

Практичне заняття 10

Використання законів заломлення

План:

1. Плоскопаралельна пластинка.
2. Призма.
3. Збираюча та розсіююча лінзи.
4. Хід променів у цих приладах. Формули.
5. Практичне призначення цих приладів.

Основні формули:

1. $x = \frac{d \sin(i - r)}{\cos r}$, де x – величина зміщення променя, i – кут

падіння, r – кут заломлення, d – товщина пластинки. Формула зміщення променя при падінні його на плоскопаралельну пластинку.

2. $n = \frac{\sin \alpha}{\sin r} = \frac{\sin \frac{\delta + \theta}{2}}{\sin \frac{\theta}{2}}$ – формула призми для найменшого

кута відхилення; n – показник заломлення призми, r – кут заломлення променя, δ – кут найменшого відхилення, θ – заломлюючий кут призми.

3. $\frac{n_1}{d_1} + \frac{n_2}{d_2} = \frac{1}{R} (n_2 \cos r - n_1 \cos i)$ – основне рівняння

оптичної техніки; n_1 – показник заломлення першого середовища, n_2 – показник заломлення другого середовища, d_1 – відстань від точкового джерела світла до сферичної поверхні, d_2 – відстань від поверхні до зображення цього джерела, R – радіус кривизни поверхні, i – кут падіння, r – кут заломлення.

4. $\frac{1}{a_1} - \frac{1}{a_2} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \cdot \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$ – формула лінзи.

$\frac{1}{f} = -\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2}$ – рівняння Гаусса з урахуванням правила

знаків. У цих формулах: a_1 і a_2 – спряжені відстані; n_1 та n_2 –

показники заломлення середовищ; R_1 та R_2 – радіуси кривизни поверхонь лінзи; f – фокусна відстань лінзи.

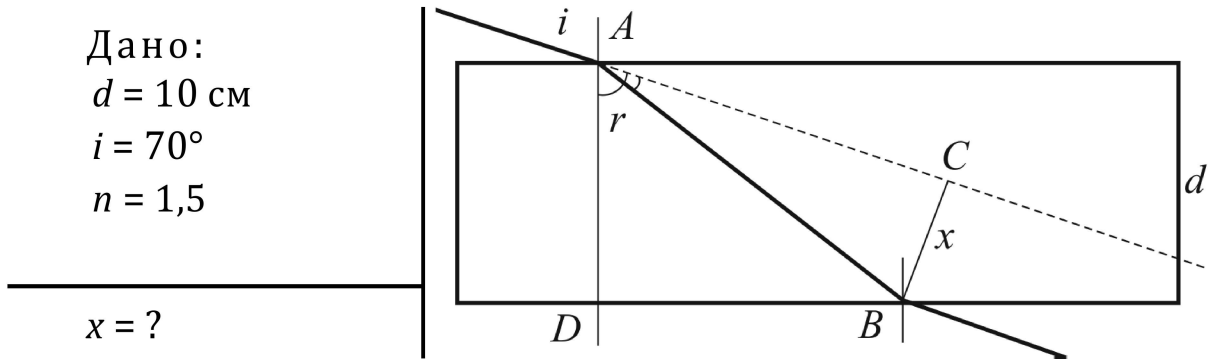
5. $x_1 \cdot x_2 = f^2$ – рівняння Ньютона. x_1 – відстань від предмета до переднього фокуса, x_2 – відстань від зображення предмета до заднього фокуса.

Приклади розв'язування задач

Задача 1. Визначити, наскільки плоскопаралельна скляна пластинка зміщує у сторону промінь світла, який падає на неї під кутом 70° . Товщина пластинки $d = 10$ см, n скла дорівнює 1,5.

Аналіз та розв'язок

Дано:
 $d = 10$ см
 $i = 70^\circ$
 $n = 1,5$



$x = ?$

Величину зміщення x знаходимо з $\triangle ABC$: $\frac{x}{AB} = \sin(i - r)$,
 тобто $x = AB \cdot \sin(i - r)$. AB знаходимо з $\triangle ABD$: $AB = \frac{d}{\cos r}$.

Підставляємо: $x = \frac{d}{\cos r} \sin(i - r)$; $\frac{\sin i}{\sin r} = n$; $\sin r = \frac{\sin i}{n}$,

тобто $r = \arcsin \frac{\sin i}{n}$. Тоді $x = \frac{d \sin \left(i - \arcsin \frac{\sin i}{n} \right)}{\cos \left(\arcsin \frac{\sin i}{n} \right)}$;

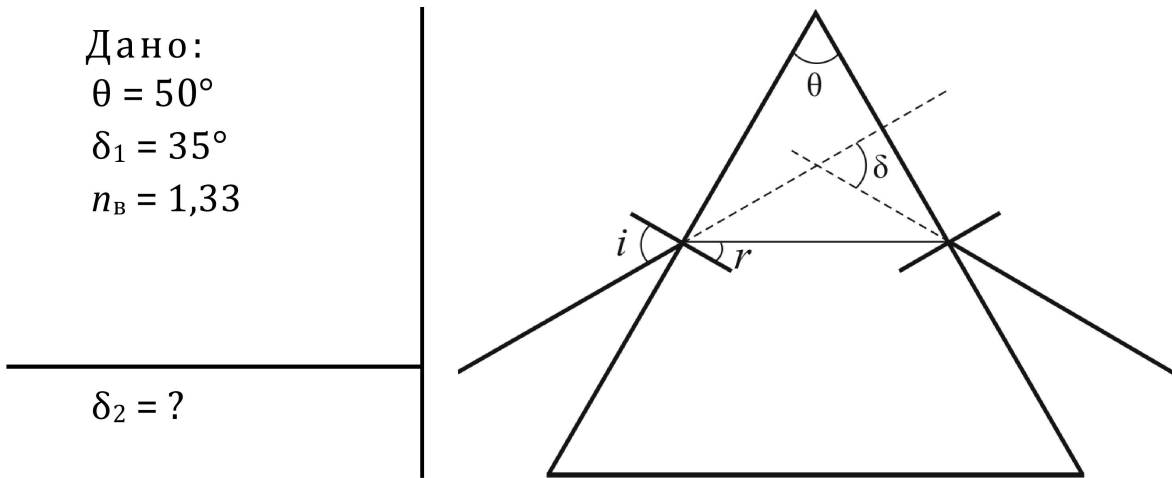
$$x = \frac{10 \sin \left(70 - \arcsin \frac{\sin 70}{1,5} \right)}{\cos \left(\arcsin \frac{\sin 70}{1,5} \right)} = 6,65 \text{ см.}$$

Відповідь: $x = 6,65$ см. Зміщення тим більше, чим більше товщина пластинки, а також залежить від кута падіння променя на пластину.

Задача 2. Призма із заломлюючим кутом 50° дає кут найменшого відхилення 35° . Який кут найменшого відхилення одержимо, якщо цю призму покладемо у воду (показник заломлення - 1,33)?

Аналіз та розв'язок

Дано:
 $\theta = 50^\circ$
 $\delta_1 = 35^\circ$
 $n_{\text{в}} = 1,33$



$\delta_2 = ?$

Запишемо формулу призми для кута найменшого відхилення для першого та другого випадків:

$$\frac{n_{\text{ск}}}{n_{\text{пов}}} = \frac{\sin \frac{\delta_1 + \theta}{2}}{\sin \frac{\theta}{2}}; \quad \frac{n_{\text{ск}}}{n_{\text{води}}} = \frac{\sin \frac{\delta_2 + \theta}{2}}{\sin \frac{\theta}{2}}.$$

Поділимо ліві та праві частини рівнянь, одержимо

$$\frac{n_{\text{ск}} \cdot n_{\text{води}}}{n_{\text{пов}} \cdot n_{\text{ск}}} = \frac{\sin \frac{\delta_1 + \theta}{2} \cdot \sin \frac{\theta}{2}}{\sin \frac{\theta}{2} \cdot \sin \frac{\delta_2 + \theta}{2}}.$$

Скорочуємо і одержимо

$$\frac{n_{\text{води}}}{n_{\text{пов}}} = \frac{\sin \frac{\delta_1 + \theta}{2}}{\sin \frac{\delta_2 + \theta}{2}}.$$

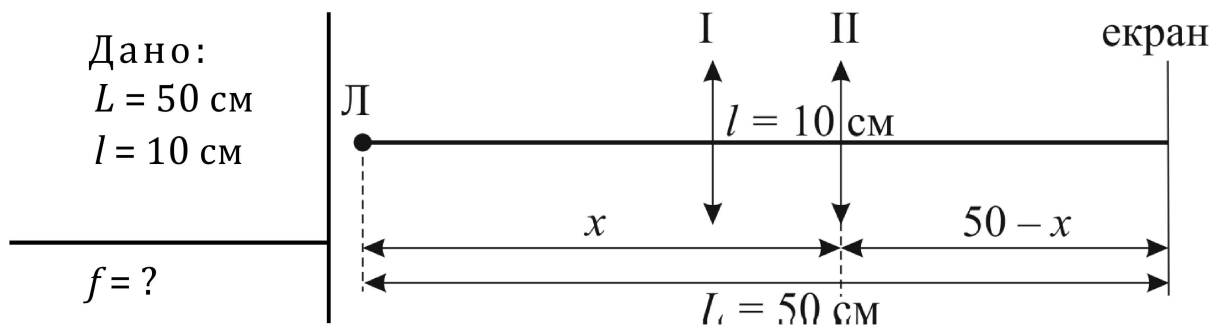
Знайдемо $\delta_2 = 2 \arcsin \frac{\sin \delta_1 + \theta}{n_{\text{води}}} - \theta$.

Обчислимо $\delta_2 = 2 \arcsin \frac{\sin 42,5^\circ}{1,33} - 50 = 10,9^\circ$.

Відповідь: $\delta_2 = 10,9^\circ$, тобто кут відхилення променя зменшується при зануренні призми у воду.

Задача 3. Відстань від лампочки до екрана $L = 50$ см. Лінза, яка знаходиться між ними, дає чітке зображення лампи на екрані при двох положеннях, відстань між якими $l = 10$ см. Знайти фокусну відстань лінзи.

Аналіз та розв'язок



Запишемо формулу лінзи для першого та другого випадків:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{50-x} + \frac{1}{x} \quad \text{та} \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{x-10} + \frac{1}{50-x+10}$$

Прирівнюємо: $\frac{1}{50-x} + \frac{1}{x} = \frac{1}{x-10} + \frac{1}{50-x+10}$,

$50x - x^2 = 60x - 600 - x^2 + 10x$. $x = 30$ см. Підставимо в перше

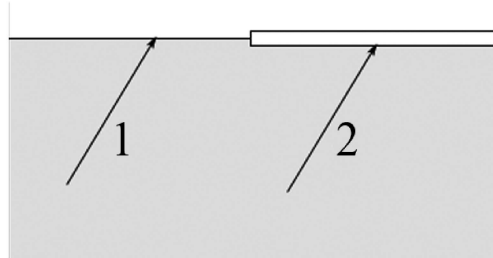
рівняння: $\frac{1}{f} = \frac{1}{20} + \frac{1}{30}$. $f = 12$ см.

Відповідь: $f = 12$ см.

Задачі для самостійного розв'язування та домашнього завдання

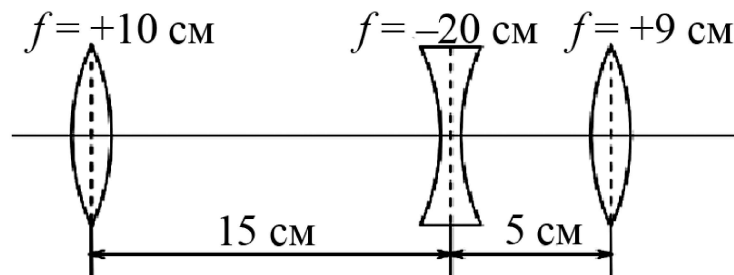
1. В яких межах може змінюватись кут відхилення променя при проходженні крізь скляну призму ($n = 1,52$), якщо її заломлюючий кут дорівнює 60° ?
2. Промінь світла падає на грань скляної призми під прямим кутом і виходить з протилежної грані, відхилившись від попереднього напрямку на кут $\delta = 25^\circ$. Знайти заломлюючий кут призми.
3. Який заломлюючий кут у скляної призми, якщо кут найменшого відхилення променя в ній дорівнює цьому заломлюючому куту?
4. На грань скляної призми із заломлюючим кутом $\theta = 60^\circ$ падає промінь світла під кутом $\alpha = 45^\circ$. Знайти кут заломлення променя при виході із призми і кут відхилення променя від початкового напрямку.
5. Заломлюючий кут призми, яка має форму гострого клина, $\alpha = 2^\circ$. Визначити кут найменшого відхилення променя при проходженні крізь призму, якщо показник заломлення скла призми $n = 1,6$.
6. Чому дорівнює кут найменшого відхилення для лінії D натрію в призмі з заломлюючим кутом $\theta = 60^\circ$? Показник заломлення призми для цієї лінії дорівнює 1,62.
7. Промінь світла падає під кутом 30° на плоскопаралельну скляну пластинку і виходить із неї паралельно падаючому променю. Показник заломлення скла 1,5. Яка товщина d пластинки, якщо відстань між променями дорівнює 1,94 см?
8. На плоскопаралельну скляну пластинку товщиною 1 см падає промінь світла під кутом 60° . Показник заломлення скла 1,73. Частина світла відбивається, а частина, заломлюючись, проходить у скло, відбивається від нижньої поверхні пластинки і, заломлюючись вторинно, виходить знову в повітря, паралельно першому відбитому променю. Знайти відстань l між променями.
9. У воді йдуть два паралельних промені 1 і 2. Промінь 1 виходить у повітря безпосередньо, а промінь 2 проходить крізь горизонтальну плоскопаралельну скляну пластинку

ку. а) Чи будуть промені 1 і 2 паралельні при виході в повітря? б) Чи вийде в повітря промінь 2, якщо промінь 1 зазнає повного внутрішнього відбивання (рисунок)?



10. Промінь світла проходить крізь декілька прозорих плоскопаралельних пластин. При кожному заломленні втрачається 0,1 частина сили світла; всередині кожної пластини поглинається 0,2 сили світла. Яка сила світла, що пройшло крізь 5 пластин, якщо початкова сила світла дорівнює 10 св?
11. При розгляді предмета крізь призму найбільша чіткість виходить при найменшому відхиленні променів. Чому?
12. а) Який заломлюючий кут у скляній призмі, якщо кут найменшого відхилення дорівнює заломлюючому куту?
б) Який повинен бути коефіцієнт заломлення середовища, з якого зроблена призма, щоб умова а) могла бути виконана?
13. Маємо дві однакові призми з заломлюючими кутами θ , які дають кут найменшого відхилення δ . Як потрібно розташувати їх, щоб промінь, проходячи крізь призми, в кожній з них відхилявся на δ ?
14. Показати на рисунку, як ідуть у призмі з приломлюючим кутом 90° і за нею два промені, які падають на призму паралельно стороні AB . Чи змінюється відстань між променями? Чи однакові довжини першого та другого променів усередині скла?
15. Лінза з фокусною відстанню $f = 10$ см зроблена зі скла з показником заломлення $n = 1,5$. Знайти фокусну відстань f' лінзи, яку розташовано у воді $n = \frac{4}{3}$.
16. Знайти фокусну відстань f двоякоопуклої лінзи, яка обмежена сферичними поверхнями з радіусами $r_1 = 25$ мм і $r_2 = 40$ мм; показник заломлення скла лінзи $n = 1,5$.

17. Лінза з показником заломлення 1,53 занурена у сірковуглець $n = 1,63$. Як зміниться фокусна відстань лінзи порівняно з фокусною відстанню її в повітрі?
18. За допомогою тонкої збиральної скляної лінзи з показником заломлення 1,5 одержано дійсне зображення предмета на відстані 10 см від лінзи. Після того, як предмет і лінзу розташували у воді, не змінюючи відстані між ними, зображення одержано на відстані 60 см від лінзи. Знайти фокусну відстань f лінзи, якщо показник заломлення води $n' = \frac{4}{3}$.
19. Зображення предмета, яке знаходилось на відстані 10 см від тонкої лінзи, пряме та збільшене у 2 рази. Визначити фокусну відстань лінзи f .
20. На систему лінз, зображених на рисунку, падає зліва паралельний пучок світла. Знайти положення точки сходження цього пучка після проходження системи.



21. Вивести формулу тонкої лінзи в формі Ньютона: $x_1 x_2 = f^2$, де x_1 – відстань джерела до переднього фокуса, а x_2 – відстань зображення до заднього фокуса.
22. Знайти головну фокусну відстань наступних лінз: 1) лінза двоякоопукла $R_1 = 15$ см, $R_2 = -25$ см; 2) лінза плоскоопукла $R_1 = 15$ см, $R_2 = \infty$; 3) лінза вигнутоопукла (додатній меніск) $R_1 = 15$ см, $R_2 = 2$ см; 4) лінза двояковигнута $R_1 = -15$ см, $R_2 = 25$ см; 5) лінза плосковигнута $R_1 = \infty$, $R_2 = -15$ см; 6) лінза опукловигнута (від'ємний меніск) $R_1 = 25$ см, $R_2 = 15$ см. Показник заломлення матеріалу лінзи 1,5.
23. Радіуси викривлення поверхонь двоякоопуклої лінзи: $R_1 = R_2 = 50$ см. Показник заломлення матеріалу лінзи дорівнює 1,5. Знайти оптичну силу лінзи.

24. Лінза з фокусною відстанню 16 см дає різке зображення предмета при двох положеннях, відстань між якими 60 см. Знайти відстань від предмета до екрана.
25. Знайти поздовжню хроматичну аберацію двоякоопуклої лінзи з флінтгласу з однаковими радіусами викривлення $|R_1| = |R_2| = 8$ см. Показники заломлення флінтгласу для червоного та фіолетового променів дорівнюють, відповідно, 1,5 та 1,8 ($\lambda_{\text{черв}} = 7,6 \cdot 10^{-5}$ см, $\lambda_{\text{ф}} = 4,3 \cdot 10^{-5}$ см).
26. Шляхом побудування знайти побічний фокус двоякоопуклої лінзи для похилого паралельного пучка світла, який падає на лінзу (f лінзи задано).
27. Знайти точку перетинання променя з оптичною віссю (рисунок).

