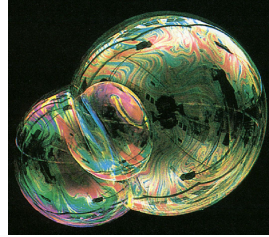


Лекція 6

Хвильова оптика. Інтерференція хвиль.

Інтерференція хвиль



Приклади спостереження явища інтерференції світла на природних об'єктах. Забарвлення крил метеликів жуків та птахів пояснюється не наявністю пігменту, а оптичними явищами, що відбуваються під час відбивання світла. Кольори мінливості на лезі для гоління, ймовірно, зумовлені окисненням поверхні леза внаслідок нагрівання

Інтерференція хвиль

Інтерференцією світла називається перерозподіл інтенсивності світла в просторі внаслідок накладання двох або кількох когерентних хвиль, в результаті чого в одних місцях виникають максимуми, а в інших мінімуми інтенсивності.

Хвилі називаються **когерентними**, якщо вони мають однакову частоту коливання і в точках накладання – сталу різницю фаз.

Умову когерентності задовольняють *монохроматичні хвилі* – хвилі однієї строго визначеної частоти і сталої амплітуди.

Просторово-когерентними називаються два джерела, розміри і взаємне розміщення яких при необхідному ступені монохроматичності світла дозволяють спостерігати інтерференційні смуги.

Довжиною просторової когерентності або радіусом когерентності називається відстань між двома точками перпендикулярної до напрямку поширення хвилі поверхні, між якими випадкова зміна різниці фаз досягає значення π .

Дослід Юнга



ЮНГ Томас (1773–1829)

Англійський фізик, один із творців хвильової оптики. Вивчав медицину, зоологію, математику, філологію (намагався розшифрувати тексти Розетського каменю), геофізику, керував виданням “Морського календаря”.

Найфундаментальніші праці виконав з фізики, зокрема з оптики та акустики. 1801 р. першим виявив явище інтерференції світла, пояснив природу кілець Ньютона. Розвинув теорію трьохкомпонентного кольорового зору. Виміряв довжини хвиль світла різних кольорів. Висунув ідею поперечності світлових хвиль (1817 р.).

Досліджував деформацію зсуву твердих тіл, увів поняття модуля пружності (модуль Юнга) та термін “енергія”.

Дослід Юнга

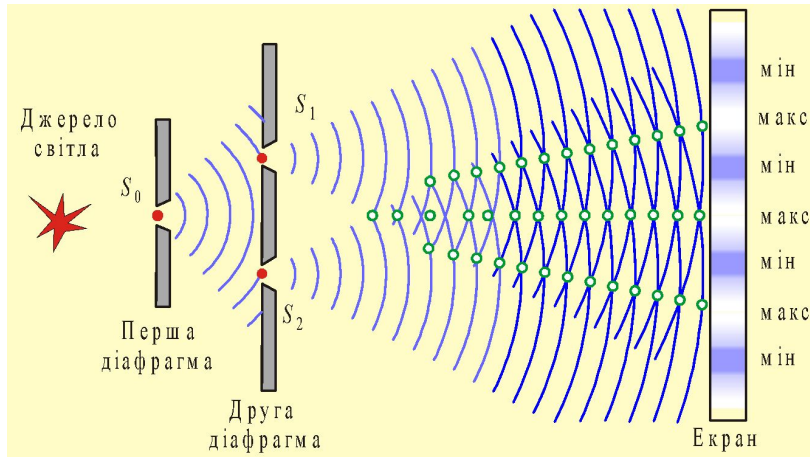
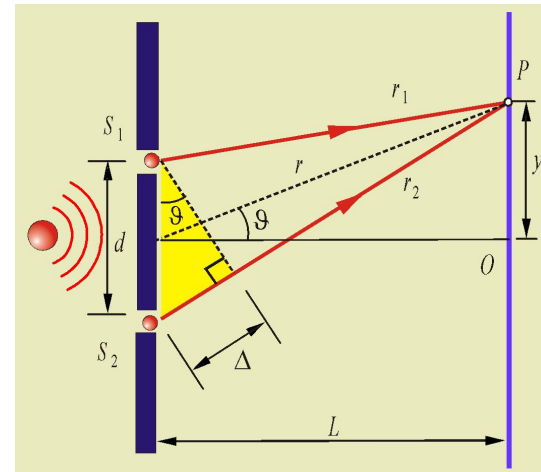


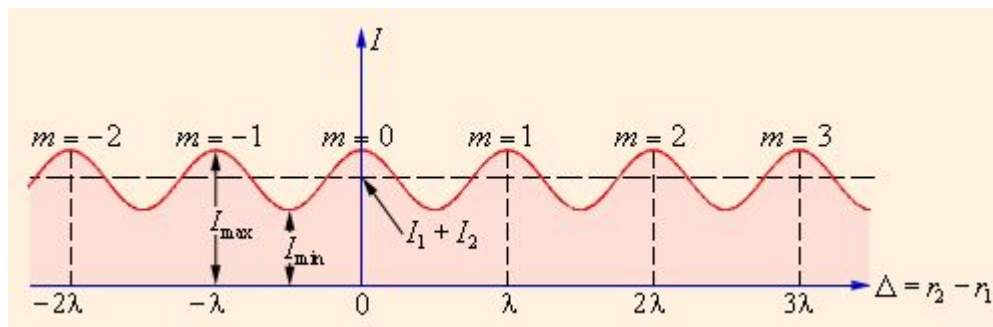
Схема досліду Юнга



Геометрія ходу променів у досліді Юнга.

$$\Delta = (r_2 - r_1) \cdot n_1$$

Дослід Юнга



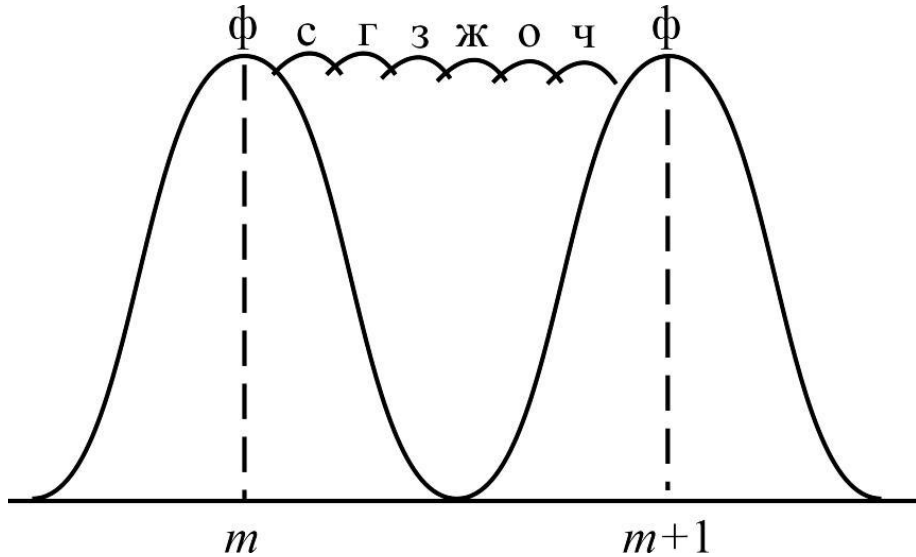
Розподіл інтенсивності в інтерференційній картині у досліді Юнга. Максимуми інтерференційної картини відповідають різниці шляхів кратній довжині хвилі, або парному числу півхвиль. Мінімумам відповідають різниці шляхів кратні непарному числу довжин хвиль.

Мінімальна інтенсивність $I_{\min} = 0$ буде у точках екрана, що задовольняють умову

$$d \cdot \sin \varphi \equiv d \frac{y}{L} = \pm \left(m + \frac{1}{2} \right) \lambda$$

Максимальне значення інтенсивності $I_{\max} = 4I_0$ спостерігається у точках екрана, для яких виконується співвідношення

$$d \cdot \sin \varphi \equiv d \frac{y}{L} = \pm m \lambda$$



**Розподіл інтенсивності
немонохроматичного світла.**

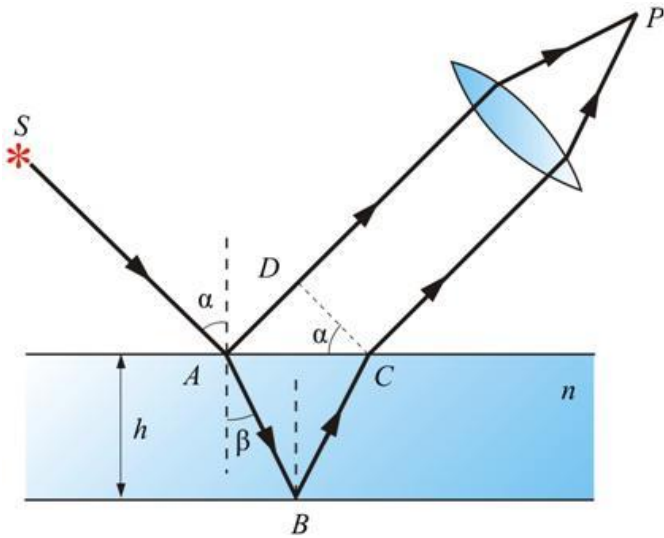
Зі збільшенням довжини хвилі відстань максимуму інтенсивності певного порядку від центру інтерференційної картини зростає. Інтерференційна картина стає менш чіткою і повністю втрачає контрастність, якщо накладуться максимуми різної довжини хвилі і порядків інтерференції

Для характеристики *контрастності* або *видності* інтерференційної картини вводиться параметр V

$$V = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max} + E_{\min}}$$

Optic7.exe

Інтерференція світла у тонких плівках



$$l_1 = AD = 2h \cdot \operatorname{tg} r \cdot \sin i$$

$$l_2 = (AB + BC)n = \frac{2h}{\cos r} n$$

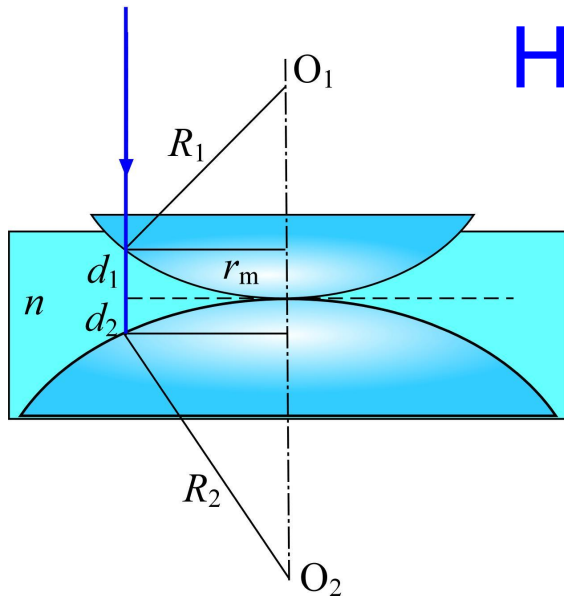
$$n = \sin i / \sin r$$

$$\Delta = 2h\sqrt{n^2 - \sin^2 i}$$

$$2h\sqrt{n^2 - \sin^2 i} = (2m + 1) \frac{\lambda_0}{2}$$

$$2h\sqrt{n^2 - \sin^2 i} = 2m \frac{\lambda_0}{2}$$

Кільця Ньютона



$$r_m^2 = R_1^2 - (R_1 - d_1)^2$$

$$r_m^2 = R_2^2 - (R_2 - d_2)^2$$

$$r_m^2 = 2R_1 d_1 \quad r_m^2 = 2R_2 d_2$$

$$d_1 = \frac{R_2 d_2}{R_1}$$

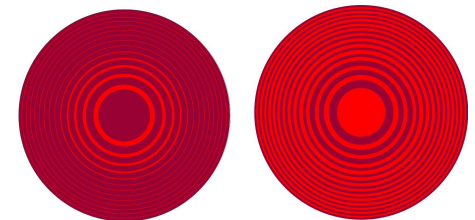
$$\Delta = \pm(2m + 1)\frac{\lambda}{2} \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

$$\Delta = 2(d_1 + d_2)n + \frac{\lambda}{2}$$

$$2\left(\frac{R_2 d_2}{R_1} + d_2\right)n = m\lambda$$

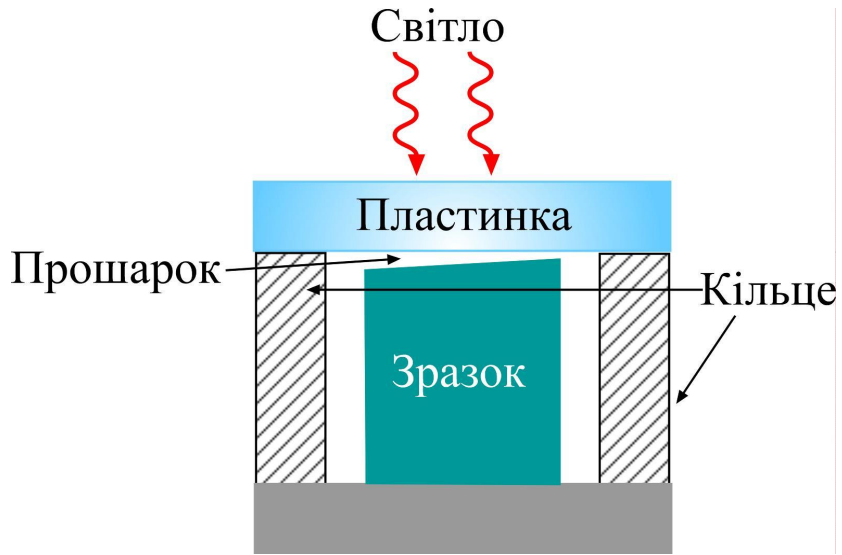
$$d_2 = \frac{m\lambda R_1}{2(R_1 + R_2)n}$$

$$r_m = \sqrt{\frac{m\lambda R_1 R_2}{(R_1 + R_2)n}}$$



Практичне застосування явища інтерференції

Оптичний або інтерференційний дилатометр.

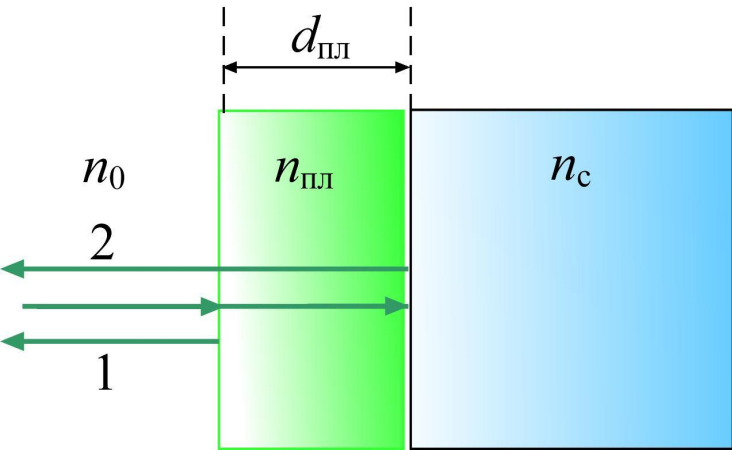


Явище інтерференції використовують для визначення коефіцієнтів лінійного або об'ємного розширення твердих тіл. Прилад, що вимірює малі видовження тіл при нагріванні інтерференційним методом, називається *інтерференційним дилатометром*. Він складається з кварцового кільця, всередину якого поміщають досліджуваний зразок.

Кварц має малий коефіцієнт температурного розширення. Згори на кільце поміщають прозору еталонну пластину. Прошарок між пластиною і досліджуваним зразком має бути малим. Як правило він має форму клина. Нагрівання зразка і видовження на $\lambda / 2$ змінює різницю ходу на λ і зсуває інтерференційну картину на одну смугу.

Практичне застосування явища інтерференції

Просвітлення оптики.



$$R = \frac{(n - 1)^2}{(n + 1)^2}$$

$$n_0 < n_{\text{пл}} < n_c$$

$$\Delta = 2d_{\text{пл}} n_{\text{пл}} = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}$$

Мінімальна товщина плівки, для якої спостерігається мінімум інтерференції

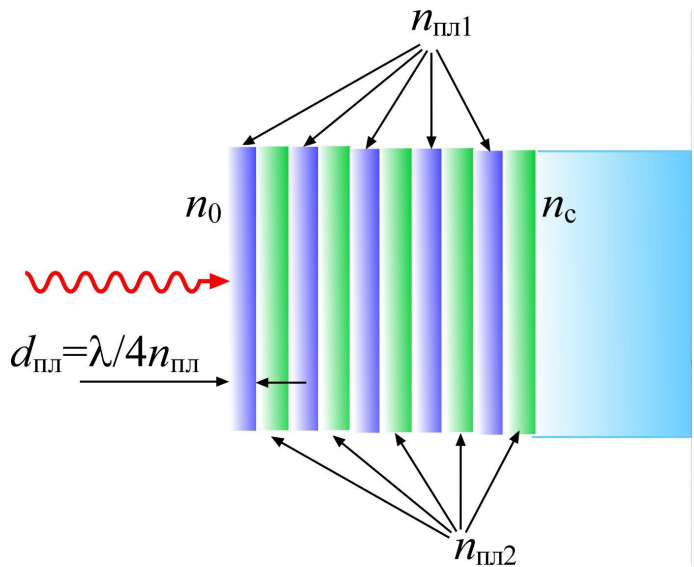
$$d_{\text{пл min}} = \frac{\lambda}{4n_{\text{пл}}} \quad \leftarrow \text{фазова умова просвітлення}$$

$$\frac{n_{\text{пл}} - n_0}{n_{\text{пл}} + n_0} = \frac{n_c - n_{\text{пл}}}{n_c + n_{\text{пл}}}$$

$$n_{\text{пл}} = \sqrt{n_c} \quad \leftarrow \text{амплітудна умова просвітлення}$$

Практичне застосування явища інтерференції

Інтерференційні дзеркала.



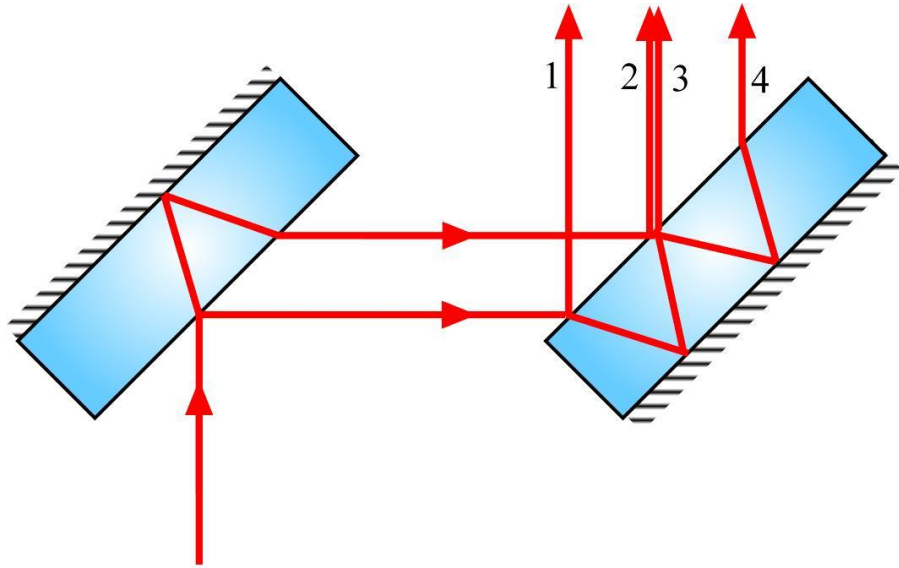
Інтерференційне дзеркало, утворене напиленням системи плівкових покриттів з оптичною товщиною $\lambda / 4$.

Фіолетовим кольором показано плівки з великим показником заломлення, зеленим – плівки з показником, меншим, за показник заломлення скла.

На скло наносять плівки з різним показником заломлення, але однаковою фазовою товщиною. Причому між двома шарами з високим показником заломлення, напилюють шар з показником заломлення, що менший за показник заломлення скла. Такі інтерференційні покриття ефективно працюють у доволі вузькому спектральному діапазоні. Причому, чим більший коефіцієнт відбиття вимагається від дзеркала, тим вужчий робочий діапазон.

Двопроменеві інтерферометри

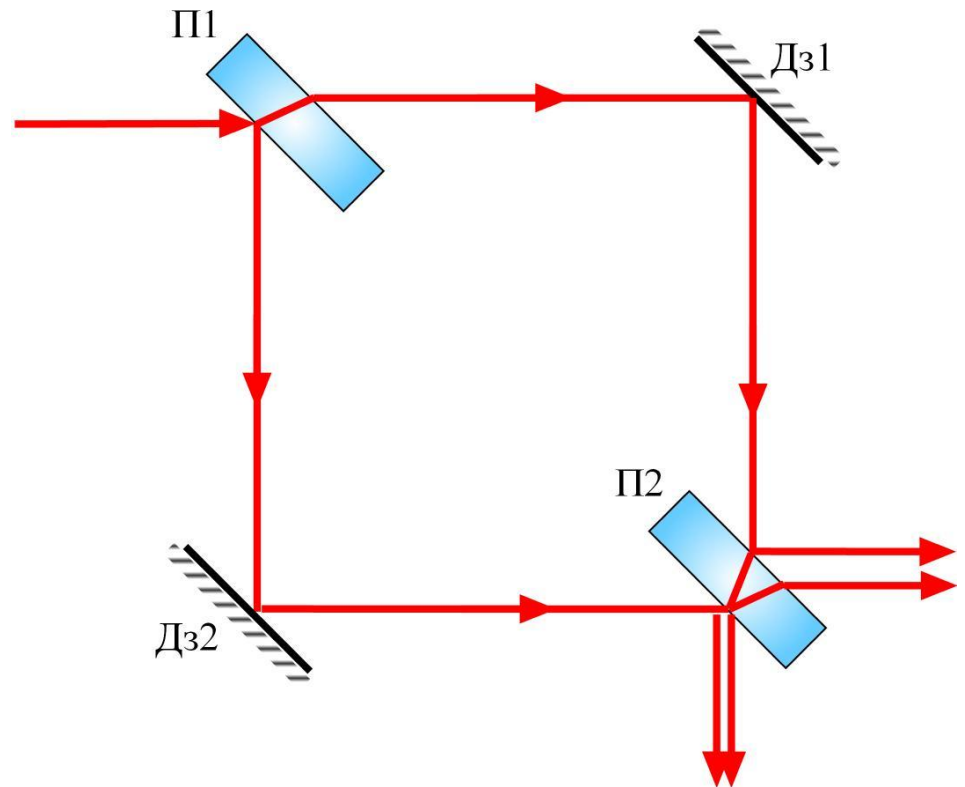
Інтерферометр Жамена



$$\Delta l = 2hn(\cos r_1 - \cos r_2)$$

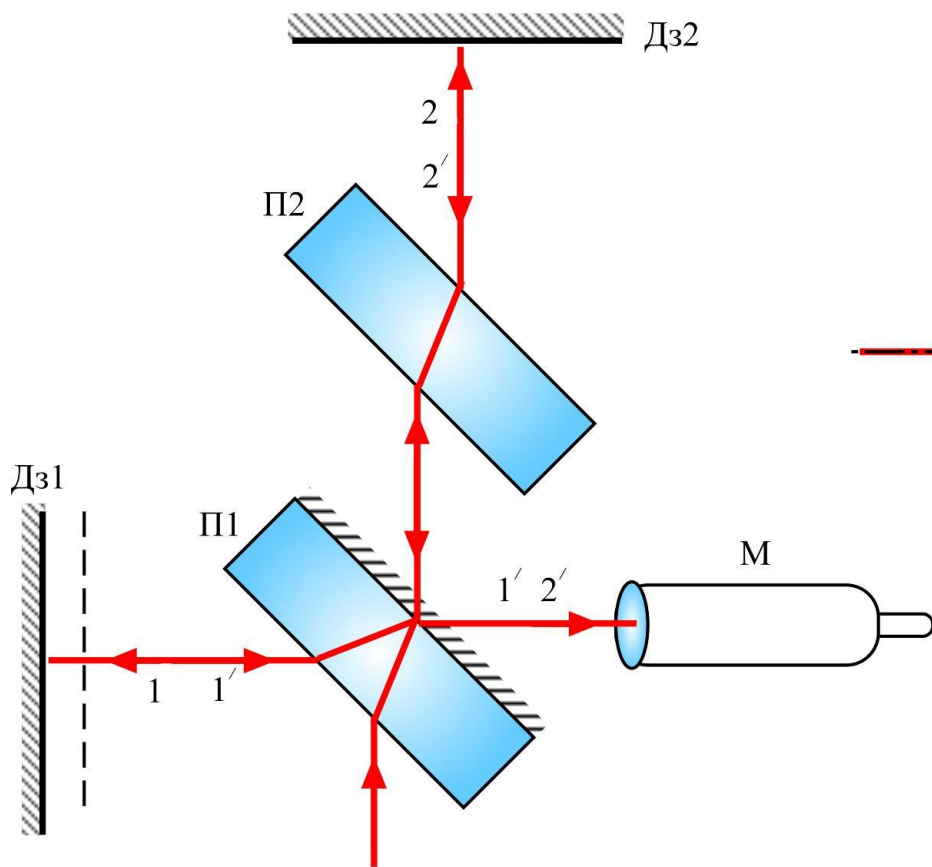
$$n_x = n_{\text{до}} + \frac{m\lambda}{l}$$

Інтерферометр Маха-Цендера

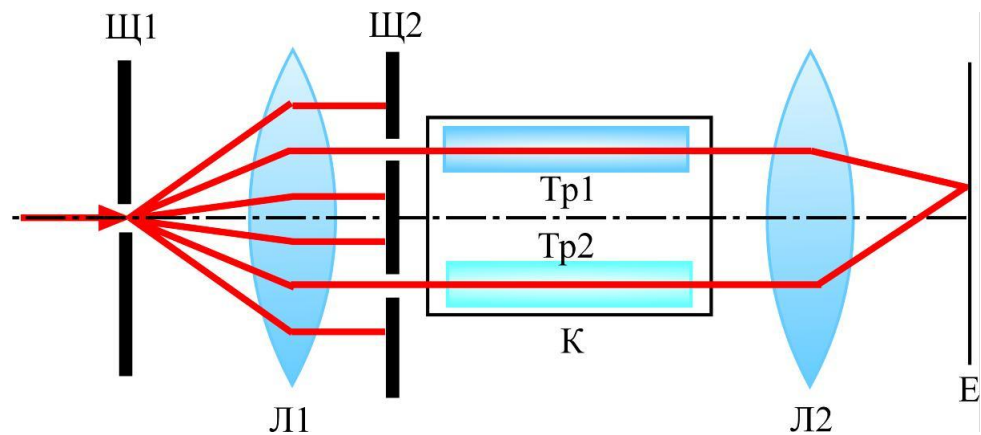


Двопроменеві інтерферометри

Інтерферометр Майкельсона



Інтерферометр Релея



Багатопромінева інтерференція

$$\rho = \frac{E_{\text{відб}}}{E_{\text{пад}}} \quad \text{амплітудний коефіцієнт відбиття}$$

$$\tau = \frac{E_{\text{прох}}}{E_{\text{пад}}} \quad \text{амплітудний коефіцієнт пропускання}$$

Різниця фаз між двома сусідніми паралельними пучками відрізняється на величину, що відповідає дворазовому проходженню хвилі в пластині

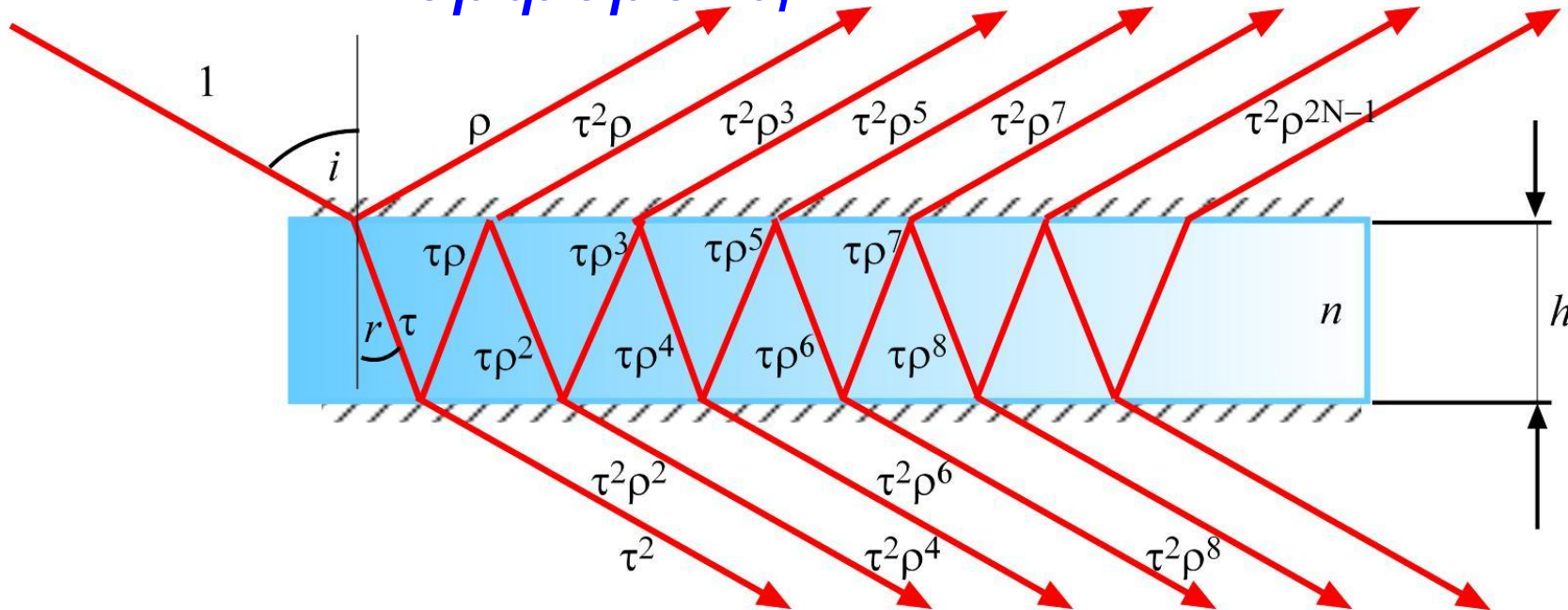
$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda_0} 2hn \cos r$$

Енергетичні коефіцієнти відбиття і пропускання позначимо, відповідно, R і T

$$R = \rho \rho^*$$

$$T = \tau \tau^*$$

Багатопроменева інтерференція



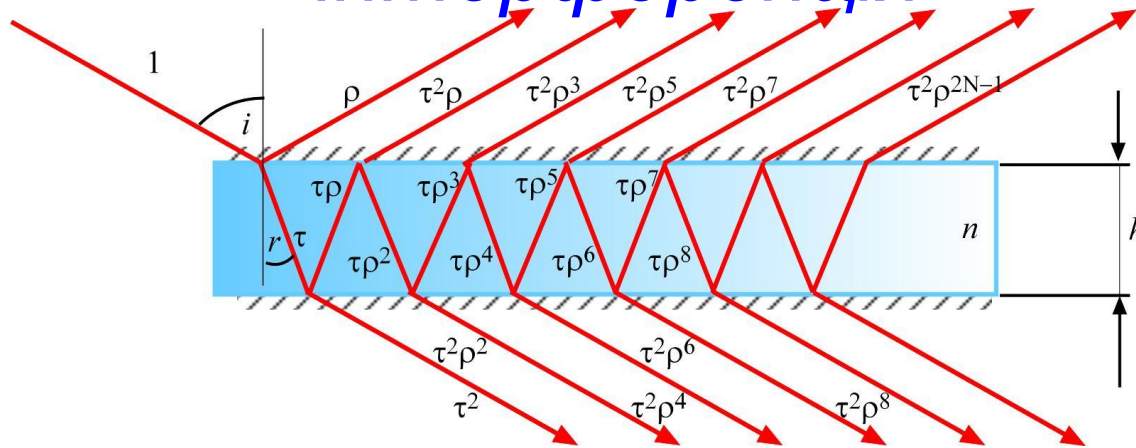
Результуюча напруженість поля відбитої хвилі

$$E_{\text{відб}} = \rho + \sum_{N=1}^{\infty} \tau^2 \rho^{2N-1} e^{Ni\Delta\varphi}$$

Результуюча напруженість поля прохідної хвилі

$$E_{\text{прох}} = \sum_{N=0}^{\infty} \tau^2 \rho^{2N} e^{Ni\Delta\varphi}$$

Багатопроменева інтерференція



Результуюча інтенсивність відбитої і прохідної хвиль

$$I_{\text{відб}} = \frac{4R \sin^2(\Delta\varphi / 2)}{(1 - R)^2 + 4R \sin^2(\Delta\varphi / 2)}$$

$$I_{\text{прох}} = \frac{T^2}{(1 - R)^2 + 4R \sin^2(\Delta\varphi / 2)}$$

формули Ейрі

Багатопроменева інтерференція

$$\Delta\varphi = 2m\pi$$

Ця фазова умова є умовою мінімуму для відбитої хвилі і максимуму для прохідної.

$$I_{\text{відб}} = \frac{4R \sin^2(m\pi)}{(1-R)^2 + 4R \sin^2(m\pi)} = 0$$

$$I_{\text{прох}} = \frac{T^2}{(1-R)^2 + 4R \sin^2(m\pi)} = \frac{(1-R)^2}{(1-R)^2} = 1$$

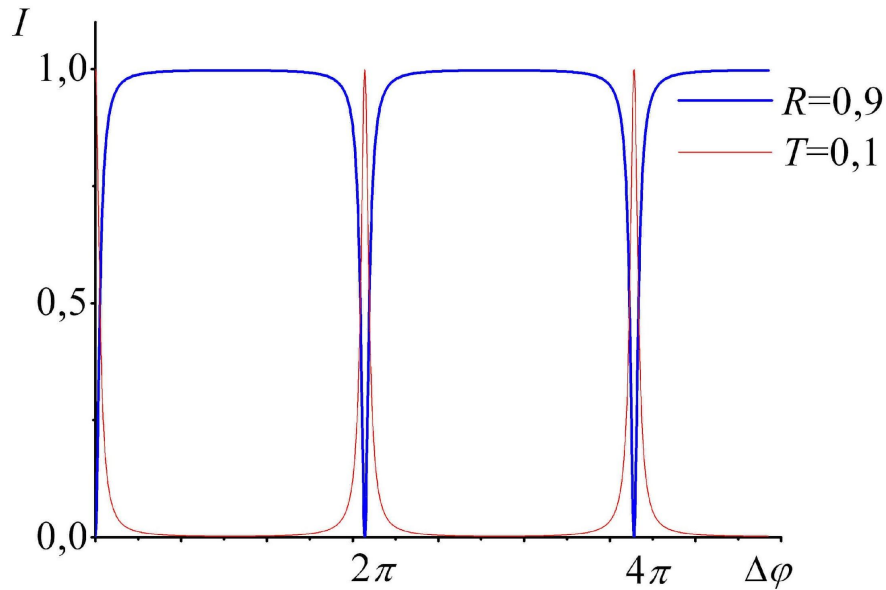
$$\Delta\varphi = (2m+1)\pi$$

Фазова умова є умовою максимуму для відбитої хвилі і мінімуму для прохідної

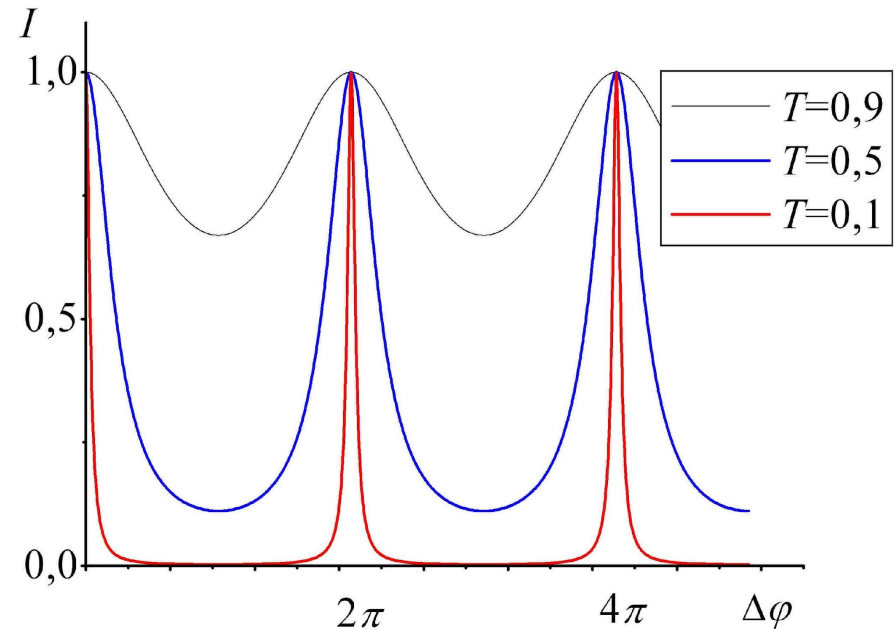
$$I_{\text{відб}} = \frac{4R \sin^2\left(\frac{(2m+1)\pi}{2}\right)}{(1-R)^2 + 4R \sin^2\left(\frac{(2m+1)\pi}{2}\right)} = \frac{4R}{(1-R)^2}$$

$$I_{\text{прох}} = \frac{T^2}{(1-R)^2 + 4R \sin^2\left(\frac{(2m+1)\pi}{2}\right)} = \frac{T^2}{(1+R)^2}$$

Багатопроменева інтерференція

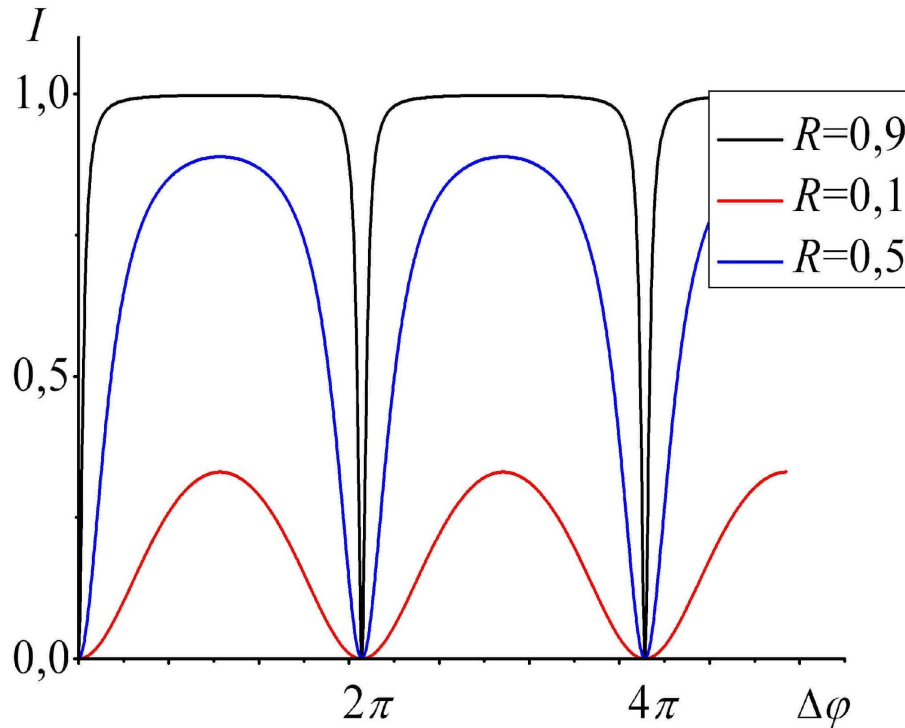


Залежність інтенсивності світла від різниці фаз. Поглинання в середовищі пластини відсутнє. Тому для кожного кута $\Delta\varphi$ сумарна інтенсивність дорівнює 1.



Залежність інтенсивності прохідного світла від різниці фаз для різних значень коефіцієнта пропускання. Зауважте, що різкість інтерференційних смуг максимальна для малих коефіцієнтів пропускання і мінімальна для великих. Тому різку інтерференційну картину у прохідному світлі краще спостерігати лише для малих значень T

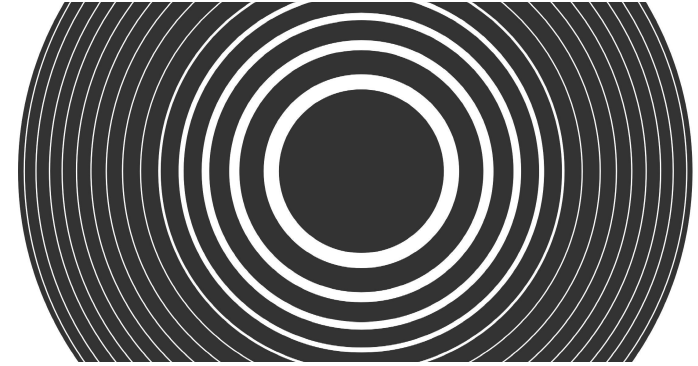
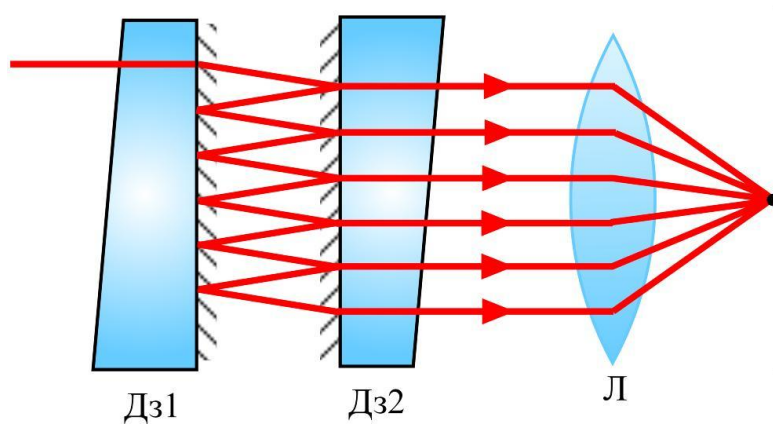
Багатопроменева інтерференція



*Залежність інтенсивності відбитого світла від
різниці фаз для різних значень коефіцієнта
відбиття.*

Багатопроменеві інтерферометри

Інтерферометр Фабрі-Перо



Оптична різниця ходу між двома сусідніми променями, що виходять з інтерферометра

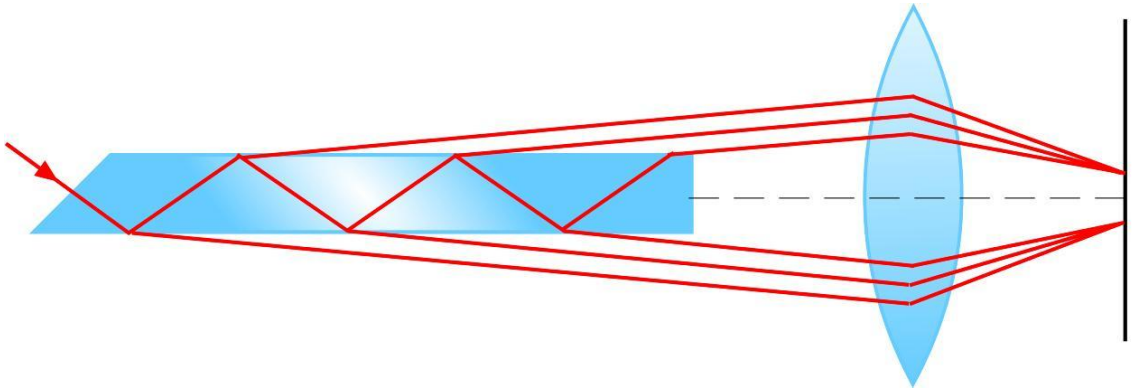
$$\Delta = 2l \cos r = m\lambda$$

Кількість порядків інтерференції, які можна отримати на інтерферометрі Фабрі-Перо

$$m = \frac{2l \cos r}{\lambda}$$

Багатопроменеві інтерферометри

Пластинка Люмера-Герке.



Цей прилад використовують для дослідження тонкої структури спектральних ліній.



Ще одна така



Дякую за