

Тема 29. Тонкі лінзи.

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

За формою лінзи поділяють на **опуклі** та **увігнуті** (див. рис. 1).

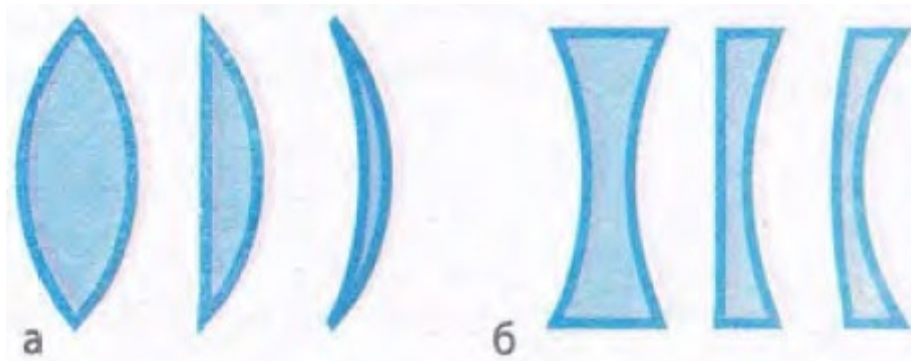


Рис. 1. Різні види лінз у розрізі: а – опуклі лінзи (двоопукла, плоско-опукла, увігнуто-опукла), б – увігнуті лінзи (двоувігнута, плоско-увігнута, опукло-увігнута).

Якщо товщина лінзи в багато разів менша за радіуси сферичних поверхонь, що обмежують лінзу, то таку лінзу називають **тонкою**. 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** (див. рис. 2, зліва).

Лінза є **розсіювальною**, якщо паралельні промені після проходження крізь неї виходять розбіжним пучком. Продовження променів збираються в одній точці. Цю точку називають **уявним фокусом розсіювальної лінзи** (див. рис. 2, справа).

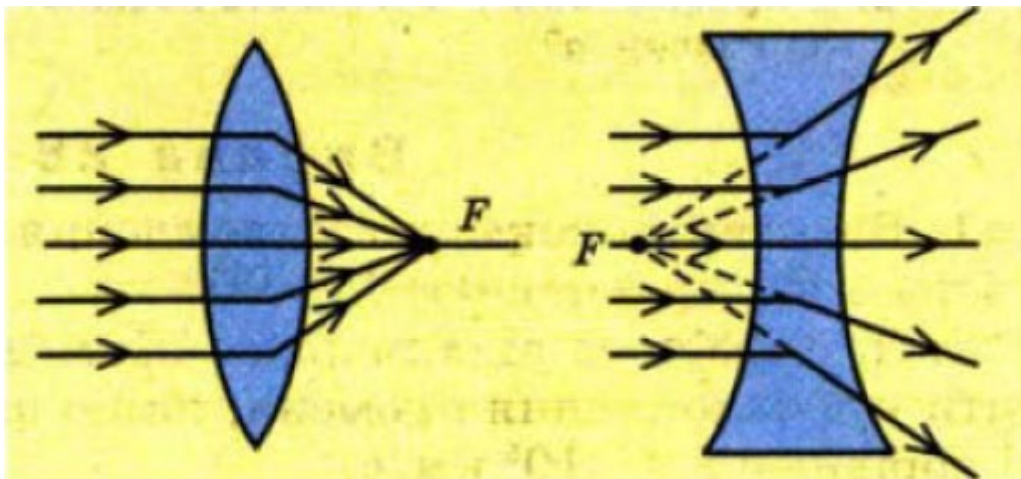


Рис. 2. Характерні точки та лінії лінз.

Фокусна відстань лінзи F – це відстань від оптичного центра лінзи до її фокуса.

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

Чим сильніші заломлювальні властивості лінзи, тим меншою є її фокусна відстань.

Оптична сила лінзи D – це фізична величина, яка характеризує заломлювальні властивості лінзи та є оберненою до її фокусної відстані:

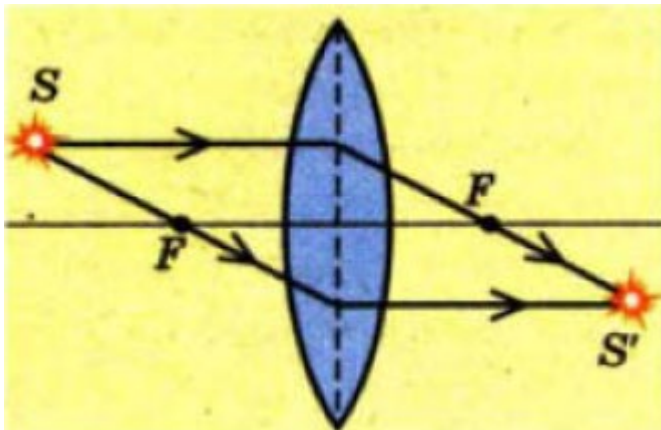
$$D = \frac{1}{F}.$$

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 розсіювальною – *від'ємною*.

Побудова зображень предмета, що дає тонка лінза

Для побудови зображення будь-якого предмета як правило користуються двома-трьома променями, що виходять з довільної точки тіла й прямують у певних характерних для лінзи напрямках. Один з таких променів напрямлений паралельно головній оптичній осі; після заломлення він перетинає вісь у фокусі лінзи (див. рис. 3). Другий промінь, який проходить через фокус, після заломлення в лінзі стає паралельним головній оптичній осі (див. рис. 3). Третім променем



можна обрати той, що проходить через оптичний центр лінзи і не заломлюється. Усі вони перетнуться в точці S' , яка відтворює зображення обраної ділянки тіла (див. рис. 3). Для побудови зображення достатньо будь-яких двох із трьох розглянутих променів.

Рис. 3. Хід променів у збиральній лінзі.

Розглянемо тепер декілька випадків розташування предмету відносно лінзи.

1. Предмет знаходиться між фокусом і подвійним фокусом лінзи (див. рис. 4). Спрямуємо два характерних промені (один – паралельний головній оптичній осі, другий – через фокус) і одержимо зображення предмета, яке знаходиться праворуч від лінзи за подвійним фокусом. Воно є дійсним, оберненим і збільшеним.

2. Предмет знаходиться у подвійному фокусі лінзи (див. рис. 5). Спрямовуємо ті самі два характерні промені – паралельний головній оптичній осі та через фокус – та одержуємо зображення предмета праворуч від лінзи, симетрично до неї, також у точці подвійного фокуса. Воно буде дійсним, оберненим і за розміром дорівнюватиме предмету.

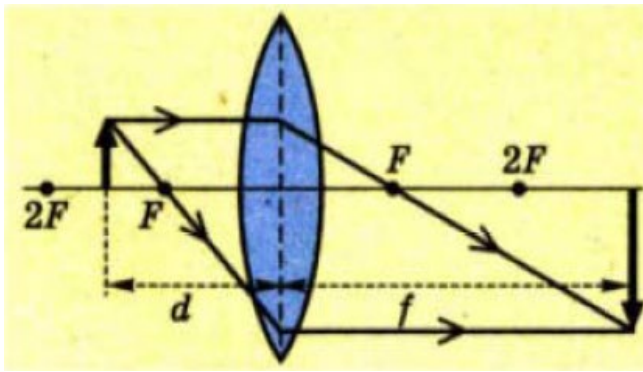


Рис. 4. Побудова зображення,
якщо $F < d < 2F$.

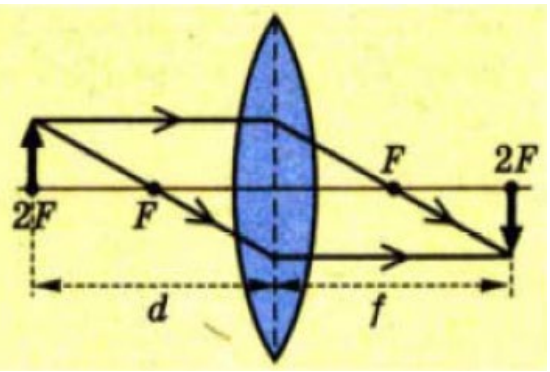


Рис. 5. Побудова
зображення, якщо $d = 2F$.

3. Предмет знаходиться за подвійним фокусом лінзи (див. рис. 6). Спрямовуємо на лінзу два характерні промені, які перетинаються в точці, що знаходиться праворуч від лінзи між фокусом і подвійним фокусом. Зображення предмета буде дійсним, оберненим і зменшеним.

4. Предмет знаходиться перед фокусом лінзи (див. рис. 7). Спрямовуємо на лінзу два характерні промені. Після заломлення в лінзі ці промені стають розбіжними. Тому продовжимо їх до перетину в точці, яка знаходиться з того самого боку від лінзи, що й предмет, – ліворуч. У такому разі одержимо зображення предмета, яке буде уявним, прямим і збільшеним.

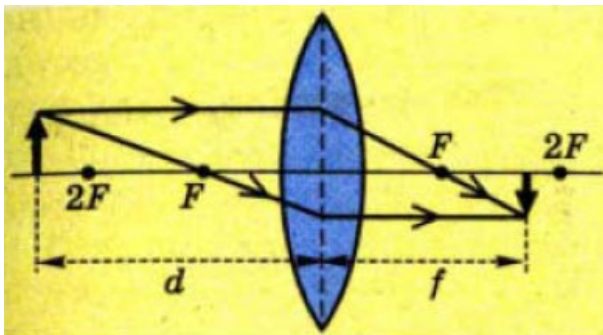


Рис. 6. Побудова зображення,
якщо $d < 2F$.

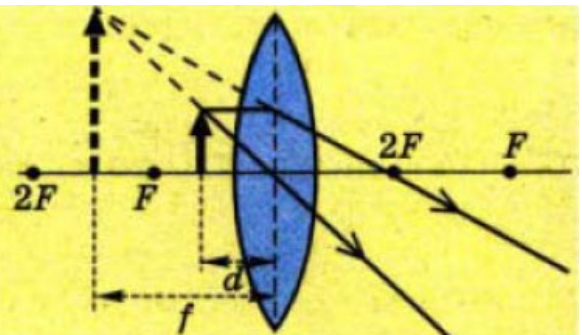


Рис. 7. Побудова зображення,
якщо $d < F$.

Зображення у розсіювальній лінзі при будь-якому розташуванні предмета є уявним, зменшеним і прямим.

Між відстанню d від предмета до лінзи, відстанню f від зображення предмета до лінзи і фокусною відстанню F лінзи існує математична залежність, яка називається **формулою 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 Γ лінзи**:

$$\Gamma = \frac{H}{h}.$$

У тонких лінзах $\Gamma = \frac{f}{d}$.

Приклад 1. У якій лінзі неможливо отримати дійсне зображення світної точки?



Відповідь: 1. Це єдина розсіювальна лінза серед наданих.

Приклад 2. Якщо предмет розташований між фокусом та розсіювальною лінзою, зображення предмета в цій лінзі:

А) уявне та збільшене;

Б) уявне та зменшене;

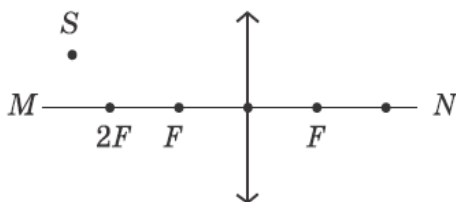
В) дійсне та збільшене;

Г) дійсне та зменшене.

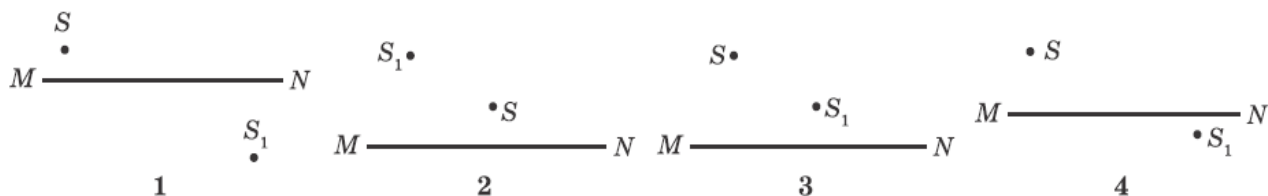
Відповідь: Б.

Приклад 3.

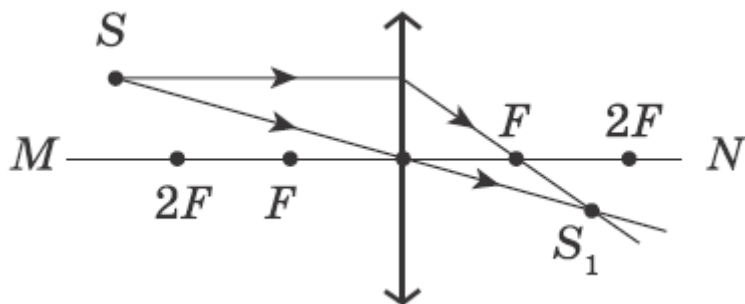
На рисунку зображено світну точку S і збиральну лінзу.



На якому з рисунків правильно показано зображення S_1 точки S ?

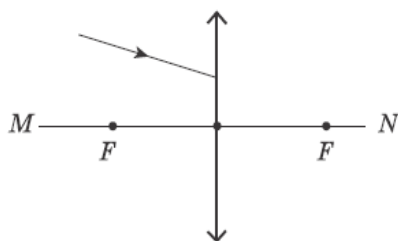


Відповідь: 4.

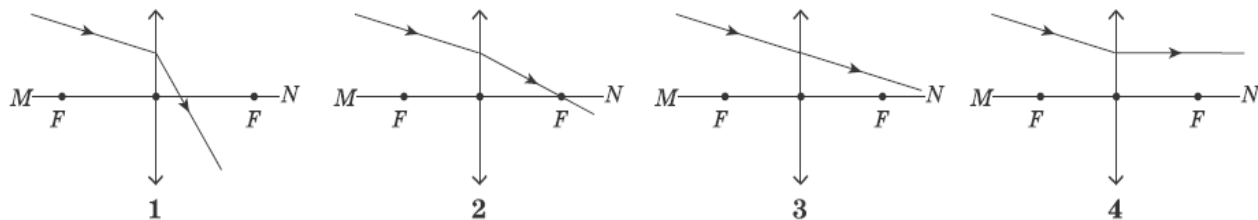


Приклад 4.

На рисунку показано світловий промінь, який падає на лінзу.



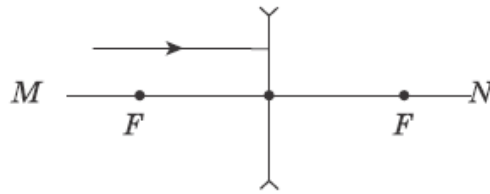
Який із рисунків правильно ілюструє подальше поширення цього променя?



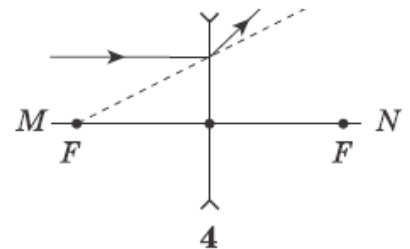
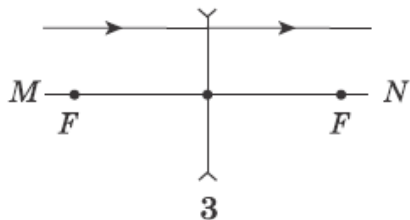
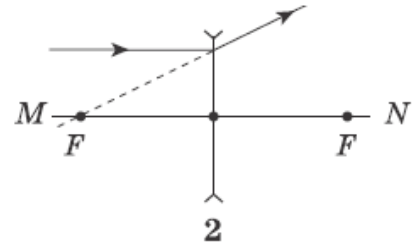
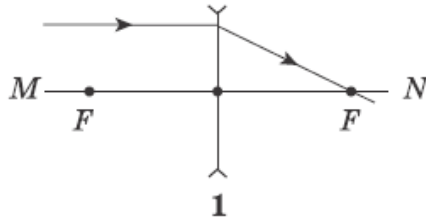
Відповідь: 1.

Приклад 5.

На рисунку показано світловий промінь, що падає на лінзу.



Який із рисунків правильно ілюструє подальше поширення цього променя?



Відповідь: 2. Промінь світла, який падає на розсіювальну лінзу паралельно до головної оптичної осі, після заломлення йде так, що його продовження вліво проходить через уявний фокус лінзи.

Приклад 6. Предмет знаходиться на відстані 3 м від збиральної лінзи, а його зображення – на відстані 15 см. Порівняйте розміри зображення та предмета.

$d = 3 \text{ м}$, $f = 0,15 \text{ м}$. $\Gamma = H/h = f/d = 0,15/3 = 0,05$, $H = 0,05h$ – в 20 разів менше.

Відповідь: розміри зображення менші у 20 разів.

Приклад 7. Якою є оптична сила збиральної лінзи, якщо зображення предмета, розташованого на відстані 60 см від лінзи, проектується на екран, до якого від лінзи – 12 см?

$d = 0,6 \text{ м}$, $f = 0,12 \text{ м}$.

$D = 1/F = 1/d + 1/f = 1/0,6 + 1/0,12 = 10/6 + 100/12 = 120/12 = 10 \text{ (дптр)}$.

Відповідь: 10 дптр.

Приклад 8. У розсіювальній лінзі отримано зображення предмета на відстані 10 см від лінзи. Якою є фокусна відстань лінзи, якщо предмет знаходився на відстані 50 см перед лінзою?

$$d = 0,5 \text{ м}, f = -0,1 \text{ м}. 1/F = 1/d + 1/f = 1/0,5 - 1/0,1 = 2 - 10 = -8 \text{ (дптр)},$$
$$F = 1/(-8) = -0,125 \text{ м} = -12,5 \text{ см}.$$

Відповідь: $-12,5 \text{ см}$.

Приклад 9. Визначте оптичну силу збиральної лінзи, в якій отримано зменшене в 4 рази дійсне зображення предмета, розташованого на відстані 25 см від лінзи.

$$d = 0,25 \text{ м}, \Gamma = H/h = 1/4 = 0,25, \Gamma = f/d = 0,25, f = 1/4d = 1/16 \text{ м}.$$

$$D = 1/d + 1/f = 1/(1/4) + 1/(1/16) = 4 + 16 = 20 \text{ (дптр)}.$$

Відповідь: 20 дптр.

Приклад 10. Установіть відповідність між розташуванням джерела світла відносно лінзи та властивостями отриманого зображення.

1 Джерело світла розташоване між подвійним фокусом та фокусом розсіювальної лінзи	А Уявне, пряме, збільшене
2 Джерело світла розташоване між подвійним фокусом та фокусом збиральної лінзи	Б Дійсне, обернене, збільшене
3 Джерело світла розташоване за подвійним фокусом збиральної лінзи	В Дійсне, пряме, збільшене
4 Джерело світла розташоване між збиральною лінзою та її фокусом	Г Уявне, пряме, зменшене
	Д Дійсне, обернене, зменшене

Відповідь: 1 – Г, 2 – Б, 3 – Д, 4 – А.

Домашнє завдання:

основне: 5.35, 5.37, 5.38, 5.41, 5.42, 5.45, 5.46.

додаткове: 5.32, 5.36, 5.39, 5.43, 5.48, 5.50.