

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.*

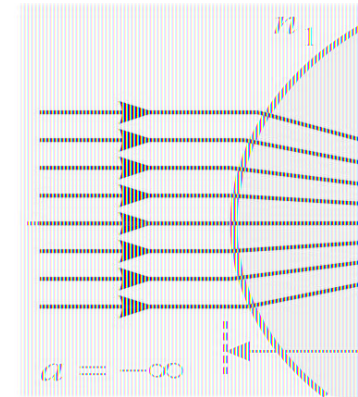
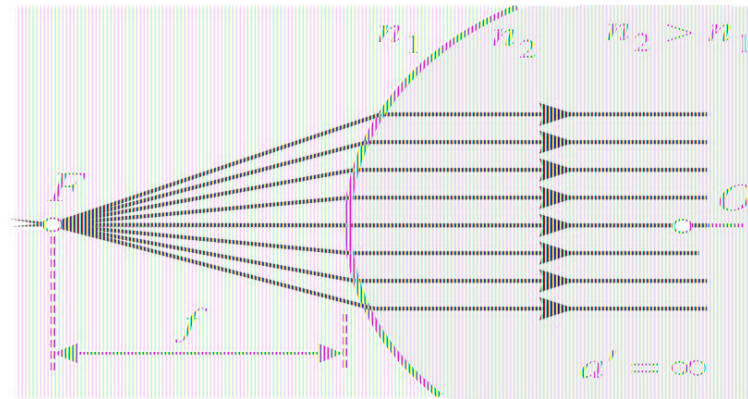
Заломлення світла на сферичній поверхні

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

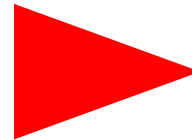
$$a = -\infty$$

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

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



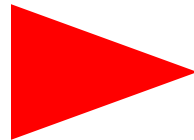
$$f' = n'R / (n' - n)$$



задня фокусна відстань.

$$a' = \infty$$

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



передня фокусна відстань.

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

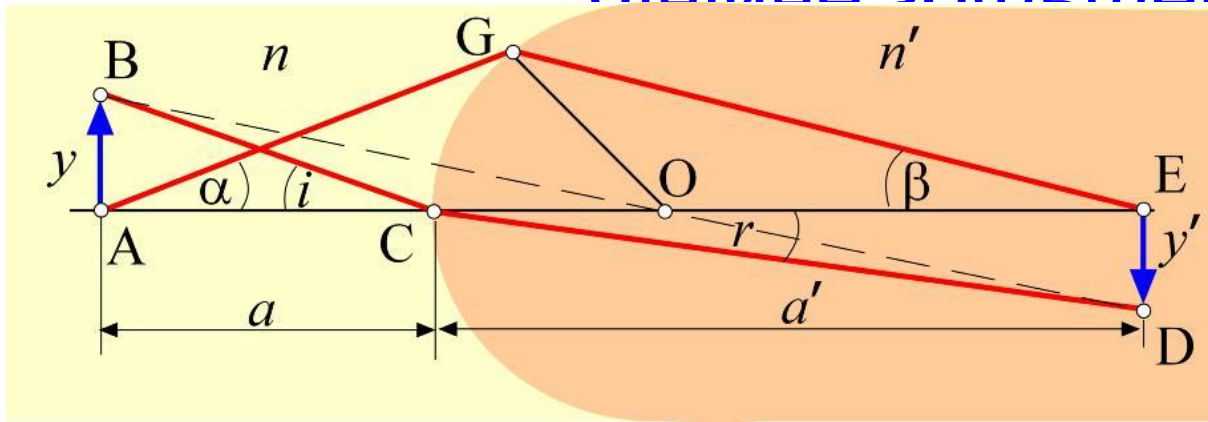
Фокуси несиметричні!



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

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

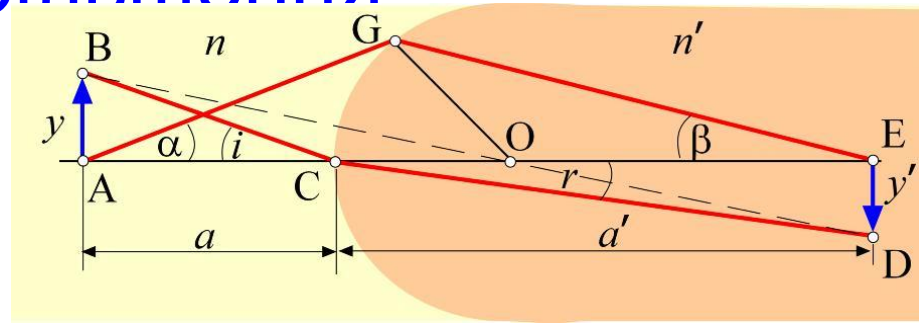
Для малих предметів і
зображень

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

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

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

$$\beta + i = \gamma$$

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

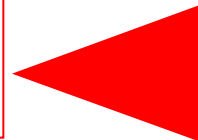
$$\alpha = -\frac{h}{a}$$

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

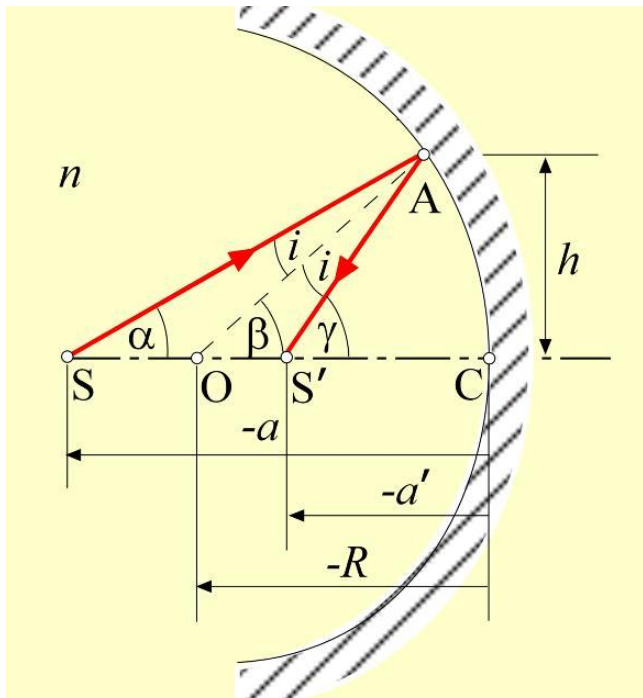
$$\gamma = -\frac{h}{a'}$$

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

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



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 $a = -\infty$

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

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

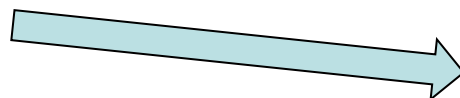
Фокус сферичного дзеркала лежить на половині його радіуса. Для дзеркала зображення дійсне, якщо воно лежить по один бік від дзеркала з джерелом. Якщо предмет і його зображення розташовані по різні боки дзеркала – зображення буде уявним. Сферичне дзеркала може бути опуклим, тоді $R > 0$ і увігнутим, для 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.

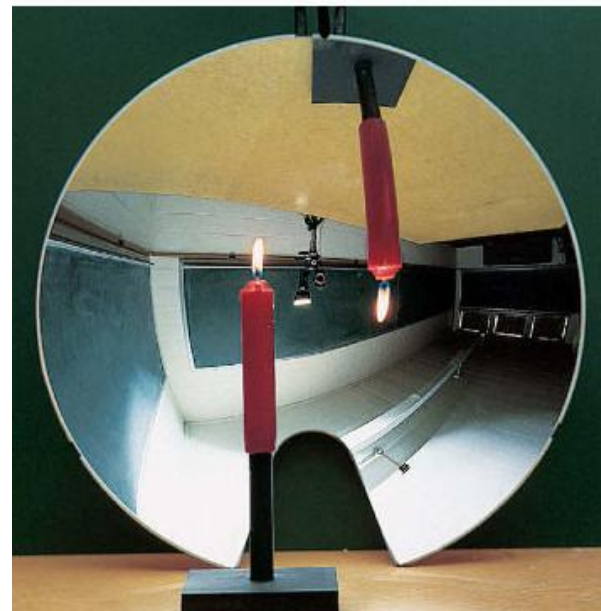
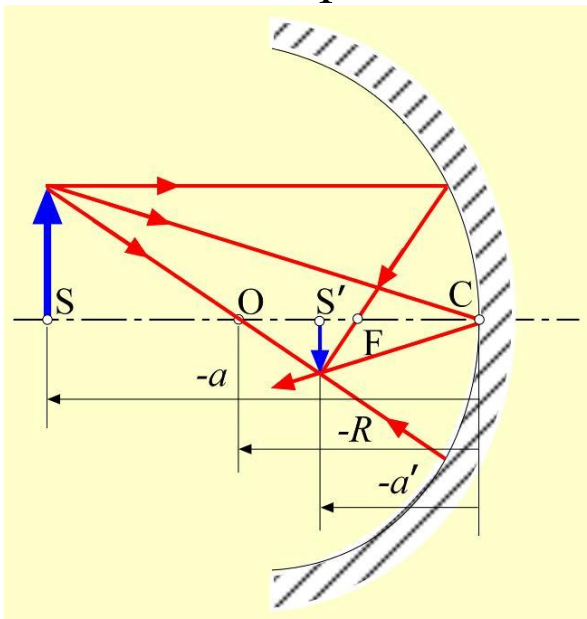


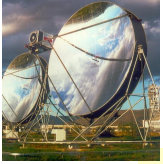
Дзеркала. Побудова зображень у дзеркалах.



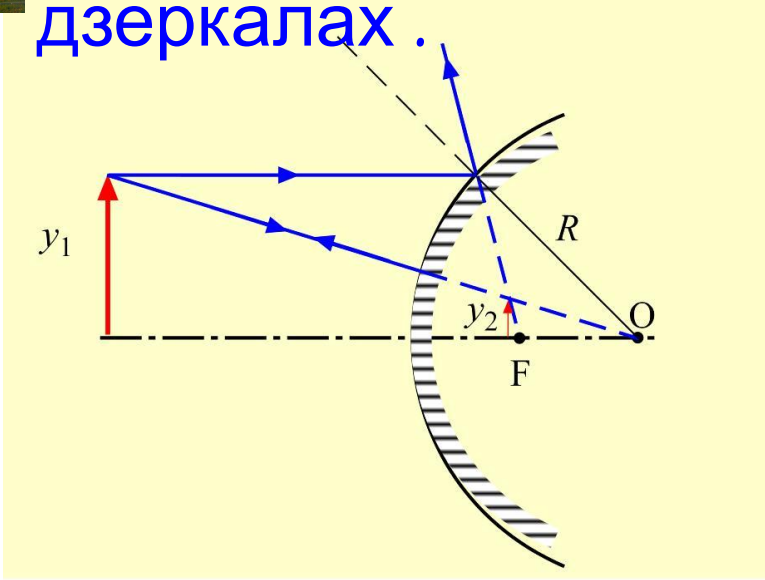
Для побудови зображень у сферичних дзеркалах використовують такі промені:

- 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.

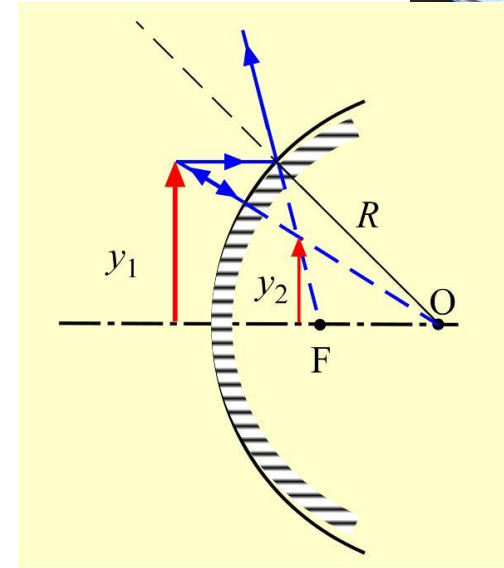




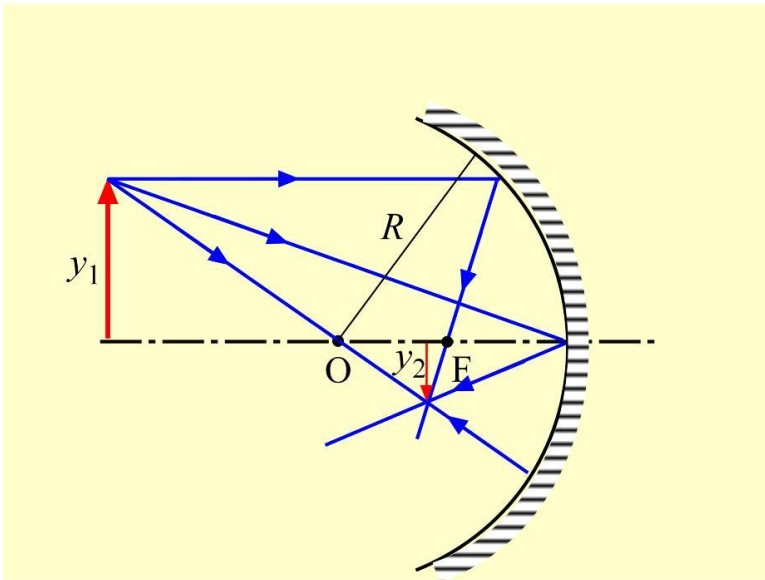
Дзеркала. Побудова зображень у дзеркалах.



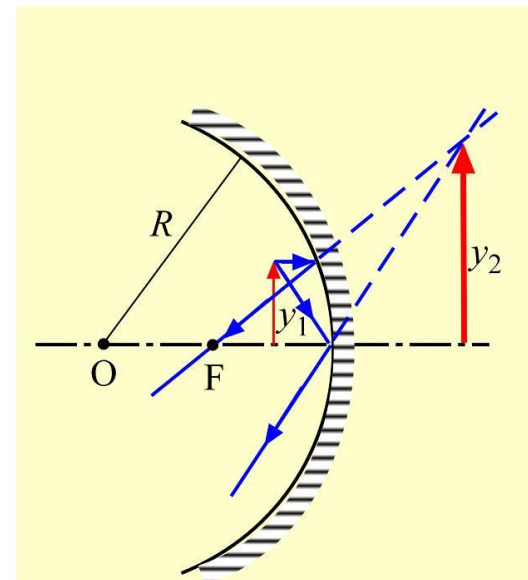
a



б



в



г

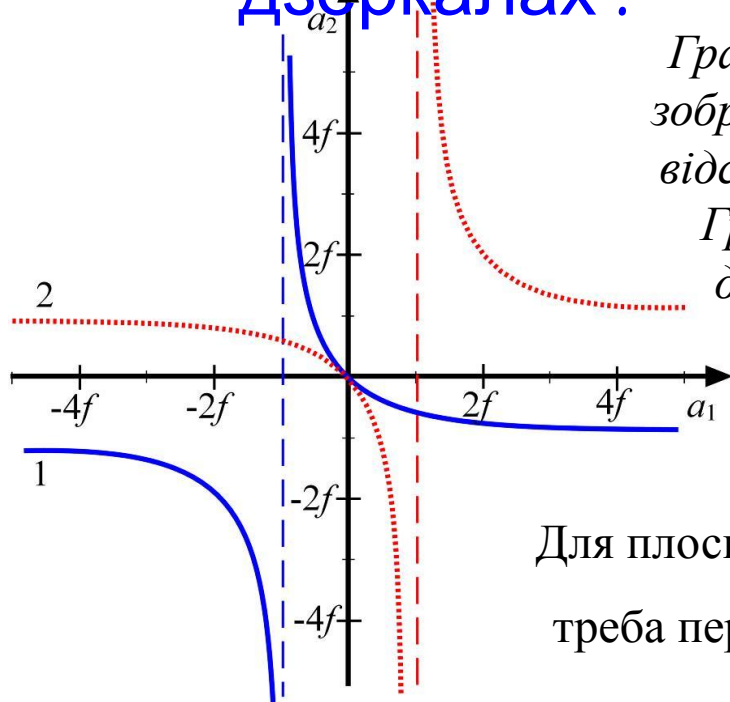


Дзеркала. Побудова зображень у дзеркалах .



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

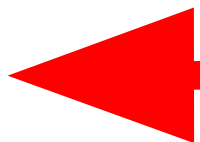
Графік 1 відповідає увігнутому дзеркалу, графік 2 – опуклому.



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

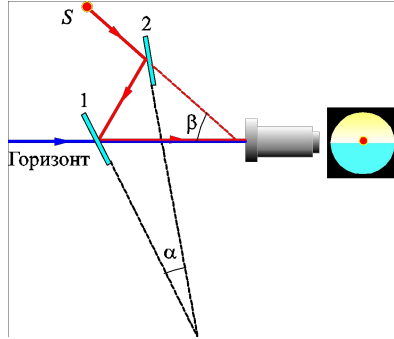
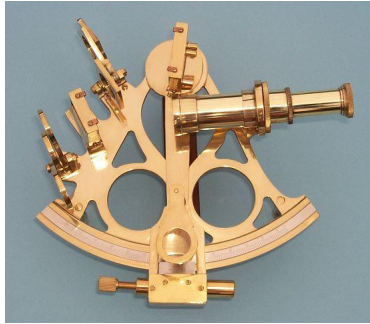
З цієї формули видно, що світна точка і її зображення лежать на однакових відстанях від поверхні плоского дзеркала по обидва його боки. Тобто зображення є *уявним і симетрично розташованим*.



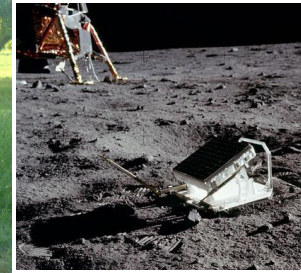
Дзеркала. Використання дзеркал.



Секстант



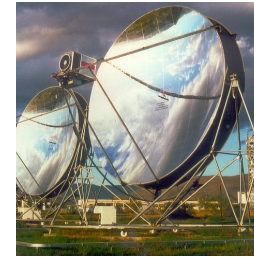
Катафот



Приймальні антени



Сонячні колектори



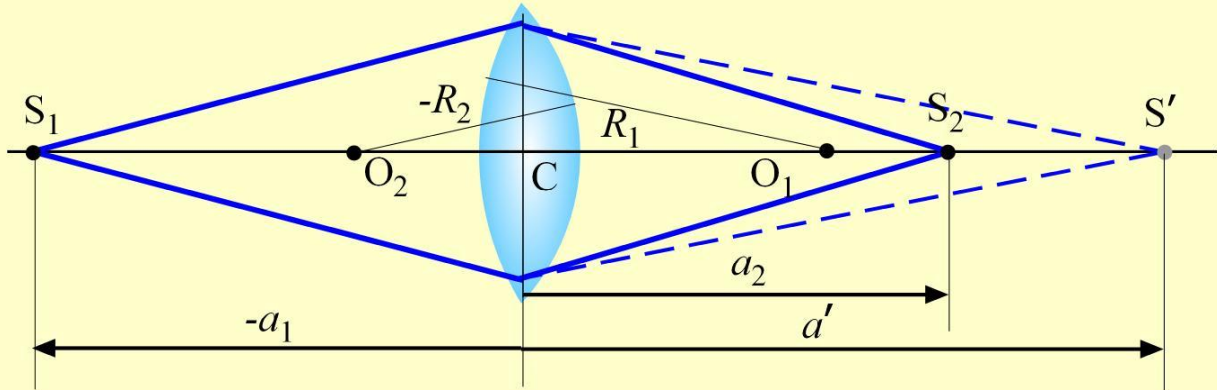
Лінзи. Формула лінзи. Побудова зображень у лінзах

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

$$\frac{n_{\text{л}}}{a'} - \frac{n_{\text{с}}}{a_1} = \frac{n_{\text{л}} - n_{\text{с}}}{R_1}$$

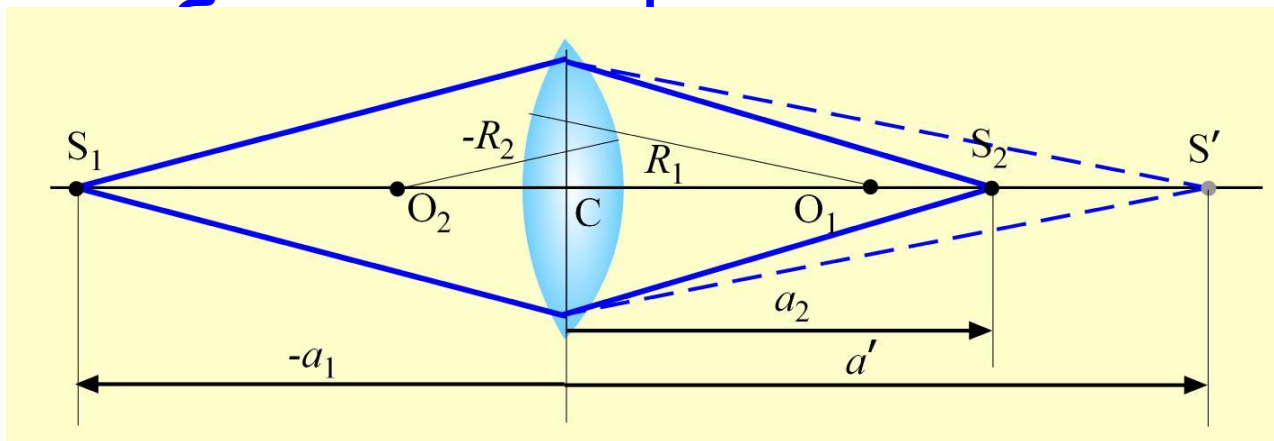
Для заломлення на другій межі поділу

$$\frac{n_{\text{л}}}{a'} - \frac{n_{\text{с}}}{a_2} = \frac{n_{\text{л}} - n_{\text{с}}}{R_2}$$

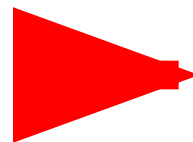
$$\left(\frac{n_{\text{л}}}{a'} - \frac{n_{\text{с}}}{a_1}\right) - \left(\frac{n_{\text{л}}}{a'} - \frac{n_{\text{с}}}{a_2}\right) = \frac{n_{\text{л}} - n_{\text{с}}}{R_1} - \frac{n_{\text{л}} - n_{\text{с}}}{R_2}$$

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

Лінзи. Формула лінзи. Побудова

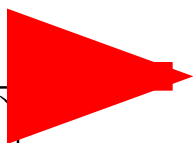


$$\frac{1}{a_2} - \frac{1}{a_1} = (N - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$



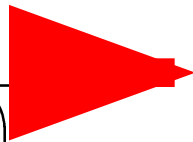
формула лінзи.

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



задня фокусна відстань.

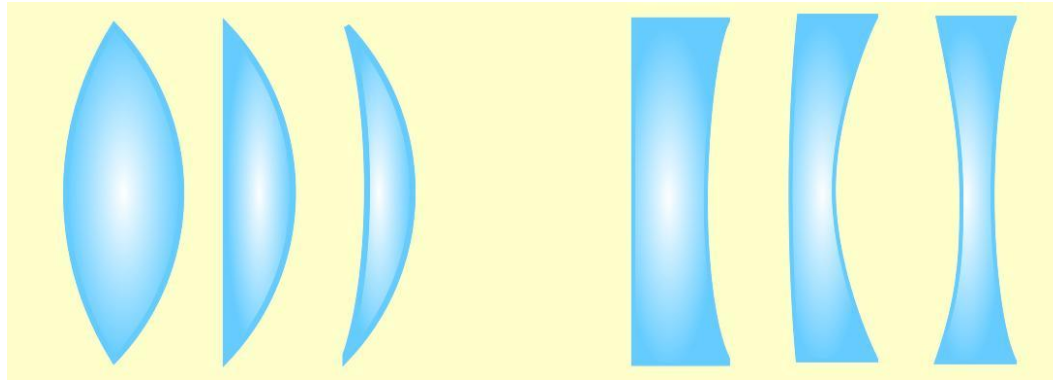
$$f_1 = - \frac{1}{(N - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)}$$



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

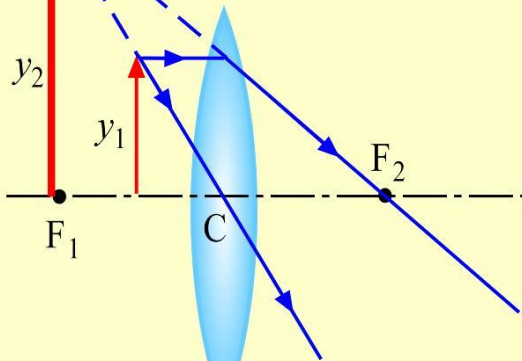


Для побудови зображень у лінзах використовують такі промені:

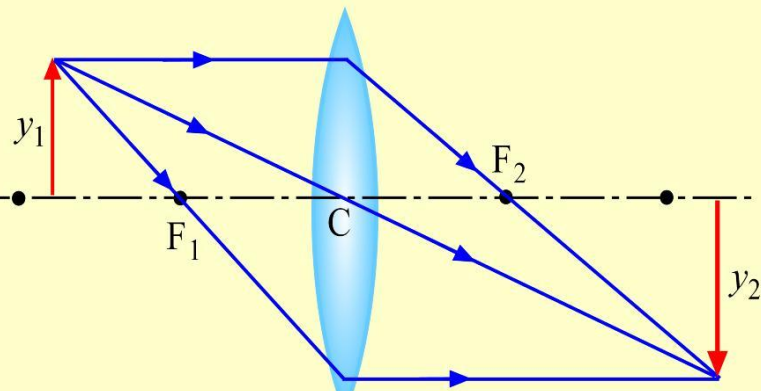
- *промінь, що йде паралельно головній оптичній осі. Після заломлення у лінзі промінь проходить через фокус.*
- *промінь, що йде через оптичний центр лінзи. Цей промінь проходить крізь лінзу без заломлення.*
- *промінь, що йде через фокус. Після заломлення у лінзі промінь проходить паралельно головній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

Побудова зображень у лінзах

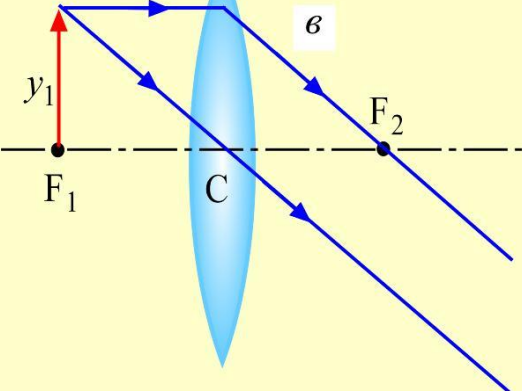
a



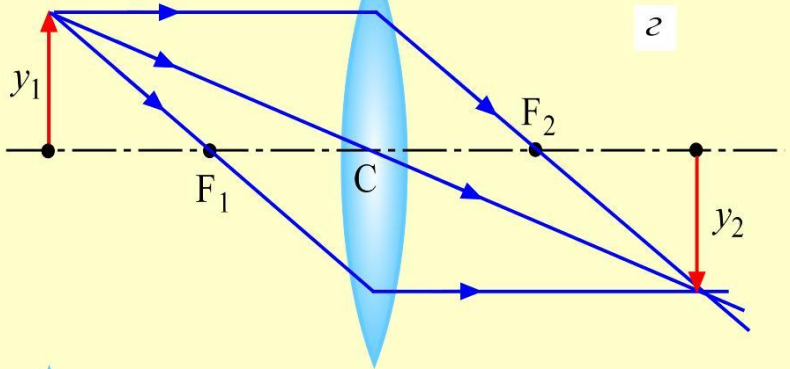
б



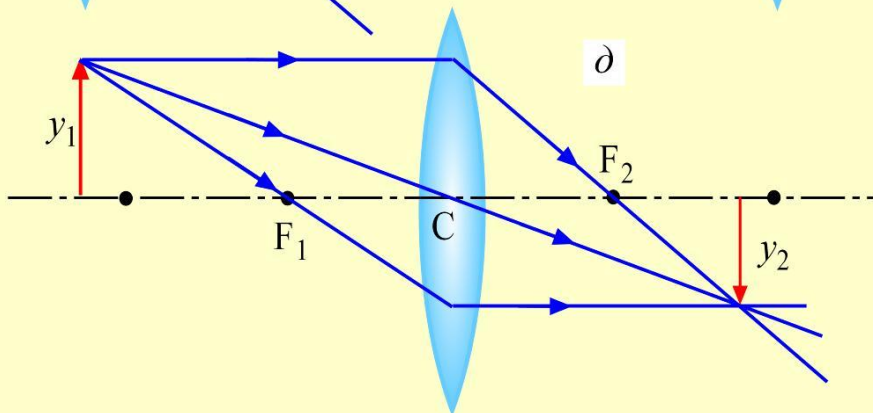
в



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:

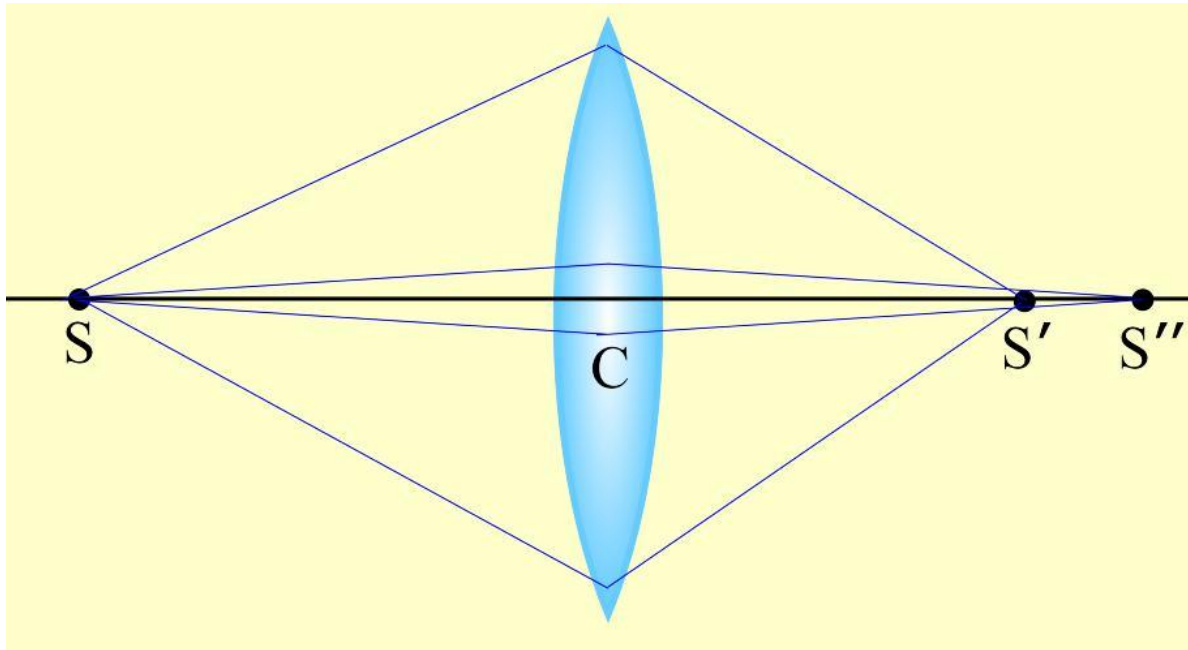
1. стигматичність зображення, коли кожна точка предмета переходить лише в одну точку зображення;
2. площинність зображення, коли всі точки зображення лежать в одній площині;
3. однаковість масштабу зображення щодо предмета у поздовжньому і поперечному напрямку, коли масштаб зображення однаковий для будь-яких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

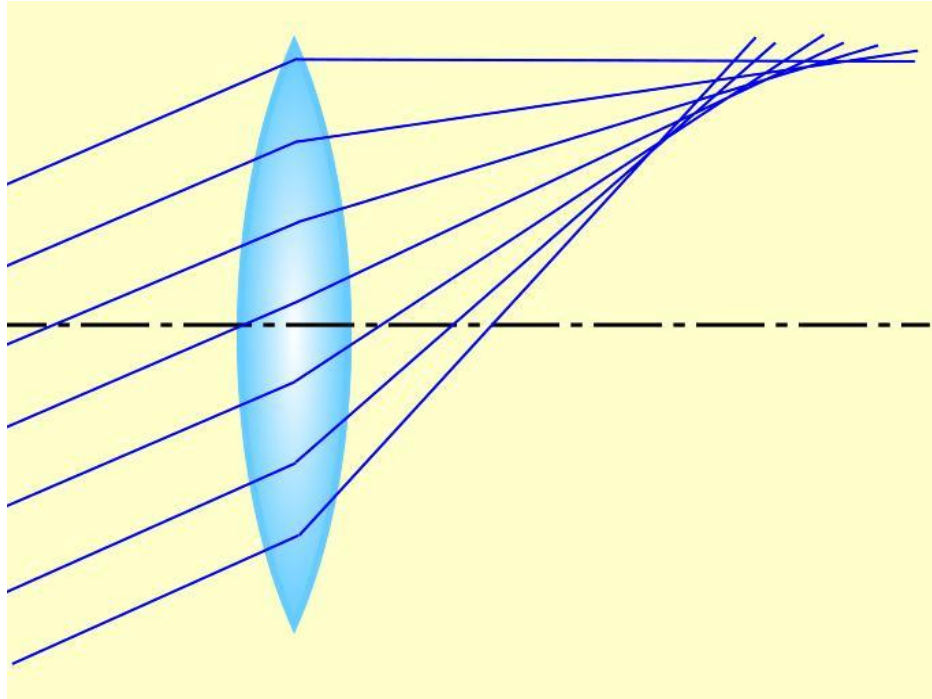
Аберації у широких пучках. Сферична аберация.



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.



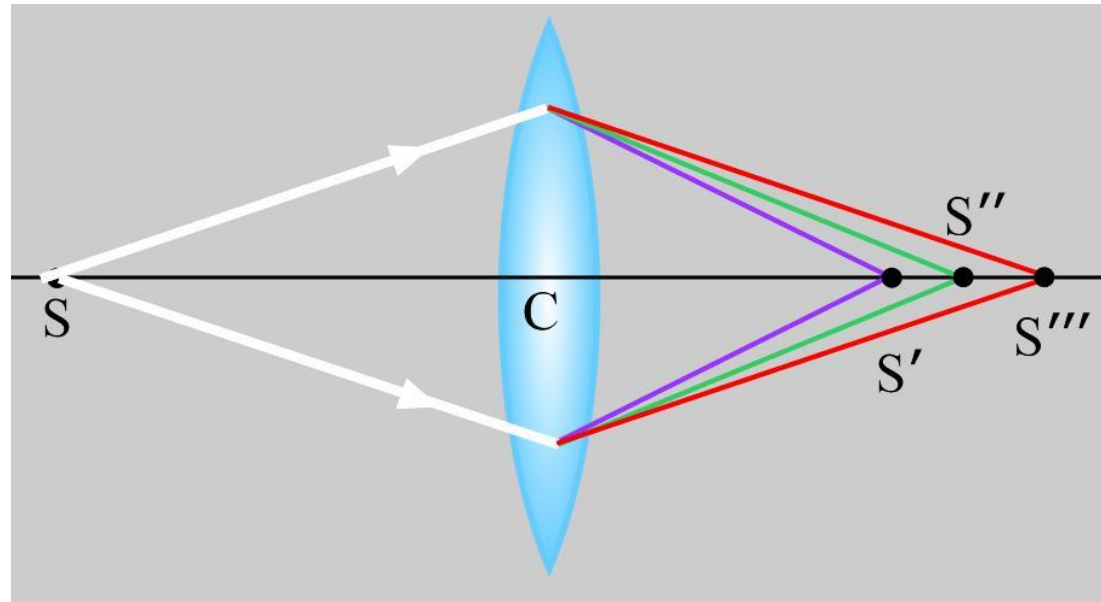
Якщо світна точка розташована за межами головної оптичної осі, виникає ще одна похибка оптичних систем – кома. У позаосьовому пучку промені утворюють різні кути з нормаллю відносно поверхні лінзи. Як наслідок, зображення буде не стигматичним, а матиме вигляд складної геометричної фігури, що в поперечному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

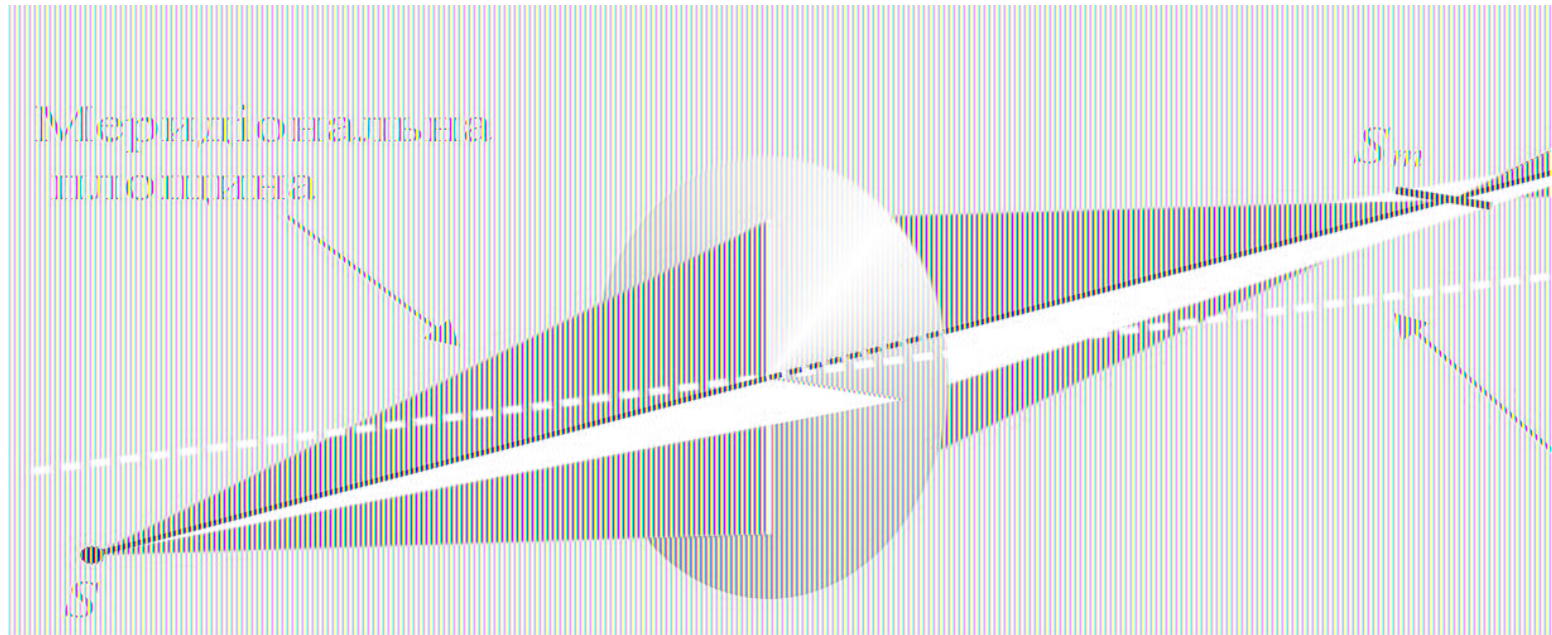
Для потреб **фотографування** ахроматизація полягає у зведенні в одну точку фокусів для світла з довжинами хвиль $\lambda_G = 434,1$ нм $\lambda_D = 589,3$ нм

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

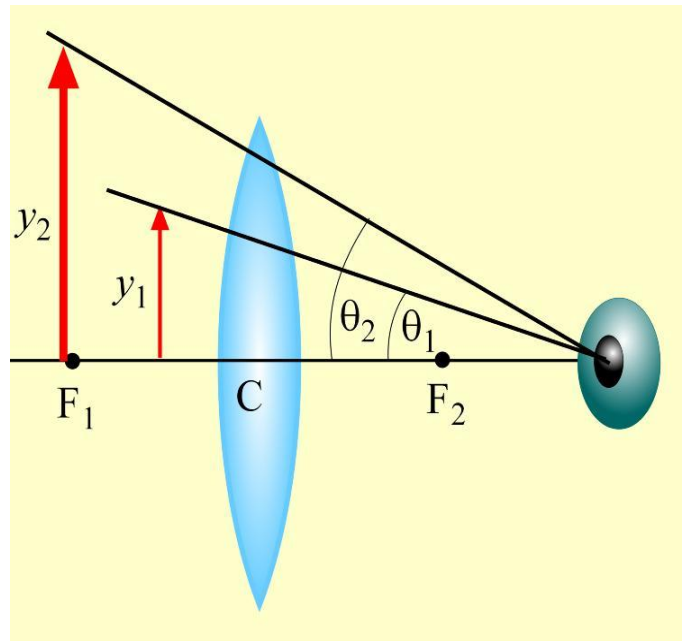
Якщо промені, що беруть участь у побудові зображення, утворюють великі кути з головною оптичною віссю, виникає інший тип похибки оптичних систем – *дисторсія*. Якщо уявити предмет у вигляді відрізка, перпендикулярного до головної осі, і розбити його на однакові за довжиною частини, то зображення цих 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,

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

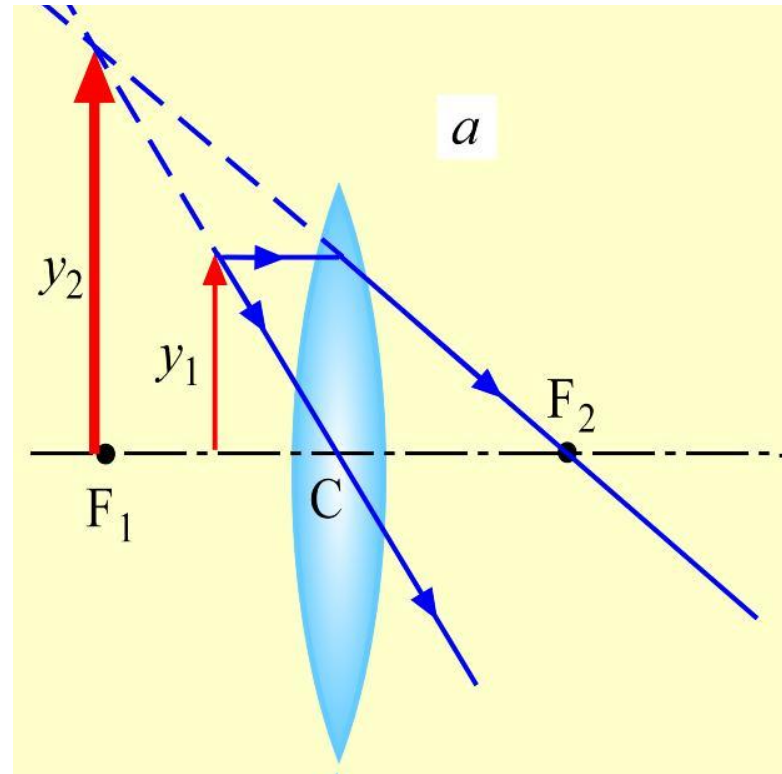
$$M_{\theta} = \frac{0,25 \text{ м}}{a_1}$$

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

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

Оптичні інструменти та прилади

Лупа

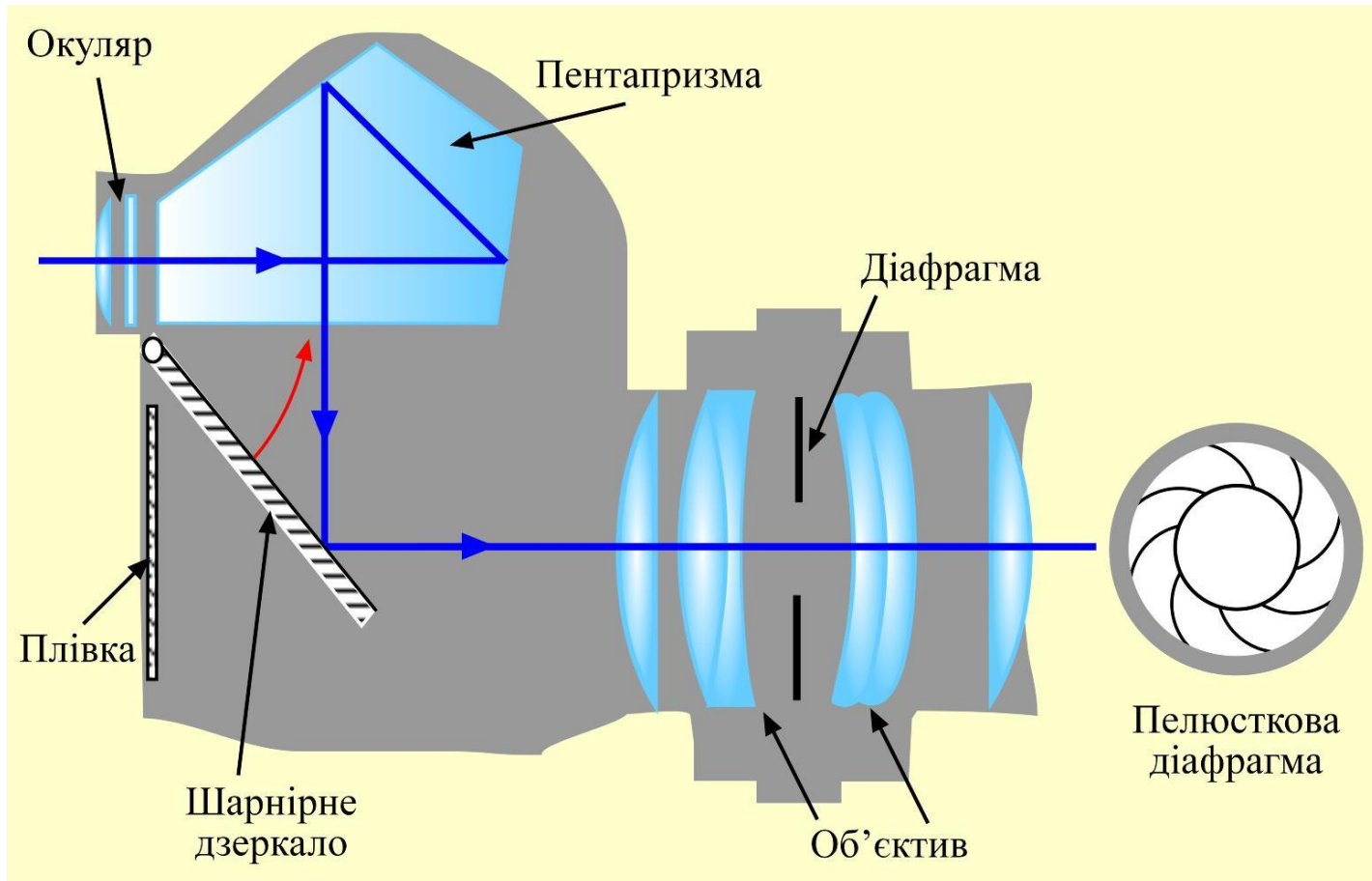


Оптичні інструменти та

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.

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

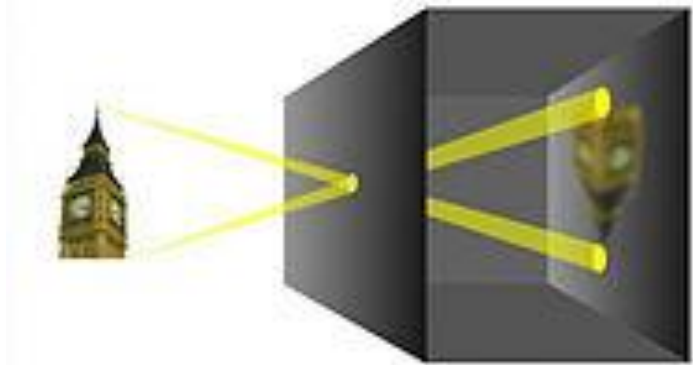
Величину f/d називають **діафрагмовим числом**

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



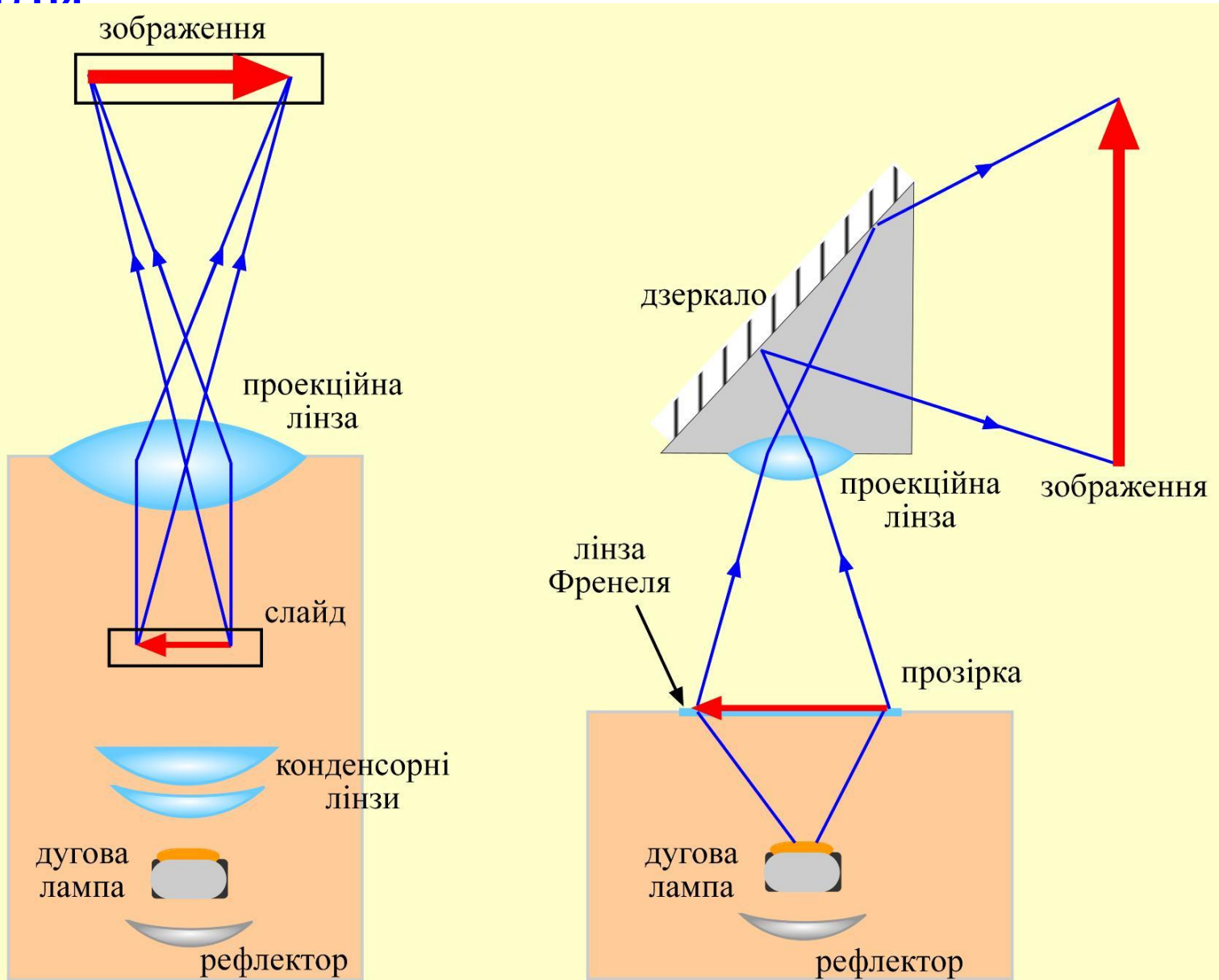
Камера-обскура

Камера-обскура (лат. camera obscūra «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



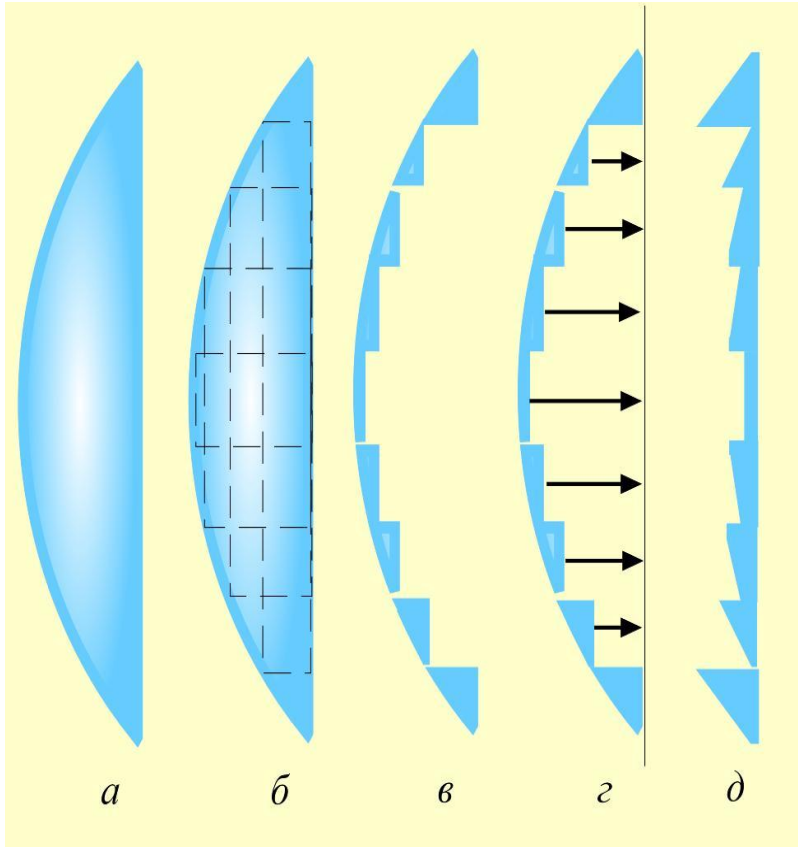
Оптичні інструменти та прилади



Діаскоп

Епідіаскоп

Оптичні інструменти та прилади

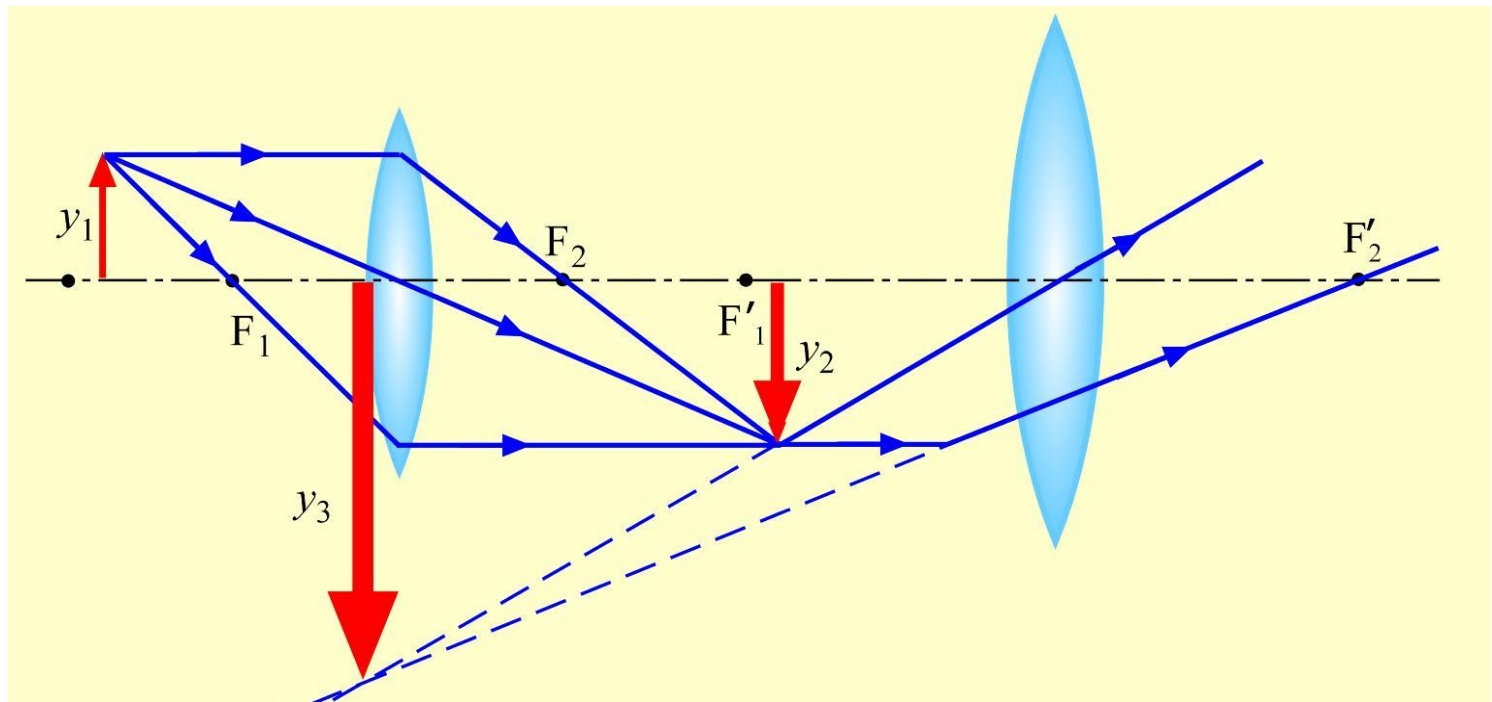


Етапи виготовлення лінзи Френеля. (а) вихідна збиральна лінза розбивається на (б) циліндричні кільця. Далі матеріал цих кілець (в) вилучається, а кільцеві фрагменти, що залишилися, (г) зсуваються в одну площину. Результуюча лінза (д) складається з кільцевих сегментів, кожен з яких наближено відтворює 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

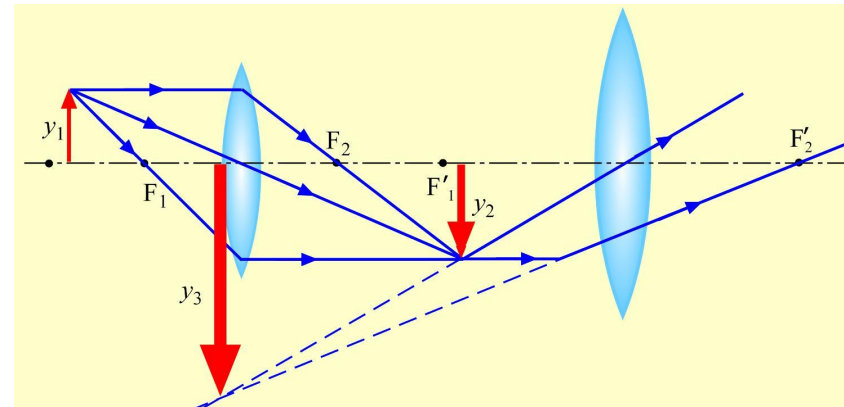
$$M_{\theta} = \frac{\theta_2}{\theta_1}$$

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

$$M_{\theta} = 0,25 M / f_{ок}$$

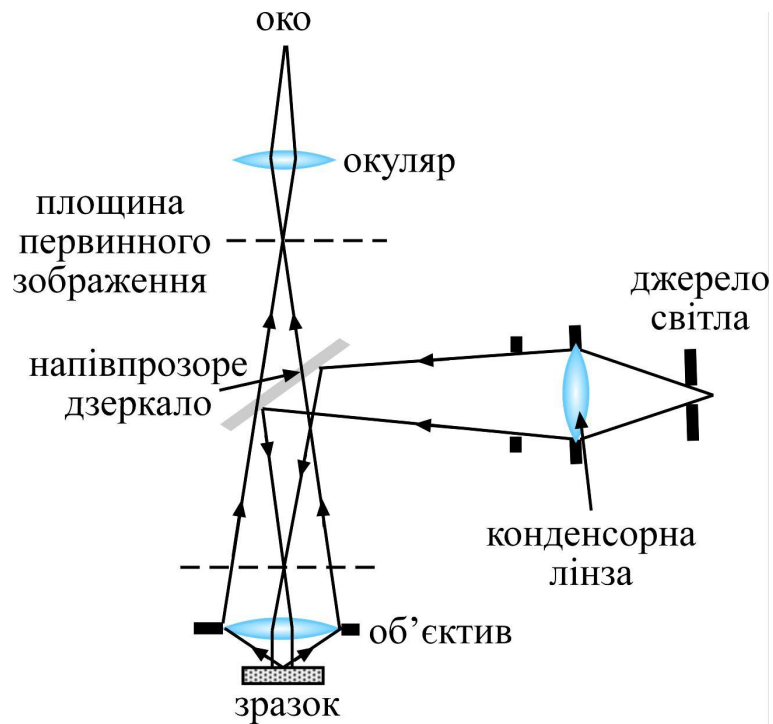
Повне збільшення мікроскопа

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



Оптичні інструменти та прилади

Металографічний мікроскоп

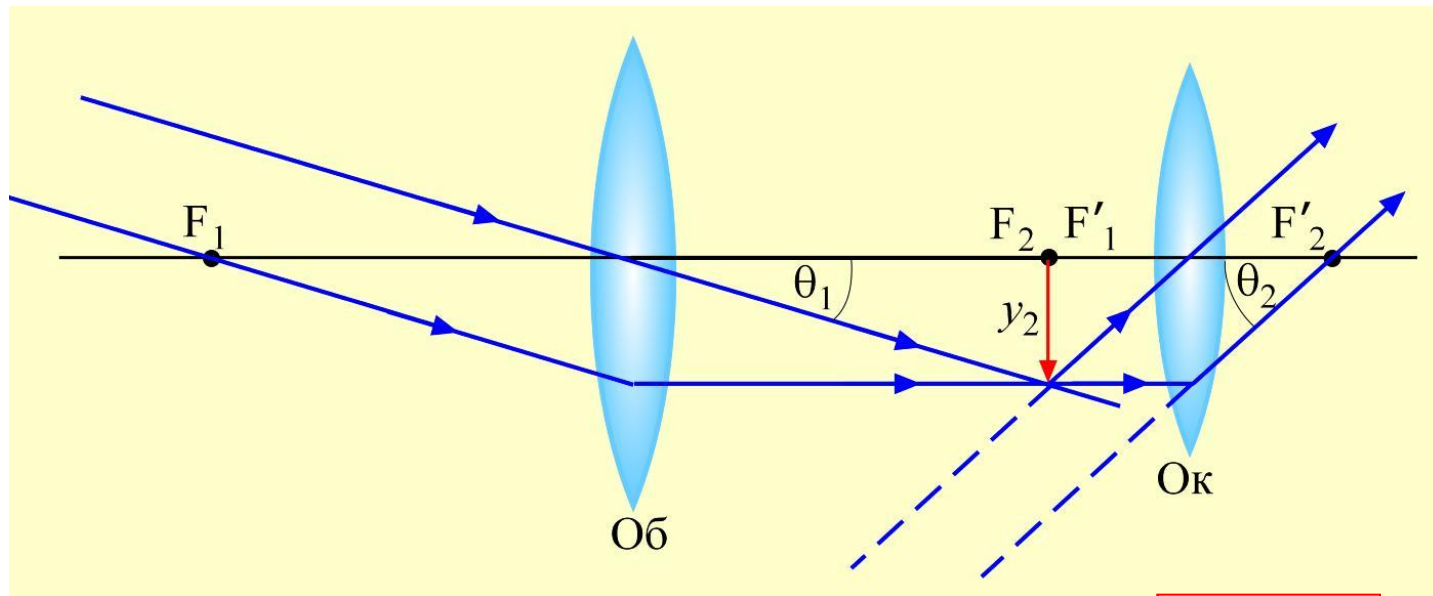


Хід променів в металографічному мікроскопі. Праворуч світлина сучасного металографічного мікроскопа, з'єднаного з комп'ютером. Така система дозволяє оперативно робити фото поверхні непрозорих тіл

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

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

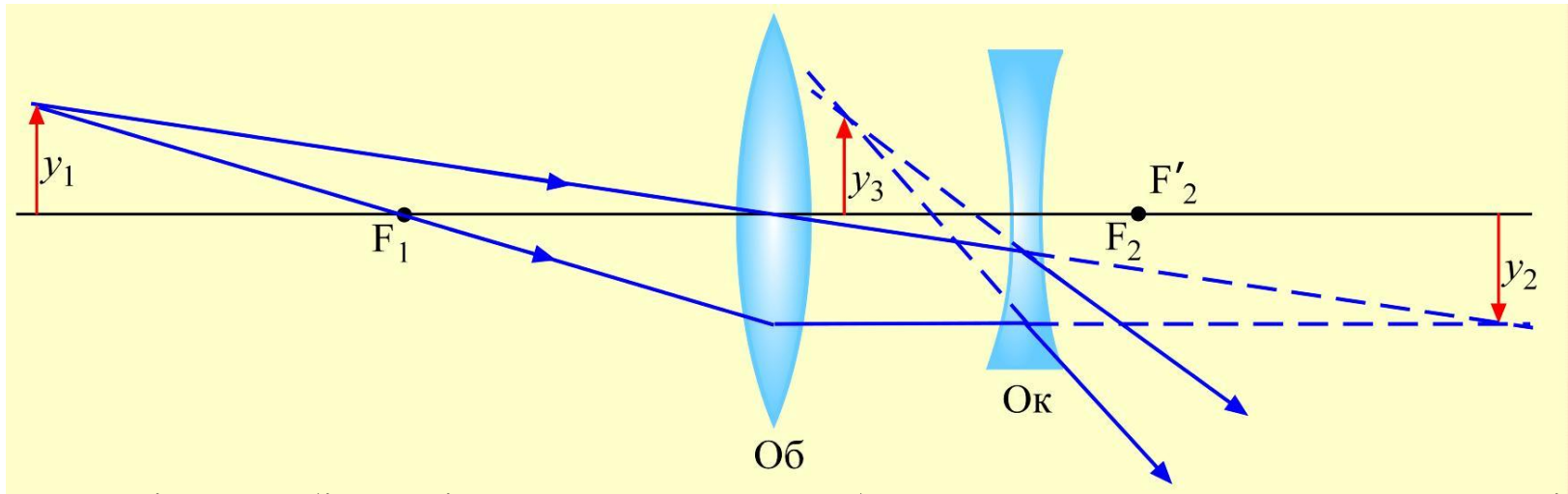
$$\theta_1 = -\frac{y_2}{f_{об}}$$

$$\theta_2 = \frac{y_2}{f_{ок}}$$

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

Оптичні інструменти та прилади

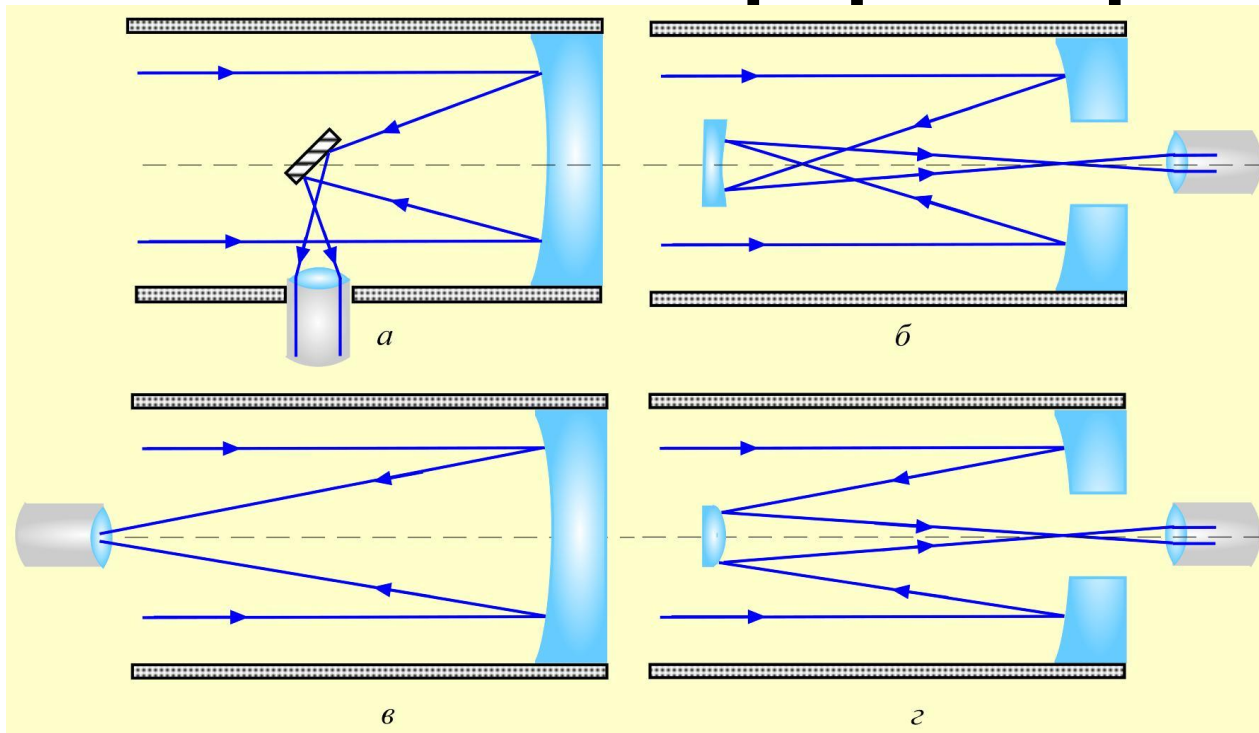
Зорова труба Галілея



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,

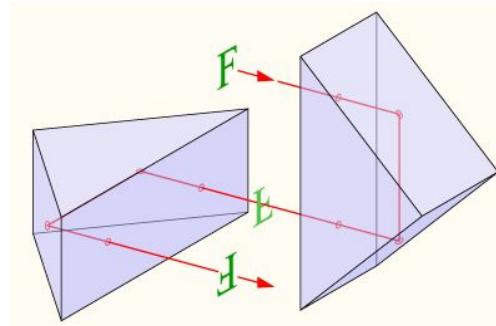
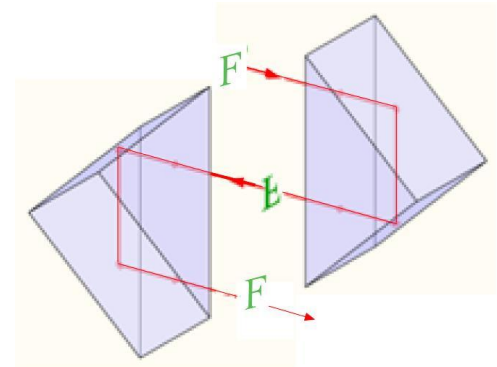
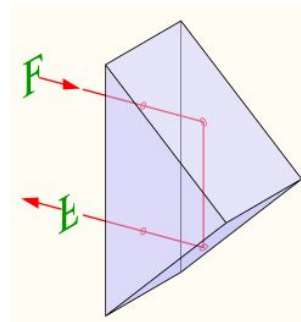
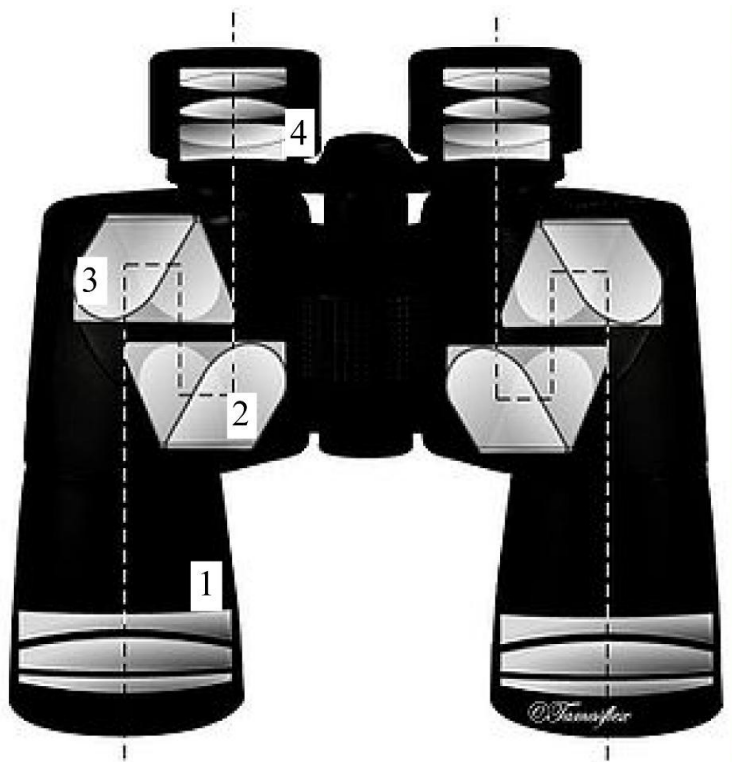
фокусна відстань: 57,6 м.

Оптична схема: Річі-Кретьєна-Кассегрена

Оптичні інструменти та прилади

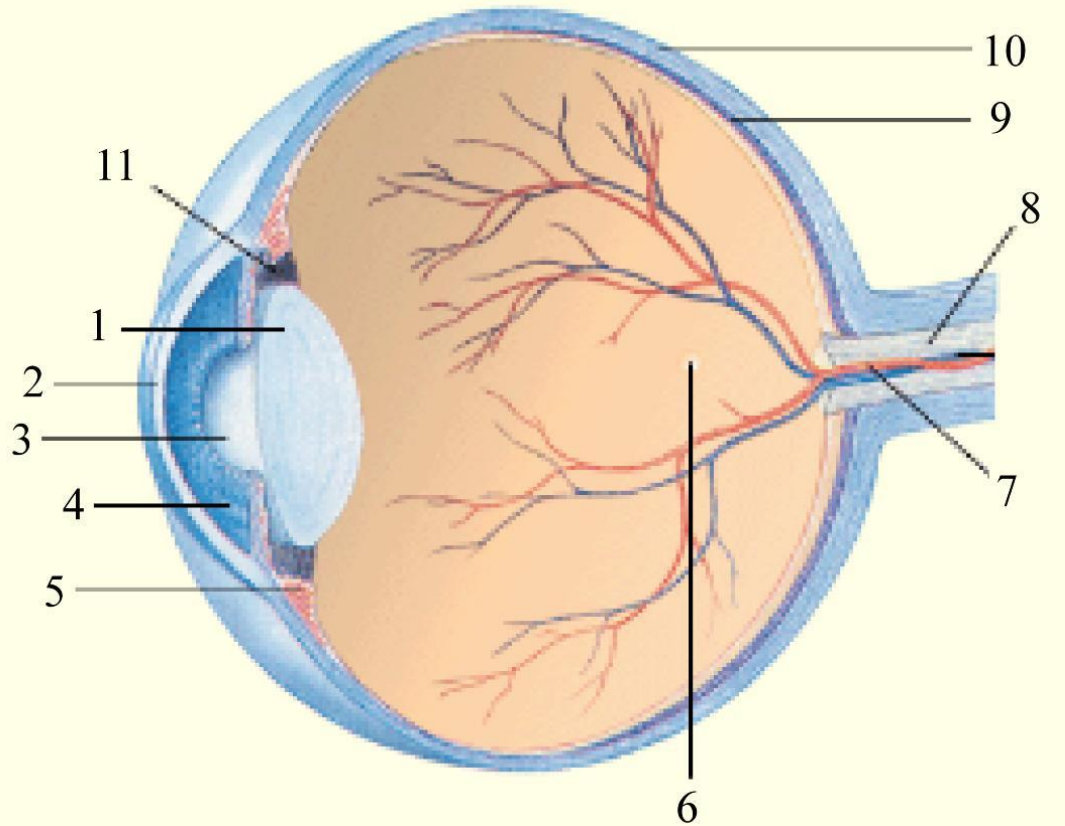
Бінокль

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



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

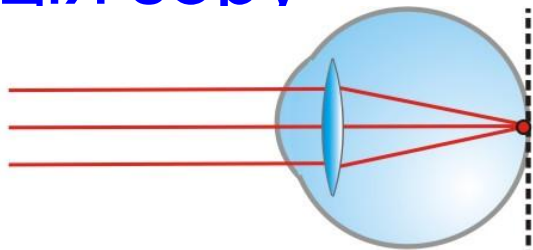
10 – склера

11 – війковий м'яз із зв'язкою

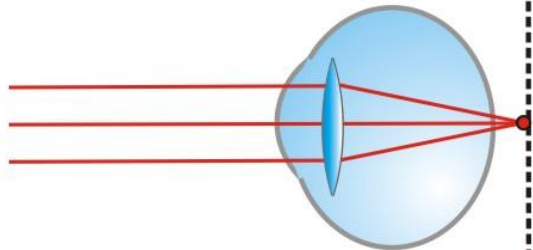
Будова ока людини.

Корекція зору

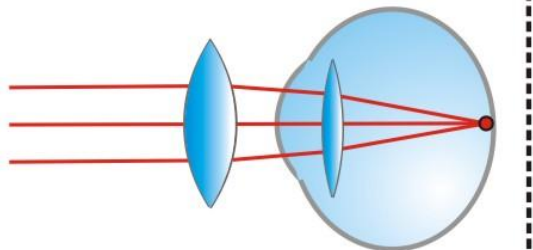
Еметропія



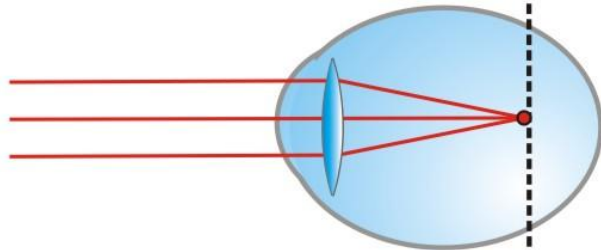
Гіперметропія



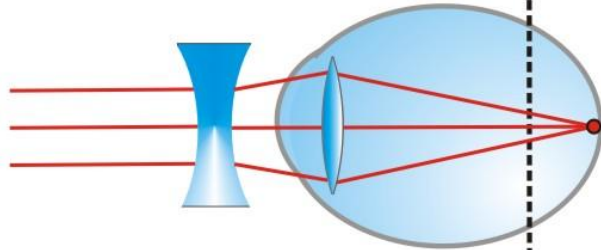
Корекція гіперметропії



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