Основне завдання оптичних приладів – збільшити кут зору, під яким ми бачимо предмет. Цей кут зору залежить також від оптичної системи ока.

Принцип дії оптичної системи ока: двоякоопукла лінза – кришталик, який проектує зображення на сітківку ока, де знаходяться кінцівки зорових нервів, що передають зорове сприйняття у мозок.

Можливість оком бачити предмети, які знаходяться на різних відстанях від ока, пояснюється акомодацією ока – здатністю кришталика змінювати свою кривизну, тобто змінювати фокусну відстань.

Величина кута зору α залежить від розмірів предмета і відстані до предмета. Встановлено, що для того, щоб дві точки *A* та *B* розрізнялись оком як дві різні точки, необхідно, щоб кут зору був не менше однієї мінути – це граничний кут зору.

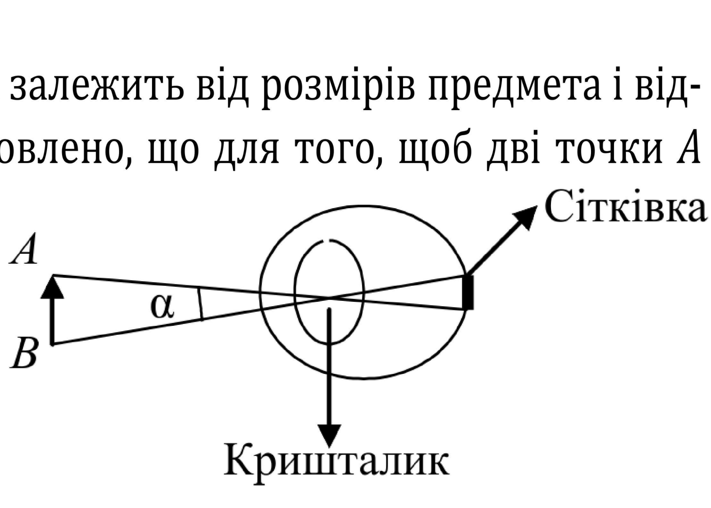

Рис. 3.32

Оптичні прилади

Лупа. Такі оптичні прилади, як лупа та мікроскоп, збільшують кут зору за рахунок збільшення розмірів предмета, телескопічна система збільшує кут зору за рахунок наближення предмета. *Хід променів у лупі:*

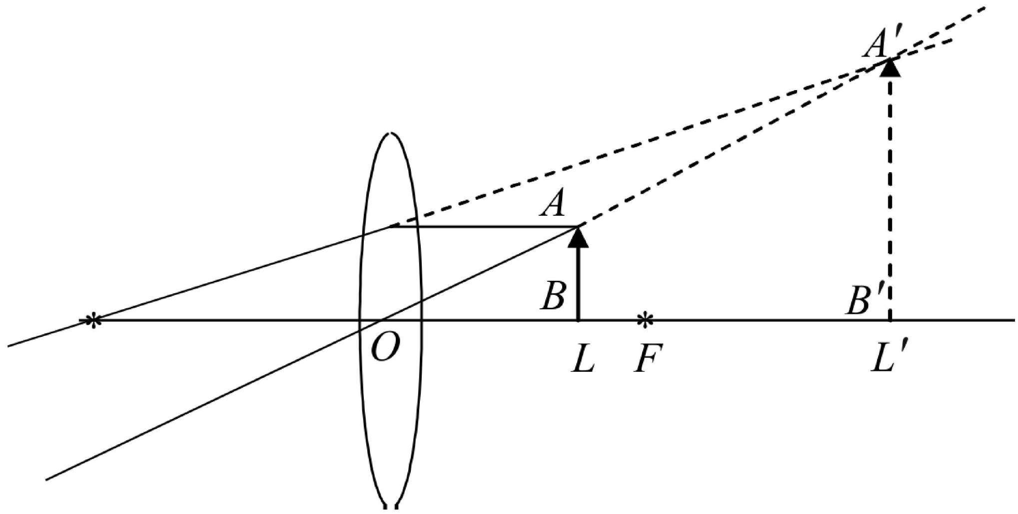

Рис. 3.33

$f_{\text{лупи}} \approx 1–10$ см. OL' – відстань найкращого зору. Це та відстань, починаючи з якої око розглядає предмет без акомодації.

Лінійне збільшення лупи.

$$N = \frac{OL'}{OL};$$

$OL => f$ – для максимального збільшення, $m = OL' = 25$ см – відстань найкращого зору для нормального ока. Тоді

$$N = \frac{m}{f} = \frac{25}{f}. \qquad (3.16)$$

Виходячи з цього, короткофокусна лінза дає більше збільшення.

Мікроскоп. Мікроскоп складається з короткофокусного об'єктива та довгофокусного окуляра.

$$N = \frac{A''B''}{AB} = \frac{A'B'}{AB} \cdot \frac{A''B''}{A'B'} = N_1 N_2;$$

$$N = N_1 N_2. \qquad (3.17)$$

де N – загальне збільшення мікроскопа; N_1 – збільшення об’єктива; N_2 – збільшення окуляра.

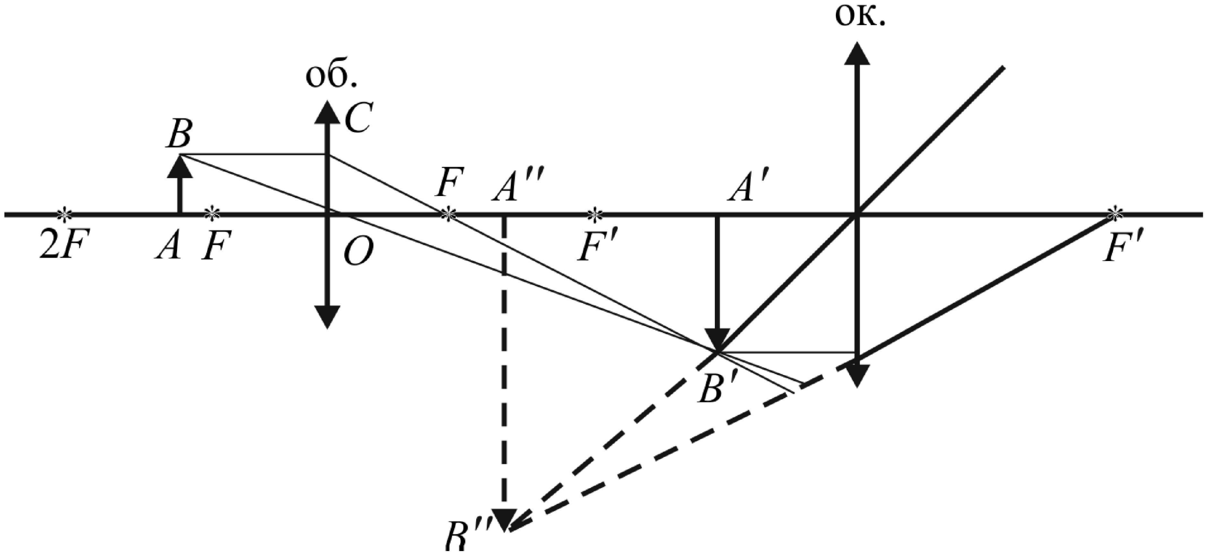

Рис. 3.34

Загальне збільшення мікроскопа дорівнює добутку збільшень окуляра та об’єктива.

З’ясуємо, від чого залежать N_1 та N_2.

$$N_1 = \frac{A'B'}{AB} = \frac{A'B'}{OC} = \frac{FA'}{OF} = \frac{FF'}{f_{об}}.$$

Оскільки $A'F \approx FF'$, тому бажано отримати зображення дуже близько до фокуса окуляра, щоб отримати найбільше зображення.

Позначимо $FF' = L$ (оптичний інтервал мікроскопа).

$$N_1 = \frac{L}{f_{об}}.$$

Звідси видно, що для великих збільшень f об’єктива повинно бути малим. Окуляр працює як лупа.

$$N_2 = \frac{m}{f_{ок}};$$

$$N = N_1 \cdot N_2.$$

Тоді формула лінійного збільшення мікроскопа приймає вигляд:

$$N_2 = \frac{Lm}{f_{ок} f_{об}}, \qquad (3.18)$$

де m =25 см.

Схема астрономічної труби Кеплера (телескоп). Схема та сама, що й у мікроскопа, але об'єктив дає зменшене зображення, тому що астрономічні предмети знаходяться далеко за подвійним фокусом ($2F$). Об'єктив – довгофокусна лінза, окуляр – короткофокусна.

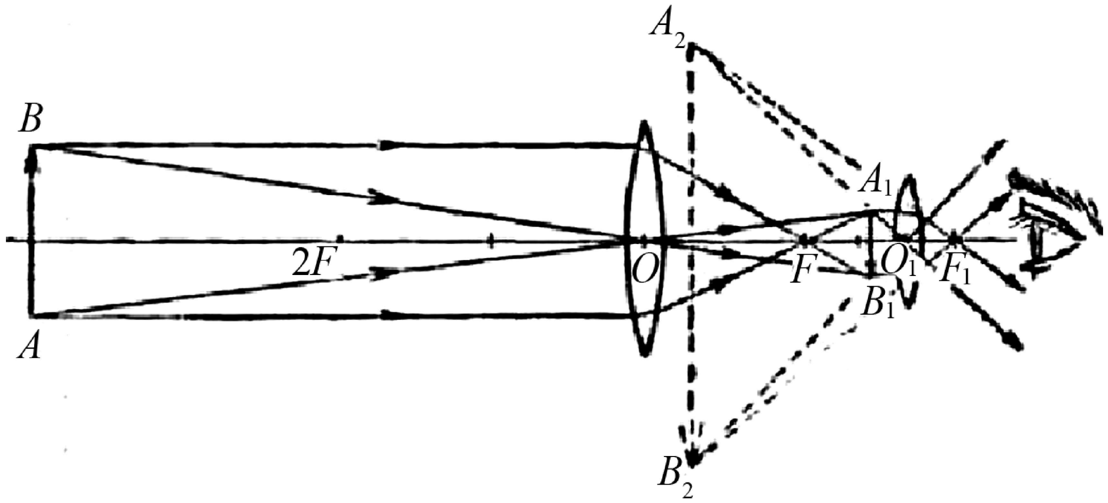

Рис. 3.35

Астрономічні об'єкти спостережень дуже віддалені, тому можна вважати, що фокальні площини об'єктива та окуляра співпадають, і далі будемо розглядати кутове збільшення труби.

Кутовим збільшенням труби називають відношення кута зору α_1, *під яким ми бачимо віддалений предмет в окулярі тру-*

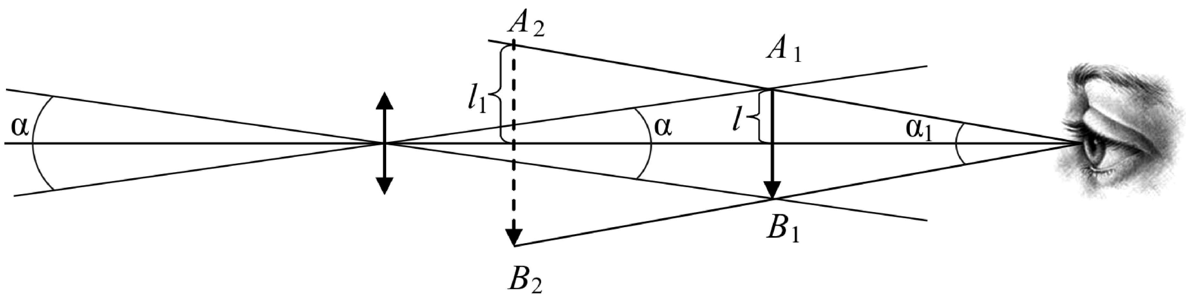

Рис. 3.36

би, до кута зору α, *під яким ми бачимо той самий предмет неозброєним оком.*

$$N = \frac{\alpha_1}{\alpha}.$$

Оскільки кути α_1 та α малі і зображення виходять поблизу фокусів, то можливі наступні перетворення:

$$N = \frac{\alpha_1}{\alpha} = \frac{\operatorname{tg}\frac{\alpha_1}{2}}{\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}} = \frac{l}{f_{ок}} : \frac{l}{f_{об}} = \frac{f_{об}}{f_{ок}},$$

$$N = \frac{f_{об}}{f_{ок}}. \qquad (3.19)$$

Збільшення дорівнює відношенню фокусних відстаней.

Проекційний апарат. Для отримання зображення на екрані у збільшеному вигляді використовують проекційні апарати.

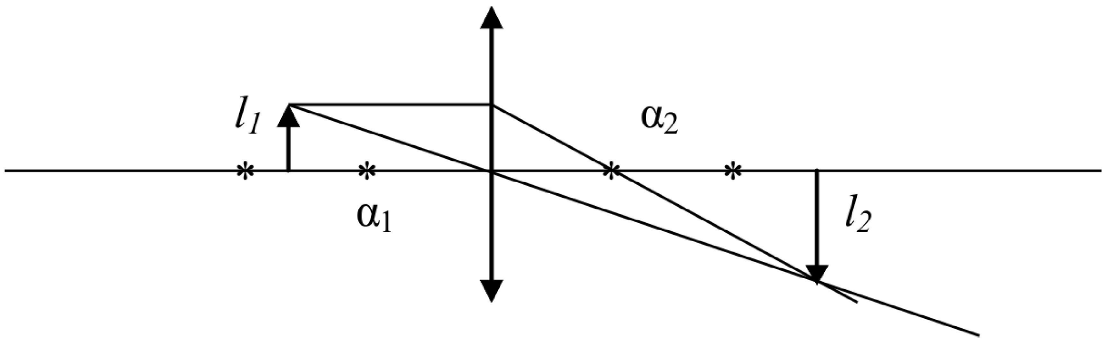

Рис. 3.37

$$\frac{l_1}{a_1} = \frac{l_2}{a_2}; \;\; S \approx l_2^2.$$

Площина зображення пропорційна l_2^2; $\frac{l_2}{a_2} = \frac{l_1}{a_1}$; $l_2 = \frac{l_1 a_2}{a_1}$.

$$S \approx l_2^2 \approx \frac{a_2^2 \cdot l_1^2}{a_1^2} \approx \frac{l_1^2 \cdot a_2^2}{f^2}.$$

Чим ближче α_1 до f, тим більше зображення.

$$\Phi = K_1 D^2;\ E \approx \frac{\Phi}{S} = \frac{K_1 D^2 \cdot f^2}{l_1^2 \cdot a_2^2} = KD^2 f^2;\ K \approx \frac{K_1}{l_1^2 a_2^2},$$

$$E = KD^2 f^2, \tag{3.20}$$

де E – освітленість, Φ – світловий потік, S – площина зображення, K – коефіцієнт пропорційності, D – діаметр діафрагми.

Освітленість зображення дорівнює світловому потоку, поділеному на площу зображення. З формули 3.20 випливає, що для збільшення освітлення вигідно використовувати довгофокусний об'єктив.

Предмет, який проектують, ставлять за фокусом, але якомога ближче до нього, щоб отримати якомога більше зображення.

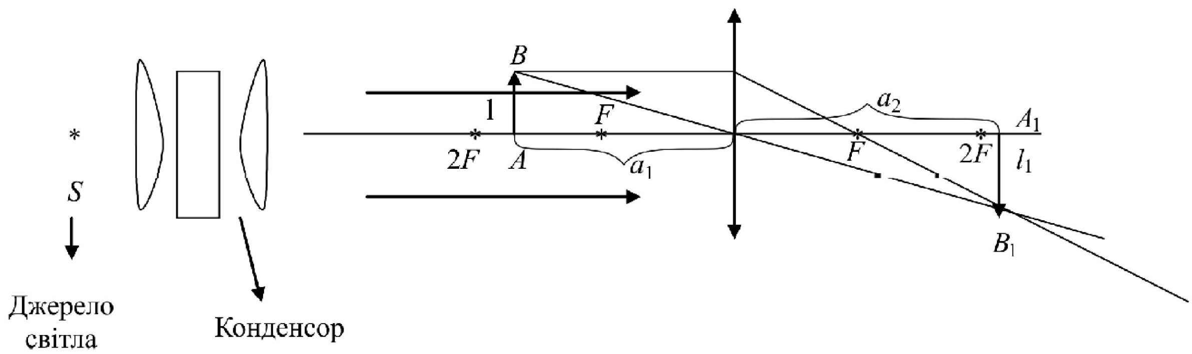

Рис. 3.38

Існують епі- та діапроектори: епіпроектори використовуються для проектування непрозорих предметів, діапроектори використовуються для проектування прозорих предметів (діапозитивів).

Фотоапарат – це закрита світлонепроникна камера і система лінз (об'єктив). Об'єктив дає зображення на фотоплівці.

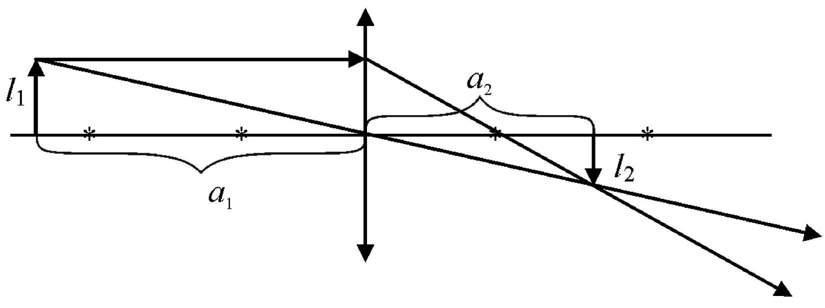

Рис. 3.39

$$\frac{l_1}{a_1} = \frac{l_2}{a_2}; \; a_2 \approx f;$$

$$S = l_2^2 = \frac{a_2^2 \cdot l_1^2}{a_1^2} \approx \frac{l_1^2 \cdot f^2}{a_1^2};$$

$$E \approx \frac{\Phi}{S} = \frac{K_1 D^2 \cdot a_1^2}{l_1^2 \cdot f^2} = \frac{KD^2}{f^2}.$$

$$E = \frac{KD^2}{f^2}. \quad (3.21)$$

Для збільшення освітлення використовуються короткофокусні об'єктиви.

$\frac{D^2}{f^2}$ – світлосила об'єктива; $\frac{D}{f}$ – відносний отвір.

Освітленість зображення дорівнює світловому потоку, поділеному на площу зображення, тобто для віддалених об'єктів пропорційна площі діафрагми, поділеній на квадрат фокусної відстані об'єктива. Це відношення називають світловою силою об'єктива. Іноді світловою силою об'єктива називають відношення діаметра діафрагми до фокусної відстані, тоді освітленість приблизно дорівнює квадрату світлової сили. Точніше назвати це відношення відносним отвором.

Плоскі та сферичні дзеркала. При відбиванні променів, що виходять із деякої точки *A*, від плоского дзеркала продовження відбитих променів сходяться за дзеркалом у точці *A′*, що лежить на прямій *AA′,* нормальній до дзеркала, причому площина дзеркала ділить цю пряму на два рівних відрізки (рис. 3.40, *а*). Око, що перебуває перед дзеркалом, здатне сприйняти ці промені й утворити дійсне зображення точки (за рахунок заломлення променів у оптичній системі ока).

Але на фотографічній пластині, розташованій перед дзеркалом, ніякого зображення, звичайно, не вийде. Тому зображення *A′B′* називають *уявним зображенням.* Воно є прямим (тобто розташоване так само, як предмет) і рівним йому за розміром. Однак воно відрізняється від предмета, тому що правій стороні предмета відповідає ліва сторона зображення. При несиметричному предметі зображення й предмет виявляються несумісними.

Якщо промінь світла подає у двогранний прямий кут, утворений двома плоскими дзеркалами, то він відбивається паралельно напрямку свого приходу (рис. 3.40 б). Це справедливо й для тригранного кута. Такі «кутові відбивачі» були доставлені на поверхню Місяця, й при їхній допомозі виконувалися точні оптичні виміри відстані до нього.

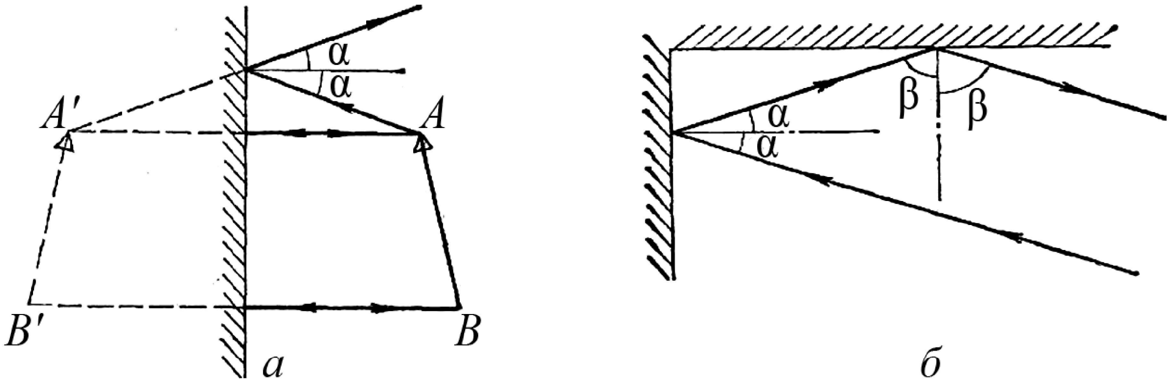

Рис. 3.40

С ф е р и ч н е в в і г н у т е д з е р к а л о (невелика частина сфери радіусом *R*), зображене на рисунку 3.41, відіб'є промінь *SA,* що йде по радіусу, у напрямку того ж радіуса. Промінь *SC,* що йде під кутом β до радіуса, відіб'ється в напрямку *CD* і перетне перший промінь в точці F_1. Точка *O* – центр кривизни дзеркала.

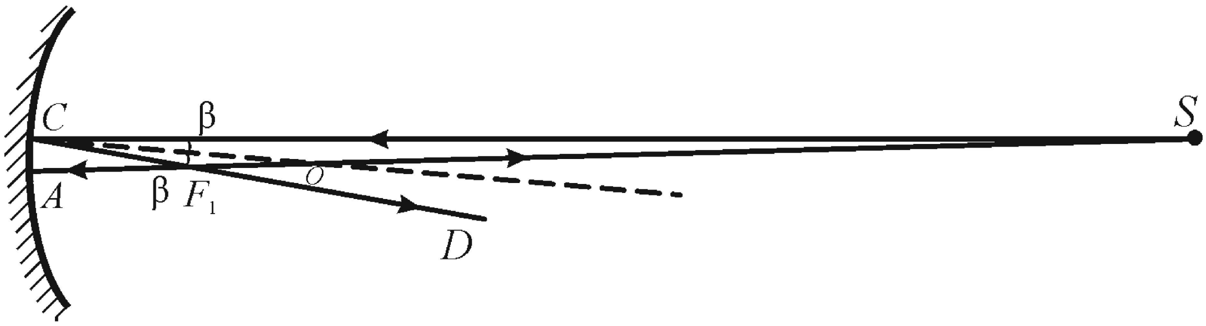

Рис. 3.41

Умовимося вважати всі відстані від дзеркала позитивними і введемо позначення: $SC = \alpha$; $F_1C = \alpha_1$; $OC = OA = R$.

Застосовуючи теорему площ до трикутників SCF_1, OCF_1 і SCO (див. рис. 3.41), знаходимо:

$$\alpha_1 \alpha \sin 2\beta = \alpha_1 R \sin\beta + \alpha R \sin\beta,$$
$$\sin 2\beta = 2\sin\beta \cos\beta,$$

поділивши всі члени рівняння на $\alpha_1 \alpha \sin\beta \cdot R$, отримуємо:

$$\frac{2\cos\beta}{R} = \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\alpha_1}. \qquad (3.22)$$

Таким чином, положення точки F_1 залежить від кута падіння β. Отже, у загальному випадку дзеркало не забезпечить точного зображення точки, яка світиться. Але якщо обмежитися пучками променів, дуже близькими до вісі дзеркала (прямій, що проходить через його центр (полюс) і точкове джерело), то вираз (3.22) прийме вигляд:

$$\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\alpha_1} = \frac{2}{R}, \qquad (3.23)$$

що свідчить про створення точкового зображення. Цим наближенням (осьові пучки) ми й будемо користуватися. Якщо точка нескінченно віддалена, так що від неї йде пучок променів, паралельний оптичній вісі, то вона відобразиться в точці F, що лежить на відстані $R/2$ від дзеркала (головна фокусна відстань), і ця точка називається *головним фокусом.*

Вираз (3.23) можна записати у вигляді:

$$\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\alpha_1} = \frac{1}{f}, \quad f = \frac{R}{2}. \qquad (3.24)$$

Це рівняння називають *формулою дзеркала.* Видно, що при наближенні предмета AB (рис. 3.42) з нескінченності до головного фокуса його зображення A_1B_1 переміщується від головного фокуса до нескінченно віддалених точок. Якщо ж предмет CD розташовується між головним фокусом дзеркала та полюсом дзеркала, то відстань до його зображення C_1D_1 робиться від'ємною, тобто зображення йде за дзеркало й утворюється не реальними променями, а їхніми продовженнями – воно стає уявним.

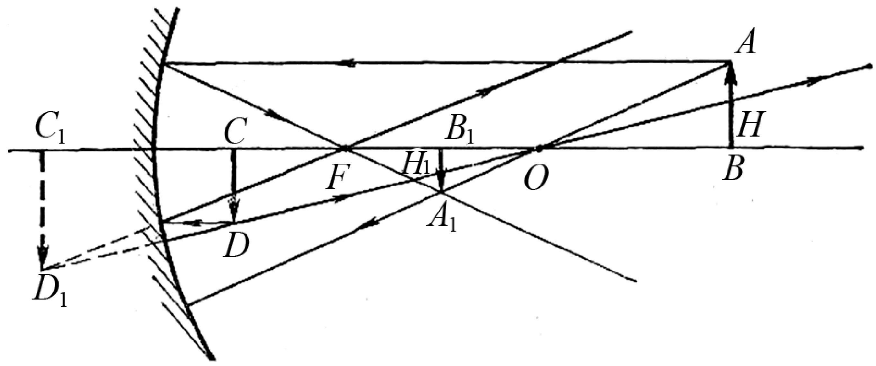

Рис. 3.42

При цьому дійсні зображення виявляються перевернеными, уявні ж – прямими. Відношення розмірів H_1 зображення до розмірів H предмета називають *збільшенням:*

$$\frac{H_1}{H} = \frac{R - \alpha_1}{\alpha - R}, \tag{3.25}$$

(із подібності трикутників A_1B_1O і ABO).

Застосовуючи такі ж міркування до опуклого сферичного дзеркала, переконуємося, що його формула має той же вид, але знак радіус-вектора R від'ємний. Таке дзеркало (рис. 3.43) дає тільки уявне зображення. Природно, що плоске дзеркало може розглядатися як граничний випадок сферичного при $R \to \infty$.

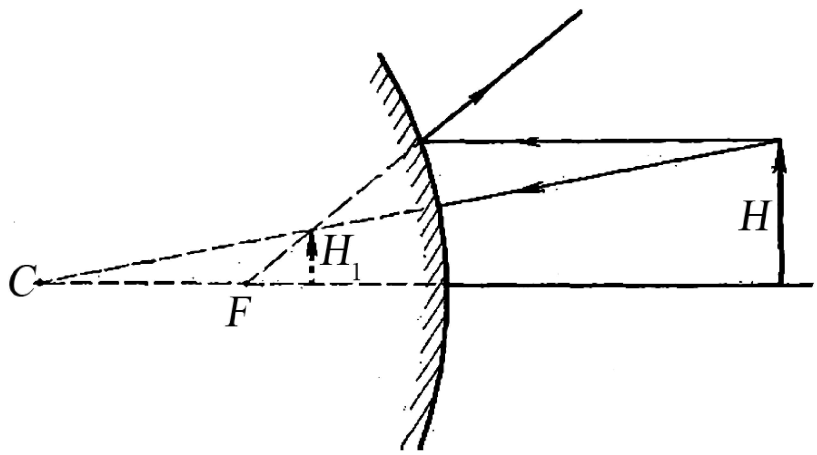

Рис. 3.43. Хід променів в опуклому дзеркалі

Оскільки умови відбиття не залежать від довжини хвилі, то біле світло, яке відбите від дзеркала, не вносить ніяких ускладнень. Тому широко поширені відбивні телескопи-рефлектори.