

# Лекція 3-4

## Елементи геометричної

### ОПТИКИ План лекції

- Заломлення світла на сферичній поверхні
- Дзеркала. Побудова зображень у дзеркалах .
- Лінзи. Побудова зображень у лінзах.
- Похибки оптичних систем (сферична та хроматична аберациї, кома, дисторсія, астигматизм).
- *Оптичні інструменти та прилади.*

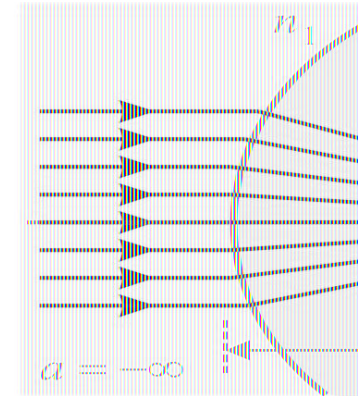
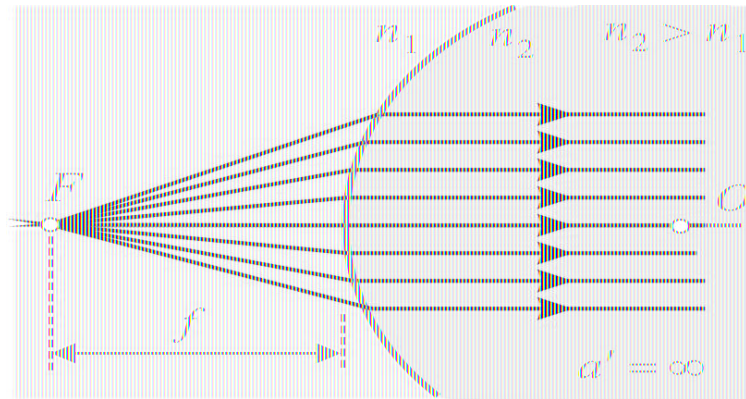
# Заломлення світла на сферичній поверхні

$$\frac{n'}{a'} - \frac{n}{a} = \frac{(n' - n)}{R}$$

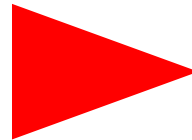
$$a = -\infty$$

$$\frac{n'}{a'} = \frac{n' - n}{R}$$

$$a' = \frac{n'R}{n' - n}$$



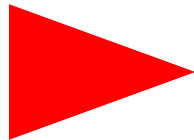
$$f' = n'R / (n' - n)$$



задня фокусна відстань.

$$a' = \infty$$

$$a = -\frac{nR}{n' - n} = f$$



передня фокусна відстань.

$$\frac{f'}{f} = \frac{n'}{n}$$

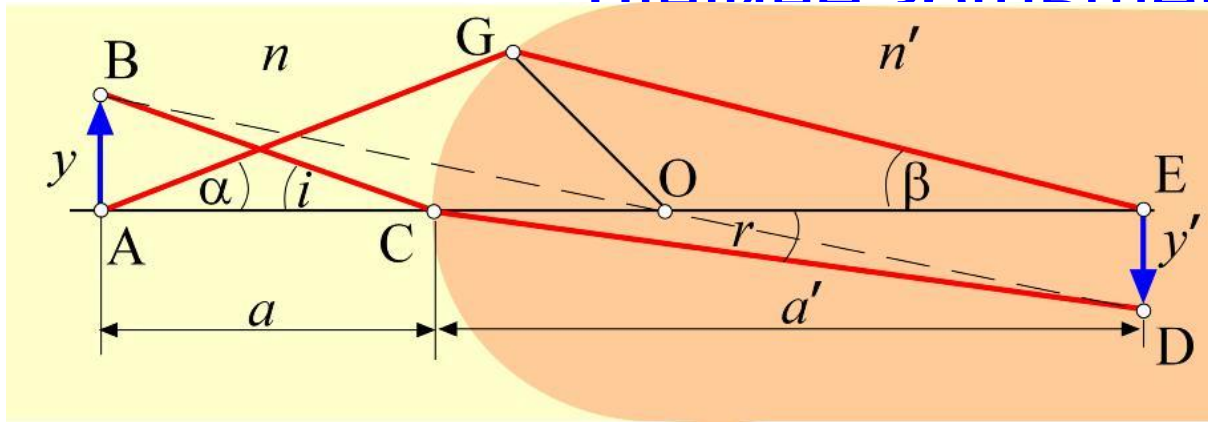
Фокуси несиметричні!



**АББЕ Ернст (1840–1905)**

Німецький фізик-оптик. Народився у м. Айзенах, а школу і гімназію закінчив у м. Йена. Навчався у місцевому університеті, згодом переїхав у м. Геттінген. Автор теорії мікроскопа, що сприяла суттєвому покращенню якості мікроскопів фірми «Карл Цейс». Після смерті Карла Цейса став фактичним власником всесвітньо відомої фірми-виробника оптичного обладнання. Розробник багатьох оптичних приладів. Дав класифікацію аберацій оптичних систем. Створив дифракційну теорію побудови зображення в мікроскопі. На його честь один із кратерів на Місяці назвали кратером Аббе.

# Теорема Лагранжа-Гельмгольца. Лінійне збільшення



Побудова зображення  
протяжних предметів  
внаслідок заломлення  
на сферичній поверхні

Лінійне (поперечне) збільшення предмета

$$Y = \frac{y'}{y}$$

З трикутників ABC і EDC маємо

$$\operatorname{tg} i = -\frac{y}{a}$$

$$\operatorname{tg} r = -\frac{y'}{a'}$$

За законом заломлення  
світла

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n'}{n}$$

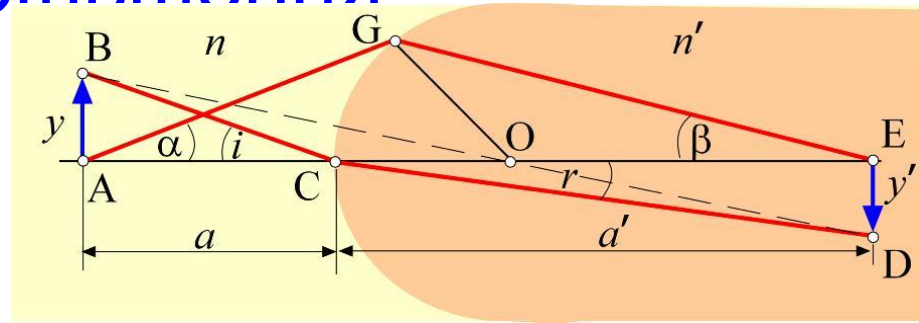
Для малих предметів і  
зображень

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\operatorname{tg} i}{\operatorname{tg} r}$$

# Теорема Лагранжа-Гельмгольца. Лінійне збільшення

$$\frac{ny}{a} = \frac{n'y'}{a'}$$

$$Y = \frac{y'}{y} = \frac{na'}{n'a}$$



Оскільки абсолютні показники заломлення для заломлювальної системи завжди додатні, лінійне збільшення буде від'ємним і зображення перевернутим і дійсним, якщо предмет і зображення лежать по різні боки сферичної заломлювальної поверхні. Лінійне збільшення додатне, а зображення пряме і уявне, якщо зображення і предмет будуть з одного боку поверхні.

$$\alpha \approx \operatorname{tg} \alpha = -\frac{GC}{a}$$

$$\beta \approx \operatorname{tg} \beta = \frac{GC}{a'}$$

$$\frac{\alpha}{\beta} = -\frac{a'}{a}$$

$$Y = -\frac{y'}{y} = -\frac{n\alpha}{n'\beta}$$

Співвідношення Лагранжа-Гельмгольца

$$yn\alpha = y'n'\beta = \text{const}$$



Німецький вчений. Фундаментальні праці з фізики, біофізики, фізіології та психології. 1847 року математично обґрунтував закон збереження енергії і показав його загальний характер. Ввів поняття зв'язаної та вільної енергій, розробив термодинамічну теорію хімічних процесів. Один з основоположників гідродинаміки та наукової метеорології. Розробив теорії вихрового руху рідин та аномальної дисперсії. Автор низки робіт з фізіології слуху та зору. Винахідник офтальмоскопу та офтальмометра, котушки Гельмгольца та резонатора Гельмгольца.

## **ГЕЛЬМГОЛЬЦ**

**Герман Людвіг Фердинанд (1821–1894)**



# Дзеркала. Побудова зображень у дзеркалах.



Дзеркала – оптичні пристрої, в яких зображення предмета формується внаслідок відбиття від поверхні різної кривини.

За формою поверхні дзеркала можна поділити на *плоскі, сферичні, параболічні, гіперболічні*.

## Сферичне дзеркало

З теореми про зовнішні та внутрішні кути трикутника співвідношення між кутами

$$\alpha + 2i = \gamma$$

$$\beta + i = \gamma$$

$$\alpha = 2\beta - \gamma$$

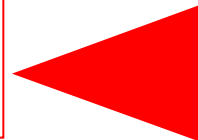
$$\alpha = -\frac{h}{a}$$

$$\beta = -\frac{h}{R}$$

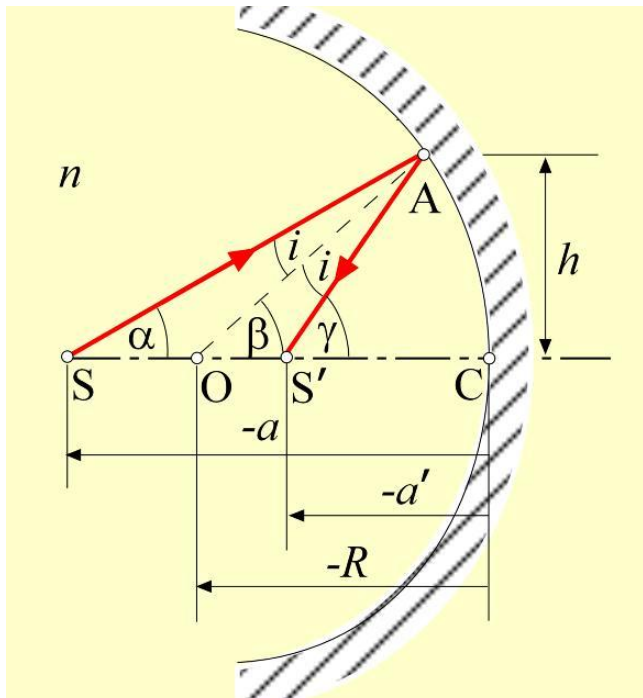
$$\gamma = -\frac{h}{a'}$$

$$-\frac{h}{a} = -\frac{2h}{R} + \frac{h}{a'}$$

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{2}{R}$$



формула сферичного дзеркала



*Хід променів при відбитті від увігнутого дзеркала. Всі відстані показані з врахуванням правила знаків*





# Дзеркала. Побудова зображень у дзеркалах .



Фокус сферичного дзеркала знаходимо з умови  $a = -\infty$

$$\frac{1}{a'} = \frac{2}{R}$$

$$a' = R / 2 = f$$

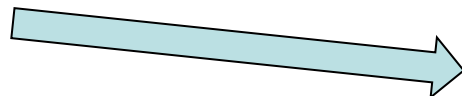
Фокус сферичного дзеркала лежить на половині його радіуса. Для дзеркала зображення дійсне, якщо воно лежить по один бік від дзеркала з джерелом. Якщо предмет і його зображення розташовані по різні боки дзеркала – зображення буде уявним. Сферичне дзеркала може бути опуклим, тоді  $R > 0$  і увігнутим, для якого  $R < 0$ . Для опуклого дзеркала фокус є уявним, тобто в ньому перетинаються не промені, а їх умовні продовження. Для увігнутого дзеркала фокус дійсний.

Лінійне збільшення предмета 
$$Y = \frac{y'}{y} = \frac{n a'}{n' a}$$

Для дзеркала

$$n' = -n$$

$$Y = -\frac{a'}{a}$$



Дійсне зображення – перевернене, а уявне – пряме.



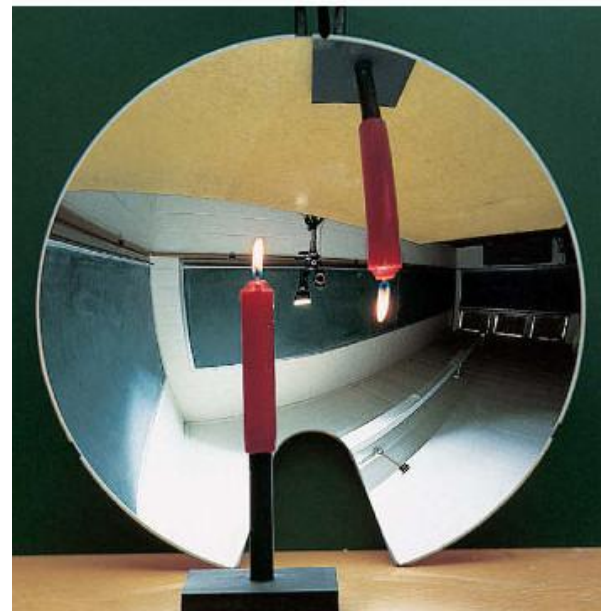
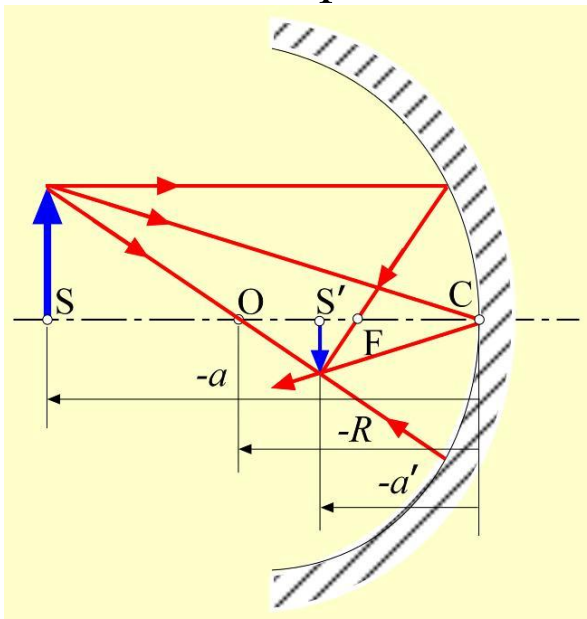


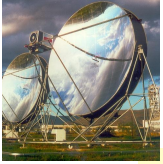
# Дзеркала. Побудова зображень у дзеркалах.



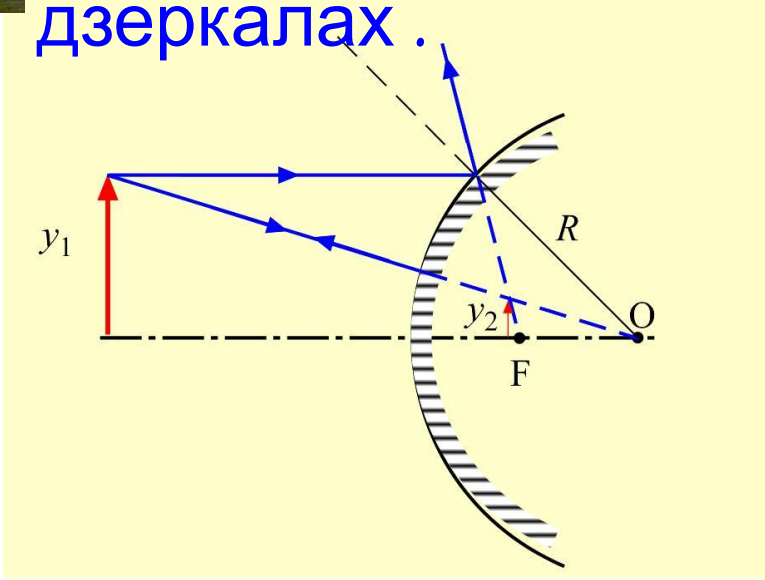
Для побудови зображень у сферичних дзеркалах використовують такі промені:

- промінь, що йде паралельно головній оптичній осі. Після відбиття від сферичної поверхні промінь проходить через фокус.
- промінь, що йде через центр сферичної поверхні. Цей промінь відбивається по шляху падаючого променя.
- промінь, що йде до вершини дзеркала. Цей промінь відбивається під тим же кутом до головної оптичної осі, який утворює з оптичною віссю падаючий промінь.

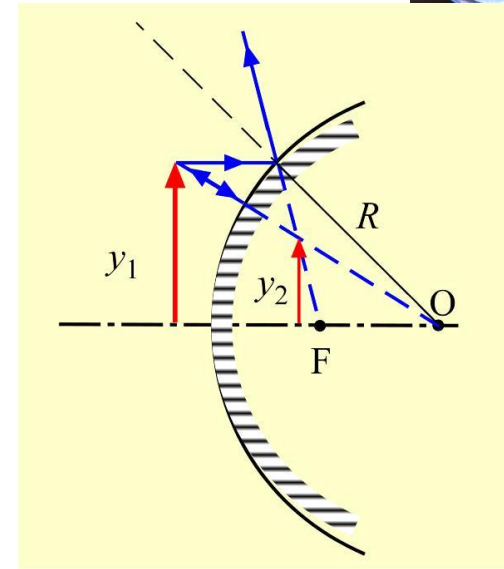




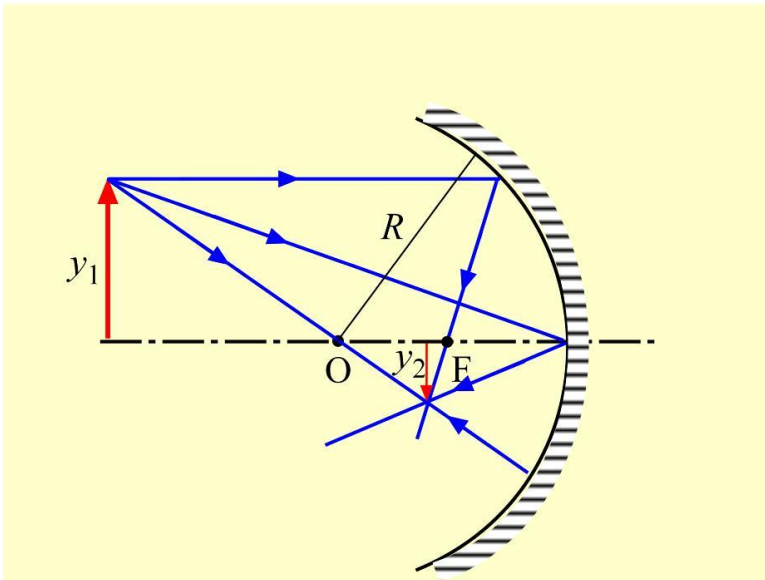
# Дзеркала. Побудова зображень у дзеркалах.



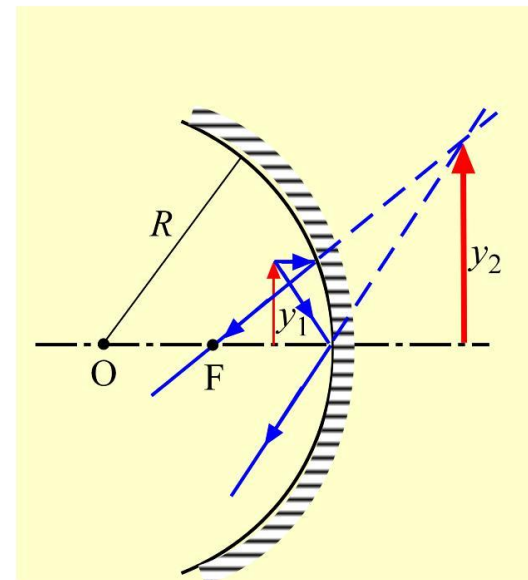
*a*



*б*



*в*



*г*

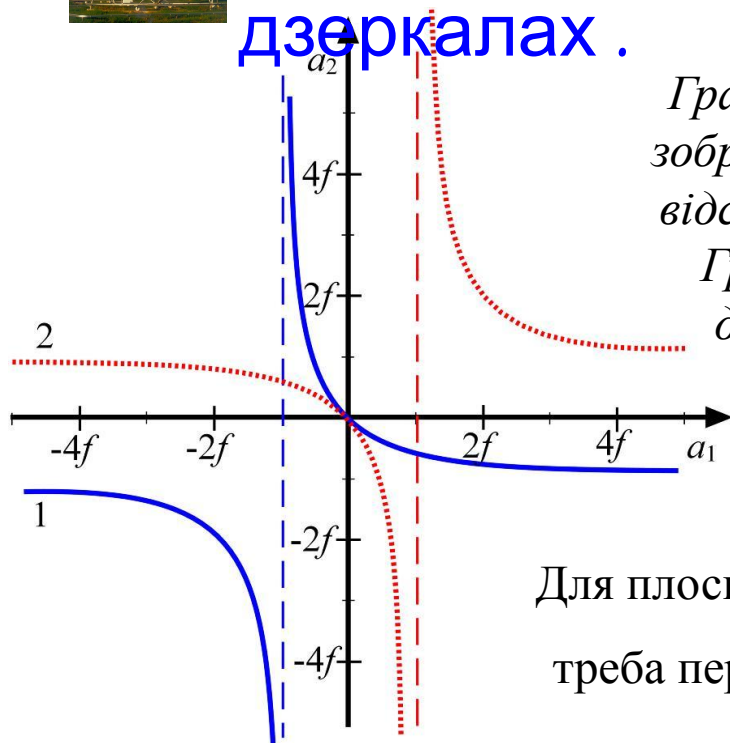


# Дзеркала. Побудова зображень у дзеркалах .



*Графічна залежність відстані від зображення до дзеркала як функція відстані від предмета до дзеркала.*

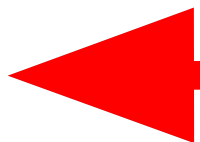
*Графік 1 відповідає увігнутому дзеркалу, графік 2 – опуклому.*



Для плоского дзеркала у формулі  
треба перейти до границі  $R \rightarrow \infty$

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{2}{R}$$

$$\frac{1}{a} = -\frac{1}{a'}$$



формула плоского  
дзеркала

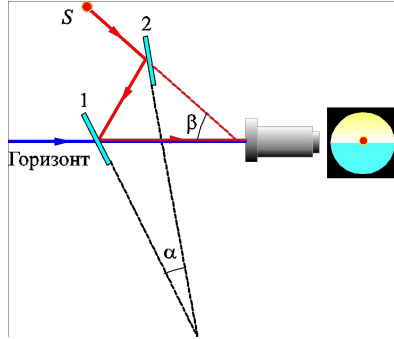
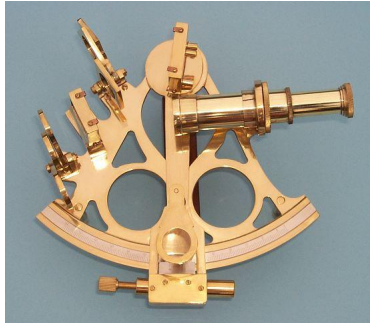
З цієї формули видно, що світна точка і її зображення лежать на однакових відстанях від поверхні плоского дзеркала по обидва його боки. Тобто зображення є *уявним і симетрично розташованим*.



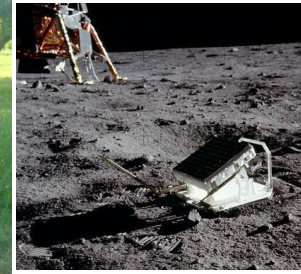
# Дзеркала. Використання дзеркал.



## Секстант



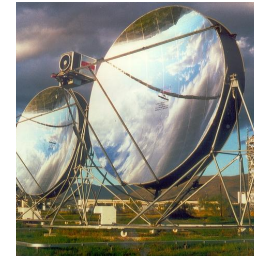
## Катафот



## Приймальні антени



## Сонячні колектори



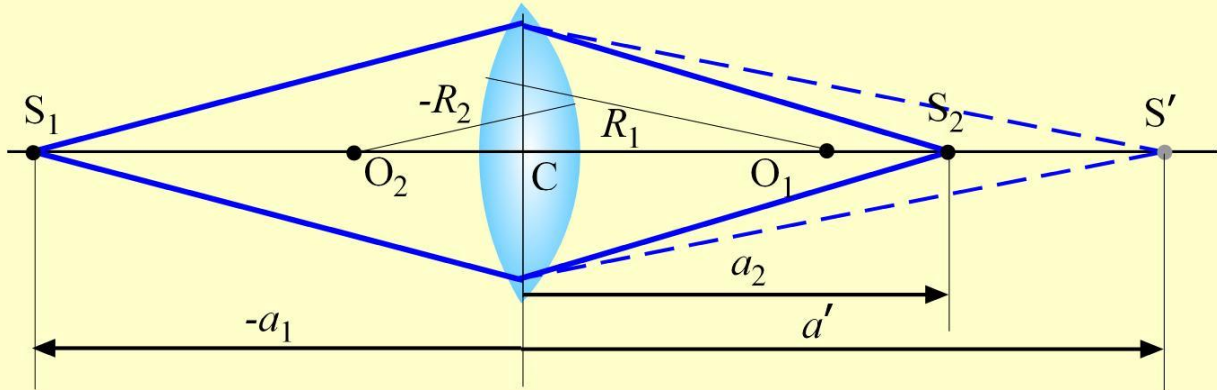
# Лінзи. Формула лінзи. Побудова зображень у лінзах

Система сферичних поверхонь називається *центрованою*, якщо центри всіх поверхонь лежать на одній прямій – *головній оптичній осі системи*. Найпростішою центрованою оптичною системою, що складається з двох сферичних поверхонь, є *лінза*. Лінзу виготовляють з прозорого добре заломлюючого матеріалу. Якщо обидві вершини сферичних поверхонь лінзи розташовані настільки близько, що товщина лінзи значно менша за радіуси кривини поверхонь, які її обмежують, лінзу називають *тонкою*. У тонкій лінзі дві точки вершин фактично збігаються і їх можна замінити однією точкою  $S$ , яка називається *оптичним центром лінзи*.

Будь-який промінь, що проходить через оптичний центр лінзи називають *осьовим*. *Головна вісь лінзи* проходить через її оптичний центр і центри кривини заломлювальних поверхонь. Всі інші промені, які перетинають лінзу в точці  $S$ , є *побічними* осями. Кожен з променів, що йде через точку  $S$ , не зазнає заломлення, а лише дещо паралельно зміщується. Це зумовлено тим, що в центральній ділянці лінза близька за формою до плоскопаралельної пластинки.

# Лінзи. Формула лінзи. Побудова

зображення у лінзах



Для заломлення на першій межі поділу маємо

$$\frac{n_{\text{Л}}}{a'} - \frac{n_{\text{С}}}{a_1} = \frac{n_{\text{Л}} - n_{\text{С}}}{R_1}$$

Для заломлення на другій межі поділу

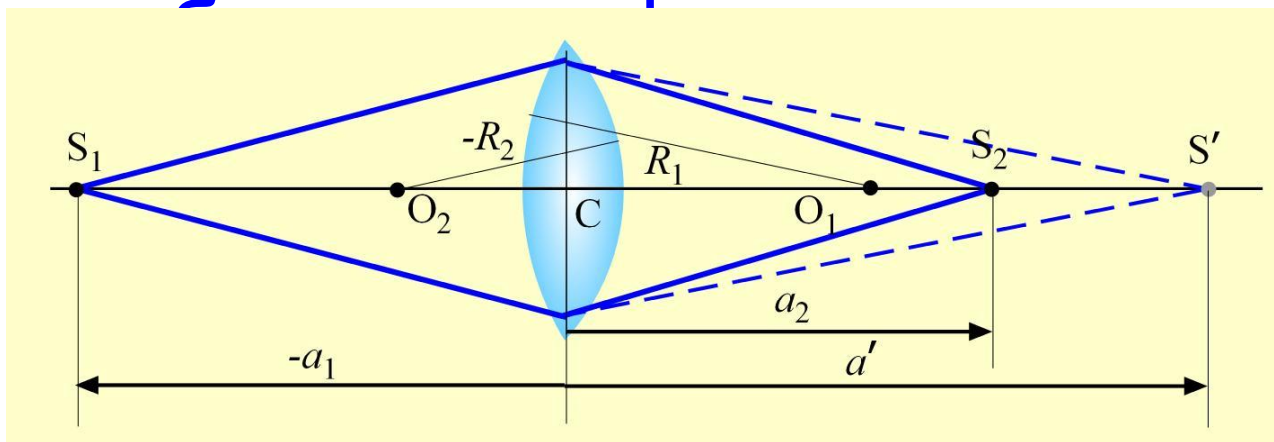
$$\frac{n_{\text{Л}}}{a'} - \frac{n_{\text{С}}}{a_2} = \frac{n_{\text{Л}} - n_{\text{С}}}{R_2}$$

$$\left(\frac{n_{\text{Л}}}{a'} - \frac{n_{\text{С}}}{a_1}\right) - \left(\frac{n_{\text{Л}}}{a'} - \frac{n_{\text{С}}}{a_2}\right) = \frac{n_{\text{Л}} - n_{\text{С}}}{R_1} - \frac{n_{\text{Л}} - n_{\text{С}}}{R_2}$$

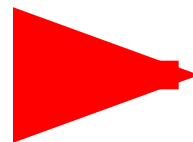
$$\frac{n_{\text{С}}}{a_2} - \frac{n_{\text{С}}}{a_1} = (n_{\text{Л}} - n_{\text{С}}) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$



# Лінзи. Формула лінзи. Побудова

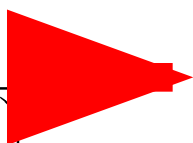


$$\frac{1}{a_2} - \frac{1}{a_1} = (N - 1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$



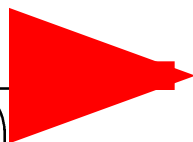
формула лінзи.

$$f_2 = \frac{1}{(N - 1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)}$$



задня фокусна відстань.

$$f_1 = - \frac{1}{(N - 1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)}$$

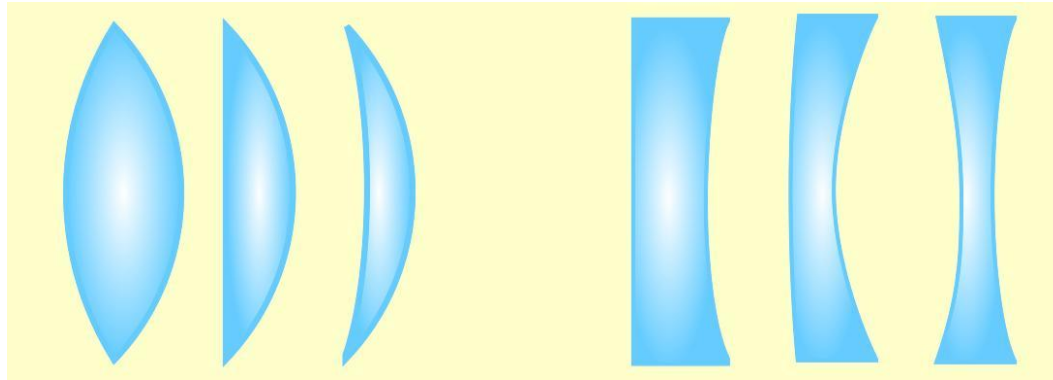


передня фокусна відстань.



# Лінзи. Формула лінзи. Побудова зображень у лінзах

*За формою заломлювальних поверхонь лінзи можна поділити на подвійно випуклі, плоско випуклі, увігнуто випуклі, плоско увігнуті, та подвійно увігнуті. Перші три зображені лінзи в оптично менш густому середовищі працюють як збиральні, а три лінзи праворуч – як розсіювальні*

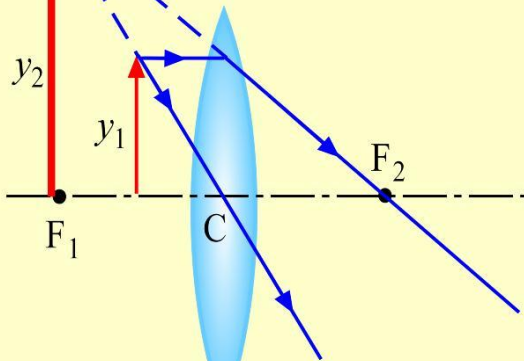


Для побудови зображень у лінзах використовують такі промені:

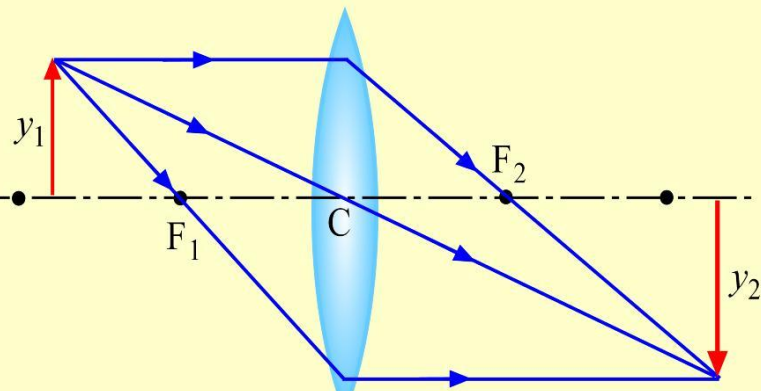
- *промінь, що йде паралельно головній оптичній осі. Після заломлення у лінзі промінь проходить через фокус.*
- *промінь, що йде через оптичний центр лінзи. Цей промінь проходить крізь лінзу без заломлення.*
- *промінь, що йде через фокус. Після заломлення у лінзі промінь проходить паралельно головній оптичній осі*

# Побудова зображень у лінзах

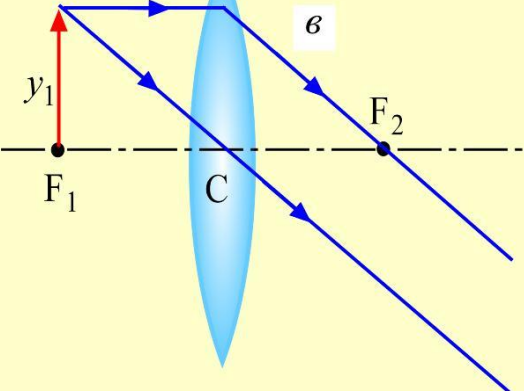
*a*



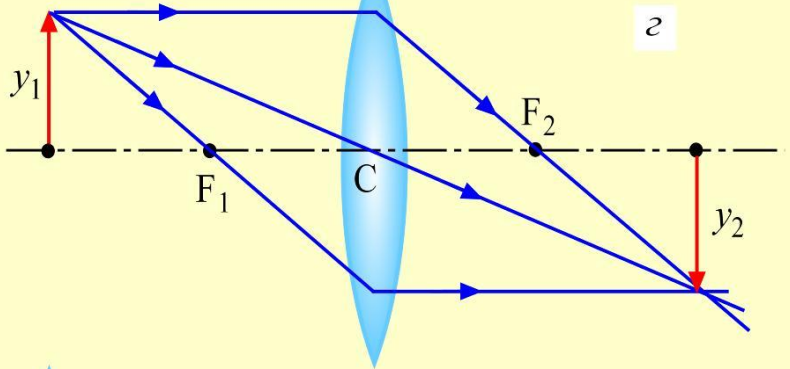
*б*



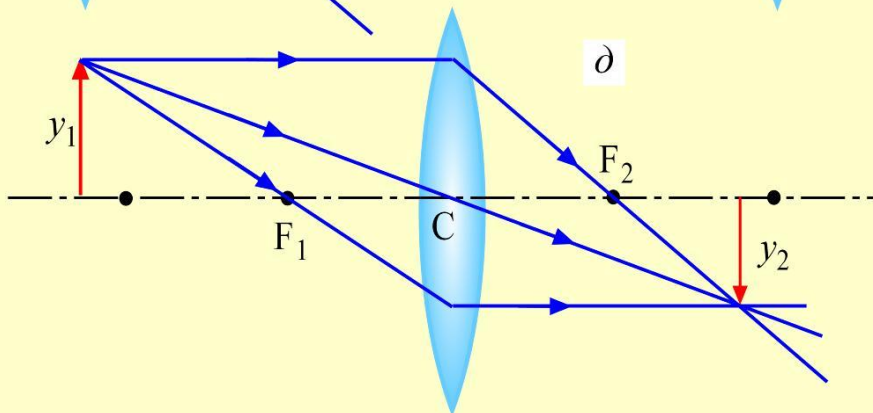
*в*



*г*



*д*



# Похибки оптичних систем

Будуючи зображення предметів за допомогою простих оптичних систем, ми дотримувалися таких **припущень**:

- 1. Побудова зображень здійснюється параксіальними пучками.*
- 2. Пучки утворюють малі кути з головною віссю системи.*
- 3. Дисперсійна залежність показника заломлення від довжини хвилі повністю нехтується.*
- 4. Нехтується немонохроматичністю джерел світла.*

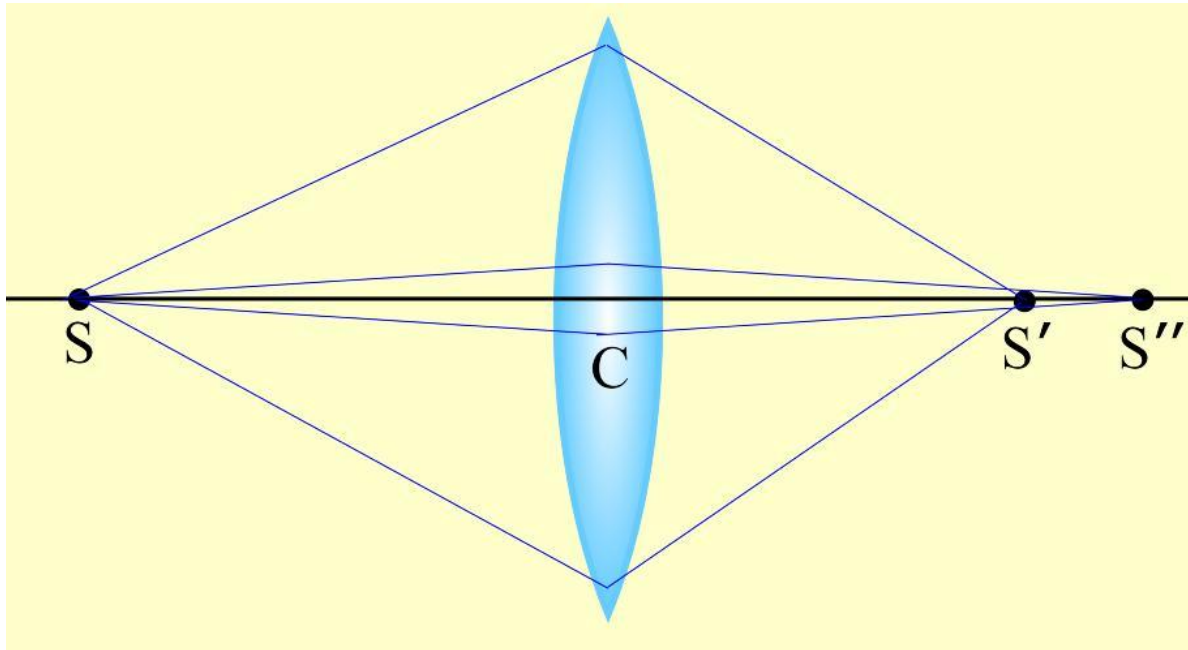
**Правильна побудова** зображення передбачає:

1. стигматичність зображення, коли кожна точка предмета переходить лише в одну точку зображення;
2. площинність зображення, коли всі точки зображення лежать в одній площині;
3. однаковість масштабу зображення щодо предмета у поздовжньому і поперечному напрямку, коли масштаб зображення однаковий для будь-яких двох точок, розташованих на однакових відстанях.

# Похибки оптичних систем

## Аберації у широких пучках. Сферична аберація.

*Пояснення явища сферичної аберації*



$$\delta_{\min} = \alpha(N - 1)$$

За величину сферичної аберації приймається відстань між точками зображення, отриманих за допомогою променів, що йдуть близько до головної оптичної осі і під більшим кутом до оптичної осі – так звана, *поздовжня аберація*

# Похибки оптичних

## систем

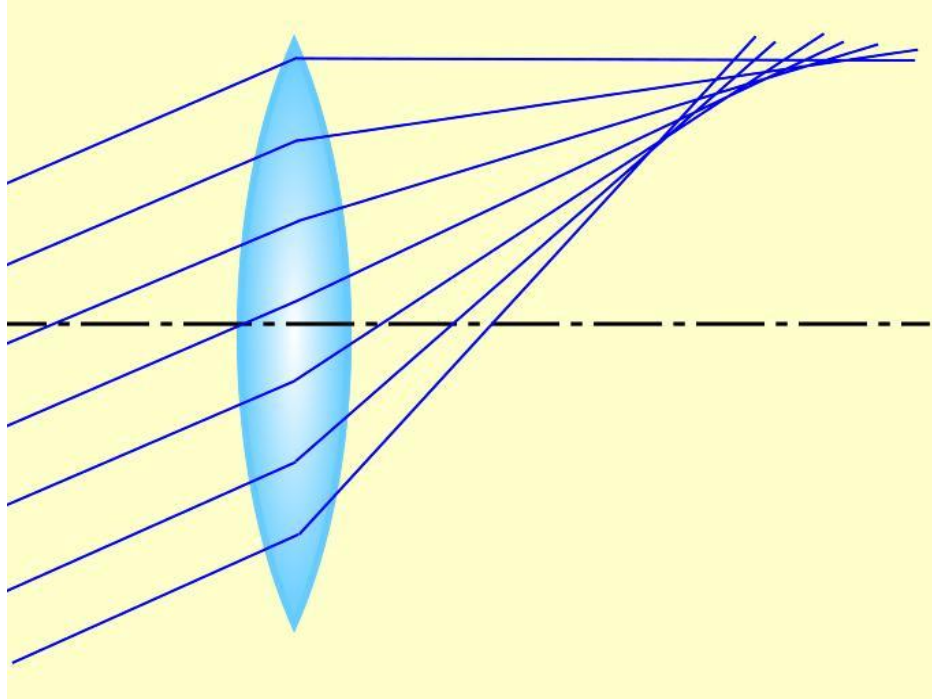
### Аберації у широких пучках. Сферична аберация.



*Зображення галактики M100 до (1990 р) та після усунення (1993 р) сферичних абераций на параболічному дзеркалі космічного телескопа Хаббл. Під час виготовлення головного дзеркала фірма-виробник помилилася всього лише на 2 мкм. Як наслідок, всі фотографії, зроблені Хабблом до внесення в оптичну схему телескопа коректора абераций COSTAR, відзначалися доволі низькою якістю, як для космічного телескопа*

# Похибки оптичних систем

## Кома.



Якщо світна точка розташована за межами головної оптичної осі, виникає ще одна похибка оптичних систем – кома. У позаосьовому пучку промені утворюють різні кути з нормаллю відносно поверхні лінзи. Як наслідок, зображення буде не стигматичним, а матиме вигляд складної геометричної фігури, що в поперечному перерізі має вигляд кругів різного діаметра

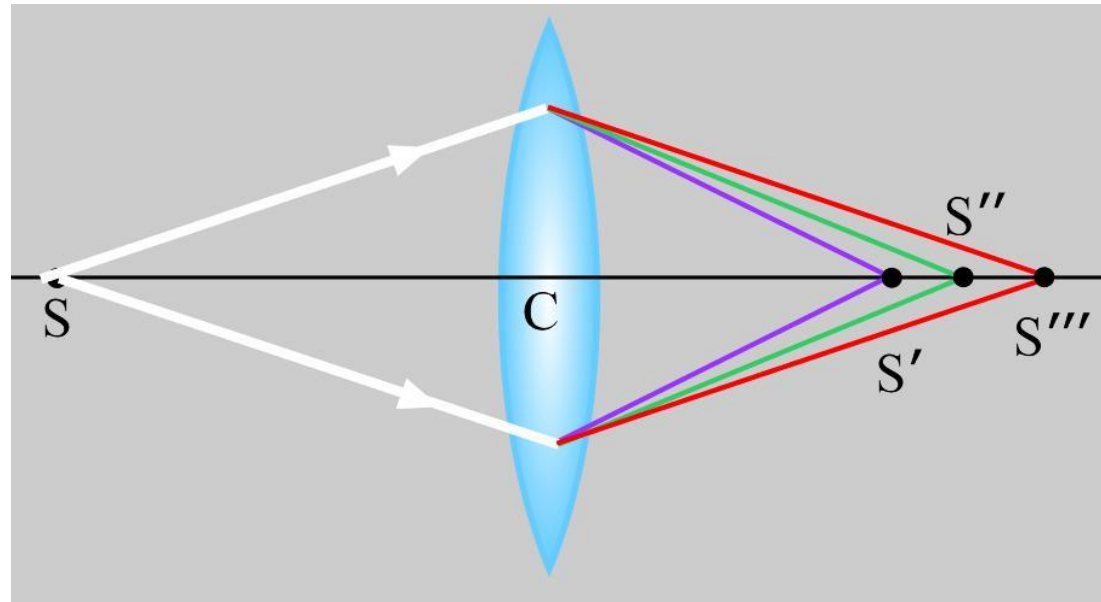


# Похибки оптичних систем

## Хроматична аберація

$$f = \frac{1}{(N-1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)}$$

$$n(\lambda) = n_0 + \frac{A}{\lambda^2} + \frac{B}{\lambda^4}$$



Фотографія, зроблена об'єктивом фотоапарата з некомпенсованою хроматичною аберацією, має по краях кольорові духи і втрачає різкість



# Похибки оптичних систем

## Систем

Процес виправлення хроматичних похибок в оптичних системах називається **ахроматизацією**. Для розсіювальних лінз розбіжність фіолетових променів більша за розбіжність червоних. Тому, найпростіша **ахроматична система** – система двох лінз – подвійно опуклої з **кронгласу** (легкий сорт скла з малим показником заломлення) та розсіювальної з **флінтгласу** (важкий сорт скла з великим показником заломлення).

Ахроматизація для **візуальних спостережень**, наприклад, за допомогою зорової труби, виконується так, що збігаються фокуси червоного і синього світла ( $\lambda_C = 656,3$  нм  $\lambda_F = 486,1$  нм )

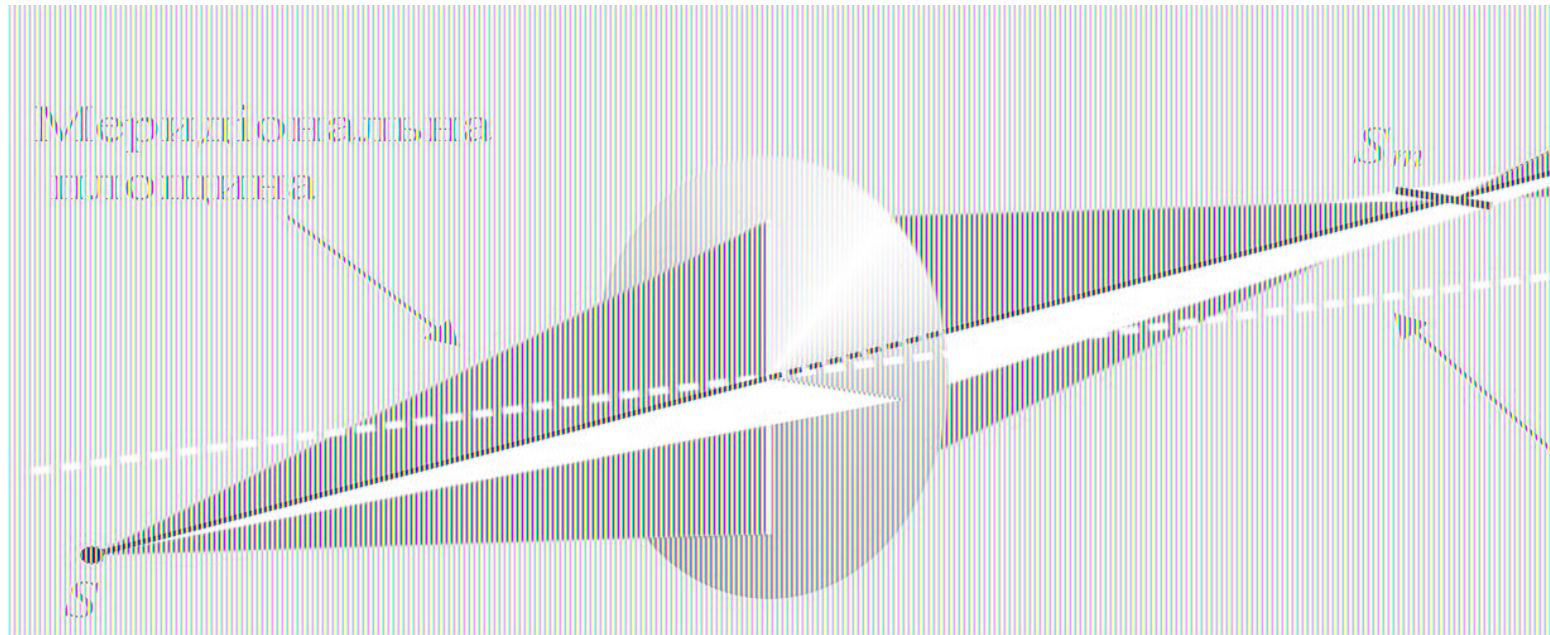
Для потреб **фотографування** ахроматизація полягає у зведенні в одну точку фокусів для світла з довжинами хвиль  $\lambda_G = 434,1$  нм  $\lambda_D = 589,3$  нм

В **апохроматах** хроматична аберація скомпенсована для 3 довжин хвиль. У **суперахроматах** – для 4.

# Похибки оптичних систем

## АСТИГМАТИЗМ

Розглянемо падіння позаосьового пучка світла на лінзу, закриту повністю непрозорим екраном, в якому вирізано хрестоподібний отвір. Одна з поперечин хреста лежить у *меридіональній площині* – площині, що містить вісь пучка і головну оптичну вісь, а інша у *сагітальній площині*, яка перпендикулярна до меридіональної.



Для точки, розташованої поза головною оптичною віссю, лінза дає два зображення. Лінія  $S_s$  лежить у меридіональній площині і утворена внаслідок заломлення сагітальних променів, лінія  $S_m$  лежить у сагітальній площині і утворена заломленням меридіональних променів. Мінімальна пляма розсіяння розташована між цими двома лініями

# Похибки оптичних систем

## Дисторсія

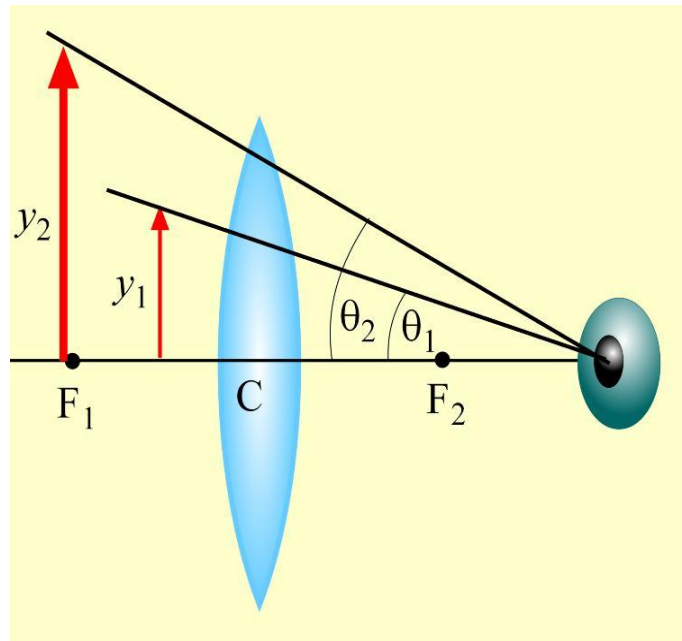
Якщо промені, що беруть участь у побудові зображення, утворюють великі кути з головною оптичною віссю, виникає інший тип похибки оптичних систем – *дисторсія*. Якщо уявити предмет у вигляді відрізка, перпендикулярного до головної осі, і розбити його на однакові за довжиною частини, то зображення цих частин будуть різними, і різниця зростатиме з віддаленням від головної оптичної осі. Як наслідок, зображення правильного квадрата буде або подушкоподібним, або бочкоподібним.



*Фотографія будівлі через об'єктив, для якого характерна значна дисторсія зображення (ліворуч) і виправлена комп'ютерними програмами світлина (праворуч)*

# Оптичні інструменти та прилади

## Лупа



Характеристикою якості лупи є її **кутове збільшення** – відношення тангенсів кутів променів з головною оптичною віссю в просторі предметів і в просторі зображень.

$$M_{\theta} = \frac{\operatorname{tg} \theta_2}{\operatorname{tg} \theta_1}$$

$$M_{\theta} = \frac{\operatorname{tg} \theta_2}{\operatorname{tg} \theta_1} = \frac{y_1 / f}{y_1 / 0,25 \text{ м}}$$

$$M_{\theta} = \frac{0,25 \text{ м}}{f}$$

Якщо зображення утворюється не на нескінченності, а у ближній точці ока,

$$M_{\theta} = \frac{\operatorname{tg} \theta_2}{\operatorname{tg} \theta_1} = \frac{y_1 / a_1}{y_1 / 0,25 \text{ м}}$$

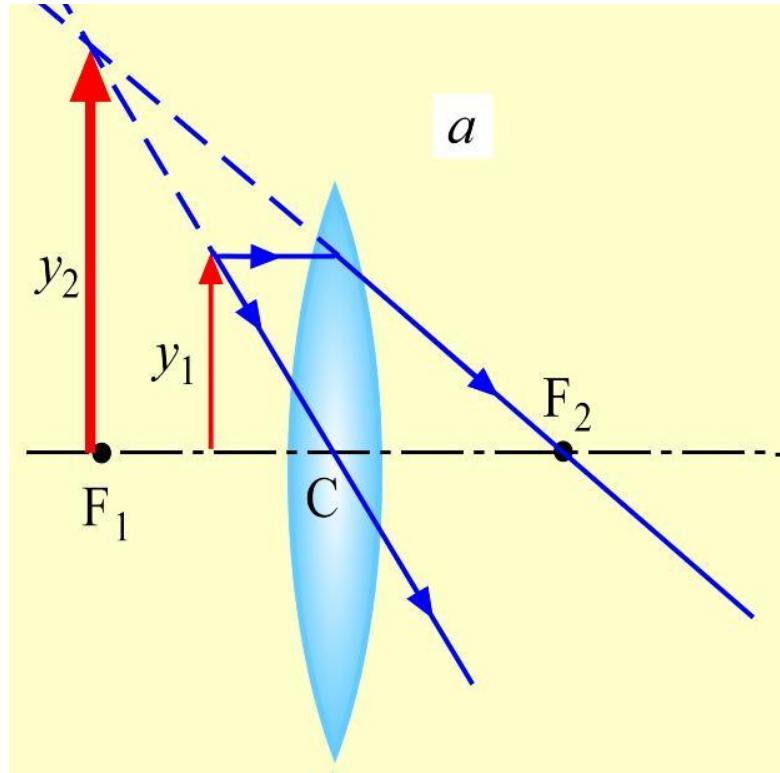
$$M_{\theta} = \frac{0,25 \text{ м}}{a_1}$$

$$a_1 = \frac{(0,25 \text{ м}) \cdot f}{f + 0,25 \text{ м}}$$

$$M_{\theta} = 1 + \frac{0,25 \text{ м}}{f}$$

# Оптичні інструменти та прилади

## Лупа

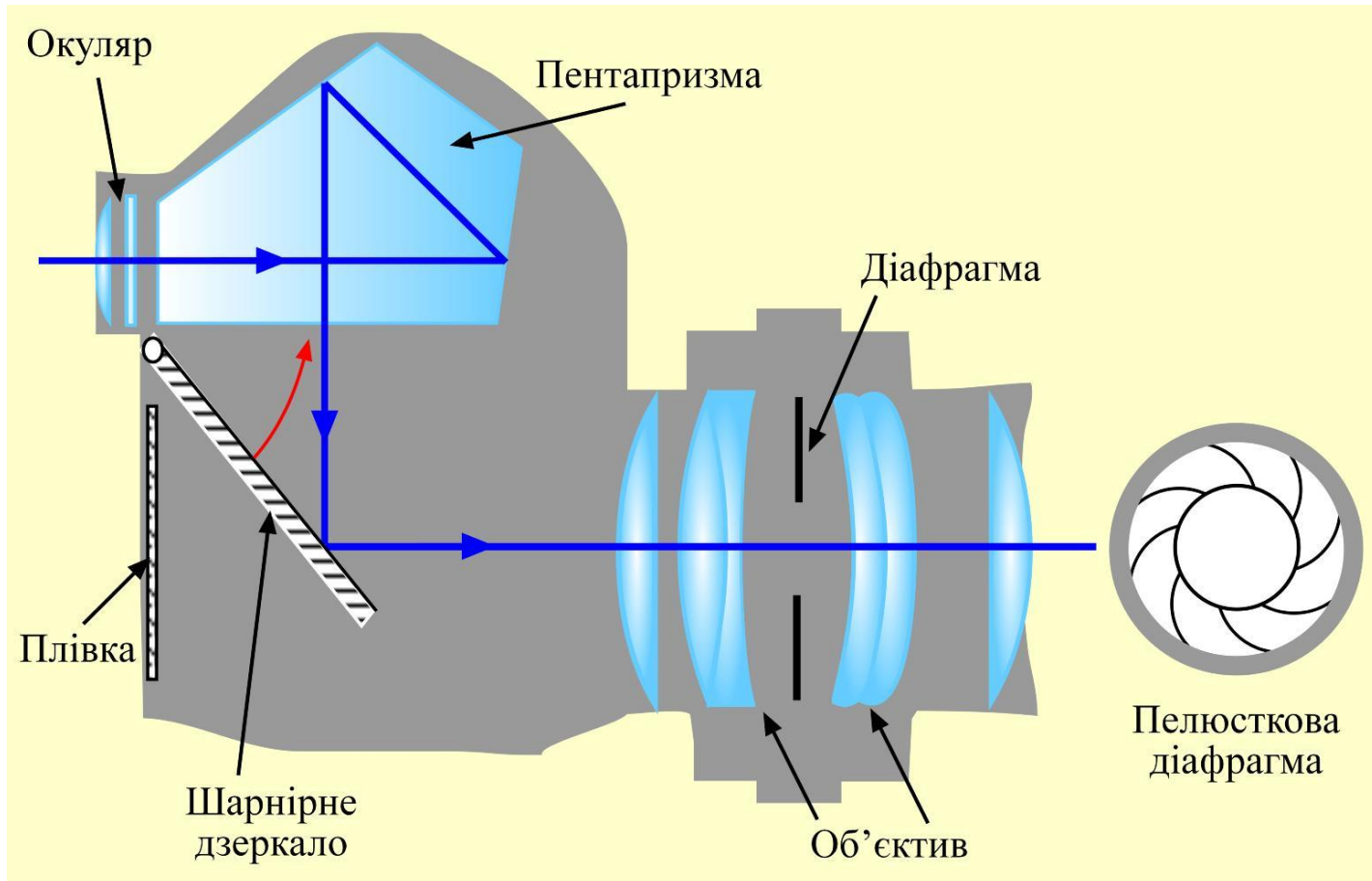


# Оптичні інструменти та

## прилади

### Фотоапарат

Фотоапарат – оптичний прилад, призначений для формування статичного зображення реального об'єкта. Фотоапарат дає дійсне, зменшене і перевернене зображення об'єкта на світлочутливому елементі – фотоплівці чи матриці. Фокусування фотоапарата здійснюється переміщенням в оправі лінз об'єктива.





# Оптичні інструменти та прилади



Світлосила об'єктива прямо пропорційна до площі діючого отвору об'єктива, тобто до квадрата діаметра об'єктива, і обернено пропорційна до квадрата фокусної відстані.

$$I = \frac{S}{f^2} = \frac{\pi d^2}{4 f^2}$$

Величину  $f/d$  називають **діафрагмовим числом**

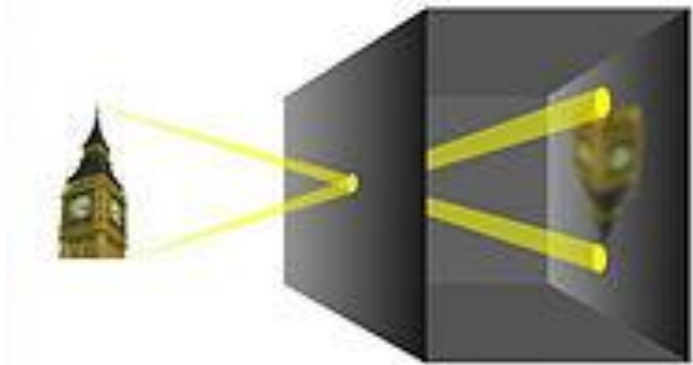
Сучасний об'єктив фірми Nikon із фокусною віддаллю 35 мм. Діафрагма об'єктива може змінюватися у доволі великих межах. Зокрема, встановлена діафрагма 11 означає, що діаметр діафрагми в одинадцять разів менший за фокусну відстань об'єктива



Світлини об'єкта з малою (ліворуч) та великою глибиною різкості



# Оптичні інструменти та прилади



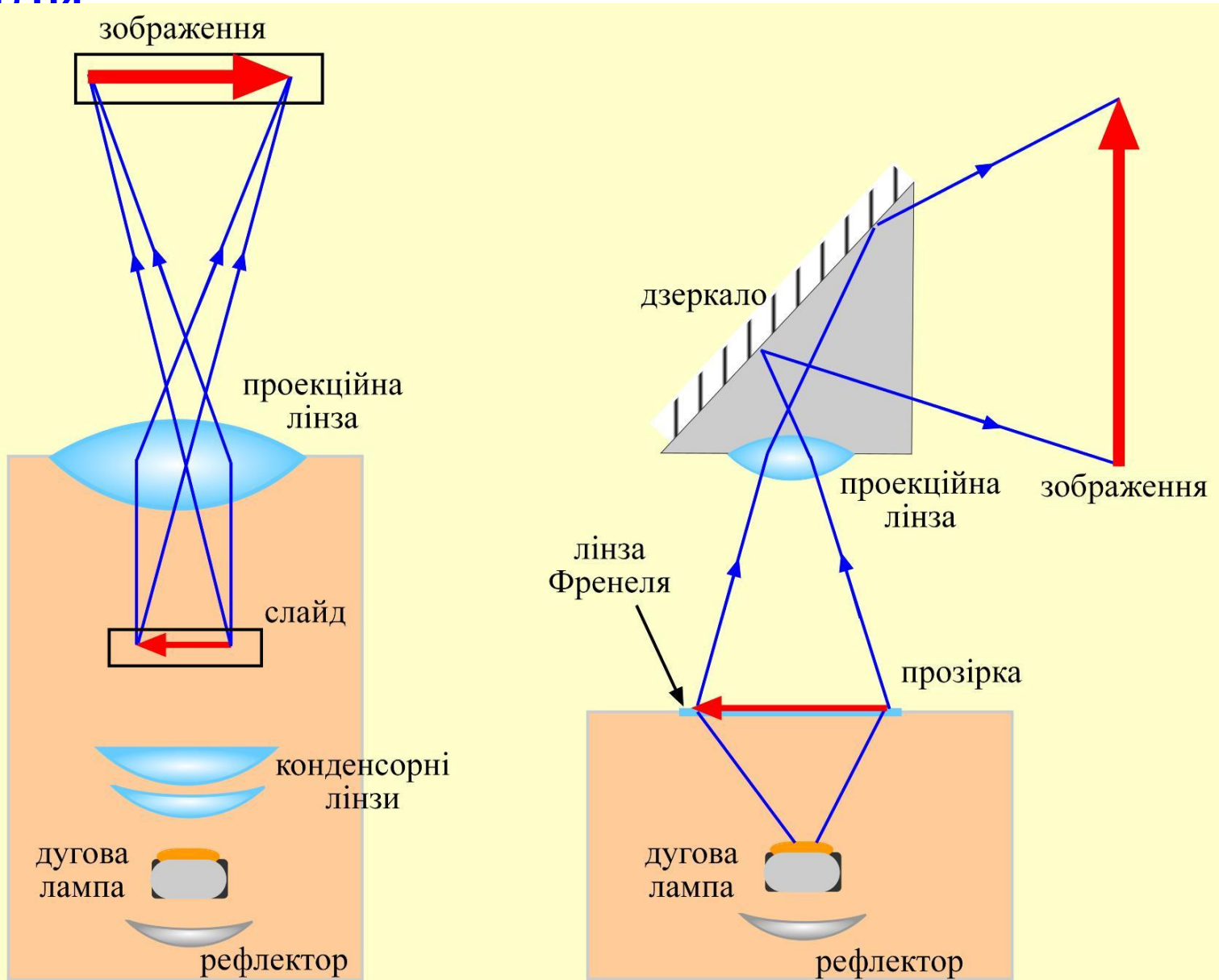
## Камера-обскура

*Камера-обскура* (лат. camera obscura «темна кімната») – найпростіший пристрій, що дає змогу отримати зображення об'єктів. Його будова надзвичайно проста. У світлонепроникному ящику або кімнаті в одній з стінок робиться отвір діаметром 0,5–5 мм. На протилежній стінці поміщають екран – білий лист паперу чи полотна, або ж матове скло. Зображення, що утворюється, буде дійсним, зменшеним і переверненим. Різкість зображення є низькою, бо зменшення розміру отвору призводить до дифракційних ефектів. Натомість, глибина різкості зображення нескінченно велика. За фокусну відстань камери-обскури приймається відстань від отвору камери до екрана. Оскільки камера є прообразом перших фотоапаратів і має аналогічний принцип дії, для неї застосовна така характеристика, як *діафрагмове число* – *відношення фокусної відстані до діаметра отвору*.

# Оптичні інструменти та прилади



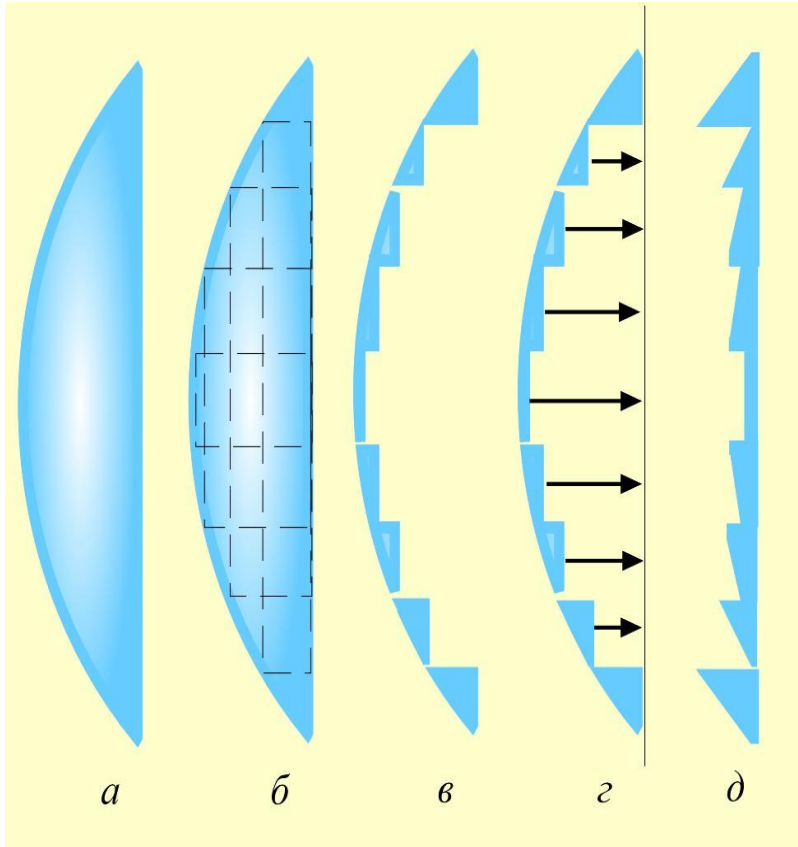
# Оптичні інструменти та прилади



Діаскоп

Епідіаскоп

# Оптичні інструменти та прилади

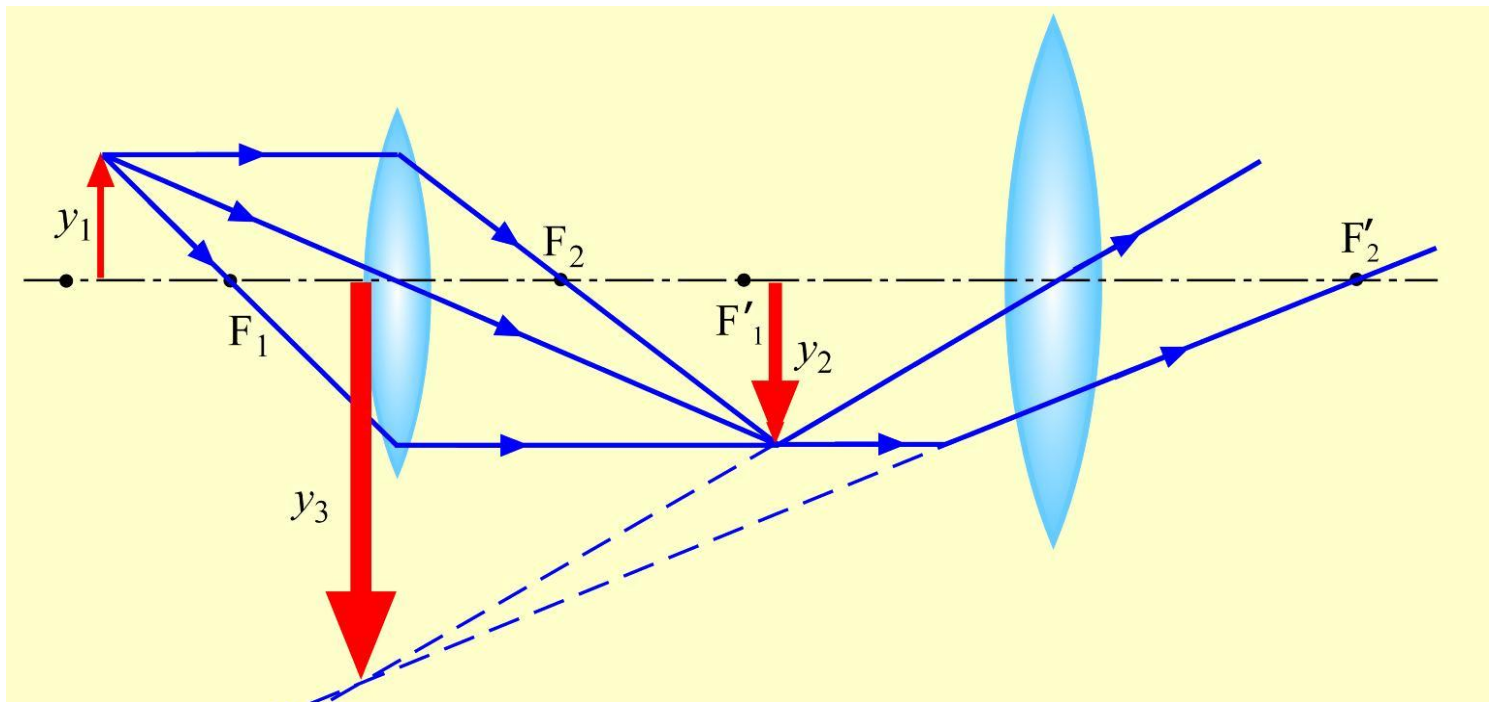


Етапи виготовлення лінзи Френеля. (а) вихідна збиральна лінза розбивається на (б) циліндричні кільця. Далі матеріал цих кілець (в) вилучається, а кільцеві фрагменти, що залишилися, (г) зсуваються в одну площину. Результуюча лінза (д) складається з кільцевих сегментів, кожен з яких наближено відтворює кривину певної локальної кільцевої ділянки початкової лінзи. Виготовлена з пластику лінза Френеля є плоскою, гнучкою, легкою і дуже зручною у використанні. Проте, така лінза дає значні втрати світлової енергії і не володіє високою оптичною якістю

# Оптичні інструменти та прилади

## Оптичні мікроскопи

**Мікроскопом** або **комбінованим мікроскопом** називатимемо систему з щонайменше 2 короткофокусних лінз, що використовується для спостереження за об'єктами малих розмірів.



*Оптична схема найпростішого мікроскопа*



# Оптичні інструменти та прилади

## Оптичні мікроскопи

Повне збільшення мікроскопа визначається добутком лінійного збільшення об'єктива

$$Y = \frac{y_2}{y_1}$$

і кутового збільшення окуляра

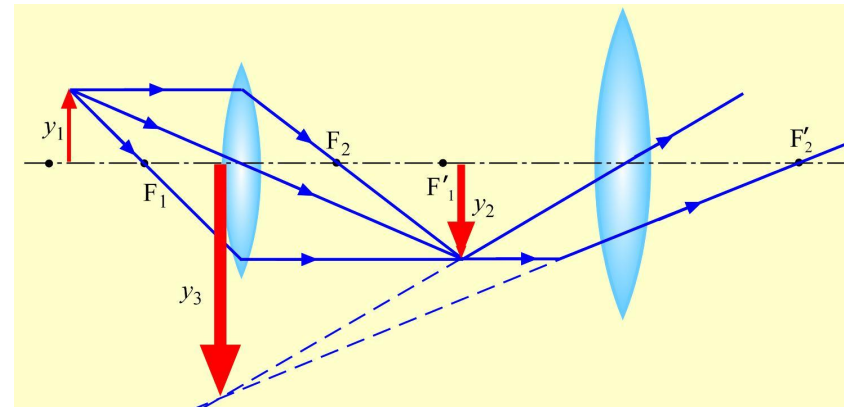
$$M_{\theta} = \frac{\theta_2}{\theta_1}$$

$$Y = \frac{y_2}{y_1} = \frac{a_2}{a_1} \approx \frac{a_2}{f_{об}}$$

$$M_{\theta} = 0,25 M / f_{ок}$$

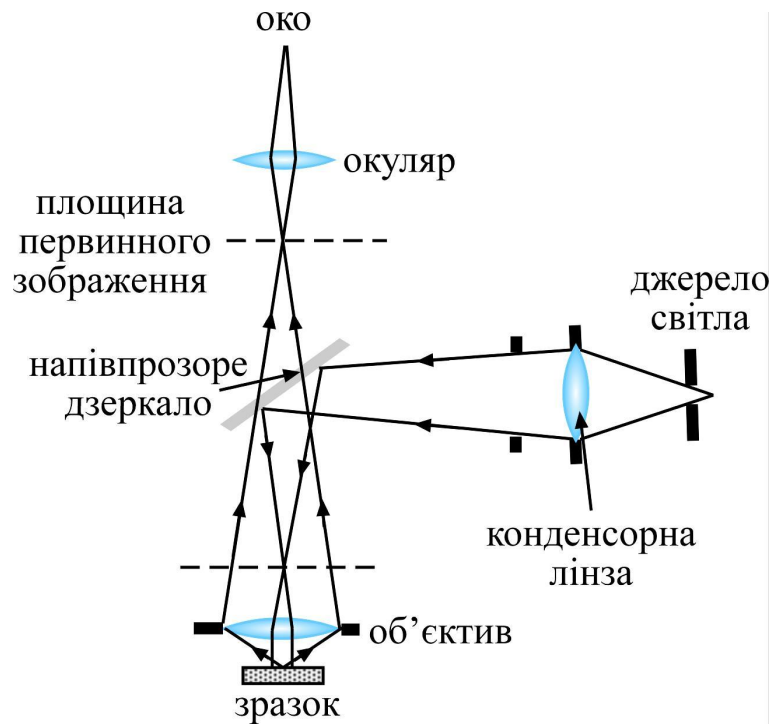
**Повне збільшення мікроскопа**

$$M = Y \cdot M_{\theta} = \frac{a_2}{f_{об}} \cdot \frac{0,25 M}{f_{ок}}$$



# Оптичні інструменти та прилади

## Металографічний мікроскоп



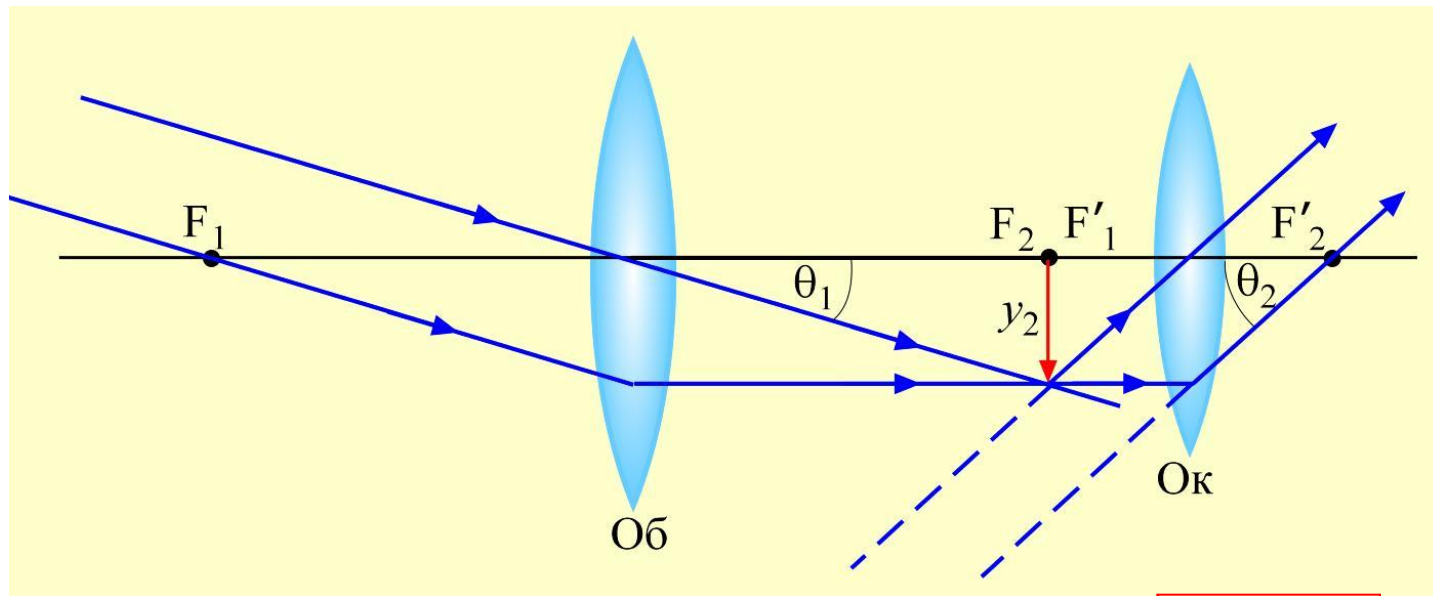
*Хід променів в металографічному мікроскопі. Праворуч світлина сучасного металографічного мікроскопа, з'єднаного з комп'ютером. Така система дозволяє оперативно робити фото поверхні непрозорих тіл*



# Оптичні інструменти та прилади

## Телескоп

**Телескопом-рефрактором** називається оптична система, що складається з щонайменше двох лінз, за допомогою якої здійснюються спостереження за віддаленими об'єктами.



Телескопи характеризують кутовим збільшенням

$$M_{\theta} = \frac{\theta_2}{\theta_1}$$

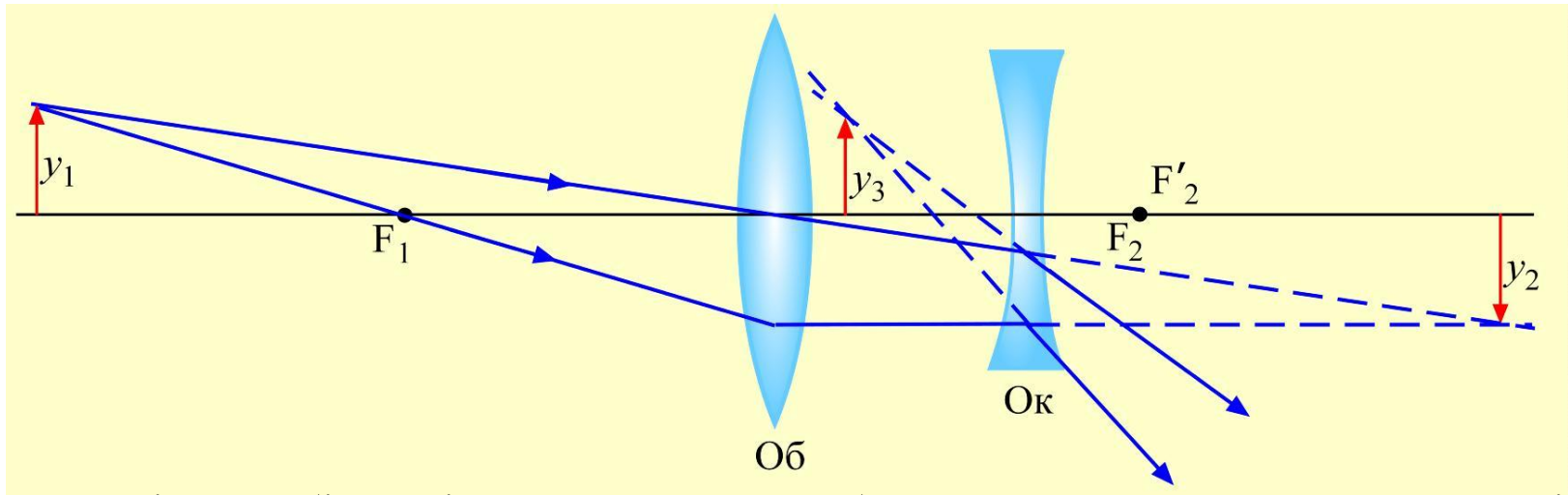
$$\theta_1 = -\frac{y_2}{f_{об}}$$

$$\theta_2 = \frac{y_2}{f_{ок}}$$

$$M_{\theta} = -\frac{f_{об}}{f_{ок}}$$

# Оптичні інструменти та прилади

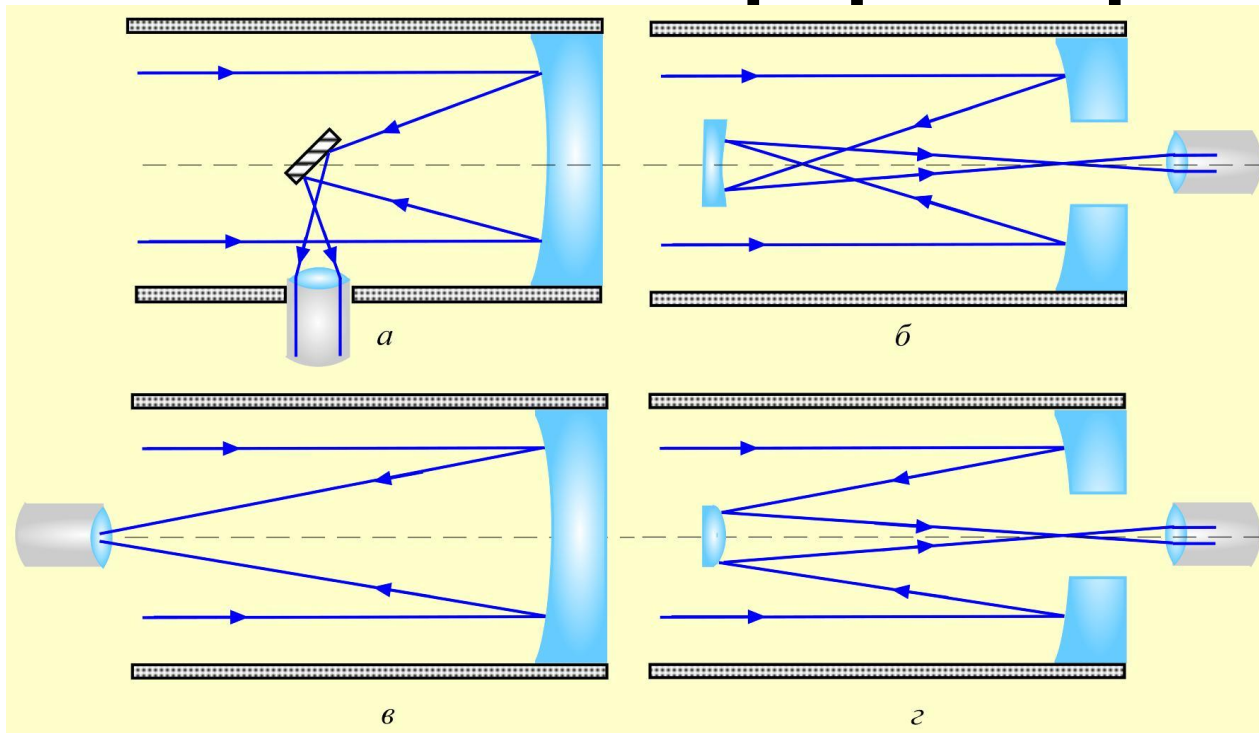
## Зорова труба Галілея



В зоровій трубі Галілея первинне зображення не утворюється, оскільки розсівна лінза окуляра розташована ближче до об'єктива, ніж первинне зображення. На відміну від традиційного тепер телескопа-рефрактора, довжина труби Галілея становила не суму фокусних відстаней об'єктива і окуляра, а їх різницю, хоча фокуси об'єктива і окуляра в цій трубі теж суміщені. Збільшення труби дорівнює, як і в традиційному телескопі, кутовому збільшенню.

Перевагою труби Галілея є пряме зображення. Недоліком – відсутність дійсного зображення. Ні візирного перехрестя, ні відлікового пристрою в ній застосувати не вдається. Тому трубу Галілея неможна використовувати при будь-яких вимірюваннях відстаней чи розмірів.

# Телескоп-рефлектор



*система Ньютона* (а). Промені з увігнутого дзеркала об'єктива падають на мале скошене дзеркало, що скеровує пучок світла в окуляр, розміщений перпендикулярно до осі вхідного пучка. Окуляр не затуляє частини вхідного пучка і не втрачається цінна інформація. Втрати світла на скошеному дзеркалі є мізерними. *система Грегорі* (б). Світло від сферичного дзеркала об'єктива скеровувалося на увігнуте дзеркало, яке перенапрямяло світло в окуляр, розміщений співвісно з падаючим пучком. *Систему головного фокуса* (в) можна застосовувати лише у найбільших телескопах, бо інакше процент втраченої інформації буде надто великим. *система Кассегрена* (г). В ній світло від сферичного об'єктива потрапляє на меніскове опукле дзеркало. Воно не дає хроматичної аберації, а сферична аберація протилежна за знаком аберації об'єктива.

# Оптичні інструменти та прилади



*Космічний телескоп Хаббла.*

***Характеристики телескопа:***

*Довжина: 13,3 м, ширина: 4,3 м, маса: 10863 кг.*

*Апертура головного дзеркала: 2,4 м,*

*апертура вторинного дзеркала: 0,3 м,*

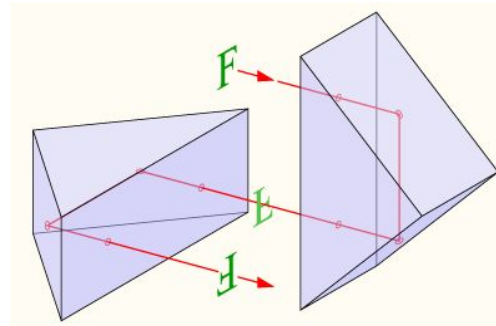
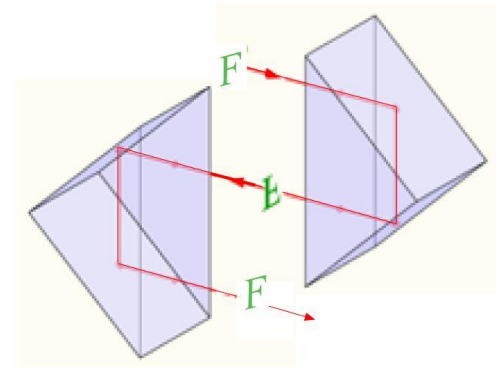
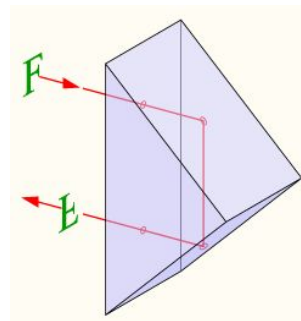
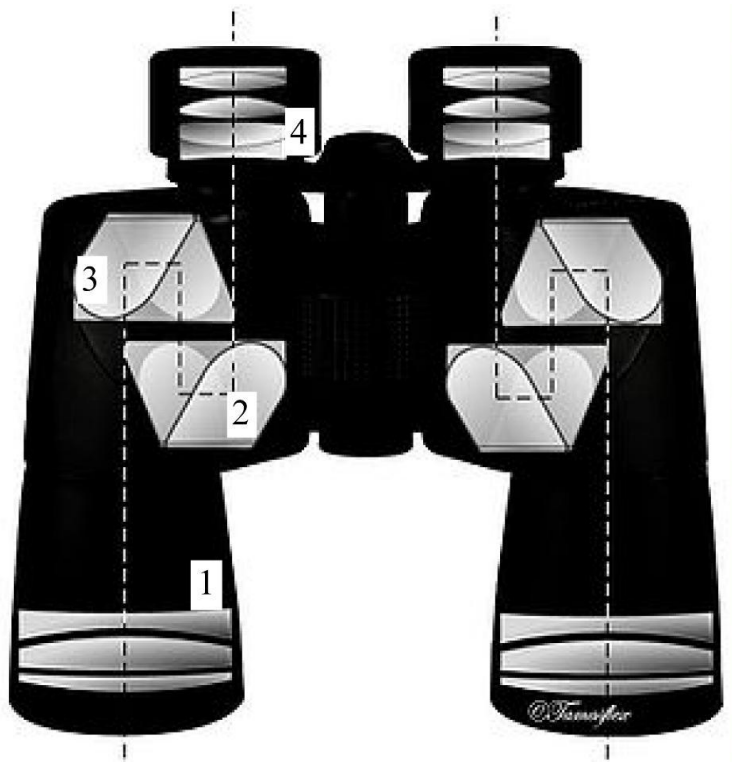
*фокусна відстань: 57,6 м.*

*Оптична схема: Річі-Кретьєна-Кассегрена*

# Оптичні інструменти та прилади

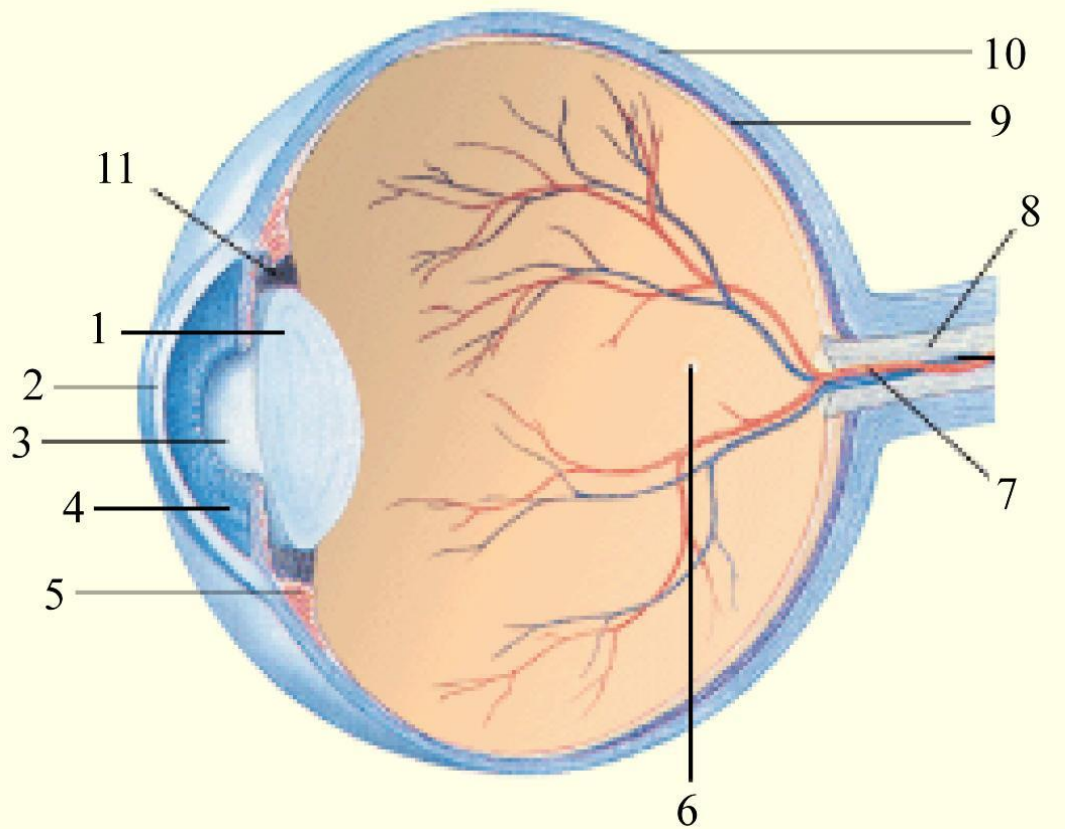
## Бінокль

**Бінокль** – оптичний прилад, що складається з двох паралельних близько розташованих з'єднаних зорових труб, і використовується для спостереження віддалених об'єктів двома очима.



# Будова ока людини.

## Корекція зору



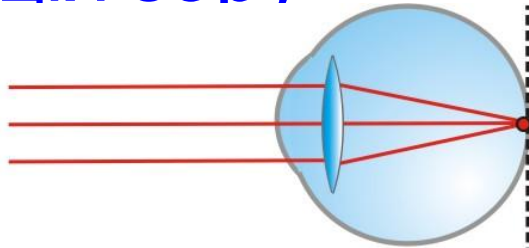
- 1 – кришталик
- 2 – рогівка
- 3 – зіниця
- 4 – райдужна оболонка
- 5 – війковий м'яз
- 6 – центральна ямка
- 7 – вени і артерії
- 8 – зоровий нерв
- 9 – сітківка
- 10 – склера
- 11 – війковий м'яз із зв'язкою



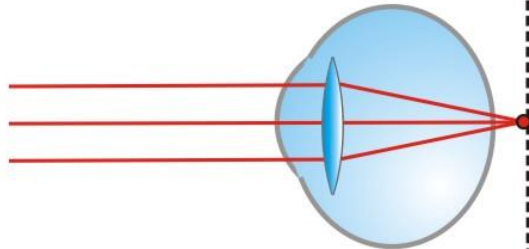
# Будова ока людини.

## Корекція зору

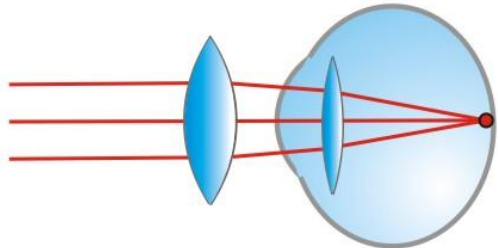
Еметропія



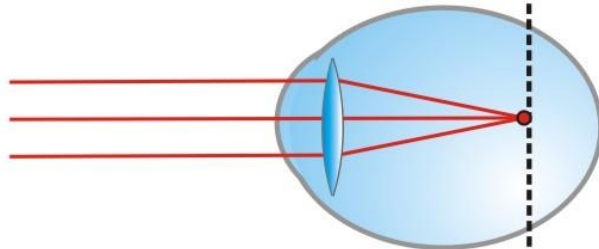
Гіпер-  
метропія



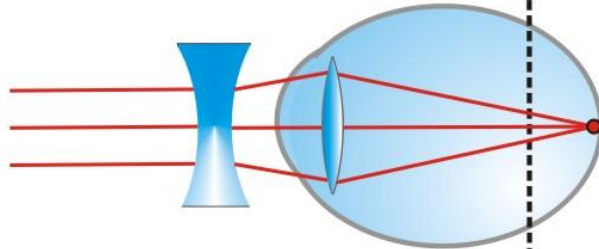
Корекція  
гіпер-  
метропії



Міопія



Корекція  
міопії



Дефекти зору та їхнє виправлення.

У фізіологічно нормальному оці (еметропія) пучок променів від безмежно віддаленого точкового джерела фокусується точно на сітківці. Виправлення дефекту **далекозорості** ока відбувається за допомогою збірної лінзи. Виправлення дефекту **короткозорості** ока відбувається за допомогою розсівної лінзи





***Дякую за***