

**Дрогобицький державний педагогічний університет
імені Івана Франка**

Олег Кузик, Олеся Даньків

Загальна фізика

Оптика

*Методичні матеріали
до самостійної роботи*

**Дрогобич
2025**

*Рекомендовано вченою радою Дрогобицького державного педагогічного
університету імені Івана Франка
(протокол № 2 від 27 лютого 2025 р.).*

Рецензенти:

- **Ігор БЛИНСЬКИЙ**, професор кафедри фізики та методики її навчання Криворізького державного педагогічного університету, доктор фізико-математичних наук;
- **Віктор БРИТАН**, доцент кафедри фізики та інформаційних систем Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, кандидат фізико-математичних наук.

Олег Кузик, Олеся Даньків.

Загальна фізика. Оптика : методичні матеріали до самостійної роботи. – Дрогобич : Видавничий відділ ДДПУ ім. І. Франка, 2025. 118 с.

Методичні матеріали до самостійної роботи написані відповідно до робочої програми навчальної дисципліни “Загальна фізика (Оптика)” для студентів спеціальності 014 Середня освіта (Фізика та астрономія). У посібнику наведені методичні рекомендації для підготовки до лабораторних занять, приклади розв’язування задач і завдання для самостійної роботи.

З М І С Т

Передмова.....	5
1. Робоча програма навчальної дисципліни “Загальна фізика (Оптика)” .	6
2. Методичні рекомендації до самостійної роботи при підготовці до лабораторних робіт.....	18
2.1. Загальні зауваження.....	18
2.2. Методичні рекомендації для підготовки до лабораторної роботи №1 на тему “Визначення показників заломлення прозорих твердих тіл та рідин”	19
2.3. Методичні рекомендації для підготовки до лабораторної роботи №2 на тему “Вивчення відбивання та заломлення світла сферичною поверхнею”	21
2.4. Методичні рекомендації для підготовки до лабораторної роботи №3 на тему “Вивчення основ побудови оптичних приладів”	24
2.5. Методичні рекомендації для підготовки до лабораторної роботи №4 на тему “Фотометричне дослідження джерел світла” ...	30
2.6. Методичні рекомендації для підготовки до лабораторної роботи №5 на тему “Дослідження інтерференції світла за допомогою біпризми Френеля”	35
2.7. Методичні рекомендації для підготовки до лабораторної роботи №6 на тему “Інтерференція світла в тонких плівках та її практичне застосування”	39
2.8. Методичні рекомендації для підготовки до лабораторної роботи №7 на тему “Вивчення дифракції світла на круглому отворі та щілині”	42
2.9. Методичні рекомендації для підготовки до лабораторної роботи №8 на тему “Вивчення поляризаційних явищ”	45
2.10. Методичні рекомендації для підготовки до лабораторної роботи №9 на тему “Вивчення диспергуючих елементів спектральних приладів (дифракційної ґратки та призми”	49
2.11. Методичні рекомендації для підготовки до лабораторної роботи №10 на тему “Дослідження поглинання світла в рідинах і твердих тілах”	54

3. Методичні рекомендації до розв’язування задач та завдання для самостійної роботи	58
Методичні поради до самостійного розв’язування задач.....	58
3.1. Геометрична оптика. Закони відбивання та заломлення.....	60
3.2. Сферичні дзеркала	66
3.3. Лінзи. Оптичні системи. Зір та кореляція його недоліків	71
3.4. Основи фотометрії	78
3.5. Інтерференція світла від двох когерентних джерел	82
3.6. Інтерференція світла в тонких плівках. Кільця Ньютона.....	88
3.7. Дифракція світла. Дифракція Френеля. Дифракційна ґратка	94
3.8. Поляризація світла. Закон Малюса. Закон Брюстера.....	103
3.9. Поляризація світла. Ступінь поляризації. Оптична активність	107
3.10. Дисперсія світла. Поглинання світла.....	111
4. ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ.....	115
ДОДАТКИ	116

ПЕРЕДМОВА

Поглиблене вивчення дисципліни “Загальна фізика (Оптика)” неможливе без ґрунтовної самостійної роботи студентів над навчальним матеріалом, без спрямування зусиль на розвиток навичок до самостійної роботи, без виховання творчої активності й ініціативи.

Завдання цього навчально-методичного посібника – допомогти студентам в організації їхньої самостійної роботи при вивченні дисципліни. У посібнику подано робочу програму навчальної дисципліни “Загальна фізика (Оптика)”, в якій викладені вимоги до знань та умінь студентів спеціальності 014 «Середня освіта (Фізика та астрономія). Методичні рекомендації з дисципліни «Загальна фізика (Оптика)» призначені для організації самостійної роботи студентів, що є важливою складовою сучасного освітнього процесу. Вивчення оптики сприяє формуванню глибоких знань про фундаментальні фізичні явища, розумінню законів поширення, відбивання, заломлення, дифракції та інтерференції світла, закономірності взаємодії світла з речовиною, а також основ квантової оптики.

Мета пропонованих рекомендацій – забезпечити студентів матеріалами для засвоєння ключових тем курсу, підготовки до лабораторних занять, розвитку навичок розв’язання фізичних задач та аналізу їхніх результатів. Важливим завданням є формування вміння застосовувати отримані знання в подальшій навчальній, науковій чи професійній діяльності.

Методичні рекомендації містять:

- базовий теоретичний матеріал з основних тем курсу;
- приклади розв’язання типових задач;
- завдання для самостійної роботи, які включають як аналітичні, так і експериментальні задачі;
- рекомендації щодо підготовки до лабораторних робіт та контрольні завдання.

1. РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ “ЗАГАЛЬНА ФІЗИКА (ОПТИКА)”

Галузь знань	<u>01 Освіта / Педагогіка</u>
Спеціальність	<u>014 Середня освіта (Фізика та астрономія)</u>
Освітня програма	<u>Середня освіта (Фізика, інформатика)</u>
Статус дисципліни	<u>Обов’язкова</u>
Факультет	<u>фізики, математики, економіки та інноваційних технологій</u>
Кафедра	<u>фізики та інформаційних систем</u>
Мова навчання	<u>українська</u>

Дані про вивчення дисципліни

Форма здобуття освіти	Курс	Семестр	Обсяг дисципліни: год / кредити ЄКТС	Кількість годин						Курсова робота	Вид семестрового контролю	
				Аудиторні заняття					Самостійна робота		Залік	Екзамен
				Разом	Лекції	Лабораторні роботи	Практичні заняття	Семінарські заняття				
Денна	II	4	210 / 7	70	20	30	20	–	140	–	–	+

Робоча програма складена на основі освітньої програми та навчального плану підготовки бакалавра (240 кредитів ЄКТС).

1. МЕТА ВИВЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Мета: сформувати у студентів основні знання про природу світла, закономірності поширення світла, хвильові властивості світла та закономірності взаємодії світла з речовиною.

Предмет: оптичні явища та природа світла, хвильові властивості світла, закономірності його поширення та взаємодії з речовиною, а також будова та принцип роботи оптичних приладів.

2. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

У результаті вивчення цієї навчальної дисципліни студенти повинні

знати:

- основні поняття, означення, принципи і закони геометричної та хвильової оптики, фотометрії, закономірності взаємодії світла із речовиною;
- межі застосування і справедливості законів геометричної та хвильової оптики;
- методи і підходи до розв'язування задач оптики, побудови моделей оптичних явищ на основі понятійного апарату геометричної та хвильової оптики;

вміти:

- проводити експериментальні вимірювання фізичних величин, які вивчає “Оптика”, обчислювати похибки вимірювань, інтерпретувати отримані результати;
- експериментально перевіряти закономірності взаємодії світла із речовиною, закони геометричної та хвильової оптики;
- застосовувати теоретичний матеріал для розв'язування задач;
- проводити фізичний експеримент, аналізувати й інтерпретувати отримані результати з точки зору фізичного змісту.

3. КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

Оцінювання здійснюється за шкалами оцінювання: ЄКТС, стобальною і національною.

А (90 – 100 балів) – «відмінно»: отримує студент, який виявляє глибокі системні знання програмного матеріалу та продуктивно їх використовує; засвоїв основні поняття, означення, принципи і закони геометричної та хвильової оптики, закономірності взаємодії світла із речовиною; може розкрити природу світла; набув усіх необхідних дослідницьких навичок для розв'язування наукових задач; вільно

застосовує теоретичні та експериментальні методи фізичних досліджень; знає межі застосування фізичних моделей і теорій оптичних явищ; застосовує отримані знання для проведення експериментальних досліджень; вміє інтерпретувати результати експериментів та аналізувати їх з точки зору фізичного змісту; використовує фундаментальні закони природи для створення математичних моделей світлових явищ; вільно застосовує теоретичні знання для розв'язування задач та перевірки правильності отриманих розв'язків задач; виконує завдання самостійно за власним планом; володіє високим рівнем узагальнення та систематизації програмного матеріалу; може встановити зв'язок з матеріалом інших тем даної дисципліни чи інших дисциплін; реалізовує всі етапи розв'язку фізичної задачі; вільно володіє різними методами і способами розв'язування фізичних задач; вільно розв'язує фізичні задачі різної складності.

В (82 – 89 балів) – «добре»: отримує студент, знання та уміння якого відповідають вимогам програми; який вільно володіє навчальним матеріалом; дає точне визначення і тлумачення основних понять, законів і теорій оптики; набув практичних навичок проведення фізичного експерименту; використовує теоретичні знання для інтерпретації результатів експерименту, припускаючись при цьому несуттєвих помилок; вміє застосовувати різні методи розв'язування теоретичних та прикладних задач геометричної та хвильової оптики, однак, не завжди може застосувати знання при розв'язуванні принципово нової для нього задачі; будує математичну модель задачі; обирає раціональний спосіб розв'язування задачі, але розв'язує її з незначними помилками й неточностями; вміє класифікувати запропоновані задачі згідно заданої ознаки; вірно висловлює фізичні ідеї.

С (75 – 81 бал) – «добре»: отримує студент, який виявив ґрунтовні й міцні знання програмного матеріалу; знає основні поняття, означення, принципи і закони оптики, але не виявляє глибокого розуміння їхнього фізичного змісту; володіє усіма необхідними уміннями й навичками; орієнтується в теоретико-методологічних засадах розв'язування фізичних

задач, однак, припускається суттєвих неточностей; в цілому самостійно застосовує теоретичні знання на практиці; робить певні узагальнення; використовує здобуті знання для проведення експериментальних досліджень, вміє інтерпретувати та оцінювати їхні результати, робити висновки, але при цьому робить помилки; вміє порівняти отримані експериментальні результати з даними літературних джерел.

D (67 – 74 бали) – «задовільно»: отримує студент за знання і розуміння тільки основного програмного матеріалу; відтворює матеріал у спрощеній формі; може продемонструвати зв'язок між окремими теоретичними закономірностями та розв'язує нескладні репродуктивні задачі; вміє формулювати основні висновки та робити узагальнення, але допускає при цьому суттєві помилки й неточності; виявляє слабку обізнаність з міжпредметними зв'язками дисципліни; не завжди може використати теоретичні знання на практиці, зокрема, відчуває труднощі під час розв'язування задач; недостатньо володіє методами розв'язування задач та аналізу побудованої моделі задачі; з допомогою викладача здатен проводити експериментальні дослідження, інтерпретувати, аналізувати та оцінювати отримані результати.

E (60 – 66 балів) – «задовільно»: отримує студент, знання та уміння якого задовольняють мінімальним критеріям відповідно до програми; який може відтворити більше половини навчального матеріалу на репродуктивному рівні з елементами логічних зв'язків; володіє елементарними уміннями та навичками; може розв'язати просту репродуктивну задачу; погано орієнтується в питаннях постановки, класифікації світлових явищ, прийомів та методів розв'язування фізичних задач; допускає суттєві неточності; аналізує побудовану модель фізичної задачі, але при цьому припускається грубої помилки; з допомогою викладача здатен проводити експериментальні дослідження, інтерпретувати отримані результати та робити висновки.

FX (35 – 59 балів) – «незадовільно»: отримує студент за поверхневе знання і розуміння основного програмного матеріалу; непослідовний виклад матеріалу з багатьма суттєвими помилками; який не вміє робити

узагальнення та висновки; не вміє застосовувати теоретичні знання при розв'язуванні задач; не володіє методами аналізу побудованої моделі фізичної задачі; не володіє методикою та технікою проведення фізичного експерименту; необізнаний в питаннях, винесених на самостійне опрацювання.

F (0 – 34 бали) – «незадовільно»: виставляється у випадку, коли студент володіє лише окремими поняттями, фрагментарними знаннями програмного матеріалу без жодного взаємозв'язку між ними; за відсутності сформованих знань, умінь та навичок, що унеможлиблює розв'язування ним задач та проведення експериментальних досліджень.

4. ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

- контрольні роботи;
- виконання та захист лабораторних робіт;
- захист індивідуального завдання;
- екзамен.

5. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

1. Геометрична оптика

- 1.1. Принцип Ферма.
- 1.2. Закони відбивання і заломлення світла.
- 1.3. Повне відбивання. Волоконна оптика. Дзеркала. Призми.
- 1.4. Заломлення і відбивання променів сферичною поверхнею.
Теорема Лагранжа-Гельмгольца.
- 1.5. Тонка лінза.
- 1.6. Обмеження світлових пучків. Діафрагми.
- 1.7. Аберації оптичних систем.
- 1.8. Око як оптична система. Оптичні прилади. Лупа. Зорова труба.
Мікроскоп.
- 1.9. Атмосферна рефракція. Міражі.

2. Основи фотометрії

- 2.1. Системи фотометричних величин.
- 2.2. Основні фотометричні величини. Потік випромінювання, сила світла, яскравість, світність, освітленість.
- 2.3. Коефіцієнт видимості, функція видимості людського ока.
- 2.4. Фотометричні вимірювання.
- 2.5. Джерела світла. Освітленість і покращення бачення. Світлосила.

3. Інтерференція світла

- 3.1. Накладання світлових хвиль. Принцип суперпозиції.
- 3.2. Когерентність. Часова і просторова когерентність.
- 3.3. Методи спостереження інтерференції в оптиці.
- 3.4. Інтерференція в тонких плівках і пластинах. Кільця Ньютонів. Смуги рівного нахилу та рівної товщини.
- 3.5. Багатопроменева інтерференція.
- 3.6. Застосування інтерференції в науці і техніці. Інтерферометри. Просвітлення оптики.

4. Дифракція світла

- 4.1. Явище дифракції. Принцип Гюйгенса-Френеля.
- 4.2. Пояснення прямолінійності поширення світла хвильовою теорією.
- 4.3. Зони Френеля. Дифракція Френеля на круглому отворі, на круглому екрані, на краю напівобмеженого екрана.
- 4.4. Дифракція Фраунгофера від щілини, прямокутного та круглого отворів.
- 4.5. Дифракційна ґратка. Роздільна здатність оптичних приладів. Дифракція на дво- і тривимірних ґратках.
- 4.6. Дифракція рентгенівських променів. Формула Вульфа-Брегга.
- 4.7. Поняття про голографію. Метод Денисюка. Застосування голографії.

5. Поляризація світла

- 7.1. Поляризоване і неполяризоване світло.
- 7.2. Лінійна, еліптична і кругова поляризація.
- 7.3. Поляризатори і аналізатори. Закон Малюса.
- 7.4. Поляризація світла при відбиванні від діелектрика. Кут Брюстера.
- 7.5. Поляризація при подвійному променезаломленні.

6. Дисперсія і поглинання світла

- 6.1. Електронна теорія дисперсії і поглинання світла.
- 6.2. Нормальна і аномальна дисперсії.
- 6.3. Фазова та групова швидкості світла.
- 6.4. Ефект Вавілова-Черенкова.
- 6.5. Спектри випромінювання і поглинання.
- 6.6. Спектрometri. Спектральний аналіз.
- 6.7. Молекулярна рефракція. Кольори тіл. Оптичні явища в атмосфері. Райдуга.

7. Розсіювання світла

- 7.1. Розсіювання світла в оптично неоднорідному середовищі.
- 7.2. Закон Релея.
- 7.3. Поляризація розсіяного світла.
- 7.4. Колір неба і зірок. Оптичні явища в атмосфері.

Тематика практичних занять

- 1. Геометрична оптика. Закони відбивання та заломлення.
- 2. Сферичні дзеркала.
- 3. Лінзи. Оптичні системи. Зір та кореляція його недоліків.
- 4. Основи фотометрії.
- 5. Інтерференція світла від двох когерентних джерел..
- 6. Інтерференція світла в тонких плівках. Кільця Ньютона.
- 7. Дифракція світла. Дифракція Френеля. Дифракційна ґратка.
- 8. Поляризація світла. Закон Малюса. Закон Брюстера.

9. Поляризація світла. Ступінь поляризації.
10. Дисперсія світла. Поглинання світла.

Тематика лабораторних робіт

1. Визначення показників заломлення прозорих твердих тіл та рідин.
2. Вивчення відбивання та заломлення світла сферичною поверхнею.
3. Вивчення основ побудови оптичних приладів.
4. Фотометричне дослідження джерел світла.
5. Дослідження інтерференції світла за допомогою біпризми Френеля.
6. Інтерференція світла в тонких плівках та її практичне застосування.
7. Вивчення дифракції світла на круглому отворі та щілині.
8. Вивчення поляризаційних явищ.
9. Вивчення диспергуючих елементів спектральних приладів (дифракційної ґратки та призми).
10. Дослідження поглинання світла в рідинах і твердих тілах.

6. ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ

Індивідуальні завдання – це частина навчального матеріалу з дисципліни “Загальна фізика (Оптика)”, що має на меті поглибити, узагальнити та закріпити знання, отримані студентами у процесі навчання, а також застосування цих знань на практиці.

Звіт про виконання індивідуального завдання повинен містити титульну сторінку (згідно зразка) та змістове наповнення. Звіт про виконання індивідуального завдання – це завершена робота теоретичного або практичного характеру, яка містить систематизований чітко викладений матеріал за обраною темою на основі спеціально підібраної літератури. Захист індивідуального завдання відбувається не пізніше, ніж за два тижні до закінчення семестру.

Критерії оцінювання індивідуального завдання: повнота розкриття теми у роботі – 16 балів, якість мовного оформлення – 2 бали, якість бібліографічного опису – 2 бали.

Теми індивідуальних завдань:

1. Підібрати, описати та пояснити досліди з оптики, які можна використати при проведенні шкільного вечора „Цікава фізика”.
2. Відкриття з оптики на уроках фізики.
3. Підібрати та описати корисні поради, які можна використати на заняттях технічного гуртка, що ґрунтуються на законах поширення світла.
4. Описати методи визначення швидкості світла (Зробити висновки про їх переваги і недоліки);
5. Описати переваги і недоліки відомих методів визначення фотометричних величин.
6. Описати експериментальні методики, які можна використати при вивченні поляризації світла.
7. Описати переваги і недоліки відомих методів визначення довжини світлової хвилі.
8. Описати експериментальні методи дослідження явища дифракції (Зробити висновки про їх переваги і недоліки).
9. Аналіз експериментальних методів визначення коефіцієнта поглинання прозорих тіл (теоретичні основи, простота методики, точність одержаних результатів).
10. Досліди, які можна використати при вивченні інтерференції світла.
11. Аналіз відомих методів визначення показника заломлення (Зробити висновки про їх переваги і недоліки).
12. Досліди, які можна використати при вивченні взаємодії світла з речовиною (поглинання, дисперсія, розсіювання).

Теми індивідуальних завдань може запропонувати студент. Також індивідуальні завдання, які мають практичний характер, наведені у розділі 4.

7. ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Самостійна робота студента з дисципліни “Загальна фізика (Оптика)” передбачає опрацювання теоретичного матеріалу, виконання завдань у межах кожної теми програми, підготовку до контрольних робіт, лабораторних робіт та захисту індивідуального навчально-дослідницького завдання.

Перелік завдань для самостійної роботи студентів:

1. Розв’язування задач з геометричної оптики (підбір, складання, пояснення, малюнки, обчислення та висновки).
2. Опрацювання теми “Поширення світла у середовищі із змінним показником заломлення”.
3. Розв’язування задач з основ фотометрії (підбір, складання, пояснення, малюнки, обчислення та висновки).
4. Вивчення будови та принципу роботи фотометрів.
5. Розв’язування задач з хвильової оптики (інтерференція світла) (підбір, складання, пояснення, малюнки, обчислення та висновки).
6. Розв’язування задач з хвильової оптики (дифракція світла) (підбір, складання, пояснення, малюнки, обчислення та висновки).
7. Вивчення будови та принципу роботи інтерферометра Жамена.
8. Опрацювання теми “Дифракція Френеля на краю напівобмеженого екрана”.
9. Опрацювання теми “Зонна пластинка”.
10. Опрацювання теми “Дифракція на дво- і тривимірних ґратках”.
11. Опрацювання теми “Застосування голографії”.
12. Розв’язування задач на поляризацію світла (підбір, складання, пояснення, малюнки, обчислення та висновки).
13. Розв’язування задач на дисперсію світла (підбір, складання, пояснення, малюнки, обчислення та висновки).
14. Опрацювання теми “Оптичні явища в атмосфері”.

8. РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

Рекомендована література

Основна

1. Білий М.У., Скубенко А.Ф. Загальна фізика. Оптика. Київ : Вища школа, 1987. 376 с.
2. Бушок Г.Ф., Венгер Є.Ф. Курс фізики. Книга 2. Оптика. Фізика атома і атомного ядра. Київ : Либідь, 2001. 421 с.
3. Гаркуша І. П. Загальний курс фізики. Збірник задач. Київ : Техніка, 2003. 560 с.
4. Григорович Г.М., Станько М.Г. Збірник задач з геометричної та хвильової оптики. Дрогобич, 1999. 127 с.
5. Коваленко В.Ф., Халімонова М., Харченко Н.П., Стецюк В.М. Загальна фізика у прикладах, запитаннях і відповідях. Оптика : навчальний посібник. Київ : Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2012. 447 с.
6. Кучерук І.М., Горбачук І.Т. Загальний курс фізики. Т.3. Оптика. Квантова фізика. Київ : Техніка, 2005. 518 с.
7. Романюк М.О. Оптика : підручник / М.О. Романюк, А.С. Крочук, І.П. Пашук ; за ред. проф. М.О.Романюка. Львів : ЛНУ імені Івана Франка. 2012. 564 с.
8. Сминтина В.А., Ваксман Ю.Ф. Курс загальної фізики. Т.4 : Оптика : підруч. для студ. ВНЗ. Одеса : Астропринт, 2012. 275 с.
9. Станько М.Г., Сидорчук П.Г. Оптичний практикум. Дрогобич, 1998. 116 с.
10. Яворський Б.М., Детлаф А.А., Милковська Л.В. Курс фізики. Т.3. – Київ : Вища школа, 1978. 364 с.

Допоміжна

1. Загальна фізика. Лабораторний практикум : навчальний посібник для педагогічних інститутів / за заг. ред. І. Т. Горбачука. Київ : Вища школа, 1992. 509 с.
2. Курс загальної фізики : навчальний посібник для вищих навчальних закладів / Кармазін В.В., Семенець В.В.-Київ : Кондор, 2016. 786 с.
3. Курс фізики : навчальний підручник / за ред. І. Е. Лопатинського. Львів : Бескид-Біт, 2002. –76 с.
4. Нечволод М. К. Курс фізики. Запитання і задачі : навчальний посібник / М. К. Нечволод, М. М. Голоденко, А. Ф. Прун. Київ : Просвіта, 2001. – 232 с.
5. Одарич, В. А. Основи теорії та методів розрахунку оптичних систем. : у 2 ч. / В. А. Одарич. Київ, 2001–2002. Ч. 1, 2.

Інформаційні ресурси

1. Електронний репозитарій Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка <http://www.ir.dspu.edu.ua/jspui/>
2. Мультидисциплінарний відкритий електронний архів ELibUkr-OA: <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/663>
3. Електронний архів національного університету “Львівська політехніка” <https://ena.lpnu.ua/home>
4. Електронний архів наукових та освітніх матеріалів КПІ ім. Ігоря Сікорського: <https://ela.kpi.ua/home>
5. Електронний репозитарій Сумського державного університету <https://essuir.sumdu.edu.ua/>

2. МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ ПРИ ПІДГОТОВЦІ ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

2.1. Загальні зауваження

Лабораторні роботи повинні не тільки сприяти закріпленню знань, здобутих при вивченні курсу загальної фізики, але й ознайомлювати студентів із сучасною вимірювальною апаратурою, навчити їх користуватися нею, а також прищеплювати їм навички самостійно ставити й проводити експеримент, оцінювати достовірність отриманих результатів. У поєднанні з лекційними і практичними заняттями лабораторний практикум покликаний сприяти професійній підготовці студентів із фізики.

Лабораторні заняття з оптики як складова курсу загальної фізики мають на меті:

- розширення і поглиблення понять та законів, що характеризують оптичні явища;
- опанування методів та техніки оптичних вимірювань і обробки отриманих результатів;
- ознайомлення з оптичними приладами;
- підготовку майбутнього вчителя до проведення лабораторних занять в школі;
- здобуття навичок застосовувати набуті знання у практичній діяльності.

Без знання теорії неможливе свідоме проведення експерименту, тому виконання лабораторних робіт вимагає попереднього вивчення теоретичного матеріалу. Крім того, студент повинен бути ознайомлений з будовою приладів, які використовуються, принципами їх дії та способами використання, що має сприяти свідомому і якісному виконанню досліджень.

Порядок виконання завдань необхідно продумати у найменших деталях, що повинно сприяти швидкому проведенню експериментів. Цьому ж повинні прислужитися зразки таблиць, які значною мірою полегшать обробку результатів вимірювань.

Студент повинен використовувати дані таблиць, які вміщують відомості, необхідні при виконанні лабораторних робіт, адже вони можуть служити для оцінки отриманих результатів.

Кожен результат вимірювань повинен піддаватись критичній оцінці, тобто мають визначатися похибки вимірювань. При цьому треба користуватись знаннями, здобутими при вивченні дисципліни «Загальна фізика (Механіка)», або опрацювати самостійно за практикумами, список яких приведено у програмі.

Нижче подано вимоги до знань та умінь студентів, яких вони мають набути, виконавши конкретні лабораторні роботи.

2.2. Методичні рекомендації для підготовки до лабораторної роботи №1 на тему

“Визначення показників заломлення прозорих твердих тіл та рідин”

Знати відповідь на такі запитання:

1. Як впливає товщина плоскопаралельної пластинки на точність вимірювання показника заломлення?
2. Виведіть формулу для вимірювання показника заломлення за допомогою мікроскопа.
3. Чим обмежується товщина пластинки, показник заломлення якої можна виміряти у цій роботі?
4. Які параметри електромагнітної хвилі змінюються на межі двох середовищ?
5. Опишіть і намалюйте хід променів у поворотній і оборотній призмах.

-
6. Що буде видно в окулярі рефрактометра, якщо умова $n_0 > n$ не виконується?
 7. Які ще методи вимірювання показників заломлення ви знаєте?
 8. Як з допомогою рефрактометра виміряти показник заломлення каламутної рідини (наприклад, молока)?

При переході світла з одного прозорого середовища в друге промінь світла зазнає *заломлення*. Згідно із законом заломлення світла, відношення синуса кута падіння i до синуса кута заломлення r для двох середовищ залежить лише від довжини світлової хвилі і не залежить від кута падіння

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n_{21}, \quad (1)$$

де n_{21} – *відносний показник заломлення* другого середовища відносно першого.

Показник заломлення середовища відносно вакууму називається *абсолютним показником заломлення* цього середовища. Середовище з більшим показником заломлення називається *оптично густішим*. Для повітря показник заломлення близький до одиниці. Тому показник заломлення середовища, виміряний відносно повітря, практично дорівнює абсолютному показникові заломлення цього середовища.

При переході променя із оптично густішого середовища в оптично рідше кут заломлення стає більшим від кута падіння. При певному граничному куті $i_{\text{гр}}$ кут заломлення складає 90° , тобто промінь піде вздовж межі поділу середовищ. При більших кутах падіння всі промені відбиватимуться. Це явище називається *повним внутрішнім відбиванням*. Граничний кут падіння можна визначити з виразу:

$$i_{\text{гр}} = \arcsin (1/n). \quad (2)$$

Явище повного внутрішнього відбивання світла використане в поворотних і оборотних призмах, які широко застосовуються в оптичних приладах.

Показник заломлення залежить від кольору світла (довжини хвилі світла). Це явище називається *дисперсією*. У таблицях (див. додаток)

найчастіше наводять показник заломлення для довжини хвилі 589,3 нм (яскрава лінія випромінювання в спектрі натрію). Часто про довжину хвилі не згадують, маючи на увазі згадану вище умову.

Додатково необхідно опрацювати за підручниками такі питання:

1. Геометрична оптика як граничний випадок хвильової оптики.
2. Принцип Ферма.
3. Закони відбивання та заломлення світла.
4. Повне внутрішнє відбивання.
5. Заломлення світла плоскопаралельною пластинкою та призмою.
6. Швидкість світла.

2.3. Методичні рекомендації для підготовки до лабораторної роботи №2 на тему

“Вивчення відбивання та заломлення світла сферичною поверхнею”

Знати відповідь на такі запитання:

1. Виведіть формулу для знаходження фокусної відстані лінзи методом Бесселя.
2. Де застосовуються дзеркала та лінзи?
3. Чому сучасні фотоапарати мають такий простий об'єктив, проте дають досить чітке зображення?
4. З якою швидкістю і куди рухається зображення предмета, якщо він рівномірно віддаляється від збиральної лінзи із швидкістю v ?
5. Питання 4 для випадку розсіювальної лінзи.
6. Які причини виникнення спотворень зображень в лінзі?
7. Назвіть види аберацій лінз. Поясніть їх причини та методи їх усунення.
8. Чи всі види аберацій лінз є характерними для дзеркал?

-
9. Чому в астрономічних приладах ширше застосовуються дзеркала, а не лінзи?
10. Які види аберацій ви спостерігали, експериментуючи з дзеркалами?

В однорідному середовищі світло поширюється прямолінійно. Якщо світловий промінь, що поширюється у такому середовищі, зустрічає на своєму шляху інше середовище, то на їхній межі відбувається *відбивання* та *заломлення світла*.

В однорідному та неоднорідному середовищах світло поширюється згідно *принципу Ферма*. З цього принципу випливає закон оборотності світлових променів.

Частина сфери, яка покрита відбивальним шаром, утворює *сферичне дзеркало*. Якщо відбивання світла йде від внутрішньої частини сферичної поверхні, то дзеркало називається *вгнутим*; в протилежному випадку – *опуклим*. Вісь, яка проходить через центр кривизни дзеркала і середину дзеркала (полюс дзеркала), називається *головною оптичною віссю* дзеркала. Промені, які утворюють малі кути з головною оптичною віссю дзеркала, називаються *параксіальними*. Точку, в якій перетинаються промені, які до відбивання йшли паралельно до головної оптичної осі, називають *головним фокусом* дзеркала, а відстань від фокуса до полюса дзеркала – *фокусною відстанню* f . Площина, яка проходить через головний фокус перпендикулярно до головної оптичної осі, називається *фокальною площиною*.

Зображення світної точки, яка знаходиться на відстані a від полюса дзеркала, утворюється дзеркалом на відстані b від нього. Між цими величинами зв'язок встановлює *формула дзеркала*

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} = \frac{2}{R}, \quad (1)$$

де R – радіус кривизни дзеркала. За цією формулою визначають положення зображення предмета в дзеркалі.

Величини a , b і f вважають додатними, якщо вони відкладаються від полюса дзеркала за ходом світлового променя. В протилежному випадку

вони вважаються від'ємними. Для визначення лінійного збільшення β (відношення розміру зображення H до розміру предмета h), яке дає дзеркало, можна скористатись формулою

$$\beta = \frac{H}{h} = \frac{b}{a} . \quad (2)$$

Наведені вище формули справедливі лише для параксіальних променів.

Велике практичне значення має заломлення світла на сферичній межі двох середовищ. Сферичні поверхні обмежують *лінзу* – основну деталь оптичних приладів. Лінза, товщина якої мала порівняно з радіусами кривизни її поверхонь, називається *тонкою*. Положення фокусів лінзи однакове стосовно оптичного центру лінзи, а фокусна відстань визначається з технічних параметрів лінзи.

Якщо фокуси лінзи дійсні (пучок паралельних променів після заломлення в лінзі збирається в дійсну точку), лінзу називають *збиральною*, а якщо уявні – *розсіювальною*.

Важливою властивістю лінз є їхня здатність давати зображення. Для тонких лінз в параксіальних променях фокусна відстань f , оптична сила D пов'язані із відстанями до предмета a і зображення b :

$$D = \frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} . \quad (3)$$

Для розсіювальної лінзи фокусна відстань вважається від'ємною. Якщо предмет і зображення розміщені з однієї сторони лінзи, то відстань до зображення вважається від'ємною. Збільшення лінзи, аналогічно до дзеркал, визначається формулою (2).

Додатково необхідно опрацювати за підручниками такі питання:

1. Принцип Ферма.
2. Закони відбивання та заломлення світла.
3. Відбивання та заломлення світла на сферичній поверхні розділу.
4. Тонкі лінзи. Формула лінзи. Оптична сила лінзи.

-
5. Опуклі та вгнуті дзеркала.
 6. Побудова зображень в дзеркалах та лінзах.
 7. Аберації оптичних систем.

2.4. Методичні рекомендації для підготовки до лабораторної роботи №3 на тему “Вивчення основ побудови оптичних приладів”

Знати відповідь на такі запитання:

1. Чому потрібно, щоб відстань до уявного зображення в лупі складала 25см? Чи може бути вона іншою?
2. Що таке далекозорість і короткозорість? Як виправляються ці відхилення зору?
3. Чому для отримання посвідчення водія деяким людям обов'язково потрібна фотографія в окулярах?
4. Які вимоги ставляться до окуляра мікроскопа чи зорової труби?
5. Які вимоги ставляться до об'єктива мікроскопа чи зорової труби?
6. Як визначити розміри мікрооб'єктів за допомогою мікроскопа?
7. Які аберації оптичних систем ви спостерігали?
8. Як працює формула лінзи в застосуванні до ока?
9. Чому для роботи з дрібними предметами потрібне сильне освітлення?
10. Що таке акомодаційна здатність ока?
11. Як визначається ціна поділки окулярного мікрометра мікроскопа?
12. Як визначати розміри мікрооб'єктів за допомогою мікроскопа?
13. Чим визначається роздільна здатність мікроскопа?
14. Які види аберацій повинні бути обов'язково усунуті в об'єктиві мікроскопа?
15. У чому полягає суть фокусування мікроскопа на вибраний об'єкт?

16. Чому частіше в приладах застосовується труба Кеплера, а не Галілея?
17. Як визначити ціну поділки шкали в зоровій трубі?
18. Чи завжди розміри об'єктива визначають його якість?
19. Чи можна за допомогою телескопа бачити зірки в сонячний день?

Оптичні прилади широко використовуються у різних ділянках людської діяльності. Вони можуть служити для утворення *дійсного зображення* з певними параметрами (фотоапарат, відеокамера, проєкційний апарат, діaproектор, епідіаскоп тощо), для проведення вимірювань певних величин (рефрактометр, поляриметр, спектрограф тощо), а також виконувати інші різноманітні функції.

Часто оптичні прилади доповнюють наше *око*, змінюючи хід променів, які доходять до ока в такий спосіб, що зображення спостережуваного предмета є, як правило, збільшеним. До них належать з між інших: лупа, мікроскоп та зорові труби.

Оптичні прилади складаються з *оптичних елементів*, таких як *лінзи*, *дзеркала* чи *призми*. У цій лабораторній роботі треба збудувати прилади в елементарній версії, складаючи системи лінз згідно з принципами побудови *лупи*, *мікроскопа* і *зорової труби*.

Лупою називається тонка збиральна лінза, яка діючи спільно з оком, забезпечує збільшення *кута зору*. Зазвичай лупа утримується біля ока, а розглядуваний предмет розміщується між лінзою і її фокусом. При цьому отримується уявне, пряме і збільшене зображення предмета.

Роздільна здатність ока є обмеженою, тобто існує мінімальна величина кута зору (біля однієї кутової хвилини), при якій око бачить дві точки окремо. Щоб збільшити розділення дрібних предметів можна наблизити їх до ока і тим самим збільшити кут зору. Завдяки *акомодаційній здатності ока* ми бачимо чітко предмети в широких межах відстаней. Але, якщо відстань до ока є меншою за *відстань найкращого бачення* (біля 25 см), око швидко втомлюється.

Для відстаней менших за *найближчу точку* взагалі не можемо отримати чіткого зображення. Існування найближчої точки обмежує можливості збільшення кута зору неозброєним оком. Найменша відстань, яку ще може розділити око, складає біля 0,1мм.

Спостерігаючи предмет через лупу, вибираємо таку відстань a від лупи, щоб уявне зображення розміщувалося на відстані найкращого бачення d_0 (рис.1). Спостережуване зображення є збільшеним незалежно від положення ока. Проте в міру віддалення ока від лупи зменшується поле зору і зростає збільшення зображення.

Кутовим збільшенням лупи називається відношення тангенса кута, під яким видно предмет через лупу, до тангенса кута, під яким ми бачимо його на відстані найкращого бачення, не застосовуючи лупи. Вважаючи, що око розміщується безпосередньо за лінзою, отримуємо формулу кутового збільшення лупи

$$\gamma = \frac{H}{h} = \frac{d_0}{a}, \quad (1)$$

де h, H – відповідно розміри предмета і його зображення. Підставляючи в рівняння (1) значення відстані a від предмету до лупи, обчисленого на основі формули лінзи

$$\frac{1}{a} - \frac{1}{d_0} = \frac{1}{f}, \quad (2)$$

отримуємо величину *лінійного збільшення* лінзи β , яке дорівнює кутовому

$$\beta = \gamma = \frac{d_0}{f} + 1 \quad (3)$$

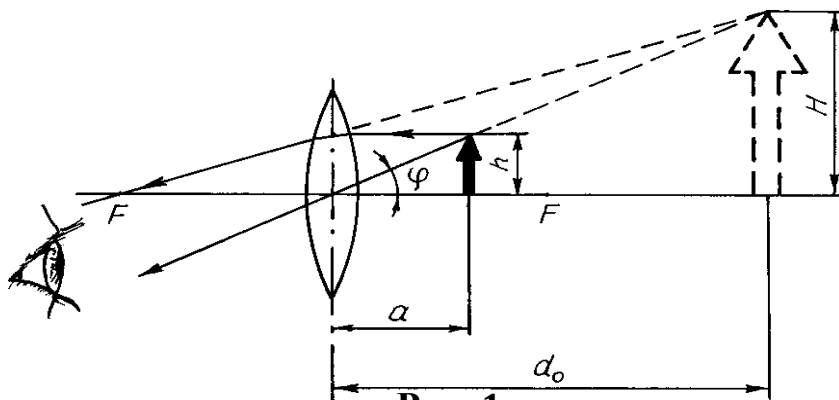


Рис. 1

Отже, збільшення лупи є більшим для лінз з меншими фокусними відстанями і залежить від індивідуальних особливостей ока (відстань найкращого бачення відрізняється в різних людей).

Зручною робочою відстанню d є відстань 25 см від ока. Якщо відстань найкращого бачення людини d_0 відрізняється від цієї величини, це вимагає коригування зору за допомогою окулярів.

Роль окулярів зводиться до отримання на відстані найкращого бачення зображення предмета, який знаходиться на відстані $d = 25$ см. Виходячи з формули лінзи, легко отримати величину оптичної сили окулярів:

$$D = \frac{1}{d} - \frac{1}{d_0} = \frac{d_0 - d}{d d_0} \quad (4)$$

При $d_0 > d$ (далекозорість) потрібні окуляри із збиральними лінзами, а при $d_0 < d$ (короткозорість) – окуляри з розсіювальними лінзами. Короткозорість особливо небезпечна в людей, які керують транспортними засобами.

Щоб отримати вищі збільшення предмета, ніж у випадку лупи, застосовується система двох лінз, з яких одна називається *об'єктивом*, а друга – *окуляром*. У *мікроскопі* об'єктив і окуляр розміщені так, що, спостерігаючи в окуляр, бачимо збільшене зображення предмета, який знаходиться відразу за фокусом об'єктива (рис. 2). Об'єктив дає дійсне, збільшене і обернене зображення предмета.

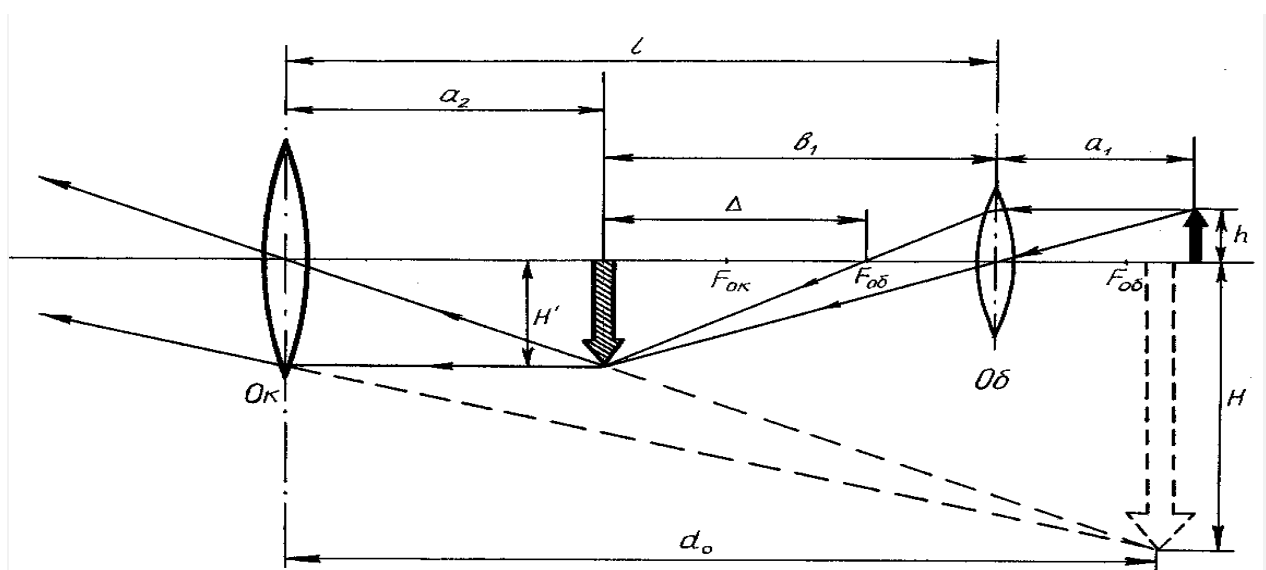


Рис. 2

Розміщення предмета далі від об'єктива призводить до зменшення зображення, а при наближенні – зображення перестає бути дійсним. Зображення, створене об'єктивом, називається *проміжним* і може спостерігатись на екрані. Проміжне зображення становить предмет для окуляра і розміщується між окуляром і його фокусом. Тобто, окуляр діє так само, як лупа.

Збільшення об'єктива $\beta_{об}$ складає:

$$\beta_{об} = \frac{b_1}{a_1} = \frac{b_1 - f_{об}}{b_1 \cdot f_{об}} \cdot b_1 = \frac{b_1 - f_{об}}{f_{об}}. \quad (5)$$

У реальних приладах проміжне зображення розміщується дуже близько до фокуса окуляра, а фокусні відстані об'єктива і окуляра суттєво менші за відстань b_1 проміжного зображення від об'єктива. Тому у виразі (5) замість величини $b_1 - f_{об}$ прийнято брати відстань l від об'єктива до окуляра (ці відстані мало відрізняються). Величина l називається *довжиною тубуса* мікроскопа.

Приблизна величина збільшення окуляра $\beta_{ок}$ мікроскопа, враховуючи, що $f_{ок}$ набагато менше за d_0 , складає (з точністю до одиниці):

$$\beta_{ок} = \frac{d_0}{f_{ок}} \quad (6)$$

Загальне збільшення мікроскопа β складає

$$\beta = \beta_{об} \beta_{ок} = \frac{d_0 l}{f_{об} f_{ок}}, \quad (7)$$

тобто збільшення мікроскопа тим більше, чим більша довжина l його тубуса і чим менші фокусні відстані об'єктива і окуляра.

Зорові труби призначені для розглядання великих, але дуже віддалених об'єктів. Зорова труба складається з довгофокусного об'єктива і короткофокусного окуляра (рис. 3). Об'єктив утворює від великого, але далекого предмета, маленьке, але близьке, зображення. При цьому кут зору φ_1 не змінюється. Проміжне зображення виникає між окуляром і його фокусом. Окуляр збільшує це проміжне зображення. Кут зору φ_2 , під яким спостерігач розглядає зображення віддаленого предмета, стає значно більшим від кута φ_1 . Кутове збільшення γ зорової труби

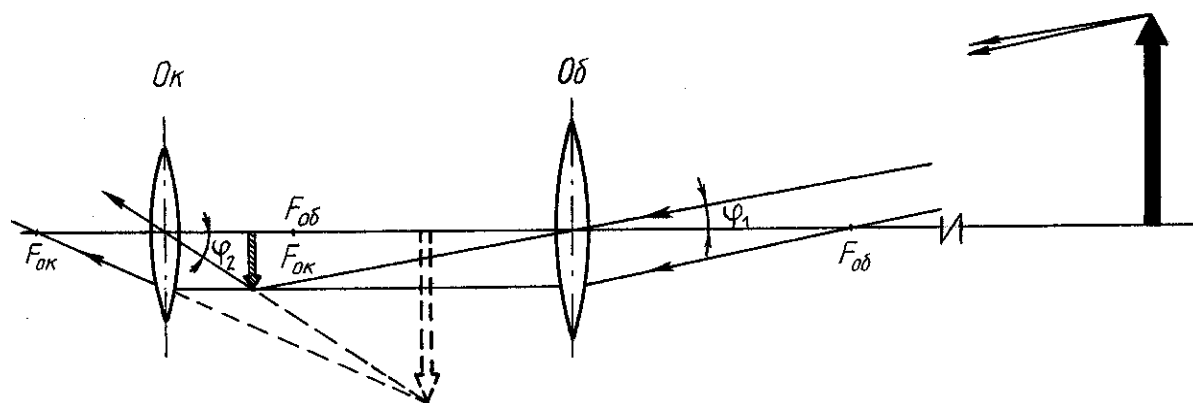


Рис. 3

$$\gamma = \frac{\operatorname{tg} \varphi_2}{\operatorname{tg} \varphi_1} = \frac{f_{од}}{f_{ок}}. \quad (8)$$

Щоб отримати в зоровій трубі великі кутові збільшення має виконуватись умова $f_{од} \gg f_{ок}$.

Додатково необхідно опрацювати за підручниками такі питання:

1. Око як оптична система.
2. Оптичні прилади (луна, мікроскоп, телескоп, фотоапарат).
3. Діафрагми, світлосила.
4. Роздільна здатність оптичних приладів.
5. Поняття про просторову фільтрацію зображень.
6. Око як оптична система.
7. Оптичні прилади (луна, мікроскоп, телескоп, фотоапарат).
8. Діафрагми, світлосила.
9. Роздільна здатність оптичних приладів.

2.5. Методичні рекомендації для підготовки до лабораторної роботи №4 на тему “Фотометричне дослідження джерел світла”

Знати відповідь на такі запитання:

1. Якими органами чуття ми можемо виявляти електромагнітне випромінювання?
2. Чому балони електричних лампочок іноді виготовляють із матового скла?
3. Яка різниця між яскравістю та світністю?
4. Яким вимогам повинні відповідати різноманітні світильники та люстри?
5. Порівняйте характеристики різних джерел світла.
6. Яким вимогам повинна відповідати побілка в квартирі?
7. Стелі переважно роблять білими. Чому?
8. В кольорових телевізорах передбачене регулювання балансу кольорів. В чому полягає фізична суть такого регулювання?
9. Як з точки зору фізика виглядає перехід в телевізорі від кольорового до чорно-білого зображення?
10. Чому в світлофорах не використали синій колір?
11. Поясніть чому, чим більший ступінь заборони сигналу світлофора, тим більше довгохвильове світло для сигналізації цього використовується?

Світло переносить певну енергію, яку називають *світловою*, або *променеистою* енергією. Найбільш важливі способи реєстрації електромагнітних хвиль оптичного діапазону засновані на вимірюванні енергії світлового потоку, яка переноситься. З цією метою використовуються різноманітні фотоприймачі, дія яких заснована на різноманітних фізичних явищах:

- фотоелектричних (фотоелементи, фотопомножувачі, електронно-оптичні перетворювачі, фоторезистори та фотодіоди);
- фотохімічних (фотоплівки, фотопластинки);
- фотолюмінесцентних (різноманітні люмінесцентні екрани та кінескопи);
- термоелектричних (фотоелементи, термостовпчики та болометри).

Енергетичні величини, які характеризують світлові потоки, такі самі як для довільного електромагнітного випромінювання. Потік світла вимірюється у ватах (Вт), сила світла – у Вт/ср, яскравість і інтенсивність – у Вт/(м² ср). В оптичних експериментах мають справу з розмірами порядку сантиметра (лінзи, дзеркала) або міліметра (зображення). Тому віднесення потужності до м² незручне і в науковій літературі часто користуються одиницями Вт/см², Вт/мм².

Точні енергетичні світлові вимірювання виконуються з використанням універсальних приймачів, наприклад, *термоелемента*, дія якого заснована на перетворенні поглинутої світлової енергії на теплову. Диференціальна термopара, один спай якої розміщений біля освітленого майданчика а другий – біля такого самого, але неосвітленого, дає термо-е. р. с., пропорційну світловому потоку. Коефіцієнт перетворення термоелемента у В/Вт наводиться в паспорті приладу. Термоелемент має однакову чутливість в широкому спектральному діапазоні (наприклад, 200–2000 нм), тобто фотоприймач є *неселективним*.

Переважає більшість фотоприймачів є *селективними*, тобто їх реакція на світло залежить не тільки від величини світлової енергії, а також від його спектрального складу. Таким є і людське око, яке відіграє виключно важливу роль в житті людини і часто використовується як приймач світла при використанні багатьох оптичних приладів. У зв'язку з цим при світлових вимірюваннях необхідно брати до уваги особливості сприймання світла людським оком.

Людське око сприймає тільки вузьку ділянку із широкого діапазону електромагнітних хвиль. Цей діапазон довжин хвиль (від 400 до 760 нм)

називають *світлом* у вузькому розумінні слова, і у його межах чутливість ока до світла різна.

На видиму область спектру припадає значна доля енергії випромінювання Сонця. У цьому немає нічого дивного, бо особливості людського (і не тільки) ока зумовлені тривалим пристосуванням органів чуття людини до умов, які склалися на нашій планеті, де найважливішим джерелом світла завжди було Сонце.

Чутливість ока до світла різних довжин хвиль характеризується *функцією видності*. На основі чисельних вимірювань встановлений хід функції видності, яка характеризує усереднене нормальне людське око. Ця функція затверджена стандартами і наводиться у довідниках. Вона в зеленій області спектру при $\lambda=555$ нм має максимум, який умовно прийнятий за одиницю. Чутливість ока суттєво відмінна в різних ділянках спектру. Так, для світла з $\lambda=760$ нм (темно-червоний колір) потрібна потужність приблизно в 20 000 раз більша, ніж для світла з $\lambda=550$ нм (зелений колір), щоб викликати однакове по силі зорове відчуття. Спектральна чутливість очей у більшості людей практично однакова, однак у деяких помітно відрізняється від норми.

Питання про сприйняття світла оком стосуються, строго кажучи, фізіологічної оптики. Тут переплітаються і фізичні і фізіологічні процеси.

Суттєво інша спектральна чутливість ока в різних ділянках спектру приводить до того, що візуальні оцінки світла істотно відрізняються від енергетичних. Тому було введено спеціальну систему одиниць, пристосовану до властивостей ока людини.

Розділ оптики, в якому вивчаються параметри джерел світла, потоків світлової енергії, називається *фотометрією*. Специфічні *фотометричні величини* (сила світла, світловий потік, освітленість і т. п.) виражають суб'єктивне сприйняття світла людиною.

Фотометричні вимірювання поділяються на *об'єктивні* (ті, що проводяться за допомогою приладів і не потребують участі ока) і

суб'єктивні, або візуальні, в яких вимірювання засновані на зоровому відчутті.

При візуальних спостереженнях ми не можемо кількісно порівняти два джерела світла. Проте око досить точно встановлює рівність освітленостей двох поверхонь, розміщених поряд. Тому всі прилади, які використовуються при фотометричних вимірюваннях (так звані *фотометри*), побудовані так, що роль ока зводиться до фіксації рівності освітленостей двох близьких полів, кожне з яких освітлюється джерелами, які порівнюються. У фотометрах для встановлення рівності освітленостей можуть застосовуватись і прилади, наприклад, фотоелементи із відповідно підбіраною спектральною чутливістю.

Для досягнення рівності освітленостей застосовуються різноманітні прийоми, які ведуть до послаблення освітленості, яку створює сильніше джерело. Найпростішим методом є зміна відстані від джерела до фотометра і використання закону обернених квадратів, який справедливий лише для точкових джерел.

Труднощі зі зміною в широких межах відношення відстаней змушує використовувати інші методи послаблення світлового потоку. До них належать:

- поглинання світла фільтрами змінної товщини (клином) або дротяними сітками;
- введення у світловий пучок круга, який обертається, з секторіальним вирізом;
- -ослаблення світла системою поляризаційних призм.

Застосування всіх цих методів вимагає дотримання обережності з тих чи тих причин. Наприклад, сектори, які обертаються змінюють по суті, не світловий потік, а час його дії. Такі методи придатні, як показали психофізичні дослідження, лише при достатній частоті мигань (закон Тальбота).

Порівнюючи тим чи тим способом освітленості, створені різними джерелами, знаходять відношення сил світла цих джерел. Якщо сила

світла одного з джерел відома (еталонне джерело), то так можна виміряти силу світла другого джерела (у вибраному напрямку). Вимірюючи силу світла джерела в різних напрямках, можна обчислити світловий потік та інші фотометричні величини. Існують також фотометри, які дозволяють визначати усереднену по всіх напрямках силу світла, а отже, і сумарний світловий потік (кульовий фотометр). У кульовому фотометрі досліджуване джерело світла поміщають всередину порожнистої кулі, внутрішня поверхня якої покрита білою матовою речовиною (наприклад, окисом магнію).

Око встановлює рівність освітленостей досить точно, якщо обидва поля мають однаковий колір. У протилежному випадку порівняння або затруднене, або часто не має смислу. Для порівняння джерел різного кольору (*гетерохромна фотометрія*) використовують результати психофізичних досліджень, які покладені в основу вимірювань. Прикладом цього є зникнення мигань при освітленні однієї площадки почергово світлом різної інтенсивності і кольору від різних джерел, якщо їх дія на око є однаковою.

Додатково необхідно опрацювати за підручниками такі питання:

1. Загальні енергетичні величини, які характеризують електромагнітне випромінювання.
2. Методи реєстрації світла. Фотоприймачі.
3. Шкала електромагнітних хвиль.
4. Зорові відчуття і фотометрія.
5. Основні фотометричні величини.
6. Зв'язок між енергетичними і фотометричними величинами.
7. Світлові вимірювання. Фотометри.
8. Прилади для вимірювання освітленості.
9. Джерела світла та їх характеристики.

2.6. Методичні рекомендації для підготовки до лабораторної роботи №5 на тему

“Дослідження інтерференції світла за допомогою біпризми Френеля”

Знати відповідь на такі запитання:

1. Чому заломлюючий кут біпризми повинен бути малим?
2. Як зміниться інтерференційна картина, якщо змінити світлофільтр?
3. Що найбільше впливає на точність вимірювання в даній роботі?
4. Що таке оптична різниця ходу?
5. Чим визначається кількість видимих інтерференційних смуг?
6. Чому вимірюється відстань між інтерференційними мінімумами, а не максимумами?
7. Якщо половинки біпризми виготовлені з двох різних сортів скла, як це вплине на спостережувані явища?
8. Чи залежить відстань між уявними джерелами від довжини хвилі світла?
9. Як впливає на інтерференційну картину: а) відстань між джерелами; б) ширина щілини ?
10. Чи змінюється за час вимірювань фаза коливань світла, яке випромінює джерело?

Інтерференцією називають явище, яке виникає при складанні хвиль, і приводить до того, що в одних місцях виникають максимуми, а в інших - мінімуми інтенсивності, тобто до перерозподілу їхньої енергії в хвильовому просторі. Необхідною умовою інтерференції хвиль однієї частоти та поляризації є їх *когерентність*, тобто збереження незмінною різниці фаз коливань протягом часу, достатнього для спостереження інтерференційної картини.

Природне світло випромінюється внаслідок атомних процесів. Процес випромінювання атомом триває дуже короткий час (не перевищує

10^{-8}с). За цей час атом випромінює певну послідовність коливань, які мають однакову фазу. Ця послідовність коливань, на протязі якої зберігається їх регулярність, називається *пакетом хвиль*. Після закінчення акту випромінювання атом знову може почати випромінювати світлові хвилі, але вже з новою початковою фазою коливань. Тому різниця фаз між випромінюванням двох незалежних атомів буде змінюватися через дуже короткі проміжки часу. Миттєві інтерференційні картини, які при цьому можуть утворитись, змінюються настільки швидко і хаотично, що можна спостерігати тільки усереднену картину, тобто, рівномірний розподіл інтенсивності.

Природне світло є некогерентним. Основна трудність у здійсненні інтерференції світла полягає в утворенні когерентних світлових хвиль. В оптиці відомі методи утворення когерентних пучків від звичайних джерел світла. Це здійснюється за допомогою поділу світлового потоку, який випромінюється одним джерелом, на дві, або більше груп світлових хвиль. Після необхідних відбивань та заломлень їм надаються такі напрямки поширення, при яких вони можуть перетинатися й інтерферувати.

Результат інтерференції визначається різницею фаз інтерферуючих хвиль в місці спостереження. Остання залежить від початкової різниці фаз коливань, а також від різниці відстаней $r_2 - r_1$, які розділяють точку спостереження від джерел кожної із хвиль (рис.1).

Джерелом, як правило, служить вузька освітлена щілина. У цьому випадку інтерференційна картина на екрані має вигляд смуг, які паралельні до щілини.

В точках, де *різниця ходу* хвиль дорівнює цілому числу довжин хвиль, отримуються максимуми. Якщо різниця ходу складає непарне число півхвиль, то матимемо мінімуми інтенсивності. Максимуми і мінімуми спостерігаються на екрані у вигляді світлих і темних смуг, паралельних між собою. Відстань на екрані Δx між двома сусідніми максимумами чи мінімумами

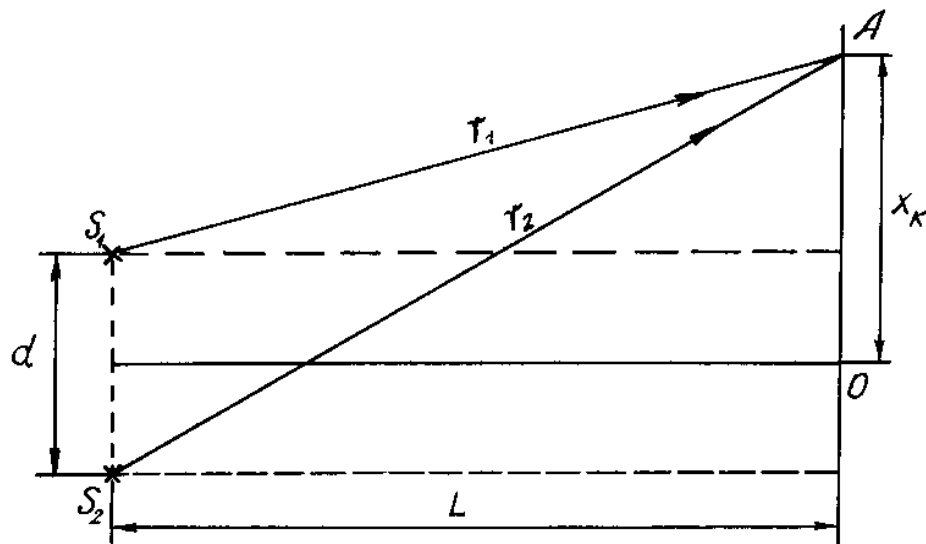


Рис. 1

$$\Delta x = \frac{L}{d_0} \lambda, \quad (1)$$

де L – відстань від джерела до екрана, d_0 - відстань між джерелами світла, λ – довжина хвилі світла. З формули випливає, що максимуми світла різних довжин хвиль займають різні положення на екрані. З дослідів по інтерференції можна знайти довжину хвилі і співставити її з кольором світла. Кожному кольору відповідає певний діапазон довжин хвиль.

При використанні білого світла спостерігаються інтерференційні спектри. При великих порядках інтерференції m відбувається перекриття спектрів, що приводить до розмивання інтерференційної картини. Умовою зникнення інтерференційної картини є: $m(\lambda + \Delta\lambda) = (m+1)\lambda$, звідки

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda}{m}. \quad (2)$$

Тобто, чим більша монохроматичність світла, тим більшу кількість максимумів m можна спостерігати. Остання залежність дає можливість визначити ширину смуги пропускання $\Delta\lambda$ світлофільтрів за допомогою вимірювання кількості видимих інтерференційних максимумів або мінімумів.

Монохроматизацію світла можна здійснювати за допомогою світлофільтрів або спектрального приладу. При цьому, звичайно, байдуже, де розміщений монохроматизуючий пристрій - перед інтерферометром чи після нього. В першому випадку зменшується спектральний інтервал світла, що інтерферує. В другому - з допомогою монохроматизатора усуваються із отриманої інтерференційної картини непотрібні ділянки спектру і на приймач попадає вже спрощена інтерференційна картина. Роль такого монохроматизатора може відігравати і безпосередньо наше око, завдяки його здатності до розрізнення кольорів. А озброївши око світлофільтром з вузькою смугою пропускання або спектроскопом, ми можемо спостерігати інтерференцію при великій різниці ходу (великих порядках інтерференції).

Проте, якщо різниця ходу інтерферуючих пучків стає більшою за довжину пакету хвиль, то в даній точці інтерференційного поля складаються хвилі, які належать до різних хвильових пакетів. А такі коливання вже не можуть інтерферувати. Різницю ходу, при якій зникає інтерференційна картина з описаного вище приводу, називають *довжиною когерентності*. Як показують досліди, довжина когерентності рідко перевищує кілька десятків сантиметрів. Неважко зрозуміти, що довжина когерентності і довжина пакету хвиль збігаються.

В усіх практичних інтерференційних схемах велике значення мають розміри джерела світла. Якщо розміри джерела були б значно меншими за довжину світлової хвилі, то завжди отримувалась би чітка інтерференційна картина, оскільки різниця ходу від довільної точки джерела до певної точки інтерференційного поля завжди була б однаковою. Проте, на практиці розміри джерела **в** значно перевищують довжину хвилі світла.

Інтерферують, як відомо, між собою хвилі, які виходять із відповідних точок, які є зображеннями однієї і тієї ж точки джерела. При протяжному джерелі світла отримується складна інтерференційна картина, створена багатьма парами когерентних джерел, які зміщені між

собою. Результиуюча інтерференційна картина є більше чи менше розмитою; а при значній ширині джерела - взагалі перестає спостерігатись.

Вплив розмірів джерела на чіткість інтерференційної картини можна виразити кількісно, виходячи із загальної інтерференційної схеми (рис.1). Якщо зміщення однієї системи інтерференційних смуг відносно іншої досягає половини відстаней між смугами Δx , то картина повністю зливається. При більшому зміщенні максимумами знову проявляються, але контрастність картини погіршується. Розрахунки показують, що повне розмиття інтерференційної картини настає тоді, коли відношення $b/\Delta x$ стає цілим числом.

2.7. Методичні рекомендації для підготовки до лабораторної роботи №6 на тему

“Інтерференція світла в тонких плівках та її практичне застосування”

Знати відповідь на такі запитання:

1. Чому інтерференція спостерігається лише у тонких плівках ?
2. Чим відрізняються кільця Ньютона у відбитому і прохідному світлі?
3. Чим може бути спричинене викривлення кілець Ньютона?
4. Як зміниться вигляд кілець, якщо простір між лінзою та пластинкою заповнити водою?
5. Чим відрізняються викривлення смуг, що відповідають подряпинам та виступам?
6. Для вимірювання яких величин використовується явище інтерференції в тонких плівках?
7. Що таке просвітлення оптики?

Окремим випадком *смуг однакової товщини* є *кільця Ньютона*, які спостерігаються при дотику плоскоопуклої лінзи великого радіусу

кривизни до плоскої пластинки (рис.). При цьому між лінзою і пластинкою утворюється повітряний зазор - плівка змінної товщини. Паралельний пучок світла падає нормально на плоску поверхню лінзи.

У цьому випадку інтерферують промені, відбиті від верхньої та нижньої меж повітряного зазору. Різниця ходу Δ між цими променями залежить від радіуса кривизни поверхні лінзи R та довжини хвилі світла λ :

$$\Delta = \frac{r^2}{R} + \frac{\lambda}{2}, \quad (1)$$

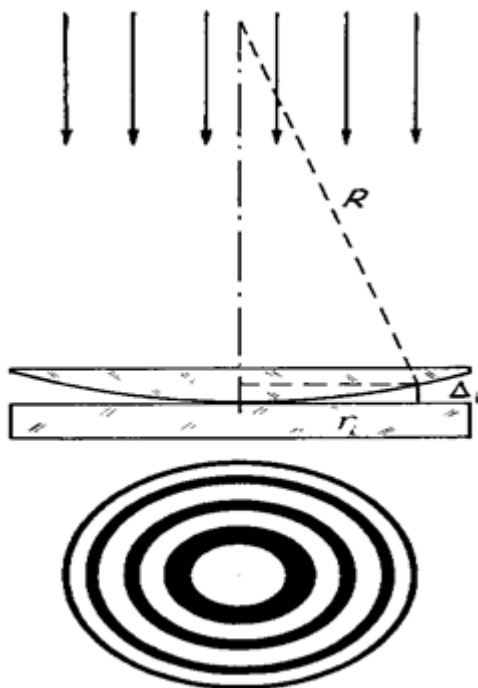


Рис. 1

де r - відстань від точки дотику до точки спостереження.

З формули (1) випливає, що радіуси світлих r_{cv} та темних r_m кілець у відбитому світлі складають:

$$r_{cv} = \sqrt{(2m+1) \frac{R\lambda}{2}}, \quad (2)$$

$$r_T = \sqrt{mR\lambda}, \quad (2')$$

де $m = 0, 1, 2, 3, \dots$ - номери кілець Ньютона.

Формули (2, 2') не можуть бути застосованими на практиці, бо в місці дотику завжди відбувається деформація пластинки і лінзи; іноді відсутнє щільне прилягання пластинки до лінзи. В цьому випадку формула (1) набуває вигляд:

$$\Delta = \frac{r^2}{R} + \frac{\lambda}{2} \pm 2\delta, \quad (3)$$

де δ - поправка на деформацію (-) або нещільність прилягання лінзи до пластинки (+).

Для двох довільних темних кілець радіусами r_m та r_n отримуємо:

$$\frac{r_m^2}{R} + \frac{\lambda}{2} \pm 2\delta = (2m+1) \frac{\lambda}{2}$$

$$\frac{r_n^2}{R} + \frac{\lambda}{2} \pm 2\delta = (2n+1) \frac{\lambda}{2}.$$

Різниця цих виразів дає зручну формулу для практичного використання:

$$\frac{r_m^2 - r_n^2}{R} = (m-n)\lambda. \quad (3)$$

За відомими радіусами двох темних кілець Ньютона r_m та r_n , їх порядковими номерами m та n і радіусом кривизни лінзи R легко знайти довжину світлової хвилі

$$\lambda = \frac{r_m^2 - r_n^2}{R(m-n)}. \quad (4)$$

Для розрахунків слід брати кільця Ньютона за межами впливу деформації. З цією метою вимірюють радіуси кілець Ньютона і будують графік $r^2 = f(m)$ (відрахунок темних кілець починається з $m=0$, тобто від самого центра інтерференційної картини). Для обчислень беруть такі значення r , які лежать поза областю впливу деформації (такі значення r , де спостерігається прямолінійна залежність між r і m).

При великих порядках інтерференції відбувається перекриття максимумів і мінімумів для різних довжин хвиль, що приводить до розмивання інтерференційної картини. Умовою зникнення високих порядків інтерференції є $m(\lambda + \Delta\lambda) = (m+1)\lambda$, звідки:

$$m = \lambda / \Delta\lambda. \quad (5)$$

Тобто, чим більша монохроматичність світла, тим більшу кількість кілець Ньютона можна спостерігати. Формула (5) дає можливість визначити смугу пропускання $\Delta\lambda$ світлофільтра за відомою кількістю m кілець Ньютона.

Додатково необхідно опрацювати за підручниками такі питання:

1. Інтерференція світла в тонких плівках.
2. Смуги однакової товщини і однакового нахилу.
3. Кільця Ньютона.
4. Шкала електромагнітних хвиль.
5. Застосування інтерференції в науці та техніці.

**2.8. Методичні рекомендації для підготовки до
лабораторної роботи №7 на тему
“Вивчення дифракції світла на круглому отворі та щілині”**

Знати відповідь на такі запитання:

1. Чим відрізняються умови спостереження дифракції Френеля від дифракції Фраунгофера?
2. Яка форма зон Френеля для випадку дифракції Фраунгофера?
3. Якою буде векторна діаграма результуючої амплітуди в точці спостереження у випадку дії двох зон Френеля?
4. Чому в другому завданні не використовується лінза, як це описано в підручниках?

Під терміном *дифракція світла* треба розуміти відхилення від прямолінійності його поширення, якщо воно не може бути пояснене як відбивання чи заломлення.

Згідно з *принципом Гюйгенс*, кожна точка фронту хвилі є джерелом вторинних хвиль. При цьому вважалося (сучасні уявлення принципово інші, але принцип виявився настільки вдалим, що використовується і тепер), що хвиля поширюється в особливому середовищі – ефірі, що заповнює простір. Тому, подібно до звукових хвиль, світло збуджує коливання ефіру, які передаються не тільки тим частинкам, що лежать на промені, а і в усі сторони. Джерела вторинних хвиль випромінюють сферичну хвилю. Поверхня, що огинає ці сфери, є нова поверхня

хвильового фронту. При цьому залишалось нез'ясованим, чому не виникає зворотна хвиля.

Френель доповнив принцип Гюйгенса ідеєю інтерференції вторинних хвиль, що дало можливість пояснити проблеми, пов'язані з інтенсивністю світлової хвилі у різних напрямках. Зокрема, відсутність зворотної хвилі пояснюється тим, що вторинні хвилі гасять зворотну хвилю, оскільки вони когерентні, а фази їх протилежні. Стало можливим також пояснення прямолінійності поширення світла. Застосований Френелем метод носить назву методу зон Френеля.

Розглянемо дію сферичної світлової хвилі, що випромінюється точковим джерелом із точки А (рис.1), в певній точці спостереження В. Згідно з Френелем обчислення результату інтерференції вторинних хвиль дуже спрощуються, якщо поділити сферичну поверхню фронту хвилі радіусом a на зони таким чином, щоб відстані від країв зон до точки В відрізнялися на половину хвилі, тобто були рівними $b + \lambda/2$, $b + 2\lambda/2$, $b + 3\lambda/2$ і т.д. В цьому випадку хвилі, що йдуть від зон з парними номерами, мають протилежні фази до хвиль, що йдуть від непарних зон. Тому інтенсивність світла в точці В визначається сукупною дією хвиль від усіх зон Френеля.

Усі зони Френеля рівновеликі за площею. Радіус k -тої зони Френеля визначається за формулою:

$$r_k = \sqrt{\frac{a \cdot b}{a + b} k \lambda}. \quad (1)$$

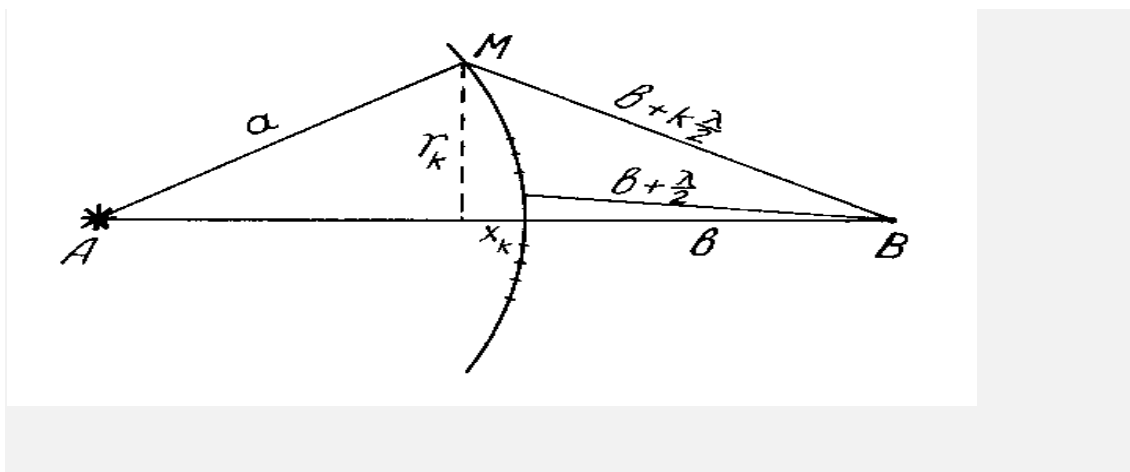


Рис. 1

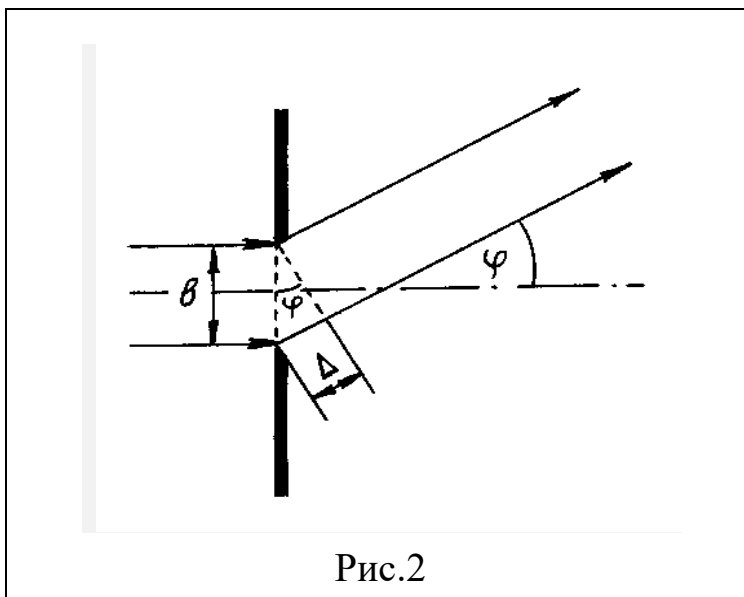
Застосування методу зон Френеля дає можливість передбачати і пояснювати дифракційні явища. Зокрема, при дифракції на круглому отворі результат інтерференції вторинних хвиль залежить від числа зон, що вкладаються в отворі. Якщо в отворі вкладається парне число зон Френеля, то в точці спостереження В буде дифракційний мінімум, а якщо непарне – максимум.

Якщо отвір вміщає лише першу зону Френеля, то амплітуда хвилі в точці В буде більша, ніж при повністю відкритому фронті хвилі. Інакше кажучи, світло від А до В поширюється так, ніби світловий потік поширюється всередині вузького каналу, переріз якого менший за переріз першої зони Френеля. Тобто світло поширюється прямолінійно від А до В.

Дифракцію паралельних променів дослідив Фраунгофер, тому вона отримала назву *дифракції Фраунгофера*. З винайденням лазерів цю дифракцію стало зручно спостерігати, оскільки лазер дає майже паралельний інтенсивний світловий пучок, з великою *часовою і просторовою когерентністю*.

Розглянемо дифракцію паралельних променів (плоскої електромагнітної хвилі) на нескінченній щілині шириною b . Як видно з рис. 2 різниця ходу Δ між крайніми променями, що проходять через щілину в напрямку кута φ , складає:

$$\Delta = b \cdot \sin \varphi, \quad (2)$$



де φ – кут дифракції. Якщо різниця ходу Δ складає парне число півхвиль, тобто в щілині вкладається парне число зон Френеля

$$\Delta = 2k \frac{\lambda}{2}, \quad (3)$$

то всі вторинні хвилі від щілини в цьому напрямку

взаємно себе погасять (дві вторинні хвилі з різницею ходу $\lambda/2$ внаслідок інтерференції дають мінімум). Отже, умова дифракційних мінімумів:

$$b \cdot \sin \varphi = \pm k \lambda. \quad (4)$$

Зауважимо, що до умови мінімумів (4) при дифракції Фраунгофера можна прийти також чисто аналітичним шляхом.

Додатково необхідно опрацювати за підручниками такі питання:

1. Принцип Гюйгенса-Френеля.
2. Дифракція Френеля.
3. Метод зон Френеля.
4. Зональна пластинка.
5. Метод векторних діаграм.
6. Дифракція Фраунгофера.

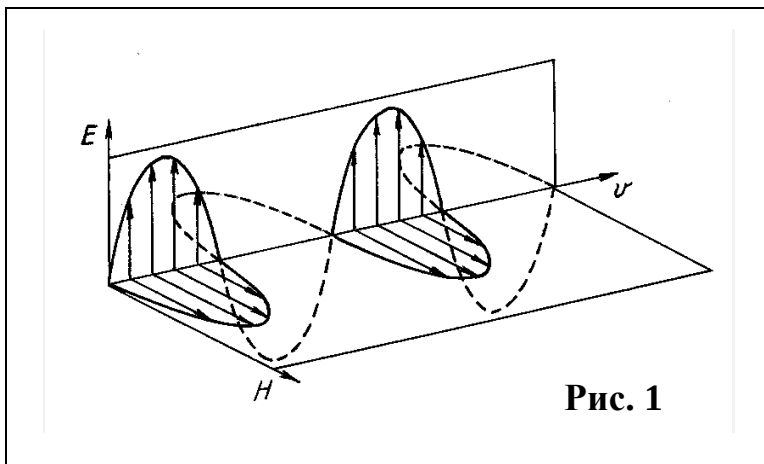
2.9. Методичні рекомендації для підготовки до лабораторної роботи №8 на тему “Вивчення поляризаційних явищ”

Знати відповідь на такі запитання:

1. Як можна встановити стан поляризації світла?
2. Що можна використати в ролі поляризатора світла?
3. Як переважно зорієнтовані коливання світлового вектора у світлі, відбитому від діелектрика?
4. Поясніть принцип дії поляризаційного світлофільтра для фотоапарата. Обґрунтуйте доцільність його застосування.
5. Опишіть стан поляризації хвильового пакету.
6. Що таке оптична анізотропія і як вона проявляється?
7. Як пояснити причину повертання площини поляризації оптично активними речовинами?
8. У чому суть ефекту Фарадея?

9. Що таке дихроїзм?
10. Як побудована призма Ніколя?
11. Як відбувається інтерференція поляризованого світла?

Як відомо, електромагнітні хвилі є поперечними. Вектори електричного $\mathbf{E}$ і магнітного $\mathbf{H}$ полів разом з напрямком площини, в якій поширюється електромагнітна хвиля, утворюють правогвинтову систему координат (рис.1).



Джерелом електромагнітних хвиль оптичного діапазону є атоми, які незалежно один від одного випромінюють світло з різними орієнтаціями векторів $\mathbf{E}$ і $\mathbf{H}$ та різними фазами

коливань. Це відбувається протягом короткого проміжку часу ($10^{-10} - 10^{-8}$ с). Як наслідок, орієнтація цих векторів у сумарному світловому потоці хаотично змінюється з часом. Тому всі напрямки коливань в площині, перпендикулярній до напрямку поширення променя, виявляються рівноправними. Таке світло називають *природнім*, або *неполяризованим* (рис.2а). Світло, в якому напрямки коливань векторів $\mathbf{E}$ і $\mathbf{H}$ яким-небудь чином впорядковані, називають *поляризованим*.

Більшість процесів, які проходять під впливом світла, зв'язані з його дією на електрони. Така взаємодія світла з речовиною визначається в першу чергу електричним полем, тобто електричним вектором $\mathbf{E}$ електромагнітної хвилі, який називають *світловим*. Дія вектора $\mathbf{H}$ безпосередньо практично не виявляється.

Якщо коливання вектора відбувається лише в одному певному напрямку, то світло називається *лінійно-*, або *плоскополяризованим* (рис. 2б).

Таким є світло, яке випромінюється окремими атомами чи молекулами в одному акті випромінювання.

Якщо ж коливання вектора E здійснюється так, що його кінець описує коло, або еліпс, то світло називається, відповідно *циркулярно-поляризованим*, або *еліптичнополяризованим*. Залежно від напрямку обертання вектора E , розділяють *праву* або *ліву* циркулярну або еліптичну поляризацію світла.

Пристрій, який поляризує світло, називається *поляризатором*. Його можна використовувати також для дослідження стану поляризації світла. Тоді його називають *аналізатором*.

Найпоширенішим є *частковополяризоване* світло. Воно складається з природної та плоскополяризованої складових (рис. 2в) і характеризується величиною, що називається *ступенем поляризації P* :

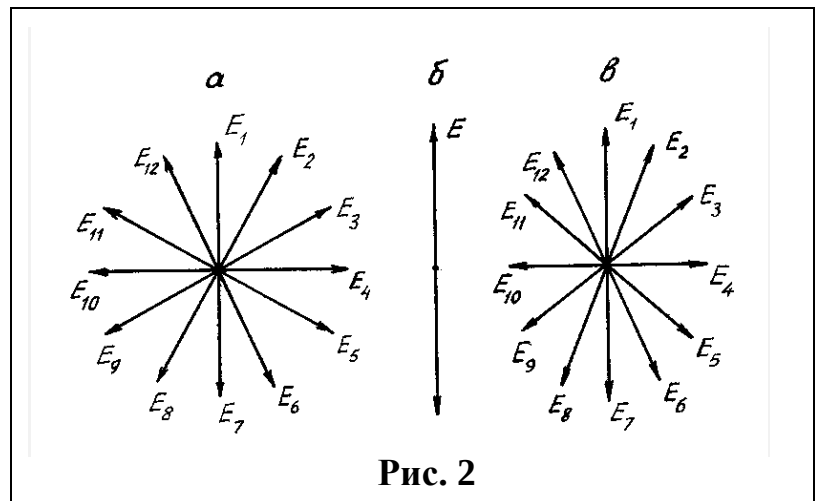


Рис. 2

$$P = \frac{I_y - I_x}{I_y + I_x}, \quad (1)$$

де I_x та I_y – інтенсивності сумарних компонент світла по відповідних осях координат. Очевидно, що для природнього світла $P=0$, а для лінійно поляризованого $P=1$, тому ступінь поляризації може приймати значення від 0 до 1.

Світло, відбите від діелектричного дзеркала, є частково поляризованим і містить коливання вектора E переважно в площині, перпендикулярній до площини падіння. Світло, відбите від діелектрика, буде повністю поляризованим, якщо виконується умова, встановлена *Брюстером*:

$$\operatorname{tg} \varphi_B = n, \quad (2)$$

де φ – кут падіння променя, або кут повної поляризації; n – показник заломлення діелектрика.

Заломлений промінь буде частково поляризованим з переважальним напрямком коливань світлового вектора в площині падіння. Для збільшення ступеня поляризації заломленого світла використовують стопу пластинок, яка розташовується під кутом Брюстера до падаючого світла.

Якщо плоскополяризоване світло проходить через поляризатор, то інтенсивність світла I при цьому визначається *законом Малюса*:

$$I = I_1 \cos^2 \alpha , \quad (3)$$

де I_1 – інтенсивність світла перед поляризатором, а I – за ним; α – кут між площиною, в якій коливається вектор E і площиною поляризатора, в якій він пропускає світло без послаблення. Можна показати, що інтенсивність повністю поляризованого світла I_1 завжди складає половину інтенсивності I_0 того пучка природнього світла, з якого одержано поляризований:

$$I_1 = \frac{I_0}{2} . \quad (4)$$

Тому закон Малюса може бути записаний

$$I = \frac{I_0}{2} \cos^2 \alpha . \quad (5)$$

При проходженні світла через *анізотропні* кристали, наприклад, ісландський шпат, кварц чи фтористий магній тощо, спостерігається *подвійне променезаломлення*. Воно полягає в тому, що із такого кристалу виходять два промені світла, які повністю поляризовані у взаємноперпендикулярних площинах. Промінь, для якого виконуються звичайні закони заломлення, називається *звичайним*. Для другого променя спостерігається ряд відхилень від законів заломлення і він називається *незвичайним*. Показник заломлення звичайного (n_o) і незвичайного (n_e) променів різний і залежить від орієнтації їх площин коливань відносно деяких напрямків у кристалі.

При проходженні плоскополяризованого світла через деякі тверді тіла (кварц) та рідини (розчин цукру, скипидар, камфора) спостерігається *повертання площини поляризації*. Такі речовини називають *оптично активними*. Кут повороту площини поляризації α залежить від природи речовини, а для розчинів - ще і від концентрації розчину c :

$$\alpha = \alpha_0 l c , \quad (6)$$

де α_0 – питома оптична активність речовини, l – шлях променя світла в оптично активній речовині.

Додатково необхідно опрацювати за підручниками такі питання:

1. Поляризація світла при відбиванні та заломленні.
2. Формули Френеля.
3. Закон Малюса.
4. Оптична анізотропія. Дихроїзм.
5. Ефект Фарадея. Штучна анізотропія.
6. Поляризаційні прилади та їх застосування.

2.10. Методичні рекомендації для підготовки до лабораторної роботи №9 на тему

“Вивчення диспергуючих елементів спектральних приладів (дифракційної ґратки та призми)”

Знати відповідь на такі запитання:

1. Яка причина того, що біле світло, яке входить в призму, виходить з неї у вигляді різнокольорової смужки, а не залишається пучком білого світла?
2. Чому фіолетове світло заломлюється сильніше, ніж червоне?
3. Що таке спектр?
4. Що називають дисперсією світла?

-
5. Чим відрізняється дифракційний спектр від спектру, створеного призмою?
 6. На що впливає значення сталої дифракційної ґратки і як?
 7. Як залежить вигляд дифракційного спектру від співвідношення ширин прозорих і непрозорих штрихів ґратки?
 8. Від чого залежить ширина спектральної лінії?
 9. Що таке спектральна ширина щілини?
 10. Які оптичні параметри ґратки залежать від її геометричних розмірів?
 11. Чому на барабанах спектральних приладів переважно не нанесені довжини хвиль світла, а деякі відносні поділки?

Серед різноманітних оптичних пристроїв особливе місце займають *спектральні прилади* (СП), які призначені не для отримання зображення об'єкта, а для дослідження спектрального складу світла, яке посиляє цей об'єкт.

СП класифікують за характером задач, які вони розв'язують. Прилад для фотографічної реєстрації спектру випромінювання називається *спектрографом*. Спостерігати спектри можна за допомогою *спектроскопа*. *Монохроматор* дає можливість виділити в спектрі деякий досить вузький інтервал і може переміщувати цей інтервал по спектру. Вимірювання розподілу енергії в спектрі виконують за допомогою *спектрофотометрів*.

Суттєву частину СП складає пристрій для розкладання світла в *спектр*. Цей пристрій називається *диспергуючим елементом* і здійснює просторове розділення світла різних довжин хвиль.

Дія СП може бути заснована на різних фізичних принципах. В *призмових* СП використовується залежність показника заломлення від довжини хвилі світла (*дисперсія*). Диспергуючим елементом *дифракційних* СП служить дифракційна ґратка. В СП *високої роздільної здатності* (інтерферометр Фабрі-Перо, інтерферометр Майкельсона) використовується

багатопроменева, або двопроменева інтерференція при великих різницях ходу. Дія *Фур'є-спектрометрів* заснована на селективній частотній і амплітудній модуляції слабого інфрачервоного випромінювання, яка виникає при зміні різниці ходу інтерферуючих пучків.

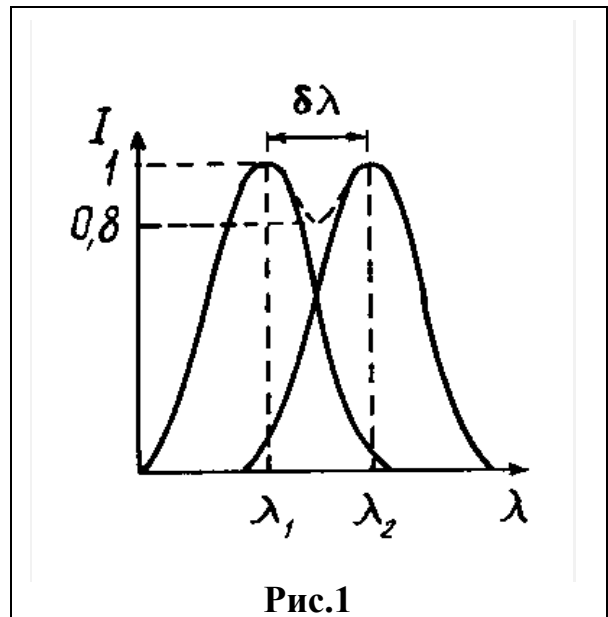
Крім диспергуючого елемента, СП повинен мати ще і фокусуючу оптику. Щілина, через яку в СП потрапляє досліджуване світло, розміщується у фокальній площині *коліматорного об'єктива*. Це зроблено для того, щоб спрямувати на диспергуючий елемент паралельний пучок світла. Після проходження диспергуючого елемента паралельні пучки різних довжин хвиль мають дещо різні напрямки поширення. Другий (*камерний*) об'єктив фокусує їх. Створені ними зображення вхідної щілини – *спектральні лінії* – отримуються у різних місцях фокальної площини камерного об'єктива. Величина просторового розділення зображень вхідної щілини (спектральних ліній) визначається насамперед кутовою дисперсією D СП:

$$D = \frac{d\varphi}{d\lambda}. \quad (1)$$

Реальні можливості СП більш чи менш детально досліджувати спектр визначаються *роздільною здатністю*. Роздільною здатністю називається відношення довжини хвилі λ до $d\lambda$ – найменшої різниці довжин хвиль двох спектральних ліній, яку СП дозволяє ще зареєструвати окремо:

$$R = \frac{\lambda}{d\lambda}. \quad (2)$$

Узагальнений критерій Релея стверджує, що спектральні лінії однакової інтенсивності містяться на межі розділення, якщо провал в сумарному контурі складає 20 %. Завдяки цьому провалу такий контур ще сприймається як подвійна спектральна лінія (рис.1).



Промінь світла, який попадає на призму, зазнає подвійного заломлення і відхиляється від початкового напрямку на кут δ (рис.2). Кут відхилення δ залежить від кута падіння i_1 і заломлюючого кута призми α . Як показують нескладні, але громіздкі обчислення, кут відхилення δ стає найменшим з можливих при симетричному ході променя через призму. В цьому випадку:

$$\sin \frac{\delta + \alpha}{2} = n \sin \frac{\alpha}{2} . \quad (3)$$

У призмових СП найчастіше має місце симетричний хід променів, бо в цьому випадку досягається найбільша роздільна здатність. Кутова дисперсія призми визначається рівнянням:

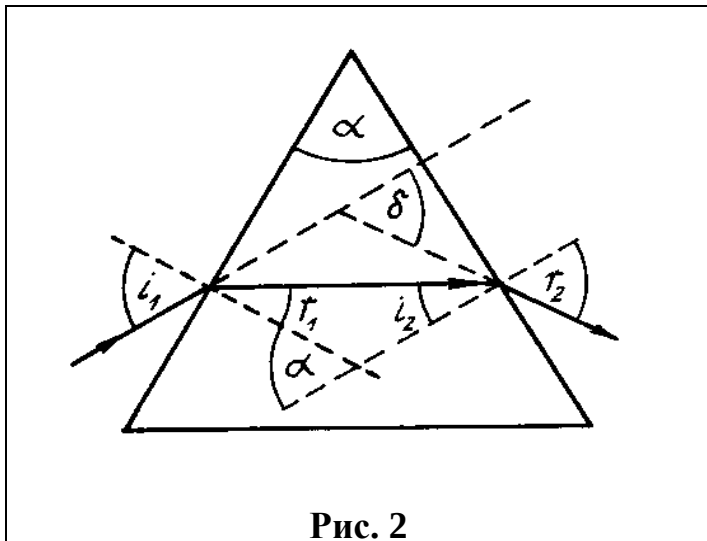
$$D = \frac{d\varphi}{d\lambda} = \frac{d\varphi}{dn} \frac{dn}{d\lambda} = \frac{l}{a} \frac{dn}{d\lambda} , \quad (4)$$

де l – довжина основи призми, a - ширина пучка світла, обмежена розмірами призми. Роздільна здатність призми визначається формулою:

$$R = \lambda / d\lambda = l \frac{dn}{d\lambda} , \quad (5)$$

тобто залежить від дисперсії показника заломлення матеріалу призми і довжини основи призми і не залежить від заломлюючого кута призми. Один із суттєвих недоліків призми полягає у швидкому зменшенні

роздільної здатності і дисперсії при просуванні в довгохвильову область спектру.



Систему близьких паралельних щілин називають *дифракційною ґраткою*. Паралельний пучок світла, який падає нормально на ґратку, дифрагує на кожній такій щілині.

Паралельні пучки світла від усіх щілин

збираються лінзою в її фокальній площині й інтерферують, утворюючи головні дифракційні максимуми і мінімуми.

Всі світлові промені, які виходять у напрямку нормалі до ґратки, збираються в центрі фокальної площини лінзи і формують *нульовий дифракційний максимум*. Промені, які складають кут φ з нормаллю до ґратки, внаслідок інтерференції утворюють ряд дифракційних максимумів, які задовільняють умову:

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

де d – період ґратки, k – порядок дифракційного максимуму.

При освітленні ґратки світлом певного спектрального складу, кожному значенню k буде відповідати дифракційний спектр. При $k=0$ виникає нульовий дифракційний максимум такого ж спектрального складу як і падаюче світло. Симетрично по обидві сторони від нульового максимуму утворюються дифракційні спектри вищих порядків. Отже, дифракційна ґратка виконує роль диспергуючого пристрою.

Кутова дисперсія дифракційної ґратки в спектрі k -го порядку складає:

$$D = \frac{k}{d \cos \varphi}, \quad (7)$$

а роздільна здатність:

$$\frac{\lambda}{d\lambda} = kN, \quad (8)$$

де N – загальне число штрихів ґратки. Її роздільна здатність у спектрі k -го порядку визначається повним числом штрихів, на відміну від дисперсії, яка залежить від періоду ґратки d .

Додатково необхідно опрацювати за підручниками такі питання:

1. Принцип Гюйгенса-Френеля.
2. Дифракція Фраунгофера.
3. Дифракційна ґратка.
4. Дисперсія світла.
5. Заломлення світла в призмі.

2.11. Методичні рекомендації для підготовки до лабораторної роботи №10 на тему

“Дослідження поглинання світла в рідинах і твердих тілах”

Знати відповідь на такі запитання:

1. Чим визначається колір розчину; кольорових світлофільтрів?
1. Коли тіло здається чорним?
2. Чому небо здається блакитним? Чому Сонце здається червоним при сході або заході?
3. Якого кольору є розчин, який має смугу поглинання в синьо-зеленій області спектру?
4. Поясніть, чому зелений капелюх здається чорним у червоному світлі.

5. Що таке доповнювальні кольори?
6. Вкажіть фізичні основи маскування і демаскування.
7. Чим визначається насиченість кольорів?
8. Чому прозоре тіло на просвіт і на відбивання такого ж кольору?
9. Опишіть фізичні основи якісного та кількісного адсорбційного спектрального аналізу.
10. Чи залежать спектри поглинання даної речовини від її агрегатного стану?
11. Чи залежать спектри поглинання тіл від температури і як?
12. Поясніть поглинання світла з точки зору квантової теорії.
13. Чому в довгохвильовій області не використовують електричний сигнал від фотоелемента?
14. У якій області спектру поглинає теплозахисний фільтр колориметра?
15. Що таке центри забарвлення кристалів?
16. Коштовні камені та спектри поглинання. Знайдіть зв'язок.

При поширенні в речовині інтенсивність світла поступово зменшується. Це явище називається *поглинанням світла речовиною*. Воно пов'язане із перетворенням енергії світлової хвилі на інші види енергії, внаслідок взаємодії світла з речовиною.

Ще у 18 столітті Бугер та Ламберт встановили, що інтенсивність I_0 плоскої монохроматичної хвилі після проходження крізь шар d поглинаючої речовини, зменшується за законом:

$$I = I_0 \exp(-\alpha d), \quad (1)$$

де α – коефіцієнт поглинання, який залежить від довжини хвилі світла, хімічної природи та агрегатного стану речовини, і не залежить від інтенсивності світла.

При вимірюваннях поглинання світла необхідно враховувати, що:

а) інтенсивність зонduючого світла, яке випромінюється джерелом, є функцією довжини хвилі, тобто інтенсивність світла різних кольорів є різною;

б) чутливість фотоприймача є також функцією довжини хвилі, тобто освітлення приймача світлом різного кольору і однакової інтенсивності викликає фотострум різної величини;

в) частина світла відбивається на границях між середовищами, а також поглинається розчинником.

Уплив перелічених факторів у випадку розчинів можна усунути одночасно, якщо при вимірюваннях застосувати метод порівняння. Він полягає у використанні двох однакових кювет, з яких одна містить досліджуваний розчин, а друга - чистий розчинник.

У випадку твердих тіл вплив цих факторів зменшується, якщо вимірювати інтенсивності світла I_1 та I_2 , яке пройшло через два різні за товщиною d_1 та d_2 шари речовини. Відношення цих інтенсивностей зв'язане з коефіцієнтом поглинання, як

$$\frac{I_1}{I_2} = \exp[\alpha(d_2 - d_1)], \quad (2)$$

що дає можливість вирахувати значення α для певної довжини хвилі.

При вимірюваннях поглинання розчинів світло один раз пропускають через кювету із розчинником і знаходять I_0 , а другий раз світло проходить через таку ж кювету із розчином і отримують значення I . Коефіцієнт поглинання обчислюють за формулою:

$$\alpha = \frac{1}{d} \ln\left(\frac{I_0}{I}\right) = \frac{D}{d}, \quad (3)$$

де D – оптична густина. Оскільки коефіцієнт поглинання є функцією довжини хвилі, то, як правило, його значення приводять у вигляді таблиць або графіка (спектр поглинання).

Гази мають лінійчасті спектри поглинання. Рідини та тверді тіла володіють суцільними спектрами поглинання, які складаються з порівняно

широких смуг, в межах яких коефіцієнт змінюється плавно. За межами смуг поглинання діелектрики прозорі ($\alpha = 0$).

Як і спектри випромінювання, спектри поглинання використовуються при спектральному аналізі для виявлення та ідентифікації речовин.

Вибірковим поглинанням пояснюється забарвлення в прохідному світлі різних прозорих тіл. Це явище використовується при виготовленні світлофільтрів.

Коефіцієнт поглинання розчинів пропорційний концентрації розчину c :

$$\alpha(\lambda) = bc, \quad (4)$$

де b – деяка стала. Цю залежність називають законом Бера. Закон Бера справедливий тільки для розведених розчинів. Його використовують для визначення концентрації забарвлених розчинів.

При виготовленні світлофільтрів важливим є спектр поглинання скла, з якого формують світлофільтр. Параметри оптичного скла регулюються державними стандартами. При використанні світлофільтрів зручною є така їх характеристика, як спектр пропускання:

$$\tau(\lambda) = \frac{I}{I_0}. \quad (5)$$

Додатково необхідно опрацювати за підручниками такі питання:

1. Поглинання світла. Коефіцієнт поглинання.
2. Закон Бугера-Ламберта-Бера.
3. Колір речовини.
4. Оптичні явища в атмосфері.

3. МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Методичні поради до самостійного розв'язування задач

З-поміж інших важливих завдань при вивченні фізики є формування у студентів умінь самостійно здобувати знання, використовуючи підручники, довідкову та методичну літературу, а також застосовувати здобуті знання для розв'язування фізичних задач, щоб глибше зрозуміти фізичні явища та їх взаємозв'язок і вміти використовувати математичні співвідношення, що базуються на фундаментальних законах природи.

Для майбутнього вчителя фізики дуже важливо вміти розв'язувати задачі з фізики. Основи цих умінь закладаються на практичних заняттях з оптики та під час самостійного розв'язування задач (різного ступеня складності) у позааудиторний час.

Відомо, що для розв'язування кожної задачі потрібно мати певні вміння проводити аналіз фізичної ситуації, викладеної в її умові. Для цього часто необхідні знання та вміння не тільки з фізики, але і з математики, креслення тощо.

Способів розв'язування конкретної задачі може бути декілька. Розв'язування задач є складним творчим процесом, який вимагає мобілізації мислення, зосередження і наполегливості. Однак при розв'язуванні задач можна встановити і певну наступність в цьому процесі.

Вважаємо, що найраціональнішим є такий порядок дій:

1. Уважно прочитати умову задачі (може і двічі). Зробити короткий запис умови задачі, виразивши всі числові величини в одиницях СІ, записати необхідні для даної задачі табличні значення величин. Також записати потрібні фундаментальні фізичні сталі —

гравітаційну сталу, швидкість поширення світла у вакуумі, універсальну газову сталу тощо.

2. Відповідно до умови задачі виконати малюнок або схему. На малюнку (чи схемі), зробленому достатнього розміру, вказати всі відомі величини, побудувати відповідні зображення та хід променів.
3. Провести аналіз фізичного явища, описаного в умові задачі.
4. Розв'язати одержану систему рівнянь в загальному вигляді відносно невідомої шуканої величини, пов'язавши її з величинами, заданими в умові. Таку формулу називають розв'язком задачі в загальному вигляді. Одержавши відповідь у загальному вигляді, треба перевірити одиницю шуканої величини. Для цього у праву частину отриманої формули підставляють основні одиниці відомих величин і шляхом алгебраїчних перетворень переконуються у правильності одиниці знайденої величини.
5. Обчислити шукану величину, підставляючи у формулу числові значення фізичних величин в СІ. Винятки допускаються у випадку однорідних величин, які стоять у чисельнику та знаменнику.
6. Зробити оцінку реальності одержаної числової відповіді. У багатьох випадках така оцінка допоможе встановити помилковість одержаного результату.
7. Перевірити одержане значення величини із відповіддю, яка подана у задачнику.
8. Розглянути інші можливі варіанти розв'язання задачі. Встановити який із них раціональніший. Це формує навички аналітичного міркування і винахідливості.

3.1. Геометрична оптика. Закони відбивання та заломлення

Задачі на поширення і відбивання світла можна поділити на такі групи:

- задачі на утворення тіні і напівтіні;
- задачі на відбивання світла від дзеркал: плоского, увігнутого, опуклого;
- задачі на систему дзеркал.

Задачі можуть бути на побудову і розрахунки.

Приклади розв'язування задач

1. Джерело світла діаметром 20 см, розташоване на відстані 2 м від екрана. На якій мінімальній відстані від екрана треба розташувати м'яч радіусом 4 см, щоб він не утворював на екрані тіні, а давав тільки півтінь? Пряма, яка з'єднує центр джерела світла і центр м'яча, перпендикулярна до екрана.

Розв'язання. На рис. 1 відрізками AB і NM показано діаметри джерела і м'яча, які паралельні площині екрана. Трикутники ABC і MNC подібні. З подібності трикутників маємо:

$$\frac{D}{L} = \frac{d}{l}.$$

Отже, $l = \frac{Ld}{D} = 0,8 \text{ м.}$

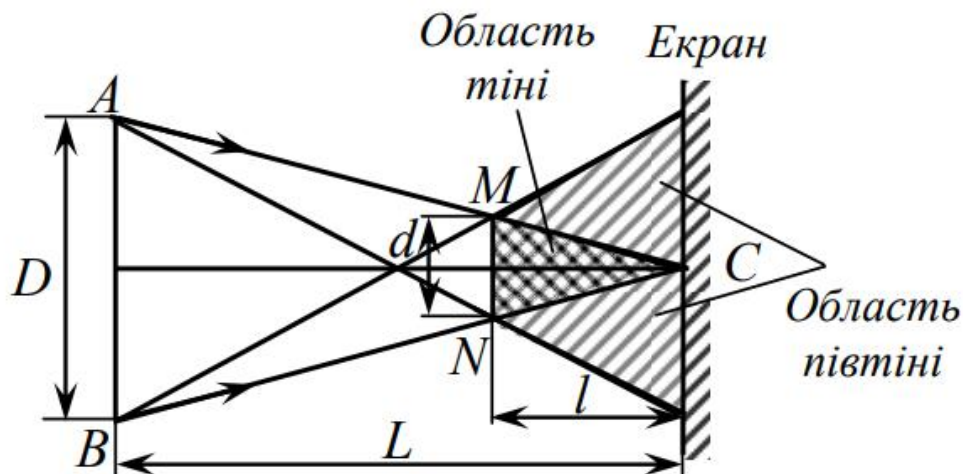


Рис. 1

2. Точкове джерело світла S , розташоване на однаковій відстані від двох плоских дзеркал, які утворюють двогранний кут $\varphi = 2\pi/n$, де n – ціле число (рис. 2). Скільки зображень джерела отримують в дзеркалах?

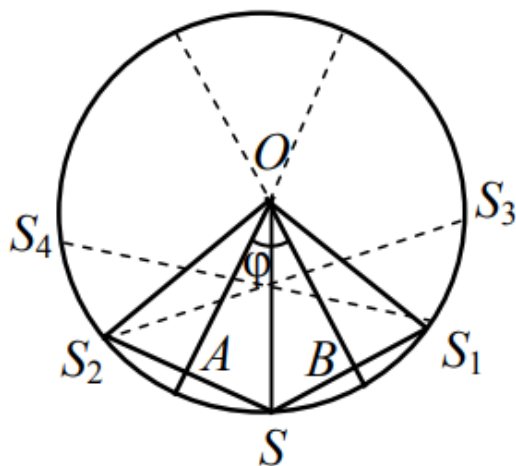


Рис. 2

Розв'язання.

Очевидно, що уявне зображення джерела світла, яке дає одне із дзеркал, є джерелом для іншого дзеркала і т. д. Оскільки трикутники SOA , SOB , BOS_1 , AOS_2 рівні, рівними будуть і трикутники SOS_1 , SOS_2 , S_1OS_3 , S_2OS_4 і т. д. Отже, джерело світла і всі його зображення

будуть лежати на колі із центром у точці O . Точка S і всі її зображення S_1 , S_2 , S_3 ,... розіб'ють коло на n рівних частин, тобто кожному центральному куту φ буде відповідати зображення джерела світла. До уваги не беремо тільки точку, у якій міститься джерело S . Тому кількість зображень $k = \frac{360}{\varphi} - 1$.

3. На скляну призму з показником заломлення $\theta = 50^\circ$ падає під кутом $\varepsilon_1 = 30^\circ$ промінь світла. Визначити кут відхилення проміння призмою, якщо показник заломлення скла дорівнює 1,56.

Розв'язання. Цю задачу доцільно розв'язувати не в загальному

вигляді, як прийнято, а поетапно, виконуючи всі проміжні обчислення. У цьому випадку ми трохи програємо в точності розрахунків, але виграємо в наочності та простоті обчислень. З рис. 3 видно, що кут відхилення $\sigma = \gamma + \gamma'$, а кути γ і γ' просто виражаються через кути ε_1 , ε'_2 , ε_2 , ε'_1 , які послідовно і будемо обчислювати:

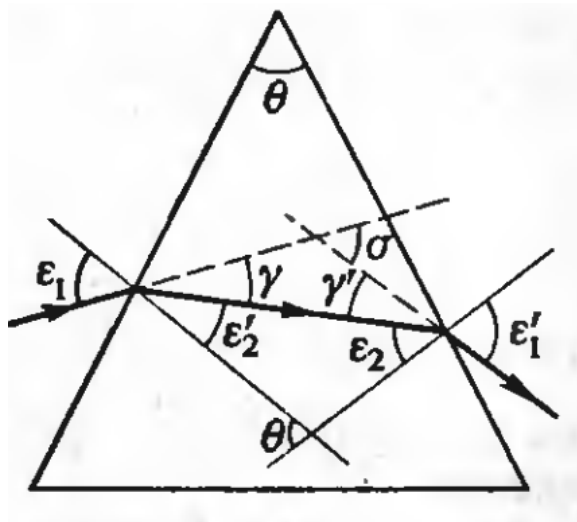


Рис. 3

1) із закону заломлення $\sin \varepsilon_1 / \sin \varepsilon'_2$ маємо

$$\varepsilon'_2 = \arcsin\left(\frac{\sin \varepsilon_1}{n}\right) = 18,7^\circ;$$

2) з рис. 3, видно, що кут падіння ε_2 на другу грань призми дорівнює $\varepsilon_2 = \theta - \varepsilon'_2 = 31,3^\circ$.

Кут ε_2 менший, ніж граничний ($\varepsilon_{2\text{гран}} = \arcsin(1/n) = 39,9^\circ$), тому на другій грані промінь заломиться і вийде з призми;

3) оскільки $\sin \varepsilon_2 / \sin \varepsilon'_1 = 1/n$, то $\varepsilon'_1 = \arcsin(n \sin \varepsilon_2) = 54,1^\circ$.

Тепер знайдемо кути γ і γ' :

$$\gamma = \varepsilon_1 - \varepsilon'_2 = 11,3^\circ, \quad \gamma' = \varepsilon'_1 - \varepsilon_2 = 22,8^\circ.$$

Враховуючи, що $\sigma = \gamma + \gamma'$, знаходимо $\sigma = 34,1^\circ$.

Задачі для самостійної роботи

- 1.1. Кут між двома плоскими дзеркалами, які дотикаються між собою, дорівнює 120° . На одне дзеркало спрямовано світловий промінь під кутом 50° , який, відбиваючись від нього, потрапляє на інше. Визначте кут, під яким відіб'ється промінь від другого дзеркала.

70°

- 1.2. Світловий промінь нормально падає на плоске дзеркало. Визначте кут, на який кут повернеться світловий промінь після того, коли дзеркало повернуть на 25° , відносно осі, перпендикулярної до дзеркала.

50°

- 1.3. У вимірювальному приладі як стрілку використовують світловий промінь, котрий відбивається від плоского дзеркала. Визначте кут повороту дзеркала за умови, що відбитий промінь зсунувся за шкалою на 3,14 мм. Відстань від шкали до дзеркала – 18 см.

$0,5^\circ$

- 1.4. Визначте кут над горизонтом Сонця, якщо для освітлення дна глибокої криниці необхідно нахилити дзеркало на кут 25° до вертикалі.

40°

- 1.5. Як треба розташувати два плоскі дзеркала, щоб промінь, який падає і промінь, який відбився від обох дзеркал, були паралельні між собою при довільному куті падіння?
- 1.6. Предмет наближається до плоского дзеркала з швидкістю 2 м/с. Визначте, з якою швидкістю цей предмет наближається до свого зображення в дзеркалі.

4 м/с

- 1.7. Плоскі прямокутні дзеркала утворюють двогранний кут $\varphi=178^\circ$. На відстані 0,1 м від лінії дотику дзеркал і на рівній відстані від кожного з них розташоване точкове джерело світла. Знайдіть відстань між уявними зображеннями в дзеркалах.
- 1.8. Відомо, що світло потрапляє на межу поділу двох прозорих середовищ під кутом 35° і заломлюється під кутом 25° . Визначте кут заломлення, якщо промінь буде падати під кутом 70° .

43,6°

- 1.9. Промінь світла переходить із гліцерину у воду. Обчислити кут заломлення променя, якщо кут падіння на границю розділу середовищ складає 30° .

33,7°

- 1.10. За якого кута до горизонту бачить плавець, який пірнув у воду, Сонце, що заходить?

41,4°

- 1.11. У дно водоймища забитий стовп заввишки 1 м, який повністю розміщується під водою. Визначте, яку тінь утворює стовп на дні, за умови, що сонячні промені потрапляють на поверхню води під кутом 30° .

0,86 м

- 1.12. Швидкість світла в деякій рідині дорівнює $2,4 \cdot 10^5$ км/с. На цю рідину під кутом 28° до поверхні з повітря потрапляє світловий промінь. Знайдіть кут заломлення.

1.13. Відносний показник заломлення для двох середовищ дорівнює $\sqrt{3}$.
Визначте кут падіння за умови, що кут між заломленим та відбитим променями дорівнює 90° .

60°

1.14. Кут падіння пучка паралельних променів на воду дорівнює 30° .
Ширина пучка у повітрі 40 мм. Визначте, яку ширину має пучок у воді?

37.4 мм

1.15. У дно озера, глибина якого дорівнює 1,6 м забита паля, яка виступає з води на 0,4 м. Знайдіть довжину тіні, яку утворює паля на дні озера за кута падіння сонячних променів 45° .

1,4 м

1.16. Чому, якщо ми сидимо біля багаття, бачимо на другій його стороні предмети такими, що коливаються?

1.17. Чому тяжко поцілити в рибу, стріляючи в неї з гвинтівки з берега, якщо вона розміщується навіть на глибині кілька десятків сантиметрів?

1.18. Встановіть умову, за якої світло, переходячи із даного прозорого середовища в інше, не заломлюється.

1.19. Визначте граничний кут падіння, за якого відбувається повне внутрішнє відбивання в алмазі, який міститься в повітрі.

24°

1.20. Визначте граничні кути повного внутрішнього відбивання для меж поділу: а) скло-повітря; б) скло-вода. Уважайте, що значення показника заломлення скла 1,62.

38°; 55°

1.21. На поверхню скляної ($n=1,6$) пластинки завтовшки 38 мм падає промінь світла під кутом 55° . Визначте зміщення променя відносно початкового напрямку після проходження ним пластинки.

15.5 мм

- 1.22. Вузький пучок світла, який падає на розташований горизонтально аркуш паперу під кутом 30° , створює на ньому світлову пляму. Визначте величину зсуву цієї плями, якщо на аркуш покласти плоскопаралельну скляну ($n=1,5$) пластинку завтовшки 44 мм?

8 мм

- 1.23. Чому глибина ріки здається меншою від істинної?

- 1.24. Якщо дивитись на дно озера у вертикальному напрямку зверху вниз, то глибина здається 85 см. Визначте дійсну глибину озера.

64 см

- 1.25. На призму із деякого прозорого матеріалу із заломлюваним кутом 57° падає промінь світла. Знайдіть показник заломлення цього матеріалу, якщо за симетричного ходу променя у призмі кут відхилення дорівнює 40° .

- 1.26. Пучок світла падає нормально на бічну грань трикутної призми (заломлюючий кут 40° , $n=1,5$). Визначте, на який кут відхилиться промінь після проходження через призму.

- 1.27. Встановіть межі можливої зміни кута відхилення променя за допомогою скляної ($n=1,52$) призми із заломлюваним кутом 60° .

- 1.28. Визначте величину заломлюваного кута призми, якщо цей кут дорівнює куту мінімального відхилення променя для цієї призми. Знайдіть показник заломлення матеріалу призми, за якої ця умова виконується.

3.2. Сферичні дзеркала

Задачі цієї теми поділяють на такі групи:

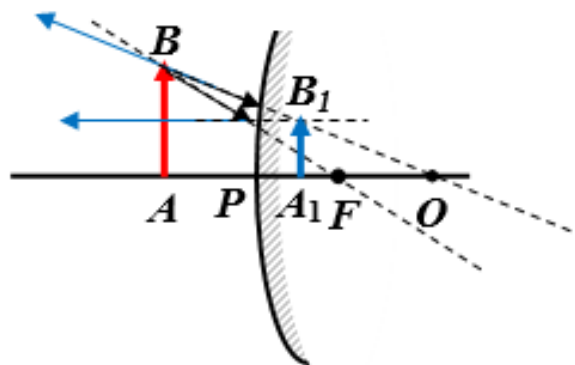
- задачі на відбивання світла на сферичній межі поділу середовищ;
- задачі на побудову ходу променів та зображення предметів у окремих сферичних дзеркалах;
- задачі на знаходження положень дзеркал та їх характерних точок і ліній за відомими положеннями тіл та їх зображень.

Приклади розв'язування задач

1. В опуклому дзеркалі дорівнює 80 см. На відстані 1 дм від дзеркала розташували об'єкт заввишки 20 мм. Знайдіть відстань від дзеркала та висоту зображення.

Розв'язання.

Спочатку побудуємо зображення об'єкта AB (червона стрілка). Для цього з точки B проведемо промінь, продовження якого проходить через центр кривизни дзеркала O . У такому випадку кут падіння і відповідно, кут відбивання дорівнюють 0° . Це означає, що падаючий і відбитий промінь лежать на одній прямій. Інший промінь з точки B проведемо так, щоб його продовження проходило фокус F ($PF=R/2$). Відбитий у цьому випадку промінь піде паралельно до головної оптичної осі. Точка перетину продовжень цих двох відбитих променів B_1 і є зображенням точки B . Відповідно, A_1B_1 і є зображенням (уявним) об'єкта AB .



Запишемо формулу сферичного дзеркала:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{2}{R}.$$

Ураховуючи, що дзеркало опукле, а зображення – уявне, цю формулу перепишемо із врахуванням знаків:

$$\frac{1}{a} - \frac{1}{b} = -\frac{2}{R}.$$

$$\text{Звідси знаходимо } b = \frac{Ra}{R+2a} = \frac{0,8 \cdot 0,1}{0,8+0,2} = 0,08 \text{ м.}$$

Для визначення висоти зображення, розглянемо трикутники ABO та A_1B_1O . очевидно, що ці трикутники подібні. Тому $A_1B_1/AB = A_1O/AO$.

$$\text{Отже, } A_1B_1 = A_1O \cdot AB/AO = (0,8-0,08) \cdot 0,02/0,9 = 0,016 \text{ м.}$$

Задачі для самостійної роботи

- 2.1. Визначте відстань, на якій відносно дзеркала з радіусом кривизни 0,9 м треба розташувати яскраве джерело світла, щоб отримати оптичну систему, яка є прожектором.

0,45 м

- 2.2. На горизонтально розміщене вгнуте дзеркало з радіусом кривизни 1,8 м потрапляють сонячні промені. Визначте, де відносно дзеркала зберуться сонячні промені, за умови, що Сонце знаходиться під кутом 30° над горизонтом.

на 1,56 м від осі дзеркала по горизонталі у протилежний бік від Сонця; на 0,9 м від полюса дзеркала вверх

- 2.3. Значення радіуса кривизни вгнутого сферичного дзеркала 3,4 дм. На відстані 5,1 дм від дзеркала розташований об'єкт заввишки 10 мм. Визначте відстань зображення до дзеркала і його висоту. Зробіть рисунок.

25,5 см; 0,5 см

- 2.4. Маленька електрична лампочка розташована на відстані 24 см від полюса вгнутого дзеркала із фокусною відстанню 18 см. Визначте, де потрібно поставити екран, щоб на ньому побачити чітке зображення розжареного волоска.

72 см

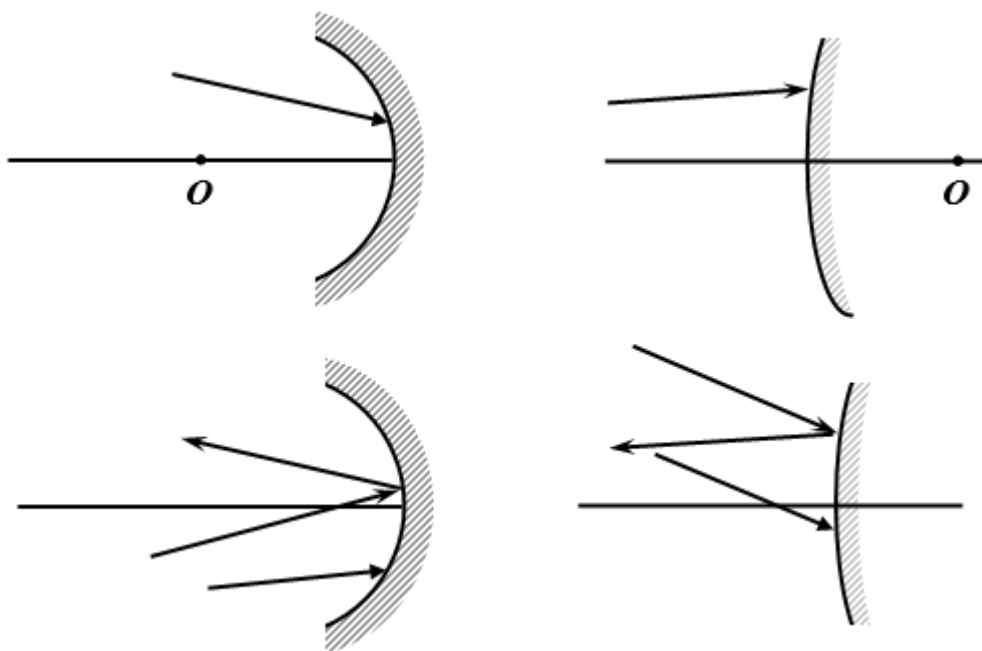
- 2.5. При допомозі вгнутого сферичного дзеркала на екрані отримали зображення деякого об'єкта, яке є більшим у 4 рази. Відстань між об'єктом і дзеркалом 30 см. Визначте радіус кривизни дзеркала.

48 см

- 2.6. Значення фокусної відстані вгнутого сферичного дзеркала 0,2 м. За умови, що з допомогою цього дзеркала отримують дійсне зображення об'єкта, яке зменшене втричі, визначте відстань від об'єкта до дзеркала.

80 см

- 2.7. Побудуйте подальший хід променя:



- 2.8. Значення радіуса кривизни вгнутого дзеркала 0,36 м. З його допомогою отримали дійсне і збільшене удвічі зображення. Знайдіть положення об'єкта відносно дзеркала.

0,27 м

- 2.9. Визначте положення об'єкта, за якого його зображення у вгнутому дзеркалі із радіусом кривизни 36 см буде уявним і збільшеним вдвічі.

9 см

2.10. За допомогою вгнутого сферичного дзеркала із радіус кривизни 36 см, хочуть отримати дійсне зображення в половину натуральної величини. Де треба розташувати об'єкта і де отримується зображення?

54 см; 27 см

2.11. Вгнуте сферичне дзеркало дає на екрані збільшене у 8 разів зображення об'єкта, котрий знаходиться на відстані 45 см від дзеркала. Знайдіть фокусну відстань і радіус кривизни цього дзеркала.

40 см; 80 см

2.12. При голінні чоловік бачить своє обличчя збільшеним у 1,6 раза у вгнутому сферичному дзеркалі, яке розташоване на відстані 24 см. Визначте радіус кривизни дзеркала.

0,29 м

2.13. Знайдіть фокусну відстань вгнутого сферичного дзеркала за умови, що дійсне зображення об'єкта збільшене у 4 рази. Відстань між об'єктом і його зображенням – 12 см.

1,92 см

2.14. На відстані 120 см від опуклого сферичного дзеркала з радіусом кривизни 60 см розташований світний об'єкт. Знайдіть відстань від зображення цього об'єкта до дзеркала.

24 см

2.15. Визначте, якою є відстань від зображення об'єкта у вгнутому сферичному дзеркалі радіусом кривизни 80 см до дзеркала, якщо об'єкт розташований на відстані 60 см від нього? Якої величини отримується зображення, якщо об'єкт має висоту 3 см? Зобразіть це рисунком.

1,2 м; 6 см

2.16. Визначте якою є відстань від зображення об'єкта в опуклому сферичному дзеркалі радіусом кривизни 80 см до дзеркала, якщо об'єкт розташований на відстані 60 см від нього? Якої величини

отримаєте зображення, якщо об'єкт має висоту 3 см? Зобразіть це рисунком.

24 см; 1,2 см

2.17. На відстані 12 см від посрібленої ялинкової кулі діаметром 8 см розміщена ялинкова голка довжиною 1 см. Голка зорієнтована перпендикулярно до осі симетрії кулі, яка проходить через середину голки. Визначити, де розміщене зображення голки та його розмір.

1,71 см; 0.14 см

2.18. В опуклому сферичному дзеркалі отримується зменшене в 10 разів зображення об'єкта, який розміщений на відстані 180 см від дзеркала. Визначте радіус кривизни цього дзеркала.

40 см

2.19. У результаті падіння збіжного пучка променів на опукле сферичне дзеркало (радіус кривизни 54 см), відбиті промені перетинатимуться на його головній оптичній осі. Відстань від точки перетину цих променів до дзеркала складає 20 см. Визначте, де будуть перетинатися промені, якщо забрати дзеркало.

11,5 см

2.20. Збіжний пучок променів падає на опукле дзеркало так, що точка перетину продовження цих променів знаходиться на відстані 24 см від нього. Після відбивання ці промені перетинають оптичну вісь на відстані 0,6 м від дзеркала. Знайдіть фокусну відстань дзеркала.

-40 см

3.3. Лінзи. Оптичні системи. Зір та кореляція його недоліків

Задачі цієї теми поділяють на такі види:

- задачі на заломлення світла на сферичній межі поділу середовищ;
- задачі на побудову ходу променів та зображення об'єктів у окремих лінзах;
- задачі на визначення положення лінзи та їх характерних точок і ліній за відомими положеннями об'єктів та їх зображень;
- задачі на складні оптичні системи, що складаються із систем лінз чи лінзи і дзеркала;
- задачі на кореляцію недоліків зору.

Приклади розв'язування задач

1. Оптична система становить тонку плоско-випуклу скляну лінзу, випукла поверхня якої посрібнена. Визначте головну фокусну відстань f такої системи, якщо радіус кривизни R сферичної поверхні лінзи дорівнює 60 см.

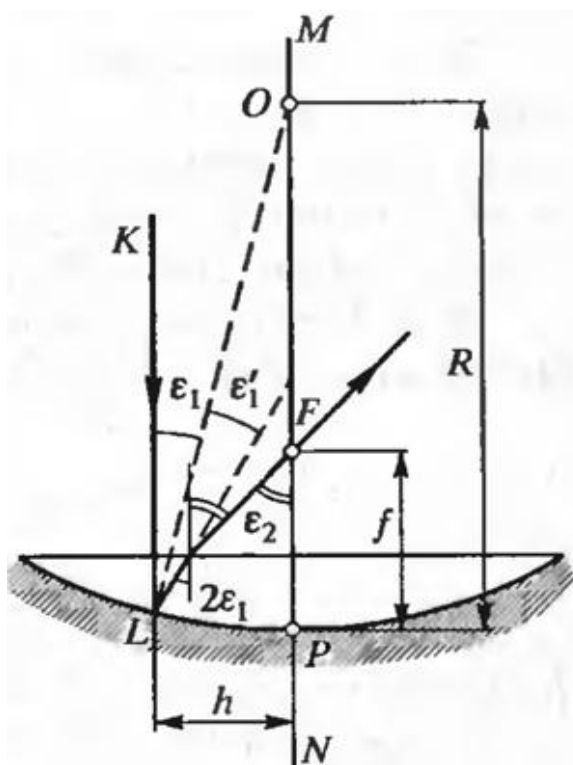


Рис. 1

Розв'язання. Нехай на лінзу падає параксіальний промінь KL , який є паралельним до головної оптичної осі MN лінзи (рис. 1). Оскільки промінь K перпендикулярний плоскій поверхні лінзи, то він проходить її без заломлення. На сферичну поверхню промінь потрапляє у точці L під кутом ε_1 і відбивається від неї під кутом $\varepsilon'_1 = \varepsilon_1$. Відбитий промінь падає на межу плоскої поверхні лінзи під кутом $2\varepsilon_1$ і при виході з лінзи перетинає головну

оптичну вісь у точці F , утворюючи з віссю кут ε_2 . Довжина отриманого при цьому відрізка FP і дорівнює шуканій фокусній відстані розглядуваної оптичної системи. Якщо врахувати, що в силу параксіальності променя KL кути ε_1 і ε_2 малі, а їх синуси і тангенси практично рівні самим кутам, вираженим у радіанах, то з рис. 1 випливає

$$f = \frac{h}{\varepsilon_2} = \frac{R\varepsilon_1}{\varepsilon_2}.$$

Співвідношення $\varepsilon_1/\varepsilon_2$ кутів знайдемо, користуючись законом заломлення світла, який у нашому випадку записується у вигляді $2\varepsilon_1/\varepsilon_2 = 1/n$, звідки $\varepsilon_1/\varepsilon_2 = 1/2n$. Таким чином, фокусна відстань $f = \frac{R}{2n}$.

Такий же результат можна отримати і з формальних міркувань. Оскільки промінь KL послідовно перетинає лінзу, далі відбивається від вгнутого дзеркала і знову проходить через лінзу, то дану оптичну систему можна розглядати як центровану, яка включає щільно складені дві плоско-випуклі лінзи і сферичне дзеркала. Значення фокусної відстані оптичної системи знайдемо за формулою $f=1/D$, де D – оптична сила системи.

Враховуючи, що D дорівнює алгебраїчній сумі оптичних сил окремих компонентів системи. У нашому випадку

$$D = (n - 1)\frac{1}{R} + \frac{2}{R} + (n - 1)\frac{1}{R} = \frac{2}{R},$$

що збігається із результатом, отриманим вище.

Задачі для самостійної роботи

3.1. Значення фокусної відстані тонкої двоопуклої лінзи дорівнює 75 см. Визначте оптичну силу цієї лінзи.

1,33 дптр

3.2. Значення фокусної відстані тонкої двовгнутої лінзи становить 50 см. Визначте оптичну силу цієї лінзи.

-2дптр

3.3. Як у сонячний день можна знайти значення фокусної відстані збиральної лінзи, маючи лише лінійку?

- 3.4. Обчисліть значення фокусної відстані двоопуклої лінзи з радіусами кривизни її поверхонь по 20 см, яка виготовлена зі скла з показником заломлення 1,5.

20 см

- 3.5. Дві лінзи однакових геометричних розмірів виготовлені із різних сортів оптичного скла з показниками заломлення, відповідно, 1,5 і 1,7. Обчисліть відношення їх фокусних відстаней.

1,4

- 3.6. Із скла ($n=1,5$) потрібно виготовити плоскоопуклу лінзу, яка має оптичну силу 5 дптр. Обчисліть радіус кривизни опуклої поверхні лінзи.

10 см

- 3.7. Визначте оптичну силу меніска (опукло-вгнута лінза), якщо радіуси кривизни його опуклої і вгнутої поверхонь відповідно складають 1 м і 40 см.

-0,75 дптр

- 3.8. Значення оптичної сили деякої лінзи у повітрі 5,5 дптр, а у рідині 1,63 дптр. Обчисліть показник заломлення рідини. Показник заломлення матеріалу лінзи дорівнює 1,5.

1,35

Задачі на формулу тонкої лінзи

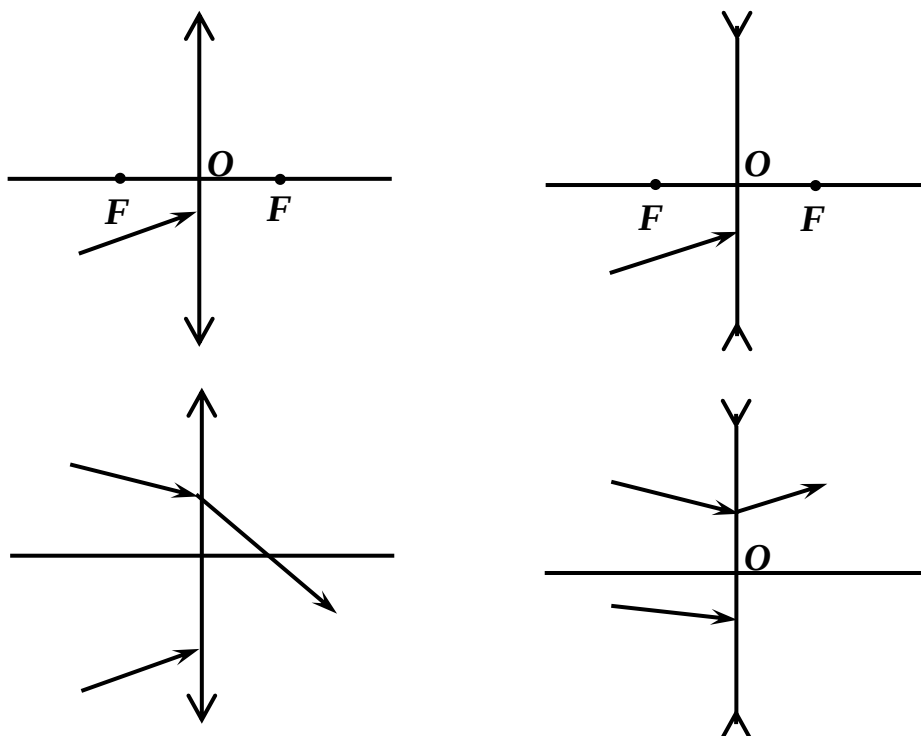
- 3.9. Значення оптичної сили тонкої лінзи дорівнює 5 дптр. Об'єкт розташували на відстані 60 см від цієї лінзи. Де і яке отримають зображення цього об'єкта?

30 см

- 3.10. Величина фокусної відстані лінзи становить 20 см. Визначте, на якій відстані від лінзи треба розмістити предмет, щоб його уявне зображення було на відстані 40 см від лінзи.

13,3 см

3.11. Побудуйте хід променів через збиральну чи розсіювальну лінзу.



3.12. Відстань від свічки до стіни дорівнює 200 см. Коли між ними розташували збиральну лінзу на відстані 40 см від свічки, то на стіні отримали чітке зображення полум'я. Обчисліть фокусну відстань лінзи. Яке зображення отримали на стіні.

32 см

3.13. Обчисліть фокусну відстань лінзи, за умови, що дійсне зображення об'єкта, що розташований на відстані 40 см від лінзи, отримують на такій же відстані від неї.

20 см

3.14. Два точкові джерела світла розташували на відстані 24 см одне від одного. Визначте, де між ними треба помістити збиральну лінзу з фокусною відстанню 10 см, щоб отримати зображення обох джерел в одній точці.

3.15. Визначте положення і розмір зображення об'єкта заввишки 2 см, розташованого на відстані 15 см від збиральної лінзи з фокусною відстанню 10 см.

30 см; 4 см

3.16. Яку величину лінійного збільшення можна отримати за допомогою проєкційного апарата, об'єktiv якого має фокусну відстань 40 см? Відстань від об'єktivа до екрана дорівнює 10 м?

24

3.17. У залі кінотеатру зображення кадру 18x24 мм повинно бути точно спроектоване на екран розміром 3x4 м. Якою повинна бути фокусна відстань об'єktivа, якщо відстань від кіноустановки до екрана – 16 м?

95 мм

3.18. Збіжний пучок променів падає на лінзу, оптична сила якої 2,5 дптр. Після заломлення в лінзі ці промені збираються на відстані 20 см від лінзи на її головній оптичній осі. Де будуть сходитися ці промені, якщо лінзу забрати?

3.19. У горизонтально розміщене вгнуте дзеркало радіусом кривизни $R=16$ см налито тонкий шар води. Визначте фокусну відстань цієї системи.

Зір та корекція його недоліків

3.20. Чому стовпи, коли дивитись вздовж лінії електропередачі при віддалені від них здаються все меншими і меншими?

3.21. На якій відстані предмет висотою 5 см буде видно як світну точку? Вважати, що кут зору при цьому менший за 1 кутову мінуту.

3.22. Значення оптичної сили окулярів +2,5 дптр. Які лінзи використано в цих окулярах і який дефект зору вони виправляють?

3.23. Читаючи, людина тримає книгу на відстані 49 см від очей. Визначте оптичну силу необхідних їй окулярів.

+2 дптр

3.24. Людина читає книжку без окулярів, розміщуючи її на відстані 12,5 см від очей. Якої оптичної сили окуляри їй потрібно використовувати під час роботи на токарному верстаті?

-4 дптр

3.25. Людина виразно бачить предмети віддалені від неї не далше 1 м. Якої оптичної сили окуляри їй потрібно носити?

3.26. Найближча точка чіткого бачення далекозорої людини лежить на відстані 40 см від очей. Знайдіть межі акомодації зору цієї людини в окулярах.

3.27. Верхня та нижня межа акомодації ока короткозорої людини без окулярів становить відповідно 80 см до 16 см. В окулярах ця людина добре бачить віддалені предмети. Обчисліть мінімальну відстань, на якій вона може тримати газету при читанні окулярах.

Оптичні прилади

3.28. У скільки разів збільшеними бачить зображення предметів у лупі, фокусна відстань якої складає 5 см: а) людина з нормальним зором; б) короткозора людина із відстанню найкращого бачення 15 см.

6; 4

3.29. Визначте фокусну відстань лупи, на корпусі якої є напис «2,5^x»?

16,7 см

3.30. У лупі застосована двоопукла лінза, яка виготовлена із скла з показником заломлення $n=1,6$. Радіуси кривизни поверхонь лінзи однакові і складають 12 см. Визначте збільшення лупи.

3,5

3.31. Мікроскоп складається із об'єктива із фокусною відстанню 4 мм і окуляра із фокусною відстанню 40 мм. Відстань між фокусами об'єктива та окуляра – 16 см. Обчисліть збільшення, яке дає мікроскоп.

3.32. Обчисліть збільшення, яке дає мікроскоп, якщо значення фокусної відстані об'єктива становить 5 мм, фокусної відстані окуляра – 25 мм, а довжини тубуса мікроскопа – 12 см.

240

3.33. Обчисліть величину фокусної відстані окуляра мікроскопа, якщо мікроскоп забезпечує 80-кратне збільшення, а збільшення об'єктива 8.

25 мм

3.34. Значення фокусної відстані об'єктива мікроскопа 3 мм. Предмет розташували на відстані 3,1 мм від об'єктива. Обчисліть збільшення мікроскопа, якщо фокусна відстань окуляра – 5 см.

3.35. Значення фокусних відстаней об'єктива і окуляра, відповідно, 5 мм і 5 см. Об'єкт розмістили на відстані 0,1 мм від головного фокуса об'єктива. Обчисліть довжину тубуса мікроскопа і його збільшення для людини з нормальним зором.

3.36. Як треба розмістити об'єктив і окуляр мікроскопа, щоб через мікроскоп можна було побачити зірку на небі?

3.37. Телескоп має об'єктив із фокусною відстанню 50 см і окуляр із фокусною відстанню 5 см. За якого кута зору буде видно повний Місяць в цей телескоп, якщо неозброєним оком Місяць видно під кутом 31° ?

3.38. Обчисліть збільшення телескопа, з об'єктивом ($f = 1,2$ м) і окуляром, що забезпечує 5-кратне збільшення.

3.39. Труба Кеплера довжиною 1,45 м забезпечує кутова збільшення в 49 разів. Знайдіть фокусні відстані окуляра і об'єктива.

3.40. Телескоп дає кутове збільшення $\gamma=60$. Яке буде кутове збільшення, коли забрати окуляр і розглядати неозброєним оком із відстані найкращого бачення дійсне зображення, створене об'єктивом. Фокусна відстань окуляра 50 мм.

3.4. Основи фотометрії

Приклади розв'язування задач

1. Люмінесцентна лампа циліндричної форми, діаметр якої дорівнює 25 мм, а довжина – 0,4 м, забезпечує на відстані 5 м у напрямку, перпендикулярному її осі, освітленість $E = 1$ лк. Приймаючи лампу за косинусний випромінювач, визначте: 1) значення сили світла I для даного напрямку; 2) яскравість L ; 3) світність M лампи.

Розв'язання. 1. Більший з двох розмірів лампи – довжина в 12 разів менша, ніж відстань, на якій виміряна освітленість. Отже, для обчислення сили світла у цьому напрямку можна вважати лампу точковим джерелом і застосувати формулу $E = I/r^2$.

Підставивши значення величин у цю формулу та здійснивши обчислення, отримаємо $I = 25$ кд.

2. Для обчислення яскравості застосуємо формулу $L = I/S$, де S – площа проекції просторового джерела світла на площину, нормаль якої співпадає із напрямком спостереження.

У випадку випромінювання перпендикулярно до осі лампи (осі циліндра) проекція циліндричної люмінесцентної лампи має форму прямокутника довжиною l і шириною d . Отже, $L = I/d$. Здійснивши обчислення за цією формулою, знайдемо $L = 2,5 \cdot 10^3$ кд/м².

3. Оскільки люмінесцентну лампу вважаємо косинусним випромінювачем (ламбертівським джерелом), то її світність

$$M = \pi L = 7,9 \cdot 10^3 \text{ лк.}$$

Задачі для самостійної роботи

- 4.1. У скільки разів у Дрогобичі освітленість поверхні Землі 22 грудня менша, ніж 22 червня? Висота Сонця над горизонтом опівдні 22 червня – 64°, а 22 грудня – 17°.

2,18

- 4.2. Визначте повний світловий потік, який дає ізотропне точкове джерело, якщо за умови нормального падіння світла на відстані 2 м від джерела, освітленість дорівнює 15 лк.

754 лм

- 4.3. Світловий потік від джерела світла силою 200 кд падає під кутом 45° на стіл і створює там освітленість 141 лк. Визначте на якій відстані від стола знаходиться джерело світла.

1 м

- 4.4. Для читання вважається нормальною освітленість в 50 лк. На якій висоті над столом необхідно повісити лампу силою світла 50 кд, щоб забезпечити таку освітленість в точках поверхні стола, які лежать безпосередньо під лампою.

1 м

- 4.5. На одному кінці метрової лінійки розміщена лампочка силою світла 16 кд, а на другому кінці – 9 кд. Де потрібно розташувати екран між ними, щоб він був однаково освітлений з обох сторін?

0,57 м

- 4.6. На одному кінці метрової лінійки розміщене точкове джерело силою світла 1 кд, а на другому кінці – лампочка з невідомою силою світла. Екран однаково освітлений з обох сторін, коли він розміщений на відстані 10 см від джерела з відомою силою світла. Обчислити силу світла лампочки.

81 кд

- 4.7. Об'єкт за фотографування освітлювався електричною лампою, розташованою на відстані 2 м від нього. У скільки разів треба змінити експозицію при фотографуванні, якщо цю лампу відсунути на відстань 3 м від предмета?

2,25

- 4.8. Над центром квадратного спортивного майданчика на висоті 5 м висить лампа. Розрахувати, на якій відстані від центра освітленість

поверхні майданчика в 2 рази менша, ніж у центрі. Вважайте, що сила світла лампи за всіма напрямками однакова.

3,83 м

- 4.9. У центрі квадратного приміщення площею $S=16 \text{ м}^2$ висить лампа. Якщо лампа вважається точковим джерелом світла, знайдіть висоту, на якій вона повинна бути закріплена відносно підлоги, щоб освітленість підлоги в кутах кімнати була максимальною.

2 м

- 4.10. Для освітлення вулиці застосовуються лампи силою світла 300 кд, які підвішені на стовпах на висоті 3 м. Відстань між стовпами 28 м. Визначте освітленість поверхні землі посередині між стовпами.

0,61 лк

- 4.11. На відстані 1 м від точкового джерела знаходиться екран. Щоб збільшити його освітленість з другої сторони від джерела світла на такій же відстані паралельно до екрана розташували плоске дзеркало. Яку освітленість створює це джерело в центрі екрана, якщо його сила світла 5 кд?

5,56 кд

- 4.12. Над горизонтальною поверхнею, освітленою точковим джерелом із силою світла 60 кд, на шляху променів розташували збиральну лінзу так, що джерело світла міститься у її фокусі. Визначити оптичну силу лінзи, якщо освітленість поверхні під джерелом світла 15 лк. Втратами світла в лінзі знехтувати.

0,5 дптр

- 4.13. Знайти освітленість на поверхні Землі, яка спричинена сонячними променями, що падають на неї нормально. Яскравість Сонця $1,5 \cdot 10^9 \text{ кд/м}^2$. Диск Сонця видно із Землі під кутом $32'$.

- 4.14. Чи залежить яскравість розжареної кульки від відстані до неї?

- 4.15. Діаметр матової сферичної колби електричної лампочки 6 см. Обчисліть світність і яскравість цієї лампи, якщо вона має силу світла 100 кд.

111 клм/м²; 35,4 ккд/м²

- 4.16. Обчисліть і порівняйте між собою сили світла розжареної до білого кольору металевої кульки яскравістю $3 \cdot 10^6$ кд/м² і світильника у вигляді кулі яскравістю $3 \cdot 10^3$ кд/м², за умови, що радіуси кульки і світильника відповідно дорівнюють 1 мм і 10 см.

9,42 кд; 94,2 кд

- 4.17. Світильник, який має форму кулі, забезпечує на відстані 5 м при нормальному падінні променів освітленість 6 лк. Визначте яскравість світильника, якщо його діаметр 18 см.

5900 кд/м²

- 4.18. Визначити силу світла лампи, розміщеної всередині матового плафона сферичної форми, радіус якого 8 см. Яскравість такого світильника – 4480 кд/м², коефіцієнт втрат – 0,1.

100 кд

- 4.19. Тонка збиральна лінза з фокусною відстанню 15 см і діаметром 5 см дає зображення Сонця на екрані, розміщеному нормально до сонячних променів. Нехтуючи втратами світла в лінзі, знайти середню освітленість зображення, якщо яскравість Сонця $1,5 \cdot 10^9$ кд/м².

- 4.20. Яскравість світного куба однакова у всіх напрямках і дорівнює 100 кд/м². Ребро куба дорівнює 5 дм. У якому напрямку сила світла куба є максимальною? Визначте максимальну силу світла куба.

43,3 кд

3.5. Інтерференція світла від двох когерентних джерел

Приклади розв'язування задач

1. На екрані у точці A від джерела S_1 монохроматичного світла довжиною хвилі 500 нм сходяться два промені: 1) безпосередньо від джерела промінь S_1A , який є перпендикулярним до екрана; 2) промінь S_1BA , який утворюється в результаті відбивання у точці B від дзеркала, яке розташоване паралельно до променя S_1A (рис. 1). Відстань l_1 , на якій екран віддалений від джерела світла дорівнює 1 м , відстань між променем S_1A та площиною дзеркала – 2 мм . Визначте: 1) що будемо спостерігати в точці A на екрані (підсилення чи послаблення інтенсивності світла); 2) зміну інтенсивності на екрані у точці A , за умови, що на шляху променя S_1A перпендикулярно до нього, розташують плоско-паралельну скляну пластину ($n = 1,55$) завтовшки $d = 6\text{ мкм}$.

Розв'язання. Визначимо місцезрештування уявного джерела S_2 , яке є зображенням джерела S_1 у дзеркалі (рис. 2). Очевидно, що ці джерела S_1 і S_2 є когерентними. У результаті додавання цих хвиль на екрані виникає інтерференційна картина. Посилення або ослаблення інтенсивності в певній точці екрана визначається оптичною різницею ходу Δ інтерферуючих променів, інакше кажучи, від кількості m півхвиль, які поміщаються на оптичній різниці ходу:

$$m = \Delta / \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

За умови, що число m буде цілим і парним, інтенсивність буде максимальною; якщо ж число m буде цілим та непарним, то – мінімальною. За умови, що число m буде дробовим відбуватиметься або часткове підсилення (за умови, що число m ближче до парного числа), або часткове послаблення (за умови, що число m ближче до непарного числа).

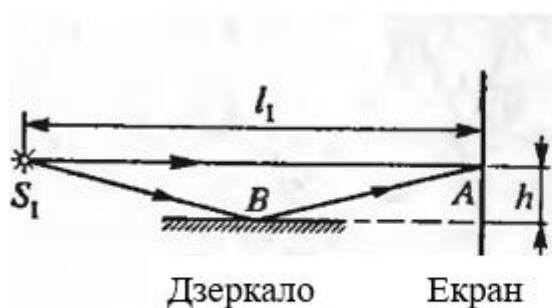


Рис. 1

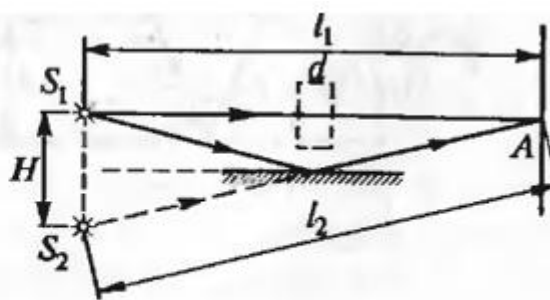


Рис. 2

1. У нашому випадку, оптична різниця ходу Δ_1 буде сумою геометричної різниці $l_2 - l_1$ (обидва промені йдуть в повітрі) та додаткової різниці ходу $\lambda/2$, зумовленої зміною фази коливань на протилежну при відбитті від більш оптично густого середовища. Таким чином,

$$\Delta_1 = l_2 - l_1 + \lambda/2. \quad (2)$$

Так як $l_2 = \sqrt{l_1^2 + H^2}$, то

$$l_2 - l_1 = \sqrt{l_1^2 + H^2} - l_1 = l_1 \left(\sqrt{1 + \frac{H^2}{l_1^2}} - 1 \right).$$

Враховуючи, що $\frac{H}{l_1} \ll 1$, то скориставшись наближенням $\sqrt{1+a} \approx 1 + a/2$, отримаємо

$$l_2 - l_1 \approx l_1 \left(1 + \frac{H^2}{2l_1^2} - 1 \right) \approx \frac{H^2}{2l_1}.$$

Підставимо отриманий вираз у формулу (2)

$$\Delta_1 = \frac{H^2}{2l_1} + \lambda/2.$$

Тепер за формулою (1) знайдемо m :

$$m = \frac{\frac{H^2}{2l_1} + \lambda/2}{\lambda/2} = \frac{H^2}{\lambda l_1} + 1 = \frac{4H^2}{\lambda l_1} + 1 = 33.$$

Оскільки на різниці ходу поміщається непарне число довжин півхвиль, то в точці A спостерігатиметься мінімум інтенсивності.

2. Скляна пластина завтовшки d , яка розміщена на шляху променя S_1A (рис. 2), змінить оптичну довжину шляху. Тепер оптична довжина

шляху L буде сумою геометричної довжини шляху l_1-d і оптичної довжини шляху nd променя в самій скляній пластинці, тобто

$$L = l_1 - d + nd = l_1 + (n-1)d.$$

Оптична різниця ходу променів

$$\Delta_2 = l_2 - L + \lambda/2 = l_2 - (l_1 + (n-1)d) + \lambda/2,$$

або

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

Користуючись формулою (1), знайдемо

$$m_2 = \frac{\Delta_2}{\lambda/2} = \frac{\Delta_1 - (n-1)d}{\lambda/2} = m_1 - 2 \frac{(n-1)d}{\lambda}.$$

Провівши обчислення, отримаємо $m_2 = 19,8$.

Число половин довжин хвиль виявилось дробовим. Оскільки 19,8 ближче до цілого парного числа 20, ніж до цілого непарного числа 19, то в точці A буде часткове підсилення.

Задачі для самостійної роботи

- 5.1. Визначте шлях, який пройде монохроматичний промінь у вакуумі за той самий час, за який він проходить у воді 3 м.

4 м

- 5.2. Визначте, наскільки зміниться оптична довжина шляху хвилі, яка поширюється у повітрі, якщо на її шляху поставити скляну ($n=1,6$) пластинку завтовшки 2 мм. Розрахунок зробити для променя, що падає нормально, і для променя, що падає під кутом 60° .

1,2 мм; 1,8 мм

- 5.3. Визначте довжину відрізка, на якому вкладається стільки ж довжин хвиль у вакуумі, скільки їх вкладається на відрізок 3 мм у воді.

4 мм

- 5.4. Світло від лазера розділяється на два промені так, що різниця ходу між ними відсутня. Після цього вони приходять у деяку точку простору, пройшовши геометричний шлях 1 м: один – у воді, а другий – у повітрі. Визначте оптичну різницю ходу цих променів.

0,33 м

- 5.5. Оптична різниця ходу двох когерентних хвиль складає $0,3\lambda$. Визначте різницю фаз $\Delta\varphi$.

0,6 π

- 5.6. Різниця ходу двох хвиль монохроматичного ($\lambda=500$ нм) світла $\delta=0,25$ мкм. Знайдіть різницю фаз $\Delta\varphi$.

- 5.7. Знайдіть всі довжини хвиль видимої частини спектра, які будуть максимально підсилені при різниці ходу інтерферуючих променів 2 мкм.

400 нм; 500 нм; 666,7 нм

- 5.8. Знайдіть всі довжини хвиль видимої частини спектра, які будуть максимально послаблені при різниці ходу інтерферуючих променів 2 мкм.

- 5.9. У деяку точку простору приходять два пучки когерентного випромінювання з оптичною різницею ходу 1,9 мкм. Визначіть, відбудеться підсилення чи ослаблення в цій точці світла з довжиною хвилі: а) 760 нм; б) 600 нм; в) 475 нм.

- 5.10. У скільки разів збільшиться відстань між сусідніми інтерференційними смугами на екрані у досліді Юнга, якщо зелений світлофільтр ($\lambda_1=500$ нм) замінити червоним ($\lambda_2=700$ нм)?

- 5.11. У досліді Юнга отвори освітлювались монохроматичним світлом з довжиною хвилі $\lambda=600$ нм, відстань між отворами 1 мм. Відстань від отворів до екрана 3 м. Знайдіть положення трьох перших світлих інтерференційних смуг на екрані.

5.12. Відстань між двома щілинами в досліді Юнга дорівнює 1 мм, відстань від щілин до екран 4 м. Визначте довжину хвилі, яку має монохроматичне джерело світла, якщо відстань між інтерференційними світлими смугами на екрані дорівнює 1,6 мм.

5.13. У досліді Юнга екран розміщений на відстані 4,8 м від отворів. Відстань між отворами 4,8 мм, відстань від третього інтерференційного максимуму до центральної смуги дорівнює 16 мм. Визначте довжину хвилі монохроматичного світла.

5.14. Відстань між двома когерентними джерелами світла ($\lambda=0,5$ мкм) дорівнює 98 мкм. Відстань між інтерференційними темними смугами на екрані 9,8 мм. Визначте відстань від джерел до екрана.

1,92 м

5.15. У досліді із дзеркалами Френеля відстань між уявними зображеннями джерела світла дорівнює 0,48 мм, відстань до екрана 4,8 м. У зеленому світлі отримують інтерференційні мінімуми на відстані 4,8 мм один від одного. Обчисліть довжину хвилі зеленого світла.

480 нм

5.16. Відстань між двома уявними джерелами у дзеркалах Френеля 0,5 мм, відстань від джерел до екрана 2,5 м. На екрані на відстані 2 см спостерігають 10 темних смуг. Знайдіть довжину хвилі, яка падає на дзеркала Френеля.

400 нм

5.17. На біпризму Френеля потрапляє світло ($\lambda=600$ нм) від монохроматичного джерела. Знайдіть відстань між сусідніми інтерференційними максимумами, які спостерігаються на екрані у результаті інтерференції, за умови, що відстань між джерелом та біпризмою дорівнює 1 м, а між біпризмою та екраном – 4 м. Заломлюючий кут призми $2 \cdot 10^{-3}$ рад, показник заломлення матеріалу призми 1,5.

3 мм

5.18. Біпризму розташували на відстані 50 см відносно щілини та на відстані 4,5 м до екрана. Відстань між сусідніми інтерференційними мінімумами на екрані дорівнює 1,1 мм за довжини хвилі світла 590 нм. Визначте заломлюючий кут біпризми, якщо показник заломлення скла 1,578.

0,5°

5.19. На діафрагму із двома вузькими щілинами, які віддалені між собою на 2,5 мм, падає нормально монохроматичне світло ($\lambda=500$ нм). Спостереження інтерференційної картини ведуть на екрані, який розташований на відстані 1 м. Визначте, в який бік та на яку відстань зсунуться інтерференційні смуги після закриття нижньої щілини прозорою пластинкою завтовшки 1 мкм із показником заломлення 1,5.

0,2 мм

5.20. Два когерентні джерела світла з довжиною хвилі 480 нм утворюють на екрані інтерференційну картину. Якщо на шляху одного з пучків розташувати тонку кварцеву пластинку з показником заломлення 1,46, то інтерференційна картина зміщується на 69 смуг. Знайдіть товщину пластинки.

72 мкм

5.21. На шляху одного з променів у досліді Юнга розташована порожня кювета довжиною 3 см. Після того, коли кювету наповнили газом, інтерференційна картина зсунулася на 40 смуг. Знайдіть показник заломлення газу. Джерело світла випромінює на довжині хвилі 600 нм.

1,008

3.6. Інтерференція світла в тонких плівках. Кільця Ньютона

Приклади розв'язування задач

1. Встановіть умови, за яких спостерігається максимум та мінімум інтерференції у відбитому під кутом i світлі від плоскопаралельної пластинки завтовшки d з показником заломлення n .

Розв'язування. Нехай плоскопаралельна прозора пластинка завтовшки d освітлюється монохроматичним світлом від точкового джерела (рис. 2).

Промінь 2 пройде в пластинку під кутом r і на протилежній грані частково відіб'ється і в точці C вийде у повітря під кутом i . Але в точку A попадає і частково відбивається під тим же кутом i промінь 1. У такий спосіб отримаємо два промені, які пройшли різний шлях (1- AO С, 2- AB).

Для визначення результату інтерференції світла будемо шукати різницю ходу променів. Проведемо пряму BC , перпендикулярну до цих променів. У точці A обидва промені, напевно, мають однакову фазу коливань. Далше промінь 2 пройшов до точки C шлях ($AO+OC$), а промінь

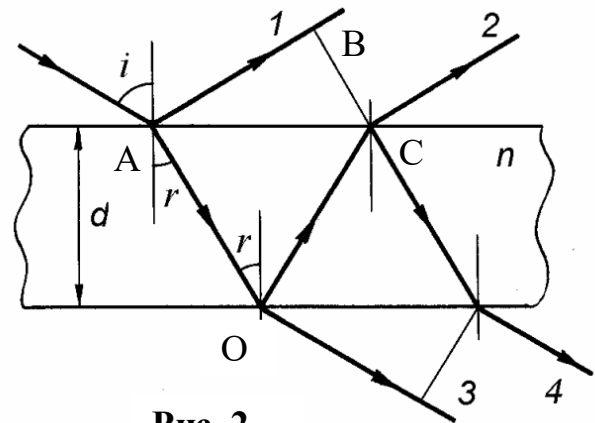


Рис. 2

1 – шлях AB . Для визначення різниці фаз треба врахувати, що шлях ($AO+OC$) проходить усередині пластинки ($n > 1$), а AB – у повітрі ($n \approx 1$). Як відомо, швидкість світла в середовищі (у цьому випадку у пластинці) менша в n разів (де n – абсолютний показник заломлення середовища), ніж у вакуумі. Тому і довжина хвилі у середовищі зменшується у стільки ж разів.

Якщо довжина хвилі в повітрі $\lambda = c/\nu$, де ν – частота коливань, то довжина хвилі в пластинці $\lambda_1 = \frac{c/n}{\nu} = \frac{c}{n\nu} = \frac{\lambda}{n}$. Щоб виразити різницю ходу числом хвиль потрібно шлях ($AO+OC$) ділити на λ_1 , а шлях AB – на λ .

Крім цього, як показують досліди і теорія, промінь світла, відбиваючись від оптично густішого середовища, змінює фазу на протилежну, що еквівалентно зміні його шляху на півхвилі. Враховуючи все сказане, різниця ходу хвиль світла складе таку величину: $\frac{AO + OC}{\lambda_1} - \frac{AB - \lambda/2}{\lambda}$, або після перетворень $\frac{(AO + OC)n - (AB - \lambda/2)}{\lambda}$. Добуток шляху світлової хвилі на показник заломлення, називають *оптичним ходом* хвилі.

Умовою максимуму інтерференції буде: $\frac{\delta}{\lambda} = k$, або

$$\delta = k\lambda,$$

де δ -оптична різниця ходу.

Виразимо отриману рівність через товщину пластинки d і кут падіння променів i , тобто через величини, які задано в умові. З трикутника AOC знаходимо, що $AO = OC = \frac{d}{\cos r}$, а з трикутників ABC і AOC – $AB = AC \sin i = 2d \operatorname{tg} r \sin i$. Підставляючи знайдені вирази у рівність (7) і беручи до уваги закон заломлення світла ($\frac{\sin i}{\sin r} = n$) одержимо

$$\frac{2dn}{\cos r} - \frac{2dn}{\cos r} \sin^2 r + \frac{\lambda}{2} = k\lambda, \text{ або}$$

$$\delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2},$$

$$\text{бо } \cos r = \sqrt{1 - \sin^2 r} = \sqrt{1 - \left(\frac{\sin i}{n}\right)^2} = \frac{\sqrt{n^2 - \sin^2 i}}{n}.$$

Рівність

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

виражає умову максимуму інтерференції світла від пластинки або плівки. Мінімум буде за умови

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} = k\lambda.$$

Задачі для самостійної роботи

- 6.1. На мильну плівку, яка має показник заломлення 1,33, потрапляє біле світло під кутом 45° . За якої найменшої товщини плівки відбиті промені будуть мати забарвлення жовтого кольору ($\lambda=600$ нм)?

266 нм

- 6.2. Якою є найменш можливою товщина мильної плівки, якщо за спостереження у відбитому світлі під кутом 35° вона має синьо-зелене ($\lambda=480$ нм) забарвлення? Показник заломлення мильної води – 1,33.

200 нм

- 6.3. У тонкій клиноподібній пластинці з показником заломлення 1,5 у відбитому світлі ($\lambda=580$ нм) за нормального падіння спостерігаються інтерференційні смуги. Відстань між сусідніми темними смугами дорівнює 5 мм. Знайдіть кут між гранями пластинки.

$0,002^\circ$

- 6.4. Установка для спостереження кілець Ньютона освітлюється монохроматичним світлом. Спостереження ведуть у відбитому світлі. Радіуси двох сусідніх темних кілець дорівнюють, відповідно, 4 мм і 4,38 мм. Радіус кривизни лінзи 6,4 м. Знайдіть порядкові номери кілець і довжину хвилі світла.

600 нм

- 6.5. Відстань між п'ятим і двадцять п'ятим світлими кільцями Ньютона дорівнює 9 мм. Радіус кривизни лінзи – 15 м. Знайдіть довжину хвилі монохроматичного світла, яке падає нормально на установку. Спостереження проводять у відбитому світлі.

- 6.6. Обчисліть відстань між третім і шістнадцятим темними кільцями Ньютона, за умови, що відстань між другим і двадцятим темними

кільцями дорівнює 4,8 мм. Спостереження проводять у відбитому світлі.

- 6.7. На установку для спостереження кілець Ньютона падає нормально монохроматичне світло ($\lambda=500$ нм). Визначте товщину повітряного шару місці, де спостерігають п'яте світле кільце.

138 мкм

- 6.8. Яка відстань між двадцятим і двадцять першим максимумами світлих кілець Ньютона, за умови, що відстань між другим і третім дорівнює 1 мм, а спостереження ведуть у відбитому світлі?

- 6.9. Фокусна відстань плоскоопуклої лінзи ($n = 1,5$) 2 м. Лінза опуклою стороною дотикається до скляної пластинки. Визначте радіус п'ятого темного кільця у прохідному світлі ($\lambda=0,5$ мкм).

2,24 мм

- 6.10. У спектрі натрію спостерігають дві лінії ($\lambda_1=589,00$ нм, $\lambda_2=589,59$ нм). Визначте номер темного кільця Ньютона, який відповідає одній з цих ліній та збігається із наступним за номером темним кільцем, що відповідає другій лінії. Спостереження проводили у відбитому світлі.

- 6.11. Установку для спостереження кілець Ньютона освітлюють світлом від ртутної лампи. Спостереження ведуть у прохідному світлі. Яке за порядком світле кільце, що відповідає лінії $\lambda_1=576,97$ нм, збігається з наступним світлим кільцем, що відповідає лінії $\lambda_2=579,03$ нм?

- 6.12. В установці для отримання кілець Ньютона між лінзою і пластинкою немає контакту (внаслідок попадання порохи). Діаметри 5-го і 15-го темних кілець Ньютона, які спостерігаються у відбитому світлі ($\lambda=589$ нм), відповідно, 0,7 мм і 1,7 мм. Знайдіть радіус кривизни лінзи.

- 6.13. В установці для спостереження кілець Ньютона лінза зроблена рухомою і може переміщатися в напрямку, перпендикулярному до пластинки. Що буде відбуватися з кільцями Ньютона при

віддалені лінзи від пластинки. Кільця спостерігаються в монохроматичному світлі.

Інтерферометри

- 6.14. У досліді з інтерферометром Майкельсона для зміщення інтерференційної картини на 500 смуг потрібно було перемістити дзеркало на відстань 0,161 мм. Знайдіть довжину хвилі світла.
- 6.15. В інтерферометрі Майкельсона спостерігається інтерференційна картина в білому світлі лампочки розжарення. При вміщенні в одне із плечей інтерферометра скляної пластинки завтовшки $h=5$ мм інтерференційна картина зникла. Для відновлення інтерференційної картини прийшлося збільшити довжину другого плеча інтерферометра на величину $\delta=2,55$ мм. Знайдіть показник заломлення скляної пластинки.
- 6.16. Для вимірювання показника заломлення газу в одно плече інтерферометра Майкельсона помістили порожню трубку завдовжки 14 см. Кінці трубки закриті плоскопаралельними скляними пластинами. Після заповнення трубки газом інтерференційна картина для довжини хвилі 590 нм зсунулася на 180 смуг. Обчисліть показник заломлення газу.
- 6.17. В інтерферометрі Жамена дві однакові трубки довжиною 15 см заповнені повітрям ($n=1,000276$). При заміні в одній з трубок повітря киснем інтерференційна картина змістилась на 6 смуг за довжини хвилі падаючого світла 500 нм. Знайдіть показник заломлення кисню.
- 6.18. Якість полірування деталі контролюють за допомогою інтерферометра Лінника. При спостереженні інтерференційної картини виявилось, що інтерференційні смуги викривились на 4 смуги. Яка глибина подряпини на поверхні деталі, якщо спостереження проводилось за довжини хвилі 500 нм?

2 мкм

6.19. На шляху одного із променів інтерферометра Релея розташували трубку довжиною 20 см. При заповненні її газом інтерференційна картина зсунулась на 200 смуг. Знайдіть показник заломлення газу, якщо вимірювання проводились при довжині хвилі 600 нм.

1,0006

6.20. У двопроменевому інтерферометрі використовується оранжева лінія ртуті, яка складається з двох компонент з $\lambda_1=576,97$ нм і $\lambda_2=579,03$ нм. При якому найменшому порядку інтерференції чіткість інтерференційної картини буде найгіршою?

280

Просвітлення оптики

6.21. Чому лінза, яка покрита просвітлювальною плівкою, здається фіолетовою?

6.22. Що відбувається з енергією відбитого світла, якщо на лінзу нанести просвітлювальну плівку?

6.23. На скляну лінзу ($n_1=1,5$) нанесена прозора плівка ($n_2=1,4$). На лінзу падає нормально монохроматичне світло ($\lambda=600$ нм). Яка найменша товщина плівки, якщо в результаті інтерференції відбиті промені максимально послаблені?

107 нм

6.24. На поверхню скляного об'єктива ($n_1=1,5$) нанесена тонка плівка, показник заломлення якої $n_2=1,2$. За якої найменшої товщини цієї плівки відбудеться максимальне послаблення відбитого світла у середній частині видимого спектру?

114 нм

6.25. Знайдіть показник заломлення плівки завтовшки 200 нм, яка буде просвітлювати поверхню скла з показником заломлення 1,67, яке знаходиться у повітрі.

1,5

3.7. Дифракція світла. Дифракція Френеля. Дифракційна ґратка

Приклади розв'язування задач

1. Встановіть умови максимуму та мінімуму дифракції монохроматичного світла завдовжки λ на щілині завширшки b .

Розв'язок. Для знаходження інтенсивності світла, що поширюється під кутом φ після щілини, спрямуємо вісь Ox перпендикулярно до країв щілини. Поділимо щілину (відкриту частину хвильової поверхні) на елементарні смуги завширшки dx , паралельні межі щілини. Всі елементарні смуги випромінюють світло в цьому напрямку цілком однаково. Вторинні хвилі, що поширюються від цих смуг під кутом φ , зберуться лінзою в точці P . Дія кожної зони зумовлює в точці P коливання E . Збурення, викликані дією кожної смуги в площині щілини, описується рівнянням

$$dE_0 = \frac{E_0}{b} dx \cos \omega t.$$

Для визначення результуючої амплітуди в будь-якій точці екрана знайдемо розподіл фаз між коливаннями, що викликані дією всіх зон щілини в точці P . Як відомо, лінза не змінює різниці ходу променів. Розподіл фаз променів, що дифрагують під кутом φ і збираються лінзою в точці P , такий самий, як у площині MP . Знайдемо його для площини MP , яка перпендикулярна до цих променів.

Розглянемо елементарну зону, розміщену на відстані x від лівого краю щілини. Різниця ходу між променями, що поширюються від цієї зони і краю щілини, для кута дифракції φ становитиме $\delta = x \sin \varphi$. Це

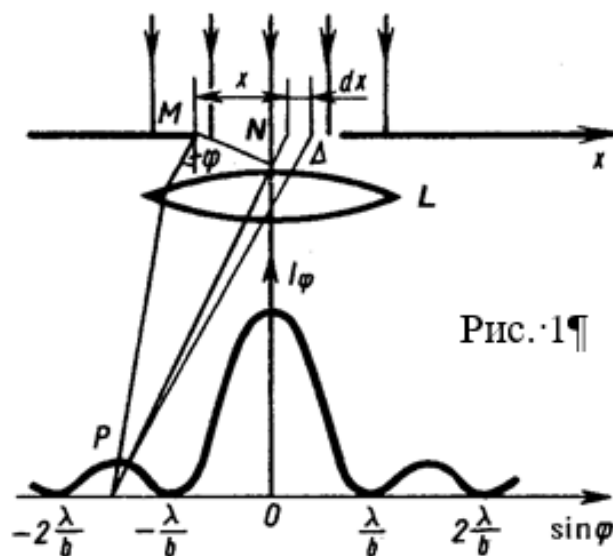


Рис. 1¶

означає, що збурення, зумовлені дією будь-якої смуги завширшки dx в точці P , виражаються рівнянням

$$dE = \frac{E_0}{b} dx \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} x \sin \varphi\right).$$

Результуюче коливання в точці P , створене дією хвильової поверхні, що виділяється щілиною,

$$\begin{aligned} E &= \frac{E_0}{b} \int_0^b \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} x \sin \varphi\right) dx = \\ &= E_0 \frac{\sin\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \varphi\right)}{\frac{\pi b}{\lambda} \sin \varphi} \cos\left(\omega t - \frac{\pi b}{\lambda} \sin \varphi\right) \end{aligned}$$

При обчисленнях була використана відома тригонометрична формула

$$\sin x - \sin y = 2 \cos \frac{x+y}{2} \sin \frac{x-y}{2}.$$

Оскільки інтенсивність пропорційна квадрату амплітуди, то її розподіл на екрані спостереження залежно від кута дифракції φ можна записати у вигляді

$$I_{\varphi} = I_0 \frac{\sin^2\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \varphi\right)}{\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \varphi\right)^2}.$$

Проведемо дослідження цієї формули на екстремуми. У середині дифракційної картини (в напрямку $\varphi=0$) буде головний максимум нульового порядку. Цей максимум по інтенсивності спричинюється дією всіх ділянок щілини. Основна частина інтенсивності світла I_0 припадає на нульовий порядок. Оскільки умова для нього не залежить від довжини хвилі λ , то він не розкладається в спектр.

Мінімуми інтенсивності спостерігаються для кутів дифракції, коли

$$\frac{\pi b}{\lambda} \sin \varphi = \pm k\pi, \text{ тобто коли } b \sin \varphi = k\lambda.$$

Величину $k=1,2,3\dots$ називають *порядком дифракційного мінімуму*.

Між мінімумами розміщені максимуми, кути дифракції яких знаходять при розв'язуванні трансцендентного рівняння

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \varphi\right) = \frac{\pi b}{\lambda} \sin \varphi, \text{ тобто для кутів}$$

$$\sin \varphi_1 = 1,43 \lambda / b ;$$

$$\sin \varphi_2 = 2,46 \lambda / b ;$$

$$\sin \varphi_3 = 3,47 \lambda / b .$$

2. Який максимальний порядок спектра можна спостерігати при дифракції світла 600 нм в паралельних променях на щілині шириною $0,015 \text{ мм}$.

Розв'язок. Умова мінімуму на щілині: $b \sin \varphi = k \lambda$, де b – ширина щілини; φ – кут відхилення променя від початкового напрямку; k – порядок спектру; λ – довжина хвилі. Оскільки максимальне значення $\sin \varphi = 1$, то $k_{\max} = b / \lambda = 0,015 / 0,0006 = 25$.

Задачі для самостійної роботи

Дифракція Френеля

7.1. Обчисліть радіуси перших двох зон Френеля, за умови, що відстань між джерелом світла і хвильовою поверхнею дорівнює 1 м , відстань між хвильовою поверхнею та точкою спостереження також – 1 м . Довжина хвилі світла – 640 нм .

0,8 мм; 1,13 мм

7.2. Знайдіть радіус третьої зони Френеля, за умови, що точкове джерело розміщена на відстані 1 м від круглого отвору, а відстань між отвором та екраном дорівнює 2 м . Дифракційну картину спостерігають у монохроматичному світлі ($\lambda=500 \text{ нм}$).

1,73 мм

7.3. Явище дифракції вивчають за допомогою установки, в якій відстань від точкового джерела монохроматичного світла

($\lambda=0,5 \text{ мкм}$) до екрана дорівнює 4 м . Посередині між ними розміщують діафрагму з круглим отвором. За якого радіуса отвору, центр дифракційної картини на екрані буде найтемнішим?

1 мм

- 7.4. Дифракцію Френеля досліджують за допомогою круглого отвору, який освітлюють монохроматичним світлом і на екрані спостерігають дифракційну картину. Як зміниться освітленість у центрі картини, якщо отвір забрати?

Дифракція плоских світлових хвиль на щілині

- 7.5. На щілину шириною $2,1 \text{ мкм}$ падає нормально паралельний пучок монохроматичного світла з довжиною хвилі 595 нм . Знайдіть кути, в напрямку яких будуть спостерігати мінімуми інтенсивності.

16,4°; 34,8°; 58,5°;

- 7.6. На щілину шириною $0,12 \text{ мм}$ падає нормально монохроматичне світло (590 нм). Визначте кут відхилення променів (в градусах), що відповідає третій темній дифракційній смузі.

0,8°;

- 7.7. На щілину, яка має ширину $0,05 \text{ мм}$ падає нормально монохроматичне світло ($\lambda=655 \text{ нм}$). Визначте кут відхилення променів (в градусах), що відповідає четвертій світлій дифракційній смузі.

- 7.8. При вивченні дифракції Фраунгофера на вузькій щілині використовують монохроматичне світло з довжиною хвилі 500 нм . Друга світла дифракційна смуга спостерігається під кутом 1° . Знайдіть ширину щілини.

- 7.9. Який найбільший порядок максимуму дифракції Фраунгофера можна спостерігати за допомогою щілини завширшки 1 мкм за нормального падіння променів з довжиною хвилі $\lambda=400 \text{ нм}$?

- 7.10. Паралельний пучок монохроматичного світла падає на щілину завширшки $28,5 \text{ мкм}$ і після проходження щілини фокусується

лінзою на екран, який розміщений на відстані 10 см від неї. На екрані спостерігаються дифракційні смуги, середня відстань між якими –0,23 см. Визначте значення довжини світлової хвилі, яка падає нормально на щілину.

Дифракційна ґратка

- 7.11. Стала дифракційної ґратки, яку використовують в спектральному приладі, дорівнює 2 мкм. Визначте необхідний кут між віссю коліматора та зоровою трубою для можливості спостерігати спектральну лінію 410 нм.
- 7.12. Обчисліть сталу дифракційної ґратки, якщо для того щоб спостерігати червону лінію ($\lambda=700$ нм) у спектрі другого порядку, зорову трубу встановлюють під кутом 30° до осі коліматора. Визначте кількість штрихів, які нанесені на 1 см довжини цієї ґратки. Світло падає на ґратку нормально.
- 7.13. Визначте необхідну кількість штрихів на 1 мм довжини дифракційної ґратки, якщо відомо, що зелену лінію ртуті ($\lambda=546,1$ нм) в спектрі першого порядку спостерігаються під кутом $19^\circ 8'$.
- 7.14. Дифракційну ґратку освітлюють нормально монохроматичним світлом. У дифракційній картині максимум 2-го порядку є відхиленням на кут 14° . Під яким кутом спостерігають максимум третього порядку?
- 7.15. Кут дифракції на дифракційній ґратці для лінії натрію ($\lambda=589$ нм) у спектрі першого порядку дорівнює $17^\circ 8'$. Визначте довжину лінії, яка в спектрі другого порядку спостерігається під кутом $24^\circ 12'$.
- 7.16. Яке значення має приймати стала дифракційної ґратки, щоб під кутом 41° співпадали максимуми двох ліній: 656,3 нм і 410,3 нм?

- 7.17. На дифракційну ґратку нормально падає пучок світла від газорозрядної трубки, наповненої гелієм. На яку лінію в спектрі третього порядку накладається червона лінія гелію ($\lambda=670$ нм) в спектрі другого порядку?
- 7.18. Визначте максимальний порядок спектру для жовтої лінії натрію ($\lambda=589$ нм), якщо стала дифракційної ґратки дорівнює 2 мм.
- 7.19. На дифракційну ґратку з періодом 2 мм падає нормально світло, яке пропустили через світлофільтр. Фільтр пропускає хвилі у діапазоні довжин від 500 нм до 600 нм. Встановіть, чи буде накладання спектрів різних порядків.
- 7.20. Спектри другого і третього порядків у видимій області від дифракційної ґратки частково перекриваються. Якій довжині хвилі в спектрі третього порядку відповідає довжина 700 нм в спектрі другого порядку.
- 7.21. Дифракція світла на ультразвуковій хвилі в толуолі спостерігається у фокальній площині лінзи ($f=3$ см). При цьому використовується зелена лінія ртуті ($\lambda=546,1$ нм). Визначте швидкість звуку в толуолі, якщо відстань між сусідніми максимумами 5,46 см, а частота ультразвукових коливань 4 МГц.

Дифракційні спектральні прилади

- 7.22. Яку роздільну здатність повинен мати спектральний прилад для розділення дублету натрію: $\lambda_1=589,0$ нм і $\lambda_2=589,6$ нм.
- 7.23. Порівняйте роздільні здатності двох дифракційних ґраток, якщо одна має 420 штрихів на 1 мм за ширини 2 см, а друга – 700 штрихів на 1 мм за ширини 4,8 см.
- 7.24. Визначте, якою має бути довжина дифракційної ґратки, яка містить 50 штрихів на 1 мм, щоб в спектрі другого порядку можна не перекривалися дві лінії натрію 580 нм і 589,6 нм.

-
- 7.25. Визначте сталу дифракційної ґратки, якщо вона може розділити в першому порядку лінії спектру калію $404,4 \text{ нм}$ і $404,7 \text{ нм}$. Ширина ґратки – 30 мм .
- 7.26. Знайдіть значення сталої дифракційної ґратки з шириною 25 мм , яка забезпечить розділення в першому порядку дублету натрію 589 нм і $589,6 \text{ нм}$?
- 7.27. Визначте кутову дисперсію дифракційної ґратки з періодом 2 мкм для спектру другого порядку, якщо $\lambda = 500 \text{ нм}$.
- 7.28. Визначте кутову дисперсію дифракційної ґратки для $\lambda = 589 \text{ нм}$ в спектрі першого порядку. Стала ґратки дорівнює $2,5 \cdot 10^{-4} \text{ см}$.
- 7.29. Кутова дисперсія дифракційної ґратки для $\lambda = 668 \text{ нм}$ в спектрі першого порядку дорівнює $2,02 \cdot 10^5 \text{ рад/м}$. Знайдіть період дифракційної ґратки.
- 7.30. За якої довжини хвилі дифракційна ґратка зі сталою 5 мкм має кутову дисперсію $6,3 \cdot 10^5 \text{ рад/м}$ у спектрі третього порядку?
- 7.31. Визначте відстань на екрані між двома лініям спектру меркурію з довжинами хвиль 577 нм і 579 нм у спектрі першого порядку, який отримали за допомогою дифракційної ґратки із періодом 4 мкм . Для фокусування використовують лінзу із фокусною відстанню 60 см .
- 7.32. Визначте лінійну дисперсію дифракційної ґратки за довжини хвилі 589 нм у спектрі другого порядку, якщо стала ґратки дорівнює 4 мкм , а фокусна відстань коліматорної лінзи 50 см .
- 7.33. На дифракційну ґратку, яка містить 500 штрихів на 1 мм , падає в напрямку нормалі до її поверхні біле світло. Визначте ширину спектру першого порядку на екрані, якщо відстань від лінзи, за допомогою якої фокусують світло, до екрана дорівнює 3 м .

Роздільна здатність оптичних приладів

- 7.34. Радіус дзеркального об'єктива телескопа Кримської обсерваторії дорівнює $1,3 \text{ м}$. Визначте роздільну здатність телескопа. Відомо,

що людське око найбільш чутливе до світла довжиною хвилі 550 нм.

- 7.35. У більшості людське око може бачити на відстані 10 м роздільно два паралельних штрихи на білому папері, які розміщуються на відстані 3 мм один від одного. Встановіть, чи будуть відповідати ці дані роздільній здатності ока. Радіус зіниці ока вважайте 1 мм.
- 7.36. На якій максимальній відстані спостерігач може розрізнити окремо дві жовті протитуманні фари автомашини, розміщені на відстані 1,2 м одна від другої?
- 7.37. Діаметр дзеркала телескопа складає 2,6 м. Якою повинна бути мінімальна довжина відрізка на Місяці, щоб його зображення можна було би розрізнити від зображення точки?
- 7.38. Якою повинна бути мінімальна відстань між двома точками на поверхні Марса, щоб їх можна було розрізнити в телескоп з діаметром об'єктива 60 см ($\lambda=550$ нм)? Марс перебуває у великому протистоянні, тобто відстань до Землі – $56 \cdot 10^9$ м.
- 7.39. Пучок світла ($\lambda=633$ нм) від лазера, розміщений на Землі, фокусують з допомогою телескопа, діаметр об'єктива якого – 2 м, на місячний кратер. Яким буде розмір світлової плями на Місяці, якщо відстань від Землі до Місяця 384400 км? Впливом атмосфери знехтуйте.
- 7.40. Лазерний пучок світла ($\lambda=0,633$ мкм) діаметром 2 мм, розходження якого визначається тільки дифракцією, направляють на стіну будинку, який віддалений на 3 км. Знайти діаметр плями від лазерного променя на стіні будинку.
- 7.41. Сучасні фотоплівки здатні розділяти до $z=10^3$ ліній на 1 мм. Яку світлосилу (тобто відношення квадратів діаметра D і фокусної відстані f) повинен мати об'єктив фотоапарата, щоб повністю використати роздільну здатність плівки?

-
- 7.42. Визначте мінімальну відстань від телевізора (виражену у діагоналях екрана), на якій повинен перебувати глядач, щоб не бачити мозаїчної структури зображення на екрані. По висоті телевізійного екрана розміщено 625 стрічок. Співвідношення розмірів екрана 3:4
- 7.43. Яким має бути збільшення мікроскопа, щоб повністю використати роздільну здатність його об'єктива з числовою апертурою A .

3.8. Поляризація світла. Закон Малюса. Закон Брюстера

Приклади розв'язування задач

1. У випадку, коли на поляризатор падає природнє світло, через нього проходить 30% інтенсивності падаючого світла, а через два таких поляризатори – 13,5 %. Визначте кут між площинами пропускання цих поляризаторів.

Розв'язок. Оскільки, через один поляризатор проходить менше, ніж 50 % інтенсивності світла, то частина його поглинається. Інтенсивність світла I_1 , яке проходить через один поляризатор може бути визначена за формулою:

$$I_1 = 1/2(1-k)I_0,$$

де I_0 – інтенсивність падаючого на поляризатор світла; k – коефіцієнт поглинання.

Звідси отримаємо, що

$$1-k = 2I_1/I_0, \quad (1)$$

Інтенсивність світла I_2 , яке проходить через два поляризатори може бути визначена за законом Малюса:

$$I_2 = 1/2(1-k)^2 I_0 \cos^2 \varphi,$$

де φ – шуканий кут між площинами пропускання поляризаторів.

З цієї формули отримуємо

$$\cos \varphi = \frac{1}{1-k} \sqrt{\frac{2I_2}{I_0}}. \quad (2)$$

Підставивши (1) в (2), отримаємо кінцеву формулу

$$\cos \varphi = \frac{I_0}{2I_1} \sqrt{\frac{2I_2}{I_0}} = \frac{1}{2 \cdot 0,3} \sqrt{2 \cdot 0,135} = \frac{\sqrt{3}}{2}.$$

Отже, $\varphi = 30^\circ$.

Задачі для самостійної роботи

8.1. Визначте за якого кута падіння, відбите світло від скла з показником заломлення 1,6 є повністю поляризованим.

58°

8.2. Значення кут Брюстераа у випадку падіння світла із повітря на кристал кам'яної солі дорівнює 57°. Визначте показник заломлення кам'яної солі.

1,54

8.3. Визначте значення показника заломлення непрозорої емалі, для якої кут повної поляризації при відбиванні дорівнює 52°.

8.4. Визначте значення показника заломлення скла, за умови, що відбите від нього світло повністю поляризоване за кута падіння 60°.

1,73

8.5. Визначте кутову висоту Сонця над горизонтом, за якої відбите від поверхні води світло, буде повністю поляризованим.

37°

8.6. За якого кута до оптичної осі повинні бути нахилені скляні ($n=1,54$) пластинки в стопі?

57°

8.7. Світло зазнає відбивання від дна склянки, в яку налита вода. Відбите світло є повністю поляризованим при падінні на дно склянки під кутом 50°. Знайдіть значення показника заломлення скла, з якого виготовлена склянка.

1,585

8.8. Природне світло падає на поліровану поверхню скляної пластинки, яка занурена у рідину. Відбитий світловий промінь утворює у повітрі кут 120° із падаючим променем. Визначте показник заломлення рідини, якщо відбите світло повністю поляризоване.

1,07

- 8.9. Знайдіть величину показника заломлення скла, якщо відбитий промінь повністю поляризований при куті заломлення 30° .
- 8.10. Значення граничного кута повного внутрішнього відбивання для деякої речовини дорівнює 45° . Визначте значення кута Брюстера для цієї речовини.
- 8.11. Визначте величину кута повної поляризації речовини, для якої значення граничного кута повного внутрішнього відбивання дорівнює 42° ?
- 8.12. Промінь світла падає під кутом 80° на поверхню води, яка знаходиться у прозорій посудині. Визначте показник заломлення матеріалу посудини, якщо відбите світло є повністю поляризованим.
- 8.13. Відомо, що значення граничного кута повного внутрішнього відбивання для деякої прозорої речовини дорівнює куту Брюстера. Знайдіть показник заломлення цієї речовини.
- 8.14. Аналізатор послаблює в два рази інтенсивність поляризованого світла. Визначте кут між головними площинами поляризатора і аналізатора. Поглинанням та розсіянням світла знехтувати.
- 45°**
- 8.15. Кут між головними площинами двох ніколів дорівнює 30° . Яка частина природнього світла, що падає на поляризатор, вийде з аналізатора?
- 8.16. У випадку, коли на поляризатор падає природнє світло, через нього проходить 30 % інтенсивності падаючого світла, а через два таких поляризатори – 13,5 %. Визначте кут між площинами пропускання цих поляризаторів.
- 8.17. Природнє світло послідовно проходить через поляризатор і аналізатор, кут між головними площинами яких 60° . Визначте частку початкового світлового потоку, яка вийде з аналізатора.
- 8.18. Визначте кут між головними площинами поляризатора і аналізатора, за умови, що інтенсивність природнього світла, яке

пройшло через них, зменшилася у чотири рази. Поглинанням та розсіянням світла знехтувати.

- 8.19. Головні площини двох призм Ніколя утворюють між собою кут 30° . Визначте зміну інтенсивності світла, що проходить через них, якщо кут між головними площинами ніколів збільшити до 45° .
- 8.20. Для демонстрації стереофільмів використовують два кінопроектори, світло від яких поляризоване у взаємно перпендикулярних площинах (вертикальній і горизонтальній). Для перегляду фільму глядачам видають поляроїдні окуляри, в яких орієнтація головних площин двох поляроїдів також взаємно перпендикулярна. На який максимальний кут можна нахилити голову при перегляді фільму, щоб зображення ще помітно не двоїлось? Вважається, що для задовільного зображення перехресне попадання світла не повинно перевищувати 20 % його інтенсивності.

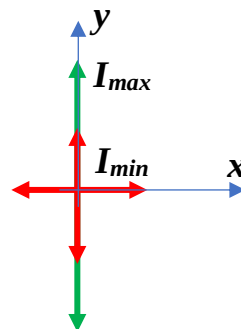
3.9. Поляризація світла. Ступінь поляризації. Оптична активність

Приклади розв'язування задач

1. Ступінь поляризації частково поляризованого світла дорівнює 0,25. Визначте відношення інтенсивності поляризованої складової до інтенсивності природної складової.

Розв'язування.

Частково-поляризоване світло є сумішшю природного та поляризованого. На рис. схематично позначено вектори, які відображають розподіл інтенсивності. Головна площина поляризації поляризованого світла проходить через вісь y . Червоні стрілки – природне світло у двох взаємно перпендикулярних площинах. Зелена – сума поляризованого та половини природного, площина якого проходить через вісь y .



Ступінь поляризації визначається формулою

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}.$$

$$I_{\min} = 1/2 I_{\text{пр}}; \quad I_{\max} = 1/2 I_{\text{пр}} + I_{\text{пол}}.$$

Тоді ступінь поляризації можна представити у вигляді

$$P = \frac{1/2 I_{\text{пр}} + I_{\text{пол}} - 1/2 I_{\text{пр}}}{1/2 I_{\text{пр}} + I_{\text{пол}} + 1/2 I_{\text{пр}}} = \frac{I_{\text{пол}}}{I_{\text{пр}} + I_{\text{пол}}}.$$

Звідси отримаємо, що

$$I_{\text{пол}} / I_{\text{пр}} = P / (1 - P) = 1/3.$$

Задачі для самостійної роботи

Оптична активність

9.1. Визначте товщину кварцової пластинки, для якої кут повороту площини поляризації світла з довжиною хвилі 589 нм дорівнює 180°. Постійна повороту у кварці для цієї довжини хвилі – 29,7°/мм.

6,06 мм

- 9.2. Пластинку кварцу завтовшки 2 мм, яку вирізали у перпендикулярному напрямку до оптичної осі, розташували між двома ніколями, площини пропускання яких збігаються. У результаті цього площина поляризації світла повернулась на кут 53° . Визначте товщину пластинки, за якої монохроматичне світло не проходить через систему схрещених ніколів.

3,4 мм

- 9.3. Пластинку кварцу завтовшки 2 мм, яку вирізали у перпендикулярному напрямку до оптичної осі, розташували між двома ніколями, площини пропускання яких збігаються. У результаті цього площина поляризації світла повернулась на кут 60° . Визначте найменшу товщину пластинки (але відмінну від нуля), за якої монохроматичне світло максимально проходить через систему схрещених ніколів.

6 мм

- 9.4. Значення концентрації розчину цукру, який налитий в скляну трубку, дорівнює $0,3 \text{ г/см}^3$. Цей розчин повертає площину поляризації монохроматичного світла на 25° . Визначте концентрацію розчину в іншій аналогічній трубці, якщо він повертає площину поляризації на 20° .

0,24 г/см³

- 9.5. Розчин глюкози 280 кг/м^3 налитий в скляну трубку цукриметра. Цей розчин повертає площину поляризації монохроматичного світла на кут 32° . Визначте концентрацію глюкози в іншому розчині, якщо при тих же умовах досліду він повертає площину поляризації на кут 24° .

210 кг/м³

- 9.6. Між схрещеними ніколями поляриметра помістили трубку з розчином цукру. Поле зору при цьому є найбільш світлим. Визначте довжину трубки за умови, що концентрація цукру

дорівнює 270 кг/м^3 , а його питоме повертання $6,65^\circ/\text{см}$ при концентрації 100 кг/м^3 .

5 см

- 9.7. Розчин цукру, який налитий в трубку завдовжки 18 см і розміщений між поляризаторами, повертає площину коливань світла від натрієвої лампи на 30° . Яка концентрація розчину цукру (в кг/м^3), якщо питоме повертання його для цієї довжини хвилі світла дорівнює $66,7 \cdot 10^{-2} \text{ }^\circ/(\text{м}^2 \cdot \text{кг})$?
- 9.8. Постійна магнітного повертання площини поляризації для CS_2 дорівнює $725 \text{ }^\circ/\text{Тл} \cdot \text{м}$ (за значення $\lambda = 589 \text{ нм}$). Знайти кут, на який повертається площина поляризації світла при його проходженні через CS_2 завтовшки 1 см , що розміщений у магнітному полі 2 Тл .
- 9.9. Знайти сталу Верде для заліза, якщо відомо, що шар заліза 1 мкм повертає площину поляризації на 13° в магнітному полі $0,9 \text{ Тл}$ при $\lambda = 589 \text{ нм}$.

Частково поляризоване світло

- 9.10. На шляху частково поляризованого світла помістили аналізатор. При повертанні поляризатора на кут 60° із положення, якому відповідає максимум пропускання світла, інтенсивність світла, що пройшло, зменшилась в 3 рази. Знайти ступінь поляризації світла, яке падає.

0,8

- 9.11. Ступінь поляризації світла дорівнює $0,5$. У скільки разів відрізняється максимальна та мінімальна інтенсивності світла, які пропускає аналізатор.

3

- 9.12. На шляху частково поляризованого світла, ступінь поляризації якого дорівнює $0,25$, поставили аналізатор так, що через нього проходить максимальна інтенсивність світла. Визначте у скільки

зменшиться інтенсивність світла, якщо аналізатор повернути на кут 30° .

1,1

9.13. Знайти ступінь поляризації заломленого світла при падінні під кутом Брюстера на воду з показником заломлення 1,33.

0,04

9.14. Ступінь поляризації частково поляризованого світла дорівнює 0,25. Визначте відношення інтенсивності поляризованої складової до інтенсивності природної складової.

1/3

3.10. Дисперсія світла. Поглинання світла

Приклади розв'язування задач

1. Показник заломлення прозорих речовин від довжини хвилі може бути визначений функціональною залежністю (формула Коші): $n = A + \frac{B}{\lambda^2}$. Показник заломлення води для $\lambda_1=441$ нм дорівнює $n_1=1,341$, а за $\lambda_2=589$ нм – $n_2=1,334$ нм. Визначте величину показника заломлення та дисперсію води для довжини хвилі $\lambda=500$ нм.

Розв'язування. Записуємо систему рівнянь для A і B :

$$n_1 = A + \frac{B}{\lambda_1^2}; \quad n_2 = A + \frac{B}{\lambda_2^2}.$$

Розв'язавши систему, знаходимо значення A і B . Тоді показник заломлення $n(\lambda=500 \text{ нм}) = 1,337$. Значення дисперсії води обчислюємо за формулою:

$$D = dn/d\lambda = -0.0494 \text{ мкм}^{-1}.$$

2. З деякої прозорої речовини виготовили дві плоскопаралельні пластинки завтовшки 4 мм і 8 мм. Визначте коефіцієнт поглинання цих матеріалів, якщо перша пластинка пропускає 80% світлового потоку, а друга 64%.

Розв'язування. Запишемо закон Бугера-Ламберта для кожної з пластинок:

$$I_1 = I_0 e^{-\alpha d_1}; \quad I_2 = I_0 e^{-\alpha d_2}.$$

У цих рівняннях I_0 , I_1 , I_2 – інтенсивність світла, яке потрапляє на поверхню пластинок, виходить з першої та другої пластинки, відповідно; d_1 , d_2 – товщини цих пластинок; α – коефіцієнт поглинання матеріалу. Поділимо перше рівняння на друге:

$$I_1/I_2 = e^{\alpha(d_2-d_1)}.$$

Тоді коефіцієнт поглинання речовини:

$$\alpha = \frac{1}{d_2 - d_1} \ln \frac{I_1/I_0}{I_2/I_0} = \frac{1}{0,004} \ln \frac{0,8}{0,64} = 24,3 \text{ 1/м.}$$

Задачі для самостійної роботи

Дисперсія світла

- 10.1. Біле світло, яке пройшло через призму, розкладається в спектр. Чому тоді призми повного внутрішнього відбивання дають зображення без кольорової кайми?
- 10.2. Чому скляна призма непридатна для отримання спектрів інфрачервоного та ультрафіолетового випромінювання? Які призми потрібні для використання в цих спектральних діапазонах?
- 10.3. Поздовжня хроматична аберація симетричної збиральної лінзи 22 мм. Визначте радіус кривизни поверхонь лінзи, якщо значення показника заломлення цього сорту скла дорівнює для червоних променів 1,57, а для фіолетових – 1,60.
- 50 см**
- 10.4. Як буде змінюватись фокусна відстань лінзи при її рівномірному нагріванні?
- 10.5. Призма із заломлюючим кутом $\alpha=60^\circ$ виготовлена із флінту (сорт оптичного скла) з показником заломлення $n=1,70$. Обчисліть кут $\Delta\varphi$, на який будуть розведені дві жовті лінії $\lambda_1=589,0 \text{ нм}$ і $\lambda_2=589,6 \text{ нм}$ в спектрі натрію, якщо дисперсія матеріалу призми в цьому діапазоні довжин хвиль $\frac{dn}{d\lambda} = -956 \text{ см}^{-1}$.
- 10.6. Випромінювання парів натрію паралельним пучком падає на призму із заломлюючим кутом 60° . Зображення джерела у вигляді тонких спектральних ліній отримується в фокальній площині лінзи з фокусною відстанню 50 см. Визначте відстань між двома

жовтими спектральними лініями, якщо для однієї з них показник заломлення призми складає 1,48810, а другої – на 10^{-5} більший. Призма перебуває у положенні найменшого відхилення.

- 10.7. Показник заломлення прозорих речовин від довжини хвилі може бути визначений функціональною залежністю (формула Коші):

$$n = A + \frac{B}{\lambda^2}.$$

Значення показника заломлення води для $\lambda_1=441$ нм

дорівнює $n_1=1,341$, а при $\lambda_2=589$ нм – $n_2 = 1,334$ нм. Визначте дисперсію води для вказаних довжин хвиль.

- 10.8. Показник заломлення прозорих речовин від довжини хвилі може бути визначений функціональною залежністю (формула Коші):

$$n = A + \frac{B}{\lambda^2}.$$

Показник заломлення води для $\lambda_1=441$ нм дорівнює

$n_1=1,341$, а при $\lambda_2=589$ нм – $n_2=1,334$ нм. Визначте величину показника заломлення та дисперсію води для довжини хвилі $\lambda=500$ нм.

- 10.9. Користуючись формулою Коші (див. попередні задачі) визначте показник заломлення та дисперсію важкого крону (сорт скла) для довжини хвилі $\lambda=500$ нм. Показники заломлення важкого крону для $\lambda_1=486,1$ нм складає $n_1=1,620$, а при $\lambda_2=589,3$ нм - $n_2=1,613$ нм.

Поглинання світла

- 10.10. Частка пропускання прозорою пластинкою світлового потоку дорівнює 50 %. Визначте коефіцієнт поглинання, якщо товщина пластинки 4,2 см. Розсіянням світла знехтувати. Вважати, що 10 % падаючого світлового потоку відбивається від поверхонь пластинки.

- 10.11. З деякої прозорої речовини виготовили дві плоскопаралельні пластинки завтовшки 4 мм і 8 мм. Визначте коефіцієнт

поглинання цих матеріалів, якщо перша пластинка пропускає 80 % світлового потоку, а друга – 64 %.

- 10.12. Чому в парниках температура помітно вища, ніж у відкритому середовищі?
- 10.13. Товщина скла в теплиці 2 мм. Коефіцієнт поглинання скла для інфрачервоної області спектру $0,62 \text{ см}^{-1}$. Яка доля сонячної енергії в інфрачервоній області досягає рослин?
- 10.14. Знайти оптичну густину розчину, якщо його коефіцієнт пропускання $\tau=0,3$?
- 10.15. У 4%-ному розчині речовини в прозорому розчиннику інтенсивність світла на глибині 20 мм послаблюється в 2 рази. У скільки разів послаблюється інтенсивність світла на глибині 30 мм у 8%-ному розчині цієї ж речовини?
- 10.16. Визначте концентрацію досліджуваного розчину, якщо однакова освітленість фотометричних полів була отримана від еталонного 3%-ного розчину за товщини 8 мм та від досліджуваного за товщини 24 мм.

Розсіювання світла

- 10.17. Якщо монохроматичне світло проходить через шар завтовшки 15 см його інтенсивність зменшується у чотири рази. Визначте коефіцієнт розсіювання, якщо коефіцієнт поглинання $0,025 \text{ см}^{-1}$.
- 10.18. Обчисліть у скільки разів інтенсивність молекулярного розсіювання синього світла ($\lambda_1=460 \text{ нм}$) є більшою за інтенсивність розсіювання червоного світла ($\lambda_2=650 \text{ нм}$).
- 10.19. Чому червоне небо на заході – це надійна ознака того, що скоро буде вітряна погода?
- 10.20. Який існує зв'язок між молекулярним розсіюванням світла в атмосфері та прапором нашої держави?

4. ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ

Номер варіанта індивідуального завдання вказує викладач. Звіт про виконане індивідуальне завдання повинен містити розв'язки задач із детальним поясненням. Розв'язки при необхідності повинні супроводжуватися малюнками.

№ варіанта	№ задачі										
1	1.11	2.4	3.5	3.21	4.16	5.15	6.6	7.6	8.4	9.4	10.5
2	1.12	2.5	3.6	3.22	4.17	5.16	6.7	7.7	8.5	9.5	10.6
3	1.13	2.6	3.7	3.23	4.18	5.17	6.8	7.8	8.6	9.6	10.7
4	1.14	2.7	3.8	3.24	4.19	5.18	6.9	7.9	8.7	9.7	10.8
5	1.15	2.8	3.9	3.25	4.20	5.14	6.10	7.10	8.8	9.8	10.9
6	1.16	2.9	3.10	3.26	4.1	5.13	6.11	7.11	8.9	9.9	10.10
7	1.17	2.10	3.11	3.27	4.2	5.12	6.12	7.12	8.10	9.10	10.11
8	1.18	2.11	3.12	3.28	4.3	5.11	6.13	7.13	8.11	9.11	10.12
9	1.19	2.12	3.13	3.29	4.4	5.10	6.14	7.14	8.12	9.12	10.13
10	1.20	2.13	3.14	3.30	4.5	5.9	6.15	7.15	8.13	9.1	10.14
11	1.21	2.14	3.15	3.31	4.6	5.8	6.16	7.16	8.14	9.2	10.15
12	1.22	2.15	3.16	3.32	4.7	5.7	6.17	7.17	8.15	9.3	10.16
13	1.23	2.16	3.17	3.33	4.8	5.6	6.18	7.18	8.16	9.4	10.17
14	1.24	2.17	3.18	3.34	4.9	5.5	6.19	7.19	8.17	9.5	10.18
15	1.25	2.18	3.19	3.35	4.11	5.4	6.20	7.20	8.18	9.6	10.19

ДОДАТКИ

Значення показників заломлення деяких речовин

Речовина	n	Речовина	n
Алмаз	2,42	Повітря	1,000 29
Вода ($t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$)	1,33	Сірковуглець	1,63
Кварц	1,54	Скипидар ($t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$)	1,47
Лід ($t = -4\text{ }^{\circ}\text{C}$)	1,31	Скло	1,50

2. Області довжин хвиль та відповідні їм спектральні кольори

колір	діапазон довжин хвиль, нм
фіолетовий	400 - 435
синій	435 - 460
блакитний	460 - 495
зелений	495 - 570
жовтий	570 - 590
оранжевий	590 - 630
червоний	630 - 760

3. Значення синусів і тангенсів для кутів 1 - 90°

Кут,°	Синус	Тангенс	Кут	Синус	Тангенс
1	0,0175	0,0175	26	0,4384	0,4877
2	0,0349	0,0349	27	0,4540	0,5095
3	0,0523	0,0524	28	0,4695	0,5317
4	0,0698	0,0699	29	0,4848	0,5543
5	0,0872	0,0875	30	0,5000	0,5774
6	0,1045	0,1051	31	0,5150	0,6009
7	0,1219	0,1228	32	0,5299	0,6249
8	0,1392	0,1405	33	0,5446	0,6494
9	0,1564	0,1584	34	0,5592	0,6745
10	0,1736	0,1763	35	0,5736	0,7002
11	0,1908	0,1944	36	0,5878	0,7265
12	0,2079	0,2126	37	0,6018	0,7536
13	0,2250	0,2309	38	0,6157	0,7813
14	0,2419	0,2493	39	0,6293	0,8098
15	0,2588	0,2679	40	0,6428	0,8391
16	0,2756	0,2867	41	0,6561	0,8693
17	0,2924	0,3057	42	0,6691	0,9004
18	0,3090	0,3249	43	0,6820	0,9325
19	0,3256	0,3443	44	0,6947	0,9657
20	0,3420	0,3640	45	0,7071	1,0000
21	0,3584	0,3839	46	0,7193	1,036
22	0,3746	0, 4040	47	0,7314	1,072
23	0,3907	0,4245	48	0,7431	1,111
24	0,4067	0,4452	49	0,7574	1,150
25	0,4226	0,4663	50	0,7660	1,192

Електронне навчально-методичне видання

**Олег Кузик,
Олеся Даньків**

Загальна фізика

Оптика

*Методичні матеріали
до самостійної роботи*

**Дрогобицький державний педагогічний університет
імені Івана Франка**

Редактор
Ірина Невмержицька

Технічний редактор
Артимко Ірина

Здано до набору 25.02.2025 р. Формат 60х90/16. Гарнітура Times. Ум. друк.
арк. 7,37.. Зам. 17.

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка.
(Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру
видавців, виготівників та розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5140 від
01.07.2016 р.). 82100, Дрогобич, вул. Івана Франка, 24, к. 203.