

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ**

Кафедра інформаційних технологій факультету №4

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

навчальної дисципліни Фізика обов'язкової компоненти
освітньої програми першого рівня вищої освіти

125 Кібербезпека (безпека інформаційних та комунікаційних систем)

за темою – (Оптичні системи)

Харків 2018

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від _____ № _____

СХВАЛЕНО

Вченою радою факультету № 4
Протокол від _____ № _____

ПОГОДЖЕНО

Секцією Науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від _____ № _____

Розглянуто на засіданні кафедри інформаційних технологій
протокол від _____ № _____

Розробники:

1. доцент кафедри, кандидат технічних наук Світличний В.А.

Рецензенти:

1. доцент кафедри кібербезпеки факультету №4 ХНУВС, к.т.н., доцент Носов В.В.,
2. професор кафедри проектування та експлуатації електронних апаратів ХНУРЕ, к.т.н., доцент Хорошайло Ю.С.

План лекції:

1. Вступ. Центровані оптичні системи.
2. Тонкі лінзи. Типи лінз. Фокусна відстань лінзи. Оптична сила лінзи. Побудова зображень за допомогою лінз. Формула тонкої лінзи. Правила знаків.
3. Оптичні призми.
4. Око як оптична система. Будова ока. Акомодація ока. Корекція дефектів зору. Адаптація ока. Спектральна чутливість ока. Роздільна здатність ока. Бінокулярний зір.
5. Висновки.

Основна література:

1. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Том. 4. Оптика – М.: Высшая школа, 1979, 768 с.
2. Бланк А.Я. Физика. – Харьков, "Каравелла", 1996.
3. Лопатинський Є.І., Зачек І.Р., Ільчук Г.А., Романишин Б.М. Фізика. Підручник. – Львів: Афіша, 2005. 394 с.

Додаткова література:

1. Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики \в 3-х томах\ - Киев, "Дніпро", 1994.
2. Айзензон А.Е. Курс физики – Москва, "Высшая школа", 1996.
3. Орір Дж. Физика в 2-х томах. – М: Мир, 1981.
4. Детлаф А.А., Яворський В.М. Курс общей физики \в 3-х томах\ – М.: Высшая школа, 1983.

Текст лекції.

1. Вступ. Оптичною системою називають пристрій, який формує дійсне оптичне зображення об'єкта або перетворює світловий потік. Оптична система складається з лінз, призм, прозорих пластинок, дзеркал тощо, скомбінованих між собою так, щоб одержувати оптичне зображення об'єкта або перетворювати світловий потік. У загальному випадку оптичні системи мають дві й більше заломлюючих поверхонь. Практичного значення набули системи, для яких центри кривизни всіх заломлюючих поверхонь лежать на одній прямій. Оптичні системи, що мають таку властивість називають **центрованими**. Прямую лінію, на якій лежать центри кривизни заломлюючих поверхонь оптичної системи, називають **головною оптичною віссю** оптичної системи.

До найпростіших центрованих систем відноситься **лінза**. Вона складається з двох заломлюючих поверхонь, які обмежують прозору речовину, наприклад, скло. Одна із заломлюючих поверхонь обов'язково повинна бути сферичною, друга – або сферичною, або плоскою (рис. 1). У залежності від комбінації заломлюючих поверхонь лінзи можуть бути: *двоопуклі* (1), *плоско-опуклі* (2), *вгнуто-опуклі* (3), *двовгнуті* (4), *плоско-вгнуті* (5), *опукло-вгнуті* (6). При цьому лінзи 1-3 є **збірними**, лінзи 4-6 є **розсіюючими**, якщо матеріал, з якого вони виготовлені, є більш оптично густим, ніж навколишнє середовище.

Розглянемо двоопуклу лінзу (мал. 1). Лінзу називають **тонкою**, якщо її товщина AB досить мала в порівнянні з радіусами кривизни R_1 і R_2 заломлюючих поверхонь. При цьому вважається, що вершини цих поверхонь A і B зливаються в точку O , яку називають **оптичним центром** лінзи. Будь-яка пряма, що проходить через оптичний центр лінзи, називається **оптичною віссю** лінзи. Оптична вісь C_2OC_1 , яка проходить через центри кривизни C_1 і C_2 заломлюючих поверхонь та оптичний центр лінзи, називається **головною оптичною віссю** лінзи.

Промені, які є паралельними до головної оптичної осі, заломлюються в збірній лінзі й перетинаються в точці F , яка лежить на цієї осі й називається **фокусом** лінзи (рис. 2,а). Для розсіюючої лінзи фокусом є точка на головній оптичній осі, в якій перетинаються не самі промені, а їх уявні продовження в бік, що протилежний напрямку поширення світла (рис. 2,б). Відстань від фокусу лінзи до її оптичного центру називають **фокусною відстанню** (f). Площина, яка перпендикулярна до головної оптичної осі й проходить через фокус лінзи, називається **фокальною площиною**.

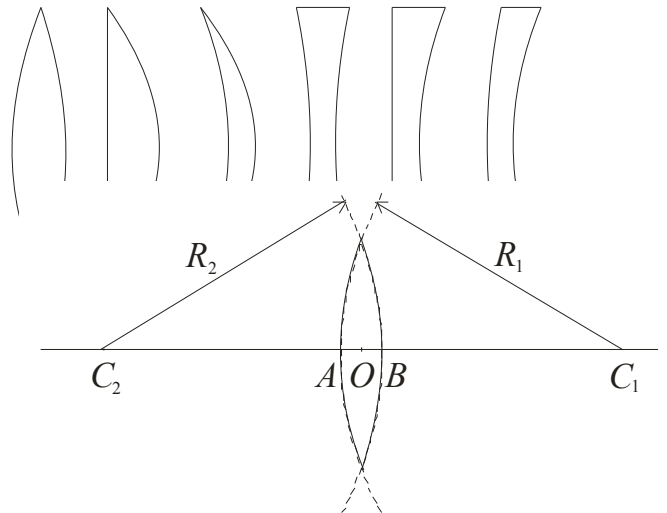


Рис. 1. Двоопукла лінза

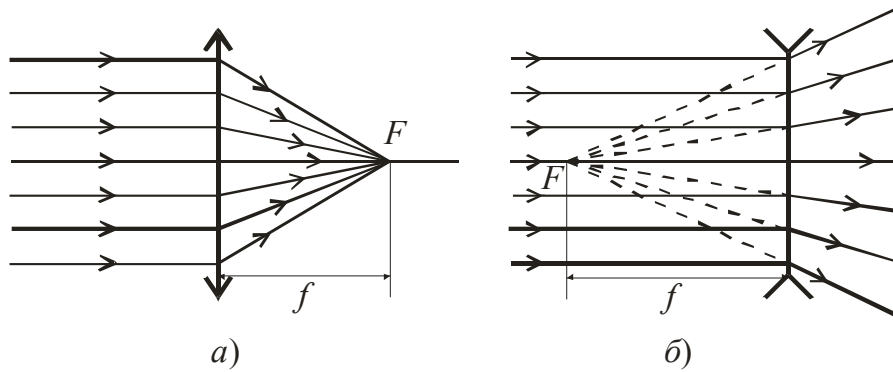


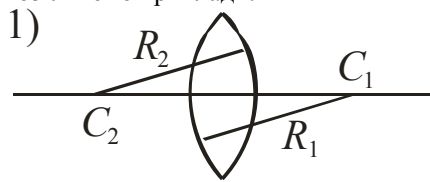
Рис. 2. Хід світлових променів через тонку лінзу:
а) збірна лінза; б) розсіююча лінза

Фокусна відстань лінзи може бути розрахована за формулою:

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right), \quad (1)$$

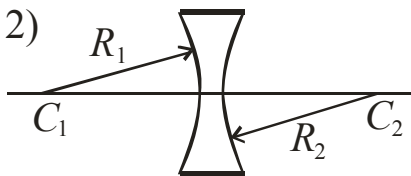
де n_2 — показник заломлення матеріалу, з якого виготовлена лінза; n_1 — показник заломлення середовища, що оточує лінзу; R_1 і R_2 — радіуси кривизни заломлюючих сферичних поверхонь.

Відповідно до типу лінз формулу (1) записують згідно **правила знаків**: якщо заломлююча поверхня знаходиться *ліворуч* від центру кривизни, то радіус кривизни цієї поверхні є *додатним*; якщо заломлююча поверхня знаходиться *праворуч* від центру кривизни, то радіус кривизни цієї поверхні є *від'ємним*. Розглянемо приклади:



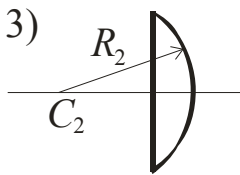
для двопоуклої лінзи $R_1 > 0$, $R_2 < 0$, тому формула (1) набуває вигляду:

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \left[\frac{1}{R_1} - \left(-\frac{1}{R_2} \right) \right] = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) > 0;$$



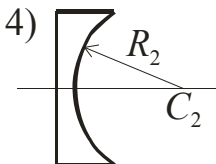
для двовгнутої лінзи $R_1 < 0$, $R_2 > 0$, тому формула (3.1) набуває вигляду:

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \left[\left(-\frac{1}{R_1} \right) - \frac{1}{R_2} \right] = - \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) < 0$$



для плоско-опуклої лінзи $R_1 = \infty$, $R_2 < 0$, тому формула (3.1) набуває вигляду:

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \left[\frac{1}{\infty} - \left(-\frac{1}{R_2} \right) \right] = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \frac{1}{R_2} > 0;$$



для плоско-вгнутої лінзи $R_1 = \infty$, $R_2 > 0$, тому формула (3.1) набуває вигляду:

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \left(\frac{1}{\infty} - \frac{1}{R_2} \right) = - \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \frac{1}{R_2} < 0.$$

Величина, яка є оберненою до фокусної відстані, називається **оптичною силою** лінзи:

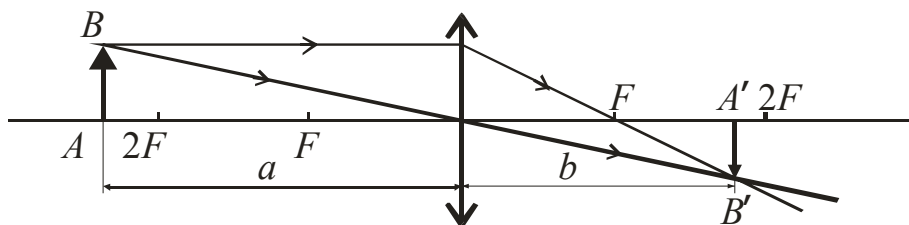
$$D = \frac{1}{f}.$$

Оптична сила визначає збірну або розсіюючу здатність лінзи. У системі СІ оптична сила вимірюється в *діоптріях* (дптр). Оптичну силу в 1 діоптрію має лінза з фокусною відстанню 1 м. Оптична сила збірних лінз є *додатною*, розсіюючих лінз – *від'ємною*. Оптична сила оптичної системи, яка складається з кількох лінз, дорівнює алгебраїчній сумі оптичних сил цих лінз. Наприклад, оптична система з двох збірних лінз має більшу оптичну силу й меншу фокусну відстань, ніж кожна з них окремо.

Оптичні зображення предметів, які можна дістати за допомогою лінз, поділяються на дійсні та уявні. *Дійсні зображення* створюються збіжними пучками променів у точках, де вони перетинаються. Дійсні зображення можна спостерігати на екрані або фотоплівці, які знаходяться в точках перетину променів. Якщо промені, що виходять з оптичної системи, розходяться, то подумки їх можна продовжити в протилежному напрямку, де вони перетинаються. Точку перетину цих променів називають уявним зображенням точки предмета. Сукупність таких точок складають *уявне зображення* предмета. Уявне зображення неможливо одержати на екрані або зафіксувати на фотоплівці, але інша оптична система (збірна лінза, око людини) здатна перетворити уявне зображення на дійсне.

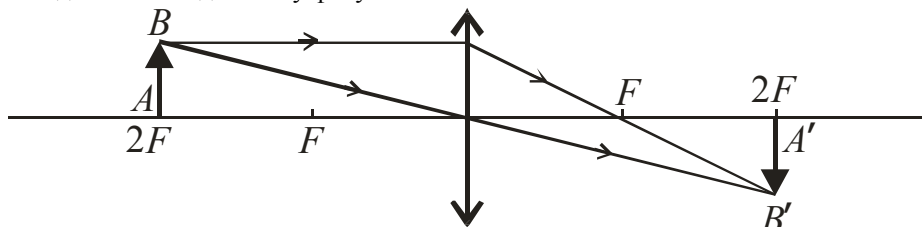
Тонкі лінзи дають неспотворені зображення предметів, якщо падаюче світло є монохроматичним, а розміри предметів є малими в порівнянні з відстанями від предметів до лінз. Для побудови зображень предметів за допомогою тонких лінз досить використати два промені: перший промінь йде від крайньої точки предмета паралельно головній оптичній осі й після заломлення в лінзі він перетинає фокус; другий промінь йде від тієї самої точки предмета через оптичний центр лінзи без зміни напрямку. Розглянемо приклади.

1. Предмет AB знаходиться за подвійним фокусом лінзи:



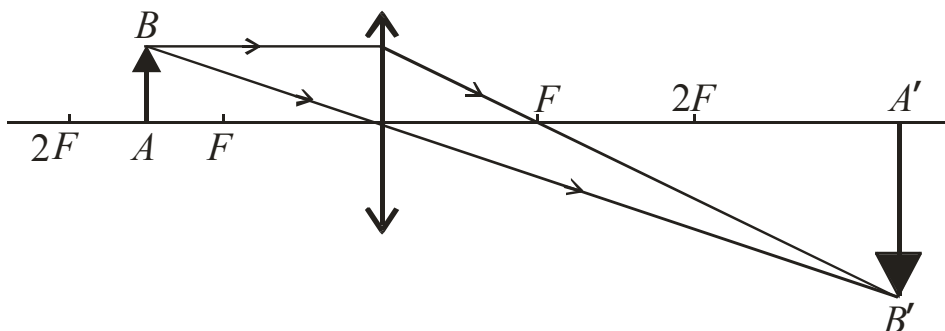
Зображення $A'B'$ є дійсним, оберненим й зменшеним (a – відстань від предмета до лінзи, b – відстань від лінзи до зображення).

2. Предмет AB знаходиться на подвійному фокусі лінзи:



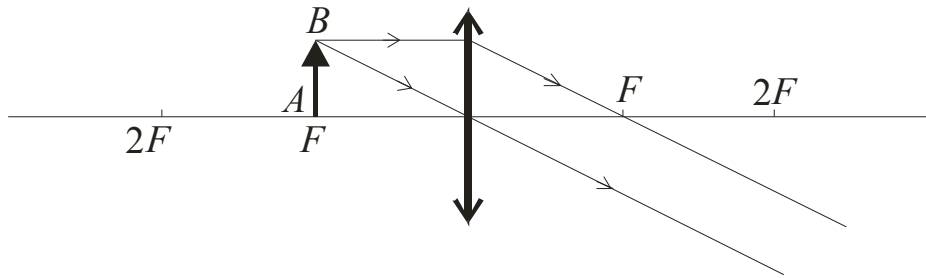
Зображення $A'B'$ є дійсним, оберненим й таким самим за розміром, як предмет AB .

3. Предмет AB знаходиться між фокусом та подвійним фокусом лінзи:



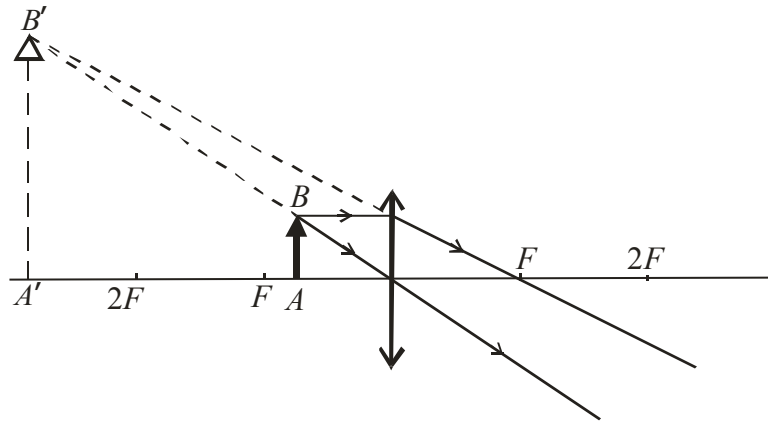
Зображення $A'B'$ є дійсним, оберненим й збільшеним. $k = \frac{A'B'}{AB} > 0$ – збільшення лінзи.

4. Предмет AB знаходиться у фокусі лінзи:



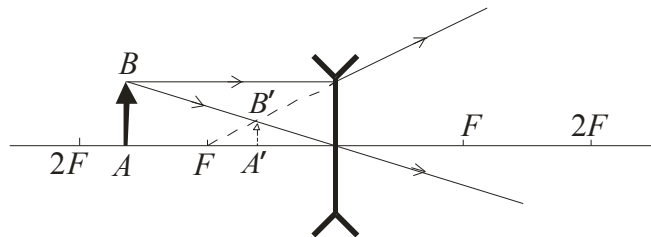
Зображення відсутнє, оскільки після лінзи промені є паралельними.

5. Предмет AB знаходиться між фокусом лінзи та самою лінзою:



Зображення $A'B'$ є уявним, прямим й збільшеним.

6. Предмет AB знаходиться між фокусом та подвійним фокусом лінзи:



Для будь-якого положення предмета AB його зображення $A'B'$ буде уявним, прямим й зменшеним.

Формулою тонкої лінзи називають рівняння вигляду:

$$\frac{1}{b} - \frac{1}{a} = \frac{1}{f},$$

яку для кожного конкретного випадку треба записувати відповідно до **правила знаків**: відстань від оптичного центру лінзи за напрямком поширення променів є *додатною*; відстань від оптичного центру лінзи проти напрямку поширення променів є *від'ємною*. Для збірної лінзи фокусна відстань є додатною, для розсіювальної лінзи – від'ємною.

Для побудов 1, 2, 3 відстані $a < 0$, $b > 0$, тому формула тонкої лінзи набуває вигляду:

$$\frac{1}{b} - \left(-\frac{1}{a}\right) = \frac{1}{f} \quad \text{або} \quad \frac{1}{b} + \frac{1}{a} = \frac{1}{f}.$$

Для побудови 4 відстані $b = \infty$, $a < 0$, тому формула тонкої лінзи набуває вигляду:

$$\frac{1}{a} = \frac{1}{f}.$$

Для побудов 5 і 6 відстані $a < 0$, $b < 0$, тому формула тонкої лінзи набуває вигляду:

$$-\frac{1}{b} - \left(-\frac{1}{a}\right) = \frac{1}{f} \quad \text{або} \quad \frac{1}{a} - \frac{1}{b} = \frac{1}{f}.$$

3.4. Оптичні призми є складовою частиною оптичних систем. Вони виготовляються з матеріалів, які є прозорими для електромагнітних хвиль оптичного діапазону, а їх зовнішній вигляд досить часто не відповідає математичному поняттю призми. Оптичні призми поділяють на три класи: *спектральні, відбиваючі й поляризаційні*. Поляризаційні призми вивчатимуться в розділі хвильової оптики, який стосується поляризованого світла.

Спектральні призми просторово розділяють електромагнітні хвилі за довжиною хвилі. Таке розділення білого світла на монохроматичні складові є результатом явища дисперсії. Для видимого діапазону такі призми виготовляють із скла, для ультрафіолетової області – із кварцу, для інфрачервоної області – із фтористого літію, хлористого магнію. Розглянемо деякі типи спектральних призм:

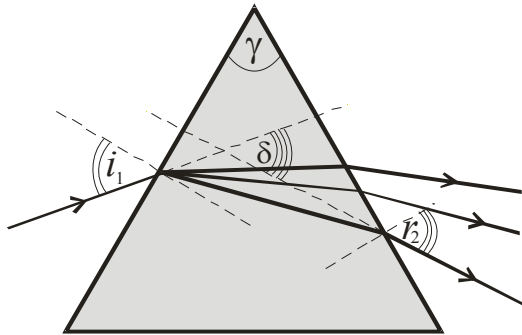


Рис. 3. Тригранна призма

1) *тригранна призма* (рис. 3). Бокові грані цієї призми утворюють між собою кут γ , який називають *заломлюючим кутом*. Для призм цього класу він дорівнює 60° . Якщо на призму падає біле світло, то поза призмою спостерігається спектр. *Спектром* називають залежність інтенсивності світла від довжини (частоти) хвилі. Кут відхилення променів δ можна визначити за допомогою формули

$$\delta = i_1 + r_2 - \gamma;$$

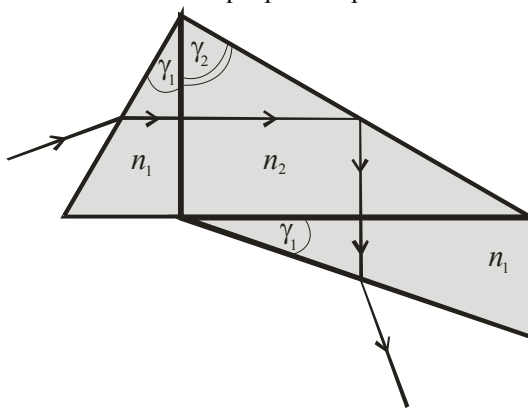


Рис. 4. Призма Аббе

2) *призма Аббе*. Для цієї призми розкладання білого світла на спектр супроводжується відхилом світлового пучка на кут 90° (рис. 4). Призма складається з двох прямокутних призм із заломлюючим кутом $\gamma_1 = 30^\circ$ та рівнобедреної, прямокутної, відбиваючої призми із заломлюючим кутом $\gamma_2 = 45^\circ$.

Показники заломлення призм є однаковими

$$n_1 = n_2;$$

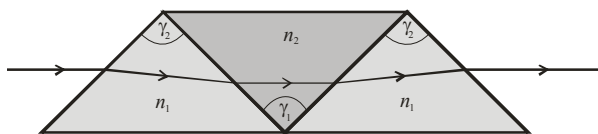


Рис. 5. Призма Амічі

3) *призма Амічі* є призмою прямого ходу (рис. 5). Вона складається із трьох або більшої кількості прямокутних призм. Бокові призми виготовляються із скла (крон) з меншим показником заломлення n_1 , а центральна призма із скла (флінт) з більшим показником заломлення n_2 ($n_2 > n_1$).

Середній промінь спектра проходить призму Амічі без відхилення, а інші промені, що мають більшу або меншу довжину хвилі, відхиляються від середнього променя по обидві сторони.

Відбиваючі призми використовують для зміни напрямку поширення світлового пучка, зменшення геометричних розмірів оптичних приладів, повернення зображення предметів. На відміну від спектральних призм відбиваючі призми просторово не розділяють світлові промені в залежності від довжини хвилі. Відбивання світлових променів від граней призми є повним внутрішнім відбиванням, тобто грані призми перетворюються на ніби дзеркальні. Існує залежність між кількістю відбиваючих граней й повертанням зображення предмету: якщо відбивання світлових променів відбувається в одній площині, то призма з парною кількістю відбиваючих граней дає *пряме* зображення предмету; призма з непарною кількістю відбиваючих граней дає *обернене* зображення предмету. Для різних ділянок оптичного діапазону відбиваючі призми виготовляють з тих самих матеріалів, що й спектральні призми. Розглянемо деякі типи відбиваючих призм:

1) *тригранна прямокутна рівнобедрена призма* може відбивати світлові промені як від гіпотенузи (рис. 6,а), так й від катетів (рис. 6,б). У випадку (а) вона змінює напрям ходу променів на кут 90° й повертає зображення предмета (одна відбиваюча грань). У випадку (б) вона змінює напрям ходу променів на кут 180° , але зображення залишається прямим (дві відбиваючих грані);

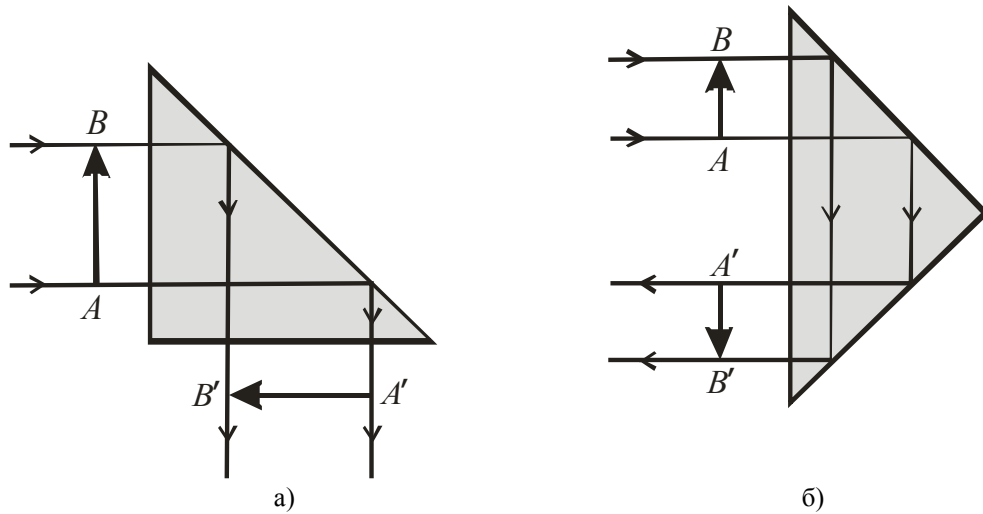


Рис. 6. Тригранна прямокутна рівнобедрена призма

2) *призма Дове* є призмою прямого зору (рис. 7). Вона зберігає напрям ходу світлових променів й повертає зображення предмета (одна відбиваюча грань);

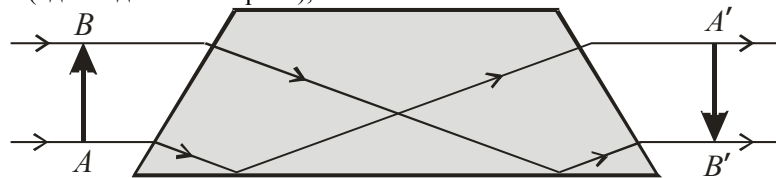


Рис. 7. Призма Дове

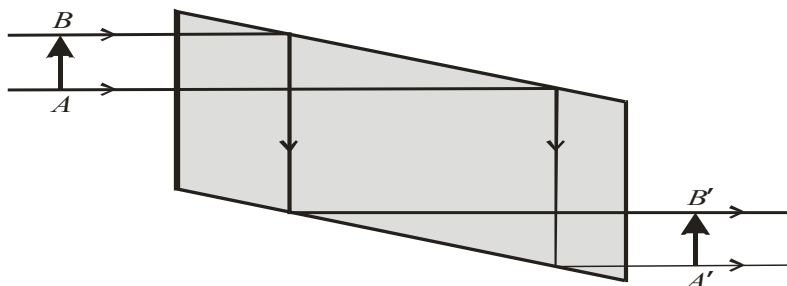


Рис. 9 Призма ромб

3) *призма ромб* (рис. 9) зберігає напрям ходу світлових променів й дає пряме зображення предмета (дві відбиваючих грані);

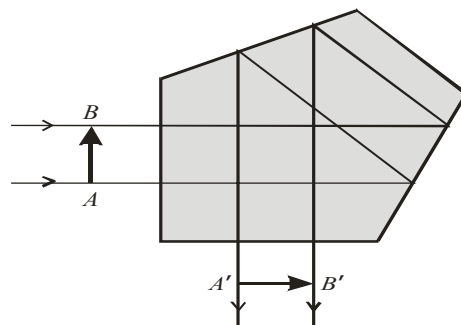


Рис. 10. Пентапризма

4) *пентапризма* (рис. 10) змінює напрям ходу променів на кут 90° й дає пряме зображення предмета (дві відбиваючих грані).

3.5. Око людини являє собою складну оптичну систему. Розглянемо його будову (рис. 11). Очне яблуко наближено має сферичну форму діаметром близько 25 мм. Зовні воно покрите твердою непрозорою оболонкою, яку називають *склерою* 1. У передній частині склери переходить у прозору дещо більш опуклу оболонку, яку називають *рогівкою* 2 ($n=1,38$).

Відділена від склери рогівка має форму чашечки діаметром близько 12 мм і радіусом кривизни сферичної поверхні 7-8 мм. На деякій відстані від рогівки знаходиться забарвлена оболонка з отвором, яку називають *райдужною оболонкою* 3. Отвір у райдужній оболонці називають *зіницею* ока. Залежно від інтенсивності світла діаметр зіниці може змінюватися від 2 до 8 мм.

Райдужна оболонка – це апертурна діафрагма ока. Простір між райдужною оболонкою і рогівкою називають *передньою камерою*, який заповнений прозорою рідиною ($n=1,33$). За зіницею знаходиться *кришталік* 4, який за формою близький до двоопуклої лінзи діаметром 8-10 мм. Він складається з шарів різної оптичної густини: для зовнішнього шару $n=1,4$, для

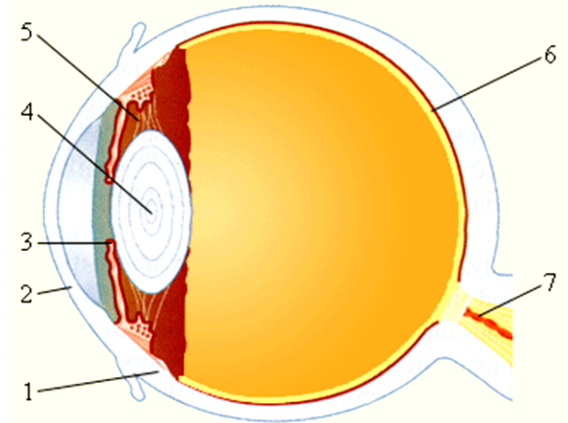


Рис. 11. Будова ока

внутрішнього $n=1,44$. Кришталік знаходиться всередині капсули, яка по краях переходить у волокна *циліарної в'язки* 5. Ці волокна завжди є натягнутими. При цьому кришталік є максимально витягнутим (радіус кривизни передньої заломлюючої поверхні дорівнює 10 мм, задньої – 6 мм). Механічний натяг волокон циліарної в'язки регулюється особливими *м'язами*, які також називають *циліарними*. Під час скорочення циліарних м'язів натяг волокон циліарної в'язки зменшується й кришталік за рахунок своєї еластичності приймає більш опуклу форму. Отже, кришталік являє собою збірну лінзу, оптична сила якої змінюється за рахунок рефлекторної роботи циліарних м'язів.

За кришталіком очне яблуко заповнене драглистим скловидним тілом. Через задню стінку очного яблука входить *зоровий нерв* 7, який розгалужується на дні ока, утворюючи світлочутливий шар, що називають *сітківкою* 6. Світлочутливими елементами сітківки є колбочки і палички.

Оптичні елементи ока (рогівка, передня камера, зіниця, кришталік і скловидне тіло) утворюють центровану оптичну систему, оптичний центр якої знаходиться на відстані 5 мм від рогівки. Світлові промені заломлюються на межі повітря – рогівка, проходять крізь кришталік й створюють зображення предметів на сітківці для будь-яких відстаней від цих предметів до ока.

Якщо циліарні м'язи не напружені, то радіус кривизни передньої заломлюючої поверхні кришталіка дорівнює 10 мм, задньої – 5 мм, а оптична сила ока є мінімальною й приблизно дорівнює 59 дптр. У цьому стані око здатне чітко бачити предмети на дуже великій відстані (на нескінченності). Під час спостереження предметів на близькій відстані від ока циліарні м'язи напружуються, кривизна заломлюючих поверхонь кришталіка зменшується і оптична сила ока збільшується. Для максимального напруження циліарних м'язів радіуси кривизни обох заломлюючих поверхонь дорівнюють 5,5 мм, а оптична сила ока – 74 дптр. Отже, основною особливістю ока як оптичного приладу є його здатність змінювати оптичну силу в залежності від положення предметів. Властивість ока пристосовуватися до ясного видіння предметів, які розташовані на різних відстанях від ока, називають **акомодацією** ока.

Область акомодації ока можна визначити положенням двох точок, які називають *далекою й близькою точками акомодації*. *Далека точка акомодації* визначається положенням предмету, чітке зображення якого одержується на сітківці для ненапруженого стану циліарних м'язів ока. Для нормального зору далека точка акомодації знаходиться на нескінченності. *Блиька точка акомодації* визначається відстанню від предмета до ока, коли його чітке зображення одержується під час максимального напруження циліарних м'язів ока. Для нормального ока близька точка акомодації знаходиться на відстані 10-20 см від ока. З віком ця відстань збільшується. Для нормального зору існує ще *відстань найкращого зору*, яка дорівнює 25 см. Це така відстань між оком і предметом, коли деталі предмету можна чітко бачити без напруження. На сітківці оптична система ока завжди утворює дійсне і обернене зображення предметів.

До головних недоліків зору відносять:

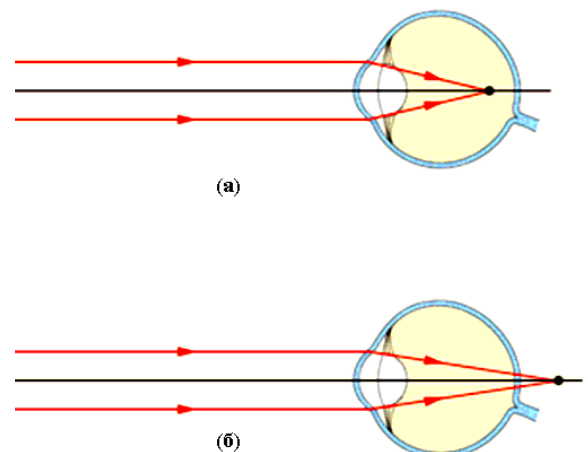


Рис. 12 Дефекти зору: (а) – короткозорість, (б) – далекозорість

а) *міопію* або *короткозорість*, яка проявляється в розпливчатому зображенні віддалених від ока предметів. Вона пов'язана з тим, що промені від нескінченно віддалених предметів фокусуються не на сітківці, а перед нею (рис. 12,а);

б) *гіперметропію* або *далекозорість*, яка проявляється в розпливчатому зображенні близько розташованих від ока предметів. Вона пов'язана з тим, що промені фокусуються поза сітківкою (рис. 12,б).

Для короткозорого ока відстань найкращого зору зменшується, для далекозорого ока – збільшується.

Для виправлення дефектів зору використовуються *окуляри*. Далекозорість коректується за допомогою окулярів, що мають додатну оптичну силу (збірні лінзи); короткозорість коректується окулярами, що мають від'ємну оптичну силу (розсіюючі лінзи).

Розглянемо **корекцію** короткозорого ока. Для спостереження віддалених предметів оптична сила лінз повинна бути такою, щоб паралельні світлові промені фокусувалися на сітківці ока. Око повинно бачити через окуляри уявне й пряме зображення віддаленого предмету, яке знаходиться в далекій точці акомодатії даного ока. Нехай далека точка акомодатії короткозорого ока знаходиться на відстані 80 см. Застосовуючи формулу

тонкої лінзи, одержимо оптичну силу розсіюючої коректуючої лінзи: $\frac{1}{a} - \frac{1}{b} = D$. Якщо

$$a = \infty, b = 0,8 \text{ м, то } D = -\frac{1}{0,8} = -1,25 (\text{дптр}).$$

Окуляри для „близького зору” (наприклад, для читання) повинні створювати уявне зображення предмету, який знаходиться на відстані $a_0 = 25 \text{ см}$ (відстань найкращого зору нормального ока), на відстані найкращого зору даного ока. Нехай, наприклад, короткозоре око має відстань найкращого зору 16 см. За допомогою формули тонкої лінзи одержимо оптичну силу розсіюючої коректуючої лінзи: $\frac{1}{a} - \frac{1}{b} = D$.

$$\text{Якщо } a = a_0 = 0,25 \text{ м, } b = 0,16 \text{ м, то } D = \frac{1}{0,25} - \frac{1}{0,16} = -2,25 (\text{дптр}).$$

Внаслідок звужування області акомодатії короткозорого ока окуляри для „близького зору” повинні мати більшу (за модулем) оптичну силу в порівнянні з окулярами, за допомогою яких спостерігаються віддалені предмети.

На рис. 13 показано, як відбувається корекція далекозорого й короткозорого ока. Предмет A розташований на відстані $d = 25 \text{ см}$ найкращого зору нормального ока, а його уявне зображення A' розташовується на відстані f , що відповідає відстані найкращого зору даного ока.

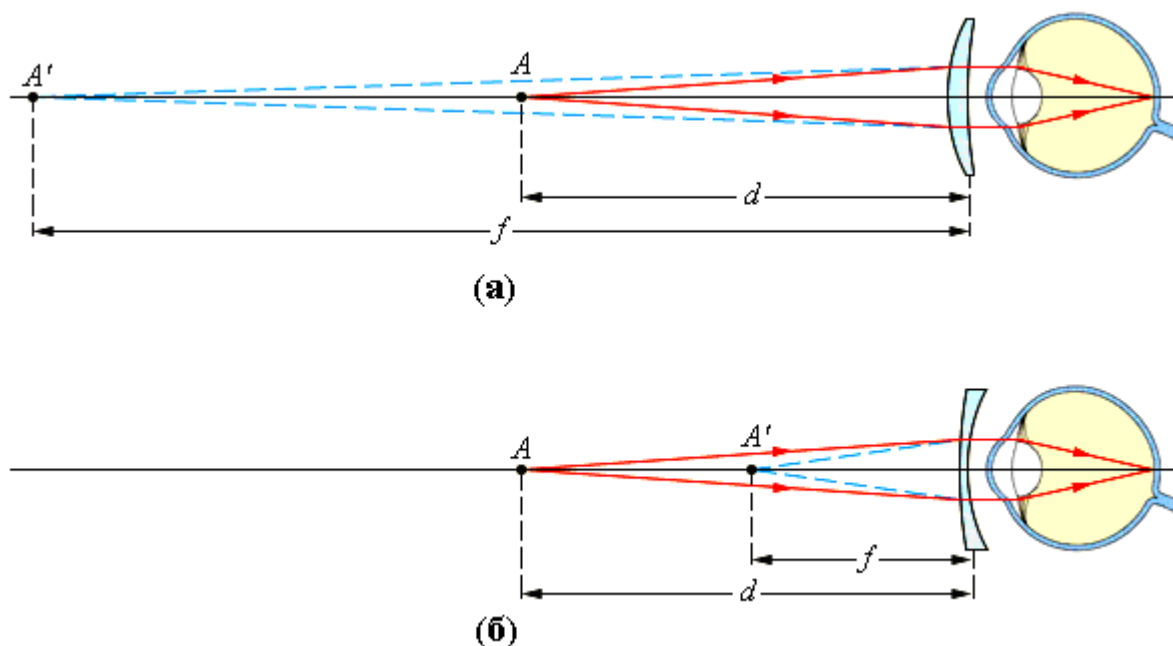


Рис. 13 Корекція зору далекозорого ока (а), короткозорого ока (б)

Важливою умовою нормальної роботи ока є достатня освітленість предметів. Оскільки освітленість змінюється в досить широких межах, то око повинно пристосовуватися до цих змін. Властивість ока реагувати

на зміну світлового потоку називають ока. Адаптація ока відбувається як за рахунок зміни діаметра зіниці, так і за рахунок біохімічних процесів, що відбуваються в сітківці. За останні відповідають світлочутливі елементи сітківки – колбочки і палички. *Колбочки і палички* – це два типи рецепторних клітин. Перші забезпечують сприйняття зорових відчуттів під час яскравого освітлення й кольоровий зір, другі виявляються більш чутливими до освітленості й забезпечують зір у присмерках та в ночі. На сітківці ока людини знаходиться біля $1,25 \cdot 10^6$ паличок й біля $7 \cdot 10^6$ колбочок. Колбочки і палички розподілені по сітківці нерівномірно: в центрі сітківки знаходяться колбочки, на периферії сітківки – тільки палички.

Якщо після яскравого світла оку доводиться розглядати предмети в умовах малої освітленості, то в системі ока відбувається процес *темнової адаптації*. Це означає, що за частки секунди збільшується діаметр зіниці й замість колбочок в дію вступають палички. В останніх відбуваються біохімічні реакції, що приводить до збільшення їх світлочутливості. Процес темної адаптації продовжується протягом години, але практично час, необхідний для нормального бачення в умовах малої освітленості, складає 5-10 хвилин. Обернений перехід називають *світловою адаптацією*, який практично триває 1-2 хвилини.

Око людини є селективним приймачем світлового випромінювання тільки видимого діапазону. Це означає, що максимум спектральної чутливості ока для денного бачення припадає на довжину хвилі $\lambda = 555$ нм, а для присмеркового бачення – на довжину хвилі $\lambda = 510$ нм. Для довгих і коротких світлових хвиль спектральна чутливість ока $K(\lambda)$ різко знижується і досягає нуля для інфрачервоного і ультрафіолетового випромінювань (рис. 14). Для ока людини **спектральну чутливість** визначають як відношення світлового потоку монохроматичного випромінювання, що викликає максимальне світлове подразнення ока, до повного світлового потоку, що проходить зіницею ока. Отже, монохроматичне світло однакових потужностей, але різної довжини хвилі за інших однакових умов сприймаються оком неоднаково. Так, щоб світло червоного кольору ($\lambda = 760$ нм) викликало таку саму дію, як світло зеленого кольору ($\lambda = 555$ нм), необхідно, щоб його потік у 20000 разів перевищував потік світла зеленого кольору. З цього випливає, що між зоровим відчуттям і величиною енергії електромагнітної хвилі, яка потрапляє в око, нема прямої залежності. Тому візуальні оцінки світла неможливо давати у величинах, які характеризують енергетичну інтенсивність електромагнітних хвиль.

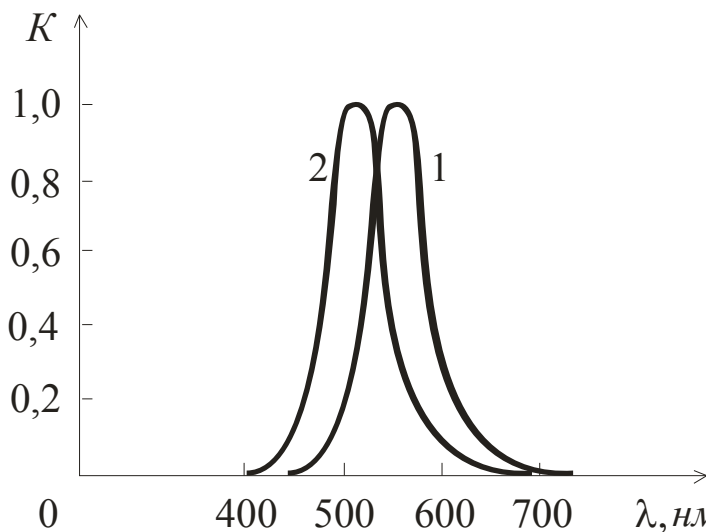


Рис. 14. Спектральна чутливість ока:
1 – денне бачення;
2 – присмеркове бачення

Однією з важливих характеристик ока є **гострота зору**, або **роздільна здатність**, під якою розуміють ту найменшу відстань між двома точками предмету, які воно здатне розрізняти окремо. Роздільна здатність вимірюється кутовою відстанню між цими точками й залежить від умов спостереження предметів. Для роботи з оптичними приладами загального користування достатньо, щоб роздільна здатність дорівнювала $120''$; для роботи з високоточними оптичними приладами – $30''$; під час спостереження зображення на екрані $\sim 2'$.

Зір обома очима називають **бінокулярним**. Він має ряд своєрідностей порівняно із зором одним оком. Особливо помітно це виявляється при об'ємному сприйманні предметів, коли обидва ока бачать один предмет із різних боків. Об'ємне бачення називають *стереоскопічним*. Воно дає можливість оцінювати ступінь віддаленості предмету від спостерігача.

5. Висновок. В даній лекції розглянуті питання пов'язані з фізикою хвиль, а саме з визначенням хвильових процесів і рухів, інтерференції і дифракції світла, елементи фізичної оптики (геометрична і хвильова оптика), проведений аналіз оптичних систем. Засвоєння цих фізичних явищ і законів, методів фізичного дослідження, є базою при подальшому вивченні спеціалізованих дисциплін. Формування правильного розуміння границь застосовності фізичних понять, законів, теорій дозволить оцінювати ступінь вірогідності результатів, отриманих за допомогою експериментальних методів дослідження. Навчання побудові математичних моделей фізичних явищ, а також їхнього аналізу на основі аналітичних рішень і чисельного експерименту дозволить курсантам набутти стійких навичок роботи за фахом.