

## Лабораторна робота 7

### Вивчення дифракції Фраунгофера на щілині

Мета роботи: вивчити дифракцію Фраунгофера на щілині.

Прилади та обладнання:

1. Лазер типа ЛГ-72 з джерелом живлення.
2. Розсувна щілина.
3. Фоторезистор.
4. Вимірювач струму.
5. Екран.

Опис методу та установки

У роботі вивчається явище дифракції Фраунгофера на щілині.

Дифракцією Фраунгофера називається дифракція плоскої хвилі, яка спостерігається у фокальній площині лінзи або на нескінченності. При цьому у точці спостереження сходиться паралельний пучок променів, які йдуть під однаковим кутом  $\varphi$  до нормалі. Цей кут називається кутом дифракції.

Схема установки подана на рис. 1.

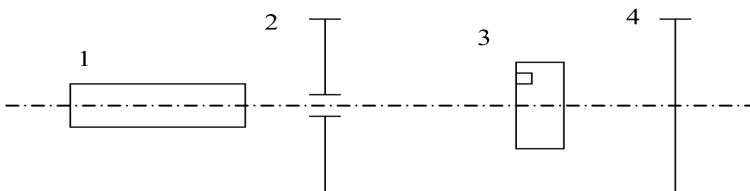


Рис. 1. Схема спостереження дифракції на щілині:  
1 – лазер; 2 – розсувна щілина; 3 – фоторезистор; 4 – екран

Паралельний пучок світла від лазера 1 нормально падає на щілину 2. Дифракційна картина, яка виникає при цьому, спостерігається на екрані 4. Для вимірювання інтенсивності світла у дифракційній картині використовується фоторезистор 3 з маленькою (1 мм шириною) світлочутливою поверхнею, яка розташована перед екраном.

Ширина щілини може змінюватися за допомогою мікрометричного гвинта. Фоторезистор можна переміщувати у горизонтальному напрямку поперечно оптичній вісі системи. Положення його відносно оптичної вісі визначається за міліметровою лінійкою.

В даній установці екран (і фоторезистор) знаходиться на достатньо великій відстані від щілини, так що  $\frac{a^2}{\lambda L} \ll 1$ .

Тут  $a$  – ширина щілини,  $\lambda$  – довжина хвилі,  $L$  – відстань від щілини до екрана. В цьому випадку ми маємо справу з дифракцією Фраунгофера.

Для розрахунку розподілу інтенсивності у дифракційній картині розіб'ємо щілину на елементарні смужки однакової ширини, паралельні краям щілини.

Відповідно до принципу Гюйгенса - Френеля для знаходження інтенсивності світла у точці спостереження, кожна елементарна ділянка щілини повинна бути розглянута як вторинне джерело когерентних хвиль.

Хвилі від вторинних джерел утворюють у точці спостереження елементарні коливання з визначеною фазою й амплітудою. Результуюча амплітуда світлового коливання може бути знайдена додаванням коливань від усіх ділянок щілини.

Обмежимося цілими кутами дифракції, що дозволить знехтувати зміною амплітуди елементарних коливань при зміні кута дифракції  $\varphi$ . При  $\varphi = 0$  усі елементарні коливання додаються в однаковій фазі. Графічне додавання у цьому випадку подано на рис. 3, а.

При  $\varphi \neq 0$  між коливаннями від сусідніх ділянок щілини виникає постійна різниця фаз  $\Delta\Phi$ , яка залежить від  $\varphi$ . Результат графічного додавання у цьому випадку показано на рис. 3, б. Різниця фаз між коливаннями від крайових елементів щілини, як впливає з рис. 2, дорівнює:

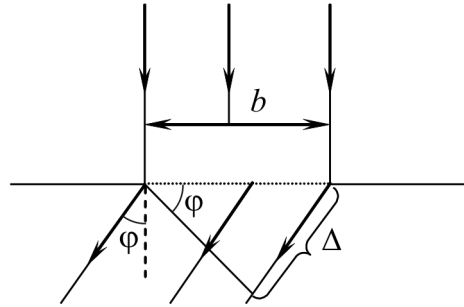


Рис. 2. Хід променів у дифракції Фраунгофера на щілині:  $b$  - ширина щілини;  $\varphi$  - кут дифракції;  $\Delta$  - різниця ходу між крайовими променями

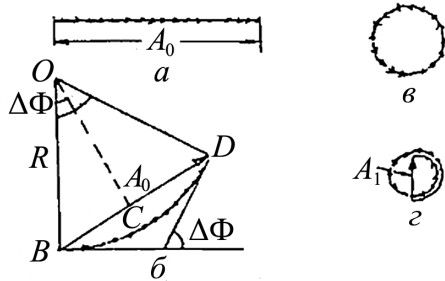


Рис. 3. Векторна діаграма для розрахунку амплітуди результуючого коливання: а)  $\varphi = 0$ ; б)  $\varphi$  - довільний кут,  $\Delta\Phi$  - різниця фаз коливань від крайових ділянок щілини,  $R$  - радіус дуги  $BD$ ; в)  $\Delta\Phi = 2\pi$ , г)  $\Delta\Phi = 3\pi$

$$\Delta\Phi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta = \frac{2\pi}{\lambda} b \sin \varphi. \quad (1)$$

Оскільки різниця фаз  $\Delta\Phi$  між послідовними елементарними коливаннями постійна, а амплітуди у них однакові, на графічній діаграмі ці коливання розташовані вздовж дуги деякого кола з радіусом  $R$  з центром у точці  $O$ . Довжина дуги дорівнює сумі амплітуд усіх коливань, тобто  $A_0$ . З рис. 3, б знаходимо:

$$R = \frac{A_0}{\Delta\Phi}.$$

Наявність максимумів і мінімумів у розподілі інтенсивності світла з'ясовується інтерференцією вторинних хвиль, що розповсюджуються у різних напрямках від різних точок щілини. Якщо  $\varphi$  – кут між напрямками падіння променів на щілину і визначеним напрямком, який ми розглядаємо, то умови максимуму освітленості мають вигляд:

$$b \sin \varphi = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad (2)$$

а умови мінімуму

$$b \sin \varphi = 2m \frac{\lambda}{2} = m\lambda, \quad (3)$$

де  $m = \pm 1; \pm 2; \pm 3; \dots$

Розподіл інтенсивності у дифракційній картині на екрані спостерігається залежно від кута дифракції  $\varphi$  і має вигляд:

$$I_\varphi = I_0 \frac{\sin^2 \left( \frac{\pi b}{\lambda} \sin \varphi \right)}{\left( \frac{\pi b}{\lambda} \sin \varphi \right)^2}. \quad (4)$$

$I_0$  – інтенсивність світла у напрямку падаючої хвилі ( $\varphi = 0$ ) на якість дифракційної картини помітно впливає ширина щілини. При її збільшенні спостерігається зближення максимумів і мінімумів освітленості до центру.

У випадку, коли ширина щілини  $b$  значно менша відстані  $L$  від щілини до екрана ( $b \ll L$ ), дифракція Фраунгофера спостерігається і без лінзи  $Z$ . При цьому промені, що йдуть від кінців щілини, практично паралельні.

Розглядаючи рис. 2 для випадку дифракції від щілини, отримуємо вираз для відстані останнього дифракційного максимуму від центрального:

$$X_{\max} = l \sin \varphi + \frac{b}{2}. \quad (5)$$

Якщо експериментально визначити  $L$ ,  $X_{\max}$ ,  $m$ , застосувати формулу (2) та визначене значення  $\lambda$ , то за допомогою рівняння можна визначити ширину щілини:

$$b = (2m + 1) \lambda \frac{L}{2X_{\max}}. \quad (6)$$

Порядок виконання роботи

*Вправа 1.* Визначення ширини щілини.

1. Розташувати на оптичній лаві прилади (лазер – 1, екран – 4, щілину, ширина якої регулюється, – 2).
2. Відцентрувати усі прилади (використовувати промінь лазера).
3. Відкрити дифракційну щілину з мікрометричним гвинтом до максимальної ширини.
4. Повільно зменшувати ширину щілини, отримати різку дифракційну картину.
5. Виміряти відстань між щілиною і екраном ( $L$ ).
6. Порахувати на екрані максимальну кількість світлих ліній з однієї сторони від центральної (спочатку праворуч, потім ліворуч від центру).
7. Виміряти відстань між крайовими світлими лініями:  $m = \pm 1; \pm 2; \pm 3$ ; або  $m = \pm 2; \pm 3; \pm 4$ ; або  $m = \pm 3; \pm 4; \pm 5$ . Розділивши цю відстань навпіл, отримуємо значення  $X_{\max}$  ( $X_{\max 1}, X_{\max 2}$ ).
8. Визначити за формулою (6), ширину щілини (див. рис. 3, в). Оцінити точність вимірювань, знайти похибку.

## Вправа 2

1. Розмістити на оптичній лаві лазер, щілину, фоторезистор.
2. Відцентрувати прилади за лазерним променем, змінюючи ширину щілини, досягти на лінійці фоторезистора різкої дифракційної картини (при цьому усі тах повинні бути розташовані на лінійці фоторезистора, ширина якого 1 мм).
3. Використовуючи лінійку на фоторезисторі і мікроамперметр, який підключено до фоторезистора, з'ясувати залежність інтенсивності світла або сили струму від координати  $X$ . Для центрального тах координату брати через 1 мм від центру і побудувати графік її залежності.
4. Переключаючи діапазон роботи мікрометра на передній панелі, визначити інтенсивність світла  $I$  для 1, 2, 3 (п'яти-семи), і т.д. максимумів і від центрального, включаючи центральний і координату кожного тах дифракційної картини (зліва і справа від центру). Для кожного брати 3, 5 точок: його початок, середину і кінець. За цими даними побудувати графік залежності інтенсивності світла або струму для тах від координати.

Заповнити таблиці тах (праворуч і ліворуч).

$I$ (мА)					
$X$ (мм)					
$m$	0	0	0	0	0

$I$ (мкА)					
$X$ (мм)					
$m$	1	1	1	1	1

### Контрольні запитання

1. Що називається дифракцією Фраунгофера?
2. Що називається кутом дифракції?
3. Пояснити векторну діаграму для розрахунку амплітуди результуючого колювання.
4. Визначити розподіл інтенсивності у дифракційній картині Фраунгофера.
5. Як визначити ширину щілини?
6. Чому дорівнює різниця ходу для тах, для  $m$  при дифракції Фраунгофера на одній щілині?