

ОПТИЧНІ
ЯВИЩА.
ОСНОВИ
КВАНТОВОЇ
ФІЗИКИ



ГЕОМЕТРИЧНА І ХВИЛЬОВА ОПТИКА

Оптика - розділ фізики, в якому вивчається оптичне випромінювання (світло), його розповсюдження і явища, які спостерігаються при взаємодії світла і речовини. **Геометрична оптика** не розглядає питання про природу світла, вона виходить з емпіричних законів його розповсюдження і використовує уявлення про світлові промені, які розповсюджуються прямолінійно в оптично однорідному середовищі і які заломлюються і відбиваються на межах середовищ з різними оптичними властивостями.

Світловий промінь - це геометрична лінія, уздовж якої розповсюджується електромагнітне випромінювання. Світловий промінь - поняття геометричне. Користь, яку можна отримати з цього

поняття полягає в тому, що з його допомогою можна встановлювати напрям розповсюдження світлової енергії. Для вирішення ряду завдань доречно замінити фізичне поняття світлової хвилі геометричним поняттям променем і проводити всі міркування за його допомогою. **Хвильова оптика** - це розділ оптики, який розглядає світло, як електромагнітну хвилю; у ній вивчаються явища, в яких виявляються хвильові властивості світла (як поперечної електромагнітної хвилі).

ЗАКОНИ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ОПТИКИ

Закон відбиття світла: падаючий і відбитий промені, а також перпендикуляр до межі розділу двох середовищ, відновлений в точці падіння променя, лежать в одній площині (площина падіння). Кут відбиття β дорівнює куту падіння α .

Закон заломлення світла: падаючий і заломлений промені, а також перпендикуляр до межі розділу двох середовищ, відновлений в точці падіння променя, лежать в одній площині. Відношення синуса кута падіння α до синуса кута заломлення β є величина, постійна для двох даних середовищ:

$$\sin \alpha / \sin \beta = n_{2-1} = \text{const}$$

Постійну величину n_{2-1} називають відносним показником заломлення другого середовища щодо першого. Показник заломлення середовища щодо вакууму називають абсолютним показником заломлення. Відносний показник заломлення двох середовищ рівний відношенню їх абсолютних показників заломлення: $n_{2-1} = n_2 / n_1$

ЗАЛОМЛЕННЯ В ХВИЛЬОВІЙ ОПТИЦІ

Згідно хвильовим уявленням, заломлення є наслідком зміни швидкості розповсюдження хвиль при переході з одного середовища в інше. Фізичний сенс показника заломлення – це відношення швидкості розповсюдження хвиль в першому середовищі v_1 до швидкості їх розповсюдження в другому середовищі v_2 : $n_{2-1} = v_1/v_2$. Абсолютний показник заломлення рівний відношенню швидкості світла c у вакуумі до швидкості світла v в середовищі: $n=c/v$. Згідно **принципу Гюйгенса** кожна точка хвильового фронту є центром вторинних хвиль, огинаючи яких стає хвильовим фронтом в пізніший момент часу.

Addison Wesley Physics

0 %

Change Angle

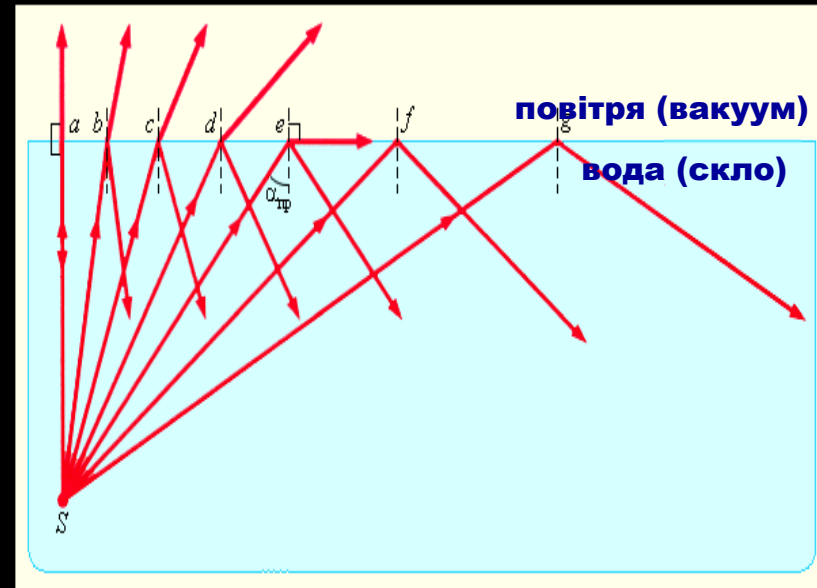
STOP

$n = 1$

$n = 1.5$

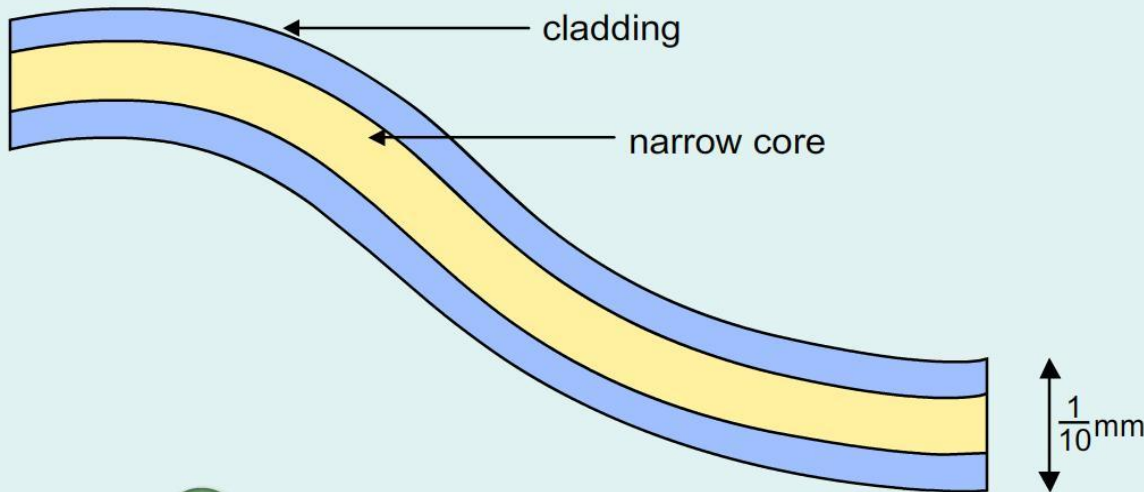
ЯВИЩЕ ПОВНОГО ВНУТРІШНЬОГО ВІДБИВАННЯ

Під час переходу світла з оптично щільнішого середовища в оптично менш щільне $n_2 < n_1$ можна спостерігати явище **повного внутрішнього відбивання**, тобто зникнення заломленого променя. Це спостерігається при кутах падіння, що перевищують деякий критичний кут — **граничний кут повного внутрішнього відбивання**. Для межі розділу скло — повітря критичний кут дорівнює 42° , для межі вода—повітря — $48,7^\circ$.

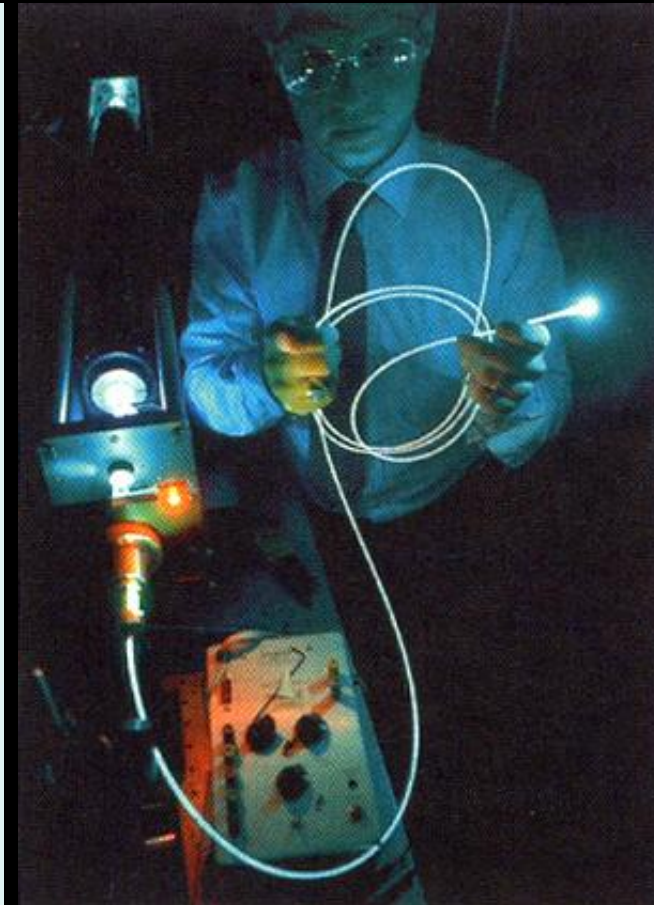


ВОЛОКОННА ОПТИКА

Явище повного внутрішнього відбивання використовується у волоконних світловодах, які є тонкими довільно зігнутими нитками з оптично прозорого матеріалу (скло, кварц). Світло, що потрапляє на торець світловода, може розповсюджуватися по ньому на великі відстані за рахунок повного внутрішнього відбивання від бічних поверхонь. У медицині це явище знайшло застосування в ендоскопічній техніці.



PLAY



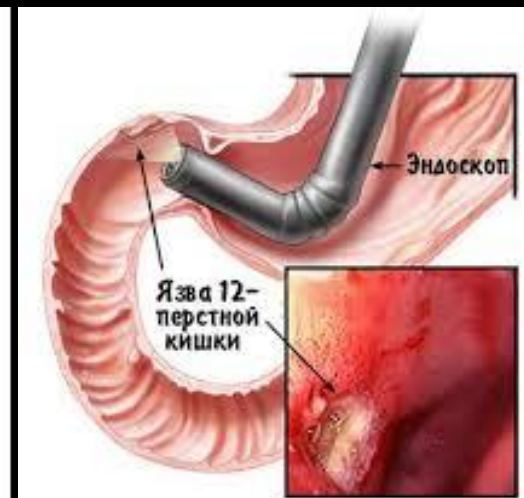
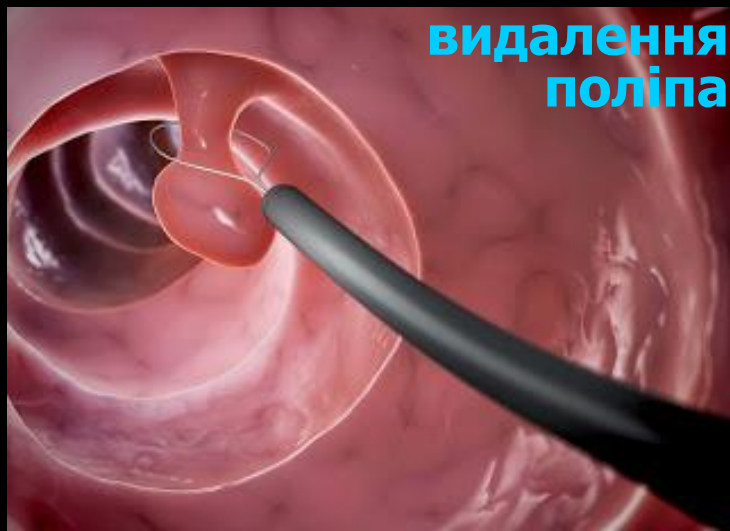
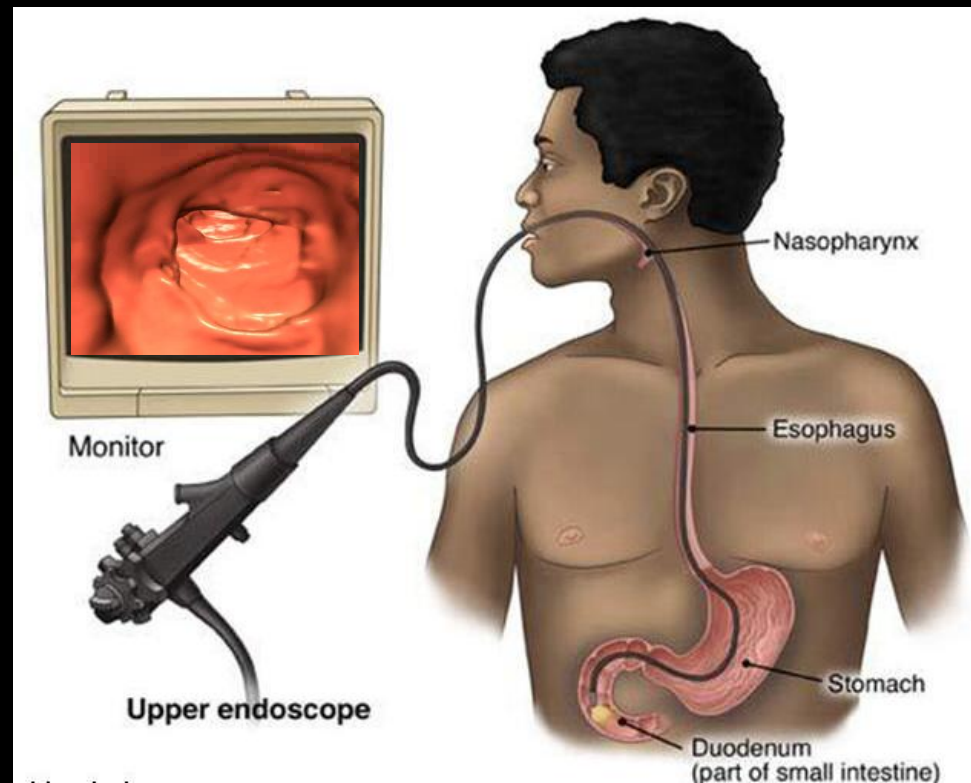
ЕЗОФАГОГАСТРОДУОДЕНОСКОПІЯ

Езофагогастродуоденоскопія або як її частіше називають гастроскопія – процедура, яка дозволяє оглянути стравохід, шлунок і початкові відділи тонкої кишки (дванадцятипала кишка) з боку слизової оболонки за допомогою ендоскопа. Кінчик ендоскопа проводять через рот і поступово переміщують його вниз в стравохід, шлунок і дванадцятипалу кишку, послідовно оглядаючи усі верхні відділи шлунково-кишкового тракту.

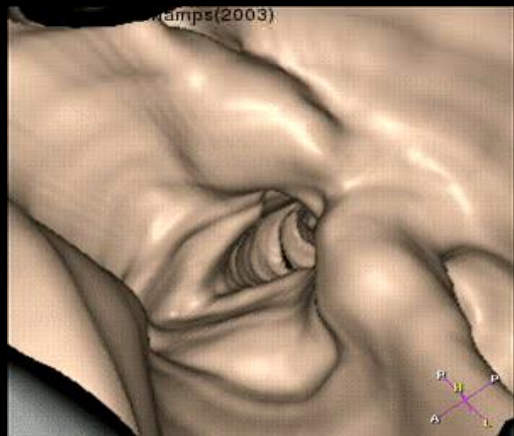


ЕЗОФАГОГАСТРОДУОДЕНОСКОПІЯ

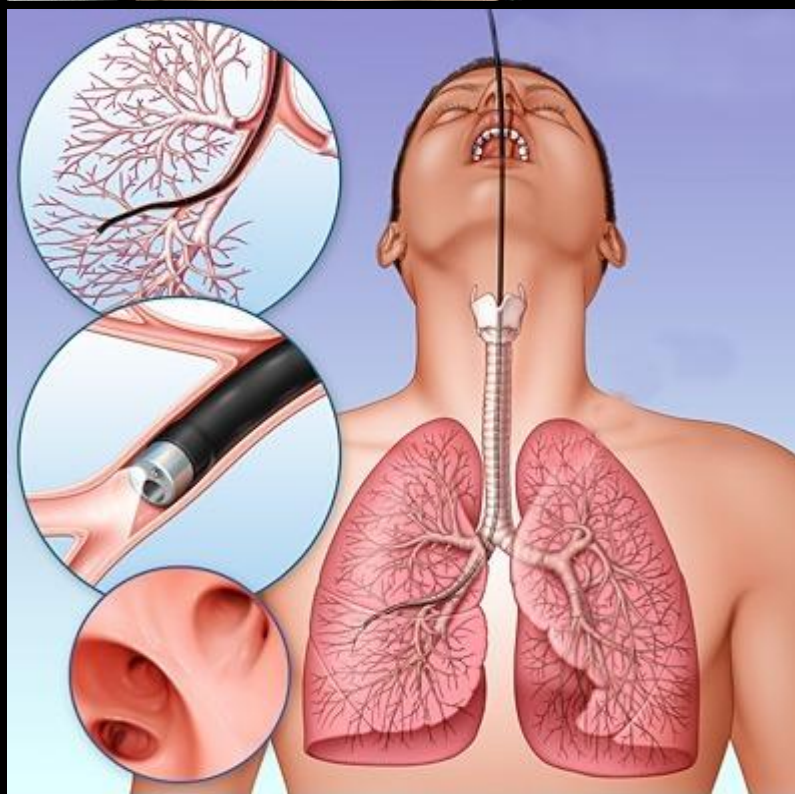
Використовуючи ендоскоп, можна виявити наявність виразки, інфекції, пухлини, кровотечі або явищ запалення. Зразки тканини можуть бути узяті під час біопсії, також можливе видалення поліпів і діагностика джерела кровотечі і його усунення. Цей метод у багато разів перевершує по точності рентгенологічне обстеження при запальних змінах слизової оболонки, виявленні виразок і для раннього виявлення пухлин.



БРОНХОСКОПІЯ

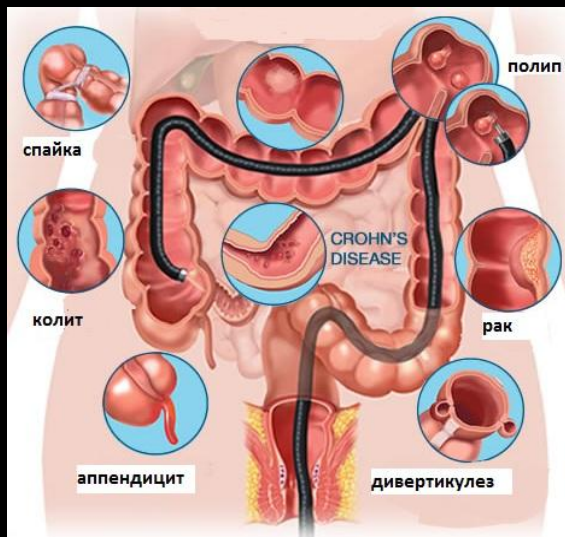


Метод діагностики, що дозволяє діагностувати захворювання великих бронхів і трахеї. Для процедури використовується бронхоскоп – гнучкий світлопровід, що має джерело світла і вбудовану відеокамеру. Прилад через ротову порожнину або ніс проводять углиб в дихальне горло (трахею), і вниз у бронхи.



PLEASE WAIT
ANIMATION LOADING

КОЛОНОСКОПІЯ

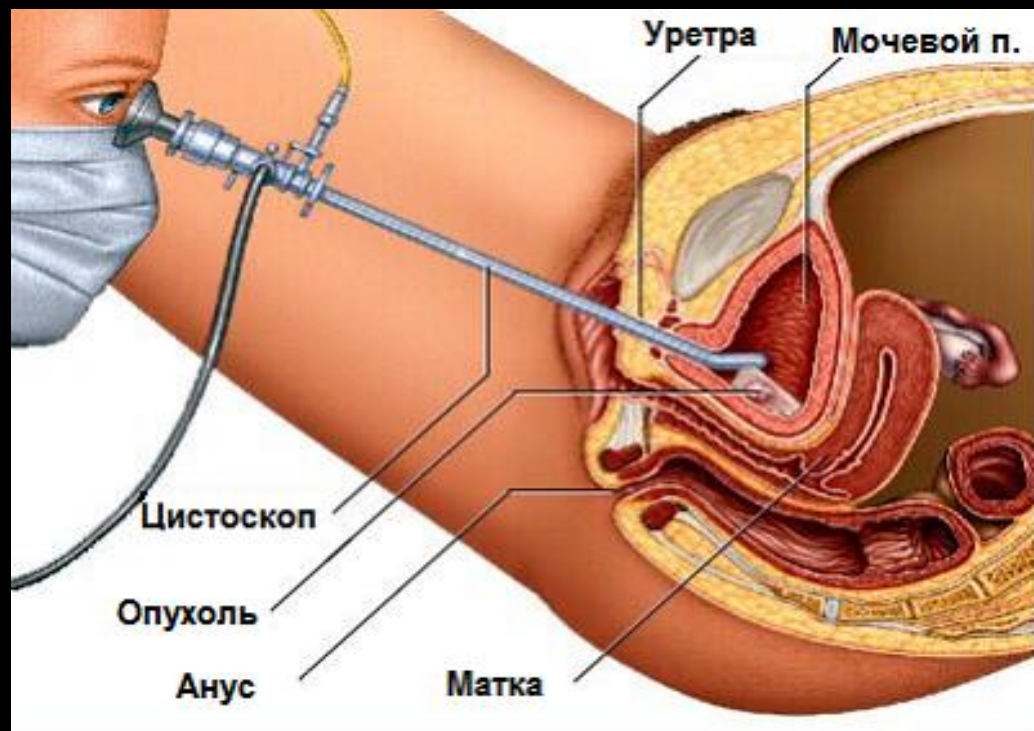


Колоноскопія кишечника - це внутрішнє обстеження товстої і прямої кишки за допомогою колоноскопа. Даний інструмент оснащений невеликою камерою, прикріпленою до волоконного світловоду, що проникає в товсту кишку і досліджує її внутрішню поверхню по всій довжині. Колоноскопія дає можливість діагностувати такі захворювання, як утворення виразки, поліпи та ін., провести біопсію і видалити ці ураження.

LOADING

ЦИСТОСКОПІЯ

Цистоскопія - ендоскопічний метод діагностики захворювань сечового міхура. Процедура полягає у введенні в сечовий міхур цистоскопу. З сечового міхура випускається сеча, що залишилася, і він заповнюється фурациліном. Після цього проводиться огляд слизової оболонки сечового міхура.



ЕНДОСКОПІЧНА ХІРУРГІЯ

Прогрес в розвитку ендоскопічної апаратури привів до появи нового виду оперативної техніки - ендоскопічної хірургії. Зараз це найбільш щадна, малотравматична, безкровна хірургія, що дає мінімальний відсоток ускладнень в післяопераційний період. Основною відмінністю від порожнинної хірургії є те, що для проведення операції не потрібні розрізи. Оперативне втручання виконується через 3 - 4 точкові проколи в передній черевній стінці. Через один з них вводиться тонкий ендоскоп, завдяки якому зображення через цифрову міні-камеру передається на монітор, на якому видно все, що відбувається усередині черевної порожнини. Через інші проколи вводять тонкі маніпулятори - мініатюрні щипці, або ножиці, або інший електричний або лазерний інструмент.



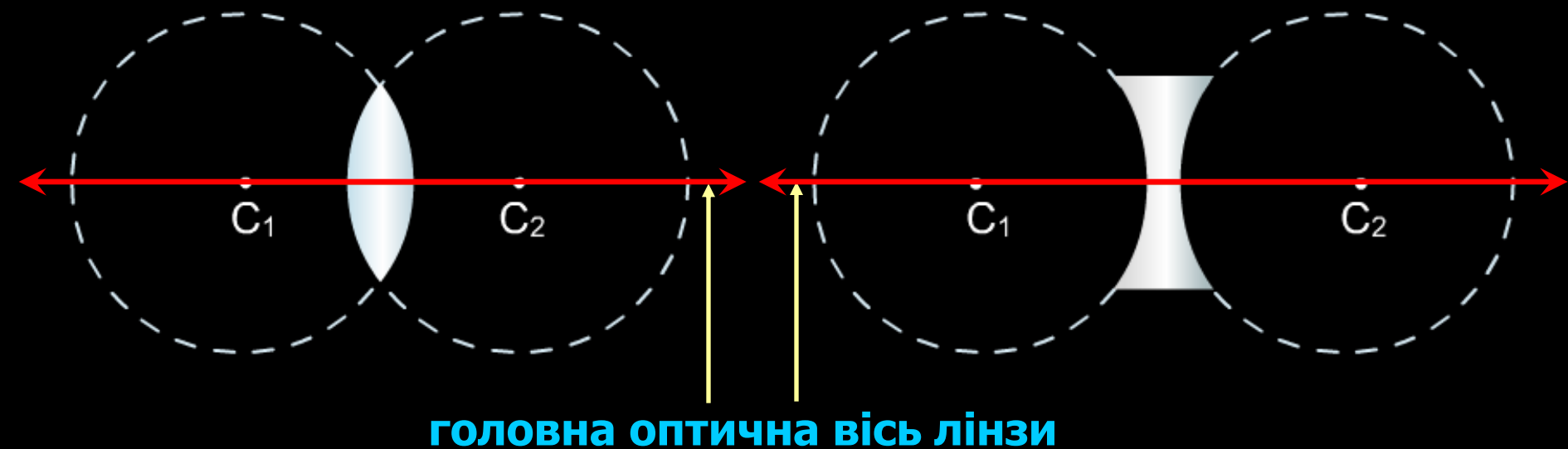
порожнинна хірургія



ендоскопічна хірургія

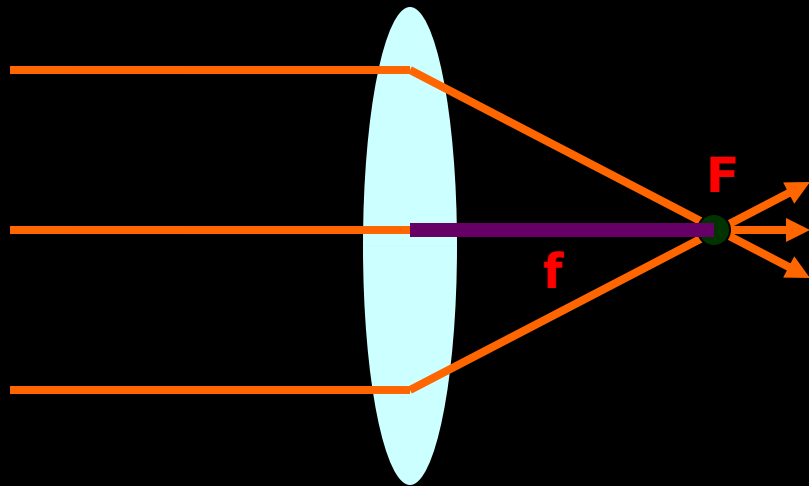
СФЕРИЧНІ ЛІНЗИ

Лінзою називається прозоре тіло, обмежене двома сферичними поверхнями. Лінзу називають тонкою, якщо її товщина мала в порівнянні з радіусами кривизни її поверхонь і з відстанню від предмету до лінзи. **Головна оптична вісь лінзи** - пряма, що проходить через центри кривизни сферичних поверхонь, що обмежують лінзу.

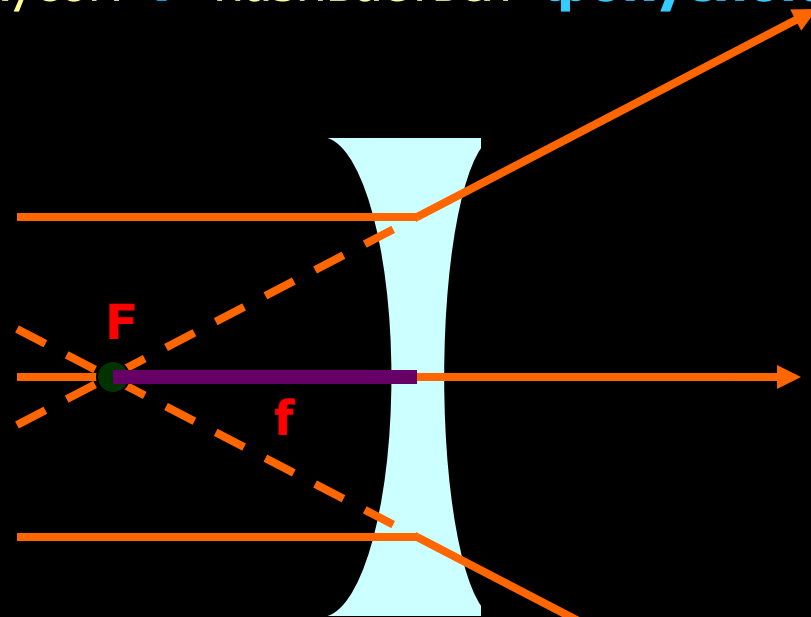


ЗБИРАЛЬНІ І РОЗСІЮВАЛЬНІ ЛІНЗИ

Лінзи бувають **збиральними** і **розсіювальними**. Якщо на лінзу направити пучок променів, паралельних головній оптичній осі, то, після проходження через лінзу, промені (або їх продовження) зберуться в одній точці **F**, яка називається **головним фокусом лінзи**. У тонкої лінзи є два головні фокуси, симетрично розташовані щодо лінзи на головній оптичній осі. У **збиральних** лінз фокуси дійсні, у **розсіювальних** – уявні. Відстань між оптичним центром лінзи і головним фокусом **F** називається **фокусною відстанню f** .



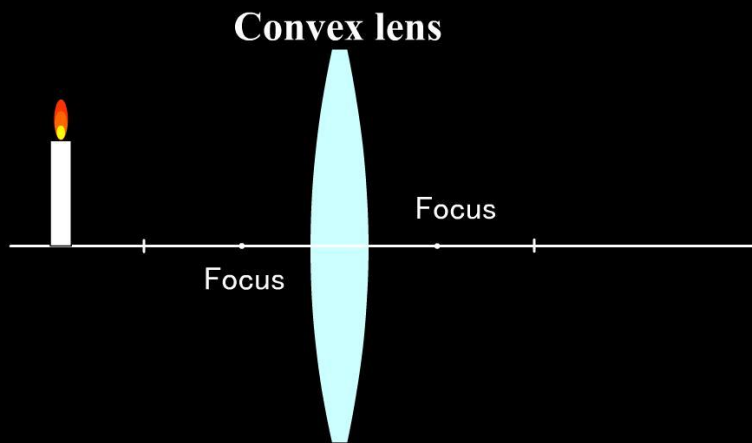
збиральна лінза



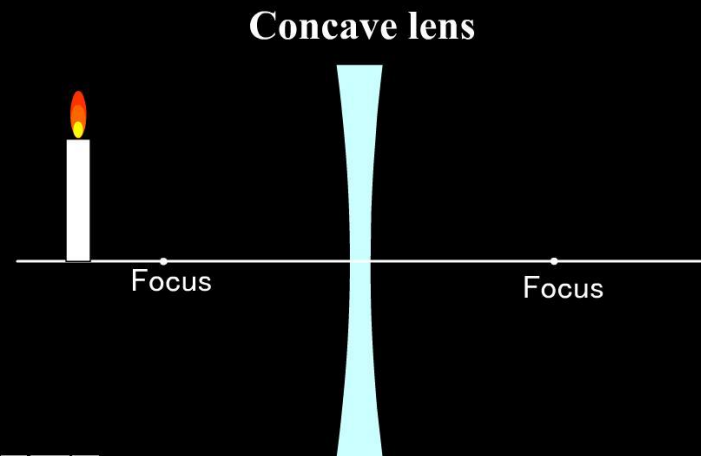
розсіювальна лінза

ПОБУДОВА ЗОБРАЖЕННЯ В ЛІНЗАХ

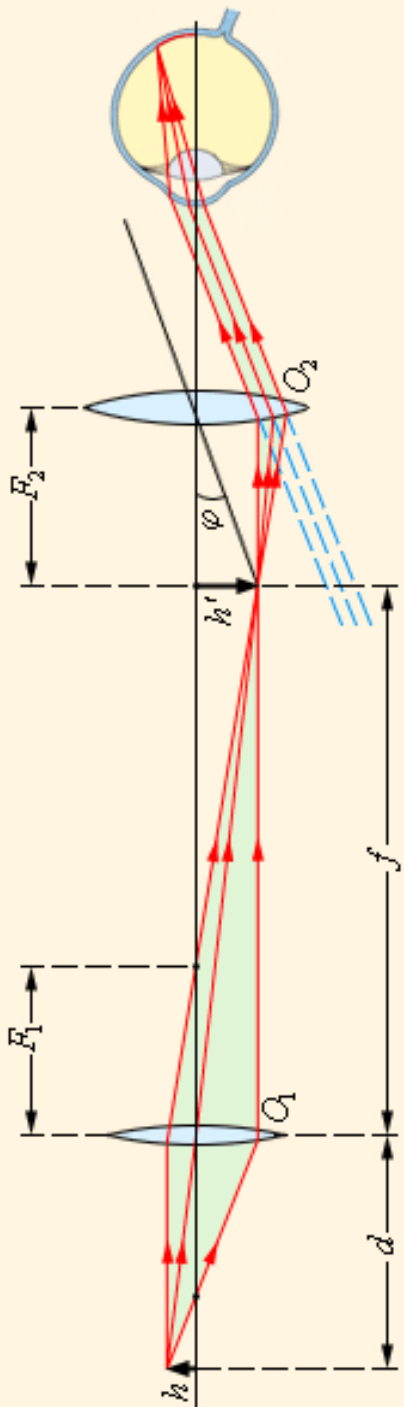
У оптиці лінзи використовують для зміни напрямку світлових променів. Основна властивість лінз – здатність давати зображення предметів. Зображення бувають **прямими** і **перевернутими**, **дійсними** і **уявними**, **збільшеними** і **зменшеними**. Положення зображення і його характер можна визначити за допомогою геометричних побудов. Для цього використовують властивості деяких стандартних променів, хід яких відомий. Це промені, що проходять через оптичний центр або один з фокусів лінзи, а також промені, паралельні головній або одній з побічних оптичних осей.



збиральна лінза



розсіювальна лінза



ОПТИЧНИЙ МІКРОСКОП

Мікроскоп застосовують для отримання великих збільшень при спостереженні дрібних предметів. Збільшене зображення предмету в мікроскопі отримують за допомогою оптичної системи, що складається з двох короткофокусних лінз – **об'єктива** і **окуляра**. Об'єктив дає дійсне, перевернуте, збільшене зображення предмету. Це проміжне зображення розглядається оком через окуляр, дія якого аналогічна дії лупи. Окуляр розташовують так, щоб проміжне зображення знаходилося в його фокальній площині; в цьому випадку промені від кожної точки предмету ідуть після окуляра паралельним пучком.



ДИФРАКЦІЯ

Дифракція - явище огинання хвилями перешкод. Дифракцію можна спостерігати для будь-яких хвиль: електромагнітних (зокрема світлових), пружних (звукових), хвиль на поверхні води. Найпомітніше дифракція виявляється в умовах, коли розмір перешкоди приблизно дорівнює довжині хвилі. Дифракцію можна зрозуміти на основі **принципу Гюйгенса – Френеля**.

Diffraction
around an object

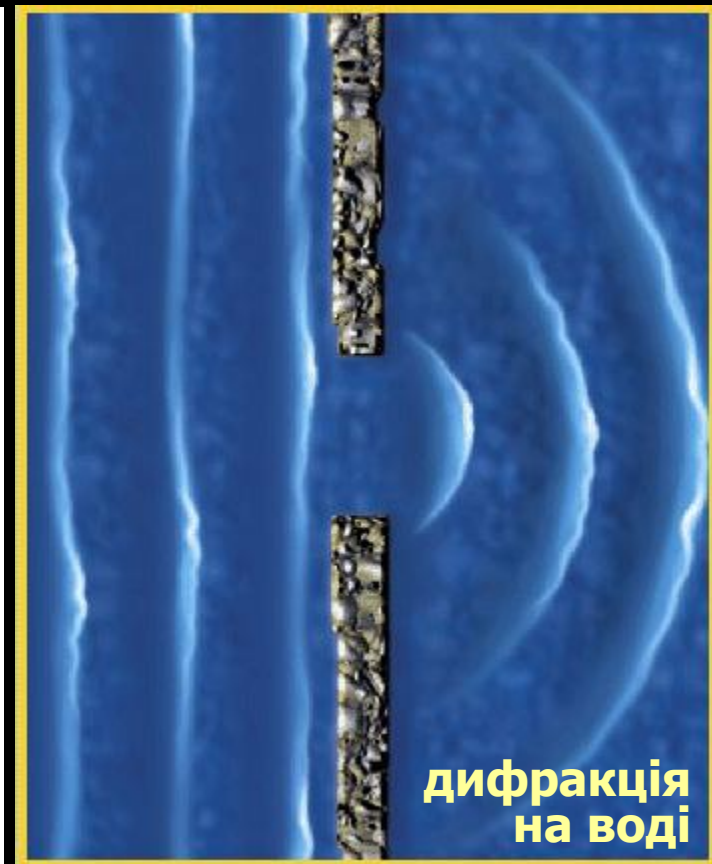
pass my exAms

PLAY

Diffraction
through a gap

PLAY

Click PLAY from left to play animation



ПРИНЦИП ГЮЙГЕНСА - ФРЕНЕЛЯ

Згідно з принципом Гюйгенса-Френеля, кожену точку фронту хвилі можна розглядати як джерело вторинних хвиль. Звідси дифракційну картину можна пояснити інтерференцією вторинних хвиль. Щоб знайти світлове поле в кожній точці екрану, потрібно підсумувати напруженості електричних полів від всіх вторинних джерел, що приходять в дану точку. Результат складання хвиль залежить як від амплітуди, так і від різниці фаз.

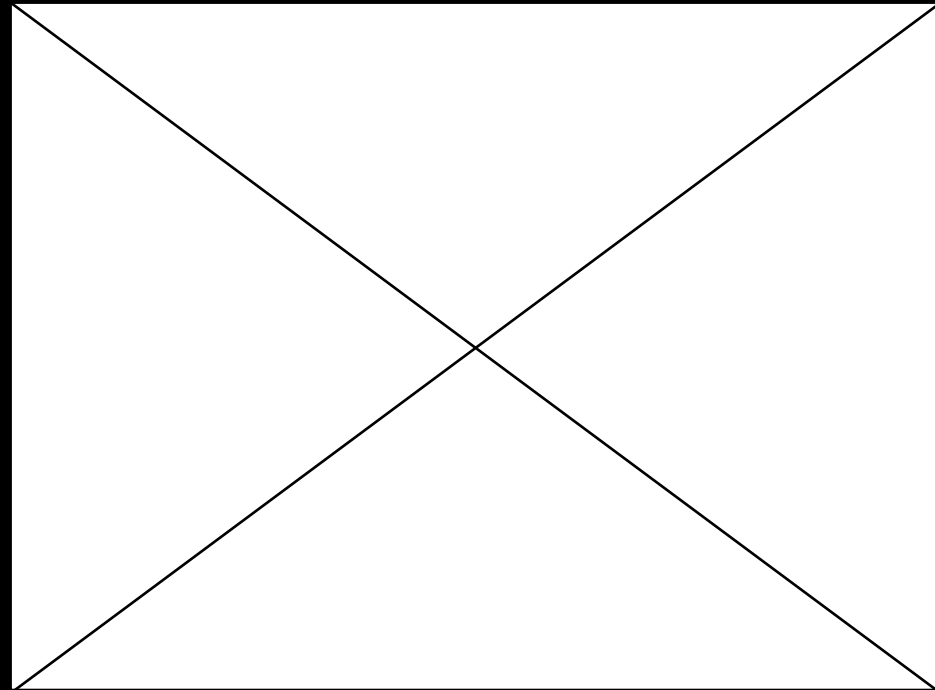
Addison Wesley Physics

0 %



ПОЛЯРИЗАЦІЯ

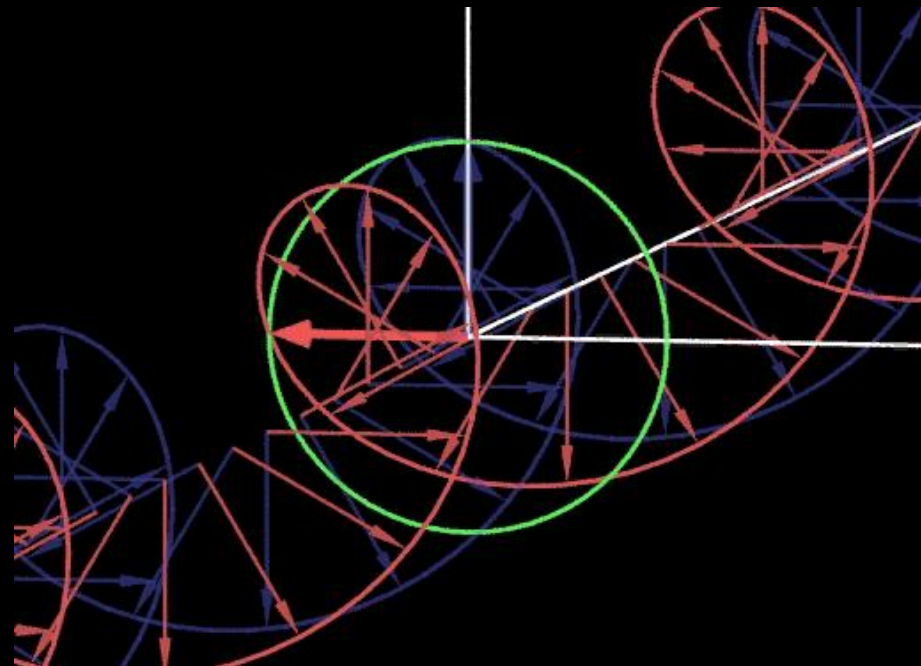
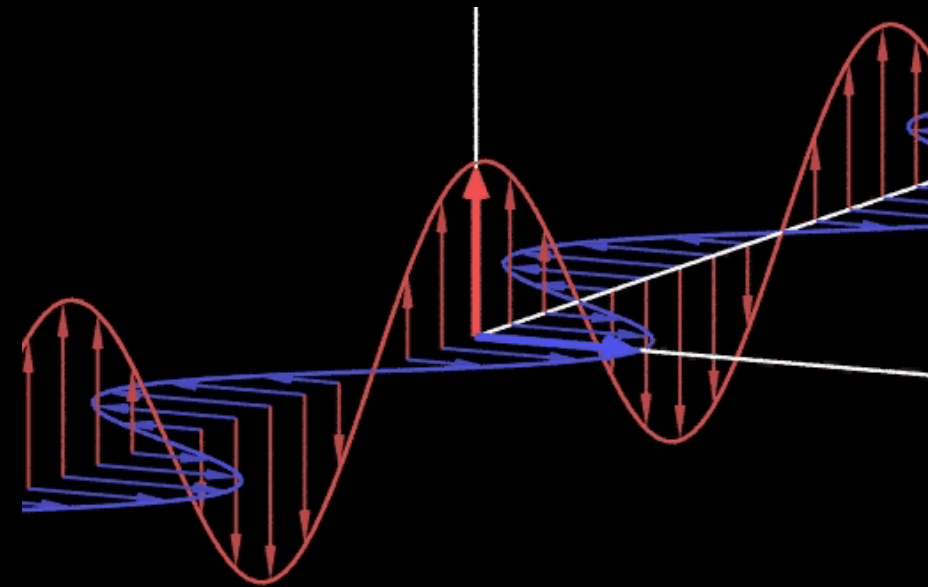
Поперечність електромагнітних хвиль приводить до виникнення явища поляризації. Фізична характеристика випромінювання, що описує просторово-часову впорядкованість світлових хвиль, називається поляризацією світла. Оскільки вектори E і H перпендикулярні один одному, для повного опису стану поляризації світлового пучка потрібне знання поведінки лише одного з них. Зазвичай для цієї мети вибирається вектор E . Світло, що випускається яким-небудь атомом або молекулою, завжди поляризоване. Але макроскопічні джерела світла складаються з величезного числа таких частинок-випромінювачів. При цьому просторові орієнтації векторів E і моменти актів випускання світла окремими частинками в більшості випадків розподілені хаотично. Тому в загальному випромінюванні напрям E в кожен момент часу є непередбачуваним. Подібне випромінювання називається неполяризованим, або природним світлом.



випромінювання електромагнітної хвилі осцилюючим зарядом

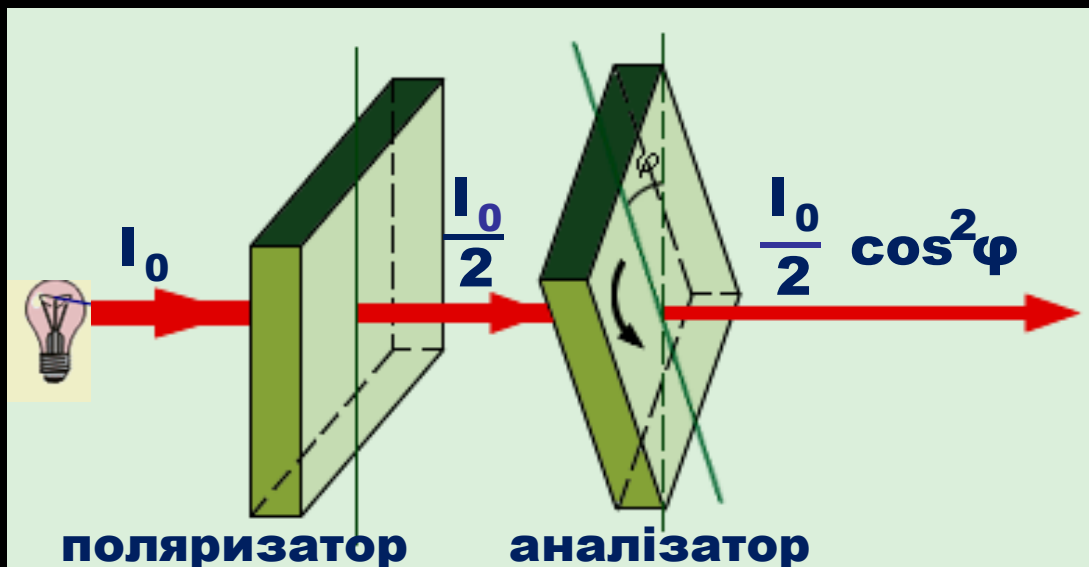
ПОЛЯРИЗАЦІЯ

Стан поляризації світла зображається за допомогою еліпса поляризації – проекції траєкторії кінця вектора на площину, перпендикулярну променю. Проекційна картина повністю поляризованого світла у загальному випадку має вид еліпса з правим або лівим напрямом обертання вектора E в часі – так звана еліптична поляризація. Найбільший інтерес представляють граничні випадки еліптичної поляризації – плоска електромагнітна хвиля, коли еліпс поляризації вироджується у відрізок прямої лінії і коло, коли еліпсом поляризації є коло.



ЗАКОН МАЛЮСА

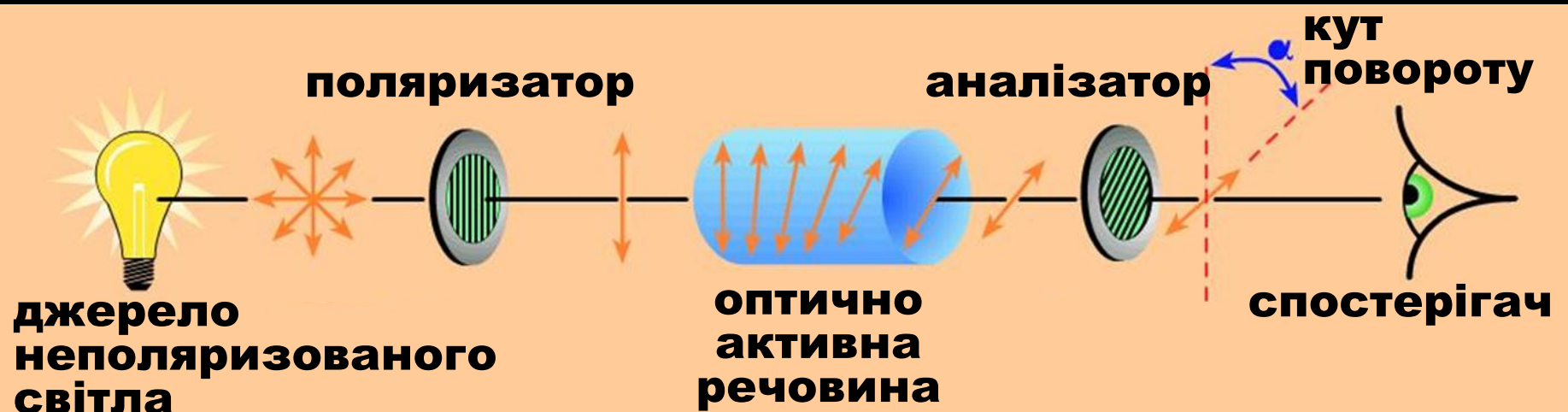
Пристрій, що дозволяє отримати плоскополяризоване світло з природного неполяризованого світла, називається **поляризатором**. Прі цьому інтенсивність поляризованого світла дорівнює половині інтенсивності падаючого світла. Поляризатор, який використовується для аналізу поляризованого світла, називають **аналізатором**. У 1809 році французький інженер Малюс відкрив закон, названий його ім'ям. У досліджах Малюса світло послідовно пропускалося через дві однакові пластинки з турмаліну. Пластинки могли повертатися одна щодо іншої на кут φ . Інтенсивність світла, що пройшло опинилася прямо пропорційною $\cos^2 \varphi$: **$I \sim \cos^2 \varphi$** . З цього закону виходить, що при повороті аналізатора на 90° по відношенню до поляризатора промінь повинен згаснути.



обертання аналізатора

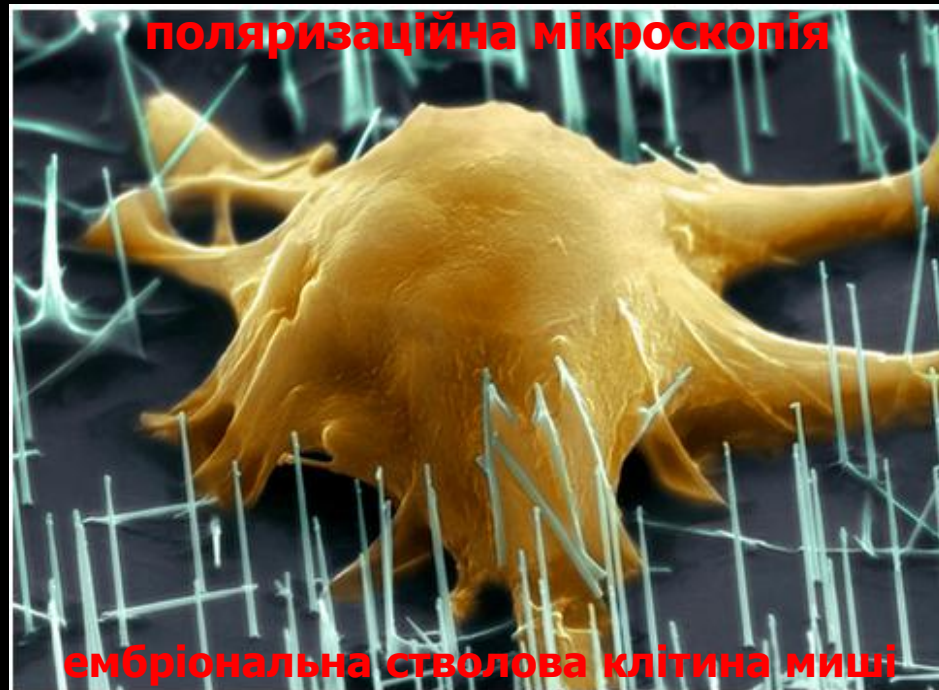
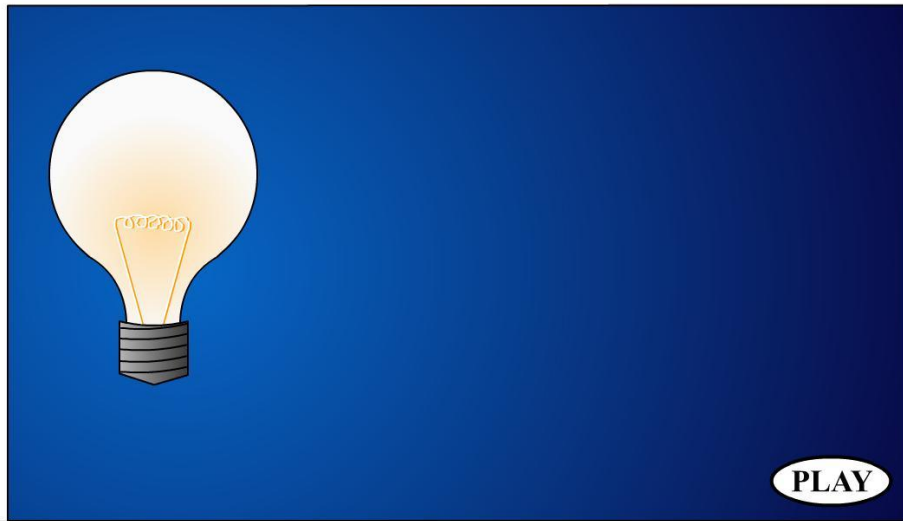
ПОЛЯРИМЕТРІЯ

При проходженні плоскополяризованого світла через деякі речовини спостерігається поворот площини поляризації на деякий кут. Такі речовини називаються оптично активними. До таких речовин належать деякі кристали, (кварц, кіновар і ін.), чисті рідини (скипидар, нікотин і ін.), розчини деяких речовин (цукор, винна кислота і ін.), а також деякі гази (пари камфори). Оптичною активністю володіють всі найважливіші біологічні молекули (білки, нуклеїнові кислоти, вітаміни, полісахариди і ін.). Для розчинів був встановлений закон залежності кута повороту площини поляризації α від концентрації оптично активної речовини в розчині C і довжини шляху світла в розчині L : $\alpha = aCL$, де a – деякий коефіцієнт, який має назву – питоме обертання.

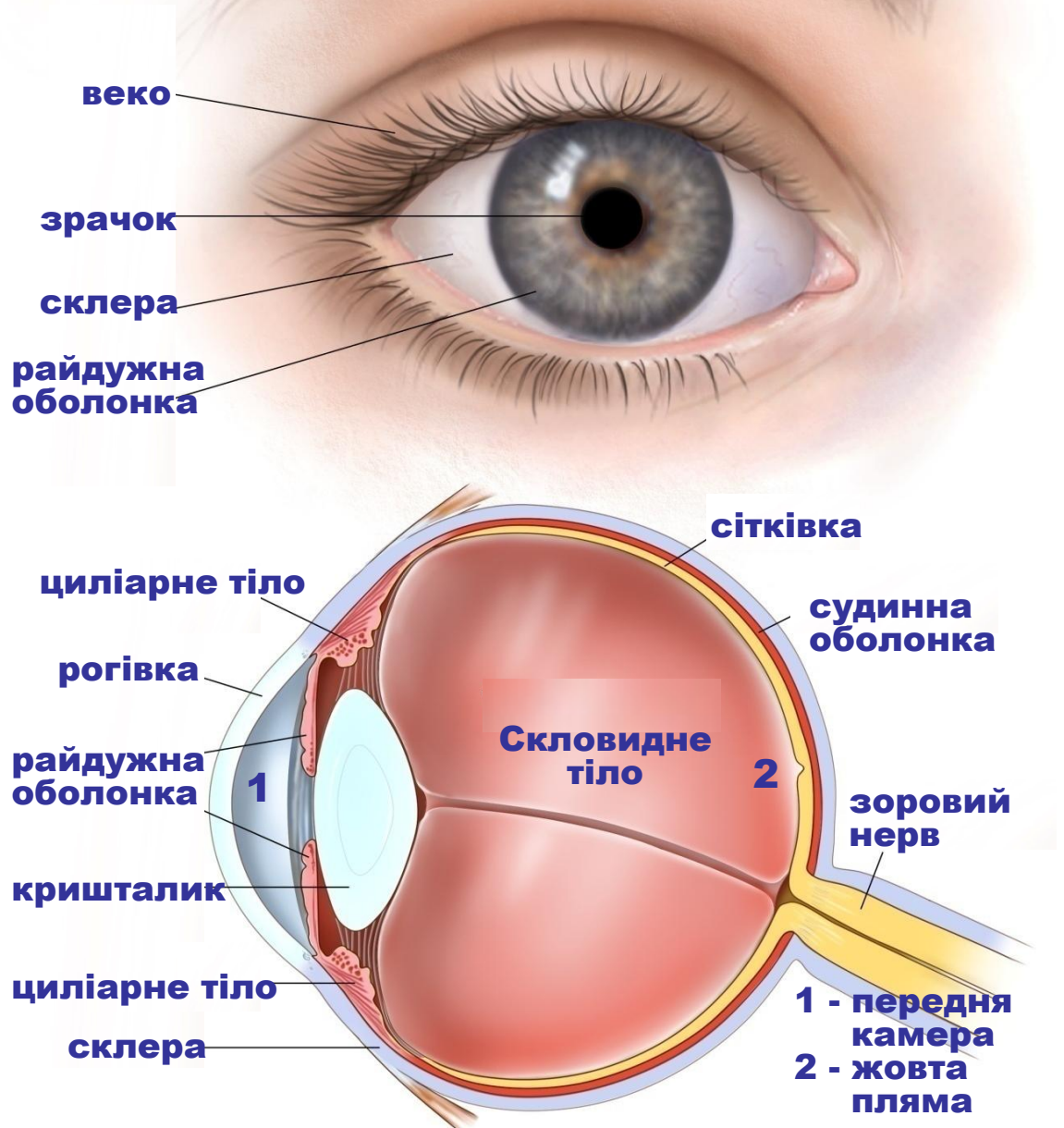


ПОЛЯРИМЕТРІЯ

Приведена формула лежить в основі **поляриметрії** – методу дослідження розчинів для ідентифікації речовин через визначення коефіцієнту **a** для розчинів відомої концентрації (якісний аналіз) і для визначення концентрації відомих речовин (кількісний аналіз). Важливим прикладом використання поляризованого світла є також поляризаційний мікроскоп. Оскільки деякі тканини (нервова, кісткова, м'язова) володіють оптичною активністю, при схрещених поляризаторі і аналізаторі будуть видні тільки ті структурні елементи, які обертають площину поляризації.

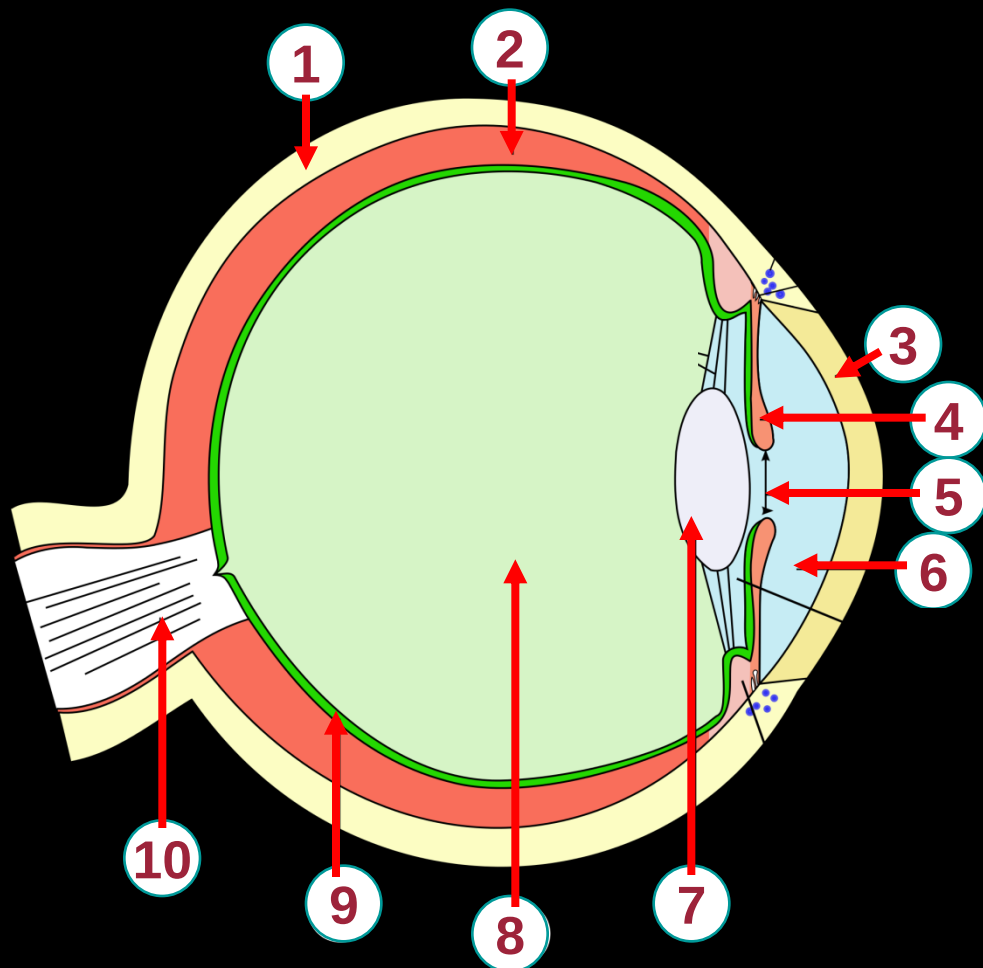


БУДОВА ОКА



БУДОВА ОКА

Око має майже кулясту форму і діаметр близько 2,5 см. Зовні воно покрито захисною оболонкою білого кольору – **склерою (1)**. Під нею знаходиться **судинна оболонка (2)**. Передня прозора частина склери називається **рогівкою (3)**. На деякій відстані від неї розташована **райдужна оболонка (4)**, забарвлена пігментом. Отвір у оболонці називається **зіницею (5)**. Простір між рогівкою і райдужною оболонкою називається **передньою камерою (6)**, у якій знаходиться прозора рідина. За зіницею знаходиться **кришталік (7)** – еластичне лінзоподібне тіло. Решта частини ока заповнена **склоподібним тілом (8)**. Задня частина ока покрита **сітчастою оболонкою (9)**, що є розгалуженням **зорового нерва (10)** з нервовими закінченнями – **паличками і колбочками**.



АККОМОДАЦІЯ ОКА

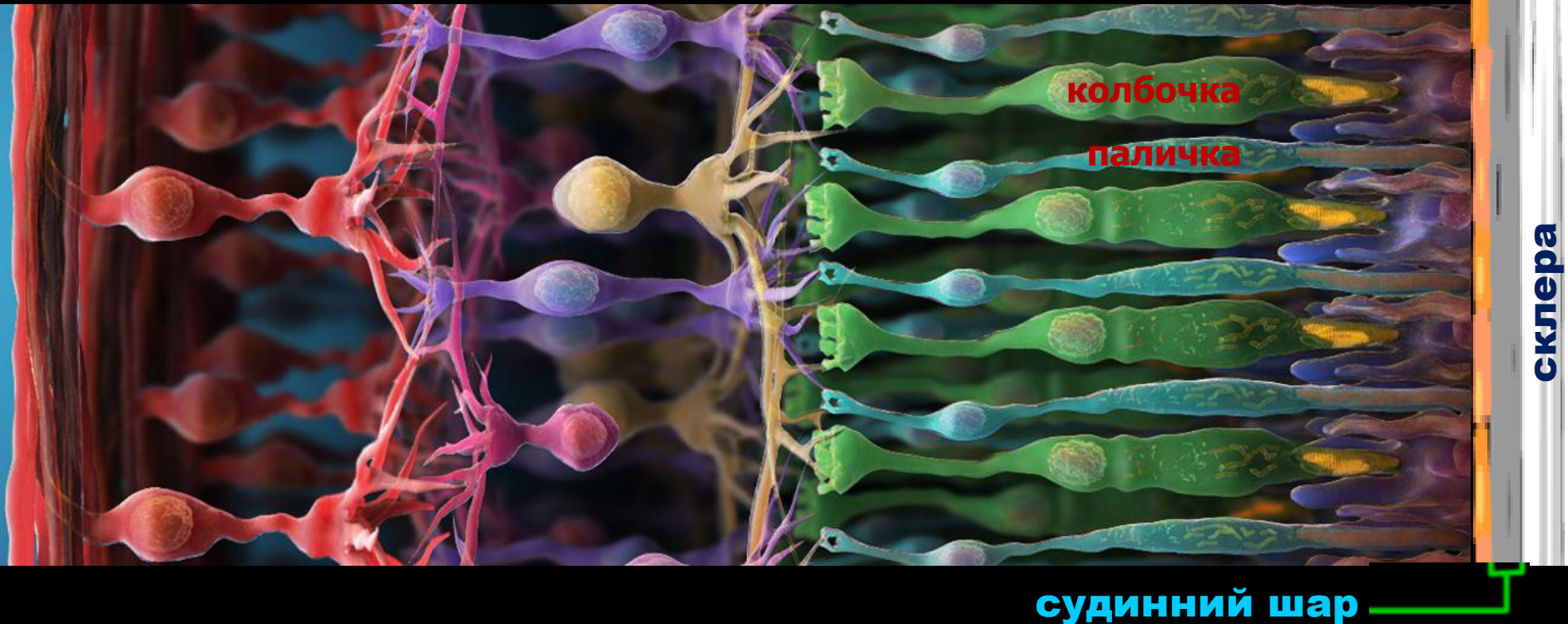
Рогівка, прозора рідина передньої камери, кришталик і склоподібне тіло утворюють оптичну систему. При розслабленому очному м'язі оптична сила ока приблизно рівна 59 дптр, при максимальній напрузі м'яза – 70 дптр. Основна особливість ока як оптичного інструменту полягає в здатності рефлексорно змінювати оптичну силу очної оптики залежно від положення предмету з метою фокусування зображення на сітківку. Таке пристосування ока до зміни положення предмету, що спостережується називається **акомодацією**. Здійснюється акомодація за рахунок зміни кривизни кришталика циліарними м'язами.

БУДОВА СІТКІВКИ

Сітківка вкрай тонка (товщина від 0,03 мм до 0,012 мм), але має дуже складну будову. Вона складається з восьми шарів (зовні всередину):

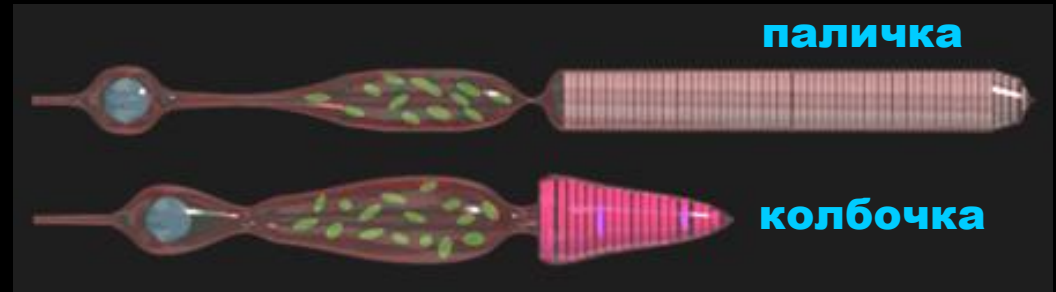
1. пігментний зовнішній епітелій,
2. фотосенсорний шар;
3. зовнішній ядерний шар;
4. зовнішній сітчастий шар;
5. внутрішній ядерний шар;
6. внутрішній сітчастий шар;
7. гангліонарний шар;
8. шар нервових волокон.

8 7 6 5 4 3 2 1

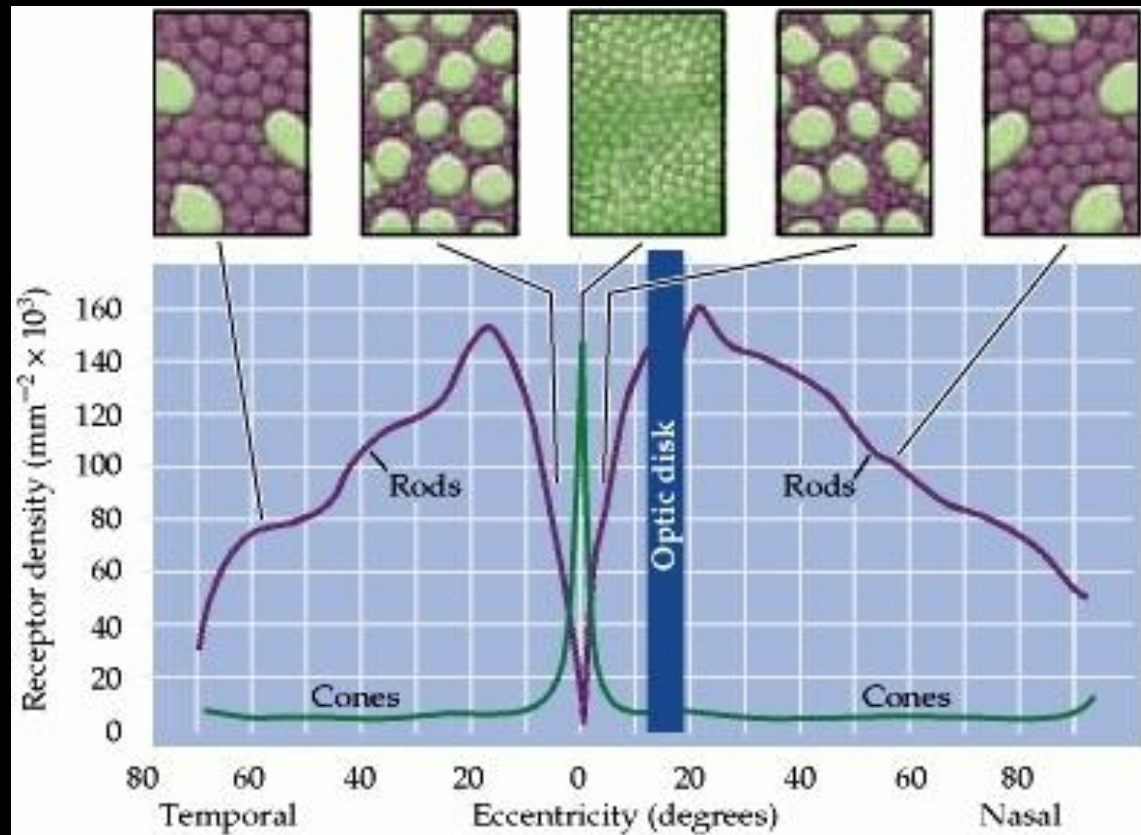


БУДОВА СІТКІВКИ

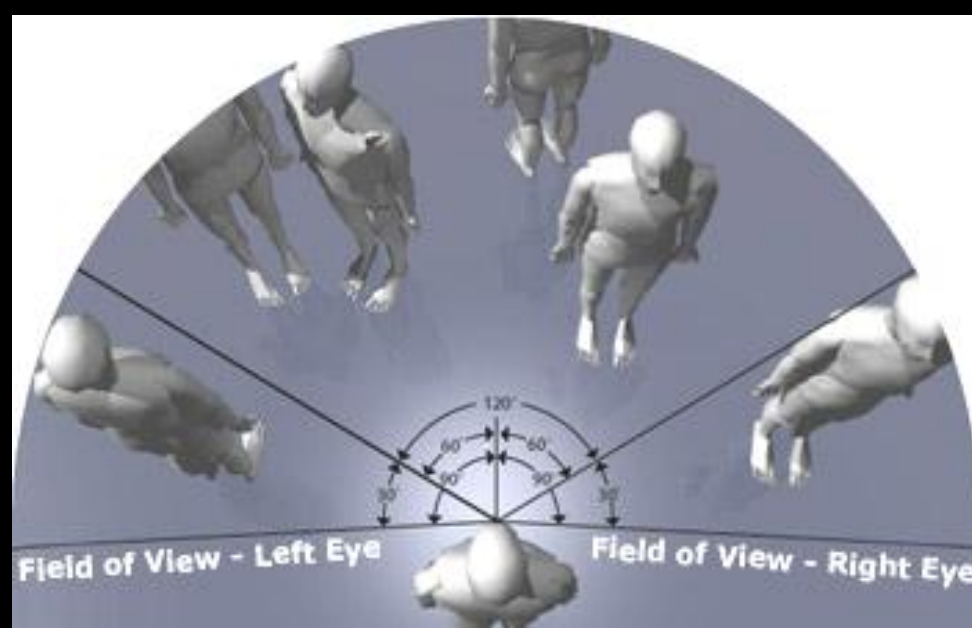
Загальна кількість паличок і колбочок близько 126 млн., вони відрізняються один від одного формою і вельми нерівномірно розподілені по сітківці. Максимум концентрації колбочок спостерігається в жовтій плямі, а паличок на периферії. Ці світлосприймаючі клітини називаються зоровими рецепторами. Палички і колбочки спеціалізовані по виконуваним ними функції – палички відповідають за смерковий (чорно-білий) зір, а колбочки – за денний (кольоровий) зір.



**розподіл паличок
и колбочок в сітківці**

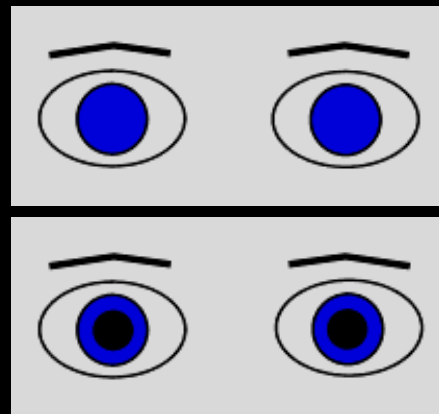
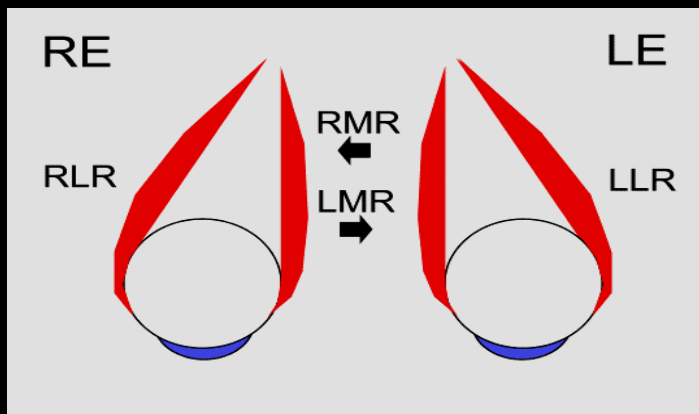
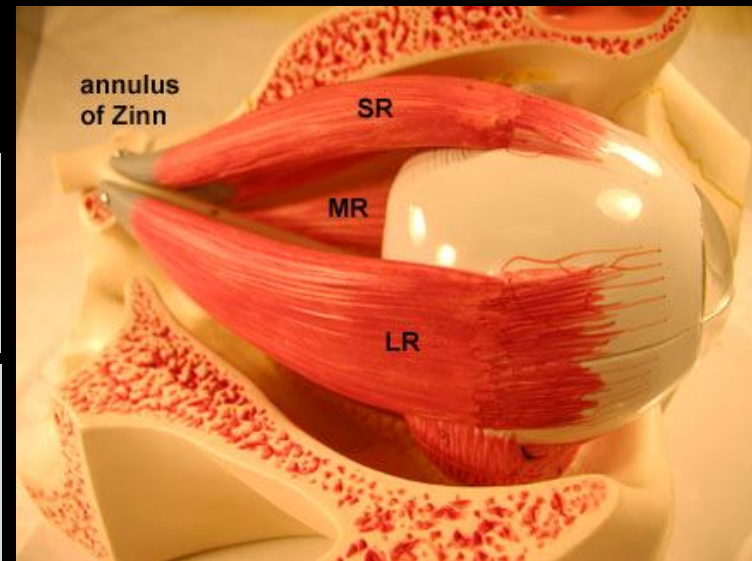
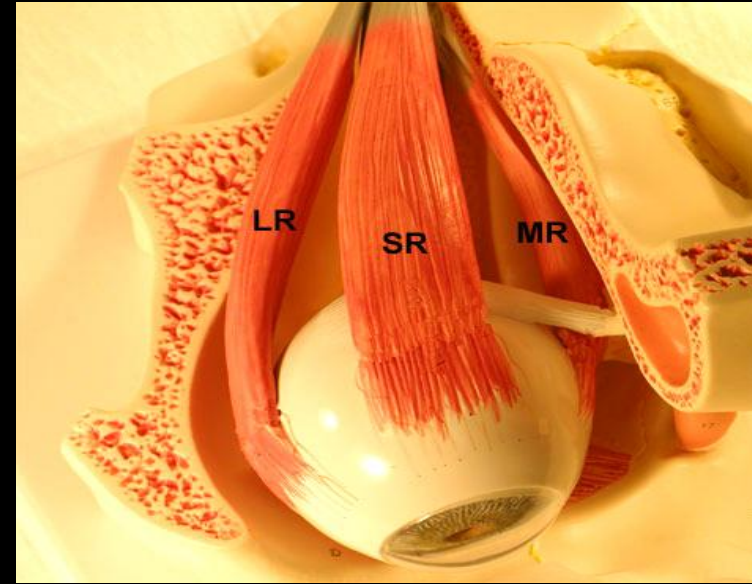


ПОЛЕ ЗОРУ



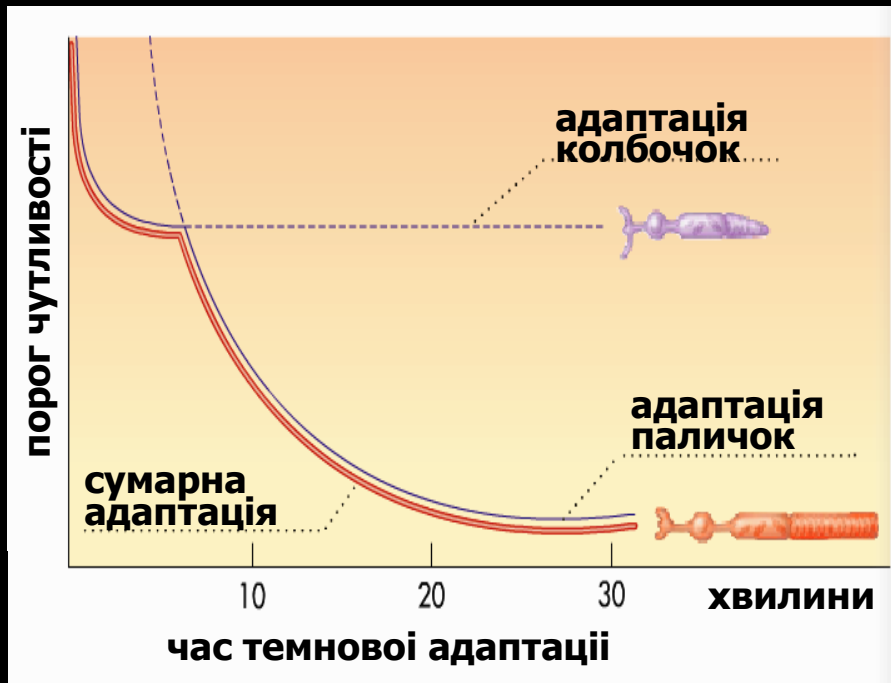
М'ЯЗИ ОКА

Внутрішні очні м'язи служать для відкриття зіниці і зміни форми кришталика. Зовнішні відповідають за рухи очного яблука. Завдяки скороченням 6 зовнішніх очних м'язів зображення переміщається на жовту пляму на сітківці. Кожен з 6 м'язів відповідає за певний рух: внутрішній прямий м'яз - внутрішнє обертання, зовнішній прямий м'яз - зовнішнє обертання, верхній прямий м'яз – підняття, нижній прямий м'яз – опускання, верхній косий м'яз - зовнішній поворот і опускання, нижній косий - внутрішній поворот і підняття.



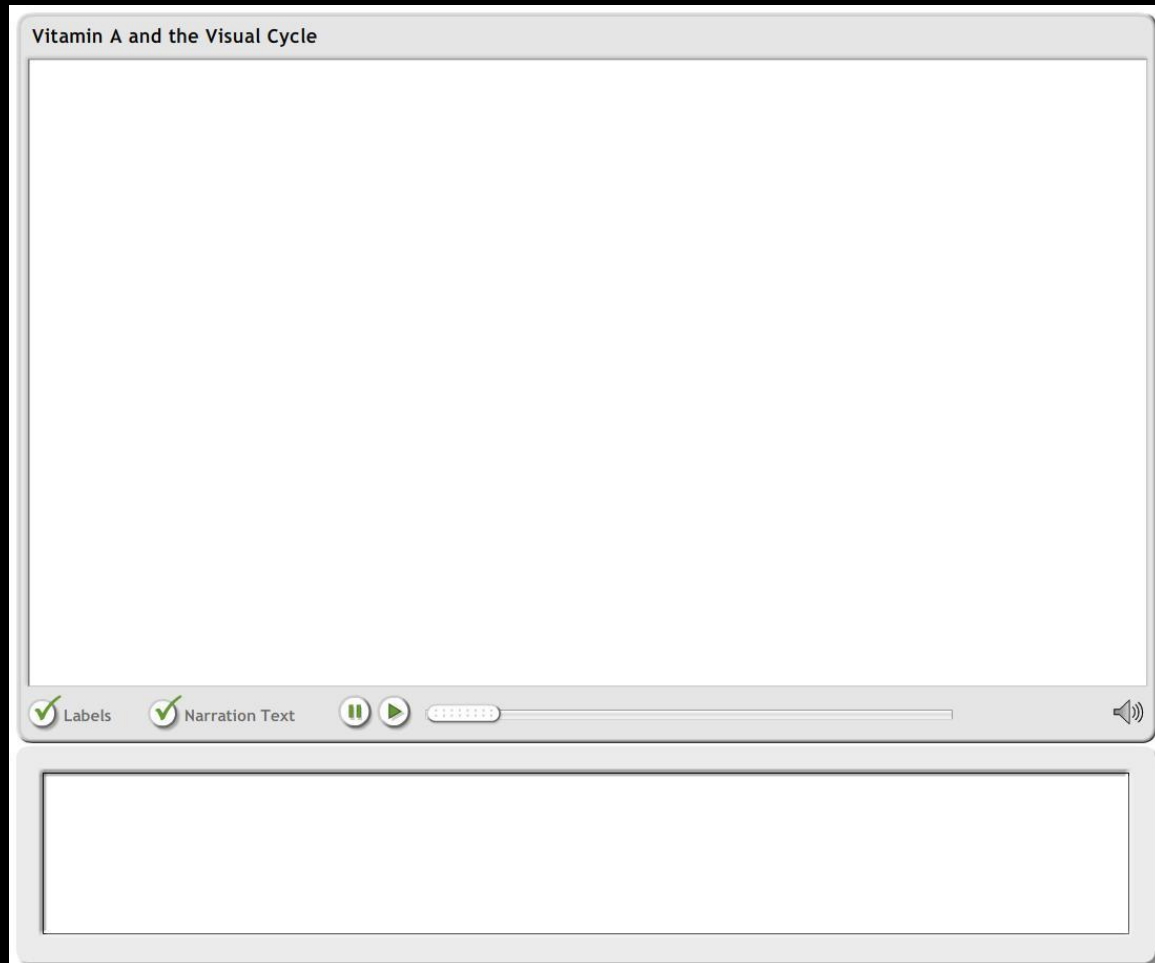
АДАПТАЦІЯ ЗОРУ

- пристосування ока до різних умов освітлення. Світлова адаптація в нормі відбувається протягом 50 - 60 с. При нормальному стані зорового аналізатора вона залежить від інтенсивності і яскравості світла. Темнова адаптація в нормі триває приблизно 30 - 45 хв. При цьому відбувається підвищення чутливості ока в 8-10 тис. раз. Адаптація здійснюється шляхом регулювання чутливості фоторецепторів сітківки ока і величини зіниці. В результаті встановлюється оптимальне для даних світлових умов співвідношення між чутливістю фоторецепторів і силою світлового потоку, що потрапляє на сітківку.



АДАПТАЦІЯ ЗОРУ

Світлова адаптація - в паличках і колбочках відбувається руйнування родопсина до ретиналя і опсинів. Крім того, велика кількість ретиналя в обох типах рецепторів перетворюється на вітамін А. У результаті концентрація фоточутливих речовин в рецепторах сітківки значно зменшується, і чутливість очей до світла знижується. Темнова адаптація – ретиналь і опсини в паличках і колбочках знову перетворюються на родопсин. Крім того, вітамін А переходить в ретиналь, поповнюючи запаси світлочутливого пігменту, гранична концентрація якого визначається кількістю опсинів в паличках і колбочках, здатних з'єднуватися з ретиналем.



КОРЕКЦІЯ КОРОТКОЗОРОСТІ

нормальний зір



короткозорість

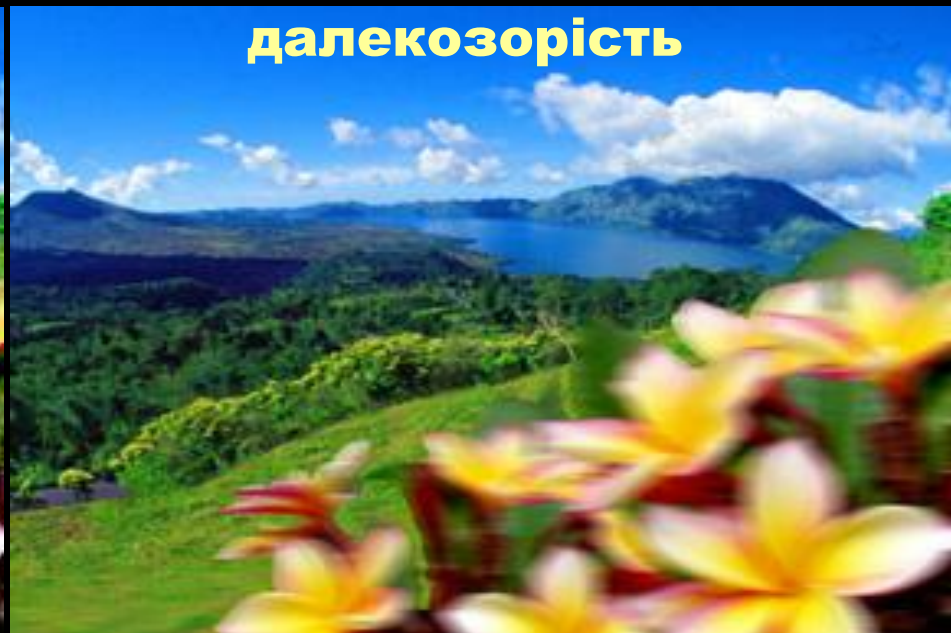


КОРЕКЦІЯ ДАЛЕКОЗОРОСТІ

нормальний зір



далекозорість

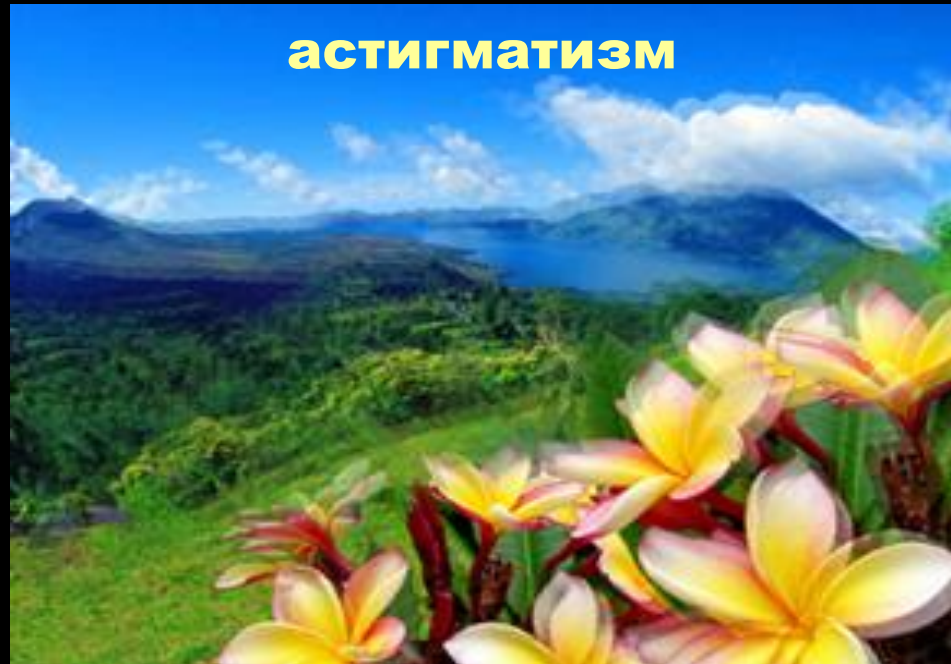


КОРЕКЦІЯ АСТИГМАТИЗМА

нормальний зір



астигматизм



ЛАЗЕРНА КОРЕКЦІЯ ЗОРУ

- фотохімічна абляція (випаровування) шарів рогівки під впливом променя лазера, що приводить до зміни кривизни зовнішньої поверхні рогівки і, як наслідок, її рефракції (заломлюючої здатності), що в свою чергу, призводить до відновлення фокусування променів світла на сітківці.

VISION
CONDITION:

- ☐ NORMAL
- ☐ NEARSIGHTED
- ☐ FARSIGHTED
- ☐ ASTIGMATISM



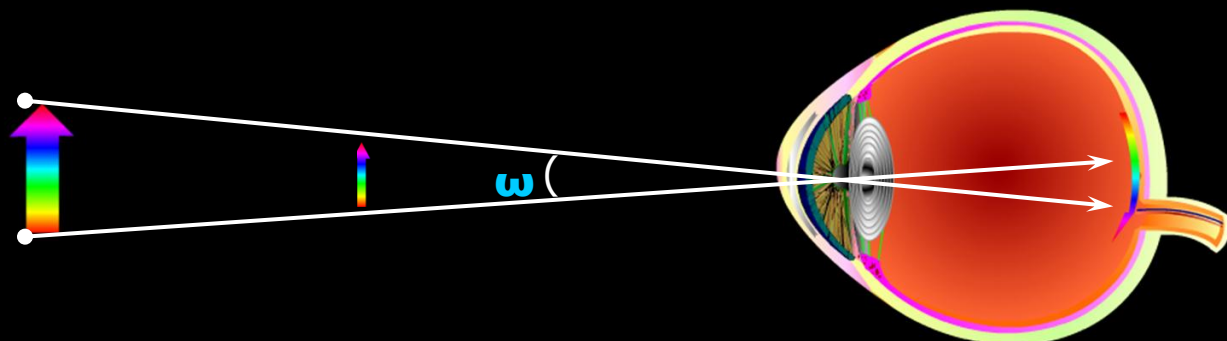
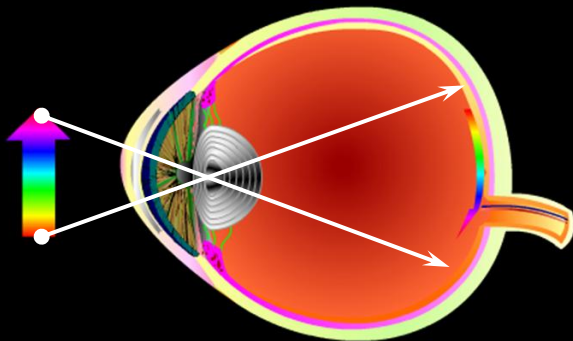
Normal Eye

simulated view



ГОСТРОТА ЗОРУ

Гострота зору вимірюється шляхом визначення найменшої відстані між двома крапками, достатньої для того, щоб вони не зливалися, щоб промені від них потрапляли на різні рецептори сітківки. У зв'язку з тим, що ця відстань залежить від віддаленості крапок від ока, універсальною характеристикою гостроти зору служить кут між променями, що йдуть від двох точок предмету до ока, - кут зору. Чим менше цей кут, тим вище гострота зору. У нормі цей кут рівний 1 хвилині. Кількісною оцінкою гостроти зору служить величина, зворотна мінімальному куту зору $V = 1 / \omega$. Бінокулярна гострота зору вище монокулярної приблизно в 1,3 раз. Гострота зору залежить від віку: приблизно до 17 років вона досягає максимуму і на цьому рівні зберігається до 60 – 65 років, після чого досить різко падає. Максимальна гострота зору спостерігається в центральній зоні сітківки на жовтій плямі. Чим далі від жовтої плями, тим нижче гострота зору; на відстані 20° від центру плями вона складає всього 0,1 від максимального значення.



ВИЗНАЧЕННЯ ГОСТРОТИ ЗОРУ

D=50.0	Ш	Б	О	С	V=0.1										
D=25.0	М	Н	К	С	О	О	V=0.2								
D=16.67	Ы	М	Б	Ш	О	О	О	С	V=0.3						
D=12.5	Б	Ы	Н	К	О	О	О	С	V=0.4						
D=10.0	И	Н	Ш	М	К	С	О	О	О	О	V=0.5				
D=8.33	Н	Ш	Ы	И	К	Б	О	С	О	О	О	V=0.6			
D=7.14	Ш	И	Н	Б	К	Ы	О	О	О	С	О	О	V=0.7		
D=6.25	К	Н	Ш	М	Ы	Б	И	С	О	О	О	С	О	V=0.8	
D=5.55	Б	К	Ш	М	И	Ы	Н	О	О	О	С	О	О	V=0.9	
D=5.0	Н	К	И	Б	М	Ш	Ы	Б	О	О	О	О	С	О	V=1.0
D=3.33	Ш	И	Н	К	М	И	Ы	Б	О	О	О	С	О	О	V=1.5
D=2.5	И	М	Ш	Ы	Н	Б	М	К	О	О	О	С	О	О	V=2.0

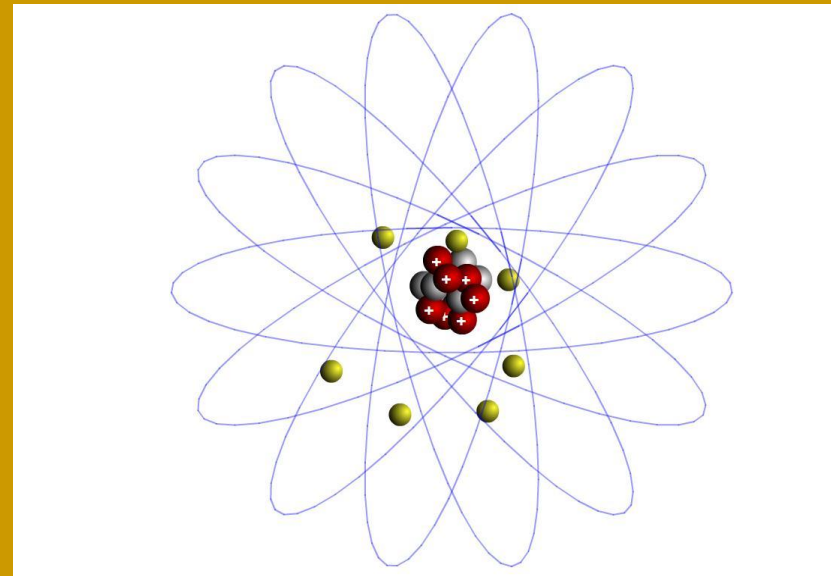
Проти кожного ряду тестових знаків вказані значення гостроти зору від 0,1 до 2,0, розраховані для відстані, рівної 5 м. Завдання пацієнту визначити, в якому ряду він ще може розрізнити розриви в кільцях або букви. Третя знизу строчка таблиці відповідає гостроті зору рівній одиниці, оскільки просвіт в кільці з відстані 5м спостерігається під кутом 1 хвилина.

ПЕРЕДУМОВИ КВАНТОВОЇ ФІЗИКИ

До початку XX століття в класичному природознавстві виникли нездолані труднощі з поясненням і інтерпретацією цілого ряду експериментально знайдених явищ. Як правило вказані явища так чи інакше були пов'язані з мікроскопічними об'єктами (молекули, атоми, ядра і т.д).

Головними з них були:

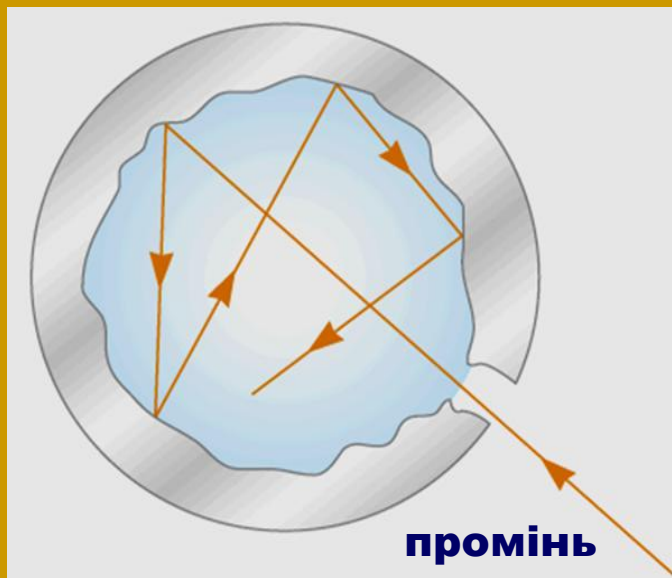
- **спектр теплового випромінювання абсолютно чорного тіла;**
- **зовнішній фотоефект;**
- **ефект Комптона;**
- **лінійний характер атомних спектрів.**



У результаті аналізу вказаних явищ кінець кінцем виникло розуміння того, що мікросвіт живе по особливим законам, які знаходяться за межами безпосереднього людського сприйняття. Сукупність цих законів складає предмет квантової фізики, а класична фізика є лише її граничним випадком.

ВИПРОМІНЮВАННЯ АБСОЛЮТНО ЧОРНОГО ТІЛА

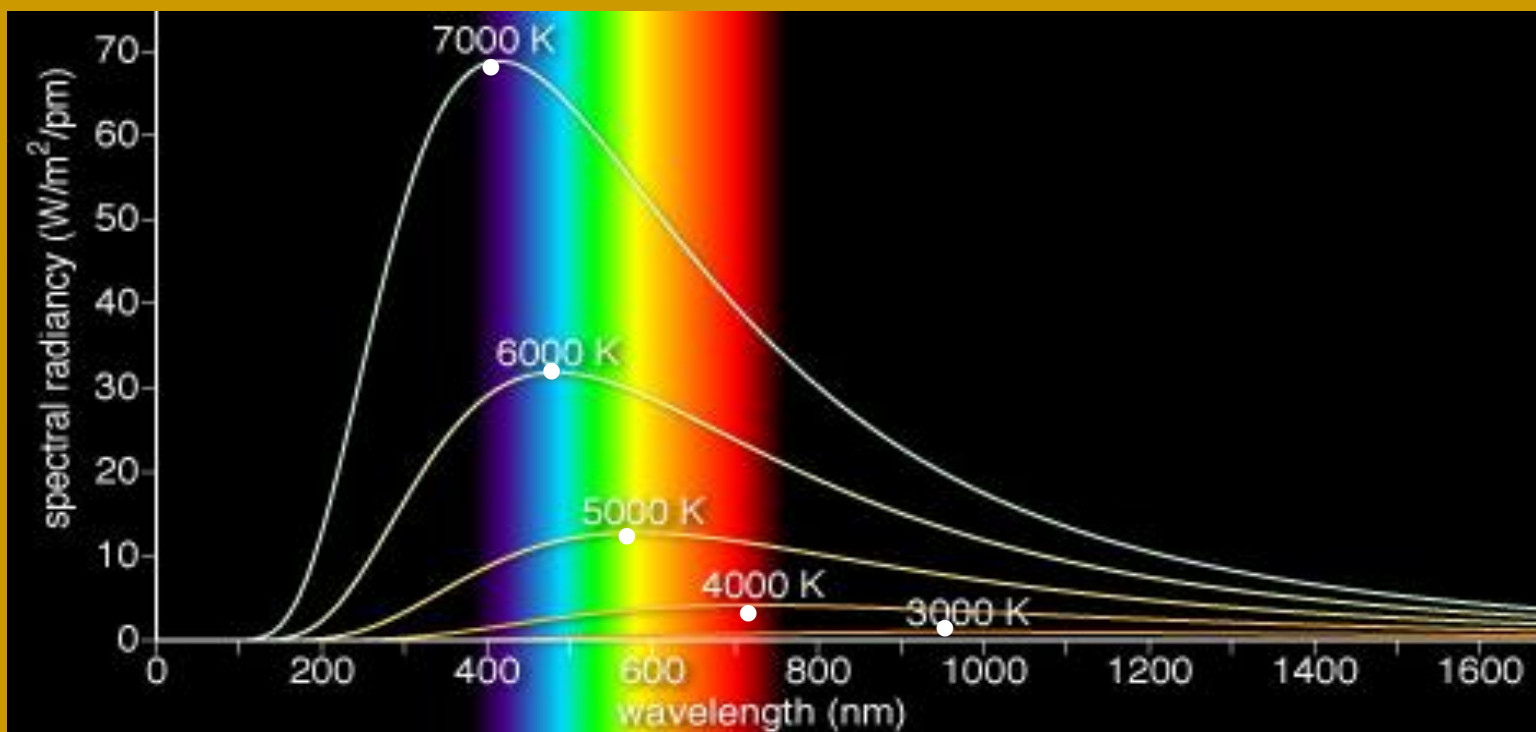
Абсолютно чорне тіло - фізична абстракція - тіло, яке повністю поглинає падаючий на нього потік електромагнітного випромінювання, незалежно від довжини хвилі, нічого при цьому не відбиваючи. Абсолютно чорне тіло саме може випускати електромагнітне випромінювання будь-якої частоти і візуально має колір, який визначається тільки його температурою.



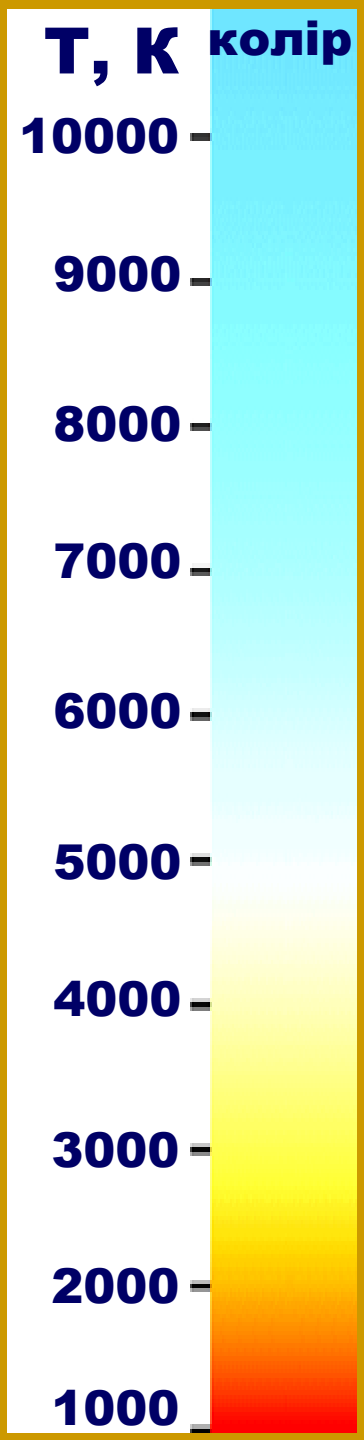
**модель абсолютно
чорного тіла –
поле тіло з
невеликим
отвором**

ЗАКОН СТЕФАНА-БОЛЬЦМАНА

Повна (по всьому спектру) випромінювальна здатність абсолютно чорного тіла пропорційна четвертому ступеню його температури $\epsilon = \sigma T^4$ $\sigma = 5,7 \times 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \text{ К}^4$



Колір тіла визначається його температурою, оскільки при зміні температури спостерігається зсув максимуму спектру випромінювання щодо зони видимих людським оком довжин хвиль. Залежність довжини хвилі, яка відповідає максимуму спектру (білі крапки на малюнку) від температури тіла визначається **законом Віна** $\lambda_{\text{max}} = 2898/T$ (мкм)



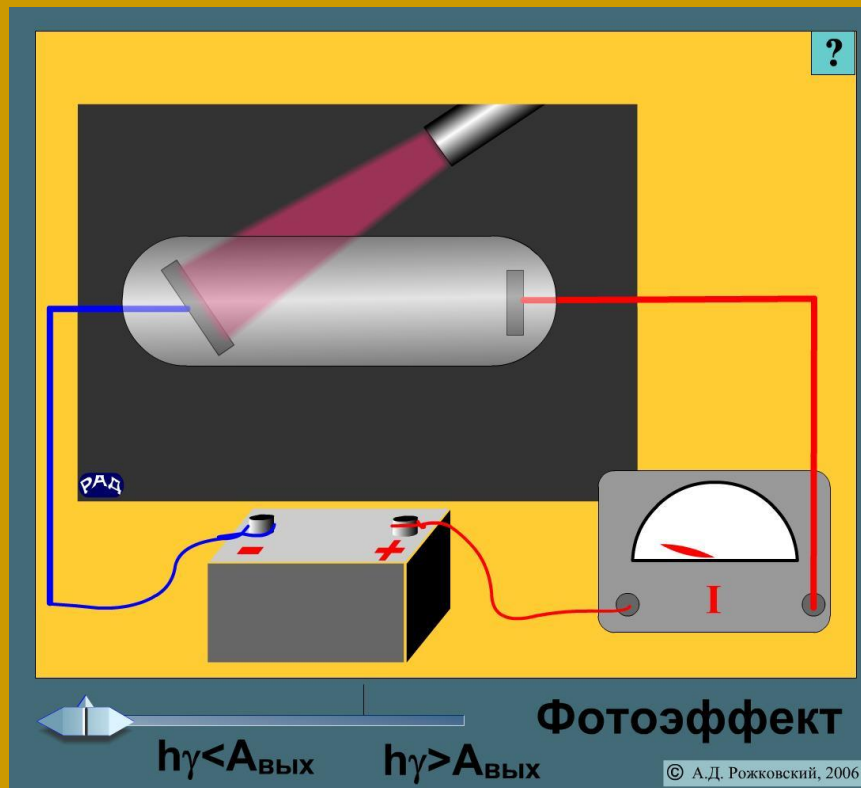
ГІПОТЕЗА ПЛАНКА

Експериментально спостережуваний спектр випромінювання абсолютно чорного тіла (червона лінія на малюнку) знаходиться в принциповій суперечності з побудованою на основі класичної фізики теорією Релея і Джінса, згідно якої на високих частотах (коротких хвилях) енергія випромінювання повинна зростати нескінченно (синя лінія). Цей фізично абсурдний результат одержав назву «ультрафіолетової катастрофи». Насправді нічого подібного не відбувається. Як добре видно на високих частотах енергія випромінювання не зростає нескінченно, а прямує до нуля. Планк розв'язав цю суперечність і одержав результати, що чудово узгоджуються з експериментом, на основі надзвичайно сміливої гіпотези. В протилежність класичній теорії випромінювання, що розглядає генерацію електромагнітних хвиль як безперервний процес, він припустив, що світло випускається певними порціями енергії – квантами. Величина такого кванта енергії залежить від частоти світла ν і дорівнює $\epsilon = h\nu$. Величина h називається постійною Планка і вона рівна $h = 6,62 \times 10^{-34}$ Дж сек. Це революційне припущення Планка дозволило пояснити спектр випромінювання абсолютно чорного тіла, що спостерігається і з'явилося основою квантової механіки.

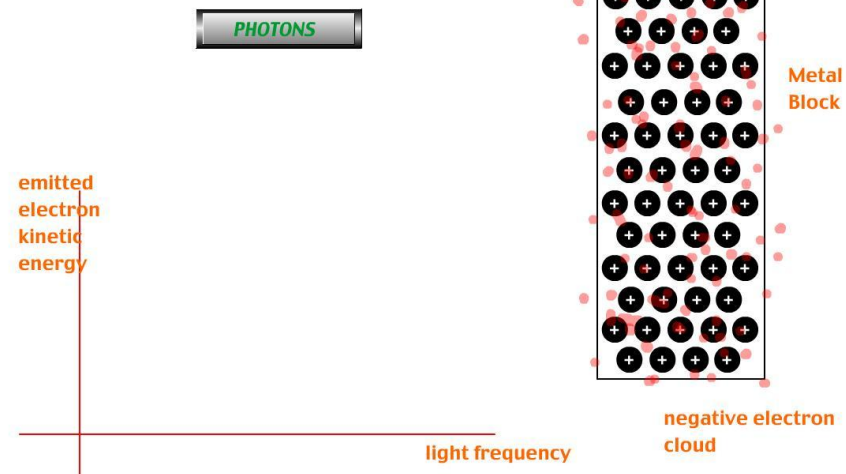


ЗОВНІШНІЙ ФОТОЕФЕКТ

Випускнення (емісія) електронів речовиною під дією електромагнітного випромінювання називається зовнішнім фотоелектричним ефектом (або фотоелектром). Фотоелектр в 1887 був відкритий німецьким фізиком Герцем і в 1888 році детально досліджений російським фізиком Столетовим. Вони експериментально спостерігали появу електричного струму при освітленні катода вакуумованої двоелектродної лампи пучком світла. Ефект спостерігається тільки за умови перевищення деякої частоти світла, тобто при довжині хвилі менше за деяку граничну - так званої червоної межі фотоелектру.

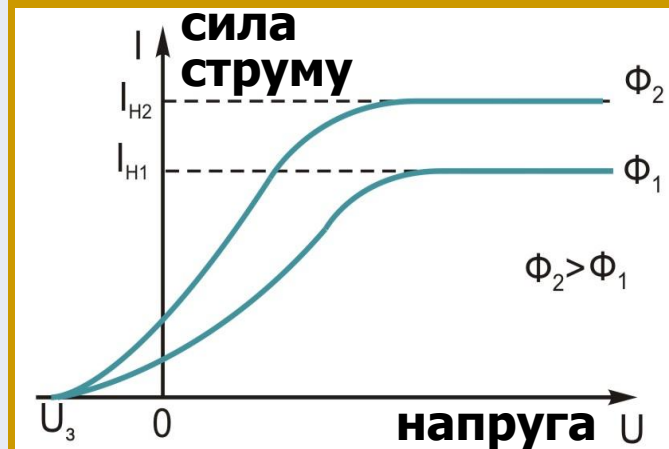
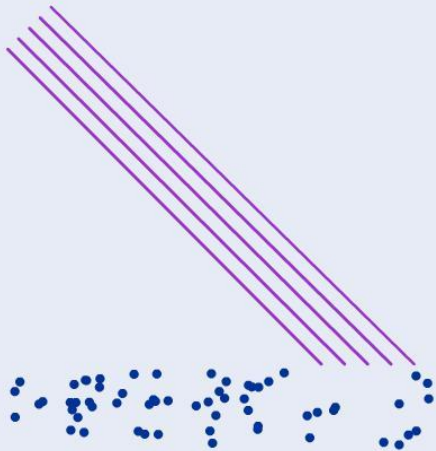


LIGHT ON METAL SURFACE - PHOTOELECTRIC EFFECT



ЗАКОНИ ФОТОЕФЕКТУ

1. Замикаюча напруга (напруга, яка припиняє фотострум) лінійно зростає із збільшенням частоти світла і не залежить від його інтенсивності.
2. Для кожної речовини існує **червона межа фотоелектру**, тобто якнайменша частота $\nu_{\min}$, при якій ще можливий фотоелектр.
3. Струм насичення прямо пропорційний інтенсивності світла.



ТЕОРІЯ ЕЙНШТЕЙНА

Теоретичне пояснення спостережуваних закономірностей фотоефекту було дано Ейнштейном в 1905 році на основі гіпотези Планка. Якщо світло не тільки випромінюється, але і поглинається квантами, то при взаємодії з речовиною квант цілком передає всю свою енергію $h\nu$ одному електрону, при цьому частина енергії кванта витрачається на подолання потенційного бар'єру на межі метал-вакуум (робота виходу A_v), а решта енергії йде на надання електрону кінетичної енергії. З рівняння Ейнштейна витікає лінійна

залежність кінетичної енергії від частоти (і замикаючої напруги від частоти), незалежність від інтенсивності світла, існування червоної межі фотоефекта. Оскільки число фотоелектронів, є пропорційним числу фотонів, що падають на поверхню (інтенсивності), то струм насичення повинен бути прямо пропорційний інтенсивності світлового потоку. Тангенс кута нахилу прямої, яка відображає залежність замикаючої напруги від частоти, рівний відношенню постійної Планка до заряду електрона.

$$h\nu = A_v + m_e v^2 / 2$$

енергія
кванта

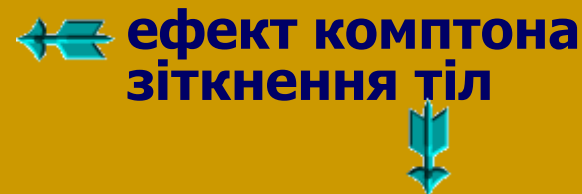
витрачається на:

1. виконання
роботи виходу

2. надання електрону
кінетичної енергії

ЕФЕКТ КОМПТОНА

Згідно класичним хвильовим уявленням про випромінювання, при розсіянні світла на електронах довжини хвиль падаючого і розсіяного випромінювання повинні співпадати, тоді як експериментально спостерігається збільшення довжини хвилі (зменшення частоти) розсіяного випромінювання. В 1922 році Комптон довів, що розсіяння світла електронами відбувається по законах пружного зіткнення двох частинок - фотона і електрона. Кінематика такого зіткнення визначається законами збереження енергії і імпульсу, які аналогічні законам зіткнення двох тел. Це з'явилося ще одним доказом корпускулярного характеру світла.



КОРПУСКУЛЯРНО – ХВИЛЬОВИЙ ДУАЛІЗМ

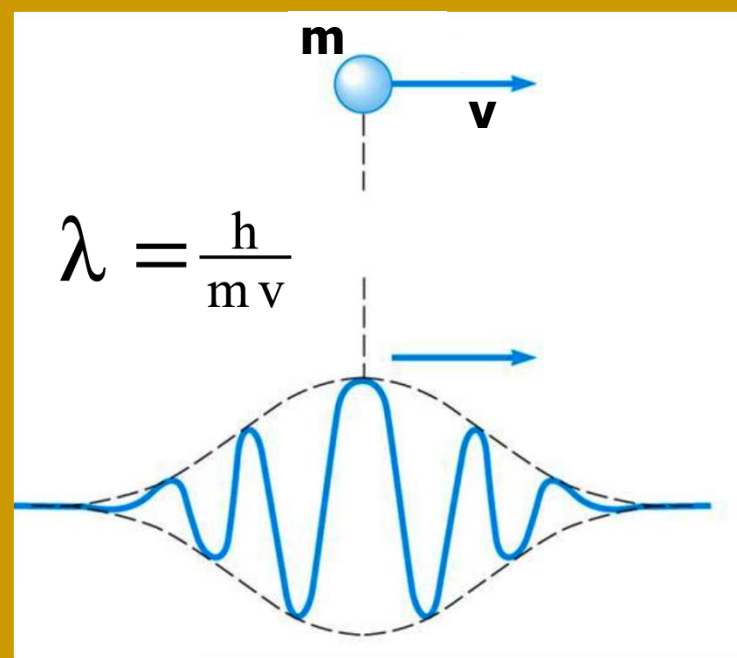
Таким чином, разом з явищами, які свідчили про хвильову природу електромагнітного випромінювання (наприклад, дифракція і інтерференція), існував ряд фактів, що суперечать цим уявленням і для свого пояснення вимагають корпускулярного (квантового) підходу до випромінювання. Ці результати привели до поняття корпускулярно-хвильового дуалізму у вченні про природу світла, з якого виходило, що світло поводиться одночасно і як хвиля і як потік частинок. При цьому хвильовий і квантовий підходи до випромінювання не виключають, а взаємно доповнюють один одного і дозволяють описати справжні закономірності розповсюдження світла і його взаємодію з речовиною. Кількісні співвідношення між корпускулярними характеристиками (масою m , енергією E і імпульсом p) і хвильовими (частотою ν або довжиною хвилі λ) для фотонів наступні

$$E = mc^2 = h\nu \quad p = h\nu/c = h/\lambda = mv$$



ГІПОТЕЗА ДЕ БРОЙЛЯ

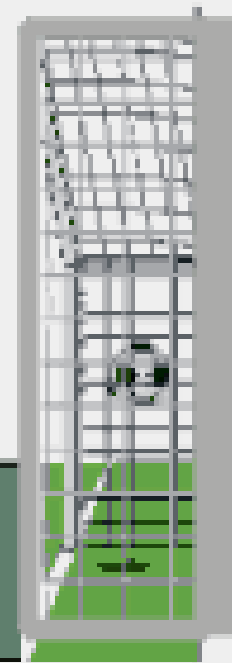
У 1924 р. Луї де Бройль висунув гіпотезу про те, що корпускулярно-хвильовий дуалізм не є особливістю тільки одних світлових частинок (фотонів), а є універсальним і властивий також частинкам речовини. По гіпотезі де Бройля, частинка речовини теж має подвійний характер і може поводитися як хвиля з певною довжиною. При цьому кількісні співвідношення між корпускулярними і хвильовими характеристиками частинок ті ж, що і для фотонів. Згідно де Бройлю, матеріальній частинці з масою m , що рухається із швидкістю v , тобто має імпульс $p = mv$, відповідає монохроматична хвиля, звана хвилею де Бройля, з довжиною λ , яка обчислюється по формулі: **$\lambda = h/mv$**



ГІПОТЕЗА ДЕ БРОЙЛЯ

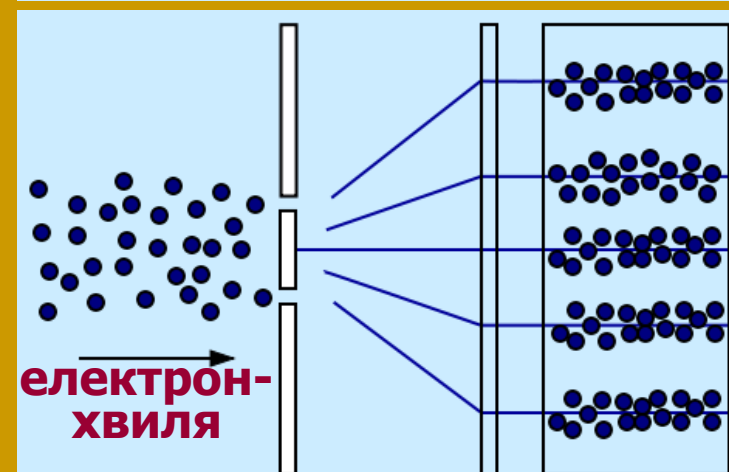
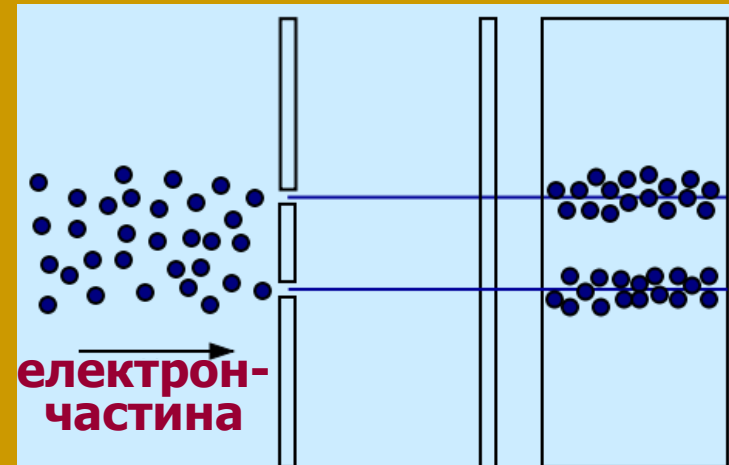
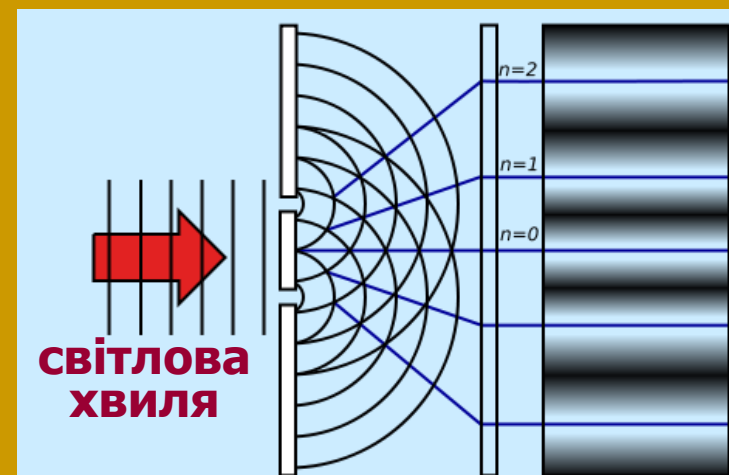
Наприклад м'яч, що летить із швидкістю 15 м/с масою 0,2 кг має довжину хвилі близько 10^{-34} м. Це настільки мала величина, що ніякими способами її виявити не є можливим. Навіть якщо б м'яч летів із швидкістю 1 см в сторіччя довжина хвилі була б порядку 10^{-23} м, що в мільйон раз менше розмірів елементарних частинок. У зв'язку з тим, що типова хвильова властивість світла – дифракція - виявляється тоді, коли розмір перешкоди або щілини є зіставимим з довжиною хвилі, може здатися, що приведені міркування неможливо перевірити на практиці. Однак пізніше гіпотеза де Бройля отримала блискуче експериментальне підтвердження в дослідах по дифракції електронів.

частинка чи хвиля ?



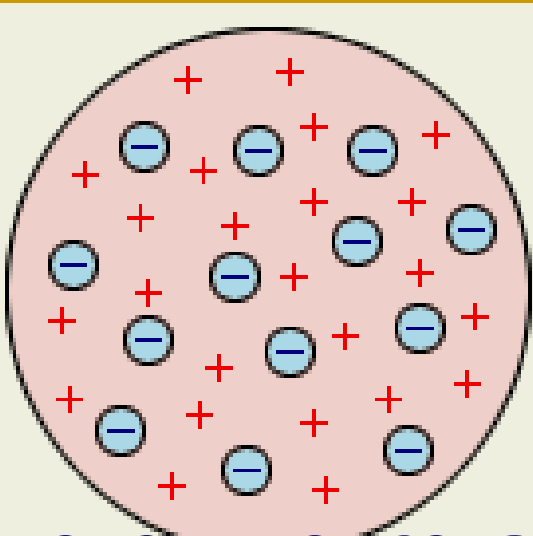
ДИФРАКЦІЯ ЕЛЕКТРОНІВ

Девіссон і Джермер в 1927 р. знайшли, що пучок електронів, що розсіюється на кристалі нікелю, дає дифракційну картину, подібну тій, яка виникає при розсіянні на кристалі рентгенівського випромінювання. В цих експериментах кристал грав роль природної дифракційної ґратки. По положенню дифракційних максимумів була визначена довжина хвилі електронів, яка опинилася в повній відповідності з формулою де Бройля.



БУДОВА АТОМА

Уявлення про атоми як неподільні найдрібніші частинки речовини виникло з античних часів, але тільки в XVIII столітті працями Лавуазьє, Ломоносова та інших була доведена реальність існування атомів. На підставі досліджень електролізу Фарадеєм в 1833 р. був зроблений висновок про існування усередині атомів електричних зарядів. В 1897р. Томсон відкрив електрон і показав, що електрони входять до складу атомів. Таким чином, на підставі всіх відомих до початку XX століття експериментальних фактів можна було зробити висновок про те, що атоми речовини мають складну внутрішню будову. Вони є електронейтральними сисемами, причому носіями негативного заряду атому є легкі електрони, маса яких складає лише

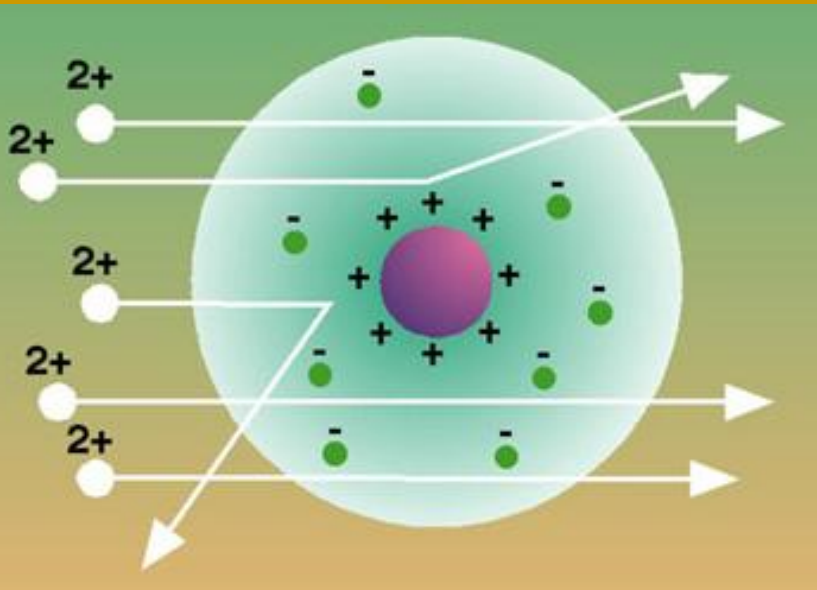


модель томсона

малу частку маси атомів. Основна частина маси атомів пов'язана з позитивним зарядом. Перша спроба створення моделі атома на основі накопичених експериментальних даних належить Томсону (1903р.). Він вважав, що атом є електронейтральною системою кульовидної форми радіусом біля 10^{-10} м, причому позитивний заряд атома рівномірно розподілений по всьому об'єму кулі, а негативно заряджені електрони знаходяться усередині.

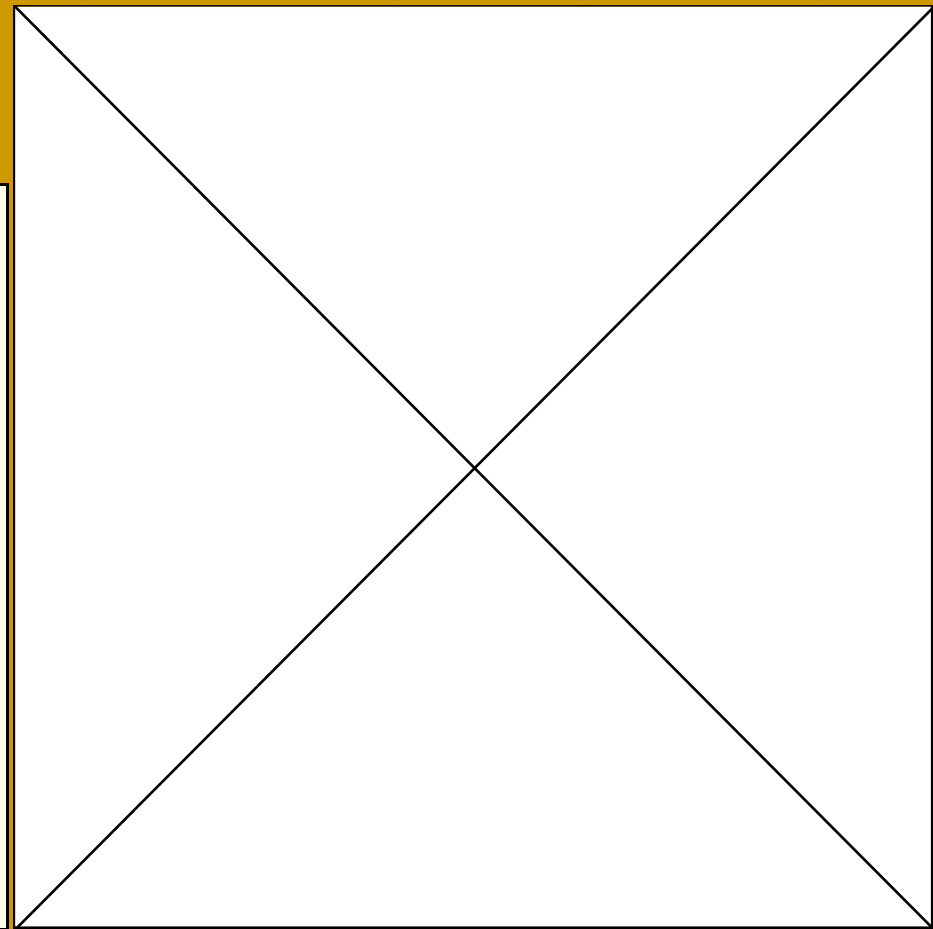
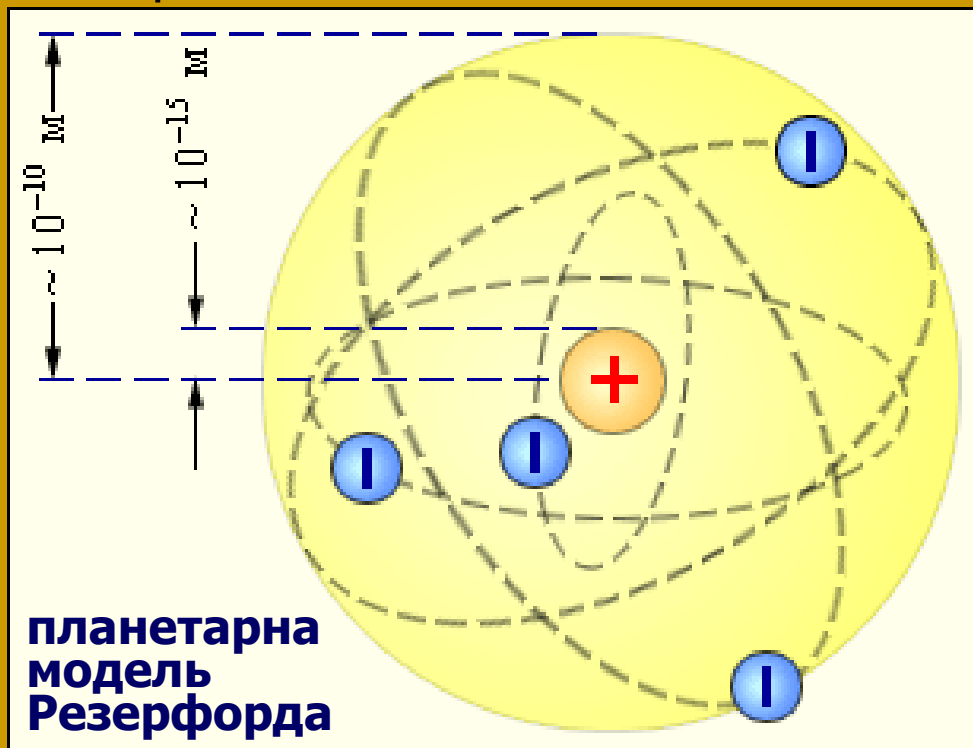
ДОСЛІД РЕЗЕРФОРДА

Через декілька років в дослідях великого англійського фізика Резерфорда було доведено, що модель Томсона невірна. Резерфорд бомбардував пучком α – частинок золоту фольгу і спостерігав їх розсіювання. Було знайдено, що більшість α – частинок проходить через тонкий шар металу, практично не зазнаючи відхилення. Проте невелика частина частинок відхиляється на значні кути, близькі до 180° . Це можливо лише за умови, що атом майже порожній, і весь його позитивний заряд зосереджений в малому об'ємі. Цю частину атома Резерфорд назвав атомним ядром. Так виникла ядерна модель атома.



ПЛАНЕТАРНА МОДЕЛЬ

Надалі Резерфорд запропонував планетарну модель атома. Згідно ній в центрі атома розташовується позитивно заряджене ядро, в якому зосереджена майже вся маса атома. Навкруги ядра, подібно планетам, обертаються електрони. Проте ця модель нездатна пояснити стійкість атома. По законах електродинаміки, заряд, що рухається з прискоренням повинен випромінювати електромагнітні хвилі, що приведе до втрат енергії. За короткий час всі електрони в атомі повинні розтратити всю свою енергію і впасти на ядро.



ПОСТУЛАТИ БОРА

В 1913 році датський фізик Бор сформулював постулати, яким повинна задовольняти нова теорія будови атомів.

Перший постулат Бора: атом може знаходитися тільки в особливих стаціонарних або квантових станах, кожному з яких відповідає певна енергія E_n . В стаціонарних станах атом не випромінює. Згідно першому постулату, атом характеризується системою енергетичних рівнів, кожен з яких відповідає певному стаціонарному стану.

Другий постулат Бора: при переході атома з одного стаціонарного стану з енергією E_n в інший стаціонарний стан з енергією E_m випромінюється або поглинається квант, енергія якого рівна різниці цих енергій: $h\nu_{nm} = E_n - E_m$

Третій постулат Бора визначає правила квантування стаціонарних орбіт, тобто їх радіуси. Бор припустив, що момент імпульсу електрона, що обертається на стаціонарній орбіті в атомі водню, може набувати тільки дискретних значень, кратних постійній Планка: $m_e r v = n \hbar$.

m_e – маса електрона, r – радіус орбіти, v – швидкість електрона, n - номер орбіти.

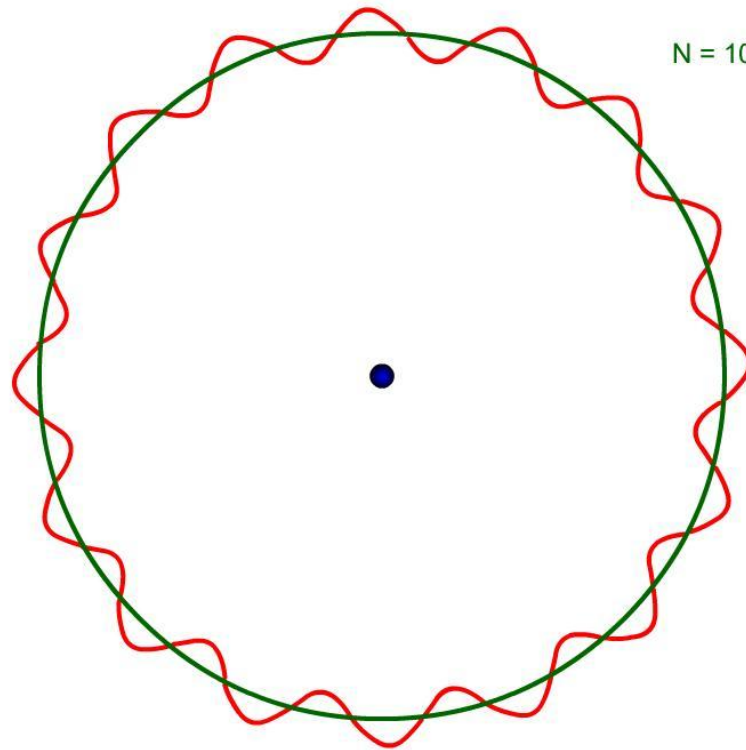
ТЕОРІЯ ДЕ БРОЙЛЯ

Прекрасна згода борівської теорії атома гідрогену з експериментом служила вагомим аргументом на користь її справедливості. Проте спроби застосувати цю теорію до складніших атомів не увінчалися успіхом. Бор не зміг дати фізичну інтерпретацію правилу квантування. Це було зроблено десятиріччям пізніше де Бройлем на основі уявлень про хвильові властивості електронів. Де Бройль запропонував, що кожна орбіта в атомі гідрогену відповідає хвилі, що розповсюджується по колу біля ядра атома. Стаціонарна орбіта виникає у тому випадку, коли хвиля безперервно повторює себе після кожного обороту навкруги ядра. Іншими словами, стаціонарна орбіта відповідає круговій стоячій хвилі на довжині орбіти.

ScienceProf.com

De Broglie

$N = 10$



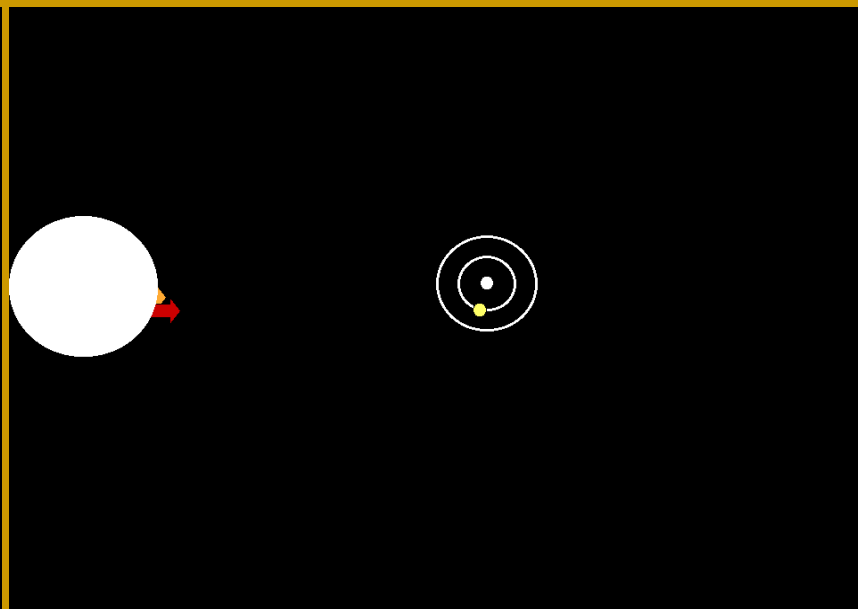
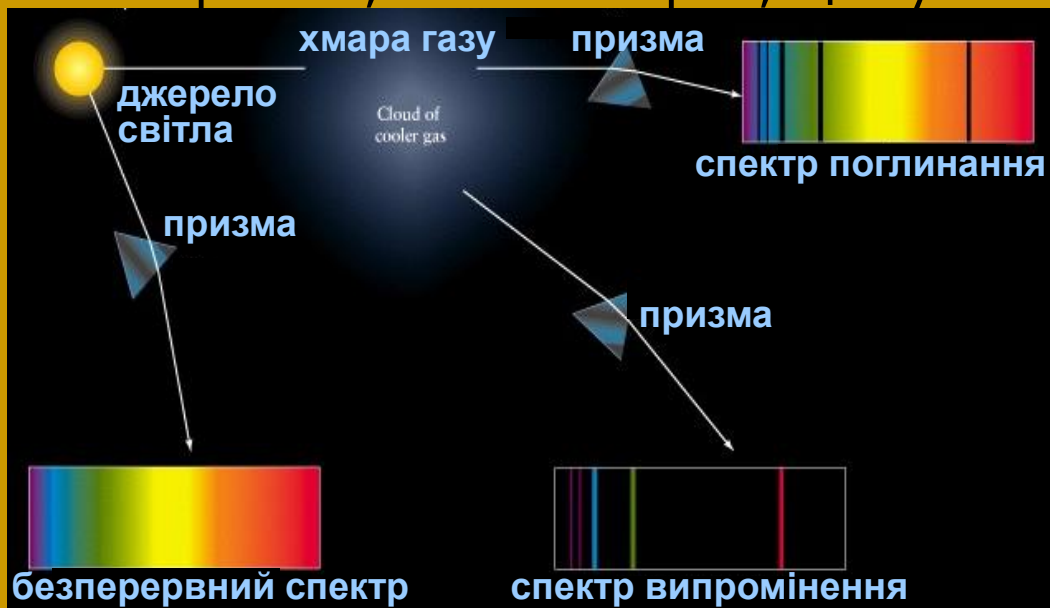
Lower energy 

Higher energy

Note permitted energy levels continue beyond 10 in reality

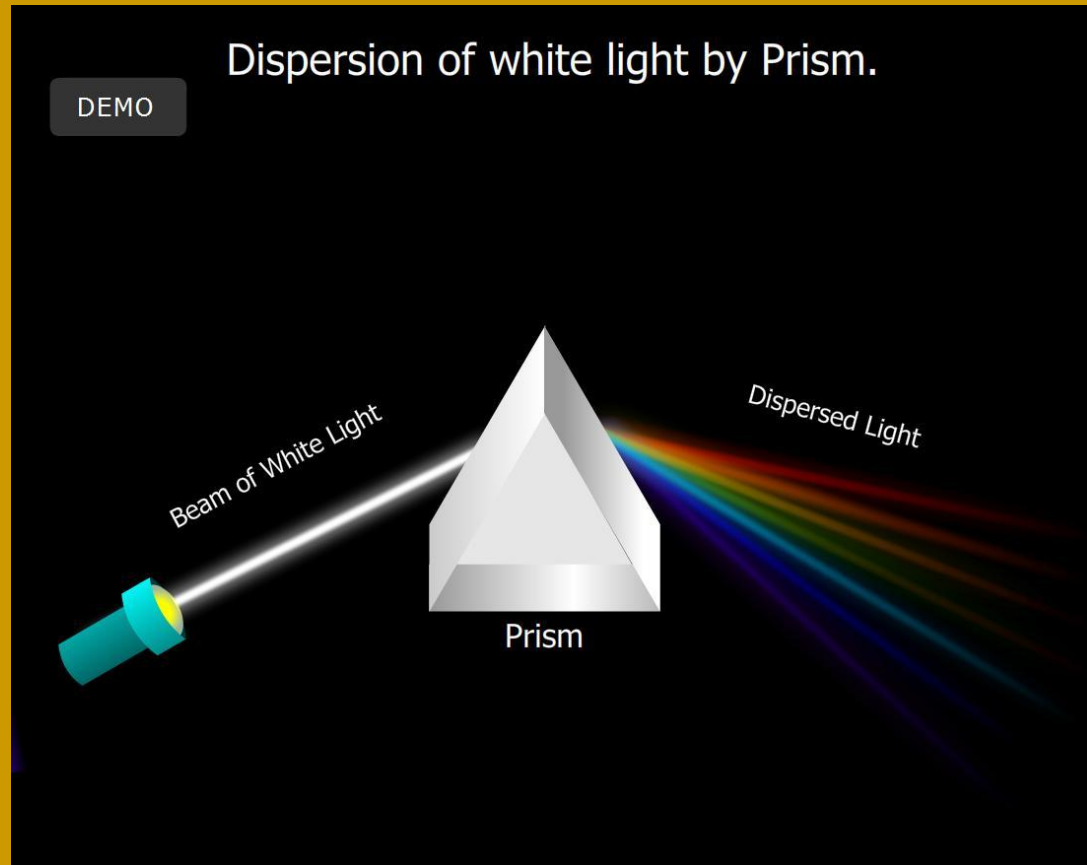
ЛІНІЙЧАТИЙ СПЕКТР

Енергетичні рівні ізолюваного атома (наприклад, в розрідженому газі) визначаються тільки його електронами. Якщо на хмару розрідженого газу спрямувати біле світло, яке містить фотони будь-якої частоти, або енергії, то електрони поглинуть тільки ті фотони, які по своїй енергії відповідають різниці енергій стаціонарних станів. Якщо світло, що пройшло через хмару газу розкласти на складові за допомогою призми, то можна спостерігати **спектр поглинання** – чорні лінії на фоні суцільного спектру. Місце цих ліній визначає ті величини енергії, які були поглинені атомом. При поверненні електронів на більш низькі енергетичні рівні спостерігається **спектр випромінювання** – кольорові лінії на тих же місцях, оскільки випромінюються фотони, тих же енергій, що були поглинені атомом.



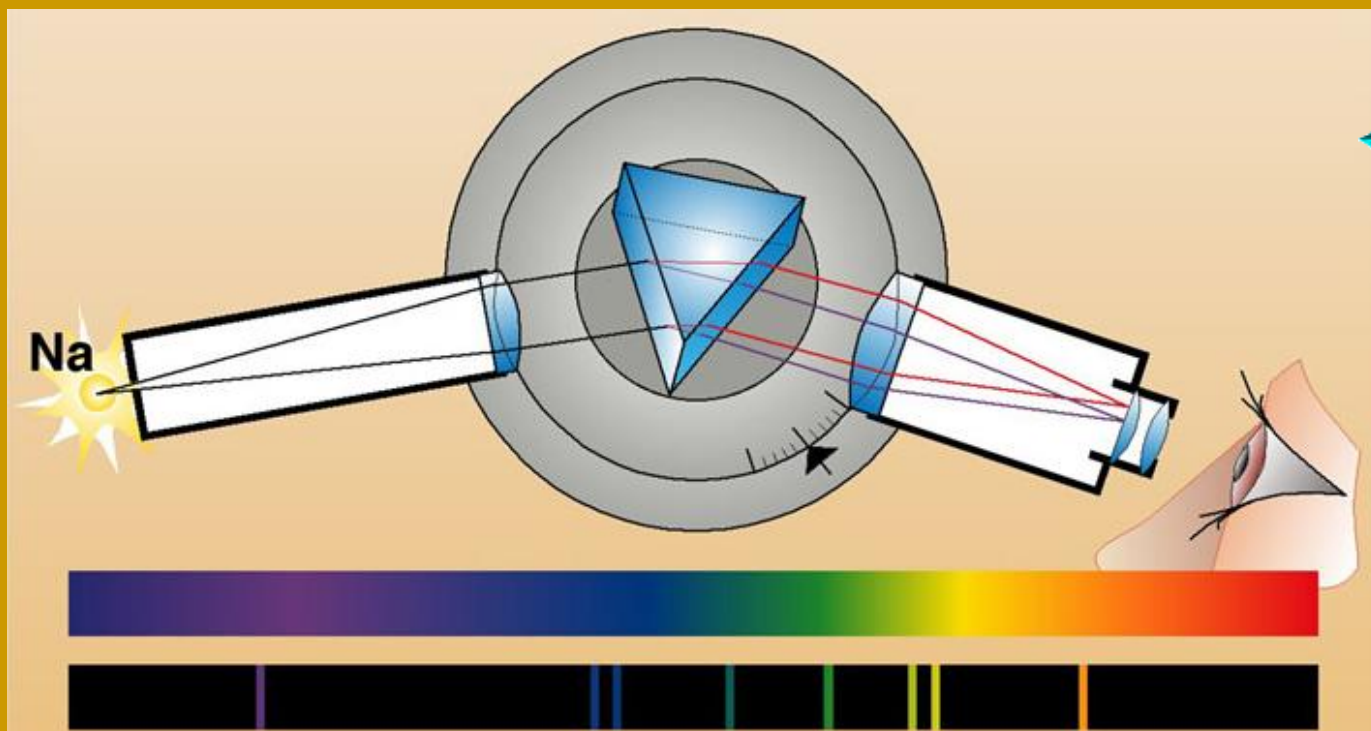
РОЗКЛАДАННЯ СВІТЛА ЗА ДОПОМОГОЮ ПРИЗМИ

Принцип дії призми ґрунтований на тому, що показник заломлення обернено пропорційний до довжини хвилі - так звана дисперсія коефіцієнта заломлення: чим коротше хвиля, тим вище коефіцієнт заломлення - фіолетові промені заломлюються найсильніше, а червоні - найслабкіше. В результаті білий промінь виявляється розщепленим на його складові кольори.

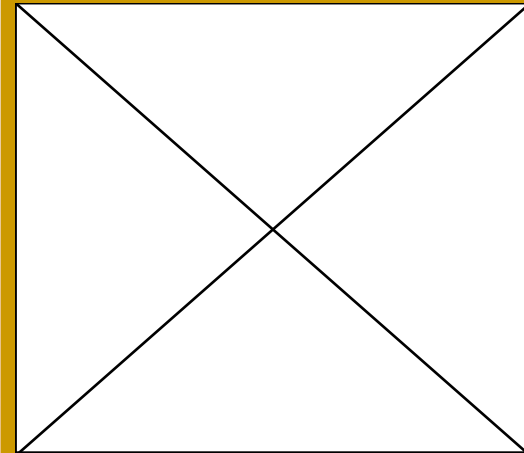


СПЕКТРОСКОПІЯ

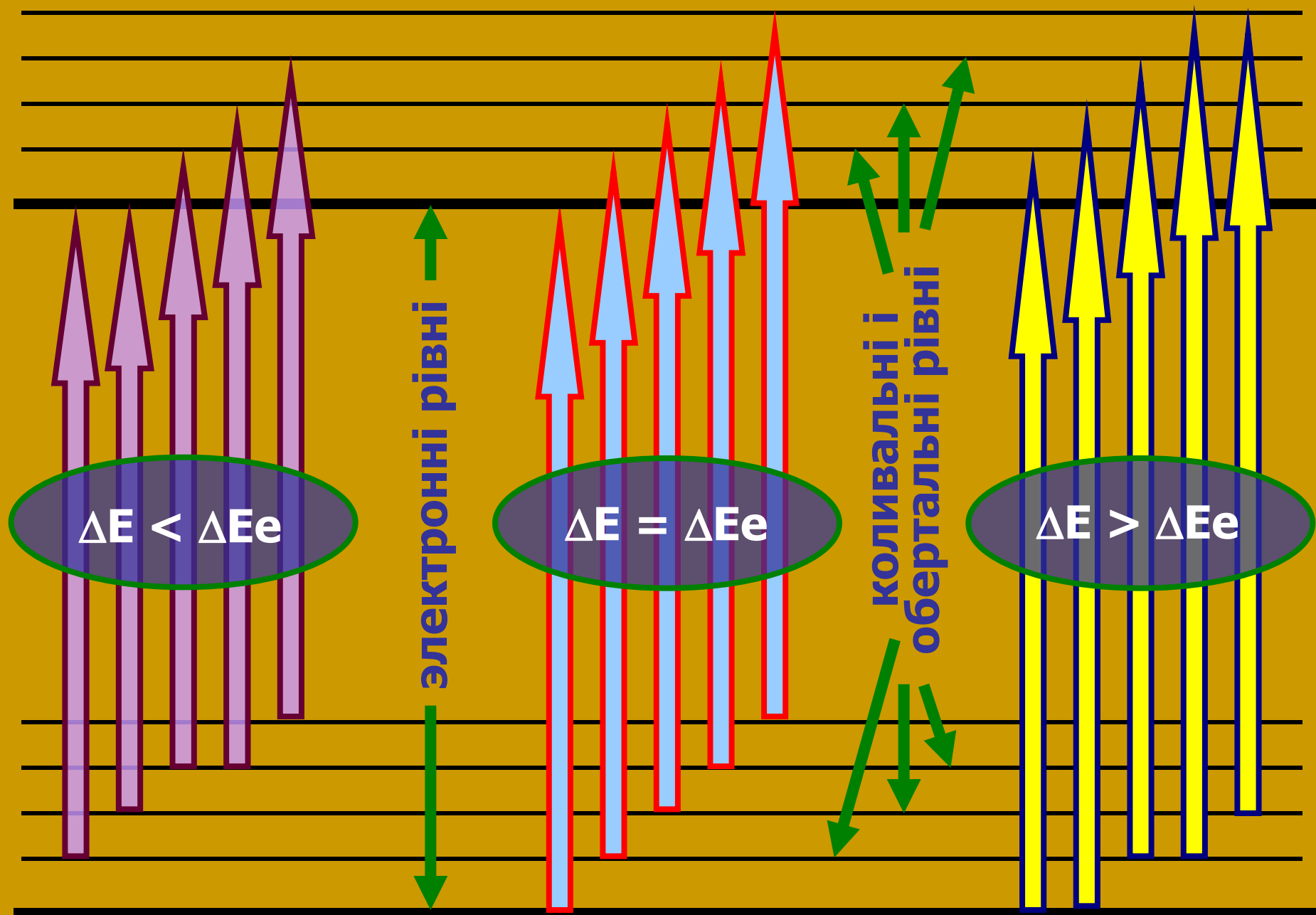
У атомах різних хімічних елементів енергії квантових стрибків між дозволеними енергетичними рівнями відрізняються, і вони випромінюватимуть світло з різними довжинами хвиль. Таким чином, знайшовши серію спектральних ліній тіла або речовини що вивчається, ми можемо отримати інформацію про присутність або відсутність відповідних хімічних елементів в його складі. Чутливість такого аналізу 10^{-9} г. Порівнюючи інтенсивність спектральних ліній, характерних для різних елементів, можна розрахувати їх кількісне співвідношення в речовині і визначити її хімічний склад.



**ПРИНЦИП
ДІЇ
СПЕКТРОСКОПА**



ФОРМУВАННЯ СПЕКТРА МОЛЕКУЛИ



ПОЛОСАТИЙ СПЕКТР



ν_1

symmetric stretch



ν_3

asymmetric stretch

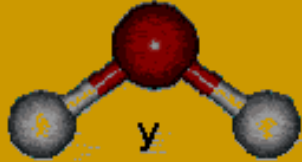


ν_2

bend



x



y

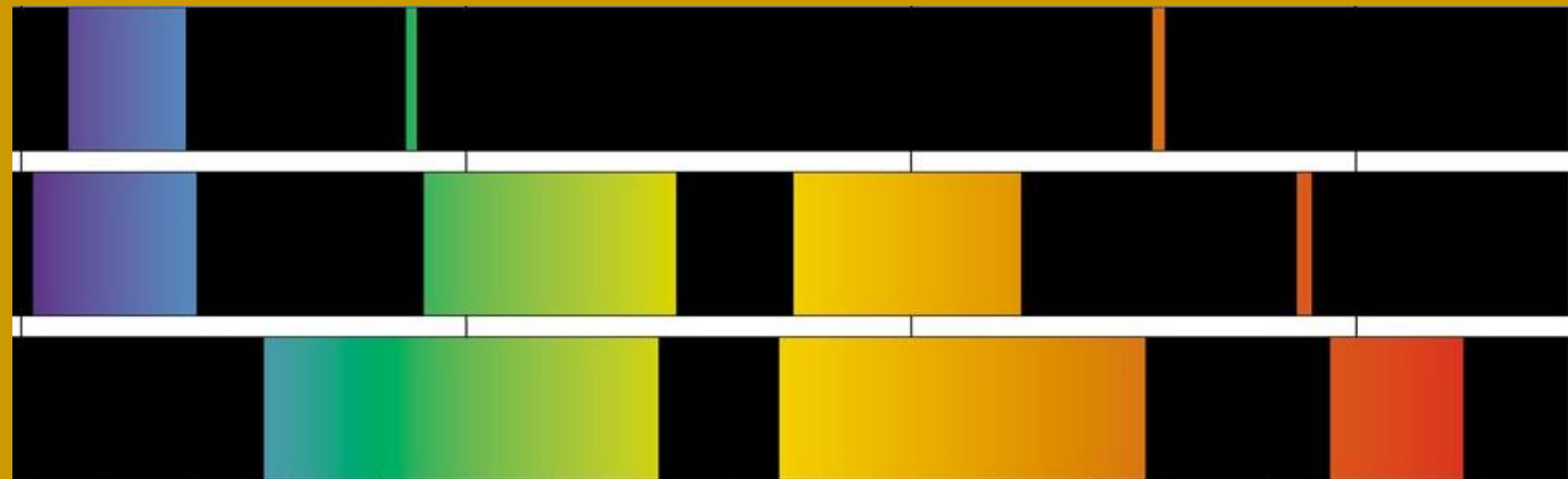
librations



z



**МОЖЛИВІ КОЛИВАННЯ
МОЛЕКУЛИ ВОДИ**



ПОЛОСИ ПОГЛИНАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ГРУП

Важливим типом інформації, яку можна отримати з коливальних спектрів, є інформація про присутність і відсутність так званих функціональних груп. Порівняння ІК-спектрів великої кількості різних органічних сполук, що містять однакову функціональну групу, показує, що смуга поглинання, характерна для цієї групи, є присутньою в усіх спектрах, незалежно від скелетної структури молекул. Така смуга називається груповою частотою. Виникнення таких частот обумовлене тим фактом, що при нормальних коливаннях зміщення атомів виявляється обмеженим у рамках окремої функціональної групи.

Characteristic infrared absorptions of functional groups.

Chromophore	Range of absorption (cm ⁻¹)	Notes
C-H stretch	2962 - 2853	Simple alkane
C-H stretch	3030 (approx.)	Aromatic
C=C stretch	1680 - 1620	Alkene (nonconjugated)
C=O stretch	1725 - 1705	ketone (simple aliphatic)
C=O stretch	1740 - 1720	Aldehyde (simple aliphatic)
C=O stretch	1750 - 1735	Ester (simple aliphatic)
C=O stretch	1725 - 1700	Carboxylic acid (simple aliphatic)
C=O stretch	1850 - 1800	Anhydride (simple aliphatic)
C-O stretch	1300 - 1000	Alcohol, ether (general)
C-O stretch	1300 - 1000	Carboxylic acid, ester
O-H stretch	3650 - 3590	Alcohol, phenol, carboxylic acid
N-H stretch	3500 and 3400	Amine (primary aliphatic) two bands
N-H stretch	3500 and 3400	Amine (primary aromatic) two bands
C-X stretch	600-800 (Cl); 500-600 (Br); * 500 (I)	Halogen compounds