

## § 27. ПОБУДОВА ЗОБРАЖЕНЬ, ЩО ДАЄ ТОНКА ЛІНЗА. ФОРМУЛА ТОНКОЇ ЛІНЗИ

■ Зараз нікого не дивує, що можна побачити бактерії та інші мікроорганізми, роздивитися невидимі для неозброєного ока деталі рельєфу поверхні Місяця або помилуватися портретом, намальованим на маковому зернятку. Усе це є можливим тому, що за допомогою лінзи одержують різні за розміром зображення предметів.

1

### Спостерігаємо зображення предмета, одержане за допомогою лінзи

Розташувавши послідовно запалену свічку, збиральну лінзу й екран, одержимо на екрані чітке зображення полум'я свічки (рис. 3.59). Зображення може бути як більшим, так і меншим за саме полум'я або рівним йому — залежно від відстані між свічкою і екраном. Щоб з'ясувати, за яких умов за допомогою лінзи утворюється те чи інше зображення предмета, розглянемо прийоми його побудови.

2

### Вчимося будувати зображення предмета, що дає тонка лінза

Будь-який предмет можна уявляти як сукупність точок. Кожна точка предмета, що світиться власним або відбитим світлом, випускає промені у всіх напрямках. Для побу-



**Рис. 3.59.** Отримання зображення полум'я свічки за допомогою збиральної лінзи

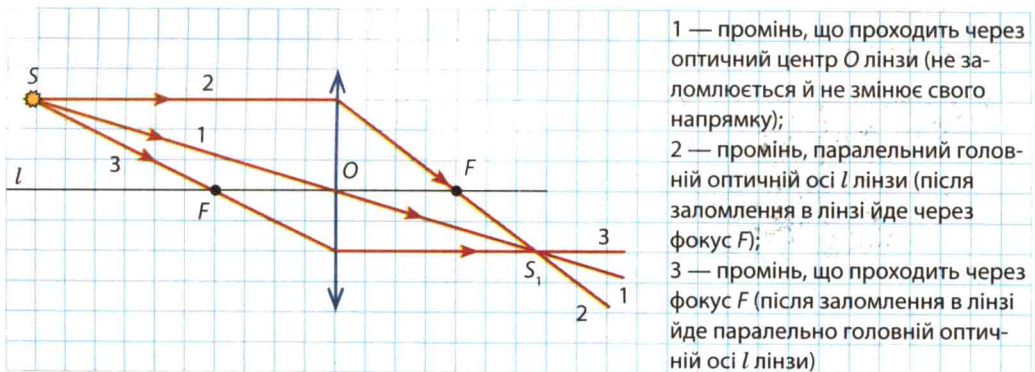


Рис. 3.60. Три найпростіші в побудові промені («зручні промені»)

дови зображення точки  $S$ , яке отримується за допомогою лінзи, достатньо знайти точку перетину  $S_1$  будь-яких двох променів, що виходять із точки  $S$  та проходять крізь лінзу (точка  $S_1$  і буде дійсним зображенням точки  $S$ ). До речі, у точці  $S_1$  перетинаються всі промені, що виходять із точки  $S$ , однак для побудови зображення достатньо двох променів (будь-яких із трьох показаних на рис. 3.60).

Зобразимо схематично предмет стрілкою  $AB$  і віддаємо його від лінзи на відстань, яка більша, ніж  $2F$  (за подвійним фокусом) (рис. 3.61, а). Спочатку побудуємо зображення  $B_1$  точки  $B$ . Для цього скористаємося двома «зручними» променями (промінь 1 та промінь 2). Ці промені після заломлення в лінзі перетнуться в точці  $B_1$ . Отже, точка  $B_1$  є зображенням точки  $B$ . Для побудови зображення  $A_1$  точки  $A$  із точки  $B_1$  проведемо перпендикуляр на головну оптичну вісь  $l$ . Точка перетину перпендикуляра і осі  $l$  і є точкою  $A_1$ .

Отже,  $A_1B_1$  і є зображенням предмета  $AB$ , яке одержуємо 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 плівці фотоапарата (рис. 3.61, б) або сітківці ока.

На рис. 3.62, а показано побудову зображення предмета  $AB$ , одержаного за допомогою збиральної лінзи, у випадку, коли предмет розташований

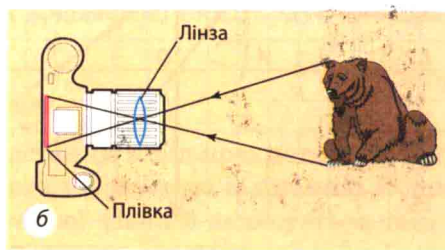
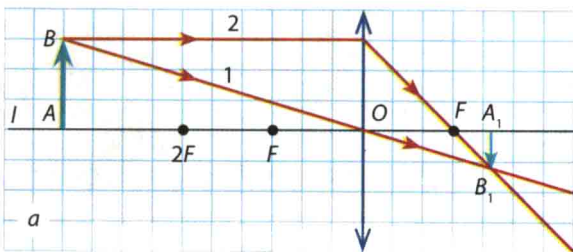
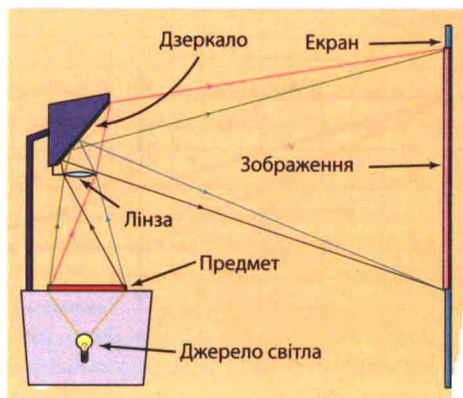
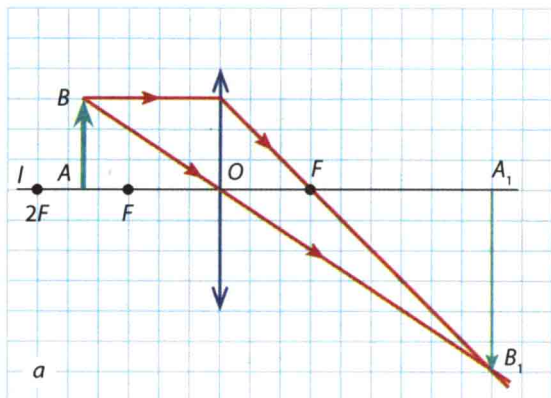


Рис. 3.61. а — побудова зображення  $A_1B_1$  предмета у збиральній лінзі: предмет  $AB$  розташований за подвійним фокусом лінзи; б — хід променів у фотоапараті

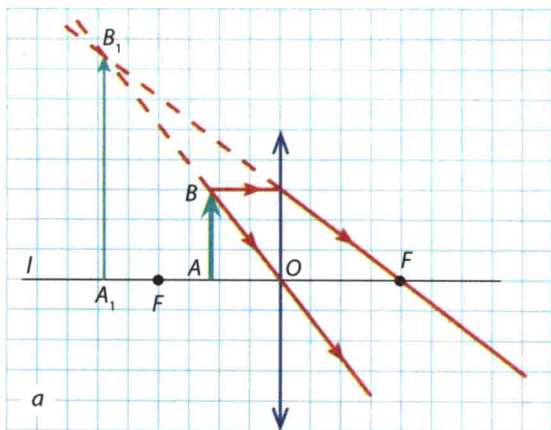


**Рис. 3.62.** а — побудова зображення  $A_1B_1$  предмета у збиральній лінзі: предмет  $AB$  розташований між фокусною і подвійною фокусною відстанями; б — хід променів у проекційному апараті

між фокусом і подвійним фокусом. Зображення предмета в цьому випадку є збільшеним, перевернутим, дійсним. Таке зображення дозволяє одержати проекційна апаратура на екрані (рис. 3.62, б).

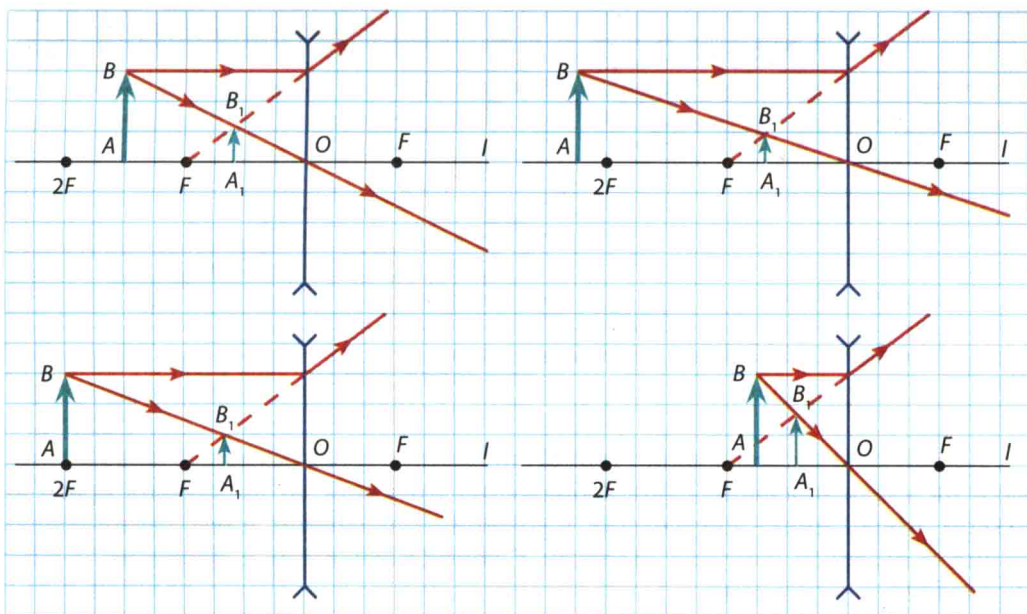
Якщо помістити предмет між фокусом і лінзою, то зображення на екрані ми не побачимо. Але, подивившись на предмет крізь лінзу, побачимо зображення предмета — воно буде пряме, збільшене.

Використовуючи «зручні промені» (рис. 3.63, а), побачимо, що після заломлення в лінзі реальні промені, які вийшли з точки  $B$ , підуть розбіжним пучком. Однак їхні продовження перетнуться в точці  $B_1$ . Нагадаємо, що в цьому випадку ми маємо справу з уявним зображенням предмета. Тобто якщо предмет розташований між фокусом і лінзою, то його зображення буде збільшеним, прямим, уявним, розташованим з того самого боку від лін-



**Рис. 3.63.** а — побудова зображення  $A_1B_1$  предмета у збиральній лінзі: предмет  $AB$  розташований між лінзою та її фокусом; б — за допомогою лупи можна отримати збільшене зображення предмета й розглянути його детальніше





**Рис. 3.64.** Побудова зображень  $A_1B_1$  предмета, створюваних розсіювальною лінзою, у разі різного розташування предмета  $AB$  відносно лінзи

зи, що й сам предмет. Таке зображення можна отримати за допомогою лупи (рис. 3.63, б) або мікроскопа.

Отже, розміри та вид зображення, одержаного за допомогою збиральної лінзи, залежать від відстані між предметом і цією лінзою.

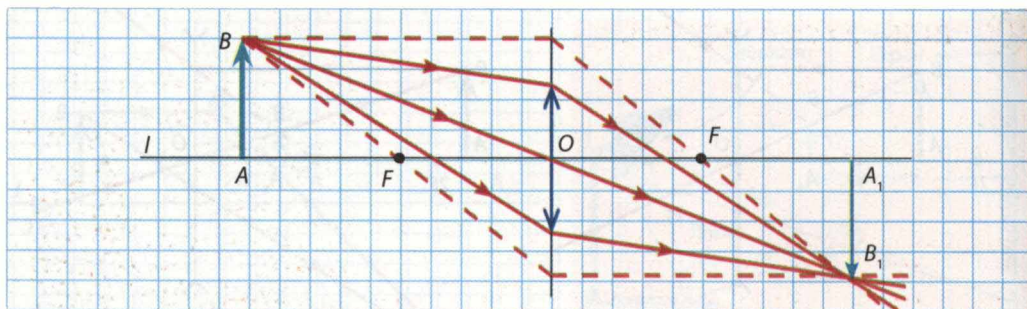
Уважно розгляньте рис. 3.64, на якому показано побудову зображення предмета, одержаного за допомогою розсіювальної лінзи. Побудова показує, що розсіювальна лінза завжди дає уявне, зменшене, пряме зображення предмета, розташоване з того самого боку від лінзи, що й сам предмет.

Ми часто зустрічаємось із ситуацією, коли предмет значно більший, ніж лінза (рис. 3.65), чи коли частина лінзи закрита непрозорим екраном (наприклад, лінза об'єктива фотоапарата). Як створюється зображення в цих випадках? На рисунку видно, що промені 2 і 3 при цьому не проходять крізь лінзу. Однак ми, як і раніше, можемо використовувати ці промені для побудови зображення, одержуваного за допомогою лінзи. Оскільки реальні промені, що вийшли з точки  $B$ , після заломлення в лінзі перетинаються в одній точці —  $B_1$ , то «зручні промені», за допомогою яких будуюмо зображення, теж перетнулися б у точці  $B_1$ .

### 3 Знайомимося з формулою тонкої лінзи

Існує математична залежність між відстанню  $d$  від предмета до лінзи, відстанню  $f$  від зображення предмета до лінзи і фокусною відстанню  $F$  лінзи. Ця залежність називається **формулою тонкої лінзи** й записується так:

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



**Рис. 3.65.** Побудова зображення  $A_1B_1$  предмета у випадку, коли предмет  $AB$  є значно більшим за лінзу

Користуючись формулою тонкої лінзи для розв'язування задач, слід мати на увазі: *відстань  $f$*  (від зображення предмета до лінзи) слід брати зі знаком *мінус*, якщо зображення є *уявним*, і зі знаком *плюс*, якщо зображення є *дійсним*; фокусна відстань  $F$  збиральної лінзи є додатною, а розсіювальної — від'ємною.

4

### Вчимося розв'язувати задачі

**Задача.** Роздивляючись монету за допомогою лупи, оптична сила якої  $+5$  дптр, хлопчик розташував монету на відстані  $2$  см від лупи. Визначте, на якій відстані від лупи хлопчик спостерігав зображення монети. Яким є це зображення — дійсним чи уявним?

Дано:

$$d = 2 \text{ см} = 0,02 \text{ м}$$

$$D = +5 \text{ дптр}$$

$f = ?$

*Аналіз фізичної проблеми, пошук математичної моделі*

Лупу можна вважати тонкою лінзою, тому, щоб знайти відстань від лупи до зображення, скористаємося формулою тонкої лінзи:

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

Фокусна відстань  $F$  невідома, але ми знаємо, що  $\frac{1}{F} = D$  (2),

де  $D$  — оптична сила лінзи, яку дано в умові задачі.

*Розв'язання та аналіз результатів*

Підставивши формулу (2) у формулу (1), отримуємо

$$D = \frac{1}{f} + \frac{1}{d}. \text{ Звідси дістанемо: } \frac{1}{f} = D - \frac{1}{d} = \frac{Dd - 1}{d}, \text{ тобто}$$

$$f = \frac{d}{Dd - 1}.$$

$$\text{Перевіримо одиницю: } [f] = \frac{\text{м}}{\text{дптр} \cdot \text{м}} = \frac{\text{м}}{\frac{1}{\text{м}} \cdot \text{м}} = \text{м}.$$

Знайдемо числове значення:

$$\{f\} = \frac{0,002}{5 \cdot 0,002 - 1} = -0,21; \quad f = -0,21 \text{ м} = -21 \text{ см}.$$

Проаналізуємо результат: знак « $-$ » говорить про те, що зображення є уявним.

**Відповідь:**  $f = -21$  см, зображення уявне.



## ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Залежно від виду лінзи (збиральна чи розсіювальна) і місця розташування предмета відносно цієї лінзи одержують різні зображення предмета за допомогою лінзи (див. таблицю):

Місце розташування предмета	Характеристика зображення	
	у збиральній лінзі	у розсіювальній лінзі
За подвійним фокусом лінзи ( $d > 2F$ )	дійсне, зменшене, перевернуте	уявне, зменшене, пряме
Між фокусом і подвійним фокусом лінзи ( $F < d < 2F$ )	дійсне, збільшене, перевернуте	
Між лінзою і фокусом ( $d < F$ )	уявне, збільшене, пряме	

Таким чином, за типом зображення можна судити як про вид лінзи, так і про місце розташування предмета відносно неї.

Відстань  $d$  від предмета до лінзи, відстань  $f$  від зображення до лінзи і фокусна відстань  $F$  пов'язані формулою тонкої лінзи:  $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$ .



## Контрольні запитання

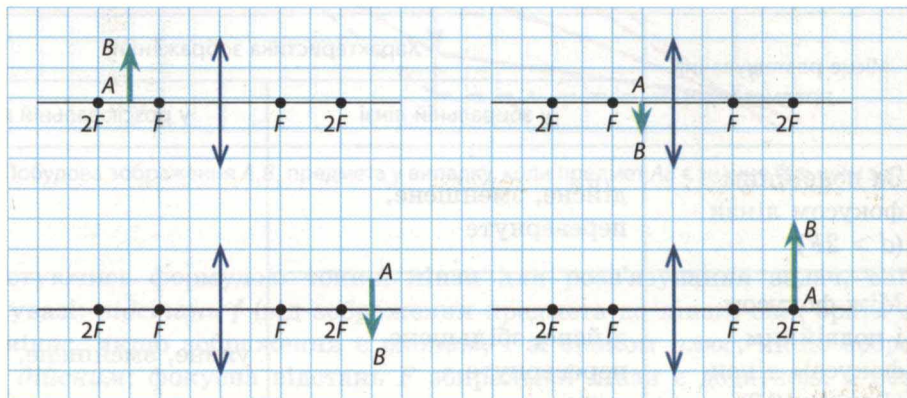
1. Від чого залежать характеристики зображень, одержуваних за допомогою збиральної лінзи? 2. Які промені зручно використовувати для побудови зображення, одержуваного за допомогою лінзи? 3. Чи можна одержати дійсне зображення за допомогою збиральної лінзи? розсіювальної лінзи? 4. Чи можна одержати уявне зображення за допомогою збиральної лінзи? розсіювальної лінзи? 5. За допомогою лінзи отримано зображення якогось предмета. У якому випадку його можна побачити на екрані — коли це зображення є дійсним чи коли воно уявне? 6. На якій відстані від лінзи має бути предмет, щоб розміри самого предмета і його зображення були однаковими? 7. Чи можна за характеристиками зображення, одержаного за допомогою лінзи, визначити, якою є ця лінза — збиральною чи розсіювальною? 8. Назвіть відомі вам оптичні прилади, у яких є лінзи. 9. Які фізичні величини пов'язує формула тонкої лінзи? 10. Якого правила слід дотримуватися, застосовуючи формулу тонкої лінзи?



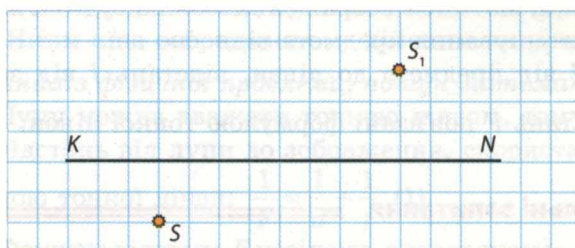


## Вправи

1. Перенесіть рисунок до зошита і для кожного випадку побудуйте зображення предмета  $AB$  у збиральній лінзі. Схарактеризуйте одержані зображення.



2. На рисунку показано головну оптичну вісь лінзи  $KN$ , світну точку  $S$  та її зображення  $S_1$ . Перенесіть рисунок до зошита й за допомогою відповідних побудов визначте розташування оптичного центра та фокусів лінзи. Визначте тип лінзи й тип зображення.



3. Предмет розташований у фокусі збиральної лінзи. Покажіть графічно, що зображення в цьому випадку не утворюється.
4. На аркуш із друкованим текстом потрапила крапля прозорого клею. Чому літери, що опинилися під краплею, здаються більшими, ніж сусідні?
5. Оптична сила лінзи 5 дптр. На якій відстані від лінзи потрібно розташувати запалену свічку, щоб одержати зображення полум'я свічки натуральної величини? Зробіть схематичне креслення, що пояснює ваше розв'язання.
6. Виконуючи лабораторну роботу, учень за допомогою лінзи дістав на екрані чітке зображення волоска розжарення електричної лампочки. Якими є фокусна відстань і оптична сила лінзи, якщо відстань від електричної лампочки до лінзи 30 см, а відстань від лінзи до екрана 15 см?

7. Предмет розташований на відстані 1 м від лінзи. Уявне зображення предмета розташоване на відстані 25 см від лінзи. Визначте оптичну силу лінзи. Якою є ця лінза — збиральною чи розсіювальною?
8. Лампочка розташована на відстані 12,5 см від збиральної лінзи, оптична сила якої 10 дптр. На якій відстані від лінзи вийде зображення лампочки?
9. За допомогою лінзи на екрані отримали чітке зображення предмета. Визначте оптичну силу лінзи, якщо предмет розташований на відстані 60 см від лінзи. Відстань між предметом та екраном дорівнює 90 см.



### Експериментальне завдання

Використовуючи свічку, збиральну лінзу й екран, отримайте на екрані збільшене зображення полум'я свічки. Затуліть половину лінзи непрозорим екраном. Опишіть і поясніть явище, яке спостерігається.

### Фізика й техніка в Україні

**Державне підприємство завод «Арсенал»** (м. Київ) було засноване в 1764 році як «арсенальні майстерні» для ремонту й виготовлення різних видів озброєнь, у тому числі артилерійських. З 1946 року підприємство перепрофілювалося на випуск оптичних, оптико-механічних і оптико-електронних приладів. Усі космічні старты колишнього СРСР і Росії забезпечувались оптико-електронними системами орієнтування, випущеними на заводі «Арсенал».

Одним із найвідоміших видів продукції заводу є *фототехніка*, історія якої почалася з першої масової фотокамери «Київ-2» (1949 р.). Фотоапарати, створені арсенальцями, використовувалися для фотозйомки з борту космічних кораблів серії «Восток», «Союз», місячних кораблів серій «Луна» і «Зонд», орбітальної станції «Салют», а також у відкритому космосі.