

## Лекція №34

**Тема :** Геометрична оптика. Розвиток уявлень про природу світла. Корпускулярно-хвильовий дуалізм. Поширення світла в різних середовищах. Джерела і приймачі світла. Поглинання і розсіювання світла. Відбивання світла. Закони відбивання світла. Заломлення світла. Закони заломлення світла. Хвильові властивості світла. Світло як електромагнітна хвиля. Інтерференція світла. Дифракція світла. Поляризація світла. Дисперсія світла. Спектроскоп.

### **Використана література:**

1. Кікоїн І.К., Кікоїн А.К. Фізика. – К.: Освіта, 1990. – 208с.
2. Гончаренко С.У. Фізика: Підруч. для 9 кл. серед. загальноосв. шк..- К.: Освіта, 2002.
3. Гончаренко С.У. Фізика: Підруч. для 10 кл. серед. загальноосв. шк..- К.: Освіта, 2002. – 319 с.
4. Гончаренко С.У. Фізика: Підруч. для 11 кл. серед. загальноосв. шк..- К.: Освіта, 2002. – 319 с.

## Хід заняття

### **1. Хвильова теорія Гюйгенса**

Відповідно до теорії Х.Гюйгенса світло – це хвилі, що поширюються в особливому, гіпотетичному середовищі – ефірі, який заповнює весь простір і проникає усередину всіх тіл. Гюйгенс не розглядав справжнього хвильового процесу, його міркування стосувалися лише поширення хвильового фронту. Він суто математично описав явище відбивання й заломлення хвиль і показав, що швидкість світла в більш густому середовищі має бути меншою, ніж у повітрі.

### **2. Квантова теорія світла**

На початку ХХ століття уявлення про природу світла почали докорінно змінюватись. Раптом з'ясувалося, що відкинута корпускулярна теорія все-таки має відношення до реальності. У 1900 році німецький фізик М. Планк припустив, що атоми тіл поглинають і випромінюють енергію скінченними порціями – квантами. У 1905 році А. Ейнштейн припустив, що світло поширюється в просторі у вигляді дискретних об'єктів – квантів світла.

Таким чином, були виявлені властивості переривисті, або, як кажуть, квантові властивості світла.

### **3. Корпускулярно- хвильовий дуалізм.**

Виникла надзвичайна ситуація: явища інтерференції та дифракції, як і раніше, можна було пояснити, вважаючи світло хвилею, а явища випромінювання і поглинання – вважаючи світло потоком частинок.

У результаті численних обговорень, пошуків і досліджень виникла сучасна теорія світла, що є синтезом корпускулярної та хвильової теорій. В основі цієї теорії лежить думка, що світло одночасно має і хвильові, й корпускулярні властивості.

#### 4. Основні закони геометричної оптики.

Розділ оптики, в якому закони поширення світла розглядаються на основі уявлень про світлові промені, називається *геометричною оптикою*.

Під світловими променями розуміють нормальні (перпендикулярні) до хвильових поверхонь лінії, вздовж яких поширюється потік світлової енергії.

Світловий промінь – це абстрактне математичне поняття, а не фізичний образ.

Геометрична оптика є лише граничним випадком *хвильової оптики*.

Основу геометричної оптики складають такі закони:

1. **Закон прямолінійного поширення світла:** *світло в оптично однорідному середовищі поширюється прямолінійно.*

2. **Закон незалежності світлових пучків:** *світлові пучки від різних джерел при накладанні діють незалежно один від іншого і не впливають один на одного.*

3. **Закон відбивання світла:** *падаючий на межу розділу двох оптично неоднорідних середовищ промінь 1, відбитий промінь 2 і перпендикуляр, поставлений до межі розділу в точці падіння, лежать в одній площині; кут  $i_1'$  відбивання променя від межі розділу двох середовищ дорівнює куту  $i_1$  падіння променя (рис. 1.1).*

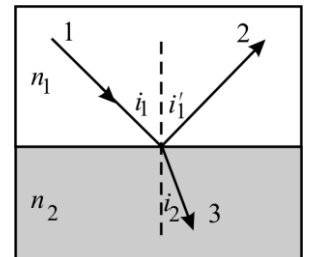


Рис. 1.1

4. **Закон заломлення світла:** *падаючий на межу розділу двох оптично неоднорідних середовищ промінь 1, заломлений в друге середовище промінь 3 і перпендикуляр, проведений до межі розділу в точці падіння, лежать в одній площині (рис. 1.1); відношення синуса кута  $i_1$  падіння до синуса кута  $i_2$  заломлення променя є величиною сталою для двох даних середовищ, визначається відношенням швидкості  $v_1$  поширення світла в першому середовищі до швидкості  $v_2$  поширення світла в другому середовищі і називається **відносним показником заломлення**  $n_{21}$  другого середовища відносно першого:*

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{v_1}{v_2} = n_{21}.$$

Показник заломлення  $n$  даного середовища відносно вакууму називають **абсолютним показником заломлення** середовища. Чисельно абсолютний показник заломлення дорівнює відношенню швидкості  $c$  ( $\sim 300000$  км/с) поширення світла у вакуумі до швидкості  $v$  поширення світла в середовищі:

$$n = \frac{c}{v}.$$

Швидкість  $v$  світла в середовищі є меншою за швидкість  $c$  світла у вакуумі, тому абсолютний показник заломлення  $n$  реальних середовищ є числом більшим за одиницю. Для повітря, наприклад,  $n \approx 1,00029$ . Оскільки  $n$  мало відрізняється від одиниці, то практично показник заломлення середовища виражають відносно повітря, а не відносно вакууму. Для того, щоб одержати значення абсолютного показника заломлення середовища

відносно вакууму, значення показника заломлення середовища відносно повітря потрібно помножити на абсолютний показник заломлення повітря.

Числове значення відносного показника заломлення  $n_{21}$  може бути як більшим, так і меншим за одиницю в залежності від того, з якими швидкостями поширюється світло в межуючих середовищах, тобто в залежності від значення їх абсолютних показників заломлення  $n_1$  і  $n_2$ , оскільки

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}.$$

З даної формули випливає, якщо друге середовище *оптично густіше* за перше ( $n_2 > n_1$ ), то відносний показник заломлення  $n_{21} > 1$  і кут  $i_2$  заломлення променя менший за кут  $i_1$  його падіння (рис. 1.1).

#### 5. Явище повного внутрішнього відбивання.

Якщо перше середовище є оптично густіше за друге ( $n_1 > n_2$ ), то  $n_{21} < 1$  і кут  $i_2$  більший за кут  $i_1$  (рис. 1.2,а). При збільшенні кута  $i_1$  падіння променя 1 реалізується ситуація, коли заломлений промінь 3 буде поширюватися вздовж межі розділу середовищ, тобто коли кут  $i_2 = 90^\circ$  (рис. 1.2,б). Тоді кут падіння  $i_1 = \alpha_{zp}$  і називається **граничним кутом**. Якщо світловий промінь падатиме на межу розділу двох середовищ під кутом  $i_1$ , більшим за граничний кут  $\alpha_{zp}$ , то спостерігатиметься **явище повного внутрішнього відбивання**: падаючий промінь 1 повністю відіб'ється від межі розділу середовищ, залишаючись при цьому всередині оптично густішого середовища (рис. 1.2,в). Для граничного кута падіння

$$\sin \alpha_{zp} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}.$$

Явище повного внутрішнього відбивання використовується в призмах повного відбивання, які дозволяють повертати промені на  $90^\circ$  або  $180^\circ$ . Такі призми застосовуються в оптичних приладах (наприклад, в біноклях, перископах). Явище повного внутрішнього відбивання знайшло використання також в рефрактометрах, світловодах і т.д.

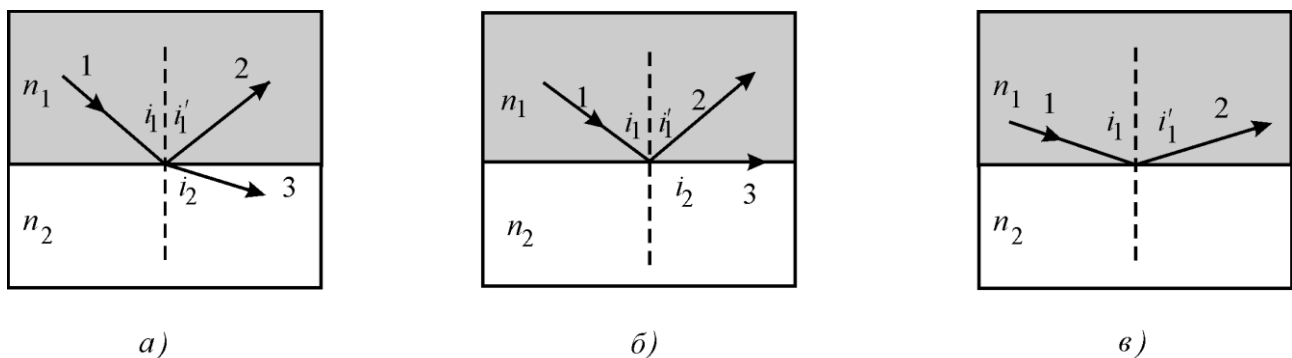


Рис. 1.2

**Світловоди** – це тонкі нитки (волокна) з оптично прозорого матеріалу. В волоконних деталях світловодів використовують *скловолокно*, світловедуча

жила (серцевина) якого оточена іншим склом (оболонкою) з меншим показником заломлення. Світло, яке попадає в світловод під кутами падіння, що перевищують граничний кут  $\alpha_{cp}$ , зазнає на межі розділу серцевина–оболонка повне внутрішнє відбивання і поширюється лише по світловедучій жилі. Питання передачі світлових зображень вивчаються в спеціальному розділі оптики – *волоконна оптика*.

#### 6. Основні положення хвильової теорії світла Гюйгенса.

***Світло** - це електромагнітні хвилі високої частоти, що випромінюються атомами речовини, а також частинками, які мають електричний заряд і рухаються з величезним прискоренням.*

1) Світло - це поширення пружних аперіодичних імпульсів в ефірі. Ці імпульси поздовжні й подібні на імпульси звуку в повітрі.

2) Ефір - гіпотетичне середовище, що заповнює небесний простір і проміжки між частинками тіл. Воно невагоме, не підкоряється закону всесвітнього тяжіння, має велику пружність.

3) Принцип поширення коливань ефіру такий, що кожна його точка, до якої доходить збурення, є центром вторинних хвиль. Ці хвилі слабкі, і ефект спостерігається тільки там, де проходить їхня поверхня, що огинає, - фронт хвилі (принцип Гюйгенса).

Чим далі хвильовий фронт від джерела, тим більше плоским він стає.

Світлові хвилі, що приходять безпосередньо від джерела, викликають зорові відчуття.

Дуже важливим пунктом теорії Гюйгенса з'явилося припущення максимально можливої швидкості поширення світла. Використовуючи свій принцип, ученому вдалося пояснити багато явищ геометричної оптики:

- явище відбивання світла і його закони;
- явище заломлення світла і його закони;
- явище повного внутрішнього відбивання;
- явище подвійного променезаломлення;
- принцип незалежності світлових променів.

Багато хто сумнівалися у хвильовій теорії Гюйгенса, але серед нечисленних прихильників хвильових поглядів на природу світла були М. Ломоносов і Л. Эйлер. З досліджень цих учених теорія Гюйгенса спочатку оформлялася як теорія хвиль, а не просто аперіодичних коливань, що поширюються в ефірі.

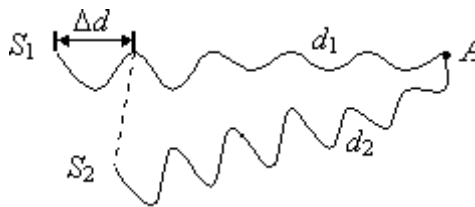
#### 7. Інтерференція світла.

***Інтерференція** - додавання двох світлових хвиль у просторі, внаслідок чого спостерігається стійка в часі картина підсилення або послаблення результуючих світлових коливань у різних точках простору.*

Зони підсилення називають зонами максимумів, зони послаблення - мінімумів. Щоб положення цих зон було незмінним і картина інтерференції залишалась стійкою в часі, хвилі мають зберігати свої властивості, не змінюючи їх в часі. Якщо ця умова виконана (різниця фаз хвиль в часі і їх частота є сталою), то хвилі називають когерентними.

Оскільки світло - це електромагнітна хвиля, тому, якщо в просторі одночасно поширюються дві чи більше хвиль, то в кожній точці (зокрема і в точці  $A$ ) хвилі будуть накладатись одна на одну, утворюючи інтерференційну картину. Вона складається із повторюваних мінімумів (min) і максимумів (max) освітленості.

Нехай від джерел  $S_1$  і  $S_2$  поширюються дві хвилі, які збігаються в точці  $A$  (рис. 1).  $d_1$  і  $d_2$   $\Delta$ - довжина ходу першої і другої хвиль;  $d = d_1 - d_2$  - різниця ходу.



(рис. 1)

Якщо в різницю ходу  $d$  вкладається парна кількість півхвиль, то обидві хвилі надійдуть в точку  $A$  в однакових фазах і підсилять одна одну - в точці  $A$  буде максимум. Якщо в різницю ходу  $d$  вкладається непарне число півхвиль, то хвилі прийдуть в точку  $A$  в протифазах і погасять одна одну - в точці  $A$  буде мінімум інтенсивності світла.

Математично умови максимуму і мінімуму можна виразити так:

$$\Delta d = 2k \frac{\lambda}{2}$$

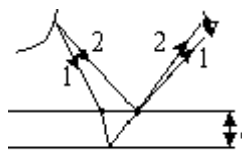
- умова максимуму;

$$\Delta d = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$

- умова мінімуму.

де  $k = 1, 2, 3, \dots, n$  (ціле число);  $\lambda$  - довжина хвилі.

Цікавий випадок інтерференції спостерігав Юнг на початку XIX століття, розглядаючи у відбитому світлі **тонкі плівки** (рис. 2).

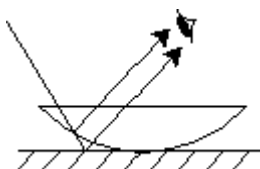


(рис. 2)

Одна частина світлового потоку відбивається від верхньої поверхні плівки, а друга - після заломлення від нижньої. Після цього обидва промені збігаються в оці спостерігача. При цьому виникає різниця ходу, що дорівнює подвоєній товщині плівки  $d = 2h$ . У результаті цього і виникає інтерференційна картина. Якщо освітлюється плівка одним кольором, спостерігається чергування чорних і білих смуг, а якщо білим, то зазвичай спостерігаються кольори веселки.

Інтерференцією світла в тонких плівках пояснюється забарвлення мильних бульбашок і тонких плям з олії на воді, хоча розчин мила й олія не мають такої гама кольорів.

Ще один випадок явища інтерференції світла спостерігав Ньютон, коли на плоскопаралельну пластину накладали лінзу, що мала великий радіус кривизни ( $R \approx 13$  м). У результаті між пластинкою і лінзою утворився повітряний клин, на якому і спостерігається інтерференційна картина, яка має форму кільця - **кільця Ньютона** (рис. 3). Якщо відомий радіус кілець  $r$ , радіус кривизни лінзи  $R$  і швидкість світла, то можна визначити довжину хвилі. Виявилось, що  $\lambda_{\text{ч}} \approx 8 \cdot 10^{-7}$  м;  $\lambda_{\text{ф}} \approx 4 \cdot 10^{-7}$  м, інші кольори мають значення у цих межах.



(рис.3)

Кільця Ньютона - це інтерференція білого світла в тонкому шарі повітря між скляними пластинками – плоскою та опуклою сферичною. Спостерігаємо інтерференційні смуги, забарвлені всіма кольорами веселки, у вигляді концентричних кілець (кільця Ньютона).

Інтерференція білого світла в плівках на воді, мильних бульбашках тощо дає хаотичне забарвлення, оскільки нахил і товщина плівки хаотично змінюються.

Застосування інтерференції дуже важливі й широкі. Інтерференцію світла застосовують для визначення довжини хвилі світла, показників заломлення прозорих речовин, вимірювання товщини пластинок, перевірки якості шліфування поверхні, вимірювання малих кутів тощо.

На інтерференції в тонких плівках ґрунтується просвітлення оптики. Це відкриття зробив український вчений Олександр Смакула (1900-1983) 1935 року, будучи директором дослідної лабораторії в німецькій оптичній фірмі "Цайсс" (місто Єна).

У сучасних фотооб'єктивах відбивних поверхонь понад 10, а в перископах підводних човнів - до 40. Якщо світло падає перпендикулярно до поверхні, то від кожної поверхні відбивається 5-9 % усієї енергії. Тому через прилад часто проходить тільки 10 - 20 % світла, що надходить до нього. Це спричиняє погіршення якості зображення. Неприємні наслідки відбиття світла від поверхонь оптичних стекел можна усунути, якщо зменшити ту частину енергії, яка відбивається. Тоді зображення, що його забезпечує прилад, буде яскравішим, "просвітленим". Від цього і походить термін "просвітлення" оптики.

Погасити відбиті хвилі всіх частот падаючого на об'єктив білого світла неможливо. Тому товщину плівки добирають так, щоб за нормального падіння цілком гасилися хвилі середньої частоти спектра. Товщина має дорівнювати чверті довжини хвилі у плівці.

Відбиття світла крайніх ділянок спектра - червоного і фіолетового - послаблюється мало. Тому об'єктив (наприклад, фотоапаратів) у відбитому світлі має бузковий відтінок.

Гасіння світла світлом не означає перетворення світлової енергії в інші види, так само, як під час інтерференції механічних хвиль. Гасіння хвиль одна одною в довільній ділянці простору означає, що світлова енергія сюди просто не доходить. Отже, гасіння відбитих хвиль означає, що все світло проходить через об'єкти.

#### *Інтерференція білого світла за Френелем*

За допомогою різних пристроїв (Дзеркала Френзеля, біпризми Френзеля, дзеркала Ллойда) світло розкладається на два когерентних світлових пучки, які накладаються й інтерферують. Два уявних зображення джерела світла в бідзеркалах або біпризми еквівалентні двом сим фразним джерелам світла.

У дзеркалі Ллойда, джерело світла і його уявне зображення в дзеркалі еквівалентні двом анти фазним джерелам, оскільки біля поверхні дзеркала відбувається зміна фази хвилі на протилежну.

#### 8. Дифракція світла

**Дифракція світла** – це явище відхилення прямолінійного поширення світла в однорідному середовищі при його проходженні повз перешкоди чи крізь отвори, проникнення світла в область геометричної тіні.

Оскільки довжина світлової хвилі дуже мала (долі міліметрів), то навіть за людською волосиною утворюється хвильова тінь довжиною кілька метрів; за столовою тарілкою кілька кілометрів.

За хвильовою тінню світло, яке обігнуло перешкоду, інтерферує. Поблизу перешкоди спостерігаємо розмитість країв геометричної тіні на екрані.

**Дифракційна решітка** – це скляна тонка пластинка, на яку нанесені паралельні штрихи з проміжками між ними. Ширина щілини і штриха позначається  $d$  і називається **сталюю решітки** або **періодом решітки**.

При падінні на решітку пучка паралельних променів перпендикулярно площині решітки (плоскої хвилі), завдяки дифракції, світло від кожної щілини піде пучком, розсіяним на всі напрямки. Оскільки відстань до екрана порівняно з сталою решітки надзвичайно велика, то всі промені з різни щілин, які відхилені від початкового напрямку на кут  $\theta$  і падають в одну точку екрана, можна вважати паралельними.

Якщо процес поширення світла є хвильовим процесом, то, окрім інтерференції, має бути і дифракція світла. Адже **дифракція** - це огинання хвилями країв перешкод - властива будь-якому хвильовому руху. Але спостерігати дифракцію світла важко, оскільки хвилі відхиляються від перешкод на помітні кути лише за умови, що розміри перешкод приблизно дорівнюють довжині хвилі, а вона дуже мала.

Уперше, відкривши інтерференцію, Юнг виконав дослід з дифракції світла, за допомогою якого були вивчені довжини хвиль, що відповідають світловим променям різного кольору. Вивчення дифракції отримало своє завершення в працях О. Френеля, який і побудував **теорію дифракції**, яка в принципі дозволяє розраховувати дифракційну картину, яка виникає внаслідок огинання світлом будь-яких перешкод. Таких успіхів Френель досягнув, об'єднавши принцип Гюйгенса ідеєю інтерференції вторинних хвиль.

**Принцип Гюйгенса-Френеля формулюється так:** дифракція виникає внаслідок інтерференції вторинних хвиль.

На основі цього принципу Френель пояснив закони геометричної оптики, а саме: характер прямолінійного поширення світла в однорідному середовищі. Він створив приблизний спосіб розрахунку дифракційної картини, в основу якого поклав поділ хвильової поверхні на зони.

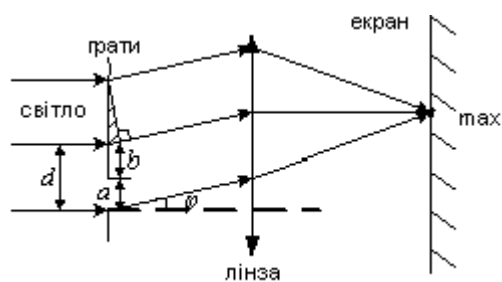
Явище відхилення світла від прямолінійного поширення називається **дифракцією світла**.

Оскільки довжина світлової хвилі є дуже малою, то і розміри перешкод чи щілини мають бути малими. Наприклад, під час проходження монохроматичного світла через круглий отвір, розмір якого сумірний з довжиною падаючих світлових хвиль, на екрані навколо центральної світлової плями спостерігаються темні і світлі кільця, що чергуються.



Якщо таке саме світло проходить через вузьку щілину, то матимемо маку картину, зображену на рис. 6.40. Поява світлих і темних кілець, що чергуються, в ділянці геометричної тіні французький фізик Френель пояснив інтерференцією світлових хвиль, які надходять у результаті дифракції із різних точок отвору в одну точку на екрані.

Особливо чітку дифракційну картину утворюють дифракційні ґратки. Дифракційні ґратки - це сукупність дуже вузьких щілин, розділених непрозорими проміжками (рис. 5).



(рис. 5)

Якщо  $a$  - ширина прозорої частини,  $b$  - непрозорої, то:

$$d = a + b = \frac{l}{N},$$

де  $l$  - ширина ґрат;  $N$  - кількість щілин.

Якщо ці промені зібрати на екрані, наприклад, за допомогою збиральної лінзи, то можна отримати підсилення чи послаблення світла - дифракційний максимум чи мінімум освітленості. Спрямуємо на ґрати паралельний пучок променів. Кожна точка щілини буде відхиляти промені у всіх напрямках, зокрема, і під кутом  $\varphi$ .

Із заштрихованого трикутника отримаємо різницю ходу:

$$\Delta d = d \cdot \sin \varphi$$

Якщо в цю різницю ходу вкладеться ціла кількість довжин хвиль, то на екрані спостерігатиметься дифракційний максимум, а якщо непарна кількість півхвиль, - мінімум.

Таким чином,  $\Delta d = \lambda k$ , то для умови максимуму дифракційної ґратки, отримаємо:

$$d \cdot \sin \varphi = \lambda k$$

де  $k = 1, 2, 3, \dots, n$  (ціле число),  $\lambda$  - довжина падаючої світлової хвилі.

Внаслідок дифракції на дифракційних ґратках білого світла всі головні максимуми, крім центрального нульового максимуму, будуть забарвленими. Зі збільшенням довжини хвилі головні максимуми всередині розміщуються під великим кутами від центрального. *Райдужна полоска, що містить сім кольорів - від фіолетового до червоного (підрахунок ведеться від центрального максимуму), називають **дифракційним спектром**.*

Якщо відомо період ґрат  $d$ , під яким спостерігається максимум і порядок спектра  $k$ , тоді можна визначити довжину світлової хвилі:

$$\lambda = \frac{d}{k} \sin \varphi$$

Вона дорівнює:  $\lambda_{\text{ч}} \approx 8 \cdot 10^{-7}$  м;  $\lambda_{\text{ф}} \approx 4 \cdot 10^{-7}$  м.

Інші кольори мають проміжні значення.

Промисловість виготовляє дифракційні ґратки, які містять 50 штрихів/мм, 100 штрихів/мм, 600 штрихів/мм, 1200 штрихів/мм і дзеркальні ґрати з 6000 штрихів/мм.

### 9. Дисперсія світла

З давніх часів існує повір'я: хто пройде під веселкою, той на все життя залишиться щасливим. Казка це або минуле? Чи можна пройти під райдугою стати ЩАСЛИВИМ? Розібратися в цьому допоможе одне дивовижне фізичне явище - дисперсія.

Явище дисперсії було відкрито І. Ньютоном і вважається однією з найважливіших його заслуг. "Він досліджував відмінність світлових променів і що з'являються при цьому різні властивості кольорів, чого раніше ніхто не підозрював". Близько 300 років тому Ісаак Ньютон пропустив сонячні промені через призму. Він відкрив, що білий колір - це «чудова суміш квітів».

Ісаак Ньютон умовно виділив у спектрі сім основних кольорів.

Порядок розташування кольорів просто запам'ятати по аббревіатурі слів: кожен мисливець бажає знати, де сидить фазан.

Спектральним розкладанням називається розкладання несинусоїдної хвилі (білого світла) на синусоїдальні компоненти (монохроматичні хвилі).

***Дисперсією** називається залежність швидкості світла в речовині від частоти хвилі.*

За рахунок дисперсії відбувається розкладання білого світла (але це відбувається і при інтерференції, дифракції, поляризації). У речовині ж швидкість світла є функція частоти і показник заломлення.

$$n = c / v = f(v)$$

Різними кольорами відповідають хвилі різної довжини. Ніякої певної довжини хвилі білому світу не відповідає.

У речовині швидкість поширення короткохвильового випромінювання менше ніж довгохвильового. Значить показник заломлення  $n$  для фіолетового світла більший, ніж для червоного.

Механізм дисперсії пояснюється наступним чином. Електромагнітна хвиля збуджує в речовині вимушені коливання електронів в атомах і молекулах. Хиткі електрони стають вторинними джерелами електромагнітних хвиль з такою ж частотою, але зі зрушенням фази. Оскільки первинні і вторинні хвилі когерентні, вони інтерферують, і результуюча хвиля поширюється зі швидкістю, відмінною від швидкості світла у вакуумі.

Так як дисперсія виникає внаслідок взаємодії частинок речовини зі світловою хвилею, то це явище пов'язане з поглинанням світла - перетворенням енергії електромагнітної хвилі у внутрішню енергію речовини. Максимальне поглинання енергії виникає при резонансі, коли частота  $\nu$  падаючого світла дорівнює  $\nu$  коливань атомів. Ще раз звертаємо увагу учнів на те, що при переході хвилі з одного середовища в інше змінюються і швидкість, і довжина хвилі, а частота коливань залишається незмінною.

При цьому виникає два ефекти:

1. Різна прозорість речовини для різних ділянок спектра. (Так звичайне скло прозоре для видимого світла і погано пропускає інфрачервоні і ультрафіолетові промені). На цій властивості речовини заснована дія світлофільтрів.

2. Різна відбивна здатність речовини для різних ділянок спектра. На цьому явищі заснована явище кольору тіл. Якщо при денному освітленні тіло здається зеленого кольору, то це значить, що воно добре відображає хвилі зеленого кольору і поглинає інші. Якщо освітить тіло червоним світлом, то воно (тіло) "поглине" його і нічого відображати не буде. Отже, тіло здаватиметься чорним.

Які кольірні відчуття, що сприймаються нашим оком?

Око (сітківка ока) реагує на частоту видимого електромагнітного випромінювання; нервові клітини зорового нерва посилають сигнал в кору головного мозку, де і відбувається остаточне формування сприйманого нами зорового образу. Для формування повного кольірного сприйняття досить три основні кольори, решта (допоміжні) отримують при накладенні цих квітів один на одного.

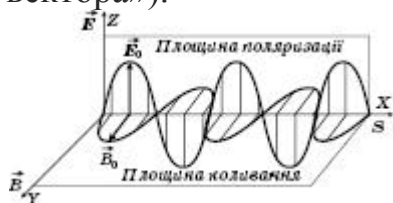
Продовжимо вивчення світлових явищ на прикладі веселки.

Веселку «творять» водяні краплі: у небі - дощинки, на політому асфальті - крапельки, бризки від водяного струменя. Однак не всі знають, як саме заломлення світла на крапельках дощу призводить до виникнення на

небосхилі гігантської багатобарвної дуги. Яскрава веселка, яка виникає після дощів або в бризках водоспаду - це первинна веселка. Кольорові смуги сильно відрізняються по яскравості, але порядок завжди однаковий: всередині дуги завжди знаходиться фіолетова смуга, яка переходить у синю, зелену, жовту, помаранчеву і червону - з зовнішнього боку веселки. Вище першою, в небі, виникає друга менш яскрава дуга, в якій колірні смуги розташовані у зворотному порядку.

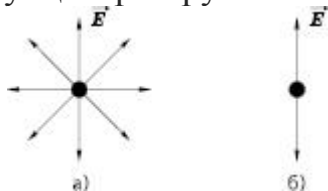
#### 5.10. Поляризація світла

Світлову хвилю графічно зображають двома взаємно перпендикулярними синусоїдами. Цей графік відповідає елементарній хвилі, тобто хвилі, яку випромінював би один збуджений атом в одному акті випромінювання. При цьому вектор  $\vec{E}$  коливається вздовж однієї прямої ( $OZ$ ) у двох напрямках у межах єдиної площини ( $XOZ$ ), а вектор  $\vec{B}$  — уздовж  $OY$  в межах  $XOY$ . У більшості оптичних явищ основну роль відіграє електричне поле світлової хвилі, то ж можна розглядати тільки коливання вектора  $\vec{E}$  («світлового вектора»).



Світловий промінь елементарної (поодинокій) хвилі в принципі поляризований. Але макроджерела світла (реальні джерела) складаються з величезного числа частинок-випромінювачів. Крім того, просторова орієнтація векторів  $\vec{E}$  в різні моменти актів випромінювання окремою частинкою хаотична. Отже, в загальному випромінюванні напрямки  $\vec{E}$  в кожний момент часу випадкові, непередбачувані. Тому природне світло неполяризоване. Його можна перетворити на поляризоване пропусканням через прозорі природні монокристали (такі як ісландський шпат, турмалін) або через штучні поляризатори (поляроїди).

Можна схематично зобразити природний (а) і поляризований (б) промені; у центрі кружечок — слід перетину променя  $OX$  із площиною рисунку:



Явище поляризації світла є одним із доказів поперечності світлової хвилі.

### Домашнє завдання:

#### 1. Відповісти на запитання у робочому зошиті.

1. Яке фізичне явище називається відбиванням світла?
2. Який кут називають кутом заломлення?
3. Наведіть приклади повного внутрішнього відбивання світла.
4. Сформулюйте закон прямолінійного поширення світла.

5. Сформулюйте закон відбивання світла.

6. Сформулюйте закон заломлення світла.

**2. Записати розв'язування задач у робочий зошит.**

1. Кут падіння променя на поверхню рідини дорівнює  $40^\circ$ , а кут заломлення –  $24^\circ$ . Визначити кут заломлення при куті падіння  $80^\circ$ .

Дано:	Розв'язання
$\alpha_1=40^\circ$	Оскільки досліди проведені на одній і тій самій рідині,
$\alpha_2=80^\circ$	$n = \sin \alpha_1 / \sin \beta_1 = \sin \alpha_2 / \sin \beta_2$
$\beta_1=80^\circ$	$\sin \beta_2 = \sin \beta_1 \cdot \sin \alpha_2 / \sin \alpha_1$
$n_1=n_2=n$	$\sin \beta_2 = \sin 80^\circ \cdot \sin 24^\circ / \sin 40^\circ$
$\beta_2 - ?$	$\sin \beta_2 = 0,98 \cdot 0,41 / 0,64 = 0,61$ $\beta_2 = 38^\circ$

Відповідь:  $38^\circ$ .

2. Визначити значення граничного кута при переході світла з алмазу у воду. Показник заломлення води – 1,33, алмаза – 2,42.

Дано:	Розв'язання
$n_1=2,42$	$\sin \alpha_0 = n_2 / n_1$
$n_2=1,33$	Граничний кут $\alpha_0 = \arcsin n_2 / n_1$
$\alpha_0 - ?$	$\alpha_0 = \arcsin 1,33 / 2,42 = \arcsin 0,54 = 33^\circ$

Відповідь:  $33^\circ$ .

3. За допомогою дифракційних ґраток з періодом  $10^{-5}$  м отримано дифракційне зображення першого порядку на відстані 2,7 см від центрального максимуму й 2,2 м – від ґраток. Знайти довжину хвилі світла.

Дано:	Розв'язання
$d=10^{-5}$ м	Формула дифракційної решітки:
$k=1$	$k\lambda = d \sin \varphi$
$h=2,7$ см	Для малих кутів, тобто $\varphi \rightarrow 0$ ,
$l=1,2$ м	$\sin \varphi = \tan \varphi$ , де $\tan \varphi = h/l$ ;
$\lambda - ?$	таким чином,
	$k\lambda = d \frac{h}{l} \Rightarrow \lambda = \frac{hd}{kl}$ ;
	$\lambda = \frac{10^{-5} \text{ м} \cdot 2,7 \cdot 10^{-2} \text{ м}}{1 \cdot 1,2 \text{ м}} = 2,25 \cdot 10^{-7} \text{ м}.$

Відповідь:  $2,25 \cdot 10^{-7}$  м.