

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

**Циклова комісія економіки, соціально-гуманітарних та
фундаментальних дисциплін**

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

**з навчальної дисципліни «Фізика»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти**

**272Авіаційний транспорт
Оператор безпілотних літальних апаратів**

за темою - Фотометрія. Випромінювання і спектри. Рентгенівські промені

Кременчук 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 22.02.2024 №2

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного
коледжу Харківського
національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 17.01.2024 №6

ПОГОДЖЕНО

Секцією науково-методичної ради
ХНУВС з гуманітарних та соціально-
економічних дисциплін
Протокол від 22.02.2024 №2

Розглянуто на засіданні циклової комісії економіки, соціально-гуманітарних та фундаментальних дисциплін, протокол від 05.01.2024 №14

Розробник:

Викладач циклової комісії економіки, соціально-гуманітарних та фундаментальних дисциплін, Пузир М.С.

Рецензенти:

1.Доцент кафедри автомобілів та тракторів Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, кандидат технічних наук, доцент Черниш А.А.

2.Начальник відділу організації наукової роботи та гендерних питань КЛК ХНУВС, к.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Владов С.І.

План лекції

1. Дисперсія світла.
2. Неперервний спектр світла.
3. Природне і поляризоване світло.

Рекомендована література:

Основна

1. Дмитрієва В. Ф. Фізика: навчальний посібник / В. Ф. Дмитрієва. – К.: Техніка, 2008. – 608 с.

Додаткова

2. Курс фізики : навчальний посібник / [Зачек І. Р., Кравчук І. М., Романишин Б. М., Габа В. М., Гончар Ф. М.]. – Львів : Видавництво «Бескид Біт», 2002. – 376 с.

3. Волков О. Ф. Курс фізики ; у 2-х т. – Т.1: Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика і термодинаміка. Електростатика. Постійний струм. Електромагнетизм : навчальний посібник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів / О. Ф. Волков, Т. П. Лумпієва. – Донецьк : ДонНТУ, 2009. – 224 с.

4. Волков О. Ф. Курс фізики ; у 2-х т. – Т.2: Коливання і хвилі. Хвильова і квантова оптика. Елементи квантової механіки. Основи фізики твердого тіла. Елементи фізики атомного ядра : навчальний посібник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів / О. Ф. Волков, Т. П. Лумпієва. – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – 208 с.

5. Збірник задач з фізики : навчальний посібник / [Лопатинський І. Є., Зачек І. Р., Серeda В. М., Крушельницька Т. Д., Українець Н. А.]. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2003. – 124с.

Текст лекції

1.Явище дисперсії світла.



Якщо в темній кімнаті скляну призму освітити пучком світла від лампи розжарювання, то, придивившись, можна побачити, що у склі на межі з повітрям пучок білого світла розщепився на декілька кольорових пучків (мал.). Це явище вперше досліджував Ісаак Ньютон у 1666 р. й назвав його *дисперсією* (від лат. *dispergo* — розкидаю), а кольорову гаму — *спектром* (від лат. *spectrum* — марево). Замість скла можна використовувати лід, органічне скло та інші прозорі для світла матеріали. Що більший показник заломлення матеріалу, то яскравіше виражене явище дисперсії. Середовища, у яких спостерігається явище дисперсії, називають *диспергуючими*.

З'ясуємо, у чому суть явища дисперсії. У вакуумі всі світлові хвилі, так само як і електромагнітні хвилі інших діапазонів довжин хвиль (частот), поширюються з однаковою швидкістю

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Під час перетину межі поділу середовищ швидкість електромагнітної хвилі змінюється, унаслідок чого відбувається її заломлення. Причому *кожна монохроматична хвиля має свою певну швидкість поширення в середовищі*. Пояснення цього дає теорія дисперсії Гендріка Лоренца на основі електромагнітної теорії світла й електронної будови речовини. Під час проходження електромагнітної хвилі крізь діелектрик на кожний електрон діє електрична сила, під дією якої вони здійснюють коливання. Коливання електронів є джерелом вторинних хвиль, які накладаються на первинні хвилі. Вторинні хвилі внаслідок інерції електронів дещо запізнюються в часі і, накладаючись на первинні хвилі, дають результуючі хвилі з відставанням за фазою порівняно з первинними. Зсув фаз між первинною та результуючою хвилями залежить від частоти коливань напруженості електромагнітного поля E , тобто світло різних довжин хвиль (частот) матиме різні швидкості поширення в речовині, а отже, і різні значення показника заломлення, оскільки показник заломлення визначається як

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

Із закону заломлення світла

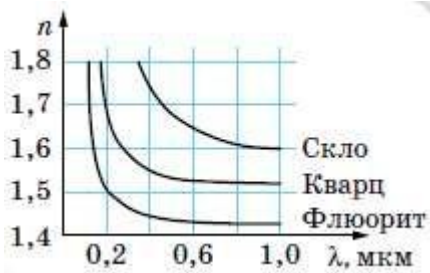
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{c}{v}$$

випливає, що

$$\sin \gamma = \frac{v \sin \alpha}{c}$$

Оскільки швидкість поширення світла v в середовищі для кожної монохроматичної хвилі має своє певне значення, то для кожної монохроматичної хвилі $\sin \gamma$ і відповідно кут заломлення γ також набуватимуть певного значення. Нині термін «дисперсія», який спочатку було введено для пояснення розкладання білого світла в спектр, має ширший зміст. У теорії хвиль термін «*дисперсія хвиль*» означає залежність фазової швидкості гармонічної хвилі від частоти (довжини) хвилі та, як наслідок, зміну форми довільних (негармонічних) збурень у процесі їх поширення.

Під *дисперсією світла* розуміють сукупність оптичних явищ, зумовлених залежністю діелектричної проникності речовини (а відповідно, і показника заломлення) від частоти (довжини) світлової хвилі. Оскільки колір світла визначається частотою світлової хвилі, то вживають і таке визначення: *дисперсія світла* — це залежність показника заломлення світла (а отже, і швидкості) від його кольору. Як правило, показник заломлення світла зростає зі збільшенням частоти світла (*нормальна дисперсія*). Проте поблизу смуг поглинання світла речовиною спостерігається обернене явище, так звана *аномальна дисперсія*, коли зі збільшенням частоти світла (зменшенням довжини хвилі) показник заломлення світла зменшується.



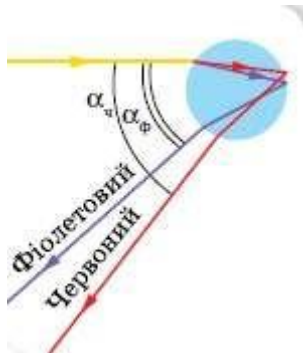
блакитної та червоної ($n_{\text{бл}} - n_{\text{чер}}$).

Графічну залежність показника заломлення від довжини хвилі для деяких речовин наведено на малюнку.

З графіків видно, що залежність $n = f(\lambda)$ має нелінійний характер і зі збільшенням довжини хвилі показник заломлення зменшується. Короткі хвилі заломлюються сильніше, ніж довгі. Іншими словами, червоний колір у речовині поширюється з найбільшою швидкістю, тому менше заломлюється, а промінь фіолетового кольору поширюється з найменшою швидкістю і найбільше заломлюється.

2 Неперервний спектр світла.

Світло Сонця, лампи розжарювання, свічки розкладається призмою в суцільний (неперервний) спектр. Це свідчить про те, що ці тіла випромінюють хвилі всіх можливих частот (довжин) хвиль. З кривої дисперсії для скла (мал.) видно, що в області коротких хвиль показник заломлення скла зі зміною довжини



хвилі змінюється швидко, а в області довгих хвиль — повільно. Тому дисперсійний спектр білого світла стиснутий у червоній частині й розтягнутий у фіолетовій. Як відомо, дифракційна ґратка також розкладає біле світло у спектр, але утворений нею спектр, окрім кольорових смужок, має ще й чорні. До того ж дифракційний спектр відрізняється від дисперсійного ще й тим, що в ньому кольори розміщуються в порядку зростання довжин хвиль, і він рівномірно розтягнутий на всіх своїх ділянках.

Розкладанням білого світла на кольори внаслідок заломлення пояснюється виникнення веселки.

Веселку видно тоді, коли спостерігач дивиться в напрямку від Сонця і в повітрі є краплі води (мал.). Для певного кута падіння променів на краплю на межі вода—повітря всередині краплі відбувається повне відбивання. Оскільки фіолетові промені заломлюються більше, ніж червоні, після виходу з краплі вони розбігаються: червоні промені утворюють з падаючим променем кут близько 43° , а фіолетові — близько 41° .

Колір.

Знаючи, що біле світло має складну структуру, можна пояснити велику різноманітність кольорів у природі. Якщо предмет, наприклад, аркуш паперу, відбиває всі промені різних кольорів, то він здаватиметься для деяких речовин білим. Трава й листя дерев здаються нам зеленими тому, що з усіх падаючих на них сонячних променів вони відбивають лише зелені, поглинаючи решту.

Якщо подивитись на траву крізь червоне скло, яке «пропускає» тільки

червоні промені, то трава здаватиметься майже чорною.

Відчуття того чи того кольору, яке виникає в очах спостерігача, залежить від частоти світлової хвилі, а не від її довжини. Унаслідок того, що під час переходу електромагнітної хвилі з одного середовища в інше її частота лишається незмінною, колір, який сприймається людиною в повітрі та, наприклад, у воді, буде однаковим.

3 Природне і поляризоване світло.

Дослідимо ще одну властивість світлових хвиль — їх поляризацію. З дослідів Герца встановлено, що електромагнітні хвилі поперечні. Коливання зарядів у передавальній антені відбуваються вздовж її осі. Унаслідок цього в електромагнітній хвилі вектор напруженості електричного поля розташований у тій же площині, що й вісь антени, а вектор індукції магнітного поля — у перпендикулярній площині. Напрямок векторів E і B залишається незмінним протягом усього часу поширення хвилі.

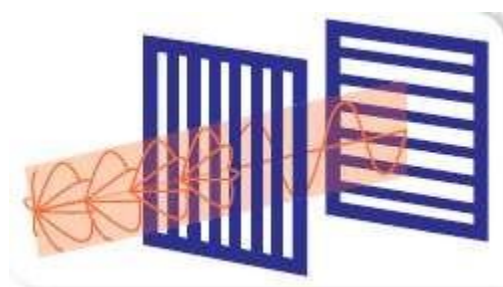
Хвилю, вектори \vec{E} і \vec{B} якої у процесі її поширення здійснюють коливання в певній площині, називають плоскополяризованою.

Світло — також електромагнітна хвиля, тому можна очікувати на поляризацію і світлової хвилі. Ураховуючи те, що у взаємодії світлової хвилі з речовиною вирішальну роль відіграє вектор напруженості електричного поля, а також для спрощення зображення світлової хвилі на малюнках надалі ми будемо говорити про коливання лише вектора напруженості. Оскільки світло випромінюють атоми, кількість яких у речовині величезна, то зрозуміло, що таке світло не буде поляризованим (коливання вектора E здійснюються в усіх можливих напрямках у площині, перпендикулярній до напрямку поширення хвилі). Проте бувають випадки, коли світлова хвиля буде поляризованою (чи частково поляризованою).

Поляризація світла — стан світлової хвилі, за якого певні напрямки коливань електричного вектора \vec{E} переважають над іншими.

Методи отримання поляризованого світла.

Метод поляризації природного світла можна зрозуміти з такого досліду з



механічними хвилями (мал.). Поставимо на шляху неполяризованої хвилі пластину з паралельними щілинами. З коливань різних напрямків пластина виділить коливання в одній певній площині — хвиля буде поляризованою. Якщо на її шляху поставити ще одну таку само пластину, але повернуту відносно першої на 90° , то коливання крізь неї не пройдуть. Хвиля

повністю погаситься. Для поляризації світла використовують спеціальні пристрої з асиметрією оптичних властивостей. Зокрема, існують природні та штучні кристали, які мають оптичну анізотропію — неоднорідність оптичних властивостей у різних напрямках. Проходячи крізь такі кристали, світло поляризується.

Поляризатором називають пристрій, який перетворює природне світло на поляризоване.

Аналізатором називають пристрій, яким визначають, поляризована хвиля, що крізь нього проходить, чи ні.

Прикладом поляризатора (аналізатора) може бути природний кристал турмаліну, значення показника заломлення якого в різних напрямках різне. Завдяки цьому він поглинає випромінювання з коливаннями вектора E одного певного напрямку, а випромінювання з коливаннями в перпендикулярному напрямку майже не поглинає. Цю властивість кристалів називають *дихроїзмом*.

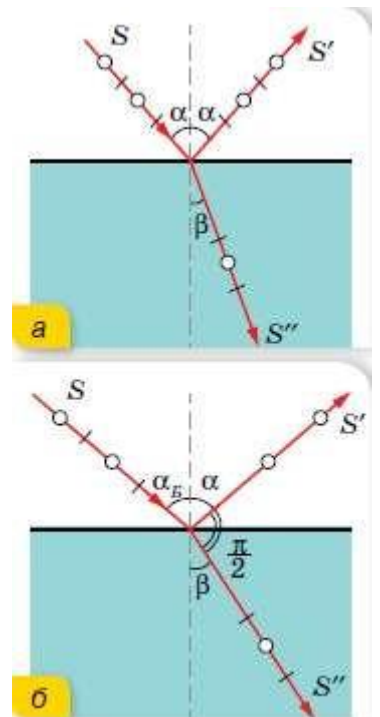
Дібравши таку товщину турмалінової пластинки, за якої коливання одного напрямку цілком поглинаються в ній, дістають повністю поляризований промінь. Якщо пластинка буде тоншою, то у хвилі залишаються коливання у взаємно перпендикулярних напрямках, але амплітуда коливань в одному з них буде більшою. Таку хвилю називають *частково поляризованою*.

Різко виражений дихроїзм було виявлено в дуже маленьких кристаликів сульфату йодистого хініну. Під час виготовлення поляризатора целулоїдну плівку покривають тонким шаром таких кристаликів, відповідно зорієнтувавши їх. Зовні цю плівку накривають склом і дістають поляризатор з великою поверхнею. Такі поляризатори називають *поляроїдами*. (Поляроїди винайшов у 1929 р. Едвін Ленд.) Такий поляроїд діє як набір паралельних щілин і майже без втрат пропускає світло однієї поляризації.

Поляризація внаслідок відбиття й заломлення світла. Кут Брюстера.

Отримати поляризоване світло з неполяризованого можна ще одним способом — відбиванням і заломленням. Коли світло падає на поверхню прозорої речовини (наприклад, води) під довільним кутом, крім прямого, відбитий промінь виявляється плоскополяризованим переважно паралельно відбивній поверхні. Це добре знають рибалки, які використовують поляроїдні окуляри, щоб уникнути відблисків води. Вивчення цього явища показало, що в прозорих речовинах заломлений промінь завжди поляризується тільки частково, а для відбитого променя є один напрямок, у якому він поляризується повністю. На малюнку схематично зображено промінь, який падає на межу поділу повітря й рідини під кутом α . У відбитому промені більше коливань, паралельних поверхні поділу (зображено кружечками), а в заломленому промені — перпендикулярних до них коливань (зображено рисочками). Ступінь поляризації

цих променів залежить від кута падіння й показника заломлення. Установлено, що відбитий промінь повністю поляризується тоді, коли кут між відбитим і заломленим променями дорівнює 90° . Позначивши у такому випадку кут падіння



α_B , запишемо закон заломлення світла:

$$\frac{\sin \alpha_B}{\sin \left(\frac{\pi}{2} - \alpha_B \right)} = \frac{\sin \alpha_B}{\cos \alpha_B} = \operatorname{tg} \alpha_B = n.$$

Співвідношення $\operatorname{tg} \alpha_B = n$ називають *законом Брюстера*, або умовою повної поляризації.

Поляризація відбитої хвилі з довільним кутом падіння (а) і при падінні під кутом Брюстера (б)

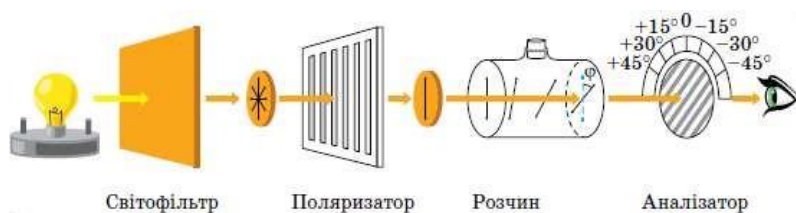
Використання поляризованого світла.

Під час фотографування великих гладеньких поверхонь (наприклад, води) з'являються так звані відблиски — дзеркально відбиті світлові пучки, які істотно погіршують якість зображення. Щоб позбутися цих відблисків, на об'єктив фотоапарата надівають спеціальні фільтри. Оскільки відбите світло завжди частково або повністю поляризоване, то, повертаючи поляризаційний фільтр, можна встановити таке положення, за якого світло відблисків не потраплятиме в об'єктив фотоапарата. Установлено також, що під час проходження плоскополяризованого світла крізь деякі розчини площина його поляризації повертається.

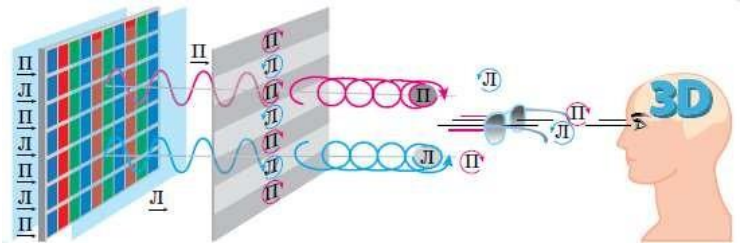
Наприклад, на малюнку світло проходить крізь поляризатор, а потім — крізь розчин цукру в кюветі.

Полярізатор за кюветою, розташований під кутом 90° до поляризатора, мав повністю загасити світло, але цього не відбулося. Проте якщо аналізатор повернути ще на деякий кут ϕ , — світло гаситься. Це означає, що розчин у кюветі повертає на кут ϕ площину поляризації. Такі речовини називають оптично активними.

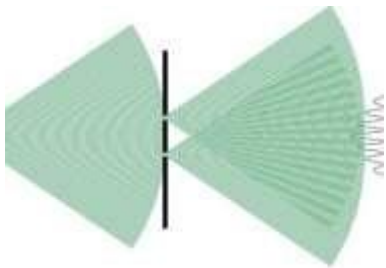
Оптична активність речовин зумовлена асиметрією молекул, які мають форму спіралі, як, наприклад, молекули деяких білків. Деякі речовини (цукор, декстроза, *D*-глюкоза) повертають площину поляризації праворуч, а деякі речовини (амінокислоти, білки) — ліворуч. Кут повороту ϕ пропорційний концентрації розчину. Тому цю властивість використовують для виготовлення спеціальних пристроїв — цукрометрів, за допомогою яких визначають вміст цукру. Спеціальні поляризаційні окуляри використовують під час перегляду стереофільмів у кінотеатрах. Отримати зображення у 3D-форматі можна й на домашньому комп'ютері за допомогою відповідних екранів. Вивчаючи властивості рідкокристалічних екранів, ми зазначали, що їм притаманна певна властивість, зумовлена самою технологією отримання зображення, — вони дають поляризоване світло.



Завдяки цьому, використовуючи тонкі смужки плівочок-поляризаторів, можна створювати парні та непарні ряди пікселів, що мають різний напрямок поляризації. Лінзи окулярів є поляризаторами, у яких площини поляризації повернуті так, що крізь одну лінзу видно парні ряди, а крізь іншу — непарні. Таким чином створюють зображення, які видно окремо лівим оком і правим оком. Мозок людини зіставляє два зображення й «бачить» його об'ємним.



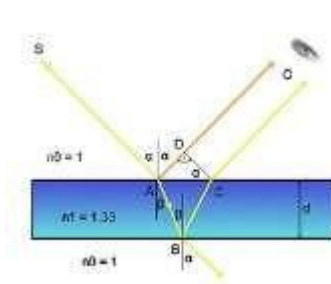
Узагальнення:



Інтерференція світла — перерозподіл інтенсивності світла в результаті накладення (суперпозиції) декількох когерентних світлових хвиль. Це явище супроводжується чергуванням в просторі максимумів і мінімумів інтенсивності. Її розподіл називається інтерференційною картиною.

Інтерференція світла в тонких плівках

Так, інтерференція виникає при початкового променю світла на два його проходженні через тонку плівку, плівку, що наносять на поверхню лінз у просвітлених об'єктивах. Промінь проходячи через плівку товщиною d , двічі — від внутрішньої та зовнішньої її. Відбиті промені матимуть постійну різницю фаз, що дорівнює подвоєній товщині плівки, від чого промені стають когерентними і будуть інтерферувати.



розділенні промені при наприклад світла, відіб'ється поверхонь.

Повне гасіння променів станеться при

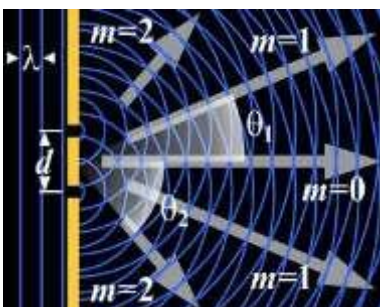
$$d = \frac{\lambda}{4}, \text{ де } \lambda — \text{довжина хвилі}$$

$$\Delta L = L_2 - L_1 = k\lambda — \text{умова максимуму};$$

$$\Delta L = L_2 - L_1 = (2k + 1) * \lambda/2 — \text{умова мінімуму}$$

де $k=0,1,2,\dots$ і $L_{1,2}$ — оптична довжина шляху першого й другого променів.

Явище інтерференції спостерігається в тонкому шарі незмішуваних рідин (гасі або олії на поверхні води), в мильних бульбашках, бензині, на крилах метеликів, в кольорах мінливості тощо.

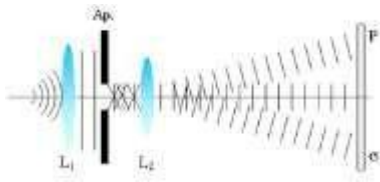


Дифракція — явище, що виникає при поширенні хвиль (наприклад, світлових і звукових хвиль). Суть цього явища полягає в тому, що хвиля здатна оминати перешкоди. Це зумовлює те, що хвильовий рух спостерігається в області за перешкодою, куди хвиля не може потрапити прямо. Явище пояснюється інтерференцією хвиль на краях непрозорих об'єктів або

неоднорідностях між різними середовищами на шляху поширення хвилі. Прикладом може бути виникнення кольорових світлових смуг в області тіні від краю непрозорого екрану.

Дифракція добре проявляється тоді, коли розмір перешкоди на шляху хвилі порівняний з її довжиною або менший.

Дифракція акустична — відхилення від прямолінійного поширення звукових хвиль.



Дифракція на щілині

У випадку, коли хвиля падає на екран зі щілиною, вона проникає за перешкоду завдяки дифракції, проте спостерігається відхилення від прямолінійного розповсюдження хвиль. Інтерференція хвиль за екраном призводить до виникнення темних та світлих областей, розташування яких залежить від напрямку, в якому ведеться спостереження, віддалі від екрана тощо.

Дифракція світла

Явище хімічна дифракції світла наглядно підтверджує теорію корпускулярно-хвильової природи світла.

Спостерігати дифракцію світла важко, оскільки хвилі відхиляються від перешкод на помітні кути лише за умови, що розміри перешкод приблизно дорівнюють довжині хвилі світла, 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 Огюстена Френеля, який і побудував теорію дифракції, що в принципі дозволяє розраховувати дифракційну картину, яка виникає внаслідок огинання світлом будь-яких перешкод. Таких успіхів Френель досягнув, об'єднавши принцип Гюйгенса з ідеєю інтерференції вторинних хвиль. Принцип Гюйгенса формулюється так: дифракція виникає внаслідок інтерференції вторинних хвиль.

Дифракційна ґратка — оптичний елемент із періодичною структурою, здатний впливати на поширення світлових хвиль так, що енергія хвилі, яка пройшла через ґратку, зосереджується в певних напрямках. Напрямки поширення цих пучків залежать від періоду ґратки та довжини світлових хвиль, тобто дифракційна ґратка працює як дисперсійний елемент. Монохроматичний світловий пучок, що падає на ґратку, теж розділиться на декілька пучків, які поширюються в різних напрямках. Дифракційні ґратки широко застосовуються у монохроматорах і спектрометрах.



Напрямки поширення дифрагованих хвиль, на яких відбувається їх конструктивна інтерференція, називають **дифракційними максимумами**. Таких максимумів зазвичай кілька, їх позначають цілими числами, які називаються **порядком дифракції** (m). Кількість дифракційних максимумів і напрямки їх поширення залежать від періоду ґратки та довжини хвилі світла й можуть бути визначені за допомогою *рівняння дифракційної ґратки*:

$$d(\sin \theta_m(\lambda) + \sin \theta_i) = m\lambda, \text{ де}$$

θ_i — кут падіння світлового пучка на ґратку,

$\theta_m(\lambda)$ — кут дифракції для пучка m -го порядку,

λ — довжина хвилі світла,

d — період ґратки,

m — порядок дифракції.

Із цього рівняння випливає, що кут дифракції залежить від довжини хвилі світла. Отже, якщо на ґратку падатиме біле світло, то воно розкладатиметься ґраткою у спектр.

Дисперсія світла — залежність показника заломлення (або діелектричної проникності) середовища від частоти світла. Внаслідок зміни показника заломлення змінюється також довжина хвилі.

$$k(\omega) = \frac{2\pi}{\lambda(\omega)} = n(\omega) \frac{\omega}{c}$$

де $k(\omega)$ — хвильове число, $\lambda(\omega)$ — довжина хвилі, $n(\omega)$ — показник заломлення
 ω — циклічна частота, c — швидкість світла

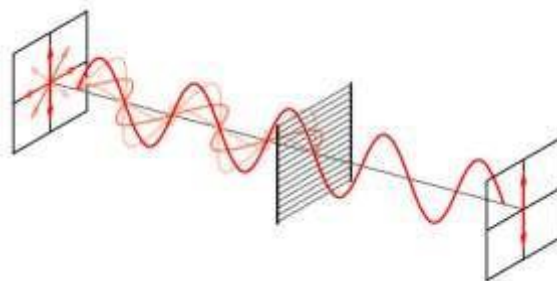
$$v_{ph} = \frac{\omega}{k} = \frac{c}{n}$$

називають **фазовою швидкістю**

Завдяки дисперсії біле світло можна розкласти в спектр за допомогою призми.

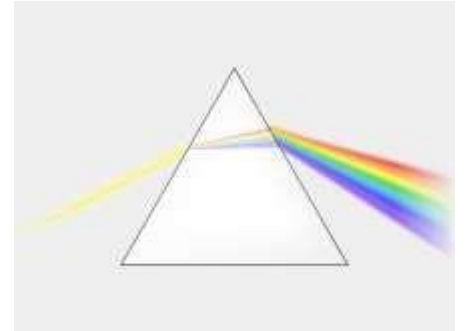
Здебільшого показник заломлення зростає зі збільшенням частоти. Таке зростання називають нормальною дисперсією. При нормальній дисперсії червоне світло заломлюється слабше, ніж блакитне.

Аномальна дисперсія — зменшення показника заломлення зі збільшенням частоти — спостерігається на частотах, що близькі до смуг інтенсивного поглинання.



Поляризація електромагнітної хвилі або поляризація світла — просторова орієнтація електричної складової частини електромагнітної хвилі — вектора напруженості електричного поля.

1. Характеристика, що відбиває спосіб, в який кінцева точка електричного вектора променя поляризованого світла рухається вздовж напрямку поширення світла. Якщо вона рухається по прямій лінії — світло лінійно поляризоване, якщо по колу — має кругову поляризацію, якщо по еліпсу — має еліптичну поляризацію.



2. Явище поляризації хвиль електромагнітного випромінення оптичного діапазону, яке полягає в тому, що вектори напруженостей електричного й магнітного полів у електромагнітній хвилі в різних напрямках, які лежать у площині, перпендикулярній до напрямку розповсюдження хвилі (осі X), є різними.

Електромагнітна хвиля в порожнечі завжди поперечна, тобто вектор напруженості електричного поля перпендикулярний до напрямку поширення хвилі. Однак при цьому залишаються ще дві незалежні, відмінні можливості орієнтації напруженості. Що більше, цей вектор може змінювати свою орієнтацію з плином часу.

Електромагнітні хвилі, залежно від виду поляризації, поділяють на:

1. неполяризовані
2. лінійно поляризовані
3. циклічно поляризовані
4. еліптично поляризовані

У явищі падіння хвилі на плоску поверхню розділу двох середовищ зручно виділити s-поляризацію й p-поляризацію.