповідності частот електромагнітного випромінювання та кольорів

Колір	Діапазон довжин хвиль, нм	Діапазон частот, ТГц	Діапазон енергії фотонів, еВ
Фіолетовий	380 – 440	790 – 680	2,82 – 3,26
Синій	440 – 485	680 – 620	2,56 – 2,82
Блакитний	485 – 500	620 – 600	2,48 – 2,56
Зелений	500 – 565	600 – 530	2,19 – 2,48
Жовтий	565 – 590	530 – 510	2,10 – 2,19
Помаранчевий	590 – 625	510 – 480	1,98 – 2,10
Червоний	625 – 740	480 – 405	1,68 – 1,98

Таблиця 8

Густини водних розчинів цукру при $T=293\text{ K}$
(концентрація вказана в масових процентах)

с, %	$\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³	с, %	$\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³	с, %	$\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³
5	1,01785	20	1,08096	35	1,15129
10	1,03814	25	1,10352	40	1,17645
15	1,05917	30	1,12698	45	1,20256

Таблиця 9

Сила світла деяких джерел випромінювання (середні значення)

Джерело світла	Сила світла, кд
Сонце	$3 \cdot 10^{27}$
Військовий прожектор	$8 \cdot 10^8 - 1,2 \cdot 10^9$
Електрична дуга	$10^3 - 10^5$
Лампа розжарювання (потужність 60 Вт)	51
Стеаринова свічка	0,5–2

Таблиця 10

Сила світла електричних ламп розжарювання

Потужність лампи, Вт	15	25	40	60	100	150	300	500	1000
Сила світла, кд	10	18	30	51	103	175	388	695	1530

Таблиця 11

Густина речовин ρ , кг/м³

Гази при нормальних умовах ($T_0=273,15\text{ K}$; $p_0=1,01\cdot 10^5\text{ Па}$)			
Азот	1,250	Кисень	1,429
Водень	0,089	Метан	0,717
Вуглекислий газ	1,977	Неон	0,900
Гелій	0,178	Повітря	1,293
Рідини			
Бензол ($t = 20^{\circ}\text{C}$)	879	Скипидар ($t = 16^{\circ}\text{C}$)	858
Вода ($t = +4^{\circ}\text{C}$)	1000	Спирт етил. ($t = 0^{\circ}\text{C}$)	789
Вода ($t = 100^{\circ}\text{C}$)	958	Спирт метил. ($t = 0^{\circ}\text{C}$)	792
Гас ($t = 0^{\circ}\text{C}$)	800	Масло маш. ($t = 18^{\circ}\text{C}$)	1260
Гліцерин ($t = 0^{\circ}\text{C}$)	1260	Ртуть ($t = 0^{\circ}\text{C}$)	13596
Тверді тіла при 293 K ($\rho \cdot 10^3$, кг/м ³)			
Алюміній	2,69	Олово лите	7,23
Залізо, хімічно чисте	7,86	Сталь лита	7,7-8,0
Латунь	8,3-8,7	Свинець	11,22-11,44
Лід (0° C)	0,91	Срібло	10,42-10,57
Мідь електролітична	8,88-8,96	Цинк	6,86-7,24
Нікель	8,4-9,2	Чавун	6,6-7,3

Грецький алфавіт

Букви	Назва	Букви	Назва	Букви	Назва
Αα	альфа	Ιι	йота	Ρρ	ро
Ββ	бета	Κκ	каппа	Σσ, ς	сигмасігма
Γγ	гамма	Λλ	лямбда	Ττ	тау
Δδ	дельта	Μμ	мю (мі)	Υυ	іпсилон
Εε	епсилон	Νν	ню (ні)	Φφ	фі
Ζζ	дзета	Ξξ	ксі	Χχ	хі
Ηη	ета	Οο	омікрон	Ψψ	псі
Θθ	тета	Ππ	пі	Ωω	омега

Таблиця 13

№	Тема №	1	2	3	4	5	6	7
	1	г	г	а	а	в	а	б
2	б	а	б	б	а	б	б	
3	а	а	г	г	б	б	г	
4	а	г	в	в	в	г	в	
5	б	а	а	а	а	а	б	
6	б	а	в	в	г	в	а	
7	а	б	г	г	г	г	в	
8	а	а	а	а	в	в	г	
9	в	в	а	а	б	а	а	
10	г	б	а	а	б	б	б	
11	б	в	б	б	а	г	г	
12	а	а	г	г	г	в	в	

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Кучерук І.М., Дущенко В.П. Загальна фізика. Оптика. Квантова фізика. Київ: Вища школа, 1991. 463 с.
2. Бушок Г.Ф., Венгер Є.Ф. Курс фізики. Кн. 2. Оптика. Фізика атома і атомного ядра. Київ: Либідь. 2001, 424 с.
3. Ландсберг Г.С. Оптика. Москва: Наука, 1976. 486 с.
4. Годжаєв Н.М. Оптика. Москва: Вища школа, 1977. 468 с.
5. Джанколлі Д. Фізика. Москва: Мир. 1989. Т. 2. 366 с.
6. Загальна фізика. Збірник задач / за ред. І.Т. Горбачука. Київ: Вища школа, 1993. 460 с.
7. Збірник задач по загальному курсу фізики / під ред. М.С. Цедрика. Москва: Просвіта, 1989.
8. Волькенштейн В.С. Збірник задач по загальному курсу фізики. Москва: Вища школа, 1985.
9. Дущенко В.П., Бережний П.В., Барановський В.М., Горбачук І.Т., Шут М.І. Фізичний практикум. Київ, 1984. Ч. II.

Додаткова

10. Корсунський В.И. Оптика и атомна фізика. Москва: Вища школа, 1978. 348 с.
11. Світло і колір в природі. Москва: Наука, 1968. 486 с.
12. Бушок Г.Ф., Півень Г.Ф. Курс фізики. Ч. 2. Електрика, оптика і атомна фізика. Київ: Вища школа, 1969. 384 с.
13. Корсак К.В. Якісні і графічні задачі з основ електродинаміки, оптики й атомної фізики. Київ: Освіта, 1992. 127 с.
14. Рачковський О.М., Криськов Ц.А., Люба Т.С. Модульні лабораторні роботи з загальної фізики, розділ «Оптика». Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2013. 78 с.

Міністерство освіти і науки України
Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка

НАВЧАЛЬНЕ ЕЛЕКТРОННЕ ВИДАННЯ

РАЧКОВСЬКИЙ Олег Михайлович,
старший викладач кафедри фізики Кам'янець-Подільського
національного університету імені Івана Огієнка

ОПТАСЮК Сергій Васильович,
кандидат фізико-математичних наук, доцент,
завідувач кафедри фізики Кам'янець-Подільського
національного університету імені Івана Огієнка

ЧОРНА Оксана Григорівна,
кандидат педагогічних наук, старший викладач кафедри фізики
Кам'янець-Подільського національного
університету імені Івана Огієнка

ЗАГАЛЬНА ФІЗИКА “ОПТИКА”
(ТЕОРІЯ+ПРАКТИКА+ЕКСПЕРИМЕНТ)

НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ ПОСІБНИК ДЛЯ СТУДЕНТІВ
СПЕЦІАЛЬНОСТІ 014 СЕРЕДНЯ ОСВІТА (ФІЗИКА)

Електронне видання

Підписано 10.11.2022 р. Гарнітура «Таймс».
Об'єм даних 2,64 Мб. Обл.-вид. арк. 6,2. Зам. № 996.

Кам'янець-Подільський національний університет
імені Івана Огієнка,
вул. Огієнка, 61, м. Кам'янець-Подільський, 32300.
Свідоцтво серії ДК № 3382 від 05.02.2009 р.

Виготовлено в Кам'янець-Подільському національному
університеті імені Івана Огієнка,
вул. Огієнка, 61, м. Кам'янець-Подільський, 32300.