

## § 41. ЛІНЗИ. ПОБУДОВА ЗОБРАЖЕНЬ, ЯКІ ДАЄ ТОНКА ЛІНЗА

?!

Ви вже знаєте, що заломлення світла використовується в лінзах. Правила побудови зображень, отримуваних за допомогою лінз, відомі ще із Середньовіччя. Так, одними з перших, використовуючи лінзи, голландський оптик Захарій Янсен у 1590 р. сконструював мікроскоп, а в 1609 р. Галілео Галілей винайшов телескоп. Отже, згадаємо основні характеристики лінз.

1

### Що таке лінза

**Лінза** (сферична) — прозоре тіло, обмежене з двох боків сферичними поверхнями (зокрема, одна з поверхонь може бути площиною).

За формою лінзи поділяють на *опуклі* та *увігнуті* (рис. 41.1).

Якщо товщина лінзи  $d$  в багато разів менша за радіуси  $R_1$  і  $R_2$  сферичних поверхонь, що обмежують лінзу, то таку лінзу називають *тонкою* (рис. 41.2). Далі, говорячи про лінзу, ми матимемо на увазі тонку лінзу.

Пряма, яка проходить через центри сферичних поверхонь, що обмежують лінзу, називається *головною оптичною віссю лінзи*. Точку лінзи, яка розташована на головній оптичній осі і через яку промені світла проходять, не змінюючи свого напрямку, називають *оптичним центром лінзи*.

Лінза є *збиральною*, якщо паралельні промені, пройшовши крізь неї, перетинаються в одній точці. Цю точку називають *дійсним фокусом збиральної лінзи* (рис. 41.3).

Лінза є *розсіювальною*, якщо паралельні промені після проходження крізь неї виходять розбіжним пучком. Продовження променів збираються в одній точці на фокальній площині лінзи. Цю точку називають *уявним фокусом розсіювальної лінзи* (рис. 41.4).

Точку  $F$ , в якій збираються промені, паралельні головній оптичній осі лінзи, називають *головним фокусом лінзи*.

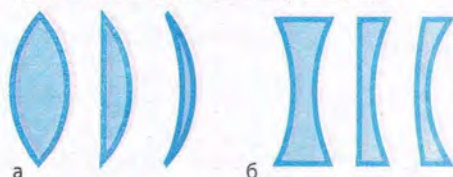


Рис. 41.1. Різні види лінз у розрізі: а — опуклі лінзи (двоопукла, плоско-опукла, увігнута-опукла); б — увігнуті лінзи (двоувігнута, плоско-увігнута, опукло-увігнута)

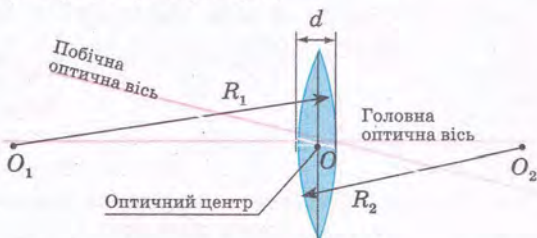


Рис. 41.2. Тонка сферична лінза:  $d \ll R_1$ ,  $d \ll R_2$

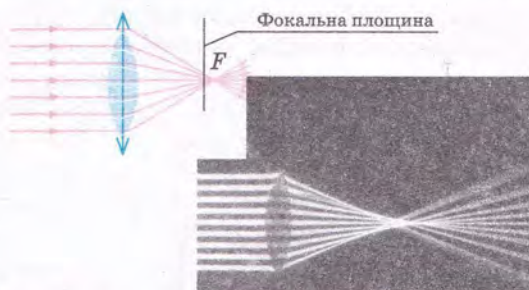


Рис. 41.3. Хід променів у збиральній лінзі. Точка  $F$  — дійсний головний фокус лінзи



Рис. 41.4. Хід променів у розсіювальній лінзі. Точка  $F_1$  — уявний фокус лінзи



## 2 Які фізичні величини характеризують лінзу

**Фокусна відстань лінзи  $F$**  — відстань від оптичного центра лінзи до її головного фокуса\*.

Одиниця фокусної відстані лінзи в СІ — метр (м). Фокусну відстань збиральної лінзи вважають додатною ( $F > 0$ ), а розсіювальної — від'ємною ( $F < 0$ ).

Очевидно, що чим сильніші заломлювальні властивості лінзи, тим меншою є її фокусна відстань.

**Оптична сила лінзи  $D$**  — фізична величина, яка характеризує заломлювальні властивості лінзи та обернена до її фокусної відстані:

$$D = \frac{1}{F}$$

Одиниця оптичної сили — діоптрія (дптр). 1 діоптрія — це оптична сила такої лінзи, фокусна відстань якої дорівнює 1 м.

Якщо лінза збиральна, то її оптична сила є додатною, якщо розсіювальна — від'ємною. Наприклад, якщо оптична сила лінз в одних окулярах +3 дптр, а в інших -3 дптр, це означає, що в перших окулярах стоять збиральні лінзи, а в других — розсіювальні.

\* Оптичну силу лінзи визначають за формулою:

$$D = \left( \frac{n_n}{n_{\text{ср}}} - 1 \right) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right),$$

де  $n_n$ ,  $n_{\text{ср}}$  — абсолютні показники заломлення відповідно матеріалу лінзи та середовища, в якому перебуває лінза;  $R_1$  і  $R_2$  — радіуси сферичних поверхонь, що обмежують лінзу. Для опуклої поверхні  $R$  беруть зі знаком «+», для увігнутої — зі знаком «-», для плоскої —  $R = \infty$ .

Аналіз формули свідчить: якщо  $n_n > n_{\text{ср}}$ , то опукла лінза є збиральною, а увігнута — розсіювальною; якщо  $n_n < n_{\text{ср}}$ , то опукла лінза є розсіювальною, а увігнута — збиральною.

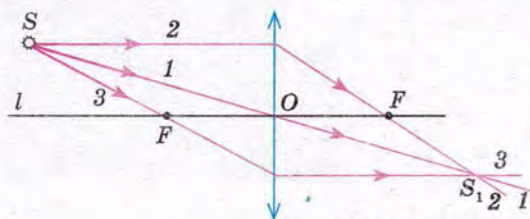


Рис. 41.5. Три найпростіші у побудові промені: 1 — промінь, що проходить через оптичний центр  $O$  (не заломлюється); 2 — промінь, паралельний головній оптичній осі  $l$  (після заломлення в лінзі йде через фокус); 3 — промінь, що проходить через фокус  $F$  (після заломлення в лінзі йде паралельно головній оптичній осі)

## 3 Як побудувати зображення предмета, що дає тонка лінза

Розглянемо спочатку, як побудувати зображення точки  $S$ , що отримується за допомогою лінзи. Для цього необхідно знайти точку перетину  $S_1$  променів, що виходять із точки  $S$  та проходять крізь лінзу. Оскільки в точці  $S_1$  перетинаються всі промені, що виходять із точки  $S$ , то для побудови зображення достатньо двох

\* Надалі головний фокус лінзи будемо називати фокусом лінзи.



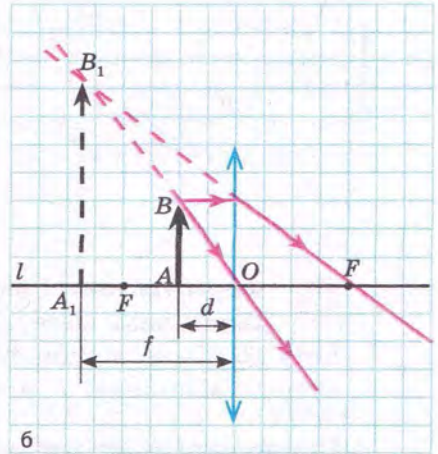
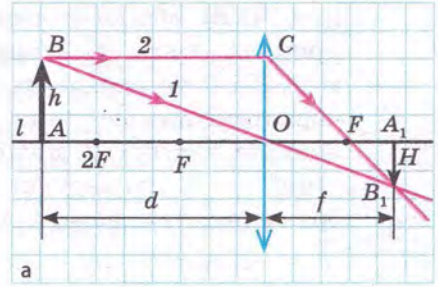
променів (будь-яких із трьох, показаних на рис. 41.5). Точка  $S_1$  буде дійсним зображенням точки  $S$ , якщо в точці  $S_1$  перетинаються саме промені, що виходять із точки  $S$  та заломлюються в лінзі. Точка  $S_1$  буде уявним зображенням точки  $S$ , якщо в точці  $S_1$  перетинаються продовження променів, що виходять із точки  $S$ .

Зобразимо схематично предмет стрілкою  $AB$  і віддалимо його від лінзи на відстань більше  $2F$  (рис. 41.6, а). Спочатку побудуємо зображення точки  $B$ , для чого скористаємося двома променями (промені 1 і 2). Після заломлення в лінзі вони перетнуться в точці  $B_1$ . Отже, точка  $B_1$  є дійсним зображенням точки  $B$ . Для побудови зображення точки  $A$  проведемо перпендикуляр із точки  $B_1$  на головну оптичну вісь  $l$ . Точка  $A_1$  перетину перпендикуляра й осі  $l$  є зображенням точки  $A$ . Отже,  $A_1B_1$  — зображення предмета  $AB$ , одержане за допомогою лінзи. Ми бачимо: якщо предмет розташований за подвійним фокусом збиральної лінзи, то його зображення, одержане за допомогою лінзи, є зменшеним, перевернутим, дійсним. Таке зображення виходить, наприклад, на сітківці ока або на матриці фотоапарата.

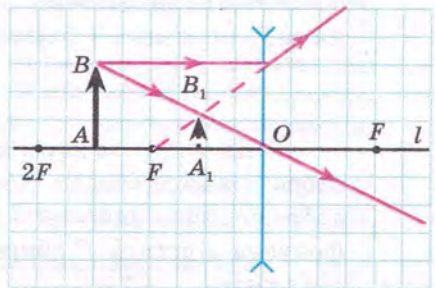
На рис. 41.6, б показано побудову зображення предмета  $AB$ , одержаного за допомогою збиральної лінзи, у випадку, коли предмет розташований між фокусом і лінзою. Таким чином, розміри та вид зображення, одержаного за допомогою збиральної лінзи, залежать від відстані між предметом і лінзою.

Побудова зображень предмета, одержаних за допомогою розсіювальної лінзи (рис. 41.7), показує, що розсіювальна лінза завжди дає уявне, зменшене, пряме зображення предмета.

Ми часто стикаємося із ситуацією, коли предмет значно більший, ніж лінза



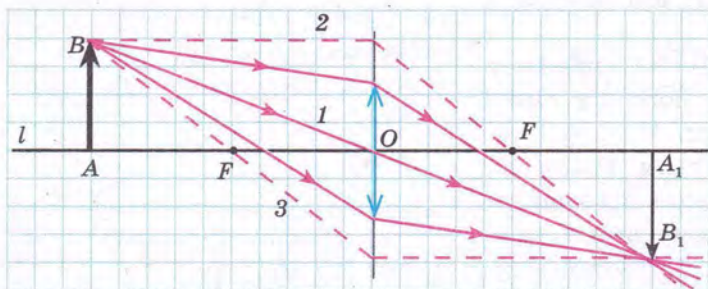
**Рис. 41.6.** Побудова зображення  $A_1B_1$  предмета у збиральній лінзі: а — предмет  $AB$  розташований за подвійним фокусом; б — предмет  $AB$  розташований між фокусом і лінзою, зображення предмета є збільшеним, прямим, уявним



**Рис. 41.7.** Побудова зображення  $A_1B_1$  предмета  $AB$ , розташованого між фокусом і подвійним фокусом розсіювальної лінзи



(рис. 41.8), або коли частина лінзи закрита непрозорим екраном (наприклад, лінза об'єктива фотоапарата). На рис. 41.8 видно, що промені 2 і 3 не проходять крізь лінзу, але їх, як і раніше, можна використати для побудови зображення. Оскільки реальні промені, що вийшли з точки  $B$ , після заломлення в лінзі перетинаються в одній точці —  $B_1$ , то «зручні промені», за допомогою яких будується зображення, теж перетиналися б у точці  $B_1$ .



**Рис. 41.8.** Побудова зображення  $A_1B_1$  предмета  $AB$  у випадку, коли предмет є значно більшим за лінзу

#### 4 Формула тонкої лінзи. Лінійне збільшення лінзи

Встановимо математичну залежність між відстанню  $d$  від предмета до лінзи, відстанню  $f$  від зображення предмета до лінзи і фокусною відстанню  $F$  лінзи. Для цього скористаємося рис. 41.6, а.

Прямокутні трикутники  $FOC$  і  $FA_1B_1$  подібні, тому  $\frac{OC}{A_1B_1} = \frac{FO}{FA_1}$  або

$$\frac{h}{H} = \frac{F}{f - F}. \quad (1)$$

Прямокутні трикутники  $ABO$  і  $A_1B_1O$  подібні, отже,  $\frac{AB}{A_1B_1} = \frac{AO}{A_1O}$  або

$$\frac{h}{H} = \frac{d}{f}. \quad (2)$$

Прирівнявши праві частини рівнянь (1) і (2), маємо:  $\frac{F}{f - F} = \frac{d}{f}$ ;

$Ff = df - dF$ ;  $df = Ff + dF$ . Поділивши обидві частини останньої рівності на  $dfF$ , отримаємо **формулу тонкої лінзи**:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

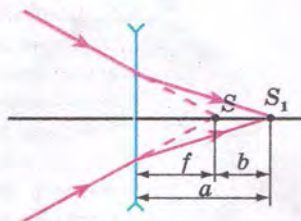
Під час розв'язування задач слід мати на увазі: відстань  $f$  (від зображення предмета до лінзи) потрібно брати зі знаком «-», якщо зображення є уявним, і зі знаком «+», якщо зображення є дійсним; фокусна відстань  $F$  збиральної лінзи є додатною, а розсіювальної — від'ємною.

Відношення лінійного розміру  $H$  зображення предмета до розміру  $h$  самого предмета називається **лінійним збільшенням  $\Gamma$  лінзи**:

$$\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}$$

## 5 Учимся розв'язувати задачі

**Задача.** На розсіювальну лінзу падає збіжний пучок променів (рисунок). Після заломлення в лінзі промені перетинаються в точці, розташованій на відстані  $a$  від лінзи. Якщо лінзу прибрати, то точка перетину променів переміститься ближче до місця, де перебувала лінза, на відстань  $b$ . Визначте фокусну відстань лінзи.



*Аналіз фізичної проблеми, пошук математичної моделі, розв'язання*

Скористаємося оборотністю світлових променів. Тоді точка  $S_1$ , у якій збігаються промені за наявності лінзи, відіграє роль джерела світла, з якого промені йдуть розбіжним пучком; а точка  $S$ , у якій збігаються промені за відсутності лінзи, відіграє роль уявного зображення. Враховуючи, що  $f$  потрібно брати зі знаком «-», запишемо формулу тонкої лінзи:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}, \text{ або } F = \frac{df}{f-d}.$$

З рисунка бачимо, що  $d = a$ ,  $f = a - b$ , отже,

$$F = \frac{a(a-b)}{(-b)} = \frac{a(b-a)}{b}.$$

*Аналіз результату*

Оскільки за умовою задачі  $b < a$ , то вираз  $(b-a)$  є від'ємним, тому від'ємною є і фокусна відстань ( $F < 0$ ), що відповідає розсіювальній лінзі.

Відповідь:  $F = \frac{a(b-a)}{b}.$

## Підбиваємо підсумки

Прозоре тіло, обмежене з двох боків сферичними поверхнями, називають лінзою. Лінзи бувають збиральними і розсіювальними, а за формою — опуклими і ввігнутими.

Лінза називається збиральною, якщо паралельні промені, що падають на неї, після заломлення в лінзі перетинаються в одній точці. Ця точка називається дійсним фокусом лінзи.

Лінза називається розсіювальною, якщо паралельні промені, що падають на неї, після заломлення в лінзі йдуть розбіжним пучком. Точка, в якій перетинаються продовження цих заломлених променів, називається уявним фокусом лінзи.

Фізична величина, що характеризує заломлювальні властивості лінзи та є оберненою до її фокусної відстані, називається оптичною силою лінзи:  $D = \frac{1}{F}$ . Оптична сила лінзи вимірюється в діоптріях (дптр).

Відстань  $d$  від предмета до лінзи, відстань  $f$  від зображення предмета до лінзи і фокусна відстань  $F$  пов'язані формулою тонкої лінзи:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}.$$

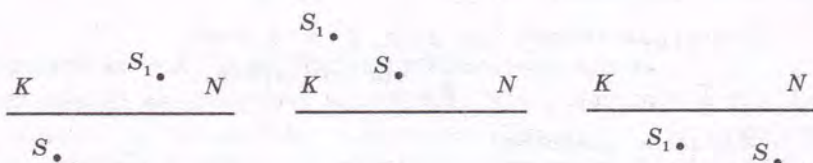


**Контрольні запитання**

1. Що називають лінзою? 2. Які види лінз вам відомі? 3. Чим розсіювальна лінза відрізняється від збиральної? 4. Що називають дійсним фокусом лінзи? 5. Чому фокус розсіювальної лінзи називають уявним? 6. Яку фізичну величину називають оптичною силою лінзи? За якою формулою вона визначається? 7. Оптичну силу якої лінзи взято за одиницю? 8. Які промені використовують для побудови зображення, одержуваного за допомогою лінзи? 9. Від чого залежать характеристики зображень, одержуваних за допомогою лінз? 10. Які фізичні величини пов'язує формула тонкої лінзи? Якого правила слід дотримуватися, застосовуючи цю формулу?

**Вправа № 31**

- У склі є порожнина у вигляді двоопуклої лінзи. Яка це лінза — збиральна чи розсіювальна? Відповідь обґрунтуйте.
- На рисунку показано головну оптичну вісь  $KN$  лінзи, світну точку  $S$  та її зображення  $S_1$ . Перенесіть рисунок у зошит і за допомогою відповідних побудов визначте для кожного випадку розташування оптичного центра та фокусів лінзи, тип лінзи й вид зображення.



- Предмет розташований на відстані 1 м від лінзи, а його уявне зображення — на відстані 25 см від лінзи. Визначте оптичну силу лінзи. Яка це лінза — збиральна чи розсіювальна?
- Для отримання зображення предмета в натуральну величину його помістили на відстані 25 см від лінзи. Визначте оптичну силу лінзи. Яка це лінза — збиральна чи розсіювальна?
- Якщо предмет розташований на відстані 36 см від збиральної лінзи, то висота його зображення 10 см, а якщо на відстані 24 см — то висота його зображення 20 см. Визначте фокусну відстань лінзи та висоту предмета.