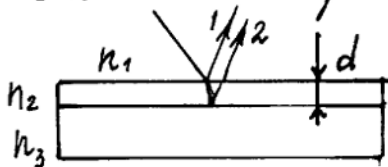


Застосування інтерференції

1. Просвітлена оптична

При нормальному падінні світла на поверхню скла відбивається 4% світла (див. формули Френеля).

Опт. системи можуть складатися із десятків оптичн. елементів. Задача - зменшити долю відбитого світла



На поверхню наноситься тонкий діел. шар, який може істотно зменшити відбитий потік
 $n_3 > n_2 > n_1 = 1$ (для визначеного діапазону $\Delta\lambda$).
 для повітря

$$R_{12} = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2 \quad R_{23} = \left(\frac{n_2 - n_3}{n_2 + n_3} \right)^2$$

Амплітуда променів 1 та 2 мають бути однакові.

$$R_{12} = R_{23} \Rightarrow n_2 = \sqrt{n_1 \cdot n_3}$$

Для покриття, як правило, обирають MgF_2 ($n=1.38$, або SiO_2)

Промені 1, 2 повинні інтерферувати. Розрахуємо d :

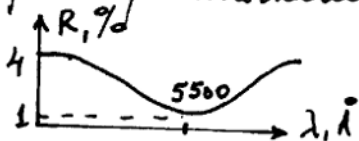
$$2dn_2 \cos \varphi - \frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda}{2} = (2m+1) \frac{\lambda}{2}$$

$$\varphi = 0 \text{ (норм. падіння)} \Rightarrow 2dn_2 = \frac{\lambda}{2} \quad (m=0)$$

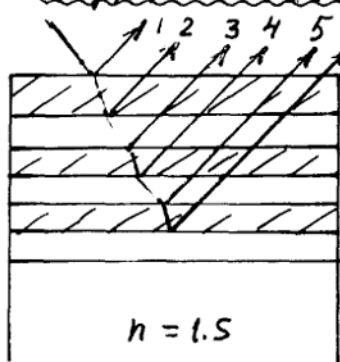
$$d = \frac{\lambda}{4n_2} = \frac{\lambda}{4\sqrt{n_1 \cdot n_3}}$$

Але через те, що закони дисперсії для n_1 та n_3 різні, просвітлення оптики працює не в

усьому оптичному діапазоні. Як правило, роблять в жовто-зеленому діапазоні
 Роблять 3-5 шарів



2. Інтерференційне дзеркало (задача - обернена до 17. задачі про світловою оптики)



$n_1 = 2.3$ - сульфід цинку ZnS
 $n_2 = 1.32$ - криоліт
 n_1
 n_2
 n_1

$$d_1 \cdot n_1 = d_2 \cdot n_2 = \frac{\lambda}{4}$$

Промені 1, 2, 3, ... інтерферують між собою і підсилюють один одного

$\Rightarrow R = 96\%$ для 7 шарів
 $R \approx 100\%$ для 11 шарів

Для інших λ таке дзеркало працює на пропускання

$$2d \cdot n \cdot \cos \varphi - \frac{\lambda}{2} = m \lambda \Rightarrow 2d \cdot n \cdot \cos \varphi = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}$$

$d_i \cdot n_i = \frac{\lambda}{4}$ Різні товщини для різних n_i

Чому металеве дзеркало гірше?

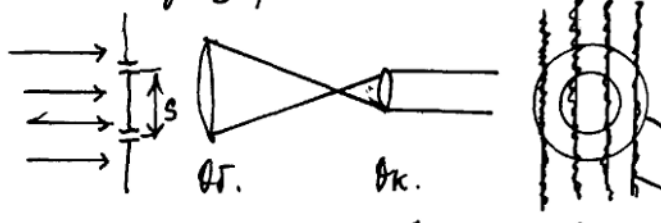
- 1) $R = 98\%$ відбивається, 2% - поглинається \Rightarrow дзеркало нагрівається \Rightarrow параметри "пливуть"
- 2) металеве дзеркало не селективне

Інші використання інтерференції:

3. Вимірювання розмірів віддалених тіл (напр., зоряний інтерфер. Майкельсона);
4. Визначення показу заломл. (інтерф. Релея) Тоджаєв, 111
5. Вибгнення стану поверхні тв. тіл Тоджаєв 104, Білий 93
6. Визначення малих кутів між поверхнями прозорих тіл Тоджаєв 105, Білий 95
7. Визначення малих подовжень тіл Білий 95
8. Вибгнення тонкої структури спектрових ліній Тоджаєв 103-117

Вимірювання діаметра зірок

1. Дослід з двома щілинами

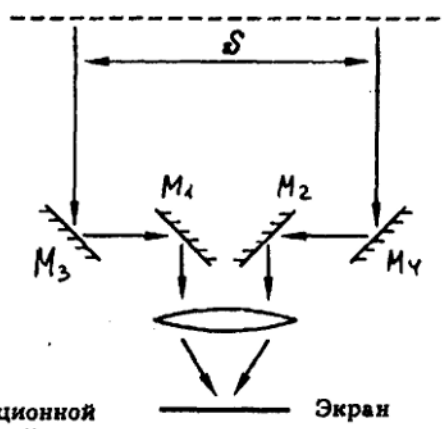


На оправі об'єктиву
вигдувається дифр.
дифракційні кільця
інтерференційні смуги

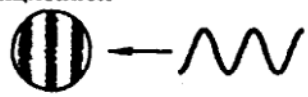
Вигляд вихідної картини

Якщо щілини розсувати, то контраст інтерф. картини погіршується і при деякій значенні s (коли $s \cdot \alpha = \lambda$) картинка зникає. Таким чином вимірюючи s , можна виміряти α . Реально $s \sim 1$ м
Це - метод Фізо

2. Зоряний інтерферометр Майкельсона *



Вид
інтерференційної
картини



Дзеркала M_1, M_2 - нерух.

M_3, M_4 - можна одночасно розсувати

Період інтерф. картини визначається відстанню між M_1 та M_2

Струмки когерентні.

(Видність смуг) залежить від відстані між M_3 та M_4

Вимірюють $r_k \Rightarrow$

кут. розмір зірки $\alpha = \frac{\lambda}{r_k}$ $r_k \approx 10$ м \Rightarrow

$\alpha \approx 0.01''$. (Кут. розмір Сонця із Землі $\sim 30' \approx 10^{-2}$ рад).

Вимірюють розмір зірки Бетельгейзе : $\alpha = 0.047''$.

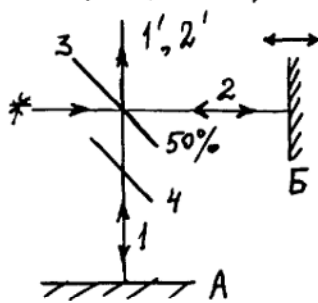
Відстань до зірки вимірюють по паралаксу $\Rightarrow D = 4 \cdot 10^8$ км

Інтерферометри

I. Двопроменеві інтерферометри

Призначення: вимірювання n, d, α (кутів), якості поверхні, $\lambda, \Delta\lambda$ - спектральні дослідження та дослідження когерентних властивостей джерела.

а) Інтерферометр Майкельсона



Може працювати в режимах СРН та СРТ

1) СРН: дзеркало А \perp дзеркалу Б
 $l_1 \neq l_2 \Rightarrow \Delta = 2(l_1 - l_2) \cdot n$

Інтерф. картина у вигляді концентричн. кілець. Мах порядк інтерф. - в центрі;

2) СРТ: дзеркала А та Б під кутом.

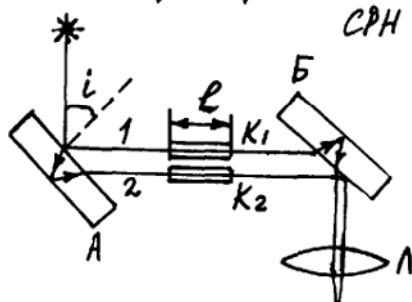
Зміна кута між дзеркалами створює інтерфер. картину: кільця стискаються і розширюються.

При русі дз. Б інтерф. картина може зникнути.

Це відбувається, коли $\Delta = 2(l_2 - l_1) = L_k = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$.

Візуально розрізняють зміщення інтерф. картини з точністю до $1/20$ смуги. У спец. випадках - до $1/1000$ смуги. Це дозволяє вимірювати $\Delta l \sim 10^{-9}$ м.

б) Інтерферометр Жамена; виникає додаткова різн. ходу



СРН

$$\Delta = (n_2 - n_1) l$$

$$\Delta m = \frac{(n_2 - n_1) l}{\lambda}$$

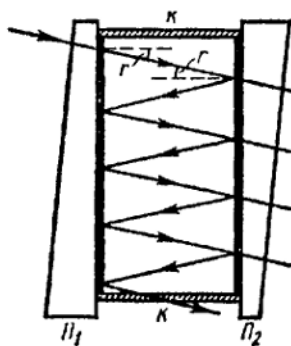
$$n_2 = n_1 + \lambda \cdot \frac{\Delta m}{l}$$

При $l = 5$ см; $\lambda = 0.5$ мкм;

$$\Delta m = 0.1 \Rightarrow \Delta n = 10^{-6} !$$

II. Багатопроменеві інтерферометри

Інтерферометр Фабрі-Перо



Внутр. поверхні оброблені з точністю до $(1/200)\lambda$ і строго паралельні одна одній, покриті тонким шаром срібла з високим коеф. відбиття - $(80-95)\%$.

і незкажним пропусканням. Зовнішні поверхні утворюють «Кільця рівного нахилу».



Пластики, як правило, мають круглу форму ϕ 50-60 мм. Паралельність досягається за допомогою кільця з інвару (мал. коеф. теплового розшир.) або кварцу.

Якщо відстань між відбиваючими поверхнями постійна, то такий прилад назив. еталоном Ф.-П. Якщо передбачена змінна відстань h (неперервна або набором кілець), то - спектральний прилад - інтерфер. Ф.-П. Відстань h : від 0.3 мм до 100 мм, в еталонах - до 1 м.

Характеристики: 1) Порядок інтерференції:

$$2h \cdot \cos \alpha = m \cdot \lambda; \quad m_{\max} = \frac{2h}{\lambda} \quad \text{для } \alpha \approx 0$$

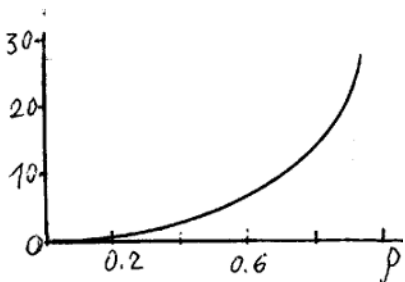
Якщо $\lambda = 500 \text{ нм}$; $h = 0.5 \text{ см}$, то $m_{\max} = 2 \cdot 10^4$

2) Різкість інтерфер. картини $T = 1 - \rho$;

$$M_{\text{пр}} = \frac{E_0^2 T^2}{(1 - \rho)^2 + 4\rho \sin^2 \alpha \Delta \varphi / 2} =$$

$$= \frac{E_0^2}{1 + \frac{4\rho}{(1-\rho)^2} \sin^2 \frac{\Delta\varphi}{2}} = \frac{I_0}{1 + F \cdot \sin^2 \frac{\Delta\varphi}{2}}$$

де $F = \frac{4\rho}{(1-\rho)^2}$ - фактор різкості



3) Ширина інтерфер. смуги

$$2h \cdot \cos \alpha = m \lambda \Rightarrow -2h \sin \alpha \cdot \delta \alpha = \lambda \cdot \delta m$$

$\delta \alpha$ - кут між сусідніми макс, якщо $\delta m = 1$

Чим більша h , тим менша

$\delta \alpha$ (вужча інтерф. смуга)

$$\delta \alpha = -\frac{\lambda}{2h \cdot \sin \alpha}$$

Підвищує h ! До яких цій?

$$m_{\max} = \frac{1}{\Delta \lambda} \cdot 3 \text{ іншого боку } m_{\max} = \frac{2h}{\lambda}$$

$$\frac{\lambda}{\Delta \lambda} = \frac{2h}{\lambda} \Rightarrow h = \frac{\lambda^2}{2\Delta \lambda}$$

4) Область великої дисперсії - спектр. інтервал, в якому можна спостерігати інтерфер. картину ($\Delta \lambda$)

$$L_k = m_{\max} \cdot \lambda = \frac{\lambda^2}{\Delta \lambda} \Rightarrow \Delta \lambda = \frac{\lambda}{m_{\max}}$$

Якщо $\lambda = 500 \text{ нм}$; $m_{\max} = 2 \cdot 10^6$, то $\Delta \lambda = 0.25 \text{ \AA}$!

Це для $h = 5 \text{ см}$. При збільшенні h величина $\Delta \lambda$ ще зменшується! Але на вході інтерфер. Ф.-П. треба ставити фільтр, монохроматизатор або лазер.

5) Кутова дисперсія: $D_\alpha = \frac{d\alpha}{d\lambda}$, де α - кут, який відхиляється максимумом на макс

$$2h \cdot \cos \alpha = m \lambda$$

$$-2h \sin \alpha \cdot d\alpha = m d\lambda$$

$$m = \frac{2h \cdot \cos \alpha}{\lambda}$$

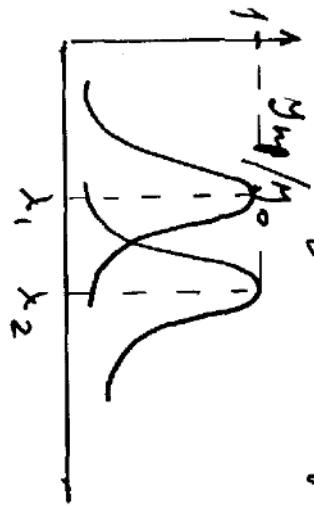
$$D_\alpha = \frac{d\alpha}{d\lambda} = -\frac{m}{2h \cdot \sin \alpha} = -\frac{1}{\lambda \cdot \tan \alpha}$$

6) Ροζιριστική ζαρπνίσττ (R)

Εξισωρί ενεργικότητς μίκτ: λ_1 τθ λ_2 ($\lambda_2 - \lambda_1 = \delta\lambda$)

$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda}$. Μοκτθ νικθγθτθ, μθ:

$R_{max} = \frac{2h \cdot \pi \cdot \frac{\sqrt{D}}{1-\rho}}$



R_{max} - γε ροζ. ζαρπνίσττ ιντθρ.

Βραχυβαμθσ οβυεκτωθί ανετθγθτθ τθ νικθκθμθσ
γθτ ζυεκκθμθσ $R_{max} \sim 10^6$. Τογί

$\delta\lambda = \frac{\lambda}{R} = \frac{5000 \text{ \AA}}{10^6} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ \AA}$

Β ιντθρθρ. Φ. - Π. μθμθ νρμθμθσ, μθ ιντθρθρθμθσ,

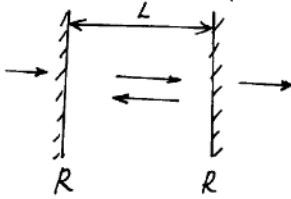
$N \sim 30$; $m_{max} \sim 10^4 - 10^6$; $R \sim 10^5 - 10^6$

Ρίθμθσ χορθ $\Delta = 2h \cdot n \cdot \cos \alpha \Rightarrow \Delta_{max} = 2hn \approx$

Β ιντθρθρ. Μθικθμθσθσ Δ_{max} - σίτωθ $\approx 50 \text{ cm}$

Оптичний резонатор

Резонатор для лазера - варіант інтерф. Ф.-П. для $n=1$, $\alpha=0$ (α -кут падіння).



L - довжина р-ра
 R - коеф. відб. по інтенсивн.
 Дзеркала однакові (умовно)
 $\Delta\varphi$ - набіг фази світл. хвилі за подвійний прохід через р-р.

$$\Delta\varphi = k \cdot \Delta = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot 2n \cdot n \cdot \cos \alpha = \frac{4\pi}{\lambda} \cdot n \cdot n \cdot \cos \alpha \Rightarrow \Delta\varphi = 4\pi \nu \cdot L, \text{ де } \nu - \text{част. вискр. в см}^{-1}$$

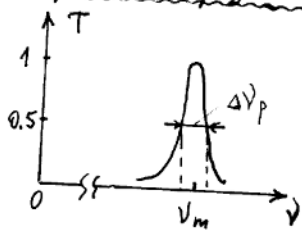
Мак пропускання, коли $\Delta\varphi_{\text{max}} = 2\pi \cdot m$ ($m=1,2,3,\dots$).

Дискретний набір частот $\nu_m = m \cdot \Delta\nu$, де $\Delta\nu = \frac{1}{2L}$, на яких пропускання р-ра Ф.-П. досягає макс.

ν_m - власні моди р-ра.

Для власних мод на довжині L вкладається ціла кількість $\lambda/2$.

Добротність резонатора.



Залежність $T(\nu)$

$\Delta\nu_p$ - ширина інтерф. макс, або ширина спектр. лінії р-ра

$$Q = \frac{\nu}{\Delta\nu_p}$$

де $\nu = \frac{1}{\lambda}$ - частота світла в см⁻¹

$$\Delta\nu_p = \frac{1-R}{2\pi L} \Rightarrow Q = \frac{2\pi L}{(1-R) \cdot \lambda}$$

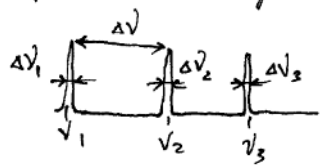
$\Delta\nu_p$ - ширина інтерференц. максимуму \equiv ширина спектр. лінії ант. р-ру
 $\Delta\nu_p = \frac{1-R}{2\pi L}$

($L = 0.5 \text{ м}$; $\lambda = 0.5 \text{ мкм}$; $R = 0.9$) $\Rightarrow \Delta\nu = \frac{1}{2L} = 10^{-2} \text{ см}^{-1}$; $\Delta\nu_p = 3 \cdot 10^{-4} \text{ см}^{-1}$; $Q = 6 \cdot 10^7!$

$\nu_m = m \cdot \Delta\nu$ $m = 1, 2, 3, \dots$

ν_m - власні моди резонатора

$\Delta\nu$ - відстань між модами резонатору



$\Delta\nu_m = \Delta\nu_p$