

ТЕМА 5.1 ХВИЛЬОВА ОПТИКА

Тема 5.1.1 Лінзи та їх характеристики. Побудова зображень, одержаних за допомогою лінз. Формула тонкої лінзи. Оптичні прилади та їх застосування.


План


1. Лінза. Збиральна і розсіювальна лінзи.
2. Тонка лінза. Основні точки, лінії і площини тонкої лінзи.
3. Хід світлових променів в лінзах.
4. Побудова зображень в лінзах.
5. Фізичні характеристики лінз.
6. Оптичні прилади.
7. Ока як оптична система. Будова ока.
8. Характеристики ока


Лінза – це прозоре тіло, обмежене двома сферичними поверхнями.

Є збиральні і розсіювальні лінзи.

Збиральна лінза – це лінза, товщина середини якої більша за краї.

 - плоско опукла лінза

 - двояко опукла лінза

 - вгнуто опукла лінза


Розсіювальна лінза – це лінза, в якій краї товстіші за середину.

 — Двояко - вгнута

 — Плоско - вгнута

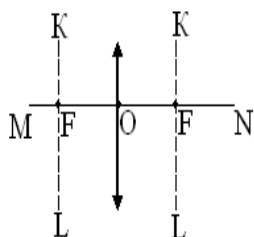
 — Опукло - вгнута

Тонка лінза – це лінза, товщина якої набагато менша радіусів кривизни.

 - збиральна лінза

 - розсіювальна лінза

Основні точки, лінії, площини лінзи.



MN – головна оптична вісь

O – оптичний центр лінзи

F – фокус ($\epsilon 2$)

KL – фокальна лінія (площина; $\epsilon 2$)

Головна властивість лінз полягає в тому, що лінзи дають зображення точки, а відповідно, й предмета як сукупності точок

Залежно від відстані між предметом і лінзою зображення предмета може бути більшим або меншим, ніж сам предмет, уявним чи дійсним.

З'ясуємо, за яких умов за допомогою лінзи утворюються ті чи інші зображення, та розглянемо прийоми їх побудови.

Шукаємо «зручні промені»

Будь-який предмет можна подати як сукупність точок. Кожна точка предмета випускає (або відбиває) промені в усіх напрямках. У створенні зображення в лінзі бере участь безліч променів, однак для побудови зображення деякої точки в досить знайти точку перетину будь-яких двох променів, що виходять із точки в і проходять крізь лінзу. Зазвичай для цього обирають два з трьох «зручних променів»

Точка в1 буде дійсним зображенням точки в, якщо в точці в1 перетинаються самі заломлені промені. Точка в1 буде уявним зображенням точки в, якщо в точці в1 перетинаються продовження заломлених променів

Для побудови зображення точки достатньо побудувати хід двох променів: точка перетину цих променів після проходження через лінзу буде зображенням точки.

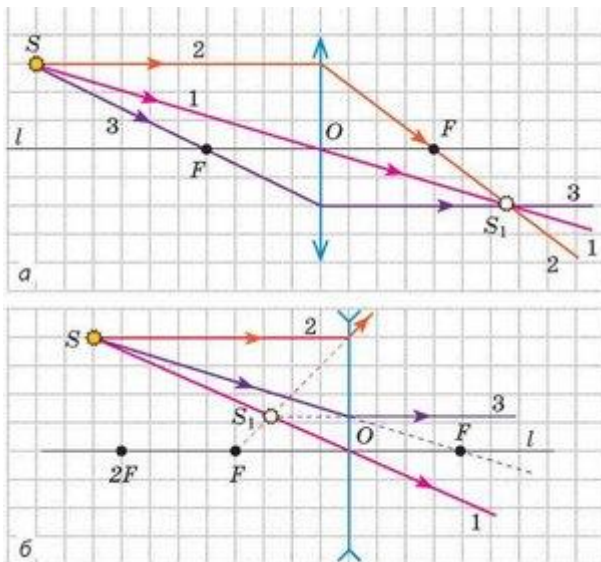


Рис. Три найпростіші в побудові промені («зручні промені»):

- 1 — промінь, який проходить через оптичний центр O лінзи, — не заломлюється та не змінює свого напрямку;
- 2 — промінь, паралельний головній оптичній осі I лінзи, — після заломлення в лінзі йде через фокус F (а) або через фокус F йде його продовження (б);
- 3 — промінь, який проходить через фокус F , — після заломлення в лінзі йде паралельно головній оптичній осі I лінзи (а, б)

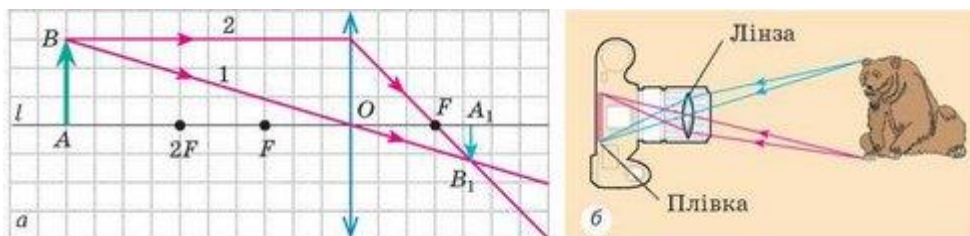


Рис. а — побудова зображення A_1B_1 предмета AB у збиральній лінзі: предмет AB розташований за подвійним фокусом лінзи; б — хід променів у фотоапараті

Побудова зображення в лінзі.

Будуємо зображення предмета, яке дає лінза

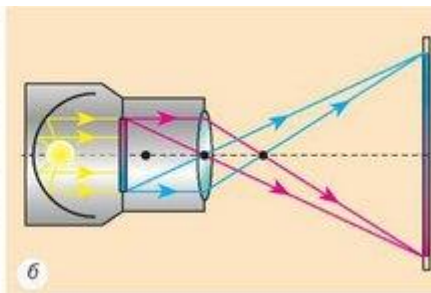
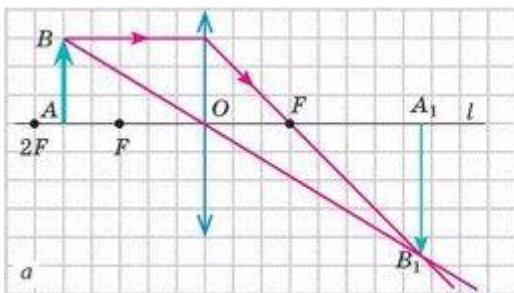
Розглянемо усі можливі випадки розташування предмета AB відносно збиральної лінзи й доведемо, що розміри та вид зображення залежать від відстані між предметом і лінзою.

1. Предмет розташований за подвійним фокусом збиральної лінзи .

Спочатку побудуємо зображення точки В. Для цього скористаємося двома променями — 1 і 2. Після заломлення в лінзі вони перетнуться в точці В₁. Отже, точка В₁ є дійсним зображенням точки В. Для побудови зображення точки А опустимо з точки В₁ перпендикуляр на головну оптичну вісь І. Точка А₁ перетину перпендикуляра та осі І і є зображенням точки А.

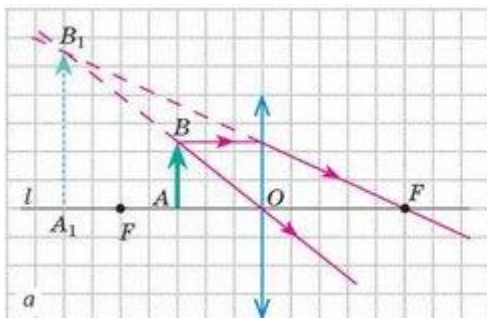
Отже, А₁В₁ — зображення предмета АВ. Бачимо, що це зображення є дійсним, зменшеним, оберненим. Таке зображення виходить, наприклад, на сітківці ока або плівці фотоапарата

2. Предмет розташований між фокусом і подвійним фокусом збиральної лінзи. Зображення предмета є дійсним, збільшеним, оберненим. Таке зображення дозволяє одержати проекційна апаратура на екрані



3. Предмет розташований між фокусом і збиральною лінзою

Після заломлення в лінзі промені, які вийшли з точки В, йдуть розбіжним пучком. Однак їхні продовження перетинаються в точці В₁.

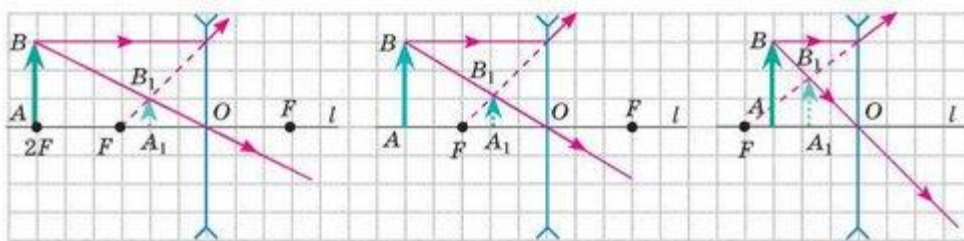


У даному випадку зображення предмета є уявним, збільшеним, прямим. Це зображення розташоване по той самий бік від лінзи, що й предмет, тому ми не можемо побачити його на екрані, але бачимо, дивлячись на предмет крізь лінзу. Саме таке зображення дає короткофокусна збиральна лінза — лупа

Яким буде зображення, якщо предмет розташувати в подвійному фокусі лінзи? Побудуйте це зображення та підтвердьте або спростуйте своє припущення.

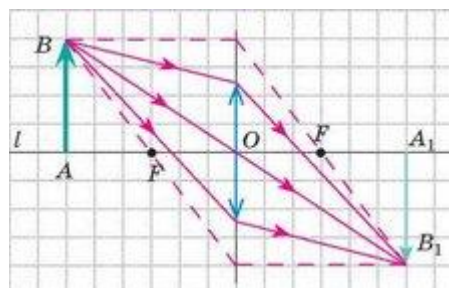
Розсіювальна лінза

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



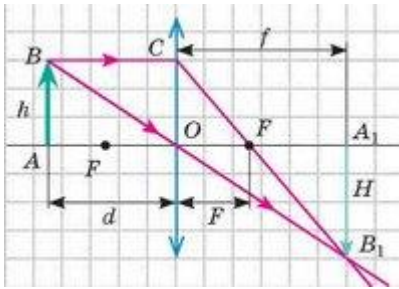
. Розсіювальна лінза завжди дає уявне, зменшене, пряме зображення

Найчастіше буває так, що предмет є більшим за лінзу або частина лінзи закрита непрозорим екраном (наприклад, лінза об'єктива фотоапарата). Чи змінюється при цьому вигляд зображення? Звичайно ж ні. Адже від кожної точки предмета на лінзу падає безліч променів, і всі вони збираються у відповідній точці зображення. Закривання частини лінзи спричинить лише те, що енергія, яка потрапляє в кожну точку зображення, зменшиться. Зображення буде менш яскравим, проте ані його вигляд, ані місце розташування не зміняться. Саме тому, будуючи зображення, ми можемо використовувати всі зручні промені, навіть ті, які не проходять крізь лінзу



Формула тонкої лінзи

Побудуємо зображення предмета у збиральній лінзі .



Розглянемо прямокутні трикутники FOC і FA₁B₁. Ці трикутники подібні, тому

$$\frac{OC}{A_1B_1} = \frac{FO}{FA_1}, \text{ або } \frac{h}{H} = \frac{F}{f-F} \quad (1).$$

Трикутники BAO і B₁A₁O теж подібні, тому $\frac{AB}{A_1B_1} = \frac{AO}{A_1O}$, або $\frac{h}{H} = \frac{d}{f}$ (2).

Прирівнявши праві частини рівностей (1) і (2), маємо $\frac{F}{f-F} = \frac{d}{f}$, тобто $Ff = df - dF$, або $df = Ff + dF$. Поділивши обидві частини останньої рівності на fdF , отримаємо **формулу тонкої лінзи**:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}, \text{ або } D = \frac{1}{d} + \frac{1}{f},$$

де $D = \frac{1}{F}$ — оптична сила лінзи.

Оптична сила лінзи (D) — це величина, обернена до фокусної відстані лінзи.

$$D = \frac{1}{F} - \text{оптична сила лінзи (через фокусну відстань)}$$

Оптична сила лінзи вимірюється у діоптріях.

$$1 \text{ дптр} = \frac{1}{1 \text{ м}}$$

$$D = (n_{2,1} - 1) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) - \text{оптична сила лінзи (через радіус кривизни поверхонь лінзи)}$$

$n_{2,1}$ - відносний показник заломлення

R_1 - радіус кривизни першої поверхні лінзи

R_2 - радіус кривизни другої поверхні лінзи

Лінійне збільшення лінзи (Γ) — це число, яке показує в скільки разів висота зображення більша (менша) за висоту предмета.

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

H - висота зображення

h - висота предмета

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

Учимося розв'язувати задачі

Задача 1. Розглядаючи монету за допомогою лупи, оптична сила якої +10 дптр, хлопчик розташував монету на відстані 6 см від лупи. Визначте: 1) фокусну відстань лінзи; 2) на якій відстані від лупи хлопчик спостерігав зображення монети; 3) яким є це зображення — дійсним чи уявним; 4) яке збільшення дає лупа.

Аналіз фізичної проблеми.

Лупу можна вважати тонкою лінзою, тому скористаємося формулою тонкої лінзи. Фокусну відстань знайдемо, скориставшись означенням оптичної сили лінзи.

Дано: $d = 6 \text{ см} = 0,06 \text{ м}$ $D = +10 \text{ дптр}$	Пошук математичної моделі, розв'язання За означенням $D = \frac{1}{F} \Rightarrow F = \frac{1}{D}$.
Знайти: F — ? f — ? Γ — ?	За формулою тонкої лінзи: $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{1}{d}$, або $\frac{1}{f} = \frac{d - F}{Fd}$. Отже, $f = \frac{Fd}{d - F}$. Знаючи відстань f , визначимо збільшення: $\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{ f }{ d }$.
Перевіримо одиниці, знайдемо значення шуканих величин: $[F] = \frac{1}{\text{дптр}} = \frac{1}{\text{м}^{-1}} = \text{м}, F = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ (м)};$ $[f] = \frac{\text{м} \cdot \text{м}}{\text{м} - \text{м}} = \frac{\text{м}^2}{\text{м}} = \text{м}, f = \frac{0,1 \cdot 0,06}{0,06 - 0,1} = -0,15 \text{ (м)}; \Gamma = \frac{0,15}{0,06} = \frac{15}{6} = \frac{5}{2} = 2,5.$ Знак «-» перед значенням f говорить про те, що зображення є уявним. Відповідь: $F = 10 \text{ см}; f = -15 \text{ см};$ зображення уявне; $\Gamma = 2,5$.	



а) **проекційний апарат** — це пристрій, який створює дійсне збільшене зображення на екрані.

- 1) **діаскоп (діанпроектор)** – це пристрій, який створює зображення від прозорих малюнків.
 - 2) **еніскоп (еніпроектор)** – створює зображення від непрозорих малюнків.
 - 3) **енідіаскоп (енідіанпроектор)** – створює зображення від прозорих і непрозорих малюнків.
- б) **мікроскоп** – це пристрій для спостереження предметів дуже малих розмірів. Складається з двох збиральних лінз великої оптичної сили лінзи.
- в) зорові труби – для спостереження.
- 1) **зорова труба Галілея** складається із збиральної і розсіювальної лінз. Зображення пряме.
 - 2) **Зорова труба Кеплера** складається з двох збиральних лінз. Зображення обернене.
- г) астрономічні труби – телескопи:
- 1) **телескоп-рефрактор** – зображення створюється за допомогою лінз.
 - 2) **телескоп-рефлектор** – зображення створюється за допомогою вгнутого дзеркала.
- д) біноклі:
- 1) **театральний бінокль** складається з двох труб Галілея.
 - 2) **призматичний бінокль** складається з двох труб Кеплера.

9. Око як оптична система.

Будова ока: діаметр – 2,5см; зовнішня оболонка – склера; передня частина оболонки – рогівка; внутрішня частина склери – судинна оболонка; біля рогівки судинна оболонка переходить в райдужну оболонку; в райдужній оболонці є отвір – зіниця; за райдужною оболонкою – кришталик ($n = 1.4$); з внутрішнього боку – сітківка; між сітківкою і кришталиком – скловидне тіло.

Відстань найкращого зору – це відстань на якій око може виразно бачити предмети без напруження (25-30см).

Акомодація ока – це здатність ока створювати виразне зображення предметів розміщених на різних відстанях.

Адаптація ока – це здатність ока пристосовуватися до різної яскравості.

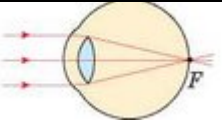
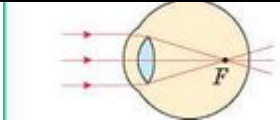
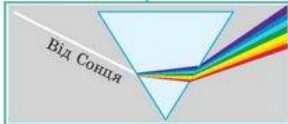
Близькозорість – це вада зору, при якій зображення утворюється перед сітківкою.

Використовують окуляри з розсіювальними лінзами.

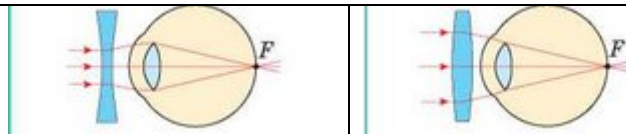
Далекозорість – це вада зору при якій зображення утворюється за сітківкою.

Використовують окуляри із збиральними лінзами.

Вади зору та їх корекція

Нормальний зір	Вади зору	
	короткозорість	далекозорість
Фокус F оптичної системи ока у спокійному стані розташований на сітківці.	Фокус F оптичної системи ока у спокійному стані розташований перед сітківкою.	Фокус F оптичної системи ока у ненапруженому стані розташований за сітківкою.
		<p>ДИСПЕРСІЯ СВІТЛА</p> <p>залежність показника заломлення середовища від кольору світла</p> <p>Досліди І. Ньютона</p>  <p>Спектральні кольори</p> <p>Червоний Оранжевий Жовтий Зелений Блакитний Синій Фіолетовий</p> <p>Найбільший показник заломлення має фіолетове світло, найменший — червоне</p>
На сітківці утворюється чітке зображення віддалених предметів.	На сітківці утворюється розмите зображення віддалених предметів.	На сітківці утворюється розмите зображення віддалених предметів.
Відстань найкращого зору — приблизно 25 см. Саме на цій відстані людина з нормальним зором тримає книжку.	Відстань найкращого зору менша від 25 см. Короткозора людина читає книжку, наближуючи її до очей.	Відстань найкращого зору більша за 25 см. Далекозора людина читає книжку, віддаляючи її від очей.
Фокусна відстань нормального ока становить приблизно 1,71 см.	Короткозорість коригується окулярами із розсіювальними лінзами.	Далекозорість коригується окулярами зі збиральними лінзами.

Визначте оптичну силу оптичної системи «нормальне око».



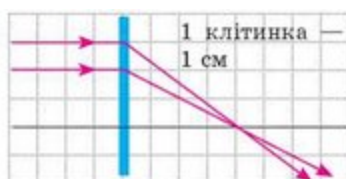
Із точки зору фізики око являє собою оптичну систему, основними елементами якої є рогівка, кришталик і склисте тіло. У цій оптичній системі заломлюється світло, і в результаті на сітківці — світлочутливій поверхні очного дна — утворюється зменшене, дійсне, обернене зображення предмета. Після того як зображення предмета зникає із сітківки ока, зоровий образ, викликаний цим предметом, зберігається у свідомості людини протягом 0,1 с. Цю властивість називають інерцією зору.

Контрольні запитання

1. Опишіть будову людського ока та призначення його окремих оптичних елементів. 2. Як змінюється діаметр зіниці в разі зменшення освітленості? 3. Чому людина з нормальним зором може однаково чітко бачити як далеко, так і близько розташовані предмети? 4. Який дефект зору називають короткозорістю? Як його можна скоригувати? 5. Який дефект зору називають далекозорістю? Як його можна скоригувати? 6. Яку властивість зору називають інерцією зору? Наведіть приклади застосування цієї властивості.

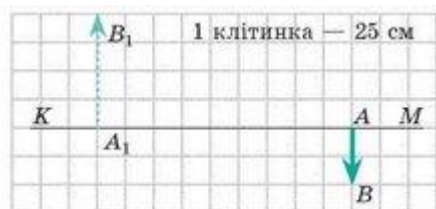
Виконайте вправи

1. Чому дорівнює оптична сила лінзи, хід променів у якій показано на рис.?



2. Предмет розташований на відстані 1 м від збиральної лінзи з фокусною відстанню 0,5 м. На якій відстані від лінзи розташоване зображення предмета?

3. На рис. подано головну оптичну вісь КМ лінзи, предмет АВ і його зображення



Визначте тип лінзи, її фокусну відстань і оптичну силу.

4. Оптична сила лінз бабусиних окулярів $-2,5$ дптр. Якою є фокусна відстань цих лінз? Який дефект зору має бабуся?

Експериментальне завдання

Запропонуйте декілька способів, за допомогою яких можна визначити, який дефект зору (короткозорість чи далекозорість) коригують ті або інші окуляри. Знайдіть кілька різних окулярів (попросіть у рідних, сусідів, друзів) і перевірте, чи «працюють» запропоновані вами способи.

Фізика і техніка в Україні



Олександр Теодорович Смакула (1900-1983) — видатний український фізик і винахідник. Використавши поняття квантових осциляторів, О. Т. Смакула зміг пояснити радіаційне забарвлення кристалів і вивести кількісне математичне співвідношення, відоме в науці як «формула Смакули». Праці вченого створили передумови для синтезу вітамінів А, В2 та ін., а процес трансформації кристалічного вуглецю називають тепер «інверсією Смакули». У 1935 р. О. Т. Смакула зробив і запатентував відкриття, завдяки якому його ім'я назавжди залишиться в історії науки, — спосіб поліпшення оптичних приладів («просвітлення оптики»). Суть відкриття в тому, що поверхню скляної лінзи вкривають спеціальним шаром плівки з певного матеріалу завтовшки $1/4$ довжини падаючої хвилі, що значно зменшує відбивання світла від поверхні лінзи й водночас збільшує контрастність зображення. Це відкриття стало великим здобутком, адже оптичні лінзи є основним

елементом різних приладів (фотоапаратів, біноклів, оптичних пристроїв до зброї тощо).

2000 рік був оголошений ЮНЕСКО роком О. Т. Смакули.