

§ 42. ОПТИЧНІ СИСТЕМИ. КУТ ЗОРУ



Органом зору людини є око — одна з найдосконаліших і водночас найпростіших оптичних систем. Як же влаштоване око? Чому деякі люди погано бачать і як скоригувати їхній зір? Чому одні предмети ми бачимо добре, а інші погано? Що таке кут зору, чому його потрібно збільшувати і як це зробити? Про все це ви дізнаєтесь із цього параграфа.



Як і чому ми бачимо



Оптична система — сукупність оптичних елементів, створена для формування пучків світлових променів або для одержання зображень.

Розрізняють природні (біологічні) і штучні оптичні системи. Прикладом біологічної оптичної системи є око (рис. 42.1). Око людини має форму кулі діаметром приблизно 2,5 см. Ззовні око вкрите

щільною непрозорою оболонкою — склерою. Передня частина склери переходить у прозору рогову оболонку — рогівку, що діє як збиральна лінза й забезпечує 75 % здатності ока заломлювати світло.

Із внутрішнього боку склери вкрита судинною оболонкою, що складається з кровоносних судин, які живлять око. У передній частині ока судинна оболонка переходить у райдужну оболонку, яка має круглий отвір — зіницю. Зіниця звужується в разі посилення інтенсивності світла й розширюється в разі ослаблення.

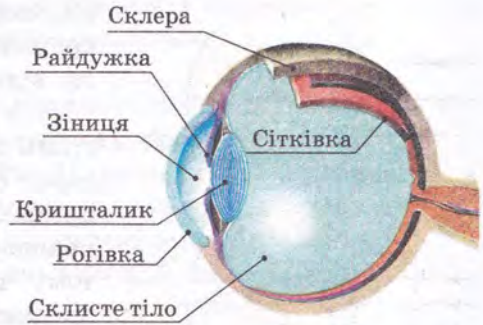


Рис. 42.1. Будова ока

Здатність ока пристосовуватися до різної яскравості спостережуваних предметів називають **адаптацією**.

За зіницею розташований *кришталік*, який являє собою двоопуклу лінзу. Кришталік завдяки скріпленям із ним м'язам може змінювати свою кривизну, а отже, й оптичну силу.

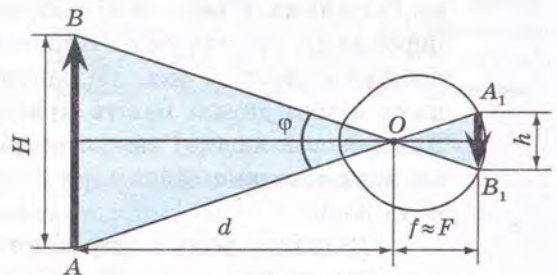
Здатність кришталіка змінювати свою кривизну в разі зміни відстані до розглядуваного предмета називають **акомодацією**.

В утворенні зображення також бере участь *склисте тіло* — прозора драглиста маса, що заповнює простір між кришталіком і сітківкою. Світло, яке потрапляє на поверхню ока, заломлюється в рогівці, кришталіку та склистому тілі. У результаті на сітківці утворюється дійсне, перевернуте, зменшене зображення предмета (рис. 42.2).

Якщо людина дивиться на досить віддалені предмети, в її око потрапляють паралельні промені. У цьому випадку око найбільш розслаблене. Чим ближче розташований предмет, тим сильніше напружується око.

Найменшу відстань, на якій око бачить предмет, практично не напружуючись, називають **відстанню найкращого зору D** .

Для людини з нормальним зором ця відстань дорівнює приблизно 25 см ($D = 25$ см). У такої людини фокус оптичної системи ока у спокійному (ненапруженому) стані розташований на сітківці, тобто паралельні промені, що потрапляють в око, після заломлення

Рис. 42.2. Схема отримання зображення A_1B_1 предмета AB на сітківці ока: O — оптичний центр оптичної системи ока; F — фокусна відстань; φ — кут зору

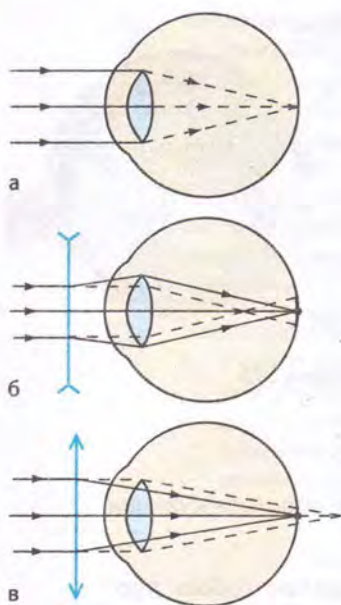


Рис. 42.3. Зображення віддалених предметів на сітківці ока: *а* — для людини з нормальним зором; *б* — у разі короткозорості; *в* — у разі далекозорості. Пунктирними лініями показано хід променів через око за відсутності окулярів, суцільними — за наявності окулярів

збираються на сітківці (рис. 42.3, *а*). Оптична сила нормального ока становить приблизно 58,5 дптр, що відповідає фокусній відстані 1,71 см.

У разі *короткозорості* фокус оптичної системи ока в ненапруженому стані розташований перед сітківкою (рис. 42.3, *б*), тому зображення предметів на сітківці є розмитим. Відстань найкращого зору в цьому випадку менша за 25 см, тому короткозора людина, щоб роздивитися предмет, наближає його до очей. Короткозорість коригується носінням окулярів із розсіювальними лінзами.

У разі *далекозорості* фокус оптичної системи ока в ненапруженому стані розташований за сітківкою (рис. 42.3, *в*), і зображення предметів на сітківці також є нечітким, розмитим. Відстань найкращого зору в цьому випадку більша, ніж 25 см, тому, роздивляючись предмет, людина віддаляє його від очей. Далекозорість коригується носінням окулярів зі збиральними лінзами.

2 Що таке кут зору й для чого потрібно його збільшувати

Розмір зображення h предмета на сітківці визначається *кутом зору* — кутом з вершиною в оптичному центрі ока, утвореним променями, напрямленими на крайні точки предмета:

$$\varphi = \frac{H}{d} = \frac{h}{F},$$

де d — відстань від предмета до оптичного центра ока (див. рис. 42.2); H — розмір предмета.

Зі збільшенням кута зору розмір зображення на сітківці збільшується, тому збільшується кількість світлочутливих клітин сітківки, задіяних у створенні зображення, а відповідно, й обсяг зорової інформації про предмет. Короткозора людина, розглядаючи предмет, наближає його до ока, збільшуючи кут зору, тому вона може розрізнити дрібні деталі навіть краще, ніж людина з нормальним зором. Далекозорій людині важко розрізняти дрібні деталі предмета, оскільки вона повинна віддаляти його від ока, а це зумовлює зменшення кута зору.

Важливу роль в одержанні зорової інформації про предмет відіграє також *роздільна здатність ока*. Дві точки зображення сприймаються роздільно, якщо потрапляють на дві різні світлочутливі клітини ока. *Роздільна здатність ока* визначається мінімальним кутом зору φ_0 , під яким дві точки ще видно роздільно. Середній мінімальний кут зору становить близько 1 кутової мінуту ($\varphi_0 \approx 1'$) —

це дуже маленький кут, під яким відрізок завдовжки 1 см розглядається на відстані 34 м від ока. Зі зменшенням освітленості роздільна здатність ока зменшується.

Для того щоб детально роздивитись предмет, треба збільшити кут зору. Це досягається за допомогою оптичних приладів, які за призначенням можна поділити на дві групи: 1) прилади для розглядання дуже дрібних предметів (лупа, мікроскоп), які ніби збільшують розглядуваний предмет; 2) прилади для розглядання віддалених об'єктів (зорова труба, бінокль, телескоп), які ніби наближають предмет, що розглядається.

Відношення кута зору φ , отриманого за допомогою оптичного приладу, до кута зору φ_0 неозброєного ока на відстані найкращого зору називається **кутовим збільшенням приладу** γ :

$$\gamma = \frac{\varphi}{\varphi_0} \quad (1)$$

★ 3 Як збільшити кут зору за допомогою лупи

Найпростішим збільшувальним приладом є *лупа* — *короткофокусна двоопукла лінза*, зроблена зі скла або пластмаси.

Нехай невеликий предмет AB висотою h розташований на відстані найкращого зору від ока (рис. 42.4). Предмет видно під кутом:

$$\varphi_0 = \frac{h}{D}. \quad (2)$$

Щоб збільшити кут зору, можна наблизити предмет до ока, перемістивши його в положення $A'B'$, але в цьому випадку предмет перебуватиме надто близько до ока. А можна скористатися лупою. Якщо під час розглядання предмета через лупу його уявне зображення A_1B_1 перебуватиме на відстані найкращого зору, то кут зору буде збільшеним, а око — ненапруженим. З рис. 42.4 бачимо, що

$$\varphi \approx \frac{h}{F}. \quad (3)$$

Підставляючи формули (2) і (3) у формулу (1), отримуємо формулу для визначення кутового збільшення лупи:

$$\gamma = \frac{D}{F}$$

Чим менша фокусна відстань лупи, тим значніше збільшення вона дає. На практиці лупи з фокусною відстанню менше 2 см не застосовують, оскільки такі короткофокусні лінзи вносять серйозні

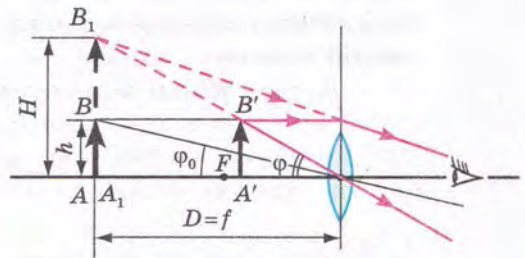


Рис. 42.4. Збільшення кута зору за допомогою лупи: h — висота предмета; H — висота зображення; f — відстань від зображення до лінзи; F — фокусна відстань; φ_0 і φ — початковий і збільшений кути зору відповідно

викривлення в отримуваних зображеннях. Саме тому найбільше кутове збільшення найкращих луп — від 5 до 10.



4 Інші прилади для збільшення кута зору

У багатьох наукових і технічних дослідженнях навіть десятикратне збільшення об'єкта є недостатнім. У таких випадках використовують оптичні **мікроскопи**, що являють собою комбінацію двох короткофокусних систем — **об'єктива** й **окуляра** (рис. 42.5).

Кутове збільшення мікроскопа дорівнює:

$$\gamma = \frac{D\delta}{F_{об}F_{ок}},$$

де $D=25$ см — відстань найкращого зору; δ — довжина тубуса мікроскопа; $F_{об}$ і $F_{ок}$ — фокусні відстані об'єктива та окуляра відповідно.

Добираючи реальні значення $F_{об}$, $F_{ок}$ і δ , можна одержати кутове збільшення від 500 до 1000. Це граничне значення, яке не може бути більшим через хвильові властивості світла.

Для спостереження віддалених об'єктів (планет, зір) в астрономії використовують **телескопи**, які бувають двох основних видів: 1) **рефлектори** — **відбиваючі телескопи**, принцип дії яких ґрунтується на використанні дзеркального, відбиваючого об'єктива (рис. 42.6); 2) **рефрактори** — **лінзові телескопи**, в яких, як і в мікроскопі, використовуються дві системи лінз (рис. 42.7), однак, на відміну від мікроскопа, спостережуваний об'єкт перебуває на практично нескінченній відстані.

Кутове збільшення телескопа-рефрактора дорівнює:

$$\gamma = \frac{F_{об}}{F_{ок}}$$

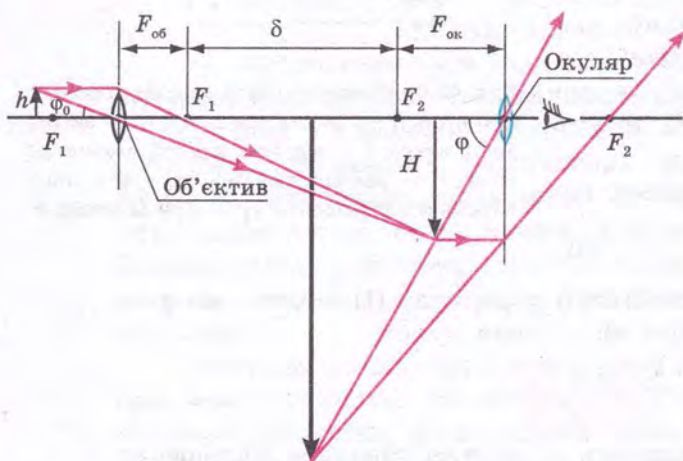


Рис. 42.5. Хід променів у мікроскопі: F_1 — фокуси об'єктива; F_2 — фокуси окуляра

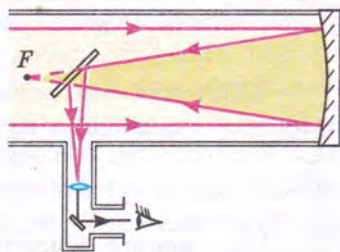


Рис. 42.6. Хід променів у телескопі-рефлекторі

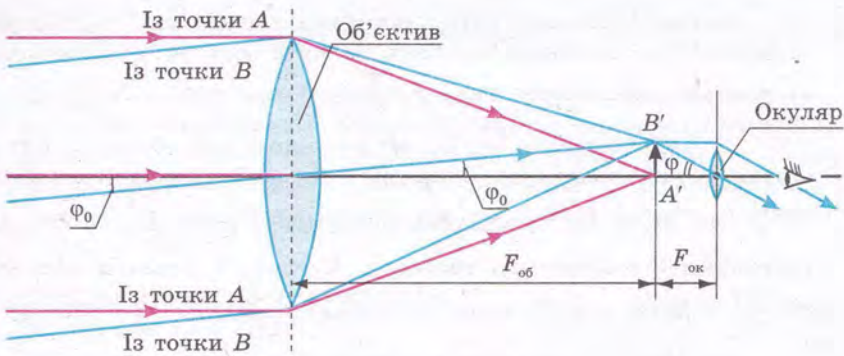


Рис. 42.7. Хід променів у телескопі-рефракторі

★ 5 Деякі недоліки зображень, отримуваних в оптичних системах

Зображення, що їх отримують за допомогою реальних оптичних систем, мають низку недоліків, найбільш суттєвими з яких є: *сферична та хроматична аберації, астигматизм* та ін.

Причина *сферичної аберації* полягає в тому, що промені, які вийшли з однієї точки предмета, після проходження крізь оптичну систему збігаються не в одній точці, тому зображення точки має вигляд невеликої плями, тобто розмивається (див. фото на рис. 41.3).

Хроматична аберація виникає тому, що під час проходження крізь лінзу промені з різними довжинами хвиль, що входять до складу білого світла, заломлюються по-різному, внаслідок чого зображення точки в лінзі має вигляд райдужної плями.

Астигматизм — порушення подібності між предметом і його зображенням. Внаслідок астигматизму зображення предметів, віддалених від головної оптичної осі лінзи, мають викривлену поверхню.

Майже всі дефекти оптичних систем можна усунути, використовуючи додаткові лінзи, але повне усунення всіх недоліків неможливе. Тому залежно від призначення приладу усувають найбільш шкідливий дефект.★

! Підбиваємо підсумки

Оптична система — сукупність оптичних елементів, створена для формування пучків світлових променів або для одержання зображень. Прикладом біологічної оптичної системи є око.

Кут зору — кут з вершиною в оптичному центрі ока, утворений променями, які направлені на крайні точки предмета: $\varphi = \frac{H}{d}$. Кут зору характеризує розмір зображення і, як наслідок, обсяг зорової інформації про предмет, одержуваної оком. Роздільна здатність ока визначається мінімальним кутом зору, при якому дві точки зображення сприймаються роздільно.

Кутове збільшення γ — відношення кута зору φ , отриманого за допомогою оптичного приладу, до кута зору φ_0 неозброєного ока на відстані найкращого зору: $\gamma = \frac{\varphi}{\varphi_0}$.

★ Найпростішою оптичною системою, що збільшує кут зору, є лупа — короткофокусна збиральна лінза. Кутове збільшення лупи: $\gamma = \frac{D}{F}$, де $D = 25$ см — відстань найкращого зору. Більш складними системами є мікроскоп і телескоп. Кутове збільшення мікроскопа: $\gamma = \frac{D\delta}{F_{об} F_{ок}}$. Кутове збільшення телескопа-рефрактора: $\gamma = \frac{F_{об}}{F_{ок}}$.

Зображення, що їх отримують за допомогою реальних оптичних систем мають низку недоліків: сферична та хроматична аберації, астигматизм тощо, які зазвичай усувають за допомогою додаткових лінз. ★



Контрольні запитання

1. Опишіть будову людського ока та призначення його окремих оптичних елементів.
2. Як змінюється діаметр зіниці в разі зменшення освітленості?
3. Чому людина з нормальним зором може однаково чітко бачити як далеко, так і близько розташовані предмети?
4. Який дефект зору називається короткозорістю? Як його можна скоригувати?
5. Який дефект зору називається далекозорістю? Як його можна скоригувати?
6. Що називається кутом зору?
7. Що таке роздільна здатність ока? Чим вона визначається?
8. Що таке кутове збільшення?
9. Яке призначення лупи? мікроскопа? телескопа? Як визначити їх кутове збільшення?



Вправа № 32

1. Шафа заввишки 180 см розташована на відстані 2 м від спостерігача. Який розмір її зображення на сітківці? Під яким кутом зору видно шафу? Оптична сила ока 58,5 дптр.
2. Визначте оптичну силу лупи, яка дає 6-кратне збільшення.
- ★ 3. Збільшення мікроскопа дорівнює 500. Визначте оптичну силу об'єктива, якщо фокусна відстань окуляра 5 см, а довжина тубуса — 20 см.
- ★ 4. Фокусна відстань окуляра телескопа 2,5 см. Визначте оптичну силу його об'єктива, якщо телескоп дає 40-кратне збільшення.



Л. П. Яценко

ФІЗИКА ТА ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Інститут фізики НАН України (Київ)

Інститут фізики (ІФ) створено у 1929 р. на базі кафедри Київського політехнічного інституту. Засновником і першим директором ІФ був академік О. Г. Гольдман. Учені інституту зробили вагомий внесок у розвиток багатьох напрямів сучасної фізичної науки, зокрема металофізики, фізики напівпровідників, теоретичної фізики, ядерної фізики, прикладної оптики та голографії. З кінця 60-х років ХХ ст. ІФ є безперечним лідером у галузях оптики, нелінійної оптики, лазерної фізики.

На базі ІФ створено низку науково-дослідних підрозділів та організацій, зокрема Інститут металофізики, Інститут фізики напівпровідників, Інститут теоретичної фізики, Інститут ядерних досліджень, Інститут прикладної оптики. Роботи науковців ІФ відзначені Ленінською премією (1966 р.), більш ніж 10 преміями СРСР, УРСР, України, міжнародними преміями. У 2009 р. члену-кореспонденту НАН України М. С. Соскіну Міжнародною Комісією з оптики було присуджено премію ім. Галілео Галілея.

Нині Інститут фізики очолює видатний вчений, член-кореспондент НАН України Леонід Петрович Яценко.