

§ 28. ОПТИЧНІ СИСТЕМИ. КУТ ЗОРУ



Органом зору людини є око — одна з найдосконаліших і водночас найпростіших оптичних систем. Як влаштоване око? Чому деякі люди погано бачать і як скоригувати їхній зір? Як розглянути доволі дрібні або досить віддалені предмети? Що таке кут зору, чому його потрібно збільшувати і як це зробити?

1 Як і чому ми бачимо

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

Розрізняють *природні* (біологічні) і *штучні* оптичні системи.

Прикладом біологічної оптичної системи є *око*. Око людини (рис. 28.1) має форму кулі діаметром приблизно 2,5 см. Ззовні око вкрите щільною непрозорою білковою оболонкою — **склерою**. Передня частина склери переходить у прозору *рогову оболонку* — **рогівку**, що діє як збиральна лінза і забезпечує 75 % здатності ока заломлювати світло.

Із внутрішнього боку до склери прилягає **судинна оболонка**, яка зсередини вкрита **сітківкою** — розгалуженням *світлочутливого нерва*. Місце, де зоровий нерв входить в око, не сприймає світло, тому його назвали *сліпа пляма*.

У передній частині ока судинна оболонка переходить у *райдужну оболонку* — **райдужку**, яка неоднаково забарвлена у різних людей і має круглий отвір — **зіницю**. Діаметр зіниці змінюється в разі зміни інтенсивності світла.



Рис. 28.1. Будова ока

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

Чому зіниця звужується в разі посилення інтенсивності світла й розширюється в разі ослаблення?

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

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

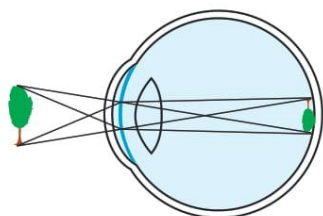


Рис. 28.2. Схема отримання зображення предмета на сітківці ока

В утворенні зображення також бере участь **склисте тіло** — прозора драглиста маса, яка заповнює простір між кришталиком і сітківкою. Світло, яке потрапляє на поверхню ока, заломлюється на рогівці, кришталику та склистому тілі. У результаті на сітківці утворюється *дійсне, перевернуте, зменшене зображення предмета* (рис. 28.2).

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**.

Для людини з нормальним зором відстань найкращого зору становить приблизно 25 см ($d_0 = 25$ см). У такої людини фокус оптичної системи ока в ненапруженому стані розташований на сітківці, тобто паралельні промені, що потрапляють в око, після заломлення збираються на сітківці (рис. 28.3, 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. 28.3, б), тому зображення предметів на сітківці є розмитим. Відстань найкращого зору в цьому випадку менша від 25 см, тому короткозора людина, щоб розглянути предмет, наближає його до очей. *Короткозорість коригується носінням окулярів із розсіювальними лінзами або розсіювальних контактних лінз.*

У разі **далекозорості** фокус оптичної системи ока в ненапруженому стані розташований за сітківкою (рис. 28.3, в) і зображення предметів на сітківці також є нечітким, розмитим. Відстань найкращого зору в цьому випадку більша за 25 см, тому, розглядаючи предмет, людина віддаляє його від очей. *Далекозорість коригується носінням окулярів зі збиральними лінзами або збиральних контактних лінз.*

2 Що таке кут зору та як його збільшити

Розмір H зображення предмета на сітківці визначається **кутом зору** φ — кутом із вершиною в оптичному центрі ока, утвореним променями, напрямленими на крайні точки предмета (рис. 28.4):

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

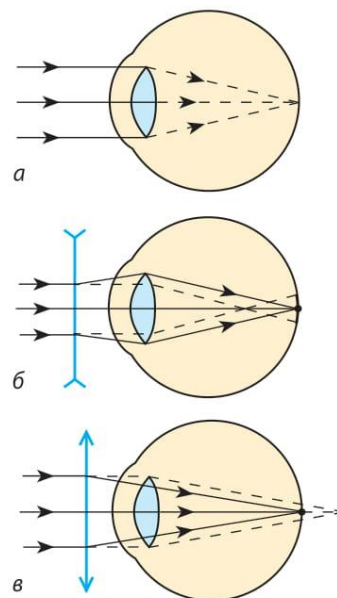


Рис. 28.3. Зображення віддалених предметів на сітківці ока: а — для людини з нормальним зором; б — у разі короткозорості; в — у разі далекозорості. Пунктирними лініями показано хід променів через око за відсутності окулярів (контактних лінз), суцільними — за наявності окулярів (контактних лінз)

■ Коли короткозора людина розглядає предмет, вона наближає його до ока, збільшуючи кут зору. Саме тому вона може розрізнити дрібні деталі навіть краще, ніж людина з нормальним зором.

■ Далекозорій людині важко розрізнити дрібні деталі предмета, оскільки вона повинна віддаляти предмет від ока, а це зумовлює зменшення кута зору.

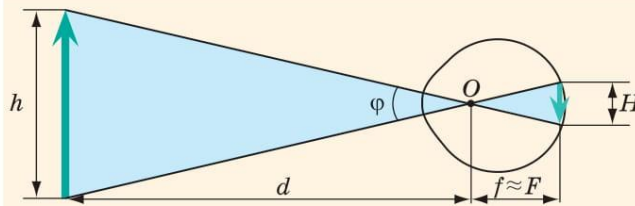


Рис. 28.4. Схема отримання зображення предмета на сітківці ока: O — оптичний центр оптичної системи ока; d — відстань від предмета до ока; f — відстань від оптичного центра до зображення; F — фокусна відстань; φ — кут зору

Зверніть увагу!

Зазвичай кут зору, під яким людина розглядає предмет, є досить малим ($\varphi < 0,1$ рад). Для таких кутів, як вам відомо з математики: $\varphi \approx \sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi$. Саме тому ми визначаємо кут зору як відношення катетів.

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.

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 $\varphi_{\min}$, за якого дві точки ще видно роздільно. Середній мінімальний кут зору становить близько 1 кутової мінути ($\varphi_{\min} = 1'$) — це дуже маленький кут (наприклад, під таким кутом відрізок завдовжки 1 см розглядається на відстані 34 м від ока). Зі зменшенням освітленості роздільна здатність ока зменшується.

Щоб детально розглянути предмет, треба збільшити кут зору. Це досягається за допомогою *оптичних приладів*. За призначенням оптичні прилади можна поділити на дві групи: 1) *прилади для розглядання дуже дрібних об'єктів*, які ніби збільшують об'єкт, що розглядається (лупа, мікроскоп); 2) *прилади для розглядання віддалених об'єктів*, які ніби наближають об'єкт (зорова труба, бінокль, телескоп).

Найпростішим збільшувальним приладом є **лупа (збільшувальне скло)** — короткофокусна опукла лінза, виготовлена зі скла або пластмаси.

Нехай невеликий предмет AB заввишки h розташований на відстані найкращого зору (d_0) (рис. 28.5, а). Предмет видно під кутом φ_0 . Щоб збільшити кут зору, можна наблизити предмет до ока, перемістивши цей предмет у положення $A'B'$, але в цьому випадку предмет перебуватиме надто близько до ока. А можна скористатися лупою.

Розмістимо предмет поблизу фокуса лупи і розглядатимемо його через лупу,

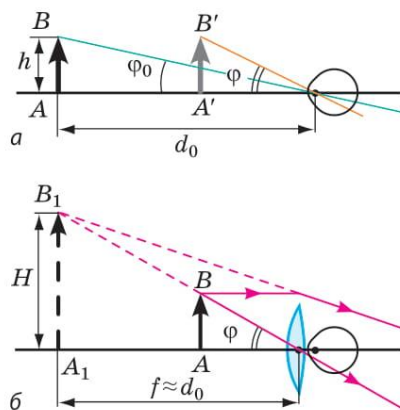


Рис. 28.5. а — розглядання предмета неозброєним оком; б — збільшення кута зору за допомогою лупи. h — висота предмета; H — висота зображення; f — відстань від зображення до лінзи; φ_0 і φ — початковий і збільшений кути зору відповідно

яку розташуємо якнайближче до ока (рис. 28.5, б). Якщо під час розглядання предмета через лупу його уявне зображення A_1B_1 перебуватиме на відстані найкращого зору ($f = d_0$), то око буде майже ненапруженим, а кут зору — збільшеним.

Чим менша фокусна відстань лупи, тим значніше збільшення вона дає. На практиці лупи з фокусною відстанню меншою за 2 см не застосовують, оскільки такі короткофокусні лінзи вносять серйозні викривлення в отримувані зображення. Найкращі лупи збільшують кут зору в 5–10 разів.

Для багатьох наукових і технічних досліджень навіть десятиразове збільшення об'єкта не є достатнім. У таких випадках використовують **оптичні мікроскопи**, що являють собою комбінацію двох короткофокусних систем — *об'єктива* й *окуляра*, розташованих у тубусі на певній відстані один від одного. Оптичні мікроскопи можуть збільшити кут зору в 1000 разів. Це граничне значення, яке не може бути більшим через хвильові властивості світла.



Підбиваємо підсумки

- Оптична система — сукупність оптичних елементів, призначена для формування пучків світлових променів або для одержання зображень.
- Прикладом біологічної оптичної системи є око: потрапляючи в око, світло заломлюється, і в результаті на сітківці — світлочутливій поверхні очного дна — утворюється зменшене, дійсне, обернене зображення предмета.
- Обсяг зорової інформації про предмет, одержуваної оком, визначається кутом зору. Кут зору — це кут із вершиною в оптичному центрі ока, утворений променями, які напрям-

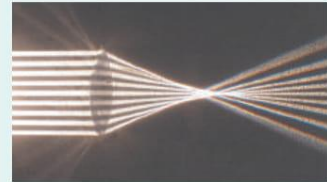
лені на крайні точки предмета: $\varphi = \frac{h}{d}$.

- Роздільна здатність ока визначається мінімальним кутом зору, за якого дві точки зображення сприймаються роздільно.
- Для збільшення кута зору використовують різноманітні штучні оптичні системи.

Недоліки зображень, отримуваних в оптичних системах

Зображення, які отримують за допомогою штучних оптичних систем, мають низку недоліків, найбільш суттєвими з яких є такі.

- *Сферична аберация*, причина якої в тому, що промені, які вийшли з однієї точки предмета, після заломлення в оптичній системі збігаються не в одній точці, і через це зображення «розмивається».



- *Хроматична аберация*, яка виникає тому, що під час проходження крізь лінзу хвилі різних частот, що входять до складу світла, заломлюються по-різному, внаслідок чого зображення точки в лінзі має вигляд райдужної плями.
- *Астигматизм* — порушення подібності між предметом і його зображенням: зображення предметів, віддалених від головної оптичної осі лінзи, є викривленими.

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



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. Яку ваду зору називають короткозорістю? далекозорістю? Як ці вади можна скоригувати?
5. Що таке кут зору і для чого його збільшують?
6. Які пристрої використовують для збільшення кута зору?



Вправа № 28

1. Яку ваду зору має людина, якщо оптична сила її ока менша, ніж оптична сила ока людини з нормальним зором?
2. Людина при читанні тримає книгу на відстані 15 см від очей. Які окуляри їй потрібні?
3. Чи може будь-яка збиральна лінза слугувати лупою? Обґрунтуйте свою відповідь.
4. Кулька діаметром 1,8 см розташована на відстані 2 м від спостерігача, який має нормальний зір. Яким є розмір зображення кульки на сітківці? Під яким кутом зору видно кульку?
5. Яку ваду зору має людина, якщо, розглядаючи предмет на відстані найкращого зору, вона використовує лінзи з оптичною силою +2 дптр? На якій відстані ця людина добре бачить предмет неозброєним оком?
6. Сьогодні зниження гостроти зору є однією з найпоширеніших хвороб. Дізнайтеся, які фактори негативно впливають на зір, яких правил слід дотримуватися, щоб зберегти зір.
7. Для спостереження віддалених об'єктів (планет, зір, астероїдів) використовують телескопи, які бувають двох основних видів: телескопи-рефлектори і телескопи-рефрактори. Дізнайтеся, чим вони відрізняються і які переваги має кожний вид телескопів.



Фізика в цифрах

Що означають цифри, які зазвичай наводять на оправі окулярів*



* Усі розміри наведено в міліметрах.