

План уроку 108

Тема: Коливальні хвилі

Тема уроку: Інтерференція світла, дифракція світлових хвиль.

Інтерференція світла – просторовий перерозподіл енергії світлового випромінювання при накладанні двох або декількох світлових хвиль. Правильне фізичне тлумачення інтерференції світла, як хвильового явища, дав французький фізик О. Ж. Френель і англійський вчений Т. Юнг. Найчастіше спостерігається стаціонарна інтерференція світла, при регулярному чергуванні ділянок підвищеної і зниженої інтенсивності світла (наприклад, кільця Ньютона). До явищ інтерференції світла відносяться світлові биття, явища кореляції інтенсивності.

Стаціонарна інтерференція світла виникає при наявності постійної різниці фаз хвиль, які накладаються. Вимога когерентності накладає обмеження на кутові розміри джерела і на ширину спектра випромінювання. В досліді Юнга, в якому мале джерело з лінійним розміром випромінюваної поверхні S освітлює дві вузькі щілини, когерентність забезпечується умовою [1.1, 1.12]:

$$S \leq \frac{\lambda R}{d}, \quad (1.42)$$

де λ – середня довжина хвилі світла, R – відстань від джерела до екрана зі щілинами,

d – відстань між щілинами.

Когерентність також залежить від різниці ходу δ інтерферуючих променів, яка є порядком інтерференції і виражається в довжинах світлових хвиль. Із зростанням δ когерентність і контрастність інтерференційної картини зникає тим швидше, чим ширший спектр $\Delta\lambda$ світла. Максимальне значення різниці ходу, при якому видно інтерференційну картину, дорівнює порядку $(\Delta\lambda)^{-1}$. У білому світлі спостерігається інтерференційна картина самих низьких порядків (1 - 2 - 20) [1.1].

Розрізняють двопроменеву і багатопроменеву інтерференцію світла. В першому випадку світло в кожную точку інтерференційної картини приходить від загального джерела по двох шляхах, при цьому розподіл інтенсивності на інтерференційній картині є гармонійною функцією

$$\cos^2 \frac{2\pi\delta}{\lambda}.$$

Багатопроменева інтерференція світла виникає при накладанні множини когерентних хвиль, отриманих діленням вхідного хвильового фронту за допомогою багатократного відбиття (в інтерферометрі Фабрі-Перо) або дифракцією на багатoelementних періодичних структурах.

При багатопроменевій інтерференції світла інтенсивність інтерференційної картини є періодичною, але не гармонійною функцією δ (рисунок 1.9) [1.1].

Інтерференція світла широко використовується при спектральному аналізі для точного вимірювання відстаней і кутів, в рефрактометрії, в задачах контролю якості поверхонь, т. і. На явищах інтерференції світла ґрунтується голографія.

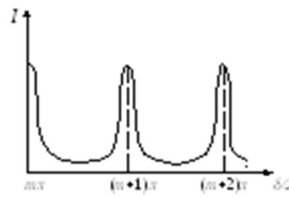


Рисунок 1.9 – Залежність інтенсивності в інтерференційній картині інтерферометра

Фабрі-Перо від різниці ходу δ

Дифракція світла – це явище огинання променями світла контуру непрозорих тіл і проникнення світла в ділянку геометричної тіні. В природніх умовах дифракція світла спостерігається у вигляді нерізкої, розмитої межі тіні предмета, освітленого віддаленим джерелом. Найбільш контрастна дифракція світла в просторових ділянках, де густина потоку променів підлягає різкій зміні. Перша кількісна теорія дифракції світла була розвинута французьким фізиком О.Френелем (1816 р.), який пояснив її як результат інтерференції вторинних хвиль. Метод полягає у розбитті фронту падаючої хвилі, обрізаного краями екрана, на зони Френеля. Якщо отвір в екрані залишає відкритим парне число зон, то в центрі дифракційної картини виходить темна пляма, при непарному числі зон – світла (рисунок 1.10) [1.1].

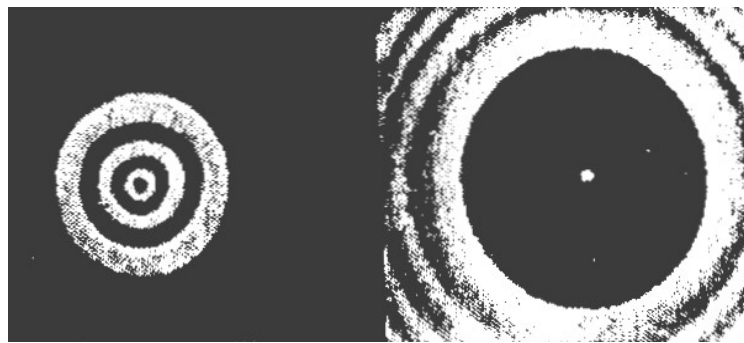


Рисунок 1.10 – Дифракція кільця при проходженні світла: зліва – через круглий отвір, в якому вкладається парне число зон; справа – навколо круглого екрану

У центрі тіні від круглого екрана, який закриває не дуже велике число зон Френеля, виходить світла пляма. Величини вкладів зон у світлове поле в точці спостереження пропорційні площам зон і повільно зникають із зростанням номера зони. Сусідні зони вносять вклади з протилежними знаками, оскільки фази випромінюваних ними хвиль протилежні.

Результати теорії О. Френеля довели хвильову природу світла і стали основою теорії зонних пластинок. Розрізняють два види дифракції світла: дифракція Френеля і дифракція Фраунгофера залежно від співвідношення між розмірами тіла b , на якому відбувається дифракція, й величиною зони Френеля $\sqrt{z\lambda}$ (z – відстань до точки спостереження). Метод Френеля ефективний лише тоді, коли розмір отвору порівнюваний з розміром зони

Френеля: $b \sim \sqrt{z\lambda}$ (дифракція у збіжних променях). У цьому випадку невелика кількість зон, на які розбивається сферична хвиля в отворі, визначає дифракцію світла. Якщо отвір в екрані менший за зону Френеля ($b \ll \sqrt{z\lambda}$, дифракція Фраунгофера), то можна нехтувати кривизною фронту хвилі і картину дифракції характеризувати кутовим розподілом інтенсивності потоку. При цьому падаючий паралельний пучок світла на отвір розходить з

кутом розхідності $\phi \sim \frac{\lambda}{b}$. При освітленні щілини паралельним монохроматичним пучком світла на екрані спостерігається ряд темних і світлих смуг, які швидко зникають за інтенсивністю. Якщо світло падає перпендикулярно до площини щілини, то смуги розташовані симетрично відносно центральної смуги, а освітленість змінюється вздовж

екрану періодично зі зміною ϕ , дорівнюючи нулю при ϕ , для яких $\sin \phi = \frac{m\lambda}{b}$ ($m = 1, 2, 3, \dots$) (рисунок 1.11) [1.1].

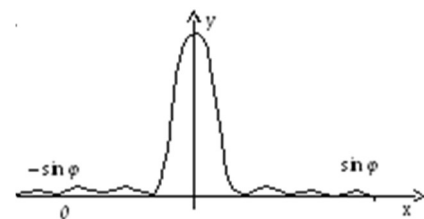


Рисунок 1.11 – Дифракція Фраунгофера на щілині

Дифракційні явища виникають не тільки на різких межах тіл, але й тривалих системах. Така об’ємна дифракція світла обумовлюється неоднорідностями діелектричної проникливості середовища. Зокрема, об’ємна дифракція світла відбувається при дифракції світла та ультразвуці (при розповсюдженні світла у середовищі, в якому присутня ультразвукова хвиля, відбувається дифракція світла)

Поляризація світла – фізична характеристика оптичного випромінювання, яка описує поперечну анізотропію світлових хвиль, тобто нееквівалентність різних напрямків в площині, перпендикулярній до світлового променя. Вперше поняття “поляризація світла” було введено в оптику англійським вченим І. Ньютоном (1704 – 1706 рр.). Суттєве значення для розуміння поляризації світла мав її прояв в ефектах інтерференції світла. Природне пояснення поляризації світла знайшла в електромагнітній теорії світла англійського фізика Дж. К. Максвелла (1865 – 1873 рр.).

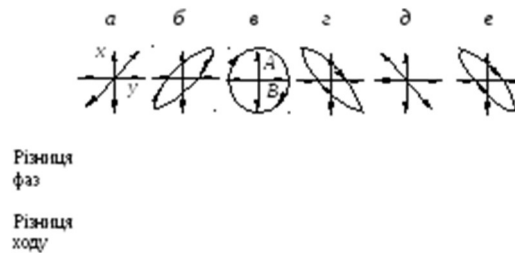
Поперечність електромагнітних хвиль позбавляє хвилю осової симетрії відносно напрямку розповсюдження із-за наявності виділених напрямків (вектора E – напруженості електричного поля і вектор H – напруженості магнітного поля) у площині, яка перпендикулярна напрямку розповсюдження. Оскільки вектори E і H електромагнітної хвилі перпендикулярні один одному, для повного опису стану поляризації світлового пучка потрібно знати поведінку одного з них. Зазвичай вибирають вектор E .

Світло, випромінюване будь-яким окремо взятим випромінювачем (атомом, молекулою), в кожному акті випромінювання завжди поляризоване. Але макроскопічні джерела світла складаються із великої кількості таких частинок-випромінювачів і просторові орієнтації

векторів E і моменти актів випромінювання світла окремими частинками в більшості розподілені хаотично. Тому, в загальному випромінюванні напрямок E в кожний момент часу є непередбачуваним. Таке випромінювання називається неполяризованим (або природнім) світлом.

Світло називається повністю поляризованим, якщо два взаємно перпендикулярні компоненти вектор E світлового пучка здійснюють коливання з постійною в часі різницею фаз.

Поляризація світла зображається у вигляді еліпса поляризації – проекції траєкторії кінця вектор E на площину, перпендикулярну променю (рисунок 1.12) [1.12].



a, d – лінійні поляризації; v – кругова поляризація; b, g, e – еліптичні поляризації.

Рисунок 1.12 – Приклади різних поляризація світлового променю при різних різницях фаз між взаємно перпендикулярними компонентами E_x і E_y . Площина рисунків перпендикулярна напрямку розповсюдження світла

Проекційна картина повністю поляризованого світла у загальному випадку має вигляд еліпса з правим або лівим напрямком обертання вектор E у часі (рисунок 1.12 b, g, e). Таке світло називається еліптично поляризованим. При лінійній поляризації (рисунок 1.12 a, d) еліпс поляризації вироджується у відрізок прямої лінії, який визначає положення площини поляризації. Циркулярна (кругова) поляризація – еліпс стає колом (рисунок 1.12 v). У першому випадку світло називається площинно або лінійно-поляризованим, у другому – право- або ліво-циркулярно-поляризованим, залежно від напрямку обертання вектор E .

Особливості взаємодії поляризованого світла з речовиною знайшли застосування в наукових дослідженнях кристал хімічної і магнітної структури твердих тіл, оптичних властивостей кристалів, структури біологічних об'єктів, отримання інформації про важкодоступні об'єкти [1.12].