

Лабораторна робота 6

Визначення показника заломлення скла інтерференційним методом паралельного ходу променів

Мета роботи: Визначити показник заломлення скла інтерференційним методом паралельного ходу променів.

Прилади і матеріали:

1. Лазер типу ЛГ-72.
2. Екран з короткофокусною лінзою.
3. Плоскопаралельна скляна пластинка.

Опис методу та установки

В даній роботі вивчають лінії рівного нахилу, які виникають унаслідок інтерференції світла, відбитого від плоскопаралельної пластинки, і визначається показник заломлення скла. Оптична схема установки зображена на рис. 1.

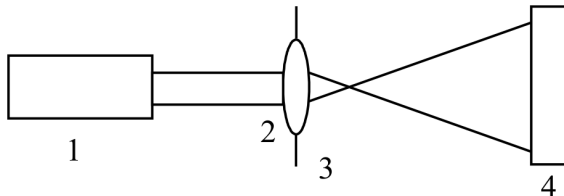


Рис. 1. Схема установки: 1 – лазер; 2 – короткофокусна лінза; 3 – екран; 4 – плоскопаралельна скляна пластинка

Паралельний пучок світла, який виходить з лазера 1, збирається у фокусі лінзи 2, після чого розбіжний пучок падає на пластинку 4. Промені, відбиті від передньої і задньої поверхні пластинки, збігаються на екрані 3, де і спостерігається інтерференційна картина (рис. 2).

Оптична схема отримання кілець рівного нахилу пластинкою. Оскільки фокусна відстань лінзи набагато менша за L , можна вважати, що інтерферуєчі промені збігаються у фокальній площині лінзи, O – фокус лінзи, EE – екран, OO' – оптична вісь, φ – кут падіння променя на пластинку, R – радіус кільця.

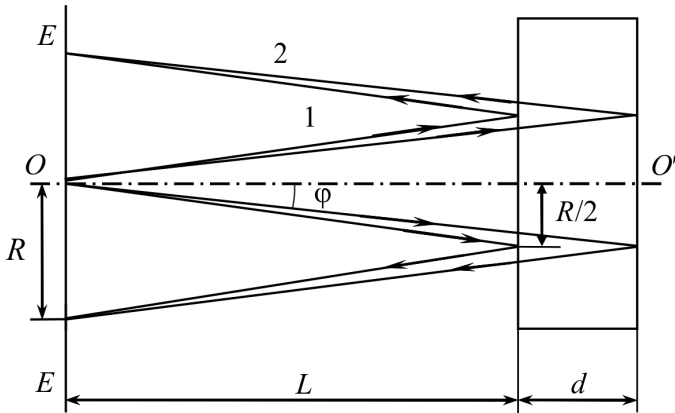


Рис. 2

З рис. 2 випливає, що будь-яка пара інтерферуючих променів, які йдуть симетрично відносно нормалі OO' , буде мати однакову різницю ходу, внаслідок чого інтерференційна картина на екрані матиме вигляд концентричних кілець.

Як відомо, для спостереження інтерференції необхідно, щоб коливання, які складаються, були когерентні, тобто щоб різниця фаз коливань із часом не змінювалась. Час, протягом якого початкова фаза хвилі зберігається, називається часом когерентності, а відстань, яку проходить хвиля за час когерентності, має назву довжини когерентності. Час когерентності τ пов'язаний із монохроматичністю випромінювання співвідношенням $\Delta\omega \cdot \tau \approx 1$, де $\Delta\omega$ – ширина спектра випромінювання: якщо різниця ходу хвиль, які ідуть від одного джерела, перевищує довжину когерентності, інтерференція спостерігатися не буде. Випромінювання має високу монохроматичність, що дозволяє спостерігати інтерференцію при порівняно великій різниці ходу (до метра, а у випадку одночастотних лазерів – і десятків метрів). Використовуючи лазер як джерело світла, ми можемо спостерігати інтерференцію в достатньо товстих скляних пластинках.

Розрахунок різниці ходу інтерферуючих променів

Якщо товщина пластинки значно менша від відстані між екраном і пластинкою L , то кут між інтерферуючими променями малий. У цьому випадку при розрахунку різницею ходу не паралельно інтерферуючих променів можна знехтувати.

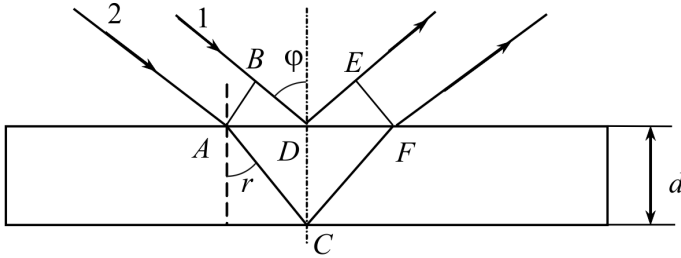


Рис. 3. Розрахунок різниці ходу інтерферуючих променів:
1 і 2 – інтерферуючі промені, φ – кут падіння променя,
 r – кут заломлення

З рис. 3 знаходимо, що різниця ходу цих променів:

$$\Delta_{12} = 2(AC \cdot n - BD) = 2 \left(\frac{d \cdot n}{\cos r} - d \cdot \operatorname{tg} r \cdot \sin \varphi \right), \quad (1)$$

де n – показник заломлення пластинки.

Підставляючи сюди $\frac{\sin \varphi}{\sin r} = n$, отримуємо

$$\Delta_{12} = 2dn \cdot \cos r = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi}.$$

Далі врахуємо, що оскільки відбиття у точці D відбувається від оптично більш густого середовища, а відбиття у точці C – від оптично менш густого середовища, між променями виникає додаткова різниця фаз, що відповідає додатковій різниці ходу $\frac{\lambda}{2}$. Таким чином, повна різниця ходу променів:

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi} + \frac{\lambda}{2}, \quad (2)$$

при $\Delta = k\lambda$ мають місце максимуми, а при $\Delta = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$ – мінімуми інтенсивності. Тут k – будь-яке число.

Запишемо умови мінімумів k -го і $(k + m)$ -го порядків інтерференції:

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi_k} = k\lambda. \quad (3)$$

Відмітимо, що більш високому порядку інтерференції відповідає менший кут падіння променів на пластинку, а відповідно, і кільце меншого радіуса на інтерференційній картині. Для кілець, радіус яких значно менше L , з рис. 2 випливає:

$$\sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi \approx \frac{R}{2L}, \quad (4)$$

підставляючи (4) у (3) та обмежуючись першим наближенням у розкладанні кореня у ряд по малому параметру $\frac{R^2}{4n^2L^2}$, отримуємо

$$\begin{cases} 2dn\left(1 - \frac{R_k^2}{8n^2L^2}\right) = k\lambda; \\ 2dn\left(1 - \frac{R_{k+m}^2}{8n^2L^2}\right) = (k+m)\lambda. \end{cases} \quad (5)$$

Після простих перетворень із співвідношення (5) знаходимо:

$$n = -\frac{d(-R_k^2 + R_{k+m}^2)}{4m\lambda L^2}. \quad (6)$$

Вимірюючи радіуси двох інтерференційних кілець і відстань між пластинкою і екраном, при відомих значеннях товщини пластинки і довжини хвилі, за формулою (6) можна розрахувати показник заломлення пластинки.

Порядок виконання роботи

1. Збирають на оптичній лаві установку згідно з рис. 1. Лазер, центр екрана з лінзою і пластинка повинні бути розташовані на однаковій висоті.
2. Підключають лазер, змінюючи за допомогою юстируючих гвинтів нахил лазерного променя, досягають, щоб вісь лазерного пучка проходила через середину пластинки.

3. Повертають пластинку навколо вертикальної і горизонтальної осей так, щоб на екрані товщина пластинки була нормальною до оптичної вісі, при цьому на екрані повинні бути різко помітні інтерференційні кільця.
4. За шкалою оптичної лави вимірюють відстань від екрана до пластинки L . За шкалою на екрані вимірюють радіуси двох кілець R_{k+m} і R_k (бажано, щоб k було як можна більше). Вимірювання проводять для двох-трьох кілець.
5. За формулою (6) обчислюють показник заломлення скла. Товщина пластинки $d = 17$ мм.
6. Обчислюють середнє значення показника заломлення й оцінюють похибку вимірювання. $\lambda = 6,33 \cdot 10^{-7}$ м.

Контрольні запитання

1. Що таке просторова довжина когерентності?
2. Що таке часова довжина когерентності?
3. Які умови необхідні для спостереження інтерференції?
4. Як знайти різницю ходу між інтерферуючими променями?
5. Що таке показник заломлення скла?
6. Вивести формулу для розрахунку показника заломлення пластинки.