

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

ФІЗИКА

Методичні рекомендації до спецкурсів

„ОПТИЧНІ ПРИЛАДИ ТА ВИМІРЮВАННЯ В ГЕОДЕЗІЇ”,

„ОСНОВИ ФІЗИКИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА”

для студентів спеціальностей

7.070901 “Геодезія”,

7.070904 “Землевпорядкування та кадастр”,

7.070801 “Екологія в будівництві”

Київ 2003

УДК 53(075)
ББК 22.3я7
Ф50

Укладачі: В.І.Клапченко, канд. техн. наук, доцент
Г.Д.Потапенко, канд. фіз.-мат. наук, доцент
Ю.І. Григораш, старш. викладач
І.О. Азнаурян, асистент
Г.В. Кучерова, асистент

Рецензент Г.Ю.Краснянський, канд. фіз.-мат. наук, доцент

Відповідальний за випуск В.І.Клапченко, канд. техн. наук, доцент

Затверджено на засіданні кафедри фізики, протокол №3
від 27 лютого 2002 року.

Ф 50 **Фізика:** Методичні рекомендації до спецкурсів „Оптичні прилади та вимірювання в геодезії”, „Основи фізики навколишнього середовища” /Уклад.: В.І.Клапченко, Г.Д.Потапенко, Ю.І. Григораш і ін. – К.: КНУБА, 2003. – 112с.

Методичні рекомендації складаються з програм та завдань до спецкурсів „Оптичні прилади та вимірювання в геодезії” і „Основи фізики навколишнього середовища”. Подані основні розрахункові формули та теоретичні матеріали до кожного розділу спецкурсів, приклади розв’язання задач. В додатках наведено всі необхідні довідкові дані.

Призначені для студентів спеціальностей 7.070901 „Геодезія”, 7.070904 „Землевпорядкування і кадастр” та 7.070801 „Екологія в будівництві”.

Зміст

Частина I. Спецкурс “Оптичні прилади та вимірювання в геодезії”	4
Глава II. Зміст практикуму “Оптичні прилади та вимірювання в геодезії”	7
Розділ 1.1. Геометрична оптика та оптичні системи.....	7
Розділ 1.2. Фотометрія.....	47
Частина II. Спецкурс “Основи фізики навколишнього середовища”	65
Глава I. Зміст програми та теми рефератів спецкурсу.....	66
“Основи фізики навколишнього середовища“	66
Глава II. Зміст практикуму “Основи фізики навколишнього середовища“.....	71
Розділ 2.1 і 2.2. Всесвітнє тяжіння. Закони Кеплера.	71
Будова Всесвіту. Рух тіл в інерціальних системах відліку.....	71
Розділ 2.3. Фізика Сонця.....	76
Розділ 2.4. Фізика атмосфери.....	83
Розділ 2.5. Фази і фазові переходи. Вологість повітря.....	88
Розділ 2.6. Явища, які протікають на межі поділу фаз.....	92
Розділ 2.7. Гідродинаміка.....	97
Глава III. Приклади розв’язання задач.....	102
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	112
Додатки.....	113

ЧАСТИНА I. СПЕЦКУРС “ОПТИЧНІ ПРИЛАДИ ТА ВИМІРЮВАННЯ В ГЕОДЕЗІЇ”

Спецкурс „Оптичні прилади та вимірювання в геодезії” викладається на спеціальностях „Геодезія” та „Землевпорядкування і кадастр” 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 колоквиуму (з включенням теоретичних питань і задач) та захистом індивідуального завдання з спецкурсу.

Лабораторний практикум закінчується захистом лабораторних робіт та допуском до екзамену.

Лекційний курс закінчується екзаменом у першому семестрі. *Питання спецкурсу включаються у білети разом з питаннями інших розділів фізики.

Лекційний курс побудований відповідно до програми, яка затверджена кафедрою фізики.

Для оформлення індивідуальних завдань необхідно виконати такі вимоги:

1. Індивідуальне завдання виконується у зошиті. Обкладинка зошита оформлюється згідно з додатком I.
2. Умови задач необхідно переписувати повністю.
3. Розв’язання задач повинно супроводжуватись короткими, але вичерпними поясненнями. За необхідністю наводиться креслення рисунка, зробленого за допомогою креслярського обладнання. Для зауважень викладача на сторінках зошита потрібно залишати поля.

4. Розв'язувати кожну задачу потрібно у загальному вигляді, тобто необхідно виразити шукану величину через символи (позначені літерами) величин, які задані в умові задачі. При такому способі розв'язку значення проміжних величин не розраховують.
5. Отримавши розрахункову формулу, для перевірки її правильності бажано виконати перевірку розмірності, тобто підставити в праву частину формули одиниці вимірювання всіх величин, виконати з ними відповідні дії та переконатися в тому чи отримана при цьому одиниця вимірювання відповідає одиниці вимірювання шуканої величини.
6. Числові значення величин при підстановці їх у розрахункову формулу подавати тільки в одиницях системи СІ.
7. При підстановці в розрахункову формулу, а також при запису відповіді, значення величин потрібно записувати у вигляді добутку десяткового дробу з однією значущою цифрою перед комою на відповідний степінь десяти. Наприклад, число 8689 записати так – $8,68 \cdot 10^3$; число 0,00256 – $2,56 \cdot 10^{-3}$ тощо.
8. Розрахунки за формулою потрібно проводити з виконанням правил округлення, кінцевий результат подати з трьома значущими цифрами та одиницями вимірювання.

Особливу увагу необхідно звернути на 12 додатків цього методичного посібника. В них приведені всі необхідні дані та сталі величини, які необхідні для розв'язування задач зі спецкурсів.

Глава I. Зміст

Глава II. Зміст практикуму “ОПТИЧНІ ПРИЛАДИ ТА ВИМІРЮВАННЯ В ГЕОДЕЗІЇ”

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

Для пояснення законів розповсюдження світла у цих оптичних деталях використовують закони геометричної оптики.

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

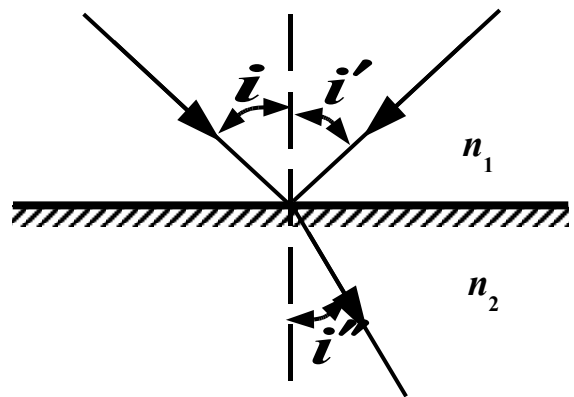
Розділ 1.1. Геометрична оптика та оптичні системи

Основні формули

Закон відбиття:

$$i' = i,$$

де i - кут падіння; i' - кут відбиття.



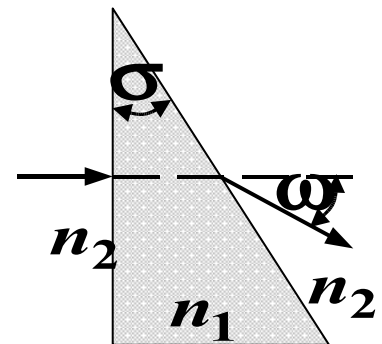
Закон заломлення:

$$\frac{\sin i}{\sin i''} = \frac{n_2}{n_1},$$

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:

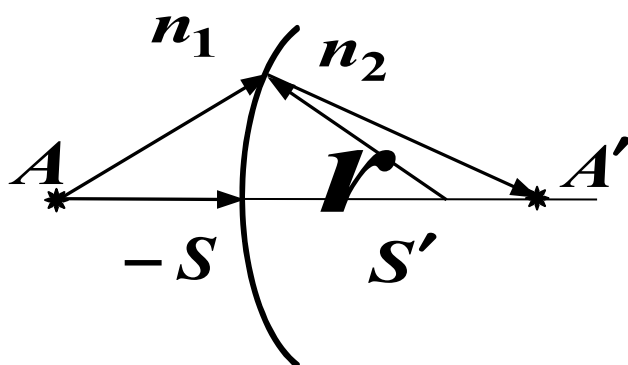
$$\omega = \sigma \left(\frac{n_1}{n_2} - 1 \right),$$



де ω - кут відхилення променя при проходженні призми; σ - кут заломлення призми.

Рівняння заломлюючої сферичної поверхні:

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



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

Лінійне (поперечне) збільшення сферичної поверхні:

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

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

Формула сферичного дзеркала:

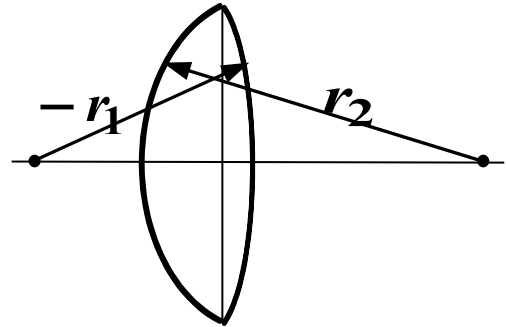
$$\frac{1}{S'} + \frac{1}{S} = \frac{2}{R} = \frac{1}{f},$$

де S - відстань від об'єкта до дзеркала; S' - відстань від зображення до дзеркала; R - радіус кривизни сферичного дзеркала (для опуклого $R < 0$, для вгнутого $R < 0$; 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



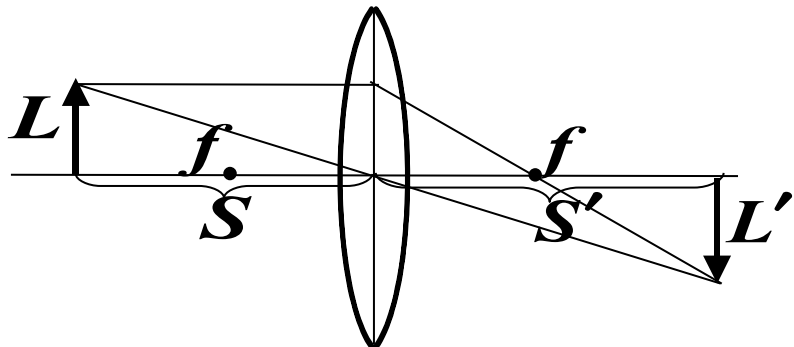
фокусна відстань лінзи; $\frac{1}{f} = \Phi$ - оптична

сила лінзи.

Лінійне поперечне збільшення β для тонкої лінзи:

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

де L та 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 та окуляра.

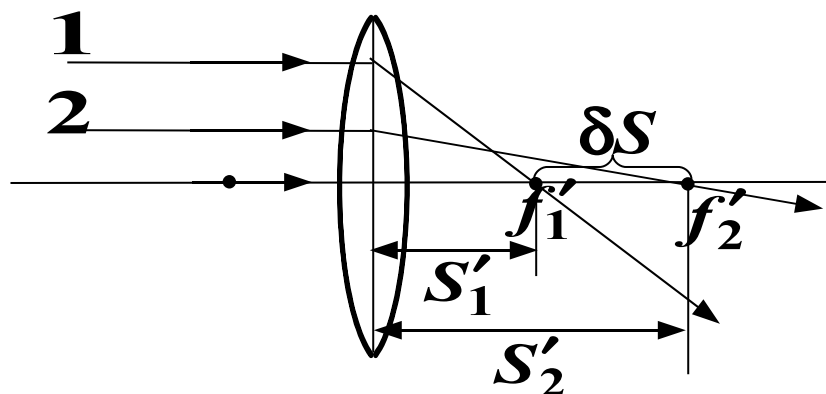
Збільшення телескопічної системи:

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

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

Сферична аберація:

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



1.1.1. Приклади розв'язання задач

Задача 1.1.1. Показати, що при сталому куті падіння променя світла на призму, відносний показник заломлення якої $n > 1$, відхилення променя призмою зростає при збільшенні кута заломлення призми.

Розв'язання задачі. На рис.1.1.1 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 $n = \frac{n_1}{n_0} > 1$).

Розв'язання задачі, очевидно, полягає в тому, щоб знайти вираз кута відхилення (рис. 1.1.1):

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

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

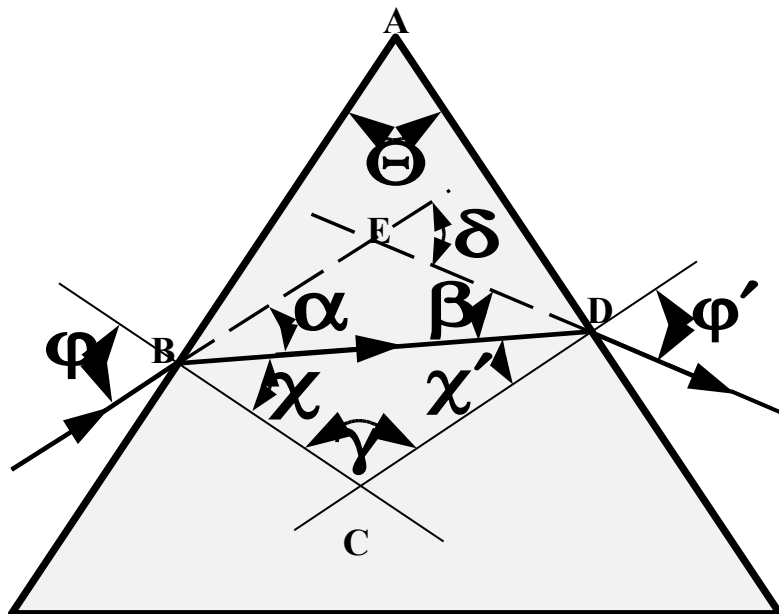


Рис. 1.1.1

Згідно з умовою задачі, $\varphi = \text{const}$. З рис.1.1.1 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 $\chi + \chi' = \Theta$.

В результаті маємо:

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

Проте, згідно з законом заломлення світла:

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

Звідси:

$$\chi = \arcsin \frac{\sin \varphi}{n}, \text{ та}$$

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

Остаточо знаходимо:

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

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

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

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

Задача 1.1.2. Радіус кривизни вгнутого сферичного дзеркала $r = 40$ см. Знайти положення об'єкта, при якому: 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 його зображення до дзеркала (виміряні вздовж оптичної осі).

Оскільки дійсне зображення, що його дає вгнуте дзеркало, завжди обернене, то при:

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

Тоді на підставі рівняння для вгнутого 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) $\beta = 2$, бо уявне зображення, що його дає вгнуте 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 1.1.3. 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 $n_B = \frac{4}{3}$.

Розв'язання задачі. Користуючись формулою тонкої лінзи, яка міститься в однорідній речовині 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:

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

де f'_B - друга фокусна відстань лінзи у воді, $f'_П$ - 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 збірна 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 збірної лінзи уявне. Такий результат не дивовижний, бо у воді фокусна відстань лінзи $f'_B = 4f'_P$, тобто значно більша, ніж у повітрі, тому предмет, який у повітрі знаходився на подвійній фокусній відстані від лінзи, у воді знаходитиметься всього тільки на половині фокусної відстані. В останньому випадку, як відомо, збірна лінза дає уявне зображення предмета.

Тепер розглянемо випадок, коли в повітрі $\beta = -\frac{1}{7}$, тобто спостерігається зменшене, дійсне і обернене зображення предмета. В 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, в тому числі і для розсіювальної (від'ємної) в повітрі лінзи.

Задача 1.1.4. 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 (відтань 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. 1.1.2). Тоді оптична сила мікроскопа буде:

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

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:

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

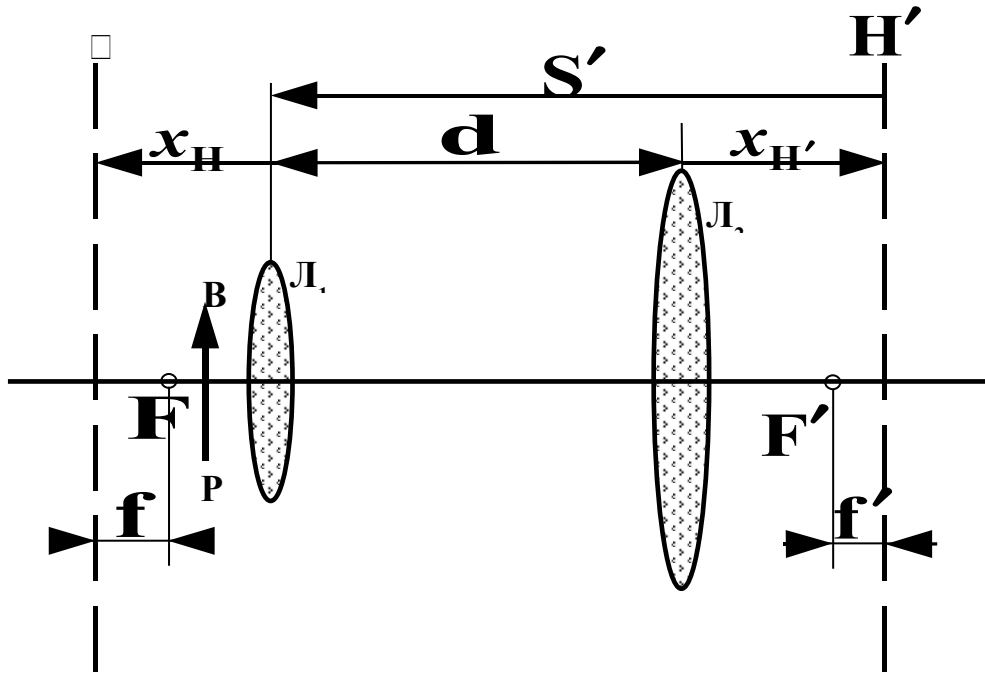


Рис. 1.1.2

Координата першої головної площини H системи дорівнює:

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

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

Напряв стрілок на рис.1.1.2 визначає напряв 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 міститься 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

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

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 міститись 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 міститись 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.

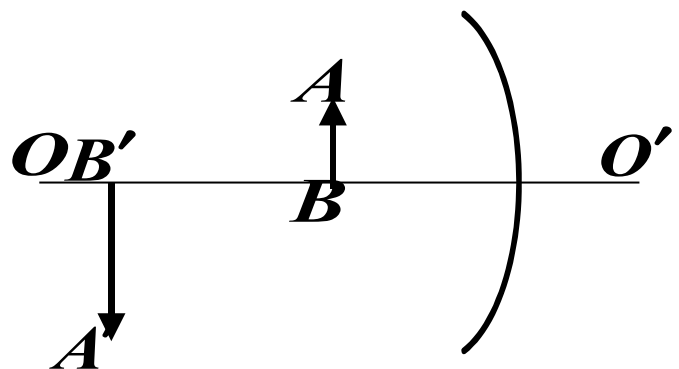
Лінійне збільшення мікроскопа дорівнює:

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

тобто зображення буде збільшене і обернене.

1.1.2. Задачі з розділу „Геометрична оптика та оптичні системи”

1. Промінь світла падає на межу поділу двох середовищ під кутом 30° . Показник заломлення першого середовища 2,4. Визначити показник заломлення другого середовища, якщо відомо, що відбитий і заломлений промені перпендикулярні один одному.
2. На поверхню води у посудині покладена скляна пластинка. Визначити, 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 . Чому буде дорівнювати площа зображення, якщо на стіні напроти 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. Знайти діаметр плями, що освітлюється, на стіні на відстані 50 м від прожектора, якщо фокусна відстань сферичного дзеркала 40 см, а діаметр дзеркала 1 м.
5. Світловий промінь відбивається послідовно по одному разу від двох плоских дзеркал, що розміщені одне до одного під кутом α . На який кут від свого початкового напрямку відхилиться відбитий промінь, якщо система дзеркал повертається на кут, що лежить у площині обох дзеркал? Падаючий і відбитий промені лежать в площині, що перпендикулярна осі обертання дзеркал.
6. АВ - предмет, А'В' - його зображення в сферичному дзеркалі, ОО' - оптична вісь



дзеркала (рис. 1.1.3). За допомогою побудови знайти центр і фокус дзеркала.

7. 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 вдруге, виходить у повітря паралельно першому відбитому променю. Визначити відстань між цими променями.
8. Промінь світла виходить із призми під тим самим кутом, під яким входить в призму, причому відхиляється від початкового напрямку на кут 15° . Кут заломлення призми 45° . Знайти показник заломлення речовини призми.
9. Оптичний клин із кутом заломлення 5° помістили у воду. Визначити, на скільки градусів відхиляється світловий промінь, що проходить крізь цей клин, $n=1,6$.
10. Пучок світла ковзає вздовж бічної поверхні рівнобедреної призми. При якому граничному куті призми заломлені промені зазнають повне внутрішнє відбивання на другій боковій грані? Показник заломлення призми для цих кутів $n = 1,6$.
11. Межею поділу двох середовищ є сфера деякого радіуса. Перше середовище - повітря, друге - скло. На поверхню поділу падає вузький пучок променів, що паралельний одному з діаметрів сфери. Визначити положення точки перетину променів, знаючи, що тонка плоско-випукла лінза, яка має радіус кривизни однаковий зі сферою, має фокусну відстань 5 см.
12. Побудувати зображення довільної точки, що лежить на головній оптичній осі: а) збиральної лінзи; б) розсіювальної лінзи.

13. За допомогою двоопуклої лінзи на екрані отримують зображення свічки. Як зміниться це зображення, якщо лінзу наполовину закрити матеріалом, який не пропускає світло?
14. Радіуси кривизни поверхонь двоопуклої лінзи $R=50$ см. Показник заломлення матеріалу $n=1,5$. Знайти оптичну силу лінзи.
15. Тонка скляна лінза має оптичну силу 5 дптр. Та сама лінза, занурена у рідину, має оптичну силу 1 дптр. Знайти показник заломлення рідини.
16. Фотоапаратом, об'єктив якого має фокусну відстань 50 мм, фотографують будинок висотою 24 м. З якої відстані потрібно проводити фотозйомку, щоб зображення будинку вмістилось у кадрі висотою 24 мм?
17. Зображення міліметрової поділки шкали, що розміщена перед лінзою на відстані 12,5 см, має на екрані довжину 8 см. На якій відстані від лінзи знаходиться екран?
18. 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?
19. Побудувати зображення відрізка, паралельного головній оптичній осі лінзи.
20. Збиральну лінзу щільно приклали до розсіювальної і 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.
21. Плоско-опукла лінза з фокусною відстанню 30 см і плоско-вгнута лінза з фокусною відстанню 10 см складені разом. На якій відстані від лінз отримали зображення предмета, що розміщений в 15-ти см від системи лінз? Побудувати зображення з дотриманням масштабу.
22. Побудувати 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.

23. Повздовжня сферична аберація об'єктива з фокусною відстанню 200 мм для пучка променів діаметром 40 мм складає 0,16 мм. Визначити діаметр кола розсіювання і сферичну аберацію в кутовому вимірі.
24. Знайти повздовжню хроматичну аберацію двоопуклої лінзи з однаковими радіусами кривизни по 8 см. Показник заломлення матеріалу лінзи для червоного світла - 1,5; для фіолетового - 1,8.
25. Межі акомодатії короткозорї людини лежать між 10 і 25 см. Визначити, як зміняться ці межі, якщо людина одягне окуляри з оптичною силою – 4 дптр.
26. Визначити головну фокусну відстань і оптичну силу окулярів, що виправляють недоліки далекозорого ока, для якого відстань найкращого зору 50 см.
27. Лупа, що є двоопуклою лінзою, виготовлена зі скла з показником заломлення 1,6. Радіуси кривизни поверхонь однакові і дорівнюють 12 см. Визначити збільшення лупи.
28. Лупа дає збільшення вдвічі. До неї щільно притиснули збиральну лінзу з оптичною силою 20 дптр. Яке збільшення буде давати утворена система?
29. Чому повинні дорівнювати радіуси кривизни поверхонь ($R_1=R_2$), що обмежують лупу ($n=1,5$), щоб вона давала збільшення для нормального ока рівним 10?
30. 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.
31. В мікроскопі головна фокусна відстань об'єктива 5,4 мм, а окуляра – 2см. Предмет знаходиться від об'єктива на відстані 5,6 мм. Визначити видиме збільшення мікроскопа для нормального ока і довжину мікроскопа (відстань між об'єктивом і окуляром).

32. Оптичні сили об'єктива і 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?
33. Є мікроскоп з числовою апертурою 0,12. Припускаючи, що діаметр зіниці ока 4 мм, визначити збільшення мікроскопа.
34. Фокусна відстань об'єктива телескопа 1 м. В телескоп роздивлялись будинок, що знаходився на відстані 1 км. В якому напрямку і на скільки потрібно пересунути окуляр, щоб отримати чітке зображення, якщо після будинку будуть роздивлятися Місяць?
35. Яка довжина зорової труби, об'єктивом і окуляром якої є тонкі лінзи з фокусними відстанями відповідно 25 і 8 см, якщо предмет, який роздивляються, знаходиться дуже далеко?
36. Оптична сила об'єктива телескопа 0,5 дптр. Окуляр діє як лупа, що дає збільшення в 10 разів. Яке збільшення дає телескоп?
37. Об'єктив зорової труби має фокусну відстань 30 см, а окуляр - фокусну відстань 4 см. Труба встановлена на нескінченність. В якому місці потрібно встановити діафрагму, щоб поле зору було різко обмежене?
38. Під яким кутом до горизонту плавець, що пірнув у воду, побачить захід Сонця? Сонце на рівні горизонту.
39. Два малих плоских дзеркала розміщені на однаковій відстані одне від одного і точкового джерела світла. Яким має бути кут між дзеркалами, якщо після двох відбиттів промінь прямує до джерела?
40. Монохроматичний промінь входить крізь грань прямокутної рівнобічної призми і зазнавши повне внутрішнє 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 відбивання, якщо показник заломлення матеріалу призми для цього променя 1,5?

41. Три лінзи з оптичними силами $+10$ дптр, -10 дптр і $+10$ дптр розміщені у вказаному порядку, створюють центровану систему, яка знаходиться у повітрі. Визначити величину фокусної відстані цієї системи, якщо відстань між лінзами 5 см та лінзи прикладені щільно одна до одної.
42. Знайти збільшення, що дає лупа, фокусна відстань якої 2 см, для нормального і короткозорого ока з відстанню найкращого зору 15 см.
43. Об'єктив мікроскопа має фокусну відстань 3 мм, а окуляр - фокусну відстань 50 мм. Відстань між об'єктивом та окуляром 135 мм, відстань від предмета до об'єктива $3,1$ мм. Знайти збільшення мікроскопа.
44. Промінь світла падає на плоске дзеркало під кутом 20° . На який кут зміниться напрямок ходу променя після відбивання від плоского дзеркала, якщо дзеркало повернути на кут 10° в сторону збільшення кута падіння?
45. Промінь відбивається двічі від двох непаралельних дзеркал, між якими кут 15° . На який кут від початкового зміниться напрямок променя?
46. Плоско-опукла лінза з радіусом кривизни $0,3$ м і показником заломлення $1,5$ дає зображення предмета з лінійним збільшенням, що дорівнює 2 . Знайти відстань від предмета до лінзи.
47. Предмет при фотографуванні 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?
48. Який радіус стереоскопічного зору у метрах, якщо зоровий базис 65 мм, а роздільна здатність стереоскопічного зору 10 ?
49. Два дзеркала утворюють двогранний кут. На одне з дзеркал падає промінь, що лежить в площині, перпендикулярній до ребра кута. Довести, що кут відхилення цього променя від початкового напрямку після відбиття від обох дзеркал не залежить від кута падіння.
50. Визначити оптичну силу двоопуклої лінзи з радіусами кривизни $0,2$ м і $0,1$ м. Оцінити похибку, яка виникає при розрахунку оптичної сили за

формулою тонкої лінзи, якщо товщина лінзи 10 мм. Показник заломлення матеріалу лінзи $n=1,5$.

51. Зорова труба з фокусною відстанню об'єктива 50 см встановлена на нескінченність. На яку відстань потрібно змістити окуляр труби, щоб чітко бачити предмети на відстані 50 м?
52. Зорова труба має фокусну відстань 50 см і фокусну відстань окуляра 10 см. Чому дорівнює кут, під яким у трубу видно два віддалених предмети, якщо при спостереганні неозброєним оком цей кут дорівнює 30° ? Труба встановлена на нескінченність.
53. 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 перпендикулярний до заломленого?
54. Коли промінь йшов з першого середовища в друге, кут падіння був рівний 60° , а кут заломлення – 45° . Коли промінь йшов з першого середовища в третє, кут падіння був рівний 60° , а кут заломлення – 30° . Коли промінь йшов з другого середовища в третє, кут падіння був рівний 60° , а кут заломлення був рівний β . Визначити β .

55. Точка S рухається зі швидкістю $v_1 = 3$ см/с (рис.1.1.3). З якою швидкістю рухається відображення точки S' ? Дзеркало рухається поступально зі швидкістю $v_2 = 2$ см/с.

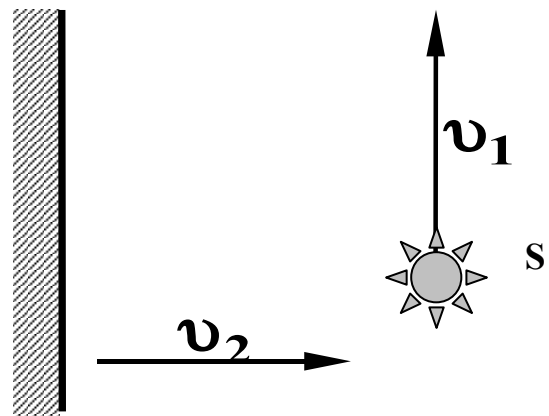


Рис. 1.1.3

56. Визначити показник заломлення n скипидару і швидкість розповсюдження світла v у скипидарі, якщо відомо, що куту падіння 45° відповідає кут відбивання 30° .

57. Показник заломлення на межі повітря-скло 1,5, а показник заломлення на межі повітря-вода 1,33. Чому дорівнює показник заломлення на межі вода-скло?
58. Промінь світла переходить зі скла у воду. Кут падіння променя на межу поділу між водою і склом 30° . Визначити кут заломлення. При якому найменшому значенні кута падіння промінь повністю відіб'ється?
59. У системі вода-повітря граничний кут повного відбивання 49° , а у системі скло-повітря він дорівнює 42° . Знайти граничний кут повного відбивання для системи скло-вода.

60. З яким кутом потрібно взяти напівпрозору трапецеподібну посудину з водою **М** (рис.1.1.4), щоб крізь її бокову стінку **BC** не було видно предмета **К**, що підкладений під дно посудини? Дно посудини має форму прямокутника. Кут, що утворюється гранню **BC** та дном **ДВ** - α .

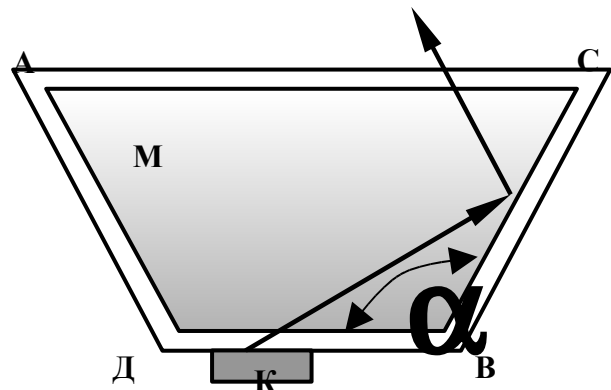


Рис.1.1.4

61. Показник заломлення скла 1,52. Знайти граничні кути повного відбивання для поверхонь поділу: а) скло-повітря; б) вода-повітря; в) скло-вода.
62. Промінь світла виходить із скипидару у повітря. Граничний кут повного відбивання для цього променя $42^\circ 23'$. Чому дорівнює швидкість розповсюдження світла в скипидарі?
63. Показники заломлення деякого сорту скла для червоного і фіолетового променів рівні відповідно 1,51 і 1,53. Знайти граничні кути повного відбиття при падінні цих променів на межу скло-повітря.
64. 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 повне відбиття? Кут заломлення призми 45° .

65. Пучок світла ковзає вздовж бокової грані рівнобедреної призми. При якому граничному куті заломлення призми промені зазнають повного відбиття на другій боковій грані? Показник заломлення матеріалу призми для цих променів 1,6.
66. Висота Сонця над горизонтом $\varphi=20^\circ$. За допомогою дзеркала на воду озера пустили "зайчик". Під яким кутом до горизонту потрібно нахилити дзеркало, щоб промінь у воді йшов під кутом 41° до вертикалі? Показник заломлення води $n=1,32$.
67. Горизонтальний промінь світла падає на вертикально розміщене дзеркало. Дзеркало повертається на кут α біля вертикальної осі. На який кут повернеться відбитий промінь?
68. Знайти графічно, при яких положеннях ока спостерігач може бачити у дзеркалі скінчених розмірів зображення відрізка прямої, розміщеного відносно дзеркала так, як показано на рис. 1.1.5.
69. Якої найменшої висоти повинно бути плоске дзеркало, що прикріплене



Рис.1.1.5

вертикально на стіні, щоб людина могла бачити своє відображення у весь зріст, не змінюючи положення голови? На якій відстані від підлоги повинен бути нижній край дзеркала?

70. Плоске дзеркало обертається з постійною кутовою швидкістю. Кількість обертів у 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?

71. Промінь світла, відбитий від дзеркальця гальванометра, падає на шкалу, розміщену на відстані 1,5 м від дзеркальця, перпендикулярно до напрямку падаючого променя. При пропусканні струму крізь гальванометр дзеркальце повернулось, причому світлова пляма на шкалі перемістилась на 2 см. Визначити кут повороту дзеркальця.
72. Промінь світла, напрямлений 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.
73. Два плоских дзеркала поставлені під кутом одне до одного і між ними розміщене точкове джерело світла. Зображення джерела в першому дзеркалі знаходиться на відстані 6 см, а в іншому на відстані 8 см від джерела. Відстань між зображеннями дорівнює 10 см. Визначити кут між дзеркалами.
74. Знайти усі зображення предмета, що знаходяться між двома дзеркалами, що нахилені один до одного під кутом 60° . Побудувати хід променів, що дають зображення предмета після двох послідовних відображень від обох дзеркал.
75. Плоску скляну пластину товщиною 3 мм роздивляються в мікроскоп. Спочатку мікроскоп встановлюють для спостереження верхньої поверхні пластини, а потім зміщують тубус мікроскопа вниз до тих пір, поки не буде чітко видно нижню поверхню пластини (для зручності спостереження на поверхнях пластини зроблені мітки). Зміщення тубуса – 2 мм. Знайти показник заломлення пластини.
76. Паралельний пучок світла проходить крізь плоско-паралельну скляну пластину, товщина якої 1 см. Кут падіння 30° . Визначити величину

- поперечного зміщення пучка, тобто відстань між осями пучка до і після заломлення.
77. Визначити, наскільки плоско-паралельна скляна пластинка товщиною 10 см зміщує промінь світла, що падає на неї під кутом 70° .
 78. Предмет помістили на відстані 15 см від плоско-паралельної скляної пластинки. Спостерігач роздивляється його крізь пластинку, причому промінь зору нормальний до неї. Знайти відстань зображення предмета від ближньої до спостерігача грані. Товщина пластинки 4,5 см.
 79. 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 падаючого пучка на відстань $d=2$ см. Яка товщина пластинки, якщо показник заломлення скла $n=1,7$?
 80. Промінь світла падає під кутом 30° на плоско-паралельну скляну пластинку і виходить з неї паралельно початковому променю. Яка товщина пластинки, якщо відстань між променями дорівнює 1,94 см?
 81. На плоско-паралельну скляну пластинку товщиною 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. Визначити відстань між променями.
 82. 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 більше товщини пластинки?
 83. Промінь падає під кутом $i=60^\circ$ на скляну пластинку товщиною $d=30$ мм. Визначити поперечне зміщення променя після виходу з пластинки.

84. Пучок паралельних променів падає на товсту скляну пластину під кутом $i = 60^\circ$, заломлюючись, переходить у скло. Ширина пучка у повітрі 10 см. Визначити ширину пучка у склі.
85. 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. Визначити показник заломлення скла призми.
86. Промінь світла падає на грань призми перпендикулярно до її поверхні і виходить з протилежної грані, відхилившись на кут 25° від початкового напрямку. Визначити кут заломлення призми.
87. На грань скляної призми із кутом заломлення $\alpha = 60^\circ$ падає промінь світла під кутом $i = 45^\circ$. Знайти кут заломлення променя при виході з призми і кут відхилення променя від початкового напрямку.
88. Кут заломлення призми $\alpha = 60^\circ$. Кут найменшого відхилення променя від початкового напрямку 30° . Визначити показник заломлення скла, з якого виготовлена призма.
89. У воду помістили прямокутний скляний клин (рис. 1.1.6). Показник заломлення скла $n = 1,5$. При яких значеннях кута α промінь світла, що падає нормально на грань **AB**, цілком досягне грані **AC**?

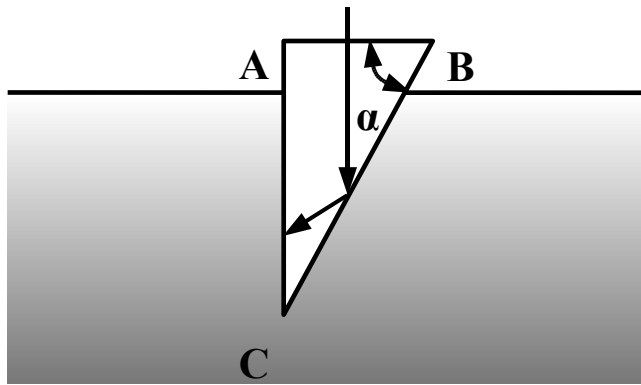


Рис. 1.1.6

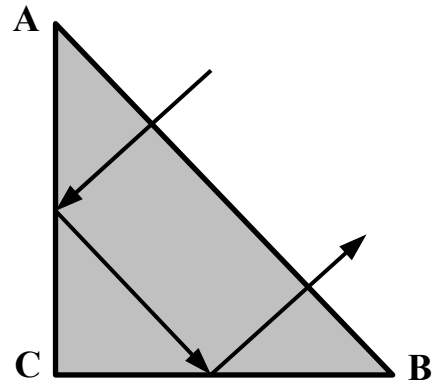


Рис. 1.1.7

90. При яких значеннях показника заломлення прямокутної призми можливий хід променя, що зображений на рис. 1.1.7? Переріз призми - рівнобедрений трикутник; промінь падає на грань **AB** нормально.
91. Промінь, що падає на грань призми, виходить після заломлення через суміжну грань. Яке максимально допустиме значення кута заломлення призми, якщо вона зроблена з льоду?
92. Монохроматичний промінь падає на бокову поверхню рівнобічної призми і після заломлення йде у призмі паралельно її основі. Вийшовши з призми, він опиняється відхиленим на деякий кут від свого початкового напрямку. Знайти в цьому випадку зв'язок між кутом заломлення призми, відхиленням променя і показником заломлення для цього променя n .
93. Промінь світла виходить із призми під тим самим кутом, під яким входить у неї (рис.1.1.8). Знайти коефіцієнт заломлення призми, якщо кут заломлення призми 45° , а кут відхилення променя від початкового напрямку 30° .

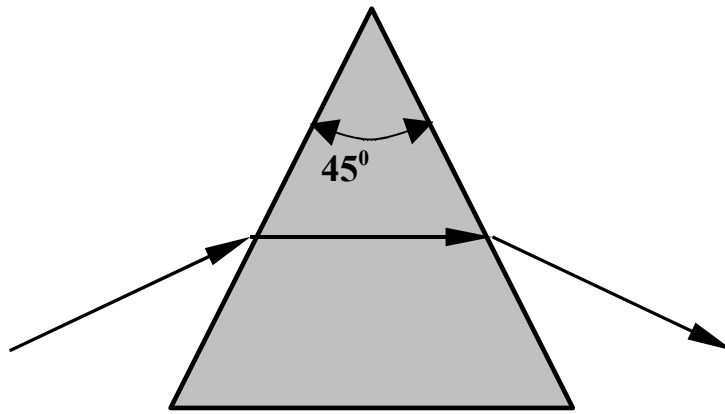


Рис. 1.1.8

94. Тригранна призма з кутом заломлення 60° дає кут найменшого відхилення у повітрі 37° . Який кут найменшого відхилення дає ця призма у воді?
95. Знайти фокусну відстань двояко опуклої лінзи, обмеженої сферичними поверхнями радіуса $R_1=25$ мм і $R_2=40$ мм. Лінза зроблена з важкого флінту.
96. Додатна лінза дає дійсне зображення зі збільшенням у два рази. Визначити фокусну відстань лінзи, якщо відстань між лінзою та зображенням дорівнює 24 см.
97. За допомогою збиральної лінзи отримано зменшене дійсне зображення предмета на екрані. Розмір предмета $h=6$ см, розмір зображення $H=3$ см. Залишаючи предмет і екран нерухомими, переміщують лінзу у сторону предмета і отримують на екрані друге чітке зображення предмета. Визначити його величину.
98. При фотографуванні автомобіля довжиною 4 м, плівку розмістили від об'єктива на відстані 60 мм. З якої відстані фотографували автомобіль, якщо довжина його негативного зображення 32 мм?
99. Зображення міліметрової поділки шкали, що розміщена перед лінзою на відстані $d=12,5$ см, має на екрані довжину $L=8$ см. На якій відстані від лінзи встановлений екран?

100. На рис. 1.1.9 зображено хід одного променя **ABC** крізь тонку від'ємну лінзу. Знайти за допомогою побудови фокусну відстань лінзи.

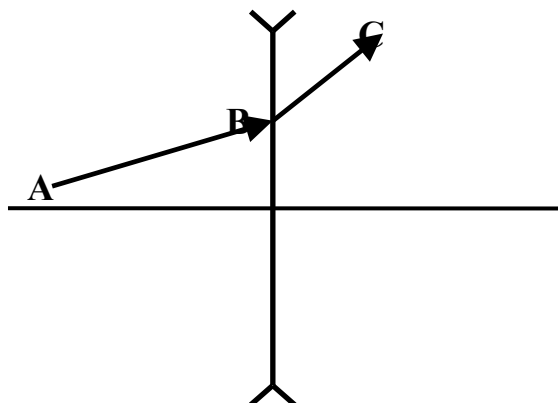


Рис. 1.1.9

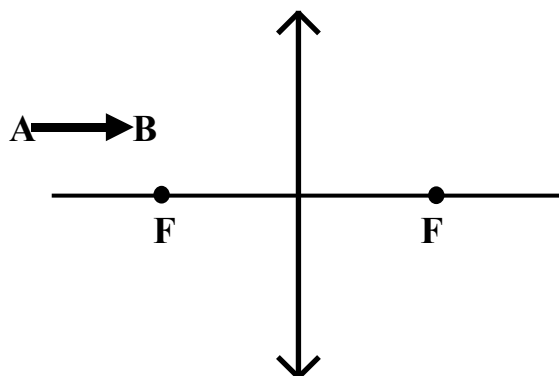


Рис. 1.1.10

101. Побудувати зображення відрізка **AB** (рис. 1.1.10), паралельного головній оптичній осі лінзи.
102. 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 у весь зріст?
103. 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?
104. 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?
105. Лінза дає трикратне збільшення предмета, що розташований в 10-ти см від її площини. Знайти фокусну відстань лінзи.
106. Відстань від предмета до площини збиральної лінзи в k разів менше її фокусної відстані. Знайти збільшення лінзи.

107. Лінза дає дійсне зображення предмета зі збільшенням $k=3$. Як зміниться це число, якщо вдвічі зменшити оптичну силу лінзи?
108. Знайти фокусну відстань наступних лінз (показник заломлення матеріалу лінзи $n=1,5$):
- а) лінза двояко-опукла $R_1=15$ см, $R_2=25$ см;
 - б) лінза плоско-опукла $R_1=15$ см, $R_2=\infty$;
 - в) лінза вгнуто-опукла (додатній меніск) $R_1=-15$ см, $R_2=25$ см;
 - г) лінза двояко-вгнута $R_1=-15$ см, $R_2=-25$ см;
 - д) лінза плоско-вгнута $R_1=\infty$, $R_2=-15$ см;
 - е) лінза випукло-вгнута (від'ємний меніск) $R_1=25$ см, $R_2=-15$ см;
109. Радіуси кривизни поверхонь двоопуклої лінзи однакові та дорівнюють 50 см. Показник заломлення матеріалу лінзи дорівнює $n=1,77$. Знайти оптичну силу лінзи.
110. В 15-ти см від двоопуклої лінзи, оптична сила якої дорівнює 10 дптр, поставлений, перпендикулярно до оптичної осі, предмет висотою 2 см. Знайти положення і висоту зображення. Побудувати креслення.
111. Двояко-опукла лінза, обмежена сферичними поверхнями однакового радіуса кривизни в 12 см, поставлена на таку відстань від предмета, що зображення на екрані вийшло в k разів більше предмета. Визначити відстань від предмета до екрана, якщо: а) $k = 1$; б) $k = 20$; в) $k = 0,2$. Показник заломлення матеріалу лінзи 1,5.
112. Плоско-опукла лінза з радіусом кривизни 30 см і показником заломлення 1,5 дає зображення предмета зі збільшенням, що рівне 2. Знайти відстань предмета і зображення від лінзи. Побудувати креслення.
113. Плоско-опукла збиральна лінза виготовлена зі скла (легкий крон). Визначити співвідношення між фокусною відстанню цієї лінзи F та радіусом кривизни її опуклої поверхні R .
114. 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. Визначити відстань між фокусами червоних і фіолетових променів.
115. Діаметр плоско-опуклої лінзи $d=10$ см, товщина у центрі $h=1$ см, товщину біля країв можна прийняти рівною нулю. Визначити фокусну відстань F лінзи.
116. Якщо відстань предмета від лінзи $d=36$ см, то висота зображення $h_1=5$ см, якщо ж ця відстань $d_2=24$ см, то висота зображення $h_2=10$ см. Визначити фокусну відстань лінзи.
117. Фокусна відстань лінзи $F=20$ см. Відстань предмета від лінзи $d=10$ см. Визначити відстань b від зображення до лінзи, якщо лінза: а) збиральна; б) розсіювальна.
118. Паралельний пучок променів, падаючи на розсіювальну лінзу з діаметром $d=6$ см, дає на екрані, що розміщений на відстані $b=10$ см від лінзи, світле коло діаметром $D=11$ см. Визначити фокусну відстань лінзи.
119. 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?
120. Збиральну лінзу щільно приклали до розсіювальної і отриману систему лінз помістили на оптичну лаву між лампочкою та екраном. Визначити 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.
121. Плоско-опукла лінза з фокусною відстанню $f_1=30$ см і плоско-вгнута 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? Дати побудову зображення з дотриманням масштабу.
122. 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?

123. 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?
124. На систему лінз, що зображена на рис. 1.1.11, зліва падає паралельний пучок світла. Знайти положення точки сходження цього пучка після проходження системи.

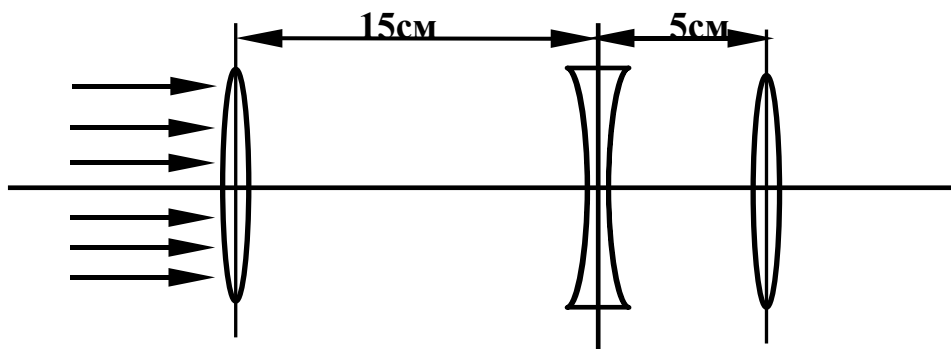


Рис. 1.1.11

125. Фокусні відстані двох тонких збиральних лінз рівні f_1 і f_2 . Чому дорівнює фокусна відстань системи з цих двох лінз, щільно притулених одна до одної? Чому рівна оптична сила цієї системи? Чому буде рівна фокусна відстань системи у випадку, коли лінза буде розсіювальна?
126. 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. Визначити положення фокусів системи. Предмет знаходиться на відстані $10a$ від першої лінзи.
127. Додатні лінзи с фокусними відстанями 30 см знаходяться на відстані 15 см. Знайдіть, при яких положеннях предмета система дає дійсне зображення.
128. Лінзи 1 та 2 зроблені зі скла одного сорту. Знайти оптичну силу лінзи 2, знаючи, що лінза 1 має оптичну силу 3 дптр (рис.1.1.12).

129. Зі скляної пластинки були виготовлені три лінзи (рис.1.1.13). При цьому виявилось, що оптична сила системи (1,2) дорівнює -2 дптр, а оптична сила системи (2,3) дорівнює -3 дптр. Знайти оптичну силу лінзи 2.

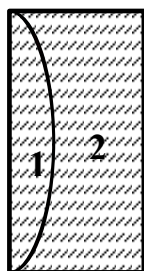


Рис. 1.1.12

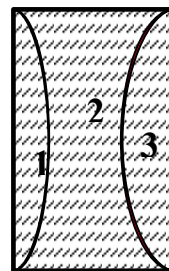


Рис. 1.1.13

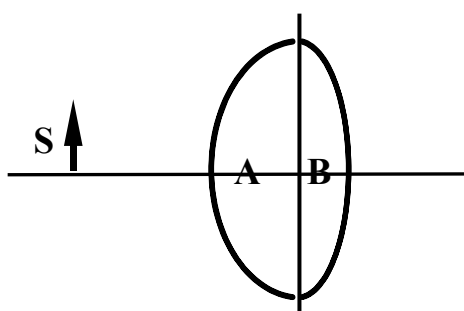


Рис. 1.1.14

130. Промені, що йдуть від джерела **S**, проходять крізь лінзи **A** і **B** (рис.1.1.14). Якщо залишити тільки лінзу **A**, то збільшення буде дорівнювати 2, а якщо залишити тільки лінзу **B**, то збільшення стане рівне 3. Яке збільшення створюють лінзи разом? (Джерело знаходиться лівише головних фокусів лінз **A** і **B**).

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

132. На рис.1.1.15 показана центрована система, що складається з трьох тонких лінз, які мають однакову фокусну відстань. Система знаходиться у повітрі. Визначити положення точки збігання паралельного пучка, що падає зліва, після проходження через систему.

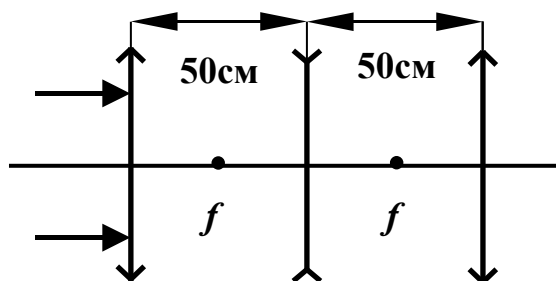


Рис. 1.1.15

133. Точкове джерело світла помістили на оптичній осі збиральної лінзи з фокусною відстанню $F_1=30$ см на відстані $d_1=120$ см від неї. По другу сторону лінзи у її фокальній площині помістили розсіювальну лінзу. Чому

дорівнює фокусна відстань розсіювальної лінзи, якщо після проходження другої лінзи здається, що промені виходять із самого джерела?

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

135. На круглій діафрагмі розміром 20 см падає східний пучок світла, що утворює конус із кутом при вершині 40° . В діафрагму вставили лінзу з оптичною силою 5 дптр. Який буде кут розсіювання конуса, що утворився?

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

137. При падінні білого світла під кутом 45° на скляну пластинку, кути заломлення для променів різних довжин хвиль вийшли такі:

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

Побудувати графік залежності показника заломлення матеріалу пластинки від довжини хвилі.

138. Знайти повздовжню хроматичну аберацію двояко-опуклої лінзи з флінтгласу з однаковими радіусами кривизни $R_1=R_2=8$ см. Показники заломлення флінтгласу для червоного ($\lambda=760$ нм) і фіолетового ($\lambda=430$ нм) променів рівні відповідно 1,5 і 1,8.

139. Знайти фокусні відстані для червоних, жовтих, синіх променів, а також повздовжню хроматичну аберацію (різницю фокусних відстаней для крайніх повздовжніх видимих променів) двояко-опуклої лінзи з радіусами кривизни $R_1=R_2=R=981,4$ мм, зробленої 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

140. Визначити величину хроматичної аберації лінзи з флінта, якщо радіус кривизни обох поверхонь дорівнює 0,5 м. Хроматичну аберацію оцінимо за різницею фокусних відстаней в крайніх червоних і фіолетових променях. Знайти відношення величин хроматичної аберації до середнього значення фокусної відстані лінзи.
141. При виготовленні 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 необхідно помістити збиральну лінзу з фокусною відстанню $f_2=8$ см, щоб на плівці проявилось чітке зображення віддалених предметів?
142. Потрібно виготовити фотографічним шляхом шкалу, розділену на десяти доли 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?
143. При найбільшому віддаленні об'єктива від плівки фотоапарат дає чіткі знімки предметів, що знаходяться 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?
144. Зображення предмета на матовому склі фотоапарата з відстані 15 м вийшло висотою 30 мм, а з відстані 9 мм - висотою 51 мм. Знайти фокусну відстань об'єктива.
145. 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?
146. Фотоапаратом, об'єктив якого має фокусну відстань $F=50$ мм, а розмір кадру 24×35 мм, фотографують креслення розміром 480×600 мм. З якої

- відстані потрібно проводити зйомку, щоб отримати максимальний розмір зображення? Яка частина кадру (по площі) буде зайнята зображенням?
147. Визначити головну фокусну відстань і оптичну силу окулярів, які позбавляють далекозоре око недоліків, якщо відстань найкращого бачення рівна 50 см?
148. На якій максимальній відстані короткозора людина може читати без окулярів дрібний шрифт, якщо звичайно вона користується окулярами з оптичною силою $D=4$ дптр?
149. Межі акомодатії ока людини лежать між 10 і 25 см. Визначити, як зміняться ці межі, якщо людина одягне окуляри з оптичною силою $D=4$ дптр.
150. Визначити, наскільки може змінюватись фокусна відстань нормального ока, якщо його оптична сила змінюється від 58,6 до 70,6 дптр.
151. Відстань найкращого бачення для короткозорого ока рівна 9 см. Які окуляри потрібно одягнути, щоб наблизити зір до норми?
152. Проекційний апарат, об'єктив якого має фокусну відстань f_1 , встановлений на відстані L від екрана. У скільки разів зміниться розмір зображення, якщо до об'єктиву притиснути додаткову додатну лінзу з фокусною відстанню f_2 .
153. Фотозбільшувач є вертикально розміщеним проекційним апаратом. Фокусна відстань об'єктива збільшувача $f=5$ см. На якій висоті над столиком, на якому лежить фотопапір, повинен знаходитись об'єктив, щоб зображення негатива було збільшено у сім разів?
154. Лупа, що є двоопуклою лінзою, виготовлена зі скла (важкий флінт). Радіуси кривизни R поверхонь лінзи однакові і рівні 12 см. Визначити збільшення лупи.
155. Лінзу з оптичною силою 50 дптр використовують в якості лупи. Яке збільшення вона може дати, якщо око акомодоване на відстань найкращого зору?

156. Лупа дає збільшення в два рази. Щільно до неї приклали збиральну лінзу з оптичною силою $D=20$ дптр. Яке збільшення буде давати така складена лупа?
157. Лупа дає 8-кратне збільшення при акомодациї ока на відстань найкращого бачення. Знайти фокусну відстань лупи і її оптичну силу.
158. Знайти 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?
159. Визначити фокусну відстань лупи, яка дає для нормального ока 12-кратне збільшення, якщо око акомодоване на нескінченність. Як зміниться збільшення, якщо цією лупою користується короткозора людина без окулярів?
160. Числова апертура деякого мікроскопа у повітрі 0,46. Знайти роздільну здатність приладу.
161. 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. Знайти збільшення мікроскопа для нормального ока.
162. Мікроскоп має об'єктив з фокусною відстанню $f_1=1$ см і окуляр з фокусною відстанню $f_2=3$ см, відстань між ними $d=20$ см. На якій відстані l_1 повинен знаходитись об'єктив, щоб кінцеве зображення вийшло на відстані $l_2=25$ см від ока?
163. Визначити збільшення мікроскопа, якщо головна фокусна відстань об'єктива 4,0 мм, головна фокусна відстань окуляра 15 мм і довжина тубуса 12 см.
164. Мікроскоп складається з об'єктива з фокусною відстанню 2 мм і окуляра з фокусною відстанню 40 мм. Відстань між фокусами об'єктива та окуляра дорівнює 18 см. Знайти збільшення, яке дає мікроскоп.

165. Для вивчення деякого об'єкта потрібно використати довгофокусний мікроскоп, 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 $\beta_2=20$?
166. 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 $\beta=200$. Знайти збільшення окуляра, прийнявши відстань найкращого бачення для нормального ока 25 см.
167. Фокусна відстань окуляра мікроскопа $f_2=4$ см. Відстань між об'єктивом і окуляром $\ell=16$ см. Збільшення мікроскопа $\beta=300$. Знайти фокусну відстань f_1 об'єктива мікроскопа.
168. Яке збільшення β мікроскопа, фокусні відстані об'єктива і окуляра якого рівні відповідно $f_1=8$ мм і $f_2=5$ см, а відстань від лінзи об'єктива до лінзи окуляра $\ell=21$ см?
169. 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. Знайти збільшення β для нормального ока і відстань між лінзами.
170. 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: а) яка довжина тубуса мікроскопа; б) яке збільшення цього мікроскопа?
171. Предмет лежить на відстані $d=6,1$ мм від об'єктива мікроскопа. Головна фокусна відстань окуляра $f_2=1,25$ см. Знайти головну фокусну відстань об'єктива, якщо мікроскоп дає збільшення $\beta=1200$ разів.
172. 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 $\beta=2500$. Знайти фокусну відстань f_2 окуляра.

173. 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. Визначити збільшення мікроскопа.
174. 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?
175. Відстань між фокусами об'єктива та 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?
176. 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.
177. Оптична сила об'єктива телескопа $D=0,5$ дптр. Окуляр діє як лупа, що дає збільшення у 10 разів. Яке збільшення дає телескоп?
178. Фокусна відстань об'єктива телескопа $f_1=1$ м. В телескоп роздивлялись будинок, що знаходиться на відстані $d=1$ км. В якому напрямку і на скільки потрібно пересунути окуляр, щоб отримати чітке зображення, якщо після будинку будуть роздивлятись Місяць, або замість Місяця будуть роздивлятись близькі предмети, що знаходяться на відстані $d_1=100$ м?
179. Зорова труба з фокусною відстанню об'єктива $f=50$ см встановлена на нескінченність. На яку відстань потрібно пересунути окуляр труби, щоб чітко бачити предмети на відстані $d=50$ м?
180. Зорова труба має фокусну відстань об'єктива $f_1=50$ см і фокусну відстань окуляра $f_2=10$ см. Чому дорівнює кут, під яким видно через трубу два віддалених предмети, якщо при спостереженні неозброєним оком цей кут 30° ? Труба встановлена на нескінченність.

181. Телескоп має об'єктив з фокусною відстанню 150 см і 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?
182. Фокусна відстань об'єктива одного з рефракторів в Пулковській обсерваторії дорівнює 14,1 м. Яке збільшення цього рефрактора при використуванні окуляра з фокусною відстанню 2,5 см?

Розділ 1.2. Фотометрія

Основні формули

I. Світловий потік Φ через певну поверхню:

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

де W - енергія світла, що проходить через 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 протяжних 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 розповсюдження світла.

Світність поверхні R :

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

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

У випадку Ламбертовського випромінювання світність:

$$R = \pi B.$$

III. Освітленість E поверхні:

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

де $d\Phi$ - світловий потік, що падає на поверхню; dS - поверхня, яка освітлюється.

Освітленість від точкового джерела:

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

де α - кут між нормаллю до поверхні та напрямком на точкове джерело; r - відстань від елементарної поверхні до точкового джерела.

1.2.1. Приклади розв'язання задач

Задача 1.2.1. На столі лежить книга на відстані L від основи перпендикуляра, що проведений з електролампи до площини стола. Лампа може тільки підніматись і опускатись (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. 1.2.1). Обчислимо освітленість книги як функцію висоти h лампи над столом.

Як видно з рис.1.2.1, при будь-якій довільній висоті h відстань від книги до джерела світла дорівнює

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

а освітленість книги, згідно з формулою освітленості точкового джерела світла

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

Проте з рис.1.2.1

$$\cos \alpha = \frac{h}{R}.$$

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, легко знайти, що при $E = E_{\max}$ мінімальна висота h_0 дорівнює

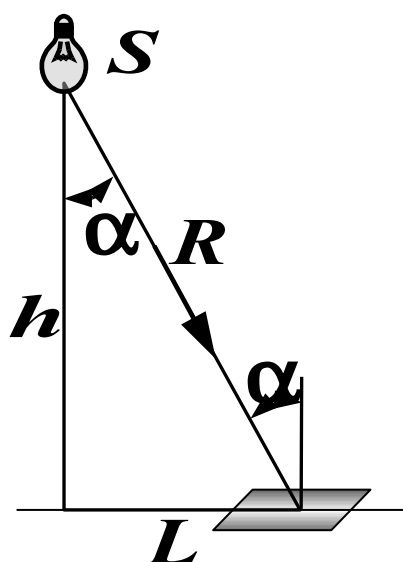


Рис.1.2.1

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

Задача 1.2.2. Об'єктивом з малою світлосилою фотографують предмет зі зменшенням у два рази. Яка буде освітленість фотопластини (порівняно з першим випадком), якщо фотографувати предмет в тих самих умовах, але із збільшенням $\beta=1$?

Розв'язання задачі. Перший випадок зображено на рис. 1.2.2, другий – на рис. 1.2.3. Користуючись формулою тонкої лінзи, легко обчислити, що в першому випадку відстань від об'єктива до предмета $S_1 = 3f$, а від об'єктива до зображення (фотопластинки) $S'_1 = \frac{3}{2}f$, де f - фокусна відстань об'єктива.

Справді,

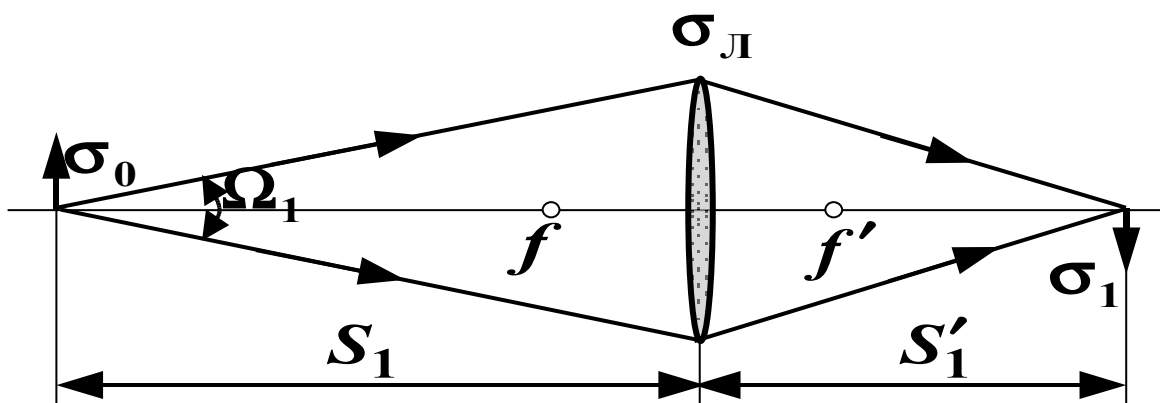


Рис. 1.2.2

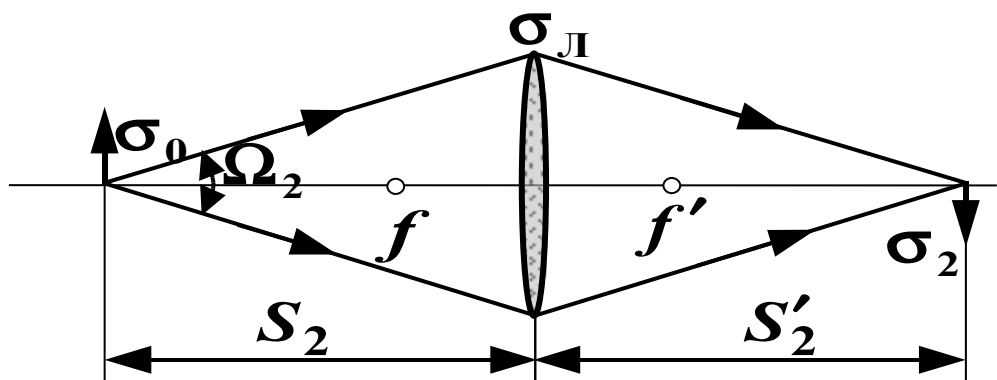


Рис. 1.2.3

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

Але збільшення:

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

Отже:

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

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 посилає на об'єктив світловий потік

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

де σ_0 - площа предмета.

Відмітимо, що в задачі розглядаються 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 рази.

Задача 1.2.3. Крізь отвір у віконниці в кімнату попадає сонячний промінь, який освітлює аркуш білого паперу, що лежить на підлозі. Площа аркуша S , його освітленість E , коефіцієнт відбивання 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, при $H \gg \sqrt{S}$) елементарним точковим джерелом, сила світла якого якраз 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 увесь аркуш паперу дає над собою освітленість в S раз більшу, тобто:

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

1.2.2. Задачі з розділу „Фотометрія”

1. Точкове джерело має силу світла I . Яка сила світла зображення цього джерела в плоскому, ідеально відбиваючому дзеркалі? (Відповідь повинна бути обґрунтована графічно і кількісно).
2. Лампа, що має силу світла 100 Кд, закріплена на стелі кімнати. Визначити сумарний світловий потік, що падає на всі стіни і підлогу у кімнаті.
3. Світло від електричної лампи в 200 св падає під кутом 45° на робоче місце, його освітленість 141 лк. Знайти: а) на якій відстані від робочого місця знаходиться лампа; б) на якій висоті від робочого місця вона висить.
4. Екран освітлюється двома лампами, що розміщені 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 ж саму освітленість, як дві згадані вище лампи?
5. Лампа, підвішена до стелі, дає в горизонтальному напрямку силу світла в 60 св. Який світловий потік падає на картину площею $0,5 \text{ м}^2$, яка висить вертикально на стіні у 2 м від лампи, якщо на протилежній стіні знаходиться велике дзеркало на відстані 2 м від лампи?
6. Велике креслення фотографують спочатку в цілому, а потім окремі деталі в натуральну величину. У скільки разів потрібно збільшити час експозиції при фотографуванні деталей креслення?
7. 21 березня, у день весняного рівнодення, на Північній Землі Сонце знаходиться у полудень під кутом 10° до горизонту. У скільки разів освітленість вертикальної площини буде більше освітленості горизонтальної площини?

8. 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 освітленості поверхні Землі на широті 45° (широта Києва)?
9. В 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. Знайти освітленість центра екрана.
10. 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 $\beta_2=5$. Визначити відношення освітленості зображення у цих випадках.
11. Точкове джерело світла знаходиться на деякій відстані від екрана і дає у центрі освітленість, що рівна 1 лк. Як зміниться освітленість, якщо по другу сторону від джерела на тій самій відстані помістити плоске дзеркало, яке ідеально відбиває? Площини екрана і дзеркала паралельні.
12. На деякій відстані від точкового джерела світла встановили екран. Як зміниться освітленість середини екрана, якщо паралельно йому по інший бік від джерела на такій самій відстані від нього поставити плоске дзеркало? Відстань від джерела до екрана 1,5 м, сила світла 50 Кд.
13. На відстані $L=1$ м від невеликого екрана розташоване джерело світла. Посередині між джерелом світла та екраном розмістили лінзу. Виявилось, що освітленість екрана не змінилась. Визначити фокусну відстань лінзи.
14. На відстані $L=5$ м від екрана розташований диск, який світиться і має діаметр $d=1$ см. Поміж джерелом світла та екраном помістили збиральну лінзу діаметром $D=2$ см та з її допомогою отримали на екрані зображення диска. Виявилось, що освітленість зображення дорівнює освітленості лінзи. Визначити фокусну відстань лінзи.

15. Збиральна лінза з фокусною відстанню $f_1=6$ см розташована на відстані $L=4f_1=24$ см від екрана (рис. 1.2.4). 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 дорівнює сумі їх фокусних відстаней?

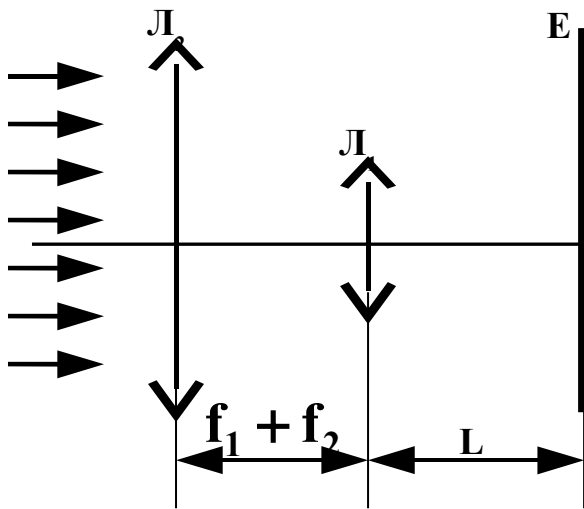


Рис.1.2.4

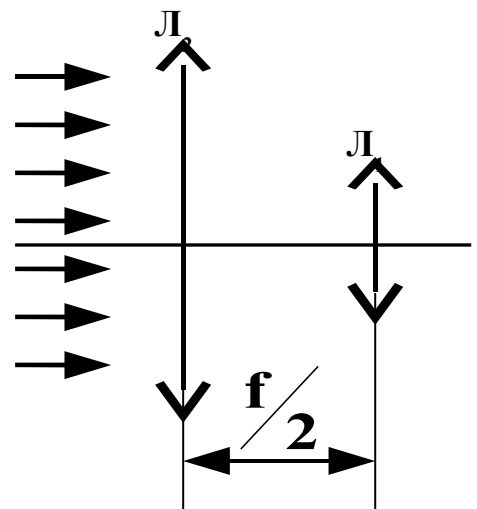


Рис. 1.2.5

16. Дві збиральні лінзи з однаковими фокусними відстанями f розташовані на відстані $f/2$ одна від одної (рис.1.2.5). З допомогою цієї системи отримані два зображення Сонця: одне утворене променями, які після заломлення в лінзі L_1 пройшли повз лінзу L_2 , друге – променями, які пройшли послідовно через обидві лінзи. При якому співвідношенні діаметрів лінз освітленість зображень буде однаковою?
17. Збиральна лінза діаметром $d=2$ см з фокусною відстанню $f=20$ см освітлюється широким паралельним пучком світла. Ідеальне плоске дзеркало розташоване за лінзою так, що 25 % світлового потоку, який пройшов крізь лінзу і відбився від дзеркала, знову потрапляє на лінзу. Знайти відстань між лінзою та дзеркалом.

18. 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 розташоване плоске ідеальне дзеркало. Яка частина світлового потоку, що пройшов через лінзу, знову впаде на неї після відбиття від дзеркала?
19. В головному фокусі вгнутого дзеркала з радіусом кривизни $R=2$ м знаходиться точкове джерело світла. На відстані $L=10$ м від джерела розташовано екран, перпендикулярний до головної оптичної осі дзеркала. У скільки разів освітленість у центрі світлової плями, що утворюється на екрані, більше за освітленість у тому ж місці екрана, але утворена джерелом за відсутності дзеркала?
20. Що легше підпалить дерев'яний шматок: вгнуте дзеркало з діаметром оправу $D=1$ м та радіусом кривизни $R=10$ м чи лінза з діаметром $d=2$ см та фокусною відстанню $f=4$ см? Джерелом світла є Сонце.
21. Чи є правдивою легенда про те, як грецькі воїни за порадою Архімеда спалили дерев'яний корабель римлян за допомогою напрямлених сонячних променів, відбитих від плоских металевих щитів? Скільки для цього потрібно було б воїнів? Відомо, що у сонячну погоду вдається підпалили шматок сухого дерева за допомогою лінзи діаметра $d=3$ 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.
22. Світильник у вигляді кулі з „молочного скла” створює на відстані 5 м при нормальному падінні променів освітленість 6 лк. Визначити яскравість світильника, якщо його діаметр дорівнює 20 см.
23. Випромінююча частина люмінесцентної лампи, що застосовується для освітлення житлових та промислових приміщень, має форму циліндра завдовжки 42 см і діаметром 2,24 см. Потужність лампи 15 Вт, яскравість 50 нт. Визначити ККД лампи.

24. Згідно з нормами освітлення робочого місця проектувальника освітленість повинна бути 100 лк. На якій висоті від робочого місця треба розмістити лампу у 100 Кд?
25. 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° .
26. Визначити силу світла лампи вуличного освітлення, яка необхідна для того, щоб освітленість на землі посередині між ліхтарями була рівна 0,2 лк. Лампи підвішені на висоті 10 м, відстань між стовпами 40 м. При розрахунках враховувати освітленість, яку дають два сусідні ліхтарі.
27. Лампа, сила світла якої $I=200$ Кд, закріплена на стелі у кімнаті. Визначити сумарний світловий потік Φ , який падає на всі стіни і підлогу кімнати.
28. Над горизонтальною поверхнею на висоті 2 м і на відстані 1 м одне від одного розміщено два джерела світла, що дають світлові потоки по 300лм кожне. Визначити освітленість на поверхні: а) в точках під джерелами світла; б) на середині відстані між ними.
29. У центрі квадратної кімнати площею 25 м^2 висить лампа. Вважаючи лампу точковим джерелом світла, знайти, на якій висоті від підлоги повинна знаходитись лампа, щоб освітленість у кутках кімнати була найбільшою?
30. Над центром круглого столу діаметром 2 м висить лампа, сила світла якої 100 св. Вважаючи лампу точковим джерелом світла, визначити зміну освітленості країв стола при поступовому підйомі лампи в інтервалі $0,5 \leq h \leq 0,9$ м через кожні 10 см. Побудувати графік $E = f(h)$.
31. 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 однаковою з обох боків?
32. В центрі круглого стола діаметром 1,2 м знаходиться настільна 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 (і у скільки разів): якщо горить настільна лампа або якщо горить люстра?
33. 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 кутів стола?
 34. На висоті $h=8$ м над землею висить лампа, сила світла якої $I=100$ Кд. Знайти площу ділянки, в межах якої освітленість не менша за $E=1$ лк.
 35. 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. Визначити освітленість поверхні землі на відстані $L=2$ м від основи стовпа.
 36. Освітленість Землі повним Місяцем складає приблизно $0,1$ лк. Сила світла найбільш потужних прожекторів досягає 2 млрд Кд. Порівняти силу світла Місяця з силою світла прожектора, вважаючи, що земна атмосфера поглинає половину світла, яке надає Місяць. (Відстань від Землі до Місяця $384\,000$ км).
 37. Світло від електричної лампочки в 200 св падає під кутом 45° на робоче місце, його освітленість 141 лк. Знайти: а) на якій відстані від робочого місця знаходиться лампочка; б) на якій висоті вона висить.
 38. У полудень під час весняного і зимового рівнодення Сонце знаходиться на екваторі у зеніті. В скільки разів у цей час освітленість на поверхні Землі на екваторі більша освітленості поверхні Землі в Санкт-Петербурзі? Широта Санкт-Петербурга 60° .
 39. Предмет при фотографуванні 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?
 40. Знайти освітленість на поверхні Землі, яку спричиняють сонячні промені, що падають нормально до поверхні. Яскравість Сонця рівна $1,2 \cdot 10^9$ нт.

41. Спіраль електричної лампочки з силою світла 100 св поміщена у матову сферичну колбу діаметром: а) 5 см і б) 10 см. Знайти світність і яскравість лампи в обох випадках. Втратами світла в оболонці колби знехтувати.
42. Лампа, в якій тілом, що світиться є розжарена кулька діаметром 3 мм, дає силу світла в 85 св. Знайти яскравість цієї лампи, якщо сферична колба зроблена: а) з прозорого скла; б) з матового скла. Діаметр колби дорівнює 6 см.
43. На аркуш білого паперу розміром 20×30 см нормально до поверхні падає світловий потік в 120 лм. Знайти освітленість, світність і яскравість паперового аркуша, якщо коефіцієнт розсіювання 0,75.
44. У кіноапараті є лампа, яка дає силу світла 200 Кд. Світло лампи проходить крізь конденсатор і потім потрапляє в об'єктив апарата. Об'єктив проектує зображення освітленої поверхні конденсатора на екран у п'ятдесятикратному збільшенні. На якій відстані від лампи знаходиться проєктована поверхня конденсатора, якщо освітленість в центрі екрана 100 лк, а в оптичній системі апарата втрачається 37,5 % світла?
45. Над півсферою симетрично розміщено точкове джерело світла силою 50 Кд на висоті, що дорівнює діаметру півсфери (рис. 1.2.6). Визначити освітленість у тій точці поверхні півсфери, на яку промені падають під кутом 35° . Радіус півсфери 1 м.

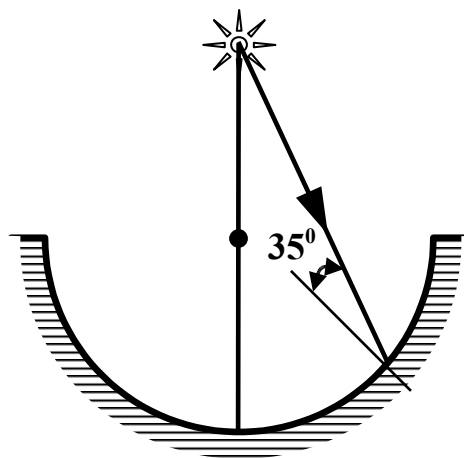


Рис. 1.2.6

46. 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? Кутовий діаметр Сонця $30'$.
47. Сонце, знаходячись поблизу зеніту, створює на горизонтальній поверхні освітленість $E=10$ лк. Діаметр Сонця видно під кутом 32° . Визначити за цими даними видиму яскравість Сонця.
48. Довжина металічної нитки, розпеченої до білого $L=30$ см, діаметр $d=0,2$ мм. Сила світла нитки у напрямку, перпендикулярному її довжині, $I=24$ Кд. Визначити яскравість нитки.
49. Діаметр об'єктива телескопа дорівнює 60 см, а діаметр зіниці ока - 6 мм. У скільки разів цей телескоп збільшує видиму яскравість зірок?
50. Монохроматичне інфрачервоне випромінювання при розповсюдженні в атмосфері поглинається парами води так, що при нормальному тиску і температурі 20°C енергія випромінювання зменшується у 5 разів на горизонтальній ділянці довжиною 4,35 км. Як поглинається це випромінювання при проходженні всієї атмосфери Землі по вертикалі? Середня молярна маса повітря (з урахуванням водяних парів) $\mu=28,7$ г/моль. Відношення тиску парів води до загального тиску вважати сталим по всій висоті атмосфери.
51. Направлений пучок інфрачервоного випромінювання послаблюється внаслідок розсіювання на краплинах туману. Радіус краплин $r_1=5$ мкм, маса води в одиниці об'єму повітря $\gamma_1=0,002$ г/м³. На якій відстані у такому тумані пучок послабиться так, як на відстані $L=1$ км в тумані із краплин радіуса $r_0=20$ мкм при $\gamma_0=0,02$ г/м³?
52. У димовій завісі з непрозорих частинок радіуса $r_1=5$ мкм при масі речовини в одиниці об'єму повітря $\gamma_1=0,04$ г/м³ дальність видимості складає $L_1=50$ м. Скільки речовини в одиниці об'єму повітря розсіюється джерелом завіси з частинок радіусом $r_2=10$ мкм, якщо видимість зменшується до $L_2=20$ м?

53. 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 падаюче на нього світло?

ЧАСТИНА II. СПЕЦКУРС “ОСНОВИ ФІЗИКИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА”

Охорона довкілля і раціональне використання природних ресурсів – одна із найважливіших проблем сучасності. Її вирішення безпосередньо пов’язане з підготовкою фахівців із питань охорони навколишнього середовища та вихованням у молодого покоління дбайливого ставлення до природи.

Спецкурс “ Основи фізики навколишнього середовища” читається для спеціальності “Екологія та охорона навколишнього середовища” на третьому курсі і складається з двох етапів: лекційного курсу і спецпрактикуму та трьох видів занять, які мають такий розподіл годин:

1. Лекційний курс	26 год
2. Практичні заняття (практикум)	36 год
3. Лабораторний практикум	14 год

Спецпрактикум з курсу “Основи фізики навколишнього середовища” закінчується написанням реферату з даної проблематики та його захисту на заняттях.

Спецкурс “Основи фізики навколишнього середовища” закінчується двома заліками:

1. Залік з лекційного курсу та лабораторного практикуму.
2. Залік зі спецпрактикуму.

Лекційний курс побудований згідно з програмою, яка затверджена кафедрою фізики.

Особливу увагу потрібно звернути на 12 додатків цих методичних рекомендацій. В них приведені всі необхідні дані та сталі величини, які необхідні для розв’язування задач зі спецкурсу.

Глава I. Зміст програми та теми рефератів спецкурсу

“ОСНОВИ ФІЗИКИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА“

1. *Вступ.* Значення курсу “Основи фізики навколишнього середовища“. Його зв’язок з профільюючими загальними курсами. Науково-методологічні принципи побудови вивчення курсу “ Основи фізики навколишнього середовища “. Екологія, техніка і фізика.

2. *Короткий огляд геофізичного положення Землі у Всесвіті.*

2.1 Земля в Сонячній системі. Закони Кеплера. Елементи орбіт. Космос навколо нашої планети. Зв’язок між фізичними параметрами системи Земля – Сонце та кліматичними умовами.

2.2. Орбіта, орієнтація осі, річне обертання Землі, добове обертання. Прояви поворотних (коріолісових) сил інерції.

3. *Фізика Сонця.*

3.1. Рівноважне теплове випромінювання. Закони теплового випромінювання. Хвильове випромінювання Сонця. Корпускулярне випромінювання Сонця. Сонячне випромінювання як частина космічного випромінювання. Каскадне утворення електронно-позитронних пар в космічних променях. Втрати енергії електронами та гальмівне випромінювання. μ -мезони. π -мезони. Залежність часу життя нестійких частинок від швидкості руху. Вибухові ядерні лавини і їх каскадний розвиток в космічних променях.

3.2. Корпускулярний і енергетичний спектр космічних променів. Походження космічного випромінювання.

3.3. Ядерні реакції. Енергетичний ефект. Енергія збудження і поріг ядерних реакцій. (Перетворення елементарних частинок. Ядерні сили. Енергія зв’язку ядер і енергія зв’язку нуклонів. Взаємозв’язок енергії і будова ядер. Внутрішньоядерний рух нуклонів і нуклонні оболонки. Спіни і магнітні моменти ядер). Вихід продуктів ядерної реакції. Резонансні явища.

Ланцюговий поділ ядер. Термоядерні реакції – реакції ядерного синтезу. Плазма. Мас-спектральний аналіз. Активні області Сонця. Сонячний вітер. Цикли сонячної активності. Сонячна активність і положення планет.

4. Фізика атмосфери Землі.

4.1. Атмосфера і її склад. Зміни фізичних параметрів атмосфери (тиску, температури, складу повітря) залежно від висоти. Атмосферні потоки, мусони, пасати. Вплив водних просторів на життя на Землі. “Метеоритні сліди”. Фазові перетворення води в атмосфері – випаровування, конденсація, зледеніння. Іоносфера Землі. Магнітне поле Землі. Іоносфера Землі і її радіаційні пояси. Закони Кулона для магнітних поясів. Рух заряджених частинок у магнітному полі Землі.

4.2. Струм в газах. Іонізація і електропровідність газів. Типи і механізми розряду в газах. Блискавка. Полярні сяйва. Бурі в магнітосфері. Природне випромінювання і поглинання в атмосфері. Явища переносу і обміну в гетерогенних дисперсних системах. Захисні властивості атмосфери.

4.3. Хімічні, радіоактивні, теплові та хвильові забруднення атмосфери.

5. Основи фізики Землі та її поверхні.

5.1. Форма та розміри Землі. Глибинні зони та їх густина. Земна кора (літосфера). Оболонка (мантія), ядро. Водна оболонка та гідросфера. Тепло Землі. Залежність температури Землі від глибини у поверхневому шарі. Тиск усередині Землі.

5.2. Елементи фізики твердого тіла. Будова кристалів. Поняття про кристалохімію. Форма і ріст кристалів. Теплоємність твердих тіл. Потрійна точка. Кристалізація розчинів. Діаграми плавкості. Сили зв'язку в кристалах.

5.3. Склад речовини Землі. Класифікація мінералів. Фізичні властивості мінералів. Самородні елементи. Гірські породи. Магматичні породи. Базальтовий шар земної кори. Осадкові породи. Хімічні осади. Осадкові породи органічного походження. Корисні копалини (нафта, газ, вугілля, руди чорних та кольорових металів, будівельне каміння та сировина для виробництва

будівельних матеріалів). Фізика процесів геологічних стихій – землетрусів, цунамі. Вулкани і вулканізм. Підземні пожежі. Гейзери. Рухи земної кори. Коливальні рухи. Плинні води. Ерозії. Утворення та діяльність річок. Перенесення матеріалу та річкові відклади. Штучні водойми, їх вплив на навколишнє середовище. Підземні води. Діяльність підземної води. Особливості води та фізичні аспекти взаємодії забруднень з водою. Поверхневі явища. Капілярні явища, водопроникність. Адсорбція та абсорбція й їх роль у знешкодженні забруднень.

5.4. Лід на Землі. Льодовики. Діяльність льодовиків. Багаторічна мерзлота. Фізичні передумови вітру, буранів, ураганів. Теплові бурі. Розвіювання, корозія. Вплив океану на клімат Землі.

6. *Вплив життєдіяльності людини на фізичні процеси в навколишньому середовищі.*

6.1. Фізико–екологічний аналіз енергетики. Парові атомні енергосистеми та наслідок їх роботи (“нормальні” та “аварійні”).

6.2. Парниковий ефект. Озонові дірки.

6.3. Видобування води, корисних копалин та будівельних матеріалів. Фізико–геологічні наслідки.

7. *Основні принципи та проблеми екологічно чистої енергетики. Водні та вітрові електростанції. Використовування енергії хвилі та променів.*

8. *Безпосереднє використання сонячної енергії. Космічні енергостанції.*

9. *Фізичні методи дослідження навколишнього середовища.*

9.1. Гідрометеослужба, прогнози погоди.

9.2. Дистанційні вимірювання концентрації домішок в атмосфері.

ТЕМИ РЕФЕРАТІВ

1. Будова Всесвіту.
2. Рух в неінерціальних системах. Сила Коріоліса.
3. Рух тіла в гравітаційному полі Землі з врахуванням її обертання.
4. Проблеми виникнення життя в природі. Життя на других планетах.
5. Атмосфера і атмосферні явища.
6. Астрологія, міфи і реальність.
7. Цикли активності Сонця та їх вплив на життя на Землі.
8. Космічні промені. Залежність життя нестійких частинок від швидкості руху.
9. Складові атома, їх характеристики. Ядерні сили. Енергія зв'язку нуклона.
10. Ядерні реакції, їх поріг протікання. Вихід продуктів ядерних реакцій та їх утилізація.
11. Атомні електростанції. Екологія атомних електростанцій.
12. Смерч та явища пов'язані з ним.
13. Кругообіг води в природі. Раціональне використання водних ресурсів.
14. Магнітне поле Землі. Вплив магнітного поля Землі на живі організми.
15. Електромагнітне забруднення навколишнього середовища.
16. Магнітні бурі в магнітосфері та їх вплив на життя на Землі.
17. Хімічні, радіоактивні та хвильові забруднення атмосфери.
18. Зміна агрегатного стану речовини. Плавлення і кристалізація.
19. Аномальні властивості води. Випаровування та конденсація води. Вологість повітря.
20. Фотохімічні перетворення під дією світла. Фотохімічні реакції. Сенсibilізовані фотохімічні реакції.
21. Склад речовин на Землі. Геологічні властивості земель України.
22. Корисні копалини України та їх раціональне використання.

23. Видобування будівельного каміння та сировини для виробництва будівельних матеріалів на Україні.
24. Лід на Землі. Льодовики. Діяльність льодовиків. Багаторічна мерзлота.
25. Проблеми „чистої” енергетики.
26. Електричні явища в атмосфері.
27. Геофізичне положення Землі у всесвіті. Зв'язок між фізичними параметрами системи Земля – Сонце та кліматичними умовами.
28. Теплове випромінювання і його закони. Випромінювання Сонця.
29. Воднева оболонка та гідросфера Землі. Проблеми охорони водних ресурсів Землі.
30. Фізика геологічних процесів на Землі. Землетруси та вулканічна діяльність на Землі.
31. Плинні води. Ерозія. Утворення та діяльність річок Землі.
32. Фізичні передумови вітру, бурі та ураганів. Теплові бурі. Вплив океану на клімат Землі.
33. Фізичні особливості парникового ефекту та його наслідки. Озонові дірки та їх вплив на життя на Землі.
34. Гідрометеослужба, прогнози погоди.

Глава II. Зміст практикуму “ОСНОВИ ФІЗИКИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА”

Практикум спецкурсу “Основи фізики навколишнього середовища” складається із таких розділів:

1. Всесвітнє тяжіння. Закони Кеплера. Будова Всесвіту.
2. Рух тіл в неінерціальних системах відліку.
3. Фізика Сонця. Квантова природа випромінювання Сонця. Теплове випромінювання Сонця. Радіоактивність. Ядерні реакції, що протікають на Сонці.
4. Фізика атмосфери. Електричний струм в газах та електролітах.
5. Фази і фазові переходи. Вологість повітря.
6. Явища, які протікають на межі поділу фаз. Поверхневий натяг. Капілярні явища. Поверхнево-активні речовини. Сорбція.
7. Гідродинаміка.

Розділ 2.1 і 2.2. Всесвітнє тяжіння. Закони Кеплера. Будова Всесвіту. Рух тіл в інерціальних системах відліку

Основні формули

Закон всесвітнього тяжіння:

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2},$$

де G – гравітаційна стала; m_1 і m_2 – маси тіл; r – відстань між тілами.

Напруженість гравітаційного поля:

$$E = -G \frac{m}{r^2}.$$

Потенціал гравітаційного поля:

$$\varphi = -G \frac{m}{r}.$$

Перший закон Кеплера:

Всі планети обертаються навколо Сонця по еліпсним орбітам, в одному із фокусів якого знаходиться Сонце.

Другий закон Кеплера:

За рівні проміжки часу радіус-вектор орбіти планети описує однокову площу.

Третій закон Кеплера:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^2}{a_2^2},$$

де T_1 та T_2 – періоди обертання планет навколо Сонця; a_1 та a_2 – великі осі еліптичних орбіт планет.

Сила інерції:

$$F_i = -m a_i,$$

де m – маса тіла; a_i – прискорення, з яким рухається система відліку (прискорення інерції).

Сила Коріоліса:

$$F_k = 2m\mathbf{v} \cdot \boldsymbol{\omega} \sin \varphi,$$

де \mathbf{v} – лінійна швидкість руху тіла; $\boldsymbol{\omega}$ – кутова швидкість обертання системи відліку; φ – кут між векторами $\vec{\mathbf{v}}$ та $\vec{\boldsymbol{\omega}}$.

2.2.1. Задачі з розділів „Всесвітнє тяжіння. Закони Кеплера. Будова всесвіту. Рух тіл в інерціальних системах відліку”.

1. Знайти мінімальну швидкість, яку потрібно надати тілу, щоб вивести його на орбіту навколо Землі.

2. Знайти мінімальну швидкість, яку потрібно надати тілу, щоб воно змогло покинути Землю, подолавши поле тяжіння та стали планетою Сонячної системи.
3. Знайти початкову швидкість, яку потрібно надати ракеті, щоб вона змогла вийти за межі Сонячної системи.
4. Знайти прискорення вільного падіння g на висоті 30 км над поверхнею Землі.
5. Знайти залежність прискорення вільного падіння g від широти місцевості, вважаючи Землю однорідною кулею.
6. В однорідній кулі густиною ρ і радіусом R зроблено отвір вздовж осі. Визначити роботу по переміщенню тіла масою M : а) із центру на поверхню кулі; б) від поверхні кулі в нескінченність.
7. Яку роботу необхідно виконати, щоб вивести тіло масою 500 кг на орбіту штучного супутника Землі і на орбіту штучної планети Сонячної системи?
8. Яку мінімальну роботу необхідно виконати, щоб відправити тіло із Землі на Місяць? Вважати, що в процесі руху положення Місяця і Землі не змінюється.
9. Підрахувати гравітаційну енергію кулі радіуса R , рівномірно заповненою речовиною з густиною ρ (об'ємна густина).
10. Для розрахунку середньої густини ρ Землі, Ейлер застосував метод вимірювання прискорення вільного падіння g_0 на поверхні Землі і прискорення вільного падіння g в шахті на глибині h . Вважається, що густина Землі в поверхневому шарі товщиною h однорідна і дорівнює $\rho_0 = 2,5 \text{ г/см}^3$. В дослідах Ейлера $g - g_0 = 5,2 \cdot 10^{-5} g_0$, $R_3/h = 1,6 \cdot 10^4$ (R_3 – радіус Землі). Користуючись цими даними, розрахувати середню густину Землі. Чим пояснюється зміна g з глибиною h ?
11. Порівняти дію на Місяць Землі та Сонця.

12. Визначити величину гравітаційного тиску в центрі сфери радіуса R , якщо:
 - а) густина сфери однорідна і дорівнює ρ_0 ; б) густина зростає прямо пропорційно радіусу сфери.
13. Оцінити температуру в середині сфери радіуса R , яка складається з водню з середньою густиною $\rho_0=1,4 \text{ г/см}^3$: а) для розмірів Землі; б) для розмірів Сонця.
14. Період обертання планети Сатурн навколо Сонця в $n=30$ разів більший за період обертання Землі. Знаючи відстань від Землі до Сонця, визначити відстань від Сатурна до Сонця (орбіти вважати круговими).
15. Планета Марс має два супутника – Фобос та Демос. Перший знаходиться на відстані $R_1=9,5 \cdot 10^3$ км від центра Марса, а другий – на відстані $R_2=2,4 \cdot 10^4$ км. Знайти період обертання цих супутників навколо Марса.
16. Знайти залежність прискорення вільного падіння від висоти над поверхнею Землі. На якій висоті прискорення вільного падіння складає 25 % від прискорення вільного падіння на поверхні Землі?
17. Знайти період обертання навколо Сонця штучної планети, якщо відомо, що велика піввісь її еліптичної орбіти більше піввісі земної орбіти на 24 мільйони кілометрів.
18. Комета, захоплена Сонцем на орбіту, має лінійну швидкість в апогеї $v_1=0,8$ км/с, її відстань від Сонця $R_a=6 \cdot 10^{12}$ м. У перигеї - $v_2=50$ км/с. Знайти відстань комети (R_p) в перигеї.
19. Обчислити величину поперечного зміщення снаряда S , який випущений у Північній півкулі в меридіанній площині з пункту, що має географічну широту 70° з півночі на південь за час польоту $t=2,5$ с. Початкова швидкість снаряда 1,2 км/с. Силу опору повітря не враховувати.
20. Обертання Землі зумовлює відхилення поверхні води в річках від горизонтального положення. Обчислити нахил поверхні води в річці до горизонтальної поверхні, якщо річка тече на широті φ з півночі на південь із швидкістю v . (Розрахувати для Дніпра; $v=2$ м/с, $\varphi=56^\circ$).

21. Знайти відносне зменшення ваги в пункті на поверхні Землі з широтою φ , що відбувається внаслідок обертання Землі.
22. Знайти різницю між вагою однакових тіл в діаметрально протилежних точках Землі, зумовлену неоднорідністю гравітаційного поля Місяця. Центр Землі, Місяця і дослідної точки лежать на одній прямій.
23. З гармати зроблено постріл вертикально вгору. Початкова швидкість снаряда $v_0=1$ км/с, а широта місцевості $\varphi=60^\circ$. Визначити, де впаде снаряд і на якій відстані від того місця, з якого було зроблено постріл. (Опором повітря знехтувати.)

Розділ 2.3. Фізика Сонця

Основні формули

Енергія кванта світла:

$$\varepsilon = h\nu; \quad \varepsilon = \frac{h \cdot c}{\lambda}; \quad \varepsilon = \hbar\omega,$$

де h – стала Планка; ν - частота світла; λ - довжина хвилі; $\hbar = \frac{h}{2\pi}$; $\omega = 2\pi\nu$.

Маса фотона:

$$m_{\phi} = \frac{h\nu}{c^2} \quad \text{або} \quad m_{\phi} = \frac{h}{\lambda \cdot c}.$$

Імпульс фотона:

$$p_{\phi} = \frac{h\nu}{c} \quad \text{або} \quad p_{\phi} = \frac{h}{\lambda}.$$

Зміна довжини хвилі рентгенівських променів при комптонівському розсіюванні:

$$\Delta\lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos\varphi),$$

де φ - кут розсіювання; m – маса електрона.

Величина світлового тиску:

$$p = \frac{E}{c}(1 + \rho),$$

де E – кількість енергії, яка припадає на одиницю поверхні за одиницю часу; ρ -

коефіцієнт відбивання світла. $E = \frac{W}{S \cdot t}$

Закон Стефана – Больцмана:

$$R = \sigma T^4,$$

де R – енергетична світність абсолютно чорного тіла – енергія, яка випромінюється за 1с з одиниці поверхні; σ - стала Стефана – Больцмана; T – температура тіла.

Закон Віна:

$$\lambda_{\max} = \frac{B}{T},$$

де B – стала Віна; T – температура тіла.

Закон радіоактивного розпаду:

$$N = N_0 e^{-\lambda t};$$

де N_0 – число атомів в момент часу $t=0$; N – число атомів, що залишилися на час t ; λ - стала радіоактивного розпаду.

Період напіврозпаду ядер:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}.$$

$T_{1/2}$ - час, за який розпадається половина ядер речовини.

Енергія зв'язку ядер ізотопу:

$$\Delta E = \Delta m c^2;$$

де Δm – різниця між масою складових частин ядра та масою ядра самого ізотопу:

$$\Delta m = [Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n] - m_{\text{я}},$$

де Z – порядковий номер ізотопу (зарядове число); A – масове число ізотопу; m_p – маса протона; m_n – маса нейтрона; $m_{\text{я}}$ – маса ядра.

Енергія, яка виділяється при ядерній реакції:

$$\Delta E = c^2 (\sum m_1 - \sum m_2);$$

де $\sum m_1$ - сума мас частинок до реакції; $\sum m_2$ - сума мас частинок після реакції.

2.3.1. Задачі з розділу „Фізика Сонця”

1. Визначити мінімальну довжину хвилі в суцільному спектрі рентгенівських променів, якщо рентгенівська трубка працює при напрузі $U=30$ кВ.
2. Визначити максимальну швидкість електронів, які вилітають із металу під дією γ -променів з довжиною хвилі $\lambda=0,03 \text{ \AA}$ ($1 \text{ \AA}=10^{-10} \text{ м}$.)
3. Визначити, при якій температурі середня енергія молекул трьохатомного газу рівна енергії фотона з $\lambda=500$ нм.
4. Визначити енергію, імпульс і масу фотона, довжина хвилі якого відповідає видимому діапазону хвиль з $\lambda=550$ нм.
5. Яку довжину хвилі повинен мати фотон, щоб його маса була рівна масі спокою електрона?
6. Монохроматичний пучок ($\lambda=660$ нм) світла падає нормально на поверхню з коефіцієнтом відбиття $\rho=0,8$. Визначити кількість фотонів, які

щосекунди поглинаються поверхнею 1 см^2 , якщо тиск світла на поверхню становить $p=1,00 \text{ мкПа}$.

7. Паралельний пучок світла з інтенсивністю $j=0,2 \text{ Вт/см}^2$ падає під кутом $\varphi=60^\circ$ на плоске дзеркало з коефіцієнтом відбиття $\rho=0,9$. Визначити тиск світла на дзеркало.
8. Фотон рентгенівського випромінювання з енергією $E=0,15 \text{ МеВ}$ розсіявся на електроні, який знаходиться в спокої, в результаті чого його довжина хвилі збільшилась на $\Delta\lambda=0,015 \text{ \AA}$. Знайти кут φ , під яким вилетів комптонівський електрон.
9. Одна половина кулі має поверхню з коефіцієнтом відбиття $\rho_1=1$, а друга $\rho=0$. Як розташується куля в однорідному світловому потоці?
10. Яка сила світла Сонця діє на сонячну батарею міжнародної орбітальної станції, якщо її площа $S=4 \cdot 10^3 \text{ м}^2$, а коефіцієнт поверхневого відбиття $\rho=0,6$.
11. Радіус Меркурія - $5,8 \cdot 10^7 \text{ км}$, Марса - $2,3 \cdot 10^8 \text{ км}$. Температура Сонця $T_c=6000^\circ \text{ С}$. Оцінити за законами теплового випромінювання середні температури поверхні Марса і Меркурія. Поглинанням енергії космічним простором знехтувати.
12. Оцінити довжини хвиль, на які приходить максимум випромінювання людини, електролампочки, Сонця і Землі.
13. Вважаючи Сонце абсолютно чорним тілом, оцінити інтенсивність сонячної радіації (густину потоку випромінювання) поблизу поверхні Землі (за межами атмосфери).
14. Оцінити середню температуру поверхні Землі, вважаючи її за абсолютно чорне тіло, за умови, що Земля знаходиться в тепловій рівновазі з енергією, отриманою від Сонця. Діаметр Сонця видно з Землі під кутом $30'$. Потік тепла від внутрішніх джерел Землі не враховувати.
15. На скільки градусів знизиться температура Землі за століття, якщо на Землю не буде надходити сонячна енергія? Питома теплоємність Землі

- $c_3=200\text{Дж/кг}\cdot\text{К}$, густина (середня) Землі $\rho_3=5,5\text{ кг/м}^3$, а середню температуру взяти $T=300\text{ К}$, коефіцієнт поглинання $0,8$.
16. Оцінити тиск теплового випромінювання всередині Сонця, де температура $1,3\cdot 10^6\text{ К}$ і порівняти його з кінетичним тиском плазмового газу вважаючи, що газ складається лише з протонів і є ідеальним.
 17. Вважаючи, що атмосфера поглинає 10% променевої енергії, яку посилає Сонце, знайти потужність, яку отримує від Сонця горизонтальна ділянка Землі площею $0,5\text{ га}$. Висота Сонця над горизонтом рівна 30° . Випромінювання Сонця вважати близьким до абсолютно чорного тіла.
 18. Знайти, наскільки зменшиться маса Сонця за рік внаслідок випромінювання. Вважаючи випромінювання Сонця постійним, знайти, за який час маса Сонця зменшиться в два рази.
 19. Скільки атомів полонію розпадається за добу з 10^6 атомів?
 20. Знайти масу радону, активність якого дорівнює 1 кюрі .
 21. Деякий радіоактивний препарат має сталу розпаду $\lambda=1,44\cdot 10^{-3}\text{год}^{-1}$. Через який час розпадеться 75% початкової кількості атомів?
 22. Чому дорівнює активність радону, який утворився з 1 г радію за одну годину?
 23. Визначити, скільки ядер в $m_0=1,0\text{ мг}$ радіоактивного ізотопу $^{144}_{58}\text{Ce}$ розпадається протягом часу: 1) $\Delta t=1\text{ с}$, 2) $\Delta t=1\text{ год}$. Період напіврозпаду церію $T=285\text{ діб}$.
 24. В руді знаходиться однакова кількість атомів $^{206}_{82}\text{Pb}$ і $^{238}_{92}\text{U}$. Визначити який склад руди був 10^9 років тому?
 25. В нормальних умовах 1 г радію утворює: $\Delta V=4,3\cdot 10^{-2}\text{ см}^3$ гелію за рік. Визначити період напіврозпаду радію.
 26. Початкова маса урану $^{238}_{92}\text{U}$ $m_0=12\text{ г}$. Визначити початкову швидкість радіоактивного розпаду і швидкість розпаду через 10^6 років.

27. Знайти питому енергію зв'язку в ядрах ${}^1_1\text{H}$, ${}^4_2\text{He}$, ${}^7_3\text{Li}$, ${}^{10}_4\text{Be}$, ${}^{11}_5\text{B}$, ${}^{206}_{82}\text{Pb}$, ${}^{235}_{92}\text{U}$.

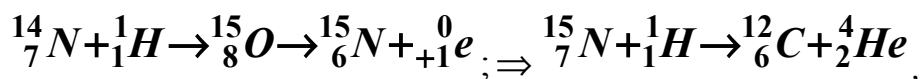
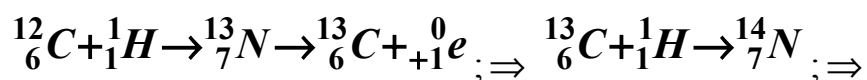
28. Який ізотоп утворюється з ${}^{238}_{92}\text{U}$ після трьох α -розпадів і двох β -розпадів.

29. Визначити енергію реакції ${}^{10}_5\text{B} (n,\alpha) {}^7_3\text{Li}$, яка протікає в результаті взаємодії повільних нейтронів з нерухомим ядром бору. Знайти також кінетичну енергію продуктів розпаду.

30. Знайти поріг ядерної реакції ${}^{12}_6\text{C} (D,n) {}^{13}_7\text{N}$.

31. Протон, з енергією 0,1 МеВ, розсіюється в ядрі ${}^4_2\text{He}$ під кутом $\pi/2$. Знайти енергію віддачі протона і ядра після розсіювання.

32. Приймаючи, що джерелом енергії сонячного випромінювання є енергія утворення гелію з водню:



підрахувати, скільки тонн водню щосекунди повинно перетворюватися в гелій. Сонячна стала 1,39 кВт/м². Підрахувати, на скільки часу вистачить запасів водню на Сонці, якщо водень складає 35 % маси Сонця, а випромінювання незмінне.

33. Знайти найменше значення енергії γ -кванта, достатнє для протікання реакції ${}^{24}_{12}\text{Mg} (\gamma,n)$.

34. Яку кількість енергії можна отримати від поділу 1 г урану ${}^{235}_{92}\text{U}$, якщо при кожному акті поділу виділяється енергія 200 МеВ.

35. Яка кількість урану ${}^{235}_{92}\text{U}$ витрачається за добу на атомній електростанції з чотирьох блоків потужністю по 1000 МВт кожний. ККД вважати 30 %. При одному акті поділу виділяється енергія 200 МеВ.

36. Під час вибуху водневої бомби відбувається температурна реакція синтезу гелію з тритію і дейтерію. Написати реакцію і підрахувати яка кількість енергії виділяється при цьому, якщо утворилося 10 г гелію.

Розділ 2.4. Фізика атмосфери

Основні формули

Закони Фарадея для електролізу:

I. Маса речовини, яка виділяється під час електролізу:

$$m = k \cdot I \cdot t,$$

де m – маса речовини, яка виділяється; k – електрохімічний еквівалент; I – сила струму; t – час.

II. Електрохімічний еквівалент:

$$k = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{Z},$$

де F – число Фарадея; A – атомна маса; Z – валентність.

Питома електропровідність електроліту:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \alpha C \cdot FZ(U_+ + U_-),$$

де α - степінь дисоціації; C – концентрація ; F – число Фарадея; Z – валентність; U_+ та U_- - рухливість іонів.

Густина струму в газах:

$$j = \frac{I}{S} = q \cdot n(U_+ + U_-)E = \sigma E,$$

де σ - питома електропровідність; E – напруженість електричного поля; q – заряд іона; Z – валентність; n – число іонів кожного знака в одиниці об'єму (число пар іонів); U_+ та U_- - рухливість іонів.

Число пар іонів визначається за формулою:

$$n = \sqrt{\frac{N}{\gamma}},$$

де N – число пар іонів, які утворюються в одиниці об'єму за одиницю часу; γ – коефіцієнт іонізації.

Барометрична формула:

$$p = p_0 e^{-\frac{\mu g h}{RT}},$$

де μ – молярна маса повітря; h – висота; T – температура повітря.

2.4.1. Задачі з розділу „Фізика атмосфери”

1. Для отримання алюмінію електролізом із розплаву Al_2O_3 пропускають струм силою $2 \cdot 10^4$ А при різниці потенціалів 5 В. Знайти час, за який виділяється 10^3 кг алюмінію і скільки електроенергії при цьому витрачається.
2. Реакція утворення води із водню і кисню проходить з виділенням тепла ($\Delta E = 5,75 \cdot 10^5$ Дж): $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + \Delta E$. Знайти найменшу різницю потенціалів, при якій буде проходити розкладання води електролізом.
3. Розрахувати еквівалентну електропровідність для дуже слабкого розчину азотної кислоти.
4. Питома електропровідність децинормального розчину соляної кислоти дорівнює $3,5 \cdot 10^{-2}$ Ом $^{-1}$ ·см $^{-1}$. Знайти ступінь дисоціації.
5. Еквівалентна електропровідність ($\Lambda = \sigma/q$, $q = cz$) розчину KCl при деякій концентрації дорівнює 122 см 2 /ом·г-екв, а питома електропровідність при цій концентрації дорівнює $1,22 \cdot 10^{-3}$ Ом $^{-1}$ ·см $^{-1}$ і еквівалентна електропровідність його при нескінченному розведенні дорівнює 130

- см²/ом·г-екв. Знайти: ступінь дисоціації **KCl** при даній концентрації та еквівалентну концентрацію розчину.
6. Трубка довжиною 3 см і площею поперечного розрізу 10 см² заповнена розчином, який має 0,1 кмоль **CuSO₄** в 1 м³. Опір розчину 38 Ом. Знайти еквівалентну електропровідність розчину ($\Lambda = \sigma/q, q = cz$).
 7. Струм $I=1$ А пропускають протягом 1 хв через підкислену воду. Який об'єм займе гримучий газ, який при цьому утворився, при нормальних умовах.
 8. Площа кожного електрода іонізаційної камери 100 см² і відстань між ними 6,2 см. Знайти струм насичення в цій камері, якщо відомо, що іонізатор утворює в 1 см³ щосекунди 10⁹ пар іонів кожного знаку. Іони вважати одновалентними.
 9. При опроміненні посудини з газом рентгенівськими променями в кожному кубічному міліметрі його об'єму щосекунди іонізується 10¹⁰ молекул. В результаті рекомбінації в посудині встановлюється рівновага, причому в 1 см³ знаходиться 10⁸ пар іонів. Знайти коефіцієнти рекомбінації.
 10. Знайти опір трубки довжиною 84 см і площею поперечного перерізу 5 мм², якщо вона заповнена повітрям, іонізованим таким чином, що в 1 см³ його знаходиться 10⁷ пар іонів. Іони одновалентні. Рухомість іонів дорівнює $U_+ = 1,3 \cdot 10^{-4}$ м²/В·с та $U_- = 1,8 \cdot 10^{-4}$ м²/В·с.
 11. Яку найменшу швидкість повинен мати електрон для того, щоб іонізувати атом водню? Потенціал іонізації атома водню 13,5 В.
 12. При якій температурі атоми ртуті мають середню кінетичну енергію поступального руху достатню для іонізації? Потенціал іонізації 10,4 В.
 13. Середня напруженість електричного поля Землі складає 130 В/м. Визначити густину струму провідності в атмосфері, якщо в 1 м³ знаходиться 7·10⁸ пар одновалентних іонів, які зумовлюють провідність. Рухомість іонів повітря $U_+ = 1,37 \cdot 10^{-4}$ м²/В·с та $U_- = 1,91 \cdot 10^{-4}$ м²/В·с.

14. Визначити рухомість U_+ іонів азоту, якщо густина струму $5 \cdot 10^{-11}$ А/м², а концентрація іонів 10^9 м⁻³, напруженість електричного поля 10^3 В/м. Рухомість $U_-=1,9 \cdot 10^{-4}$ м²/В·с.
15. Через який час після припинення дії іонізатора число пар іонів внаслідок рекомбінації зменшиться втричі, якщо початкове число пар іонів в одиниці об'єму складало $n_0=1,5 \cdot 10^{15}$ м⁻³? Коефіцієнт рекомбінації взяти рівним $1,67 \cdot 10^{-15}$ м³·с⁻¹.
16. При розчиненні 2,92 г кухонної солі в 1 л води, 44 % всіх розчинених молекул солі дисоціювали на іони. Визначити електропровідність такого електроліту.
17. При якій найменшій швидкості іон кисню може спричинити іонізацію атома гелію? Потенціал іонізації гелію дорівнює 24,5 В. Тепловим рухом атомів гелію можна знехтувати.
18. В 1 см³ атмосферного повітря в середньому є 700 пар іонів. Рухомість іонів $U_+=1,4 \cdot 10^{-4}$ м²/В·с а $U_-=1,9 \cdot 10^{-4}$ м²/В·с. Визначити густина вертикального струму для широти Києва, якщо напруженість поля Землі $E=130$ В/см. Вважати, що заряд іонів рівний заряду електрона.
19. Число пар іонів в 1 см³ повітря при іонізації космічними променями дорівнює 10^6 см⁻³. Через який час після припинення дії опромінення число пар іонів внаслідок рекомбінації зменшиться до 10^4 см⁻³: а) повітря чисте ($\alpha=1,6 \cdot 10^{-6}$ см³/с); б) в повітрі є пил?
20. При електролізі розчину мідного купоросу (CuSO₄) за одну годину розчиняється 4,77 г. Скільки іонів міді нейтралізується щосекунди на катоді? Чому дорівнює струм в розчині? Валентність міді рівна 2.
21. Визначити на якій висоті від поверхні Землі атмосферний тиск буде рівним 700 мм. рт. ст. На рівні моря $p_0=760$ мм. рт. ст.
22. У поверхні Землі відношення концентрації молекул Н₂ до N₂ дорівнює η_0 , а на висоті 3 км воно стає рівним η . Знайти відношення η/η_0 при $T=280$ К,

вважаючи, що атмосфера ізотермічна і прискорення вільного падіння не залежить від висоти.

Розділ 2.5. Фази і фазові переходи. Вологість повітря

Основні формули

Кількість тепла, необхідна для нагрівання тіла:

$$Q = cm(t_1^0 - t_2^0) = cm\Delta t^0,$$

де c – питома теплоємність тіла; m – маса тіла; Δt – різниця температур початку і кінця нагрівання.

Теплота плавлення:

$$Q = q \cdot m,$$

де q – питома теплота плавлення тіла; m – маса тіла.

Теплота пароутворення:

$$Q = \lambda \cdot m,$$

де λ – питома теплота пароутворення.

Рівняння Клаузіуса – Клапейрона:

$$\frac{dP_H}{dT} = \frac{r_o}{T(\nu_H - \nu_P)},$$

де P_H – тиск насиченої пари; ν_H – об'єм одного кіломоля пари; ν_P – об'єм одного кіломоля рідини; r_o – молярна теплота випаровування.

Абсолютна вологість:

$$b = \frac{m}{V},$$

де m – маса води в повітрі; V – об'єм повітря.

Відносна вологість повітря:

$$r = \frac{b}{B} \cdot 100\% \text{ або } r = \frac{p}{p_H} \cdot 100\%;$$

де B – максимальна вологість – кількість пари, яка насичує даний об’єм повітря при даній температурі; p – тиск пари в повітрі при даній температурі; p_H – тиск насиченої пари при даній температурі.

2.5.1. Задачі з розділу „Фази і фазові переходи. Вологість повітря”

1. Вода при температурі 10°C через 10 хв закипіла. Через який час вона перетвориться в пар?
2. Визначити товщину льоду, який утворюється за 1 добу на поверхні озера при температурі -10°C . Теплопровідність льоду $2,2 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, а густина $0,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.
3. Чому каструля прогорає лише після того, як википить вода?
4. Чи можна закип’ятити воду в паперовому стаканчику?
5. Чому краплі води живуть довше на розпеченій сковорідці, ніж на просто гарячій?
6. Чому чайник перед тим, як закипіти, шумить?
7. Чому вода закипає швидше в каstrулі з закритою кришкою?
8. Чому зубний лікар перед тим, як подивитися пацієнта нагріває люстерко?
9. Чому запотівають окуляри у людини, яка зайшла з холоду?
10. Чи можна всмоктуючим водяним насосом підняти воду, яка кипить?
11. Чому при критичній температурі теплота пароутворення будь-якої рідини дорівнює нулю?
12. Чому продукти в закритому холодильнику висихають?
13. Чому в “вологу” погоду холод відчувається сильніше, ніж у суху?
14. Яка частина переохолодженої до температури -4°C води замерзла, якщо в неї кинути шматочок льоду при $t = -4^\circ \text{C}$, який викликав кристалізацію?

15. Рідину наливають в з'єднані посудини різних діаметрів. Широку частину посудини закривають. Зміниться чи ні розподіл рівнів рідини в колінах посудини і чому?
16. В кімнаті об'ємом 120 м^3 при температурі 15° C відносна вологість 60% . Визначити масу водяних парів в кімнаті. Пружність насиченої пари води при температурі 15° C дорівнює $12,79 \text{ мм.рт.ст.}$ ($1,7 \text{ кПа}$).
17. В приміщення необхідно подати $2 \cdot 10^4 \text{ м}^3$ повітря при 18° C і відносній вологості 50% , забираючи його з вулиці при температурі 10° C і відносній вологості 60% . Скільки додатково необхідно випарувати води в повітря, яке подається в кімнату з вулиці? Густина насиченої пари при 10° C - $9,4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$, а при 18° C - $15,4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$.
18. Відносна вологість повітря при 30° C дорівнює 80% . Яка буде відносна вологість, якщо повітря нагріти при постійному об'ємові до 50° C ? Скільки необхідно випарувати води, щоб вологість не змінилася? Тиск насиченої пари при 30° C дорівнює $31,8 \text{ мм.рт.ст.}$, а при 50° C – $92,5 \text{ мм.рт.ст.}$
19. В кімнаті 100 м^3 при 27° C знаходиться повітря з відносною вологістю 30% . Як зміниться відносна вологість в кімнаті, якщо туди внести 1 кг води? Тиск насиченої пари при 27° C – $3,5 \text{ кПа}$.
20. Осмотичний тиск розчину при температурі 87° C дорівнює $1,65 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Яка кількість молекул води приходить на одну молекулу розчиненої речовини у цьому розчині? Дисоціація відсутня.
21. Воду при дотриманні певних умов можна переохолодити до -10° C . Яка маса льоду утвориться з 1 кг такої води, якщо покласти в неї маленький шматок льоду і викликати цим замерзання води? Питому теплоємність переохолодженої води вважати $4190 \text{ Дж/кг} \cdot \text{град}$.
22. На скільки градусів охолоне повітря в кімнаті об'ємом 30 м^3 за 4 год роботи холодильної установки, якщо її продуктивність – 2 кг льоду при

температурі (-2°C) за добу, а охолодження починається при температурі 20°C ? Питома теплоємність повітря $1005\text{ Дж/кг}\cdot\text{град}$.

Розділ 2.6. Явища, які протікають на межі поділу фаз

Основні формули

Коефіцієнт поверхневого натягу:

$$\alpha = \frac{F}{\ell},$$

де F – сила поверхневого натягу рідини; ℓ – довжина периметру поверхні плівки.

Енергія поверхневого шару рідини:

$$\Delta E = \alpha \cdot \Delta S,$$

де ΔS – зміна площі поверхні плівки.

Додатковий тиск, створений кривизною поверхні рідини

(формула Лапласа):

$$\Delta P = \alpha \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right),$$

де R_1 та R_2 – радіуси кривизни двох взаємно перпендикулярних перетинів поверхні рідини.

Висота підняття рідини в капілярі:

$$h = \frac{2\alpha \cos \Theta}{r \cdot \rho \cdot g},$$

де Θ – кут змочування; r – радіус трубки капіляра; ρ – густина рідини; g – прискорення вільного падіння.

Осмотичний тиск розчину

(закон Вант – Гоффа):

$$p = CRT,$$

де $C = \frac{m}{\mu V}$; m – маса; μ – молярна маса; V – об'єм; R – універсальна газова стала; T – температура.

2.6.1. Задачі з поділу „Явища, які протікають на межі поділу фаз”

1. Спирт, крапля за краплею, витікає із посудини через вертикальну трубку діаметром 2 мм. Крапельки відриваються одна за одною з інтервалом в 1 с. Через який час витече 10 г спирту? Вважати діаметр шийки краплі на момент відриву рівним діаметру трубки.
2. Вода, крапля за краплею, витікає із посудини через вертикальну трубку діаметром 3 мм. При охолодженні води від 100° С до 20° С маса краплі змінилася на $13,5 \cdot 10^{-6}$ кг. Знаючи коефіцієнт поверхневого натягу води при 20° С, знайти коефіцієнт поверхневого натягу води при 100° С. Діаметр шийки краплі вважати рівним діаметру трубки.
3. Із вертикальної трубки з внутрішнім діаметром 2 мм витікає вода. Знайти радіус краплі на момент відриву. Краплю вважати сферою. Діаметр шийки краплі вважати рівним діаметру трубки.
4. Виділяється чи поглинається енергія при злитті двох однакових крапель в одну? Оцінити цю енергію.
5. Яку роботу проти сил поверхневого натягу необхідно виконати, щоб видути мильну кульку діаметром 4 см? Коефіцієнт поверхневого натягу $\alpha = 4,3 \cdot 10^{-2}$ Н/м?
6. Визначити тиск повітря в повітряній кульці діаметром 10^{-2} мм, яка знаходиться на глибині 20 см під поверхнею води.

7. Знайти, на якій глибині знаходиться повітряна кулька, якщо густина повітря в ній 2 кг/м^3 . Діаметр кульки $1,5 \cdot 10^{-2} \text{ мм}$, температура 20° C і атмосферний тиск 760 мм.рт.ст.
8. При визначені величини коефіцієнта поверхневого натягу методом крапель, число крапель води, які витекли з капіляра за час досліду дорівнює 20. Загальна маса крапель $0,937 \text{ г}$ визначалась з точністю до $\Delta m = 1 \cdot 10^{-3} \text{ г}$. Діаметр шийки капіляра $1,9 \text{ мм}$ визначався з точністю до 10^{-1} мм . Вирахувати коефіцієнт поверхневого натягу, та його відносну похибку.
9. Визначити величину коефіцієнта поверхневого натягу і його відносну похибку для розчину, якщо для відривання від поверхні води кільця (прямокутного перерізу) з діаметром $d_b = 56 \text{ мм}$ і $D_3 = 60 \text{ мм}$ була прикладена сила $3,5 \cdot 10^{-2} \text{ Н}$. Сила визначалась важільними терезами з точністю $2 \cdot 10^{-2} \text{ Н}$, а діаметри кільця - штангенциркулем з точністю до 10^{-1} мм .
10. На поверхню води поклали стальну голку, змащену жиром. Який найбільший діаметр голки, при якому вона ще може триматися на воді?
11. На скільки градусів зменшиться температура краплі після злиття, якщо крапельки були діаметром 1 мм кожна?
12. Безперервне поливання кімнатних квітів можна зробити за допомогою гніту (марлевого джгута). Підрахувати найбільшу різницю рівнів в посудині та вазоні, при якій можливе поливання. Пори гніту вважати циліндричними трубками діаметром $0,1 \text{ мм}$. Змочування вважати повним.
13. Який розмір повинні мати капіляри дерева висотою 15 м , щоб забезпечити вологою верхні листочки? Капіляри вважати циліндричними трубками, а змочування повним.
14. Дві однакові паралельні пластини занурені у воду так, що між ними утворюється відстань $0,3 \text{ мм}$. На яку висоту підніметься вода, якщо змочування буде повним?

15. Крапля води $m=10^{-4}$ кг знаходиться між двома паралельними і плоскими пластинами із скла. Чому дорівнює сила притягання між пластинами, якщо відстань між ними дорівнює 10^{-6} м. Змочування вважати повним.
16. Визначити висоту підняття рідини біля нескінченної пластини, що змочується рідиною. Крайовий кут Θ , а коефіцієнт поверхневого натягу α .
17. Барометрична трубка заповнена ртуттю і має внутрішній діаметр, що дорівнює: а) 5 мм; в) 1,5 см. Чи можливо визначити атмосферний тиск безпосередньо за висотою ртутного стовпчика? Знайти висоту ртутного стовпчика в кожному із випадків, якщо атмосферний тиск 760 мм.рт.ст. Незмочування вважати повним.
18. Яку відносну похибку ми допускаємо при вимірюванні атмосферного тиску за висотою ртутного стовпчика, якщо зовнішній тиск 760 мм.рт.ст., а діаметр барометричної трубки: а) 5 мм; в) 10 мм. Незмочування вважати повним.
19. У дні посудини із ртуттю є отвір. Який найбільший діаметр отвору, якщо ртуть висотою 5 см не виливається?
20. Ареометр плаває у воді, яка повністю змочує його стінки. Діаметр циліндричної трубки ареометра дорівнює 9 мм. На скільки зміниться глибина занурення ареометра, якщо на поверхню води налити декілька крапель спирту?
21. Для визначення поверхневого натягу рідини зважують краплі, які відриваються від капіляра, і вимірюють діаметр шийки краплі в момент відриву. Виявилось, що 318 краплин рідини мають масу 5 г при діаметрі шийки 0,7 мм. Знайти коефіцієнт поверхневого натягу цієї рідини.
22. Два маленьких мильних міхура радіусами R_1 і R_2 зливаються в один радіусом R_3 . Знайти коефіцієнт поверхневого натягу мильної плівки, якщо атмосферний тиск p_0 .
23. Дві скляні пластинки шириною b розташовані вертикально у рідині так, що вони утворюють клин з малим кутом β . Густина рідини ρ , коефіцієнт

поверхневого натягу рідини α , а крайовий кут - Θ . Складіть рівняння поверхні рідини між пластинами.

24. Оцінити осмотичний тиск етилового спирту масою $8 \cdot 10^{-3}$ кг (C_2H_6O), розчиненого у 0,2 кг води при температурі 294 К. Дисоціацією молекул знехтувати.

Розділ 2.7. Гідродинаміка

Основні формули

Основне рівняння гідродинаміки ідеальної рідини

(рівняння Ейлера):

$$\rho \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \mathbf{f} - \nabla P,$$

де ρ – густина рідини; \mathbf{v} – швидкість; t – час; \mathbf{f} – об’ємна густина масових сил (для сили ваги $\mathbf{f}=\rho\mathbf{g}$); ∇P – градієнт тиску.

Рівняння Бернуллі:

$$\frac{\rho v^2}{2} + \rho gh + p = const.$$

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{\rho v \ell}{\eta},$$

де ℓ - характерний розмір (наприклад, діаметр труби); η – в’язкість рідини.

Формула Пуазейля:

$$Q = \frac{\pi R^4 (p_1 - p_2)}{8\eta \ell},$$

де Q – потік рідини через поперечний переріз труби ($\text{м}^3/\text{с}$); R та ℓ - відповідно радіус та довжина труби; p_1 та p_2 – тиск рідини на кінцях труби.

Сила опору руху кульки в рідині

(формула Стокса):

$$F = 6\pi\eta r\upsilon,$$

де r радіус кульки, υ – швидкість рівномірного руху кульки у рідині.

Рівняння неперервності струменя:

$$\upsilon_1 \cdot S_1 = \upsilon_2 \cdot S_2,$$

де υ_1 та υ_2 - швидкість потоку рідини в першому і другому перерізі; S_1 та S_2 – площа поперечного перерізу потоків.

2.7.1. Задачі з розділу „Гідродинаміка”

1. Воду у шлюзі перекривають щитом-затвором. Ширина каналу 4 м, висота води в каналі 5 м. Визначити силу тиску води на стінку щита та точку її прикладання.
2. Прямокутний вертикальний щит шлюзової камери, що перегороджує прямокутний канал шириною 4 м знаходиться в пазах. Вага щита 4,9 кН, коефіцієнт тертя 0,5. Визначити роботу для підняття щита, якщо глибина з одного боку 4 м, а з другого 1 м.
3. У U-подібній посудині є ртуть і вода. Лінія поділу рідин перебуває нижче за рівень вільної поверхні ртуті на 8 см. Визначити різницю рівнів в обох частинах посудини.
4. З циліндричного бака з площею основи 900 см², у дні якого є невеликий отвір площею 0,4 см², рівномірно витікає вода. Визначити рівень води, який спершу був у баці, якщо відомо, що вода витікає за 10 хв.
5. Розрахувати залежність швидкості витікання рідини з отвору у бічній стінці відкритого і закритого бака від висоти h , на якій зроблено отвір, якщо швидкість зниження рівня рідини у баку дорівнює υ .
6. З відкритого бака вода витікає через малий отвір у його бічній поверхні, розташованій на висоті 1 м від підлоги. Визначити глибину води H у баку, якщо струмінь падає на підлогу на відстані 1,5 м від бака.

7. Через водопровідну трубу, вигнуту під прямим кутом, за 10 с витікає 5 кг води. Площа поперечного перерізу труби 2 см^2 . Чому дорівнює сила бічного тиску в місці закруглення труби, якщо труба розташована в горизонтальній площині?
8. Вода рухається у трубопроводі діаметром 25 мм, у якому розміщено дві трубки діаметром 5 мм (рис.2.7.1). Визначити швидкість руху води у трубопроводі, якщо різниця рівнів гідродинамічної трубки 0,6 м.

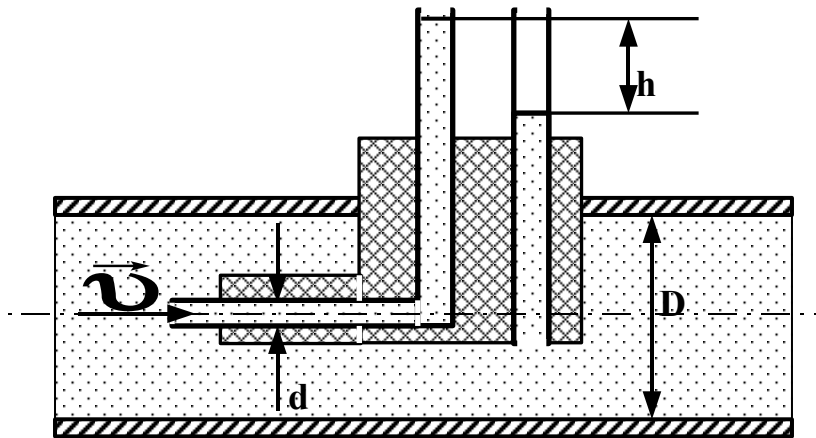


Рис. 2.7.1

9. По трубопроводу довжиною L , який звужується, протікає вода при витраті $27 \text{ м}^3/\text{год}$. Початковий діаметр трубки $d_1=80 \text{ мм}$, кінцевий $d_2=40 \text{ мм}$ (рис. 2.7.2). Визначити тиск на початку труби, якщо в кінці він складає $2,5 \text{ кПа}$. Довжина труби 10 м , а кут нахилу осі трубопроводу до горизонту 30° . Тертям знехтувати.
10. Визначити діаметр звуженої частини горизонтального гідродинамічного трубопроводу, по якому вода підіймається на висоту $h=3,5 \text{ м}$ (рис. 2.7.3). Витрата води $Q=6 \text{ л/с}$ і діаметр широкі частини манометра $D=10 \text{ см}$.

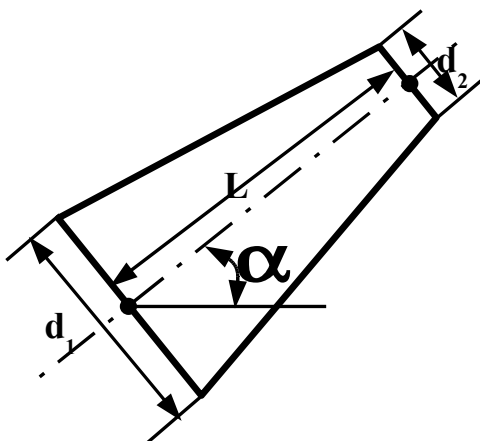


Рис. 2.7.2

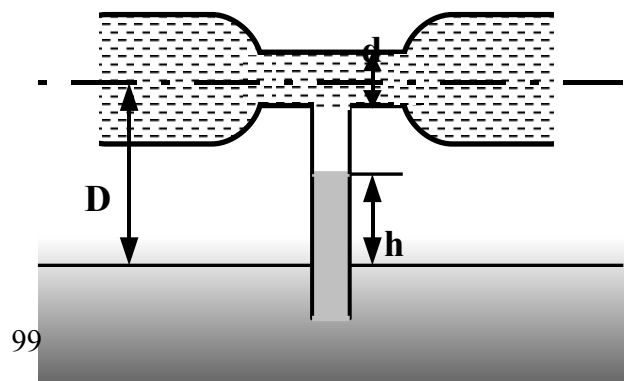


Рис. 2.7.3

11. Поршень у циліндрі водяного насоса піднімає воду з резервуара при різниці рівнів води в циліндрі і резервуарі 3 м. Визначити тиск під поршнем, якщо поршень рухається зі швидкістю 1 м/с.
12. Трубка Вентурі дозволяє визначити щосекундну витрату води або газу (рис. 7.2.4). Площа великого поперечного перерізу S_1 , вузького - S_2 , а покази рідинного манометра P , визначити скільки води проходить через трубку за час t .

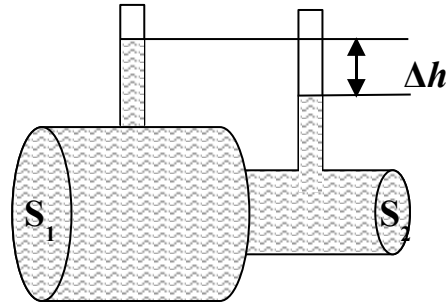


Рис. 2.7.4.

13. З крана витікає вода. Починаючи від краю крана діаметр струменя зменшується протягом 3 с з 30 до 20 мм. Скільки води можна налити з крану за 60 с? Вважати, що струмінь води не розбризкується.
14. Вода з водосховища витікає через отвір у греблі діаметром 0,5 м. Визначити час, за який рівень води у водосховищі опуститься на 50 см, якщо початковий рівень води 6,5 м, товщина греблі 2 м. Площа дзеркала водосховища дорівнює 0,224 км² і не змінюється зі зміною рівня.
15. На яку висоту може подати воду насос потужністю 1,5 кВт по трубі діаметром 40 мм, якщо за одну секунду він перекачує воду об'ємом 0,5 л?
16. Залізна труба довжиною 200 м і внутрішнім діаметром 30 см із товщиною стінок 0,5 см розташована горизонтально. Кінці труби перекрито. Труба заповнена водою, причому різниця тисків води і зовнішнього повітря складає 4,9 МПа. Визначити: а) який об'єм води витече з труби, якщо по верхній лінії її стінки утворилася тріщина; в) який об'єм повітря вийде з такої ж труби і при цих умовах, якщо вона буде заповнена повітрям.

17. З відкритого бака вода витікає через малий отвір у його бічній стінці, розташований на висоті $H=1\text{ м}$ від підлоги та $h=0,2\text{ м}$ від дна бака (рис. 2.7.5). Визначити: 1) глибину води у баку, якщо струмінь падає на підлогу

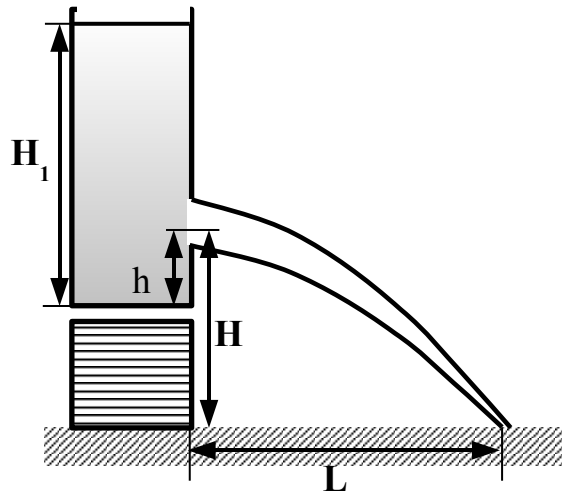
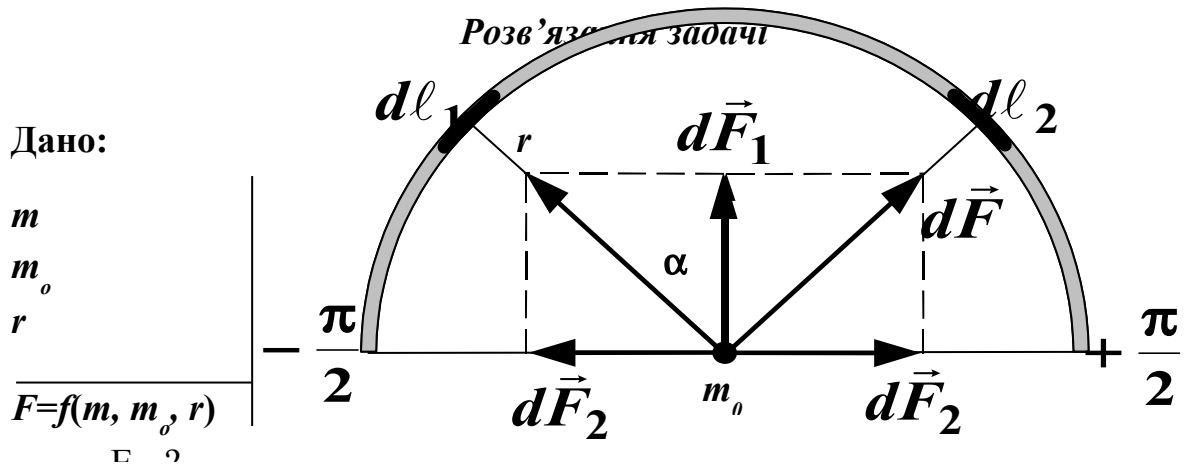


Рис. 2.7.5

- на відстані $L=1,5\text{ м}$ від бака; 1) дальність падіння струменя, якщо глибина води $H_1=1,2\text{ м}$.
18. Яку потужність має насос, що забирає воду з колодязя по трубі діаметром 100 мм , якщо його встановлено на висоті 5 м , а тиск вакууму в трубі 50 кПа ?
19. Вода витікає з отвору у дні посудини. Якою має бути форма посудини, щоб швидкість опускання рівня води у посудині була сталою?
20. Скільки води може щосекунди протікати через водопровідну трубу з внутрішнім діаметром $3 \cdot 10^{-2}\text{ м}$ при ламінарній течії, якщо $Re_{кр}=2300$?
21. Свинцева кулька діаметром $1,73\text{ см}$ падає рівномірно у гліцерині. Визначити число Рейнольда. Чи буде рух шарів гліцерину при такому числі ламінарним?
22. У закритому баку підтримується сталий рівень води $h=1\text{ м}$ і сталий надлишковий тиск на поверхні соди $p=30\text{ кПа}$. Визначити діаметр отвору у дні бака, при якому витрата води $Q=1\text{ л/с}$. Як потрібно змінити тиск, щоб витрата води через отвір діаметром $d=10\text{ мм}$ була $Q_1=0,5\text{ л/с}$?

Глава III. Приклади розв'язання задач

Задача 3.1. Тонке однорідне півкільце радіуса r має масу m . Знайти силу притягання між цим півкільцем та тілом масою m_0 , яка знаходиться в центрі кривизни півкільця та напруженість гравітаційного поля в центрі кривизни півкільця.



Виділимо на півкільці (рис. 3.1.1) елемент довжини $d\ell$. Маса такого елемента, враховуючи, що півкільце однорідне, буде дорівнювати

$$dm = \frac{m}{\pi \cdot r} d\ell.$$

Тоді за законом всесвітнього тяжіння сила притягання:

$$dF = G \frac{m_0 \cdot m}{\pi \cdot r^3} d\ell.$$

Розкладемо силу $d\vec{F}$ на дві складові $d\vec{F}_1$ та $d\vec{F}_2$. Візьмемо симетрично елемент $d\ell_2$ елементу $d\ell$ (рис. 3.1.1), тоді сили $d\vec{F}_2$ в сумі дають нуль, а сили $d\vec{F}_1$ співпадають за напрямком і векторну суму цих сил можна замінити алгебраїчною сумою.

Очевидно

$$F = \sum F_1 = \int_{\ell} dF \cdot \cos \alpha = \int_{\ell} G \frac{m_o \cdot m \cdot d\ell \cos \alpha}{\pi r^3} = G \frac{m_o \cdot m}{\pi r^3} \int_{\ell} \cos \alpha \cdot d\ell.$$

Із рис.3.1.2 видно, що $d\ell = r \cdot d\alpha$, тоді

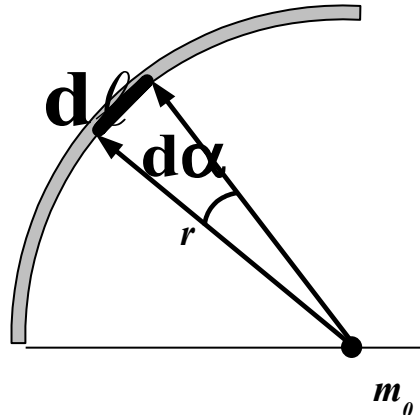


Рис.3.1.2

$$F = G \frac{m_o \cdot m}{\pi r^3} \int_{\ell} r \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha = G \frac{m_o \cdot m}{\pi r^2} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos \alpha \cdot d\alpha = G \frac{2m_o \cdot m}{\pi r^2}.$$

Напруженість гравітаційного поля визначається за формулою:

$$E = \frac{F}{m_o} \quad \text{або} \quad E = G \frac{2m}{\pi \cdot r^2}.$$

Відповідь: $F = G \frac{2m_o \cdot m}{\pi \cdot r^2}$; $E = G \frac{2m}{\pi \cdot r^2}$.

Задача 3.2. Яку частку енергії випромінює земна куля, яку вона отримує від Сонця за 1 с, якщо температура поверхні Землі 0°C і коефіцієнт поглинання дорівнює 1? Сонячна стала дорівнює $C=1,3 \text{ кДж/м}^2\cdot\text{с}$.

Дано:

$t=1 \text{ с}$

$T=273 \text{ К}$

$C=1,3 \text{ кДж/м}^2\cdot\text{с}$

$n=?$

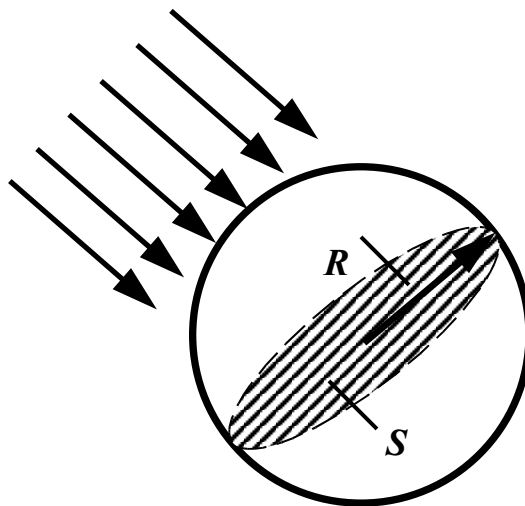


Рис. 3.2.1

Розв'язання задачі

Сонячна стала – це енергія, яку приносять сонячні промені за 1 с на площу 1 м^2 , що знаходиться поза атмосферою Землі, перпендикулярно до сонячних променів на середній відстані Землі від Сонця.

Тоді, енергія, яку поглинає Земля за одну секунду дорівнює добутку сонячної сталої на площу $S = \pi R^2$ (R – радіус Землі) великого кола сфери Землі (рис. 3.2.1).

Тоді поглинута енергія рівна:

$$E_{\text{пог}} = C \cdot S = C \cdot \pi R^2.$$

Енергію, яку випромінює Земля за цей період можна визначити таким чином:

$$E_{\text{випр}} = S \cdot R_e = 4\pi R^2 \cdot \sigma T^4.$$

Згідно з законом Стефана – Больцмана:

$$R_e = \sigma T^4, \text{ де } R_e = \frac{E}{S \cdot t}.$$

Врахувавши, що $t=1$ с, знайдемо відношення $E_{випр}$ до $E_{ног}$:

$$n = \frac{E_{випр}}{E_{ног}} = \frac{4\pi R^2 \sigma T^4}{C\pi R^2} = \frac{4\sigma T^4}{C}.$$

Після розрахунків маємо: $n=0,9$.

Відповідь: $n=0,9$

Задача 3.3. Визначити, яка кількість ядер в 1 мг ізотопу церію $^{144}_{58}\text{Ce}$ розпадається за час: 1) $\Delta t_1=1$ с; 2) $\Delta t_2=1$ рік? Період напіврозпаду церію $T=285$ діб.

Розв'язання задачі

Дано:

□

$$m_o = 10^{-6} \text{ кг}$$

$$\Delta t_1 = 1 \text{ с}$$

$$\Delta t_2 = 1 \text{ рік} = 3,15 \cdot 10^7 \text{ с}$$

$$T_{1/2} = 285 \text{ діб} = 2,46 \cdot 10^7 \text{ с}$$

$$\Delta N_1 - ? \quad \Delta N_2 - ?$$

- 1) Процес радіоактивного розпаду носить статистичний характер. Тому при $\Delta t_1 \ll T$ можна вважати, що число ядер, які не розпалися, залишається практично постійним і рівним початковому числу ядер N_0 . Для знаходження числа ядер, які розпалися ΔN запишемо закон

радіоактивного розпаду у такому вигляді:

$$\Delta N = \lambda N_0 \Delta t.$$

Стала радіоактивного розпаду пов'язана з періодом напіврозпаду таким чином:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}.$$

Тоді маємо:

$$\Delta N = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot N_0 \Delta t.$$

Число атомів N_0 у $m_0=1$ г церію знайдемо зі співвідношення:

$$N_0 = \frac{m_0}{\mu} \cdot N_A,$$

де N_A – число Авогадро; μ – молярна маса атома $^{144}_{58}\text{Ce}$.

Врахувавши формулу для N_0 , одержимо:

$$\Delta N = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot \frac{m_0 N_A \Delta t}{\mu}.$$

Після розрахунків маємо: $\Delta N_1=1,2 \cdot 10^{11}$ атомів.

2) При $\Delta t_1 \approx T$ маємо можливість використати закон радіоактивного розпаду у такому вигляді:

$$\Delta N = N_0 - N = N_0 - N_0 \cdot e^{-\lambda \Delta t_2} = N_0 (1 - e^{-\lambda \Delta t_2}).$$

Виражаючи

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}, \quad N_0 = \frac{m_0}{\mu} \cdot N_A \quad \text{та} \quad e^{\ln 2} = 2,$$

маємо:

$$\Delta N_2 = \frac{N_A m_0}{\mu} \left(1 - e^{-\frac{\ln 2 \cdot \Delta t_2}{T}} \right) = \frac{N_A m_0}{\mu} \left(1 - 2^{-\frac{\Delta t_2}{T}} \right).$$

Після розрахунків маємо: $\Delta N_2=2,5 \cdot 10^{18}$ атомів.

Відповідь: $\Delta N_1=1,2 \cdot 10^{11}$, $\Delta N_2=2,5 \cdot 10^{18}$.

Дано:

KCl

$$C=0,1 \text{ г/см}^3=10^2 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho=7,4 \cdot 10^{-2} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$U_+=6,7 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$$

$$U_-=6,8 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$$

α - ?

Задача 3.4. Знайти коефіцієнт дисоціації водного розчину калію (KCl) з концентрацією $C=0,1$ г/см³. Питомий опір

такого розчину $\rho=7,4 \cdot 10^{-2}$ Ом·м при 18 °С, рухомість іонів K^+ та Cl^- при цій температурі рівні відповідно $U_+=6,7 \cdot 10^{-8}$ м²/В·с та $U_-=6,8 \cdot 10^{-8}$ м²/В·с.

Розв'язання задачі

Коефіцієнт дисоціації можна визначити з формули залежності електропровідності від рухомості іонів:

$$\sigma = q \cdot \alpha \cdot n_0 (U_+ + U_-),$$

де - $\sigma = \frac{1}{\rho}$ та $\frac{1}{\rho} = q \cdot \alpha \cdot n_0 (U_+ + U_-)$.

Оскільки, іони K^+ та Cl^- є одновалентними, то заряд іона дорівнює заряду електрона: $q=e$.

Знайдемо невідому концентрацію розчину

$$n_0 = \frac{N}{V},$$

де N – загальне число пар іонів, V – об'єм.

З другого боку, концентрація розчину $C = \frac{m}{V}$,

тоді

$$n_0 = \frac{CN}{m}.$$

Число N можна виразити зі співвідношення

$$N = \frac{m}{\mu} \cdot N_A,$$

де N_A – число Авогадро; μ – молярна маса KCl , $\mu=74 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

Тоді

$$n_0 = \frac{CN_A}{\mu}.$$

Отже

$$\frac{1}{\rho} = e \cdot \alpha \cdot \frac{CN_A}{\mu} (U_+ + U_-).$$

Остаточно маємо:

$$\alpha = \frac{\mu}{e \cdot C \cdot N_A (U_+ + U_-)}.$$

Після розрахунків маємо: $\alpha=0,8$.

Відповідь: $\alpha=0,8$.

Задача 3.5. На площі 400 км² за 10 хв випало 20 мм води у вигляді дощу. Підрахувати енергію та потужність тепловиділення від злиття крапель під час дощу, якщо краплі мають середній діаметр 3 мм поблизу Землі та утворюються з більш малих крапель діаметром $3 \cdot 10^{-3}$ мм.

Розв'язання задачі

Енергію, яка виділяється при злитті однієї краплі з n малих крапель можна визначити за формулою:

$$\Delta E = \alpha \cdot \Delta S = \alpha (nS_1 - S_2),$$

де S_1 – площа поверхні малих крапель;

S_2 – площа поверхні великої краплі;

α – коефіцієнт поверхневого натягу води.

Дано:

$$S = 4 \cdot 10^8 \text{ м}^2$$

$$t = 600 \text{ с}$$

$$h = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$D = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$d = 3 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$$E - ?, P - ?$$

Площу малої краплі можна визначити так:

$$S_1 = 4\pi r^2.$$

Площу великої краплі можна визначити як:

$$S_2 = 4\pi R^2,$$

$$\text{де } r = \frac{d}{2}, \quad \text{а} \quad R = \frac{D}{2}.$$

Так як об'єм n малих крапель дорівнює об'єму великої краплі, та можемо записати:

$$n \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \pi R^3 \quad \text{або} \quad n = \frac{R^3}{r^3}.$$

Тоді

$$\Delta E = \alpha(n \cdot 4\pi r^2 - 4\pi R^2) = \alpha \cdot 4\pi \left(\frac{R^3}{r^3} \cdot r^2 - R^2 \right) = 4\pi\alpha R^2 \left(\frac{R}{r} - 1 \right).$$

Для визначення повної енергії, яка виділяється необхідно знайти число великих крапель N , які випали у вигляді дощу:

$$N = \frac{V_{заг}}{V_2},$$

де $V_{заг} = S \cdot h, \quad V_2 = \frac{4}{3} \pi R^3.$

Тоді N :

$$N = \frac{3Sh}{4\pi R^3}.$$

Отже

$$E = N \cdot \Delta S = \frac{3Sh}{4\pi R^3} \cdot \alpha \cdot 4\pi R^2 \left(\frac{R}{r} - 1 \right) = \frac{3\alpha Sh}{R} \left(\frac{R}{r} - 1 \right).$$

Або, врахувавши зв'язок між радіусом та діаметром крапель, маємо:

$$E = \frac{6\alpha Sh}{D} \left(\frac{D}{d} - 1 \right).$$

Потужність – відношення енергії до часу:

$$P = \frac{E}{t} = \frac{6\alpha Sh}{Dt} \left(\frac{D}{d} - 1 \right).$$

Після розрахунків маємо: $E=1,168 \cdot 10^{12}$ Дж; $P=1,95 \cdot 10^6$ кВт.

Відповідь: $E=1,168 \cdot 10^{12}$ Дж; $P=1,95 \cdot 10^6$ кВт.

Задача 3.6. Визначити витрату рідини Q густиною ρ , що протікає вздовж горизонтальної трубки змінного перерізу через різницю рівнів рідини h у двох манометричних трубках скляного вимірника витрати рідини. Величини площі перерізу трубки - S_1 і S_2 (рис. 3.6.1).

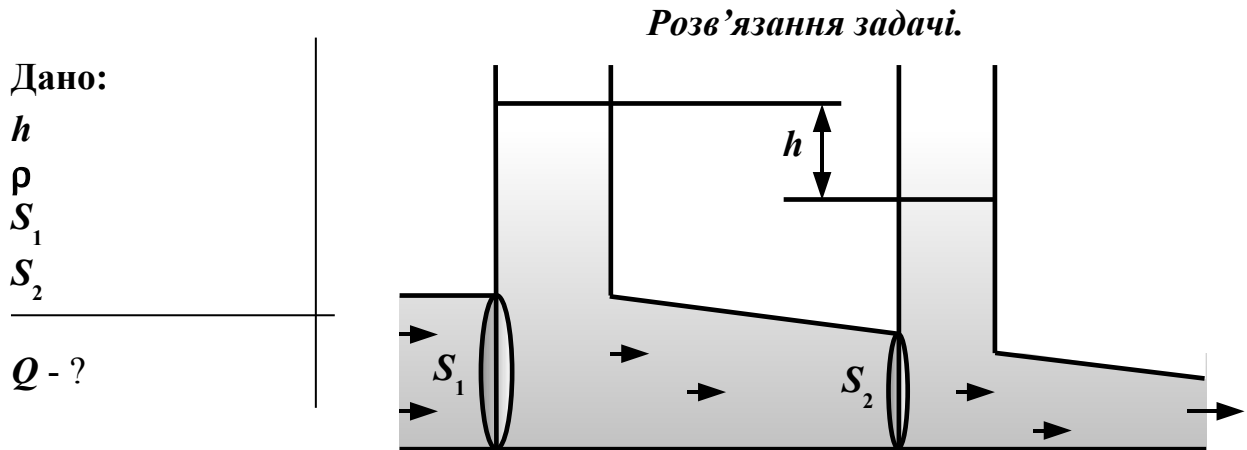


Рис. 3.6.1

Q – це кількість рідини, що виливається або проходить через переріз труби за одиницю часу.

Порівняємо Q у перерізі S_1 та S_2 :

$$\rho v_1 \cdot S_1 = \rho v_2 \cdot S_2 = Q \quad (6.1)$$

і застосуємо рівняння Бернуллі:

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + \rho g h_1 + p_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho g h_2 + p_2.$$

Так як висота рівнів на перерізі S_1 та S_2 однакова, то маємо:

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + p_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + p_2. \quad (6.2)$$

Розв'язавши систему рівнянь (6.1) та (6.2), одержимо:

$$v_1 = S_2 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho(S_1^2 - S_2^2)}}, \text{ та } v_2 = S_1 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho(S_1^2 - S_2^2)}}.$$

Але

$$p_1 - p_2 = \rho gh,$$

тоді:

$$Q = \rho S_1 S_2 \sqrt{\frac{2\rho gh}{\rho(S_1^2 - S_2^2)}} = \rho S_1 S_2 \sqrt{\frac{2\rho gh}{\rho(S_1^2 - S_2^2)}} = \rho S_1 S_2 \sqrt{\frac{2gh}{S_1^2 - S_2^2}}.$$

$$\text{Відповідь: } Q = \rho S_1 S_2 \sqrt{\frac{2gh}{S_1^2 - S_2^2}}.$$

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. **Савельев И.В.** Курс общей физики. – М.: Наука, 1986-1987. - Т.1-3.
2. **Трофимова Т.И.** Курс физики. – М.: Высш. шк., 1990.
3. **Ландсберг Г.С.** Оптика. М.: Наука, 1976.
4. **Загальний курс фізики.** /За ред. проф. І.М.Кучерика: У 3-х томах. – К.: Техніка, 1999.
5. **Загальні основи фізики:** Навч. Посібник: У 2-х кн /Богацька І.Г., Головка Д.Б., Маляренко А.А. і ін. /За ред. Головка Д.Б., Ментковського А.А. – К.: Либідь, 1998.
6. **Чолпан П.П.** Основи фізики: Навч. посібник. – К.: Вища шк., 1995.
7. **Яворский В.М.,** Пинский А.А. Основы физики. – М.: Наука, 1981. - Т.1-2.
8. **Апенко М.И.,** Дубовик А.С. Прикладная оптика. – М.: Наука, 1971.
9. **Матвеев А.Н.** Молекулярная физика. Электричество и магнетизм. Оптика. Атомная физика. – М.: Высш. шк., 1981-1989.
10. **Сивухин Д.В.** Общий курс физики: Учеб. пособие в 5 т./ – М.: Наука., 1975 - 1989.
11. **Денисов А.Е.,** Потапенко Г.Д. Физика в прикладной геодезии. – К.: Высш. шк., 1992.
12. **Физический энциклопедический словарь** /Под ред. Прохорова А.М. – М.: Сов. энциклопедия, 1989.

ДОДАТКИ

Додаток 1

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 ($t \text{ } ^\circ\text{C}$)	$T = t \text{ } ^\circ\text{C} + 273,15 \text{ К}$
Об'єм (1 літр)	10^{-3} м^3
Один мм 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)	$4,19 \text{ Дж}$

Додаток 4

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

Додаток 5

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

Додаток 6

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
Голубий	500 – 480
Синій	480 – 450
Фіолетовий	450 – 380

Дані про Землю

Об'єм		$1083219 \cdot 10^6 \text{ км}^3$
Маса		$5,978 \cdot 10^{24} \text{ кг}$
Радіус:	середній	6371032 м
	екваторіальний	6378160 м
	полярний	6356777 м
Площа поверхні:	Землі	510069000 км^2
	суші	148940148 км^2
	води	361128852 км^2
Середня густина:	Землі	5518^* кг/м^3
	земної кори	2800 кг/м^3
Довжина окружності:	меридіана	40008550 м
	екватора	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	29,76 км/с
	Лінійна точок, які лежать на екваторі Землі при її обертанні навколо власної осі	465,12 м/с
Прискорення вільного падіння:	на екваторі	$9,78049 \text{ м/с}^2$
	на полюсі	$9,83235 \text{ м/с}^2$
	на широті 45°	$9,80616 \text{ м/с}^2$
	нормальне (стандартне)	$9,80665 \text{ м/с}^2$
Маса повітря, яка оточує Землю		$5,158 \cdot 10^{18} \text{ кг}$
Вік Землі		$\approx 4,5 \cdot 10^9$ років

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

Додаток 8

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

Додаток 9

Хімічний склад Землі

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 складає 99,87% маси всієї Сонячної системи.

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

Додаток 11

Коефіцієнти заломлення деяких речовин*

Рідини та газу		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 касторова	1,48	Рубін	1,76
Олія соняшникова	1,47	Цукор	1,56

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

Додаток 12

Граничний кут повного внутрішнього відбиття

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

Додаток 13

Грецька абетка

A α – альфа

B β – бета

Γ γ – гамма

Δ δ – дельта

E ε – епсилон

Z ζ – дзета

H η – ета

Θ θ – тхета

I ι – йота

K κ – каппа

Λ λ – ламбда

M 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

X χ – хі

Υ υ – іпсилон

Ψ ψ – псі

Ω ω – омега

Навчально-методичне видання

ФІЗИКА

Методичні рекомендації до спецкурсів

„ОПТИЧНІ ПРИЛАДИ ТА ВИМІРЮВАННЯ В ГЕОДЕЗІЇ”,

„ОСНОВИ ФІЗИКИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА”

для студентів спеціальностей

7.070801 “Екологія в будівництві”,

7.070901 “Геодезія”,

7.070904 “Землевпорядкування та кадастр”

Укладачі: **Клапченко Василь Іванович**

Потапенко Георгій Данилович

Григораш Юрій Іванович

Азнаурян Ірина Олександрівна

Кучерова Галина Василівна

Редагування та коректура – *Г.В. Панчук*

Комп’ютерний набір та правка – *І.О. Азнаурян*

Комп’ютерна верстка – *Т.І. Кукарєвої*

Підписано до друку

Папір офсетний.

Ум.-друк. арк.

Тираж прим.

Гарнітура Times New Roman.

Обл.-вид. арк.

Вид. № 67/III-02.

Формат 60 x 14_{1/16}.

Друк на ізографі.

Ум. фарбовідб. 67

Замовлення №

КНУБА. 03037, Київ-37, Повітрофлотський проспект, 31.

Віддруковано в редакційно-видавничому відділі Київського національного університету будівництва і архітектури.