

Міністерство освіти і науки України
Державний економіко - технологічний університет
транспорту

Кафедра фізики та електротехніки

Завдання та методичні вказівки
до самостійної роботи з фізичної оптики

Для студентів технічних спеціальностей

Київ - 2017

УДК 53
ВВК 22.3

Навчальний посібник "Завдання та методичні вказівки до самостійної роботи з фізичної оптики" розглянуто та затверджено на засіданні кафедри фізики та електротехніки (Протокол №1 від 28.08.2016 року) та на засіданні методичної комісії факультету "Інфраструктура та рухомий склад залізниць" (Протокол №2 від 31.10.2016 року)

Укладачі: доцент Муравйов В.М.

Рецензенти: професор Завісляк І.В. та професор Чепілко М.М.

Зміст

1	Організація вивчення курсу загальної фізики в університеті	4
1.1	Вказівки по виконанню та оформленню розрахунково - графічних та контрольних робіт з фізики	6
1.2	Вказівки до розв'язку та оформлення задачі з фізики	7
1.3	Приклад розв'язку задачі з фізичної оптики	8
2	Питання для теоретичної підготовки з фізичної оптики та варіанти завдань для самостійної роботи	11
3	Основні закони і формули з оптики та приклади розв'язків задач	22
3.1	Коливання і хвилі	22
3.2	Інтерференція та дифракція світла	26
3.3	Закон Малюса	31
3.4	Закон Брюстера	33
3.5	Кут повороту площини поляризації світла	33
4	Рекомендована література	35

1. Організація вивчення курсу загальної фізики в університеті

В університеті загальний курс фізики вивчається протягом одного, двох чи трьох семестрів, у залежності від профілю факультету та форми навчання.

При вивченні кожного розділу фізики передбачаються такі види навантажень:

1. Теоретичне вивчення курсу.
2. Виконання лабораторних робіт та комп'ютерного моделювання фізичних явищ.
3. Виконання розрахунково - графічних або контрольних робіт.
4. Консультації.
5. Екзамени або заліки.

Теоретичне вивчення загального курсу фізики відбувається на лекціях та практичних заняттях згідно розкладу, складеного навчальною частиною університету, у відповідності з навчальним планом підготовки спеціалістів певного профілю. Відвідування студентами лекцій та практичних занять є обов'язковим.

Лабораторні роботи та комп'ютерне моделювання фізичних явищ проводяться у навчальних лабораторіях та комп'ютерних класах кафедри фізики та електротехніки згідно розкладу складеному навчальною частиною університету, у відповідності з навчальним планом підготовки спеціалістів певного профілю. Виконані практично, повністю оформлені та захищені лабораторні та комп'ютеризовані роботи відмічаються підписом викладача, який проводить заняття, і реєструються у спеціальному журналі, що зберігається в лабораторії. У кінці семестру, за умови успішного виконання циклу лабораторних та комп'ютеризованих робіт, студенту виставляється залік.

Розрахунково - графічні роботи з кожного розділу загальної фізики виконуються студентами стаціонарної форми навчання. Виконання розрахунково - графічної роботи вимагає від студента активного володіння матеріалом відповідного розділу фізики та математичним апаратом на "фізичному" рівні строгості. Рецензування розрахунково - графічних робіт виконується викладачем, який проводить практичні заняття.

Контрольні роботи з кожного розділу фізики, що складаються з восьми задач, виконуються студентами заочної форми навчання. Задачі, які входять

до складу контрольної роботи, вимагають від студента для успішного виконання контрольної роботи активного володіння матеріалом відповідного розділу фізики та математичним апаратом на "фізичному" рівні строгості. Рецензування контрольних робіт, як правило, виконується викладачем, який проводить практичні заняття. У випадку незаліку контрольної роботи студент повинен виправити помилки або ж розв'язати задачі знову і здати роботу на повторне рецензування.

Консультації проводяться ведучим лектором згідно з розкладом, узгодженим з навчальною частиною університету.

Заліки та екзамени з кожного розділу фізики студенти здають у період сесії, згідно з розкладом, складеним навчальною частиною університету. Студенти допускаються до заліків та екзаменів за умови повного виконання відповідної навчальної програми. У випадку неявки студента на екзамен з поважної причини чи отриманні незадовільної оцінки, заліки та екзамени можуть бути здані у дні перездач згідно з розкладом, складеним навчальною частиною університету, або ж по направленню, підписаному деканом факультету.

Критерії оцінки знань студентів при здачі іспитів з фізики

1. Оцінка **відмінно** ставиться у тому випадку, коли студент при відповіді на питання екзаменаційного білету виявляє:
 - правильне розуміння суті розглядуваних фізичних явищ і закономірностей їх протікання, змісту фізичних законів і теорій;
 - вміння використовувати математичний апарат для аналітичного доведення справедливості фізичних законів та співвідношень між певними фізичними величинами, визначити межу застосування математичної моделі певних фізичних явищ;
 - будує відповідь за власним планом, супроводжує відповідь прикладами, вміє застосовувати знання у нестандартних ситуаціях та інших природничих науках;
 - правильно розв'язав задачу у загальному вигляді та виконав наближені обчислення з наперед заданою точністю.
2. Оцінка **добре** ставиться в тому випадку, якщо відповідь задовільняє основним вимогам до відповіді на оцінку **відмінно**, але у ній переважають прості відтворення означень та формулювань, здійснюється вона без чіткого власного плану. Не виявляється узагальнюючий погляд на дане явище або закон, не визначається межа застосування його математичної моделі.
3. Оцінка **задовільно** ставиться в тому випадку, якщо більша частина відповіді задовільняє основним вимогам до відповіді на оцінку **добре**, але у

ній є окремі прогалини, що не спотворюють зміст відповіді, яка у цілому має формальний репродуктивний характер, є помилки у розв'язку задач, який при цьому має правильний напрямок.

4. Оцінка **незадовільно** ставиться в тому випадку, коли студент:
 - відмовляється відповідати після ознайомлення із змістом отриманого завдання;
 - не володіє знаннями і навичками відповідно до вимог навчальної програми;
 - дав відповідь менше чим на два з трьох питань екзаменаційного білету, або хід його розв'язків задач був неправильним.

1.1. Вказівки по виконанню та оформленню розрахунково - графічних та контрольних робіт з фізики

До виконання контрольних робіт з курсу загальної фізики слід приступати лише після вивчення матеріалу, що відповідає даному розділу навчальної програми, уважного ознайомлення з правилами оформлення та розв'язку задач, приведеними у цьому посібнику.

1. За час навчання у університеті студенти денної форми навчання повинні виконати чотири розрахунково - графічні роботи. Що стосується студентів заочної форми навчання, то вони повинні виконати шість контрольних робіт.
2. У кожній контрольній роботі студент-заочник повинен розв'язати вісім задач того варіанту, який співпадає з останньою цифрою його шифру. Нумери задач, що входять до складу контрольної роботи, визначаються за таблицями варіантів для відповідної частини курсу загальної фізики, які має у своєму розпорядженні викладач, що веде практичні заняття.
3. Розрахунково - графічні та контрольні роботи виконуються на папері формату А4 чорнилом або ж набираються на комп'ютері, використовуючи текстовий редактор, спряжений з редактором математичних формул. Титульна сторінка роботи повинна бути оформлена у відповідності до стандарту оформлення науково - технічних документів (див.зразок 1).
4. Розрахунково - графічні та контрольні роботи здаються, як правило, на рецензію викладачу, який веде практичні заняття з академічною групою. На рецензію слід здавати одночасно не більше однією роботи. Для виключення помилок, що повторюються, чергову роботу слід здавати

на рецензію тільки після заліку попередньої розрахунково - графічної чи контрольної роботи.

5. Якщо розрахунково - графічна чи контрольна робота при перевірці була не зарахована, то необхідно виправити всі помилки, що містяться в розв'язках задач, дати відповіді на всі зауваження рецензента в письмовій формі у вигляді додатку до основного тексту розрахунково - графічної чи контрольної роботи, та подати їх на повторну перевірку.
6. Зараховані розрахунково - графічні чи контрольні роботи здаються екзаменатору. Студент повинен бути готовим під час здачі заліку чи екзамену дати пояснення по змісту розв'язаних задач, що входять до виконаної розрахунково - графічної чи контрольної роботи.

1.2. Вказівки до розв'язку та оформлення задачі з фізики

Розрахунково - графічні та контрольні роботи перевіряються викладачем університету коли студент, який виконав роботу, відсутній. Тому кожна задача повинна бути оформлена акуратно і включати всі необхідні пояснення, що демонструють глибину розуміння студентом відповідного розділу фізики.

При розв'язку задачі слід дотримуватися наступного плану:

1. Розв'язок кожної задачі слід починати з нової сторінки. Для зауважень викладача після розв'язку задачі необхідно залишити вільну сторінку.
2. Умови задач вносяться у текст розрахунково - графічної чи контрольної роботи без скорочень .
3. У тексті розрахунково - графічної чи контрольної роботи, у випадку необхідності, приводяться пояснюючі рисунки, виконані з використанням графічного приладдя або ж комп'ютерного графічного редактора.
4. Виписуються основні закони фізики і формули, на яких базується розв'язок задачі, та даються словесні пояснення змісту символів і позначень у формулах. Повністю приводяться фізичні аргументи та математичні викладки, які становлять зміст розв'язку задачі.
5. Розв'язок задачі отримується у загальному вигляді, який виражає шукану величину через символи фізичних величин, заданих у умові задачі.
6. Виконати перевірку розмірності отриманої формули, яка є символьним розв'язком задачі. Для цього потрібно підставити у символьний розв'язок задачі замість символів відповідні їм позначення одиниць у системі Сі.

Після всіх необхідних скорочень впевнитись у відповідності отриманого результату розмірності шуканої величини (див. приклад розв'язку задачі).

7. Підставити у отриману формулу замість символів їхні числові значення, виражені у одиницях системи СІ. Виконати наближені обчислення, записати у відповіді числове значення і скорочену назву одиниці величини, що розраховується. При підстановці чисел в формулу та при записі відповіді числові величини треба виражати в вигляді добутку десяткового дробу з однією значущою цифрою перед точкою на відповідну степінь десяти. Наприклад, замість 4578 потрібно записати $4.578 \cdot 10^3$, а замість 0.0002347 записати $2.347 \cdot 10^{-4}$ тощо.
8. Зробити оцінку, де це можливо, правдоподібності отриманого результату. Наприклад, швидкість тіла не може бути більшою за швидкість тіла в вакуумі, коефіцієнт корисної дії не може бути більшим одиниці і тощо.
9. У кінці кожної задачі потрібно написати *Відповідь*, привести символічне та розраховане числове значення шуканої фізичної величини з вказанням розмірності. Наприклад:

$$\text{Відповідь: } a = 12 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}.$$

1.3. Приклад розв'язку задачі з фізичної оптики

Умова задачі. На щілину шириною 0,1 мм падає паралельний пучок світла від монохроматичного джерела ($\lambda = 0,6$ мкм). Визначити кут φ відхилення променів, які відповідають першому дифракційному максимуму.

Розв'язок задачі.

$a = 0,05 \text{ мм}$	$a = 0,05 \cdot 10^{-3} \text{ м}$
$\lambda = 0,6 \text{ мкм}$	$\lambda = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}$
$k = 1$	$k = 1$
$\varphi_1 = ?$	$\varphi_1 = ?$

Умова спостереження максимуму світла при дифракції на щілині

$$a \sin \varphi = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad (1.1)$$

де a – ширина щілини; φ – кут дифракції (відхилення); λ – довжина хвилі світла; k – порядок дифракційного максимуму.

Звідки

$$\varphi = \arcsin \frac{(2k + 1) \frac{\lambda}{2}}{a} \quad (1.2)$$

Перший дифракційний максимум буде спостерігатися під кутом φ_1 , коли в вир. (42) $k = 1$

$$\varphi_1 = \arcsin \frac{(2 \cdot 1 + 1) \cdot 0,6 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 0,05 \cdot 10^{-3}} = 1^\circ 12'. \quad (1.3)$$

Відповідь: $\varphi_1 = 1^\circ 12'$

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФРАСТРУКТУРИ І ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра фізики та електротехніки

Розрахунково - графічна робота

або

Контрольна робота
з фізичної оптики

Виконав:

15 листопада 2017 року

студент Прізвище І.Б.

шифр 2016-КІКС-0345

Перевірив:

20 листопада 2017 року

доцент Прізвище І.Б.

2. Питання для теоретичної підготовки з фізичної оптики та варіанти завдань для самостійної роботи

Електромагнітна природа світла. Інтерференція. Когерентність та монохроматичність світлових хвиль. Способи отримання когерентних джерел світла. Оптична довжина шляху. Розрахунок інтерференційної картини від двох джерел.

Дифракція світла. Умови спостереження дифракції. Принцип Гюйгенса - Френеля. Метод зон Френеля. Дифракція Френеля від диску та колового отвору. Дифракція Фраунгофера. Дифракція у паралельних променях від однієї щілини. Дифракційна ґратка. Дифракційні спектри. Дисперсія та розрізняюча властивість оптичних приладів.

Поляризація світла. Природне та поляризоване світло. Ступінь поляризації. Поляризація при відбитті та заломленні. Закон Брюстера. Подвійне променезаломлення. Поляроїди та поляризаційні призми. Закон Малюса. Оптична активність. Обертання площини поляризації. Платівки у $1/4$ і $1/2$ довжини хвилі. Штучна анізотропія. Ефекти Керра та Фарадея.

Взаємодія світла з речовиною. Дисперсія світла. Електронна теорія дисперсії. Нормальна та аномальна дисперсія. Зв'язок дисперсії з поглинанням. Фазова та групова швидкості світла. Закон Бугера. Випромінювання Вавілова - Черенкова.

Державний економіко - технологічний
університет транспорту
Кафедра фізики і електротехніки
Контрольна робота з оптики

Варіант 0.

1. Установка для спостереження кілець Ньютона освітлюється монохроматичним світлом з довжиною хвилі 0.6 мкм , яке падає нормально. Визначити товщину повітряного шару між лінзою і скляною пластинкою в тому місці, де спостерігається четверте темне кільце у відбитому світлі.

2. Постійна дифракційної решітки у $n = 4$ рази більша довжини хвилі монохроматичного світла, яке нормально падає на поверхню. Визначити кут між першими симетричними дифракційними максимумами.

3. Визначити, під яким кутом до горизонту повинно знаходитись Сонце, щоб промені, відбиті від поверхні озера, були максимально поляризовані. Показник заломлення води $n = 1.33$.

4. Написати рівняння гармонійного коливального руху точки, якщо максимальне прискорення точки $a_{max} = 49.3 \text{ см/с}^2$, період коливань $T = 2 \text{ с}$, зміщення точки від положення рівноваги у початковий момент часу $x_0 = 25 \text{ мм}$.

5. Коливальний контур складається з конденсатора ємністю $89 \cdot 10^{-11} \text{ Ф}$ і котушки, індуктивність якої дорівнює $2 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$. Визначити, на яку довжину електромагнітної хвилі налаштований контур. Опором елементів контура знехтувати.

6. Визначити амплітуду A і початкову фазу φ_0 гармонійного коливання, яке одержане при складанні однаково направлених коливань, які задані рівняннями: $x_1 = 0.02 \sin(5\pi t + \pi/2)$ і $x_2 = 0.03 \sin(5\pi t + \pi/4)$.

Державний економіко - технологічний
університет транспорту
Кафедра фізики і електротехніки
Контрольна робота з оптики

Варіант 1.

1. Плоскоопукла лінза з фокусною відстанню $F = 1$ м лежить опуклою стороною на скляній пластинці. Радіус п'ятого темного кільця Ньютона у відбитому світлі $r_5 = 1.1$ мм. Визначити довжину світлової хвилі λ .

2. На поверхню дифракційної решітки нормально до її поверхні падає монохроматичне світло. Постійна дифракційної решітки у $n = 4.6$ рази більше довжини хвилі світла. Визначити спільне число m дифракційних максимумів, які теоретично можна спостерігати у даному випадку.

3. Визначити, чому дорівнює кут α між головними площинами поляризатора і аналізатора, якщо інтенсивність природного світла, який пройшов через поляризатор і аналізатор, зменшилась у 4 рази. Поглинанням світла знехтувати.

4. До пружини підвішено вантаж масою $m = 10$ кг. Пружина під дією сили $F = 9.8$ Н розтягується на $\Delta l = 1.5$ см. Визначити період T вертикальних коливань вантажу.

5. Котушка індуктивністю $L = 30$ мкГн приєднана до плоского конденсатора з площею пластин $S = 0.01$ м² і відстанню між ними $d = 0.1$ мм. Визначити діелектричну проникність ε середовища, яке заповнює простір між пластинами, якщо контур був налаштований на довжину електромагнітної хвилі 750 м.

6. Точка бере участь у двох коливаннях однакового напрямку з однаковими періодами і початковими фазами. Амплітуди коливань дорівнюють $A_1 = 3$ см, $A_2 = 4$ см. Визначити амплітуду результуючого коливання.

Державний економіко - технологічний
університет транспорту
Кафедра фізики і електротехніки
Контрольна робота з оптики

Варіант 2.

1. На мильну плівку з показником заломлення $n = 1.33$ падає нормально монохроматичне світло з довжиною хвилі $\lambda = 0.61$ мкм. Відбите світло внаслідок інтерференції має найбільшу яскравість. Визначити найменшу можливу товщину плівки d_{min}

2. На дифракційну решітку нормально до її поверхні падає монохроматичне світло. Період решітки $d = 2$ мкм. Визначити, якого найбільшого порядку дифракційний максимум дає ця решітка у випадку червоного ($\lambda = 0.7$ мкм) і у випадку фіолетового ($\lambda = 0.41$ мкм) світла.

3. Визначити показник заломлення скла, якщо при відбиванні від нього світла відбитий промінь буде повністю поляризований при куті заломлення 30° .

4. Точка здійснює гармонійні коливання. Період коливань $T = 2$ с, амплітуда $A = 50$ мм, початкова фаза $\varphi = 0$. Визначити швидкість у момент часу, коли зміщення точки від положення рівноваги $x = 25$ мм.

5. Визначити, яку індуктивність треба включити до коливального контура, щоб при ємності у 22 мкФ одержати частоту власних коливань 1000 Гц. Опором контура знехтувати.

6. Визначити амплітуду A і початкову фазу φ гармонійних коливань, одержаних від складання однаково направлених коливань, які задані рівняннями: $x_1 = 4 \sin(\pi t)$ см і $x_2 = 3 \sin(\pi t + \pi/2)$ см.

Державний економіко - технологічний
університет транспорту
Кафедра фізики і електротехніки
Контрольна робота з оптики

Варіант 3.

1. На скляну пластинку нанесений тонкий шар прозорої речовини з показником заломлення $n = 1.3$. Пластинка освітлюється пучком паралельних променів з довжиною хвилі $\lambda = 640$ нм, які падають на пластинку нормально. Визначити, яку мінімальну товщину d_{min} повинен мати шар, щоб відбиті промені мали найменшу яскравість.

2. На непрозору пластину з вузькою щілиною падає нормально плоска монохроматична світлова хвиля ($\lambda = 600$ нм). Кут φ відхилення променів, що відповідають другому дифракційному максимуму, дорівнює 20° . Визначити ширину a щілини.

3. Два ніколя N_1 і N_2 розташовані так, що кут α між їхніми площинами пропускання дорівнює 60° . Визначити, у скільки разів зменшиться інтенсивність світла при проходженні через другий ніколь (N_2). При проходженні кожного ніколя втрати на поглинання і відбивання світла дорівнюють 5%.

4. Початкова фаза гармонійного коливання $\varphi = 0$. Визначити, через яку долю періода, рахуючі від початку коливань, швидкість точки буде дорівнювати половині її максимальної швидкості.

5. Коливальний контур складається з двох конденсаторів, з'єднаних послідовно, ємністю по 10000 пФ кожний, і котушки. Визначити індуктивність катушки, якщо контур резонує на довжину електромагнітної хвилі 1000 м.

6. Дві точки знаходяться на одному промені. Вони віддалені від джерела коливань 6 м та 8.7 м і коливаються з різницею фаз $3\pi/4$. Період коливань джерела $T = 10^{-2}$ с. Визначити, чому дорівнює довжина хвилі і швидкість її поширення у даному середовищі.

Державний економіко - технологічний
університет транспорту
Кафедра фізики і електротехніки
Контрольна робота з оптики

Варіант 4.

1. В установці для спостереження кілець Ньютона простір між лінзою і скляною пластинкою заповнений рідиною. Визначити показник заломлення рідини, якщо радіус третього світлого кільця дорівнює 3.65 мм. Спостереження проводиться у світлі, що проходить. Радіус кривизни лінзи 1 м. Довжина світлової хвилі $5.89 \cdot 10^{-5}$ см.

2. Визначити, яку найменшу кількість штрихів повинна мати дифракційна решітка, щоб у спектрі другого порядку можна було бачити роздільно дві жовті лінії натрія з довжинами хвиль $\lambda=589$ нм і $\lambda=589.6$ нм. Визначити довжину такої решітки, якщо постійна решітки $d=1.5$ мкм.

3. Кут Брюстера при падінні світла з повітря на кристал кам'яної солі дорівнює 60° . Визначити швидкість світла у цьому кристалі.

4. Визначити, через який час після початку коливань точка, яка здійснює коливальний рух згідно рівняння $x = \sin(\pi t/2)$, проходить шлях від положення рівноваги до максимального зміщення.

5. Струм у коливальному контурі при власних коливаннях змінюється з часом за законом $I = 0.01 \cos(1000t)$ А. Визначити індуктивність контура, якщо ємність його конденсатора $C = 2 \cdot 10^{-5}$ Ф.

6. Визначити, на якій відстані від джерела коливань розташована точка, якщо зміщення точки від положення рівноваги дорівнює половині амплітуди хвилі для часу $t = T/3$. Довжина хвилі дорівнює 4 м.

**Державний економіко - технологічний
університет транспорту
Кафедра фізики і електротехніки
Контрольна робота з оптики**

Варіант 5.

1. Установка для одержання кілець Ньютона освітлюється білим світлом, яке падає нормально. Знайти:

а) радіус четвертого синього кільця ($\lambda_1 = 4 \cdot 10^{-7}$ м);

б) радіус третього червоного кільця ($\lambda_2 = 6.3 \cdot 10^{-7}$ м).

Спостереження провадиться у світлі, що проходить. Радіус кривини лінзи дорівнює 5 м.

2. На дифракційну решітку, яка має $n=600$ штрихів на міліметр, падає нормально біле світло. Спектр проектується лінзою на екран. Лінза розташована поблизу решітки. Визначити довжину l спектра першого порядку на екрані, якщо відстань від лінзи до екрану $L=1.2$ м. Межа видимого спектра $\lambda_{\text{чер.}}=780$ нм, $\lambda_{\text{фіол.}}=400$ нм.

3. Промінь світла переходить із гліцерина у скло так, що промінь, відбитий від межі розділу цих середовищ, максимально поляризується. Визначити кут між падаючим і заломленим променями. Показники заломлення $n_{\text{гліц.}}=1.47$; $n_{\text{скл.}}=1.5$.

4. Амплітуда гармонійних коливань матеріальної точки $A=2$ см, повна енергія коливань $W=0.23$ мкДж. Визначити, при якому зміщенні x від положення рівноваги на матеріальну точку діє сила $F=22.5$ мкН.

5. Коливальний контур складається із котушки з індуктивністю $L=1.2$ мГн і конденсатора змінної ємності від $C_1=12$ пФ до $C_2=80$ пФ. Визначити діапазон довжин електромагнітних хвиль, які можуть спричинити резонанс у цьому контурі. Опором елементів контуру знехтувати.

6. Визначити, для якого моменту часу зміщення матеріальної точки від положення рівноваги дорівнює амплітуді хвилі. Відстань точки від джерела хвилі $3\lambda/8$, а період коливань джерела $T=2$ с.

**Державний економіко - технологічний
університет транспорту
Кафедра фізики і електротехніки
Контрольна робота з оптики**

Варіант 6.

1. Мильна плівка, яка розташована вертикально, спостерігається у відбитому світлі через червоне скло ($\lambda = 6.31 \cdot 10^{-5}$ см). Відстань між сусідніми червоними смугами при цьому дорівнює 3 мм. А потім ця плівка спостерігається через синє скло ($\lambda = 4 \cdot 10^{-5}$ см). Знайти відстань між сусідніми синіми смугами. Вважати, що за час вимірювань форма плівки не змінилась.

2. Дифракційна решітка, яка освітлюється нормально падаючим монохроматичним світлом. Дифракційний максимум третього порядку спостерігається під кутом $\varphi=30^\circ$. Визначити, під яким кутом спостерігається дифракційний максимум четвертого порядку.

3. При проходженні плоскополяризованого світла через трубку довжиною $l=20$ см, яка містить розчин цукру з концентрацією $C_1=10\%$, площина поляризації повернулася на кут $\varphi_1=13.3^\circ$. У другому розчині цукру, що налили у трубку довжиною $l=15$ см, площина поляризації повернулася на кут $\varphi_2=5.2^\circ$. Визначити концентрацію C_2 другого розчину.

4. Повна енергія тіла, яке здійснює гармонійні коливання $W=30$ мкДж. Максимальна сила, яка діє на тіло $F_{max} = 1.5 \cdot 10^{-3}$ Н. Написати рівняння руху цього тіла, якщо період коливань $T=2$ с і початкова фаза $\varphi = \pi/3$.

5. Коливальний контур, який складається з повітряного конденсатора з двома пластинами з площею $S = 1000$ см² кожна і котушки з індуктивністю $L=1$ мкГн, резонує на електромагнітній хвилі довжиною $\lambda = 10$ м. Визначити відстань d між пластинами конденсатора.

6. Хвиля поширюється з швидкістю $v=15$ м/с. Період коливань $T=1.2$ с, амплітуда коливань $A=0.02$ м. Визначити довжину хвилі λ і фазу хвилі на відстані $l = 45$ м від джерела для моменту часу $t=4$ с.

Державний економіко - технологічний
університет транспорту
Кафедра фізики і електротехніки
Контрольна робота з оптики

Варіант 7.

1. На мильну плівку з показником заломлення $n=1.33$ падає біле світло під кутом 45° . Визначити, при якій найменшій товщині плівки відбиті промені будуть забарвлені у жовтий колір ($\lambda = 6 \cdot 10^{-5}$ см).

2. На дифракційну решітку падає нормально паралельно пучок білого світла. Спектри третього і четвертого порядків частково накладаються один на другий. Визначити, на яку довжину хвилі у спектрі четвертого порядку накладається межа ($\lambda=780$ нм) спектра третього порядку.

3. Після проходження плоскополяризованого монохроматичного світла через пластинку кварцу товщиною $d_1=2$ мм площина поляризації світла повернулася на кут $\varphi = 53^\circ$. Визначити, якої товщини d_2 треба взяти пластинку, щоб площина поляризації повернулася на кут 90° .

4. Визначити відношення кінетичної енергії W_k матеріальної точки, яка здійснює гармонійні коливання, до її потенціальної W_{Π} енергії для моменту часу $t = T/6$. Початкова фаза коливань $\varphi=0$.

5. Коливальний контур складається з конденсатора ємністю $C = 8$ пФ і котушки індуктивністю $L=0.5$ мГн. Визначити значення максимальної напруги на обкладках конденсатора, якщо максимальна сила струму $I_{max}=40$ мА.

6. Точка одночасно бере участь у двох взаємно перпендикулярних коливаннях, які задані рівняннями: $x = 2 \sin(\omega t)$, $y = 4 \cos(\omega t)$. Визначити траєкторію руху точки.

**Державний економіко - технологічний
університет транспорту
Кафедра фізики і електротехніки
Контрольна робота з оптики**

Варіант 8.

1. У досліді Юнга щілини, які розташовані на відстані 0.3 мм, освітлювались монохроматичним світлом з довжиною хвилі 0.6 мкм. Визначити відстань від щілин до екрану, якщо ширина інтерференційних смуг дорівнює 1 мм.

2. Визначити кількість штрихів на 1 мм дифракційної решітки, якщо кут $\pi/2$ відповідає дифракційному максимуму п'ятого порядку для монохроматичного світла з довжиною хвилі 0.5 мкм.

3. Промінь світла падає на поверхню скляної пластинки, яка занурена у рідину. Відбитий від пластинки промінь утворює кут $\varphi=97^\circ$ з падаючим променем. Визначити показник заломлення n рідини, якщо відбите світло максимально поляризоване. Показник заломлення скла $n_c=1.5$.

4. Матеріальна точка з масою $m=5$ г здійснює гармонійні коливання з частотою $\nu=0.5$ Гц. Визначити прискорення і силу, що діє на точку у той час, коли зміщення $x=1.5$ см.

5. Коливальний контур складається з конденсатора ємністю $C=500$ пФ і котушки довжиною $l=40$ см і площею перерізу $S=5$ см². Котушка має $N=1000$ витків. Осердя немагнітне. Визначити період коливань контура.

6. Складаються два коливання однакового напрямку, рівняння яких: $x_1 = A_1 \cos(\omega(t + \tau_1))$, $x_2 = A_2 \cos(\omega(t + \tau_2))$, де $A_1=1$ см, $A_2=2$ см, $\tau_1=1/6$ с, $\tau_2=1/2$ с, $\omega = \pi$ рад/с. Визначити початкову фазу та амплітуду результуючого коливання.

Державний економіко - технологічний
університет транспорту
Кафедра фізики і електротехніки
Контрольна робота з оптики

Варіант 9.

1. Відстань L від щілин до екрану у досліді Юнга дорівнює 1 м. Визначити відстань між щілинами, якщо на відрізку довжиною $l=1$ см укладається $N=10$ темних інтерференційних смуг. Довжина хвилі $\lambda=0.7$ мкм.

2. На щілину завширшки $a=0.05$ мм падає нормально монохроматичне світло ($\lambda=0.6$ мкм). Визначити кут, під яким спостерігається четвертий дифракційний мінімум.

3. Промінь світла послідовно проходить через два ніколя, площини пропускання яких утворюють між собою кут $\varphi = 40^\circ$. Приймаючи, що коефіцієнт поглинання k кожного ніколя дорівнює 0.15, знайти, у скільки разів промінь, який виходить із другого ніколя, ослаблений порівняно з променем, що падає на перший ніколь.

4. Амплітуда гармонійних коливань матеріальної точки $A=2$ см, повна енергія коливань $W = 3 \cdot 10^{-7}$ Дж. Визначити, при якому зміщенні від положення рівноваги на матеріальну точку діє сила $F = 2.25 \cdot 10^{-5}$ Н.

5. Коливальний контур складається з котушки без осердя довжиною $l=50$ см і площею перерізу $S_1 = 3$ см², яка має $N=1000$ витків, і плоского повітряного конденсатора з площею пластин $S_2=75$ см² кожна. Відстань між пластинами 5 мм. Визначити період власних коливань контура.

6. Точка бере участь у двох взаємно перпендикулярних коливаннях $x = \cos(\pi t)$ і $y = \cos(\pi t/2)$. Визначити траєкторію руху точки.

3. Основні закони і формули з оптики та приклади розв'язків задач

3.1. Коливання і хвилі

Гармонічні коливання – коливання, при яких коливальна величина, наприклад s , змінюється у часі по закону синуса, або косинуса

$$s = A \cos(\omega_0 t + \varphi), \quad (3.4)$$

де A – **амплітуда**, максимальне значення коливальної величини; ω_0 – **кругова (циклічна) частота**; φ – **початкова фаза коливання** при $t = 0$; $(\omega_0 t + \varphi)$ – **фаза коливання**.

Період коливання T – мінімальний інтервал часу, через який стан системи, що коливається, повторюється

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0}. \quad (3.5)$$

Частота – число повних коливань системи за одиницю часу

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{\omega_0}{2\pi} \quad (3.6)$$

Диференціальне рівняння для гармонічних коливань

$$\frac{d^2 s(t)}{dt^2} + \omega_0^2 s(t) = 0, \quad (3.7)$$

рішення якого представляє гармонічне коливання $s(t) = A \cos(\omega_0 t + \varphi)$.

Розповсюдження хвиль в однородному ізотропному середовищі описується **хвильовим рівнянням у часних похідних**

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} \quad (3.8)$$

або

$$\Delta \xi = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}. \quad (3.9)$$

Рішення цього рівняння є вираз для **плоскої синусоїдальної хвилі**

$$X = A \sin \left(\left(\omega t - \frac{x}{v} \right) + \varphi_0 \right) = A \sin(\omega t - kx), \quad (3.10)$$

де v – швидкість поширення хвилі; $\frac{x}{v}$ – час запізнення розповсюдження хвилі в точку x пружного середовища; $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ – хвильове число; $\lambda = vT$ – довжина

хвилі.

Коливання в двох точках середовища, які знаходяться на відстанях r_1 і r_2 від одного і того ж джерела коливань, мають різницю фаз

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{r_2 - r_1}{\lambda} 2\pi. \quad (3.11)$$

Довжина хвилі монохроматичного світла у вакуумі максимальна і дорівнює

$$\lambda_0 = cT, \quad (3.12)$$

де $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – швидкість хвилі у вакуумі,

довжина хвилі в середовищі з абсолютним показником заломлення n .

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n}. \quad (3.13)$$

Приклад №1. Зміщення точки від стану рівноваги, яка перебуває на відстані 4 см від джерела хвилі, у момент часу $t = T/6$ дорівнює половині амплітуди. Знайти довжину хвилі.

$r = 4 \text{ см}$	$r = 4 \cdot 10^{-2} \text{ м}$
$t = T/6$	
$\lambda = ?$	$\lambda = ?$

Довжина хвилі λ дорівнює відстані, на яку поширюється хвиля за час, який дорівнює **періоду** T ;

$$\lambda = v \cdot T, \quad (3.14)$$

де v – швидкість поширення хвилі.

Рівняння хвилі

$$X = A \cdot \sin \omega \left(t - \frac{r}{v} \right). \quad (3.15)$$

Враховуючи, що циклічна частота дорівнює $\omega = \frac{2\pi}{T}$, вираз (61) перепишемо

$$X = A \cdot \sin \left(\frac{2\pi}{T} \cdot t - \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{r}{v} \right) = A \cdot \sin \left(\frac{2\pi}{T} \cdot t - \frac{2\pi r}{\lambda} \right). \quad (3.16)$$

З умови задачі відомо, що $X = A/2$, коли $t = T/6$. Тому запишемо рівняння

$$\frac{A}{2} = A \cdot \sin \left(\frac{2\pi}{T} \cdot \frac{T}{6} - \frac{2\pi r}{\lambda} \right). \quad (3.17)$$

Враховуючи, що $r = 0,04$ м та після спрощення рівняння (63) має вигляд

$$\sin \left(\frac{\pi}{3} - \frac{2\pi \cdot 0,04}{\lambda} \right) = \frac{1}{2}. \quad (3.18)$$

Тобто аргумент функції \sin дорівнює $\pi/6$. Звідки

$$\frac{\pi}{3} - \frac{0,08 \cdot \pi}{\lambda} = \frac{\pi}{6}. \quad (3.19)$$

Остаточно отримуємо, що $\lambda = 0,48$ [м].

Відповідь: $\lambda = 0,48$ м.

Приклад №2. Поперечна хвиля розповсюджується вздовж пружного шнура зі швидкістю 15 м/с. Період коливань точок шнура 1,2 с, амплітуда коливання 2 см. Визначити довжину хвилі, фазу коливання і зміщення точки шнура, яка відстоїть на 45 м від джерела коливань, через 4 с.

$v = 15$ м/с	$v = 15$ м/с
$T = 1,2$ с	$T = 1,2$ с
$A = 2$ см	$A = 2 \cdot 10^{-2}$ м
$r = 45$ м	$r = 45$ м
$t = 4$ с	$t =$ =
$\lambda = ?$	$\lambda = ?$
$\varphi = ?$	$\varphi = ?$
$x = ?$	$x = ?$

За визначенням довжина хвилі

$$\lambda = vT \quad \Rightarrow \quad \lambda = 15 \cdot 1,2 = 18 \text{ [м]}. \quad (3.20)$$

Фаза і зміщення οποї точки можуть бити знайдені з рівняння хвилі

$$X(r, t) = A \sin \omega \left(t - \frac{r}{v} \right). \quad (3.21)$$

Фаза коливання дорівнює аргументу функції \sin в рівнянні (12)

$$\varphi = \omega \left(t - \frac{r}{v} \right) = \frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{r}{v} \right). \quad (3.22)$$

Звідки

$$\varphi = \frac{2 \cdot 3,14}{1,2} \left(4 - \frac{45}{15} \right) \approx 5,24 \text{ [рад.]}. \quad (3.23)$$

Зміщення точки шнура знайдемо з рівняння хвилі, коли $t = 4$ с; $r = 45$ м

$$X(r, t) = A \sin \omega \left(t - \frac{r}{v} \right) = 2 \cdot 10^{-2} \cdot \sin 5,24 \approx -1,73 \cdot 10^{-2} \text{ [м]}. \quad (3.24)$$

Відповідь: $\lambda = 18$ м, $\varphi \approx 5,24$ рад., $X \approx -1,73 \cdot 10^{-2}$ м.

Приклад №3. Дві точки знаходяться на відстані відповідно 6 і 12 м від джерела коливань. Знайти різницю фаз коливань цих точок, якщо період коливань становить 0,04 с, а швидкість їх розповсюдження дорівнює 300 м/с.

$r_1 = 6 \text{ м}$	$r_2 = 12 \text{ м}$
$T = 0,04 \text{ с}$	$v = 300 \text{ м/с}$
$\Delta\varphi = ?$	

Рівняння коливань двох точок мають вигляд:

$$X_{1, 2} = A \sin \omega \left(t - \frac{r_{1, 2}}{v} \right), \quad (3.25)$$

або, враховуючи, що $\omega = \frac{2\pi}{T}$,

$$X_{1, 2} = A \sin \frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{r_{1, 2}}{v} \right). \quad (3.26)$$

Звідки фази коливань в двох точках дорівнюють

$$\varphi_{1, 2} = \frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{r_{1, 2}}{v} \right), \quad (3.27)$$

а різниця фаз коливань в цих точках є

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{T} \left(\left(t - \frac{r_1}{v} \right) - \left(t - \frac{r_2}{v} \right) \right) = \frac{2\pi}{T v} (r_2 - r_1). \quad (3.28)$$

Остаточно маємо

$$\Delta\varphi = \frac{2 \cdot 3,14}{0,04 \cdot 300} (12 - 6) = \pi \text{ [рад.]}. \quad (3.29)$$

Тобто хвилі приходять у ці точки в протифазах.

Відповідь: $\Delta\varphi = \pi$ рад.

Приклад №4. Коливальний контур, який складається з повітряного конденсатора з двома пластинами по 100 см² кожна і котушки з індуктивністю 1 мГн, резонує на довжині хвилі 10 м. Визначити відстань між пластинами конденсатора.

$S = 100 \text{ см}^2$	$S = 1 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$
$L = 1 \text{ мкГн}$	$L = 1 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}$
$\lambda = 10 \text{ м}$	$\lambda = 10 \text{ м}$
$d = ?$	$d = ?$

Відстань між пластинами конденсатора знаходимо за формулою електроємності C плоского конденсатора

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d} \quad \Rightarrow \quad d = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{C}, \quad (3.30)$$

S – площа однієї пластини конденсатора;

d – відстань між пластинами конденсатора;

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м,

ϵ – відносна діелектрична проникність середовища (для вакууму $\epsilon = 1$).

Електроємність конденсатора знаходимо за допомогою формули Томсона

$$T = 2\pi \sqrt{LC} \quad \Rightarrow \quad C = \frac{T^2}{4\pi^2 L}. \quad (3.31)$$

Період коливань, який знайдемо за допомогою визначення довжини хвилі $\lambda = c \cdot T$ (де $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – швидкість світла у вакуумі)

$$T = \frac{\lambda}{c}. \quad (3.32)$$

використаємо для знаходження d після підстановки вир. (74) в вир. (73)

$$d = \frac{\epsilon_0 S}{C} = \frac{\epsilon_0 S c^2 4\pi^2 L}{\lambda^2} = 3,14 \cdot 10^{-3} \text{ [м]}. \quad (3.33)$$

Відповідь: $d = 3,14 \cdot 10^{-3}$ м.

3.2. Інтерференція та дифракція світла

Оптична довжина шляху світлової хвилі

$$L = n l, \quad (3.34)$$

де l – геометрична довжина шляху світлової хвилі в середовищі з показником заломлення n .

Оптична різниця ходу двох світлових хвиль

$$\Delta = L_1 - L_2 = l_1 n_1 - l_2 n_2. \quad (3.35)$$

Умова спостереження **інтерференційного максимуму**

$$\Delta = \pm k \lambda \quad (k = 0, 1, 2, \dots), \quad (3.36)$$

де λ – довжина хвилі.

Умова спостереження **інтерференційного мінімуму**

$$\Delta = \pm(2k + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (k = 0, 1, 2, \dots). \quad (3.37)$$

Оптична різниця ходу світлових хвиль, яка виникає при відбитті монохроматичного світла від верхньої та нижньої поверхонь **тонкої плівки**

$$\Delta = 2d \sqrt{n^2 - \sin^2 i} \pm \frac{\lambda}{2}, \quad (3.38)$$

або

$$\Delta = 2dn \cos r \pm \frac{\lambda}{2}, \quad (3.39)$$

де d – товщина плівки; n – показник заломлення матеріалу плівки; i і r – відповідно кути падіння та заломлення світла у плівці.

Радіус світлих $r_{\text{св}}$ і темних $r_{\text{темн}}$ **кілець Ньютона** у відбитому світлі

$$r_{\text{св}} = \sqrt{(2k - 1) \frac{R\lambda}{2}} \quad (k = 1, 2, 3, \dots), \quad (3.40)$$

$$r_{\text{темн}} = \sqrt{Rk\lambda} \quad (k = 1, 2, 3, \dots), \quad (3.41)$$

де k – номер кільця, R – радіус кривини лінзи.

Умова спостереження дифракційних максимумів від однієї щілини – **дифракції Фраунгофера**

$$a \sin \varphi = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (k = 0, 2, 3, \dots), \quad (3.42)$$

Умова спостереження дифракційних мінімумів від однієї щілини

$$a \sin \varphi = 2k \frac{\lambda}{2} \quad (k = 0, 2, 3, \dots), \quad (3.43)$$

де a – ширина щілини; φ – кут відхилення променів дифракції; k – порядок дифракційного максимуму або мінімуму.

Умова спостереження головних максимумів від **дифракційної решітки**

$$d \sin \varphi = k\lambda \quad (k = 0, 2, 3, \dots), \quad (3.44)$$

де $d = a + b$ – період решітки; a – ширина щілини; b – ширина проміжку між щілинами; φ – кут відхилення промінів дифракції; k – порядок головного

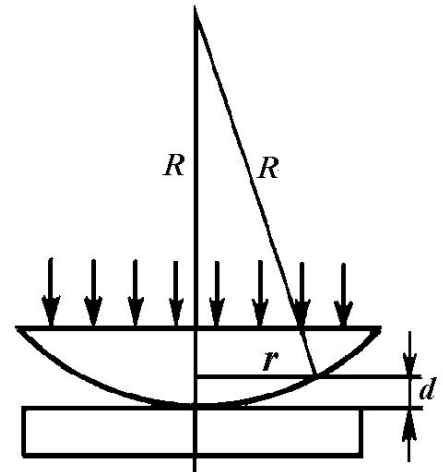


Рис. 3.1.

максимуму.

Роздільна здатність R дифракційної решітки визначається за формулою:

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = k N, \quad (3.45)$$

де N – повне число щілин решітки;
 $\Delta\lambda$ – найменша різниця довжин хвиль
 двох сусідніх спектральних ліній λ і
 $\lambda + \Delta\lambda$, при якій ці лінії можуть бути
 видимими роздільно в спектрі, який
 одержується за допомогою даної ре-
 шітки.

Приклад №5. На мильну плівку з показником заломлення $n = 1,33$ падає вздовж нормалі монохроматичне світло з довжиною хвилі $\lambda = 0,6$ мкм. Відбите світло внаслідок інтерференції має найбільшу яскравість. Яка може бути найменша товщина плівки ?

$n = 1,33$	$n = 1,33$
$\lambda = 0,6$ мкм	$\lambda = 1 \cdot 10^{-5}$ м
$i = 0$	$i = 0$
$d_{\min} = ?$	$d_{\min} = ?$

Оптична різниця ходу відбитих променів світла від верхньої та нижньої поверхонь плівки:

$$\Delta = 2d \sqrt{n^2 - \sin^2 i} - \frac{\lambda}{2}, \quad (3.46)$$

де d – товщина плівки; i – кут падіння променів на плівку; n – показник заломлення речовини плівки.

Умова спостереження інтерференційного максимуму: $\Delta = 2k \frac{\lambda}{2}$ приводить до виразу

$$2d \sqrt{n^2 - \sin^2 i} - \frac{\lambda}{2} = 2k \frac{\lambda}{2} \quad (3.47)$$

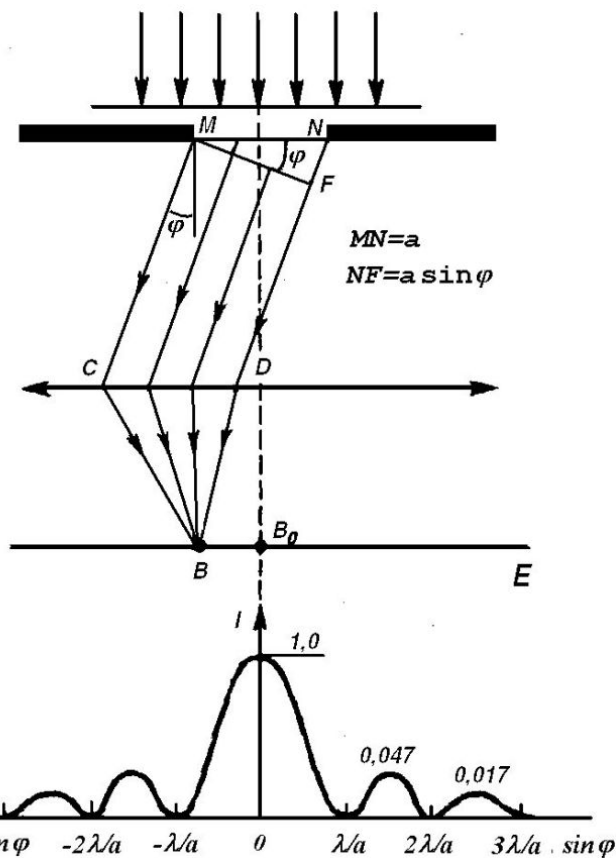


Рис. 3.2.

або

$$2d \sqrt{n^2 - \sin^2 i} = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad (3.48)$$

де k ($k = 0, 1, 2, \dots$) – порядок інтерференційного максимуму.

Товщина плівки буде мінімальною d_{\min} , якщо $k = 0$. Тому, беручи до уваги, що $i = 0$, отримуємо рівняння для d_{\min}

$$2d_{\min} n = \frac{\lambda}{2}. \quad (3.49)$$

Звідки

$$d_{\min} = \frac{\lambda}{4n} = \frac{0,6 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 1,33} \approx 0,113 \cdot 10^{-6} \text{ [м]}. \quad (3.50)$$

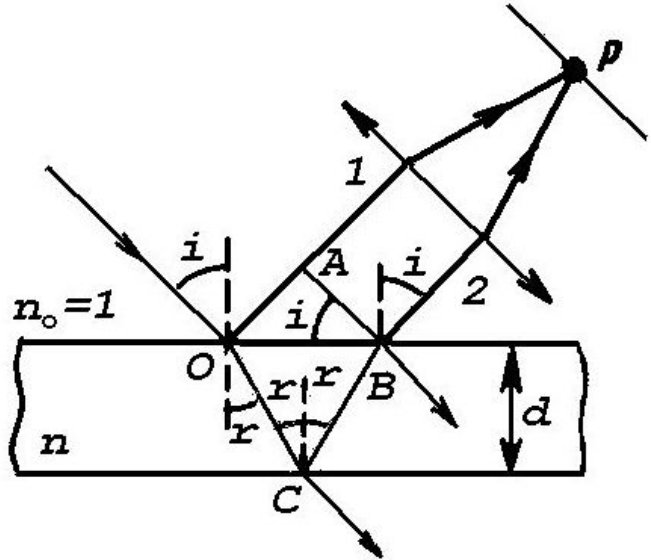


Рис. 3.3.

Відповідь: $d_{\min} \approx 0,113 \cdot 10^{-6}$ м.

Приклад №6. На щілину шириною 0,1 мм падає паралельний пучок світла від монохроматичного джерела ($\lambda = 0,6$ мкм). Визначити кут φ відхилення променів, які відповідають першому дифракційному максимуму.

$a = 0,05$ мм	$a = 0,05 \cdot 10^{-3}$ м
$\lambda = 0,6$ мкм	$\lambda = 1 \cdot 10^{-6}$ м
$k = 1$	$k = 1$
$\varphi_1 = ?$	$\varphi_1 = ?$

Умова спостереження максимуму світла при дифракції на щілині

$$a \sin \varphi = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad (3.51)$$

де a – ширина щілини; φ – кут дифракції (відхилення); λ – довжина хвилі світла; k – порядок дифракційного максимуму.

Звідки

$$\varphi = \arcsin \frac{(2k + 1) \frac{\lambda}{2}}{a} \quad (3.52)$$

Перший дифракційний максимум буде спостерігатися під кутом φ_1 , коли в вир. (42) $k = 1$

$$\varphi_1 = \arcsin \frac{(2 \cdot 1 + 1) \cdot 0,6 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 0,05 \cdot 10^{-3}} = 1^\circ 12'. \quad (3.53)$$

Відповідь: $\varphi_1 = 1^\circ 12'$

Приклад №7. На дифракційну решітку у напрямку нормалі до її поверхні падає монохроматичне світло. Період решітки дорівнює 2 мкм. Який найбільший порядок дифракційного максимуму дає ця решітка у випадку червоного світла ($\lambda = 0,7$ мкм).

$d = 2 \text{ мкм}$	$d = 2 \cdot 10^{-6} \text{ м}$
$\lambda = 0,7 \text{ мкм}$	$\lambda = 7 \cdot 10^{-6} \text{ м}$
$k_{\max} = ?$	$k_{\max} = ?$

Умова спостереження головних максимумів від **дифракційної решітки**

$$d \sin \varphi = k \lambda \quad (k = 0, 2, 3, \dots), \quad (3.54)$$

де d – період решітки; φ – кут відхилення промінів дифракції; k – порядок головного максимуму; λ – довжина хвилі монохроматичного світла, яке падає на решітку.

Оскільки $\sin \varphi$ не може бути більше, ніж 1, то k не може бути більше, ніж $\frac{d}{\lambda}$. Тобто

$$k \leq \frac{d}{\lambda} \leq \frac{2 \cdot 10^{-6}}{0,7 \cdot 10^{-6}} = 2,86. \quad (3.55)$$

Враховуючи те, що порядок максимумів є ціле число, то

$$k_{\max} = 2. \quad (3.56)$$

Відповідь: $k_{\max} = 2$.

Приклад №8. Радіус r_2^D другого темного кільця Ньютона у відбитому світлі дорівнює 0,4 мм. Визначити радіус кривини R плоскоопуклої лінзи, яка взята для досліду, якщо вона освітлюється монохроматичним світлом з довжиною хвилі $\lambda = 0,64$ мкм.

$r_2^D = 0,4$ мм	$r_2^D = 0,4 \cdot 10^{-3}$ м
$\lambda = 0,64$ мкм	$\lambda = 0,64 \cdot 10^{-6}$ м
$k = 2$	$k = 2$
$R = ?$	$R = ?$

Радіус темних кілець Ньютона у відбитому світлі:

$$r_k^D = \sqrt{k R \lambda}, \quad (3.57)$$

де k – номер кільця; R – радіус кривини плоскоопуклої лінзи; λ – довжина хвилі монохроматичного відбитого світла.

Звідки

$$R = \frac{(r_k^D)^2}{k \lambda}. \quad (3.58)$$

Виходячи з умови задачі ($k = 2$), отримаємо

$$R = \frac{(r_2^D)^2}{2 \lambda} = \frac{0,4^2 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 0,64 \cdot 10^{-6}} = 0,125 \text{ [м]}. \quad (3.59)$$

Відповідь: $R = 0,125$ м.

3.3. Закон Малюса

Закон Малюса визначає інтенсивність I світла, яке проходить через аналізатор T_2 , якщо на поляризатор T_1 приходить природне світло, інтенсивність якого дорівнює I_0 , за формулою

$$I = I_0 \cos^2 \alpha, \quad (3.60)$$

де α – кут між площиною плоскополяризованого світла, яке пройшло через поляризатор.

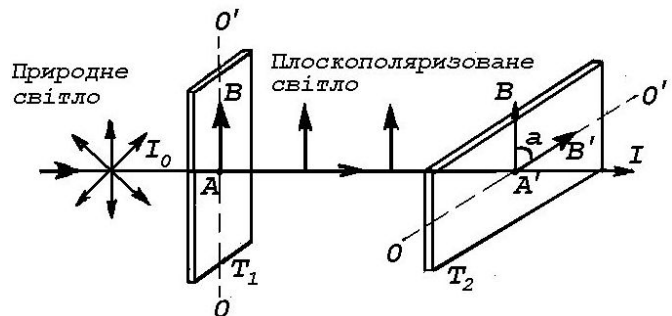


Рис. 3.4.

Приклад №9. Визначити, в скільки разів зменшиться інтенсивність природного світла, яке проходить крізь два поляризатори, розташовані так, що кут між їх головними площинами дорівнює 45° , а в кожному з ніколей витрачається 5 % інтенсивності світла, яке падає на ніколь.

$\angle\alpha = 45^\circ$	$\angle\alpha = 45^\circ$
$\eta = 5\%$	$\eta = 0,05$
$I_{\text{пр}}/I_2 = ?$	$I_{\text{пр}}/I_2 = ?$

Через поляризатор (або перший ніколь), пройде світло, інтенсивність I_1 якого дорівнює:

$$I_1 = (1/2) \cdot (1 - \eta) I_{\text{пр}}, \quad (3.61)$$

де $I_{\text{пр}}$ - інтенсивність природного світла. Формула (52) враховує те, що при проходженні світла крізь ніколь, витрачається $\eta = 0,05$ частка інтенсивності природного (деполяризованого) світла, а інтенсивність світла, яке проходить крізь ніколь пропорційна величині $(1 - \eta) = 0,95$.

Крізь аналізатор (другий поляризатор) пройде світло, інтенсивність I_2 якого визначається за законом Малюса

$$I_2 = I_1 \cdot (1 - \eta) \cos^2 \alpha, \quad (3.62)$$

де враховано, що тільки $(1 - \eta) = 0,95$ частка світла проходить і крізь другий ніколь.

Інтенсивність світла, яке проходить крізь два ніколи дорівнює

$$I_2 = \frac{1}{2} \cdot (1 - \eta) I_{\text{пр}} \cdot (1 - \eta) \cos^2 \alpha = \frac{1}{2} \cdot (1 - \eta)^2 I_{\text{пр}} \cos^2 \alpha. \quad (3.63)$$

Для отримання відповіді задачі треба знайти відношення $I_{\text{пр}}/I_2$, яке відповідає на питання, в скільки разів зменшиться інтенсивність світла, яке пройде крізь два ніколи

$$\frac{I_{\text{пр}}}{I_2} = \frac{1}{(1/2) \cdot (1 - \eta)^2 I_{\text{пр}} \cos^2 \alpha} \quad (3.64)$$

Остаточного отримаємо

$$\frac{I_{\text{пр}}}{I_2} = \frac{1}{0,5 \cdot 0,95^2 \cdot 0,71^2} = 44,44 \quad (3.65)$$

Відповідь: $I_{\text{пр}}/I_2 = 44,44$.

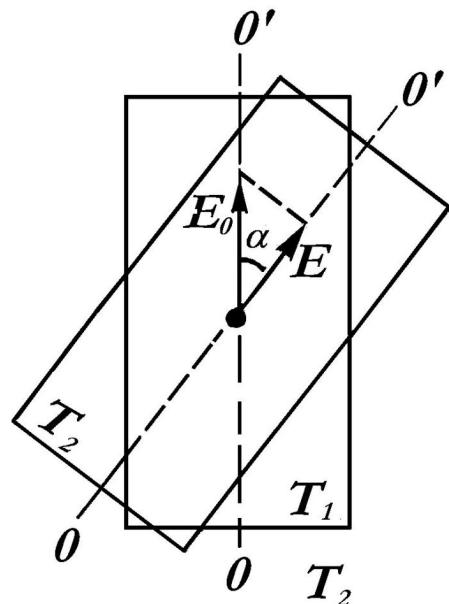


Рис. 3.5.

3.4. Закон Брюстера

Закон Брюстера визначає кут $i_{\text{Брст}}$ падіння світла, при якому відбитий від діелектрика з відносним показником заломлення n_{21} , стає повністю поляризованим

$$\operatorname{tg} i_{\text{Брст}} = n_{21}. \quad (3.66)$$

Приклад №10. Кут максимальної поляризації при відбитті світла від кристала кам'яної солі дорівнює 57° . Визначити швидкість поширення світла цьому кристалі.

$$\left. \begin{array}{l} i_{\text{Бр}} = 57^\circ \\ v = ? \end{array} \right|$$

Для визначення швидкості світла в кристалі необхідно знати показник заломлення кристала.

Згідно із законом Брюстера тангенс кут максимальної поляризації для відбитого світла дорівнює відносному показнику заломлення кристала і оточуючого середовища:

$$\tan i_{\text{Бр}} = n_{21} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (3.67)$$

Якщо кристал знаходиться в повітрі, то абсолютний показник заломлення повітря $n_1 = 1$ і формула закону Брюстера спроститься

$$\tan i_{\text{Бр}} = n_{21} = n_2 \quad (3.68)$$

Відомо, що абсолютний показник заломлення кристала n_2 дорівнює

$$n_2 = \frac{c}{v}, \quad (3.69)$$

де c – швидкість світла в вакуумі;

v – швидкість світла в кристалі.

Звідки

$$v = \frac{c}{n_2} = \frac{c}{\tan i_{\text{Бр}}} = \frac{3 \cdot 10^8}{1,54} = 1,91 \cdot 10^8 \text{ [м/с]}. \quad (3.70)$$

Відповідь: $v = 1,91 \cdot 10^8$ м/с.

3.5. Кут повороту площини поляризації світла

Кут повороту площини поляризації φ монохроматичного світла при проходженні його крізь шар оптично активної речовини товщиною d :

– для кристалів і чистих рідин

$$\varphi = \alpha d, \quad (3.71)$$

– для оптично активних розчинів

$$\varphi = [\alpha] n d, \quad (3.72)$$

де α , $([\alpha])$ – **питома обертання**, число, яке чисельно дорівнює куту повороту площини поляризації світла; n – масова концентрація розчину.

Приклад №11. Природне монохроматичне світло падає на систему, яка включає два схрещених ніколі, між якими знаходиться кварцова пластинка товщиною 4 мм, яка вирізана перпендикулярно до оптичної осі. В скільки разів зменшиться інтенсивність світла, яке виходить з оптичної системи, якщо питома обертання площини поляризації кристалом кварц, дорівнює 15 град/мм ?

$d = 4 \text{ мм}$	$d = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$
$\alpha = 15 \text{ град./мм}$	$\alpha = 15 \cdot 10^3 \text{ град/м}$
$I_{\text{пр}}/I_2 = ?$	$I_{\text{пр}}/I_2 = ?$

Згідно з законом Малюса ($I_2 = (1/2) I_{\text{пр}} \cos^2 \alpha$) інтенсивність світла, яке проходить крізь систему схрещених ніколів, дорівнює нулю, бо кут $\alpha = 90^\circ$.

Пластинка кварцу повертає площину поляризації світла згідно з (62) на кут φ , який дорівнює

$$\varphi = \alpha d = 15 \cdot 10^3 \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 60^\circ \text{ (град.)} \quad (3.73)$$

відносно першого ніколю (поляризатора). Відносно ж другого ніколю (аналізатора) площина поляризації складає кут γ

$$\gamma = 90^\circ - 60^\circ = 30^\circ \quad (3.74)$$

бо для системи схрещених ніколів кут між їх площинами поляризацій складає 90° .

Оскільки при проходженні крізь кристал кварцу інтенсивність світла не змінюється (за умовою задачі), а змінюється лише кут площиною поляризації світла та віссю другого ніколя-аналізатора, закон Малюса перепишеться у вигляді

$$I_2 = (1/2) I_{\text{пр}} \cos^2 \gamma, \quad (3.75)$$

де γ – кут між площиною поляризації світла і віссю аналізатора.

Таким чином

$$\frac{I_{\text{пр}}}{I_2} = \frac{1}{(1/2) \cos^2 \gamma}. \quad (3.76)$$

Остаточно маємо

$$\frac{I_{\text{пр}}}{I_2} = \frac{1}{0,5 \cdot \cos^2 30^\circ} = \frac{1}{0,5 \cdot 0,87^2} = 2,67 \quad (3.77)$$

Відповідь: $I_{\text{пр}}/I_2 = 2,67$.

4. Рекомендована література

1. **Фізична оптика (Теоретичний Курс)**, *М.М. Чепілко*, 2016, К: ДЕТУТ
2. **Курс фізики**, *Т.И. Трофимова*, 2000, М: Высшая школа
3. **Курс фізики**, *І.Є. Лопатинський, та інші*. 2002, Львів, Афіша
4. **Сборник задач по курсу фізики**, *Т.И. Трофимова* 1991, М: Высшая школа

Навчальне видання

доцент Муравйов В.М.

**Завдання та методичні вказівки до самостійної роботи з фізичної
оптики**

Для студентів технічних спеціальностей

Відповідальний за випуск: М.М. Чепілко

Підписано до друку . Формат паперу 60x84/16. Обсяг: обл.-вид.арк.
Папір для тиражувальних апаратів. Друк - різнографія. Замовлення . Тираж прим.

Надруковано у друкарні видавництва
Державного економіко - технологічного університету транспорту,
03049, м. Київ - 49, вул. Миколи Лукашевича, 19