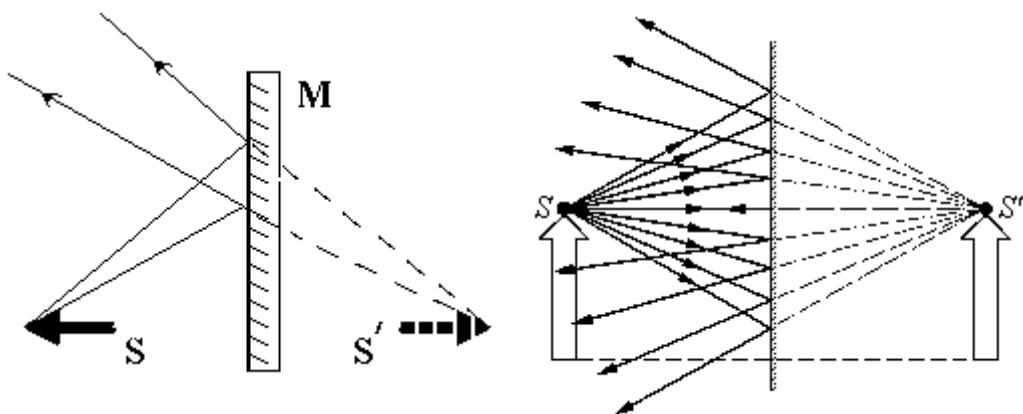


Лабораторний практикум з курсу загальної фізики

частина 4

Оптика



Міністерство освіти і науки України
**Кіровоградський державний педагогічний університет
імені Володимира Винниченка**

Царенко О.М., Сальник І.В., Сірик Е.П., Сазонова О.О.

Лабораторний практикум з курсу загальної фізики

частина 4

Оптика

навчально-методичний посібник

Кіровоград, 2015

ББК 74.265

П69

Царенко О.М., Сальник І.В., Сірик Е.П., Сазонова О.О. Лабораторний практикум з курсу загальної фізики: частина 4. Оптика. / Навчально-методичний посібник. – Кіровоград: РВВ КДПУ імені Володимира Винниченка, 2015. – 86 с.

Рецензенти: Вовкотруб Віктор Павлович – доктор педагогічних наук, професор кафедри фізики та методики її викладання;

Волчанський Олег Володимирович – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики та методики її викладання.

Рябець Сергій Іванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри теорії і методики технологічної підготовки, охорони праці та безпеки життєдіяльності

У посібнику описано рекомендації щодо виконання лабораторних робіт фізичного практикуму з «Оптики». Тематику і зміст робіт узгоджено з Галузевим стандартом вищої освіти за напрямком підготовки: 6.040203 Фізика* та навчальної програми курсу загальної фізики.

При підготовці посібника використано матеріали Фізичного практикуму / за редак. В.П. Дущенка – К.: Вища школа, 1981 та Методичних вказівок до лабораторних робіт з курсу загальної фізики. ч.4. Оптика. //Укладачі: .В.Ф. Гамалій, Ю.М. Мамонтова, Б.Д. Починок, І.Ю. Ткачук. – Кіровоград: КДПУ, 1991. – 44 с. Теоретична ідея лабораторної роботи №6 Вивчення явища Т-ефекту для рідких кристалів належить Неліповичу В.В., а її програмне забезпечення виконано Резніченком В.І.

Для студентів вищих навчальних закладів, які вивчають курс загальної фізики.

Рекомендовано до друку методичною комісією Кіровоградського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка (протокол № від березня 2015 року)

© Царенко О.М., Сальник І.В., Сірик Е.П., Сазонова О.О..

Зміст

Вступні зауваження	6
Лабораторна робота № 1 ФОТОМЕТРИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА.....	8
Лабораторна робота № 2 ВИВЧЕННЯ ТОНКИХ ЛІНЗ.....	14
Лабораторна робота № 3 ВИВЧЕННЯ МІКРОСКОПА ТА ЗОРОВОЇ ТРУБИ	21
Лабораторна робота № 4.. ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ ТВЕРДИХ ТІЛ МІКРОСКОПОМ ТА ОПТИМЕТРОМ.....	26
Лабораторна робота № 5.. ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ СКЛЯНОЇ ПРИЗМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ГОНІОМЕТРА.....	31
Лабораторна робота 6 ВИВЧЕННЯ ЯВИЩА Т-ЕФЕКТУ ДЛЯ РІДКИХ КРИСТАЛІВ.....	36
Лабораторна робота № 7 ВИВЧЕННЯ СПЕКТРАЛЬНОГО АПАРАТА	41
Лабораторна робота 8 ВИВЧЕННЯ ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНИХ СМУГ РІВНОЇ ТОВЩИНИ.....	50
Лабораторна робота 9 ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕРФЕРЕНЦІЇ СВІТЛА ЗА ДОПОМОГОЮ БІПРИЗМИ ФРЕНЕЛЯ	55
Лабораторна робота № 10 ВИВЧЕННЯ ДИФРАКЦІЙНОЇ РЕШІТКИ	61
Лабораторна робота № 11 ВИЗНАЧЕННЯ КУТА БРЮСТЕРА.....	69
Лабораторна робота № 12 ПЕРЕВІРКА ЗАКОНУ МАЛЮСА.....	73
Лабораторна робота № 13 ВИЗНАЧЕННЯ-КОНЦЕНТРАЦІЇ РОЗЧИНУ ЦУКРУ ЗА ДОПОМОГОЮ ПОЛЯРИМЕТРА.....	78
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	84

Вступні зауваження

Курс загальної фізики формує фундаментальну підготовку майбутнього вчителя фізики. Особлива роль фізики визначається, перш за все, самим предметом вивчення, в якому розкривається зміст матерії і форм її руху, простору і часу як форм існування та взаємозв'язку і взаємоперетворюваності видів матерії і рухів, єдності матеріального світу. В цьому полягає важливе методологічне і світоглядне значення вивчення загальної фізики. На основі вивчення класичної фізики, засвоєння фізичних теорій, фундаментальних понять і означень фізичних величин, змісту моделей, законів, принципів, формується цілісна сучасна фізична картина світу.

У процесі вивчення загальної фізики має сформуватись уявлення, що створення узагальнюючих теорій базується на величезному експериментальному матеріалі, який здобувається, зокрема, працею вчених; що фізика є основою сучасної техніки і технологій; що фізичні методи дослідження широко використовуються в астрономії, хімії, біології, метеорології, геології та інших галузях. Разом із вихованням у студентів поваги до науки повинна виховуватись і повага до вчених. Важливо, щоб студенти саме педагогічних вищих навчальних закладів України знали про видатних українських вчених-фізиків, основні напрями їх наукової діяльності і наукові здобутки. Під час навчання фізики необхідно знайомити студентів із найновішими досягненнями науки і техніки, нерозв'язаними в науці проблемами.

Особливість вивчення фізики в педагогічному університеті, інституті полягає в тому, що студенти мають оволодіти системою вмінь і навичок, які б давали можливість ефективно передавати знання учням, виховувати в них допитливість, інтерес до знань, любов до творчої праці.

Під час виконання лабораторних робіт необхідно виробляти у студентів навички і необхідність постійно поповнювати теоретичні знання. На лабораторних заняттях студенти мають добре розібратися у досліджуваних фізичних явищах і законах, зрозуміти суть методів дослідження, набути навичок оцінювання технічних засобів, встановлення достовірності одержаних результатів, навчитись використовувати для аналізу результатів статистичні методи обробки результатів і сучасну обчислювальну техніку.

Лабораторний фізичний практикум з оптики об'єднує 13 самостійних лабораторних досліджень. До кожної лабораторної роботи студентам пропонуються інструктивні матеріали і вказівки, які включають назву теми і мету роботи, перелік обладнання і матеріалів, короткі теоретичні відомості, аналіз схеми установки, хід роботи, завдання та контрольні запитання. Одночасно в описах до лабораторних робіт дається коротка інформація про будову, принцип роботи основних приладів та пропозиції щодо виконання додаткових завдань. У кінці методичних вказівок до лабораторних робіт подано єдиний список рекомендованої літератури.

Готуючись до кожної лабораторної роботи, студент повинен опрацювати навчальний матеріал відповідно до роботи і теоретичних відомостей, добре вивчити пропоновані прилади, методику виконання дослідження та методику вимірювань, проведення розрахунків і визначення похибок відповідних вимірювань.

З метою самоконтролю студентів до кожної роботи подаються контрольні запитання.

Лабораторна робота № 1 **ФОТОМЕТРИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА**

Мета роботи: вивчити будову і навчитися користуватися фотометрами; навчитися визначати силу світла лампи розжарювання; дослідити світлове поле лампи.

Обладнання: оптична лава, лампи розжарювання з відомою і з невідомою силою світла, фотометр, амперметр, вольтметр, регулятор напруги, джерело струму.

I. Короткі теоретичні відомості

Фотометрія – розділ прикладної оптики, в якому вивчається методика й техніка вимірювання параметрів джерела світла, світлових пучків і освітлених поверхонь. Методи фотометрії умовно можна поділити на візуальні, електричні і фотометричні.

Основними характеристиками випромінювання джерел світла є такі фізичні величини:

Світловий потік Φ – світлова енергія, яка переноситься за одиницю часу через дану площу й оцінюється за зоровим відчуттям. Одиницею світлового потоку в СІ є люмен (лм).

Дослідним шляхом встановлено, що світловому потоку в 1 лм, утвореному випромінюванням з довжиною хвилі $\lambda=555$ нм, відповідає потік світлової енергії потужністю в 0,0016 Вт.

Сила світла I – це фізична величина, яка чисельно дорівнює світловому потоку $d\Phi$, що випромінюється точковим джерелом світла через одиничний тілесний кут (рис. 1.1) :

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega} \quad (1.1)$$

Одиницею сили світла є кандела (кд). Якщо джерело точкове, однорідне й ізольоване, то сила світла однакова у всіх напрямках. У цьому випадку з (1.1) випливає, що $\Phi = \int_0^{4\pi} I d\omega = 4\pi I$, звідки $I = \frac{\Phi}{4\pi}$.

Освітленість E показує, який світловий потік падає на одиницю освітлюваної поверхні:

$$E = \frac{d\Phi}{dS} \quad (1.2)$$

Одиницею освітленості в СІ є люкс ($1 \text{ лк} = 1 \text{ лм}/1 \text{ м}^2$).

Освітленість, яка створюється точковим джерелом, можна виразити через силу світла I :

$$E = \frac{I}{r^2} \cos\varphi \quad (1.3)$$

де r – відстань від джерела до освітлюваної точки поверхні; φ – кут між нормаллю $\vec{n}$ до поверхні і напрямом $\vec{L}$ на джерело S .

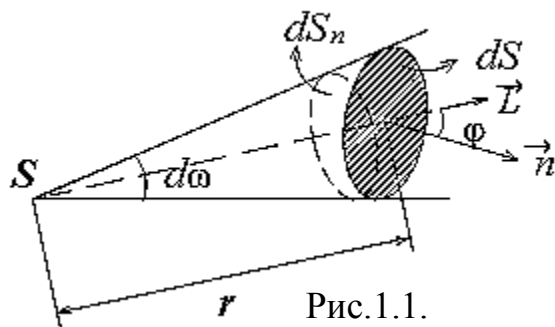


Рис.1.1.

Справді, $d\omega = \frac{dS \cos\varphi}{r^2}$, звідки з врахуванням (1.1) та (1.2) дістанемо (1.3). Співвідношення (1.3) називається *законом Ламберта*.

Сила світла джерела практично визначається порівнянням сили світла двох джерел – відомого і невідомого. Якщо створити рівність освітленостей будь-якої пластинки на двох сусідніх ділянках двома джерелами світла ($E_1 = E_2$), то знаючи силу світла I_1 одного джерела і вимірявши відстані r_1 і r_2 від джерел до пластинки, можна визначити силу світла I_2 другого джерела за формулою:

$$I_2 = I_1 \frac{r_2^2}{r_1^2}, \quad (1.4)$$

яка справджується за умови, що світло від джерел падає на пластинку під однаковими кутами.

Реальні джерела світла (наприклад, електричні лампи) є неізотропними, тобто сила світла кожного такого джерела неоднакова в різних напрямках: $I = I(\alpha)$. Криві $I(\alpha)$ називають *індикатрисами* і будують у полярних координатах.

Економічність електричних ламп характеризується кількістю електричної потужності, що витрачається на одиницю сили світла. Ця

величина називається *питомою потужністю* η . Вона залежить від температури і матеріалу розжарювальної нитки лампи:

$$\eta = \frac{P}{I}, \quad (1.5)$$

де P – електрична потужність, Вт; I – сила світла, кд. Питому потужність визначають безпосередньо фотометруванням при одночасному вимірюванні споживаної потужності електричного струму і сили світла джерела.

II. Обладнання

Будова звичайних фотометричних приладів ґрунтується на використанні принципу порівняння між собою двох світлових полів, що створюються двома джерелами світла S_1 і S_2 .

Фотометр переміщується оптичною лавою, яка має шкалу з сантиметровими поділками. На цій самій лаві на спеціальних підставках встановлюються дві лампи: еталонна S_1 і досліджувана S_2 .

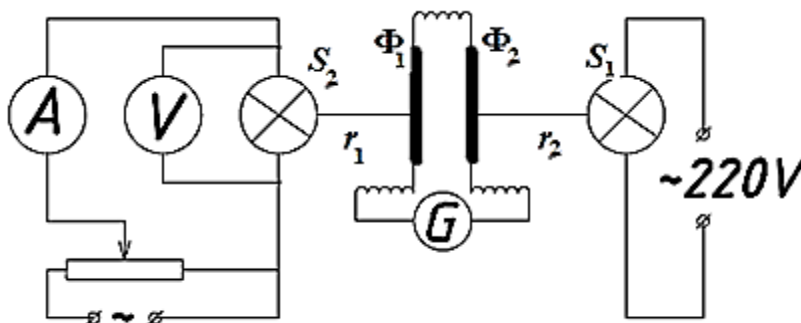


Рис. 1.2

Досліджувана лампа вставлена в пристрій, який дає змогу повертати її навколо вертикальної осі на 180° та вимірювати кут повороту.

У цій роботі використовується об'єктивний диференціальний фотометр (рис.1.2) – це два фотоеlementи Φ_1 і Φ_2 (з однаковими фотометричними властивостями), які умикають послідовно в коло з гальванометром G , але так, щоб фотоструми, які виникають при їх освітленні, мали протилежний напрям. Оскільки освітлювані площі фотоеlementів Φ_1 і Φ_2 рівні, то при однаковій їх освітленості від джерел S_1 і S_2 фотоструми, що виникають, повністю компенсують один одного. Використовуючи співвідношення (1.4), можна обчислити силу світла досліджуваної лампи.

III. Хід роботи

Завдання 1. Визначення сили світла досліджуваної лампи

1. Встановити еталонну й досліджувану лампи на кінцях оптичної лави. Між ними розмістити фотометр з двома фотоелементами (рис. 1.2).
2. Скласти електричне коло живлення електричних ламп S_1 і S_2 (рис. 1.2).
3. Регулятором напруги подати на досліджувану лампу S_2 напругу $U_0=220$ В.
4. Переміщуючи фотометр, добитися рівності освітлення фотоелементів (про що буде свідчити відсутність струму в колі гальванометра). Виміряти відстані r_1' і r_2' між джерелами і фотометром.
5. Щоб підвищити точність вимірювання фотометр слід повернути на 180° навколо вертикальної вісі та знову виміряти відстані r_1'' і r_2'' , Визначити середнє значення: $r_1 = \frac{r_1' + r_1''}{2}$ та $r_2 = \frac{r_2' + r_2''}{2}$. Знаючи r_1 та r_2 , а також силу світла еталонного джерела ($I_1 = 21$ кд), визначити за формулою (1.4) силу світла I_2 .
6. Вимірювання виконати 5-6 разів. Результати вимірювань занести в таблицю.
7. Визначити абсолютну й відносну похибки вимірювань.

№ з/п	r_1' м	r_2' м	r_1'' м	r_2'' м	r_1 м	Δr_1 м	r_2 м	Δr_2 м	I_1 кД	ΔI_1 кД	I_2 кД	ΔI_2 кД	E %

Завдання 2. Визначення питомої потужності електричної лампи

1. Встановити на досліджуваній лампі напругу живлення 100 В, записати силу струму та напругу.
2. Визначити силу світла I_2 , досліджуваної лампи (завдання 1, пп. 4-6).
3. Аналогічні вимірювання виконати для напруги від 100 до 220 В через кожні 20 В.
4. Обчислити для кожного вимірювання потужність $P=UI$ яка споживається досліджуваною лампою.

5. Знаючи потужність P і силу світла I_2 , за формулою (1.5) знайти питому потужність для кожної напруги. За даними таблиці побудувати графік $\eta = \eta(U)$.

№ з/п	U , В	I , А	P , Вт	r'_1 , м	r'_2 , м	r''_1 , м	r''_2 , м	r_1 , м	r_2 , м	I_1 , кд	I_2 , кд	η , Вт/кд

Завдання 3. Дослідження світлового поля лампи

1. Встановити початкове положення досліджуваної лампи так, щоб показчик відповідав «0» лімба. Подати на лампу 220 В.
2. Визначити силу світла I_2 (згідно із завданням 1, пп. 4-6).
3. Повертаючи, в тримачі навколо вертикальної осі досліджувану лампу від 0 до 180°, визначити через кожні 15° силу світла I_2 .
4. Результати вимірювань занести в таблицю (таблицю скласти самостійно).
5. Побудувати індикатриси $I_2 = I(\alpha)$.

IV. Вказівки та рекомендації

1. Для кожного завдання самостійно скласти таблиці й занести в них результати вимірювань.
2. Похибки вимірювання I_2 обчислити як для непрямих вимірювань (обов'язково зазначити межі).
3. Похибки в завданнях 1 і 3 не обчислюються, а оцінюються якісно за розкидом точок на графіках, побудованих за середніми вимірюваними величинами.
4. Для побудови індикатриси рекомендується:
 - а. провести коло радіусом 100 мм і горизонтальний діаметр;
 - б. за допомогою транспортира під кутами 15° один до одного провести радіуси в межах 0...180° починаючи від горизонтального;
 - с. за допомогою циркуля й лінійки перенести значення I_2 на радіус, який відповідає даному куту повороту досліджуваної лампи.
5. Рекомендується масштаб; для завдання 2 – 1 Вт/лм = 50 мм, 10 В = 5 мм; для завдання 3 – 1 кд = 3 мм.

V. Контрольні запитання

1. Що розуміють під точковим джерелом світла?
2. Дайте означення світності та яскравості протяжних джерел світла й одиниць їх вимірювання.
3. Дайте означення одиниць сили світла, світлового потоку й освітленості.
4. Як пов'язані люмен та кандела?
5. Сформулювати закон Ламберта.
6. Знати будову і принцип дії візуальних фотометрів.
7. Які переваги й недоліки різних суб'єктивних і об'єктивних методів фотометрування?
8. Як знайти потужність, споживану лампочкою? Що таке економічність та питома потужність електричної лампи?
9. Дайте означення механічного еквівалента світла.
10. Що таке індикатриса?

Лабораторна робота № 2 ВИВЧЕННЯ ТОНКИХ ЛІНЗ

Мета роботи: засвоїти методи вимірювання фокусної відстані, збільшення та радіуса кривизни збирної та розсівної лінз.

Обладнання: оптична лава з набором рейтерів; освітлювач з предметом (стрілкою) та світлофільтри; лінзи збирна та розсівна; екран.

I. Короткі теоретичні відомості

Лінзою називають прозоре тіло, яке обмежується двома поверхнями, що заломлюють світлові промені і здатне формувати оптичні зображення предметів, що світяться власним чи відбитим світлом. Лінза називається тонкою, якщо її товщина a мала порівняно з R_1 та R_2 , де R_1 та R_2 – радіуси кривизни її поверхонь.

Формула тонкої лінзи має вигляд:

$$D = -\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad (2.1)$$

де D – оптична сила лінзи; d , f – віддаль від оптичного центра лінзи відповідно до предмета AB та його зображення $A'B'$; n – відносний показник заломлення, $n = \frac{n_0}{n_1}$ (рис. 2.1).

Ця загальна формула лінзи справджується для лінз опуклих та вгнутих при довільному розташуванні джерела світла і відповідному

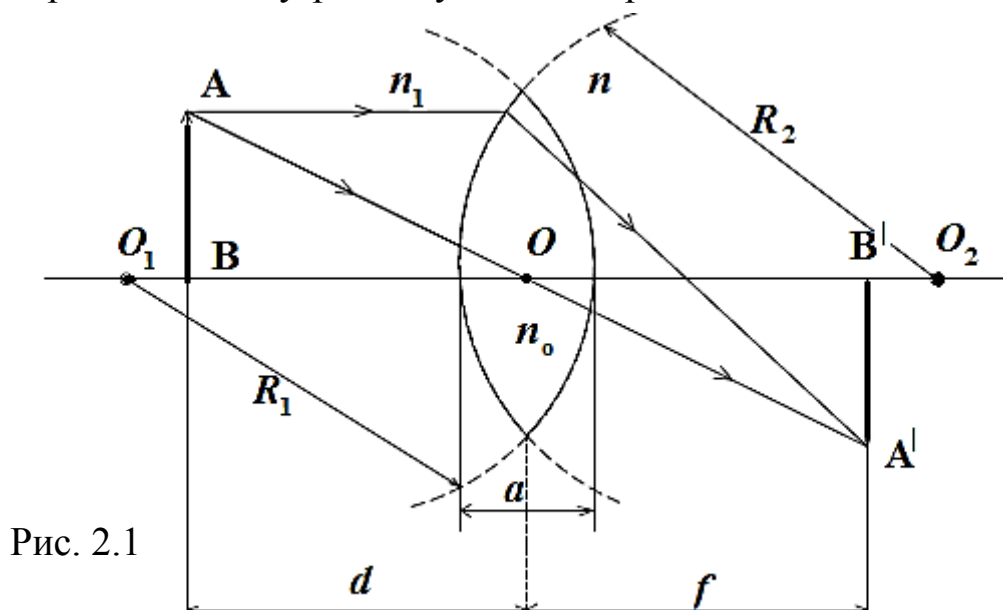


Рис. 2.1

розташуванні фокуса. Із врахувань правила знаків відстані вважаються *додатними*, якщо вони відкладені праворуч від лінзи, і *від'ємними*, – якщо вони відкладені ліворуч від неї. Коли знаки d і f однакові, то одна із спряжених точок – уявна, тобто в ній перетинаються не самі промені, а їх уявні продовження.

З формули (2.1) дістаємо формулу для визначення *фокусної відстані збирної лінзи* $F = \frac{1}{D}$, або

$$F = \frac{df}{d + f} \quad (2.2)$$

Поперечним збільшенням називають відношення $\Gamma = \frac{A'B'}{AB}$. Скориставшись подібністю трикутників AOB та $A'O'B'$ (рис. 2.1), перетворимо цей вираз:

$$\Gamma = \frac{OB'}{OB} = \frac{f}{d} \quad (2.3)$$

Для дійсних зображень $\Gamma < 0$, тобто зображення обернене, а для уявних $\Gamma > 0$, тобто зображення пряме.

Визначаючи з (2.3) віддаль від предмета до лінзи d і підставляючи у формулу (2.1), отримаємо формулу для обчислення фокусної віддалі F тонкої лінзи

$$F = \frac{AB}{(AB + A'B')} f, \quad (2.4)$$

де AB , $A'B'$ – висота відповідно предмета і його зображення; f – відстань останнього від лінзи, причому $A'B' < 0$.

Бессель запропонував метод вимірювання фокусної відстані за величиною переміщення тонкої лінзи (рис. 2.2). Якщо відстань від предмета до зображення, яку позначимо D , більша за $4F$ то завжди знайдуться

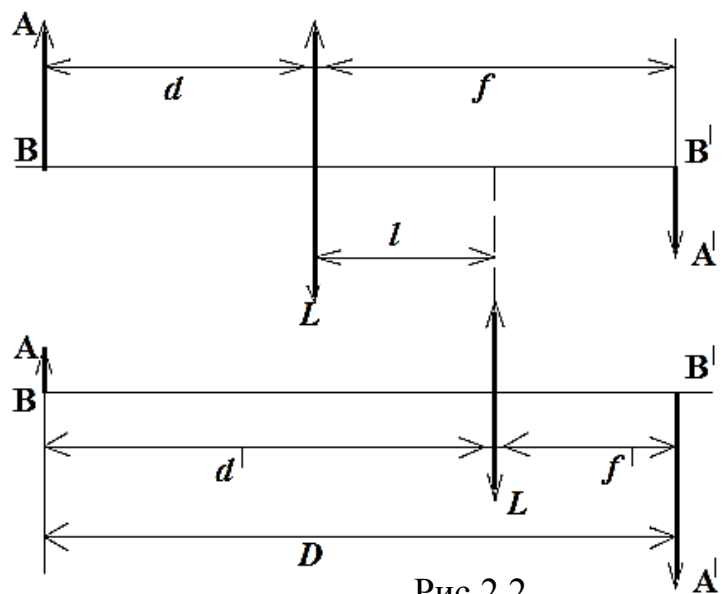


Рис.2.2.

два таких положення лінзи, за яких чітке зображення предмета на екрані одержується в одному випадку зменшене, а в другому – збільшене. Використовуючи формулу (2.2), можна записати для першого положення лінзи $F = \frac{df}{d-f}$ та для другого її положення $F = \frac{d'f'}{d'-f'}$.

Перетворюючи ці вирази, знайдемо:

$$F = \frac{L^2 - l^2}{4L} \quad (2.5)$$

Для визначення фокусної віддалі розсівної лінзи за віддаллю предмета та його зображення від лінзи добирають допоміжну збирну лінзу з оптичною силою, більшою, ніж у розсівної лінзи. За допомогою цієї збирної лінзи одержують на екрані E' дійсне зображення предмета (рис.2.3)

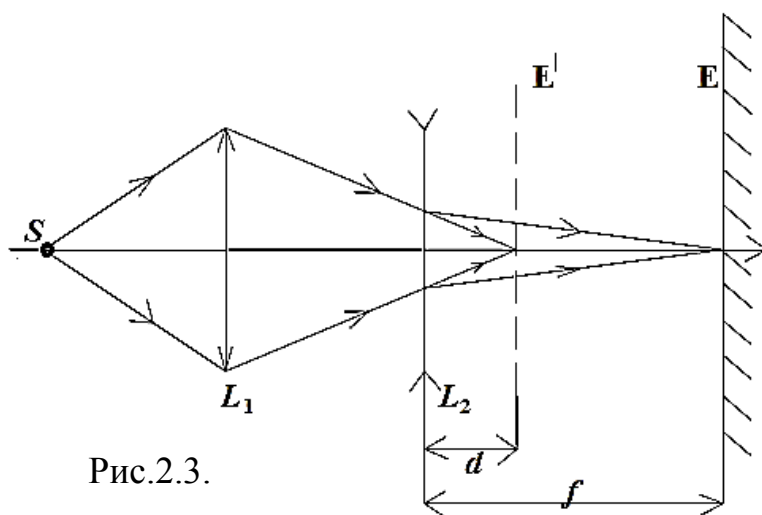


Рис.2.3.

віддалі d від екрана. При цьому чітке зображення предмета зникає.

Переміщуючи екран на віддаль f від розсівної лінзи, знову одержують чітке зображення предмета, змістивши екран у поло-

ження E . Оскільки роль предмета для розсівної лінзи виконує зображення, створене за допомогою збирної лінзи на екрані E' , то для розсівної лінзи з формули (2.1) маємо:

$$F = \frac{df}{d-f} \quad (2.6)$$

Оскільки $|f| > |d|$, то $F < 0$.

II. Обладнання

На розташованій горизонтально оптичній лаві можуть переміщуватися на рейторах такі прилади: лінза, екран із шкалою та елект-

рична лампочка в спеціальному освітлювачі. У передній стінці освітлювач має виріз у вигляді стрілки, яка освітлюється лампочкою, що знаходиться всередині освітлювача. Освітлена стрілка цього вирізу відіграє роль об'єкта (предмета), зображення якого одержується за допомогою досліджуваних лінз.

Усі ці прилади встановлюють так, щоб центри їх знаходилися на одній висоті, площини екранів були перпендикулярні до оптичної лави, а осі лінз – їй паралельними. Віддалі між приладами відраховують за шкалою лінійки, розташованої вздовж лави.

III. Хід роботи

Завдання 1. Визначення фокусної віддалі збирної лінзи за відстанню предмета та його зображення від лінзи і обчислення радіусів кривизни поверхонь лінз

1. Освоїти установку: навчитися переміщувати рейтери з лінзами, екраном, перевірити паралельність променів освітлювача оптичної лави.
2. Розташувати екран зі шкалою, на достатньо великій відстані від освітлювача. Потім розташувати між ними лінзу та переміщувати її доти, поки на екрані не одержиться чітке зображення вирізу в освітлювачі.
3. Відрахувати за лінійкою, розташованою вздовж лави, відстані d і f лінзи та екрана й записати в робочий зошит.
4. Перемістити рейтер з екраном в інше довільне положення. Знову відрахувати відповідні положення лінзи та всіх приладів за лінійкою.
5. Змінити положення рейтера з екраном ще 5 разів. У кожному випадку записати координати всіх приладів. Занести результати всіх вимірювань в таблицю, яку скласти самостійно.
6. Для кожного окремого вимірювання за формулою (2.2) обчислити фокусну відстань лінзи F .
7. Знайти середнє значення фокусної відстані F , а також абсолютну та відносну похибки.
8. Використовуючи формулу (2.1), обчислити радіуси кривизни поверхонь лінзи. Знайти абсолютну та відносну похибки.

Завдання 2. Визначення фокусної відстані збирної лінзи за висотою предмета і його зображенням та за відстанню останнього від лінзи

1. Встановити лінзу між екраном і предметом так, щоб на екрані зі шкалою одержалося дуже збільшене чітке зображення стрілки в освітлювачі.
2. Відрахувати за шкалою оптичної лави відстані лінзи та екрана.
3. Виміряти за допомогою лінійки висоту предмета та його зображення на екрані.
4. Виміряти відстань від зображення до лінзи.
5. Змінити положення рейтерів з освітлювачем і екраном ще не менш як 5 разів і повторити п.п. 1–3 завдання 2.
6. Внести результати всіх вимірювань до таблиці, яку скласти самостійно.
7. Для кожного окремого вимірювання за формулою (2.4) обчислити фокусну відстань F .
8. Знайти середнє значення фокусної відстані F , а також абсолютну та відносну похибки.

Завдання 3. Визначення фокусної відстані збирної лінзи за величиною переміщення лінзи (метод Бесселя)

1. Встановити освітлювач та екран один від одного на відстані $L > 4F$ (рис. 2.2). Орієнтовне значення F взяти з попередніх дослідів.
2. Розташувати лінзу між освітлювачем та екраном і переміщувати її до одержання на екрані чіткого зображення предмета (наприклад, збільшеного).
3. Визначити координату лінзи за шкалою оптичної лави.
4. Перемістити лінзу так, щоб одержати друге чітке зображення предмета, але тепер – зменшене.
5. Визначити координату лінзи за шкалою оптичної лави.
6. Виміряти відстань L , між екраном і вирізом в освітлювачі.
7. Визначити величину переміщення l лінзи з першого положення в друге. Значення всіх величин занести в таблицю.
8. За формулою (2.5) обчислити фокусну відстань лінзи F .

9. Змінити відстань l між екраном та освітлювачем і повторити п.п. 2-8 даного завдання. Відстань L – змінювати не менш як 5 разів.
10. Знайти середнє значення фокусної відстані F , а також абсолютну та відносну похибки.

Завдання 4. Визначення фокусної відстані розсівної лінзи за відстанню предмета та його зображення від лінзи

1. Встановити екран приблизно посередині оптичної лави (положення на рис. 2.3) та зафіксувати його положення a за шкалою.
2. Переміщуючи допоміжну збирну лінзу оптичною лавою, одержати на екрані чітке дійсне зображення предмета (вирізу у вигляді стрілки на освітлювачі).
3. Установити екран у крайнє праве положення на оптичній лаві (положення E на рис. 2.3) та зафіксувати це положення b за шкалою.
4. Помістити розсівну лінзу між збирною лінзою та початковим положенням екрана E' .
5. Переміщувати розсівну лінзу до появи на екрані в положенні E чіткого зображення предмета. Зафіксувати це положення розсівної лінзи c на шкалі.
6. Обчислити $d = a - c$ та $f = b - c$.
7. П.п. 1-6 виконати не менш як 5 разів при інших взаємних положеннях елементів установки. Усі вимірювання занести в таблицю.
8. Для кожного окремого вимірювання за формулою (2.6) обчислити фокусну відстань F розсівної лінзи.
9. Знайти середнє значення фокусної відстані F , а також абсолютну та відносну похибки.

IV. Рекомендації та вказівки

При обчисленні похибок ΔF слід використовувати формули (2.2), (2.4), (2.5), (2.6).

V. Контрольні запитання

1. Які лінзи називаються тонкими? Записати формулу тонкої лінзи.

2. Що називають оптичною силою лінзи та в яких одиницях її вимірюють?
3. Що називають збільшенням лінзи?
4. Як залежить фокусна віддаль лінзи від показника заломлення лінзи та середовища?
5. Дати означення фокуса та фокусної віддалі лінзи.
6. Що таке оптичний центр лінзи? Що таке фокальна площина?
7. Яке зображення створює збирна лінза, якщо предмет розташовується між фокусом та лінзою?
8. Яке зображення створює розсівна лінза, якщо предмет знаходиться за головним фокусом?
9. Що розуміють під лінійним збільшенням лінзи?
10. Де слід розмістити предмет відносно збирної лінзи, щоб його зображення було уявним, прямим та збільшеним?

Лабораторна робота № 3

ВИВЧЕННЯ МІКРОСКОПА ТА ЗОРОВОЇ ТРУБИ

Мета роботи: вивчити будову мікроскопа і зорової труби; ознайомитися з методами визначення збільшення мікроскопа і зорової труби.

Обладнання: мікроскоп із дзеркальною насадкою; світлоділильна призма; об'єктивний мікрометр; масштабна лінійка; зорова труба; настінний масштаб; рулетка.

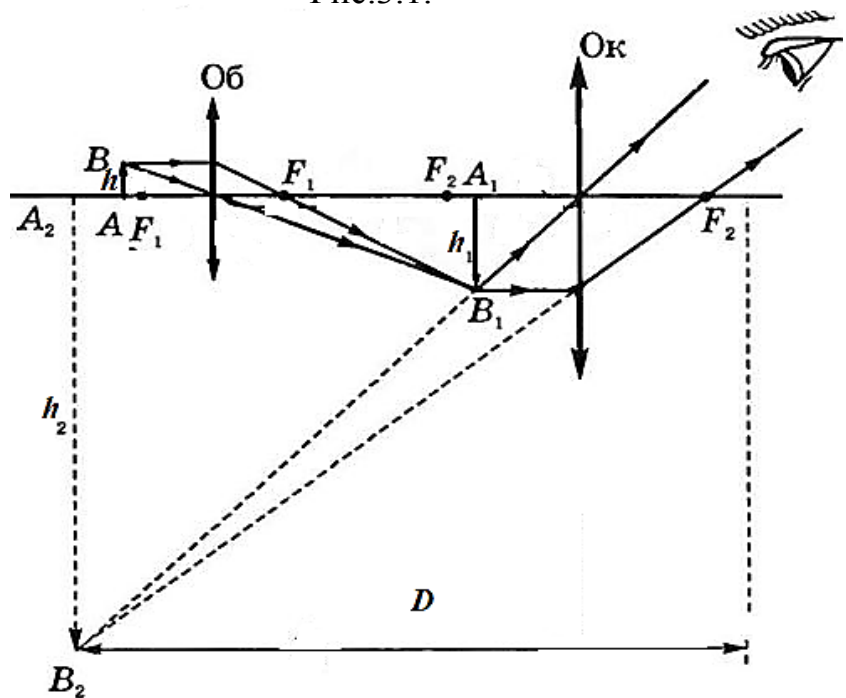
I. Короткі теоретичні відомості

Оптична труба та мікроскоп являють собою оптичні системи, що складаються в основному з двох лінз, перша з яких звернена до спостережуваного об'єкта (об'єктив) і створює дійсне обернене зображення A_1B_1 предмета AB .

Це зображення у свою чергу є предметом відносно другої лінзи (окуляра), яка, діючи як лупа, дає уявне, збільшене відносно A_1B_1 зображення A_2B_2 на віддалі найкращого зору $D \approx 25$ см від ока спостерігача (рис. 3.1).

Об'єktiv мікроскопа, розрахований на розглядання дрібних об'єктів, які лежать близько один від одного, тому має коротку фокусну віддаль. Предмет розміщується перед об'єктивом трохи далі його фокуса, у результаті чого зображення A_1B_1 виявляється значно збільшеним. Об'єktiv труби, яка використовується для спостереження

Рис.3.1.



предметів, що знаходяться на порівняно великих відстанях (ці відстані більші за подвійну фокусну відстань об'єктива), береться довгофокусний. Зображення, яке він утворює (A_1B_1), утворюється зменшеним.

Для характеристики збільшення, яке дає оптична система, використовується величина, що називається кутом зору. *Кутом зору α* (рис.3.2) називається кут, під яким з ока, що перебуває в точці O , видно предмет чи зображення предмета y , яке перпендикулярне до осі.

Величину α можна знайти із співвідношення $\operatorname{tg} \alpha = \frac{y}{a}$, де a – відстань між предметом та оком.

Відношення тангенса кута зору, під яким видно зображення, створюване оптичною системою, до тангенса кута зору, під яким

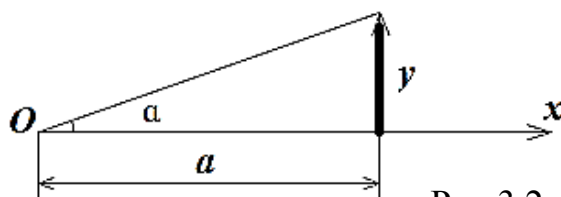


Рис.3.2.

видно предмет неозброєним оком, називається *кутовим збільшенням системи*.

Принципову схему побудови зображення в мікроскопі показано на рис. 3.1. Досліджуваний предмет AB розміщують недалеко за фокусом F_1 об'єктива. Його натуральна лінійна величина – h . Об'єктив дає збільшене обернене дійсне зображення предмета A_1B_1 за подвійною фокусною відстанню об'єктива. Величина зображення – h_1 . Відносно окуляра зображення є предметом. Окуляр розміщують так, щоб зображення A_1B_1 попадало між його оптичним центром і фокусом. Остаточне зображення A_2B_2 буде уявним (відносно предмета AB), оберненим та збільшеним. Зображення A_2B_2 перебуває на відстані найкращого бачення D .

Формула для збільшення зображення у мікроскопі має вигляд:

$$\Gamma = \frac{D\delta}{F_1F_2}, \quad (3.1)$$

де F_1 – фокусна відстань об'єктива; F_2 – фокусна відстань окуляра; D – відстань найкращого зору; δ – відстань між головними фокусами об'єктива і окуляра (приблизно довжина тубуса мікроскопа).

У зоровій трубці (рис. 3.3) об'єктив утворює дійсне, обернене та зменшене зображення A_1B_1 предмета AB . Окуляр виконує роль лупи і дає уявне, пряме та збільшене зображення відносно A_1B_1 . Зображення

перебуває на відстані найкращого зору $D \approx 25$ см. Кутове збільшення труби

$$\gamma = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta} = \frac{F_1}{F_2} \quad (3.2)$$

де α – кут, під яким зображення предмета розглядається в зоровій трубці; β – кут, під яким предмет видно неозброєним оком; F_1 – фокусна відстань об'єктива; F_2 – фокусна відстань окуляра.

Поле зору називають найбільшу кутову віддаль між двома точками, видиму в трубу.

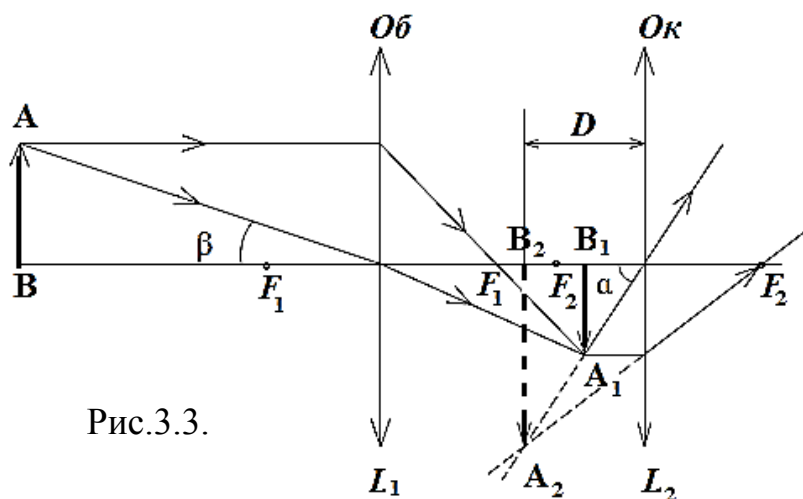


Рис.3.3.

II. Хід роботи

Завдання 1. Визначення збільшення мікроскопа

1. Ознайомитися з будовою мікроскопа, призначенням всіх його деталей.
2. Покласти на предметний столик мікроскопа об'єктивний мікрометр (скляна пластинка, на яку нанесено шкалу з ціною поділки 0,01 мм), сфокусувати мікроскоп і одержати чітке зображення поділок шкали.
3. На окулярі мікроскопа закріпити дзеркальну насадку. Поряд з мікроскопом встановити горизонтально масштабну лінійку з ціною поділки 1 мм таким чином, щоб її зображення, одержане за допомогою дзеркальної насадки та світлоділильної призми, стало в полі зору паралельним зображенню шкали об'єктивного мікрометра. При цьому оптичний шлях від масштабної лінійки до ока спостерігача має дорівнювати віддалі найкращого зору.
4. Обчислити кількість цілих поділок N_1 , шкали масштабної лінійки, які збігаються з цілим числом поділок N_2 зображення шкали

мікрометра. Оскільки відношення ціни поділки шкали до ціни поділки мікрометра дорівнює 100, то збільшення мікроскопа $\beta = \frac{N_1}{N_2} \times 100$.

5. Вимірювання повторити не менш як 5 разів при різних положеннях масштабної лінійки. Усі вимірювані величини занести в таблицю.
6. Знайти середнє значення збільшення β , а також абсолютну та відносну похибки.
7. Порівняти виміряне значення збільшення мікроскопа β_{cp} з обчисленим за формулою (3.1).

Завдання 2. Визначення збільшення зорової труби

1. Ознайомитися з будовою зорової труби.
2. Навести зорову трубу на настінну масштабну лінійку та добитися чіткого зображення.
3. Одним оком дивитися на зображення масштабної лінійки через трубу, а другим – безпосередньо на лінійку. При цьому акомодувати очі так, щоб сумістити зображення в трубі з видимою незброєним оком лінійкою.
4. Обчислити кількість цілих поділок n шкали лінійки, які збігаються з N цілими поділками її зображення.
5. Збільшення труби обчислити за формулою $\gamma = \frac{n}{N}$.
6. Вимірювання повторити не менше 5 разів при різних положеннях зорової труби. Всі вимірювання занести в таблицю.
7. Знайти середнє значення збільшення γ_{cp} , а також абсолютну та відносну похибки.

Завдання 3. Визначення поля зору зорової труби

1. Навести зорову трубу на настінну масштабну лінійку і добитися її чіткого зображення.
2. Підрахувати число поділок масштабної лінійки, які видно в трубі, і визначити лінійні розміри лінійки S , які відповідають цьому числу поділок.

3. Виміряти рулеткою відстань l від об'єктива труби до настінної масштабної лінійки.
4. Обчислити поле зору труби за формулою $tg\beta = \frac{s}{l}$.
5. Вимірювання повторити не менш як 5 разів при різних положеннях зорової труби.
6. Знайти середнє значення величини β в градусах, а також абсолютну та відносну похибки.

III. Контрольні запитання

1. Побудувати хід променів у лупі. Дати характеристику одержаного зображення.
2. Побудувати хід променів у мікроскопі, зорових трубах Галілея та Кеплера.
3. Що називається роздільною здатністю мікроскопа? зорової труби?
4. Від чого та як залежить роздільна здатність оптичного приладу?
5. Яка з лінз та чому відіграє головну роль в оптичних приладах?
6. У чому відмінність лінійного та кутового збільшення в мікроскопі та зоровій трубі?
7. Для чого служать мікроскоп та зорова труба?
8. Поясніть недоліки оптичних приладів: хроматична та сферична аберація, астигматизм, дисторсія, кома.
9. Які недоліки оптичних систем, характерні для вивчених Вами приладів?
10. Побудувати хід променів у телескопі Максудова. Які його переваги?

Лабораторна робота № 4
ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ ТВЕРДИХ ТІЛ
МІКРОСКОПОМ ТА ОПТИМЕТРОМ

Мета роботи: вивчення методу визначення показника заломлення твердих прозорих тіл.

Обладнання: мікроскоп; набір скляних пластинок; мікрометр з ціною поділки 0,01 мм; набір плиток Йогансона; оптиметр.

I. Короткі теоретичні відомості

Відносним показником заломлення двох середовищ n_{21} називають відношення швидкостей розповсюдження оптичного випромінювання (світла) в першому v_1 та в другому v_2 середовищах:

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2}. \quad (4.1)$$

Водночас n_{21} є відношенням синусів кута падіння α та кута заломлення β світлового променя на межі поділу цих середовищ:

$$n_{21} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}. \quad (4.1')$$

Показник заломлення середовища відносно вакууму називають *абсолютним показником (коефіцієнтом) заломлення* цього середовища.

У зв'язку з труднощами, які можуть виникнути в процесі безпосереднього вимірювання кутів падіння та заломлення світлових променів, розроблені інші методи визначення n . У цій роботі розглядається метод визначення показника заломлення прозорої твердої плоскопаралельної пластинки за допомогою мікроскопа.

Розглянемо шар прозорої речовини, яка обмежена двома плоскопаралельними поверхнями NN та MM (рис. 4.1). Нехай товщина пластинки дорівнює d . Якщо шар розглядати зверху в мікроскоп, то буде здаватися, що нижня поверхня шару займе положення $N'N'$. Якщо на нижню поверхню нанести тонку подряпину S, то вона стане джерелом розсіяних променів.

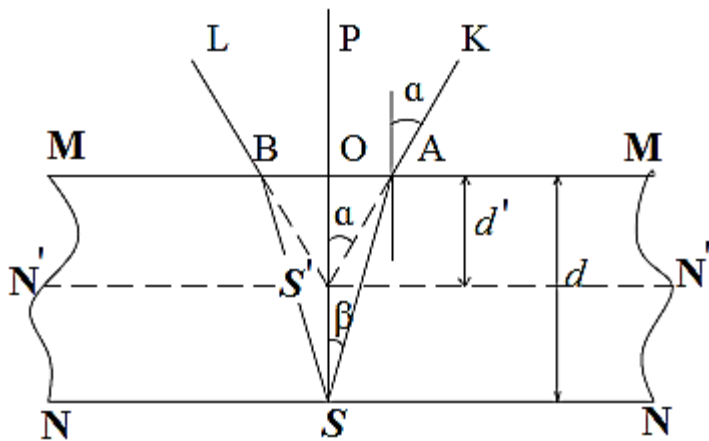


Рис.4.1.

Розглянемо два таких промені SA та SB, які розходяться під малим кутом. На верхній поверхні розділу середовище – повітря (лінія MM) вибрані промені переходять в оптично менш густе середовище і тому розходяться ще більше (промені

AK та BL). Для спостерігача, який дивиться вздовж нормалі PS, промені AK та BL перетнуться на їх продовженнях в точці S' – уявному зображенні точки S.

Сукупність точок, аналогічних S' , створює уявне зображення поверхні NN. З рис. 4.1 видно, що уявна товщина шару d' менша за його дійсну товщину d . З трикутника OSA : $OA = OS \operatorname{tg} \beta$, а з трикутника $OS'A$: $OA = OS' \operatorname{tg} \alpha$, тому

$$OS \operatorname{tg} \beta = OS' \operatorname{tg} \alpha \Rightarrow \frac{OS}{OS'} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \quad (4.2)$$

Заміна тангенсів кутів на їх синуси можлива внаслідок того, що кути α та β малі.

Оскільки швидкість світла в повітрі близька до швидкості світла у вакуумі, то показник заломлення середовища, виміряний відносно повітря, практично дорівнює абсолютному показнику заломлення цього середовища.

З відношення (4.2), враховуючи, що $OS = d$ та, $OS' = d'$ визначимо абсолютний показник шару середовища:

$$n = \frac{d}{d'}. \quad (4.3)$$

II. Обладнання

Оптиметр – оптичний прилад, призначений для вимірювання лінійних розмірів предметів способом дзеркального відліку. Він за-

стосовується для вимірювання лінійних розмірів предметів разом з набором плиток Йогансона (лінійних еталонів довжини).

Оптиметр складається зі стояка, розміщеного на широкій основі, вздовж якої за допомогою спеціальної гайки переміщується зігнута під прямим кутом труба, в якій міститься вся оптична система оптиметра. До основи прикріплено круглий столик, який може бути встановлений горизонтально, а також за допомогою спеціального гвинта підніматися чи опускатися.

Для вимірювання розмірів будь-якого предмета на столик помішують контрольну мірку (користуються набором плиток Йогансона) та опускають вимірювальний штифт. Нерухомий покажчик, який бачимо через окуляр у полі зору, приводимо до збігу з нульовою поділкою шкали, перемішуючи гайку на стояку; точне доведення виконують за допомогою гайки столика оптиметра. Потім піднімають штифт вгору та замість контрольної мірки встановлюють вимірюваний предмет.

Якщо розміри предмета більші за розміри контрольної мірки, то до значення контрольної міри додаємо x (на це вказує знак «+» на шкалі); якщо розміри предмета менші за розміри контрольної міри, то від значення контрольної міри віднімаємо x (знак «-» на шкалі).

Вимірювання виконують з точністю до 0,001 мм.

III. Хід роботи

Завдання 1. Визначення уявної товщини прозорої пластинки

1. Гвинтом грубого фокусування підняти тубус мікроскопа.
2. Покласти на предметний столик мікроскопа скляну пластинку з двома взаємно перпендикулярними подряпинами на нижній та верхній поверхнях.
3. Встановити гвинт мікрометричного фокусування в нульове положення.
4. Опускаючи тубус мікроскопа гвинтом грубого фокусування, одержати чітке зображення подряпини на верхній поверхні пластинки.

5. Опускаючи тубус мікроскопа гвинтом мікрометричного фокусування одержати чітке зображення подряпини на нижній поверхні пластинки.
6. Визначити глибину опускання тубуса мікроскопа від зображення верхньої подряпини до зображення нижньої подряпини (ціна поділки мікрометричної шкали відома), тобто уявну товщину пластинки d' .
7. Повторити вимірювання не менш як 10 разів. Усі результати занести в таблицю.
8. Визначити середнє значення величини d' , абсолютну та відносну похибки.

Завдання 2. Визначення дійсної товщини прозорої пластинки

1. Мікрометром виміряти дійсну товщину d пластинки в кількох місцях з точністю до 0,01 мм.
2. Визначити середнє значення величини d .
3. З набору плиток Йогансона підібрати плитки, сумарна товщина яких близька до значення $d_{\text{ср}}$.
4. За допомогою оптиметра визначити дійсну товщину d пластинки з точністю до 0,001 мм.
5. Результати вимірювань занести до таблиці.

Завдання 3. Знаходження абсолютного показника заломлення речовини пластинки

1. Користуючись формулою (4.3), обчислити величину n .
2. Визначити абсолютну та відносну похибки.

IV. Контрольні запитання

1. Побудуйте хід променів в оптиметрі.
2. Побудуйте хід променів у мікроскопі.
3. Як знаходять збільшення мікроскопа?
4. Дайте означення абсолютного та відносного показника заломлення середовища.
5. Сформулюйте закони відбивання та заломлення світла.

6. Які умови виникнення повного внутрішнього відбивання? Що таке граничний кут?
7. У чому суть принципу Ферма?
8. Від чого залежить і від чого не залежить n ?
9. Що таке плитки Йогансона та яке їх призначення?
10. Які явища, процеси, закони лежать в основі даного методу визначення n ?

Лабораторна робота № 5
ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ СКЛЯНОЇ ПРИЗМИ ЗА
ДОПОМОГОЮ ГОНІОМЕТРА

Мета роботи: вивчення методу визначення показника заломлення твердих прозорих тіл.

Обладнання: скляна призма, джерело оптичного спектру; блок живлення; гоніометр.

I. Короткі теоретичні відомості

Показник заломлення (абсолютний показник) речовини чисельно дорівнює відношенню фазової швидкості світла у вакуумі до швидкості його в даному середовищі:

$$n_a = \frac{c}{v} \quad (5.1)$$

Відносним показником заломлення двох середовищ n_{21} називають відношення швидкостей поширення оптичного випромінювання (світла) в першому v_1 та в другому v_2 середовищах:

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2} \quad (5.2)$$

Якщо швидкість світла в середовищі залежить від довжини хвилі, то і показник заломлення середовища повинен залежати від довжини хвилі.

У даній роботі вимірювання показника заломлення досліджується для органічного скла, що має форму призми. Світло різних довжин хвиль (різного кольору) неоднаково заломлюється на межі двох прозорих середовищ, оскільки $n = f(\lambda)$. Розкладання білого світла в спектр при проходженні його через призму викликано явищем дисперсії. Дисперсією речовини називають відношення $dn/d\lambda$, де λ – довжина хвилі світла у вакуумі. Дисперсією володіють практично всі прозорі середовища, крім вакууму, де швидкість поширення всіх електромагнітних хвиль будь-якої довжини однакова.

Для оптичної призми (рис.5.1) існує зв'язок кута відхилення променів призмою δ від їх початкового напрямку з показником заломлення скла призми n , заломлювальним кутом призми A і кутом

падіння променів на призму α . Використовуючи цю залежність, можна визначити показник заломлення речовини призми.

При деякому певному куті падіння променів на призму кут відхилення променів призмю приймає найменше значення і носить назву кута найменшого відхилення δ_{min} . У цьому випадку кут падіння променів на призму α дорівнює кутіві виходу їх з призми, тобто промінь в призмі йде паралельно основі. Встановимо для цього випадку зв'язок між n , A і δ_{min} .

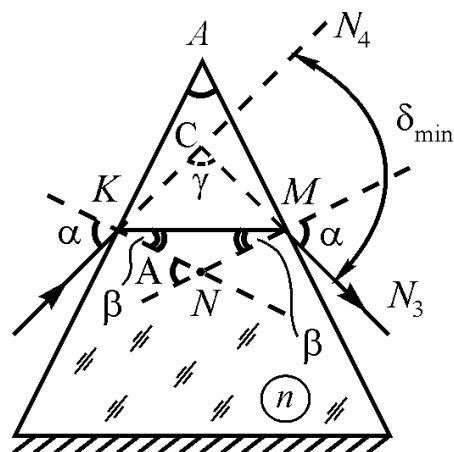


Рис. 5.1.

Запишемо закон заломлення світла для вхідної грані призми:

$$n_{21} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \quad (5.3)$$

З рис. 5.1 видно, що, $\beta = A/2$, $\delta_{min} = 180^\circ - \gamma$, $\gamma = 360^\circ - 2\alpha - (180^\circ - A)$, з чотирикутника $NKCM$: $\delta_{min} = 180^\circ - \gamma = 2\alpha - A$. Звідси $\alpha = \frac{(\delta_{min} + A)}{2}$. Підставляючи значення δ і α в закон заломлення, отримуємо

$$n = \frac{\sin\left(\frac{\delta_{min} + A}{2}\right)}{\sin \frac{A}{2}}. \quad (5.4)$$

II. Обладнання

Вимірювання кутів A і δ_{min} проводиться за допомогою спеціального оптичного приладу, який служить для вимірювання кутів – гоніометра. Основними його частинами (рис.5.2) є коліматорна труба K (освітлювальний коліматор), зорова труба N , круговий

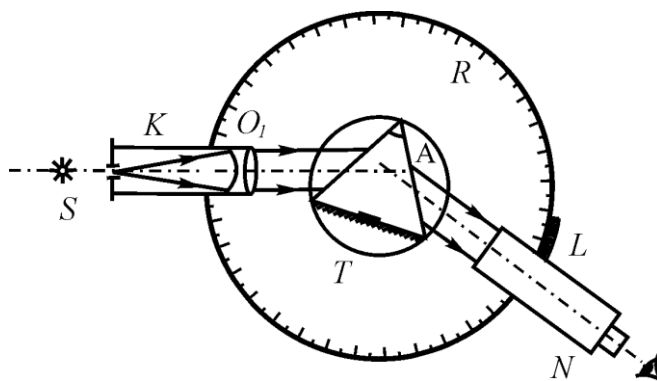


Рис. 5.2

лімб R з ноніусом і вимірювальний столик T , на який встановлюється призма.

Коліматор K має на одному кінці вертикальну щілину S регульованої ширини і об'єктив. Щілина розташована у фокальній площині об'єктива коліматора, тому освітлювальний коліматор дає паралельний пучок променів, який направляє на призму.

Зорова труба N може обертатися навколо осі гоніометра, залишаючись спрямованою завжди по радіусу кругового лімба R . У окулярі зорової труби є вертикальний відліковий індекс, який повинен бути чітко видимим.

Уздовж шкали лімба разом із зоровою трубою рухається жорстко скріплений з нею ноніус L , що має 30 поділок. Точність ноніуса – $1'$. Переміщаючи зорову трубу, потрібно домогтися суміщення індекса окуляра труби з віссю лінії спектра і зняти кутову координату труби (і, отже, даної спектральної лінії) за шкалою гоніометра і ноніусом з точністю до $1'$.

III. Хід роботи

Завдання 1. Визначення заломлювального кута призми

1. Зняти призму та направити трубу так, щоб її вісь збіглася з віссю коліматора. Сумістити зображення щілини з індексом зорової труби.
2. На нерухомо закріплений столик гоніометра встановити призму так, щоб ребро кута заломлення було напрямлене до щілини коліматора K , а грані призми створювали з пучками світла, які виходять зі щілини коліматора, приблизно рівні кути (рис. 5.3).
3. Перед коліматором розташувати джерело немонохроматичного світла (спектральна трубка).
4. Повертаючи зорову трубу, знайти таке її положення, щоб промінь, відбитий від однієї грані, попав

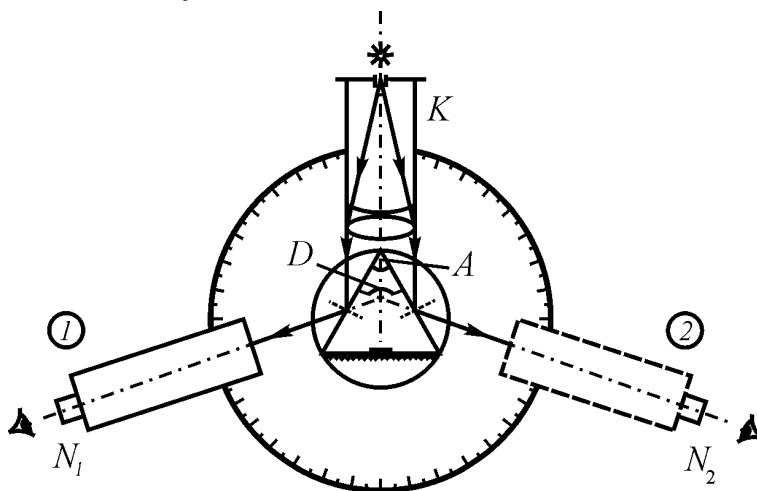


Рис.5.3.

у поле зору труби. Сумістити його з індексом зорової труби. Записати покази положення труби за лімбом N_1 у таблицю.

5. Повертаючи зорову трубу, знайти таке її положення, щоб промінь, відбитий від другої, попав у поле зору труби. Сумістити його з індексом зорової труби. Знову записати покази положення труби за лімбом N_2 у таблицю.

6. Обчислити кут D . Легко показати, що шуканий кут A дорівнює половині кута D . $D = N_1 - N_2$, тоді $A = \frac{(N_1 - N_2)}{2}$. Усі результати занести в таблицю.

7. Вимірювання кута заломлення провести не менш як 5 разів.

8. Визначити середнє значення кута A , абсолютну та відносну похибки.

Завдання 2. Вимірювання кута найменшого відхилення призми

1. Зняти призму та направити зорову трубу так, щоб її вісь збіглася з віссю коліматора (положення **I** на рис. 5.4). Сумістити зображення щілини з індексом труби та записати покази положення труби за лімбом.

2. Встановити призму на столику таким чином, щоб промені, які вийшли з коліматора, падали на грань AC , заломлювалися призмою та виходили через грань AB (Грань CB – основа призми – зачорнена і встановлюється приблизно паралельно осі коліматора.)

3. Повертаючи зорову трубу, сумістити зображення вихідної щілини коліматора з індексом труби. Важливо розуміти, що джерело світла немонохроматичне, тому призма розкладає випромінювання розрядної трубки в спектр. Через це слід вибрати зображення щілини коліматора будь-якого кольору (наприклад, червоного та фіолетового) – положення **II** на рис.5.4.

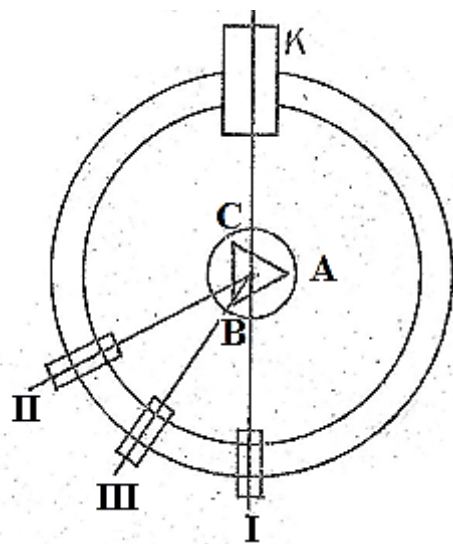


Рис.5.4

4. Повертаючи столик з призмою таким чином, щоб зображення щілини зміщувалося в бік положення труби **II** (рис. 5.4), одночасно переміщувати трубу так, щоб зображення щілини не сходило з індекса. У деякий момент переміщення зображення щілини припиняється і при подальшому повертанні столика в тому самому напрямі зображення щілини вибраного кольору починає рухатися у зворотному напрямі. Це положення труби **III** фіксують і показання гоніометра заносять у таблицю.
5. Різниця показів у положеннях труби **I** та **III** дає шуканий кут найменшого відхилення призми δ_{min} .
6. Повторити вимірювання кута δ_{min} не менш як 5 разів при різних початкових положеннях призми.
7. Визначити середнє значення кута δ_{cp} , абсолютну та відносну похибки.

Завдання 3. Визначення відносного показника заломлення скляної призми.

1. Виміряні значення кутів A та δ_{cp} підставити у формулу (5.4).
2. Визначити середнє значення n , абсолютну та відносну похибки.

IV. Контрольні запитання

1. Дайте означення абсолютного та відносного показників заломлення світла.
2. Побудуйте хід променів у призмі.
3. Яка будова та призначення гоніометра?
4. Що в оптиці називають призмою?
5. Вивести головний закон призми (формулу 5.4).
6. Що таке кут найменшого відхилення призми?
7. Показати можливий хід променів у прямокутній призмі.
8. Для чого використовують прямокутні призми?
9. Які фізичні величини характеризують дисперсію призми?
10. Одержіть формулу для визначення дисперсії призми $\frac{d\delta}{d\lambda}$.

Лабораторна робота 6

ВИВЧЕННЯ ЯВИЩА Т-ЕФЕКТУ ДЛЯ РІДКИХ КРИСТАЛІВ

Мета: вивчити особливості переорієнтації електричним полем молекул нематичного рідкого кристалу.

Обладнання: напівпровідниковий лазер, оптична комірка з нематичним рідким кристалом, що має твіст-структуру, поляроїд, джерело змінної напруги (звуковий генератор), реостат, ключ, провідники, вольтметр, мікроамперметр, фотоелемент.

I. Короткі теоретичні відомості

Рідкі кристали (РК) – це рідини, в яких розташування молекул є впорядкованим, що призводить до анізотропії механічних, електричних, магнітних і оптичних властивостей. Рідкокристалічний стан виникає за певних умов в органічних речовинах, молекули яких мають явно виражену протяжність в одному з напрямів.

Залежно від характеру розташування молекул розрізняють три основні типи структур рідких кристалів: смектичний, нематичний і холестеричний.

Смектичний тип рідких кристалів (смектики – від грецького "смегма" – мило) щонайближче до істинно кристалічних тіл. Молекули розташовуються в шарах, а їх центри мас рухливі в двох вимірах (на смектичній площині) (рис.6.1, *а*). При цьому довгі осі молекул в кожному шарі можуть розташовуватися як перпендикулярно до площини шару (ортогональні смектики), так і під деяким кутом (похилі смектики). Напрямок переважної орієнтації осей молекул прийнято називати *директором* та позначати $\vec{D}$.

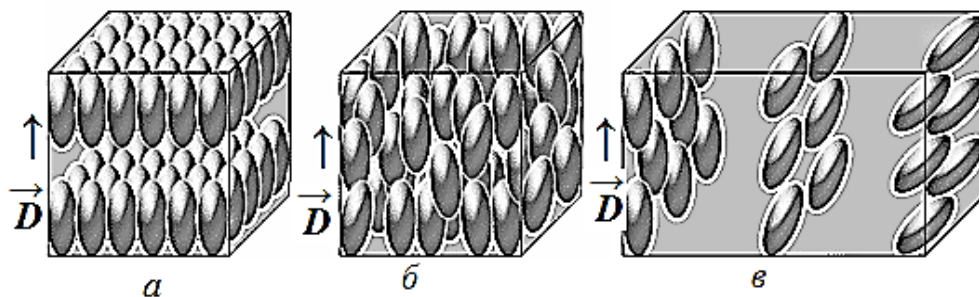


Рис. 6.1.

Нематичний тип рідких кристалів (рис.6.1,б) (нематика від грецького «німа» – нитка) характеризується наявністю тільки одновимірного орієнтаційного порядку довгих (каламитики) або коротких (лискотики) осей молекул. При цьому центри мас молекул розташовані в просторі хаотично, що свідчить про відсутність порядку трансляції.

Найбільш складний тип впорядкування молекул рідких кристалів *холестеричний* (холестерики). В холестеричних кристалах молекули орієнтуються так, що їхні вісі при переході від шару до шару розташовуються гвинтовою лінією (рис. 6.1, в).

Періодична спіральна структура холестериків визначає їх унікальну особливість – здатність селективно відбивати падаюче світло, подібно дифракційній ґратці. При фіксованому куті відбивання умови інтерференції виконуються тільки для променів одного кольору,

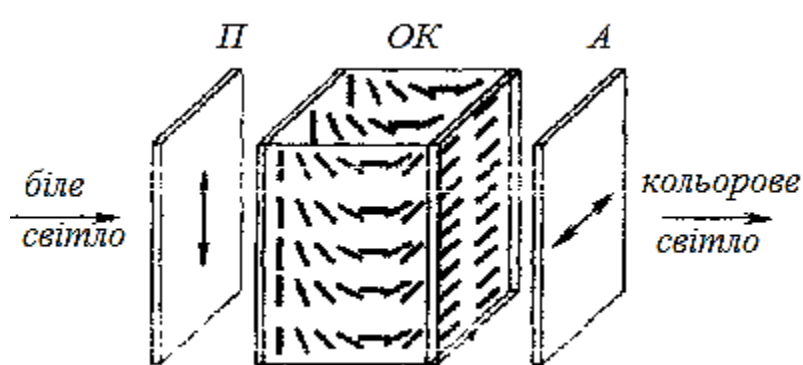


Рис.6.2.

і шар (чи плівка) холестерика здається забарвленим в один колір (рис. 6.2). Цей колір визначається кроком спіралі P , який при нормальному куті падіння світла пов'язаний з макси-

мумом довжини хвилі відбитого світла $\lambda_{\max}$ виразом: $P = \lambda_{\max} / n$, де n – показник заломлення холестерика.

Цей ефект вибіркового відбивання плівкою холестерика світла з певною довжиною хвилі дістав назву *селективного відбивання*. Залежно від величини кроку спіралі, який визначається хімічною природою холестерика, максимум довжини хвилі відбитого світла може розташовуватися у видимій, а також в інфрачервоній та ультрафіолетовій областях спектру.

Т-ефект – один із електрооптичних ефектів, виникає при певній будові оптичної комірки (ОК) з нематичним рідким кристалом, який має додатну анізотропію діелектричної проникності ($\epsilon > 0$). Будова такої ОК передбачає, щоб директор нематика на одному з електродів

був паралельним вісі Ox , а на іншому електроді – паралельним вісі Oy . Внаслідок орієнтації молекул на електродах рідкий кристал набуває закрученої оптично-активної структури, яка може бути подана у вигляді $1/4$ витка спіралі (рис. 6.2). Для полегшення отримання однорідної скрученої структури до складу РК додатково вводять ліво- чи право закручувальну оптично активну речовину. Така структура повертає площину поляризації падаючого лінійно поляризованого світла на кут $\lambda/2$ і володіє двозаломлювальними властивостями. При цьому поворот площини поляризації відбувається за умови: $\lambda \ll (n_e - n_o) \cdot P$, де λ – довжина падаючої хвилі на твіст-структуру, n_o і n_e – відповідно показники заломлення звичайного і незвичайного променів. P – крок спіралі рідкого кристалу. Для достатньо великої товщини оптичної комірки ($d > 10$ мкм) остання умова виконується для всіх довжин електромагнітних хвиль видимого діапазону.

Якщо до такого нематика прикласти електричне поле, перпендикулярне площині електродів OK , то виникає орієнтаційний ефект, який має назву Т-ефекту (твіст-ефекту) Він полягає в переорієнтації молекул нематика з твіст-структури до гомеотропної орієнтації (перпендикулярно електродам), тобто молекули рідкого кристалу орієнтуються вздовж силових ліній електричного поля.

Дослідити Т-ефект можна на установці, яка складається з напівпровідникового лазера (L), поляроїда (P), мікроамперметра та фотоелемента (Φ) (рис.6.3). Спершу слід увімкнути лазер і відрегулювати поляроїд таким чином, щоб площа поляризації лазерного променя і поляроїда складала кут 0° . За цих умов світло, яке потрапляє на фотоелемент має максимальну інтенсивність, тобто покази мікроамперметра – максимальні. Потім між лазером та поляроїдом слід помістити досліджувану оптичну комірку (OK) та відрегулювати її таким чином, щоб мікроамперметр фіксував мінімальну інтенсивність лазерного променя. Це буде в тому випадку, коли площа поляризації випромінювання лазера та зорієнтованого шару нематика на ближньому до лазера прозорому електроді оптичної комірки співпадатимуть. Лазерний пучок, пройшовши шар рідкого кристалу, поверне площину поляризації на 90° за рахунок оптично активної скрученої структури

рідкого кристалу і, потрапивши на аналізатор, не буде проходити його (інтенсивність світла – максимальна).

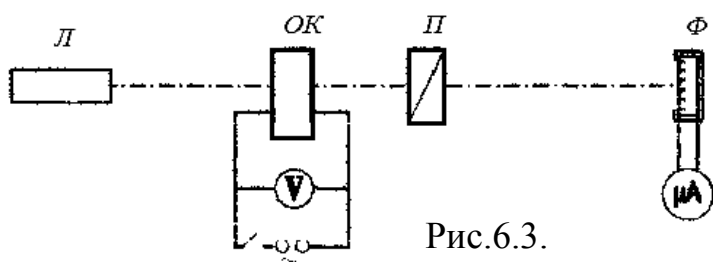


Рис.6.3.

Якщо приєднати до прозорих електродів ОК звуковий генератор і збільшувати напругу,

молекули нематика (при досягненні порогового значення напруженості електричного поля) будуть орієнтуватися вздовж силових ліній електричного поля. Таким чином спіраль почне руйнуватися і молекули поступово перейдуть із спіральної структури до гомеотропної орієнтації. Як результат – лазерний пучок без послаблення потрапить на фотоеlement. При цьому покази мікроамперметра, що фіксує значення фотоструму будуть максимальні.

Дана лабораторна робота виконується віртуально.

II. Хід роботи

1. Запустіть файл Twist-Efect та перейдіть у розділ «Віртуальна лабораторія».
2. Зберіть установку, як показано на рис. 6.3 (окрім «ОК»). Зафіксуйте покази мікроамперметра, який покаже фотострум I_0 , що відповідає інтенсивності розсіяного в приміщенні світла.
3. Увімкніть лазер та зорієнтуйте поляроїд таким чином, щоб досягнути максимального освітлення фотоеlementу, при цьому покази мікроамперметра максимальні.
4. Вимкніть лазер, при цьому з'явиться оптична комірка нематика, яку слід розмістити між поляроїдом і лазером («ОК» з'єднається із звуковим генератором, реостатом, вольтметром та вимикачем).
5. Увімкніть лазер та натисніть лівою кнопкою мишки на «ОК», що дасть можливість спостерігати «ОК» на передній панелі та фіксувати кути).
6. Повернути «ОК» в оправі до досягнення мінімального значення фотоструму. Після чого замкнути ключ.
7. Встановити на звуковому генераторі частоту змінного струму 1000 Гц.

8. Поступово змінюючи напругу за допомогою реостата (натискайте лівою кнопкою мишки по стрілці реостата), записуйте значення фотоструму I^* , що відповідає сумарному випромінюванню, яке падає на фотоелемент та значення напруги U .

9. Збільшуючи напругу, досягнути повної переорієнтації молекул РК, при цьому інтенсивність світла, що проходить систему ОК-поляроїд буде максимальною – фотострум максимальний.

10. Інтенсивність тільки лазерного випромінювання, яке потрапляє на фотоелемент, розрахувати за формулою: $I = I^* - I_0$.

11. Отримані результати занести до таблиці. За даними таблиці побудувати графік залежності $I=f(U)$.

№ з/п	U , В	I_0 , мкА	I^* , мкА	I , мкА	U_n , В

12. За графіком визначити напругу, при якій відбувається повна переорієнтація молекул нематика.

IV. Контрольні запитання

1. Назвіть основні типи рідких кристалів. У чому їх відмінність?
2. Що розуміють під твіст-ефектом?
3. Яка особливість будови рідкого кристалу, що має твіст-структуру?
4. Як переорієнтовуються молекули рідкого кристалу, що мають твіст-структуру, при прикладанні до ОК перпендикулярно електродам змінного електричного поля?
5. Що таке поляризоване світло? Як його одержати?
6. У чому різниця між поляризатором та аналізатором?
7. Яка різниця між звичайним та незвичайним променем?
8. Яке призначення фотоелемента та мікроамперметра в лабораторній установці?
9. Чи можна вважати, що поляроїд в даній роботі відіграє роль аналізатора? Звідки тоді береться поляризоване світло?
10. Які ще оптичні ефекти, характерні для рідких кристалів, Вам відомі?

Лабораторна робота № 7

ВИВЧЕННЯ СПЕКТРАЛЬНОГО АПАРАТА

Мета роботи: вивчити будову та принцип дії монохроматора УМ-2; проградуювати монохроматор; визначити дисперсійні характеристики: кутову та лінійну дисперсію.

Обладнання: монохроматор УМ-2 з блоками живлення (БЖ); газорозрядні лампи низького тиску з ртуттю (Hg) та неоном (Ne).

I. Короткі теоретичні відомості

Розрізняють три основних види випромінювання: монохроматичне, або просте ($\lambda + \Delta\lambda$, де $\Delta\lambda = 0$), квазімонохроматичне ($\lambda \pm \Delta\lambda$, де $\Delta\lambda \neq 0$) та складне, яке складається з $\sum \lambda_i$ монохроматичних (чи квазімонохроматичних) випромінювань. Сукупність монохроматичних випромінювань $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$, які входять до складу складного випромінювання, називають *спектром даного випромінювання*.

Процес просторового розподілу складного випромінювання на прості його складові називається *дисперсією*.

Дисперсію можна одержати під час заломлення ($n = f(\alpha)$ де n – показник заломлення, дисперсія призми) та дифракції ($\varphi = f(\lambda)$, де φ – кут дифракції, дифракційний спектр).

Прилади, які служать для просторового розділення монохроматичних випромінювань із складного випромінювання, називаються *спектральними апаратами*.

До основних видів спектральних апаратів відносяться: спектроскопи (для візуального спостереження спектрів); спектрометри (для кількісного вивчення спектрів); спектрографи (для одержання фотографії спектрів) та монохроматори. Останні мають властивості всіх попередніх та додатково дають змогу дослідити властивості окремого монохроматичного випромінювання, відділеного від решти складових.

Монохроматичне випромінювання, одержане за допомогою спектрального апарата, має такі основні характеристики: інтенсивність I , довжину хвилі λ (чи частоту ν) та візуальну ширину лінії $2\Delta\lambda$.

Наочно спектр складного випромінювання зображено на рис.7.1, а, б, в. Одноатомні молекули газів дають лінійчастий спектр (рис. 7.1, а), який складається з вузьких, різко обмежених з обох сторін ліній.

Багатоатомні молекули газів дають смугастий спектр, який складається з широких ліній, різко обмежених з однієї і розмитих з другої сторони (рис.7.1,б).

Тверді та рідкі тіла, нагріті до світіння, дають суцільний спектр, в якому монохроматичні випромінювання неперервно йдуть одне за одним, починаючи від λ_{min} до λ_{max} (рис. 7.1,в). Наприклад, біле світло спектральний апарат поділяє на цілий ряд монохроматичних променів, які неперервно йдуть один за одним утворюючи систему різнокольорових смуг (фіолетову, синю, голубу, жовту, червону і т.д.).

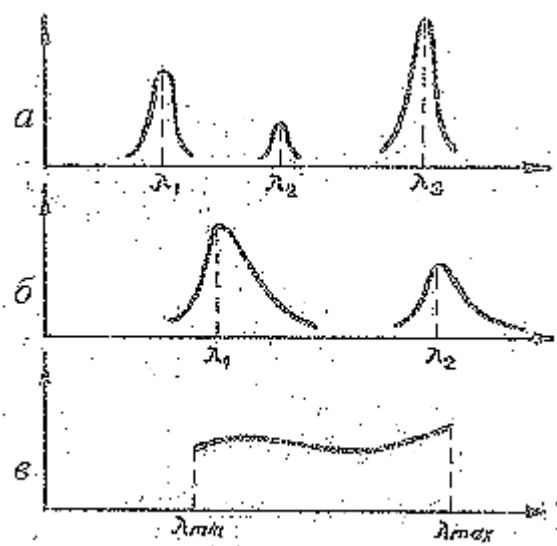


Рис.7.1.

Принципова оптична схема спектрального апарата показана на рис. 7.2.

Спектральний апарат складається з трьох основних частин: коліматора 1-4, який служить для одержання паралельного пучка променів; диспергуючої системи 5 (призма чи дифракційна ґратка), яка розкладає немонахроматичне світло в спектр та зорової труби 6-8 для спостереження спектра чи реєструючого пристрою.

Хід променів у монохроматорі такий. Світло від джерела 1 проходить через конденсор 2 та освітлює щілину 3, яка розташована у фокальній площині коліматора 4. Із об'єктива паралельний пучок променів спрямовується на диспергуючу систему 5.

Якщо джерело випромінює немонахроматичне світло, то внаслідок того, що хвилі різних довжин по-різному заломлюються в призмах (явище дисперсії, $n = f(\lambda)$), відбудеться розкладання світла на монохроматичні складові й з системи призм 5 вийдуть паралельні,

пучки променів, які відповідають хвилям певної довжини $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$. Ці паралельні пучки променів зберуться у фокальній площині 7 об'єктива 6 зорової труби у вигляді спектрального зображення щілини 3.

Якщо джерелом світла є лампа низького тиску, яка містить інертний газ в атомарному стані, то спектральне зображення щілини буде мати вигляд кольорових смуг, які відповідають атомному лінійчастому спектру газу лампи. Спектр можна спостерігати оком через окуляр 8 зорової труби. При цьому спектральні лінії виводяться на вихідну щілину зорової труби, розташовану у площині 7.

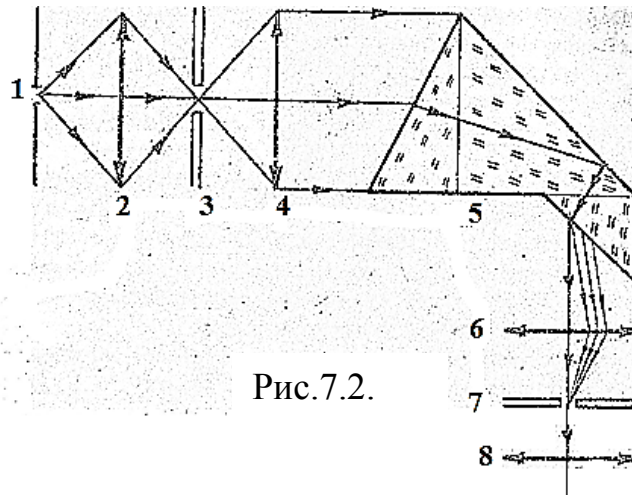


Рис.7.2.

У ряді приладів спектр може фотографуватися фотокамерою чи реєструватися будь-яким реєструючим пристроєм, наприклад фотоеlementом. Останній використовується для реєстрації певної інтенсивності випромінювання.

Основні характеристики спектрального апарата: кутова та лінійна дисперсії.

Кутова дисперсія β визначається властивостями диспергуючого елемента апарата.

Кількісною мірою *кутової дисперсії* є фізична величина, яка показує, на який кут диспергуючий елемент розводить два квазімонохроматичні випромінювання з довжиною хвиль λ_i та λ , що відрізняється від λ_i на одиницю вимірювання. Математично це записується так:

$$\beta = \frac{\partial \varphi}{\partial \lambda} \quad (7.1)$$

Кутова дисперсія залежить від довжини хвилі λ в околі якої визначається β , тобто $\beta = f(\lambda_i)$.

Лінійна дисперсія l залежить, крім того, від геометричних умов фокусування спектра, тобто зорової труби.

Лінійною дисперсією l називається фізична величина, яка показує, на яку лінійну віддаль зміщені один від одного у фокальній площині два спектра з довжинами хвиль λ_i та λ , що відрізняється від λ_i на одиницю вимірювання, тобто

$$l = \frac{\partial x}{\partial \lambda} \quad (7.2)$$

За величиною кутової дисперсії β неважко одержати значення лінійної дисперсії. Дійсно, якщо віддаль між двома спектральними лініями, які відрізняються за довжиною хвилі на $\partial \lambda$, дорівнює ∂x в площині 7 (рис. 7.3), то ця віддаль при малих кутах пов'язана з кутом $\partial \phi$ рівністю:

$$\partial x = F \partial \phi \quad (7.3)$$

де F – фокусна відстань об'єктива зорової труби. З рівнянь (7.2) та (7.3) маємо

$$l = F \frac{\partial \phi}{\partial \lambda} \quad (7.4)$$

З рівнянь (7.1) та (7.4) дістаємо:

$$l = F \beta \quad (7.5)$$

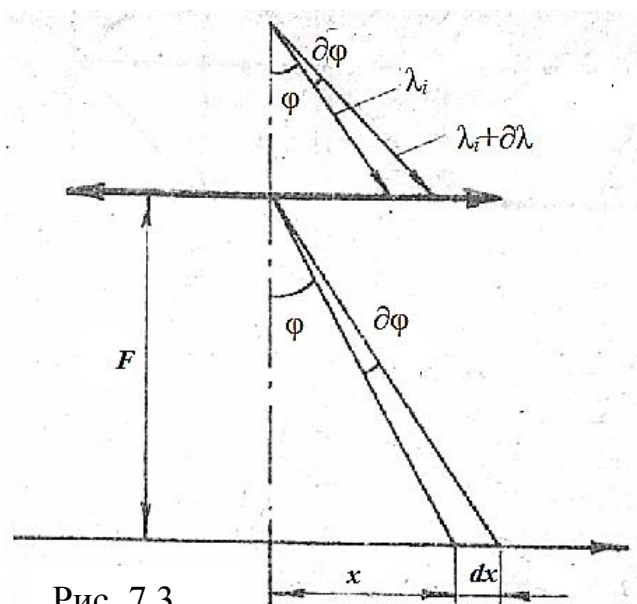


Рис. 7.3

Найчастіше лінійна дисперсія виражається в міліметрах на нанометр (мм/нм).

Дисперсія спектральних апаратів має різне значення в різних ділянках спектру. Тому кутова та лінійна віддаль між спектральними лініями, які відрізняються за довжиною хвилі на одну й ту саму величину, будуть також різними в різних ділянках спектру.

III. Обладнання

Спостереження спектральних ліній та вимірювання їх положень проводиться на монохроматорі УМ-2 зі скляною оптикою. Зовнішній вигляд монохроматора УМ-2 зображено на рис. 7.4.. Монохроматор закріплений на лаві *P*, де також розміщені джерело світла 7 (газорозрядна трубка чи лампа) та конденсор 6, які закріплені на штативах.

Об'єктив коліматора, система диспергуючих призм, а також об'єктив зорової труби містяться всередині корпусу приладу. Вхідна щілина 5 регулюється за шириною мікрометричним гвинтом 8. (Для виконання лабораторної роботи щілина 5 вже виставлена на необхідну ширину, тому рекомендується не чіпати мікрометричний гвинт 8.)

Ширина щілини коліматора (вхідної щілини 5) в спектральних приладах має відповідати нормальній ширині a_n , яку можна обчислити із співвідношення

$$a_n = \frac{\lambda}{D} \cdot F_k \quad (7.6)$$

де λ – довжина хвилі, для якої розраховується щілина (у даній роботі – довжина хвилі жовтої лінії ртуті); D – діаметр пучка світла, яке входить в об'єктив коліматора; F_k – фокусна відстань об'єктива коліматора.

Об'єктив коліматора повинен бути встановлений так, щоб щілина була у фокусі об'єктива. На боковій стороні корпусу приладу розташована шкала 4 з ноніусом, яка показує положення об'єктива коліматора. Шкала освітлюється освітлювальною лампою.

У фокальній площині об'єктива зорової труби розташована вихідна щілина 7 (рис. 7.4), Для встановлення положення спектральної

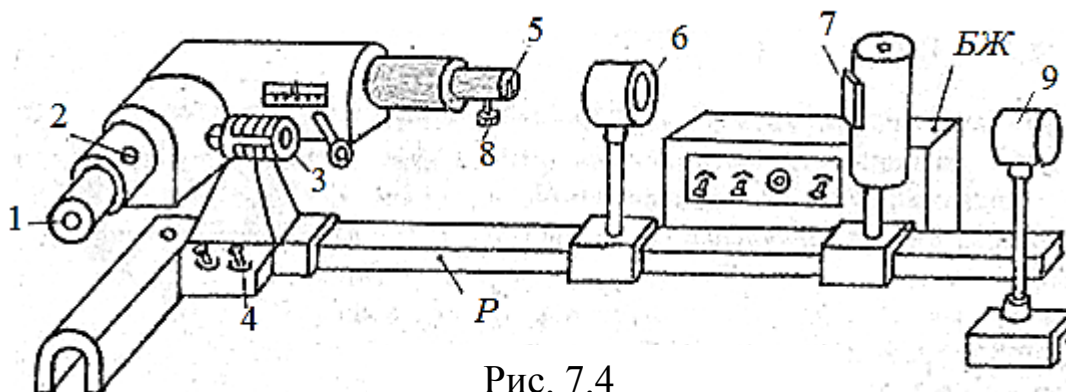


Рис. 7.4

лінії в площині вихідної щілини є індекс у вигляді трикутника. Індекс спостерігається через окуляр. Виведення спектральної лінії на індекс проводиться поворотом диспергуючих систем (призм) за допомогою барабана 3. Індекс освітлюється лампочкою 2. Безпосередньо над лампочкою розташований диск з набором світлофільтрів. Повертаючи диск, можна освітлювати індекс жовтим, червоним чи зеленим світлом. Окуляр 1 обертанням може встановлюватися для ока спостерігача на чітке зображення індексу та спектральних ліній.

Відліковим пристроєм приладу є барабан 3, який з'єднано з системою диспергуючих призм. При повороті барабана на одну поділку (2°) система призм повертається на $20''$.

Монохроматор УМ-2 є симетричною системою: фокусна віддаль лінзи його коліматора дорівнює фокусній віддалі об'єктива зорової труби ($F=280$ мм).

Джерелами світла в даній роботі є спектральні лампи низького тиску, наповнені газами – неоном та ртуттю, які перебувають в атомарному стані. Лампу слід включати лише протягом того часу, коли проводяться спостереження, але не більше, оскільки від тривалої роботи інтенсивність світіння знижується.

III. Хід роботи

Завдання 1. Градування шкали барабана УМ-2

Проградувати спектральний апарат означає знайти залежність (у вигляді графіка чи таблиці) між поділками шкали та довжиною хвилі.

Для градування користуються спектральними лампами низького тиску з ртуттю та неоном, спектри яких складаються з великої кількості близько розташованих добре вивчених ліній.

Градування складається із таких операцій:

1. За формулою (7.5) розрахувати нормальну ширину щілини коліматора та визначити правильність її встановлення для жовтої лінії ртуті. (Цей пункт виконується лаборантом при налагодженні приладу.)
2. Газорозрядну лампу із ртуттю розташувати на лаві приладу та включити в коло через блок живлення (БЖ на рис.7.4). Положення

лампи на лаві та за висотою відрегулювати так, щоб щілина монохроматора була повністю освітлена.

3. Повертаючи барабан, переглянути через окуляр увесь спектр від фіолетових до червоних ліній. За правильного положення газорозрядної лампи всі лінії повинні бути рівномірно та яскраво освітлені.

4. Сумістити з індексом окуляра жовту лінію і зробити пробний відлік, який подати викладачеві. *Якщо відлік зроблено правильно, то можна починати вимірювання.*

5. Послідовно сумістити з індексом окуляра лінії ртуті від червоної до фіолетової та записати відліки за барабаном монохроматора, відмічаючи колір лінії. Усього потрібно проміряти 11–12 ліній. Після цього вимірювання провести у зворотному порядку від фіолетової до червоної лінії.

6. Замінивши лампу з ртуттю неоновую лампою (9), повторити операції, вказані в пп. 2-5.

7. Взявши з таблиць значення довжин хвиль для ртуті та неону, побудувати градувальний графік на міліметровому папері. Вздовж осі ординат відкласти значення φ , відлічені за барабаном 3, а вздовж осі абсцис – відповідні довжини хвиль λ .

8. Усі дані записати в таблицю.

Завдання 2. Визначення кутової та лінійної дисперсії монохроматора УМ-2.

1. На осі абсцис знайти точки, які відповідають довжинам хвиль λ : 400, 450, 500, 550, 600, 650 та 700 нм. Позначимо ці точки відповідно 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7. З цих точок провести ординати до перетину з кривою залежності $\varphi(\lambda)$ і показати точки, перетину цифрами 1', 2', 3', 4', 5', 6', 7'.

2. У позначених точках (1-7) провести дотичні до кривої залежності $\varphi(\lambda)$ до перетину з віссю абсцис і позначити їх відповідно 1''–7''.

3. З утворених трикутників 11'1'', 22'2'', ..., 77'7'' знаходимо тангенс кутів $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$, нахилу дотичних до осі абсцис. Тоді:

$$\beta_1 = \frac{\partial \varphi_1}{\partial \lambda_1} = \operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{11'}{11''} \text{ і т. д.}$$

4. Знаючи $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_7$, та фокусну віддаль об'єктива зорової труби F , обчислити лінійну дисперсію $l_1, l_2, \dots, l_7$.
5. Результати всіх вимірювань занести в таблицю.
6. Побудувати графіки залежностей $\beta(\lambda)$ та $l(\lambda)$ і зробити висновки.

IV. Рекомендації та вказівки

1. Всі графіки будувати на міліметровому папері.
2. Рекомендуємо масштаби:
 - а. для побудови графіка $\varphi(\lambda)$: вздовж осі абсцис: $1 \text{ мм} - 2 \cdot 10^{-9} \text{ м}$; вздовж осі ординат: $10 \text{ мм} - 2 \text{ рад}$.
 - б. для побудови графіка $\beta(\lambda)$: вздовж осі абсцис: $1 \text{ мм} - 2 \cdot 10^{-9} \text{ м}$; вздовж осі ординат: $10 \text{ мм} - 10 \cdot 10^7 \text{ рад/м}$;
 - с. для побудови графіка $l(\lambda)$: вздовж осі абсцис $1 \text{ мм} - 2 \cdot 10^{-9} \text{ м}$; вздовж осі ординат: $10 \text{ мм} - 10 \cdot 10^3 \text{ рад}$.
3. Для побудови графіка $\varphi(\lambda)$ обчислювати як середній відлік для кожної лінії у прямому та зворотному напрямках (завд. 1, п. 6).
4. Таблиці скласти самостійно.
5. Похибки не обчислювати.
6. Якщо важко зіставити довжини хвиль з лініями спостережуваних спектрів, слід звернутися за консультацією до викладача чи лаборанта.
7. Градувальний графік повинен являти собою плавну криву. Проводити її слід за допомогою лекала так, щоб частина точок лежала на кривій, а частина була розташована з обох боків від неї за можливістю симетрично.

V. Контрольні запитання

1. Для яких цілей треба градуювати монохроматор?
2. Чому монохроматор УМ-2 є симетричною системою?
3. Скільки зображень щілини дає об'єктив зорової труби?
4. Що таке спектральний аналіз та для яких цілей він використовується?
5. Чим відрізняється дисперсійний спектр призми від дифракційного спектра?

6. Використовуючи основну формулу дисперсійної призми, знайти вираз для дисперсії $\frac{\partial n}{\partial \lambda}$
7. Назвіть види дисперсії. Який вид дисперсії має місце в спектральних апаратах?
8. Що таке роздільна здатність спектрального апарата?
9. Перелічіть основні положення електронної теорії дисперсії.
10. Що таке фраунгоферові лінії?

Лабораторна робота 8

ВИВЧЕННЯ ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНИХ СМУГ РІВНОЇ ТОВЩИНИ

Мета роботи: освоїти установку, отримати експериментально кільця Ньютона й візуально вивчити їх особливості; визначити радіус кривизни лінзи, середню довжину хвилі й ширину смуги пропускання світлофільтра.

Обладнання: установка для спостереження кілець Ньютона; окулярний мікрометр, набір світлофільтрів, мікроскоп.

I. Короткі теоретичні відомості

Інтерференційні смуги можуть виникати у тонких плівках і пластинках. Під плівками й пластинками в оптиці розуміють тонкі прозорі шари газів, рідин і твердих тіл, які обмежені поверхнями довільної форми. Під дією на них світла відбувається заломлення й відбивання падаючих променів. У результаті поверхні, які обмежують плівку, самі стають джерелами когерентних відбитих (при спостереженні у відбитому світлі) та заломлених (при спостереженні в прохідному світлі) променів.

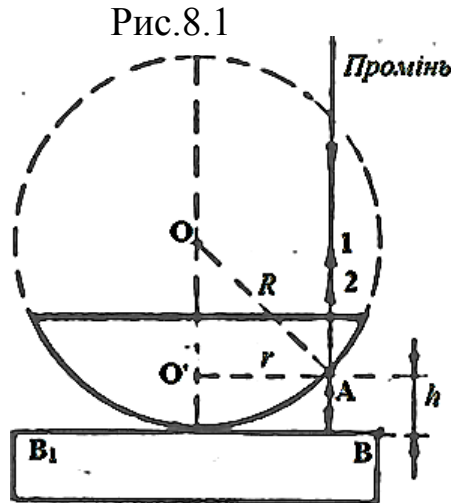
Поверхні плівок і пластинок являють собою протяжні когерентні джерела світла, промені від яких (відбиті чи заломлені) інтерферують і утворюють інтерференційні смуги.

Смугами рівного нахилу називаються інтерференційні смуги, які утворюються при освітленні плоскопаралельних плівок та пластинок розсіяними променями, які завжди мають форму кола або його дуги.

Смугами рівної товщини називають довільної форми інтерференційні смуги, які утворюються при освітленні непаралельних плівок та пластинок паралельними променями. Форма інтерференційних смуг визначається геометричним місцем точок однакової товщини. Тобто інтерференційні смуги однакового кольору проходять по таких місцях плівки, де вона має однакову товщину.

Класичним прикладом смуг рівної товщини є кільця, які вперше візуально спостерігав та експериментально вивчив Ньютон. Кільця Ньютона у відбитому світлі утворюються під час інтерфе-

ренції променів, які відбиваються від поверхонь тонкого повітряного прошарку, що знаходиться між випуклою поверхнею лінзи й поверхнею плоскої скляної пластинки (рис.8.1). Щоб дістати чітку картину, краще всього використати для освітлення паралельний (і перпендикулярний до поверхні $\mathbf{B_1B}$) пучок монохроматичних



променів. Розглянемо один з них.

Під час розрахунку різниці ходу між відбитим в точці $\mathbf{A}$ променем 1 і заломленим у точці $\mathbf{A}$, а потім відбитим в точці $\mathbf{B}$ променем 2, можна знехтувати неминучими нахиленнями променів, що проходять у тонкому повітряному прошарку $\mathbf{AB}=h$. Припустимо, що в точці $\mathbf{A}$ внаслідок накладання промені 1 та 2 га-сять один одного. Відповідно до умов мінімуму інтерференції це означає, що різниця ходу між ними дорівнює непарному числу половин довжин хвиль:

$$\Delta=(2k+1)\lambda/2, \quad (8.1)$$

де $k=0, 1, 2, 3, \dots$ і відповідає номеру темного кільця.

Знайдемо ту саму різницю ходу через радіус кривизни лінзи R , радіус темного кільця r і товщину повітряного шару h :

$$\Delta=2h+\lambda/2, \quad (8.2)$$

бо промінь 2 двічі (після заломлення в точці $\mathbf{A}$ і відбивання в точці $\mathbf{B}$ з втратою $\lambda/2$) проходить відрізок $\mathbf{AB}=h$. Знайдемо h з $\mathbf{OAO_1}$: $r^2=R^2-(R-h)^2=2Rh$, оскільки $R \gg r$. Тоді

$$h = \frac{r^2}{2R}. \quad (8.3)$$

Тоді з (8.1) – (8.3) маємо

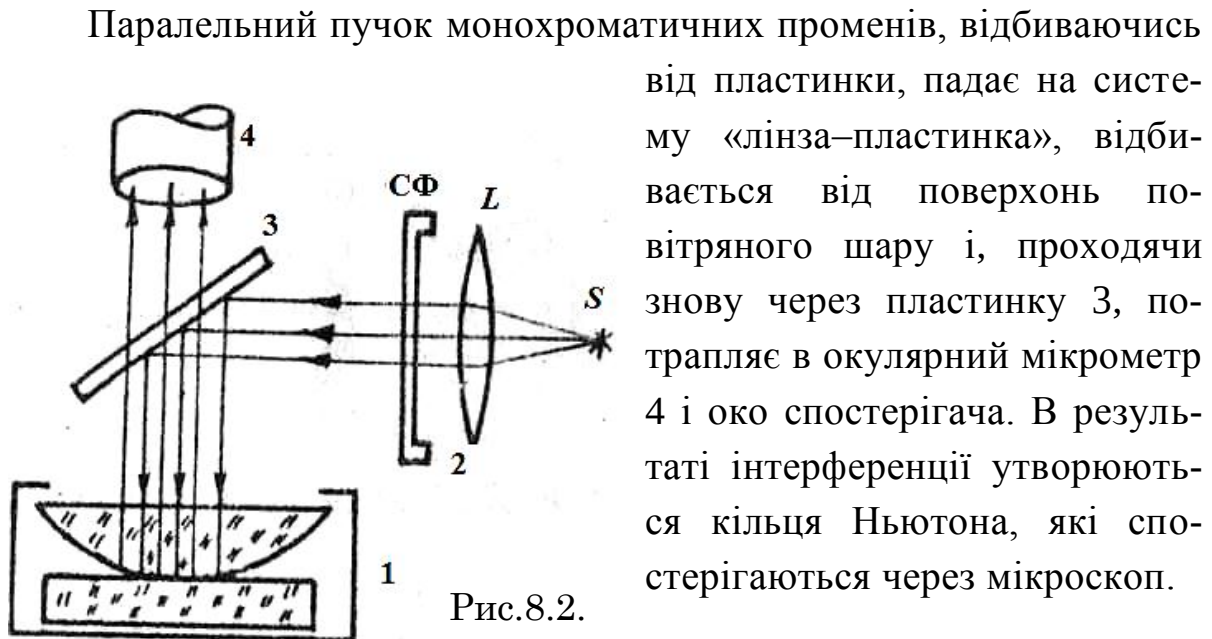
$$r = \sqrt{k\lambda R}. \quad (8.4)$$

Аналогічно можна розрахувати радіус k -го світлого кільця:

$$r' = \sqrt{(k - \frac{1}{2})\lambda R}. \quad (8.5)$$

II. Обладнання

Установка складається з таких основних частин (рис.8.2): оправы 1, в якій за допомогою трьох гвинтів і пружинного кільця тісно притиснуті одна до одної лінза й пластинка; освітлювача 2 (ртутної лампи S з лінзою L і світлофільтром $СФ$), який дає паралельний пучок монохроматичних променів; напівпрозорої пластинки 3; окулярного мікроскопа 4.



Паралельний пучок монохроматичних променів, відбиваючись від пластинки, падає на систему «лінза–пластинка», відбивається від поверхонь повітряного шару і, проходячи знову через пластинку 3, потрапляє в окулярний мікроскоп 4 і око спостерігача. В результаті інтерференції утворюються кільця Ньютона, які спостерігаються через мікроскоп.

III. Хід роботи

Завдання 1. Отримати й візуально вивчити кільця Ньютона

Увімкнути установку та розглядаючи інтерференційну картину, дати відповіді на такі запитання (з поясненням причин):

1. Що спостерігається в центрі інтерференційної картини?
2. Як змінюється товщина й густина кілець у міру віддалення їх від центра?
3. Як змінюється вигляд кілець при наявності й відсутності світлофільтрів?
4. Як змінюється вигляд інтерференційної картини при додатковому взаємному притисканні лінзи й пластинки?

Завдання 2. Визначення радіуса кривизни лінзи з допомогою світлофільтра з відомою довжиною хвилі

1. Обертаючи барабан окулярного мікрометра, навести почергово перехрестя ниток на середину ліній 1, 2, 3, 4, 5, 6 темного кільця праворуч і записати для кожного виміру покази окулярного мікрометра в міліметрах (N_1, N_2 і т.д.).
2. Повторити п. 1 для тих самих кілець, але ліворуч (N_1', N_2' і т.д.).
3. Визначити радіуси відповідних кілець $r_i = \frac{1}{2}(N_i - N_i')$
4. Використовуючи співвідношення (8.4), можна дістати

$$R = \frac{r_i^2 - r_j^2}{\lambda(i-j)} \quad (8.6)$$

і обчислити радіус кривизни лінзи.

5. Експериментальні дані й результати розрахунків занести до таблиці.

№ з/п	Номер кільця	N , мм	N' , мм	r , мм	Δr , мм	r^2 , мм ²	R , м	ΔR , м	λ , мм	$\Delta \lambda$, мм	E , %

Завдання 3. Визначити довжину хвилі й ширину пропускання світлофільтра

1. Змінити світлофільтр з відомою довжиною хвилі λ на світлофільтр з невідомою довжиною хвилі λ_x .
2. Зробити вимірювання аналогічні завданню № 2, для всіх видимих кілець.
3. На міліметрівці побудувати графік залежності r^2 від номера кілець $r^2 = f(k)$.
4. Знайти за графіком довжину хвилі λ як тангенс кута нахилу отриманої прямої до осі абсцис, поділеного на R :

$$\lambda = \text{tg} \alpha / R. \quad (8.7)$$

5. Знайти ширину смуги пропускання світлофільтра

$$\Delta \lambda = 2\lambda / m, \quad (8.8)$$

де m – число всіх видимих інтерференційних кілець.

IV. Рекомендації та вказівки

1. Довжину хвилі світлофільтра для завдання №2 дізнатись у лаборанта.
2. Для побудови графіка залежності $r^2 = f(k)$ рекомендується масштаб $1 \text{ мм}^2 = 10^{-6} \text{ м}^2$ — 5 мм (за віссю ординат), i (номер кільця) — 10 мм (за віссю абсцис).
3. Похибку ΔR розрахувати за (8.6), враховуючи, що $\Delta r \approx 5 \cdot 10^{-6} \text{ м}$, а $\lambda \approx \text{const}$.
4. Похибку в завданні 3 обчисліть за формулою (8.7). Можна вважати, що $\text{tga} \approx \text{const}$.

V. Контрольні запитання

1. Що таке інтерференція? Інтерференція світла?
2. Які світлові хвилі є когерентними? монохроматичними?
3. Чим відрізняються смуги рівного нахилу від смуг рівної товщини?
4. Поясніть, чому спостережувана інтерференційна картина має форму кілець?
5. У чому схожість і відмінність інтерференційних картин у відбитому й прохідному світлі?
6. Чому для спостереження кілець Ньютона лінза повинна мати великий радіус кривизни?
7. Чому при виведенні формул не враховуються промені, відбиті від верхньої поверхні лінзи?
8. Вивести формули (8.4) та (8.5) для випадку, коли шар між лінзою й пластинкою заповнений рідиною з показником заломлення n .
9. Отримати формулу (8.2) для випадку, коли нахилами променів при заломленні знехтувати не можна.
10. Одержати формули для обрахунку абсолютної та відносної похибок радіуса кривизни лінзи R .

Лабораторна робота 9

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕРФЕРЕНЦІЇ СВІТЛА ЗА ДОПОМОГОЮ БІПРИЗМИ ФРЕНЕЛЯ

Мета роботи: 1) якісно вивчити вигляд інтерференційної картини, 2) отримати її, визначити відстань між уявними когерентними джерелами світла, довжину хвилі джерела світла й смугу пропускання світлофільтра.

Обладнання: оптична лава, освітлювач, світлофільтра, вертикальна щілина, біпризма, збирна лінза, окулярний мікрометр.

I. Короткі теоретичні відомості

Інтерференцією світла називається явище просторового накладання когерентних світлових хвиль, в результаті якого відбувається перерозподіл світлової енергії таким чином, що в одних точках простору утворюються максимуми енергії, а в інших – мінімуми.

При спостереженні інтерференції на екрані видно світлі (*максимум* інтенсивності світла) і темні (*мінімум* інтенсивності світла) смуги.

Інтерференція світла спостерігається тільки для когерентних світлових хвиль, тобто для таких, які мають однакову частоту та постійну, що не змінюється з часом, різницю фаз світлових коливань.

Існує кілька методів отримання точкових когерентних джерел світла: метод Юнга (подвійна щілина Юнга), дзеркала Френеля, біпризма Френеля, білінза Бійє, дзеркало Ллойда та інші. В усіх цих методах точкові когерентні джерела отримують від одного, вихідного джерела методом розділенням фронту хвилі, тобто виділенням, розведенням і подальшим перетином окремих пучків світла з використанням явищ відбивання, заломлення світла.

Визначимо відстань між інтерференційними смугами. Нехай два когерентні джерела S_1 та S_2 дають інтерференційну картину на екрані E (рис.9.1). Розміщення інтерференційних смуг на екрані задаватимемо їхньою відстанню від точки O_1 на перпендикулярі до відрізка S_1S_2 . Розглянемо довільну точку P на екрані E , де спостерігається ін-

терференційна картина. Відстані від джерел світла до точки P позначені r_1 і r_2 , а різниця ходу цих променів – Δr . Відстань між когерентними джерелами S_1 та S_2 позначена d , від джерел світла до екрана – L , від центральної нульової (в точці O_1) до m -ї інтерференційної смуги (в точці P) – x_m .

З трикутників S_1PP_1 та S_2PP_2 знайдемо r_2^2 та r_1^2 і візьмемо їх різницю:

$$r_2^2 - r_1^2 = 2dx_m = (r_2 - r_1)(r_2 + r_1) \approx \Delta r \cdot 2L,$$

звідки

$$x_m = \frac{\Delta r L}{d}, \quad (9.1)$$

де x_m – відстань максимуму чи мінімуму m -го порядку від нульової інтерференційної смуги в точці O_1 .

Якщо оптична різниця ходу променів Δr дорівнює парному числу половин довжин хвиль, то хвилі підсилюють одна одну в точці спостереження і на екрані (наприклад, в точці P) спостерігається максимум освітленості ($\Delta r = 2m \cdot \frac{\lambda}{2}$ – умова максимуму).

Якщо Δr дорівнює непарному числу половин довжин хвиль, то спостерігається мінімум освітленості (умова мінімуму: $\Delta r = (2m + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$).

Знайдемо відстані x_m та x_{m+n} від точки O_1 на екрані до довільних m -ї та n -ї темних смуг. Для цього запишемо умову мінімуму інтерференції

$$\Delta r_{\min} = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}. \quad (9.2)$$

Тоді шукані відстані згідно (9.1)

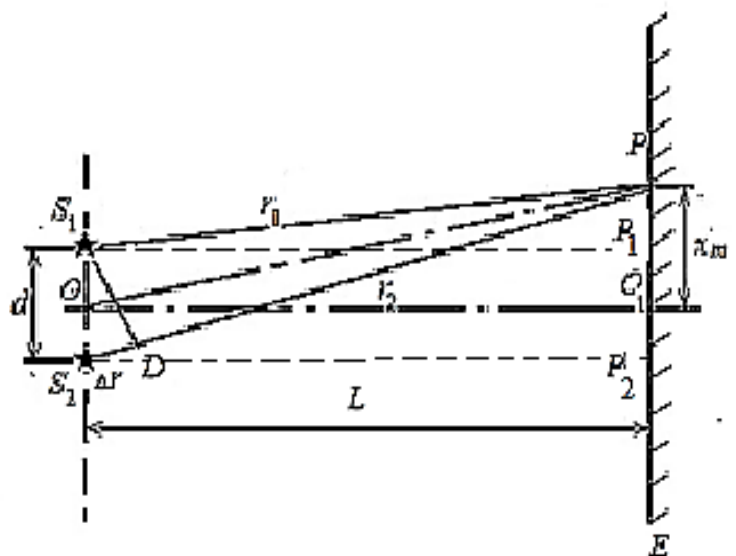


Рис. 9.1.

$$x_m = \frac{L(2m+1)\lambda}{2d}; \quad x_{m+n} = \frac{L(2(m+n)+1)\lambda}{2d}. \quad (9.3)$$

Відстань між вибраними темними смугами

$$\Delta x_n = x_{m+n} - x_m = \frac{n\lambda L}{d}, \quad (9.4)$$

звідки довжина хвилі

$$\lambda = \frac{d\Delta x_n}{nL}, \quad (9.5)$$

де n – кількість темних смуг між m -тою та $(m+n)$ -тою темними смугами.

II. Опис установки

Установка для спостереження інтерференції світла (рис.9.2) складається з освітлювача 1, світлофільтра Φ , вертикальної щілини 2, біпризми БП, збирної лінзи 3, окулярного мікрометра 4, оптичної лави 5.

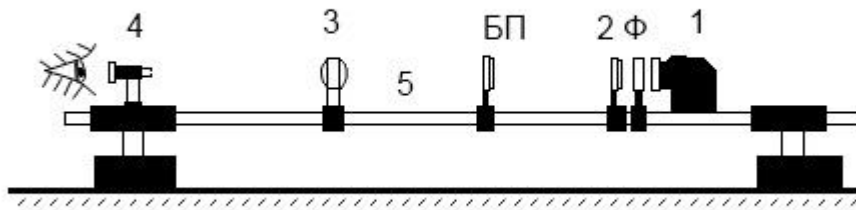


Рис.9.2.

Усі елементи установки змонтовані на оптичній лаві, їх можна переміщувати, змінюючи взаємне розташування. Відстані між різними елементами вимірюють лінійкою.

Біпризма Френеля складається з двох призм з малими заломлювальними кутами A (порядку 30°), сплавлених одна до одної своїми основами в одну призму з тупим кутом B , близьким до 180° .

Світловий пучок від джерела світла (щільова діафрагма (рис.9.3) після заломлення в біпризмі A розділяється на два когерентні пучки з вершинами в уявних зображеннях S_1 та S_2 щілини S . Оскільки джерела S_1 та S_2 когерентні, то в будь-якій точці простору, де перетинаються пучки (область $BCDK$), буде спостерігатися інтерференційна картина. При цьому фіксують, як правило, певну площину (або по-

верхню) в просторі – поле спостереження інтерференції (наприклад, bb' на екрані E).

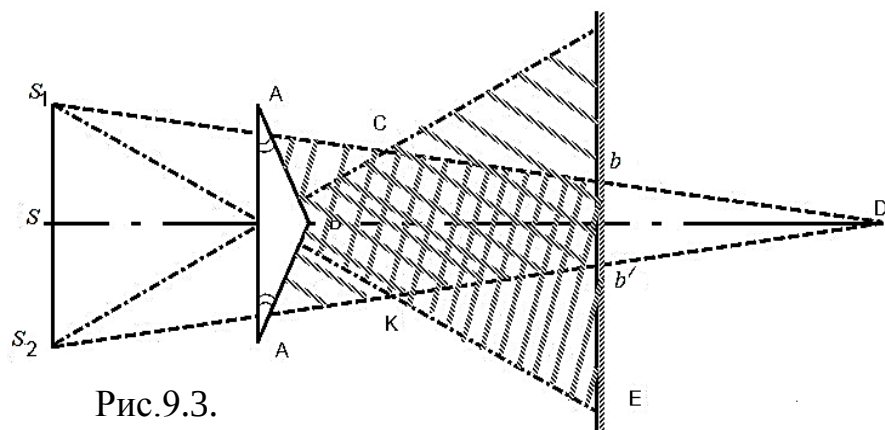


Рис.9.3.

Світло, яке проходить через фільтр Φ , не є монохроматичним; довжина його хвиль перебуває в інтервалі від λ_1' до λ_2'' . Інтенси-

вність I хвиль в цьому інтервалі залежить від довжини хвиль λ (рис.9.4). Довжина хвилі λ_m , якій відповідає максимум інтенсивності, є визначальною для даного фільтра. Інтервал довжини хвиль $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ називається шириною пропускання фільтра, якщо інтенсивність, яка відповідає довжинам λ_1 , та λ_2 менша від максимальної I_m у два рази. Чим менший інтервал $\Delta\lambda$, тим вища монохроматичність, яку забезпечує фільтр.

Інтерференція немонахроматичних променів утворює складну картину, що складається із сукупності максимумів і мінімумів, які відповідають різним довжинам хвиль λ в інтервалі від λ_1' до λ_2'' .

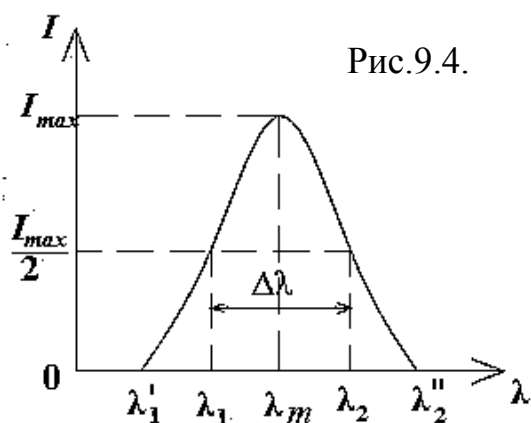


Рис.9.4.

Вони частково або повністю накладаються одна на одну.

Чіткість інтерференційних смуг порушиться, інтерференція не спостерігається, якщо максимум m -го порядку для хвилі з довжиною $\lambda + \Delta\lambda$ збігається з максимумом $(m+1)$ порядку для хвилі з довжиною λ .

Умовою нечіткості інтерференційної картини є

$$(m+1)\lambda = m(\lambda + \Delta\lambda), \text{ тобто } \Delta\lambda = \frac{\lambda}{m},$$

де m – число світлих інтерференційних смуг, що чітко спостерігаються в полі зору; $\Delta\lambda$ – ширина смуги пропускання світлофільтра.

III. Хід роботи

Завдання 1. Якісне вивчення інтерференційної картини

1. Прибрати лінзу 3 і перевірити відповідно до рис.9.2 порядок розташування елементів установки.
2. Увімкнути лампу освітлювача в мережу і шляхом його переміщення домогтися, щоб нитка розжарення проектувалася на щілину діафрагми 2.
3. Змінюючи нахил щілини 2, встановити її паралельно ребру біпризми БП.
4. Подивитися через біпризму на щілину й упевнитися, що спостерігається два уявних джерела світла у вигляді двох світлих щілин.

Завдання 2. Визначення відстані між уявними когерентними джерелами світла

1. Отримати чітку інтерференційну картину.
2. Не змінюючи взаємного розміщення приладів на оптичній лаві, розмістити між біпризмою та окулярним мікрометром збирну лінзу (рис.9.2).
3. Переміщуючи лінзу, домогтися чіткого зображення когерентних джерел при їх спостереженні через окулярний мікрометр.
4. Обертаючи боковий гвинт окулярного мікрометра, сумістити точку перетину рухомого перехрестя в полі зору із серединою зображення однієї щілини. Зробити відлік цілих міліметрів за видимою в полі зору шкалою, а за барабаном гвинта – відлік часток міліметра. Показчиком відліку за шкалою є дві паралельні візирні лінії, які переміщуються за шкалою при обертанні гвинта окулярного мікрометра. Результат вимірювання запишіть у таблицю.
5. Повторити п.4 для другої щілини. Відстань між зображеннями щілин знайти за різницею відліків.
6. Виміряти лінійкою відстані від предмета (щілини) до лінзи a та відстань b від лінзи до зображення (до окулярного мікрометра).
7. Використовуючи формулу для збільшення лінзи $\frac{d'}{d} = \frac{a}{b}$, розрахувати відстань d між когерентними джерелами світла.

Завдання 3. Визначення довжини хвилі світлофільтра

1. Не змінюючи взаємного розташування елементів на оптичній

лаві в завданні 2, зняти лінзу 3.

2. Виміряти відстань Δx_n між довільно вибраними n темними смугами, аналогічно вимірюваною d' (див. пп.4, 5 завдання 2).

3. Виміряти лінійкою відстань L між окулярним мікрометром та щілиною і за (5) розрахувати λ .

Завдання 4. Визначення ширини смуги пропускання світлофільтра

1. Не змінюючи взаємного розташування елементів на оптичній лаві (у завданнях 2 і 3), підрахувати кількість світлих (або темних) смуг m в полі зору окулярного мікрометра.

2. За (9.6) розрахувати ширину смуги пропускання світлофільтра.

IV. Рекомендації та вказівки

1. Таблиці для кожного завдання скласти самостійно.

2. Усі вимірювання повторити 5-6 разів.

3. Для кожного вимірювання й розрахункової величини слід визначити похибки.

4. Слід пам'ятати, що ребро біпризми має бути повернуте до щілини.

5. При виконанні роботи періодично давати відпочинок очам.

V. Контрольні запитання

1. Дати означення монохроматичних та когерентних світлових променів.

2. Перелічити існуючі методи отримання точкових когерентних джерел світла. Пояснити механізм їх отримання.

3. Чому джерела S_1 та S_2 (див.рис.9.1) когерентні?

4. Яка конструкція біпризми Френеля?

5. Чому заломлювальний кут біпризми повинен бути малим?

6. У чому різниця інтерференційної картини, отриманої від білого й монохроматичного світла?

7. Довести умову підсилення й згасання світла при інтерференції.

8. Вивести формулу для знаходження відстані між інтерференційними максимумами.

Лабораторна робота 10

ВИВЧЕННЯ ДИФРАКЦІЙНОЇ РЕШІТКИ

Мета роботи: вивчити будову й принцип дії дифракційної решітки (ДР) та особливості дифракційного спектру; визначити сталу ДР; довжину хвилі світлофільтра; роздільну здатність ДР, кутову дисперсію ДР.

Обладнання: оптична лава, дифракційна решітка, масштабна лінійка з вертикальною прямокутною щілиною, освітлювач, набір світлофільтрів, штангенциркуль.

I. Короткі теоретичні відомості

Під *дифракцією світла* розуміють будь-які відхилення поширення світла від законів геометричної оптики при зустрічі світла з перешкодами.

Розрізняють два види дифракції: Френеля (дифракцію в збіжних променях) та Фраунгофера (дифракцію в паралельних променях). Дифракція Френеля спостерігається на екрані, розташованому за перешкодою в тій області, в якій відбувається перетин дифрагуючих променів. Дифракція Фраунгофера спостерігається у фокальній площині лінзи, тобто для її спостереження необхідна лінза. Такою лінзою може бути й кришталик ока. Для спостереження дифракції Френеля лінза не потрібна.

Математично дифракційні задачі розв'язуються на основі принципу Гюйгенса-Френеля. Принцип Гюйгенса дає можливість побудувати фронт хвилі в будь-який момент часу, якщо відомо фронт хвилі в попередній момент часу. Для цього необхідно кожену точку відомого фронту хвилі вважати самостійним точковим джерелом світла, яке випромінює напівсферичні хвилі з радіусом $r = v\Delta t$, де v – швидкість хвилі, Δt – проміжок часу. Щоб одержати новий фронт хвилі через час Δt , необхідно побудувати напівсферичні хвилі, а обгинаючи їх поверхня і буде новим фронтом хвиль.

Френель доповнив принцип Гюйгенса положеннями, які дають можливість розрахувати інтенсивність світла в будь-якій точці, що

розташована на певній відстані від відомого фронту хвилі:

1. Вторинні хвилі є когерентними.
2. Інтенсивність у будь-якій точці визначається результатом інтерференції когерентних коливань, які створюються вторинними хвилями.
3. Інтенсивність вторинних хвиль пропорційна площі, з якої випромінюються ці хвилі.
4. Із збільшенням кута між нормаллю до елемента випромінюючої площини фронту хвилі та напрямом на точку спостереження інтенсивність зменшується.

На дифракції Фраунгофера заснована дія ДР. ДР є лінійною (одновимірною), площинною (двовимірною) або просторовою (тривимірною) періодичною системою, на якій спостерігається інтенсивна дифракція.

Частинним випадком ДР є площинна періодична система, яка являє собою сукупність прозорих шириною a та непрозорих для світла шириною b смуг.

Фізична величина $d=a+b$ називається сталою ДР.

Принцип дії ДР заснований на дифракції світла від однієї щілини та інтерференції дифрагуючих променів від N щілин.

Розглянемо дифракцію від однієї щілини шириною a (рис.10.1). Дифрагуючі під кутом φ промені збираються лінзою L в точці A фокальної площини ФП. Умовно розіб'ємо фронт плоскої хвилі, що падає на

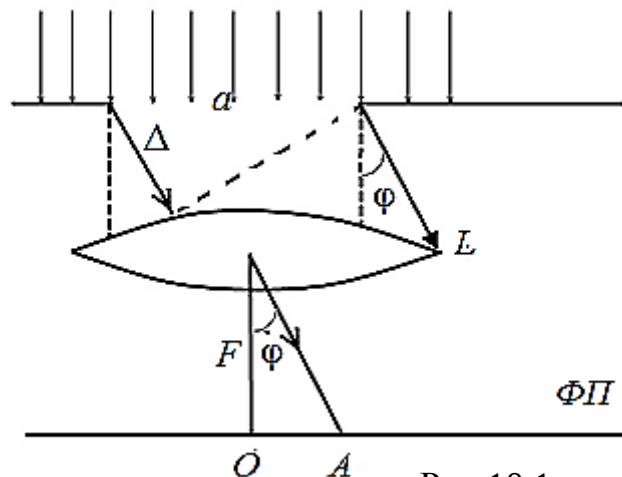


Рис.10.1.

щілину, на вузькі смужки так, щоб різниця ходу між променями, що йдуть у заданому напрямку φ , дорівнювала $\frac{\lambda}{2}$. Частина поверхні фронту хвилі, які задовольняють такій умові, називаються *зонами Френеля*. Хвилі, які йдуть від двох сусідніх зон, створюють коливання в точці A в протилежних фазах і гасять одна одну.

Припустимо, що на щілині укладається k зон Френеля. Тоді різниця ходу між першою та m -ю зонами

$$\Delta = k \frac{\lambda}{2} = a \sin \varphi. \quad (10.1)$$

Якщо k – парне число, тобто $k=2m$, то світло гаситься, якщо k – непарне число, тобто $k=(2m+1)$, то хвилі підсилюють одна одну.

Напрями, вздовж яких дифрагуючі промені від однієї щілини підсилюються чи послаблюються, визначаються із співвідношень

$$\sin \varphi_+^{(1)} = (2m + 1) \frac{\lambda}{2a}; \quad (10.2)$$

$$\sin \varphi_-^{(2)} = 2m \frac{\lambda}{2a} = \frac{m\lambda}{a}, \quad (10.3)$$

де $=0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm n$.

У фокальній площині лінзи L спостерігається праворуч і ліворуч від нульового максимуму ($m=0$) симетрично розташовані максимуми освітленості 1-го ($m=\pm 1$), 2-го ($m=\pm 2$) і більших порядків.

Припустимо, що на ДР шириною l з числом щілин N падає перпендикулярно пучок паралельних променів, який після дифракції збирається на екрані, розташованому в фокальній площині лінзи.

Положення дифракційних максимумів і мінімумів від кожної щілини окремо не залежатиме від положення щілини на решітці. Дійсно, їх положення визначається напрямками (10.2) та (10.3), вздовж яких проходить чи не проходить світло від щілини. Тому при переміщенні однієї щілини паралельно самій собі ніяких змін дифракційної картини не буде. Якщо послідовно закривати всі щілини ДР, крім однієї, то на екрані спостерігатиметься одна й та сама картина. Якщо ж відкриті всі N щілин, то картина різко зміниться.

Це відбувається внаслідок того, що спостерігається накладання двох процесів – дифракції світла від кожної окремої щілини та інтерференція променів, які прийшли в одне й те саме місце від усіх щілин.

Очевидно, що попередні мінімуми (10.3) будуть на попередніх місцях, оскільки ті напрями, вздовж яких жодна із щілин не посиляє світла, не отримають його і при N щілинах. Напрями (10.3) визначають напрями головних мінімумів ДР.

Крім того, виникають і додаткові мінімуми дифракції.

Якби вся решітка шириною l була прозорою (відсутні непрозорі

дільниці), то аналогічно (10.3) справджувалося б співвідношення

$$\sin \varphi_-^N = \frac{m\lambda}{l} = \frac{m\lambda}{(a+b)N} . \quad (10.4)$$

Співвідношення (10.4) визначає напрями додаткових мінімумів, якщо вилучити з цих напрямів напрями головних максимумів ДР.

Напрями головних максимумів ДР визначаються умовою інтерференції від двох щілин:

$$\Delta_1 = (a + b) \sin \varphi = m\lambda. \quad (10.5)$$

Справді, з рис.10.2

$$\Delta = N\Delta_1 = l \sin \varphi , \quad (10.6)$$

звідси

$$\Delta_1 = \frac{l}{N} \sin \varphi. \quad (10.7)$$

З рівнянь (10.5) та (10.7) слідує, що

$$\frac{l}{N} \sin \varphi = (a + b) \sin \varphi = m\lambda. \quad (10.8)$$

З (10.8) знайдемо напрями головних максимумів від щілин, уздовж яких дії всіх щілин підсилюються:

$$\sin \varphi_+ = \frac{m\lambda}{a+b} \quad (10.9)$$

Порівнюючи (10.4) та (10.9) переконуємося в тому, що в (10.4) m може набувати будь-яких значень, крім $m=N, m=2N, m=3N$ і т.д., тобто $m=1,2,3,\dots, N-1, N+1, N+2,\dots$

Отже, між двома головними максимумами розташовується $N-1$ додаткових мінімумів дифракції.

Основними характеристиками ДР є: стала ДР, кутова та лінійна дисперсії, роздільна здатність.

Кутовою дисперсією називається фізична величина, яка показує різницю кутів дифракції між двома довжинами хвиль, що відрізняються

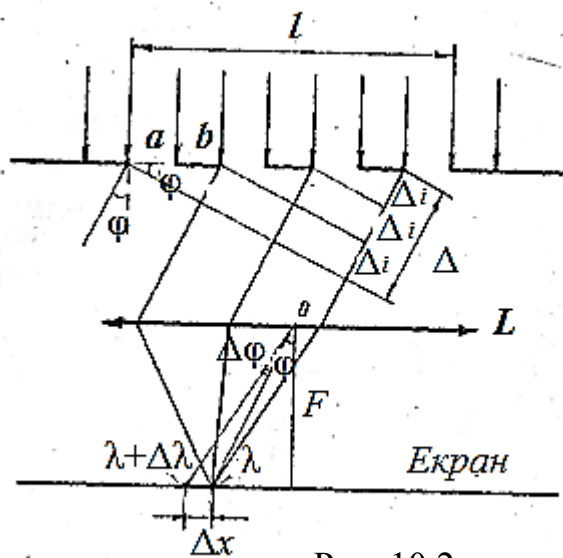


Рис. 10.2.

одна від одної на одиницю:

$$D_{\varphi} = \frac{d\varphi}{d\lambda} \quad \text{чи} \quad D_{\varphi} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta\lambda}. \quad (10.10)$$

Означення лінійної дисперсії аналогічне:

$$D_x = \frac{dx}{d\lambda} \quad \text{чи} \quad D_x = \frac{\Delta x}{\Delta\lambda} \quad (10.11)$$

де Δx — лінійна відстань між спектральними лініями λ та $\lambda + \Delta\lambda$ на екрані.

Очевидно, що

$$D_x = D_{\varphi} F \quad (10.12)$$

Роздільною здатністю ДР називається її властивість створювати на екрані таке розділення двох спектральних ліній з довжинами хвиль λ та $\lambda + d\lambda$, щоб візуально вони були видимі окремо.

Дві лінії (згідно з *принципом Релея*) є розділеними, якщо максимум інтенсивності однієї з них збігається з мінімумом інтенсивності другої.

Кількісною мірою роздільної здатності вважається величина

$$R = \frac{\lambda}{d\lambda} \quad \text{чи} \quad R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}.$$

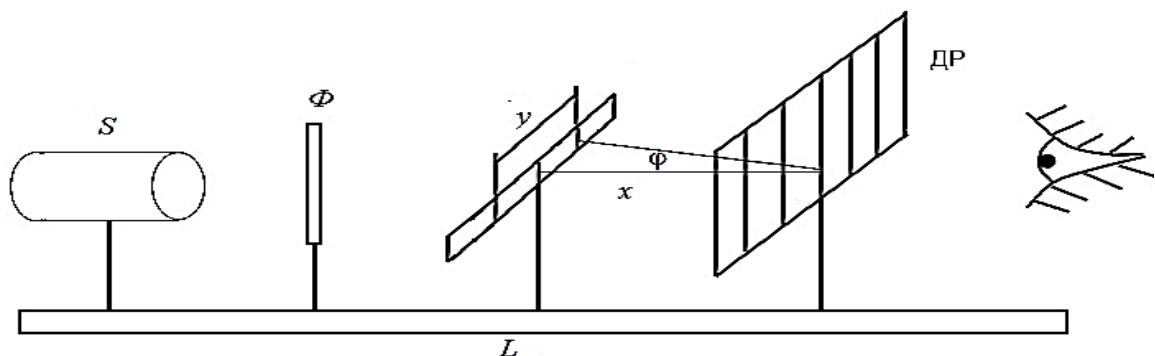
Можна довести, що

$$R = \frac{\lambda}{d\lambda} = mN, \quad (10.13)$$

де m — порядок спектра; N — загальне число щілин решітки.

II. Опис установки

Установка збирається на оптичній лаві так, як показано на рис. 10.3. Дифракційна картина згідно із законом геометричної оптики за допомогою кришталіка одержується на сітківці ока. Проте людина сприймає спектр, розташований на масштабній лінійці.



III. Хід роботи

Завдання 1. Візуальне визначення особливостей дифракційного спектра

1. Зібрати установку (рис.10.3) без світлофільтра.
2. Увімкнути джерело світла. Розглядаючи щілину на лінійці через ДР і змінюючи висоту розташування приладів на оптичній лаві, розмістити їх центри на одній осі.
3. Спостерігаючи через ДР дифракційну картину, відрегулювати ширину щілини на лінійці до отримання чітких спектрів.
4. Розташувати на оптичній лаві ДР та лінійку на найбільшій відстані одне від одного.
5. Описати, який вигляд має дифракційний спектр, відзначити його особливості.
6. Почергово поставити фільтри (починаючи з більш коротких хвиль).
7. Описати відмінності в спектрах білого та квазімонохроматичного світла.

Завдання 2. Визначення сталої ДР

1. Установити в оправу освітлювача світлофільтр з відомою довжиною хвилі λ .
2. Виміряти за шкалою на оптичній лаві відстань x від лінійки до ДР.
3. Виміряти за шкалою горизонтальної лінійки відстані y_1, y_2, y_3 і т.д. відповідно між спектрами 1-го, 2-го, 3-го і більшого порядків.
4. Обчислити напрями, вздовж яких спостерігаються відповідно спектри 1-го, 2-го і 3-го порядків, ураховуючи, що

$$\operatorname{tg} \varphi_i = \frac{y_i}{2x} \quad (10.14)$$

Знаючи $\operatorname{tg} \varphi$, обчислити $\sin \varphi$.

5. Використовуючи формулу ДР (10.8), визначити її сталу $(a+b)$.

Завдання 3. Визначення довжини хвилі λ , яка пропускається світлофільтром

1. Замінити світлофільтр з відомою довжиною хвилі на світло-

фільтр з невідомою довжиною хвилі.

2. Виконати пп. 2-4 завдання 2.

3. Використовуючи (10.8) та знайдене в завданні 2 значення сталої ДР, обчислити довжину хвилі λ .

Завдання 4. Визначення роздільної здатності ДР

1. Штангенциркулем виміряти довжину ДР.

2. Знаючи сталу ДР, обчислити число штрихів N усієї решітки

$$N = \frac{l}{(a+b)}.$$

3. Для всіх видимих порядків спектрів розрахувати роздільну здатність

$$R_i = m_i N.$$

4. Побудувати графік залежності $R = f(m)$ та зробити висновки.

Завдання 5. Визначення кутової дисперсії ДР

1. Прибрати світлофільтр.

2. Повторити пп.2-4 завдання 2 для крайніх червоних ($\lambda \approx 760$ нм), середніх жовтих ($\lambda \approx 610$ нм), середніх зелених ($\lambda \approx 540$ нм), середніх синіх ($\lambda \approx 460$ нм) та крайніх фіолетових ($\lambda \approx 380$ нм) променів у спектрах 1-го та найбільшого видимого порядків m .

3. Побудувати на одному аркуші міліметрівки графіки залежності $\varphi = f(\lambda)$ для спектрів 1-го та m -го порядків.

4. За графіками визначити дисперсійну здатність для однієї і тієї самої хвилі в спектрах 1-го та m -го порядків. Зробити висновки.

IV. Рекомендації та вказівки

Довжину хвилі світлофільтра та довжину хвилі, в околі якої треба розраховувати кутову дисперсію для завдання 3 дізнатись у лаборанта або викладача.

1. Таблиці для завдань 2, 3, 4, 5 побудувати самостійно.

2. Кожну величину необхідно вимірювати не менше ніж 5 разів. Якщо всі вимірювання однієї й тієї самої величини однакові, то абсолютну похибку визначають як половину ціни поділки шкали вимірювального приладу чи за класом його точності.

3. Кутову дисперсію в завданні 5 слід знайти як тангенс кута нахилу дотичної до кривої графіка залежності $\varphi = f(\lambda)$ до осі абсцис.
4. Для побудови графіків у завданнях 4 і 5 важливо вдало вибрати масштаб. Необхідні вказівки отримати в лаборанта чи викладача.
5. При розрахунках у пп.2-5 не можна користуватись наближенням $\operatorname{tg} \varphi = \sin \varphi$, тому що кути мають порядок кількох градусів. Краще всього для відшукування кутів використати тригонометричні таблиці чи відповідні калькулятори.

V. Контрольні запитання

1. Сформулювати принцип Гюйгенса.
2. Які доповнення до принципу Гюйгенса зробив Френель?
3. Дати порівняльну характеристику дисперсійного (призматичного) і дифракційного спектрів.
4. Зобразити графічно залежність інтенсивності I від віддалі x у фокальній площині при дифракції від однієї, двох та N щілин. Початок відліку x сумістити з центром нульового максимуму.
5. Сформулювати та зобразити графічно принцип Релея.
6. Вивести формулу (10.13) роздільної здатності ДР.
7. Що називається лінійною дисперсією?
8. Вивести формулу (10.12) зв'язку між лінійною та кутовою дисперсіями.
9. Перелічити види ДР і пояснити, як вони виготовляються.
10. На підставі виконаних завдань пояснити особливості дисперсійної здатності для однієї й тієї самої хвилі в спектрах 1-го та m -го порядків.

Лабораторна робота 11

ВИЗНАЧЕННЯ КУТА БРЮСТЕРА

Мета роботи: вивчити поляризацію світла при відбиванні, знайти кут Брюстера і показник заломлення скла.

Обладнання: установка для визначення кута Брюстера за допомогою гоніометра.

I. Короткі теоретичні відомості

У природному монохроматичному світлі коливання світлового вектора усіх елементарних випромінювачів в джерелі світла відносно променя відбувається в різних напрямках у межах 4π стерadian (рис.11.1,а). Для спрощення уявлень про поляризацію зручно природне світло вважати суперпозицією двох некогерентних електромагнітних хвиль, що поляризовані у взаємно перпендикулярних площинах і мають однакову інтенсивність

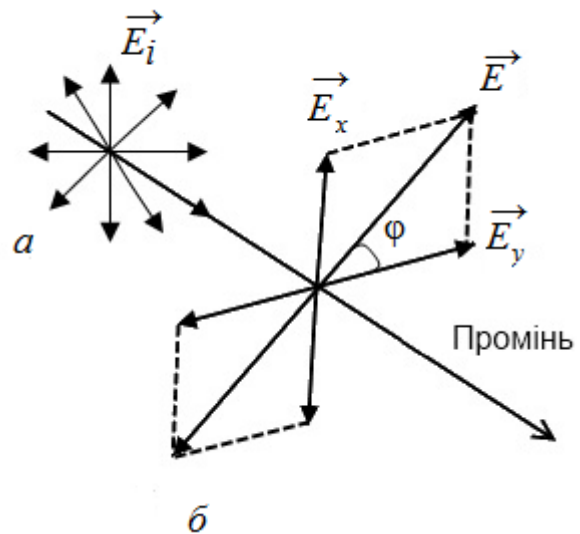


Рис.11.1.

$$\vec{E} = \vec{E}_x + \vec{E}_y,$$

де $E_x = E_{ox} \cos \omega t$, $E_y = E_{oy} \cos(\omega t + \delta)$ – результуючі проекції миттєвих значень світлового вектора елементарних випромінювачів відповідно на осі x і y , що перпендикулярні до променя, тобто $\vec{E}_x = \sum_i \vec{E}_{xi}$, $\vec{E}_y = \sum_i \vec{E}_{yi}$ (рис.11.1, б).

Одним із способів поляризації світла є відбивання і заломлення його на межі поділу однорідних та ізотропних оптичних середовищ. Якщо природне світло падає на межу поділу двох діелектриків (наприклад, повітря й скла), то частина його відбивається, а частина – заломлюється і поширюється в другому середовищі. Дослідження показали, що у відбитому промені переважають коливання, які перпендикулярні до

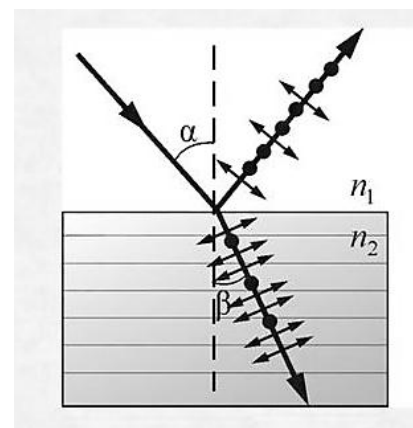


Рис.11.2.

площини падіння (на рис.11.2 вони зображені точками), в заломленому – коливання, паралельні площині падіння (на рис.11.2 – позначені стрілками).

Ступінь поляризації залежить від кута падіння променів та показника заломлення середовища.

Згідно з законом Брюстера при куті падіння, що задовольняє умові $\operatorname{tg} \alpha_B = n_{21}$ (де n_{21} – відносний показник заломлення другого середовища відносно першого), відбитий промінь буде повністю поляризований, тобто міститиме в собі тільки ті коливання, які перпендикулярні площині падіння. Заломлений промінь при α_B поляризується максимально, але не повністю (рис.11.3, а). Кут падіння α_B називають кутом Брюстера, або кутом повної поляризації.

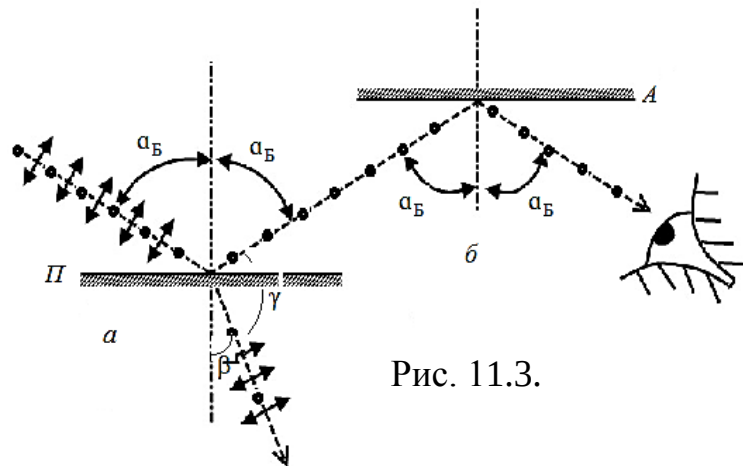


Рис. 11.3.

Поляризатором у цьому випадку служить плоске діелектричне дзеркало.

Якщо світло потрапляє на межу поділу під кутом Брюстера, то легко показати, що відбитий і заломлений промені є взаємно перпендикулярні. Справді, зіставляючи закон Брюстера

$$\operatorname{tg} \alpha_B = \frac{\sin \alpha_B}{\cos \alpha_B} = n_{21} \quad (11.1)$$

та закон заломлення

$$\frac{\sin \alpha_B}{\sin \beta} = n_{21} \quad (1.2)$$

маємо $\cos \alpha_B = \sin \beta$.

Це означає, що $(\alpha_B + \beta) = 90^\circ$. З рис.11.3 маємо $\alpha_B + \beta + \gamma = 180^\circ$, тоді $\gamma = 90^\circ$.

Упевнитися, що відбитий під кутом α_B промінь від поляризатора Π повністю поляризований, можна за допомогою такого самого плоского дзеркала, яке буде аналізатором A (рис.11.3, б). Якщо A розташувати паралельно Π так, щоб площини падіння променів на Π та A збігалися, то відбитий від A промінь буде також повністю поляризований і мати макси-

мальну інтенсивність. Відбитий промінь зникне, якщо площини падіння променів на Π та на A будуть взаємно перпендикулярні. У цьому можна впевнитися, повертаючи A навколо осі, яка збігається з падаючим променем таким чином, щоб α_B залишався незмінним.

III. Опис установки

Установка для визначення кута α_B за допомогою гоніометра (рис.11.4) складається з освітлювача L зі щілиною Π , поляроїда Π , діелектричного дзеркала D , коліматора K , гоніометра Γ . Відбитий від дзеркала промінь спостерігається за допомогою зорової труби T .

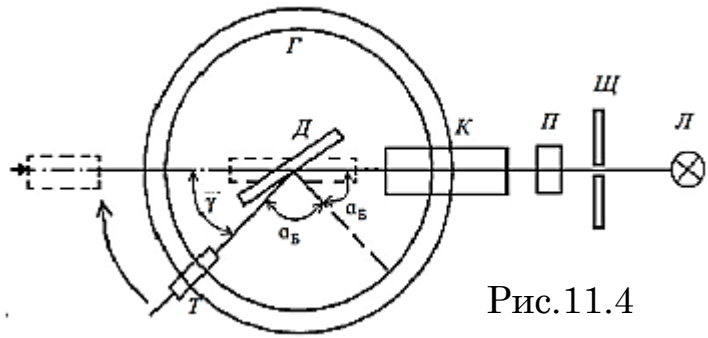


Рис.11.4

III. Хід роботи

Завдання 1. Визначення кута Брюстера за допомогою гоніометра

1. Встановити зорову трубу T так, щоб оптичні осі зорової труби і коліматора K збігалися (рис.11.4).
2. Розташувати дзеркало D так, щоб промені від коліматора ковзали по його поверхні та сумістити їх з індексом зорової труби.
3. За гоніометром зробити відлік нульового положення зорової труби φ_0 (3-4 рази).
4. Повернути зорову трубу на $10...15^\circ$ вправо і встановити дзеркало (поворотом столика) так, щоб зображення щілини збігалося з індексом у полі зору труби.
5. Повернути поляризатор Π на 360° і спостерігати за допомогою зорової труби, як змінюється інтенсивність світла.
6. Повторити пп.4 та 5 для інших кутів повороту дзеркала. При досягненні значень кута φ , при якому спостерігається майже повне затемнення світла, зорову трубу й дзеркало слід повертати на 1° .
7. Знайти кут φ_m , при якому спостерігається максимальне затемнення поля зору труби. Виміряти його 5-6 разів.
8. Обчислити кут повороту труби (рис. 11.4) $\varphi = \varphi_0 - \varphi_m$ та кут Брюстера $\alpha_B = \frac{\pi}{2} - \frac{\varphi_0 - \varphi_m}{2}$.

Завдання 2. Визначення показника заломлення та діелектричної проникності дзеркала

1. Використовуючи закон Брюстера (11.1), знайти за тригонометричною таблицею n_{21} .

2. Знайти ε діелектричного дзеркала, використовуючи співвідношення

$$\varepsilon = n_{21}^2. \quad (11.3)$$

IV. Рекомендації та вказівки

1. Усі результати вимірювань занести до таблиць, які рекомендується скласти самостійно до кожного завдання.

2. Якщо абсолютна похибка прямих випромінювань кутів у φ_0 , φ та β , обчислена за результатами вимірювань, виявиться меншою від похибки приладу, то за абсолютну похибку вимірювання слід брати похибку приладу.

3. Похибки φ , α_B , n_{21} та ε розрахувати як похибки непрямих випромінювань.

4. Обов'язково назвати межі для α_B , n_{21} та ε .

V. Контрольні запитання

1. Що таке поляризація світла?

2. Перелічіть явища, при яких спостерігається поляризація.

3. Яке світло називається поляризованим? Перелічіть види поляризації світла.

4. Що називається поляризатором? Аналізатором? Чим вони подібні і чим відмінні?

5. Описати будову й принцип дії поляроїда та плоского дзеркала, що використовується як поляризаційний прилад..

6. Поясніть будову та принци роботи призми Ніколя, стопи Столетова.

7. Пояснити, як потрібно повертати аналізатор A (рис.11.3), щоб кут падіння на цього відбитого від II променя не змінювався?

8. Назвати фігуру, яку утворюють відбиті від A промені при його повороті на 360° при $\alpha_B = const$.

9. Пояснити, чому при повороті A змінюється інтенсивність відбитого світла від максимальної до нуля.

10. Як називається співвідношення (11.3)? За яких умов воно справджується?

Лабораторна робота 12

ПЕРЕВІРКА ЗАКОНУ МАЛЮСА

Мета роботи: вивчити будову та принцип дії поляроїдів та люксметра, експериментально перевірити закон Малюса; визначити коефіцієнт пропускання і поглинання поляроїдів.

Обладнання: штатив; освітлювач із джерелом живлення; два поляроїди в оправках з лімбом (шкала лімба 0 – 360°); люксметр.

I. Короткі теоретичні відомості

Закон Малюса встановлює залежність між інтенсивністю поляризованого світла I_{Π} , яке пройшло через поляризатор Π (рис.12.1), та інтенсивністю світла I_a , яке пройшло через аналізатор A :

$$I_a = I_{\Pi} \cos^2 \varphi, \quad (12.1)$$

де φ – кут між головними напрямками (осями) pp' і aa' поляризатора й аналізатора.

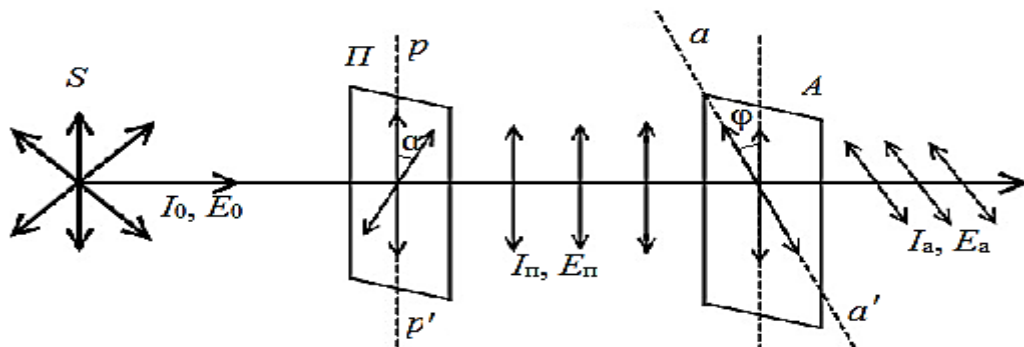


Рис. 12.1

Якщо виразити інтенсивність падаючого природного світла I_0 , а також I_{Π} і I_a через відповідні амплітудні значення світлового вектора E_0 , E_{Π} і E_a , то отримаємо співвідношення

$$I_0 = kE_0^2; I_{\Pi} = kE_{\Pi}^2; I_a = kE_a^2, \quad (12.2)$$

де k – коефіцієнт пропорційності.

Встановимо зв'язок між I_{Π} , I_0 і I_a . Нехай коефіцієнти поглинання поляризатора Π і аналізатора A дорівнюють нулю: $k=0$. Тоді

$$I_{\Pi} = I_1 + I_2 + \dots + I_n, \quad (12.3)$$

де $I_1, I_2, \dots, I_n$ – складові інтенсивностей природного світла, яке пройшло через поляризатор Π . Урахуємо, що $I_i = kE_{\parallel i}^2 = kE_0^2 \cos^2 \alpha_i$,

де $E_{||i}^2$ – складова амплітуди i -го світлового вектора природного світла, що пройшла через поляризатор; α_i – кут між pp' і напрямом $\vec{E}_i$. Тоді вираз (12.3) набуде вигляду:

$$I_{\Pi} = k(\cos^2 \alpha_1 + \cos^2 \alpha_2 + \dots + \cos^2 \alpha_n) \quad (12.4)$$

Ураховуючи, що $\sum_{i=1}^n \cos^2 \alpha_i = \frac{1}{2}$, тобто повну хаотичність напрямів світлового вектора, отримаємо

$$I_{\Pi} = \frac{1}{2} k E_0^2 = \frac{1}{2} I_0 \quad (12.5)$$

Підставивши вираз для I_{Π} з формули (12.5) у (12.1), дістанемо закон Малюса з урахуванням інтенсивності падаючого природного світла:

$$I_a = \frac{1}{2} I_0 \cos^2 \varphi \quad (12.1')$$

Коефіцієнтом поглинання називається фізична величина $k = \frac{\Delta I}{I_0}$ що показує, яку частину становить поглинута інтенсивність ΔI від падаючої інтенсивності світла I_0 .

Урахуємо, що $\Delta I = I_0 - I$, тоді $k = 1 - \frac{I}{I_0}$. Величина $A = \frac{I}{I_0}$ називається *коефіцієнтом пропускання*. Якщо коефіцієнти пропускання поляризатора та аналізатора однакові, то

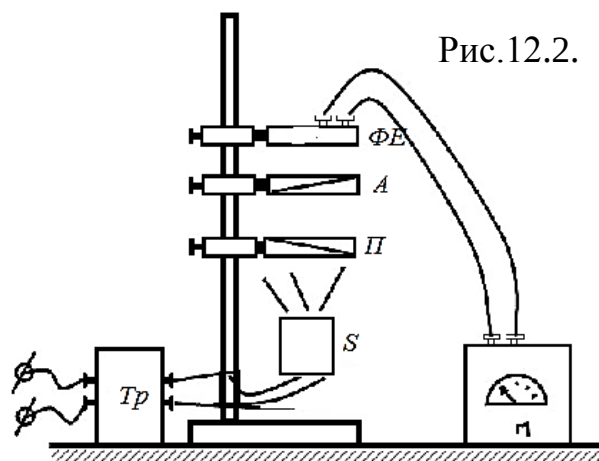
$$I_a = \frac{1}{2} A^2 I_0 \cos^2 \varphi, \quad (12.6)$$

якщо ні, то

$$I_a = \frac{1}{2} A_1 A_2 I_0 \cos^2 \varphi.$$

II. Опис установки

Установка для визначення коефіцієнта пропускання поляроїдів й перевірки закону Малюса (рис.12.2) складається з освітлювача S , люксметра ΦE і двох поляроїдів: поляризатора Π та аналізатора A , вмонтованих в оправи з лімбами й закріплених на штативі. Поляроїди можуть обертатися в оправі.



Світло від освітлювача проходить через поляризатор та аналізатор і потрапляє на фотоеlement ΦE люксметра. Струм, який виникає в фотоеlementі, реєструється міліамперметром, проградуєваним в люксах. Інтенсивність світла пропорційна освітленості E фотоеlementa: $I=bE$

III. Хід роботи

Завдання 1. Визначення коефіцієнтів пропускання й поглинання поляроїдів

1. Зняти з штатива обидва поляроїди, увімкнути освітлювач, зняти кришку з фотоеlementa люксметра й виміряти освітленість E_0 . Якщо сигнал фотоеlementa дуже великий, то на нього слід надіти матовий поглинач (пластинку) та переключити відповідно межі вимірювання міліамперметра.
2. Закріпити на штативі нижній поляроїд (поляризатор) та визначити освітленість E_1 .
3. Зняти поляризатор і закріпити верхній поляроїд (аналізатор) та визначити освітленість E_2 .
4. Закріпити на штативі обидва поляроїда. Повертаючи один з поляроїдів навколо вертикальної осі, розмістити головні напрями паралельно. При цьому люксметр повинен показувати максимальну освітленість, а покази лімбів мають дорівнювати нулю.
5. Виміряти освітленість E .
6. Вимірювання кожної освітленості слід повторити 5-6 разів.
7. За середніми значеннями освітленостей обчислити: коефіцієнти пропускання

$$A_1 = \frac{E_1}{E_0}, A_2 = \frac{E_2}{E_0}, A = A_1 A_2$$

та коефіцієнти поглинання

$$k = 1 - A_1, k_2 = 1 - A_2, k=1 - A.$$

Завдання 2. Перевірка закону Малюса

1. Перевірити готовність установки до вимірювань: лімби Π і A повинні показувати на нуль (осі pp' та aa' паралельні); люксметр – максимальну освітленість E_{max} .

2. Змінюючи покази лімба аналізатора на 15° (від 0 до 180° виміряти E_α (за шкалою люксметра). Повторити вимірювання, повертаючи лімб у протилежний бік.
3. Усереднити результати двох серій вимірювань, обчислити відношення $\frac{E_\alpha}{E_1}$.
4. Побудувати в полярних координатах графік залежності

$$\frac{E_\alpha}{E_1} = \frac{I_\alpha}{I_1} = f(\alpha).$$
5. На тому самому графіку іншим кольором побудувати теоретичну криву $\cos^2 \alpha = f(\alpha)$ та порівняти отримані криві.

IV. Рекомендації та вказівки

1. До кожного завдання самостійно побудувати дві таблиці, у які внести результати вимірювань.
2. Похибки коефіцієнтів A та k розрахувати як похибки непрямих вимірювань. Вказати межі значень фізичних величин.
3. Вказівки до побудови графіка:
 - а) олівцем з ледь помітним слідом провести, коло радіусом 10 см;
 - б) провести радіуси під кутом 15° один до одного (від 0 до 360°). За початок відліку взяти горизонтальний діаметр;
 - в) рекомендований масштаб: 100 мм відповідає 1.00 ;
 - г) значення $\frac{E_\alpha}{E_1}$, та $\cos^2 \alpha$ перенести за допомогою циркуля і лінійки на відповідні радіуси, використовуючи при цьому різні позначення точок (кільце, трикутник);
 - е) будуючи криву, всі точки слід з'єднати плавно, усереднюючи значення.

V. Контрольні запитання

1. Поясніть будову та принцип дії поляроїда й люксметра.
2. Пояснити графічно принцип дії аналізатора й поляризатора.
3. Пояснити, чому в природному світлі коливання світлового вектора мають просторову симетрію відносно променя.
4. Пояснити механізм поглинання світла поляроїдом.
5. Що називається головним напрямом (віссю) поляризатора,

площиною коливань і площиною поляризації поляризованого світла?

6. Чому інтенсивність природнього світла, що пройшло через поляризатор та аналізатор дорівнює $I_a = I_n \cos^2 \varphi$?

7. Запишіть та поясніть фізичний зміст закону Малюса.

8. Як інтенсивність світла, що пройшла через поляризатор і аналізатор залежить від їх коефіцієнтів пропускання?

9. Що таке коефіцієнт пропускання поляроїда та від чого він залежить?

10. Виведіть формули для обрахунку похибок коефіцієнтів поглинання та пропускання поляроїда.

Лабораторна робота 13

ВИЗНАЧЕННЯ-КОНЦЕНТРАЦІЇ РОЗЧИНУ ЦУКРУ ЗА ДОПОМОГОЮ ПОЛЯРИМЕТРА

Мета роботи: вивчити будову та принцип дії поляриметра; навчитися за допомогою поляриметра визначати концентрацію цукру в розчині.

Обладнання: поляриметр круговий, розчини цукру відомої та невідомої концентрації.

I. Короткі теоретичні відомості

Деякі кристали й розчини органічних сполук мають властивість повертати площину коливань поляризованого світла. Такі речовини називають *оптично активними*. До них належать кварц, скипидар, водний розчин цукру, винна кислота, кіновар та інші.

Речовини, які повертають площину коливань за ходом годинникової стрілки (якщо дивитися назустріч променю), називають *правообертаючими*, а ті речовини, які повертають площину проти руху годинникової стрілки – *лівообертаючими*.

Виявляється, що всі оптично активні речовини існують у двох різновидах: право- і лівообертаючих. Молекули або кристали одного різновиду є дзеркальним відображенням молекул або кристалів другого. Обидва різновиди відрізняються тільки напрямом обертання площини поляризації.

Дослід показує, що всі речовини, які оптично активні в рідкому стані, мають таку саму властивість і в кристалічному стані. Але якщо речовини активні в кристалічному стані, то вони не завжди активні в рідкому (наприклад, розплавлений кварц).

Вважатимемо, що площини коливань і поляризації збігаються. У свою чергу, плоскополяризоване світло можна уявити як суперпозицію двох поляризованих, по колу хвиль (правої та лівої), з однаковими частотами, амплітудами та швидкостями поширення в оптично неактивних речовинах (рис. 13, а). Для пояснення обертання площини поляризації Френель зробив припущення, що в оптично активних речовинах промені, поляризовані по колу вправо і вліво, поширюються із різними швидкостями. В результаті геометрична сума світлових

векторів $\vec{E}_1$ та $\vec{E}_2$ (результуючий вектор $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$) при проходженні через речовину повертається на певний кут, оскільки за один і той самий час вектори $\vec{E}_1$ та $\vec{E}_2$ повернуться на різні кути. А це, в свою чергу, забезпечить повертання площини поляризації на кут α відносно початкового її положення (рис .13.1, б).

Припущення Френеля має експериментальне обґрунтування.

Кут φ повороту площини поляризації для оптично активних кристалів і чистих рідин пропорційний товщині l шару оптично активної речовини, через яке проходить світло: $\varphi \sim l$, або $\varphi = \alpha l$. Для розчинів цей кут пропорційний ще й об'ємній концентрації розчину C , тобто

$$\varphi = \alpha l C, \quad (13.1)$$

де α – питоме обертання.

Питоме обертання чисельно дорівнює куту, на який повертається площина поляризації світла при його проходженні через розчин одиничної товщини та одиничної концентрації. Для розчинів питоме

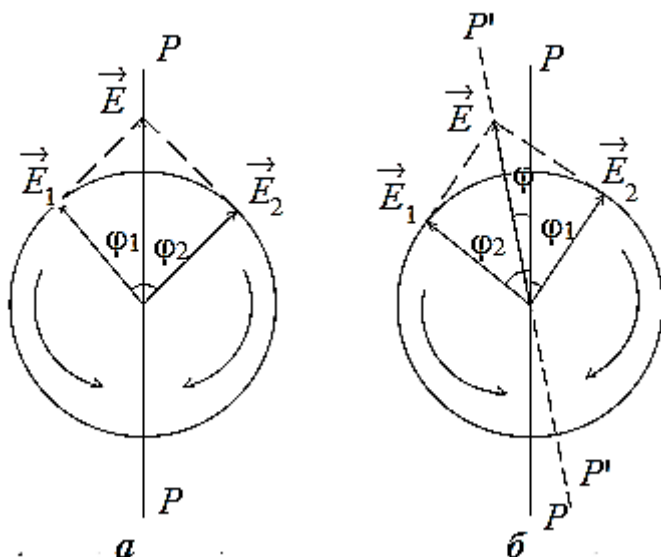


Рис.13.1.

обертання залежить від температури T і довжини хвилі λ : $\alpha = f(T, \lambda)$.

Питоме обертання при даній температурі в першому наближенні обернено пропорційне квадрату довжини хвилі, тобто воно найменше для червоного світла і найбільше – для фіолетового. Цю залежність називають *обертаючою дисперсією*.

II. Опис приладів

Поляриметр круговий складається з лампи S (рис. 13.2, а), світлофільтра Φ ($\lambda = 589$ нм), конденсора K , поляризатора $П$, хроматичної фазової пластинки $Х$, трубки з оптично активною речовиною T , аналізатора A , об'єктива $Об$, двох окулярів (правого й лівого).

Одна частина пучка світла від лампи S , пройшовши через фільтр, конденсор і поляризатор, проходить через хроматичну фазову пластинку, трубку й аналізатор, а друга – тільки через трубку і аналізатор. У результаті поле зору ділиться на дві частини: ліву $Л$ та праву $П$ (рис. 13.2, б), які мають різну яскравість. Обертаючи аналізатор, можна

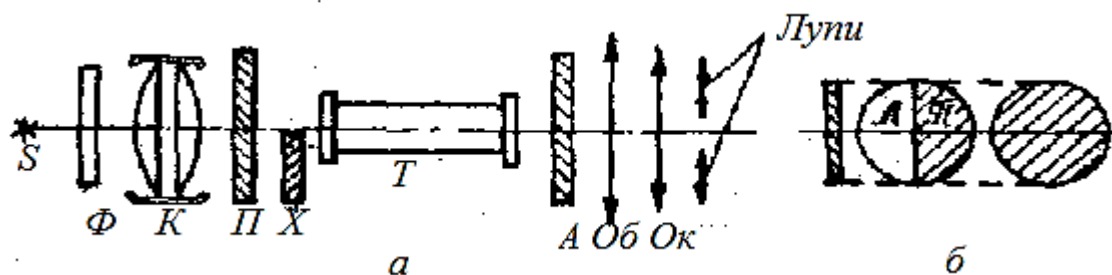


Рис.13.2.

зрівняти яскравість обох частин. Коли трубка T відсутня, то поблизу повного затемнення поля зору кут між площинами поляризатора і аналізатора дорівнює $86,5^\circ$.

Якщо між $П$ та $А$ помістити трубку з оптично активним розчином, то рівновага яскравостей полів порівняно порушиться. Її можна відновити поворотом $А$ на кут α , що дорівнює куту повертання площини поляризації світла розчином. Різниця двох відліків, які відповідають фотометричній рівності полів з оптично активним розчином та без нього, дорівнює куту повороту площини поляризації розчином даної концентрації. Відліки роблять через подвійний окуляр за правою шкалою (для правообертаючих речовин) і за лівою шкалою (для лівообертаючих речовин). Шкали мають ноніуси.

III. Хід роботи

1. Вивчити будову й принцип дії поляриметра (рис.13.3).
2. Увімкнути за допомогою вилки 1 і тумблера 2 поляриметр у електричну мережу (220 В, 50 Гц);
3. Заповнити трубку дистильованою водою до появи випуклого меніску. Меніск зсунути вбік за допомогою другого покривного скла,

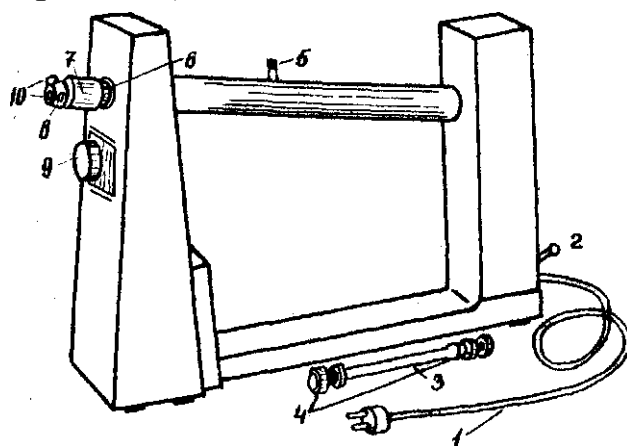


Рис.13.3.

на яке накласти другу гумову прокладку і загвинтити другу гайку так, щоб вода з трубки не витікала.

4. Повернувши ручку 5 проти годинникової стрілки, відкрити камеру для трубок, в середину якої помістити трубку до відповідного упору й знову закрити камеру за допомогою ручки 5.

5. Обертанням втулки 6 зорової труби 7 встановити окуляр 8 по своєму оку на різке зображення лінії розділу полів порівняння.

6. Обертаючи ручку 9, повернути аналізатор і, змінюючи яскравість, домогтися однакового й повного затемнення обох полів зору.

7. Користуючись лупою 10, зробити відлік нульового значення за шкалою й ноніусом.

8. Повторити п.8 п'ять разів і знайти середнє значення α_0 .

9. Витягти трубку з водою, вилити її і заповнити розчином цукру з відомою концентрацією C . Потім виконати пл. 5-9.

10. Знайти середнє значення α .

11. Обчислити кут повороту площини поляризації $\alpha' = \alpha - \alpha_0$ та середню абсолютну похибку $\Delta\alpha' = \Delta\alpha + \Delta\alpha_0$.

12. Аналогічно знайти α'_1 та α'_2 для розчинів з невідомою концентрацією C_1 і C_2 : $\alpha'_1 = \alpha_1 - \alpha_0$; $\alpha'_2 = \alpha_2 - \alpha_0$.

13. Записати співвідношення (13.1) для розчину з відомою і невідомою концентраціями і, поділивши почленно, дістанемо розрахункові формули:

$$C_1 = C \frac{\alpha'_1}{\alpha'} ; \quad C_2 = C \frac{\alpha'_2}{\alpha'} . \quad (13.2)$$

14. Обчислити C_1 , C_2 та абсолютну й відносну похибки.

15. Результати вимірювань занести до таблиці:

№ з/п	α_0 , °	α , °	α_1 , °	α_2 , °	α' , °	α'_1 , °	α'_2 , °	$\Delta\alpha'_1$, °	$\Delta\alpha'_2$, °	C , %	C_1 , %	C_2 , %	ΔC_1 , %	ΔC_2 , %	E_1 , %	E_2 , %

IV. Рекомендації та вказівки

1. Ціна поділки шкали лімба $0,5^\circ$, ноніуса – $0,02^\circ$.

2. За правою шкалою зробити відлік для правообертаючих, а за лівою – для лівообертаючих оптично активних речовин.

3. У вимірювальній трубці не повинні залишатися повітряні бульбашки. Якщо вони є, то, нахиливши трубку, їх слід вигнати у потовщену частину трубки. Після цього вони не будуть впливати на результати досліду.
4. Вимірювання слід починати через 10 хв після вмикання лампи поляриметра.
5. Перед вимірюванням трубка з досліджуваним розчином має бути у вимірювальній камері поляриметра не менш ніж 1 хв.
6. Після заповнення трубки досліджуваним розчином покривні скельця із зовнішнього боку слід старанно протерти м'якою салфеткою.
7. Якщо в полі зору спостерігаються забарвлення, то необхідно трохи послабити закрутку гайок, що притискають покривні скельця. В противному разі точність вимірювання різко зменшиться.
8. Найбільшу точність поляриметр забезпечує при температурі 20 ± 3 °C.
9. Не можна використовувати для вимірювання мутні розчини або розчини, які містять сторонні домішки.

V. Контрольні запитання

1. Які речовини є оптично активними?
2. Як оптична активність речовин залежить від їх агрегатного стану?
3. Як кут повороту площини поляризації залежить від параметрів лабораторної установки?
4. Пояснити механізм повороту площини поляризації оптично активними речовинами.
5. Обчислити крок гвинтової лінії повороту площини поляризації для розчинів, які використовуються в роботі.
6. Для чого в поляриметрі застосовують поділ поля зору на дві частини?
7. Чи можна розділити поле зору на більше число частин? І, якщо можна, то з якою метою? Як це зробити?

8. Яке призначення поляризатора та аналізатора в лабораторній установці?
9. За яким принципом визначається концентрація цукру в розчині?
10. Які ще поляризаційні прилади існують, крім використаних у лабораторній роботі? Яке їх призначення?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дущенко В.П. та ін. Фізичний практикум. Частина 2. – К.: Вища школа, 1984 .
2. Кортнев А.В., Рублев Ю.В., Куценко А.Н. Практикум по физике. – М.: Высшая школа, 1965.
3. Кучерук І.М., Дущенко В.П. Загальна фізика. Оптика. Квантова фізика. – Київ: Вища школа, 1991.
4. Бушок Г.Ф., Півень Г.Ф. Курс фізики. – К.: Вища школа, 1972.
5. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Оптика. – М.: Наука, 1985.
6. Ландсберг Г.С. Оптика. – М.: Наука, 1976.
7. Савельев И.В. Курс ооцей физики, т.2: Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. – М.: Наука, 1982.
8. Годжаев Н.М. Оптика. – М.: Высшая школа, 1977.

Для нотаток

Царенко Олег Миколайович
Сальник Ірина Володимирівна
Сірик Едуард Петрович
Сазонова Олена Олександрівна

НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНЕ ВИДАННЯ

Лабораторний практикум з курсу загальної фізики
частина 4. Оптика

**СВІДОЦТВО ПРО ВНЕСЕННЯ СУБ'ЄКТА ВИДАВНИЧОЇ
СПРАВИ ДО ДЕРЖАВНОГО РЕЄСТРУ ВИДАВЦІВ, ВИГОТОВНИКІВ І
РОЗПОВСЮДЖУВАЧІВ ВИДАВНИЧОЇ ПРОДУКЦІЇ**
Серія ДК № 1537 від 22.10.2003 р.

**Підписано до друку Формат 60x84^{1/16}. Папір офсет.
Друк різнограф. Ум.др.арк. 5,04 Тираж 100 Зам. №**

РЕДАКЦІЙНО-ВИДАВНИЧИЙ ВІДДІЛ
*Кіровоградського державного педагогічного
університету імені Володимира Винниченка*
25006, Кіровоград, вул.. Шевченка, 1.
Тел.(0522) 24-59-84.
Факс (0522) 248544.
Е-mail: mails@kspu.kr.ua

