

## 5.6. Питання для самоконтролю

1. Дайте означення оптики.
2. Яке світло називається видимим? Які хвилі відносяться до інфрачервоних, а які – до ультрафіолетових?
3. За якою формулою визначається швидкість світла?
4. Запишіть математичне формулювання принципу Ферма.
5. Виведіть закони відбивання та заломлення світла.
6. В чому фізична суть явища повного внутрішнього відбивання?
7. Чому і за яких умов закони заломлення світла задовольняють теорії Максвелла?
8. Визначте величину кутового зміщення променя після проходження ним призми.
9. Яка дисперсія світла вважається нормальною, а яка – аномальною?
10. Виведіть формулу залежності діелектричної проникності від частоти хвилі.
11. Що таке групова швидкість і як отримати формулу для неї?
12. Поясніть, що таке інтерференція?
13. Дайте пояснення когерентності хвиль.
14. Використовуючи поняття різниці ходу, запишіть умови виникнення інтерференційних мінімумів та максимумів.
15. Поясніть дослід Юнга.
16. Яким у досліді Юнга є розподіл інтенсивності світла на екрані?
17. Що таке час когерентності та довжина когерентності?
18. Поясніть утворення інтерференції з застосуванням біпризми Френеля.
19. Опишіть явище інтерференції на тонких плівках.
20. Як утворюються кільця Ньютонів?
21. Дайте означення явища дифракції.
22. У чому суть принципу Гюйгенса і як з його допомогою довести закон заломлення?
23. Запишіть математичне формулювання принципу Гюйгенса-Френеля.
24. Що таке зони Френеля? Розрахуйте їх радіус та площу.
25. Поясніть утворення дифракційної картини від круглого отвору або диску.
26. Виведіть вираз для інтенсивності дифракції світла на щілині.
27. Отримайте формулу дифракційних грат.
28. Дайте означення поляризації світла.
29. Яке світло є ліво поляризованим, а яке є право поляризованим?
30. Для чого існує поляризатор, а для чого – аналізатор?
31. Сформулюйте закон Брюстера.
32. У чому полягає явище подвійного променезаломлення?

33. Як навести оптичну анізотропію і в чому вона проявляється? Наведіть приклади наведеного подвійного променезаломлення.

### 5.7. Формули, необхідні для розв'язку задач

1. Формули для швидкості поширення світлових хвиль у лінійному ізотропному однорідному середовищі визначається з формул

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu\mu_0\varepsilon\varepsilon_0}}, \quad v = \frac{c}{\sqrt{\mu\varepsilon}}, \quad v = \frac{c}{n},$$

де  $\varepsilon_0$  – діелектрична стала,  $\mu_0$  – магнітна стала,  $\varepsilon$  і  $\mu$  – електрична та магнітна проникності середовища,  $c$  – швидкість світла у вакуумі,  $n = \sqrt{\varepsilon\mu}$  – показник заломлення середовища

2. Закони відбивання та заломлення

$$\alpha = \beta, \quad \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n_{21},$$

де  $\alpha$  – кут падіння,  $\beta$  – кут відбивання,  $\gamma$  – кут заломлення,  $n_{21}$  – відносний показник заломлення, який визначається відношенням  $n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$ , або, що

теж саме,  $n_{21} = \frac{v_1}{v_2}$ .

3. Формула Релея для групової швидкості

$$v_{gp} = v - \lambda \frac{dv}{d\lambda}.$$

4. Інтенсивність світла при накладанні двох когерентних хвиль

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\varphi_1^{(0)} - \varphi_2^{(0)}),$$

де  $\varphi_1^{(0)} - \varphi_2^{(0)}$  – різниця фаз.

5. Формула для оптичної різниці ходу

$$\Delta = n_2 d_2 - n_1 d_1,$$

де  $n_1$ ,  $n_2$  – показники середовищ, у яких хвилі проходять відстані  $d_1$  та  $d_2$ , відповідно.

6. Умови інтерференційного максимуму та мінімуму

$$\Delta = m\lambda, \quad \Delta = \frac{2m+1}{2}\lambda,$$

де  $\lambda$  – довжина хвилі,  $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$  – ціле число.

7. Формула для ширини інтерференційної смуги у досліді Юнга

$$\Delta x_{\lambda} = \frac{\lambda \ell}{nd}, \quad \Delta x_{\lambda} = \frac{\lambda}{n\psi},$$

де  $\lambda$  – довжина хвилі,  $d$  – відстань між джерелами,  $\ell$  – відстань від джерел до екрану,  $\psi$  – кут, під яким з точки центру інтерференційної картини видно обидва джерела,  $n$  – показник заломлення.

8. Формули для часу когерентності та довжини когерентності

$$t_{\text{ког}} = \frac{2\pi}{\Delta\omega}, \quad \ell_{\text{ког}} = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda},$$

де  $\Delta\omega$  та  $\Delta\lambda$  – інтервали частот та довжин хвиль, які визначаються спектром світлових хвиль.

9. Формула для радіуса  $m$  – ї зони Френзеля

$$R_m = \sqrt{\frac{r_{\min} R_{\text{хвн}}}{r_{\min} + R_{\text{хвн}}} m \lambda}.$$

де  $\lambda$  – довжина хвилі,  $R_{\text{хвн}}$  – радіус хвильової поверхні первинної сферичної хвилі від точкового джерела, а  $r_{\min}$  – відстань хвильової поверхні до точки спостереження дифракційної картини.

10. Формула положення мінімумів при дифракції Фраунгофера на щілині

$$h \sin \varphi_m = \pm m \lambda,$$

де  $\lambda$  – довжина хвилі,  $h$  – ширина щілини,  $\varphi_m$  – кут, що визначає положення  $m$ -го мінімуму,  $m=1, 2, 3, \dots$

11. Формула дифракційних ґрат (формула для кутів головних дифракційних максимумів)

$$d \sin \varphi_m = \pm m \lambda$$

де  $\varphi_m$  – кут, що визначає положення  $m$ -го головного максимуму,  $m=1, 2, 3, \dots$ ,  $d$  – період ґратки,  $d=h+b$ , якщо  $h$  – ширина щілини,  $b$  – ширина непрозорої смужки, або  $d = \frac{L}{N}$ , де  $L$  – ширина ґрат, а  $N$  – кількість щілин.

12. Закон Малюса для природного світла, що проходить через два схрещених поляризатори,

$$I_{Z_{\text{ан}}} = \frac{1}{2} I_{\text{нр}} \cos^2 \theta$$

13. Закон Брюстера

$$\text{tg} \alpha_B = \frac{n_2}{n_1}.$$

## 5.8. Задачі

- 5.1. Скільки довжин хвиль монохроматичного світла з частотою  $\nu = 5 \cdot 10^{14}$  Гц уміститься на шляху довжиною  $l = 1,2$  мм у вакуумі чи у склі з  $n = 1,5$ ?
- 5.2. При якому значенні кута падіння  $\alpha$  промінь, який відбивається від поверхні води буде перпендикулярним до заломленого променя? Показник заломлення води  $n = 1,33$ .
- 5.3. Промінь падає на плоско-паралельну скляну пластинку, товщина якої  $d = 6,0$  см. Кут падіння  $\alpha = 60^\circ$ . Знайдіть зміщення променя, після проходження ним пластинки.
- 5.4. На краю басейна стоїть людина і дивиться на камінь, що лежить на дні. Глибина басейна  $h$ . На якій відстані від поверхні води видно зображення каменя, якщо промінь зору складає з нормаллю до поверхні кут  $\gamma$ ?
- 5.5. Промінь проходить через призму з кутом заломлення  $\varphi$  і показником заломлення  $n$ . Нехай  $\delta$  є кут відхилення променя. Покажіть, що при симетричному ході променя через призму, кут  $\delta$  є мінімальним і що зв'язок між  $\delta$  та  $\varphi$  визначається співвідношенням  $\sin \frac{\delta + \varphi}{2} = n \sin \frac{\varphi}{2}$ .
- 5.6. Запишіть у векторному вигляді закон відбивання світлового променя від дзеркала з використанням направляючих ортів  $\vec{e}_{nad}$  та  $\vec{e}_{vid}$  падаючого та відбитого променів та одиничного вектора  $\vec{n}$  нормалі до поверхні.
- 5.7. Для деякої скляної призми кут найменшого відхилення променя дорівнює куту заломлення призми. Знайти кут заломлення призми.
- 5.8. Покажіть, що при складанні коливань двох гармонічних хвиль середня інтенсивність дорівнює сумі їх інтенсивностей, коли обидва коливання мають однаковий напрямок, але некогерентні з рівноймовірним значенням різниці фаз або коли відбуваються у взаємно перпендикулярних напрямках, маючи при цьому однакову частоту та однакові фази.
- 5.9. Визначте залежність між груповою та фазовою швидкостями, коли фазова швидкість  $v_\phi = \frac{a}{\sqrt{\lambda}}$ , де  $a$  – константа.
- 5.10. Визначте залежність між груповою та фазовою швидкостями, коли фазова швидкість  $v_\phi = \frac{a}{\omega^2}$ , де  $a$  – константа.
- 5.11. Визначте залежність між груповою та фазовою швидкістю, коли фазова швидкість  $v_\phi = ak^4$ , де  $a$  – константа.
- 5.12. На мильну плівку з показником заломлення  $n = 1,3$ , яка знаходиться у повітрі, нормально падає пучок променів білого світла. При якій найменшій товщині плівки відбите світло з довжиною хвилі  $\lambda = 0,55$  мкм буде максимально ярким?

5.13. На мильну плівку, показник заломлення якої  $n=1,33$  під кутом  $45^\circ$  до нормалі падає біле світло. При якій найменшій товщині плівки промені відбитого світла будуть найкраще відбивати світло жовтого кольору з  $\lambda_{жс}=0,6$  мкм?

5.14. На поверхні скла знаходиться плівка води. На неї падає світло з довжиною хвилі  $\lambda=0,68$  мкм під кутом  $\alpha=30^\circ$  до нормалі. Знайдіть швидкість випаровування плівки, якщо інтенсивність відбитого світла змінюється таким чином, що інтервал часу між сусідніми максимумами становить 15 хвилин.

5.15. Плоско-опукла лінза опуклою стороною лежить на скляній пластині. Радіус 10-го темного кільця Ньютона для відбитого світла становить  $r_{10}=1,25$  мм. Довжина хвилі світла  $\lambda=0,6$  мкм. Визначте радіус кривизни опуклої поверхні лінзи.

5.16. Плоско-опукла лінза опуклою стороною лежить на скляній пластині. Визначте товщину шару повітря між лінзою і пластиною в області спостереження першого світлого кільця Ньютона. Довжина хвилі  $\lambda=0,6$  мкм.

5.17. Плоско-опукла скляна лінза, радіус кривизни якої  $R=40$  см, дотикається опуклою поверхнею до поверхні скляної пластини. При цьому радіус  $m$ -го темного кільця становить  $r_m=2,5$  мм. Спостерігаючи за цим кільцем, лінзу обережно відсунули від пластини на відстань  $h=5$  мкм. Яким став радіус цього кільця?

5.18. Плоско-опукла лінза з радіусом  $R$  кривизни опуклої поверхні лежить на скляній пластині. Радіус  $m$ -го темного інтерференційного кільця, яке спостерігається після проходження світлом пластини дорівнює  $r_{\min}^{(m)}$ . Радіус  $n$ -го темного кільця Ньютона для відбитих променів дорівнює  $r_{\min}^{(n)}$ . Визначте довжину світлової хвилі.

5.19. В досліді Ллойда (рис. 64) світлова хвиля, що безпосередньо виходить з джерела, інтерферує з хвилею, відбитою від дзеркала. В результаті, на екрані утворюється інтерференційна картина. Відстань від джерела світла до екрану  $\ell=1000$  см. При початковому положенні джерела ширина інтерференційної полоси на екрані становила 0,25 мм. Після того, як джерело віддалили від площини на 0,60 мм, ширина інтерференційної полоси зменшилась в 1,5 разів. Знайдіть довжину хвилі світла.

5.20. Дві когерентні плоскі світлові хвилі, кут між напрямками поширення яких  $\psi \ll 1$ , падають майже перпендикулярно до площини екрану. Покажіть, що між сусідніми інтерференційними максимумами на екрані визначається відношенням  $\Delta x_\lambda = \frac{\lambda}{\psi}$ , де  $\lambda$  – довжина хвилі.

5.21. Лінзу, яка мала діаметр 5,0 см та фокус 25 см, розрізали уздовж діаметра навпіл, а потім утворили з неї білінзу, видаливши шар товщиною 1,0 мм. У фокальній площині білінзи розташували вузьку щілину, яка є джерелом

монохроматичного світла з  $\lambda=0,64$  мкм. За білінзою розташували екран на відстані 50 см від неї. Визначте ширину інтерференційної полоси.

5.22. Плоска монохроматична хвиля падає нормально на діафрагму, що містить дві вузькі щілини, відстань між якими 2,5 мм. На екрані, що розташований на відстані  $r=100$  см, утворюється система інтерференційних смуг. На яку відстань  $i$  в який бік змістяться ці смуги, якщо одну з щілин прикрити скляною пластинкою, товщина якої 10 мкм?

5.23. Плоска світлова хвиля з довжиною хвилі  $\lambda=0,5$  мкм падає нормально на діафрагму з круглим отвором, діаметр якого  $d=1$  мм. На якій відстані від отвору повинна знаходитися точка спостереження, щоб отвір відкривав лише одну зону Френеля?

5.24. Точкове джерело світла з довжиною хвилі  $\lambda=0,5$  мкм розташоване на відстані  $R=100$  см перед діафрагмою з круглим отвором радіусу  $R_0=1,0$  мм. Знайдіть відстань  $r$  від діафрагми до точки спостереження, для якої число зон Френеля на отворі становить  $m=3$ .

5.25. Між точковим джерелом світла та екраном розмістили діафрагму з круглим отвором, радіус якого можна змінювати. Відстань від діафрагми до джерела дорівнює 100 см, а від діафрагми до екрана – 125 см. Визначте довжину хвилі світла, якщо максимум освітленості в центрі дифракційної картини на екрані спостерігається при  $R_1=1,0$  мм, а наступний максимум при  $R_2=1,29$  мм.

5.26. Радіус 4-ої зони Френеля для плоского хвильового фронту дорівнює 3 мм. Визначте радіус 6-ої зони Френеля.

5.27. На діафрагму, яка має отвір з діаметром 1,96 мм, нормально падає паралельний пучок монохроматичного світла з  $\lambda=600$  нм. При якій найбільшій відстані між діафрагмою та екраном в центрі дифракційної картини ще буде спостерігатися темне п'ятно?

5.28. На щілину, ширина якої 0,05 мм, нормально падає монохроматичне світло з довжиною хвилі  $\lambda=0,6$  мкм. Визначте кут  $\varphi$  між початковим напрямком світла та напрямком на четвертий дифракційний мінімум.

5.29. На щілину, ширина якої  $h=6\lambda$ , нормально падає плоска монохроматична хвиля з довжиною  $\lambda$ . Під яким кутом  $\varphi$  буде спостерігатися 3-ій дифракційний мінімум?

5.30. На щілину, ширина якої 0,1 мм, нормально падає плоска монохроматична світлова хвиля з довжиною хвилі  $\lambda=0,5$  мкм. За щілиною знаходиться збиральна лінза, у фокальній площині якої знаходиться екран. Що буде спостерігатися на екрані, коли кут дифракції  $\varphi$  дорівнює:

1) 17 хвилин; 2) 43 хвилини?

- 5.31. На дифракційні ґрати з періодом 10 мкм під кутом  $30^\circ$  падає монохроматичне світло з довжиною  $\lambda=600$  нм. Визначте кут  $\varphi$  дифракції для другого головного максимуму.
- 5.32. Інфрачервоне випромінювання лазера з довжиною хвилі  $\lambda=10,6$  мкм попадає нормально на систему паралельних щілин, ширина яких 50 мкм. Відстань між щілинами також становить 50 мкм. Який максимальний номер головного дифракційного максимуму може спостерігатися у цьому випадку?
- 5.33. Скільки штрихів на один міліметр містять ґрати, якщо при нормальному падінні на них монохроматичного світла з довжиною хвилі  $\lambda=0,6$  мкм головний максимум 5-го порядку відхилений на кут  $\varphi=18^\circ$ ?
- 5.34. Яку найменшу роздільну здатність повинні мати дифракційні ґрати, щоб з їх допомогою можна було розрізнити дві хвилі з  $\lambda_1=578$  нм і  $\lambda_2=580$  нм з спектру калію? Яке найменше число штрихів повинні мати ці ґрати, щоб розрізнення цих хвиль було можливе у спектрі другого порядку?
- 5.35. За допомогою дифракційних ґрат з періодом 20 мкм треба у спектрі 2-го порядку розрізнити дублет натрію з  $\lambda_1=589,0$  нм та  $\lambda_2=589,6$  нм. При якій найменшій ширині ґрат це можливо?
- 5.36. При освітленні дифракційних ґрат білим світлом спектри 2-го та 3-го порядків частково перекриваються. На яку довжину хвилі у спектрі 2-го порядку попадає фіолетова межа ( $\lambda=0,4$  мкм) спектру 3-го порядку?
- 5.37. Пучок світла, який поширюється у повітрі, падає на поверхню рідини під кутом  $\alpha =54^\circ$ . Визначте кут заломлення  $\gamma$ , якщо відбитий промінь повністю поляризований.
- 5.38. Кут Брюстера  $\alpha_B$  при падінні світла з повітря на кристал кам'яної солі дорівнює  $57^\circ$ . Визначте швидкість світла у цьому кристалі.
- 5.39. Граничний кут повного внутрішнього відбивання світла на межі рідини з повітрям становить  $43^\circ$ . Визначте кут Брюстера  $\alpha_B$  при падінні променя з повітря на поверхню цієї рідини.
- 5.40. У частково поляризованого світла амплітуда вектора напруженості, яка відповідає максимальній інтенсивності світла, в 2 рази більше амплітуди при мінімальній інтенсивності світла. Визначте ступінь поляризації світла.
- 5.41. Ступінь поляризації частково поляризованого світла дорівнює 0,5. У скільки разів відрізняється максимальна інтенсивність світла, яке пропускає аналізатор, від мінімальної?
- 5.42. У скільки разів послаблюється інтенсивність світла, що проходить через два поляризатори, осі яких повернуті на кут  $30^\circ$ , якщо у кожному поляризаторі втрачається (поглинається) 10% інтенсивності падаючого на нього світла?

