

# Практичне заняття 11. Оптичні прилади

План:

1. Лупа.
2. Мікроскоп.
3. Телескопічна система.
4. Фотоапарат, проекційний апарат, дзеркала.

Основні формули:

1. де

$$N = \frac{m}{f}, \quad N - \text{збільшення лупи; } m - \text{відстань найкращого}$$

зору;  $f$  - фокусна відстань лінзи.

2.  $N = N_1 \cdot N_2$ , де  $N$  - загальне збільшення мікроскопа;  $N_1$  - збільшення об'єктива,  $N_2$  - збільшення окуляра.

3.  $N = \frac{L \cdot m}{f_1 \cdot f_2}$ , де  $N$  - загальне збільшення мікроскопа;

$L$  - оптичний інтервал;  $m$  - відстань найкращого зору ока;  $f_1, f_2$  - фокусні відстані об'єктива й окуляра.

4.  $N = \frac{f_{\text{об}}}{f_{\text{ок}}}$  - кутове збільшення телескопічної системи.

5.  $\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} = \frac{1}{f}$  - формула дзеркала, де  $a_1$  та  $a_2$  - спряжені

відстані,  $f$  - фокусна відстань. Для різних випадків  $a_1$  і  $a_2$  можуть змінювати знаки відповідно до правил знаків.

6.  $f = \frac{R}{2}$ , де  $f$  - фокусна відстань,  $R$  - радіус викривлення дзеркала.

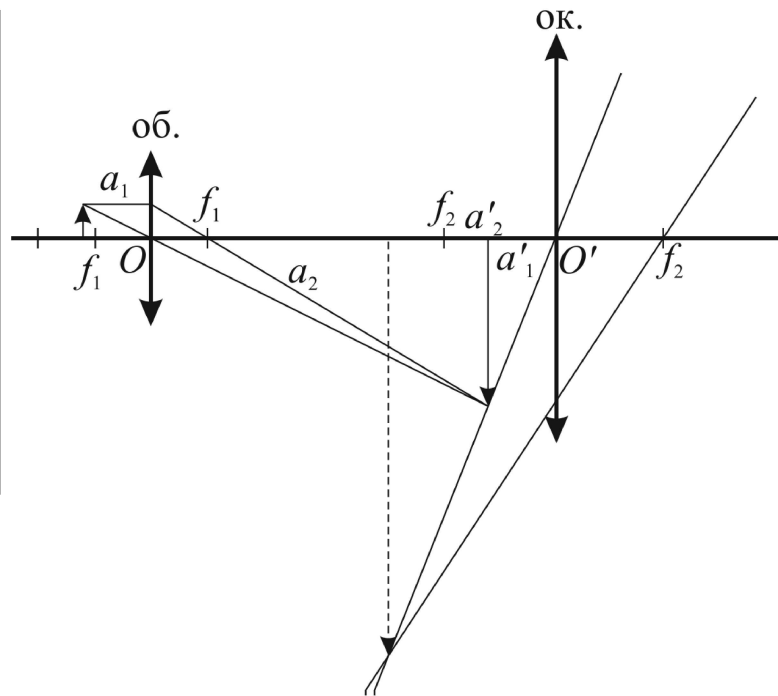
## Приклади розв'язування задач

**Задача 1.** Фокусна відстань об'єктива мікроскопа дорівнює  $f_1 = 1$  см, фокусна відстань окуляра  $f_2 = 3$  см. Відстань між ними дорівнює 20 см. На якій відстані повинен знаходитись об'єкт, щоб результуюче зображення було на відстані 20 см від ока? Яке при цьому буде лінійне збільшення мікроскопа?

Аналіз та розв'язок

Дано:  
 $f_1 = 1 \text{ см}$   
 $f_2 = 3 \text{ см}$   
 $a'_2 = 20 \text{ см}$   
 $l = OO' = 20 \text{ см}$

$a_1 = ?$   
 $N = ?$



З урахуванням знаків запишемо формулу лінзи для окуля-

ра  $\frac{1}{f_2} = \frac{1}{a'_1} - \frac{1}{a'_2}$ , звідки  $\frac{1}{a'_1} = \frac{1}{f_2} + \frac{1}{a'_2}$ .

$$\frac{1}{a'_1} = \frac{1}{3} + \frac{1}{20} = \frac{23}{60}; \quad a'_1 = 2,6 \text{ см.}$$

З рисунка видно, що

$$a_2 = OO' - a'_1 = l - a'_1 = 20 - 2,6 = 17,4 \text{ см.}$$

$$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2}; \quad \frac{1}{a_1} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{a_2}; \quad \frac{1}{a_1} = 1 - \frac{1}{17,4} = \frac{16,4}{17,4};$$

$$a_1 = 1,0625 \text{ см.}$$

$$N = N_1 N_2 = \frac{a_2}{a_1} \cdot \frac{a'_2}{a'_1} = \frac{17,4 \cdot 20}{1,0625 \cdot 2,6} = 125,5.$$

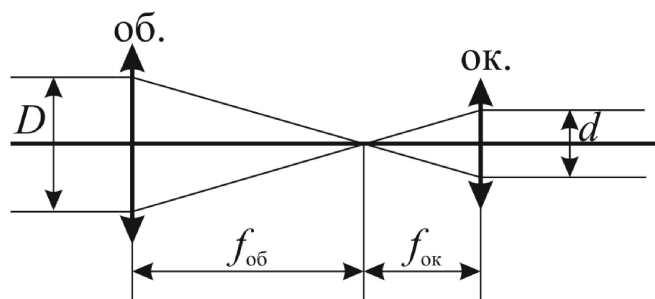
Відповідь:  $a_1 = 1,0625 \text{ см}$ ,  $N = 125,5$ .

**Задача 2.** Телескоп, об'єктив якого має діаметр  $D = 8 \text{ см}$ , наведений на віддалену випромінюючу точку. З окуляра телескопа виходить паралельний пучок променів, який можливо спостерігати, якщо помістити перед окуляром матове скло або лист паперу як круглу світлу пляму. Діаметр цієї плями  $d = 4 \text{ мм}$ . Шлях проходження світла в телескопі не обмежений ніякими діафрагмами. Яке збільшення телескопа?

Аналіз та розв'язок

Дано:  
 $D = 8 \text{ см}$   
 $d = 4 \text{ мм}$

$N = ?$



В телескопі задній фокус об'єктива співпадає з переднім фокусом окуляра. Оскільки розглядається віддалена точка, то можна вважати, що на об'єктив падає паралельний пучок променів і з окуляра виходить теж паралельний пучок.

З рисунка видно, що  $\frac{D}{d} = \frac{f_{об}}{f_{ок}}$ , а це якраз і є кутове збільшення телескопа  $N$ .

$$N = \frac{f_{об}}{f_{ок}} = \frac{D}{d} = \frac{8}{0,4} = 20.$$

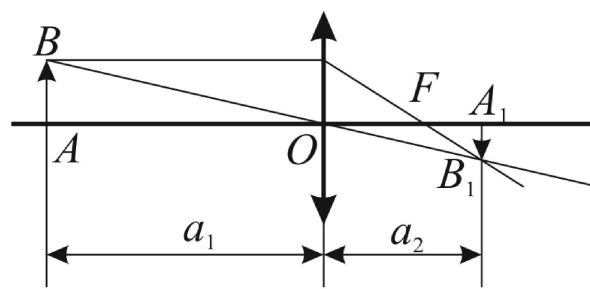
Відповідь:  $N = 20$ . Основне в розв'язку цієї задачі – це правильно побудований рисунок.

**Задача № 3.** Необхідно виготовити фотографічним шляхом шкалу, розділену на деякі долі міліметра. Фокусна відстань об'єктива 13,5 см. На якій відстані від об'єктива треба помістити шкалу, щоб вона була зменшена в 10 разів?

Аналіз та розв'язок. Для рішення задачі нарисуємо хід променів у фотоапараті. Щоб отримати зменшене зображення, необхідно помістити предмет за подвійною фокусною відстанню об'єктива.

Дано:  
 $f_{об} = 13,5$   
 $k = 10$

$a_1 = ?$



З умови задачі  $\frac{AB}{A_1B_1} = 10$ . Оскільки  $\triangle ABO \sim \triangle OA_1B_1$ , то

$$\frac{AB}{A_1B_1} = \frac{a_1}{a_2} = 10 \text{ або } a_1 = 10a_2.$$

Запишемо формулу лінзи для цього випадку:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2}; \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{10a_2} + \frac{1}{a_2} = \frac{1+10}{10a_2} = \frac{11}{10a_2};$$

$$a_2 = \frac{11f}{10}; \quad a_1 = 10a_2 = 11f = 11 \cdot 13,5 = 148,5 \text{ см.}$$

Відповідь: шкалу потрібно розмістити на відстані 148,5 см, тобто далеко за подвійною фокусною відстанню об'єктива.

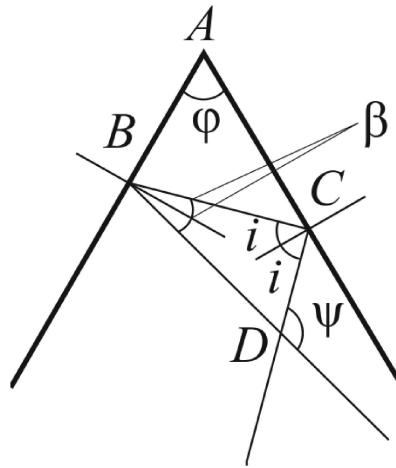
**Задача № 4.** Два дзеркала нахилені один до одного і створюють двогранний кут  $\varphi$ . На них падає промінь, розташований у площині, перпендикулярній до ребра кута. Показати, що кут  $\psi$  відхилення цього променя від початкового напрямлення після відбивання від обох дзеркал не залежить від кута падіння. Обчислити  $\psi$ .

Аналіз та розв'язок

Дано:

$\varphi$

$\psi = ?$



$$\psi = 2(i + \beta); \quad \angle ACB = \frac{\pi}{2} - i, \text{ тобто } i = \frac{\pi}{2} - \angle ACB.$$

$$\angle ABC = \frac{\pi}{2} - \beta, \text{ тобто } \beta = \frac{\pi}{2} - \angle ABC.$$

$$\psi = 2(i + \beta) = 2\left(\frac{\pi}{2} - \angle ACB + \frac{\pi}{2} - \angle ABC\right) = 2[\pi - (\pi - \varphi)] = 2\varphi,$$

тому що  $\angle ABC + \angle ACB = \pi - \varphi$ .

Відповідь: дійсно, кут  $\psi$  не залежить від кута падіння і дорівнює  $\psi = 2\varphi$ .

### Задачі для самостійного розв'язування та домашнього завдання

1. Мікроскоп складається з об'єктива з фокусною відстанню 2 мм та окуляра з фокусною відстанню 40 мм. Відстань між фокусами об'єктива та окуляра дорівнює 18 см. Знайти збільшення, яке дає мікроскоп.
2. Фокусна відстань об'єктива мікроскопа  $f_{об} = 0,5$ , а відстань між об'єктивом та окуляром 16 см, збільшення мікроскопа 200. Знайти збільшення окуляра.



3. Фокусна відстань одного з рефракторів у Пулкові  $f_{об} = 14,1$  м. Яке збільшення цього рефрактора при користуванні окуляром з фокусною відстанню  $f_{ок} = 2,5$  см?
4. Фокусна відстань об'єктива проекційного ліхтаря дорівнює  $0,25$  м. Яке збільшення дає ліхтар, якщо екран знаходиться на відстані  $2$  м від об'єктива?
5. Знайти збільшення, яке дає лупа, фокусна відстань якої  $2$  см: 1) для нормального ока з відстанню найкращого зору в  $25$  см і 2) для короткозорого ока з відстанню найкращого зору в  $15$  см.
6. Фокусна відстань об'єктива телескопа  $f_{об} = 150$  см, його окуляр має фокусну відстань  $f_{ок} = 10$  см. Діаметр повного місяця бачиться неозброєним оком під кутом  $31^\circ$ . Під яким кутом видно місяць у телескопі?
7. Зорова труба з фокусною відстанню об'єктива  $f_{об} = 50$  см встановлена на нескінченність. На яку відстань  $\Delta l$  треба пересунути окуляр труби, щоб ясно бачити предмети на відстані  $50$  м?
8. Знайти збільшення зорової труби кеплеровського типу, встановленої на нескінченність, коли  $D$  – діаметр оправу її об'єктива, а  $d$  – діаметр зображення цієї оправу, яке дає окуляр труби. Відповідь:  $N = \frac{D}{d}$ .
9. Трубу Кеплера, збільшення якої дорівнює  $15$ , занурили у воду, яка заповнила і її внутрішню частину. Щоб система при тих же розмірах стала знову телескопічною, об'єктив замінили другим. Яке стало після цього збільшення труби у воді? Показник заломлення скла окуляра  $n = 1,5$ . Відповідь:  $N' = \frac{(N+1)(n-n_0)}{n_0(n-1)-1} = 3,1$ .
10. Матове скло фотоапарата з фокусною відстанню  $20$  см встановлено так, що різким виходить предмет, який знаходиться на відстані  $5$  м. До якого діаметра  $d$  потрібно задіафрагмувати об'єктив, щоб не було помітної нерізкості у предметів, які знаходяться на  $0,5$  м ближче того, хто знімає (нерізкість вважати непомітною, коли розмір деталей не більше  $0,1$  мм)? Відповідь:  $d \approx 2$  см.

11. Хлопчик, знявши окуляри, читав книгу, яка знаходилась на відстані 16 см від очей. Якої оптичної сили у нього окуляри? Відповідь:  $-2,25$  дп.
12. Діапозитив має розміри  $a \times b = 8 \times 8$  см<sup>2</sup>. Визначити оптичну силу тонкої збиральної лінзи, яка може служити об'єктивом проєкційного апарата, якщо зображення діапозитива на екрані повинно мати розміри  $c \times d = 1,2 \times 1,2$  см<sup>2</sup>. Відстань від об'єктива до екрана  $l = 4$  м. Відповідь:  $\approx 4$  дп.
13. Зорова труба відрегульована для спостереження Місяця. На яку відстань і в який бік треба пересунути окуляр, щоб можна було спостерігати предмети, розташовані від труби на  $d = 100$  м? Фокусна відстань об'єктива  $f = 60$  см. Відповідь:  $x = 0,36$  см.
14. Оптичні сили об'єктива і окуляра мікроскопа дорівнюють, відповідно, 100 дп і 20 дп. Збільшення мікроскопа дорівнює 50. Яке буде збільшення цього мікроскопа, якщо відстань між об'єктивом і окуляром збільшити на 2 см? Відповідь: 60.
15. Коли оптична сила ока більше: при розгляді близьких чи далеких предметів?
16. У мікроскопах з великим збільшенням у простір між об'єктивом і покривним склом вводять кедрову олію, яка має показник заломлення такий самий, як і у покривного скла. Чому?
17. При якомусь розташуванні зображення предмета у вигнутому дзеркалі в три рази менше самого предмета. Якщо ж предмет пересунути на відстань  $l = 15$  см ближче до дзеркала, то зображення стане в 1,5 рази менше від предмета. Знайти фокусну відстань дзеркала. Відповідь:  $f = 10$  см.
18. Радіус викривлення вигнутого дзеркала  $R = 40$  см. Знайти положення об'єкта, при якому його зображення буде дійсним і збільшеним у два рази. Знайти також положення, при якому зображення буде меншим та збільшеним у два рази. Побудувати зображення об'єкта в обох випадках. Відповідь: а)  $a_1 = 30$  см, б)  $a_1 = 10$  см.
19. Два однакових вигнутих дзеркала розташовані один проти одного так, що їх головні фокуси співпадають. Світна точка  $S$  розташована на загальній вісі дзеркал на відстані  $a$  від першого дзеркала. Де буде зображення  $S'$  після відбивання від обох дзеркал? Відповідь: у тій же точці.