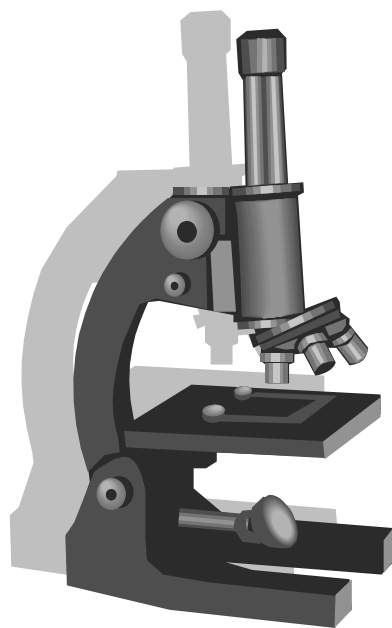


Житомирський державний університет імені Івана Франка

*Д.А Степанчиков*

# **Збірник задач з ОПТИКИ**



УДК 535 (076)  
ББК 22.3я73

*Рекомендовано до друку Вченою радою  
Житомирського державного університету ім.І.Франка  
( протокол №3 від 26.10.2007)*

**Рецензенти:**

*Є.В.Коршак*, професор кафедри методики викладання фізики Київського національного педагогічного університету імені Драгоманова.

*В.Д.Сиротюк*, зав. кафедрою методики викладання фізики Київського національного педагогічного університету імені Драгоманова.

*О.К.Ткаченко*, зав. кафедрою фізики Житомирського державного університету імені І.Франка.

**Степанчиков Д.А**

Збірник задач з оптики, – Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І.Франка, 2008. – 32с.,  
іл.

Посібник містить задачі з розділу "Оптика" курсу загальної фізики і складений відповідно до діючої програми для фізико-математичних спеціальностей університетів. Задачі мають різний рівень складності від найпростіших до складних та можуть пропонуватися студентам при проведенні практичних занять, в якості індивідуальних завдань для самостійної роботи та додаткових завдань при виконанні лабораторних робіт.

Для студентів фізико-математичних спеціальностей університетів.

УДК 535 (076)  
ББК 22.3я73

© Степанчиков Д.А., 2008

## Фотометрія

1. Знайти за допомогою кривої відності (рис. 1): а) потік енергії, що відповідає світловому потоку 1,0 лм і довжиною хвилі 0,51 і 0,64 мкм; б) світловий потік, що припадає на інтервал довжин хвиль від 0,58 до 0,63 мкм, якщо відповідний потік енергії  $\Phi_e = 4,5$  мВт, причому останній розподілений рівномірно по всіх довжинах хвиль цього інтервалу. Вважати, що в даному спектральному інтервалі функція  $V(\lambda)$  лінійна.

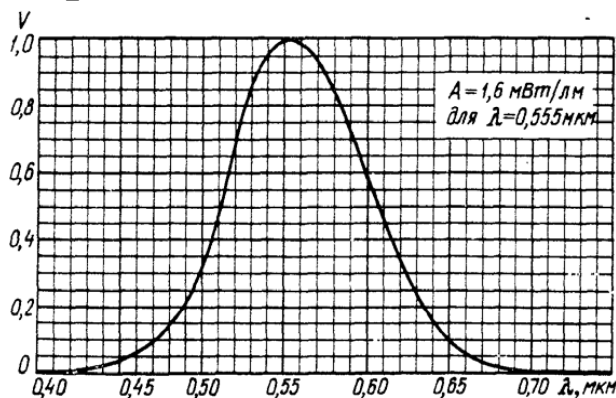


Рис.1

2. Користуючись функцією відності визначити, у скільки разів повинна бути більше потужність джерела з  $\lambda_1 = 450$  нм порівняно з потужністю джерела з  $\lambda_2 = 600$  нм, щоб зорове відчуття на однаковій відстані було однаковим? Визначити енергетичний потік від цього джерела, якщо воно дає світловий потік в 200 лм.

3. Точкове ізотропне джерело випускає світловий потік  $\Phi = 10$  млм з довжиною хвилі  $\lambda = 0,59$  мкм. Знайти амплітудні значення напруженостей електричного й магнітного полів цього світлового потоку на відстані  $r = 1,0$  м від джерела.

4. У вершині кругового конуса перебуває точкове джерело світла, що посилає усередину конуса світловий потік  $\Phi = 76$  лм. Сила світла джерела  $I$  дорівнює 120 кд. Визначити тілесний кут  $\omega$  і кут розчину конуса  $2\theta$ .

5. Визначити середню освітленість частини непрозорої сфери, що опромінюється, якщо на сферу падає: а) паралельний світловий потік, що створює в точці нормального падіння освітленість  $E_0$ ; б) світло від точкового ізотропного джерела, що перебуває на відстані  $l = 100$  см від центра сфери; радіус сфери  $R = 60$  см і сила світла  $I = 36$  кд.

6. Над півсферою на висоті  $h = 2$  м, рівної діаметру півсфери, знаходиться точкове джерело світла  $S$  силою  $I = 50$  кд (рис.2). Визначите: а) світловий потік, що попадає в півсферу; б) освітленість у тій точці поверхні півсфери, в яку промені падають під кутом  $\alpha = 35^\circ$ .

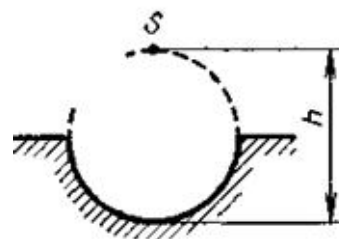


Рис.2

7. Лампочка, що споживає потужність  $P = 75$  Вт, створює на відстані  $r = 3$  м при нормальному падінні променів освітленість  $E = 8$  лк. Визначити питому потужність  $p$  лампочки (у ватах на канделу) і світлову віддачу  $\eta$  лампочки (у люменах на ват).

8. На якій висоті  $h$  над центром круглого стола радіусом  $r = 1$  м потрібно повісити лампочку, щоб освітленість на краю стола була максимальною?

9. Над центром круглого стола радіуса  $R = 1,0$  м підвішений невеликий світильник у вигляді плоского горизонтальною диска площі  $S = 100$  см<sup>2</sup>. Яскравість світильника не залежить від напрямку й дорівнює  $B = 1,6 \cdot 10^4$  кд/м<sup>2</sup>. На якій висоті від поверхні стола треба помістити світильник, щоб освітленість краю стола була максимальною? Чому дорівнює ця освітленість?

10. На висоті  $h=1,0$  м над центром круглого стола радіуса  $R=1,0$  м підвішене точкове джерело, сила світла якого  $I$  залежить від напрямку так, що освітленість всіх точок стола виявляється рівномірною. Знайти вид функції  $I(\theta)$ , де  $\theta$  – кут між напрямком випромінювання і вертикаллю, а також світловий потік, що падає на стіл, якщо  $I(0)=I_0=100$  кд.

11. На висоті  $h=3$  м над землею й на відстані  $r=4$  м від стіни висить лампа силою світла  $I=100$  кд. Визначити освітленість  $E_1$  стіни й  $E_2$  горизонтальної поверхні землі в лінії їхнього перетинання.

12. Джерело світла розміщене на висоті 15 м над освітлюваною поверхнею. В деякій точці освітленість горизонтальної поверхні рівна 10 лк, а вертикальної площини – 20 лк. Визначити силу світла джерела в напрямку до цієї точки.

13. Джерело світла розміщене в циліндрі, бічна поверхня якого непрозора, а дно прозоре і розсіює світло за законом Ламберта. Яскравість джерела  $B=8000$  кд/м<sup>2</sup>, площа поверхні, що світить,  $S=100$  см<sup>2</sup>. Яка найбільша освітленість стіни, що відстоїть від центра джерела на відстані  $L=1,5$  м?

14. На висоті  $h=5$  м над центром спортивної площадки висить лампа. Приймаючи лампу за точкове джерело, визначити, на якій відстані від центру площадки освітленість площадки в два рази менша, ніж у центрі.

15. Прожектор дає пучок світла у вигляді конуса з плоским кутом при вершині  $\theta=24^\circ$  і створює світловий потік 3500 лм. Приймаючи, що світловий потік розподілений всередині конуса рівномірно, визначити: а) силу світла прожектора; б) освітленість в центрі площадки на відстані  $l=500$  м від прожектора.

16. Точкове джерело світла знаходиться на відстані 0,5 м від освітлюваної поверхні. В скільки разів зміниться освітленість точки поверхні, в яку промені падають нормально, якщо над джерелом паралельно поверхні розташувати плоске дзеркало на відстані 0,25 м від джерела.

17. Точкове джерело  $S$  освітлює поверхню  $MN$ . Як зміниться освітленість у точці  $A$ , що знаходиться безпосередньо під джерелом, якщо збоку на такій же відстані, як до освітлюваної поверхні, помістити дзеркальце  $Z$  (рис.3)? Коефіцієнт відбивання прийняти рівним одиниці.

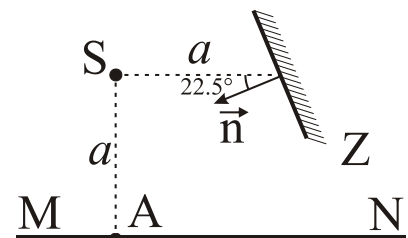


Рис.3

18. Довести, що для ламбертових джерел виконується співвідношення між світністю і яскравістю  $M=\pi B$ .

19. Крізь отвір у ставні в кімнату падає пучок сонячних променів, що освітлюють лист білого паперу, який лежить на підлозі. Площа світлової плями на листі паперу  $S=80$  см<sup>2</sup>, освітленість  $E_0=10^4$  лк, коефіцієнт відбивання паперу  $\rho=0,8$ . Визначте: а) освітленість стелі кімнати над листом паперу, якщо висота кімнати  $H=4$  м; б) освітленість стіни на висоті  $h=2$  м, якщо стіна відстоїть на відстані  $b=3$  м від світлової плями на листі паперу.

20. Вертикальний промінь проектора висвітлює центр стелі круглої кімнати радіуса  $R=2,0$  м. При цьому на стелі утвориться невеликий зайчик площею  $S=100$  см<sup>2</sup>. Освітленість зайчика  $E=1000$  лк. Коефіцієнт відбивання стелі  $\rho=0,80$ . Знайти найбільшу освітленість стіни, створювану світлом, відбитим від стелі. Вважати, що відбиття відбувається за законом Ламберта.

21. У паралельному пучку розміщений двогранний прямий кут так, що яскравість граней однакова (рис.4). Коефіцієнти відбивання граней  $\rho_1$  і  $\rho_2$ . Знайти кути граней з паралельним пучком  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$ . Грані розсіюють світло за законом Ламберта.

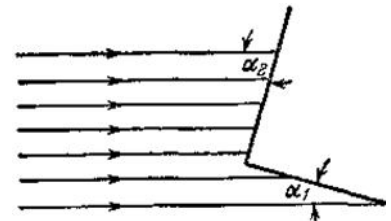


Рис.4

22. Освітленість, одержана при нормальному падінні сонячних променів на поверхню Землі, становить близько  $10^5$  лк. Вважаючи, що випромінювання Сонця підкоряється закону Ламберта, і нехтуючи поглинанням світла в атмосфері, визначити яскравість Сонця, якщо відомо що діаметр Сонця видно під кутом  $32'$ .

23. Світильник з молочного скла має форму кулі діаметром  $d=20$  см. Сила світла  $I$  кулі дорівнює 80 кд. Визначити повний світловий потік  $\Phi$ , світність  $M$  і яскравість  $B$  світильника.

24. Визначити освітленість  $E$ , світність  $M$  і яскравість  $B$  кіноекрана, що рівномірно розсіює світло у всіх напрямках, якщо світловий потік  $\Phi$ , що падає на екран з об'єктива кіноапарата (без кінострічки), дорівнює 1,75 клм. Розмір екрана  $5 \times 3,6$  м, коефіцієнт відбиття  $\rho=0,75$ .

25. Купол у вигляді напівсфери опирається на горизонтальну поверхню. Визначити освітленість у центрі цієї поверхні, якщо яскравість купола дорівнює  $B$  і не залежить від напрямку.

26. Ламбертове джерело має вигляд нескінченної площини. Його яскравість дорівнює  $B$ . Знайти освітленість площадки, розташованої паралельно даному джерелу.

27. Невеликий світильник, що має вид рівномірно світної сфери радіуса  $R=6,0$  см, перебуває на відстані  $L=3,0$  м від підлоги. Яскравість світильника  $B=2,0 \cdot 10^4$  кд/м<sup>2</sup> і не залежить від напрямку. Знайти освітленість підлоги безпосередньо під світильником.

28. Яскравість  $B$  граней світлого куба однакова у всіх напрямках і дорівнює  $5$  кд/м<sup>2</sup>. Ребро  $a$  куба дорівнює 20 см. У якому напрямку сила світла  $I$  куба максимальна? Визначити максимальну силу світла  $I_{max}$  куба.

29. Світний конус має однакову у всіх напрямках яскравість  $B=2$  кд/м<sup>2</sup>. Підставка конуса не світиться. Діаметр  $d$  підставки дорівнює 20 см, висота  $h=15$  см. Визначити силу світла  $I$  конуса в напрямках: а) уздовж осі; б) перпендикулярно осі.

30. Шар і куб випромінюють з постійною яскравістю по всій поверхні. Яке тіло має більшу середню силу світлу, якщо: а) їх поверхні однакові; б) тіла однорідні і їх маси однакові.

31. При друкуванні фотознімка негатив висвітлювався протягом  $t_1=3$  с з лампочкою силою світла  $I_1=15$  кд із відстані  $r_1=50$  см. Визначити час  $t_2$ , протягом якого потрібно висвітлювати негатив лампочкою силою світла  $I_2=60$  кд із відстані  $r_2=2$  м, щоб одержати відбиток з такою ж ступенем почорніння, як і в першому випадку?

32. Для контактного друкування фотознімків використали електричну лампу з силою світла 40 кд. Якщо папір з негативом розмістити на відстані 1 м від лампи, час експозиції буде 3 с. Визначити час експозиції, якщо використати одночасно дві лампи по 100 кд на відстані 2 і 3 м від пластинки.

## Інтерференція світла

**33.** Оптична різниця ходу  $\Delta$  двох інтерферируючих хвиль монохроматичного світла дорівнює  $0,3\lambda$ . Визначити різниця фаз  $\Delta\phi$ .

**34.** Знайти всі довжини хвиль видимого світла (від  $0,76$  до  $0,38$  мкм), які будуть: а) максимально посилені; б) максимально ослаблені при оптичній різниці ходу  $\Delta$  інтерферируючих хвиль, рівної  $1,8$  мкм.

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

**36.** Відстань  $d$  між двома щілинами в досвіді Юнга дорівнює  $1$  мм, відстань  $l$  від щілин до екрана дорівнює  $3$  м. Визначити довжину хвилі  $\lambda$ , що випромінюється джерелом монохроматичного світла, якщо ширина  $b$  смуг інтерференції на екрані дорівнює  $1,5$  мм.

**37.** У досліді Ллойда (рис. 5) світлова хвиля, що виходить безпосередньо із джерела  $S$  (вузької щілини), інтерферує із хвилею, відбитої від дзеркала  $З$ . У результаті на екрані  $Э$  утвориться система інтерференційних смуг. Відстань від джерела до екрана  $l=100$  см. При деякому положенні джерела ширина інтерференційної смуги на екрані  $\Delta x=0,25$  мм, а після того, як джерело відсунули від площини дзеркала на

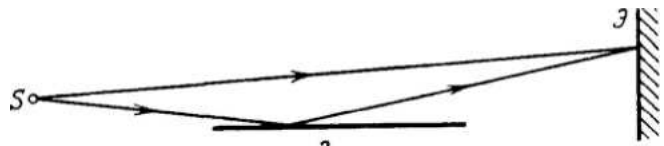


Рис. 5

$\Delta h=0,60$  мм, ширина смуг зменшилися в  $\eta=1,5$  рази. Знайти довжину хвилі світла.

**38.** При деякому розташуванні дзеркала Ллойда (рис.5) ширина  $\Delta x$  інтерференційної смуги на екрані виявилася рівної  $1$  мм. Після того як дзеркало змістили паралельно самому собі на відстань  $\Delta d=0,3$  мм, ширина інтерференційної смуги змінилася. У якому напрямку й на яку відстань  $\Delta l$  варто перемістити екран, щоб ширина інтерференційної смуги залишилася колишньої? Довжина хвилі монохроматичного світла дорівнює  $0,6$  мкм.

**39.** Дві когерентні плоскі світлові хвилі, кут між напрямками поширення яких  $\phi \ll 1$ , падають майже нормально на екран. Амплітуди хвиль однакові. Показати, що відстань між сусідніми максимумами на екрані  $\Delta x = \lambda / \phi$ , де  $\lambda$  – довжина хвилі.

**40.** На рис.6 показана інтерференційна схема з бідзеркалами Френеля. Кут між дзеркалами  $\alpha=12'$ , відстані від лінії перетинання дзеркал до вузької щілини  $S$  і екрана  $Э$  рівні відповідно  $r=10,0$  см і  $b=130$  см. Довжина хвилі світла  $\lambda=0,55$  мкм. Визначити:

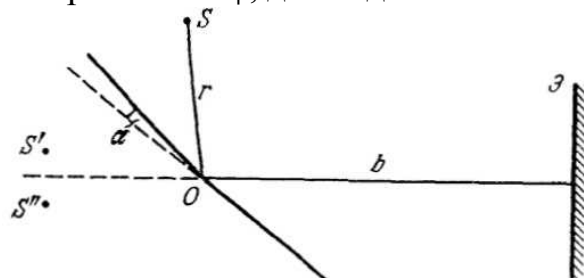


Рис. 6

- а) ширину інтерференційної смуги на екрані і число можливих максимумів;
- б) зміщення картини на екрані при зсуві щілини на  $\delta l=1,0$  мм по дузі радіуса  $r$  із центром у точці  $O$ ;

в) при якій ширині щілини  $h_{max}$  інтерференційні смуги на екрані будуть спостерігатися ще досить чітко.

41. Плоска світлова хвиля падає на бідзеркала Френеля, кут між якими  $\alpha=2,0'$ . Визначити довжину хвилі світла, якщо ширина інтерференційної смуги на екрані  $\Delta x=0,55$  мм.

42. Тонка збиральна лінза розрізана на дві половинки, що розсунуті на відстань  $d=1$  мм. По одну сторону від лінзи знаходиться джерело монохроматичного світла (розжарена нитка з фільтром), а по іншу – екран, на якому утворюються інтерференційні смуги.

а) Пояснити походження смуг.

б) Визначити ширину інтерференційних смуг, якщо джерело світла знаходиться на відстані  $a=20$  см від розрізаної лінзи, а екран на відстані  $L=450$  см. Фокусна відстань лінзи  $f'=10$  см. Довжина світлової хвилі, що пропускається фільтром,  $\lambda=500$  нм.

в) Яким повинен бути максимальний діаметр нитки, щоб спостерігалася чітка інтерференційна картина?

г) Скільки інтерференційних смуг видно на екрані?

43. З лінзи з фокусною відстанню  $f'=50$  см вирізали центральну частину шириною  $v$  і обидві частини зсунули до дотику. Лінзу розмістили між точковим джерелом монохроматичного світла з  $\lambda=600$  нм і екраном, на якому спостерігають інтерференційні смуги шириною  $\Delta x=0,5$  мм. Побудувати зображення джерел і визначити ширину вирізаної частини лінзи. Відстань від джерела до лінзи  $a=100$  см, від лінзи до екрану  $L=20$  см.

44. Лінзу діаметром  $5,0$  см і з фокусною відстанню  $f'=25,0$  см розрізали по діаметру на дві однакові половини, причому вилученим виявився шар товщини  $a=1,00$  мм. Після цього обидві половини зсунули до дотику та у фокальній площині, отриманій у такий спосіб білінзи, помістили вузьку щілину, що випромінює монохроматичне світло з  $\lambda=0,60$  мкм. За білінзою розташували екран на відстані  $b=50$  см від неї. Визначити: а) ширину інтерференційної смуги на екрані й число  $N$  можливих максимумів; б) ширину щілини  $h_{max}$ , при якій смуги на екрані будуть спостерігатися ще досить чітко.

45. Відстані від біпризми Френеля до вузької щілини й екрана рівні відповідно  $a=25$  см і  $b=100$  см. Біпризма скляна із заломлюючим кутом  $\theta=20'$ . Знайти довжину хвилі світла, якщо ширина інтерференційної смуги на екрані  $\Delta x=0,55$  мм.

46. Знайти кількість  $N$  смуг інтерференції, що утворюються біпризмою з показником заломлення  $n$  і заломлюючим кутом  $\phi$ , якщо довжина хвилі джерела  $\lambda$ . Відстань від джерела світла до екрану  $a$ , а до біпризми  $b$ .

47. Плоска світлова хвиля з  $\lambda=0,70$  мкм падає нормально на основу біпризми, зробленої зі скла ( $n_1=1,520$ ) із заломлюючим кутом  $\theta=5,0^\circ$ . За біпризмою (рис.7) перебуває плоскопаралельна скляна пластинка, і простір між ними заповнено бензолом ( $n_2=1,500$ ). Знайти ширину інтерференційної смуги на екрані  $\mathcal{E}$ , розташованому за цією системою.



Рис.7

48. Плоска монохроматична світлова хвиля падає нормально на діафрагму із двома вузькими щілинами, що відстоять друг від друга на  $d=2,5$  мм. На екрані, розташованому за діафрагмою на  $l=100$  см, утвориться система інтерференційних смуг. На яку відстань  $i$  в якій бік змістяться ці смуги, якщо одну із щілин перекрити скляною пластинкою товщини  $h=10$  мкм?

49. Плоскопаралельна скляна пластинка товщиною  $d=1,2$  мкм і показником заломлення  $n=1,5$  поміщена між двома середовищами з показниками заломлення  $n_1$  і  $n_2$  (рис.8). Світло з довжиною хвилі  $\lambda=0,6$  мкм падає нормально на пластинку. Визначити оптичну різницю ходу  $\Delta$  хвиль 1 і 2, відбитих від верхньої й нижньої поверхонь пластинки, і вказати, посилення або ослаблення інтенсивності світла відбувається при інтерференції в наступних випадках: а)  $n_1 < n < n_2$ ; б)  $n_1 > n > n_2$ ; в)  $n_1 < n > n_2$ ; г)  $n_1 > n < n_2$ .

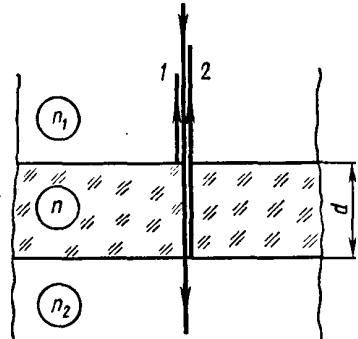


Рис.8

50. На тонку плівку ( $n=1,33$ ) падає паралельний пучок білого світла. Кут падіння  $\theta=52^\circ$ . При якій найменшій товщині плівки відбите світло буде жовтого кольору ( $\lambda=0,60$  мкм)?

51. Знайти мінімальну товщину плівки з показником заломлення 1,33, при якій світло з довжиною хвилі 0,64 мкм максимально відбивається, а світло з довжиною хвилі 0,40 мкм не відбивається зовсім. Кут падіння світла дорівнює  $30^\circ$ .

52. На поверхні скла знаходиться плівка води. На неї падає світло з  $\lambda=0,68$  мкм під кутом  $\theta=30^\circ$  до нормалі. Знайти швидкість, з якої зменшується товщина плівки (через випаровування), якщо інтенсивність відбитого світла змінюється так, що проміжок часу між послідовними максимумами відбивання  $\Delta t=15$  хв.

53. Визначити товщину масла ( $n_m=1,47$ ) на поверхні води, якщо при спостереженні під кутом  $60^\circ$  до нормалі в спектрі відбитого світла видно підсилену жовту лінію з  $\lambda=0,589$  мкм.

54. Для зменшення втрат світла через відбивання від поверхні скла останне покривають тонким шаром речовини з показником заломлення  $n'=\sqrt{n}$ , де  $n$  — показник заломлення скла. У цьому випадку амплітуди світлових коливань, відбитих від обох поверхонь такого шару, будуть однаковими. При якій товщині цього шару відбивна здатність скла в напрямку нормалі буде дорівнювати нулю для світла з довжиною хвилі  $\lambda$ .

55. Розсіяне монохроматичне світло з  $\lambda=0,60$  мкм падає на тонку плівку речовини з показником заломлення  $n=1,5$ . Визначити товщину плівки, якщо кутова відстань між сусідніми максимумами, що спостерігаються у відбитому світлі під кутами з нормаллю, близькими до  $\theta=45^\circ$ , дорівнює  $\delta\theta=3,0^\circ$ .

56. Монохроматичне світло проходить через отвір в екрані Э (рис.9) і, відбиваючись від тонкої плоскопаралельної скляної пластинки П, утворює на екрані систему інтерференційних смуг рівного нахилу. Товщина пластинки  $b$ ,

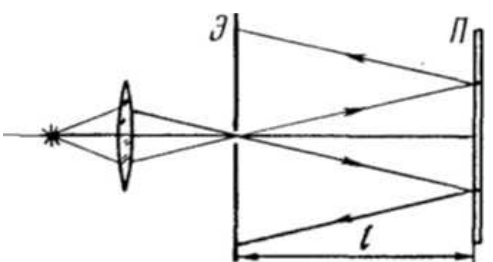


Рис.9

відстань між нею й екраном  $l$ , радіуси  $i$ -го й  $k$ -го темних кілець  $r_i$  і  $r_k$ . З огляду на те, що  $r_{i,k} \ll l$ , знайти довжину хвилі світла.

**57.** Тонка плівка з показником заломлення  $n=1,5$  освітлюється розсіяним світлом з довжина хвилі якого лежить в межах від  $\lambda_1=600$  нм до  $\lambda_2=610$  нм. При якій мінімальній товщині плівки зникнуть інтерференційні смуги?

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

**59.** Поверхні скляного клина утворюють між собою кут  $\theta=0,2'$ . На клин нормально до його поверхні падає пучок променів монохроматичного світла з довжиною хвилі  $\lambda=0,55$  мкм. Визначити ширину  $\Delta x$  інтерференційної смуги.

**60.** На скляний клин нормально падає світло з довжиною хвилі  $589$  нм. Скільки інтерференційних смуг приходить на одиницю довжини? Кут клина  $20''$ . З темної чи світлої смуги розпочинається інтерференційна картина біля ребра клина у відбитому світлі?

**61.** Світло з довжиною хвилі  $\lambda=0,55$  мкм від віддаленого точкового джерела падає нормально на поверхню скляного клина. У відбитому світлі спостерігають систему інтерференційних смуг, відстань між сусідніми максимумами яких на поверхні клина  $\Delta x=0,21$  мм. Знайти: а) кут між гранями клина; б) на який відстані від ребра клина зникають смуги, якщо випромінювання займає спектральний інтервал  $\Delta\lambda=2$  нм.

**62.** Між двома плоскопаралельними скляними пластинками поклали дуже тонкий дротик, розташований паралельно лінії дотику пластинок, що знаходиться на відстані  $l=75$  мм від неї. У відбитому світлі ( $\lambda=0,5$  мкм) на верхній пластинці видні інтерференційні смуги. Визначити діаметр  $d$  поперечного переріза дротика, якщо на відстані  $a=30$  мм налічується  $m=16$  світлих смуг.

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

**64.** Мильна плівка, що розташована вертикально, освітлюється зеленим світлом з довжиною хвилі  $\lambda=546$  нм. При спостереженні у відбитому світлі на поверхні плівки видно темні і світлі смуги, причому на відстані  $l=2$  см нараховується  $5$  смуг. Вважаючи, що світло падає на поверхню нормально, визначити кут між поверхнями плівки. Показник заломлення мильної плівки  $n=1,33$ .

**65.** Мильну плівку, розташовану вертикально, спостерігають у відбитому світлі через червоне скло ( $\lambda_{\text{ч}}=631$  нм). Відстань між сусідніми темними смугами становить  $3$  мм. Знайти відстань між сусідніми темними смугами при спостереженні плівки через синє скло ( $\lambda_{\text{с}}=400$  нм).

**66.** Плоско-опукла скляна лінза опуклої поверхнею дотикається до скляної пластинки. Радіус кривизни опуклої поверхні лінзи  $R$ , довжина хвилі світла  $\lambda$ . Знайти ширину  $\Delta r$  кільця Ньютона залежно від його радіуса  $r$  в області, де  $\Delta r \ll r$ .

67. Плоско-опукла лінза кладеться на скляну пластинку, причому внаслідок попадання пилу між лінзою і пластинкою відсутній контакт. Діаметри п'ятого і п'ятнадцятого темних кілець Ньютона у відбитому світлі рівні 0,7 і 1,7 мм, відповідно. Визначити радіус кривизни опуклої поверхні лінзи, якщо система опромінюється світлом з довжиною хвилі  $\lambda=581$  нм.

68. Плоско-опукла скляна лінза з радіусом кривизни  $R=40$  см дотикається опуклою поверхнею до скляної пластинки. При цьому у відбитому світлі радіус деякого кільця  $\rho_0=2,5$  мм. Спостерігаючи за даним кільцем, лінзу обережно відсунули від пластинки на  $h=5,0$  мкм. Яким став радіус цього кільця?

69. На вершині сферичної поверхні плоско-опуклої скляної лінзи є зішліфована плоска ділянка радіуса  $\rho_0=3,0$  мм, якою вона дотикається до скляної пластинки. Радіус кривизни опуклої поверхні лінзи  $R=150$  см. Знайти радіус шостого світлого кільця у відбитому світлі з  $\lambda=655$  нм.

70. Кільця Ньютона утворюються між двома плоско-опуклими лінзами, притиснутими друг до друга своїми опуклими поверхнями. Знайти радіус  $\rho_m$   $m$ -го темного кільця, якщо довжина світлової хвилі дорівнює  $\lambda$ , а радіуси кривизни опуклих поверхонь лінз дорівнюють  $R_1$  і  $R_2$ . Спостереження ведеться у відбитому світлі.

71. Кільця Ньютона одержують за допомогою плоско-опуклої лінзи з радіусом кривизни  $R_1$ , покладеної на увігнуту сферичну поверхню плоско-увігнутої лінзи з радіусом кривизни  $R_2 > R_1$ . Кільця спостерігаються у відбитому світлі. Визначити радіус  $\rho_m$   $m$ -го темного кільця, якщо довжина світлової хвилі дорівнює  $\lambda$ .

72. Сферична поверхня плоско-опуклої лінзи дотикається до скляної пластинки. Простір між лінзою й пластинкою заповнено сірковуглецем. Показники заломлення лінзи, сірковуглецю й пластинки рівні відповідно  $n_1=1,50$ ,  $n_2=1,63$  і  $n_3=1,70$ . Радіус кривизни сферичної поверхні лінзи  $R=100$  см. Визначити радіус п'ятого темного кільця Ньютона у відбитому світлі з  $\lambda=0,61$  мкм.

73. На установці для спостереження кілець Ньютона був вимірний у відбитому світлі радіус третього темного кільця. Коли простір між плоскопаралельною пластиною й лінзою заповнили рідиною, той же радіус стало мати четверте темне кільце. Визначити показник заломлення  $n$  рідини.

74. Спостерігач відрахує ширину деяких 10 кілець Ньютона. Вона виявляється рівною 0,7 мм. Ширина наступних 10 кілець становить 0,4 мм. Спостереження проводиться у відбитому світлі з  $\lambda=589$  нм. Визначити радіус кривизни лінзи.

75. На рис.10 показана схема інтерферометра для визначення показників заломлення прозорих речовин. S – вузька щілина, освітлювана монохроматичним



Рис.10

світлом  $\lambda=589$  нм, 1 і 2 – дві однакові трубки з повітрям, довжина кожної з яких  $l=10,0$  см, Д – діафрагма із двома щілинами. Коли повітря в трубці 1 замінили аміаком, то інтерференційна картина на екрані Э змістилася вгору на  $m=17$  смуг. Показник заломлення повітря  $n=1,000277$ . Визначити показник заломлення аміаку.

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

**77.** У двопроменевому інтерферометрі використовується жовта лінія ртуті, що складає із двох компонент з  $\lambda_1=576,97$  нм і  $\lambda_2=579,03$  нм. При якому найменшому порядку інтерференції чіткість інтерференційної картини буде найгіршою?

**78.** В інтерферометрі Майкельсона використалася жовта лінія натрію, що складається із двох компонент з  $\lambda_1=589,0$  нм і  $\lambda_2=589,6$  нм. При переміщенні одного із дзеркал інтерференційна картина періодично зникала (чому?). Знайти переміщення дзеркала між двома послідовними появами найбільш чіткої картини.

**79.** Визначити переміщення дзеркала в інтерферометрі Майкельсона, якщо інтерференційна картина змістилася на  $m=100$  смуг. Дослід проводився зі світлом з довжиною хвилі  $\lambda=546$  нм.

**80.** В інтерферометрі Майкельсона на шляху одного з інтерферуючих пучків світла ( $\lambda=590$  нм) помістили закриту по обидва боки скляну трубку довжиною  $l=10$  см, відкачану до високого вакууму. При заповненні трубки хлористим воднем відбувся зсув інтерференційної картини. Коли хлористий водень був замінений бромистим воднем, зсув інтерференційної картини зріс на  $\Delta m=42$  смуги. Визначити різницю  $\Delta n$  показників заломлення бромистого й хлористого водню.

**81.** Знайти для інтерферометра Фабри-Перо, товщина якого  $d=2,5$  см: а) максимальний порядок інтерференції світла з довжиною хвилі  $\lambda=0,50$  мкм; б) дисперсійну область  $\Delta\lambda$ , тобто спектральний інтервал довжин хвиль, для якого ще немає перекриття з іншими порядками інтерференції, якщо спостереження ведеться поблизу  $\lambda=0,50$  мкм.

## *Дифракція світла*

**82.** Точкове джерело світла з довжиною хвилі  $\lambda=0,50$  мкм розташований на відстані  $a=100$  см перед діафрагмою із круглим отвором радіуса  $r=1,0$  мм. Знайти відстань  $b$  від діафрагми до точки спостереження, для якої число зон Френеля в отворі становить  $m=3$ .

**83.** На діафрагму із круглим отвором діаметром  $d=4$  мм падає нормально паралельний пучок променів монохроматичного світла ( $\lambda=0,5$  мкм). Точка спостереження перебуває на осі отвору на відстані  $b=1$  м від нього. Скільки зон Френеля укладається в отворі? Темна або світла пляма вийде в центрі дифракційної картини, якщо в місці спостережень помістити екран?

**84.** Плоска світлова хвиля ( $\lambda=0,7$  мкм) падає нормально на діафрагму із круглим отвором радіусом  $r=1,4$  мм. Визначити відстані  $b_1, b_2, b_3$  від діафрагми до трьох найбільш віддалених від неї точок, у яких спостерігаються мінімуми інтенсивності.

**85.** Між точковим джерелом світла й екраном помістили діафрагму із круглим отвором, радіус якого  $r$  можна змінювати. Відстань від діафрагми до джерела й екрана рівні  $a=100$  см і  $b=125$  см. Визначити довжину хвилі світла, якщо максимум освітленості в центрі дифракційної картини на екрані спостерігається при  $\rho_1=1,00$  мм і наступний максимум – при  $\rho_2=1,29$  мм.

**86.** Екран знаходиться на відстані  $L=35$  м від точкового монохроматичного джерела світла з довжиною хвилі  $\lambda=500$  нм. На відстані  $a=15$  м від джерела світла розміщено екран з ірисовою діафрагмою. При якому радіусі отвору діафрагми центр дифракційного зображення отвору буде: а) найбільш світлим; б) найбільш темним.

**87.** Для одержання фотографій дифракційних картин у тих випадках, коли джерело світла і екран розташовані дуже далеко, В. К. Аркадьєвим був застосований метод подібності, у якому замість дійсних перешкод, що стоять на шляху променів, використовуються їх зменшені подібні моделі. Потрібно одержати фотографію дифракційної картини від диска діаметром  $D=50$  см, коли на його осі розташоване точкове джерело світла на відстані  $A=25$  км, а екран віддалений від нього на  $B=50$  км (площина екрана перпендикулярна до осі диска). З цією метою диск замінили зменшеною моделлю з діаметром  $d=1$  см. Визначити, при яких відстанях  $a$  і  $b$  варто помістити джерело світла і екран, щоб вийшла подібна і зменшена в  $n=50$  разів дифракційна картина.

**88.** Плоска монохроматична світлова хвиля падає нормально на круглий отвір. На відстані  $b=9,0$  м від нього розташовано екран, де спостерігають деяку дифракційну картину. Діаметр отвору зменшили в  $\eta=3,0$  рази. Знайти нову відстань  $b'$ , на якій треба помістити екран, щоб одержати на ньому дифракційну картину, подібну тієї, що в попередньому випадку, але зменшену в  $\eta$  раз.

**89.** Плоска монохроматична світлова хвиля з інтенсивністю  $I_0$  падає нормально на діафрагму з круглим отвіром. Знайти інтенсивність у центрі дифракційної картини на екрані у точці Р, для якої в отвір вкладається: а)  $1/2$  зони Френеля; б) 1 зона Френеля; в)  $1,5$  зони Френеля; г)  $2/3$  зони Френеля.

**90.** Плоска світлова хвиля з  $\lambda=640$  нм та інтенсивністю  $I_0$  падає нормально на круглий отвір радіуса  $r=1,20$  мм. Знайти інтенсивність у центрі дифракційної картини на екрані, що відстоїть на  $b=1,50$  м від отвору.

**91.** Плоска монохроматична світлова хвиля з інтенсивністю  $I_0$  падає нормально на непрозорий екран з круглим отвором. Яка інтенсивність світла  $I$  за екраном у точці, для якої отвір зробили рівним першій зоні Френеля і потім закрили його половину (по діаметру)?

**92.** Визначити інтенсивність світла в центрі дифракційної картини від круглого екрану, якщо він закриває усю першу зону Френеля. Інтенсивність падаючого світла  $I_0$ .

**93.** Монохроматична плоска світлова хвиля з інтенсивністю  $I_0$  падає нормально на непрозорий диск, що закриває для точки спостереження Р першу зону Френеля. Яка буде інтенсивність світла  $I$  у точці Р після того, як у диска видалили половину зовнішньої половини першої зони Френеля (по діаметру)?

**94.** Плоска світлова хвиля з  $\lambda=0,60$  мкм падає нормально на достатньо велику скляну пластинку, на протилежній стороні якої зроблена кругла виїмка (рис.11). Для точки спостереження Р вона являє собою перші півтори зони Френеля. Знайти глибину  $h$  виїмки, при якій інтенсивність світла у точці Р буде: а) максимальною; б) мінімальною; в) рівною інтенсивності падаючого світла.

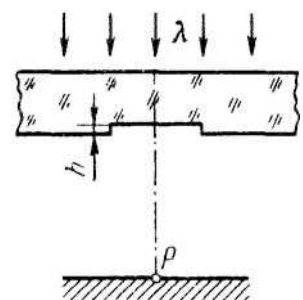


Рис. 11

95. Плоска світлова хвиля довжини  $\lambda$  і інтенсивності  $I_0$  падає нормально на велику скляну пластинку, протилежна сторона якої являє собою непрозорий екран із круглим отвором, рівним першій зоні Френеля для точки спостереження  $P$ . У середині отвору зроблена кругла виїмка, що рівна половині зони Френеля. При якій глибині  $h$  цієї виїмки інтенсивність світла в точці  $P$  буде максимальною? Чому ця інтенсивність дорівнює?

96. Плоска світлова хвиля з  $\lambda=0,60$  мкм і інтенсивністю  $I_0$  падає нормально на велику скляну пластинку, профіль якої показаний на рис.12. При якій висоті  $A$  уступу інтенсивність світла в точках, розташованих під ним, буде: а) мінімальна; б) удвічі менше  $I_0$  (втратами на відбивання нехтувати).

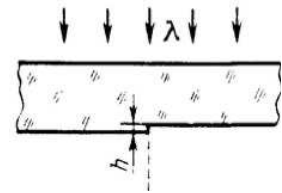


Рис.12

97. Між джерелом світла з  $\lambda=0,55$  мкм і фотопластинкою помістили непрозору кульку діаметра  $D=40$  мм. Відстань між джерелом і кулькою  $a=12$  м, а між кулькою та фотопластинкою  $b=18$  м. Знайти розмір зображення  $y'$  на пластинці, якщо поперечний розмір джерела  $y=6,0$  мм. Чи буде зображення істотно спотворено, якщо висота нерівностей, що хаотично покривають поверхню кульки, становить  $h=0,1$  мм? Чи можна кулю замінити диском того ж діаметра?

98. Точкове джерело монохроматичного світла розташовано перед зонною пластинкою на відстані  $a=1,5$  м від неї. Зображення джерела утворюється на відстані  $b=1,0$  м від пластинки. Знайти головну фокусну відстань зонної пластинки.

99. Зонна пластинка дає зображення джерела, віддаленого від неї на 3 м, на відстані 2 м від пластинки. На якій відстані від пластинки одержиться головне зображення джерела, якщо його відсунути на нескінченність.

100. Головна фокусна відстань амплітудної зонної пластинки рівна  $f_0$ . Знайти її інші фокусні відстані.

101. Освітлений предмет розміщено на осі зонної пластинки на відстані  $a$  від неї. Найбільш дальнє від неї зображення предмета одержується на відстані  $b$  від пластинки. На яких відстанях  $b_m$  від пластинки одержуються інші зображення предмета?

102. Визначити інтенсивність світла в центрі зонної пластинки, якщо закрити всю пластинку за виключенням верхньої половини першої зони. Інтенсивність падаючого світла рівна  $I_0$ .

103. Плоска монохроматична світлова хвиля падає нормально на непрозору напівплощину. На відстані  $b=100$  см за нею знаходиться екран. Знайти за допомогою спірالی Корню (рис.13): а) відношення інтенсивностей першого максимуму і сусіднього з ним мінімуму; б) довжину хвилі світла, якщо відстань між двома першими максимумами  $\Delta x=0,63$  мм.

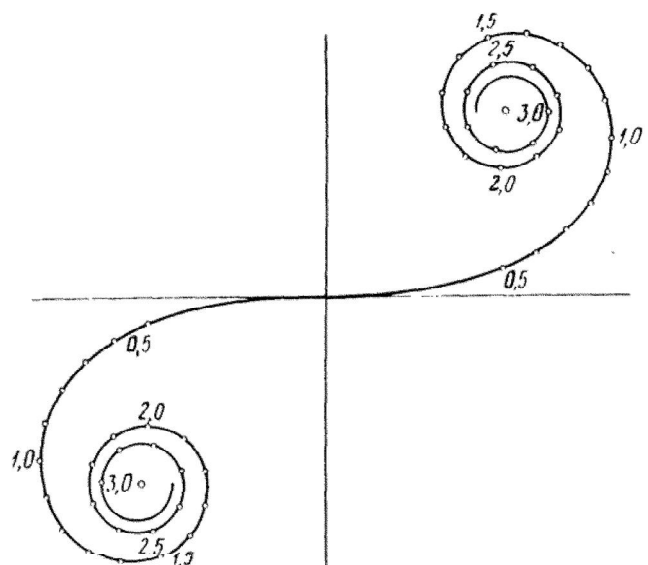


Рис.13

**104.** Плоска світлова хвиля довжини  $0,60 \text{ мкм}$  падає нормально на непрозору довгу смужку ширини  $0,70 \text{ мм}$ . За нею на відстані  $100 \text{ см}$  перебуває екран. Знайти за допомогою рис.13 відношення інтенсивностей світла в середині дифракційної картини й на краях геометричної тіні.

**105.** Плоска монохроматична світлова хвиля падає нормально на довгу щілину, за якої на відстані  $b=60 \text{ см}$  перебуває екран. Спочатку ширину щілини встановили таку, що в середині дифракційної картини на екрані спостерігався найбільш глибокий мінімум. Розсунувши після цього щілину на  $\Delta h=0,70 \text{ мм}$ , одержали в центрі картини наступний мінімум. Знайти довжину хвилі світла.

**106.** Монохроматичне світло падає нормально на щілину ширини  $b=11 \text{ мкм}$ . За щілиною перебуває тонка лінза з фокусною відстанню  $f=150 \text{ мм}$ , у фокальній площині якої розташований екран. Знайти довжину хвилі світла, якщо відстань між симетрично розташованими мінімумами третього порядку (на екрані) дорівнює  $x=50 \text{ мм}$ .

**107.** Яке найбільше значення числа  $m$  (номер дифракційного максимуму) для жовтої лінії натрію ( $\lambda=589 \text{ нм}$ ) при нормальному падінні променів на щілину шириною  $2 \text{ мкм}$ ? Скільки усього спостерігається максимумів?

**108.** Світло з довжиною хвилі  $\lambda=0,50 \text{ мкм}$  падає на щілину шириною  $b=10 \text{ мкм}$  під кутом  $\theta_0=30^\circ$  до її нормалі. Знайти кут між першими мінімумами, розташованих по обидва боки від центрального фраунгоферова максимуму.

**109.** На вузьку щілину падає нормально монохроматичне світло. Кут  $\varphi$  відхилення пучків світла, що відповідають другій світлій дифракційній смузі, дорівнює  $1^\circ$ . Скільком довжинам хвиль падаючого світла дорівнює ширина щілини?

**110.** На щілину шириною  $a=0,1 \text{ мм}$  падає нормально монохроматичне світло ( $\lambda=0,5 \text{ мкм}$ ). За щілиною поміщена лінза, що збирає, у фокальній площині якої перебуває екран. Що буде спостерігатися на екрані, якщо кут  $\varphi$  дифракції дорівнює: а)  $17'$ ; б)  $43'$ .

**111.** Промінь лазера, що випромінює світло з довжиною хвилі  $\lambda=630 \text{ нм}$ , фокусують за допомогою телескопа з діаметром об'єктива  $d=2 \text{ м}$  на поверхні Місяця. Який розмір плями на Місяці? Відстань від Землі до Місяця  $L=384400 \text{ км}$ .

**112.** На щілину шириною  $4\lambda$  нормально падає монохроматичне світло. а) Під яким кутом спостерігається мінімум другого порядку? б) Як зміниться кут дифракції, якщо спостереження проводити в середовищі з показником заломлення  $n=1,33$ ?

**113.** При нормальному падінні світла на дифракційну решітку кут дифракції для лінії  $\lambda_1=0,65 \text{ мкм}$  у другому порядку дорівнює  $45^\circ$ . Знайти кут дифракції для лінії  $\lambda_2=0,50 \text{ мкм}$  у третьому порядку.

**114.** Світло з довжиною хвилі  $535 \text{ нм}$  падає нормально на дифракційну решітку. Знайти її період, якщо одному із фраунгоферових максимумів відповідає кут дифракції  $35^\circ$  і найбільший порядок спектра дорівнює п'яти.

**115.** Визначити довжину хвилі світла, що падає нормально на дифракційну решітку з періодом  $d=2,2 \text{ мкм}$ , якщо кут між напрямками на фраунгоферові максимуми першого й другого порядків  $\Delta\theta=15^\circ$ .

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

**117.** На дифракційну решітку, що містить  $n=500$  штрихів на 1 мм, падає в напрямку нормалі до її поверхні біле світло. Спектр проектується поміщеної поблизу решітки лінзою на екран. Визначити ширину  $b$  спектра першого порядку на екрані, якщо відстань  $L$  лінзи до екрана дорівнює 3 м. Границі видимості спектра  $\lambda_{\text{ч}}=780$  нм,  $\lambda_{\text{ф}}=400$  нм.

**118.** Світло з довжиною хвилі 530 нм падає на прозору дифракційну решітку, період якої дорівнює 1,50 мкм. Знайти кут з нормаллю до решітки, під яким утвориться фраунгоферов максимум найбільшого порядку, якщо світло падає на решітку: а) нормально; б) під кутом  $60^\circ$  до нормалі.

**119.** Довжина хвилі монохроматичного світла  $\lambda=590$  нм. Визначити найбільший порядок максимуму, який можна одержати за допомогою решітки, що має 500 штрихів на міліметр та кількість максимумів на екрані, якщо: а) світло падає на решітку нормально; б) світло падає на решітку під кутом  $30^\circ$  до нормалі.

**120.** На дифракційну решітку, що має 500 штрихів на 1 мм, нормально падає біле світло. Безпосередньо за решіткою поміщена лінза з фокусною відстанню 2 м, що проектує спектри на екран. Діапазон довжин хвиль видимого спектра  $\lambda_{\text{ф}}=400$  нм,  $\lambda_{\text{ч}}=700$  нм.

а) Чи можуть перекриватися спектри першого і другого порядку?

б) У скількох разів спектр другого порядку на екрані довше спектра першого порядку?

в) Яка різниця кутів відхилення кінця першого і початку другого спектрів?

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

**122.** На дифракційну решітку, що має 200 штрихів на 1 мм, нормально падає світло від газорозрядної трубки з воднем. При якому найменшому куті дифракції максимуми ліній  $\lambda_1=410,2$  нм і  $\lambda_2=656,3$  нм збігаються?

**123.** Показати, що, якщо між періодом дифракційної решітки  $d$  та шириною щілини  $a$  виконується співвідношення  $d=ka$ , де  $k$  – ціле число, то в спектрі зникають всі максимуми, номери яких кратні  $k$ .

**124.** Плоска світлова хвиля з  $\lambda=0,50$  мкм падає нормально на грань скляного клина з кутом  $\theta=30^\circ$ . На протилежній грані клина нанесена прозора дифракційна решітка з періодом  $d=2,00$  мкм, штрихи якої паралельні ребру клина. а) Знайти кути між напрямком падаючого світла і напрямками на головні фраунгоферови максимуми нульового й першого порядків. б) Який максимальний порядок спектра? в) Під яким кутом до напрямку падаючого світла він буде спостерігатися?

**125.** Плоска світлова хвиля довжини  $\lambda$  падає нормально на фазову дифракційну решітку, профіль якої показаний на рис.14. Решітка нанесена на скляній пластинці з показником переломлення  $n$ . а) Знайти глибину  $h$  штрихів, при якій інтенсивність центрального фраунгоферова максимуму дорівнює нулю. б) Який при цьому кут дифракції, що відповідає першому максимуму?

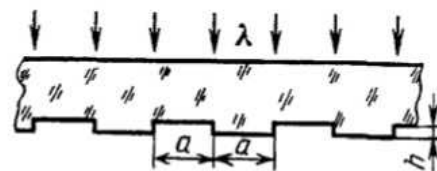


Рис.14

**126.** Прозора дифракційна решітка має період  $d=1,50$  мкм. Знайти кутову дисперсію  $D_\varphi$  (в кут. хв/нм), що відповідає максимуму найбільшого порядку спектральної лінії з  $\lambda=530$  нм, якщо світло падає на решітку: а) нормально; б) під кутом  $\theta_0=45^\circ$  до нормалі.

**127.** На дифракційну решітку, що містить  $n=500$  штрихів на 1 мм, падає нормально монохроматичне світло з довжиною хвилі  $\lambda=700$  нм. За решіткою поміщена збиральна лінза з фокусною відстанню  $f=50$  см. У фокальній площині лінзи розташований екран. Визначити лінійну дисперсію  $D_l$  такої системи для максимуму другого порядку. Відповідь виразити в міліметрах на нанометр.

**128.** На якій відстані одна від одної будуть знаходитися на екрані дві лінії спектра ртуті з довжинами хвиль 577 і 579 нм у спектрі 1-го порядку, отриманому за допомогою дифракційної решітки з періодом 4 мкм? Фокусна відстань лінзи, що проектує спектр на екран, рівна 60 см. Промені падають на решітку нормально.

**129.** Ширина решітки  $l=15$  мм, період решітки  $d=5$  мкм. У спектрі якого найменшого порядку одержуються роздільні зображення двох спектральних ліній з різницею довжин хвиль  $2 \cdot 10^{-10}$  м, якщо лінії належать діапазону крайньої червоної частини видимого спектра (700 нм)?

**130.** Яку найменшу роздільну здатність  $R$  повинна мати дифракційна решітка, щоб з її допомогою можна було розділити дві спектральні лінії калію ( $\lambda_1=578$  нм і  $\lambda_2=580$  нм)? Яке найменше число  $N$  штрихів повинна мати ця решітка, щоб розділення було можливе в спектрі другого порядку?

**131.** Показати, що при нормальному падінні світла на дифракційну решітку максимальна величина її роздільної здатності не може перевищувати значення  $l/\lambda$ , де  $l$  – ширина решітки,  $\lambda$  – довжина хвилі світла.

**132.** Світло падає нормально на дифракційну решітку ширини  $l=6,5$  см, що має 200 штрихів на міліметр. Досліджуваний спектр містить спектральну лінію з  $\lambda=670,8$  нм, що складається із двох компонентів, що відрізняються на  $\delta\lambda=0,015$  нм. Знайти:

- у якому порядку ці компоненти будуть розділені;
- найменшу різницю довжин хвиль, що може розділити ця решітка в області  $\lambda \approx 670$  нм.

**133.** При нормальному падінні світла на дифракційну решітку ширини 10 мм виявлено, що компоненти жовтої лінії натрію (589,0 і 589,6 нм) виявляються розділеними, починаючи з п'ятого порядку спектра. Оцінити: а) період цієї решітки; б) при якій ширині решітки з таким періодом можна розділити в

третьому порядку дублет спектральної лінії з  $\lambda=460$  нм, компоненти якого розрізняються на 0,13 нм.

**134.** Дифракційна решітка кварцового спектрографа має ширину 25 мм і містить 250 штрихів на міліметр. Фокусна відстань об'єктива, у фокальній площині якого перебуває фотопластинка, дорівнює 80 см. Світло падає на решітку нормально. Досліджуваний спектр містить спектральну лінію, компоненти дублета якої мають довжини хвиль 310,154 і 310,184 нм. Визначити:

а) відстані на фотопластинці між компонентами цього дублета в спектрах першого й другого порядків;

б) чи будуть вони розділені в цих порядках спектра.

**135.** Кутова дисперсія  $D_\varphi$  дифракційної решітки для випромінювання деякої довжини хвилі (при малих кутах дифракції) становить 5 хв/нм. Визначити роздільну здатність  $R$  цієї решітки для випромінювання тої ж довжини хвилі, якщо ширина  $l$  решітки дорівнює 2 см.

**136.** Якою повинна бути ширина основи тригранної призми з дисперсією  $\left|\frac{dn}{d\lambda}\right|=0,10$  мкм<sup>-1</sup>, щоб вона мала таку ж роздільну здатність, як і дифракційна решітка з 10000 штрихів у другому порядку спектра?

**137.** Є зорова труба з діаметром об'єктива  $D=5,0$  см. Визначити роздільну здатність об'єктива труби і мінімальну відстань між двома точками, що перебувають на відстані  $L=3,0$  км від труби, що вона може розділити. Вважати  $\lambda=0,55$  мкм.

**138.** Обчислити найменшу відстань між двома точками на Луні, які можна розділити рефлектором з діаметром дзеркала 5,0 м. Вважати, що  $\lambda=0,55$  мкм.

**139.** На шпилі висотного будинку укріплені одна під іншою дві червоні лампи ( $\lambda=640$  нм). Відстань  $d$  між лампами 20 см. Будинок розглядають уночі в телескоп з відстані  $r=15$  км. Визначити найменший діаметр  $D_{min}$  об'єктива, при якому в його фокальній площині одержаться роздільні дифракційні зображення.

**140.** Плоска світлова хвиля з  $\lambda=0,6$  мкм падає нормально на ідеальний об'єктив з фокусною відстанню  $f=45$  см. Діаметр отвору об'єктива  $d=5$  см. Зневажаючи втрати світла на відбивання, оцінити відношення інтенсивності  $I$  світлової хвилі у фокусі об'єктива до інтенсивності  $I_0$  хвилі, що падає на об'єктив.

**141.** Є мікроскоп із числовою апертурою об'єктива  $\sin u = 0,24$ . Знайти роздільну здатність для цього мікроскопа при оптимальному освітленні об'єкта світлом з довжиною хвилі  $\lambda=0,55$  мкм.

### ***Поляризація світла***

**142.** На якій кутовій висоті  $\varphi$  над обрієм повинне перебувати Сонце, щоб сонячне світло, відбите від поверхні води, було повністю поляризованим?

**143.** Кут Брюстера при падінні світла з повітря на кристал кам'яної солі дорівнює  $57^\circ$ . Визначити швидкість світла в цьому кристалі.

144. Пучок природного світла падає на скляну ( $n=1,6$ ) призму (рис.15). Визначити двогранний кут  $\theta$  призми, якщо відбитий пучок максимально поляризований.

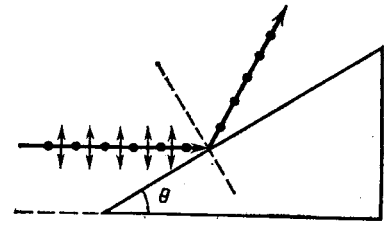


Рис.15

145. Пучок природного світла падає на скляну кулю ( $n=1,54$ ). Знайти кут  $\gamma$  між заломленим і падаючим пучками в точці А (рис.16).

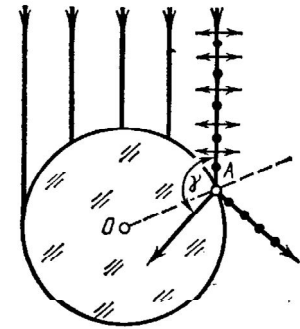


Рис.16

146. Ступінь поляризації  $P$  частково поляризованого світла дорівнює  $0,5$ . У скільки разів відрізняється максимальна інтенсивність світла, що проходить через аналізатор, від мінімальної?

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

148. Частково поляризоване світло падає під кутом Брюстера на поверхню ізотропного діелектрика. Знайти ступінь поляризації падаючого світла, якщо заломлене світло виявляється природним.

149. Природне світло падає під кутом Брюстера на поверхню скла. Знайти за допомогою формул Френеля:

- а) коефіцієнт відбивання і ступінь поляризації відбитого світла;
- б) коефіцієнт пропускання і ступінь поляризації заломленого світла.

150. Плоский пучок природного світла з інтенсивністю  $I_0$  падає під кутом Брюстера на поверхню води. При цьому  $\rho=0,039$  світлового потоку відбивається. Знайти інтенсивність заломленого пучка.

151. На поверхню води під кутом Брюстера падає пучок плоскополяризованого світла. Його площина поляризації складає кут  $\varphi=45^\circ$  з площиною падіння. Знайти коефіцієнт відбивання.

152. Визначити коефіцієнт відбивання світла при нормальному падінні на межу поділу повітря-скло.

153. Вузький пучок природного світла падає під кутом Брюстера на стопу Столетову, що складається з  $N$  товстих скляних пластин. Знайти: а) ступінь поляризації  $P$  пучка, що пройшов крізь стопу; б) чому дорівнює  $P$  при  $N = 1, 2, 5$  і  $10$ .

154. Вузький пучок природного світла падає під кутом Брюстера на поверхню товстої плоскопаралельної прозорої пластини. При цьому від верхньої поверхні відбивається  $\rho=0,080$  світлового потоку. Знайти ступінь поляризації пучків 1, 2, 3 і 4 (рис.17).

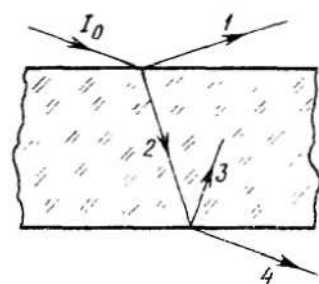


Рис.17

155. Світлова хвиля падає нормально на поверхню скла, покритого шаром прозорої речовини. Нехтуючи вторинним відбиванням, показати, що інтенсивності вторинних хвиль, відбитих від обох поверхонь такого

шару, будуть однакові при умові  $n' = \sqrt{n \cdot n_0}$ , де  $n'$ ,  $n$  і  $n_0$  – показники заломлення шару, скла і повітря.

**156.** На поверхню скла падає пучок природного світла. Кут падіння дорівнює  $45^\circ$ . Знайти ступінь поляризації: а) відбитого світла; б) заломленого світла.

**157.** Лінійно поляризований світловий пучок падає на поляризатор, що обертається навколо осі пучка з кутовою швидкістю  $\omega=21$  рад/с. Знайти світлову енергію, що проходить через поляризатор за один оберт, якщо енергетичний потік падаючого пучка  $\Phi_e=4,0$  мВт.

**158.** У фотометрі одночасно розглядають дві половини поля зору: в одній видна еталонна світна поверхня з яскравістю  $B_1=5$  ккд/м<sup>2</sup>, в іншій – випробувана поверхня, світло від якої проходить через два поляризатора. Границя між обома половинами поля зору зникає, якщо другий поляризатор повернути щодо першого на кут  $\alpha=45^\circ$ . Знайти яскравість  $B_2$  випробуваної поверхні, якщо відомо, що в кожному з поляризаторів інтенсивність падаючого на нього світла зменшується на 8 %.

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

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

**161.** Природне світло падає на систему із трьох послідовно розташованих однакових поляроїдів, причому площина пропускання середнього поляроїда становлять кут  $\varphi=60^\circ$  із площинами пропускання двох інших поляроїдів. Кожний поляроїд має таке поглинання, що при падінні на нього лінійно поляризованого світла максимальний коефіцієнт пропускання становить  $\tau=0,81$ . У скільки разів зменшиться інтенсивність світла після проходження цієї системи?

**162.** На шляху частково поляризованого світла розмістили поляризатор. При повороті поляризатора на кут  $\varphi=60^\circ$  з положення, що відповідає максимуму пропускання, інтенсивність світла, що пройшло крізь систему, зменшилася в  $\eta=3,0$  рази. Знайти ступінь поляризації падаючого світла.

**163.** На шляху частково поляризованого світла розмістили поляризатор. При повороті поляризатора на кут  $\varphi=30^\circ$  з положення, що відповідає мінімуму пропускання, інтенсивність світла, що пройшло крізь систему, збільшилася в  $\eta=2,0$  рази. Знайти ступінь поляризації падаючого світла.

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

**165.** На шляху природного пучка світла помістили два недосконалих поляризатора. Виявилось, що при паралельних площинах пропускання

поляризаторів ця система пропускає в  $\eta=10,0$  разів більше світла, чим при схрещених площинах. Знайти ступінь поляризації світла, що створює:

- а) кожний поляризатор окремо;
- б) вся система при паралельних площинах пропускання поляризаторів.

**166.** Вузкий пучок природного світла з довжиною хвилі  $\lambda=589$  нм падає нормально на поверхню призми Воластона, зробленої з ісландського шпату, як показано на рис.18. Оптичні вісі обох частин призми взаємно перпендикулярні. Знайти кут  $\alpha$  між напрямками пучків за призмою, якщо кут  $\theta=30^\circ$ .

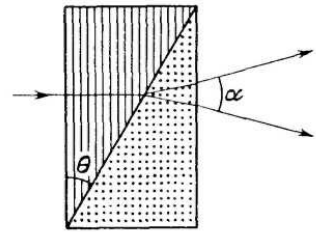


Рис.18

**167.** Потрібно виготовити паралельну оптичної осі кварцову пластинку, товщина якої не перевищувала б  $0,50$  мм. Знайти максимальну товщину цієї пластинки, при якій лінійно поляризоване світло з  $\lambda=589$  нм після проходження її:

- а) тільки здійснить поворот площини поляризації;
- б) стане поляризованим по колу.

**168.** Кварцову пластинку, вирізану паралельно оптичної осі, помістили між двома схрещеними поляризаторами. Кут між площинами пропускання поляризаторів і оптичною віссю пластинки дорівнює  $45^\circ$ . Товщина пластинки  $d=0,50$  мм. При яких довжинах хвиль в інтервалі  $0,50-0,60$  мкм інтенсивність світла, що пройшло через цю систему, не буде залежати від повороту заднього поляризатора? Різницю показників заломлення незвичайного і звичайного променів у цьому інтервалі довжин хвиль вважати  $\Delta n=0,0090$ .

**169.** Біле природне світло падає на систему з двох схрещених поляризаторів, між якими знаходиться кварцова пластинка, вирізана паралельно оптичної осі, товщиною  $1,50$  мм. Вісь пластинки складає кут  $45^\circ$  із площинами пропускання поляризаторів. Світло, що пройшло через цю систему, розклали в спектр. Скільки темних смуг буде спостерігатися в інтервалі довжин хвиль  $0,55-0,66$  мкм? Різницю показників заломлення незвичайного і звичайного променів у цьому інтервалі довжин хвиль вважати рівною  $0,0090$ .

**170.** Кристалічна пластинка, вирізана паралельно оптичної осі, має товщину  $0,25$  мм і служить пластинкою у чверть хвилі для  $\lambda=0,53$  мкм. Для яких ще довжин хвиль в області видимого спектра вона буде також пластинкою у чверть хвилі? Вважати, що для всіх довжин хвиль видимого спектра різниця показників заломлення  $n_e-n_o=0,0090$ .

**171.** Кварцова пластинка, що вирізана паралельно оптичної осі, поміщена між двома схрещеними поляризаторами так, що її оптична вісь складає кут  $45^\circ$  із площинами пропускання поляризаторів. При якій мінімальній товщині пластинки світло з  $\lambda_1=643$  нм буде проходити через цю систему з максимальною інтенсивністю, а світло з  $\lambda_2=564$  нм буде сильно ослаблене? Різниця показників заломлення  $n_e-n_o=0,0090$ .

**172.** На шляху частково поляризованого світла помістили поляризатор. При повороті поляризатора виявилось, що найменша інтенсивність світла після поляризатора  $I_0$ . Якщо перед поляризатором розмістити пластинку в чверть

хвилі, оптична вісь якої орієнтована під кутом  $45^\circ$  до площини пропускання поляризатора, то інтенсивність стає рівною  $\eta I_0$ , де  $\eta=2,0$ . Знайти ступінь поляризації падаючого світла.

**173.** Між двома схрещеними поляризаторами помістили кварцовий клин із заломлюючим кутом  $\theta=3,5^\circ$ . Оптична вісь клина паралельна його ребру й становить кут  $45^\circ$  із площинами пропускання поляризаторів. При проходженні через систему світла з  $\lambda=550$  нм спостерігають інтерференційні смуги. Ширина кожної смуги  $\Delta x=1,0$  мм. Знайти різницю показників заломлення кварцу для звичайного і незвичайного променів на зазначеній довжині хвилі.

**174.** Як за допомогою поляроїда й пластинки в чвертьхвилі, виготовленої з додатнього одноосьового кристалу відрізнити:

- а) світло лівополяризоване від правополяризованого по колу;
- б) природне світло від поляризованого по колу та від суміші природного світла з поляризованим по колу?

**175.** Плоскополяризоване світло з  $\lambda=0,59$  мкм падає на тригранну кварцеву призму П (рис.19) із заломлюючим кутом  $\theta=30^\circ$ . У призмі світло поширюється вздовж оптичної осі, напрямок якої показано штрихуванням. За поляризатором Р спостерігають систему світлих і темних смуг, ширина яких  $\Delta x=15,0$  мм. Знайти сталу обертання кварцу, а також характер розподілу інтенсивності світла за поляризатором.

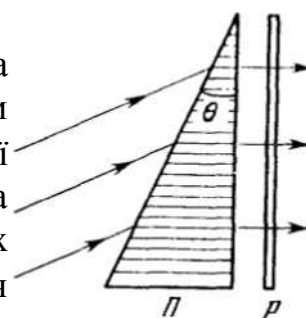


Рис.19

**176.** Пластинку кварцу товщиною  $d_1=2$  мм, вирізану перпендикулярно оптичної осі, помістили між паралельними поляризаторами, у результаті чого площина поляризації світла повернулася на кут  $\varphi=53^\circ$ . Визначити мінімальну товщину  $d_2$  пластинки, при якій дане монохроматичне світло не проходить через аналізатор.

**177.** Природне світло з  $\lambda=656$  нм падає на систему з двох схрещених поляризаторів, між якими знаходиться кварцова пластинка, вирізана перпендикулярно оптичної осі. При якій мінімальній товщині пластинки система буде пропускати  $\eta=0,30$  світлового потоку, якщо стала обертання кварцу  $\alpha=17$  кут.град./мм?

**178.** Світло проходить через систему з двох схрещених поляризаторів, між якими розташована кварцова пластинка, вирізана перпендикулярно до оптичної осі. Визначити мінімальну товщину пластинки, при якій світло з довжиною хвилі 436 нм буде цілком затримуватися цією системою, а світло з довжиною хвилі 497 нм – пропускатися наполовину. Стала обертання кварцу для цих довжин хвиль дорівнює відповідно 41,5 і 31,1 кут.град./мм.

**179.** Розчин глюкози з масовою концентрацією  $C_1=280$  кг/м<sup>3</sup>, що утримується в скляній трубці, повертає площину поляризації монохроматичного світла, що проходить через цей розчин, на кут  $\varphi=32^\circ$ . Визначити масову концентрацію  $C_2$  глюкози в іншому розчині, налитому в трубку такої ж довжини, якщо він повертає площину поляризації на кут  $\varphi=24^\circ$ .

**180.** Між схрещеними поляризаторами поляриметра розмістили трубку з розчином цукру. Поле зору при цьому стає максимально світлим. Визначити довжину трубки, якщо концентрація цукру  $C_1=270 \text{ кг/м}^3$ , а його стала обертання  $\alpha=66,5 \text{ кут.град./дм}$  при концентрації  $C_2=100 \text{ кг/м}^3$ .

**181.** Лінійно поляризоване світло з довжиною хвилі  $589 \text{ нм}$  проходить уздовж осі циліндричної скляної посудини, заповненої злегка замутненим розчином цукру з концентрацією  $C=500 \text{ г/л}$ . При спостереженні збоку видна система гвинтоподібних смуг, причому відстань між сусідніми темними смугами уздовж осі дорівнює  $l=50 \text{ см}$ . Пояснити виникнення смуг і визначити питому сталу обертання розчину.

**182.** Комірку Керра помістили між двома схрещеними поляризаторами так, що напрямок електричного поля  $E$  в конденсаторі утворив кут  $45^\circ$  із площинами пропускання поляризаторів. Конденсатор має довжину  $l=100 \text{ мм}$  і заповнений нітробензолом. Через систему проходить світло з  $\lambda=0,50 \text{ мкм}$ . Враховуючи, що в даному випадку постійна Керра  $B=2,2 \cdot 10^{-10} \text{ см/V}^2$ , визначити:

- а) мінімальну напруженість електричного поля  $E$  в конденсаторі, при якій інтенсивність світла, що пройшло через цю систему, не буде залежати від повороту заднього поляризатора;
- б) число переривань світла в одну секунду, якщо на конденсатор подати синусоїдальну напругу з частотою  $\nu=10 \text{ МГц}$  і амплітудним значенням напруженості  $E=50 \text{ кВ/см}$ .

**183.** Деяку речовину розмістили в повздовжньому магнітному полі соленоїда, розташованому між двома поляризаторами. Довжина трубки з рідиною  $l=30 \text{ см}$ . Знайти сталу Верде, якщо при напруженості поля  $H=56,5 \text{ кА/м}$  кут повороту площини поляризації  $\varphi_1=5^\circ 10'$  для одного напрямку поля і  $\varphi_2=-3^\circ 20'$  для протилежного напрямку поля.

### ***Геометрична оптика***

**184.** Записати у векторному виді закон відбивання світлового променя від дзеркала – через напрямні орти  $\vec{e}$  і  $\vec{e}'$  падаючого й відбитого променів і зовнішньої нормалі  $\vec{n}$  до поверхні дзеркала.

**185.** У багатьох вимірювальних приладах роль стрілки грає світловий промінь, відбитий від маленького плоского дзеркальця. На який кут повернулося дзеркальце, якщо відбитий промінь пересунувся по шкалі на  $32 \text{ мм}$ ? Відстань від шкали до дзеркальця  $2 \text{ м}$ .

**186.** Довести, що для одержання зображення людини в увесь ріст у плоскому дзеркалі висота дзеркала повинна бути не менше половини росту людини. Як при цьому треба закріпити дзеркало?

**187.** Визначити кут між двома плоскими дзеркалами, якщо точкове джерело світла і два його зображення в цих дзеркалах лежать у вершинах рівностороннього трикутника. Побудувати рисунок.

**188.** Показати, що промінь світла, який послідовно відбивається від трьох взаємно перпендикулярних плоских дзеркал, змінює свій напрямок на прямо протилежний.

**189.** При якому значенні кута падіння  $\theta$  промінь, відбитий від поверхні води, буде перпендикулярний заломленому променю?

**190.** Промінь світла падає на плоскопаралельну скляну пластину товщини  $d=6,0$  см. Кут падіння  $\theta=60^\circ$ . Знайти зсув променя, що пройшов через цю пластину.

**191.** Промінь білого світла падає під кутом  $i=60^\circ$  на плоскопаралельну скляну пластинку. Крайній червоний і фіолетовий промені світлового пучка, що виходять із протилежної грані пластинки, відстоять друг від друга на відстані  $x=0,3$  мм. Визначити товщину пластинки, якщо показник заломлення скла для крайніх червоних променів  $n_1=1,51$ , а для крайніх фіолетових  $n_2=1,53$ .

**192.** У плоскому дзеркалі видно зображення свічі. Що відбудеться з ним, якщо між дзеркалом і свічею поставити плоскопаралельну скляну пластинку?

**193.** Пучок паралельних променів падає на поверхню води під кутом  $i=30^\circ$ . Ширина пучка в повітрі  $x_1=5$  см. Знайти ширину пучка у воді.

**194.** Палка висотою  $h=1$  м закріплена вертикально в дні ставка так, що вона цілком знаходиться під водою. Визначити довжину тіні від палки на дні ставка, якщо промені сонця падають на поверхню води під кутом  $\alpha=30^\circ$ .

**195.** Чоловік подивився на дно водойми у вертикальному напрямку зверху вниз і визначив його уявну глибину  $h=90$  см. Чому дорівнює дійсна глибина водойми?

**196.** На поверхні шару чотирьоххлористого вуглецю ( $n_1=1,46$ ) товщиною  $d_1=4,0$  см плаває шар води ( $n_2=1,33$ ) товщиною  $d_2=2,0$  см. На якій уявній глибині буде знаходитися дно посудини при нормальному падінні променів?

**197.** На краю басейну стоїть людина і спостерігає камінь, що лежить на дні. Глибина басейну  $h$ . На якій відстані від поверхні води видно зображення каменя, якщо промінь зору складає з нормаллю до поверхні води у повітрі кут  $\varphi$ ?

**198.** Точкове джерело світла знаходиться у воді на глибині  $h=50$  см. Якого діаметра світле коло буде видно на поверхні води?

**199.** В склі є сферична порожнина радіуса  $R=8$  см. На порожнину падає циліндричний пучок променів, вісь якого проходить через центр порожнини. Якого радіуса пучок увійде у порожнину?

**200.** На якій глибині під водою знаходиться водолаз, якщо він бачить відбитими від поверхні води ті частини горизонтального дна, що розташовані від нього на відстані  $L=15$  м і більше? Ріст водолаза  $h=1,7$  м.

**201.** Світловий промінь падає на квадратну скляну пластинку. Яким повинний бути показник заломлення скла, якщо повне відбивання проходить на вертикальній грані при довільному куті падіння  $i$ ? (рис.20)

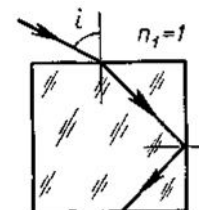


Рис.20

**202.** Показати, що в призмі з малим заломлюючим кутом  $\theta$  промінь відхиляється на кут  $\alpha=(n-1)\theta$  незалежно від кута падіння, якщо останній також малий.

**203.** Для деякої скляної призми кут найменшого відхилення променів дорівнює заломлюючому куту призми. Знайти останній.

**204.** Тригранна призма із заломлюючим кутом  $\theta=60^\circ$  дає кут найменшого відхилення в повітрі  $\varepsilon=37^\circ$ . Який кут найменшого відхилення дасть ця призма у воді?

**205.** На скляну призму із заломлюючим кутом  $60^\circ$  та показником заломлення 1,5 падає промінь світла під кутом  $30^\circ$ . Який кут заломлення променя при виході його із призми?

**206.** Промінь світла, що містить дві монохроматичні складові, проходить через тригранну призму із заломлюючим кутом  $\theta=60^\circ$ . Визначити кут  $\Delta\alpha$  між обома складовими променя після призми, якщо показники заломлення для них рівні 1,515 і 1,520 і призма встановлена на



**207.** Відоме розташування предмета  $A$  и зображення  $A'$  відносно полюса  $P$  сферичного дзеркала (рис.21). Знайти положення дзеркала і його фокус.

Рис.21

**208.** Знайти побудовою положення дзеркала і його фокуса для випадків,

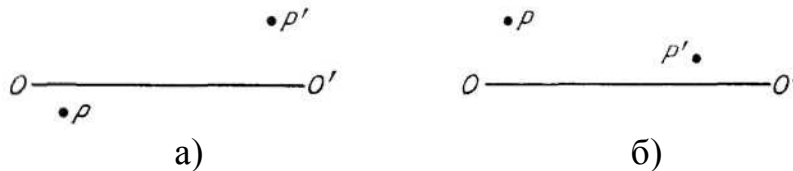


Рис.22

показаних на рис.22а і б, де  $P$  и  $P'$  – спряжені точки.

**209.** Визначити фокусну відстань угнутого дзеркала, якщо при відстані між предметом і зображенням  $l=15$  см поперечне збільшення  $\beta=-2,0$ .

**210.** Радіус кривизни ввігнутого дзеркала 40 см. Знайти положення предмета, при якому його зображення буде а) дійсним і збільшеним у 2 рази; б) уявним і збільшеним у 2 рази.

**211.** Збіжний пучок променів падає на опукле дзеркало так, що точка перетину продовження цих променів знаходиться на осі дзеркала на відстані 20 см від нього. Після відбивання промені перетинають оптичну вісь на відстані 0,6 м перед дзеркалом. Знайти фокусну відстань дзеркала. Побудувати рисунок.

**212.** Точкове джерело світла рівномірно рухається по колу радіусом  $r=0,5$  м. Лінійна швидкість його обертання  $v=3$  м/с. На відстані в  $s=5$  м від центра кола перпендикулярно осі обертання розташоване сферичне дзеркало радіусом кривизни  $R=2$  м. Знайти прискорення, з яким рухається зображення джерела в дзеркалі.

**213.** Точкове джерело, сила світла якого  $I_0=100$  кд, розміщено на відстані  $s=20,0$  см від вершини ввігнутого дзеркала з фокусною відстанню  $f=25,0$  см. Визначити силу світла у відбитому пучку, якщо коефіцієнт відбивання дзеркала  $\rho=0,80$ .

**214.** На головній оптичній осі сферичного дзеркала радіусом 40 см поміщене точкове джерело світла  $S$  на відстані 30 см від дзеркала. На якій відстані від увігнутого дзеркала потрібно поставити плоске дзеркало, щоб промені, відбиті від увігнутого, а потім і плоского дзеркала, пройшли через точку  $S$ ?

**215.** Два однакових увігнутих сферичних дзеркала поставлені один проти одного так, що їхні головні фокуси збігаються. Точкове джерело світла поміщене на спільній оптичній осі на відстані  $a$  від першого дзеркала. Де утворюється зображення після відбивання променів від обох дзеркал?

**216.** Чоловік дивиться в увігнуте сферичне дзеркало і бачить пряме зображення свого ока. Кутовий розмір цього зображення в  $k=1,5$  рази більше кутового розміру зображення, що вийшло б у плоскому дзеркалі, поміщеному на такій же відстані, рівній  $s=20$  см. Знайти радіус кривизни дзеркала.

**217.** Визначити оптичну силу й фокусну відстань тонкої скляної лінзи в рідині з показником заломлення  $n_0=1,7$ , якщо її оптична сила в повітрі  $\Phi_0=-5,0$  дптр.

**218.** Визначити оптичну силу й фокусну відстань тонкої симетричної двоопуклої скляної лінзи, з однієї сторони від якої перебуває повітря, а з іншого боку – вода, якщо оптична сила цієї лінзи в повітрі  $\Phi_0=+10$  дптр.

**219.** Оптична сила тонкої двоопуклої симетричної лінзи в повітрі  $\Phi_1=5$  дптр; у деякій рідині  $\Phi_2=-1,65$  дптр. Визначити радіус кривизни поверхонь, що обмежують лінзу, і показник заломлення рідини.

**220.** Визначити фокусну відстань увігнутого сферичного дзеркала, що являє собою тонку симетричну двоопуклу скляну лінзу з однією посрібленою поверхнею. Радіус кривизни поверхні лінзи  $R=40$  см.

**221.** Плоскоопукла лінза має оптичну силу  $\Phi_1=4$  дптр. Опуклу поверхню лінзи посріблили. Знайти оптичну силу  $\Phi_2$  такого сферичного дзеркала.

**222.** Довести, що найменша відстань між предметом і його дійсним зображенням у лінзі, що збирає,  $4f'$ , де  $f'$  – фокусна відстань лінзи.

**223.** Збиральна лінза дає різкі зображення на екрані при двох положеннях лінзи, що відстоять друг від друга на відстані  $k$ . Довести, що в цьому випадку  $f' = (l^2 - k^2) / 4l$ , де  $l$  — відстань між предметом і екраном, яка залишається сталою.

**224.** Тонка збиральна лінза з фокусною відстанню  $f'=25$  см проектує зображення предмета на екран, що відстоїть від лінзи на  $l=5,0$  м. Екран присунули до лінзи на  $\Delta l=18$  см. На скільки сантиметрів треба перемістити предмет, щоб знову одержати чітке зображення його на екрані?

**225.** Джерело світла перебуває на відстані  $l=90$  см від екрана. Тонка збиральна лінза, що поміщена між джерелом світла й екраном, дає чітке зображення джерела при двох її положеннях. Знайти фокусну відстань лінзи, якщо поперечні розміри зображення при одному положенні лінзи в  $\eta=4,0$  рази більше, ніж при іншому.

**226.** Між предметом і екраном помістили тонку збиральну лінзу. Переміщенням лінзи знайшли два положення, при яких на екрані утворюється чітке зображення предмета. Знайти поперечний розмір предмета, якщо при одному положенні лінзи розмір зображення  $h'=2,0$  мм, а при іншому  $h''=4,5$  мм.

**227.** Збиральна лінза дає на екрані зображення предмета. Між лінзою і екраном розмістили плоско паралельну пластинку товщиною  $d=3$  см з показником заломлення  $n=1,5$ . В якому напрямку і наскільки треба зсунути екран, щоб знову одержати чітке зображення предмета.

**228.** За допомогою збиральної лінзи з показником заломлення  $n=1,5$  одержали дійсне зображення предмета на відстані  $s'=10$  см. Після того, як предмет і лінзу занурили у воду, не змінюючи між ними відстань, зображення виявилось на відстані  $s'=60$  см. Знайти показник заломлення води, якщо фокусна відстань лінзи у повітрі  $f'=9$  см.

**229.** Точкове джерело розташоване на відстані 20 см від передньої поверхні скляної симетричної двоопуклої лінзи. Товщина лінзи 5,0 см, радіус кривизни поверхонь 5,0 см. На якій відстані від задньої поверхні лінзи утвориться зображення джерела?

**230.** Радіус скляної кулі ( $n=1,5$ )  $R=4$  см. а) Знайти відстань  $x'$  від центра кулі до зображення предмета, який розташований у 6 см від поверхні кулі; б) Знайти збільшення зображення.

**231.** Радіус кривизни  $R$  сферичної поверхні скляної ( $n=1,52$ ) плоско-опуклої лінзи рівний 26 см, товщина лінзи 3,04 см. Обчислити фокусну відстань лінзи і знайти положення зображення об'єкта, який знаходиться на відстані 75 см від найближчої поверхні і розташованого збоку а) опуклої поверхні; б) плоскої поверхні.

**232.** У якому випадку двоопукла лінза, виготовлена з скла з показником заломлення  $n$  буде розсіювальною у повітрі?

**233.** У якому випадку двоопукла лінза, виготовлена з речовини з показником заломлення, більшим показника заломлення навколишнього середовища, буде діяти як плоскопаралельна пластинка?

**234.** Знайти фокусну відстань  $f'$  і положення головних площин двоопуклої товстої лінзи, для якої  $n=1,5$ ,  $R_1=10$  см,  $R_2=4$  см,  $d=2$  см. Визначити положення зображення предмета відносно полюса задньої заломлюючої поверхні, який розташований на відстані 20 см від передньої заломлюючої поверхні.

**235.** Визначити положення головних площин, і фокусну відстань системи двох тонких лінз, зображеної на рис.23. Визначити положення зображення предмета відносно другої лінзи, який розташований на відстані 20 см від першої лінзи.

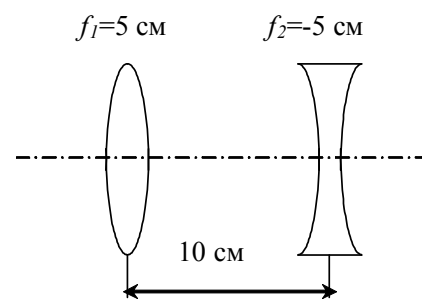


Рис.23

**236.** Збирає чи розсіює увігнуто-опукла лінза, обидві поверхні якої мають однакові радіуси кривизни? Визначити положення головних площин і фокусну відстань лінзи, якщо її товщина дорівнює  $d$ , радіус кривизни кожної з поверхонь  $R$ , а показник заломлення  $n>1$ .

**237.** При якій товщині опукло-угнута товста скляна лінза в повітрі буде:

а) телескопічною, якщо радіус кривизни її опуклої поверхні більше, ніж радіус кривизни угнутої поверхні, на  $\Delta R=1,5$  см;

б) мати оптичну силу, рівну  $\Phi=-1,0$  дптр, якщо радіуси кривизни її опуклої й увігнутої поверхонь рівні відповідно  $R_1=10,0$  і  $R_2=7,5$  см?

**238.** Знайти положення головних площин, фокусну відстань і знак оптичної сили опукло-угнутої товстої скляної лінзи, у якої заломлюючі поверхні концентричні з радіусами кривизни  $R_1$  і  $R_2$  ( $R_2<R_1$ ).

**239.** Телескопічна система утворена із двох скляних куль, радіуси яких  $R_1=5,0$  см і  $R_2=1,0$  см. Які відстань між центрами цих куль і збільшення системи, якщо об'єктивом є більша куля?

**240.** Система складається зі скляної збиральної тонкої симетричної лінзи з радіусом кривизни поверхонь  $R=38$  см і плоского дзеркала, розташованого перпендикулярно оптичній осі лінзи. Відстань між лінзою й дзеркалом  $l=12$  см. Яка буде оптична сила цієї системи, якщо простір між лінзою й дзеркалом заповнити водою?

**241.** Людина при читанні тримає книгу на відстані 50 см. Якої оптичної сили окуляри йому потрібні?

**242.** Людина при читанні тримає книгу на відстані 15 см. Якої оптичної сили окуляри йому потрібні?

**243.** Об'єктив, що складається із збиральної й розсіювальної лінз, складених впритул, використовується як лупа із збільшенням в 4 рази. Визначити оптичну силу кожної лінзи об'єктива, якщо відомо, що оптична сила збиральної лінзи в 4 рази більше (за абсолютним значенням) оптичної сили розсіювальної лінзи.

**244.** На скільки змінюється оптична сила нормального ока людини, якщо він переводить очі від книги, яку читав, на малюнок, що висить на стіні на відстані 2 м від ока?

**245.** Межі акомодатії ока короткозорі людини без окулярів лежать між  $a_1=16$  см і  $a_2=80$  см. В окулярах він добре бачить віддалені предмети. На якій мінімальній відстані  $d$  він може тримати книгу при читанні в окулярах?

**246.** Труба Кеплера наведена на предмети, що розташовані на відстані  $l_1=100$  м від неї. Щоб розглянути в неї предмети, розташовані на відстані  $l_2=50$  м, окуляр потрібно пересунути на  $\Delta x=2,5$  см. Чому дорівнює фокусна відстань об'єктива?

**247.** Труба Кеплера наведена на нескінченність. Щоб розглянути в неї предмети, розташовані на відстані  $l=100$  м, окуляр потрібно пересунути на  $\Delta x=1$  см. Чому дорівнює фокусна відстань об'єктива?

**248.** Труба Галілея 10-кратного збільшення при установці на нескінченність має довжину 45 см. Знайти:

- а) фокусні відстані об'єктива й окуляра труби;
- б) на яку відстань треба пересунути окуляр труби, щоб ясно бачити предмети на відстані  $l=50$  м.

**249.** Знайти збільшення зорової труби Кеплера, установленої на нескінченність, якщо  $D$  – діаметр оправи її об'єктива, а  $d$  – діаметр зображення цієї оправи, утвореного окуляром труби.

**250.** При проходженні світлового потоку через зорову трубу його інтенсивність збільшується в  $\eta=4,0 \cdot 10^4$  раз. Знайти кутовий розмір віддаленого предмета, якщо при спостереженні в цю трубу кутовий розмір його зображення  $\varphi'=2,0^\circ$ .

**251.** Телескоп, що має окуляр з фокусною відстанню  $f'_{ок}=50$  мм, дає кутове збільшення в  $\Gamma_0=60$  разів. Яке кутове збільшення одного об'єктива, якщо забрати окуляр, а дійсне зображення, створене об'єктивом, розглядати неозброєним оком з відстані найкращого зору?

**252.** Місяць видно неозброєним оком під кутом  $\varphi=31'$ . Під яким кутом його видно в телескоп, якщо фокусна відстань об'єктива  $f'_{об}=2$  м, а фокусна відстань окуляра  $f'_{ок}=0,1$  м?

**253.** Телескоп наведено на Сонце. Фокусна відстань  $f'_{об}$  об'єктива телескопа дорівнює 3 м. Окуляр з фокусною відстанню  $f'_{ок}=50$  мм проектує дійсне зображення Сонця, створене об'єктивом, на екран, розташований на відстані  $b=60$  см від окуляра. Площина екрана перпендикулярна оптичній осі телескопа. Визначити лінійний діаметр  $d$  зображення Сонця на екрані, якщо діаметр Сонця на небі видно неозброєним оком під кутом  $\alpha=32'$ .

**254.** Мікроскоп дає збільшення в  $\Gamma=640$  разів. Предмет відстоїть від об'єктива на  $a=0,41$  см. Фокусна відстань об'єктива  $f'_{об}=0,4$  см. Визначити фокусну відстань окуляра і довжину тубуса мікроскопа.

**255.** Відстань  $\delta$  між фокусами об'єктива й окуляра усередині мікроскопа дорівнює 16 см. Фокусна відстань  $f'_{об}$  об'єктива дорівнює 1 мм. З якою фокусною відстанню  $f'_{ок}$  необхідно взяти окуляр, щоб одержати збільшення  $\Gamma=500$ ?

**256.** Фокусні відстані об'єктива й окуляра мікроскопа відповідно  $f'_{об}=5$  мм і  $f'_{ок}=5$  см. Предмет поміщений на відстані  $x=0,1$  мм від головного фокуса об'єктива. Знайти довжину тубуса мікроскопа і його збільшення для нормального ока.

**257.** З якої відстані потрібно фотографувати будинок довжиною 50 м, щоб весь його фасад умістився на кадрі плівки розміром  $24 \times 36$  мм? Фокусна відстань об'єктива 50 мм.

**258.** При аерофотозйомках використовують фотоапарат, об'єктив якого має фокусну відстань 8 см. Мінімальний розмір помітних деталей зображення на фотоплівці (роздільна здатність плівки)  $10^{-2}$  мм. На якій висоті повинен летіти літак, щоб на фотографії можна було розрізнити листя дерев розміром 5 см? При якій швидкості літака зображення ще не буде розмитим, якщо час експозиції  $10^{-3}$  с?

### ***Дисперсія і поглинання світла***

**259.** Знайти залежність між груповою  $u$  і фазовою  $v$  швидкостями для наступних законів дисперсії: а)  $v \sim 1/\sqrt{\lambda}$ ; б)  $v \sim k$ , де  $\lambda$ ,  $k$  – довжина хвилі і хвильове число.

**260.** Показник заломлення сірковуглецю для світла з довжинами хвиль  $\lambda_1=509$ ,  $\lambda_2=534$  і  $\lambda_3=589$  нм дорівнює відповідно  $n_1=1,647$ ,  $n_2=1,640$  і  $n_3=1,630$ . Обчислити фазову й групову швидкості світла поблизу  $\lambda=534$  нм.

**261.** Визначити дисперсію речовини, фазову і групову швидкості, якщо відомо, що показник заломлення прозорих речовин для невеликих інтервалів довжин хвиль залежить від довжини хвилі в такий спосіб:  $n = A + B/\lambda^2$ .

**262.** Прозора пластинка пропускає половину падаючого на неї світлового потоку. Визначити коефіцієнт поглинання, якщо товщина пластинки  $l=4,2$  см. Розсіюванням нехтувати. Вважати, що 10% падаючого потоку відбивається від поверхні пластинки.

**263.** З деякої речовини виготовили дві пластинки: одну товщиною  $d_1=3,8$  мм, іншу товщиною  $d_2=9,0$  мм. Увівши по черзі ці пластинки в пучок монохроматичного світла, виявили, що перша пластинка пропускає  $\tau_1=0,84$  світлового потоку, а друга  $\tau_2=0,70$ . Знайти лінійний показник поглинання цієї речовини. Світло падає нормально. Вторинними відбиваннями нехтувати.

**264.** Світловий пучок проходить через стопу з  $N=5$  однакових пластинок, кожна товщиною  $l=5,0$  мм. Коефіцієнт відбивання кожної поверхні  $\rho=0,050$ . Відношення інтенсивності світла, що пройшло через цю систему, до інтенсивності падаючого світла  $\tau=0,55$ . Нехтуючи вторинними відбиваннями, визначити лінійний показник поглинання даного скла.

**265.** Світло падає нормально на поверхню пластини товщиною  $l$ . Показник поглинання речовини пластини лінійно змінюється уздовж нормалі до її поверхні від  $\alpha_1$  до  $\alpha_2$ . Коефіцієнт відбивання кожної поверхні пластини  $\rho$ . Нехтуючи вторинними відбиваннями, знайти коефіцієнт пропускання пластини.

**266.** Пучок світла інтенсивності  $I_0$  падає нормально на прозору пластинку товщини  $l$ . Пучок містить всі довжини хвиль у діапазоні від  $\lambda_1$  до  $\lambda_2$  однакової спектральної інтенсивності. Знайти інтенсивність пучка, що пройшов через пластинку, якщо в цьому діапазоні довжин хвиль показник поглинання лінійно залежить від  $\lambda$  у межах від  $\alpha_1$  до  $\alpha_2$  і коефіцієнт відбивання кожної поверхні дорівнює  $\rho$ . Вторинними відбиваннями нехтувати.

**267.** У 4%-ному розчині речовини в прозорому розчиннику інтенсивність світла на глибині  $l_1=20$  мм послаблюється в 2 рази. У скільки разів послабиться інтенсивність світла на глибині  $l_2=30$  мм у 8%-ному розчині тієї ж речовини?

**268.** Яка концентрація досліджуваного розчину, якщо однакова освітленість фотометричних полів була отримана в еталонного 3%-ного розчину при товщині 8 мм, а в досліджуваного при товщині 24 мм?

### ***Оптика рухомих середовищ***

**269.** У досліді, аналогічному тому, за допомогою якого Фізо визначав коефіцієнт захоплення світового ефіру водою, сумарний шлях світла у воді  $2l=2,00$  м. Довжина хвилі світла  $\lambda=600$  нм. Визначити число смуг  $\Delta N$ , на яке зміщується інтерференційна картина при приведенні води у рух зі швидкістю  $v=6,00$  м/с. Показник переломлення води  $n=1,33$ .

**270.** Яка повинна бути максимальна швидкість джерела випромінювання, щоб при розрахунку ефекту Доплера можна було скористатися наближеною формулою  $\nu = \nu_0 \left(1 - \frac{v}{c}\right)$ ? Похибка у визначенні частоти повинна бути не більше  $k=1\%$ .

**271.** Туманність віддаляється від Сонячної системи зі швидкістю  $v = \frac{1}{3}c$ . На яку відстань зміститься до червоного кінця її спектра лінія водню з довжиною хвилі  $\lambda=434$  нм?

**272.** Вивчається спектр зірки, що лежить у площині земної орбіти. На скільки будуть відрізнятись в спектрі зірки два виміри довжини хвилі лінії  $\lambda=0,4227$  мкм, якщо перший зроблено при русі Землі в напрямку до зірки, а

другий – через півроку, коли напрямок руху Землі на орбіті зміниться на протилежний? Відстань від Землі до Сонця  $r=150$  млн.км.

**273.** Довжина хвилі лінії  $H_{\alpha}$  у спектрі Сонця дорівнює  $\lambda=656$  нм. Вимірювання цієї довжини хвилі, що приходить від діаметрально протилежних країв сонячного диска, показало розходження на  $\Delta\lambda=0,0088$  нм. Знайти період  $T$  обертання Сонця навколо власної осі. Радіус Сонця  $R=6,95 \cdot 10^8$  м.

**274.** Для експериментальної перевірки принципу Доплера А. Білопольский застосував метод відбивання світла від дзеркал, що швидко обертаються у протилежних напрямках. Визначити зміна  $\Delta\lambda$  довжини хвилі світла, що падає на дзеркала нормально, якщо монохроматичне світло з довжиною хвилі  $\lambda$  зазнає  $N$  відбивань, перш ніж попадає в спектрограф. Лінійна швидкість дзеркал, що обертаються назустріч один одному, рівна  $v$ .

**275.** Приймач радіолокаційної установки визначає швидкість об'єкта, що наближається, за частотою биттів між сигналом, що посиляється локатором, і частотою сигналу, відбитого від об'єкта, що рухається. Визначити швидкість об'єкта, що наближається, якщо локатор працює на довжині хвилі  $\lambda=0,5$  м, а частота биттів  $\Delta\nu=4$  кГц.

## **Відповіді**

### **Фотометрія**

- 1.** а) 3,6 мВт і 10 мВт, б)  $(v_1 + v_2)\Phi_e / 2k_{555} = 1,5$  мВт; **2.**  $\Phi_{e1} / \Phi_{e2} = v_2 / v_1 = 15$ ,  $\Phi_{e1} = k_{555}\Phi / v_1 = 8$  Вт; **3.**  $E = \sqrt{\mu_0 / \varepsilon_0} k_{555}\Phi / 2\pi r^2 v = 36$  мВ/м,  $H = \sqrt{\varepsilon_0 / \mu_0} E = 95$  мкА/м; **4.**  $\Omega = \Phi / I = 0,63$  ср,  $2\theta = 2\arccos(1 - \Omega / 2\pi) = 52^\circ$ ; **5.** а)  $E = E_0 / 2$ , б)  $E = (I / R^2) \left( 1 - \sqrt{1 - (R/\ell)^2} \right) / (1 - R/\ell) = 50$  лк; **6.** а)  $\Phi = \pi I (2 - \sqrt{2}) = 92$  лм, б)  $E = I / h^2 \cos \alpha = 15,3$  лк; **7.**  $p = P / Er^2 = 1,04$  Вт/кд,  $\eta = 4\pi r^2 E / P = 12,1$  лм/Вт; **8.**  $h = r / \sqrt{2} = 0,71$  м; **9.**  $h = R = 1$  м,  $E = BS / 4R^2 = 40$  лк; **10.**  $I(\theta) = I_0 / \cos^3 \theta$ ,  $\Phi = \pi R^2 I_0 / h^2 = 314$  лм; **11.**  $E_1 = Ih / (r^2 + h^2)^{3/2} = 2,4$  лк,  $E_2 = Ir / (r^2 + h^2)^{3/2} = 3,2$  лк; **12.**  $I = E_1 h^2 \sqrt{E_1^2 + E_2^2} / (E_1 + E_2) = 1680$  кд; **13.**  $E = 3\sqrt{3}BS / 16L^2 = 11,5$  лк; **14.**  $r = \sqrt{\sqrt[3]{4} - 1}h = 3,8$  м; **15.** а)  $I = \Phi / 2\pi(1 - \cos(\theta/2)) = 25500$  кд; б)  $E = I / l^2 = 0,1$  лк; **16.**  $E' / E = 1,25$ ; **17.**  $E' / E = 1 + \sqrt{2} / 2(1 + \sqrt{2})^2 \approx 1,12$ ; **19.** а)  $E = \rho E_0 S / \pi H^2 = 1,27$  лк,  $E = \rho E_0 S h b / \pi (h^2 + b^2)^2 = 0,72$  лк; **20.**  $E = 3\sqrt{3}\rho E_0 S / 16\pi R^2 = 0,21$  лк; **21.**  $\alpha_2 = \arctg(\rho_1 / \rho_2)$ ,  $\alpha_1 = \arctg(\rho_2 / \rho_1)$ ; **22.**  $B = 4E / \pi \alpha^2 = 1,47 \cdot 10^9$  кд/м<sup>2</sup>; **23.**  $\Phi = 4\pi I = 1000$  лк,  $M = 4I / d^2 = 8000$  лм/м<sup>2</sup>,  $B = M / \pi = 2500$  кд/м<sup>2</sup>; **24.**  $E = \Phi / ab = 97$  лк,  $M = \rho E = 73$  лм/м<sup>2</sup>,  $B = M / \pi = 23$  кд/м<sup>2</sup>; **25.**  $E = \pi B$ ; **26.**  $E = \pi B$  **Ошибка! Ошибка связи.**; **27.**  $E = \pi R^2 B / L^2 = 25$  лк; **28.**  $I = \sqrt{3}a^2 B = 350$  кд; **29.** а)  $I = \pi d^2 B / 4 = 63$  кд, б)  $I = dhB / 2 = 30$  кд; **30.** а)  $I_1 = I_2$ , б)  $I_1 / I_2 = \sqrt[3]{\pi/6} < 1$ ; **31.**  $t_2 = t_1 I_1 r_2^2 / I_2 r_1^2 = 12$  с; **32.**  $t = 3,3$  с.

### Інтерференція світла

33.  $\Delta\varphi = 2\pi\Delta/\lambda = 1,88$ ; 34. а) 0,45 мкм, 0,6 мкм, б) 0,4 мкм, 0,51 мкм, 0,72 мкм;  
 35.  $l = bd/\lambda = 2$  м; 36.  $\lambda = bd/l = 500$  нм; 37.  $\lambda = 2\Delta x\Delta h/l(\eta - 1) = 600$  нм;  
 38.  $\Delta l = 2\Delta d\Delta x/\lambda = 1$  м; 40. а)  $\Delta x = (r + b)\lambda/2r\alpha = 1,1$  мм, б)  $\delta x = b\delta l/r = 13$  мм,  
 в)  $h_{\max} = (r + b)\lambda/4b\alpha = 42$  мкм; 41.  $\lambda = 2\Delta x\alpha = 640$  нм;  
 42. б)  $\Delta x = (L - a)\lambda/2d = 1,1$  мм, в)  $D_{\max} = a(L - a)\lambda/4dL = 24$  мкм,  
 г)  $N = 2d^2(L + a)/a(L - a)\lambda = 21$ ; 43.  $d = \lambda(a - L)/2\Delta x = 0,48$  мм;  
 44. а)  $\Delta x = \lambda f/a = 0,15$  мм,  $N = ba^2/\lambda f'^2 = 13$ , б)  $h_{\max} = \lambda f'^2/2ab = 38$  мкм;  
 45.  $\lambda = 2(n - 1)\theta\Delta x a/(a + b) = 640$  нм; 46.  $N = 4(n - 1)^2\varphi^2 ab/(a + b)\lambda$ ;  
 47.  $\Delta x = \lambda/2\theta(n_1 - n_2) = 0,2$  мм; 48. вбік перекритої щілини на  
 $x = l(n - 1)h/d = 2$  мм; 49. а)  $\Delta = 3,6$  мкм, максимум, б)  $\Delta = 3,6$  мкм, максимум,  
 в)  $\Delta = 3,3$  мкм, мінімум, в)  $\Delta = 3,9$  мкм, мінімум;  
 50.  $d = \lambda/4\sqrt{n^2 - \sin^2\theta} = 0,14$  мкм; 51.  $d = 0,65$  мкм;  
 52.  $v = \lambda/2\Delta t\sqrt{n^2 - \sin^2\theta} = 0,018$  мкм/хв.; 53.  $d = \lambda/2\sqrt{n^2 - \sin^2\theta} = 0,25$  мкм;  
 54.  $d = (2m + 1)\lambda/4\sqrt{n}$ ,  $m = 0, 1, 2, \dots$ ; 55.  $d = \lambda\sqrt{n^2 - \sin^2\theta}/\sin 2\theta \delta\theta = 15$  мкм;  
 56.  $\lambda = (r_k^2 - r_i^2)b/4nl^2(i - k)$ ; 57.  $h_{\min} \approx \lambda_1^2/2(n - 1)(\lambda_2 - \lambda_1) = 36$  мкм;  
 58.  $\lambda = 2n\Delta x = 540$  нм 59.  $\Delta x = \lambda/2n\theta = 3$  мм; 60.  $N = 2n\theta/\lambda = 500$  м<sup>-1</sup>, біля ребра  
 клина темна смуга; 61. а)  $\theta = \lambda/2n\Delta x = 3'$ , б)  $x = \Delta x\lambda/\Delta\lambda = 58$  мм;  
 62.  $d = m\lambda l/2na = 10$  мкм; 63.  $N = 2n\theta l/\lambda = 8,5$ ; 64.  $\theta = \lambda N/2nl = 10''$ ;  
 65.  $\Delta x_2 = \Delta x_1\lambda_2/\lambda_1 = 1,9$  мм; 66.  $\Delta\rho = \lambda R/2\rho$ ; 67.  $R = (d_2^2 - d_1^2)/4(m_2 - m_1)\lambda = 0,1$  м;  
 68.  $\rho = \sqrt{\rho_0^2 - 2Rh} = 1,5$  мм; 69.  $\rho = \sqrt{\rho_0^2 + (2m - 1)\lambda R/2} = 3,8$  мм, де  $m = 6$ ;  
 70.  $\rho = \sqrt{m\lambda R_1 R_2/(R_2 + R_1)}$ ; 71.  $\rho = \sqrt{m\lambda R_1 R_2/(R_2 - R_1)}$ ;  
 72.  $\rho = \sqrt{(2m - 1)\lambda R/2n_2} = 1,3$  мм, де  $m = 5$ ; 73.  $n = m_2/m_1 = 1,33$ ;  
 74.  $R = \Delta r_1\Delta r_2(\Delta r_1 + \Delta r_2)/10\lambda(\Delta r_1 - \Delta r_2) = 0,174$ ; 75.  $n' = n + m\lambda/l = 1,000377$ ;  
 76.  $n' = n + m\lambda/l = 1,000607$ ; 77.  $m = \lambda_1/2(\lambda_2 - \lambda_1) = 140$ ;  
 78.  $h = \lambda_1^2/2(\lambda_2 - \lambda_1) = 0,29$  мм; 79.  $h = m\lambda/2 = 27,3$  мкм;  
 80.  $\Delta n = \Delta m\lambda/2l = 0,000124$ ; 81. а)  $m_{\max} = 2d/\lambda = 10^5$ ; б)  $\Delta\lambda = \lambda^2/2d = 5$  пм.

### Дифракція світла

82.  $b = (m\lambda/\rho^2 - 1/a)^{-1} = 2$  м; 83.  $m = d^2/4b\lambda = 8$ , темна пляма; 84.  $b_1 = 1,4$  м,  
 $b_2 = 0,7$  м,  $b_3 = 0,47$  м; 85.  $\lambda = (\rho_2^2 - \rho_1^2)(a + b)/2ab = 600$  нм; 86. а)  $\rho = 2$  мм,  
 б)  $\rho = 2,9$  мм; 87.  $a = A/n^2 = 10$  м,  $b = B/n^2 = 20$  м; 88.  $b' = b/\eta^2 = 1$  м;  
 89. а)  $I = 2I_0$ , б)  $I = 4I_0$ , в)  $I = 2I_0$ , г)  $I = 3I_0$ ; 90.  $I = 2I_0$ ; 91.  $I = I_0$ ; 92.  $I = I_0$ ;  
 93.  $I = 0$ ; 94. а)  $h = \lambda(m + 3/8)/(n - 1) = 1,2(m + 3/8)$  мкм,  
 б)  $h = \lambda(m + 7/8)/(n - 1) = 1,2(m + 7/8)$  мкм, в)  $h = m\lambda/(n - 1) = 1,2m$  мкм,  
 $h = \lambda(m + 3/4)/(n - 1) = 1,2(m + 3/4)$  мкм,  $m = 0, 1, 2, \dots$ ; 0.  $h = \lambda(m + 3/4)/(n - 1)$ ,

$I = 8I_0$ ; **96.** а)  $h = \lambda(m + 1/2)/(n - 1) = 1.2(m + 1/2)$  мкм;  
 б)  $h = \lambda(m + 1/2)/2(n - 1) = 0.6$  мкм; **97.**  $y' = yb/a = 9$  мм, зображення при наявності нерівностей буде спотворено, кулю можна замінити диском;  
**98.**  $f = ab/(a + b) = 0,6$  м; **99.**  $x = ab/(a + b) = 1,2$  м; **100.**  $f_m = \pm f_0/(2m + 1)$ ;  
**101.**  $b_m = f_m a/(a - f_m)$ , де  $f_m = \pm ab/(2m + 1)(a + b)$ ; **0.**  $I = I_0$   
**103.** а)  $I_{\max 2}/I_{\max 1} = 1,75$ , б)  $\lambda = 660$  нм; **104.**  $I_1/I_2 = 2,2$ ; **105.**  $\lambda = 570$  нм;  
**106.**  $\lambda = b/m\sqrt{1 + (2f'/x)^2} = 600$  нм; **107.**  $m_{\max} = 3$ ,  $N = 7$ ;  
**108.**  $\varphi = \arcsin(b/\lambda + \sin \theta_0) - \arcsin(b/\lambda - \sin \theta_0) = 6^\circ 36'$ ;  
**109.**  $b/\lambda = (m + 1/2)/\sin \varphi = 143$ ; **110.** а) мінімум; б) максимум;  
**111.**  $D = 1.22\lambda L/d = 150$  м; **112.** а)  $\varphi = 30^\circ$ ; а)  $\varphi = 22^\circ 4'$ ;  
**113.**  $\varphi_2 = \arcsin((m_2\lambda_2/m_1\lambda_1)\sin \varphi_1) = 55^\circ$ ; **114.**  $d = 2,8$  мкм;  
**115.**  $\lambda = (d \sin \Delta\theta)/\sqrt{5 - 4 \cos \Delta\theta} = 530$  нм; **116.**  $\lambda = \sin(\Delta\varphi/2)/nm = 580$  нм;  
**117.**  $b = 0,66$  м; **118.** а)  $\varphi_{\max} = 45^\circ$ ; б)  $\varphi_{\max} = 50^\circ$ ; **119.** а)  $m_{\max} = 3$ ,  $N = 7$ ; б)  $|m_{\max}| = 5$ ,  $N = 7$ ;  
**120.** а) ні; б)  $\Delta x_2/\Delta x_1 = 3,2$ , в)  $\Delta\varphi = 3^\circ 5'$ ; **121.**  $\lambda' = 0,6$  мкм **122.**  $\varphi_{\min} = 41^\circ$ ;  
**124.** а)  $\alpha_0 = 18^\circ 35'$ ,  $\alpha_{-1} = 0^\circ$ ; б)  $|m_{\max}| = 6$ ; в)  $\alpha_{-6} = -78,6^\circ$ ; **125.** а)  $h = (2m + 1)\lambda/2(n - 1)$ ,  
 $m = 0, 1, 2, \dots$ ; б)  $\varphi_1 = \arcsin(\lambda/2a)$ ; **126.** а)  $D_\varphi = m/d\sqrt{1 - (m\lambda/d)^2} = 6,5$  кут.хв./нм,  
 $m = 2$ ; б)  $D_\varphi = m/d\sqrt{1 - (m\lambda/d + \sin \theta_0)^2} = 13$  кут.хв./нм,  $m = -4$ ;  
**127.**  $D_l = mnf'/(1 - (mn\lambda)^2)^{3/2} = 1,4 \cdot 10^6$ ; **128.**  $x = mf'\Delta\lambda/d(1 - (m\lambda_1/d)^2)^{3/2} = 0,3$  мм;  
**129.**  $m_{\min} = \lambda d/l\delta\lambda = 2$ ; **130.**  $R = 290$ ; **132.** а)  $m_{\min} = 4$ ; б)  $\delta\lambda = 7$  пм;  
**133.** а)  $d = 50$  мкм; б)  $l = 6$  см; **135.**  $R = D_\varphi l = 2,9 \cdot 10^4$ ; **136.**  $a = mN/|dn/d\lambda| = 0,2$  м;  
**137.**  $R = D/1.22\lambda = 74000$ ,  $d = \varphi L = 0,04$  м; **138.**  $d_{\min} = 50$  м;  
**139.**  $D_{\min} = 1.22\lambda r/d = 59$  мм; **140.**  $I/I_0 = (d^2/2.44f\lambda)^2 = 1,45 \cdot 10^7$ ;  
**141.**  $d = \lambda/\sin u = 2,3$  мкм;

### Поляризація світла

**142.**  $\varphi = 90^\circ - \arctg(n) = 37^\circ$ ; **143.**  $v = c/\tg(\varphi) = 1,95 \cdot 10^8$  м/с;  
**144.**  $\theta = 90^\circ - \arctg(n) = 32^\circ$ ; **145.**  $\gamma = 156^\circ$ ; **146.**  $I_{\max}/I_{\min} = (1 + P)/(1 - P) = 3$ ;  
**147.**  $I_{\text{нол}}/I_{\text{пр}} = P/(1 - P) = 0,33$ ; **148.**  $P = (n^2 - 1)^2 / ((n^2 + 1)^2 + 4n^2) = 0,08$ ;  
**149.** а)  $\rho = (n^2 - 1)^2 / 2(n^2 + 1)^2 = 0,074$ ;  $P' = 1$ ; б)  $\tau = ((n^2 + 1)^2 + 4n^2) / 2(n^2 + 1)^2 = 0,926$ ;  
 $P'' = (n^2 - 1)^2 / ((n^2 + 1)^2 + 4n^2) = 0,08$ ; **150.**  $I = (1 - \rho)I_0 = 0,961I_0$ ;  
**151.**  $\rho = (n^2 - 1)^2 / 2(n^2 + 1)^2 = 0,039$ ; **152.**  $\rho = (n - 1)^2 / (n + 1)^2 = 0,04$ ;  
**153.** а)  $P = (1 - (2n/(n^2 + 1))^{4N}) / (1 + (2n/(n^2 + 1))^{4N})$ ; б)  $P_1 = 0,16$ ;  $P_2 = 0,31$ ;  $P_5 = 0,66$ ;  
 $P_{10} = 0,92$ ; **154.**  $P_1 = 1$ ;  $P_2 = \rho/(1 - \rho) = 0,087$ ;  $P_3 = 1$ ;  
 $P_4 = (1 - (1 - 2\rho)^2) / (1 + (1 - 2\rho)^2) = 0,17$ ; **156.** а)  $P' = 0,83$ ; б)  $P'' = 0,044$ ;  
**157.**  $W = \pi\Phi_e/\omega = 0,6$  мДж; **158.**  $B_2 = 2B_1/(1 - k)^2 \cos^2 \alpha = 23,6$  ккД/м<sup>2</sup>;

- 159.**  $\varphi = \arccos(\sqrt{\eta_2/2}/\eta_1)=30$  ; **160.**  $I/I_0 = 0.5 \cos^{2(N-1)} \varphi=0,12$ ;  
**161.**  $I_0/I = 2/\tau^3 \cos^4 \varphi=60$ ; **162.**  $P = (\eta - 1)/(1 - \eta \cos 2\varphi)=0,8$ ;  
**163.**  $P = (\eta - 1)/(\eta - \cos 2\varphi)=0,67$ ; **164.**  $I_{\max}/I = (1 + P)/(1 + P \cos 2\varphi)=1,23$ ;  
**165.** а)  $P = \sqrt{(\eta - 1)/(\eta + 1)}=0,90$ ; б)  $P = \sqrt{1 - 1/\eta^2}=0,995$ ; **166.**  $\alpha=11,4^\circ$ ;  
**167.** а)  $d = (2m + 1)\lambda / 2\Delta n=0,491$  мм, де  $m=7$ ; б)  $d = (2m + 1)\lambda / 4\Delta n=0,474$  мм, де  $m=14$ ; **168.**  $\lambda = 4\Delta nd / (2m + 1)=581, 545, 514$  нм, де  $m=15, 16, 17$ ; **169.**  $N=4$ ;  
**170.**  $\lambda = 4\Delta nd / (2m + 1)=692, 600, 523, 474, 429$  нм, де  $m=6, 7, 8, 9, 10$ ;  
**171.**  $d_{\min}=0,25$  мм; **172.**  $P = (\eta - 1)/\eta=0,5$ ; **173.**  $\Delta n = \lambda / \Delta x \theta=0,009$ ;  
**175.**  $\alpha = 180^\circ / \Delta x \operatorname{tg} \theta=20,8^\circ/\text{мм}$ ,  $I = 0,5I_{\max} (1 + \cos(2\pi x / \Delta x))$ ;  
**176.**  $d_2 = d_1 90^\circ / \varphi=3,4$  мм; **177.**  $d = (1/\alpha) \arcsin \sqrt{2\eta}=3$  мм; **178.**  $d=8,7$  мм;  
**179.**  $C_2 = C_1 \varphi_2 / \varphi_1=210$  кг/м<sup>3</sup>; **180.**  $d = 90^\circ C_2 / \alpha C_1=0,05$  м;  
**181.**  $[\alpha]=180^\circ / lC=0,72$  кут.град. м<sup>2</sup>/кг; **182.** а)  $E = 1/2\sqrt{Bl}=1,1$  МВ/м,  
 $N=22\nu=2,2 \cdot 10^8$  с<sup>-1</sup>; **183.**  $\rho = (\varphi_1 - \varphi_2) / 2\mu_0 lH=200$  кут.град./м·Тл.

### Геометрична оптика

- 184.**  $\vec{e}' = \vec{e} - 2\vec{n}(\vec{e}, \vec{n})$ ; **185.**  $\alpha=27,5'$ ; **187.**  $\alpha=120^\circ$ ; **189.**  $\theta = \operatorname{arctg} n=53^\circ$ ;  
**190.**  $x = d(1 - \cos \theta / \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}) \sin \theta=3,1$  см;  
**191.**  $d = 2x / (1 / \sqrt{n_1^2 - \sin^2 i} - 1 / \sqrt{n_1^2 - \sin^2 i}) \sin 2i=4,4$  см; **192.** Зображення  
наблизиться від дзеркала; **193.**  $x_2 = x_1 \sqrt{n^2 - \sin^2 i} / n \cos i=5,3$  см;  
**194.**  $x = h \cos \alpha / \sqrt{n^2 - \cos^2 \alpha}=0,86$  м; **195.**  $h' = nh=1,2$  м;  
**196.**  $d = d_1 / n_1 + d_2 / n_2=4,2$  см; **197.**  $h' = hn^2 (\cos \varphi / \sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi})^3$ ;  
**198.**  $d = 2h / \sqrt{n^2 - 1}=1,14$  м; **199.**  $r = R / n=5,3$  см;  
**200.**  $H = 0.5(h + L\sqrt{n^2 - 1})=7,4$  м; **201.**  $n \geq \sqrt{2}$ ; **203.**  $\theta = 2 \arccos(n/2)=83^\circ$ ;  
**204.**  $\varepsilon' = 2 \arcsin(\sin((\varepsilon + \theta)/2) / n_e) - \theta=8,5$ ; **205.**  $i_2=77^\circ$ ;  
**206.**  $\Delta \alpha = 2\Delta n \sin(\theta/2) / \sqrt{1 - n^2 \sin^2(\theta/2)}=0,44^\circ$ ; **209.**  $f = l\beta / (1 - \beta^2)=0,1$  м;  
**210.** а)  $s = R(\beta - 1) / 2\beta=0,3$  м,  $\beta=-2$ ; б)  $s = R(\beta - 1) / 2\beta=0,1$  м,  $\beta=2$ ;  
**211.**  $f = s's / (s' + s)=-0,3$  м; **212.**  $a = v^2 R / r(2s - R)=4,5$  м/с<sup>2</sup>;  
**213.**  $I = \rho I_0 f^2 / (s - f)^2=2000$  кд; **214.**  $l=45$  см; **215.** на відстані  $a$  від першого  
дзеркала; **216.**  $R = ks / (k - 1)=0,6$  м; **217.**  $\Phi = \Phi_0(n - n_0) / (n - 1)=2$  дптр;  $f'=-$   
 $f=n_0/\Phi=0,85$  м; **218.**  $\Phi = \Phi_0(2n - 1 - n_e) / 2(n - 1)=6,7$  дптр;  $f=-1/\Phi=-0,15$  м,  
 $f'=n_b/\Phi=0,2$  м; **219.**  $n_p = n - \Phi_2(n - 1) / \Phi_1=1,665$ ; **220.**  $f' = R / 2(2n - 1)=0,1$  м;  
**221.**  $\Phi_2 = 2n\Phi_1 / (n - 1)=24$  дптр; **224.** на  $\Delta s=0,52$  мм відсунути від лінзи;  
**225.**  $f' = \sqrt{\eta} l / (1 + \sqrt{\eta})=0,2$  м; **226.**  $h = \sqrt{h'h''}=3$  мм; **227.** треба відсунути екран  
від лінзи на  $l = d(n - 1) / n=1$  см; **228.**  $n_g=1,33$ ; **229.**  $b=6,3$  см; **230.** а)  $x'=0,15$  м;  
б)  $\beta=-1,5$ ; **231.**  $f=0,5$  м; а)  $b=1,48$  м; б)  $b=1,43$  м; **232.**  $d > n(R_1 - R_2) / (n - 1) -$

товщина лінзи; **233.**  $d = n(R_1 - R_2)/(n - 1)$  – товщина лінзи; **234.**  $f' = 6$  см;  $X_H = 1$  см;  $X_{H'} = -0,4$  см;  $b = 8$  см; **235.**  $f' = 2,5$  см;  $X_H = -51$  см;  $X_{H'} = -5$  см;  $b = -2$  см; **236.**  $f' = nR^2 / (n - 1)^2 d > 0$  – лінза збиральна;  $X_H = X_{H'} = R / (n - 1)$ ; **237.** а)  $d = n\Delta R / (n - 1) = 4,5$  см; б)  $d = (\Phi R_1 R_2 / (n - 1) - R_2 + R_1)n / (n - 1) = 3$  см; **238.**  $\Phi = (n - 1)(R_2 - R_1) / nR_1 R_2 < 0$ ;  $f' = 1 / \Phi$ ;  $X_H = R_1$   $X_{H'} = R_2$ ; **239.**  $d = n(R_1 + R_2) / 2(n - 1) = 9$  см;  $\Gamma = R_1 / R_2 = 5$ ; **240.**  $\Phi = 2\Phi'(1 - l\Phi' / n_g) = 3$  дптр, де  $\Phi' = (2n - n_g - 1) / R$ ,  $n$  і  $n_g$  – показники заломлення скла і води; **241.**  $\Phi = 2$  дптр; **242.**  $\Phi = -2,7$  дптр; **243.**  $\Phi_1 = 21,3$  дптр,  $\Phi_2 = -5,3$  дптр; **244.**  $\Delta\Phi = -3,5$  дптр; **245.**  $d = a_1 a_2 / (a_2 - a_1) = 0,2$  м; **246.**  $f'_{об} \approx \sqrt{\Delta x l_1 l_2 / (l_2 - l_1)} = 1,6$  м; **247.**  $f'_{об} \approx \sqrt{\Delta x l} = 1$  м; **248.** а)  $f'_{об} = 0,5$  м,  $f'_{ок} = -0,05$  м; б) відсунути на  $\Delta x \approx f'_{об}{}^2 / l = 0,005$  м; **249.**  $\Gamma = D / d$ ; **250.**  $\varphi = \varphi' / \sqrt{\eta} = 36''$ ; **251.**  $\Gamma = \Gamma_0 f'_{ок} / l_0 = 12$ ; **252.**  $\varphi' = \varphi'_{об} / f'_{ок} = 10^\circ 20'$ ; **253.**  $d = \alpha f'_{об} (b - f'_{ок}) / f'_{ок} = 0,31$  м; **254.**  $f'_{ок} = l_0 a / (a - f'_{об})$   $\Gamma = 0,016$  м,  $\Delta = f'_{об} a / (a - f'_{об}) + f'_{ок} = 0,18$  м; **255.**  $f'_{ок} = l_0 (\delta + f'_{об}) / f'_{об}$   $\Gamma = 0,081$  м; **256.**  $\Delta = f'_{ок} + f'_{об} (x + f'_{об}) / x = 0,305$  м;  $\Gamma = l_0 (\Delta - f'_{ок}) / f'_{об} f'_{ок} = 255$ ; **257.**  $l = 69$  м; **258.**  $h \leq 400$  м;  $v \leq 50$  м/с.

#### *Дисперсія і поглинання світла*

**259.** а)  $u = 3v / 2$ ; б)  $u = 2v$ ; **260.**  $v_\phi = c / n_2 = 1,8 \cdot 10^8$  м/с;  
 $v_{zp} \approx (1 - \lambda_2 (n_1 - n_3) / (\lambda_3 - \lambda_1) n_2) c / n_2 = 1,7 \cdot 10^8$  м/с; **261.**  $dn / d\lambda = -2B / \lambda^3$ ;  
 $v_\phi = c\lambda^2 / (A\lambda^2 + B)$ ;  $v_{zp} = c\lambda^2 (A\lambda^2 - B) / (A\lambda^2 + B)^2$  **262.**  $\alpha = 11,5$  м<sup>-1</sup>;  
**263.**  $\alpha = \ln(\tau_1 / \tau_2) / (d_2 - d_1) = 35$  м<sup>-1</sup>; **264.**  $\alpha = \ln((1 - \rho)^{2N} / \tau) / Nl = 3,4$  м<sup>-1</sup>;  
**265.**  $\tau = (1 - \rho)^2 \exp(-(\alpha_1 + \alpha_2)l / 2)$ ;  
**266.**  $I = I_0 (1 - \rho)^2 (\exp(-\alpha_1 l) - \exp(-\alpha_2 l)) / (\alpha_2 - \alpha_1) l$ ; **267.** послабиться у 8 раз;  
**268.**  $C_2 = 1\%$ .

#### *Оптика рухомих середовищ*

**269.**  $\Delta N = 4lv(n^2 - 1) / c\lambda = 0,1$ ; **270.**  $v = \sqrt{2kc} = 0,141$  с; **271.**  $\Delta\lambda = 180$  нм;  
**272.**  $\Delta\lambda = 4\pi r\lambda / Tc = 0,085$  нм; **273.**  $T = 4\pi R\lambda / c\Delta\lambda = 25$  діб; **274.**  $\Delta\lambda = 2N\lambda_0 v / c$ ;  
**275.**  $v = \lambda\Delta\nu = 2000$  м/с.

## Додатки

### Таблиця 1

Показники заломлення  $n$

Гази	$n$	Рідини	$n$	Тверді тіла	$n$
Азот	1,00030	Бензол	1,50	Алмаз	2,42
Повітря	1,00029	Вода	1,33	Кварц	1,46
Кисень	1,00027	Гліцерин	1,47	плавлений	
		Сірковуглець	1,63	Скло	1,50
				(звичайне)	

### Таблиця 2

Показники заломлення  $n$  кристалів з подвійним променезаломленням

Довжина хвилі $\lambda$ , нм	Колір	Ісландський шпат		Кварц	
		$n_e$	$n_o$	$n_e$	$n_o$
687	червоний	1,484	1,653	1,550	1,541
656	оранжевий	1,485	1,655	1,551	1,542
589	жовтий	1,486	1,658	1,553	1,544
527	зелений	1,491	1,664	1,556	1,547
486	голубий	1,489	1,668	1,559	1,550
431	синє-фіолетовий	1,495	1,676	1,564	1,554
400	фіолетовий	1,498	1,683	1,568	1,558

### Таблиця 3

Стала обертання кварцу

$\lambda$ , нм	$\varphi$ , град/мм
404,7	48,93
435,9	41,54
491,6	31,98
589,5	21,72
656,3	17,32
670,8	16,54

