

**Міністерство освіти і науки України
Черкаський національний університет
імені Богдана Хмельницького**

А.В. Ткаченко, О.І. Богатирьов, Л.О. Кулик

ОПТИКА

Навчально-методичний посібник для студентів
напряму підготовки 6.040203 Фізика
класичних і педагогічних ВНЗ

Черкаси
2014

УДК 53:378.147.88

ББК 22.3 р30

Т 48

Рецензенти:

С.О. Колінько – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики Черкаського державного технологічного університету;

С.В. Корнієнко – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького

Ткаченко А.В., Богатирьов О.І., Кулик Л.О.

Т 48 **ОПТИКА** : Навчально-методичний посібник для студентів напряму підготовки 0402 Фізика класичних і педагогічних ВНЗ. – Черкаси : Вид. від. ЧНУ імені Богдана Хмельницького, 2014. – 88 с

ISBN

Навчально-методичний посібник містить теоретичний матеріал, методичні рекомендації та завдання до контрольних та розрахунково-графічних робіт з оптики.

Для студентів напряму підготовки 0402 Фізика класичних і педагогічних університетів.

УДК 53:378.147.88

ББК 22.3 р30

*Рекомендовано до друку Вченою радою
Черкаського національного університету
імені Богдана Хмельницького
(протокол № 4 від 24.12.2013 року)*

ISBN 978-966-353-333-9

© ЧНУ ім. Б. Хмельницького, 2014

© А.В. Ткаченко, 2014

© О.І. Богатирьов, 2014

© Л.О. Кулик, 2014

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1. Зміст дисципліни.....	6
2. Рекомендована література.....	8
2.1. Основна література.....	8
2.2. Додаткова література.....	8
3. Теоретичний матеріал, знання якого необхідне для успішного виконання завдань	
3.1. Основні світлові та енергетичні величини. Фотометрія.....	9
3.1.1. Хвильові і корпускулярні властивості світла.....	9
3.1.2. Фотометричні величини.....	9
3.1.3. Енергетичні величини.....	11
3.2. Поширення світла в ізотропних середовищах.....	13
3.2.1. Відбивання і заломлення світла на плоскій межі двох середовищ.....	13
3.2.2. Відбивання і заломлення світла на сферичній межі двох середовищ.....	13
3.3. Інтерференція світла.....	16
3.4. Дифракція світла.....	18
3.4.1. Зони Френеля.....	18
3.4.2. Дифракція світла на щілині.....	18
3.4.3. Дифракція на ґратці.....	19
3.4.4. Кутова дисперсія та роздільна здатність ґратки.....	19
3.4.5. Дифракція рентгенівських променів.....	20
3.5. Поляризація світла.....	20
3.5.1. Кут Брюстера.....	20
3.5.2. Закон Малюса.....	21
3.5.3. Пластинки в чверть та в півхвилі.....	21
3.5.4. Обертання площини поляризації.....	22
3.5.5. Формули Френеля.....	22
3.6. Розсіювання світла.....	23
3.6.1. Закон Релея.....	23
3.6.2. Розсіювання Мі.....	23
3.7. Релятивістські ефекти в оптиці.....	23
3.7.1. Швидкість світла, методи її вимірювання.....	23
3.7.2. Ефект Доплера.....	24
3.7.3. Ефект Вавилова-Черенкова.....	24
4. Приклади розв'язування задач.....	25
5. Розподіл задач за варіантами.....	46
6. Задачі для контрольної та розрахунково-графічної роботи.....	49
7. Таблиці основних фізичних величин.....	87

ВСТУП

Компетентність фахівця визначається рівнем освіти, знаннями, вміннями і навичками в області професійної діяльності. Тому перед вищими навчальними закладами постала низка питань, пов'язаних з формуванням фахових компетентностей випускників, зокрема ключового значення набуває практична спрямованість отриманих знань, самостійність у прийнятті рішень і розв'язанні проблемних питань, які перед молоддю ставить сучасне суспільство.

У зв'язку з цим виникла необхідність розробки і впровадження методичного забезпечення самостійної пізнавальної діяльності студентів, яке б сприяло індивідуалізації навчання, інтенсифікації самостійної роботи студентів, розвитку ключових якостей майбутнього фахівця, творчого мислення, вдосконалення умінь і навичок.

Розділ «Оптика» загального курсу фізики є одним з профілюючих у підготовці фізика. Вивчення цього розділу формує у студентів уявлення про фізику як науку, що має експериментальну основу, знайомить із історією найважливіших фізичних відкриттів і виникнення теорій, ідей і понять. Мова йде про такі важливі питання як основні властивості світла і його характеристики; явища інтерференції, дифракції, поляризації, дисперсії, поглинання та розсіювання світла; експериментальні основи спеціальної теорії відносності.

Характерною ознакою світла є його дуалізм. В одних явищах на передній план виступають його хвильові властивості, в інших – корпускулярні. Основну увагу в оптиці звертають на розгляд саме тих явищ, пояснення яких можливе на основі хвильових уявлень про світло.

Як граничний випадок хвильової оптики розглядається геометрична оптика. У заключному розділі вивчаються деякі нелінійні явища в оптиці.

Важливою складовою фахової підготовки фізика є вміння розв'язувати фізичні задачі. З метою оцінювання та коригування таких умінь навчальними

планами підготовки бакалаврів фізики передбачено виконання студентами розрахунково-графічних робіт з кожного розділу загального курсу фізики.

Пропонований нами навчально-методичний посібник складений відповідно до діючої навчальної програми з оптики для класичних університетів і є складовою частиною методичного комплексу з загального курсу фізики, до складу якого входять методично-інструктивні матеріали до розрахунково-графічних робіт з усіх розділів фізики не лише для фізичних спеціальностей, а також й для інженерних спеціальностей університетів.

Навчально-методичний посібник «Оптика» містить 320 задач і основний теоретичний матеріал з усіх тем геометричної та хвильової оптики, фотометрії та релятивістських ефектів в оптиці. Наведено приклади розв'язування задач та їх оформлення, а також рекомендовано літературні джерела і подано необхідний довідниковий матеріал. Усі задачі розподілено на 40 варіантів. Кожен з них складається з восьми задач.

Розв'язок задачі повинен містити, насамперед, достатньо повне пояснення із супроводом графіків, схем, рисунків. Саме за рівнем та якістю цієї частини розв'язку викладач оцінює ступінь розуміння студентом фізичних законів та явищ.

При оформленні роботи слід користуватися існуючим стандартом. Кожну задачу потрібно розв'язати у загальному вигляді, отримати кінцевий вираз для обчислення, а вже потім підставити необхідні числові величини та виконати обрахунки. При цьому слід користуватися Міжнародною системою одиниць. При підстановці в розрахункову формулу, а також при записі відповіді числове значення величин слід записувати як добуток десяткового дробу з однією значущою цифрою перед комою на відповідну степінь десяти.

Зміст задач і структура посібника відповідають сучасному стану фізичної науки та передовим методичним тенденціям навчання фізики. Посібник буде корисним і доцільним для студентів фізичних, математичних, природничих та інженерних спеціальностей вищих навчальних закладів.

1. ЗМІСТ ДИСЦИПЛІНИ

Відповідно до діючої навчальної програми підготовки бакалаврів фізики студенти, вивчаючи фізику, повинні засвоїти наведений нижче матеріал з оптики.

Вступ. Предмет оптики. Корпускулярно-хвильовий дуалізм світла. Джерела та приймачі світла. Основні світлові та енергетичні величини.

Електромагнітна природа світла. Опис електромагнітних хвиль. Хвильове рівняння. Плоскі гармонічні хвилі. Представлення електромагнітних хвиль у комплексній формі. Немонохроматичне та хаотичне випромінювання. Основні поняття Фур'є-оптики.

Поширення світла в ізотропних середовищах. Відбивання та заломлення світла на межі двох діелектриків. Повне відбивання. Волоконна оптика. Дисперсія. Нормальна і аномальна дисперсія. Електронна теорія дисперсії. Фазова і групова швидкості. Спектрометрія. Спектральний аналіз. Райдуга. Поглинання світла. Кольори тіл. Поширення світла у провідних середовищах. Комплексна діелектрична проникність.

Геометрична оптика. Геометрична оптика як граничний випадок хвильової оптики. Принцип Ферма. Відбивання і заломлення світла на сферичній межі двох середовищ. Інваріант Аббе. Сферичні дзеркала. Тонкі лінзи. Формула лінзи. Аберації оптичних систем. Око як оптична система. Оптичні прилади: лупа, мікроскоп, телескоп, фотоапарат, проєкційні прилади. Роздільна здатність оптичних приладів.

Інтерференція світла. Явище інтерференції. Когерентність. Час і довжина когерентності. Двопроменева інтерференція, що здійснюється поділом хвильового фронту. Двопроменева інтерференція, що здійснюється поділом амплітуди. Інтерференція у тонких плівках. Багатопроменева інтерференція. Застосування інтерференції в науці і техніці. Інтерферометри.

Дифракція світла. Явище дифракції. Принципи Гюйгенса-Френеля. Дифракція Френеля і Фраунгофера. Метод зон Френеля. Пояснення прямолінійності поширення світла на основі хвильових уявлень. Зонна

пластинка. Дифракція Френеля на круглому отворі, на круглому екрані, на краю напівобмеженого плоского екрана. Дифракція Фраунгофера на щілині та круглому отворі. Дифракційна решітка. Кутова дисперсія та роздільча здатність решітки. Типи дифракційних решіток. Дифракція рентгенівських променів. Формула Вульфа-Брегга. Фізичні основи голографії.

Поляризація світла. Поляризоване і неполяризоване світло. Одержання поляризованого світла. Дихроїзм. Закон Малюса. Кут Брюстера. Подвійне заломлення променів. Хвильові поверхні в кристалах. Одновісні кристали. Поляризатори і аналізатори. Формули Френеля. Еліптична і колова поляризація. Пластинки в чверть та в півхвилі. Інтерференція поляризованого світла. Штучна анізотропія. Обертання площини поляризації. Поляризаційні прилади.

Розсіювання світла. Природа процесів розсіювання. Релеєвське розсіювання і розсіювання Мі. Закони Релея. Поляризація розсіяного світла. Оптичні явища, зумовлені розсіюванням світла в атмосфері.

Релятивістські ефекти в оптиці. Швидкість світла. Методи вимірювання швидкості світла.

Оптика середовищ, що рухаються. Експериментальні основи спеціальної теорії відносності. Ефект Доплера. Червоне зміщення у спектрах галактик.

Нелінійні явища в оптиці. Лінійна поляризованість. Нелінійна поляризованість. Генерація гармонік. Самовплив світла в нелінійному середовищі.

2. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Під час вивчення теоретичного матеріалу рекомендуємо користуватися наступною літературою:

2.1. Основна література

- 2.1.1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т. Загальний курс фізика. – Т.3.: Оптика. Квантова фізика.- К.: Техніка, 2006. – 518с.
- 2.1.2. Кучерук І.М., Дущенко В.П. Загальна фізика. Оптика. Квантова фізика. – К.: Вища школа, 1991. – 463с.
- 2.1.3. Білий М.І., Скубенко А.Ф. Загальна фізика. Оптика. – К.: Вища школа, 1987. – 376с.
- 2.1.4. Ландсберг Г.С. Оптика. – М.: Наука, 1976. – 926с.
- 2.1.5. Матвеев А.Н. Оптика. – Высшая школа, 1985. – 325с.
- 2.1.6. Годжаев Н.М. Оптика. – М.: Высшая школа, 1977. – 432с.
- 2.1.7. Гаркуша І.П., Горбачук І.Т. та ін. Загальна фізика. Збірник задач.– К.: Техніка, 2003. – 560с.
- 2.1.8. Сивухин Д.В. Сборник задач по общему курсу физики. Оптика. – М.: Наука, 1977. – 320с.
- 2.1.9. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. – М.: Наука, 1985. – 464с.
- 2.1.10. Цедрик М.С. Сборник задач по физике. – Минск: Высшая школа, 1989. – 270с.
- 2.1.11. Иродов И.Е. Задачи по общей физике. – М.: Наука, 1988. – 416с.

2.2. Додаткова література

- 2.2.1. Королев Ф.А. Теоретическая оптика. – М.: Высшая школа, 1966. – 555с.
- 2.2.2. Заказнов Н.П. Прикладная оптика. – М.: Машиностроение, 1988. – 312с.
- 2.2.3. Нагибина И.М. Интерференция и дифракция света. – Л.: Машиностроение, 1974. – 359с.
- 2.2.4. Бушок Г.Ф., Левандовский В.В., Півень Г.Ф. Курс фізики. – К.: Либідь, 1997. – 337с.
- 2.2.5. Борбат А.М. Горбань И.С. и др. Оптические измерения. – К.: Техніка, 1967. – 419с.
- 2.2.6. Булат В.Л. Оптические явления в природе. – М.: Просвещение, 1974. – 144с.
- 2.2.7. Савельев И.В. Сборник вопросов и задач по общей физике. М.: Наука, 1988. – 288с.
- 2.2.8. Савченко О.Я. Задачи по физике. – М.: Наука, 1988. – 414с.
- 2.2.9. Коршак Є.В. Розв'язування задач з фізики. – К.: Вища школа. – 311с.

3. ТЕОРЕТИЧНИЙ МАТЕРІАЛ, ЗНАННЯ ЯКОГО НЕОБХІДНЕ ДЛЯ УСПІШНОГО ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ

3.1. Основні світлові та енергетичні величини. Фотометрія

3.1.1. Хвильові і корпускулярні властивості світла

Світлове випромінювання являє собою складний електромагнітний процес, що володіє хвильовими і корпускулярними властивостями. Енергія є однією з важливих квантових характеристик світла і визначається наступним співвідношенням: $E = h\nu$, де $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ – стала Планка; $\nu = \frac{c}{\lambda}$ – частота світлового випромінювання.

Враховуючи, що $E = mc^2$, маса фотона m_ϕ та імпульс фотона P_ϕ визначаються за формулами:

$$m_\phi = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h}{\lambda c}; P_\phi = m_\phi \cdot c = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}.$$

Момент імпульсу фотона (або спін фотона) за абсолютною величиною рівний:

$$l = \frac{h}{2\pi}.$$

3.1.2. Фотометричні величини

Величини, що характеризують оптичне випромінювання у видимій частині спектра (380÷760нм) відносно приймача (людського ока) називають світловими або фотометричними.

3.1.2.1. Основною світловою одиницею SI є одиниця сили світла – кандела ($кд$). $1кд$ – сила світла, яку випромінює з площі $\frac{1}{600000} \text{ м}^2$ абсолютно чорне тіло у перпендикулярному напрямку при температурі тверднення платини (2042K) і тиску 10^5 Па .

Під силою світла розуміють фізичну величину, яка чисельно дорівнює світловому потоку, що випромінюється точковим джерелом світла через одиничний тілесний кут:

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}.$$

Для ізотропних джерел світла (джерела, сила світла яких не залежить від напрямку):

$$I = \frac{\Phi}{4\pi}.$$

До похідних світлових одиниць належать: люмен – одиниця світлового потоку, люкс – одиниця освітленості, ніт – одиниця яскравості.

3.1.2.2. Світлова енергія, що переноситься променями світла за одиницю часу через поверхню $d\sigma$ у тілесному куті $d\Omega$ називається потоком випромінювання Φ . Якщо нормаль до поверхні $d\sigma$ утворює з напрямом поширення світла кут θ , то потік випромінювання $d\Phi$ визначається за формулою:

$$d\Phi = Id\sigma d\Omega \cos\theta.$$

Для точкового джерела:

$$d\Phi = Id\Omega.$$

Для ізотропного джерела:

$$\Phi = 4\pi I.$$

Одиницею світлового потоку є люмен (лм). 1 люмен – це фізична величина, яка чисельно дорівнює світловому потоку, що випромінюється ізотропним джерелом із силою світла в 1 канделу всередині тілесного кута в 1 стеррадіан.

3.1.2.3. Освітленість – фізична величина, що характеризує кількісно освітлення поверхні, на яку падає світловий потік, і чисельно дорівнює світловому потоку $d\Phi$, який падає на одиницю поверхні $d\sigma$:

$$E = \frac{d\Phi}{d\sigma}.$$

Для точкового ізотропного джерела:

$$E = \frac{I}{r^2} \cos\varphi,$$

де φ – кут між нормаллю до поверхні і напрямом на джерело, r – відстань від джерела до поверхні, на яку падає світло.

Одиницею освітленості є люкс (*лк*). 1 люкс – це потік в 1 люмен, який рівномірно розподіляється на площі в 1 м^2 .

3.1.2.4. Світність – фізична величина, яка характеризує протяжні джерела світла і чисельно дорівнює повному світловому потоку $d\Phi$, що випромінюється одиницею площі його поверхні dS в один бік (у середину тілесного кута 2π):

$$R = \frac{d\Phi}{dS} = \frac{Id\Omega}{dS}.$$

Якщо світність поверхні зумовлена її освітленістю, то

$$R = \rho \cdot E, \text{ де } \rho - \text{коефіцієнт відбивання.}$$

Одиницею світності є люмен на квадратний метр ($\frac{\text{лм}}{\text{м}^2} = \text{лк}$).

3.1.2.5. Яскравість – світлова характеристика протяжного джерела світла. Яскравість B у даному напрямі – це фізична величина, яка чисельно дорівнює світловому потоку $d\Phi$, що випромінюється з одиниці видимої поверхні всередину одиничного тілесного кута у заданому напрямі:

$$B = \frac{d\Phi}{d\Omega dS \cos\theta} = \frac{I}{dS \cos\theta},$$

де θ – кут між нормаллю до поверхні та напрямом випромінювання;

$dS \cos\theta$ – видима у даному напрямі поверхня джерела випромінювання.

Якщо яскравість B джерела випромінювання не залежить від напрямку (ламбертівське джерело), то світність R і яскравість B зв'язані співвідношенням:

$$R = \pi B.$$

Одиницею яскравості є кандела на квадратний метр ($\frac{\text{кд}}{\text{м}^2}$). Її також називають ніт (*нт*). 1 ніт – це яскравість плоскої поверхні, сила світла якої у нормальному напрямі дорівнює одній канделі з квадратного метра.

3.1.3. Енергетичні величини

3.1.3.1. З енергетичної точки зору одна кандела дорівнює силі світла у заданому напрямі джерела, близького до монохроматичного ($\nu = 5,4 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$,

$\lambda = 555\text{нм}$), енергетична сила світла якого у цьому напрямі становить $\frac{1}{683} \frac{\text{Вт}}{\text{стер}}$.

$$I \left[\frac{\text{Вт}}{\text{стер}} \right]$$

3.1.3.2. Світловий потік Φ являє собою світлову енергію dW , яка падає на освітлювальну поверхню за одиницю часу dt :

$$\Phi = \frac{dW}{dt} \left[\frac{\text{Дж}}{\text{с}} = \text{Вт} \right]$$

3.1.3.3. Освітленість – це енергія, що потрапляє на одиницю освітлювальної поверхні $d\sigma$ за одиницю часу dt :

$$E = \frac{d\Phi}{d\sigma} = \frac{Id\Omega}{dS} \left[\frac{\text{Вт} \cdot \text{стер}}{\text{стер} \cdot \text{м}^2} = \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right]$$

3.1.3.4. Світність – це енергія, яку випромінює одиниця світної поверхні dS за одиницю часу dt :

$$R = \frac{d\Phi}{dS} = \frac{Id\Omega}{dS} \left[\frac{\text{Вт} \cdot \text{стер}}{\text{стер} \cdot \text{м}^2} = \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right]$$

3.1.3.5. З енергетичної точки зору яскравість джерела світла визначається як світлова енергія, що випромінюється з одиниці світної поверхні всередину одиничного тілесного кута:

$$B = \frac{d\hat{O}}{d\Omega dS \cos\theta} = \frac{I}{dS \cos\theta} \left[\frac{\hat{A}\hat{o}}{\text{н}\hat{o}\hat{a}\hat{o}\hat{\delta} \cdot \text{i}^2} \right]$$

3.1.3.6. Співвідношення між світловими і енергетичними величинами подано у таблиці 1.

Таблиця 1

Назва величини	Формула	Світлова одиниця вимірювання	Енергетична одиниця вимірювання
Сила світла	I	кд (кандела)	$\frac{\text{Вт}}{\text{стер}}$
Світловий потік	$d\Phi = I \cdot d\Omega$	лм (люмен), $1\text{лм} = 1\text{кд} \cdot \text{стер}$	Вт
Освітленість	$E = I \frac{d\Omega}{dS}$	лк (люкс), $1\text{лк} = 1 \frac{\text{кд} \cdot \text{стер}}{\text{м}^2}$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$

Світність	$R = I \frac{d\Omega}{d\sigma}$	лк (люкс), $1\text{лк} = 1 \frac{\text{кд} \cdot \text{стер}}{\text{м}^2}$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$
Яскравість	$B = \frac{I}{d\sigma \cdot \cos i}$	нт (ніт), $1\text{нт} = 1 \frac{\text{кд}}{\text{м}^2 \cdot \text{рад}}$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{стер}}$

3.2. Поширення світла в ізотропних середовищах

3.2.1. Відбивання і заломлення світла на плоскій межі двох середовищ

На межі поділу двох прозорих середовищ падаючий промінь поділяється на два: відбитий і заломлений. При цьому виконуються наступні закони:

- 1) падаючий, відбитий і заломлений промені знаходяться в одній площині з перпендикуляром, поставленим у точку падіння до межі поділу двох середовищ;
- 2) кут падіння i (кут між падаючим променем і нормаллю) дорівнює куту відбивання i' (кут між відбитим променем і нормаллю): $i = i'$;
- 3) кут падіння i і кут заломлення r (кут між заломленим променем і нормаллю) пов'язані між собою співвідношенням:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = n_{21},$$

де v_1 і v_2 – швидкості світла відповідно у першому та другому середовищі.

Величина $n = \frac{c}{v}$ має назву абсолютного показника заломлення, а n_{21} – відносного показника заломлення.

Якщо $n_1 < n_2$, то $i > r$. Якщо ж $n_1 > n_2$, то $i < r$ і при певному i_{cp} кут заломлення r може досягати 90° – спостерігається явище повного внутрішнього відбивання, світло з одного прозорого середовища не потрапляє в інше прозоре середовище.

Якщо другим середовищем є повітря, для якого $n \approx 1$, то

$$\sin i_{cp} = \frac{1}{n_1}.$$

3.2.2. Відбивання і заломлення світла на сферичній межі двох середовищ

3.2.2.1. Сферичне дзеркало

Сферичне дзеркало описується формулою:

$$\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} = \frac{2}{R} = \frac{1}{f},$$

де a_1 – відстань від сферичної поверхні до предмета;

a_2 – відстань від сферичної поверхні до зображення предмета;

R – радіус кривизни сферичної поверхні;

f – фокусна відстань дзеркала.

Відповідно до правила знаків усі відстані ($a_1; a_2; f; R$) відраховують від сферичної заломлюючої поверхні. Якщо хід променів співпадає з напрямом відрахування відстаней, то відповідна величина є додатньою. Якщо ж хід світлових променів і напрям відрахування відповідних відстаней не співпадають (протилежні за напрямом), то відповідні величини, що входять до формули сферичного дзеркала, від'ємні. Таким чином, радіус кривизни R і фокусна відстань f угнутого дзеркала – від'ємні, а опуклого дзеркала – додатні.

Оптична сила D сферичної заломлюючої поверхні з радіусом кривизни R визначається за формулою:

$$D = \frac{n' - n}{R},$$

де n і n' – показники заломлення середовищ, які розділені сферичною поверхнею.

3.2.2.2. Сферичні тонкі лінзи

Лінза називається тонкою, якщо її товщиною d можна знехтувати порівняно з радіусами кривизни R_1 і R_2 сферичних поверхонь, що її обмежують ($d \ll R_1; d \ll R_2$).

Формула тонкої лінзи:

$$-\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) = \frac{1}{f} = D,$$

де a_1 – відстань від лінзи до предмета;

a_2 – відстань від лінзи до зображення предмета;

n_2 – показник заломлення матеріалу лінзи;
 n_1 – показник заломлення середовища, в якому знаходиться лінза;
 R_1, R_2 – радіуси кривизни сферичних заломлюючих поверхонь, що обмежують лінзу; f – фокусна відстань лінзи; D – оптична сила лінзи.

Усі відстані, що входять до формули лінзи, відраховують від лінзи. Якщо напрям відрахування відстаней співпадає з напрямом поширення променів, то відстані є додатними, у протилежному випадку – від’ємними.

3.2.2.3. Збільшення оптичних систем

Збільшення, яке дає лінза, визначається за формулою:

$$\Gamma = \frac{a_2}{a_1} = \frac{H}{h},$$

де H – розмір зображення предмета; h – розміри предмета.

Збільшення лупи визначається співвідношенням:

$$\Gamma = \frac{\delta}{f},$$

де δ – відстань найкращого зору ($\delta = 25\text{см}$); f – фокусна відстань.

Збільшення мікроскопа:

$$\tilde{A} = \tilde{A}_{i\ddot{a}} \cdot \tilde{A}_{i\ddot{e}} = \frac{\Delta}{f_{i\ddot{a}}} \cdot \frac{\delta}{f_{i\ddot{e}}},$$

де Δ – оптична довжина тубуса мікроскопа;

δ – відстань найкращого бачення людини;

$f_{o\ddot{b}}, f_{o\ddot{k}}$ – фокусні відстані відповідно об’єктива і окуляра.

Збільшення телескопічної системи виражається формулою:

$$\Gamma = \frac{f_{o\ddot{b}}}{f_{o\ddot{k}}} = \frac{D_{o\ddot{k}}}{D_{o\ddot{b}}},$$

де $f_{o\ddot{b}}$ – фокусна відстань об’єктива телескопа;

$f_{o\ddot{k}}$ – фокусна відстань окуляра телескопа;

$D_{o\ddot{b}}, D_{o\ddot{k}}$ – оптичні сили відповідно об’єктива і окуляра.

3.2.2.4. Роздільна здатність оптичних приладів

Роздільна здатність Δl мікроскопа визначається за формулою:

$$\Delta l = 0,61 \frac{\lambda}{A},$$

де λ – довжина світлової хвилі; A – числова апертура об'єктива.

Роздільна здатність R телескопа визначається діаметром об'єктива $d_{об}$ і розраховується, виходячи з дифракції Фраунгофера (джерело світла віддалене, фронт хвилі плоский) на круглому отворі (вхідна зіниця телескопа):

$$R = \frac{d_{об}}{1,22\lambda}.$$

3.3. Інтерференція світла

Під інтерференцією розуміють явище складання хвиль, при якому відбувається стійке в часі їх взаємне підсилення в одних місцях і послаблення в інших у залежності від співвідношення між фазами цих хвиль.

Інтерферувати можуть лише узгодженні між собою, тобто когерентні, хвилі. Періоди коливання таких хвиль повинні співпадати, різниця фаз з часом має залишатися сталою, коливання поширюватися вздовж одного або близьких напрямів.

Результат інтерференції світла у тонких плівках (у прохідному світлі) визначається за формулами:

$$2dn \cos r = 2m \frac{\lambda}{2} \quad (\text{умова підсилення світла, в інтерференційній картині}$$

спостерігаються максимуми);

$$2dn \cos r = (2m + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (\text{умова послаблення світла, в інтерференційній}$$

картині спостерігаються мінімуми).

У цих виразах: d – товщина плівки, n – показник заломлення плівки, r – кут заломлення, λ – довжина світлової хвилі, m – порядок спектра ($m = 0, 1, 2, 3, \dots$).

Зазвичай інтерференційну картину спостерігають у відбитому світлі. У цьому випадку умови підсилення і послаблення стануть оберненими відносно прохідного світла.

Для зменшення відбивання світла від оптичних елементів (лінз, призм) на їх поверхню наносять тонкі прозорі плівки із спеціально підібраних речовин. Цей метод одержав назву просвітлення оптики. Товщина плівки d залежить від її показника заломлення n і довжини хвилі λ , для якої здійснюється просвітлення:

$$d = \frac{\lambda}{4n}.$$

Показник заломлення плівки n повинен бути меншим показника заломлення скла $n_{ск}$ і більшим показника заломлення оточуючого середовища n_{oc} :

$$n = \sqrt{n_{ск} \cdot n_{oc}}.$$

Для повітря $n_{oc} \approx 1$. Тоді $n = \sqrt{n_{ск}}$.

При спостереженні інтерференції у прохідному світлі радіуси світлих кілець Ньютона визначаються за формулою:

$$r_m = \sqrt{Rm\lambda}, \quad (m = 0, 1, 2, 3, \dots),$$

а радіуси темних кілець:

$$r_m = \sqrt{(2m+1)R\frac{\lambda}{2}}, \quad (m = 0, 1, 2, 3, \dots),$$

де R – радіус кривизни лінзи.

У відбитому світлі перша формула відповідатиме мінімуму, а друга – максимуму освітленості в інтерференційній картині.

Час когерентності $\tau_{ei\bar{a}} = \frac{1}{\Delta\omega_{ei\bar{a}}} \approx \frac{1}{\Delta\nu_{ei\bar{a}}}$, де $\Delta\omega_{ei\bar{a}}$ – проміжок частот від ω_1 до ω_2 .

Для теплових джерел світла $\tau_{ei\bar{a}} = 10^{-9} \div 10^{-10} \tilde{n}$, для газових лазерів $\tau_{ei\bar{a}} = 10^{-3} \div 10^{-2} \tilde{n}$.

$$\text{Довжина когерентності } l_{ei\bar{a}} = \tilde{n} \cdot \tau_{ei\bar{a}} = \frac{\tilde{n}}{\Delta\nu_{ei\bar{a}}} = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda},$$

де $\frac{\lambda}{\Delta\lambda}$ – ступінь монохроматичності світла;

$\Delta\lambda$ – інтервал довжин хвиль, які є в даному світловому пучку.

Для людського ока $\Delta\lambda \approx 0,01\lambda$.

Граничний порядок інтерференції, який спостерігається, визначається за формулою:

$$m_{\text{ад}} = \frac{L_{\text{ета}}}{\lambda} = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}.$$

3.4. Дифракція світла

3.4.1. Зони Френеля

Дифракція Френеля на круглому отворі радіуса r визначається кількістю зон Френеля m , що вміщуються в цьому отворі і котрі залежать як від розмірів отвору екрана та довжини хвилі, так і від розміщення джерела і точки спостереження відносно екрана:

$$m = \frac{r^2}{\lambda} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right),$$

де a – відстань від перешкоди до джерела;

b – відстань від перешкоди до точки спостереження;

λ – довжина світлової хвилі;

Радіус m -ної зони або радіус отвору визначається за формулою:

$$r_m = \sqrt{m \frac{ab}{a+b} \lambda}.$$

У випадку, коли фронт хвилі плоский ($a \rightarrow \infty$) кількість зон Френеля m визначається співвідношенням:

$$m = \frac{r^2}{\lambda b}.$$

Тоді радіус m -ної зони Френеля:

$$r_m = \sqrt{bm\lambda}.$$

3.4.2. Дифракція світла на щілині

Розподіл інтенсивності світла у дифракційній картині, одержаній у разі нормального падіння світла на щілину шириною a визначається за формулою:

$$I_{\varphi} = I_0 \frac{\sin^2(\pi a \sin \varphi / \lambda)}{(\pi a \sin \varphi / \lambda)^2},$$

де I_0 – інтенсивність світла у центрі дифракційної картини;

a – ширина щілини; φ – кут дифракції.

Мінімуми інтенсивності світла спостерігаються для кутів дифракції, коли

$$a \sin \varphi = \pm m \lambda \quad (m = 1, 2, 3, \dots),$$

де a – ширина щілини; φ – кут дифракції; m – порядок спектра; λ – довжина світлової хвилі.

Максимуми інтенсивності світла спостерігаються для кутів дифракції, які задовольняють рівність:

$$a \sin \varphi = \pm (2m + 1) \frac{\lambda}{2}.$$

3.4.3. Дифракція на ґратці

Інтенсивність світла I_φ , що поширюється під кутом φ до нормалі, після дифракції на ґратці з N щілинами визначається за формулою:

$$I_\varphi = I_0 \left(\frac{\sin(N\delta/2)}{\sin(\delta/2)} \right)^2,$$

де I_0 – інтенсивність світла, що проходить крізь одну щілину;

$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \varphi$ – різниця фаз коливань; d – стала ґратки; φ – кут дифракції

(кут між нормаллю до ґратки і напрямом на m -й максимум).

Формула дифракційної ґратки описується співвідношенням

$$d \sin \varphi = 2m \frac{\lambda}{2} = m \lambda,$$

яке виражає також положення головних максимумів інтенсивності світла;

де $m = 0, 1, 2, 3, \dots$ – порядок головного максимуму або порядок спектра.

Якщо в різниці ходу променів $\Delta = d \sin \varphi$ вміщається непарна кількість довжин півхвиль, то відбувається послаблення. У цьому випадку умова мінімуму

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

3.4.4. Кутова дисперсія та роздільна здатність ґратки

Кутова дисперсія D_φ дифракційної ґратки визначається за формулою:

$$D_{\varphi} = \frac{\delta\varphi}{\delta\lambda} = \frac{m}{d \cos\varphi},$$

де $\delta\varphi$ – кутова відстань між спектральними лініями, які відрізняються за довжиною хвилі на $\delta\lambda$; m – порядок спектра; d – стала ґратки; φ – кут дифракції.

Для малих кутів φ ($\cos\varphi \approx 1$) $D_{\varphi} = \frac{m}{d}$.

Лінійна дисперсія ґратки :
$$D_{\varepsilon} = \frac{dl}{d\lambda},$$

де dl – лінійна відстань між двома максимумами одного й того ж порядку для хвиль λ і $\lambda + d\lambda$.

Лінійна дисперсія D_{ε} пов'язана з кутовою дисперсією D_{φ} та фокусною відстанню лінзи f , яка проектує дифракційну картину на екран, співвідношенням:

$$D_{\varepsilon} = D_{\varphi} \cdot f.$$

Роздільна здатність R ґратки визначається найменшою різницею довжин хвиль $\delta\lambda$ двох спектральних ліній (спектральною роздільною відстанню) і описується співвідношенням:

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} = mN,$$

де N – кількість щілин ґратки.

3.4.5. Дифракція рентгенівських променів

При падінні паралельного пучка рентгенівських променів на кристал на кожній атомній площині відбувається дифракція рентгенівського випромінювання. Умова взаємного підсилення хвиль, відбитих від різних площин, визначається за формулою Вульфа-Бреггів:

$$2d \sin\theta = \pm m\lambda \quad (m = 0, 1, 2, 3, \dots),$$

де θ – кут ковзання рентгенівських променів, що падають на кристал;

d – відстань між атомними площинами кристала.

3.5. Поляризація світла

3.5.1. Кут Брюстера

Відповідно до закону Брюстера для будь-якого діелектрика існує такий

кут падіння i світлового променя, при якому відбитий промінь повністю поляризований. Цей кут i_A називається кутом повної поляризації (кутом Брюстера) і визначається співвідношенням:

$$\operatorname{tgi}_A = n_{21},$$

де $n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$ – відносний показник заломлення; n_2 – показник заломлення діелектрика; n_1 – показник заломлення середовища, в якому поширюється світловий промінь.

3.5.2. Закон Малюса

Інтенсивність світла I , що пройшло через поляризатор і аналізатор, коефіцієнт пропускання яких k , визначається за законом Малюса:

$$I = \frac{1}{2} k^2 I_0 \cos^2 \alpha,$$

де I_0 – інтенсивність світла перед проходженням поляризатора і аналізатора;

k – коефіцієнт пропускання поляризатора і аналізатора;

α – кут між головними площинами поляризатора і аналізатора.

3.5.3. Пластинки в чверть та в півхвилі

З метою отримання світла, поляризованого по еліпсу чи по колу, використовують пластинки в чверть хвилі.

Товщина d пластинки в чверть хвилі ($\frac{1}{4}\lambda$) задовольняє співвідношення

$$\Delta = (n_o - n_e) \cdot d = \frac{1}{4}\lambda \text{ або } (n_o - n_e) \cdot d = (m + \frac{1}{4})\lambda, (m = 0, 1, 2, 3, \dots),$$

де Δ – різниця ходу променів;

n_o – показник заломлення пластинки для звичайного променя;

n_e – показник заломлення пластинки для незвичайного променя.

Для одержання лінійно поляризованого світла використовують кристалічну пластинку, для якої різниця ходу променів Δ складає половину довжини світлової хвилі (пластинка в $\frac{1}{2}\lambda$). Після проходження лінійно

поляризованого світла через таку пластинку світло залишається лінійно поляризованим:

$$\Delta = (n_o - n_e)d = \frac{1}{2}\lambda \text{ або } (n_o - n_e)d = (m + \frac{1}{2})\lambda .$$

3.5.4. Обертання площини поляризації

Кут повороту площини поляризації φ у рідинах та розчинах прямо пропорційний товщині шару l і концентрації C оптично активної речовини в розчині:

$$\varphi = [\alpha] \cdot l \cdot C ,$$

де $[\alpha]$ – питоме обертання ($[\alpha] \approx \lambda^{-2}$).

Обертальна здатність твердих речовин пропорційна товщині пластинки d так, що кут повороту площини поляризації φ визначається за формулою:

$$\varphi = \alpha \cdot d ,$$

де α – коефіцієнт, що залежить від природи речовини, температури та довжини світлової хвилі.

3.5.5. Формули Френеля

Перша формула Френеля визначає коефіцієнт відбивання електромагнітної хвилі, у якої \vec{E} перпендикулярний до площини падіння:

$$R_{\perp} = \frac{\sin^2(i - r)}{\sin^2(i + r)} .$$

Друга формула Френеля визначає коефіцієнт відбивання електромагнітної хвилі, у якої \vec{E} паралельний до площини падіння:

$$R_{\parallel} = \frac{\text{tg}^2(i - r)}{\text{tg}^2(i + r)} .$$

Формули Френеля можуть бути представлені через інтенсивність світла:

$$I_{\perp} = 0,5I_0 \frac{\sin^2(r - i)}{\sin^2(r + i)}, \quad I_{\parallel} = 0,5I_0 \frac{\text{tg}^2(i - r)}{\text{tg}^2(i + r)} .$$

3.6. Розсіювання світла

3.6.1. Закон Релея

При молекулярному розсіянні світла на сферичних частинках середовища, розміри яких малі порівняно з довжиною падаючої світлової хвилі (тобто $r \ll \lambda$), його інтенсивність обернено пропорційна четвертому степеню довжини хвилі і описується співвідношення, яке називається законом Релея:

$$I \approx \frac{1}{\lambda^4}.$$

Інтенсивність світла, розсіяного каламутним середовищем під кутом θ до напрямку опромінення визначається співвідношенням:

$$I = I_{\theta} (1 + \cos^2 \theta),$$

де I_{θ} – інтенсивність розсіяного світла в напрямі $\theta = \frac{\pi}{2}$.

3.6.2. Розсіювання Мі.

При молекулярному розсіянні світла на сферичних частинках середовища, розміри яких співрозмірні з довжиною хвилі світла ($r \approx \lambda$) має місце розсіювання Мі, а інтенсивність розсіяного світла виражається залежністю:

$$I \approx \frac{1}{\lambda^p},$$

де $p < 4$ і зменшується при збільшенні розмірів частинок.

3.7. Релятивістські ефекти в оптиці

3.7.1. Швидкість світла, методи її вимірювання

До астрономічних методів визначення швидкості світла c належать:

а) метод Ремера:

$$c = \frac{T_1 + T_2}{T_1 - T_2} \cdot v,$$

де T_1 – проміжок часу між двома послідовними затемненнями супутника;
 T_2 – цей же проміжок часу, визначений через півроку; v – швидкість руху Землі по орбіті;

б) метод Брадлея:

$$c = \frac{v}{\operatorname{tg} \varphi},$$

де φ – кут нахилу телескопа відносно вертикалі.

Одним із лабораторних методів визначення швидкості світла є метод Фізо:

$$c = 4DZv,$$

де D – відстань від зубчастого колеса до дзеркала; Z – кількість зубців колеса; v – частота обертання зубчастого колеса.

3.7.2. Ефект Доплера

Залежність частоти світлових хвиль, які сприймаються приймачем, від особливостей руху джерела і приймача, а саме від відносної швидкості джерела і приймача визначається ефектом Доплера:

$$v' = v \sqrt{\frac{1 - v/c}{1 + v/c}},$$

де v' – частота, що сприймається приймачем світла;

v – частота світла, що випускається джерелом випромінювання;

v – швидкість джерела випромінювання відносно спостерігача.

Якщо відносна швидкість мала ($v \ll c$), то частота світлових хвиль визначається ефектом Доплера першого порядку (поздовжній ефект):

$$v' \approx v \left(1 - \frac{v}{c}\right).$$

Якщо спостереження відбуваються у напрямі, перпендикулярному до напрямку поширення світлової хвилі, то має місце ефект Доплера другого порядку (поперечний ефект), який виражається співвідношенням:

$$v' = v \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}.$$

3.7.3. Ефект Вавилова-Черенкова

Кут θ між хвильовим вектором (напрямом поширення) світла і вектором швидкості v зарядженої частинки, яка рухається в речовині з надсвітловою швидкістю ($v > \frac{c}{n}$), визначається співвідношення Вавилова-Черенкова:

$$\theta = \arccos \frac{c}{nv}.$$

4. ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ

4.1. Точкове джерело монохроматичного світла випромінює потужність $P = 10 \text{ Вт}$ при довжині хвилі $\lambda = 500 \text{ нм}$. На якій максимальній відстані це джерело помітить людина, якщо око реагує на світловий потік в 60 фотонів за секунду? Діаметр зіниці $d = 0,5 \text{ см}$.

Дано:	СІ	Аналіз
$d = 0,5 \text{ см}$	$5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$	Кількість фотонів N , що випромінює джерело світла: $N = \frac{E}{h\nu}$, де $E = P \cdot t$ – уся енергія, що випромінюється; $h\nu$ – енергія одного фотона. Тоді
$P = 10 \text{ Вт}$		
$\lambda = 500 \text{ нм}$	$5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$	
$N_0 = 60 \frac{\text{фотонів}}{\text{с}}$		
$R = ?$		

$$N = \frac{P \cdot t}{h \frac{c}{\lambda}}$$

Ця кількість фотонів N рівномірно розподіляється по поверхні сфери радіуса R . На одиницю цієї поверхні припадає кількість фотонів n :

$$n = \frac{N}{4\pi R^2} = \frac{Pt\lambda}{hc \cdot 4\pi R^2}$$

За умовою на зіницю ока площею $S_o = \frac{\pi d^2}{4}$ потрапляє $N_0 = 60$ фотонів за секунду. Тоді

$$n \cdot S_o = N_0 \cdot t$$

$$\frac{N}{4\pi R^2} \cdot S_o = N_0 \cdot t$$

$$\frac{Pt\lambda}{hc \cdot 4\pi R^2} \cdot \frac{\pi d^2}{4} = N_0 \cdot t$$

$$\frac{P\lambda d^2}{16hcR^2} = N_0 \Rightarrow R = \frac{d}{4} \sqrt{\frac{P\lambda}{hcN_0}}$$

Обрахунки:

$$R = \frac{d}{4} \sqrt{\frac{P\lambda}{hcN_0}} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{4} \sqrt{\frac{10 \cdot 5 \cdot 10^{-7}}{6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 60}} = 790 \cdot 10^3 \text{ (м)}$$

Відповідь: людина помітить джерело на відстані $R = 790 \cdot 10^3 \text{ м}$.

4.2. Над круглим столом радіуса 150 см висить електроосвітлювальна лампа. На якій висоті h потрібно її розмістити, щоб освітленість краю стола була максимальною? Лампу вважати точковим джерелом світла.

Дано:	СІ
$r = 150 \text{ см}$	1,5 м
$h - ?$	

Аналіз

Позначимо точку на краю стола літерою A . Джерело світла знаходиться у точці S . Для точкового джерела освітленість визначається формулою:

$$E = \frac{I}{R^2} \cos \alpha, \text{ де } I - \text{ сила світла джерела.}$$

Останній вираз містить дві змінні: R і α . Знайдемо зв'язок між ними:

$$R = \frac{r}{\sin \alpha}.$$

Тоді

$$E = \frac{I}{r^2} \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha.$$

Залежність E від α дослідимо на максимум. Для цього

потрібно знайти $\frac{dE}{d\alpha}$ і результат прирівняти до нуля.

$$\frac{dE}{d\alpha} = \frac{I}{r^2} (2 \sin \alpha \cdot \cos^2 \alpha - \sin^3 \alpha) = 0.$$

Звідки

$$2 \sin \alpha \cdot \cos^2 \alpha - \sin^3 \alpha = 0$$

$$2 \cos^2 \alpha = \sin^2 \alpha$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \sqrt{2}.$$

Оскільки

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{r}{h},$$

то

$$h = \frac{r}{\sqrt{2}}.$$

Обрахунки:

$$h = \frac{1,5}{\sqrt{2}} = 1,06 \text{ м.}$$

Відповідь: лампу потрібно підвісити на відстані 1,06 м від поверхні стола.

4.3. Світильник у вигляді кулі, що рівномірно світиться з силою світла 500 кд, має діаметр 50 см. Визначити: 1) повний світловий потік Φ , що випромінює світильник; 2) його світність R ; 3) освітленість E_1 , світність R_1 і яскравість B_1 екрана, на який падає 20% світлового потоку, що випромінює світильник. Площа екрана $0,5 \text{ м}^2$, а коефіцієнт відбивання світла його поверхнею $\rho = 0,7$.

Дано:	СІ	Аналіз
$I = 500 \text{ кд}$	0,5 м	З умови задачі слідує, що джерело світла ізотропне. Для такого джерела повний світловий потік, який воно випромінює визначається так: $\Phi = 4\pi I$, а світність $R = \frac{\Phi}{S}$, де $S = \pi d^2$ – площа видимої поверхні світильника. Тоді $R = \frac{4\pi I}{\pi d^2} = \frac{4I}{d^2}$.
$d = 50 \text{ см}$		
$\frac{\Phi_1}{\Phi} = 0,2$		
$S_1 = 0,5 \text{ м}^2$		
$\rho = 0,7$		
$\hat{O} - ? R - ?$		
$E_1 - ?$		
$R_1 - ? B_1 - ?$		

Оскільки $\Phi_1 = 0,2\Phi$, то освітленість екрана

$$E = \frac{\Phi_1}{S_1} = 0,2 \frac{\Phi}{S_1}.$$

Світність екрана зумовлена його освітленістю, тому

$$R_1 = \rho E_1.$$

За законом Ламберта

$$B_1 = \frac{R_1}{\pi}.$$

Обрахунки:

$$\Phi = 4\pi I = 4 \cdot 3,14 \cdot 500 = 6,28 \cdot 10^3 \text{ лм};$$

$$R = \frac{4I}{d^2} = \frac{4 \cdot 500}{0,5^2} = 8,0 \cdot 10^3 \text{ лк};$$

$$E_1 = 0,2 \frac{\Phi}{S} = 0,2 \frac{6,28 \cdot 10^3}{0,5} = 2,51 \cdot 10^3 \text{ лк};$$

$$R_1 = \rho E_1 = 0,7 \cdot 2,51 \cdot 10^3 = 1,76 \cdot 10^3 \text{ лк};$$

$$B_1 = \frac{R_1}{\pi} = \frac{1,76 \cdot 10^3}{3,14} = 560 \text{ нт}.$$

Відповідь: повний світловий потік, що випромінює світильник, становить $6,28 \cdot 10^3 \text{ лм}$, а його світність $8,0 \cdot 10^3 \text{ лк}$. Освітленість екрана, його світність та яскравість відповідно становлять $2,51 \cdot 10^3 \text{ лк}$, $1,76 \cdot 10^3 \text{ лк}$ та 560 нт .

4.4. Кругла зала діаметром $D = 30 \text{ м}$ освітлюється лампою, закріпленою у центрі стелі. Знайти висоту h зали, якщо відомо, що найменша освітленість стіни зали вдвічі більша найменшої освітленості підлоги.

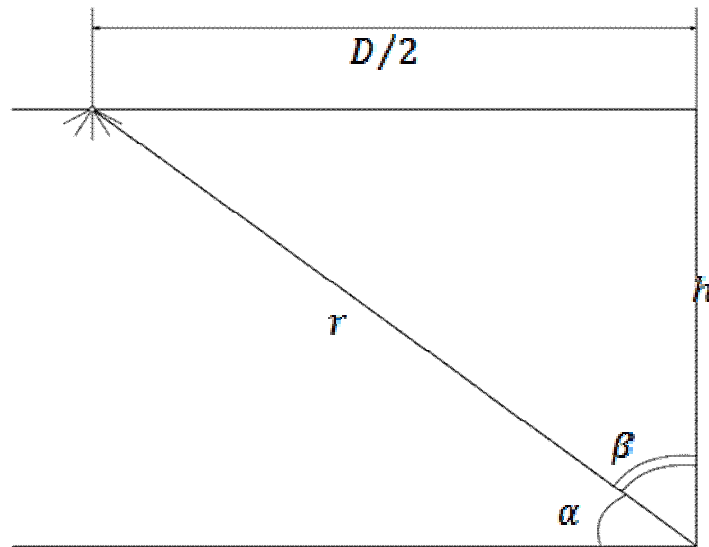
Дано:
 $D = 30 \text{ м}$
 $h = ?$

Аналіз

Найменша освітленість стіни зали $E_1 = (I \cos \alpha) / r^2$.

Найменша освітленість підлоги $E_2 = (I \cos \beta) / r^2$.

За умовою:



$$E_1 / E_2 = \cos \alpha / \cos \beta = D / 2h = 2$$

$$\cos \alpha = \frac{D}{2r}, \quad \cos \beta = \frac{h}{r}$$

Звідси:

$$h = \frac{D}{4}$$

Обрахунки:

$$h = \frac{D}{4} = \frac{30}{4} = 7,5 \text{ (м)}$$

Відповідь: висота зали $h = 7,5 \text{ м}$.

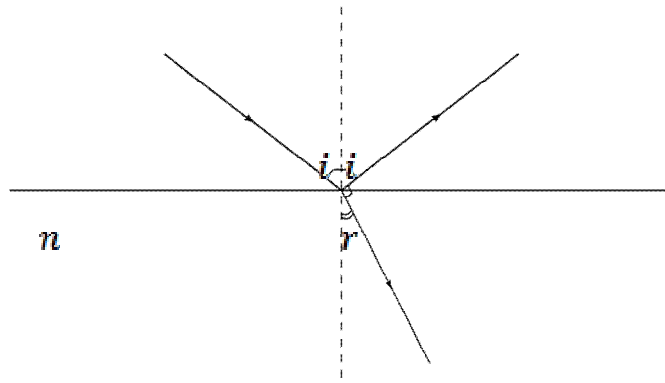
4.5. При падінні променя світла з повітря на прозору пластинку виявилось, що відбитий та заломлений промені є взаємно перпендикулярними, а довжина світлової хвилі при переході з повітря в пластинку змінилася на 30%. Знайти кут падіння променя на пластинку.

Дано:
 $\Delta \lambda = 30\%$
 $i = ?$

Аналіз

При переході світла з одного середовища в інше частота залишається незмінною, тоді частота світла у повітрі $\nu = \frac{c}{\lambda}$,

де λ - довжина світлової хвилі у повітрі; частота світла у пластинці $\nu = \frac{c}{n \cdot \lambda'}$, де λ' - довжина світлової хвилі у пластинці; n - показник заломлення матеріалу пластинки.



Отже,
$$\frac{c}{\lambda} = \frac{c}{n \cdot \lambda'}$$

За умовою
$$\lambda' = \lambda - 0,3\lambda = 0,7\lambda$$

Тоді,

$$\frac{c}{\lambda} = \frac{c}{n \cdot 0,7\lambda} \Rightarrow n = \frac{\lambda}{0,7\lambda} = \frac{1}{0,7} \approx 1,4286$$

За законом заломлення світла:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n$$

За умовою $i + r = 90^\circ$, тоді $r = 90 - i$

$$\frac{\sin i}{\sin(90 - i)} = n \Rightarrow \frac{\sin i}{\cos i} = n \Rightarrow \operatorname{tg} i = n$$

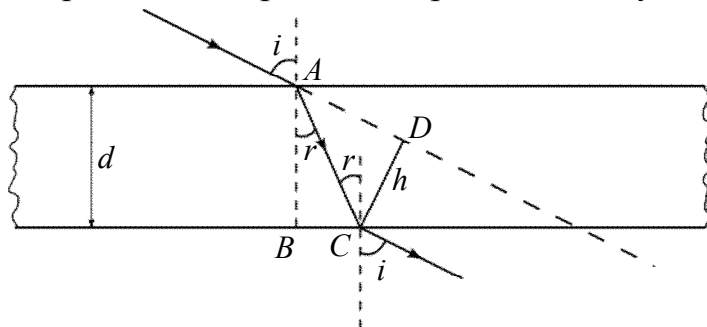
$$i = \operatorname{arctg}(n) = \operatorname{arctg}(1,4286) \approx 55^\circ$$

Відповідь: кут падіння променя на пластинку буде рівний 55° .

4.6. Світловий промінь падає на плоско-паралельну скляну пластину ($n = 1,6$) під кутом $i = 45^\circ$. Визначити товщину пластинки, якщо промінь, що вийшов з пластинки, змістився відносно продовження падаючого променя на відстань $h = 2$ см.

Дано:	СИ
$n = 1,6$	
$i = 45^\circ$	
$h = 2$ см	$2 \cdot 10^{-2}$ м
$d = ?$	

Аналіз
Зобразимо хід променів через пластинку:



Визначимо відрізок AC з трикутника ABC і трикутника ACD :

$$AC = \frac{d}{\cos r} = \frac{h}{\sin(i-r)}$$

Тоді

$$d = h \frac{\cos r}{\sin(i-r)} = h \frac{\cos r}{\sin i \cos r - \cos i \sin r}$$

За законом заломлення світла:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n \quad \text{і} \quad \sin r = \frac{\sin i}{n}$$

Оскільки $\cos i = \sqrt{1 - \sin^2 i}$, а $\cos r = \sqrt{1 - \sin^2 r} = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 i}{n^2}}$, то

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

Обрахунки:

$$d = 2 \cdot 10^{-2} \frac{\sqrt{1,6^2 \cdot \sin^2 45}}{\sin 45 (\sqrt{1,6 - \sin^2 45} - \sqrt{1 - \sin^2 45})} = 5,58 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

Відповідь: товщина пластинки рівна 5,58 см.

4.7. На грань скляної призми с заломлюючим кутом $\theta = 60^\circ$ падає промінь світла під кутом $\varepsilon_1 = 45^\circ$. Знайти кут заломлення ε'_2 променя при виході з призми і кут відхилення δ променя від первинного напрямку.

Дано:

$$\theta = 60^\circ$$

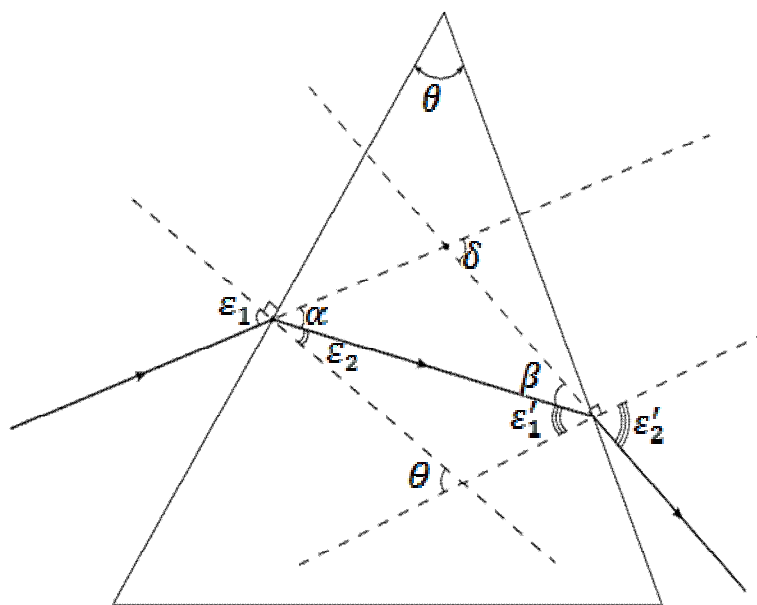
$$\varepsilon_1 = 45^\circ$$

$$n_{\text{ск}} = 1,56$$

$$\varepsilon'_2 = ?$$

$$\delta = ?$$

Аналіз



Із рисунка знаходимо, що кут відхилення δ визначається співвідношенням

$$\delta = \alpha + \beta$$

Виразимо кути α і β через $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon'_2, \varepsilon'_1$, які послідовно і будемо обчислювати:

1) За законом заломлення:

$$\frac{\sin \varepsilon_1}{\sin \varepsilon_2} = n \Rightarrow \varepsilon_2 = \arcsin\left(\frac{\sin \varepsilon_1}{n}\right) = \arcsin(0,4533) \approx 27^\circ$$

2) За рисунком кут падіння ε'_1 на другу грань призми рівний

$$\varepsilon'_1 = \theta - \varepsilon_2 = 60^\circ - 27^\circ = 33^\circ$$

3) Оскільки

$$\begin{aligned} \frac{\sin \varepsilon'_1}{\sin \varepsilon'_2} &= \frac{1}{n} \Rightarrow \varepsilon'_2 = \arcsin(n \cdot \sin \varepsilon'_1) = \arcsin(1,56 \cdot \sin 33^\circ) = \\ &= \arcsin(1,56 \cdot 0,5446) = \arcsin(0,8496) \approx 58^\circ \end{aligned}$$

4) Тепер знаходимо кути α і β :

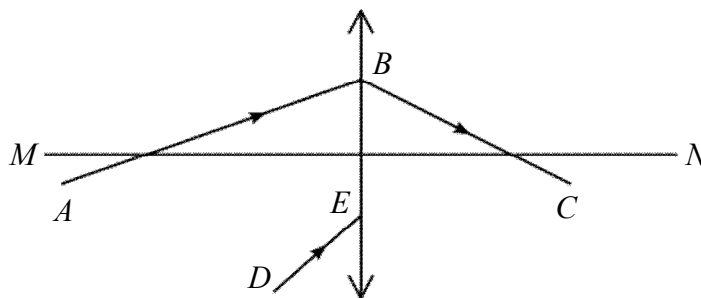
$$\alpha = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 = 45^\circ - 27^\circ = 18^\circ$$

$$\beta = \varepsilon'_2 - \varepsilon'_1 = 58^\circ - 33^\circ = 25^\circ$$

Отже, кут відхилення $\delta = \alpha + \beta = 18^\circ + 25^\circ = 43^\circ$.

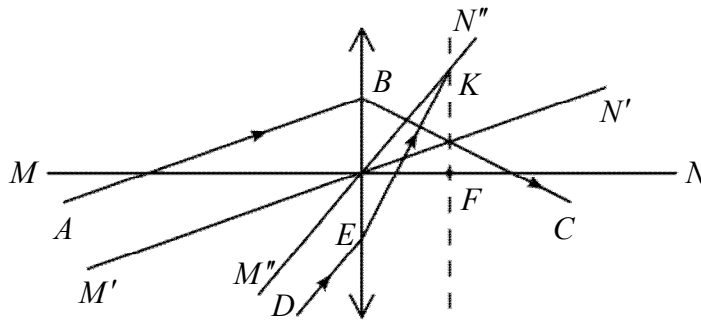
Відповідь: $\delta = 43^\circ$; $\varepsilon'_2 = 58^\circ$.

4.8. На малюнку показано положення головної оптичної осі MN тонкої збиральної лінзи і хід променя ABC через лінзу. Побудувати подальший хід променя DE . Лінза знаходиться в однорідному середовищі.



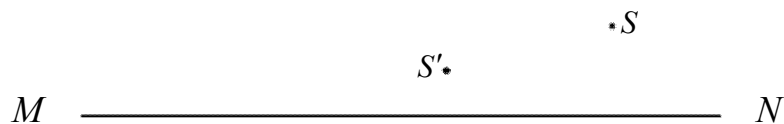
Аналіз

При побудові ходу променів через тонку лінзу слід використати наступне положення: паралельні промені після проходження лінзи перетинаються у фокальній площині.



Виходячи з цього, слід провести паралельно променю AB побічну оптичну вісь $M'N'$. Її перетин з променем BC відбудеться у точці, яка належить фокальній площині (показано пунктиром). Потім необхідно провести ще одну побічну вісь $M''N''$ паралельно променю DE . Вона перетне фокальну площину в точці K . Сполучивши цю точку з точкою E , одержимо хід променя DE після лінзи – промінь EK .

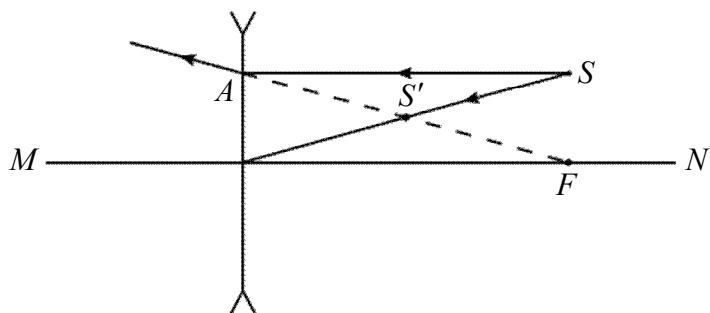
4.9. На рисунку показано положення головної оптичної осі MN тонкої лінзи, світної точки S і її зображення S' . Визначити побудовою положення оптичного центра лінзи і її фокусів. Вказати вид лінзи. Середовища з обох боків лінзи однакові.



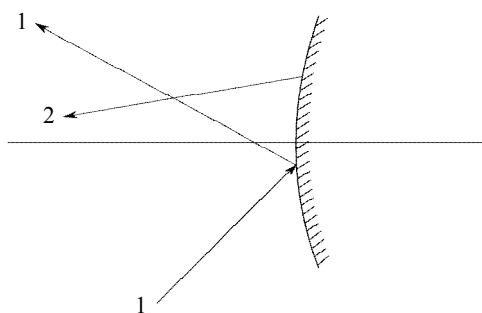
Аналіз

Оскільки світна точка і її зображення знаходяться по один бік відносно головної оптичної осі, то зображення є прямим. Таке зображення завжди дає розсіювальна лінза. Пряме зображення можна одержати і за допомогою збиральної лінзи, якщо предмет розмістити між лінзою і її фокусом. Проте у цьому випадку зображення буде збільшене, з умови ж задачі слідує, що воно зменшене. Отже, лінза розсіювальна, саме вона утворює пряме і зменшене зображення. Крім того, воно повинно бути ще й уявним.

Положення центра лінзи знаходимо на перетині променя SS' з головною оптичною віссю MN . Промінь SS' є побічна оптична вісь лінзи. Для знаходження фокуса лінзи необхідно провести промінь SA паралельно головній оптичній осі. Сполучивши точку A з точкою S' і продовживши цю пунктирну лінію до перетину з головною оптичною віссю, одержимо точку F – фокус лінзи.



4.10. Знаючи хід променя 1 побудувати хід променя 2 до відбивання.

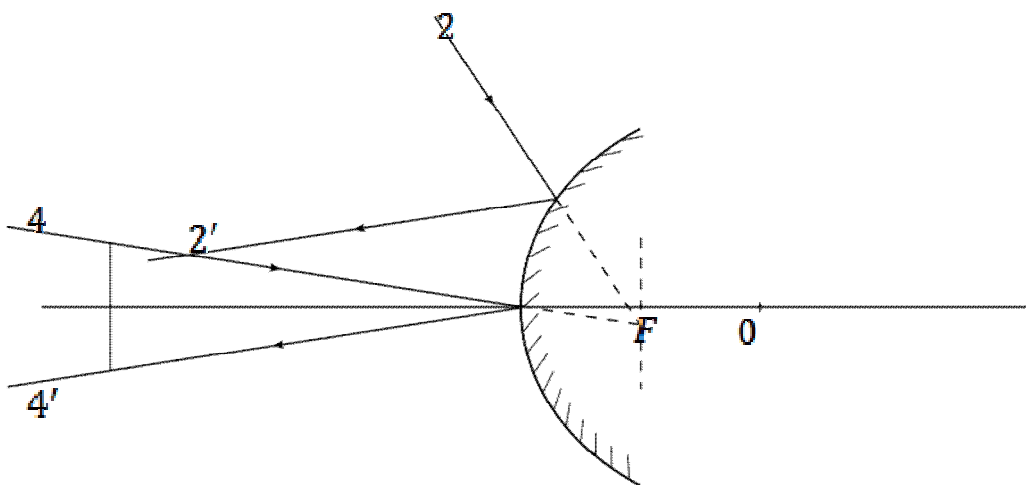
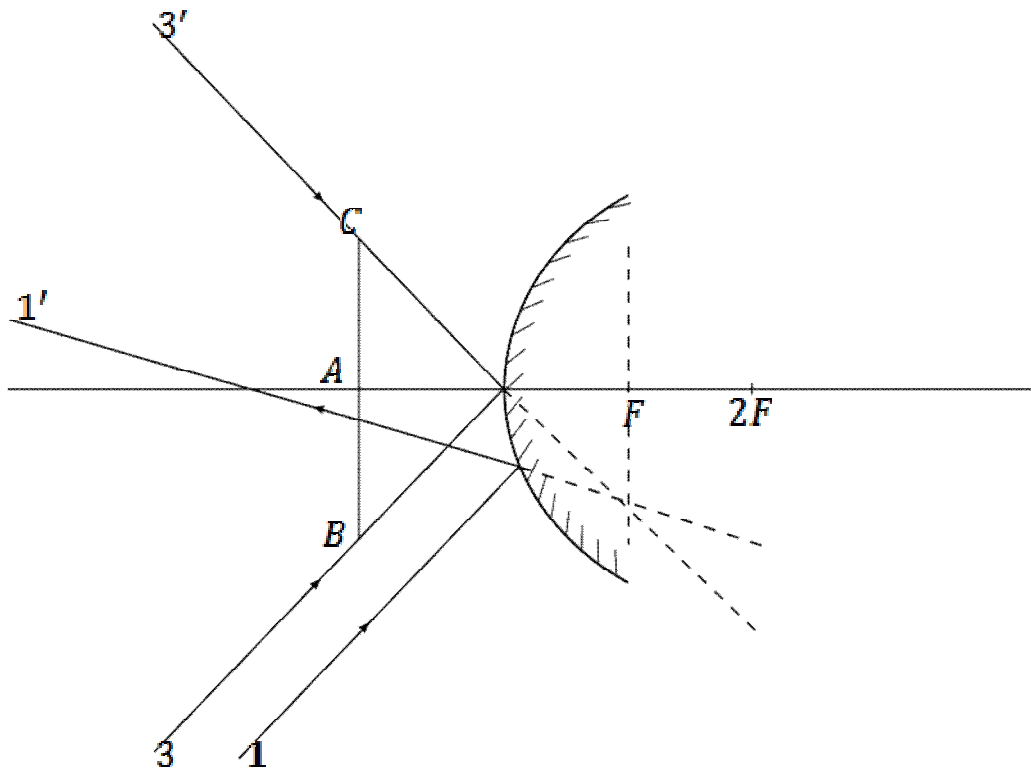


Аналіз

Задача складається з двох завдань. У першому з них необхідно визначити положення фокальної площини дзеркала. З цією метою паралельно променю 1 проведемо промінь 3. Для визначення напрямку відбитого променя 3' перпендикулярно головній оптичній осі відкладемо два рівних відрізки AB та AC . Відбитий промінь 3' повинен пройти через точку C . Цим забезпечується рівність кутів падіння і відбивання променя 3. Паралельно спрямовані на дзеркало промені 1 і 3 після відбивання від дзеркала ($1'$ і $3'$) повинні перетнутися в одній точці, що належить фокальній площині дзеркала. Цю точку визначають шляхом подовження променів $1'$ і $3'$ до їх перетину.

У другому завданні, знаючи положення фокальної площини, визначають напрям променя 2 до відбивання.

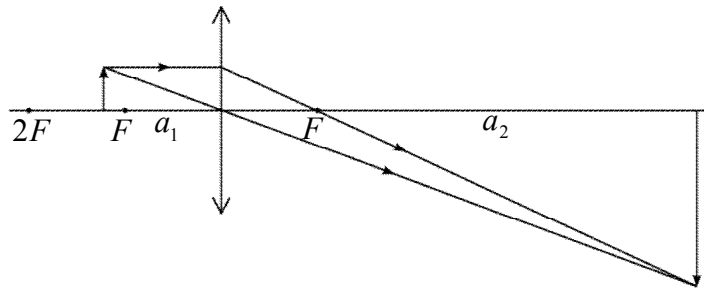
Завдання 2 виконано на основі закону оборотності ходу променів.



4.11. За допомогою тонкої лінзи на екрані одержали зображення предмета з п'ятикратним збільшенням. Не змінюючи положення лінзи, екран змістили вздовж оптичної осі на відстань $l = 30 \text{ см}$. Щоб зображення було різким, змістили і предмет. У цьому разі зображення виявилось у три рази більшим за предмет. На яку відстань змістили предмет?

		Аналіз
Дано:	СІ	Оскільки зображення в обох випадках збільшене, то лінза збиральна. Розсіювальна лінза збільшеного зображення не утворює. Зображення одержали на екрані, це означає, що воно дійсне. Збільшене дійсне зображення можна отримати лише тоді,
$l = 30 \text{ см}$	0,3 м	
$\Gamma_1 = 5$		
$\Gamma_2 = 3$		
$x = ?$		

коли предмет розміщений між фокусом і подвійним фокусом лінзи.
Виходячи з цих міркувань, будемо хід променів через збиральну лінзу для першого випадку:

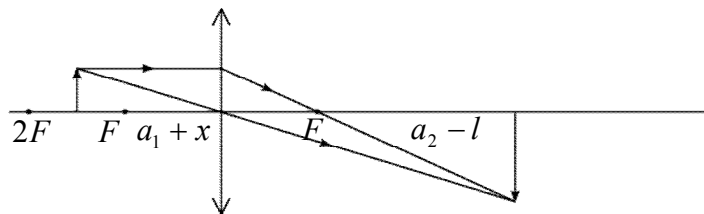


Враховуючи правило знаків, формули лінзи та її збільшення матимуть вигляд:

$$\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} = \frac{1}{f}, \quad (1)$$

$$\Gamma_1 = \frac{a_2}{a_1} = 5 \quad (2)$$

Щоб зменшити розміри зображення, екран слід змістити на відстань l ближче до лінзи, а предмет – на відстань x від лінзи. Хід променів матиме вигляд:



Для цього випадку маємо:

$$\frac{1}{a_1 + x} + \frac{1}{a_2 - l} = \frac{1}{f} \quad (3)$$

$$\Gamma_2 = \frac{a_2 - l}{a_1 + x} = 3 \quad (4)$$

Із цих чотирьох рівнянь потрібно визначити залежність x від l . Праві частини рівнянь (1) і (3) однакові, тому можна записати:

$$\frac{1}{a_1 + x} + \frac{1}{a_2 - l} = \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2}.$$

Значення a_2 знаходимо із (2), а $(a_2 - l)$ – із (4):

$$a_2 = 5a_1 \quad \text{і} \quad a_2 - l = 3(a_1 + x).$$

Тоді

$$\frac{1}{a_1 + x} + \frac{1}{3(a_1 + x)} = \frac{1}{a_1} + \frac{1}{5a_1}.$$

З останньої рівності знаходимо: $x = \frac{a_1}{9}$.

Значення a_1 знаходимо з рівнянь (2) і (4):

$$\frac{a_2 - l}{a_1 + x} = 3;$$

$$a_2 = 5a_1;$$

$$\frac{5a_1 - l}{a_1 + x} = 3;$$

$$a_1 = \frac{3x + l}{2}.$$

Тоді

$$x = \frac{3x + l}{2 \cdot 9};$$

$$x = \frac{l}{15}.$$

Обрахунки:

$$x = \frac{0,3}{15} = 0,02 \text{ м.}$$

Відповідь: предмет слід віддалити від лінзи на 2 см.

4.12. Вгнуте сферичне дзеркало дає на екрані зображення предмета, збільшене в 3 рази й обернене ($\Gamma = 3$). Відстань від вершини дзеркала до предмета $S = 20$ см. Визначити радіус кривизни дзеркала.

Аналіз

Дано:

$$a_1 = S = 20 \text{ см}$$

$$\Gamma = 3$$

$$R = ?$$

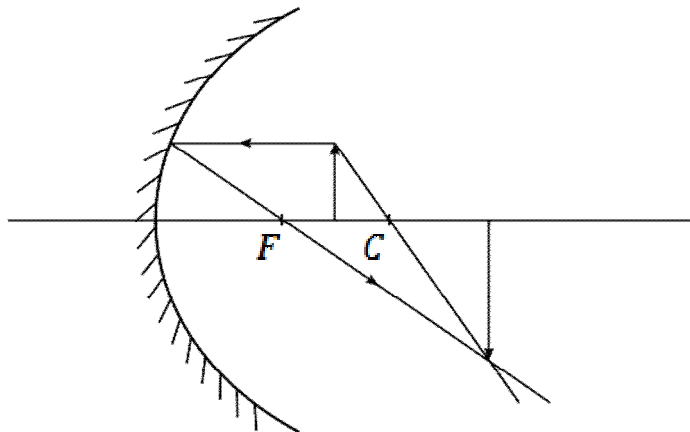
Сі

$$2 \cdot 10^{-1} \text{ м}$$

Запишемо формулу дзеркала: $\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} = \frac{2}{R}$, де

a_1 – відстань від дзеркала до предмета;

a_2 – відстань від дзеркала до зображення.



З урахуванням правила знаків маємо:

$$\frac{1}{-a_1} + \frac{1}{-a_2} = \frac{2}{-R} \text{ або } \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} = \frac{2}{R}.$$

$$\frac{2}{R} = \frac{a_2 + a_1}{a_1 \cdot a_2} \Rightarrow R = \frac{2a_1 \cdot a_2}{a_2 + a_1}.$$

Знаходимо a_2 з формули збільшення дзеркала:

$$\Gamma = \frac{a_2}{a_1} \Rightarrow a_2 = \Gamma \cdot a_1$$

Тоді,

$$R = \frac{2\Gamma a_1^2}{\Gamma a_1 + a_1} = \frac{2\Gamma a_1^2}{a_1(\Gamma + 1)} = \frac{2\Gamma a_1}{\Gamma + 1}.$$

Обрахунки:

$$R = \frac{2 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 10^{-1}}{3 + 1} = 3 \cdot 10^{-1} \text{ (м)}$$

Відповідь: $R = 3 \cdot 10^{-1} \text{ м}$.

4.13. Відстань d між двома щілинами в досліді Юнга рівна 1 мм , відстань l від щілини до екрану рівна 3 м . Визначити довжину хвилі λ , що випускається джерелом монохроматичного світла, якщо ширина смуг інтерференції на екрані $b = 1,5 \text{ мм}$.

Дано:	СІ	Аналіз Ширина інтерференційної смуги b визначається співвідношенням: $b = \frac{l}{d} \cdot \lambda, \text{ де}$
$d = 1 \text{ мм}$	10^{-3} м	
$l = 3 \text{ м}$		
$b = 1,5 \text{ мм}$	$1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$	
$\lambda - ?$		

l – відстань від щілини до екрану; d – відстань між щілинами; λ – довжина світлової хвилі.

Тоді,

$$\lambda = \frac{b \cdot d}{l} = \frac{1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-3}}{3} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ (м)}.$$

Відповідь: $\lambda = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$.

4.14. Плоско-опукла лінза ($n = 1,6$) лежить на плоскій пластинці опуклою стороною вниз. Відстань між першими двома темними кільцями Ньютона становить $0,5 \text{ мм}$. Спостереження проводять у відбитому світлі. Визначити оптичну силу лінзи, якщо освітлення здійснюється монохроматичним світлом ($\lambda = 550 \text{ нм}$), що падає нормально до пластинки.

Дано:	СІ	Аналіз
$n = 1,6$		Оптична сила лінзи визначається за формулою (з врахуванням правила знаків): $D = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right).$ Оскільки лінза плоско-опукла ($R_2 = \infty$), то
$r_2 - r_1 = 0,5 \text{ мм}$	$0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$	
$\lambda = 550 \text{ нм}$	$550 \cdot 10^{-9} \text{ м}$	
$D - ?$		

$$D = \frac{n - 1}{R}.$$

Задача зводиться до визначення радіуса кривизни лінзи R . Ця величина входить у вираз для темного кільця Ньютона у відбитому світлі:

$$r_m = \sqrt{m\lambda R} \quad (m = 1, 2, 3, \dots).$$

Різниця радіусів перших двох ($m = 1$ і $m = 2$) кілець становить

$$r_2 - r_1 = \sqrt{R}(\sqrt{2\lambda} - \sqrt{\lambda}).$$

Тоді

$$R = \frac{(r_2 - r_1)^2}{\lambda(\sqrt{2} - 1)^2}.$$

Підставивши це значення у вираз для оптичної сили лінзи, знаходимо:

$$D = \frac{(n - 1) \cdot \lambda \cdot (\sqrt{2} - 1)^2}{(r_2 - r_1)^2}.$$

Обрахунки:

$$D = \frac{(1,6 - 1) \cdot 550 \cdot 10^{-9} \cdot (\sqrt{2} - 1)^2}{(0,5 \cdot 10^{-3})^2} = 0,22 \text{ дптр}.$$

Відповідь: оптична сила лінзи становить $0,22 \text{ дптр}$.

4.15. В інтерферометрі Жамена дві однакові трубки довжиною $l = 15 \text{ см}$ були заповнені повітрям. Показник заломлення повітря дорівнює $n_1 = 1,000292$. Коли в одній із трубок повітря замінили ацетиленом, то інтерференційна картинка змістилась на $m = 80$ смуг. Визначити показник заломлення n_2 ацетилену, якщо в інтерферометрі використовувалося джерело монохроматичного світла з довжиною хвилі $\lambda = 0,590 \text{ мкм}$.

Дано:	СІ	Аналіз
$l = 15 \text{ см}$	$1,5 \cdot 10^{-1} \text{ м}$	Оптична різниця ходу променів у двопроменевих інтерферометрах визначається співвідношенням:
$m = 80$		
$n_1 = 1,000292$		З іншого боку:
$\lambda = 0,590 \text{ мкм}$		
$n_2 - ?$		

Тоді

$$(n_2 - n_1) \cdot l = 2m \frac{\lambda}{2};$$

$$n_2 = \frac{m\lambda + n_1 l}{l}.$$

Обрахунки:

$$n_2 = \frac{80 \cdot 5,9 \cdot 10^{-7} + 1,000292 \cdot 1,5 \cdot 10^{-1}}{1,5 \cdot 10^{-1}} = 1,000606$$

Відповідь: $n_2 = 1,000606$.

4.16. Плоска світлова хвиля ($\lambda = 0,5 \text{ мкм}$) падає нормально на діафрагму з круглим отвором діаметром $d = 1 \text{ см}$. На якій відстані від отвору повинна знаходитись точка спостереження, щоб отвір відкривав: 1) одну зону Френеля; 2) дві зони Френеля?

Дано:	СІ	Аналіз
$d = 1 \text{ см}$	10^{-2} м	Кількість відкритих зон Френеля:
$m_1 = 1$		$m = \frac{r^2}{\lambda} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right),$
$m_2 = 2$		де a – відстань від джерела до перешкоди;
$\lambda = 0,5 \text{ мкм}$	$5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$	b – відстань від перешкоди до точки спостереження;
$b_1 - ?$		r – радіус отвору.
$b_2 - ?$		Оскільки за умовою фронт хвилі плоский, ($a \rightarrow \infty$),
то кількість зон Френеля визначається за формулою:		

$$m = \frac{r^2}{\lambda b} \Rightarrow b = \frac{r^2}{m \lambda}.$$

Якщо $m = 1$, то $b_1 = \frac{r^2}{\lambda} = \frac{d^2}{4\lambda}$.

Якщо $m = 2$, то $b_2 = \frac{r^2}{2\lambda} = \frac{d^2}{8\lambda}$.

Обрахунки:

$$b_1 = \frac{(10^{-2})^2}{4 \cdot 5 \cdot 10^{-7}} = 5 \cdot 10^2 \text{ (м)}$$

$$b_2 = \frac{(10^{-2})^2}{8 \cdot 5 \cdot 10^{-7}} = 2,5 \cdot 10^2 \text{ (м)}$$

Відповідь: $b_1 = 5 \cdot 10^2 \text{ м}$; $b_2 = 2,5 \cdot 10^2 \text{ м}$.

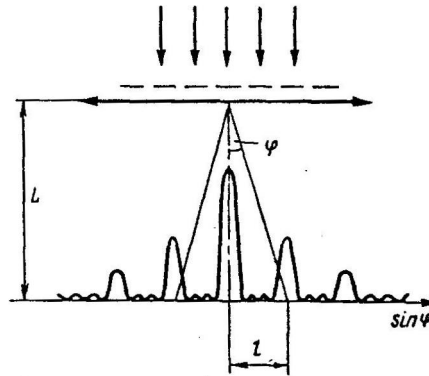
4.17. На дифракційну ґратку нормально до її поверхні падає монохроматичне світло з довжиною хвилі $\lambda = 550 \text{ нм}$. На екран, що знаходиться від ґратки на відстані $L = 1 \text{ м}$, за допомогою лінзи, розташованої біля самої ґратки,

проекується дифракційна картина. Перший головний максимум спостерігається на відстані $l = 12 \text{ см}$ від центрального. Визначити: 1) період дифракційної ґратки; 2) кількість штрихів на 1 см її довжини; 3) загальне число максимумів у дифракційній картині; 4) кут дифракції, що відповідає останньому максимуму.

Дано:	СІ
$\lambda = 550 \text{ нм}$	$550 \cdot 10^{-9} \text{ м}$
$L = 1 \text{ м}$	$12 \cdot 10^{-2} \text{ м}$
$l = 12 \text{ см}$	10^{-2} м
$l' = 1 \text{ см}$	
$d - ?$	
$n - ?$	
$N - ?$	
$\varphi_{\text{max}} - ?$	

Аналіз

Дифракційна картина, яку одержують на екрані за допомогою ґратки, має вигляд:



Період дифракційної ґратки можна визначити, скориставшись формулою:

$$d \sin \varphi = m \lambda .$$

За умовою задачі $m = 1$, а $\sin \varphi$, враховуючи, що кут малий, $\sin \varphi \approx \text{tg} \varphi = \frac{l}{L}$. Тоді $d \frac{l}{L} = m \lambda$ і

$$d = m \frac{\lambda L}{l} .$$

Число штрихів на $l' = 1 \text{ см}$ визначаємо так:

$$n = \frac{l'}{d} .$$

Загальне число максимумів у дифракційній картині N :

$$N = 2m_{\text{max}} + 1 ,$$

оскільки максимуми спостерігаються ліворуч і праворуч від центрального максимуму. Одиниця враховує центральний максимум. Значення m_{max} знаходимо із формули ґратки, маючи на увазі, що $\sin \varphi \leq 1$:

$$m_{\text{max}} \leq \frac{d}{\lambda} .$$

Тоді

$$N = 2 \frac{d}{\lambda} + 1 .$$

Кут дифракції, що відповідає останньому максимуму, визначимо також із формули ґратки:

$$d \sin \varphi_{\max} = m_{\max} \cdot \lambda .$$

Тоді

$$\varphi_{\max} = \arcsin \frac{m_{\max} \cdot \lambda}{d} .$$

Обрахунки:

$$d = 1 \frac{550 \cdot 10^{-9} \cdot 1}{12 \cdot 10^{-2}} = 4,58 \cdot 10^{-6} \text{ м};$$

$$n = \frac{10^{-2}}{4,58 \cdot 10^{-6}} = 2,18 \cdot 10^3 \text{ см}^{-1};$$

$$m_{\max} \leq \frac{4,58 \cdot 10^{-6}}{550 \cdot 10^{-9}} = 8,3, \text{ приймаємо } m_{\max} = 8;$$

$$N = 2 \cdot 8 + 1 = 17;$$

$$\varphi_{\max} = \arcsin \frac{8 \cdot 550 \cdot 10^{-9}}{4,58 \cdot 10^{-6}} = 73,9^\circ .$$

Відповідь: період ґратки становить $4,58 \cdot 10^{-6} \text{ м}$, кількість штрихів на 1 см $2,18 \cdot 10^3 \text{ см}^{-1}$, загальне число максимумів 17 , останній максимум спостерігається під кутом $73,9^\circ$.

4.18. Дифракційна решітка має $n = 200$ штрихів на 1 мм . На решітку падає нормально монохроматичне світло ($\lambda = 0,6 \text{ мкм}$). Максимум якого найбільшого порядку дає ця решітка?

Дано:	СІ	Аналіз
$\lambda = 0,6 \text{ мкм}$	$6 \cdot 10^{-7} \text{ м}$	Положення головних максимумів інтенсивності світла: $d \sin \varphi = m \lambda ,$
$a = 1 \text{ мм}$	10^{-3} м	
$n = 200$		
$m_{\max} - ?$		де d – період дифракційної ґратки ($d = \frac{a}{n}$).

Рівняння ґратки слід проаналізувати на максимум, тобто взяти похідну і прирівняти до нуля:

$$d \cos \varphi = 0 \Rightarrow \cos \varphi = 1 .$$

Тобто максимальний кут відхилення не перевищує 90° .

$$\text{Тоді } d \sin 90^\circ = m \lambda \Rightarrow m = \frac{d \sin 90^\circ}{\lambda n} .$$

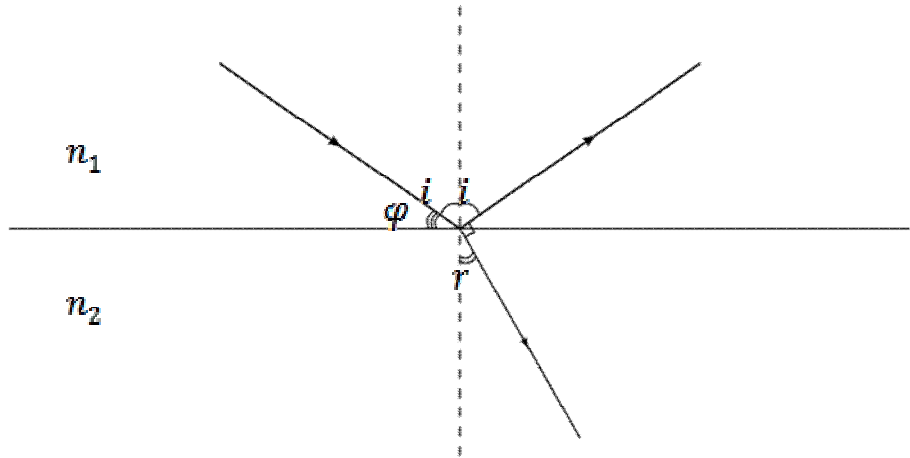
Обрахунки:

$$m = \frac{10^{-3}}{200 \cdot 6 \cdot 10^{-7}} \approx 8 .$$

Відповідь: номер максимуму найбільшого порядку $m_{\max} = 8$.

4.19. На якій кутовій висоті φ над горизонтом повинно знаходитися Сонце, щоб сонячне світло, відбите від поверхні води, було повністю поляризоване?

Дано:
$n_2 = 1,33$
$\varphi - ?$



За законом Брюстера кут падіння i , при якому відбитий промінь повністю поляризований визначається за формулою:

$$\operatorname{tgi} = n_{21},$$

де $n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$, n_2 – показник заломлення води, n_1 – показник заломлення повітря.

Тоді

$$i = \operatorname{arctg}(n_{21})$$

$$\varphi = 90^\circ - i = 90^\circ - \operatorname{arctg}(n_{21}).$$

Обрахунки:

$$\varphi = 90^\circ - \operatorname{arctg}(1,33) = 90^\circ - 53^\circ = 37^\circ.$$

Відповідь: кутова висота Сонця над горизонтом $\varphi = 37^\circ$.

4.20. Ступінь поляризації P частково-поляризованого світла дорівнює 0,5. У скільки разів відрізняється максимальна інтенсивність світла, яке проходить через аналізатор, від мінімальної?

Дано:
$P = 0,5$

Аналіз

Ступінь поляризації частково поляризованого світла, яке пройшло через поляризатор, визначається за формулою:

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

$\frac{I_{\max}}{I_{\min}} - ?$

$$\frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} = \frac{1}{2}$$

$$2I_{\max} - 2I_{\min} = I_{\max} + I_{\min}$$

$$2I_{\max} - I_{\max} = 2I_{\min} + I_{\min}$$

$$I_{\max} = 3I_{\min}$$

$$\frac{I_{\max}}{I_{\min}} = 3.$$

Відповідь: у 3 рази.

4.21. Визначити обумовлене ефектом Доплера розширення $\Delta\lambda/\lambda$ спектральних ліній випромінювання гідрогену, який знаходиться при температурі $\dot{O} = 3000 \text{ K}$.

Дано:

$$T = 3000 \text{ K}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{M}}{\text{c}}$$

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

$$\frac{\lambda'}{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{1-\beta}};$$

Аналіз
Ефект Доплера виражається співвідношенням:

$$v' = v \sqrt{\frac{1-\beta}{1+\beta}}; \quad \beta = \frac{v}{c}; \quad v' = \frac{c}{\lambda'}; \quad v = \frac{c}{\lambda};$$

$$\frac{c}{\lambda'} = \frac{c}{\lambda} \sqrt{\frac{1-\beta}{1+\beta}};$$

$$\lambda' = \lambda + \Delta\lambda;$$

$$\frac{\lambda + \Delta\lambda}{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1-\beta}{1+\beta}}}$$

$$1 + \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1-\beta}{1+\beta}}}$$

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1-\beta}{1+\beta}}} - 1$$

Обрахунки:

$$v = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 8,31 \cdot 3000}{1 \cdot 10^{-3}}} = 86,48 \cdot 10^2 \left(\frac{\text{M}}{\text{c}}\right)$$

$$\beta = \frac{86,48 \cdot 10^2}{3 \cdot 10^8} = 28,82 \cdot 10^{-6} \Rightarrow \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1-28,82 \cdot 10^{-6}}{1+28,82 \cdot 10^{-6}}}} - 1 = 3 \cdot 10^{-5}.$$

Відповідь: розширення спектральних ліній $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = 3 \cdot 10^{-5}$.

4.22. Електрон з кінетичною енергією $T = 0,51 \text{ MeV}$ рухається у воді. Визначити кут θ , що утворює черенківське випромінювання з напрямком руху електрона.

Дано:	СІ	Аналіз
$T = 0,51 \text{ MeV}$	$2,137 \text{ Дж}$	Кут θ між хвильовим вектором (напрямом поширення) світла і вектором швидкості \vec{v} зарядженої частинки, яка рухається у речовині, визначається за законом Вавилова-Черенкова:
$m_0 = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$		
$n_e = 1,33$		
$\theta - ?$		Знаходимо швидкість руху електрона у воді за законом збереження енергії для релятивістської частинки: $E_{\text{повна}} = E_{\text{спокую}} + E_{\text{кін}}$ або $mc^2 = m_0c^2 + E_{\text{к}}$;

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad \text{де } m_0 - \text{ маса спокою електрона.}$$

$$E_{\text{е}} = mc^2 - m_0c^2 = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0c^2 = m_0c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right)$$

$$E_{\text{к}} = m_0c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right)$$

$$v = c \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{m_0c^2}{E_{\text{к}} + m_0c^2} \right)^2} = 3 \cdot 10^8 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (3 \cdot 10^8)^2}{2,137 + 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (3 \cdot 10^8)^2} \right)^2} =$$

$$= 3 \cdot 10^8 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 9 \cdot 10^{16}}{2,137 + 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 9 \cdot 10^{16}} \right)^2} =$$

$$= 3 \cdot 10^8 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{81,9 \cdot 10^{13}}{2,137 + 81,9 \cdot 10^{13}} \right)^2} \approx 3 \cdot 10^8 \cdot 0,9 = 2,7 \cdot 10^8 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right)$$

$$\text{Тоді } \theta = \arccos \frac{3 \cdot 10^8}{1,33 \cdot 2,7 \cdot 10^8}$$

$$\theta = \arccos(0,8354) \approx 33^\circ$$

Відповідь: $\theta = 33^\circ$.

4.23. Показник заломлення повітря для жовтої лінії спектра натрію ($\lambda_1 = 0,589$ мкм) видимого світла $n_1 = 1,00029$. Визначити показник заломлення n_2 повітря для ультрафіолетового випромінювання, довжина хвилі якого $\lambda_2 = 0,3$ мкм. Вважати, що частота власних коливань зовнішніх атомних електронів $\omega_0 = 7,5 \cdot 10^{15} \text{ c}^{-1}$.

Дано:	СІ	Аналіз
$\lambda_1 = 0,589 \text{ мкм}$	$5,89 \cdot 10^{-7} \text{ м}$	Згідно електронної теорії дисперсії: $n^2 = \frac{e^2}{\epsilon_0 m} \cdot \frac{N}{\omega_0^2 - \omega^2} + 1,$ де n – показник заломлення речовини; N – концентрація електронів з частотою коливань ω_0 ; ω_0 – власна частота коливань електронів; e і m – заряд і маса електрона; ϵ – діелектрична проникність середовища; ω – частота світла, що падає на речовину.
$n_1 = 1,00029$	$3 \cdot 10^{-7} \text{ м}$	
$\lambda_2 = 0,3 \text{ мкм}$		
$\omega_0 = 7,5 \cdot 10^{15} \text{ c}^{-1}$		
$n_2 = ?$		

Для λ_1 знаходимо $\omega_1 = 2\pi \frac{c}{\lambda_1} = 3,20 \cdot 10^{15} \text{ c}^{-1}$.

Для λ_2 знаходимо $\omega_2 = 2\pi \frac{c}{\lambda_2} = 6,28 \cdot 10^{15} \text{ c}^{-1}$.

Тоді першу формулу для n_1 і ω_1 запишемо у вигляді:

$$n_1^2 - 1 = \frac{e^2}{\epsilon_0 m} \cdot \frac{N}{\omega_0^2 - \omega_1^2}.$$

Відповідно для ω_2 і n_2 маємо:

$$n_2^2 - 1 = \frac{e^2}{\epsilon_0 m} \cdot \frac{N}{\omega_0^2 - \omega_2^2}.$$

Розділивши ці рівняння одне на одне, маємо:

$$\frac{n_1^2 - 1}{n_2^2 - 1} = \frac{\omega_0^2 - \omega_2^2}{\omega_0^2 - \omega_1^2} = \frac{7,5^2 - 6,28^2}{7,5^2 - 3,2^2} = 0,365$$

Тоді

$$n_2 = \sqrt{1 + \frac{(1,00029)^2 - 1}{0,365}} = 1,00080$$

Відповідь: показник заломлення повітря для $\lambda_2 = 0,3 \text{ мкм}$ становить $n_2 = 1,00080$.

4. Розподіл задач за варіантами

Варіанти	Номери задач							
1	1	41	81	121	161	201	241	281
2	2	42	82	122	162	202	242	282
3	3	43	83	123	163	203	243	283
4	4	44	84	124	164	204	244	284
5	5	45	85	125	165	205	245	285
6	6	46	86	126	166	206	246	286
7	7	47	87	127	167	207	247	287
8	8	48	88	128	168	208	248	288
9	9	49	89	129	169	209	249	289
10	10	50	90	130	170	210	250	290
11	11	51	91	131	171	211	251	291
12	12	52	92	132	172	212	252	292
13	13	53	93	133	173	213	253	293
14	14	54	94	134	174	214	254	294
15	15	55	95	135	175	215	255	295
16	16	56	96	136	176	216	256	296
17	17	57	97	137	177	217	257	297
18	18	58	98	138	178	218	258	298
19	19	59	99	139	179	219	259	299
20	20	60	100	140	180	220	260	300
21	21	61	101	141	181	221	261	301
22	22	62	102	142	182	222	262	302
23	23	63	103	143	183	223	263	303
24	24	64	104	144	184	224	264	304

Варіанти	Номери задач							
25	25	65	105	145	185	225	265	305
26	26	66	106	146	186	226	266	306
27	27	67	107	147	187	227	267	307
28	28	68	108	148	188	228	268	308
29	29	69	109	149	189	229	269	309
30	30	70	110	150	190	230	270	310
31	31	71	111	151	191	231	271	311
32	32	72	112	152	192	232	272	312
33	33	73	113	153	193	233	273	313
34	34	74	114	154	194	234	274	314
35	35	75	115	155	195	235	275	315
36	36	76	116	156	196	236	276	316
37	37	77	117	157	197	237	277	317
38	38	78	118	158	198	238	278	318
39	39	79	119	159	199	239	279	319
40	40	80	120	160	200	240	280	320

6. ЗАДАЧІ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЇ ТА РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

1. Світло від електричної лампочки 200 кд падає під кутом 45° на робоче місце, його освітленість 141 лк . Знайти: 1) на якій відстані від робочого місця знаходиться лампочка; 2) на якій висоті від робочого місця вона висить.
2. Велику картину фотографують спочатку повністю, потім окремі її деталі в натуральну величину. У скільки разів потрібно збільшити час експозиції при фотографуванні деталей?
3. Знайти освітленість на поверхні Землі, викликану нормально падаючими сонячними променями. Яскравість Сонця рівна $1,2 \cdot 10^9 \text{ кд/м}^2$.
4. Спираль електричної лампи з силою світла 100 кд замкнена в матову сферичну колбу діаметром: 1) 5 см ; 2) 10 см . Знайти світність і яскравість лампи в обох випадках. Втратою світла в оболонці колби знехтувати.
5. Визначити повний світловий потік, що дає джерело світла, якщо на відстані 2 м від нього освітленість 15 лк . Силу світла в усіх напрямках вважати однаковою.
6. На стовпі висотою 6 м підвішена електрична лампа. На поверхні землі утворився світний круг площею 180 м^2 , всередині якого освітленість не менше 2 лк . Знайти силу світла лампи.
7. На відстані 1 м від точкового джерела знаходиться екран. Щоб збільшити його освітленість, на іншій стороні від джерела світла на тій самій відстані розмістили плоске дзеркало, яке відбиває світло на екран. Яку освітленість створює це джерело в центрі екрану, якщо сила світла 5 кд ?
8. При фотографуванні предмета в натуральну величину експозиція рівна 2 с . Якою повинна бути експозиція, якщо предмет потрібно сфотографувати зі збільшенням у 5 разів?
9. Світлова віддача η (відношення випущеного світлового потоку до споживаної потужності) електричної лампи, потужність якої $P=100 \text{ Вт}$, становить 14 лм/Вт . Визначити світловий потік Φ і силу світла I лампи, вважаючи, що вона випромінює рівномірно в усіх напрямках.
10. Електрична лампа розміщується над центром стола на висоті $h=2 \text{ м}$. На якій відстані r від лампи освітленість на столі є меншою в $n=5$ разів порівняно з освітленістю центра стола? Лампу вважати точковим джерелом світла.

11. Над круглим столом радіуса $r = 1$ м висить електроосвітлювальна лампа. На якій висоті h треба її розмістити, щоб освітленість краю стола була найбільшою? Лампу вважати точковим джерелом світла.
12. Освітленість стола під лампою, що висить над ним, дорівнює 75 лк. Яка освітленість тих точок стола, до яких світло від лампи падає під кутом $\alpha = 60^\circ$?
13. На екран площею $S = 3$ м² з коефіцієнтом відбиття $0,8$ падає світловий потік $\Phi = 150$ лм. Визначити: а) освітленість екрана; б) яскравість екрана.
14. На аркуш білого паперу розміром 10×25 см нормально до поверхні падає світловий потік $\Phi = 50$ лм. Маючи на увазі, що коефіцієнт розсіяння паперового аркушу $\rho = 0,7$, визначити: а) освітленість; б) світність; в) яскравість.
15. Сила світла лампи розжарювання при номінальній потужності 100 Вт дорівнює 100 кд. Якщо лампа горить з недорозжарюванням, споживаючи потужність тільки 80 Вт, сила світла становить 65 кд. Визначити світлову віддачу (світловий потік на 1 Вт) у цих режимах роботи.
16. Обчислити, який світловий потік проходить крізь поверхню 20 см², віддалену на 5 м від точкового джерела світла, сила якого 100 кд, вважаючи, що промені падають перпендикулярно до поверхні.
17. Світловий потік, який становить $0,02$ лм, падає перпендикулярно на поверхню площею 5 см². Яка її освітленість?
18. Перегорілу лампу на 75 кд замінили лампою на 25 кд і наблизили її до освітлювальної поверхні, зменшивши відстань утричі. Чи було досягнуто попередньої освітленості поверхні?
19. Над поверхнею стола, нахиленого до горизонту під кутом 20° , на висоті 2 м висить лампа, сила світла якої становить 200 кд. Яка освітленість поверхні стола, що її створює ця лампа?
20. Лампа, сила світла якої 50 кд, висить над серединою столу на висоті $1,2$ м. Розміри стола 1×2 м. У яких точках столу освітленість найбільша, а в яких – найменша? Визначити освітленість у цих точках.
21. Вертикальний промінь проектора освітлює центр стелі круглої кімнати радіусом $R = 2$ м. При цьому на стелі утворюється невеликий зайчик площею $S = 100$ см². Освітленість зайчика $E = 1000$ лк. Коефіцієнт відбивання стелі $\rho = 0,80$. Знайти найбільшу освітленість стіни, що створюється світлом, відбитим від стелі. Вважати, що відбивання відбувається за законом Ламберта.

22. Точкове джерело монохроматичного світла випромінює потужність $P = 10 \text{ Вт}$ при довжині хвилі $\lambda = 500 \text{ нм}$. На якій максимальній відстані це джерело помітить людина, якщо око реагує на світловий потік в 60 фотонів за секунду? Діаметр зіниці $d = 0,5 \text{ см}$.
23. Точкове джерело світла розміщене на деякій відстані d від екрана і дає в центрі освітленість, яка дорівнює 1 лк . Як зміниться освітленість, якщо з другого боку від джерела на тій самій відстані помістити плоске дзеркало, яке відбиває ідеально. Площина екрана і дзеркала паралельні.
24. Лампа, підвішена до стелі, дає в горизонтальному напрямку силу світла в 60 кд . Який світловий потік падає на картину площею $0,5 \text{ м}^2$, що висить вертикально на стіні на відстані 2 м від лампи, якщо на протилежній стіні знаходиться велике дзеркало також на відстані 2 м від лампи?
25. У центрі квадратної кімнати площею 25 м^2 висить лампа. Вважаючи лампу точковим джерелом світла, знайти, на якій висоті від підлоги повинна знаходитись лампа, щоб освітленість в кутах кімнати була найбільшою.
26. Лампа, в якій світним тілом слугує розжарена кулька діаметром $d = 3 \text{ мм}$, дає силу світла в 85 кд . Знайти яскравість цієї лампи, якщо сферична колба лампи зроблена: 1) з прозорого скла, 2) з матового скла. Діаметр колби 6 см .
27. Аркуш паперу розміром $10 \times 30 \text{ см}$ освітлюється світлом від лампи силою в 100 кд , причому на нього падає $0,5\%$ випромінюваного лампою світла. Знайти освітленість цього листа паперу.
28. На двох стовпах однакової висоти $h = 6 \text{ м}$ підвісили дві електроосвітлювальні лампи, сила світла яких $I_1 = 1 \text{ ккд}$ і $I_2 = 8 \text{ ккд}$. Відстань між стовпами $l = 30 \text{ м}$. Встановити місце між стовпами, де освітленість від кожної лампи є однаковою.
29. Над центром круглого стола радіуса $r = 80 \text{ см}$ на висоті $l = 60 \text{ см}$ висить лампа, сила світла якої $I = 100 \text{ кд}$. Визначити: освітленість у центрі стола; освітленість на краю стола; середню освітленість стола. Лампу вважати точковим джерелом світла.
30. Який потік енергії \hat{O}_a відповідає світловому потоку $\hat{O}_1 = 12 \text{ ї}$, що утворюється випромінювачем, довжина хвилі якого $\lambda_1 = 0,6 \text{ ї}$? Вважати, що за довжини хвилі $\lambda = 0,555 \text{ ї}$ світловому потоку $\hat{O} = 1 \text{ ї}$ відповідає потік енергії $\hat{O}_a = 1,6 \text{ ї}$.
31. Невеликий світильник, що має вигляд рівномірно світної сфери радіуса $R = 6 \text{ см}$, знаходиться на висоті $h = 3 \text{ м}$ від підлоги. Яскравість світильника $L = 2 \cdot 10^4 \text{ кд/м}^2$ і не залежить від напрямку. Знайти освітленість підлоги безпосередньо під світильником.

32. На деякій відстані d від ідеального плоского дзеркала розміщене точкове джерело світла S . Перпендикулярно до площини дзеркала встановлено екран. У скільки разів зміниться освітленість у точці екрана, відстань від якої до дзеркала дорівнює $d/2$, якщо прийняти дзеркало? Відстань між екраном і джерелом d .
33. Визначити силу світла лампи вуличного ліхтаря, необхідну для того, щоб освітленість на землі посередині між ліхтарями дорівнювала $0,2$ лк. Лампа підвішена на висоті 10 м, відстань між стовпами 40 м. При обчисленні врахувати освітленість, яку дають два сусідні ліхтарі.
34. Прожектор випромінює пучок світла у вигляді конуса, кут розхилу якого $2\theta = 30^\circ$. Світловий потік прожектора рівномірно розподілений усередині конуса і становить 10^5 лм. Визначити силу світла I прожектора.
35. У кінотеатрі на екран розміром 5×4 м, коефіцієнт відбиття якого $\rho = 0,8$, з об'єктива кіноапарата падає світловий потік $\Phi = 2000$ лм. Визначити освітленість E , світність R і яскравість B кіноекрана, для якого виконується закон Ламберта.
36. Люмінесцентна лампа потужністю $P = 10$ Вт, випромінювання якої здійснюється за законом Ламберта, має форму циліндра діаметра $d = 2,5$ см і завдовжки $l = 40$ см. На відстані $r = 5$ м у напрямі, перпендикулярному до осі лампи, освітленість під лампою $E = 2$ лк. Визначити яскравість B та світність R лампи.
37. Диск радіуса $R = 20$ см рівномірно світиться й може вважатися ламбертовим джерелом, яскравість якого $B = 800$ кд/м². Визначити освітленість E в точці, що лежить на осі диска, перпендикулярній до його площини, на відстані $h = 1$ м від центра диска.
38. Предмет при фотографуванні освітлюється електричною лампою, що розташована від нього на відстані 2 м. У скільки разів треба збільшити експозицію, якщо цю ж лампу відсунути на відстань 3 м від предмета?
39. Обчислити середню яскравість вольфрамової спіралі довжиною 3 см і діаметром 2 мм, якщо сила світла в перпендикулярному напрямку до осі спіралі рівна 100 кд.
40. Пластинка площею $S = 5$ см², що випромінює в обидві сторони має яскравість $B = 106$ кд/м². Визначити середню силу світла, що випромінює пластинка.
41. Промінь світла падає під кутом $i_1 = 30^\circ$ на дно скляної посудини, заповненої водою, і виходить крізь дно в повітря. Під яким кутом i_2 виходить промінь?

42. У скільки разів глибина водоймища здається меншою, ніж вона є в дійсності, якщо дивитися зверху по вертикалі?
43. Промінь світла переходить зі скла у воду. За якого найменшого кута падіння i_{cp} спостерігається повне внутрішнє відбиття?
44. Два плоских дзеркала, які утворюють між собою сталий двохгранний кут φ , обертаються відносно осі, паралельної ребру двохгранного кута. Світло від віддаленого джерела після відбивання від обох дзеркал надходить у зорову трубу. Як рухатиметься зображення джерела світла в полі зору труби при обертанні дзеркал?
45. Паралельний пучок світла проходить через плоскопаралельну скляну пластинку ($n=1,5$), товщина якої $d=1\text{ см}$. Кут падіння $i=30^\circ$. Визначте величину зміщення пучка, тобто відстань між осями пучка до і після заломлення.
46. Скляна пластинка товщиною $d=3\text{ мм}$ має подряпини на верхній і нижній поверхнях. Чому дорівнює показник заломлення скла, якщо при наведенні мікроскопа з верхньої подряпини на нижню його тубус довелося опустити на 2 мм . Кути відхилення променів, які попадають в об'єктив від осі мікроскопа, вважати малими.
47. Промінь світла падає на межу поділу двох середовищ під кутом 30° . Показник заломлення першого середовища $n_1=2,4$. Визначити показник заломлення другого середовища, якщо відомо, що відбитий і заломлений промені перпендикулярні один до одного.
48. Рівнобедрену скляну призму з малими заломлюючими кутами поміщено в паралельний пучок променів, які падають нормально на її основу. Коефіцієнт заломлення скла $n=1,57$, розмір основи $2a=5\text{ см}$. Знайти величину заломлюючого кута α , якщо посередині екрана, розміщеного на відстані $L=100\text{ см}$ від призми, утворюється темна смуга шириною $2d=1\text{ см}$.
49. Де бачить спостерігач рибу, яка плаває в діаметрально протилежній від нього точці сферичного акваріума? Радіус акваріума R , показник заломлення води $n=1,33$.
50. Світловод виготовлено з двох сортів скла з різними показниками заломлення: серцевини n_1 і оболонки $n_2=1,52$. Яким має бути показник заломлення n_1 , щоб світло виходило з протилежного кінця світловода незалежно від кута падіння на передній торець?
51. Промінь світла падає з повітря під кутом 60° на стос із трьох покладених одна на одну прозорих пластин однакової товщини. Під яким кутом промінь вийде в повітря з останньої пластини, якщо показник заломлення першої

пластини дорівнює 1,45, а кожної наступної – на 10% більший, ніж попередньої?

52. Показник заломлення води $n_g = 1,33$. При якому найменшому куті падіння на поверхню промінь світла, що поширюється у воді, не вийде в повітря?

53. На дні водоймища вертикально поставлений стовп. Довжина підводної частини стовпа в $k = 2$ рази більша, ніж надводної. Вважаючи дно водоймища горизонтальним, визначте, у скільки разів довжина стовпа, що височіє над дном водоймища більша за довжину його тіні на дні водоймища. Падаючі сонячні промені утворюють з поверхнею води кут $\alpha = 60^\circ$. Показник заломлення води $n = 1,33$.

54. Знайти кут падіння променя на поверхню пластини з показником заломлення $n = 1,732$, якщо кут заломлення променя вдвічі відрізняється від кута падіння.

55. При падінні променя на поверхню прозорої пластинки під кутом $59,1^\circ$ відбитий та заломлений промені виявилися взаємно перпендикулярними. Чому дорівнює кут між відбитим та заломленим променями при куті падіння 45° ?

56. При падінні променя світла з повітря на прозору пластинку виявилось, що відбитий та заломлений промені є взаємно перпендикулярними, а довжина світлової хвилі при переході з повітря в пластинку змінилася на 30%. Знайти кут падіння променя на пластинку.

57. Промінь світла падає на поверхню води в басейні і, заломившись, утворює на дні світлу пляму, яка міститься на відстані 1 м від точки перетину продовження падаючого променя з дном. Яка глибина басейну, якщо кут падіння променя 60° ? Показник заломлення води 1,33.

58. Де побачить око монету, розміщену у воді на глибині $h = 1$ м? Показник заломлення води $n = 1,33$.

59. Пучок паралельних променів падає на товсту скляну пластину під кутом 60° і, заломившись, переходить у скло. Ширина пучка в повітрі дорівнює 10 см. Визначити ширину пучка в склі.

60. Промінь світла переходить із середовища з показником заломлення n_1 в середовище з показником заломлення n_2 . Довести, що якщо кут між відбитим і заломленим променем дорівнює $\pi/2$, то виконується умова $\operatorname{tg} \varepsilon_1 = n_2 / n_1$ (ε_1 - кут падіння).

61. Промінь світла падає на грань призми з показником заломлення n під малим кутом. Показати, якщо заломлений кут θ призми малий, то кут відхилення σ променя не залежить від кута падіння і рівний $\theta(n-1)$.
62. На скляну призму із заломлюючим кутом $\theta = 60^\circ$ падає промінь світла. Знайти показник заломлення скла, якщо при симетричному ході променя в призмі кут відхилення $\sigma = 40^\circ$.
63. Заломлюючий кут θ скляної призми дорівнює 30° . Промінь світла падає на грань призми перпендикулярно до її поверхні і виходить в повітря з іншої грані, відхиляючись на кут $\sigma = 20^\circ$ від первинного напрямку. Знайти показник заломлення скла.
64. Промінь світла падає на грань скляної призми перпендикулярно до її поверхні і виходить з протилежної грані, відхилившись на кут $\sigma = 25^\circ$ від первинного напрямку. Знайти заломлюючий кут призми.
65. На грань скляної призми с заломлюючим кутом $\theta = 60^\circ$ падає промінь світла під кутом $\varepsilon_1 = 45^\circ$. Знайти кут заломлення ε'_2 променя при виході з призми і кут відхилення σ променя від первинного напрямку.
66. Заломлюючий кут θ призми дорівнює 60° . Кут найменшого відхилення променя від первинного напрямку $\sigma = 30^\circ$. Визначити показник заломлення скла, з якого виготовлена призма.
67. Заломлюючий кут θ призми, що має форму гострого клинка, дорівнює 2° . Визначити кут найменшого відхилення σ_{\min} променя при проходженні через призму, якщо показник заломлення скла призми дорівнює 1,6.
68. Довге тонке волокно, виготовлене з прозорого матеріалу з показником заломлення $n = 1,35$, утворює світловод. Визначити максимальний кут α до осі світловода, під яким світловий промінь може ще падати на торець, щоб пройти світловод з мінімальним послабленням.
69. На дні посудини, яка заповнена водою ($n = 1,33$) до висоти $h = 25$ см, знаходиться точкове джерело світла. На поверхні води плаває непрозора пластинка так, що центр пластинки знаходиться над джерелом світла. Визначити мінімальний діаметр пластинки, при якому світло не проходить крізь поверхню води.
70. Промінь, який падає на плоску границю двох середовищ, відносний показник заломлення яких n , частково відбивається, частково заломлюється. При якому куті падіння відбитий промінь перпендикулярний до кута заломлення?
71. Промінь світла падає на оптичну призму з кварцового скла під кутом 36° . Заломлюючий кут призми 40° . Під яким кутом промінь вийде з призми і який

кут його відхилення від первинного напрямку? Показник заломлення кварцового скла 1,54.

72. Світловий промінь проходить декілька середовищ, розділених плоскопаралельними границями. Довести, що напрямок променя, що виходить, залежить лише від напрямку променя, що входить і від показників заломлення першого і останнього середовища.

73. Визначити, на скільки плоскопаралельна скляна пластинка товщиною $d = 10 \text{ см}$ зміщує вбік промінь світла, який падає на неї під кутом $\varphi = 70^\circ$. Показник заломлення скла $n = 1,5$.

74. Плоске дзеркало повернули навколо вісі, яка проходить через точку падіння променя і перпендикулярна площині падаючого і відбитого променів. На який кут повернули дзеркало, якщо відбитий промінь повернувся на кут $\delta = 42^\circ$?

75. Тонкий світловий промінь падає на бічну грань скляної призми під кутом $\beta = 45^\circ$. Кут між бічними гранями призми $\alpha = 30^\circ$. Показник заломлення повітря $n_{\text{пов}} = 1$, а скла $n_{\text{ск}} = 1,41$. Знайти кут зміщення променя від первинного напрямку поширення.

76. Промінь падає на скляну плоскопаралельну пластинку під кутом 45° . Яка товщина пластинки, якщо промінь при виході з неї змістився на $a = 2 \text{ см}$? Показник заломлення скла $n = 1,8$.

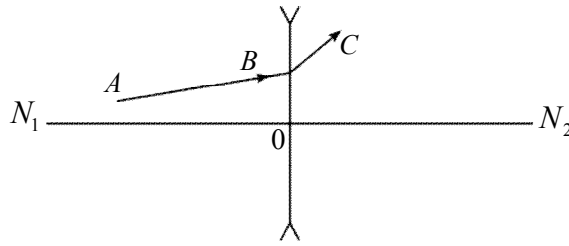
77. Промінь світла падає з повітря на поверхню рідини під кутом $\alpha_1 = 40^\circ$ і заломлюється під кутом $\beta_1 = 24^\circ$. При якому куті падіння променя кут заломлення буде $\beta_2 = 20^\circ$?

78. Промінь світла падає на межу поділу двох прозорих середовищ під кутом $\alpha_1 = 35^\circ$ і заломлюється під кутом $\beta_1 = 25^\circ$. Який буде кут заломлення, якщо промінь буде падати під кутом $\alpha_2 = 50^\circ$?

79. Пучок паралельних світлових променів шириною $d_0 = 1 \text{ см}$ падає під кутом $\alpha = 60^\circ$ з повітря (показник заломлення рівний 1) на плоску поверхню товстої скляної пластинки. Визначити показник заломлення скла, якщо ширина пучка в пластині $d = 1,6 \text{ см}$.

80. Світловий промінь падає по нормалі на бічну грань прямої скляної призми, поперечний переріз якої – рівнобедрений трикутник, під кутом $\alpha = 70^\circ$. Показник заломлення скла $n = 1,5$. Визначити кут між падаючим променем і променем, що вийшов з призми.

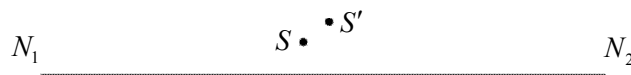
81. На рисунку подано хід променя ABC через розсіювальну лінзу. Побудовою знайти фокус лінзи.



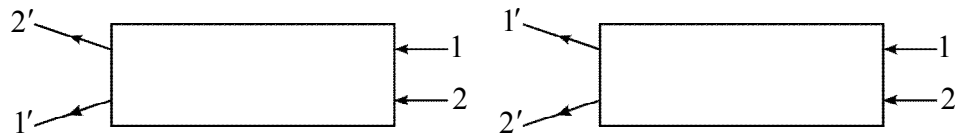
82. На заданій оптичній осі N_1N_2 лінзи знайти побудовою оптичний центр лінзи і її головні фокуси, якщо відомі положення джерела S і його зображення S' .



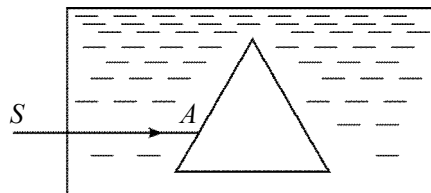
83. На рисунку зображена світна точка і її зображення, яке дає лінза, оптична вісь якої N_1N_2 . Знайти положення лінзи і її фокусів.



84. В якому випадку лінза, розміщена в ящику, буде збиральною, а в якому розсіювальною? Визначити побудовою оптичний центр і фокус лінзи.



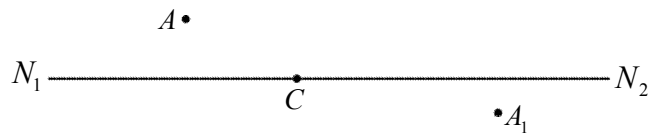
85. У посудині з водою стоїть порожниста призма, виготовлена зі скла (всередині повітря). Побудувати хід променя SA через призму, показавши лише загальний характер ходу променя, не виконуючи обчислень.



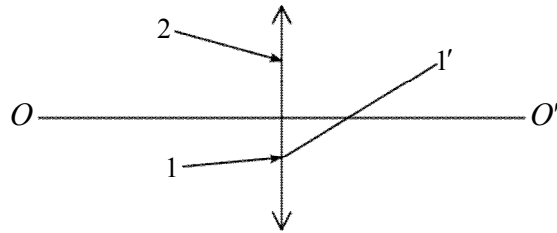
86. На рисунку показано положення головної оптичної осі, оптичного центру O , світної точки A_0 і її зображення A_1 . Визначити фокусну відстань лінзи.



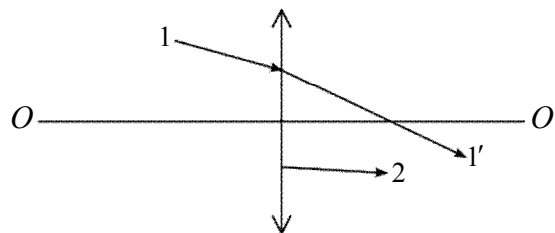
87. На рисунку показано положення головної оптичної осі, точки A та її зображення A_1 . Визначити положення лінзи і її фокуси. Побудуйте зображення точки C .



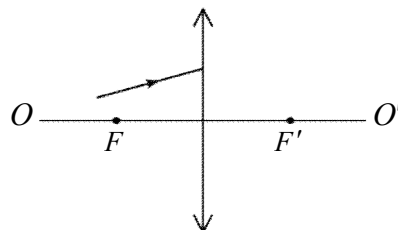
88. На рисунку показано хід променя 1. Показати хід променя 2.



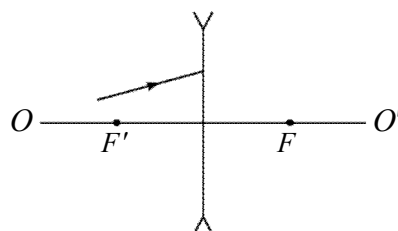
89. На рисунку показано хід променя 1. Показати хід променя 2.



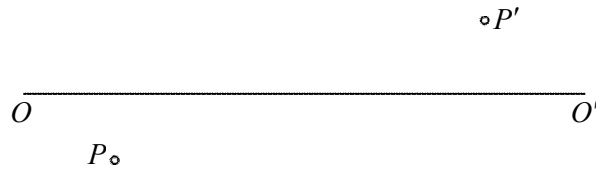
90. Визначити побудовою хід променя за збиральною лінзою, якщо відомі положення лінзи, головної оптичної осі та головних фокусів.



91. Визначити побудовою хід променя за розсіювальною лінзою, якщо відомі положення лінзи, головної оптичної осі та головних фокусів.



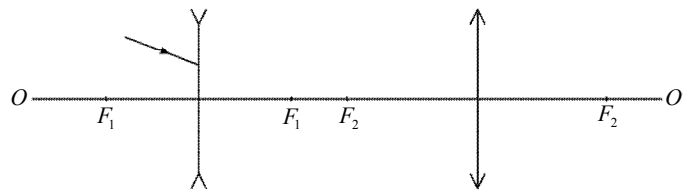
92. Визначити побудовою положення тонкої лінзи та її фокусів, якщо відомі положення оптичної осі OO' і пари спряжених точок P і P' . Встановити, яка це лінза.



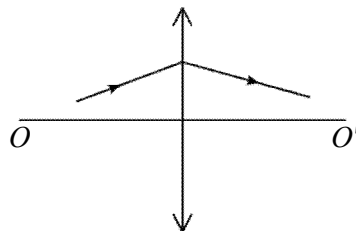
93. Визначити побудовою положення тонкої лінзи та її фокусів, якщо відомі положення оптичної осі OO' і пари спряжених точок P і P' . Встановити, яка це лінза.



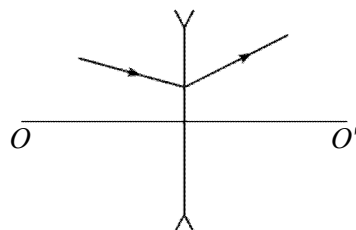
94. Визначити побудовою хід променя в системі розсіювальної та збиральної лінз.



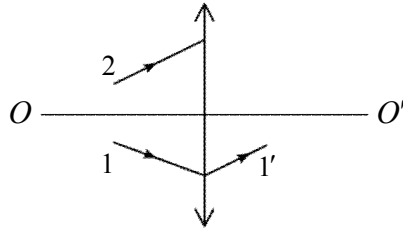
95. Визначити побудовою положення фокусів тонкої лінзи, якщо відомі положення оптичної осі OO' і хід довільного променя.



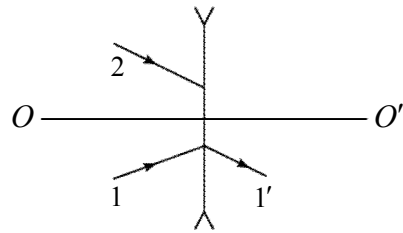
96. Визначити побудовою положення фокусів тонкої лінзи, якщо відомі положення оптичної осі OO' і хід довільного променя.



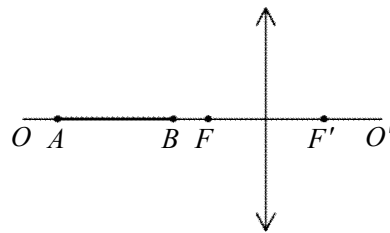
97. Знаючи хід променів 1 і 2 до лінзи, встановити хід променя 2 за збиральною лінзою, якщо відомі положення лінзи й головної оптичної осі.



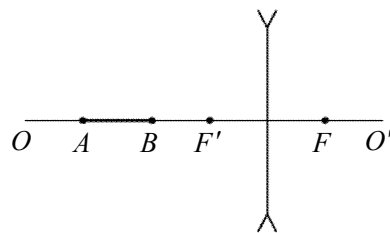
98. Знаючи хід променів 1 і 2 до лінзи, встановити хід променя 2 за розсіювальною лінзою, якщо відомі положення лінзи й головної оптичної осі.



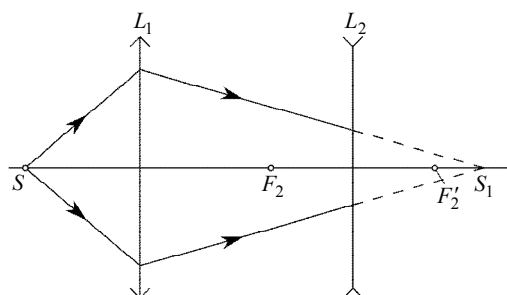
99. Побудувати положення відрізка AB , який розміщений на головній оптичній осі, у збиральній лінзі.



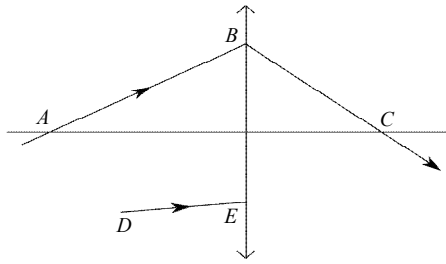
100. Побудувати положення відрізка AB , який розміщений на головній оптичній осі, у розсіювальній лінзі.



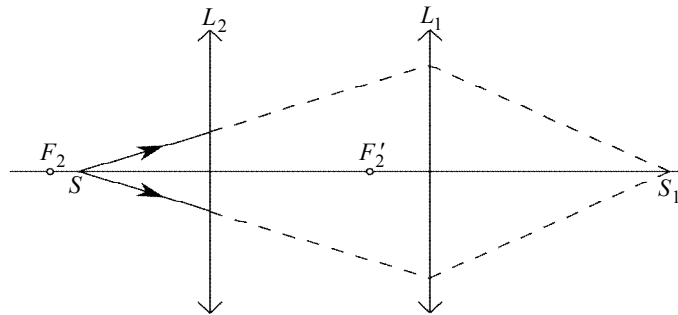
101. Збиральна лінза L_1 дає в точці S_1 дійсне зображення точкового джерела S , розміщеного на оптичній осі лінзи. Між L_1 і S_1 встановлено розсіювальну лінзу L_2 , положення фокусів задані. Знайти побудовою нове положення джерела.



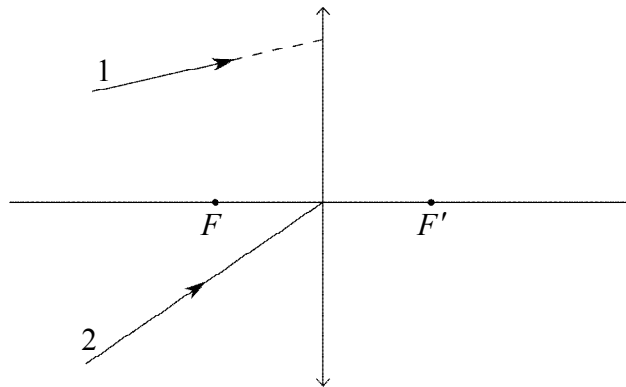
102. Відомо хід променя ABC через тонку збиральну лінзу. Побудувати хід довільного променя DE .



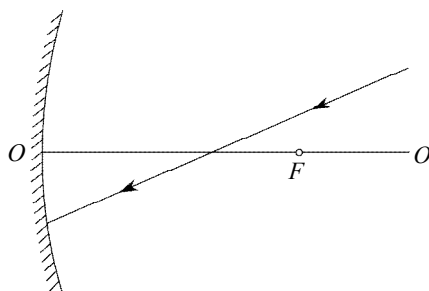
103. Збиральна лінза L_1 дає в точці S_1 дійсне зображення точкового джерела S , розміщеного на оптичній осі лінзи. Між джерелом S і лінзою L_1 поставлено ще одну збиральну L_2 , положення фокусів задані. Знайти побудовою нове положення джерела.



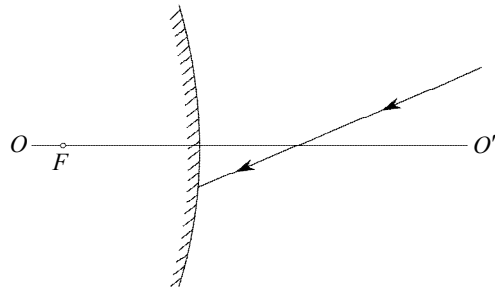
104. Побудувати хід променів 1 і 2 в тонкій лінзі.



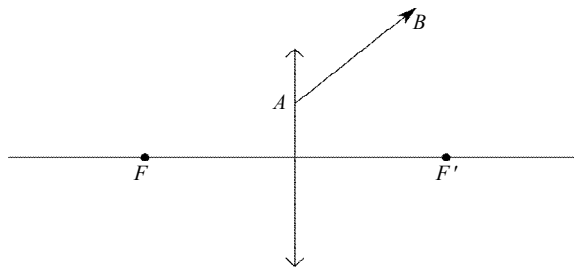
105. Знайти побудовою хід променя після відбивання у вгнутому сферичному дзеркалі, де F фокус, OO' - оптична вісь.



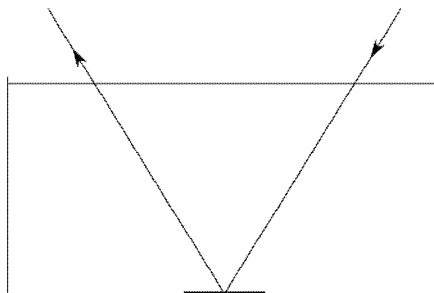
106. Знайти побудовою хід променя після відбивання в опуклому сферичному дзеркалі, де F - фокус, OO' - оптична вісь.



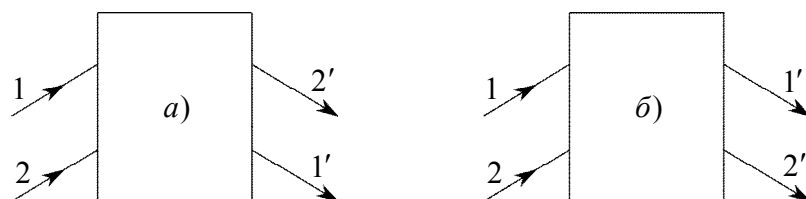
107. Побудувати хід променя AB до лінзи, якщо положення фокусів відоме.



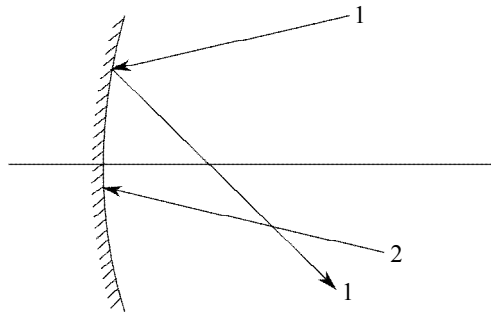
108. На дні порожньої посудини лежить дзеркало. Показати, як зміниться хід відбитого променя в міру заповнення посудини водою.



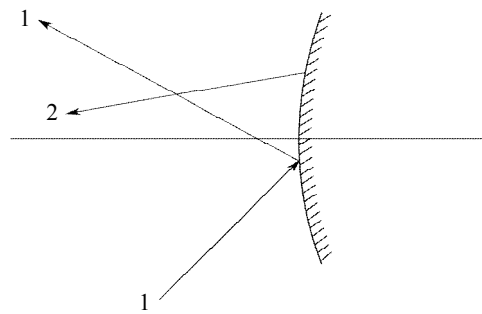
109. В якому з ящиків міститься плоске дзеркало, а в якому скляна призма? Накреслити хід променів всередині ящиків.



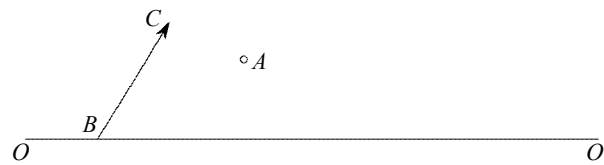
110. Знаючи хід променя 1 побудувати хід променя 2 після відбивання.



111. Знаючи хід променя 1 побудувати хід променя 2 до відбивання.

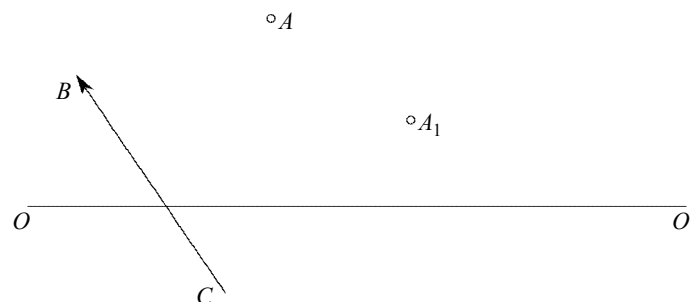


112. Знайти положення лінзи, з'ясувати, збиральна вона чи розсіювальна, побудувати зображення предмета BC . A світна точка, а A_1 її зображення.



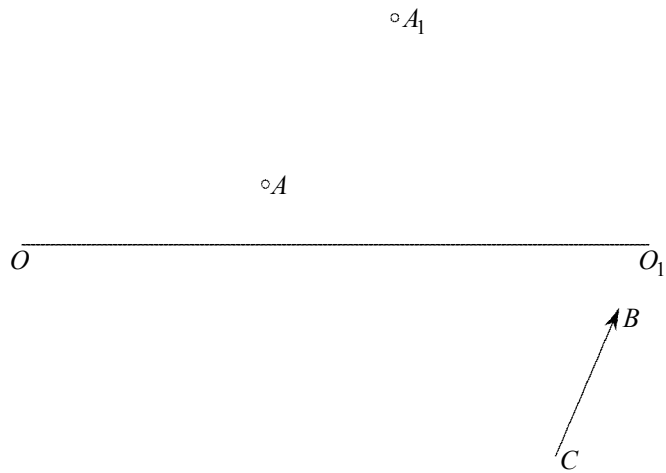
A_1

113. Знайти положення лінзи, з'ясувати, збиральна вона чи розсіювальна, побудувати зображення предмета BC . A світна точка, а A_1 її зображення.



A_1

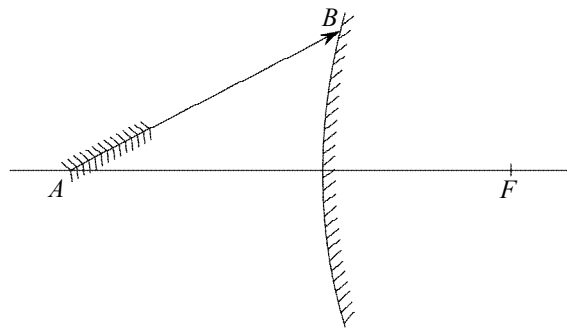
114. Знайти положення лінзи і побудувати зображення предмета BC , де A світна точка, а A_1 її зображення.



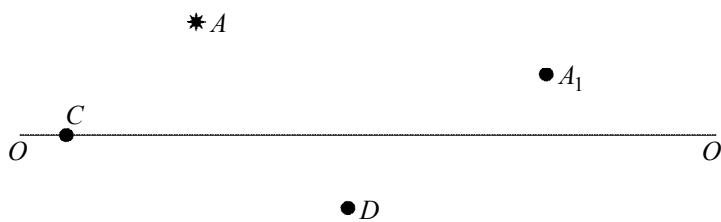
115. Знайти положення лінзи і побудувати зображення точок B і C , де A світна точка, а A_1 її зображення.



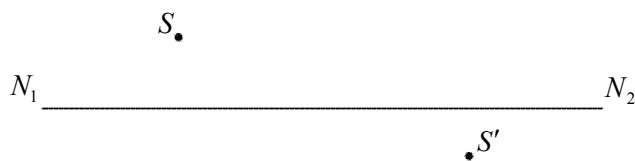
116. Знаючи положення предмета AB перед опуклим дзеркалом, побудувати зображення цього предмета.



117. Відомо положення головної оптичної осі дзеркала OO , предмета A і його зображення A_1 . Визначити побудовою положення зображення предметів C і D .



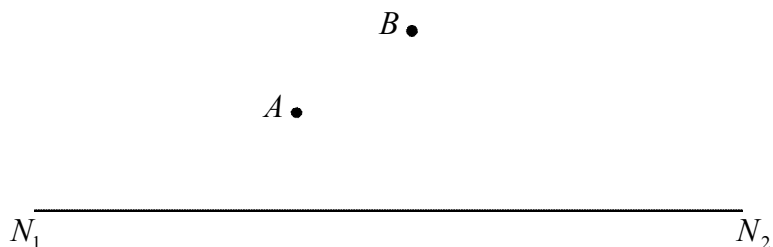
118. Точка S' є зображенням точкового джерела світла у сферичному дзеркалі, оптична вісь якого N_1N_2 . Знайти побудовою положення центра дзеркала і його фокус.



119. Точка S' є зображенням точкового джерела світла у сферичному дзеркалі, оптична вісь якого N_1N_2 . Знайти побудовою положення центра дзеркала і його фокус.



120. Подано положення оптичної вісі N_1N_2 сферичного дзеркала, розміщення джерела і його зображення. Знайти побудовою положення центра дзеркала, його фокуса і полюса для випадків: 1) A – джерело, B – зображення; 2) B – джерело, A – зображення.



121. Світловий промінь пройшов крізь плоскопаралельну пластинку, товщина якої $d = 2$ см. На яку відстань l змістився промінь, що вийшов із пластинки паралельно променю, що падав на пластинку, якщо кут падіння променя $i_1 = 60^\circ$?

122. На якій глибині під водою знаходиться водолаз, якщо він бачить відбитими від поверхні води ті частини горизонтального дна, які розміщені від нього на відстані 15 м і більше? Зріст водолаза 1,7 м.

123. Визначити фокусну відстань f вгнутого сферичного дзеркала, якщо відстань між предметом і зображенням $l = 15$ см, а зображення збільшене у 2 рази й обернене.

124. Опукле сферичне дзеркало має радіус кривизни $R = 40$ см. На відстані $a_1 = 10$ см від дзеркала розміщується предмет, висота якого $h = 5$ см. Визначити положення a_2 і висоту h' зображення. Побудувати зображення.
125. Зі скла, що має показник заломлення $n = 1,5$, потрібно виготовити лінзу, оптична сила якої в повітрі $D = 5$ дптр. Якими мають бути радіуси кривизни R_1 і R_2 лінзи, якщо вони є однаковими за модулем?
126. Визначити оптичну силу D двоопуклої лінзи, радіуси кривизни якої $R_1 = 30$ см, $R_2 = 40$ см, виготовленої зі скла ($n = 1,5$).
127. Предмет знаходиться у фокусі розсіювальної лінзи. Визначити відстань a_1 від лінзи до зображення і збільшення Γ лінзи, якщо фокусна відстань лінзи $f = 20$ см.
128. Збиральну лінзу, виготовлену зі скла ($n = 1,5$), що має фокусну відстань у повітрі $f_n = 10$ см, занурили у воду. Як змінилась її фокусна відстань?
129. Лупою є двоопукла лінза з однаковими за модулем радіусами кривизни $|R_1| = |R_2| = R$, виготовлена зі скла, показник заломлення якого $n = 1,5$. Визначити радіуси кривизни лінзи, якщо лупа дає збільшення $\Gamma = 5$.
130. Відстань найкращого бачення людини $\delta = 40$ см. Який дефект зору і окулярами якої оптичної сили D необхідно його виправити?
131. Оптична сила об'єктива телескопа $D = 1$ дптр. Окуляр дає збільшення в $\Gamma_{ок} = 10$ разів. Встановити збільшення Γ телескопа та накреслити хід променів у ньому.
132. Фокусні відстані об'єктива й окуляра мікроскопа відповідно $f_{об} = 4$ мм і $f_{ок} = 40$ мм. Відстань від об'єктива до окуляра $L = 19,4$ см. Визначити збільшення Γ мікроскопа. На якій відстані s від об'єктива розміщується предмет?
133. Де і якого розміру отримаємо зображення предмета висотою 2 см, розміщеного на відстані 15 см від збиральної лінзи з фокусною відстанню $0,1$ м?
134. Виразити лінійне збільшення Γ залежно від фокусної відстані лінзи f і відстані a_1 предмета від лінзи.
135. На шляху променя, який падав перпендикулярно до екрана, встановили невелике плоске дзеркало так, щоб кут падіння променя на нього $i = 88^\circ$. Як змінилося положення світлової плями на екрані, якщо відстань від дзеркала до екрана $l = 0,5$ м.

136. Вгнутое сферичне дзеркало дає на екрані зображення предмета, збільшене в 3 рази й обернене ($\Gamma = 3$). Відстань від вершини дзеркала до предмета $S = 20$ см. Визначити радіус кривизни дзеркала.

137. Фокусна відстань лінзи $f = 20$ см. На якій відстані s від лінзи треба розмістити предмет, щоб його уявне зображення знаходилося на відстані $s' = 40$ см від лінзи? Яким буде збільшення Γ ?

138. Збиральну і розсіювальну лінзи розмістили близько одна від одної на оптичній лаві між предметом та екраном. Визначити фокусну відстань f_2' розсіювальної лінзи, якщо відстань від системи лінз до предмета $s = 50$ см, від лінзи до екрана, на якому спостерігається зображення, $s' = 30$ см, а фокусна відстань збиральної лінзи $f_1' = 10$ см.

139. Яке збільшення Γ дає лупа, що складається з двох лінз, фокусні відстані яких відповідно $f_1 = 5$ см і $f_2 = 7$ см? Лінзи складені щільно.

140. Відстань між об'єктивом і окуляром телескопічної системи $L = 12$ см, а її збільшення $\Gamma = 5$. Якою буде оптична сила системи цих лінз, якщо їх скласти щільно?

141. Зорова труба, фокусна відстань об'єктива якої $f_{об} = 50$ см, встановлена на нескінченність. Трубу треба сфокусувати на предмет, віддалений на 50 м. На яку відстань z і в якому напрямі треба перемістити окуляр труби?

142. Який діаметр дійсного зображення Сонця, якщо це зображення дає лінза з фокусною віддалю 3 м? Діаметр Сонця $1,4 \cdot 10^6$ км, відстань від Сонця до Землі $150 \cdot 10^6$ км.

143. Джерело світла знаходиться на відстані 1,5 м від екрана, на якому за допомогою збиральної лінзи утворюють збільшене зображення джерела. Потім екран віддаляють ще на 3 м і знову утворюють збільшене зображення джерела. Чому дорівнює фокусна відстань лінзи і розмір джерела, якщо розмір зображення в першому випадку 18 мм, а в другому 96 мм?

144. Точкове джерело світла розміщене на відстані $a = 30$ см від тонкої збиральної лінзи, оптична сила якої 5 дптр. На яку відстань зміститься зображення джерела, якщо між лінзою і джерелом помістити товсту скляну пластинку товщиною $L = 15$ см з показником заломлення $n = 1,57$?

145. Джерело світла розміщене на відстані 20 см від збиральної лінзи з фокусною відстанню 12 см. На якій відстані за збиральною лінзою слід розмістити розсіювальну лінзу з фокусною відстанню 16 см так, щоб зображення джерела залишалось дійсним.

146. У фокусі сферичного дзеркала прожектора встановлено джерело світла у вигляді світлого диска радіусом $r = 1 \text{ см}$. Знайти діаметр освітленої плями на стіні на відстані 50 м від прожектора, якщо фокусна відстань сферичного дзеркала $f = 40 \text{ см}$, а діаметр дзеркала 1 м .

147. Предмет висотою $h = 5 \text{ см}$ розміщений на відстані $a = 12 \text{ см}$ від угнутого дзеркала з фокусною відстанню $f = 10 \text{ см}$. Де і якого розміру буде зображення?

148. Короткозора людина може читати дрібний шрифт на відстані не більше, як 20 см від очей. Чому дорівнює оптична сила і фокусна відстань окулярів, які виправляють короткозорість?

149. Фокусні відстані об'єктива й окуляра мікроскопа відповідно $f_{об} = 4 \text{ мм}$ і $f_{ок} = 40 \text{ мм}$. Відстань від об'єктива до окуляра $L = 19,4 \text{ см}$. Визначити збільшення мікроскопа. На якій відстані S від об'єктива розміщується предмет.

150. Фокусні відстані об'єктива й окуляра мікроскопа відповідно $f_{об} = 5 \text{ мм}$ і $f_{ок} = 50 \text{ мм}$. Предмет розміщено на відстані $s = 5,1 \text{ мм}$ від об'єктива. Визначити довжину тубусу мікроскопа і його збільшення для нормального ока.

151. У мікроскопі фокусна відстань об'єктива $f_1 = 5,4 \text{ мм}$, а окуляра $f_2 = 2 \text{ см}$. Предмет розміщений від об'єктива на відстані $a = 5,6 \text{ мм}$. Визначте лінійне збільшення мікроскопа для нормального ока і довжину тубусу мікроскопа (відстань між об'єктивом і окуляром), вважаючи, що око акомодоване на відстань найкращого зору $d = 25 \text{ см}$.

152. Телеоб'єктив фотоапарата складається з двох лінз: збиральної лінзи з фокусною відстанню $f_1 = +6 \text{ см}$, повернутої до об'єкта, і розсіювальної лінзи з фокусною відстанню $f_2 = -2,6 \text{ см}$. Відстань між лінзами $d = 4 \text{ см}$. На якій відстані від розсіювальної лінзи треба розміщувати фотоплівку при фотографуванні віддалених предметів?

153. Висота зображення на матовому склі фотоапарата з відстані 15 м дорівнює 30 мм , а з відстані $9 \text{ м} - 51 \text{ мм}$. Знайти фокусну відстань об'єктива.

154. Зорова труба має фокусну відстань об'єктива $f_1 = 50 \text{ см}$ і фокусну відстань окуляра $f_2 = 10 \text{ см}$. Чому дорівнює кут, під яким видно через трубу два віддалені предмети, якщо при спостереженні неозброєним оком цей кут дорівнює $30'$? Трубу встановлено на нескінченність.

155. Телескоп має об'єктив з фокусною відстанню 150 см і окуляр з фокусною відстанню 10 см . Під яким кутом бачення видно повний Місяць в телескоп, якщо неозброєним оком його видно під кутом $31'$.

156. Знайти збільшення, яке дає лупа, фокусна відстань якої рівна 2 см : 1) для нормального ока з відстанню найкращого бачення 25 см ; 2) для короткозорого ока з відстанню найкращого бачення 15 см .

157. За допомогою двоопуклої лінзи діаметром 9 см і фокусною відстанню 50 см зображення Сонця проектується на екран. Знайти, якої величини утворюється зображення Сонця, якщо кутовий діаметр Сонця дорівнює $32'$.

158. Лінза з фокусною відстанню 16 см дає чітке зображення предмета у двох положеннях, відстань між якими 60 см . Знайти відстань від екрана до предмета.

159. На 15 см від двоопуклої лінзи, оптична сила якої 10 дптр , розташовано перпендикулярно до оптичної вісі предмет висотою 2 см . Знайти положення і висоту зображення. Побудувати зображення.

160. Картину площею $2 \times 2\text{ м}$ фотографують з відстані $4,5\text{ м}$. Зображення отримали розміром $5 \times 5\text{ см}$. Чому дорівнює фокусна відстань об'єктива фотоапарата? Відстань від картини до об'єктива вважати значно більшою, ніж фокусна відстань.

161. Скільки довжин хвиль монохроматичного світла з частотою коливань $\nu = 5 \cdot 10^{14}\text{ Гц}$ вміститься на шляху довжиною $l = 1,2\text{ мм}$: 1) у вакуумі; 2) у склі?

162. Визначити довжину l_1 відрізка, на якому вміщається скільки ж довжин хвиль у вакуумі, скільки їх вміщається на відрізку $l_2 = 3\text{ мм}$ у воді.

163. Яку довжину l_1 шляху пройде фронт хвилі монохроматичного світла у вакуумі за час, за який він проходить шлях довжиною $l_2 = 1\text{ мм}$ у воді?

164. На шляху світлової хвилі, яка розповсюджується у повітрі, поставили скляну пластинку товщиною $h = 1\text{ мм}$. На скільки зміниться оптична довжина шляху, якщо світлова хвиля падає на пластинку: 1) нормально; 2) під кутом $\varepsilon = 30^\circ$?

165. На шляху монохроматичного світла з довжиною хвилі $\lambda = 0,6\text{ мкм}$ знаходиться плоскопаралельна пластинка товщиною $d = 0,1\text{ мм}$. Світло падає на пластину нормально. На який кут φ слід повернути пластинку, щоб оптична довжина шляху L змінилася на $\lambda/2$?

166. Оптична різниця ходу Δ двох інтерференційних хвиль монохроматичного світла рівна $0,3\lambda$. Визначити різницю фаз $\Delta\varphi$.

167. Знайти всі довжини хвиль видимого діапазону світла (від 0,38 до 0,76 мкм), які будуть: 1) максимально підсилені; 2) максимально ослаблені при оптичній різниці ходу Δ інтерференційних хвиль, яка дорівнює 1,8 мкм.

168. Відстань d між двома когерентними джерелами світла ($\lambda = 0,5$ мкм) рівна 0,1 мкм. Відстань b між інтерференційними смугами на екрані в середній частині інтерференційної картини дорівнює 1 см. Визначити відстань l від джерел до екрана.

169. Відстань d між двома щілинами в досліді Юнга рівна 1 мм, відстань l від щілини до екрану рівна 3 м. Визначити довжину хвилі λ , що випускається джерелом монохроматичного світла, якщо ширина смуг інтерференції на екрані $b = 1,5$ мм.

170. У досліді Юнга відстань d між щілинами дорівнює 0,8 мм, довжина хвилі $\lambda = 640$ нм. На якій відстані l від щілин потрібно розмістити екран, щоб ширина b інтерференційної смуги дорівнювала 2 мм?

171. У досліді з дзеркалами Френеля відстань d між уявними зображеннями джерела світла дорівнює 0,5 мм, відстань l від них до екрану дорівнює 3 м. Довжина хвилі 0,6 мкм. Визначити ширину b інтерференційних смуг на екрані.

172. При деякому розміщенні дзеркала Ллойда ширина b інтерференційної смуги на екрані дорівнює 1 мм. Після того, як дзеркало змістили паралельно самому собі на відстань $\Delta d = 0,3$ мм, ширина інтерференційної смуги змінилася. У якому напрямку і на яку відстань Δl потрібно перемістити екран, щоб ширина інтерференційної смуги залишилась попередньою? Довжина хвилі монохроматичного світла дорівнює 0,6 мкм.

173. На мильну плівку ($n = 1,3$), яка знаходиться в повітрі, падає нормально пучок променів білого світла. При якій найменшій товщині d плівки відбите світло з довжиною хвилі 0,55 мкм виявиться максимально підсиленим у результаті інтерференції?

174. Пучок монохроматичних ($\lambda = 0,6$ мкм) світлових хвиль падає під кутом $\varepsilon_1 = 30^\circ$ на мильну плівку яка знаходиться в повітрі ($n = 1,3$). При якій найменшій товщині плівки відбиті світлові хвилі будуть максимально ослаблені інтерференцією? Максимально підсилені?

175. На тонкий скляний клин ($n = 1,55$) падає нормально монохроматичне світло. Двогранний кут між поверхнями клина дорівнює 2° . Визначити довжину світлової хвилі, якщо відстань між суміжними інтерференційними максимумами у відбитому світлі дорівнює 0,3 мм.

176. Поверхні скляного клина утворюють між собою кут $\theta = 0,2^\circ$. На клин нормально до його поверхні падає пучок променів монохроматичного світла з довжиною хвилі $\lambda = 0,55 \text{ мкм}$. Визначити ширину інтерференційної смуги.

177. На тонкий скляний клин у напрямку нормалі до його поверхні падає монохроматичне світло ($\lambda = 600 \text{ нм}$). Визначити кут між поверхнями клину, якщо відстань між суміжними інтерференційними мінімумами у відбитому світлі дорівнює 4 мм .

178. Між двома плоскопаралельними скляними пластинками розмістили дуже тонку дротинку, яка розміщена паралельно лініям дотику пластинок і знаходиться на відстані $l = 75 \text{ мм}$ від неї. У відбитому світлі ($\lambda = 0,5 \text{ мкм}$) на верхній пластинці видно інтерференційні смуги. Визначити діаметр поперечного перерізу дротинки, якщо на відстані $a = 30 \text{ мм}$ нараховується $m = 16$ світлих смуг.

179. Дві плоскопаралельні скляні пластинки прикладені одна до одної так, що між ними утворився повітряний клин з кутом $\theta = 30'$. На одну з пластин падає нормально монохроматичне світло ($\lambda = 0,6 \text{ мкм}$). На яких відстанях l_1 і l_2 від лінії дотику пластинок будуть спостерігатися у відбитому світлі перша і друга світлі смуги (інтерференційні максимуми)?

180. Дві плоскопаралельні скляні пластинки утворюють клин з кутом $\theta = 30'$. Простір між пластинками заповнено гліцерином. На клин нормально до його поверхні падає пучок монохроматичного світла з довжиною хвилі $\lambda = 500 \text{ нм}$. У відбитому світлі спостерігається інтерференційна картинка. Яке число N темних інтерференційних смуг припадає на 1 см довжини клину?

181. Відстань $\Delta r_{2,1}$ між другим і першим темними кільцями Ньютона у відбитому світлі дорівнює 1 мм . Визначити відстань $\Delta r_{10,9}$ між десятим і дев'ятим кільцями.

182. Плоскоопукла лінза опуклою стороною лежить на скляній пластинці. Визначити товщину шару повітря там, де у відбитому світлі ($\lambda = 0,6 \text{ мкм}$) видно перше світле кільце Ньютона.

183. Діаметр другого світлого кільця Ньютона при спостереженні у відбитому світлі ($\lambda = 0,6 \text{ мкм}$) дорівнює $1,2 \text{ мм}$. Визначити оптичну силу плоскоопуклої лінзи, яку взяли для досліджу.

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

185. Діаметри d_i і d_k двох світлих кілець Ньютона відповідно дорівнюють 4,0 і 4,8 мм. Порядкові номери кілець не визначались, але відомо, що між двома вимірними кільцями розміщено три світлих кільця. Кільця спостерігалися у відбитому світлі ($\lambda = 500 \text{ нм}$). Знайти радіус кривизни плоскоопуклої лінзи, взятої для досліду.

186. Між скляною пластинкою і розміщеною на ній плоскоопуклою скляною лінзою налита рідина, показник заломлення якої менший показника заломлення скла. Радіус восьмого темного кільця Ньютона при спостереженні у відбитому світлі ($\lambda = 700 \text{ нм}$) дорівнює 2 мм. Радіус кривизни опуклої поверхні лінзи дорівнює 1 м. Знайти показник заломлення рідини.

187. На установці для спостереження кілець Ньютона був вимірний у відбитому світлі радіус третього темного кільця ($k = 3$). Коли простір між плоскопаралельною пластинкою і лінзою заповнили рідиною, то такий же радіус, який був у третього кільця, стало мати кільце з номером на одиницю більшим. Визначити показник заломлення рідини.

188. На установці для спостереження кілець Ньютона світло з довжиною хвилі $\lambda = 0,5 \text{ мкм}$ падає нормально на плоскоопуклу лінзу з радіусом кривизни $R_1 = 1 \text{ м}$, покладену опуклою стороною на увігнуту поверхню плоскоувігнутої лінзи з радіусом кривизни $R_2 = 2 \text{ м}$. Визначити радіус третього темного кільця Ньютона, що спостерігається у відбитому світлі.

189. Кільця Ньютона спостерігаються за допомогою двох однакових плоскоопуклих лінз радіусом кривизни $R = 1 \text{ м}$, складених впритул опуклими поверхнями (плоскі поверхні лінз паралельні). Визначити радіус другого світлого кільця, що спостерігається у відбитому світлі ($\lambda = 600 \text{ нм}$) при нормальному падінні світла на поверхню верхньої лінзи.

190. На екрані спостерігається інтерференційна картина від двох когерентних джерел світла з довжиною хвилі $\lambda = 480 \text{ нм}$. Коли на шляху одного з пучків розмістили тонку пластинку з плавленого кварцу з показником заломлення $n = 1,46$, то інтерференційна картина змістилася на $m = 69$ смуг. Визначити товщину кварцевої пластинки.

191. В обидва пучки світла інтерферометра Жамена були поміщені циліндричні трубки довжиною $l = 10 \text{ см}$, закриті з обох кінців плоскопаралельними прозорими пластинками. Повітря із трубок було відкачане. При цьому спостерігалася інтерференційна картина у вигляді світлих і темних смуг. В одну із трубок було закачано водень, після чого інтерференційна картина змістилась на $m = 23,7$ смуги. Знайти показник заломлення водню. Довжина хвилі світла дорівнює $\lambda = 590 \text{ нм}$.

192. В інтерферометрі Жамена дві однакові трубки довжиною $l=15\text{ см}$ були заповнені повітрям. Показник заломлення повітря дорівнює $n_1=1,000292$. Коли в одній із трубок повітря замінили ацетиленом, то інтерференційна картинка змістилась на $m=80$ смуг. Визначити показник заломлення n_2 ацетилену, якщо в інтерферометрі використовувалося джерело монохроматичного світла з довжиною хвилі $\lambda = 0,590\text{ мкм}$.

193. Визначити переміщення дзеркала в інтерферометрі Майкельсона, якщо інтерференційна картинка змістилася на $m=100$ смуг. Дослід проводився зі світлом із довжиною хвилі $\lambda = 546\text{ нм}$.

194. Для визначення показника заломлення аргону в одне плече інтерферометра Майкельсона помістили пусту скляну трубку довжиною $l=12\text{ см}$ з плоскопаралельними торцевими поверхнями. При заповненні трубки аргонном (за нормальних умов) інтерференційна картинка змістилася на $m=106$ смуг. Визначити показник заломлення аргону, якщо довжина хвилі світла $\lambda = 639\text{ нм}$.

195. В інтерферометрі Майкельсона на шляху одного з пучків інтерференційного світла ($\lambda = 590\text{ нм}$) розмістили закриту з обох сторін скляну трубку довжиною $l=10\text{ см}$, відкачану до високого вакууму. При заповненні трубки хлористим воднем відбулося зміщення інтерференційної картини. Коли хлористий водень був замінений бромистим воднем, зміщення інтерференційної картини збільшилося на $\Delta m = 42$. Визначити різницю Δn показників заломлення бромистого і хлористого водню.

196. В досліді Юнга відстань між щілинами $d=1\text{ мм}$, а відстань l від щілин до екрану дорівнює 3 м . Визначити: 1) положення першої світлої смуги; 2) положення третьої темної смуги, якщо щілини освітлюють монохроматичним світлом з довжиною хвилі $\lambda = 0,5\text{ мкм}$.

197. Відстань від біпризми Френеля до вузької щілини і екрану відповідно дорівнює $a=30\text{ см}$ і $b=1,5\text{ м}$. Біпризма скляна ($n=1,5$) з заломлюючим кутом $\vartheta = 20'$. Визначити довжину хвилі світла, якщо ширина інтерференційних смуг $\Delta x = 0,65\text{ мм}$.

198. На плоскопаралельну плівку з показником заломлення $n=1,33$ під кутом $i=45^\circ$ падає паралельний пучок білого світла. Визначити, за якої найменшої товщини плівки дзеркально відбите світло найбільш сильно забарвиться у жовтий колір ($\lambda = 0,6\text{ мкм}$).

199. Установка для спостереження кілець Ньютона освітлюється монохроматичним світлом з довжиною хвилі $\lambda = 0,6\text{ мкм}$, яке падає нормально. Простір між лінзою і скляною пластинкою заповнено рідиною і спостереження ведеться у прохідному світлі. Радіус кривизни лінзи $R=4\text{ м}$.

Визначити показник заломлення рідини, якщо радіус другого світлого кільця $r = 1,8 \text{ мм}$.

200. Коли в установці для спостереження кілець Ньютона простір між лінзою та пластинкою заповнили прозорою рідиною, радіуси темних кілець у відбитому світлі зменшилась у $k = 1,2$ рази. Визначити показник заломлення рідини.

201. Обрахувати радіус п'ятої зони Френеля для плоского хвильового фронту ($\lambda = 0,5 \text{ мкм}$), якщо побудова виконана для точки спостереження, що знаходиться на відстані $b = 1 \text{ м}$ від фронту хвилі.

202. Радіус четвертої зони Френеля для плоского хвильового фронту дорівнює 3 мм . Визначити радіус шостої зони Френеля.

203. На діафрагму з круглим отвором діаметра $d = 4 \text{ мм}$ падає нормально паралельний пучок променів монохроматичного світла ($\lambda = 0,5 \text{ мкм}$). Точка спостереження знаходиться на осі отвору на відстані $b = 1 \text{ м}$ від нього. Скільки зон Френеля вміщається в отворі? Темна чи світла пляма утвориться у центрі дифракційної картини, якщо в місці спостереження помістити екран?

204. Плоска світлова хвиля ($\lambda = 0,5 \text{ мкм}$) падає нормально на діафрагму з круглим отвором діаметром $d = 1 \text{ см}$. На якій відстані від отвору повинна знаходитись точка спостереження, щоб отвір відкривав: 1) одну зону Френеля; 2) дві зони Френеля?

205. Паралельний пучок променів із довжиною хвилі λ падає нормально на щілину шириною $b = 4\lambda$. Під яким кутом дифракції φ спостерігається мінімум другого порядку? Яким буде кут дифракції, якщо спостереження проводити в середовищі з показником заломлення $n = 1,33$.

206. На щілину шириною $a = 0,05 \text{ мм}$ падає нормально монохроматичне світло ($\lambda = 0,6 \text{ мкм}$). Визначити кут φ між початковим напрямком пучка світла і напрямком на четверту темну дифракційну смугу.

207. На вузьку щілину падає нормально монохроматичне світло. Кут φ відхилення пучків світла, відповідних другій світловій смузі, дорівнює 1° . Скільком довжинам хвиль падаючого світла рівна ширина щілини?

208. На щілину шириною $a = 0,1 \text{ мм}$ падає нормально монохроматичне світло ($\lambda = 0,5 \text{ мкм}$). За щілиною розміщена збиральна лінза, у фокальній площині якої знаходиться екран. Що буде спостерігатися на екрані, якщо кут φ дифракції дорівнює: 1) 17° ; 2) 43° .

209. Скільки штрихів на кожний міліметр довжини містить дифракційна решітка, якщо при спостереженні в монохроматичному світлі ($\lambda = 0,6 \text{ мкм}$) максимум p 'ятого порядку відхилений на кут $\varphi = 18^\circ$?

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

211. Дифракційна решітка освітлюється нормально падаючим монохроматичним світлом. У дифракційній картині максимум другого порядку відхилений на кут $\varphi_1 = 14^\circ$. На який кут φ_2 відхилений максимум третього порядку.

212. Дифракційна решітка має $n = 200$ штрихів на 1 мм . На решітку падає нормально монохроматичне світло ($\lambda = 0,6 \text{ мкм}$). Максимум якого найбільшого порядку дає ця решітка?

213. На дифракційну решітку, яка має $n = 400$ штрихів на 1 мм , падає нормально монохроматичне світло ($\lambda = 0,6 \text{ мкм}$). Знайти число дифракційних максимумів, які дає ця решітка. Визначити кут φ дифракції, який відповідає останньому максимуму.

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

215. На дифракційну решітку, яка має $n = 500$ штрихів на 1 мм , падає в напрямку нормалі до її поверхні біле світло. Спектр проектується на екран лінзою, яка розміщена поблизу решітки. Визначити ширину спектра першого порядку на екрані, якщо відстань від лінзи до екрану $L = 3 \text{ м}$. Границі видимості спектра $\lambda_{\text{чр}} = 760 \text{ нм}$, $\lambda_{\text{ф}} = 380 \text{ нм}$.

216. На дифракційну решітку з періодом $d = 10 \text{ мкм}$ під кутом $\alpha = 30^\circ$ падає монохроматичне світло з довжиною хвилі $\lambda = 600 \text{ нм}$. Визначити кут φ дифракції, що відповідає другому головному максимуму.

217. Дифракційна картина отримана за допомогою дифракційної решітки довжиною $l = 1,5 \text{ см}$ і періодом $d = 5 \text{ мкм}$. Визначити, в спектрі якого найменшого порядку цієї картини отримаємо роздільні зображення двох спектральних ліній з різницею довжини хвиль $\Delta\lambda = 0,1 \text{ нм}$, якщо лінії лежать в крайній червоній частині спектра ($\lambda \approx 760 \text{ нм}$).

218. Якою найменшою роздільною силою R повинна володіти дифракційна решітка, щоб за її допомогою можна було розділити дві спектральні лінії калію ($\lambda_1 = 578 \text{ нм}$ і $\lambda_2 = 580 \text{ нм}$)? Яке найменше число N штрихів повинна мати ця решітка, щоб розділення було можливе у спектрі другого порядку?

219. За допомогою дифракційної решітки з періодом $d = 20 \text{ мкм}$ потрібно розділити дублет натрію ($\lambda_1 = 589 \text{ нм}$ і $\lambda_2 = 589,6 \text{ нм}$) у спектрі другого порядку. За якої найменшої довжини решітки це можливо?

220. Визначити кутову дисперсію D_φ дифракційної решітки для кута дифракції $\varphi = 30^\circ$ і довжини хвилі $\lambda = 600 \text{ нм}$. Відповідь виразити в одиницях СІ і в хвилинах на нанометр.

221. На дифракційну решітку, яка має $n = 500$ штрихів на 1 мм , падає нормально монохроматичне світло з довжиною хвилі $\lambda = 700 \text{ нм}$. За решіткою розміщена збиральна лінза з головною фокусною відстанню $f = 50 \text{ см}$. У фокальній площині лінзи розміщено екран. Визначити лінійну дисперсію D_l такої системи для максимуму третього порядку. Відповідь виразити у міліметрах на нанометр.

222. Нормально до поверхні дифракційної решітки падає пучок світла. За решіткою розміщена збиральна лінза з оптичною силою $D = 1 \text{ дптр}$. У фокальній площині лінзи розміщено екран. Визначити число штрихів на 1 мм цієї решітки, якщо при малих кутах дифракції лінійна дисперсія $D_l = 1 \text{ мм/нм}$.

223. На дифракційну решітку нормально до її поверхні падає монохроматичне світло ($\lambda = 650 \text{ нм}$). За решіткою знаходиться лінза, у фокальній площині якої розміщено екран. На екрані спостерігається дифракційна картинка під кутом дифракції $\varphi = 30^\circ$. При якій головній фокусній відстані лінзи лінійна дисперсія $D_l = 0,5 \text{ мм/нм}$?

224. На грань кристала кам'яної солі падає паралельний пучок рентгенівського випромінювання ($\lambda = 147 \text{ нм}$). Визначити відстань між атомними площинами кристала, якщо дифракційний максимум другого порядку спостерігається, коли випромінювання падає під кутом $\theta = 31^\circ 30'$ до поверхні кристалу.

225. Яка довжина хвилі монохроматичного рентгенівського випромінювання, падаючого на кристал кальциту, якщо дифракційний максимум першого порядку спостерігається під кутом $\theta = 3^\circ$? Відстань між атомними площинами кристала вважати рівною $d = 0,3 \text{ нм}$.

226. Паралельний пучок рентгенівського випромінювання падає на грань кристала. Під кутом $\theta = 65^\circ$ до площини грані спостерігається максимум

першого порядку. Відстань між атомними площинами кристала $d = 280 \text{ нм}$. Визначити довжину хвилі рентгенівського випромінювання.

227. Точкове джерело світла ($\lambda = 0,5 \text{ мкм}$) розміщено на відстані $a = 1 \text{ м}$ перед діафрагмою з круглим отвором діаметра $d = 2 \text{ мм}$. Визначити відстань від діафрагми до точки спостереження, якщо отвір відкриває три зони Френеля.

228. Дифракція спостерігається на відстані l від точкового джерела монохроматичного світла ($\lambda = 0,5 \text{ мкм}$). Посередині між джерелом світла і екраном знаходиться непрозорий диск діаметром 5 мм . Визначити відстань l , якщо диск закриває лише центральну зону Френеля.

229. Монохроматичне світло з довжиною хвилі $\lambda = 0,6 \text{ мкм}$ падає на довгу прямокутну щілину шириною $a = 12 \text{ мкм}$ під кутом $\alpha_0 = 45^\circ$ до її нормалі. Визначити кутове положення перших мінімумів, розміщених по обидва боки центрального максимуму.

230. На дифракційну решітку довжиною $l = 15 \text{ мм}$, яка має $n = 300$ штрихів, падає нормально монохроматичне світло з довжиною хвилі $\lambda = 550 \text{ нм}$. Визначити: 1) число максимумів, які спостерігаються в спектрі дифракційної решітки; 2) кут дифракції, що відповідає останньому максимуму.

231. Визначити довжину хвилі монохроматичного світла, яке падає нормально на дифракційну решітку, що має $n = 300$ штрихів на 1 мм , якщо кут між напрямком на максимуми першого і другого порядку становить 12° .

232. Порівняйте найбільшу роздільну здатність двох дифракційних решіток однакової довжини ($l = 5 \text{ мм}$), але різних періодів ($d_1 = 4 \text{ мкм}$, $d_2 = 8 \text{ мкм}$) для червоної лінії кадмію ($\lambda = 644 \text{ нм}$).

233. Обчислити площі перших трьох зон Френеля, якщо плоска монохроматична хвиля ($\lambda = 0,6 \text{ мкм}$) падає нормально на круглий отвір у непрозорій перешкоді, а дифракційна картина спостерігається на відстані $b = 5 \text{ м}$ від отвору.

234. На Землі спостерігають дифракцію світла далекої зорі від краю Місяця. Оцінити ширину Δx дифракційних смуг поблизу межі тіні від краю Місяця, вважаючи край прямолінійним. Прийняти, що відстань від Землі до Місяця $R = 4 \cdot 10^5 \text{ км}$.

235. На вузьку щілину падає нормально монохроматичне світло, довжина хвилі якого $\lambda = 0,6 \text{ мкм}$. Друга світла дифракційна смуга спостерігається під кутом $\varphi = 1^\circ$. Визначити ширину щілини b .

236. Для визначення довжини хвилі, яку випромінює лазер, вивчається явище дифракції на щілині завширшки $b = 21 \text{ мкм}$. Дифракційні смуги

спостерігаються на екрані за допомогою лінзи. Відстань між другою та третьою темними смугами $\Delta l = 0,3 \text{ см}$, відстань від лінзи до екрана $L = 10 \text{ см}$. Визначити довжину хвилі λ лазерного випромінювання.

237. На дифракційну решітку падає нормально випромінювання від розрядної трубки з криптоном. П'ятий дифракційний максимум для зеленої лінії, довжина хвилі якої $\lambda_1 = 566 \text{ нм}$, спостерігається під кутом $\varphi_1 = 34^\circ 30'$. Визначити кутову відстань $\Delta\varphi$ між зеленою ($\lambda_1 = 566 \text{ нм}$) та фіолетовою ($\lambda_2 = 404 \text{ нм}$) лініями у спектрі третього порядку.

238. На дифракційну решітку, період якої $d = 4 \text{ мкм}$, падає нормально до її поверхні випромінювання від водневої трубки. За решіткою розміщено лінзу з фокусною відстанню $f = 0,4 \text{ м}$, у фокальній площині якої міститься екран. На якій відстані Δx одна від одної розміщуються спектральні лінії з довжинами хвиль $\lambda_1 = 656 \text{ нм}$ і $\lambda_2 = 486 \text{ нм}$ у спектрі третього порядку.

239. Монохроматичне рентгенівське випромінювання, довжина хвилі якого $\lambda = 72,5 \text{ нм}$, відбивається від природної грані кристала КСІ. Максимум другого порядку спостерігається у разі, коли кут ковзання $\theta = 14^\circ 20'$. Знайти відстань d між сусідніми атомними площинами.

240. Рентгенівське випромінювання падає на дифракційну решітку ($N = 1200 \text{ мм}^{-1}$) під кутом $i = 88^\circ$. Кут дифракції для спектра першого порядку $\varphi = 89^\circ$. Визначити довжину хвилі λ випромінювання.

241. Пучок світла, який проходить у повітрі, падає на поверхню рідини під кутом $i = 54^\circ$. Визначити кут заломлення r пучка, якщо відбитий пучок повністю поляризований.

242. На якій кутовій висоті φ над горизонтом повинно знаходитися Сонце, щоб сонячне світло, відбите від поверхні води, було повністю поляризоване?

243. Пучок природного світла, яке проходить у воді, відбивається від грані алмазу, зануреного у воду. При якому куті падіння i відбите світло повністю поляризоване?

244. При падінні світла із повітря на кристал кам'яної солі кут Брюстера i_B дорівнює 57° . Визначити швидкість світла у цьому кристалі.

245. Граничний кут i_{cp} повного відбивання пучка світла на границі рідини з повітрям дорівнює 43° . Визначити кут Брюстера i_B для падіння променя із повітря на поверхню цієї рідини.

246. Паралельний пучок природного світла падає на сферичну краплю води. Знайти кут φ між відбитим і падаючим пучками у будь-якій точці на сфері.

247. Аналізатор у $k=2$ рази зменшує інтенсивність світла, яке доходить до нього від поляризатора. Визначити кут α між площинами пропускання поляризатора і аналізатора. Втратою інтенсивності світла в аналізаторі знехтувати.

248. Кут α між площинами пропускання поляризатора і аналізатора дорівнює 45° . У скільки разів зменшиться інтенсивність світла, яке виходить з аналізатора, якщо кут збільшити до 60° ?

249. У скільки разів послаблюється інтенсивність світла, яке проходить через два ніколя, площини пропускання яких утворюють кут $\alpha=30^\circ$, якщо у кожному із ніколей окремо втрачається 10% інтенсивності падаючого на нього світла?

250. У фотометрі одночасно розглядають дві половини поля зору: в одній - еталонна світна поверхня з яскравістю $L_1=5 \cdot 10^3 \text{ кд/м}^2$, у другій – досліджувана поверхня, світло від якої проходить через два ніколя. Границя між обома половинами поля зору зникає, якщо другий ніколь повернути відносно першого на кут $\alpha=45^\circ$. Знайти яскравість L_2 досліджуваної поверхні, якщо відомо, що у кожному з ніколей інтенсивність падаючого на нього світла зменшується на 8%.

251. У частково-поляризованому світлі амплітуда світлового вектора, яка відповідає максимальній інтенсивності світла, у $n=2$ рази більше за амплітуду, яка відповідає мінімальній інтенсивності світла. Визначити ступінь поляризації P світла.

252. Ступінь поляризації P частково-поляризованого світла дорівнює 0,5. У скільки разів відрізняється максимальна інтенсивність світла, яке проходить через аналізатор, від мінімальної?

253. На шляху частково-поляризованого світла, ступінь поляризації якого $P=0,6$, розмістили аналізатор так, що інтенсивність світла, яке пройшло через нього, стала максимальною. У скільки разів зменшиться інтенсивність світла, якщо площину пропускання аналізатора повернути на кут $\alpha=30^\circ$?

254. На ніколь падає пучок частково-поляризованого світла. При деякому положенні ніколя інтенсивність світла, яке пройшло через нього, стала максимальною. Коли площину пропускання ніколя повернули на кут $\beta=45^\circ$, інтенсивність світла виросла у $k=1,5$ разів. Визначити ступінь поляризації світла.

255. Пластинку кварцу товщиною $d_1=2 \text{ мм}$, вирізану перпендикулярно до оптичної осі, помістили між паралельними ніколями, у результаті чого площина поляризації світла повернулася на кут $\varphi=53^\circ$. Визначити товщину

d_2 пластинки, при якій дане монохроматичне світло не проходить через аналізатор.

256. Нікотин (чиста рідина), який міститься в скляній трубці довжиною $d = 8 \text{ см}$, повертає площину поляризатора жовтого світла натрію на кут $\varphi = 137^\circ$. Густина нікотину $\rho = 1,01 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Визначити питоме обертання $[\alpha]$ нікотину.

257. Розчин глюкози з масовою концентрацією $C_1 = 280 \text{ кг/м}^3$, що міститься у скляній трубці, повертає площину поляризації монохроматичного світла, яке проходить через розчин, на кут $\varphi_1 = 32^\circ$. Визначити масову концентрацію C_2 глюкози у другому розчині, налитій у трубку такої ж довжини, якщо даний розчин повертає площину поляризації на кут $\varphi_2 = 24^\circ$.

258. Кут φ повороту площини поляризації жовтого світла натрію при проходженні через трубку з розчином цукру дорівнює 40° . Довжина трубки $d = 15 \text{ см}$. Питоме обертання $[\alpha]$ цукру дорівнює $1,17 \cdot 10^{-2} \text{ рад} \cdot \text{м}^3 / (\text{м} \cdot \text{кг})$. Визначити концентрацію розчину.

259. Визначити ступінь поляризації P світла, яке являє собою суміш природного світла з поляризованим, якщо інтенсивність поляризованого світла дорівнює інтенсивності природного.

260. Визначити, у скільки разів зменшується інтенсивність природного світла, яке проходить через два ніколя, головні площини яких утворюють кут 60° , якщо кожний з ніколей як поглинає, так і відбиває 5% падаючого на них світла.

261. Природне світло проходить через поляризатор і аналізатор, кут між головними площинами яких дорівнює α . Поляризатор і аналізатор як поглинають, так і відбивають кожен по 10% падаючого на них світла. Визначити кут α , якщо інтенсивність світла, яке вийшло із аналізатора, дорівнює 12% від інтенсивності світла, яке падає на поляризатор.

262. Природне світло інтенсивністю I_0 проходить через поляризатор і аналізатор, кут між головними площинами яких становить α . Після проходження світла через цю систему воно падає на дзеркало і, відбившись, знову проходить через неї. Нехтуючи поглинанням світла, визначити інтенсивність I світла після його зворотного проходження.

263. Плоскополяризоване світло, довжина хвилі якого у вакуумі $\lambda = 589 \text{ нм}$, падає на пластинку ісландського шпату перпендикулярно його оптичній осі. Приймаючи показники заломлення ісландського шпату для звичайного і незвичайного променів відповідно $n_o = 1,66$ і $n_e = 1,49$, визначити довжини хвиль цих променів у кристалі.

264. Плоскополяризоване монохроматичне світло, яке пройшло через поляроїд, виявляється повністю погашеним. Якщо на шляху світла розмістити кварцову пластинку, то інтенсивність світла, яке пройшло через поляроїд, зменшиться у 3 рази (в порівнянні з інтенсивністю світла, яке падає на поляроїд). Приймаючи питоме обертання в кварці $[\alpha] = 0,52 \text{ рад/мм}$ і нехтуючи втратою світла, визначити мінімальну товщину кварцової пластинки.

265. Хвиля природного світла інтенсивності I_e падає під кутом Брюстера на поверхню скла ($n = 1,5$), яке знаходиться в повітрі. Знайти інтенсивність відбитої хвилі $I_{\text{від}}$, якщо відомо, що коефіцієнт відбивання $\rho = \sin^2(\theta_2 - \theta_1)$, де θ_1 – кут падіння, а θ_2 – кут заломлення хвилі.

266. Визначити мінімальну товщину шару кварцу d_{min} , який є «пластинкою у чверть хвилі» для жовтого світла натрію ($\lambda_0 = 590 \text{ нм}$). Показники заломлення o - і e - променів у кварці дорівнюють : $n_o = 1,5442$ і $n_e = 1,5533$.

267. Пучок світла зі ступенем поляризації 60% падає на ідеальний поляризатор, площина якого орієнтована під кутом 45° до площини поляризації падаючого світла. Який відсоток інтенсивності падаючого світла пройде крізь поляризатор?

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

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

270. Лінійно поляризований світловий пучок падає на поляризатор, обертаючись навколо осі пучка з кутовою швидкістю $\omega = 21 \text{ рад/с}$. Знайти світлову енергію, яка проходить через поляризатор за один оберт, якщо потік енергії в падаючому пучку $\Phi_0 = 4 \text{ мВт}$.

271. При падінні природного світла на деякий поляризатор проходить $\eta_1 = 30\%$ світлового потоку, а через два таких поляризатора – $\eta_2 = 13,5\%$. Знайти кут φ між площинами пропускання цих поляризаторів.

272. Природне світло падає на систему з трьох послідовно розміщених однакових поляроїдів, при цьому площина пропускання середнього поляроїда становить кут $\varphi = 60^\circ$ з площинами пропускання двох інших поляроїдів. Кожний поляроїд володіє таким поглинанням, що при падінні на нього лінійно поляризованого світла максимальний коефіцієнт пропускання

становить $\tau = 0,81$. У скільки разів зменшиться інтенсивність світла після проходження цієї системи?

273. Природне світло падає перпендикулярно до пластинки кварцу, що вирізана паралельно оптичній осі. Показник заломлення кварцу для звичайного і незвичайного променів відповідно $n_o = 1,5442$ і $n_e = 1,5533$. Визначити оптичну різницю ходу Δ звичайного і незвичайного променів, якщо товщина пластинки $d = 0,02$ мм.

274. На поверхню води під кутом Брюстера падає пучок плоскополяризованого світла. Площина коливань світлового вектора становить кут $\varphi = 45^\circ$ з площиною падіння. Знайти коефіцієнт відбивання.

275. Кварцова пластинка завтовшки $d_1 = 2,55$ мм вирізана перпендикулярно до оптичної осі й розміщена між двома поляризаторами, площини пропускання яких є паралельними. Пластинка повертає площину поляризації монохроматичного світла на кут $\varphi_1 = 45^\circ$. При якій товщині d_2 кварцової пластинки світло не виходитиме з другого поляризатора?

276. Природне світло падає на систему з трьох послідовно розміщених поляроїдів. Площини пропускання перших двох поляроїдів утворюють кут $\varphi = 65^\circ$, а напрям площини пропускання третього поляроїда збігається з напрямком площини першого. Коефіцієнт пропускання кожного поляроїда $\tau = 90\%$. У скільки разів зменшиться інтенсивність світла після проходження системи?

277. Природне світло проходить послідовно через поляризатор й аналізатор. Поляризатор освітлюється паралельним пучком променів, освітленість його $E_1 = 80$ лк. Освітленість екрана, розміщеного поза аналізатором, $E_2 = 10$ лк. Визначити кут φ між головними площинами поляризатора й аналізатора, якщо кожен поляризатор поглинає $k = 5\%$ світла, що проходить через нього.

278. Частково поляризоване світло, ступінь поляризації якого $P = 0,75$, пропускають через поляризатор. У скільки разів максимальна інтенсивність світла відрізняється від мінімальної?

279. Природне світло падає на поверхню води ($n = 1,33$) під кутом Брюстера. Визначити ступінь поляризації заломленого світла, скориставшись формулами Френеля.

280. Частково поляризоване світло падає на поляризатор. Під час повороту поляризатора на кут $\beta = 30^\circ$ відносно положення, що відповідає мінімальній інтенсивності, інтенсивність світла збільшується в $k = 2$ рази. Визначити ступінь поляризації світла.

281. При якій граничній швидкості v (у частках швидкості світла) джерела можна замість релятивістської формули $\nu = \nu_0 \sqrt{(1 - \beta)/(1 + \beta)}$ для ефекту Доплера користуватися наближеним виразом $\nu = \nu_0(1 - \beta)$, якщо похибка у обчисленні частоти не повинна перевищувати 1%?

282. Для визначення кутової швидкості обертання сонячного диска виміряли відносне зміщення $\Delta\lambda/\lambda$ спектральних ліній східного і західного країв Сонця. Він виявився рівним $1,5 \cdot 10^{-5}$. Визначити кутову швидкість ω обертання сонячного диску. Радіус Сонця вважати відомим.

283. Космічний корабель віддаляється від Землі зі швидкістю $v = 10 \text{ км/с}$. Частота ν_0 електромагнітних хвиль, що випромінюються антеною корабля, дорівнює 30 МГц . Визначити доплеровське зміщення $\Delta\nu$ частоти, яка сприймається приймачем.

284. При вивченні спектра випромінювання деякої туманності лінія випромінювання водню ($\lambda_\alpha = 656,3 \text{ нм}$) виявилася зміщеною на $\Delta\lambda = 2,5 \text{ нм}$ в область з великою довжиною хвилі (червоне зміщення). Знайти швидкість v руху туманності відносно Землі і вказати, віддаляється вона від Землі чи наближається до неї.

285. Визначити обумовлене ефектом Доплера розширення $\Delta\lambda/\lambda$ спектральних ліній випромінювання атомного водню, який знаходиться при температурі $T = 3000 \text{ К}$.

286. У результаті ефекту Доплера відбувається розширення ліній γ -випромінювання ядер. Оцінити розширення $\Delta\nu/\nu$ ліній γ -випромінювання ядер кобальту, який знаходиться при температурі: 1) кімнатній ($T = 290 \text{ К}$); 2) ядерного вибуху ($T = 10^7 \text{ К}$).

287. Два космічних кораблі рухаються уздовж однієї прямої. Швидкості v_1 і v_2 їх у деякій інерціальній системі відліку відповідно 12 км/с і 8 км/с . Визначити частоту ν сигналу електромагнітних хвиль, який сприймає другий космічний корабель, якщо антена першого корабля випромінює електромагнітні хвилі частотою $\nu_0 = 1 \text{ МГц}$.

288. Монохроматичне світло з довжиною хвилі $\lambda = 600 \text{ нм}$ падає на швидко обертаючі в протилежних напрямках дзеркала (дослід А.А. Белопольського). Після $N = 10$ відбивань від дзеркала пучок світла попадає у спектрограф. Визначити зміну $\Delta\lambda$ довжини хвилі світла, яке падає на дзеркало нормально до їх поверхні. Лінійна швидкість v дзеркал дорівнює $0,67 \text{ км/с}$. Розглянути два випадки, коли світло відбивається від дзеркал, які: 1) рухаються назустріч один до одного; 2) віддаляються один від одного.

289. Плоске дзеркало віддаляється від спостерігача зі швидкістю v вздовж нормалі до площини дзеркала. На дзеркало падає пучок світла з довжиною хвилі $\lambda_0 = 500 \text{ нм}$. Визначити довжину хвилі λ світла, відбитого від дзеркала, яке рухається зі швидкістю: 1) $0,2c$ (c – швидкість світла у вакуумі); 2) 9 км/с .

290. Приймач радіолокатора реєструє частоти биття між частотою сигналу, який посилає передавач, і частотою сигналу, відбитого від об'єкта, що рухається. Визначити швидкість v ракети, яка наближається до локатора, якщо він працює на частоту $\nu_0 = 600 \text{ МГц}$ і частота биття дорівнює $\nu_1 = 4 \text{ кГц}$.

291. Розповідають, що відомий фізик Роберт Вуд, проїхавши одного разу на автомобілі на червоне світло світлофора, був зупинений співробітником правоохоронних органів. Роберт Вуд, посилаючись на ефект Доплера, запевняв, що він їхав достатньо швидко і червоне світло світлофора для нього змінилося на зелене. Оцінити швидкість v , з якою повинен був рухатися автомобіль, щоб червоне світло світлофора ($\lambda_1 = 650 \text{ нм}$) сприймалося як зелене ($\lambda_2 = 550 \text{ нм}$).

292. Довжини хвиль випромінювання релятивістських атомів, які рухаються у напрямку до спостерігача, опинилися у два рази менші, ніж відповідні довжини хвиль нерелятивістських атомів. Визначити швидкість v (у частинах швидкості світла) релятивістських атомів.

293. Довжина хвилі λ_1 у спектрі випромінювання водню дорівнює 410 нм . З якою швидкістю v повинно віддалятися від нас скупчення атомів водню, щоб їх випромінювання опинилося внаслідок ефекту Доплера за межами видимої частини спектра. Межа видимої частини спектра відповідає довжині хвилі $\lambda_2 = 760 \text{ нм}$.

294. Якою найменшою швидкістю v повинен володіти електрон, щоб у середовищі з показником заломлення $n = 1,6$ виникло черенківське випромінювання?

295. При якій швидкості v електронів (в частинах швидкості світла) черенківське випромінювання відбувається у середовищі з показником заломлення $n = 1,8$ під кутом $\theta = 20^\circ$ до напрямку їх руху?

296. Знайти найменшу прискорюючу різницю потенціалів U_{min} , яку повинен пройти електрон, щоб в середовищі з показником заломлення $n = 1,50$ виникло черенківське випромінювання.

297. Відомо, що швидкі частинки, які входять до складу космічного випромінювання, можуть викликати ефект Вавилова-Черенкова у повітрі

($n = 1,00029$). Вважаючи, що такими частинками є електрони, визначити їх мінімальну кінетичну енергію.

298. Електрон з кінетичною енергією $T = 0,51 \text{ MeV}$ рухається у воді. Визначити кут θ , що утворює черенківське випромінювання з напрямком руху електрона.

299. Імпульс релятивістського електрона дорівнює mc^2 . При якому мініимальному показнику заломлення n_{\min} середовища вже можна спостерігати ефект Вавилова-Черенкова?

300. μ - і π - мезони мають однакові імпульси $p = 100 \text{ MeV}/c$. В яких межах повинен бути показник заломлення середовища, щоб для μ -мезонів черенковське випромінювання спостерігалось, а для π -мезонів – не спостерігалось.

301. Вільний електрон знаходиться у полі монохроматичної світлової хвилі. Інтенсивність світла $I = 150 \text{ Вт}/\text{м}^2$, його частота $\omega = 3,4 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$. Знайти амплітуду коливань електрона і амплітуду його швидкості.

302. Знайти концентрацію вільних електронів іоносфери, якщо для радіохвиль з частотою $\nu = 100 \text{ МГц}$ її показник заломлення $n = 0,9$.

303. Маючи на увазі, що для достатньо жорстких рентгенівських променів електрони речовини можна вважати вільними, визначити, на скільки відрізняється від одиниці показник заломлення графіту для рентгенівських променів з довжиною хвилі у вакуумі $\lambda = 50 \text{ нм}$.

304. При зондуванні розрідженої плазми радіохвилями різних частот виявили, що радіохвилі з $\lambda > \lambda_0 = 0,75 \text{ м}$ зазнають повного внутрішнього відбивання. Знайти концентрацію вільних електронів в цій плазмі.

305. Користуючись формулою Релея, визначити групову швидкість u хвилі для таких законів дисперсії: а) $\nu = a\sqrt{\lambda}$; б) $\nu = a/\sqrt{\lambda}$, де a – деяка стала, ν – фазова швидкість; λ – довжина хвилі.

306. Показник заломлення повітря для жовтої лінії спектра натрію ($\lambda_1 = 0,589 \text{ мкм}$) видимого світла $n_1 = 1,00029$. Визначити показник заломлення n_2 повітря для ультрафіолетового випромінювання, довжина хвилі якого $\lambda_2 = 0,3 \text{ мкм}$, і n_3 для інфрачервоного випромінювання, довжина хвилі якого $\lambda_3 = 2 \text{ мкм}$. Вважати, що частота власних коливань зовнішніх атомних електронів $\omega_0 = 7,5 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$.

307. Показник заломлення повітря за нормальних умов для світла, довжина хвилі якого $\lambda = 589,3 \text{ нм}$, $n_1 = 1,000292$. Вважаючи, що концентрація електронів

прямо пропорційна густині речовини. Визначити показник заломлення n_2 повітря за умови, що температура $t_2 = 30^\circ\text{C}$ і тиск $p_2 = 3 \text{ МПа}$.

308. Для радіохвиль, довжина хвилі яких $\lambda = 3 \text{ м}$, показник заломлення іоносфери $n = 0,91$. Визначити концентрацію N електронів у плазмі іоносфери, вважаючи їх вільними.

309. Електромагнітна хвиля дуже великої частоти ω поширюється в середовищі. Встановити залежність $n(\omega)$ показника заломлення середовища від частоти хвилі. Обчислити показник заломлення n рентгенівського випромінювання ($\lambda = 0,3 \text{ нм}$) для води.

310. Вважаючи електрони в іоносферній плазмі вільними, а їх концентрацію $N \sim 10^{11} \text{ м}^{-3}$, оцінити показник n заломлення іоносферної плазми для радіохвиль: а) коротких ($\lambda \sim 30 \text{ м}$); б) ультракоротких ($\lambda \sim 3 \text{ м}$).

311. Для інфрачервоного випромінювання, довжина хвилі якого $\lambda_1 = 2,7 \text{ мкм}$, коефіцієнт поглинання для кварцу $\alpha_1 = 0,2 \text{ см}^{-1}$, а для інфрачервоного випромінювання, довжина хвилі якого $\lambda_2 = 4,5 \text{ мкм}$, відповідно $\alpha_2 = 7,3 \text{ см}^{-1}$. Визначити частку $\frac{I}{I_0}$ інтенсивності світла, що проходить крізь пластинку кварцу завтовшки $d = 0,5 \text{ см}$ в обох випадках.

312. Коефіцієнт поглинання середовища, в якому поширюється плоска монохроматична світлова хвиля, $\alpha = 2 \text{ м}^{-1}$. На скільки відсотків зменшиться інтенсивність світла у разі проходження шару цього середовища завтовшки: а) 10 мм ; б) 2 м ?

313. На поверхню срібла нормально падає світло, довжина хвилі якого λ_0 . У скільки разів зменшується амплітуда світлової хвилі в шарі срібла в одну довжину хвилі λ_0 завтовшки, якщо коефіцієнт поглинання $\alpha = 4\pi\chi / \lambda_0$, де $\chi = 20,22$; $n = 0,18$?

314. Коефіцієнт поглинання α_1 силіцію для випромінювання, довжина хвилі якого $\lambda = 826 \text{ мм}$, становить 10^3 см^{-1} при температурі $T_1 = 300 \text{ К}$, а при температурі $T_2 = 77 \text{ К}$ він зменшується до $\alpha_2 = 0,6 \cdot 10^3 \text{ см}^{-1}$. У скільки разів збільшується при цьому коефіцієнт пропускання тонкої плівки силіцію завтовшки: а) 1 мкм ; б) 3 мкм ; в) 300 мкм ? Відбивання не враховувати.

315. Пропускаючи пучок світла вздовж осі скляної трубки з водою, в якій розбавили кілька краплин молока, експериментатор встановив, що відношення інтенсивності світла, розсіяного під кутом $\theta_1 = \pi/2$, до інтенсивності світла, розсіяного під деяким кутом θ_2 , становить $0,7$. Під яким кутом θ_2 експериментатор спостерігав розсіяння? Побудувати

індикатрису інтенсивності розсіяного світла для даного досліду. Поглинанням і заломленням світла на стінках трубки нехтувати.

316. Прозора пластинка пропускає половину падаючого на неї світлового потоку. Визначити коефіцієнт поглинання, якщо товщина пластинки $l = 4,2 \text{ см}$. Розсіянням знехтувати. Вважати, що 10% падаючого потоку відбивається від поверхні пластинки.

317. Товщина скла в теплиці 4 мм . Коефіцієнт поглинання скла для інфрачервоної області спектра $0,62 \text{ см}^{-1}$. Яка частина енергії досягає рослин?

318. Яка концентрація досліджуваного розчину, якщо однакова освітленість фотометричних полів була отримана у еталонного 3% розчину при товщині 8 мм , а у досліджуваного – при товщині 24 мм ?

319. При проходженні монохроматичного світла через шар речовини товщиною $l = 15 \text{ см}$ його інтенсивність зменшується в 4 рази. Визначити коефіцієнт розсіяння, якщо коефіцієнт поглинання $0,025 \text{ см}^{-1}$.

Чому дорівнює оптична щільність розчину, якщо його коефіцієнт пропускання $\tau = 0,3$?

7. ТАБЛИЦІ ОСНОВНИХ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

Основні фізичні константи

	Назва	Значення констант в одиницях СІ
1.	Швидкість світла у вакуумі	$c = 2,9979 \cdot 10^8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$
2.	Гравітаційна стала	$G = 6,6726 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$
3.	Число Авогадро	$N_A = 6,0249 \cdot 10^{26} \text{ кмоль}^{-1}$
4.	Стала Планка	$h = 6,6261 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
5.	Стала Стефана-Больцмана	$\sigma = 5,6705 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$
6.	Стала Віна	$b = 2,8978 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$
7.	Заряд електрона	$e = 1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
8.	Стала Рідберга	$R = 1,0973 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$
9.	Маса спокою електрона	$m_e = 9,1093 \cdot 10^{-31} \text{ кг} = 5,49 \cdot 10^{-4} \text{ а.о.м.} = 0,511 \text{ MeV}$
10.	Маса спокою протона	$m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,00728 \text{ а.о.м.} = 938,281 \text{ MeV}$
11.	Маса спокою нейтрона	$m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,00866 \text{ а.о.м.} = 939,567 \text{ MeV}$
12.	Електрична стала	$\epsilon_0 = 8,8542 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} / \text{м}$
13.	Магнітна стала	$\mu_0 = 1,2566 \cdot 10^{-6} \text{ Гн} / \text{м}$
14.	Комптонівська довжина хвилі електрона	$\Lambda = 2,4263 \cdot 10^{-12} \text{ м}$

Показник заломлення

(D – лінія натрію, $\lambda = 589,3 \text{ нм}$)

1	Дигідроген (H_2)	1,000139	10	Скло	1,55
2	Диоксиген (O_2)	1,000272	11	Сірководень	1,63
3	Динітроген (N_2)	1,000297	12	Алмаз	2,42
4	Повітря	1,00292	13	Аміак (NH_3)	1,000375
5	Лід	1,31	14	Олія кедрова	1,516
6	Вода	1,333	15	Ісландський шпат: о - промінь е - промінь	1,658 1,486
7	Етиловий спирт	1,362	16	Гліцерин	1,470
8	Скипидар	1,470	17	Турмалін: о - промінь е - промінь	1,669 1,638
9	Кварц	1,54			

Значення синусів і тангенсів

Градуси	Синуси	Тангенси	Градуси	Синуси	Тангенси
0	0,0000	0,0000	46	0,7193	1,036
1	0,0175	0,0175	47	0,7314	1,072
2	0,0349	0,0349	48	0,7431	1,111
3	0,0523	0,0524	49	0,7547	1,150
4	0,0698	0,0699	50	0,7660	1,192
5	0,0872	0,0875	51	0,7771	1,235
6	0,1045	0,1051	52	0,7880	1,280
7	0,1219	0,1228	53	0,7986	1,327
8	0,1392	0,1405	54	0,8090	1,376
9	0,1564	0,1584	55	0,8192	1,428
10	0,1736	0,1763	56	0,8290	1,483
11	0,1908	0,1944	57	0,8387	1,540
12	0,2079	0,2126	58	0,8480	1,600
13	0,2250	0,2309	59	0,8572	1,664
14	0,2419	0,2493	60	0,8660	1,732
15	0,2588	0,2679	61	0,8746	1,804
16	0,2756	0,2867	62	0,8829	1,881
17	0,2924	0,3057	63	0,8910	1,963
18	0,3090	0,3249	64	0,8988	2,050
19	0,3256	0,3443	65	0,9063	2,145
20	0,3420	0,3640	66	0,9135	2,246
21	0,3584	0,3839	67	0,9205	2,356
22	0,3746	0,4040	68	0,9272	2,475
23	0,3907	0,4245	69	0,9336	2,605
24	0,4067	0,4452	70	0,9397	2,747
25	0,4226	0,4663	71	0,9455	2,904
26	0,4384	0,4877	72	0,9511	3,078
27	0,4510	0,5095	73	0,9563	3,271
28	0,4695	0,5317	74	0,9613	3,487
29	0,4818	0,5543	75	0,9659	3,732
30	0,5000	0,5574	76	0,9703	4,011
31	0,5150	0,6009	77	0,9744	4,331
32	0,5299	0,6249	78	0,9781	4,705
33	0,5446	0,6494	79	0,9816	5,145
34	0,5592	0,6745	80	0,9848	5,671
35	0,5736	0,7002	81	0,9877	6,314
36	0,5878	0,7256	82	0,9903	7,115
37	0,6018	0,7536	83	0,9925	8,114
38	0,6157	0,7813	84	0,9945	9,514
39	0,6293	0,8098	85	0,9962	11,34
40	0,6428	0,8391	86	0,9976	14,30
41	0,6561	0,8693	87	0,9986	19,08
42	0,6691	0,9004	88	0,9994	28,64
43	0,6820	0,9325	89	0,9998	57,29
44	0,6947	0,9657	90	1,000	∞
45	0,7071	1,0000			