

## Лабораторна робота 3

### Моделювання оптичних систем

Мета роботи: ознайомлення з оптичними схемами мікроскопа і зорових труб Кеплера та Галілея.

Прилади та обладнання: 1) оптична лава; 2) освітлювач з матовим склом зі шкалою; 3) екран зі шкалою; 4) набір додатних та від'ємних лінз; 5) допоміжна зорова труба з окулярним мікрометром.

#### Теоретичні відомості

В роботі вивчаються оптичні прилади для озброєння ока. Такі прилади називають візуальними. Основна задача цих приладів – збільшення кута зору, під яким розглядається предмет. Розглянемо деякі оптичні прилади, головною частиною яких є лінзові оптичні системи.

#### Прилади для спостереження малих об'єктів

Лу п а – найпростіший прилад для спостереження малих об'єктів. Проста лупа являє собою короткофокусну збиральну лінзу (рис. 1). Предмет поміщують між лінзою і фокусом ближче до фокуса. В точці  $S$  розташовано око людини, якій здається, що розбіжний пучок променів вийшов з точки  $A_1$ , а не з точки  $A$ . Таким чином лупа створює уявне, пряме і збільшене зображення.

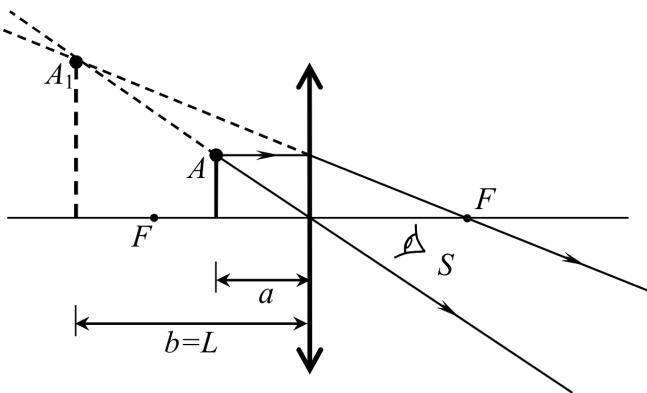


Рис. 1. Хід променів через лупу:

$A_1$  – оптичне зображення точки  $A$ ;  $S$  – око спостерігача

При користуванні лупою ми інстинктивно підбираємо відстань  $a$  так, щоб зображення було розташовано на відстані найкращого зору. Для нормального ока відстань найкращого зору  $L$  дорівнює 25 см. Кутове збільшення лупи дорівнює  $\Gamma = L/f$ . Це збільшення може лежати у межах від  $2^{\times}$  до  $10^{\times}$ – $15^{\times}$ .

Мікроскоп – більш складна оптична система з великим кутовим збільшенням. Мікроскоп складається з двох збиральних лінзових систем: короткофокусного об'єктива та окуляра, відокремлених значним, у порівнянні з їх фокусними відстанями, проміжком.

Оптична схема найпростішого мікроскопа наведена на рис. 2. Предмет  $A$  поміщають перед фокусом об'єктива, який дає дійсне, збільшене, перевернуте зображення  $A_1$ . Це зображення називається проміжним. Якщо предмет  $A$  розташувати поблизу фокуса  $F_1$ , то збільшення об'єктива  $\Gamma_1 \approx \Delta/f_1$ , де  $f_1$  – фокусна відстань об'єктива,  $\Delta$  – оптичний інтервал (відстань між фокусами об'єктива і окуляра). Збільшення об'єктива завжди позначається на самому об'єктиві.

Зображення  $A_1$  розташоване між фокусом окуляра  $F_2$  та окуляром  $L_2$ . Окуляр  $L_2$  діє як лупа, збільшуючи кут підсилювання  $A_1$ . Збільшення окуляра  $\Gamma_2 \approx L/f_2$ , де  $L$  – відстань між  $A_1$  та окуляром,  $f_2$  – фокусна відстань окуляра. Збільшення окуляра також вказується на його оправі.

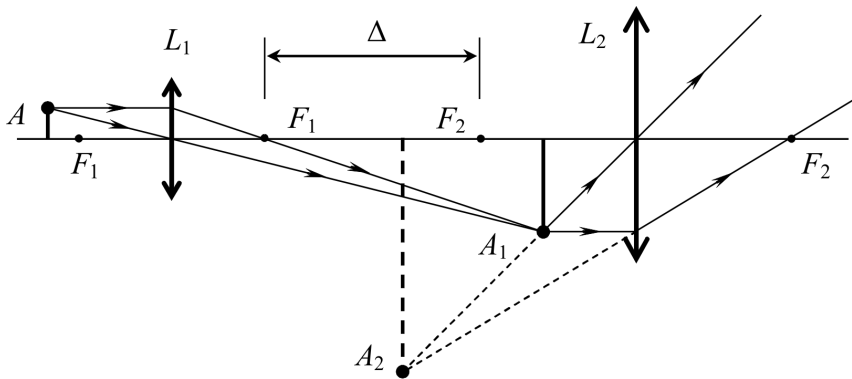


Рис. 2. Хід променів у мікроскопі:  $L_1$  – об'єктив;  $L_2$  – окуляр

Проміжне зображення розглядається через окуляр як через лупу. Збільшення окуляра, як і лупи, визначається формулою  $\Gamma_2 = L/f_2$ , де  $f_2$  – фокусна відстань окуляра. Збільшення окуляра також вказується на його оправі.

Загальне збільшення мікроскопа дорівнює добутку збільшень об'єктива і окуляра:

$$\Gamma = \frac{\Delta L}{f_1 f_2}. \quad (1)$$

Об'єктиви і окуляри мікроскопів для усунення різноманітних аберацій складаються з декількох лінз (іноді більше десяти). Кожний мікроскоп комплектується декількома об'єктивами і окулярами, заміною яких можна отримати потрібне збільшення. Максимальне збільшення оптичного мікроскопа обмежується хвильовою природою світла і складає  $1500\times$ – $2000\times$ .

### Прилади для спостереження віддалених об'єктів

Зорові труби – це оптичні системи, призначені для розглядання віддалених предметів. Зорові труби збільшують кут зору, внаслідок чого збільшується і зображення на сітківці ока. Тому для зорових труб важливе кутове збільшення. Найбільш поширені зорові труби Кеплера і Галілея.

Труба Кеплера у найпростішому випадку складається з двох збиральних лінз: довгофокусного об'єктива і короткофокусного окуляра. Лінзи розташовані так, що задній фокус об'єктива співпадає з переднім фокусом окуляра (рис. 3).

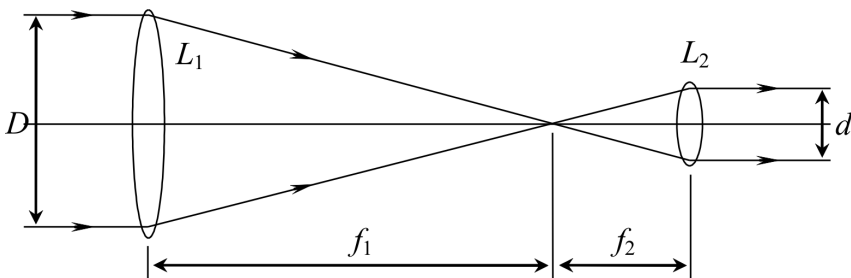


Рис. 3. Оптична схема зорової труби Кеплера

Внаслідок цього паралельний пучок променів, що падає на об'єктив, залишається паралельним після виходу із окуляра. Такі оптичні системи називаються телескопічними.

Телескопічна система не збирає промені і не розсіює, тобто фокусна відстань системи в цілому дорівнює нескінченності, а оптична сила дорівнює нулю. Тому такі системи ще називаються афокальними.

Від дуже віддалених об'єктів поширюється практично паралельний пучок променів. У цьому випадку для розрахунку збільшення труби достатньо одного променя, який проходить через оптичний центр об'єктива (рис. 4).

Об'єктив труби дає у фокальній площині дійсне, зменшене,

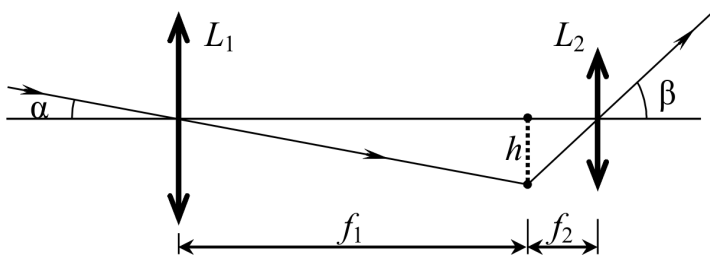


Рис. 4. Кутове збільшення труби Кеплера

Кутове збільшення будь-якого оптичного приладу дорівнює

$$\Gamma = \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

З рис. 4 випливає, що

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{f_1}, \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{h}{f_2}.$$

Отже,

$$\Gamma = \frac{f_1}{f_2}. \quad (2)$$

Відношення фокусних відстаней можна замінити відношенням діаметрів вхідного та вихідного пучків світла

$$\Gamma = \frac{D}{d}. \quad (2a)$$

Труби Кеплера застосовують для спостережень земних і небесних об'єктів. Недоліком труби для спостереження земних об'єктів є те, що вона дає перевернуте зображення. Для повороту зображення використовують призматичні або лінзові оборотні системи. Наприклад, бінокль складається з двох труб Кеплера, в кожній з яких використовують дві оборотні призми. Це дає можливість отримати пряме зображення і одночасно зменшити довжину труби. Зорові труби для земних спостережень мають невеликі збільшення  $2^x$ – $12^x$ . Неоднорідності атмо-

сфери спотворюють зображення, тому значної інформації про об'єкт спостережень великі збільшення не дають. Для астрономічних спостережень використовують труби Кеплера без оборотних систем (телескоп-рефрактор). Вони мають збільшення від  $7^{\times}$ – $8^{\times}$  до  $500^{\times}$ .

Зорова труба Галілея складається з довгофокусної збиральної лінзи – об'єктива, а також короткофокусної розсіювальної лінзи – окуляра. Оптична схема труби Галілея зображена на рис. 5. Це також афокальна система. В трубі, наведеній на нескінченність, фокуси об'єктива і окуляра співпадають (точка  $F$ ). Уявне пряме зображення спостерігач бачить під більшим кутом зору, тому воно здається збільшеним. Як і у випадку труби Кеплера, кутове збільшення також дорівнює відношенню фокусних відстаней  $\Gamma = f_1/f_2$  або відношенню діаметрів світлових пучків  $\Gamma = D/d$ .

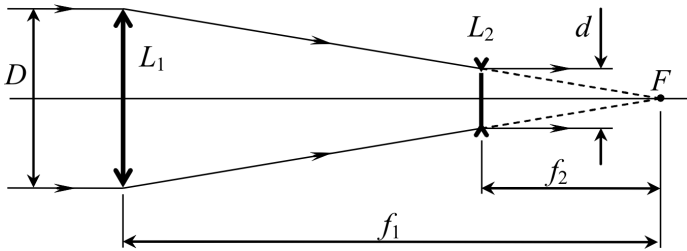


Рис. 5. Оптична схема зорової труби Галілея

Труба Галілея дещо коротша за трубу Кеплера. Вона дає пряме зображення. Недоліком труби є відсутність проміжного зображення, куди можна було б помістити перехрестя ниток або шкалу, що потрібно для деяких оптичних приладів (теодоліт), а також менше поле зору і неможливість отримання великих збільшень. Застосовується вона як невеличкі туристичні зорові труби або як театральний бінокль (дві скріплені між собою труби Галілея).

## Порядок виконання роботи

### Вправа 1. Моделювання коліматора.

Коліматор – пристрій для створення паралельного пучка світлових променів. Найпростішим коліматором може слугувати збиральна лінза, у фокусі якої знаходиться точкове джерело світла.

Схема установки для ознайомлення з оптичною схемою коліматора наведена на рис. 6.

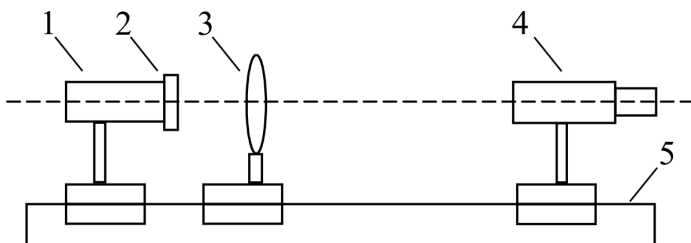


Рис. 6. Блок-схема моделі коліматора:

1 – освітлювач; 2 – матове скло зі шкалою; 3 – коліматорна лінза (№ 8);  
4 – зорова труба; 5 – оптична лава

1. Встановити зорову трубу 4 на нескінченність. Для цього навести її на дуже віддалений предмет і, переміщуючи окуляр відносно об'єктива, добитися чіткого зображення. Від далеких предметів поширюються практично паралельні промені, отже, якщо в наступних дослідах ми побачимо в трубі чітке зображення, то це буде означати, що в об'єктив попадають паралельні промені.
2. Розташувати прилади на оптичній лаві згідно з рис. 6. Вихідне вікно освітлювача 1, лінзу 3 та зорову трубу 4 встановити на одній висоті та добитися співвісності лінзи і зорової труби.
3. Переміщуючи коліматорну лінзу 3, отримати в зоровій трубі чітке зображення предмета – шкали матового скла 2, при цьому матове скло зі шкалою буде знаходитись у фокусі коліматорної лінзи 3.
4. Зафіксувати коліматорну лінзу на оптичній лаві затискним гвинтом.

*Вправа 2. Моделювання труби Кеплера.*

Зібрати установку за схемою, яка наведена на рис. 7.

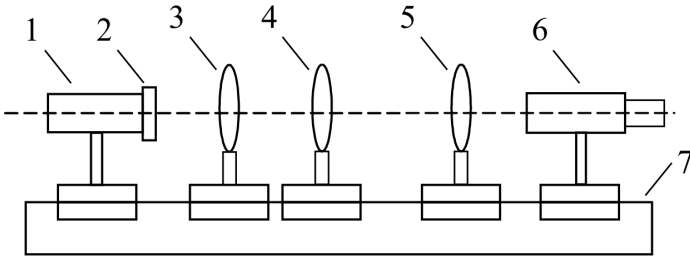


Рис. 7. Блок-схема зорової труби Кеплера

1. Розташувати об'єктив труби (лінза 4) поблизу коліматора 3, а зорову трубу 6 на протилежному кінці оптичної лави. Змінюючи положення окуляра 5, добитися чіткого зображення шкали освітлювача при спостереженні в зорову трубу.
2. Виміряти розмір зображення міліметрової поділки шкали 2 за допомогою окулярного мікрометра допоміжної труби 6 і підрахувати збільшення труби Кеплера.
3. Зняти зорову трубу 6 з оптичної лави та поставити за окуляром екран зі шкалою.
4. Виміряти діаметри вхідного  $D$  і вихідного  $d$  зіниць зорової труби. Діаметр вхідної зіниці  $D$  дорівнює діаметру лінзи 4. Діаметр вихідної зіниці вимірюється за допомогою екрана зі шкалою, розташованого за окуляром у тому положенні, де світлова пляма буде найбільш різкою (при цьому його розміри будуть найменшими).
5. Підрахувати збільшення труби за формулою (2а).

*Вправа 3. Моделювання зорової труби Галілея.*

Зібрати установку за схемою, яка наведена на рис. 8.

1. Розташувати об'єктив труби (лінза 4) поблизу коліматора 3, а допоміжну зорову трубу 6 на протилежному кінці оптичної лави. Змінюючи положення окуляра 5, добитися чіткого зображення шкали освітлювача при спостереженні в зорову трубу.

2. Виміряти розмір зображення міліметрової поділки шкали 2 за допомогою окулярного мікрометра допоміжної труби 6 і підрахувати збільшення труби Галілея.
3. Підрахувати збільшення труби Галілея за формулою (2) та порівняти з отриманим експериментально.

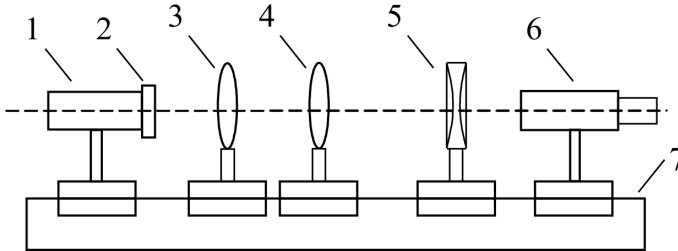


Рис. 8. Блок-схема зорової труби Галілея

#### Вправа 4. Моделювання мікроскопа.

1. На оптичну лаву поставити лінзу з фокусною відстанню  $f_1 = 20-40$  мм (лінза № 2). Відстань від шкали освітлювача до лінзи повинна бути на 2–4 мм більше, ніж її фокусна відстань. Ця лінза буде слугувати об'єктивом мікроскопа.
2. За лінзою помістити матовий екран. Пересуваючи екран, знайти положення проміжного зображення шкали освітлювача, яке створюється об'єктивом мікроскопа.
3. Довжину оптичного інтервалу  $\Delta$  прийняти рівною 190 мм. Переміщуючи об'єктив мікроскопа та матовий екран, добитися того, щоб проміжне зображення знаходилось на відстані від об'єктива, більшій на 2–4 мм, ніж  $f_1 + \Delta$ .
4. Забрати екран. На оптичну лаву помістити ще одну лінзу з фокусною відстанню  $f_2 = 50-70$  мм (лінза № 4) на відстані  $f_1 + \Delta + f_2$  від об'єктива. Це буде окуляр мікроскопа. Дивлячись в окуляр і пересуваючи його в невеликих межах, знайти чітке зображення шкали освітлювача.
5. Підрахувати збільшення мікроскопа за формулою (1).

#### Контрольні запитання

1. Побудувати хід променів через лупу. Яке зображення дає лупа?



2. Що таке кутове збільшення?
3. Яке призначення мікроскопа і зорових труб?
4. Розповісти про будову і хід променів у зорових трубах Кеплера і Галілея та їх застосування.
5. Що таке телескопічна оптична система?
6. Побудувати хід променів через мікроскоп.
7. Що таке оптичний інтервал?
8. Записати формули для збільшення лупи, мікроскопа.
9. Чому дорівнює кутове збільшення телескопа?