

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

ФІЗИКА

ОПТИЧНІ ПРИЛАДИ ТА ВИМІРЮВАННЯ В ГЕОДЕЗІЇ

*Рекомендовано науково-методичною радою
Київського національного університету будівництва і архітектури
як навчальний посібник для студентів, які навчаються за напрямом
підготовки 6.080101 «Геодезія, картографія та землеустрій»*

Київ 2015

УДК 53(075)
ББК 22.3я7
Ф50

Автори: В.І. Клапченко, канд. техн. наук, доцент;
І.О. Азнаурян, доцент;
Г.Ю.Краснянський, канд. фіз.-мат. наук, доцент;
Ю.І. Григораш, старш. викладач;
Г.В. Кучерова, асистент

Рецензенти: *В.І. Григорук*, д-р фіз.-мат. наук, професор, завідувач кафедри квантової радіофізики Київського національного університету ім. Тараса Шевченка;
С.П. Войтенко, д-р техн. наук, професор, декан факультету геоінформаційних систем управління територіями Київського національного університету будівництва і архітектури;
В.А. Глива, д-р техн. наук, професор кафедри безпеки життєдіяльності Національного авіаційного університету

Рекомендовано навчально-методичною радою Київського національного університету будівництва і архітектури, протокол № 1 від 30 вересня 2014 року.

Фізика: оптичні прилади та вимірювання в Ф50 геодезії: навч. посіб. / В.І. Клапченко та ін. – К.: КНУБА, 2015. – 96 с.

Містить програму, основні теоретичні відомості з курсу, приклади розв'язання задач, завдання для практичних та індивідуальних занять, лабораторний практикум і довідковий матеріал.

Призначено для студентів, які навчаються за напрямом підготовки 6.080101 «Геодезія, картографія та землеустрій».

УДК 53(075)
ББК 22.3я7
© В.І. Калапченко, І.О. Азнаурян,
Г.Ю. Краснянський, Ю.І. Григораш,
Г.В. Кучерова, 2015
© КНУБА, 2015

Зміст

ВСТУП.....	4
1. ГЕОМЕТРИЧНА ОПТИКА ТА ОПТИЧНІ СИСТЕМИ.....	6
1.1. Приклади розв’язання задач.....	10
1.2. Задачі до розділу	18
2. ФОТОМЕТРІЯ.....	42
2.1. Приклади розв’язання задач.....	43
2.2. Задачі до розділу.....	48
ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ.....	56
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 21. ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ СКЛА ЗА ДОПОМОГОЮ МІКРОСКОПА.....	56
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 22. ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ РІДИНИ ТА КОНЦЕНТРАЦІЇ РОЗЧИНУ ЗА ДОПОМОГОЮ РЕФРАКТОМЕТРА.....	60
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 23. ВИЗНАЧЕННЯ ФОКУСНОЇ ВІДСТАНІ, ОПТИЧНОЇ СИЛИ ТА РАДІУСА КРИВИЗНИ ЗБИРАЛЬНОЇ ЛІНЗИ.....	65
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 24. ВИЗНАЧЕННЯ ФОКУСНОЇ ВІДСТАНІ ТА ПОЛОЖЕННЯ ГОЛОВНИХ ПЛОЩИН СКЛАДНОЇ ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ.....	68
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 25. ВИВЧЕННЯ ЗОРОВОЇ ТРУБИ	73
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 26. ВИВЧЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ МІКРОСКОПА.....	78
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	83
<i>Додатки.....</i>	<i>84</i>

ВСТУП

Основною метою викладання дисципліни «Фізика», зокрема її розділу «Геометрична оптика», є формування у майбутніх фахівців знань про фундаментальні закони, за якими відбуваються процеси в навколишньому світі, та теоретичної бази для вивчення дисциплін загальнотехнічного циклу та спеціальних дисциплін.

У результаті вивчення спецкурсу студенти повинні

знати:

- методи і засоби оптичних вимірювань в геодезії;
- визначення та одиниці виміру фізичних величин в геометричній оптиці та фотометрії;
- фізичні явища, що лежать в основі роботи геодезичних оптичних приладів;
- закони та рівняння, що описують фізичні явища;

уміти:

- виконувати геодезичні вимірювання за допомогою оптичних приладів.

Спецкурс «Оптичні прилади та вимірювання в геодезії» викладається на першому курсі.

Спецкурс складається з таких видів роботи:

- | | |
|----------------------------------|-----------|
| 1. Лекційний курс | – 18 год; |
| 2. Практичні заняття (практикум) | – 10 год; |
| 3. Лабораторний практикум | – 10 год. |

Практикум з курсу закінчується написанням колоквіуму (з включенням теоретичних питань і задач) та захистом індивідуального завдання із спецкурсу.

Лабораторний практикум завершується захистом лабораторних робіт та допуском до екзамену. Лекційний курс закінчується іспитом у першому семестрі (питання спецкурсу включаються у білети разом з питаннями інших розділів фізики). Лекційний курс побудований відповідно до програми, затвердженої кафедрою фізики (дод. 1).

Для оформлення індивідуальних завдань потрібно дотримати таких вимог:

1. Індивідуальне завдання студент виконує в зошиті. Обкладинку зошита слід оформлювати згідно з дод. 2.

2. Умови задач потрібно переписувати повністю.

3. Розв'язання задач треба супроводжувати стислими, але вичерпними поясненнями. За потреби студент наводить рисунок, виконаний за допомогою креслярського обладнання. Для зауважень викладача на сторінках зошита потрібно залишати поля.

4. Розв'язувати кожну задачу потрібно в загальному вигляді, тобто виразити шукану величину за допомогою позначених літерами символів величин, наведених в умові задачі. За такого способу розв'язання значень проміжних величин не розраховують.

5. Отримавши розрахункову формулу, для перевірки її правильності бажано виконати перевірку розмірності, тобто підставити в праву частину формули одиниці виміру всіх величин, виконати з ними відповідні дії та переконатися в тому, чи отримана при цьому одиниця виміру відповідає одиниці виміру шуканої величини.

6. Підставляючи числові значення величин у розрахункову формулу, подавати їх треба тільки в одиницях системи СІ.

7. У розрахунковій формулі, а також у записі відповіді значення величин потрібно подавати у вигляді добутку десяткового дробу з однією значущою цифрою перед комою на відповідний степінь десяти. Наприклад, число 8689 слід записати як $8,68 \cdot 10^3$; число 0,00256 – як $2,56 \cdot 10^{-3}$ тощо.

8. Розрахунки за формулою потрібно виконувати відповідно до правил округлення, кінцевий результат подати з трьома значущими цифрами та одиницями виміру.

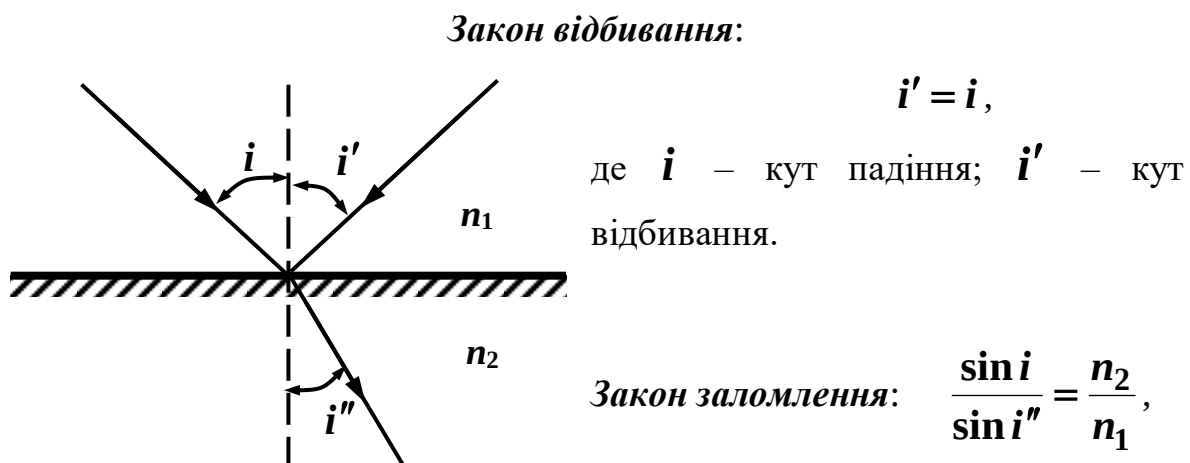
Особливу увагу слід звернути на дод. 2 – 14 до методичного посібника. У них наведено дані та сталі величини, потрібні для розв’язування задач зі спецкурсів.

1. ГЕОМЕТРИЧНА ОПТИКА ТА ОПТИЧНІ СИСТЕМИ

Головною частиною оптичних приладів, використовуваних в геодезичних вимірюваннях, є оптичні системи. Такі системи складаються з оптичних деталей – дзеркал, плоско-паралельних пластин, призм, лінз тощо.

Для пояснення законів поширення світла в цих оптичних деталях використовують закони геометричної оптики.

В основу геометричної оптики покладено уявлення про світловий промінь, що поширюється прямолінійно в однорідному середовищі.

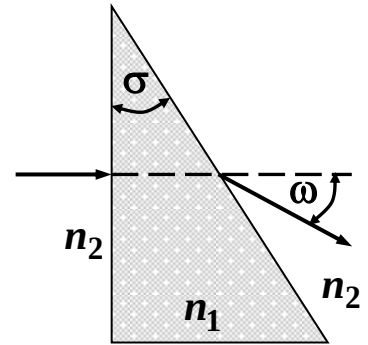


де i'' – кут заломлення; n_1 та n_2 – абсолютні показники заломлення першого та другого середовищ відповідно.

Кут відхилення променів у призмі з малим кутом заломлення:

$$\omega = \sigma \left(\frac{n_1}{n_2} - 1 \right),$$

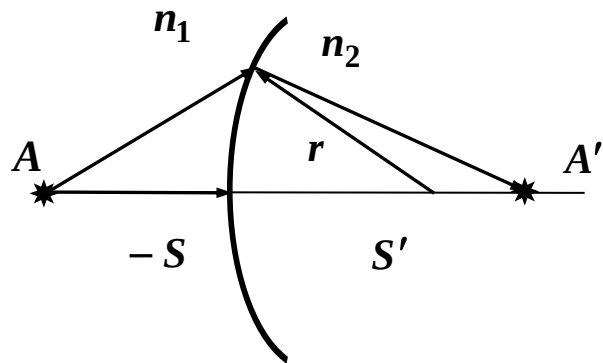
де ω – кут відхилення променя під час проходження крізь призму; σ – кут заломлення призми.



Рівняння заломлювальної сферичної поверхні:

$$\frac{n_2}{S'} - \frac{n_1}{S} = \frac{n_2 - n_1}{r} = \Phi,$$

де S – відстань від вершини сферичної поверхні до предмета A ; S' – відстань від вершини сферичної поверхні до зображення, r – радіус кривизни, Φ – оптична сила заломлювальної поверхні.



Лінійне (поперечне) збільшення сферичної поверхні:

$$\beta = \frac{n_1}{n_2} \frac{S'}{S},$$

де S – відстань від вершини сферичної поверхні до предмета; S' – відстань від вершини сферичної поверхні до зображення.

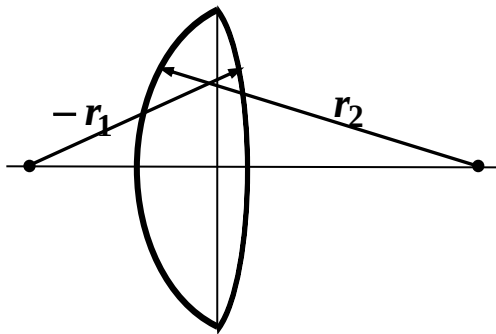
Формула сферичного дзеркала:

$$\frac{1}{S'} + \frac{1}{S} = \frac{2}{R} = \frac{1}{f},$$

де S – відстань від об'єкта до дзеркала; S' – відстань від зображення до дзеркала; R – радіус кривизни сферичного дзеркала (для опуклого $R < 0$, для ввігнутого $R > 0$); f – головна фокусна відстань дзеркала.

Формула тонкої збиральної лінзи:

$$\frac{1}{S'} - \frac{1}{S} = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) = \frac{1}{f} = \Phi,$$



де n – відносний показник заломлення;

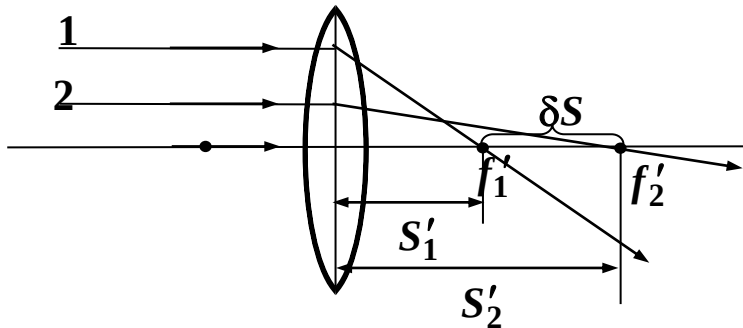
S – відстань від предмета до лінзи;

S' – відстань від зображення r_1 до лінзи;

r_2 – радіуси кривизни поверхонь лінзи;

f – головна фокусна відстань лінзи;

$\frac{1}{f} = \Phi$ – оптична сила лінзи.



Лінійне поперечне збільшення β для тонкої лінзи:

$$\beta = \frac{L'}{L} = \frac{S'}{S},$$

де L і L' – лінійні розміри відповідно предмета та зображення.

Оптична сила системи, яка складається з двох лінз:

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 - d \cdot \Phi_1 \cdot \Phi_2,$$

де Φ_1 та Φ_2 – оптична сила відповідно першої та другої лінзи;
 d – відстань між головними площинами двох лінз.

Якщо $d = 0$, то $\Phi = \Phi_1 + \Phi_2$.

Збільшення лупи:

$$\beta = \frac{L_0}{f} = L_0 \cdot \Phi,$$

де L_0 – відстань найкращого бачення ($L_0 = 25\text{см}$).

Збільшення мікроскопа:

$$\beta = L_0 \cdot d \cdot \Phi_1 \cdot \Phi_2,$$

де d – відстань між фокусами об'єктива та окуляра; Φ_1 та Φ_2 – оптична сила об'єктива й окуляра.

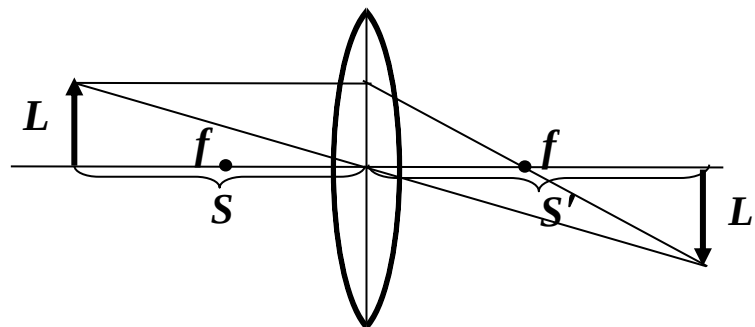
Збільшення телескопічної системи:

$$\beta = \frac{\Phi_2}{\Phi_1} = \frac{f_1}{f_2},$$

де f_1 та f_2 – головні фокусні відстані об'єктива й окуляра.

Сферична аберація:

$$\delta S = S'_1 - S'_2$$



1.1. Приклади розв'язання задач

Задача 1.1. Показати, що за сталого кута падіння променя світла на призму, відносний показник заломлення якої $n > 1$ (див. дод. 2), відхилення променя призмою зростає внаслідок збільшення кута заломлення призми.

Розв'язання задачі. На рис. 1.1 показано хід довільного променя світла, що заломлюється призмою, абсолютний показник заломлення якої n_1 більший, ніж абсолютний показник заломлення речовини n_0 , що оточує призму (тоді відносний показник заломлення призми

$$n = \frac{n_1}{n_0} > 1).$$

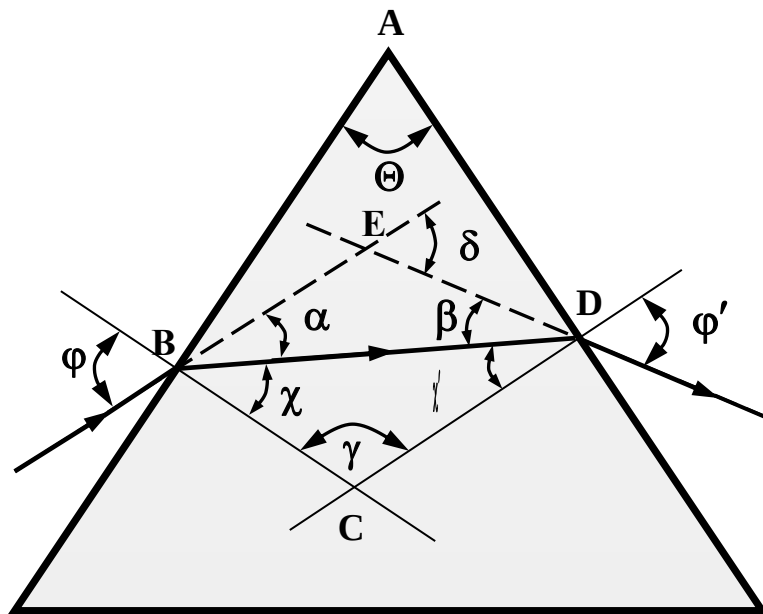


Рис. 1.1

Розв'язання задачі, очевидно, полягає в тому, щоб знайти вираз кута відхилення (рис. 1.1):

$$\delta = f(n, \Theta, \varphi),$$

де Θ – кут заломлення призми; φ – кут падіння променя на призму.

Згідно з умовою задачі, $\varphi = \text{const}$. З рис. 1.1 видно, що

$$\varphi = \alpha + \chi, \text{ а } \varphi' = \beta + \chi',$$

тобто

$$(\alpha + \beta) + (\chi + \chi') = \varphi + \varphi'.$$

Але $\delta = \alpha + \beta$ як зовнішній кут $\triangle BED$.

Крім того, з $\triangle BDC$ знаходимо, що $\gamma + (\chi + \chi') = \pi$,

а з чотирикутника $CBAD$:

$$\gamma + \Theta = \pi,$$

бо згідно з побудовою $\angle D = \angle B = \frac{\pi}{2}$, так що $\chi + \chi' = \Theta$.

У результаті маємо:

$$\delta = \varphi + \varphi' - \Theta.$$

Проте згідно із законом заломлення світла:

$$\frac{\sin \varphi}{\sin \chi} = \frac{\sin \varphi'}{\sin \chi'} = n.$$

Звідси:

$$\begin{aligned}\chi &= \arcsin \frac{\sin \varphi}{n}, \text{ та} \\ \varphi' &= \arcsin[n \sin \chi'] = \arcsin[n \sin(\chi - \Theta)] = \\ &= \arcsin\left[n \sin\left(\arcsin \frac{\sin \varphi}{n} - \Theta\right)\right].\end{aligned}$$

Остаточню знаходимо:

$$\delta = \varphi + \arcsin\left[n \sin\left(\arcsin \frac{\sin \varphi}{n} - \Theta\right)\right] - \Theta.$$

З останньої формули випливає, що за $\varphi = \text{const}$ кут δ зростає, якщо кут заломлення призми Θ збільшується. Досліджуючи знайдений вираз δ на екстремум, легко визначити мінімальний кут відхилення $\delta_{\min}$.

Проте зрозуміло, що δ не може збільшуватись як завгодно довго за збільшення Θ , тому що зростає χ' , і за $\chi' = \arcsin \frac{1}{n}$ спостерігається явище повного внутрішнього відбиття на другій грані призми. Граничний кут заломлення призми, за якого промінь вже не може вийти з неї внаслідок повного внутрішнього відбиття, дорівнює (за $\varphi = \text{const}$):

$$\Theta_{zp} = \chi + \chi' = \arcsin \frac{\sin \varphi}{n} + \arcsin \frac{1}{n}.$$

Задача 1.2. Радіус кривизни ввігнутого сферичного дзеркала $r = 40$ см. Знайти положення об'єкта за якого: а) зображення дійсне і збільшене в два рази; б) уявне і збільшене в два рази.

Розв'язання задачі. Згідно з формулою збільшення сферичного дзеркала (для $n_1 = n_2$):

$$\beta = -\frac{S'}{S},$$

де S – відстань від об'єкта до дзеркала; S' – відстань від зображення об'єкта до дзеркала (виміряні вздовж оптичної осі).

Оскільки дійсне зображення, що його дає ввігнуте дзеркало, завжди обернене, то за:

а) $\beta = -2$, тобто $-2S = -S'$, або $S' = 2S$. Той факт, що S і S' мають однакові знаки, означає, що об'єкт і його дійсне зображення лежать по один бік від вершини дзеркала.

Тоді на підставі рівняння для ввігнутого дзеркала:

$$\frac{1}{S'} + \frac{1}{S} = \frac{1}{f},$$

можна записати:

$$\frac{1}{2S} + \frac{1}{S} = \frac{2}{r},$$

звідки шукана відстань:

$$S = \frac{3}{4}r = 30 \text{ см.}$$

У випадку б) $\beta = 2$, оскільки уявне зображення, що його дає ввігнуте дзеркало, завжди пряме. Отже,

$$-\frac{S'}{S} = 2, \text{ тобто } S' = -2S.$$

Тоді:

$$\frac{1}{-2S} + \frac{1}{S} = \frac{2}{r}, \text{ або } \frac{1}{2S} = \frac{2}{r},$$

звідки:

$$S = \frac{1}{4}r = 10 \text{ см.}$$

Задача 1.3. Предмет міститься на певній відстані від тонкої лінзи, яка дає його зображення в повітрі, збільшене у β разів. Не змінюючи відстані між предметом і лінзою, їх занурюють у воду. Як зміниться збільшення? Показник заломлення лінзи $n_c = \frac{3}{2}$, показник заломлення

води $n_v = \frac{4}{3}$.

Розв'язання задачі. Користуючись формулою тонкої лінзи, поміщеної в однорідну речовину, для повітря можна записати:

$$\frac{1}{S'} - \frac{1}{S} = (n_c - 1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right),$$

а для води:

$$\frac{1}{S'_1} - \frac{1}{S} = \frac{n_C - n_B}{n_B} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right),$$

де r_1 та r_2 – радіуси кривизни сферичних поверхонь лінзи.

Поділивши перший вираз на другий, матимемо:

$$\left(\frac{1}{S} - \frac{1}{S} \right) : \left(\frac{1}{S'_1} - \frac{1}{S} \right) = \frac{n_C - 1}{n_C - n_B} \cdot n_B = \frac{f'_B}{f'_\Pi},$$

де f'_B – друга фокусна відстань лінзи у воді, f'_Π – фокусна відстань лінзи у повітрі.

Останній вираз легко звести до вигляду:

$$\left(\frac{1}{\beta} - 1 \right) = 4 \left(\frac{1}{\beta'} - 1 \right),$$

де $\beta = \frac{S'}{S}$ – збільшення, яке дає лінза в повітрі, $\beta' = \frac{S'_1}{S}$ – збільшення,

яке дає лінза у воді.

Отже, шукане збільшення:

$$\beta' = \frac{4\beta}{3\beta + 1}.$$

Цікавим є аналіз цієї формули. Розглянемо, наприклад, випадок, коли збиральна лінза дає в повітрі дійсне, але не збільшене зображення, тобто $\beta = -1$. Тоді збільшення у воді буде

$$\beta' = \frac{(-1) \cdot 4}{(-3) \cdot 1 + 1} = 2 > 0.$$

Це означає, що у воді зображення буде пряме, отже, для збиральної лінзи – уявне. Такий результат не дивує, бо у воді фокусна відстань лінзи $f'_B = 4f'_\Pi$, тобто значно більша, ніж у повітрі, тому предмет, який у повітрі був на подвійній фокусній відстані від лінзи, у воді знаходитиметься всього тільки на половині фокусної відстані.

В останньому випадку, як відомо, збиральна лінза дає уявне зображення предмета.

Тепер розглянемо випадок, коли в повітрі $\beta = -\frac{1}{7}$, тобто спостерігається зменшене, дійсне й обернене зображення предмета. У цьому разі у воді збільшення дорівнює:

$$\beta' = -\frac{-\frac{4}{7}}{-\frac{3}{7} + 1} = -1,$$

тобто зображення предмета у воді дійсне, обернене, а його величина дорівнює величині предмета.

Аналогічно можна проаналізувати також інші випадки, зокрема й для розсіювальної (від'ємної) в повітрі лінзи.

Задача 1.4. Фокусна відстань об'єктива мікроскопа дорівнює $f_1 = 1$ см, окуляра $f_2 = 3$ см, відстань між ними $d = 20$ см. На якій відстані від об'єктива треба помістити предмет, щоб його зображення було віддалене від ока спостерігача на $L = 20$ см (відстань найкращого бачення)? Яке при цьому буде лінійне збільшення об'єкта?

Розв'язання задачі. Розглядатимемо мікроскоп як оптичну систему з двох тонких лінз на скінченій відстані одна від одної (рис. 1.2). Тоді оптична сила мікроскопа:

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 - d\Phi_1\Phi_2;$$

де $\Phi_1 = \frac{1}{f_1} = 1 \text{ см}^{-1}$ – оптична сила об'єктива L_1 ;

$$\Phi_2 = \frac{1}{f_2} = \frac{1}{3} \text{ см}^{-1} \text{ – оптична сила окуляра } L_2.$$

Отже:

$$\Phi = -\frac{16}{3} \text{ см}^{-1}.$$

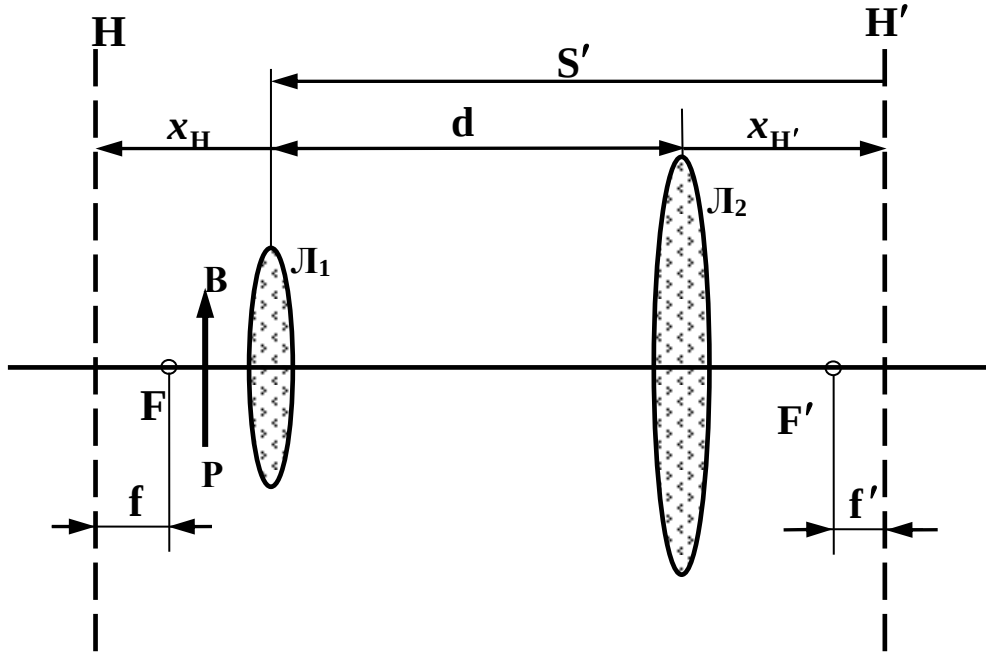


Рис. 1.2

Координата першої головної площини **H** системи дорівнює:

$$x_H = d \frac{\Phi_2}{\Phi} = -1,25 \text{ см},$$

тобто перша головна площина знаходиться на відстані 1,25 см ліворуч від об'єктива (напрямок поширення світла на рис.1.1.2 обрано, як завжди, зліва направо).

Напрямок стрілок на рис.1.1.2 визначає напрям відліку відрізків x_H , $x_{H'}$, f , f' і S' від відповідних головних площин і лінз.

Координата другої головної площини **H'** дорівнює:

$$x_{H'} = d \cdot \frac{\Phi_1}{\Phi} = -3,75 \text{ см},$$

тобто перша головна площина знаходиться на відстані 3,75 см праворуч від окуляра L_2 .

Оскільки загальна оптична сила $\Phi < 0$, то мікроскоп є від'ємною розсіювальною оптичною системою. Це означає, що перша головна фокусна відстань $f > 0$, а друга головна фокусна відстань $f' < 0$, тобто

$$f = -\frac{1}{\Phi} = \frac{3}{16} \text{ см}^{-1} \quad \text{та} \quad f' = \frac{1}{\Phi} = -\frac{3}{16} \text{ см}^{-1}.$$

Перший головний фокус F лежить праворуч від першої головної площини H на відстані $3/16$ см, а другий головний фокус F' – ліворуч від другої головної площини H' на такій самій відстані.

З умови задачі зрозуміло, що зображення повинно знаходитись у площині об'єктива L_1 , тобто відстань від другої головної площини H' до зображення дорівнює $S' = -23,75$ см. Це може бути тільки тоді, коли

$$S = f \frac{1}{1 - \frac{f'}{S'}};$$

$$S = \frac{3}{16} \cdot \frac{1}{1 - \left(-\frac{3}{16}\right) : (-23,75)} \approx 0,19 \text{ см}.$$

Отже, предмет повинен бути на відстані 0,19 см праворуч від першої головної площини H або на відстані $\ell = 1,25 - 0,19 = 1,06$ см від об'єктива.

Лінійне збільшення мікроскопа дорівнює:

$$\beta = \frac{S'}{S} = -130,$$

тобто зображення буде збільшене й обернене.

1.2. Задачі до розділу

1. Промінь світла падає на межу поділу двох середовищ під кутом 30° . Показник заломлення першого середовища – 2,4. Визначте показник заломлення другого середовища, якщо відомо, що відбитий і заломлений промені перпендикулярні один одному.

2. На поверхню води у посудині покладено скляну пластинку. Визначте, під яким кутом має падати на пластинку промінь світла, щоб від поверхні поділу води зі склом відбулось повне внутрішнє відбиття.

3. Проекційний апарат, що стоїть біля стіни у кімнаті, утворює на протилежній стінці зображення площею 1 м^2 . Якою буде площа зображення, якщо на стіні навпроти апарата помістити плоске дзеркало так, щоб зображення утворювалось на стіні, біля якої стоїть апарат?

4. У фокусі сферичного дзеркала прожектора помістили джерело світла у вигляді диска радіусом 1 см. Знайдіть діаметр освітлювальної плями на стіні на відстані 50 м від прожектора, якщо фокусна відстань сферичного дзеркала дорівнює 40 см, а діаметр дзеркала – один метр.

5. АВ – предмет, А'В' – його зображення у сферичному дзеркалі, ОО' – оптична вісь дзеркала (рис. 1.2.1). За допомогою побудови знайти центр і фокус дзеркала.

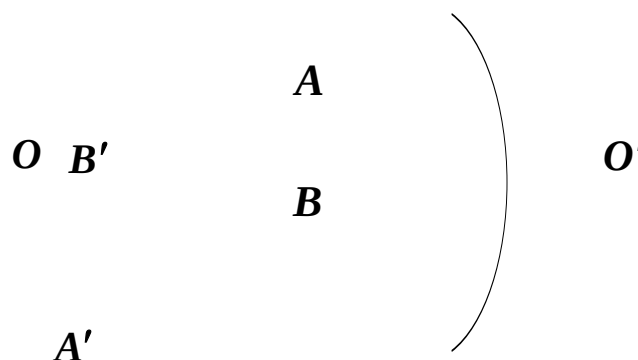


Рис. 1.2.1

6. На плоско-паралельну скляну пластинку товщиною 1 см падає світловий промінь під кутом 60° та відбивається від поверхні скла. Частина променя, заломлюючись, проходить у скло, відбивається від нижньої поверхні пластинки і, заломлюючись удруге, виходить у повітря паралельно першому відбитому променю. Визначте відстань між цими променями.

7. Промінь світла виходить з призми під тим самим кутом, під яким входить в призму, причому відхиляється від початкового напрямку на кут 15° . Кут заломлення призми становить 45° . Знайти показник заломлення речовини призми.

8. Оптичний клин із кутом заломлення 5° помістили у воду. Визначити, на скільки градусів відхиляється світловий промінь, що проходить крізь цей клин, $n = 1,6$.

9. Пучок світла ковзає вздовж бічної поверхні рівнобедреної призми. За якого граничного кута призми заломлені промені зазнають повного внутрішнього відбиття на другій боковій грані? Показник заломлення призми для цих кутів $n = 1,6$.

10. Межею поділу двох середовищ є сфера деякого радіуса. Перше середовище – повітря, друге – скло. На поверхню поділу падає вузький пучок променів, паралельний одному з діаметрів сфери. Визначте положення точки перетину променів, знаючи, що тонка плоско-випукла лінза, радіус кривизни якої однаковий зі сферою, має фокусну відстань 5 см.

11. Побудувати зображення довільної точки, що лежить на головній оптичній осі: а) збиральної лінзи; б) розсіювальної лінзи.

12. За допомогою двоопуклої лінзи на екрані отримують зображення свічки. Як зміниться це зображення, якщо лінзу наполовину закрити матеріалом, який не пропускає світло?

13. Радіуси кривизни поверхонь двоопуклої лінзи $R = 50$ см. Показник заломлення матеріалу $n = 1,5$. Знайдіть оптичну силу лінзи.

14. Тонка скляна лінза має оптичну силу 5 дптр. Та сама лінза, занурена у рідину, має оптичну силу 1 дптр. Знайдіть показник заломлення рідини.

15. Фотоапаратом, об'єктив якого має фокусну відстань 50 мм, фотографують будинок заввишки 24 м. З якої відстані потрібно виконувати фотозйомку, щоб зображення будинку вмістилось у кадрі висотою 24 мм?

16. Зображення міліметрової поділки шкали, розміщеної перед лінзою на відстані 12,5 см, має на екрані довжину 8 см. На якій відстані від лінзи знаходиться екран?

17. Фокусна відстань збиральної лінзи 10 см. На якій відстані від лінзи потрібно розмістити предмет, щоб його уявне зображення утворилось на відстані 25 см від лінзи?

18. Побудуйте зображення відрізка, паралельного головній оптичній осі лінзи.

19. Збиральну лінзу щільно приклали до розсіювальної й отримали систему лінз, яка від предмета розміром 3 см дала зображення на відстані 40 см від лінзи. Визначити фокусну відстань розсіювальної лінзи, якщо фокусна відстань збиральної лінзи $f = 8$ см.

20. Плоско-опукла лінза з фокусною відстанню 30 см і плоско-ввігнута лінза з фокусною відстанню 10 см складені разом. На якій відстані від лінз отримали зображення предмета, розміщеного за 15 см від системи лінз? Побудуйте зображення з дотриманням масштабу.

21. Побудуйте на кресленні центровану систему, що складається з трьох лінз різної оптичної сили, розміщених на деяких відстанях одна від одної. Задавши певні значення оптичних сил і відстані, визначте фокусні відстані системи.

22. Повздовжня сферична аберація об'єктива з фокусною відстанню 200 мм для пучка променів діаметром 40 мм становить 0,16 мм. Визначте діаметр кола розсіювання і сферичну аберацію в кутовому вимірі.

23. Знайдіть повздовжню хроматичну аберацію двоопуклої лінзи з однаковими радіусами кривизни 8 см. Показник заломлення матеріалу лінзи для червоного світла – 1,5; для фіолетового – 1,8.

24. Межі акомодатії короткозорної людини лежать між 10 і 25 см. Визначте, як зміняться ці межі, якщо людина одягне окуляри з оптичною силою 4 дптр.

25. Визначте головну фокусну відстань й оптичну силу окулярів, що виправляють вади далекозорного ока, для якого відстань найкращого зору – 50 см.

26. Лупа, що є двоопуклою лінзою, виготовлена зі скла з показником заломлення 1,6. Радіуси кривизни поверхонь однакові і дорівнюють 12 см. Визначте збільшення лупи.

27. Лупа дає збільшення вдвічі. До неї щільно притиснули збиральну лінзу з оптичною силою 20 дптр. Яке збільшення буде давати утворена система?

28. Якими мають бути радіуси кривизни поверхонь ($R_1 = R_2$), що обмежують лупу ($n = 1,5$), щоб вона давала збільшення для нормального ока, рівне 10?

29. Головна фокусна відстань об'єктива мікроскопа 3 мм, окуляра – 5 см. Предмет знаходиться від об'єктива на відстані 3,1 мм. Знайти збільшення мікроскопа для нормального ока.

30. У мікроскопі головна фокусна відстань об'єктива – 5,4 мм, а окуляра – 2 см. Предмет знаходиться від об'єктива на відстані 5,6 мм. Визначте видиме збільшення мікроскопа для нормального ока і довжину мікроскопа (відстань між об'єктивом й окуляром).

31. Оптичні сили об'єктива й окуляра мікроскопа відповідно 100 і 200 дптр. Збільшення мікроскопа – 50. Яким буде збільшення цього мікроскопа, якщо відстань між об'єктивом і окуляром збільшити на 2 см?

32. Фокусна відстань об'єктива телескопа 1 м. В телескоп роздивляються будинок, що знаходиться на відстані 1 км. В якому напрямку і на скільки потрібно пересунути окуляр, щоб отримати чітке зображення, якщо після будинку будуть роздивлятись Місяць?

33. Яка довжина зорової труби, об'єктивом й окуляром якої є тонкі лінзи з фокусними відстанями відповідно 25 і 8 см, якщо предмет, який роздивляються, знаходиться дуже далеко?

34. Оптична сила об'єктива телескопа – 0,5 дптр. Окуляр діє як лупа, що дає збільшення в 10 разів. Яке збільшення дає телескоп?

35. Об'єктив зорової труби має фокусну відстань 30 см, а окуляр – 4 см. Труба встановлена на нескінченність. У якому місці потрібно встановити діафрагму, щоб поле зору було різко обмежене?

36. Під яким кутом до горизонту плавець, що пірнув у воду, побачить захід сонця? Сонце на рівні горизонту.

37. Два малих плоских дзеркала розміщені на однаковій відстані одне від одного і від точкового джерела світла. Яким має бути кут між дзеркалами, якщо після двох відбиттів промінь спрямований до джерела?

38. Монохроматичний промінь входить крізь грань прямокутної рівнобічної призми і після повного внутрішнього відбиття від грані, що відповідає гіпотенузі, виходить крізь грань, що відповідає другому катету. Яким має бути найменший кут падіння променя на призму, щоб ще відбувалось повне відбиття, якщо показник заломлення матеріалу призми для цього променя – 1,5?

39. Три лінзи з оптичними силами $+10$ дптр, -10 дптр і $+10$ дптр розміщені у зазначений послідовності, створюють центровану систему у повітрі. Визначити величину фокусної відстані цієї системи, якщо відстань між лінзами – 5 см, а лінзи щільно прикладені одна до одної.

40. Знайти збільшення, що дає лупа, фокусна відстань якої 2 см, для нормального і короткозорого ока з відстанню найкращого зору 15 см.

41. Об'єктив мікроскопа має фокусну відстань 3 мм, а окуляр-фокусну відстань 50 мм. Відстань між об'єктивом й окуляром 135 мм, відстань від предмета до об'єктива – $3,1$ мм. Знайдіть збільшення мікроскопа.

42. Промінь світла падає на плоске дзеркало під кутом 20° . На який кут зміниться напрямок ходу променя після відбиття від плоского дзеркала, якщо дзеркало повернути на кут 10° у бік збільшення кута падіння?

43. Промінь відбивається двічі від двох непаралельних дзеркал, кут між якими становить 15° . На який кут від початкового зміниться напрямок променя?

44. Плоско-опукла лінза з радіусом кривизни $0,3$ м і показником заломлення $1,5$ дає зображення предмета з лінійним збільшенням, що дорівнює 2 . Визначте відстань від предмета до лінзи.

45. Предмет під час фотографування освітлюється електричною лампою, що розміщена на відстані 2 м від предмета. У скільки разів потрібно збільшити експозицію (час, на який відчиняється затвор об'єктива), якщо цю лампу відсунути на відстань 3 м від предмета?

46. Два дзеркала утворюють двогранний кут. На одне з дзеркал падає промінь, що лежить в площині, перпендикулярній до ребра кута. Доведіть, що кут відхилення цього променя від початкового напрямку після відбиття від обох дзеркал не залежить від кута падіння.

47. Визначте оптичну силу двоопуклої лінзи з радіусами кривизни 0,2 м і 0,1 м. Оцініть похибку, яка виникає в розрахунку оптичної сили за формулою тонкої лінзи, якщо товщина лінзи дорівнює 10 мм. Показник заломлення матеріалу лінзи $n = 1,5$.

48. Зорову трубу з фокусною відстанню об'єктива 50 см встановлено на нескінченність. На яку відстань потрібно змістити окуляр труби, щоб чітко бачити предмети на відстані 50 м?

49. Зорова труба має фокусну відстань 50 см, фокусна відстань окуляра – 10 см. Визначте кут, під яким у трубу видно два віддалених предмети, якщо під час спостереження неозброєним оком цей кут дорівнює 30° ? Трубу встановлено на нескінченність.

50. Промінь світла падає під кутом i на тіло з показником заломлення n . Як повинні бути пов'язані між собою i та n , щоб відбитий промінь був перпендикулярним до заломленого?

51. Коли промінь йшов з першого середовища в друге, кут падіння дорівнював 60° , а кут заломлення – 45° . Коли промінь йшов з першого середовища в третє, кут падіння був 60° , а кут заломлення – 30° . Коли промінь йшов з другого середовища в третє, кут падіння був рівний 60° , а кут заломлення – β . Визначте β .

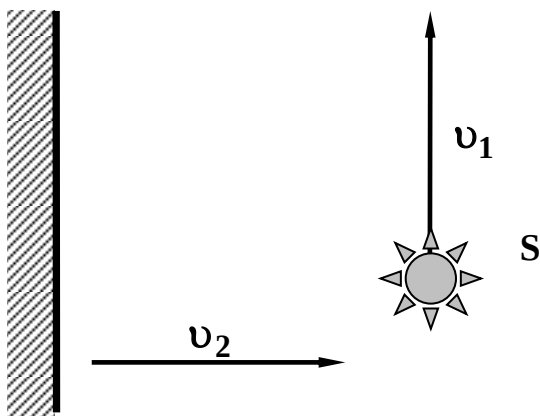


Рис. 1.2.2

52. Точка S рухається зі швидкістю $v_1 = 3$ см/с (рис. 1.2.2). З якою швидкістю рухається відображення точки S' ? Дзеркало рухається поступально зі швидкістю $v_2 = 2$ см/с.

53. Визначити показник заломлення n скипидару і швидкість поширення світла v у скипидарі, якщо відомо, що куту падіння 45° відповідає кут відбиття 30° .

54. Показник заломлення на межі повітря і скла дорівнює 1,5, а показник заломлення на межі повітря і води становить 1,33. Визначте показник заломлення на межі води і скла?

55. Промінь світла переходить зі скла у воду. Кут падіння променя на межу поділу між водою і склом – 30° . Визначте кут заломлення. За якого найменшого значення кута падіння промінь повністю відіб'ється?

56. У системі «вода – повітря» граничний кут повного відбиття – 49° , а в системі «скло – повітря» він дорівнює 42° . Знайдіть граничний кут повного відбиття для системи «скло – вода».

57. З яким кутом потрібно взяти напівпрозору трапецеподібну посудину з водою **М** (рис. 1.2.3), щоб крізь її бокову стінку **ВС** не було видно предмета **К**, підкладеного під дно посудини? Дно посудини має

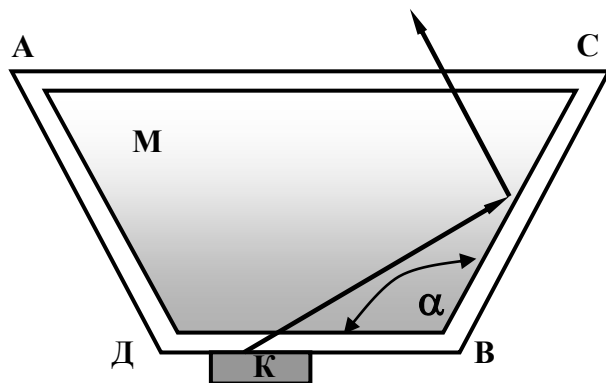


Рис. 1.2.3

форму прямокутника. Кут, що утворюється гранню **ВС** та дном **ДВ**, – α .

58. Промінь світла виходить із скипидару в повітря. Граничний кут повного відбиття для цього променя $42^\circ 23'$. Якою є швидкість поширення світла в скипидарі?

59. Показники заломлення деякого сорту скла для червоного і фіолетового променів дорівнюють відповідно 1,51 і 1,53. Знайдіть граничні кути повного відбиття у разі падіння цих променів на межу скла і повітря.

60. Показник заломлення матеріалу призми для деякого монохроматичного променя – 1,6. Яким повинен бути найбільший кут падіння цього променя на призму, щоб при виході променя з неї не відбулося повного відбиття? Кут заломлення призми – 45° .

61. Пучок світла ковзає вздовж бокової грані рівнобедреної призми. За якого граничного кута заломлення призми промені зазнають повного відбиття на другій боковій грані? Показник заломлення матеріалу призми для цих променів – 1,6.

62. Висота сонця над горизонтом $\varphi = 20^\circ$. За допомогою дзеркала на воду озера пустили «зайчика». Під яким кутом до горизонту потрібно нахилити дзеркало, щоб промінь у воді йшов під кутом 41° до вертикалі? Показник заломлення води $n = 1,32$.

63. Горизонтальний промінь світла падає на вертикально розміщене дзеркало. Дзеркало повертається на кут α біля вертикальної осі. На який кут повернеться відбитий промінь?

64. Якої найменшої висоти повинно бути плоске дзеркало, прикріплене вертикально на стіні, щоб людина могла бачити своє відображення на весь зріст, не змінюючи положення голови? На якій відстані від підлоги повинен бути нижній край дзеркала?

65. Плоске дзеркало обертається з постійною кутовою швидкістю. Кількість обертів за секунду $\nu = 0,5 \text{ с}^{-1}$. З якою швидкістю буде переміщуватись «зайчик» вздовж сферичного екрана радіусом 10 м, якщо дзеркало знаходиться в центрі кривизни екрана?

66. Промінь світла, відбитий від дзеркальця гальванометра, падає на шкалу, розміщену на відстані 1,5 м від дзеркальця, перпендикулярно до напрямку падіння променя. Під час пропускання струму крізь гальванометр дзеркальце повернулось, причому світлова пляма на шкалі перемістилася на 2 см. Визначте кут повороту дзеркальця.

67. Промінь світла, спрямований горизонтально, падає на вертикально розміщений екран. Коли на шляху променя помістили невеличке дзеркало, то світла пляма на екрані змістилась вгору на $h = 3,5$ см. Визначити кут падіння променя на дзеркальце, якщо відстань від дзеркальця до екрана – 50 см.

68. Два плоских дзеркала поставлені під кутом одне до одного, між ними розміщене точкове джерело світла. Зображення джерела в одному дзеркалі знаходиться на відстані 6 см, а в другому – на відстані 8 см від джерела. Відстань між зображеннями дорівнює 10 см. Визначте кут між дзеркалами.

69. Знайдіть усі зображення предмета, що знаходяться між двома дзеркалами, нахиленими одне до одного під кутом 60° . Побудуйте хід променів, що дають зображення предмета після двох послідовних відображень від обох дзеркал.

70. Плоску скляну пластину товщиною 3 мм роздивляються в мікроскоп. Спочатку мікроскоп встановлюють для спостереження верхньої поверхні пластини, а потім зміщують тубус мікроскопа вниз доти, доки не буде чітко видно нижньої поверхні пластини (для зручності спостерігання на поверхнях пластини зроблені мітки). Зміщення тубуса – 2 мм. Знайдіть показник заломлення пластини.

71. Паралельний пучок світла проходить крізь плоско-паралельну скляну пластину, товщина якої дорівнює 1 см. Кут падіння – 30° . Визначте величину поперечного зміщення пучка, тобто відстань між осями пучка до і після заломлення.

72. Визначте, наскільки плоско-паралельна скляна пластинка завтовшки 10 см зміщує промінь світла, що падає на неї під кутом 70° .

73. Предмет помістили на відстані 15 см від плоско-паралельної скляної пластинки. Спостерігач роздивляється його крізь пластинку, причому промінь зору нормальний до неї. Визначте відстань зображення предмета від ближчої до спостерігача грані. Товщина пластинки – 4,5 см.

74. Вузкий паралельний пучок світла падає на плоско-паралельну скляну пластинку під кутом, синус якого дорівнює 0,8. Пучок, що вийшов з пластинки, виявився зміщеним відносно

продовження пучка, який подає на пластинку, відстань $d = 2$ см. Якою є товщина пластинки, якщо показник заломлення скла $n = 1,7$?

75. Промінь світла падає під кутом 30° на плоско-паралельну скляну пластинку і виходить з неї паралельно початковому променю. Якою є товщина пластинки, якщо відстань між променями дорівнює 1,94 см?

76. На плоско-паралельну скляну пластинку завтовшки 1 см падає промінь світла під кутом 60° . Показник заломлення скла – 1,73. Частина світла відбивається, а частина, заломлюючись, проходить у скло, відбивається від нижньої поверхні пластинки і, заломлюючись вдруге, виходить назад у повітря паралельно першому відбитому променю. Визначте відстань між променями.

77. На яку відстань зміститься промінь, що проходить крізь плоско-паралельну пластинку, якщо товщина її – d , показник заломлення – n , а кут падіння променя – i ? Чи може зміщення променя бути більшим за товщину пластинки?

78. Промінь падає під кутом $i = 60^\circ$ на скляну пластинку товщиною $d = 30$ мм. Визначте поперечне зміщення променя після виходу з пластинки.

79. Пучок паралельних променів падає на товсту скляну пластину під кутом $i = 60^\circ$ і, заломлюючись, переходить у скло. Ширина пучка у повітрі – 10 см. Визначте ширину пучка у склі.

80. Кут заломлення призми $\alpha = 30^\circ$. Промінь світла падає на грань призми перпендикулярно до її поверхні і виходить у повітрі з другої грані, відхиляючись на кут 20° від початкового напрямку. Визначте показник заломлення скла призми.

81. На грань скляної призми із кутом заломлення $\alpha = 60^\circ$ падає промінь світла під кутом $i = 45^\circ$. Знайдіть кут заломлення променя на виході з призми і кут відхилення променя від початкового напрямку.

82. У воду помістили прямокутний скляний клин (рис. 1.2.4). Показник заломлення скла $n = 1,5$. За яких значень кута α промінь світла, що падає нормально на грань AB , цілком досягне грані AC ?

83. За яких значень показника заломлення прямокутної призми можливий хід променя, що зображений на рис. 1.2.5? Переріз призми – рівнобедрений трикутник; промінь падає на грань AB нормально.

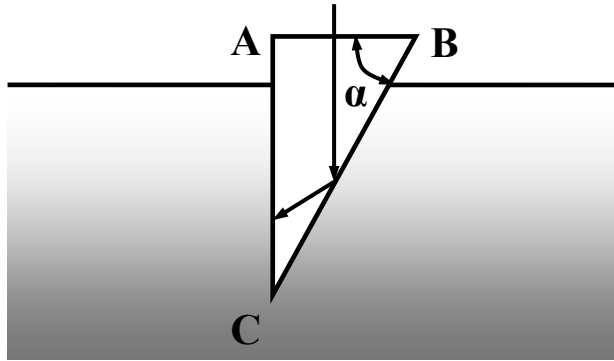


Рис. 1.2.4

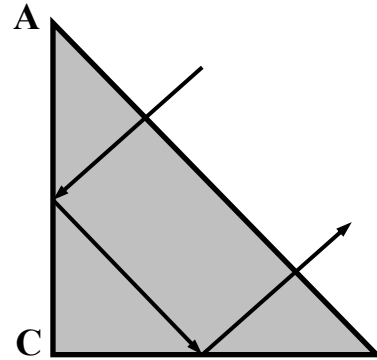


Рис. 1.2.5

84. Монохроматичний промінь падає на бокову поверхню рівнобічної призми і після заломлення йде у призмі паралельно її основі. Вийшовши з призми, він виявляється відхиленим на деякий кут від свого початкового напрямку. Знайдіть зв'язок між кутом заломлення призми, відхиленням променя і показником заломлення для цього променя n .

85. Промінь світла виходить із призми під тим самим кутом, під яким входить у неї (рис. 1.2.6). Знайдіть коефіцієнт заломлення призми, якщо кут заломлення призми 45° , а кут відхилення променя від початкового напрямку – 30° .

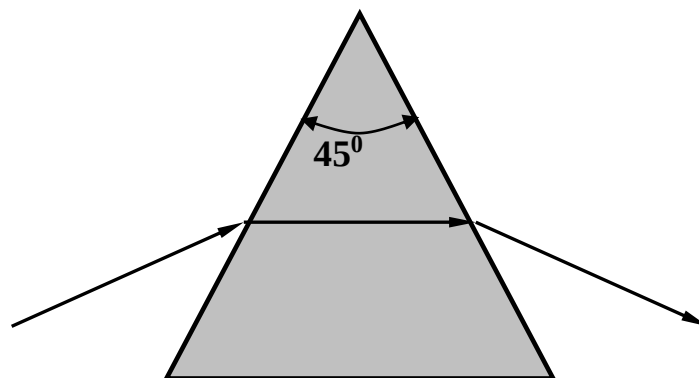


Рис. 1.2.6

86. Знайдіть фокусну відстань двоопуклої лінзи, обмеженої сферичними поверхнями, що мають радіуси $R_1 = 25$ мм і $R_2 = 40$ мм. Лінзу виготовлено з важкого флінту.

87. Додатна лінза дає дійсне зображення зі збільшенням у два рази. Визначте фокусну відстань лінзи, якщо відстань між лінзою та зображенням дорівнює 24 см.

88. За допомогою збиральної лінзи отримано зменшене дійсне зображення предмета на екрані. Розмір предмета $h = 6$ см, розмір зображення $H = 3$ см. Залишаючи предмет й екран нерухомими, переміщують лінзу у бік предмета й отримують на екрані його друге чітке зображення. Визначте його величину.

89. Для фотографування автомобіля завдовжки 4 м плівку розмістили на відстані 60 мм від об'єктива. З якої відстані фотографували автомобіль, якщо довжина його негативного зображення дорівнює -32 мм?

90. Зображення міліметрової поділки шкали, розміщеної перед лінзою на відстані $d = 12,5$ см, має на екрані довжину $L = 8$ см. На якій відстані від лінзи встановлений екран?

91. На рис. 1.2.7 зображено хід одного променя ABC крізь тонку від'ємну лінзу. Знайдіть за допомогою побудови фокусну відстань лінзи.

92. Побудуйте зображення відрізка AB (рис. 1.2.8), паралельного головній оптичній осі лінзи.

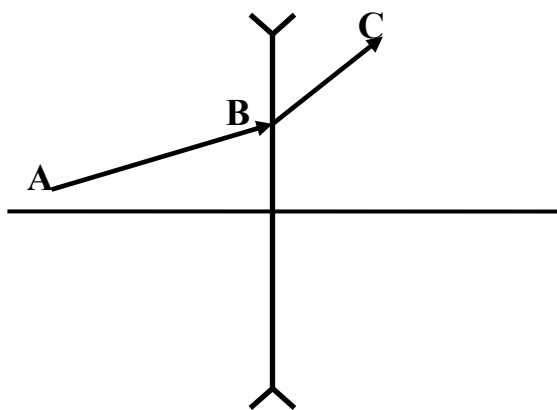


Рис. 1.2.7

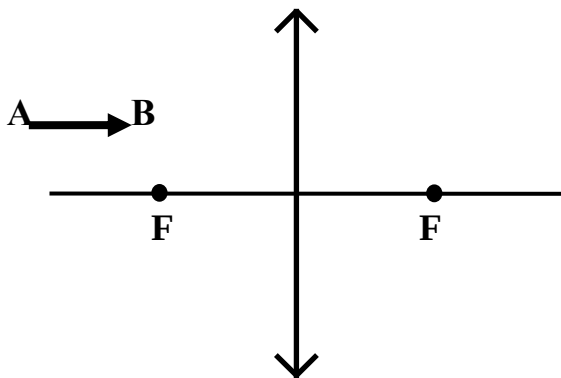


Рис. 1.2.8

93. За допомогою фотоапарата, розмір кадру якого $24 \text{ мм} \times 36 \text{ мм}$ і фокусна відстань об'єктива $F = 50 \text{ мм}$, фотографують людину, яка стоїть. Її зріст $h = 1,8 \text{ м}$. На якій мінімальній відстані від людини потрібно встановити апарат, щоб сфотографувати її на весь зріст?

94. Точка S знаходиться на головній оптичній осі збиральної лінзи. Фокусна відстань лінзи – 20 см , а відстань між лінзою і точкою – 15 см . Де знаходиться зображення цієї точки?

95. Джерело світла розміщене на подвійній фокусній відстані від збиральної лінзи на її осі. За лінзою, перпендикулярно до оптичної осі, помістили плоске дзеркало. На якій відстані від лінзи потрібно помістити дзеркало, щоб промені, відбиті від дзеркала, пройшовши вдруге крізь лінзу, стали паралельними?

96. Лінза дає триразове збільшення предмета, розміщеного за 10 см від її площини. Знайдіть фокусну відстань лінзи.

97. Відстань від предмета до площини збиральної лінзи в k разів менша за її фокусну відстань. Визначте збільшення лінзи.

98. Лінза дає дійсне зображення предмета зі збільшенням $k = 3$. Як зміниться це число, якщо вдвічі зменшити оптичну силу лінзи?

99. Визначте фокусну відстань таких лінз (показник заломлення матеріалу лінзи $n = 1,5$):

а) лінза двоопукла $R_1 = 15 \text{ см}$, $R_2 = 25 \text{ см}$;

б) лінза плоско-опукла $R_1 = 15 \text{ см}$, $R_2 = \infty$;

в) лінза ввігнуто-опукла (додатній меніск) $R_1 = -15 \text{ см}$, $R_2 = 25 \text{ см}$;

г) лінза двоввігнута $R_1 = -15 \text{ см}$, $R_2 = -25 \text{ см}$;

д) лінза плоско-ввігнута $R_1 = \infty$, $R_2 = -15 \text{ см}$;

е) лінза випукло-ввігнута (від'ємний меніск) $R_1 = 25 \text{ см}$, $R_2 = -15 \text{ см}$.

100. Радіуси кривизни поверхонь двоопуклої лінзи однакові та дорівнюють 50 см . Показник заломлення матеріалу лінзи дорівнює $n = 1,77$. Знайдіть оптичну силу лінзи.

101. За 15 см від двоопуклої лінзи, оптична сила якої дорівнює 10 дптр, перпендикулярно до оптичної осі розміщено предмет заввишки 2 см. Знайдіть положення і висоту зображення. Побудуйте креслення.

102. Двоопукла лінза, обмежена сферичними поверхнями однакового радіуса кривизни завбільшки 12 см, поставлена на таку відстань від предмета, що зображення на екрані в k разів більше за предмет. Визначте відстань від предмета до екрана, якщо: а) $k = 1$; б) $k = 20$; в) $k = 0,2$. Показник заломлення матеріалу лінзи – 1,5.

103. Плоско-опукла лінза з радіусом кривизни 30 см і показником заломлення 1,5 дає зображення предмета зі збільшенням, що дорівнює 2. Визначте відстань предмета і зображення від лінзи. Побудуйте креслення.

104. Плоско-опукла збиральна лінза виготовлена зі скла (легкий крон). Визначте співвідношення між фокусною відстанню цієї лінзи F та радіусом кривизни її опуклої поверхні R .

105. Лінза виготовлена зі скла, показник заломлення якого для червоних променів $n = 1,50$, а для фіолетових – $n = 1,52$. Радіуси кривизни обох поверхонь однакові та дорівнюють 1 м. Визначте відстань між фокусами червоних і фіолетових променів.

106. Діаметр плоско-опуклої лінзи $d = 10$ см, товщина в центрі $h = 1$ см, товщину біля країв можна вважати рівною нулю. Визначте фокусну відстань F лінзи.

107. Якщо відстань предмета від лінзи $d = 36$ см, то висота зображення $h_1 = 5$ см, та якщо ця відстань $d_2 = 24$ см, то висота зображення $h_2 = 10$ см. Визначте фокусну відстань лінзи.

108. Фокусна відстань лінзи $F = 20$ см. Відстань предмета від лінзи $d = 10$ см. Визначте відстань b від зображення до лінзи, якщо лінза: а) збиральна; б) розсіювальна.

109. Паралельний пучок променів, падаючи на розсіювальну лінзу з діаметром $d = 6$ см, дає на екрані, розміщеному на відстані $b = 10$ см від лінзи, світле коло діаметром $D = 11$ см. Визначте фокусну відстань лінзи.

110. На оптичній лаві розміщені дві збиральні лінзи з фокусними відстанями $f_1 = 12$ см і $f_2 = 15$ см. Відстань між лінзами $\ell = 36$ см. Предмет знаходиться на відстані $d = 48$ см від першої лінзи. На якій відстані b від другої лінзи буде зображення предмета?

111. Збиральну лінзу щільно приклали до розсіювальної й отриману систему лінз помістили на оптичну лаву між лампочкою та екраном. Визначте фокусну відстань f розсіювальної лінзи, якщо відстань предмета до системи лінз $d = 60$ см, а від системи лінз до екрана $b = 40$ см і фокусна відстань збиральної лінзи $f_1 = 8$ см.

112. Плоско-опукла лінза з фокусною відстанню $f_1 = 30$ см і плоско-ввігнута лінза з фокусною відстанню $f_2 = 10$ см, складені щільно. На відстані $d = 60$ см від системи лінз поставили предмет. На якій відстані b отримаємо зображення предмета? Побудуйте зображення з дотриманням масштабу.

113. На збиральну лінзу з фокусною відстанню 40 см падає паралельний пучок променів. Де потрібно помістити розсіювальну лінзу з фокусною відстанню 15 см, щоб пучок променів після проходження двох лінз залишився паралельним?

114. Оптична система складається з двох збиральних лінз з фокусними відстанями $f_1 = 20$ см і $f_2 = 10$ см. Відстань між лінзами $d = 30$ см. Предмет знаходиться на відстані $d_1 = 30$ см від першої лінзи. На якій відстані від другої лінзи отримаємо зображення?

115. Фокусні відстані двох тонких збиральних лінз дорівнюють f_1 і f_2 . Визначте фокусну відстань системи з цих двох лінз, щільно притулених одна до одної. Обчисліть оптичну силу цієї системи. Якою буде фокусна відстань системи у випадку, коли лінза буде розсіювальна?

116. Побудуйте зображення предмета, яке дає: а) збиральна лінза з фокусною відстанню $f_1 = 1,5a$; б) система з двох збиральних лінз із $f_1 = 1,5a$ і $f_2 = 0,5a$, де a – відстань між лінзами. Визначте положення фокусів системи. Предмет розміщено на відстані $b = 10a$ від першої лінзи.

117. Додатні лінзи с фокусними відстанями 30 см розміщено на відстані 15 см одна від одної. Визначте, за яких положень предмета система дає дійсне зображення.

118. Лінзи 1 та 2 виготовлено зі скла одного сорту. Знайти оптичну силу лінзи 2, знаючи, що лінза 1 має оптичну силу 3 дптр (рис. 1.2.9).

119. Зі скляної пластинки були виготовлені три лінзи (рис. 1.2.10). Виявилось, що оптична сила системи (1, 2) дорівнює 2 дптр, а оптична сила системи (2, 3) дорівнює 3 дптр. Знайдіть оптичну силу лінзи 2.

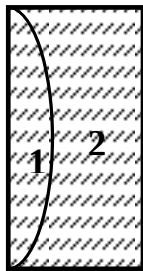


Рис. 1.2.9

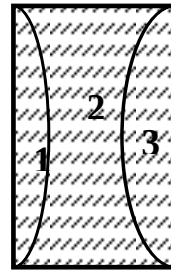


Рис. 1.2.10

120. Промені, що йдуть від джерела S , проходять крізь лінзи A і B (рис. 1.2.11). Якщо залишити тільки лінзу A , то збільшення буде дорівнювати 2, а якщо залишити тільки лінзу B , то збільшення стане рівним 3. Яке збільшення створюють лінзи разом? (Джерело знаходиться лівіше головних фокусів лінз A і B).

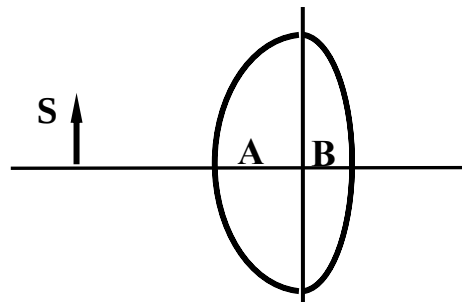


Рис. 1.2.11

121. Лінзи з оптичними силами $D_1 = 4$ дптр та $D_2 = 5$ дптр розміщено на відстані 0,9 м одна від одної. Де знаходиться зображення предмета, розміщеного на відстані 0,5 м перед парною лінзою?

122. На рис. 1.2.11 показана центрована система, що складається з трьох тонких лінз, які мають однакову фокусну відстань. Система

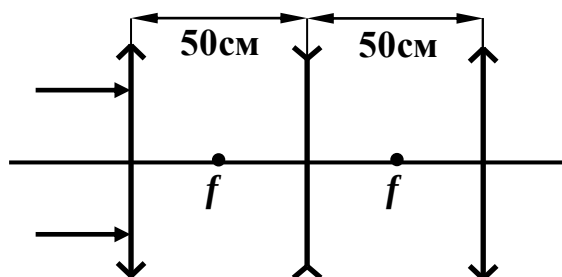


Рис. 1.2.11

знаходиться у повітрі. Визначте положення точки збігання паралельного пучка, що падає зліва, після проходження через систему.

123. Точкове джерело світла помістили на оптичній осі збиральної лінзи з фокусною відстанню $F_1 = 30$ см на відстані $d_1 = 120$ см від неї. З одного боку лінзи у її фокальній площині помістили розсіювальну лінзу. Визначте фокусну відстань розсіювальної лінзи, якщо здається, що після проходження другої лінзи промені виходять із самого джерела.

124. До яких наслідків призводить діафрагмування об'єктива фотоапарата?

125. На круглій діафрагмі розміром 20 см падає зібране у пучок світло, що утворює конус із кутом при вершині 40° . У діафрагму вставили лінзу з оптичною силою 5 дптр. Яким буде кут розсіювання утвореного конуса?

126. Промінь білого світла падає на бічну поверхню рівнобедреної призми так, що червоний промінь виходить з неї перпендикулярно до другої грані. Знайдіть відхилення червоного і фіолетового променів (див. дод. 7) від початкового напрямку, якщо кут заломлення призми дорівнює 45° . Показники заломлення матеріалу призми для червоного і фіолетового променів відповідно 1,37 і 1,42.

127. У разі падіння білого світла під кутом 45° на скляну пластинку, кути заломлення для променів різної довжини хвиль становлять:

λ , нм	759	687	589	486	397
i''	$24^\circ 2'$	$23^\circ 57'$	$23^\circ 47'$	$23^\circ 27'$	$22^\circ 57'$

Побудуйте графік залежності показника заломлення матеріалу пластинки від довжини хвилі.

128. Знайдіть фокусні відстані для червоних, жовтих, синіх променів (див. дод. 7), а також повздовжню хроматичну аберацію (різницю фокусних відстаней для крайніх повздовжніх видимих променів) двоопуклої лінзи з радіусами кривизни $R_1 = R_2 = R = 981,4$ мм, виготовленої зі скла з такими показниками заломлення:

Колір світла	λ , нм	n
червоні промені	668,2	1,4835
жовті промені	572,0	1,4907
сині промені	404,6	1,4997

129. Визначте величину хроматичної аберації лінзи з флінта (див. дод. 12), якщо радіус кривизни обох поверхонь дорівнює 0,5 м. Хроматичну аберацію оцінюйте за різницею фокусних відстаней в крайніх червоних і фіолетових променях. Знайдіть відношення величин хроматичної аберації до середнього значення фокусної відстані лінзи.

130. Для виготовлення об'єктива фотокамери з двома лінзами конструктор використав розсіювальну лінзу з фокусною відстанню $f_1 = 5$ см, помістивши її на відстані $\ell = 45$ см від плівки. Де потрібно помістити збиральну лінзу з фокусною відстанню $f_2 = 8$ см, щоб на плівці проявилось чітке зображення віддалених предметів?

131. Потрібно виготовити фотографічним шляхом шкалу, розділену на десяті частки міліметра. На якій відстані d від об'єктива потрібно розмістити десятиміліметрову шкалу, щоб на знімку вона була зменшена в 10 разів, якщо фокусна відстань об'єктива $f = 5$ см?

132. За найбільшого віддалення об'єктива від плівки фотоапарат дає чіткі знімки предметів, розміщених на відстані $d = 1,3$ м від об'єктива.

З якої найменшої відстані можна буде отримати чіткі знімки, якщо на об'єктив насадити збиральну лінзу з оптичною силою $D = 2$ дптр?

133. Зображення предмета на матовому склі фотоапарата з відстані 15 м вийшло висотою 30 мм, а з відстані 9 мм – висотою 51 мм. Визначте фокусну відстань об'єктива.

134. Найближча точка, на яку може бути сфокусований фотоапарат, знаходиться на відстані $d = 2$ м від об'єктива. Куди переміститься ця точка, якщо до об'єктива щільно прикласти тонку додатну лінзу з оптичною силою $D = + 5$ дптр?

135. Фотоапаратом, об'єктив якого має фокусну відстань $F = 50$ мм, а розмір кадру становить 24×35 мм, фотографують креслення розміром 480×600 мм. З якої відстані потрібно знімати, щоб отримати максимальний розмір зображення? Яка частина кадру (за площею) буде зайнята зображенням?

136. Визначте головну фокусну відстань й оптичну силу окулярів, які позбавляють далекозоре око вад, якщо відстань найкращого бачення дорівнює 50 см?

137. На якій максимальній відстані короткозора людина може читати без окулярів дрібний шрифт, якщо звичайно вона користується окулярами з оптичною силою $D = 4$ дптр?

138. Межі акомодациї ока людини лежать між 10 і 25 см. Визначте, як зміняться ці межі, якщо людина вдягне окуляри з оптичною силою $D = 4$ дптр.

139. Відстань найкращого бачення для короткозорого ока дорівнює 9 см. Які окуляри потрібно вдягнути, щоб наблизити зір до норми?

140. Проекційний апарат, об'єктив якого має фокусну відстань f_1 , встановлено на відстані L від екрана. У скільки разів зміниться розмір

зображення, якщо до об'єктива притиснути додаткову додатну лінзу з фокусною відстанню f_2 ?

141. Фотозбільшувач є вертикально розміщеним проєкційним апаратом. Фокусна відстань об'єктива збільшувача $f = 5$ см. На якій висоті над столиком, на якому лежить фотопапір, потрібно розмістити об'єктив, щоб зображення негатива було збільшене у сім разів?

142. Лупа, що є двоопуклою лінзою, виготовлена зі скла (важкий флінт, див. дод. 12). Радіуси кривизни R поверхонь лінзи однакові і дорівнюють 12 см. Визначте збільшення лупи.

143. Лінзу з оптичною силою 50 дптр використовують як лупу. Яке збільшення вона може дати, якщо око акомодоване на відстань найкращого зору?

144. Лупа дає збільшення у два рази. До неї щільно приклали збиральну лінзу з оптичною силою $D = 20$ дптр. Яке збільшення буде давати така складена лупа?

145. Лупа дає 8-разове збільшення за акомодатії ока на відстань найкращого бачення. Знайдіть фокусну відстань лупи і її оптичну силу.

146. Знайдіть збільшення, яке дає лупа, фокусна відстань якої дорівнює 2 см: а) для нормального ока з відстанню найкращого зору 25 см; б) для короткозорого ока з відстанню найкращого бачення 15 см.

147. Визначте фокусну відстань лупи, яка дає для нормального ока 12-разове збільшення, якщо око акомодоване на нескінченність. Як зміниться збільшення, якщо цією лупою користується короткозора людина без окулярів?

148. Числова апертура деякого мікроскопа у повітрі – 0,46. Знайдіть роздільну здатність приладу.

149. Головна фокусна відстань об'єктива мікроскопа $f_{об} = 3$ мм, окуляра $f_{ок} = 5$ см. Предмет знаходиться від об'єктива на відстані $d = 3,1$ мм. Визначте збільшення мікроскопа для нормального ока.

150. Мікроскоп має об'єктив з фокусною відстанню $f_1 = 1$ см й окуляр з фокусною відстанню $f_2 = 3$ см, відстань між ними $d = 20$ см. На якій відстані ℓ_1 повинен бути об'єктив, щоб кінцеве зображення вийшло на відстані $\ell_2 = 25$ см від ока?

151. Визначте збільшення мікроскопа, якщо головна фокусна відстань об'єктива дорівнює 4,0 мм, головна фокусна відстань окуляра – 15 мм, довжина тубуса – 12 см.

152. Мікроскоп складається з об'єктива з фокусною відстанню 2 мм й окуляра з фокусною відстанню 40 мм. Відстань між фокусами об'єктива та окуляра дорівнює 18 см. Знайдіть збільшення, яке дає мікроскоп.

153. Для вивчення деякого об'єкта потрібно скористатися довгофокусним мікроскопом, об'єктив якого не повинен наближатись до об'єкта дослідження ближче, ніж на відстань $d = 5$ см. З якою фокусною відстанню f потрібно взяти об'єктив, якщо збільшення мікроскопа повинно бути $\beta_1 = 180$, а збільшення зовнішнього окуляра $\beta_2 = 20$?

154. Фокусна відстань об'єктива мікроскопа $f_1 = 0,5$ см; відстань між лінзою об'єктива і лінзою окуляра $\ell = 16$ см. Збільшення мікроскопа для нормального ока $\beta = 200$. Знайдіть збільшення окуляра, вважаючи, що відстань найкращого бачення для нормального ока дорівнює 25 см.

155. Фокусна відстань окуляра мікроскопа $f_2 = 4$ см. Відстань між об'єктивом й окуляром $\ell = 16$ см. Збільшення мікроскопа $\beta = 300$. Знайдіть фокусну відстань f_1 об'єктива мікроскопа.

156. Яким є збільшення β мікроскопа, фокусні відстані об'єктива й окуляра якого дорівнюють відповідно $f_1 = 8$ мм і $f_2 = 5$ см, а відстань від лінзи об'єктива до лінзи окуляра $\ell = 21$ см?

157. Головна фокусна відстань об'єктива мікроскопа $f_1 = 3$ мм, окуляра $f_2 = 5$ см. Предмет лежить від об'єктива на відстані $d_1 = 3,1$ мм. Знайдіть збільшення β для нормального ока і відстань між лінзами.

158. Фокусна відстань об'єктива мікроскопа $f_1 = 4$ мм, а окуляра $f_2 = 2,5$ см. Предмет знаходиться на відстані $d = 0,2$ мм від головного фокуса об'єктива. Визначте: а) довжину тубуса мікроскопа; б) яким є збільшення цього мікроскопа.

159. Предмет лежить на відстані $d = 6,1$ мм від об'єктива мікроскопа. Головна фокусна відстань окуляра $f_2 = 1,25$ см. Знайдіть головну фокусну відстань об'єктива, якщо мікроскоп дає збільшення $\beta = 1200$ разів.

160. Фокусна відстань об'єктива мікроскопа $f_1 = 0,3$ см, довжина тубуса (відстань від заднього фокуса об'єктива до переднього фокуса окуляра) 15 см, збільшення мікроскопа $\beta = 2500$. Знайдіть фокусну відстань f_2 окуляра.

161. Фокусна відстань об'єктива мікроскопа $f_1 = 8$ мм, окуляра – $f_2 = 4$ см. Предмет знаходиться на 0,5 мм далі від об'єктива, ніж головний фокус. Визначте збільшення мікроскопа.

162. Фокусна відстань об'єктива мікроскопа $f_1 = 1$ см, окуляра – $f_2 = 2$ см. Відстань від об'єктива до окуляра $L = 23$ см. Яке збільшення дає мікроскоп? На якій відстані від об'єктива знаходиться предмет?

163. Відстань між фокусами об'єктива й окуляра всередині мікроскопа $d = 16$ см. Фокусна відстань об'єктива $f_1 = 4$ см. З якою фокусною відстанню потрібно взяти окуляр, щоб отримати збільшення у 500 разів?

164. У мікроскопі головна фокусна відстань об'єктива $f_1 = 5,4$ мм, окуляра – $f_2 = 2$ см. Предмет знаходиться від об'єктива на відстані $d_1 = 5,6$ мм. Визначити збільшення мікроскопа для нормального

ока і довжину мікроскопа (відстань між об'єктивом і окуляром), вважаючи, що око акомодоване на відстань найкращого зору $d_2 = 25$ см.

165. Оптична сила об'єктива телескопа $D = 0,5$ дптр. Окуляр діє як лупа, що дає збільшення у 10 разів. Яке збільшення дає телескоп?

166. Фокусна відстань об'єктива телескопа $f_1 = 1$ м. В телескоп роздивляються будинок, що знаходиться на відстані $d = 1$ км. В якому напрямку і на яку відстань потрібно пересунути окуляр, щоб отримати чітке зображення, якщо після будинку будуть роздивлятись Місяць або близькі предмети на відстані $d_1 = 100$ м?

167. Зорову трубу з фокусною відстанню об'єктива $f = 50$ см встановлено на нескінченність. На яку відстань потрібно пересунути окуляр труби, щоб чітко бачити предмети на відстані $d = 50$ м?

168. Зорова труба має фокусну відстань об'єктива $f_1 = 50$ см і фокусну відстань окуляра $f_2 = 10$ см. Визначте кут, під яким видно через трубу два віддалених предмети, якщо в разі спостереження неозброєним оком цей кут дорівнює 30° ? Трубу встановлено на нескінченність.

169. Телескоп має об'єктив з фокусною відстанню 150 см й окуляр з фокусною відстанню 10 см. Під яким кутом зору видно предмети, віддалені від об'єктива на відстань 6 м? На яку відстань пересунули окуляр?

170. Фокусна відстань об'єктива одного з рефракторів в Пулковській обсерваторії дорівнює 14,1 м. Яким є збільшення цього рефрактора в разі використання окуляра з фокусною відстанню 2,5 см?

2. Фотометрія

Основні формули

I. Для точкових джерел світла

Світловий потік Φ крізь певну поверхню становить:

$$\Phi = \frac{W}{\tau},$$

де W – енергія світла, що проходить крізь площу цієї поверхні за час τ .

Сила світла точкового джерела I у будь-якому напрямі:

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

де $d\Omega$ – елементарний тілесний кут.

Повний світловий потік точкового джерела:

$$\Phi = \int_{4\pi} I \cdot d\Omega = 4\pi \cdot I.$$

II. Для реальних просторових джерел світла

Яскравість B :

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

де $d\Phi$ – елементарний потік світла; dS – елементарна площа поверхні джерела; $d\Omega$ – тілесний кут; φ – кут між нормаллю до поверхні та напрямком поширення світла.

Світність поверхні R :

$$R = \frac{d\Phi}{dS},$$

де $d\Phi$ – повний потік, що випромінюється поверхнею dS у тілесний кут 4π .

Світність у випадку ламбертовського випромінювання:

$$R = \pi B.$$

III. Освітленість E поверхні:

$$E = \frac{d\Phi}{dS},$$

де $d\Phi$ – світловий потік, що падає на поверхню; dS – освітлювана поверхня.

Освітленість від точкового джерела:

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

де α – кут між нормаллю до поверхні та напрямком на точкове джерело (кут падіння); r – відстань від елементна поверхні до точкового джерела.

2.1. Приклади розв'язання задач

Задача 2.1. На столі лежить книга на відстані L від основи перпендикуляра, проведеного з електролампи до площини стола. Лампу можна тільки піднімати й опускати (її можна вважати точковим джерелом світла). На якій висоті h над столом слід повісити лампу, щоб освітленість книги була максимальною?

Розв'язання задачі. Нехай сила світла, що випромінюється лампою S , дорівнює I (рис. 2.1). Обчислимо освітленість книги як функцію висоти h лампи над столом.

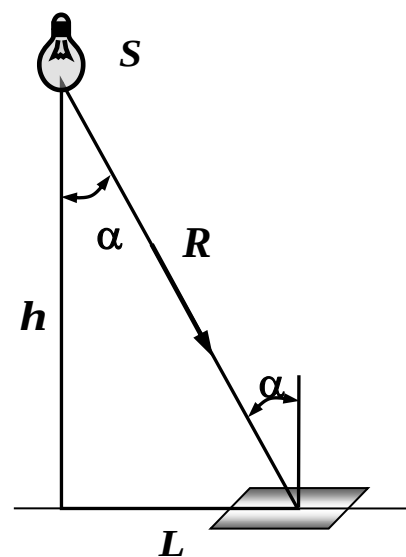


Рис. 2.1

Як видно з рис. 2.1, за будь-якої довільної висоти h відстань від книги до джерела світла дорівнює

$$R = \sqrt{L^2 + h^2},$$

а освітленість книги згідно з формулою освітленості точкового джерела світла становить:

$$E = \frac{I \cos \alpha}{R^2}.$$

Проте з рис. 2.1 випливає: $\cos \alpha = \frac{h}{R}.$

Тоді остаточно маємо:

$$E(h) = \frac{I}{R^2} h = \frac{I \cdot h}{(h^2 + L^2)^{3/2}}.$$

Досліджуючи вираз для $E(h)$ на екстремум, можна легко визначити, що за $E = E_{\max}$ мінімальна висота h_0 дорівнює

$$h_0 = \frac{L}{\sqrt{2}}.$$

Задача 2.2. Об'єктивом з малою світлосилою фотографують предмет зі зменшенням у два рази. Якою буде освітленість фотопластини, якщо фотографувати предмет в тих самих умовах, але із збільшенням $\beta = 1$?

Розв'язання задачі. Перший випадок зображено на рис. 2.2, другий – на рис. 2.3. Послугуючись формулою тонкої лінзи, можна легко обчислити, що в першому випадку відстань від об'єктива до предмета $S_1 = 3f$, а від об'єктива до зображення (фотопластинки)

$$S'_1 = \frac{3}{2}f, \text{ де } f \text{ – фокусна відстань об'єктива.}$$

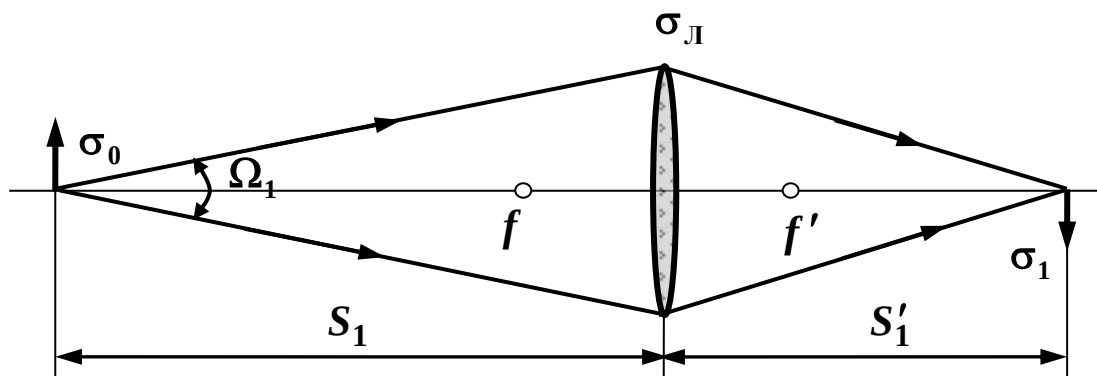


Рис. 2.2

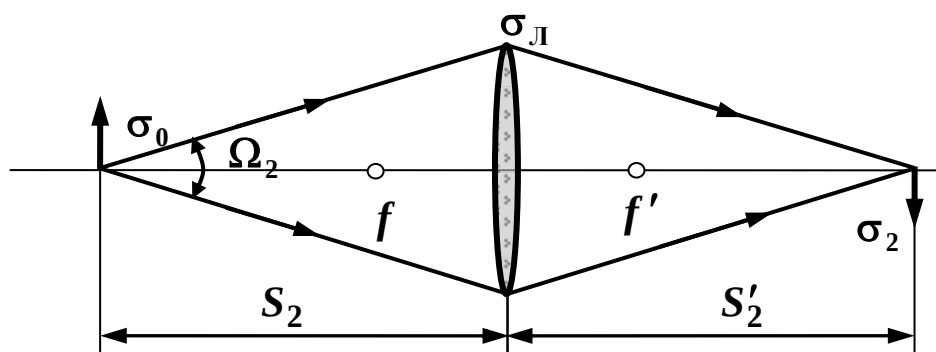


Рис. 2.3

Оскільки

$$\frac{1}{S_1} + \frac{1}{S'_1} = \frac{1}{f}$$

та збільшення:

$$\beta = \frac{S'_1}{S_1} = \frac{1}{2},$$

то:

$$S'_1 = \frac{S_1}{2}, \text{ тобто } \frac{1}{S_1} + \frac{2}{S_1} = \frac{1}{f},$$

або

$$S_1 = 3f.$$

Аналогічно можна показати, що в другому випадку

$$S_2 = 2f; S'_2 = 2f.$$

Світлосила об'єктива невелика, тому площину лінзи, обчислюючи тілесний кут, можна вважати за площину відповідного шарового сегмента. Отже, в першому випадку тілесний кут, під яким з центра предмета видно об'єктив, дорівнює:

$$\Omega_1 = \frac{\sigma_L}{S_1^2},$$

де σ_L – площа лінзи.

В другому випадку:

$$\Omega_2 = \frac{\sigma_L}{S_2^2}.$$

Нехай B – поверхнева яскравість предмета, тоді в першому випадку предмет посиляє на об'єктив світловий потік, який дорівнює:

$$\Phi_1 = B \cdot \sigma_0 \cdot \Omega_1 = \frac{B \cdot \sigma_0 \sigma_L}{S_1^2},$$

де σ_0 – площа предмета.

Зауважимо, що в задачі розглянуто лише параксіальні пучки, тому кожний видимий з будь-якої точки лінзи елемент площі предмета практично дорівнює відповідному справжньому елементу.

Якщо коефіцієнт втрат світла в об'єктиві дорівнює k , то до зображення доходить світловий потік $\Phi'_1 = k\Phi_1$. Отже, освітленість зображення у першому випадку:

$$E_1 = \frac{\Phi'_1}{\sigma_1} = \frac{kB\sigma_0\sigma_L}{\sigma_1 S_1^2},$$

де σ_1 – площа зображення.

Аналогічно в другому випадку:

$$E_2 = \frac{kB\sigma_0\sigma_L}{\sigma_2 S_2^2},$$

але:

$$\frac{\sigma_0}{\sigma_1} = \frac{1}{\beta_1^2} = \frac{1}{(1:2)^2}; \quad \frac{\sigma_0}{\sigma_2} = \frac{1}{\beta_2^2} = \frac{1}{(1:1)^2},$$

тому:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\beta_2^2 \cdot S_2^2}{\beta_1^2 \cdot S_1^2} = \frac{1 \cdot 4 f^2}{0,25 \cdot 9 f^2} = \frac{16}{9},$$

тобто в другому випадку освітленість зображення зменшилась у 16/9 разів.

Задача 2.3. Крізь отвір в кімнату попадає сонячний промінь, який освітлює аркуш білого паперу, що лежить на підлозі. Площа аркуша – S , його освітленість – E , коефіцієнт відбиття паперу – r . Яку освітленість має стеля кімнати над аркушем, якщо її висота над підлогою дорівнює H ?

Розв'язання задачі. Світловий потік, що падає на аркуш паперу, дорівнює

$$\Phi = ES,$$

а розсіюється частина цього потоку:

$$\Phi' = r \cdot \Phi = r \cdot ES.$$

Отже, світність паперу:

$$R = \frac{\Phi'}{S} = r \cdot E.$$

Якщо вважати, що розсіювання світла папером відбувається рівномірно в усіх напрямках, то одиниця площі аркуша паперу випромінює за 1с в одиничний тілесний кут світлову енергію:

$$I = \frac{R}{2\pi} = \frac{r \cdot E}{2\pi}.$$

Цю одиницю площі можна вважати відносно стелі (зрозуміло, за $H \gg \sqrt{S}$) елементарним точковим джерелом, сила світла якого дорівнює

$$I = \frac{r \cdot E}{2\pi}.$$

Отже, згідно з формулою освітленості точкового джерела світла

$$E = \frac{d\Omega}{dS} = \frac{I \cos \alpha}{R^2},$$

одиниця площі аркуша паперу створює перпендикулярно до нього на стелі освітленість

$$E'_S = \frac{I}{H^2} = \frac{r \cdot E}{2\pi \cdot H^2},$$

а весь аркуш паперу дає над собою освітленість в S раз більшу, тобто:

$$E_S = S \cdot E'_S = S \frac{r \cdot E}{2\pi \cdot H^2}.$$

2.2. Задачі до розділу

1. Лампа, що має силу світла 100 кд, закріплена на стелі кімнати. Визначте сумарний світловий потік, що падає на всі стіни і підлогу у кімнаті.

2. Екран освітлюється двома лампами, розміщеними симетрично відносно центра екрана. Відстань від кожної лампи до екрана (вздовж перпендикуляра) – 4 м, відстань між лампами – 2 м. Сила світла кожної лампи – 200 кд. Якої сили світла потрібно узяти одну лампу, розміщену на відстані 6 м над центром екрана, щоб вона дала в центрі екрана таку саму освітленість, як дві згадані лампи?

3. Лампа, підвішена до стелі, дає в горизонтальному напрямку силу світла 60 кд. Який світловий потік падає на картину площею $0,5 \text{ м}^2$, яка висить вертикально на стіні за 2 м від лампи, якщо на протилежній стіні знаходиться велике дзеркало на відстані 2 м від лампи?

4. Велике креслення фотографують спочатку загалом, а потім окремі деталі в натуральну величину. У скільки разів потрібно збільшити час експозиції, фотографуючи деталі креслення?

5. У день весняного рівнодення, 21 березня, на Північній Землі сонце знаходиться у полудень під кутом 10° до горизонту. У скільки разів освітленість вертикальної площини буде більшою за освітленість горизонтальної площини?

6. У полудень під час весняного та осіннього рівнодення сонце знаходиться на екваторі у зеніті. У скільки разів у цей час освітленість поверхні Землі на екваторі більше за освітленість поверхні Землі на широті 45° (широта Києва)?

7. У головному фокусі збиральної лінзи знаходиться точкове джерело світла, що освітлює екран, розміщений за лінзою перпендикулярно її головній оптичній осі. Сила світла джерела – 100 кд, фокусна відстань лінзи – 0,5 м. Визначте освітленість центра екрана.

8. За допомогою тонкої лінзи на екрані отримали зображення протяжного джерела світла з лінійним збільшенням $\beta_1 = 2$. Потім екран пересунули у друге положення, і на ньому знову за допомогою тієї ж тонкої лінзи отримали зображення джерела з лінійним збільшенням $\beta_2 = 5$. Визначте відношення освітленості зображення у цих випадках.

9. Точкове джерело світла, розміщене на деякій відстані від екрана, дає у центрі освітленість 1 лк. Як зміниться освітленість, якщо з другого боку від джерела на тій самій відстані помістити плоске дзеркало, яке відбиває ідеально? Площини екрана і дзеркала паралельні.

10. На деякій відстані від точкового джерела світла встановили екран. Як зміниться освітленість середини екрана, якщо паралельно йому з іншого боку від джерела на такій самій відстані від нього поставити плоске дзеркало? Відстань від джерела до екрана – 1,5 м, сила світла – 50 кд.

11. На відстані $L = 1$ м від невеликого екрана розміщено джерело світла. Посередині між джерелом світла й екраном помістили лінзу. Виявилось, що освітленість екрана не змінилась. Визначте фокусну відстань лінзи.

12. На відстані $L = 5$ м від екрана розміщено диск, який світиться, діаметром $d = 1$ см. Між джерелом світла та екраном помістили збиральну лінзу діаметром $D = 2$ см і за її допомогою отримали на екрані зображення диска. Виявилось, що освітленість зображення дорівнює освітленості лінзи. Визначте фокусну відстань лінзи.

13. Збиральну лінзу з фокусною відстанню $f_1 = 6$ см помістили на відстані $L = 4f_1 = 24$ см від екрана (рис. 2.1). На лінзу вздовж оптичної осі падає паралельний пучок світла. У скільки разів зміниться освітленість у центрі екрана, якщо на шляху променів поставити ще одну збиральну лінзу з фокусною відстанню $f_2 = 12$ см так, що відстань між лінзами дорівнюватиме сумі їх фокусних відстаней?

14. Дві збиральні лінзи з однаковими фокусними відстанями f розмістили на відстані $\frac{f}{2}$ одна від одної (рис. 2.2). З допомогою цієї системи отримали два зображення сонця: одне утворене променями, які після заломлення в лінзі L_2 пройшли повз лінзу L_1 , друге – променями, які пройшли послідовно крізь обидві лінзи. За якого співвідношення діаметрів лінз освітленість зображень буде однаковою?

15. Збиральна лінза діаметром $d = 2$ см з фокусною відстанню $f = 20$ см освітлюється широким паралельним пучком світла. Ідеальне плоске дзеркало розмістили за лінзою так, що 25% світлового потоку, який пройшов крізь лінзу і відбився від дзеркала, знову потрапляє на лінзу. Знайдіть відстань між лінзою і дзеркалом.

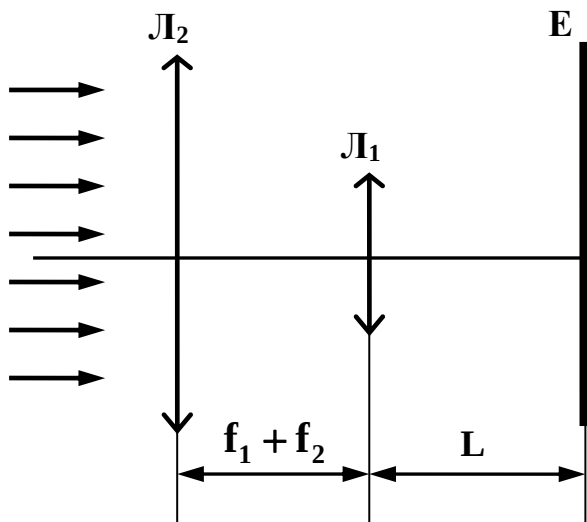


Рис. 2.1

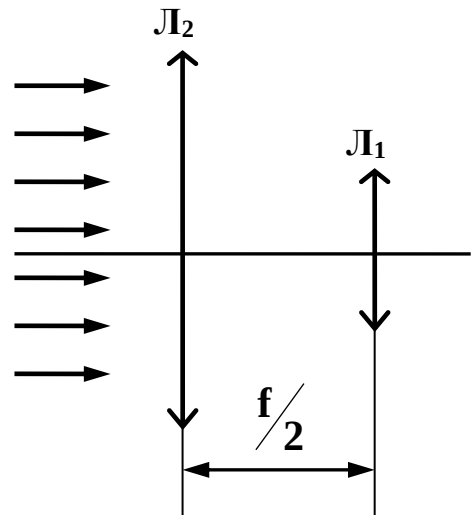


Рис. 2.2

16. На розсіювальну лінзу діаметром $d = 2$ см та фокусною відстанню $f = 20$ см падає широкий паралельний пучок світла. За лінзою на відстані $L = 15$ см розміщене плоске ідеальне дзеркало. Яка частина світлового потоку, що пройшов крізь лінзу, знову впаде на неї, відбившись від дзеркала?

17. У головному фокусі ввігнутого дзеркала з радіусом кривизни $R = 2$ м знаходиться точкове джерело світла. На відстані $L = 10$ м від джерела розміщено екран, перпендикулярний до головної оптичної осі дзеркала. У скільки разів освітленість у центрі світлової плями, що утворюється на екрані, більша за освітленість у тому самому місці екрана, але утворену джерелом, коли немає дзеркала?

18. Від чого легше займеться деревина: ввігнутого дзеркала з діаметром оправы $D = 1$ м та радіусом кривизни $R = 10$ м чи лінзи діаметром $d = 2$ см та з фокусною відстанню $f = 4$ см? Джерелом світла є сонце.

19. Чи правдивою є легенда про те, як грецькі воїни, за порадою Архімеда, спалили дерев'яний корабель римлян за допомогою направлених сонячних променів, відбитих від плоских металевих щитів? Скільки для цього потрібно було б воїнів? Відомо, що у сонячну погоду

вдається підпалити шматок сухого дерева за допомогою лінзи діаметром $d = 3$ см з фокусною відстанню $f = 0,1$ м. Кутовий розмір сонячного диска $\alpha = 0,01$ рад. Діаметр щита $D = 1$ м, відстань до корабля $L = 20$ м.

20. Світильник у вигляді кулі з «матованого» скла створює на відстані 5 м за нормального падіння променів освітленість 6 лк. Визначте яскравість світильника, діаметр якого дорівнює 20 см.

21. Випромінювальна частина люмінесцентної лампи, яку застосовують для освітлення житлових та промислових приміщень, має форму циліндра завдовжки 42 см і діаметр 2,24 см. Потужність лампи – 15 Вт, яскравість – 50 кд/м². Визначте ККД лампи.

22. Згідно з нормами освітлення робочого місця проектувальника освітленість повинна бути 100 лк. На якій висоті від робочого місця треба розмістити лампу світлосилою 100 кд?

23. На якій висоті над креслярською дошкою треба повісити лампу потужністю 200 Вт, щоб мати освітленість дошки під лампою 50 лк? Світловіддача лампи дорівнює 12 лм/Вт. Дошка нахилена під кутом 30°.

24. Визначте силу світла лампи вуличного освітлення, потрібну для того, щоб освітленість на землі посередині між ліхтарями була 0,2 лк. Лампи підвішені на висоті 10 м, відстань між стовпами – 40 м. У розрахунках брати до уваги освітленість, яку дають два сусідні ліхтарі.

25. Лампа, сила світла якої $I = 200$ кд, закріплена на стелі у кімнаті. Визначте сумарний світловий потік Φ , який падає на стіни і підлогу кімнати.

26. Над горизонтальною поверхнею на висоті 2 м і на відстані 1 м одне від одного розміщено два джерела світла, що дають світлові потоки по 300 лм кожне. Визначте освітленість на поверхні: а) в точках під джерелами світла; б) на середині відстані між ними.

27. У центрі квадратної кімнати площею 25 м² висить лампа. Вважаючи лампу точковим джерелом світла, знайти, на якій висоті від

підлоги повинна бути лампа, щоб освітленість у кутках кімнати була найбільшою?

28. Над центром круглого стола діаметром 2 м висить лампа, сила світла якої 100 кд. Вважаючи лампу точковим джерелом світла, визначте зміну освітленості країв стола за поступового піднімання лампи в інтервалі $0,5 \leq h \leq 0,9$ м кожні 10 см. Побудуйте графік $E = f(h)$.

29. Дві лампи силою світла $I_1 = 75$ кд і $I_2 = 48$ кд розміщені одна від одної на відстані $\ell = 1,8$ м. Де потрібно розмістити між ними фотометричний екран, щоб його освітленість була однакова з обох боків?

30. У центрі круглого стола діаметром 1,2 м стоїть лампа, яка має одну електричну лампочку на висоті 40 см від поверхні стола. Над центром стола на висоті 2 м від його поверхні висить люстра, яка має чотири такі самі лампочки. У якому випадку освітленість країв стола буде більшою (й у скільки разів): якщо світиться настільна лампа або коли ввімкнута люстра?

31. Над центром квадратного стола зі стороною $d = 1,5$ м на висоті $h = 1$ м висить лампа. У скільки разів зміниться освітленість у центрі стола, якщо цю лампу повісити на такій самій висоті над одним з його кутів?

32. На висоті $h = 8$ м над землею висить лампа, сила світла якої $I = 100$ Кд. Обчисліть площу ділянки, в межах якої освітленість не менша за $E = 1$ лк.

33. На стовпі одна над одною висять дві лампи на висоті $h = 3$ м і $h = 4$ м над землею з силою світла по $I = 200$ кд. Визначте освітленість поверхні землі на відстані $L = 2$ м від основи стовпа.

34. Освітленість Землі повним Місяцем становить приблизно 0,1 лк. Сила світла найбільш потужних прожекторів сягає $2 \cdot 10^6$ кд. Порівняйте силу світла Місяця з силою світла прожектора, вважаючи,

що земна атмосфера поглинає половину світла, яке йде від Місяця. (Відстань від Землі до Місяця – взяти з дод. 5).

35. Світло від електричної лампочки із силою світла 200 кд падає під кутом 45^0 на робоче місце, його освітленість – 141 лк. Знайдіть: а) на якій відстані від робочого місця знаходиться лампочка; б) на якій висоті вона висить.

36. Предмет під час фотографування освітлюється електричною лампочкою, яка розміщена на відстані 2 м від нього. У скільки разів потрібно збільшити експозицію, якщо цю лампочку відсунути на відстань 3 м від предмета?

37. Знайдіть освітленість на поверхні Землі, яку спричиняють сонячні промені, що падають нормально до поверхні (скористайтесь дод. 5). Яскравість Сонця дорівнює $1,2 \cdot 10^9$ кд/м².

38. Спираль електричної лампочки з силою світла 100 св поміщено у матову сферичну колбу діаметром: а) 5 см і б) 10 см. Визначте світність і яскравість лампи в обох випадках. Втратами світла в оболонці колби знехтуйте.

39. Лампа, в якій тілом, що світиться, є розжарена кулька діаметром 3 мм, дає силу світла 85 кд. Знайти яскравість цієї лампи, якщо сферична колба зроблена: а) з прозорого скла; б) з матового скла. Діаметр колби дорівнює 6 см.

40. На аркуш білого паперу розміром 20×30 см нормально до поверхні падає світловий потік, що вимірюється 120 лм. Знайдіть освітленість, світність і яскравість паперового аркуша, якщо коефіцієнт розсіювання дорівнює 0,75.

41. Над півсферою симетрично розміщено точкове джерело світла силою 50 кд на висоті, що дорівнює діаметру півсфери (рис. 2.3). Визначте освітленість у тій точці поверхні півсфери, на яку промені падають під кутом 35^0 . Радіус півсфери – 1 м.

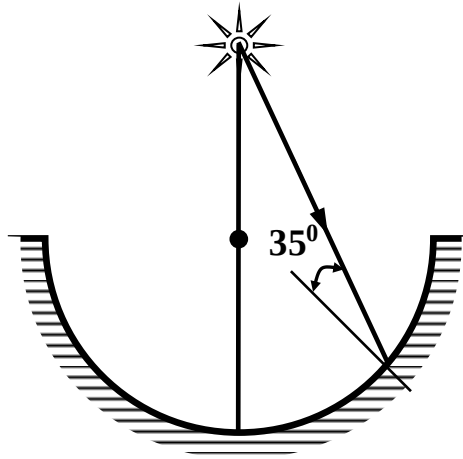


Рис. 2.3

42. Промені сонця освітлюють папір. Як зміниться освітленість паперу, коли на ньому за допомогою тонкої лінзи з оптичною силою 4 дптр і діаметром отвору 6 см дістали зображення Сонця (див. дод. 5)? Кутовий діаметр Сонця становить $30'$.

43. Довжина металічної нитки, розпеченої до білого кольору, 30 см. Діаметр – 0,2 мм. Сила світла нитки у напрямку, перпендикулярному її довжині, $I = 24$ кд. Визначте яскравість нитки.

44. Діаметр об'єктива телескопа дорівнює 60 см, а діаметр зіниці ока – 6 мм. У скільки разів цей телескоп збільшує видиму яскравість зірок?

45. Екран освітлюється прямими сонячними променями. Як зміниться освітленість екрана, якщо між екраном та сонцем на відстані 1 м від екрана, помістити матову скляну кульку діаметром 5 см, яка рівномірно розсіює у всіх напрямках світло, що на нього падає (див. дод. 5)?

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 21. ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ СКЛА ЗА ДОПОМОГОЮ МІКРОСКОПА

Мета роботи – вивчити закони геометричної оптики, хід променів в оптичних системах. Навчитись визначати показник заломлення скла за допомогою мікроскопа (див. дод. 11); розраховувати поперечне зміщення променя у плоско-паралельній пластині.

Для виконання лабораторної роботи потрібно засвоїти такий теоретичний матеріал: закони геометричної оптики.

Вказівки до виконання лабораторної роботи

Сучасні оптичні прилади, які використовують для геодезичних вимірювань, є складними оптично-механічними системами. Оптична частина таких приладів складається з дзеркал, плоско-паралельних пластин, призм, лінз тощо. Для опису поширення світла у цих оптичних системах застосовують закони геометричної оптики.

Геометрична оптика ґрунтується на таких законах:

- *закон прямолінійного поширення світла*: світло в однорідному ізотропному середовищі поширюється прямолінійно;
- *закон незалежності світлових пучків* (принцип суперпозиції): властивості одного пучка світла не залежать від наявності інших пучків світла. f
- *закон відбивання світла*: відбитий промінь і промінь, який падає, лежать в одній площині з перпендикуляром до межі розділення двох середовищ, а кут відбивання дорівнює куту падіння світла ($i' = i$);
- *закон заломлення світла*: промінь, який падає, та заломлений промінь лежать в одній площині з перпендикуляром до межі розділення

двох середовищ; відношення синуса кута падіння i до синуса кута заломлення i'' є величиною сталою для двох середовищ і залежить від показників заломлення середовищ, що межують:

$$\frac{\sin i}{\sin i''} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21} = \frac{1}{n_{12}}$$

Тут n_1 або n_2 означають абсолютні показники заломлення, відповідно до та після межі розділення, через які визначено відносні показники заломлення n_{21} та n_{12} . Абсолютний показник заломлення чисельно дорівнює відношенню швидкості поширення світла у вакуумі до швидкості світла у середовищі $n = \frac{c}{v}$. Тоді відносний показник заломлення:

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}.$$

У вакуумі абсолютний показник заломлення дорівнює 1. Він майже такий самий, як і в атмосфері Землі, тому будемо вважати, що $n_1 = 1$; $n_2 = n$.

В цій роботі застосовують метод вимірювання показника заломлення, оснований на уявному зменшенні товщини прозорої пластини у напрямку поширення параксіальних (тобто майже паралельних) променів, котрі «майже перпендикулярно» падають на поверхню. В досліді використовують плоско-паралельну пластину з оптично прозорого матеріалу з двома розміщеними навхрест рисками на обох поверхнях. Хід променів показано на рис. 21.1, де мікроскоп розміщено вгорі.

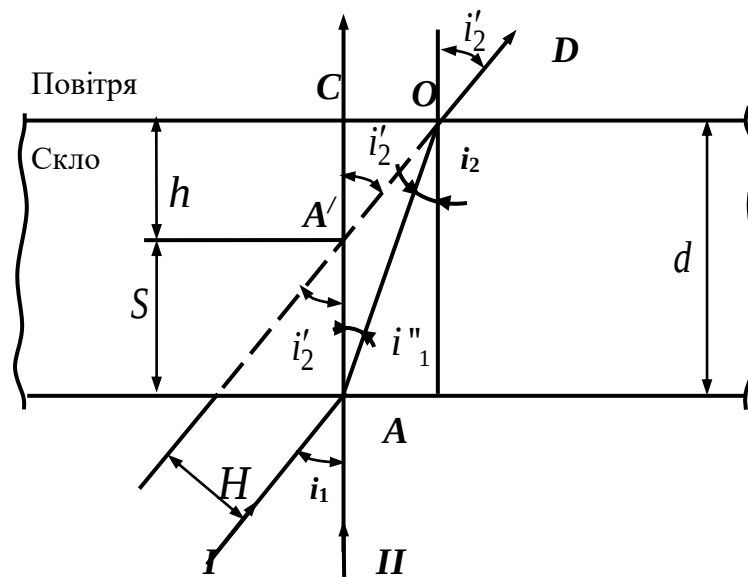


Рис. 21.1

Нехай промінь **I** падає на пластину в напрямку **OD** під малим кутом i_1 , а промінь **II** – в напрямку **AC** перпендикулярно до неї і потрапляють в око спостерігача через мікроскоп. Тоді точку **A** буде видно в положенні **A'** на перетині променя **AC** та продовженні променя **OD**. Зображення точки **A** в **A'** – уявне, а видима товщина пластини $CA' = h$, буде здаватись меншою за дійсну. Величину $S = (d - h)$ називають повздовжнім зміщенням, а величину H – поперечним зміщенням.

Для параксіальних променів, таких як промінь **I**, кут падіння та заломлення малі. В цьому випадку синуси можна замінити на тангенс та, за законом заломлення світла, записати:

$$n = \frac{\sin i_2'}{\sin i_2} = \frac{\operatorname{tgi}_2'}{\operatorname{tgi}_2}$$

З рис. 21.1 видно, що:

$$\operatorname{tgi}_2' = \frac{CO}{CA'}; \operatorname{tgi}_2 = \frac{CO}{CA},$$

тоді:

$$n = \frac{CO}{CA'} \frac{CA}{CO} = \frac{d}{h}. \quad (21.1)$$

Тобто показник заломлення скла можна визначити як відношення дійсної товщини скляної пластини d до її уявної товщини h . Дійсну товщину пластини d вимірюють мікрометром, а уявну h – за допомогою переміщення тубуса мікроскопа від чіткого зображення риски на верхній грані пластинки до чіткого зображення риски на другій поверхні пластини.

З рис. 21.1 відповідно до формули (21.1) випливає, що повздовжнє зміщення через показник заломлення можна записати так:

$$S = d - h = d \left(1 - \frac{1}{n} \right). \quad (21.2)$$

Поперечне зміщення променя для малих кутів падіння вираховують за формулою:

$$H = S \left(\sin i_2' \right) \approx S i_2' = d \left(1 - \frac{1}{n} \right) i_2'. \quad (21.3)$$

Прилади: мікроскоп, мікрометр, скляна пластинка з взаємно перпендикулярними штрихами на обох паралельних поверхнях.

Послідовність виконання роботи

1. Мікрометром виміряйте дійсну товщину скляної пластини.
2. Визначте уявну товщину пластини h , для чого розмістіть її під об'єктивом мікроскопа так, щоб обидва штрихи були в полі зору приладу. Після цього змістіть тубус мікроскопа, щоб отримати чітке зображення штриха на нижній поверхні пластини та визначити показник на шкалі як нульовий. Підніміть тубус мікроскопа до отримання чіткого зображення штриха на верхній поверхні пластини. Переміщення тубуса дає уявну товщину пластини.

3. Визначте показник заломлення скла n за формулою (21.1).
4. Розрахуйте повздовжнє S та, користуючись вказівкою викладача щодо кута падіння, поперечне H зміщення променя за формулами (21.2) та (21.3).

Контрольні запитання

1. Сформулюйте закони геометричної оптики.
2. Побудуйте та поясніть хід променя крізь плоско-паралельну пластину.
3. Поясніть особливість визначення показника заломлення середовища за допомогою мікроскопа.
4. Дайте визначення повздовжнього та поперечного зміщення променя в плоско-паралельній пластині.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 22. ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ РІДИНИ ТА КОНЦЕНТРАЦІЇ РОЗЧИНУ ЗА ДОПОМОГОЮ РЕФРАКТОМЕТРА

Мета роботи – вивчити закони геометричної оптики, явище повного внутрішнього відбивання. Навчитись визначати показник заломлення рідини за допомогою рефрактометра. Визначити концентрацію водного розчину цукру.

Вказівки до виконання лабораторної роботи

Для виконання лабораторної роботи потрібно засвоїти такий теоретичний матеріал: основні закони геометричної оптики, явище повного внутрішнього відбивання.

Визначення показника заломлення рідини за допомогою рефрактометра ґрунтується на закономірностях повного внутрішнього відбивання світла.

Головними оптичними елементами рефрактометра є дві призми (рис. 22.1), виготовлені зі скла (флінтглас, див. дод. 11) та оптична система, яку використовують для спостереження за шкалою.

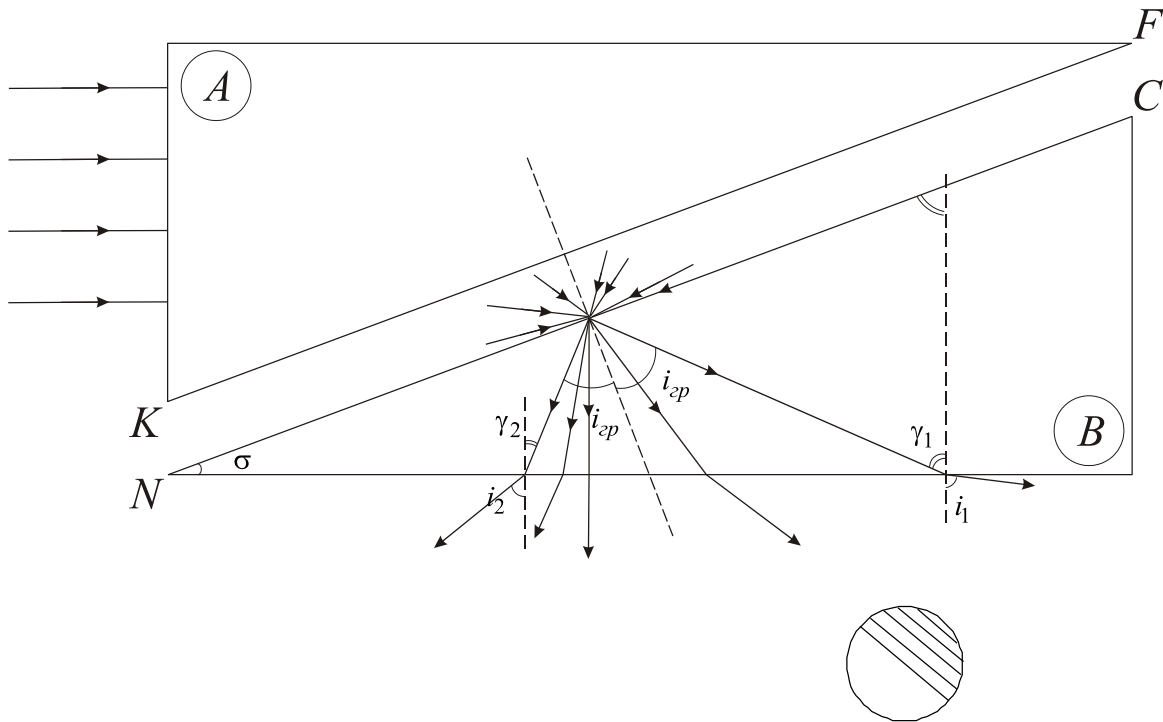


Рис. 22.1

Грань, яку ми бачимо на рисунку як ребро KF призми A , та грань NC призми B паралельні та розміщені на відстані приблизно 0,1 мм. Грань KF призми A є матовою, це потрібно для того, щоб світло попадало в розчин під кутами від 0 до 90 градусів. Візьмемо на грані NC будь-яку точку i проведемо перпендикуляр до грані. Оскільки коефіцієнт заломлення рідини менший, ніж у скла, то навіть ті промені, що поширюються в рідині під кутом 90 градусів до перпендикуляра, зайдуть в призму B під кутом $i_{\text{зп}}$, який визначимо так:

$$\frac{\sin 90^\circ}{\sin i_{\text{зп}}} = \frac{n_{\text{ск}}}{n_p}; \quad n_p = n_{\text{ск}} \sin i_{\text{зп}} \quad (22.1)$$

Таким чином, з кожної точки грані NC в середину призми B будуть розходитись промені в межах тривимірного тілесного кута й утворювати з перпендикуляром до неї кути $i_{\text{зп}} \leq i_{\text{зп}}$. Розглянемо крайні

праворуч і ліворуч промені конуса, зображені на малюнку, і позначимо кути, під якими вони падають на грань NC , відповідно $\gamma_1 = (i_{ep} + \sigma)$; $\gamma_2 = (i_{ep} - \sigma)$ (значення цих кутів легко знайти з геометричних міркувань), а кути, під якими виходять, – i_1 ; i_2 . Ці кути пов'язані формулами:

$$\frac{\sin(i_{ep} + \sigma)}{\sin i_1} = \frac{1}{n_{ск}}; \quad \frac{\sin(i_{ep} - \sigma)}{\sin i_2} = \frac{1}{n_{ск}}. \quad (22.2)$$

На рисунку видно, що промені, які виходять під кутом i_2 , призма B відхиляє ліворуч, тоді як промені, що виходять під кутом i_1 , вона відхиляє праворуч. Рефрактометр налаштований на розгляд променів, що виходять під кутами, близькими до i_1 . Пов'яжемо кут i_1 з коефіцієнтом заломлення розчину n_p , скориставшись формулами (22.1) і (22.2).

$$\begin{aligned} \sin i_1 &= n_{ск} \sin(i_{ep} + \sigma) = n_{ск} \left[\sin i_{ep} \cos \sigma + \sin \sigma \sqrt{1 - \sin^2 i_{ep}} \right]; \\ \sin i_1 &= n_p \cos \sigma + \sin \sigma \sqrt{n_{ск}^2 - n_p^2}. \end{aligned} \quad (22.3)$$

Якщо за гранню ND поставити збиральну оптичну систему, то променів світла праворуч від тих, що вийшли під кутом i_1 (граничний кут), не буде, тому спостерігач побачить праворуч від граничного кута темну зону, а ліворуч – освітлену зону. Граничний кут визначається показником заломлення рідини, який залежить від концентрації розчину. В полі зору окуляра встановлена шкала, яка вгорі проградуєвана за коефіцієнтом заломлення розчину, а внизу – за концентрацією розчиненої речовини. Нульовим значенням шкали з концентрації розчину вважають положення межі для дистильованої води, якій

відповідним є коефіцієнт заломлення $n_0 = 1,33299$. За формулою (22.3) розрахуємо кут відхилення i_0 для дистильованої води:

$$\sin i_0 = n_0 \cos \sigma + \sin \sigma \sqrt{(n_{ск}^2 - n_0^2)}. \quad (22.4)$$

Покладемо в нижній формулі (22.3): $i_1 = i_0 + \varphi$; $n_p = n_0 + x$, де φ ; x – малі відхилення від i_0 та коефіцієнта заломлення для дистильованої води. Розклавши в ряд по малих величинах, отримаємо лінійну залежність кута відхилення границі світла від величини x , для якої в кожному приладі наносять шкалу з певною ціною поділки коефіцієнта заломлення:

$$\varphi = kx; \quad k = \frac{\cos \sigma}{\cos i_0} \left[1 - \frac{n_0 \operatorname{tg} \sigma}{\sqrt{n_c^2 - n_0^2}} \right]. \quad (22.5)$$

Відхилення параметра x від коефіцієнта заломлення дистильованої води залежить від концентрації розчиненої в ній речовини. Для кожної речовини складено таблиці, що пов'язують коефіцієнт заломлення з концентрацією речовини.

В цій роботі слід проградувати шкалу концентрацій шляхом фіксації на шкалі приладу положення межі між світлою і темною зонами для дистильованої води та декількох відомих концентрацій розчину, а потім визначити концентрацію невідомого розчину.

Прилади: рефрактометр; дистильована вода; розчини цукру відомої та невідомої концентрації; допоміжні інструменти для здійснення експерименту.

Послідовність виконання роботи

1. Освітлювальну призму рефрактометра відхилить на певний кут та піпеткою нанесить на поверхню призми **В** дві-три краплини цукрового розчину відомої концентрації.

2. Призму **A** притисніть до призми **B** (товщина шару рідини між призмами – 0,1 мм).

3. Рефрактометр розмістіть так, щоб світло потрапляло на освітлювальну призму.

4. Крізь лупу спостерігайте межу між світлою й темною зонами та шкалу приладу. Якщо ця межа має вигляд різнокольорової смуги, зробіть її монохромною за допомогою гвинта-компенсатора, який розташований ліворуч лупи.

5. Отримавши чітке зображення, почніть вимірювати. Для цього перемістіть спеціальний важіль та досягніть збігу в полі зору трьох  рисок на межі світлої та темної зони. За шкалою приладу визначте показник заломлення рідини.

6. Виміряйте в такій самій послідовності розчини невідомої концентрації та дистильованої води.

7. Побудуйте графік залежності відомої концентрації розчину від показників заломлення (за даними приладу).

8. Користуючись наявним графіком та показником заломлення, визначте невідому концентрацію розчину.

Контрольні запитання

1. У чому полягає явище повного внутрішнього відбивання?
2. Побудуйте хід променів в призмах рефрактометра.
3. Поясніть зв'язок між показником заломлення рідини, її концентрацією та граничним кутом повного внутрішнього відбиття.
4. Сформулюйте закони геометричної оптики.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 23. ВИЗНАЧЕННЯ ФОКУСНОЇ ВІДСТАНІ, ОПТИЧНОЇ СИЛИ ТА РАДІУСА КРИВИЗНИ ЗБИРАЛЬНОЇ ЛІНЗИ

Мета роботи – вивчити закономірності заломлення сферичною поверхнею та лінзою, характерні точки, лінії та поверхні оптичної системи. Визначити оптичні характеристики збиральної лінзи.

Вказівки до виконання лабораторної роботи

Для виконання лабораторної роботи потрібно засвоїти такий теоретичний матеріал: закони заломлення променів сферичною поверхнею та лінзою; утворення зображення предметів за допомогою тонких лінз; формулу тонкої лінзи.

Лінза – це оптична деталь, яка являє собою прозоре тіло, обмежене з двох боків сферичними поверхнями з радіусами кривизни r_1 ; r_2 . Площину, проведену через лінію перетину сфер (очевидно, що це – коло), називають *головною*, а центр кола – *оптичним центром*; будь-яку лінію, що проходить через оптичний центр, називають *оптичною віссю*. Одну з осей виділяють як *головну оптичну вісь* – *перпендикулярну головній площині лінзи*, решту називають *побічними осями*. Лінзу називають *тонкою*, якщо відстань між сферичними поверхнями вздовж головної оптичної осі є значно меншою за найменший з радіусів кривизни. Лінзи поділяються на збиральні та розсіювальні.

Формула тонкої збиральної лінзи (опуклої з обох боків):

$$\Phi = \frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) = \frac{1}{S} + \frac{1}{S'},$$

де $\Phi = \frac{1}{f}$ – оптична сила лінзи; f – *головна фокусна відстань лінзи* –

тобто відстань вздовж головної оптичної осі від центра лінзи до точки, де збираються промені, паралельні цій осі (промені, паралельні побічним осям, збираються в точку на *фокальній площині*, перпендикулярній головній оптичній осі в точці головного фокуса); n – відносний показник заломлення; S – відстань від предмета до лінзи; S' – відстань від лінзи до зображення.

З-поміж декількох способів визначення фокусної відстані та оптичної сили лінзи найточнішим є спосіб Бесселя. За цим способом можна отримати точні величини як для тонких, так і для грубих лінз.

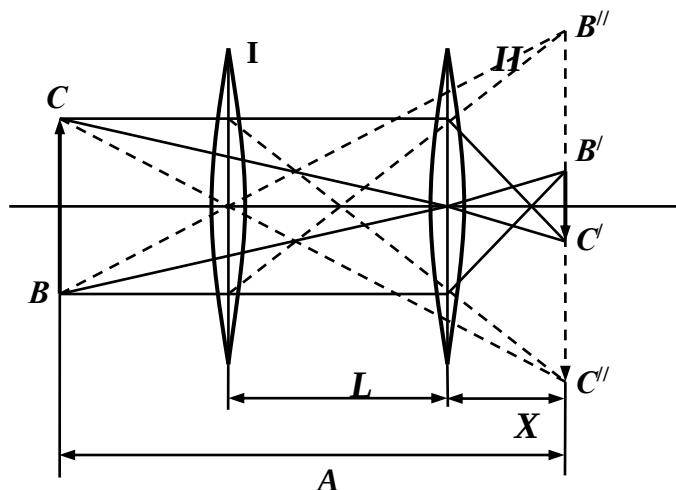


Рис. 23.1

Якщо відстань A від предмета BC до екрана перевищує $4f$ (рис. 23.1), то за різних положень лінзи можна отримати зменшене $B'C'$ або збільшене $B''C''$ зображення предмета.

З формули лінзи визначаємо:

$$f = \frac{S \cdot S'}{S + S'} \quad (23.1)$$

З рисунку 23.1 видно, що для першого положення лінзи I

$$S = A - L - x; \quad S' = x + L; \quad S + S' = A.$$

Підставляючи ці значення у вираз (23.1), отримаємо:

$$f = \frac{(A - L - x)(x + L)}{A}. \quad (23.2)$$

Для другого положення лінзи **II**: $S = (A - x)$; $S' = x$, тому:

$$f = \frac{(A - x) \cdot x}{A}. \quad (23.3)$$

Порівнюючи праві частини рівнянь (23.2) і (23.3), маємо:

$$x = \frac{(A - L)}{2}. \quad (23.4)$$

Підстановка цього розв'язку у формулу (23.2) або (23.3) дає:

$$f = \frac{(A^2 - L^2)}{4A}. \quad (23.5)$$

У нашому досліді використана лінза з однаковими радіусами кривизни ($r_1 = r_2 = r$), що дає змогу за формулою лінзи визначити радіус r через спостережні величини і коефіцієнт заломлення:

$$r = 2f(n - 1) = \frac{(A^2 - L^2)}{2A}(n - 1). \quad (23.6)$$

Прилади: на оптичній лаві позитивна лінза з однаковими радіусами кривизни, предмет у вигляді стрілки в отворі освітлювача, екран. Вздовж оптичної лави закріплено вимірювальну рейку.

Послідовність виконання роботи

1. Лінзу розмістіть на оптичній лаві в положенні **I** (рис. 23.1) так, щоб досягти чіткого збільшеного зображення предмета на екрані, і позначте це місце на лавці.
2. Вимірювальною рейкою визначте відстань A між предметом і екраном.
3. Лінзу пересувайте в бік екрана, доки не отримаєте чіткого зменшеного зображення предмета.
4. Виміряйте відстань x від лінзи до екрана, а також відстань L до попереднього положення лінзи.

5. Фокусну відстань лінзи розрахуйте за формулою (23.5), оптичну силу визначте як величину, зворотну фокусній відстані.

6. Радіус кривизни лінзи розрахуйте за формулою (23.6). Величину показника заломлення лінзи дає викладач.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення таких понять: фокус, фокусна відстань, оптична сила лінзи, головна оптична вісь, головна площина лінзи, фокальні площини.

2. Побудуйте зображення, утворені лінзою за різних положень предмета відносно лінзи.

3. У чому полягає особливість методу, який застосовують у цій роботі, для визначення фокусної відстані й оптичної сили лінзи?

4. Сформулюйте основні закони геометричної оптики.

5. Запишіть формулу оптичної сили тонкої лінзи.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 24. ВИЗНАЧЕННЯ ФОКУСНОЇ ВІДСТАНІ ТА ПОЛОЖЕННЯ ГОЛОВНИХ ПЛОЩИН СКЛАДНОЇ ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ

Мета роботи – вивчити особливості складної оптичної системи та засвоїти її основні характеристики і принцип побудови зображень. Визначити фокусну відстань системи лінз та лінійне збільшення зображення предмета; розрахувати відстань між головними площинами системи лінз.

Вказівки до виконання лабораторної роботи

Для виконання лабораторної роботи потрібно засвоїти такий теоретичний матеріал: особливості проходження променя світла крізь

складну оптичну систему та принцип побудови зображення предметів в таких системах.

Якщо дві лінзи розмістити на деякій відстані одна від одної, то їх можна розглядати як складну оптичну систему.

Складна оптична система схематично зображена на рис. 24.1, де кривими лініями позначені крайня ліва і крайня права сферичні поверхні лінз, через центри кривизни яких проходить *головна оптична вісь системи*. Літерами F_1 і F_2 показані лівий і правий *фокуси системи* (тобто точки, в яких збираються промені, паралельні головній оптичній осі, що поширюються, відповідно, праворуч та ліворуч від системи). Площини H і H' , перпендикулярні до головної оптичної осі, називають *головними площинами*, точки перетину з нею H_1 і H_2 – *головними точками*, а відрізки $F_1H_1 = f_1$; $F_2H_2 = f_2$ – *фокусними відстанями*.

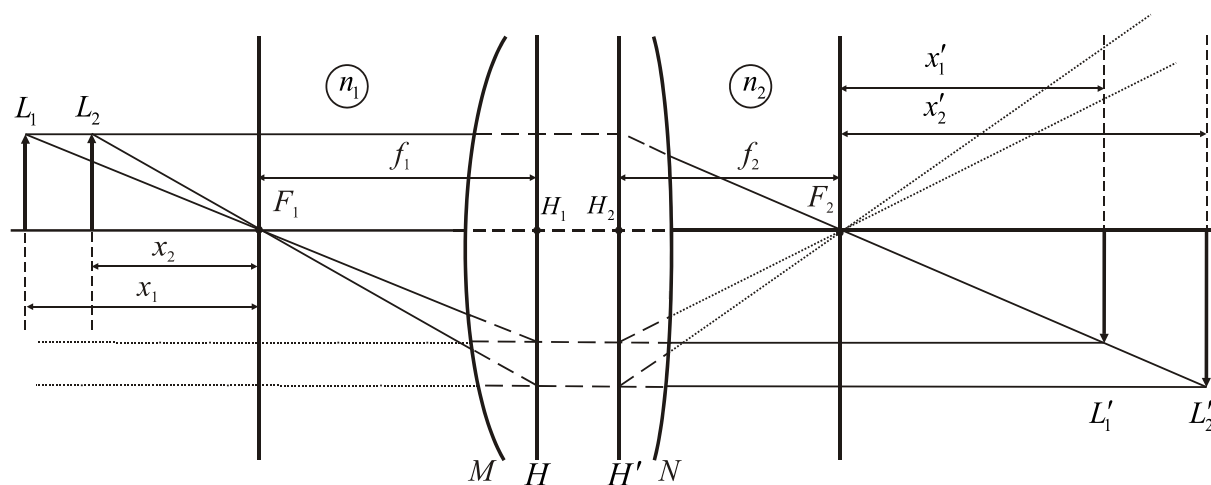


Рис. 24.1

Для знаходження положення *лівої головної площини* розглянемо промені, які йдуть до правої сферичної поверхні справа наліво (зображені суцільною лінією) паралельно головній оптичній осі і перетинаються, після виходу з лівої сферичної поверхні, у фокусі F_1 . Шлях променів між сферичними поверхнями ми не знаємо, тому для

зручності при побудові зображень вводимо поняття *головної площини* таким чином: продовжуємо паралельні промені вліво за лінзу (зображені крапками) і продовжуємо промені, що сходяться до фокуса F_1 , до перетину з названими прямими. Геометричне місце таких точок перетину утворить *ліву головну площину*. Аналогічним чином утворюють *праву головну площину*. Очевидно, що відрізок $H_1H_2 = d$ характеризує відстань між головними площинами, яка дорівнює

$$d = l_2 - (x_2 + x'_2 + 2f) = l_2 - f(\Gamma_2^{-1} + \Gamma_2 + 2) = l_2 - \frac{f}{\Gamma_2}(1 + \Gamma_2)^2.$$

Тоді зображення будують таким чином: промені від предметів $L_1; L_2$, які проходять через фокус F_1 , продовжуємо до перетину з *лівою головною площиною*, і далі ведемо паралельно головній оптичній осі, а промені від предметів, що йдуть паралельно головній оптичній осі, продовжуємо до *правої головної площини* і далі проводимо через фокус F_2 . В точках перетину цих променів праворуч від лінзи отримаємо зображення предметів $L'_1; L'_2$.

Площини, перпендикулярні головній оптичній осі в точках $F_1; F_2$, називають *фокальними площинами*.

Відношення лінійних розмірів зображення до лінійних розмірів предмета називають лінійним збільшенням лінзи. З подібності трикутників за першого і другого розміщення предмета відносно лінзи отримаємо такі вирази для збільшення за двох положень джерела відносно лінзи:

$$\Gamma_1 = \frac{L'_1}{L_1} = \frac{f_1}{x_1} = \frac{x'_1}{f_2}; \quad \Gamma_2 = \frac{L'_2}{L_2} = \frac{f_1}{x_2} = \frac{x'_2}{f_2}. \quad (24.1)$$

Ці рівняння доповнимо ще одним співвідношенням (доведення можна знайти літературні [5]), яке наводимо з огляду на те, що всі

відрізки на рис. 24.1 визначені як додатні величини, а величини n_1 ; n_2 означають абсолютні показники заломлення середовища, відповідно, ліворуч і праворуч від лінзи (див. дод. 11):

$$f_1 n_2 = f_2 n_1 \quad (24.2)$$

У лабораторній роботі поставлене завдання вирахувати відстань між головними площинами за умови, що $L = L_1 = L_2$; $n_1 = n_2$, тоді з наведених вище формул отримуємо:

$$f_1 = f_2 = f; \quad x_1 = \frac{f}{\Gamma_1}; \quad x_2 = \frac{f}{\Gamma_2}; \quad x'_1 = f\Gamma_1; \quad x'_2 = f\Gamma_2. \quad (24.3)$$

Використовуючи ці співвідношення, можна легко розрахувати відстань від екрана, на якому отримуємо чітке зображення предмета для обох положень джерела відносно лінзи:

$$l_1 = x_1 + x'_1 + 2f + d; \quad l_2 = x_2 + x'_2 + 2f + d. \quad (24.4)$$

Звідси, зважаючи на вираз (24.3), маємо:

$$l_2 - l_1 = f \left[\left(\frac{1}{\Gamma_2} - \frac{1}{\Gamma_1} \right) + (\Gamma_2 - \Gamma_1) \right]; \quad f = \frac{\Gamma_1 \Gamma_2 (l_2 - l_1)}{(\Gamma_2 - \Gamma_1)(\Gamma_1 \Gamma_2 - 1)}. \quad (24.5)$$

Отримане значення фокальної відстані f використаємо у формулі (24.4) для розрахунку відстані між головними площинами:

$$d = l_2 - (x_2 + x'_2 + 2f) = l_2 - f(\Gamma_2^{-1} + \Gamma_2 + 2) = l_2 - \frac{f}{\Gamma_2}(1 + \Gamma_2)^2. \quad (24.6)$$

Таким чином, для визначення фокусної відстані системи лінз f за формулою (24.5) треба визначити лінійні збільшення системи за двох положень предмета відносно системи лінз. Це дасть можливість розрахувати за формулою (24.6) відстані між головними площинами, а також знайти положення *головних площин* відносно *фокальних площин*.

Послідовність виконання роботи

1. Визначення відстані предмета від його зображення за двох його положень відносно лінзи:

а) пересуваючи вздовж оптичної осі предмет та лінзу, отримати чітке зображення предмета на екрані;

б) виміряти розміри предмета L та зображення L_1' , розрахувати збільшення Γ_1 і взяти відлік положення предмета на оптичній осі l_1 ;

в) змістити предмет відносно лінзи й екрана до отримання чіткого зображення предмета L_2' , розрахувати збільшення Γ_2 і взяти відлік нового положення предмета на оптичній осі l_2 .

2. Обчислити фокусну відстань системи лінз f за формулою (24.5).

3. Розрахувати відстань d між головними площинами за формулою (24.6).

4. Встановити джерело світла на відстані приблизно $(10f)$ від лінзи, яку треба розмістити так, щоб на екрані було чітке зображення предмета. В цьому випадку екран практично збігатиметься з *фокальною площиною*. Якщо від екрана відкласти в бік лінзи відстань f , то ця точка буде належатиме *головній площині складної лінзи*. Це дасть нам можливість отримати уявлення про розміщення *головних площин*, які вводять формально для полегшення побудови зображень, утворених складною лінзою.

Контрольні запитання

1. Запишіть формулу тонкої лінзи.
2. Дайте визначення складної оптичної системи.
3. Поясніть геометричний і фізичний зміст таких понять: головна оптична вісь; фокус; фокальна площина.

4. Поясніть, навіщо вводять поняття головних оптичних площин. У чому полягає принцип їх побудови?

5. Як експериментально можна визначити положення фокальних і головних площин складної лінзи?

6. Виведіть формулу для відстані між головними площинами, аналогічну виразу (24.6), у разі розміщення джерела відносно екрана на відстані l_1 .

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 25. ВИВЧЕННЯ ЗОРОВОЇ ТРУБИ

Мета роботи: вивчити основні оптичні характеристики зорової труби та визначити їх шляхом безпосередніх вимірювань і розрахунків.

Вказівки до виконання роботи

Для виконання роботи треба вивчити такий теоретичний матеріал: заломлення променів на сферичній поверхні; хід променів через тонку лізу (побудова зображення предметів); оптичні системи.

Одними з найперших оптичних приладів були зорові труби. Зорові труби (телескопи) озброюють око та дають можливість розглядати предмети, які знаходяться на значній відстані від спостерігача. В зоровій трубі на вході розміщують об'єктив L_1 (лінзу з великою фокусною відстанню), а на виході – окуляр L_2 (короткофокусну лінзу) (рис. 25.1). Дійсне (зменшене й обернене) зображення віддаленого предмета, яке утворює об'єктив, розглядаємо за допомогою окуляра, який відіграє роль лупи. Для того, щоб отримати чітке зображення в оці спостерігача, систему треба фокусувати, тобто пересувати окуляр відносно об'єктива.

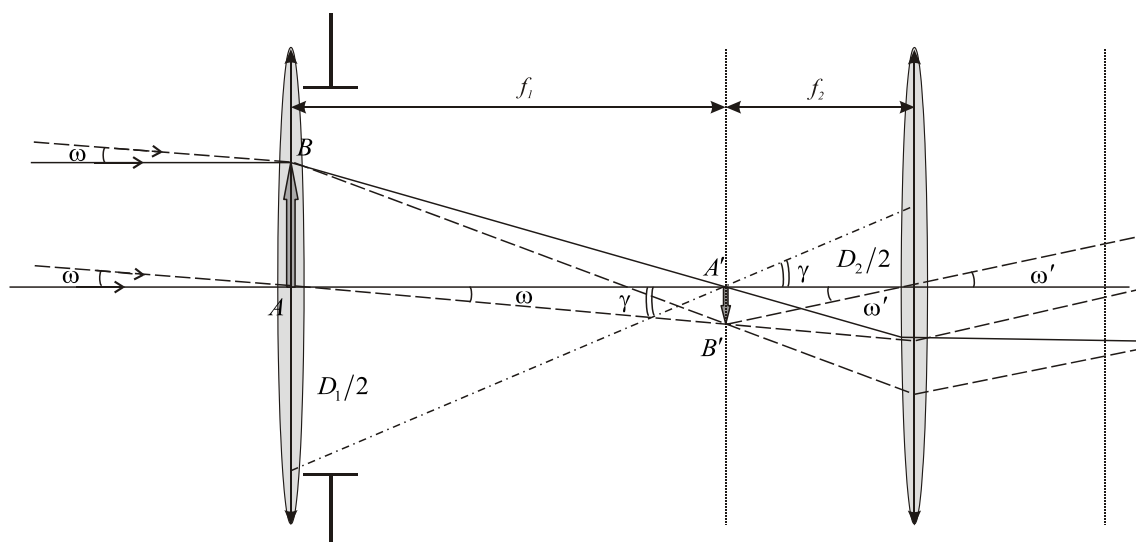


Рис. 25.1

Головними особливостями роботи телескопічної системи є такі:

I. Промені від предмета потрапляють в об'єктив практично паралельно до головної оптичної осі (параксіальні промені), оскільки предмет знаходиться на значній відстані від об'єктива, тому зображення утворюється практично у задній фокальній площині об'єктива.

II. Передня фокальна площина окуляра має збігатися із зображенням, яке утворює об'єктив, тому що на виході промені повинні бути практично паралельними, бо око в стані спокою акомодоване на сприйняття паралельних променів.

У реальних оптичних системах промені світла, які потрапляють у систему, обмежують польовою та апертурною діафрагмами – непрозорими екранами з отвором. Польова діафрагма (розміщена біля окуляра) обмежує поле зору. Апертурна діафрагма (біля об'єктива) обмежує кількість променів, які потрапляють в систему, тобто впливає на освітленість системи.

Головними оптичними характеристиками телескопічної системи є *видиме збільшення; поле зору; світлосила; роздільна здатність*.

Видиме збільшення телескопічної системи визначають як відношення тангенсів кутів ω та ω' , які можна легко пов'язати з розмірами u в фокальній площині $A'B' = l'$ та фокальними відстанями

$f_1; f_2$. Останні можна також пов'язати з ефективними діаметрами $D_1; D_2$ об'єктива й окуляра, пов'язані один з одним через кут γ відповідними діафрагмами (див. рис. 25.1).

$$\Gamma = \frac{\operatorname{tg} \omega'}{\operatorname{tg} \omega}; \quad \operatorname{tg} \omega = \frac{l'}{f_1}; \quad \operatorname{tg} \omega' = \frac{l'}{f_2}; \quad \frac{D_1/2}{f_1} = \frac{D_2/2}{f_2} = \operatorname{tg} \gamma.$$

З цих співвідношень випливає:

$$\Gamma = \frac{f_1}{f_2} = \frac{D_1}{D_2}. \quad (25.1)$$

Поле зору оптичного приладу називають ту частину простору предметів, промені від яких попадають в тілесний кут 2ω і дають такі зображення у фокальній площині, які видно крізь *польову діафрагму* окуляра.

Очевидно, що *світлосила*, тобто яскравість зображення предмета в фокальній площині, пропорційна площі об'єктива (більше збираємо променів від джерела) й обернено пропорційна квадрату відстані від об'єктива до зображення:

$$A = \left(\frac{D_1}{f_1} \right)^2. \quad (25.2)$$

Унаслідок дифракції світла на входному отворі телескопа кожна світна точка поля предметів утворює, крім центрального максимуму, систему концентричних кілець. *Роздільною здатністю зорової труби* називають найменший кут α , під яким у трубі ще видно окремі зображення двох світних точок на темному фоні. Цей кут визначають за критерієм Релея: $\sin \alpha \simeq \alpha = 1,22 \frac{\lambda}{D_1}$. (Кут α визначають у радіанах).

Як бачимо, роздільна здатність залежить від довжини хвилі. Оскільки людське око є найбільш чутливим за $\lambda = 5,6 \times 10^{-7}$ метра (в цій ділянці

спектра випромінення сонця є найпотужнішим!), то для розрахунку роздільної здатності телескопа часто використовують формулу:

$$\alpha'' = 140 / D_1, \quad (25.3)$$

яку отримали з формули Релея після підстановки вказаного значення довжини хвилі та переведення радіан в кутові секунди дуги, **причому діаметр вхідного отвору вимірюють в міліметрах.**

Послідовність виконання роботи

1. Визначення видимого збільшення зорової труби (спосіб 1).

1.1. За допомогою лінійки або штангенциркуля виміряйте діаметр об'єктива (діаметр вхідної апертурної діафрагми) D_1 .

1.2. Спрямуйте зорову трубу на джерело світла (вікно, електричну лампу), за окуляром розмістіть аркуш тонкого білого паперу (на відстані 8...10 мм). Змінюючи відстань між папером та окуляром, отримайте зображення об'єктива труби – чітку світлу пляму, діаметр якої дорівнює діаметру вихідної апертурної діафрагми D_2 .

1.3. Виміряйте D_2 три рази і знайдіть його середнє значення. За формулою (25.1) визначте видиме збільшення зорової труби.

2. Визначення видимого збільшення Г зорової труби (спосіб 2).

2.1. Спрямуйте зорову трубу на лінійку, розміщену на відстані 5...8 м, і спостерігайте її поділки обома очима – одним оком крізь трубу, а

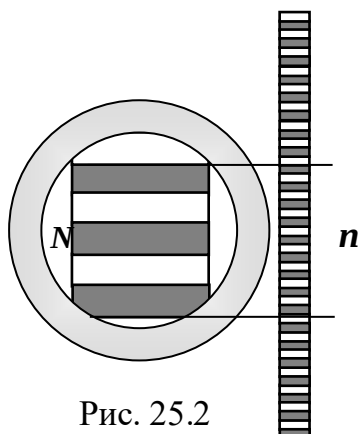


Рис. 25.2

другим – безпосередньо. У зоровому центрі з'явиться подвійне зображення поділок лінійки (рис. 25.2). Полічіть відповідну їм кількість поділок лінійки n , що спостерігаються безпосередньо оком, та кількість поділок лінійки N , які видно в окулярі.

2.2. Розрахуйте збільшення зорової труби Γ за формулою:

$$\Gamma = \frac{n}{N}. \quad (2.4)$$

2.3. Вимірювання виконайте три рази й обчисліть середнє значення.

3. Визначення поля зору труби.

3.1. Визначте довжину відрізка l , відповідну максимальній кількості поділок лінійки, які видно крізь окуляр зорової труби. (Ціна поділки лінійки – 1 см!)

3.2. Виміряйте відстань від лінійки до середини зорової труби L .

3.3. Розрахуйте поле зору труби за формулою (коефіцієнт 57,3 вводимо для перерахунку радіан в градуси):

$$2\omega = 57.3 \frac{l}{L}. \quad (25.5)$$

4. За формулою (25.2) розрахуйте світлосилу A зорової труби.

5. Розрахуйте роздільну здатність зорової труби α в секундах дуги за формулою (25.3). *Увага:* діаметр об'єктива (D_1) підставляйте у формулу в міліметрах.

6. Результати всіх вимірювань запишіть у табл. 25.1.

Таблиця 25.1

$D_1, м$	$D_2, м$	n	N	$l, м$	$L, м$

Контрольні запитання

1. Побудуйте зображення в тонких лінзах.
2. Напишіть формулу тонкої лінзи.
3. Які оптичні деталі ви знаєте? Поясніть їх призначення.
4. Побудуйте зображення предмета у телескопічній системі.
5. Назвіть головні умови роботи телескопічних систем.
6. Назвіть оптичні характеристики телескопічної системи.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 26. ВИВЧЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ МІКРОСКОПА

Мета роботи: ознайомитись з будовою мікроскопа, вивчити і практично визначити деякі його оптичні характеристики.

Вказівки до виконання роботи

Для виконання роботи слід засвоїти такий теоретичний матеріал: отримання зображення предметів за допомогою лінз; оптичні системи.

Мікроскоп озброює око та дає можливість роздивлятися маленькі предмети. Неозброєне око не може бачити дрібні предмети, оскільки промені від них потрапляють в око під кутом зору меншим, ніж його роздільна здатність. Саме для збільшення кутів, під якими промені від кожної точки предмета попадають в око, використовують мікроскопи.

Схему оптичної системи мікроскопа подано на рис. 26.1.

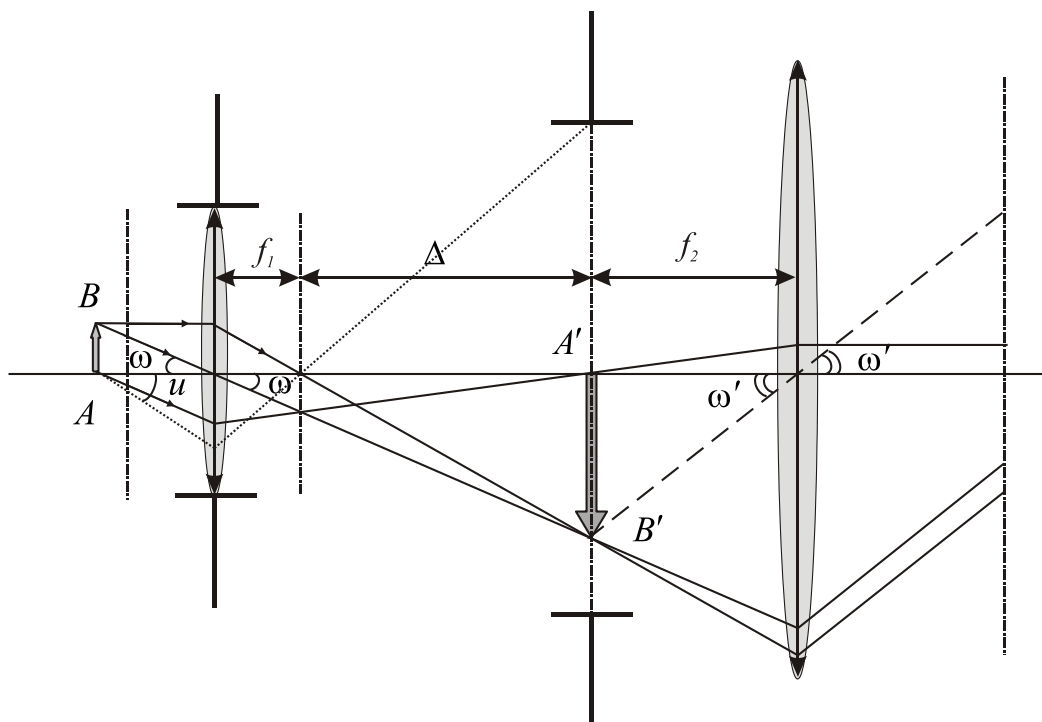


Рис. 26.1

Малий предмет $AB = l$ розміщуємо поблизу переднього фокуса об'єктива (лінза з фокусною відстанню f_1 декілька міліметрів), який дає

збільшене дійсне зображення $A'B' = l'$. З цим зображенням сумістимо передню фокальну площину окуляра (лінза з фокусною відстанню f_2 приблизно 15 мм. На виході з окуляра кожна точка зображення $A'B'$ створює паралельний пучок променів під кутом ω' , який око людини перетворює на зображення предмета, розміщене на відстані найкращого зору від ока $D_0 \approx 25$ см.

Головними оптичними характеристиками мікроскопа є такі: *видиме збільшення, величина поля зору та числова апертура об'єктива*.

Видиме збільшення визначають так:

$$\Gamma = \frac{\operatorname{tg} \omega'}{\operatorname{tg} \omega_0}, \quad (26.1)$$

де $\operatorname{tg} \omega_0 = \frac{l}{D_0}$; ω_0 – кут, під яким око бачило би предмет розміром l

на відстані D_0 . З рис. 26.1 легко встановити такі співвідношення (в них узято до уваги, що в реальних мікроскопах $\Delta \gg f_1$):

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{l}{f_1} = \frac{l'}{f_1 + \Delta}; \Rightarrow l' = \frac{l(f_1 + \Delta)}{f_1} \approx \frac{l\Delta}{f_1}; \operatorname{tg} \omega' = \frac{l'}{f_2} = \frac{l\Delta}{f_1 f_2}, \quad (26.2)$$

після підстановки яких в у вираз (26.1) отримаємо формулу для розрахунку реального збільшення мікроскопа:

$$\Gamma = \frac{D_0 \Delta}{f_1 f_2}. \quad (26.3)$$

Поле зору мікроскопа визначають діаметром кола $2l_{\max}$ в просторі предметів, зображення якого збігається з польовою діафрагмою приладу (на рис. 26.1 польова діафрагма відповідна максимально можливному

зображенню $d = 2l'_{\max}$). Тоді з останнього рівняння у виразах (26.2) отримаємо формулу для розрахунку величини поля зору мікроскопа:

$$2l_{\max} = \frac{d \cdot f_1}{\Delta}. \quad (26.4)$$

Властивість мікроскопа збільшувати зображення предмета суттєво обмежена хвильовою природою світла, завдяки якій кожна світна точка предмета перетворюється в пляму, діаметр якої розраховують за формулою:

$$\delta = \frac{1.22\lambda}{A}; \quad A = n \sin u. \quad (26.5)$$

Тут λ – довжина хвилі; n – коефіцієнт заломлення середовища, в якому знаходиться предмет дослідження; кут u зображено на рис. 26.1 (він пов'язаний з польовою діафрагмою приладу). Параметр A – *числова апертура об'єктива*.

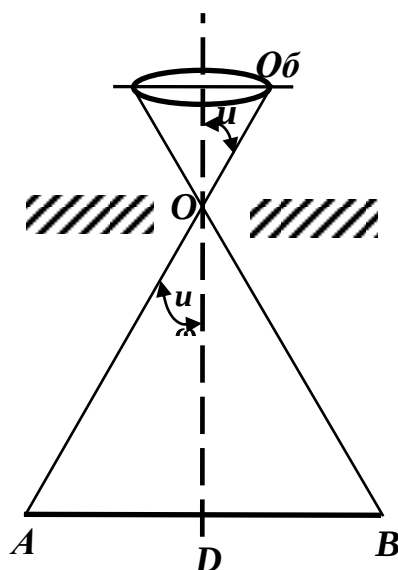


Рис. 26.2

Найменша відносна різниця освітленості, яку помічає око, становить чотири відсотки. Ця величина відповідає граничному розміру предмета, який можемо побачити:

$$\delta_{\min} = 0,42\delta = \frac{0.51\lambda}{A}. \quad (26.6)$$

Діаметр плями можна зменшити, збільшивши кут u (об'єктив беруть короткофокусним!), а також уміщуючи піддослідний предмет в прозору рідину з

великим коефіцієнтом заломлення. Найбільша досягнута величина апертури становить $A_{\max} = 1.6$, що дає змогу розглядати предмети розміром більш ніж 0,17 мкм (ця величина відповідає збільшенню у 1000 разів!). Подальше збільшення не сприятиме розрізненню деталей.

Послідовність виконання роботи

1. Визначення видимого збільшення мікроскопа.

1.1. На предметному столику в полі зору мікроскопа розмістіть об'єктний мікрометр так, щоб його шкала була вертикальною.

1.2. На підставці поряд з мікроскопом на відстані найкращого зору від окуляра розмістіть міліметрову лінійку так, щоб вона була паралельною до шкали об'єктного мікрометра.

1.3. Одним оком дивіться на об'єктний мікрометр крізь мікроскоп, а другим – на лінійку поряд з мікроскопом. При цьому визначте, скільки поділок міліметрової лінійки N вкладається в одну поділку n_0 об'єктного мікрометра.

1.4. За формулою $\Gamma = N/n_0$, відповідно до ціни поділки об'єктного мікрометра та міліметрової лінійки, розрахуйте видиме збільшення мікроскопа Γ .

2. Визначення числової апертури мікроскопа, коли $n=1$, тобто предмет знаходиться в повітрі.

2.1. На предметний столик мікроскопа слід покласти непрозору пластину з дуже малим отвором і сфокусувати мікроскоп на цьому отворі.

2.2. Відхиліть вбік освітлювальне дзеркало мікроскопа і під непрозорою пластинкою на відстані $OD = 10$ см (див. рис. 26.2) розмістіть міліметрову лінійку. Вийміть окуляр з оправы.

2.3. Розглядаючи лінійку крізь тубус мікроскопа, виміряйте відстань $AB = 2AD$ (див. рис. 26.2) (межі поля зору), тобто полічіть кількість поділок лінійки, видимих крізь отвір у непрозорій пластинці. Визначте числову апертуру за формулою:

$$A = \sin u = \frac{AD}{AO} = \frac{AD}{\sqrt{AD^2 + DO^2}}.$$

2.4. Обчисліть мінімальний розмір предмета, який можна розрізнити мікроскопом за формулою (26.6) для довжини хвилі $\lambda = 5,55 \cdot 10^{-7}$ метра (максимум чутливості ока до світла).

Контрольні запитання

1. Поясніть призначення мікроскопа як оптичної системи.
2. Поясніть принципову відмінність оптичної системи мікроскопа від телескопічної системи.
3. Назвіть основні оптичні характеристики мікроскопа Як їх визначають у цій лабораторній роботі?
4. Побудуйте хід променів у мікроскопі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Савельев И.В.* Курс общей физики в 3 т. / И.В. Савельев. – Т. 2. – М.: Наука, 1986–1987. – 431 с.
2. *Трофимова Т.И.* Курс физики / Т.И. Трофимова. – М.: ACADEMIA, 2005. – 560 с.
3. *Ландсберг Г.С.* Оптика / Г.С. Ландсберг. – М.: Наука, 1976. – 926 с.
4. *Загальний курс фізики: в 3 т. / за ред. проф. І.М.Кучерука. – Т.3 – К.: Техніка, 2006. – 518 с.*
5. *Загальні основи фізики: навч. посіб. / І.Г. Богацька, Д.Б. Головка, А.А. Малярєнко та ін.; за ред. Д.Б. Головка, А.А. Ментковського. – Кн. 2. – К.: Либідь, 1998. – 192 с.*
6. *Чолпан П.П.* Фізика: навч. посіб. / П.П. Чолпан. – К.: Вища шк., 2004. – 567 с.
7. *Кармазін В.В.* Курс загальної фізики: навч. посіб. / В.В. Кармазін. – К.: Кондор, 2009. – 785 с.
8. *Сивухин Д.В.* Общий курс физики: учеб. пособие: в 5 т. / Д.В. Сивухин – Т.4. – М.: Наука, 1985. – 751 с.
9. *Денисов А.Е..* Физика в прикладной геодезии / А.Е. Денисов, Г.Д. Потапенко. – К.: Высш. шк., 1991. – 351 с.
10. *Физический энциклопедический словарь / под ред. А.М. Прохорова – М.: Сов. энциклопедия, 1984. – 943 с.*

Програма спецкурсу

1. Основні закони геометричної оптики. Закон прямолінійного поширення світла. Закон незалежності поширення світлових променів. Закон відбивання світла. Закон заломлення світла. Абсолютний і відносний показники заломлення світла. Оберненість ходу світлових променів.

2. Явище повного внутрішнього відбивання. Граничний кут, його зв'язок з показником заломлення.

3. Плоскі дзеркала. Побудова зображень у плоскому дзеркалі. Зміна напрямку променя плоским дзеркалом. Зміна напрямку променя внаслідок повороту дзеркала на кут. Плоске дзеркало зі зовнішньою та внутрішньою поверхнями відбивання.

4. Система двох плоских дзеркал: паралельних та непаралельних.

5. Плоскопаралельна пластина. Хід променя крізь плоскопаралельну пластину. Поперечне і повздовжнє зміщення променя.

6. Призми. Типи призм: відбивальні, заломлювальні, розділювальні. Оптичний клин. Хід променя крізь оптичний клин. Зміна напрямку променя внаслідок проходження крізь оптичний клин.

7. Правила знаків. Заломлення променів сферичною поверхнею. Нульовий варіант Аббе. Рівняння нульового променя.

8. Лінзи. Тонка лінза. Формула оптичної сили тонкої лінзи. Формула оптичної сили з поправкою на товщину лінзи.

9. Типи лінз. Формула оптичної сили лінз різного типу.

10. Поняття про ідеальну оптичну систему. Лінійне, кутове і видиме збільшення. Формула Ньютона. Побудова зображень у лінзах.

11. Система декількох тонких лінз. Поняття про еквівалентну лінзу. Оптична сила еквівалентної лінзи, що складається з двох лінз. Оптична сила еквівалентної лінзи з N лінз. Визначення фокусів і головних площин еквівалентної лінзи.

12. Елементи фотометрії. Поняття про енергетичну і світлову фотометрію. Світлова енергія. Світловий потік. Сила світла. Освітленість. Світність. Яскравість. Одиниці виміру і засоби вимірювання цих величин.

13. Діафрагми оптичних систем. Апертурна діафрагма. Вхідна і вихідна зіниці. Апертурний кут.

14. Польова діафрагма. Вхідний і вихідний отвори.

15. Вільєтування. Коефіцієнт вільєтування.

16. Оптичні середовища. Дисперсія світла. Відмінності оптичних середовищ. Кутова дисперсія. Середня дисперсія. Коефіцієнт середньої дисперсії. Види оптичного скла.

17. Аберації. Поняття про якість зображення. Типи і класифікація аберацій. Сферична аберация. Кома. Відступ від законів синусів. Дисторсія. Астигматизм. Хроматичні аберації. Апланати. Ортоскопічні системи. Апохромати.

18. Око як оптичний прилад. Будова ока. Оптичні характеристики «зведеного» ока. Акомодація ока. Адаптація. Роздільна здатність. Поле зору. Глибина чіткого бачення. Стереоскопічний зір. Гострота, радіус стереоскопічного зору.

19. Оптичні прилади, які застосовують у геодезичних вимірюваннях. Лупа та її різновиди. Призначення лупи. Хід променів. Основні характеристики лупи: видиме збільшення, поле зору.

20. Мікроскоп. Призначення. Оптична схема мікроскопа. Побудова зображень. Особливості роботи об'єктива й окуляра мікроскопа.

21. Основні характеристики мікроскопа: видиме збільшення, поле зору, числова апертура. Роздільна здатність мікроскопа. Типи і призначення мікроскопа.

22. Телескопічна система (зорова труба). Призначення. Особливості роботи зорової труби порівняно з мікроскопом. Особливості об'єктива зорової труби.

23. Типи зорових труб: труба Кеплера, труба Галілея. Типи фокусування зорових труб: зовнішня, внутрішня.

24. Особливості будови і типи окулярів зорових труб.

25. Основні характеристики телескопічної системи: видиме збільшення, поле зору, світлосила. Роздільна здатність. Глибина чіткості.

26. Оптичні далекоміри. Призначення. Особливості роботи.

27. Фотографічні системи. Особливості роботи об'єктива.

28. Проекційні системи.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Кафедра _____

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ №1

з дисципліни: _____
(назва дисципліни)

(назва роботи)

Виконав студент: _____
(спеціальність, номер групи)

(прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник роботи: _____
(посада, прізвище, ініціали)

Варіант №

Номери задач

--	--	--	--	--	--	--	--

Основні фізичні сталі

Назва фізичної сталої	Позначення	Числове значення
Гравітаційна стала	γ	$6,67 \cdot 10^{-12} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$
Число Авогадро	N_A	$6,025 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Універсальна газова стала	R	$8,31 \cdot \text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$
Стала Больцмана	k	$1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Число Фарадея	F	$9,65 \cdot 10^7 \text{ Кл/кг-екв}$
Стала закону Стефана – Больцмана	σ	$5,67 \cdot 10^{-28} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4$
Стала закону зміщення Віна	b	$2,90 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$
Стала Планка	h	$6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Заряд електрона	e	$1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Швидкість світла у вакуумі	c	$3,00 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Маса спокою електрона	m_e	$9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг} = 5,49 \cdot 10^{-4} \text{ а.о.м.}$
Маса спокою протона	m_p	$1,672 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,00759 \text{ а.о.м.}$
Маса спокою нейтрона	m_n	$1,675 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,00899 \text{ а.о.м.}$
Стала Рідберга (для атома водню)	R	$1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$
Комптонівська довжина хвилі електрона	λ	$2,43 \cdot 10^{-12} \text{ м}$
Магнетон Бора	μ_B	$0,927 \cdot 10^{-23} \text{ А} \cdot \text{м}^2$
Енергія іонізації атома водню	W_i	$2,18 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}$
Атомна одиниця маси	а.о.м.	$1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$

Деякі співвідношення між фізичними величинами

Назва одиниці виміру	Значення в СІ
Температура градусів за шкалою Цельсія ($t^{\circ}\text{C}$)	$T = t^{\circ}\text{C} + 273,15 \text{ K}$
Об'єм (1 літр)	10^{-3} м^3
Один міліметр ртутного стовпа (1мм рт. ст.)	$133,322 \text{ Н/м}^2$
Оптична сила 1 дптр (діоптрія)	1 м^{-1}
Один електрон-вольт (1eВ)	$1,6021892 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$
Атомна одиниця маси (а.о.м.)	$1,6605655 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Один градус кута на площині (1°)	$\pi/180 \text{ радіан}$
Одна калорія (1 кал)	$4,19 \text{ Дж}$

Одиниці виміру відстані в астрономії та співвідношення між ними

Одиниці	а. о.	св. рік	пк	км
1 астрономічна одиниця	1	$157,9 \cdot 10^{-7}$	$4,848 \cdot 10^{-6}$	$1,496 \cdot 10^8$
1 світловий рік	63240	1	0,3069	$9,46 \cdot 10^{12}$
1 парсек	206265	3,263	1	$3,086 \cdot 10^{13}$
1 кілометр	$6,684 \cdot 10^{-9}$	$105,7 \cdot 10^{-15}$	$324,1 \cdot 10^{-16}$	1

Деякі астрономічні величини

Середній радіус Землі	$6,37 \cdot 10^6$ м
Середня густина Землі	5500 кг/м ³
Маса Землі	$5,96 \cdot 10^{24}$ кг
Радіус Сонця	$6,95 \cdot 10^8$ м
Маса Сонця	$1,97 \cdot 10^{30}$ кг
Середня густина Сонця	1400 кг/м ³
Радіус Місяця	$1,74 \cdot 10^6$ м
Маса Місяця	$7,3 \cdot 10^{22}$ кг
Середня відстань між центрами Місяця та Землі	$3,84 \cdot 10^8$ м
Середня відстань між центрами Землі та Сонця	$1,5 \cdot 10^{11}$ м
Період обертання Місяця навколо Землі	27 діб 7 год 43 хв

**Основні кольори видимого спектра та відповідні до них довжини
хвиль λ світлових променів**

Колір	Довжина хвилі λ , нм
Червоний	760 – 620
Оранжевий	620 – 590
Жовтий	590 – 560
Зелений	560 – 500
Блакитний	500 – 480
Синій	480 – 450
Фіолетовий	450 – 380

Відомості про Землю

Об'єм	$1083219 \cdot 10^6 \text{ км}^3$
Маса	$5,978 \cdot 10^{24} \text{ кг}$
Радіус середній екваторіальний полярний	 6371032 м 6378160 м 6356777 м
Площа поверхні: Землі* суші води	 510069000 км^2 148940148 км^2 361128852 км^2
Середня густина: Землі земної кори	 5518^* кг/м^3 2800 кг/м^3
Довжина окружності: меридіана екватора	 40008550 м 40075696 м
Найбільша висота над рівнем океану (гора Джомолунгма, Гімалаї)	8848 м
Найбільша глибина океану (Маріанська западина, Тихий океан)	11022 м
Швидкість (середня) руху Землі вздовж орбіти лінійна точок, які лежать на екваторі Землі під час її обертання навколо осі	 29,76 км/с 465,12 м/с
Прискорення вільного падіння на екваторі на полюсі на широті 45° нормальне (стандартне)	 $9,78049 \text{ м/с}^2$ $9,83235 \text{ м/с}^2$ $9,80616 \text{ м/с}^2$ $9,80665 \text{ м/с}^2$
Маса повітря навколо Землі	$5,158 \cdot 10^{18} \text{ кг}$
Вік Землі	$\approx 4,5 \cdot 10^9$ років

* Перше визначення середньої густини Землі належить Ісааку Ньютону (1736 р.) – $5000\text{--}6000 \text{ кг/м}^3$.

Фізичні параметри внутрішніх шарів Землі

Глибина, км	Температура, К	Густина, кг/м ³	Прискорення вільного падіння, м/с ²	Тиск, ГПа
0	287	2600	9,81	0
10	460	2700-3000	9,82	0,3
33	700	3400	9,83	0,9
100	1200	3500	9,86	3
600	2500	4100	9,95	20
1000	3000	4500	9,90	40
2000	3800	5100-5500	9,86	90
2900	4300	9500	10,40	136
3000	4500	9700	10,20	140
4500	5800	11200-11700	6,90	280
5000	6000	16000	6,00	320
5500	6200	16500	4,10	350
6000	6300	17000	1,70	370
6371	6400	17300	0	380

Хімічний склад Землі

Землі загалом		Атмосфера, гідросфера і літосфера	
елемент	масова частка, %	елемент	масова частка, %
Залізо	39,76	Кисень	49,42
Кисень	27,71	Кремній	25,75
Кремній	14,53	Алюміній	7,51
Магній	8,69	Залізо	4,70
Нікель	3,46	Кальцій	3,39
Кальцій	2,32	Натрій	2,64
Алюміній	1,72	Калій	2,40
Сірка	0,64	Магній	1,94
Натрій	0,38	Водень	0,88
Хром	0,20	Титан	0,58
Калій	0,14	Хлор	0,19
Фосфор	0,11	Фосфор	0,12
Манган	0,07	Манган	0,09
Вуглець	0,04	Вуглець	0,09
Титан	0,02	Сірка	0,06
Інші елементи	0,14	Інші елементи	0,26

Відомості про Сонце

Радіус	696000 км (≈ 109 земних радіусів)
Площа поверхні	$608,7 \cdot 10^6$ км ²
Об'єм	$1,412 \cdot 10^6$ км ³ (1303800 об'ємів Землі)
Маса*	$1,99 \cdot 10^{30}$ кг (332958 мас Землі)
Густина: середня в центрі	1410 кг/м ³ ≈ 98000 кг/м ³
Температура: поверхні в центрі	≈ 6000 °С $\approx 15 \cdot 10^6$ °С
Відстань від Землі: найменша (у січні) найбільша (у червні) середня	$147,1 \cdot 10^6$ км $152,1 \cdot 10^6$ км $149,6 \cdot 10^6$ км
Прискорення вільного падіння на поверхні	$273,8$ м/с ²
Швидкість руху відносно зірок	$19,4$ км/с
Яскравість центра диска позаземної атмосфери	$2,54 \cdot 10^9$ Кд/м ²
Освітленість поверхні Землі в ясний полудень	10^5 лк
Сила світла	$3,02 \cdot 10^{27}$ Кд
Потужність загального випромінювання	$3,74 \cdot 10^{21}$ кВт
Сонячна стала**	$1,39 \cdot 10^3$ Вт/м ²

* Маса Сонця становить 99,87% маси всієї Сонячної системи.

** Сонячна стала – кількість енергії, яку приносять сонячні промені за 1с на площу 1 м² поза земною атмосферою перпендикулярно променям на середній відстані Землі від Сонця.

Коефіцієнти заломлення деяких речовин*

Рідини та гази		Тверді тіла	
Повітря	1,000292	Алмаз	2,42
Вуглекислий газ	1,000450	Лід	1,31
Вода	1,33	Кварц	1,54
Скипидар	1,47	Скло оптичне (легкий крон)	1,51
Гліцерин	1,47	Скло оптичне (важкий флінт)	1,77
Спирт етиловий	1,36	Слюда	1,56 – 1,60
Бензин	1,38 – 1,41	Янтар	1,546
Олія рицинова	1,48	Рубін	1,76
Олія соняшникова	1,47	Цукор	1,56

* Дані таблиці відносяться до жовтої лінії **D** натрію ($\lambda = 589,3\text{нм}$).

Граничний кут повного внутрішнього відбиття

Алмаз	24°	Спирт етиловий	47°
Вода	49°	Скло	30° – 42°
Гліцерин	43°	Ефір етиловий	47°

Грецька абетка

A α – альфа

B β – бета

Г γ – гамма

Δ δ – дельта

E ε – епсилон

Z ζ – дзета

Η η – ета

Θ θ – тхета

I ι – йота

K κ – каппа

Λ λ – ламбда

Μ μ – мю

N ν – ню

Ξ ξ – ксі

O ο – омікрон

Π π – пі

P ρ – ро

Σ σ – сигма

T τ – тау

Φ φ – фі

Χ χ – хі

Υ υ – іпсилон

Ψ ψ – псі

Ω ω – омега

ДЛЯ ПОДАТОК

Навчальне видання

**Клапченко Василь Іванович,
Азнаурян Ірина Олександрівна,
Краснянський Григорій Юхимович та ін.**

ФІЗИКА

ОПТИЧНІ ПРИЛАДИ ТА ВИМІРЮВАННЯ В ГЕОДЕЗІЇ

Навчальний посібник

Редагування та коректура *Г.В. Кобриної*

Комп'ютерне верстання *І.С. Аршинкіної*

Підписано до друку 25.12.2015. Формат 60 × 84 ¹/₁₆

Ум. друк. арк. 5,58. Обл.-вид. арк. 6,0.

Тираж 50 прим. Вид. № 33/І-14. Зам. № 88/1-15.

Видавець і виготовлювач

Київський національний університет будівництва і архітектури

Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна, 03680

E-mail: red-isdat@ukr.net, тел. (044)241-54-22, 241-54-87

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів

Видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002 р.

ФІЗИКА

ОПТИЧНІ ПРИЛАДИ ТА ВИМІРЮВАННЯ В ГЕОДЕЗІЇ

Навчальний посібник

Київ 2015

