

## Практичне заняття 6. Дифракція світла

План:

1. Дифракція в розбіжних променях, або дифракція Френеля.
2. Спіраль Френеля. Дифракція на круглому отворі та круглому екрані.

Основні формули та поняття:

1. Різниця ходу між крайніми променями, які обмежують зону Френеля, дорівнює  $\frac{\lambda}{2}$ .
2. Якщо круглий отвір відкриває невелике парне число зон Френеля, то в центрі екрана спостерігається мінімум.
3. Якщо круглий отвір відкриває невелике непарне число зон Френеля, то в центрі екрана спостерігається максимум.
4. При видаленні отвору отримуємо то світло, то темряву в центрі екрана.
5. Якщо на шляху світла розташовано непрозорий круглий екран, то весь час будемо спостерігати максимум освітленості, інтенсивність якого залежить від кількості зон Френеля, закритих екраном.
6. Обчислення результуючої амплітуди проводимо за методом спіралі Френеля.
7.  $I = kA^2$  (інтенсивність пропорційна квадрату амплітуди коливань).

### Приклади розв'язування задач

**Задача 1.** Точкове джерело монохроматичного світла розміщено на відстані  $a$  від круглої діафрагми, а екран з протилежної сторони на відстані  $b$  від неї.

При яких радіусах діафрагми  $r$  центр дифракційних кілець, який відтворюється на екрані, буде темним і при яких світлим, якщо перпендикуляр, який опущений із джерела на площину діафрагми, проходить крізь її центр?

Аналіз та розв'язок:

Дано:

$$O_1K = R$$

$$IO_1 = r$$

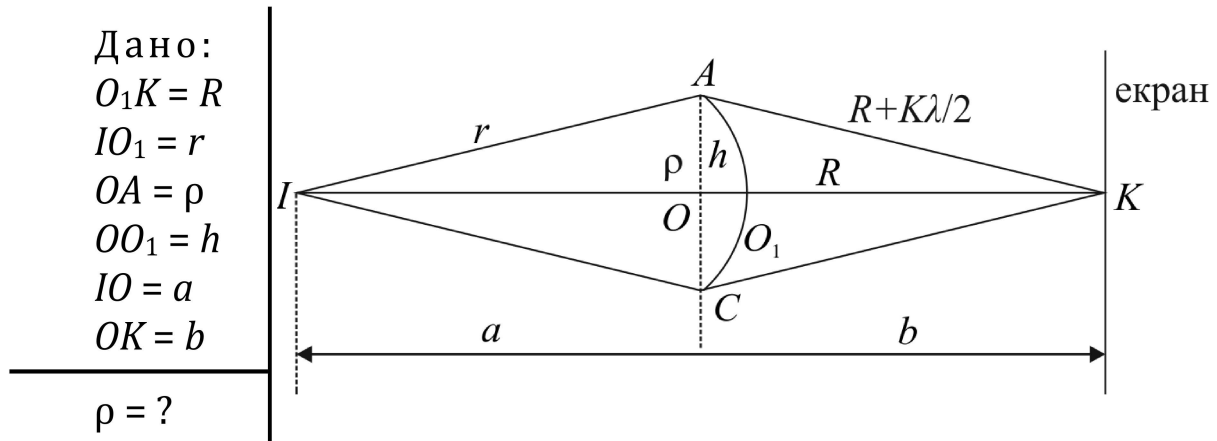
$$OA = \rho$$

$$OO_1 = h$$

$$IO = a$$

$$OK = b$$

$$\rho = ?$$



Припустимо, що на отворі діафрагми розміщується  $k$  зон Френеля,  $AC$  частини хвильової поверхні, яка обмежена діафрагмою, тоді  $AK = R + K \lambda/2$ . Знаходимо  $\rho$  з  $\Delta IAO$  та  $\Delta OAK$  і порівнюємо:

$$\rho^2 = r^2 - a^2 = \left( R + K \frac{\lambda}{2} \right)^2 - b^2,$$

з рисунка видно, що  $r = a + h$ , а  $R = b - h$ ; підставляємо та підносимо до квадрата, отримаємо

$$a^2 + 2ah + h^2 - a^2 = b^2 - 2bh + h^2 + bk\lambda - hk\lambda + \frac{k^2\lambda^2}{4} - b^2,$$

скорочуємо та виключаємо нескінченно малі другого порядку  $hk\lambda$  і  $\frac{k^2\lambda^2}{4}$ , отримуємо:  $2ah = -2bh + bk\lambda$ , або  $2(a+b)h = bk\lambda$ ,

$$h = \frac{bk\lambda}{2(a+b)} = \frac{b}{a+b} \cdot \frac{k\lambda}{2};$$

із  $\Delta IAO$ :  $\rho^2 = r^2 - a^2 = (a + h)^2 - a^2 = a^2 + 2ah + h^2 - a^2 = 2ah + h^2$ , ( $h^2$  - мала другого порядку).

Тому  $\rho^2 = 2ah$ ;  $\rho = \sqrt{2ah}$ , підставимо  $h$ , одержимо

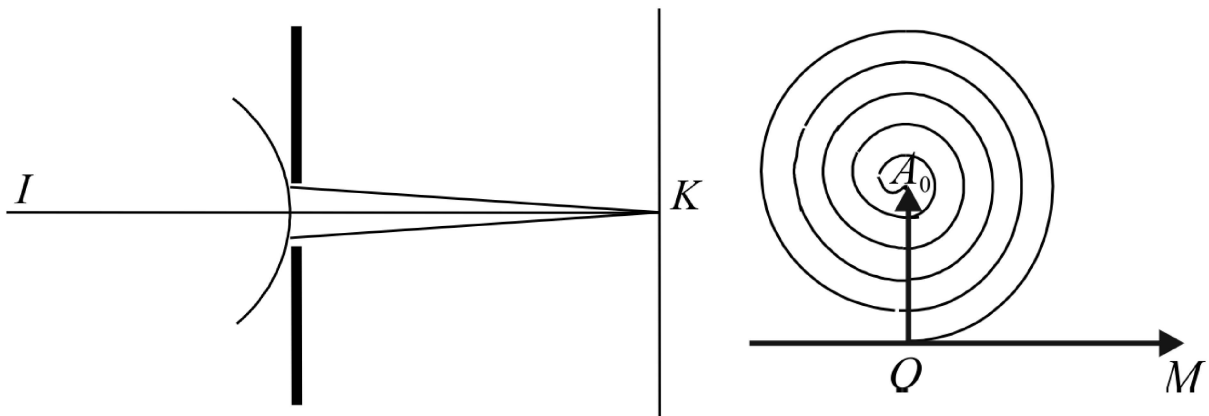
$$\rho = \sqrt{\frac{ab}{a+b} k\lambda} = \sqrt{\frac{k\lambda}{\frac{1}{a} + \frac{1}{b}}}.$$

Відповідь та аналіз:

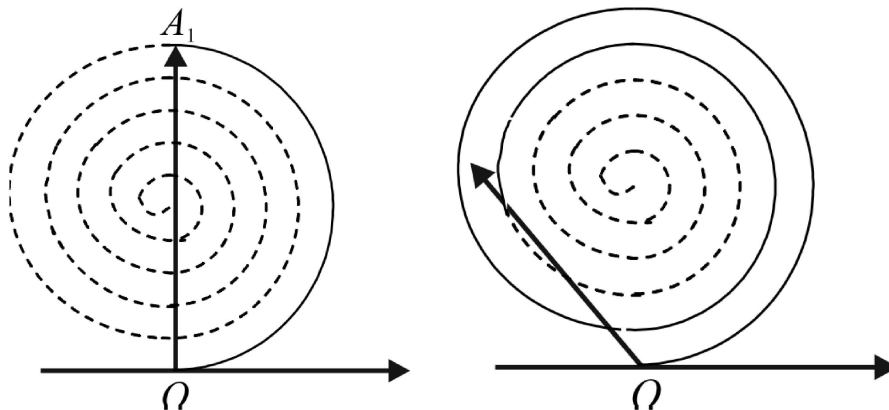
$$\rho = \sqrt{\frac{k\lambda}{\frac{1}{a} + \frac{1}{b}}}, \text{ тобто якщо } k - \text{ парне, тоді у центрі екрана}$$

буде темно (min), а коли непарне, тоді у центрі екрана буде світло (max).

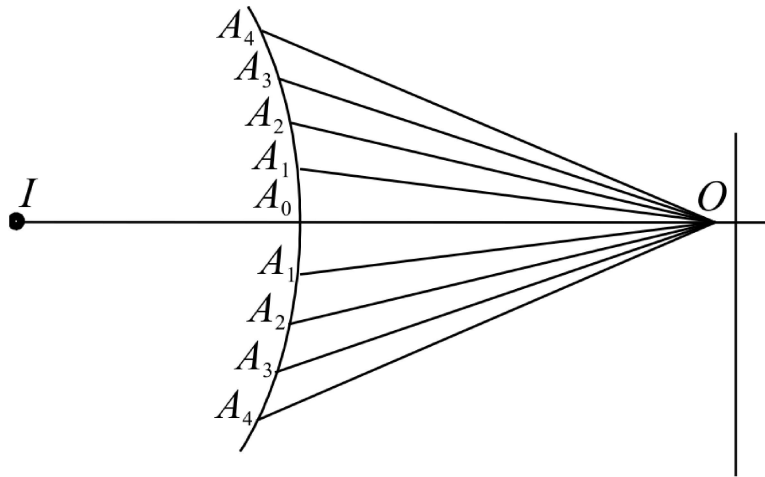
**Задача 2.** На рисунку показано діаграми амплітуди коливання, яке дійшло до точки  $K$  на екрані від випромінюючої точки  $I$  (див. рисунок). Кожна половина гілки спіралі відповідає одній зоні Френеля. Направлення прямої  $OM$  показує фазу коливання, яке дійшло від випромінюючої точки  $I$  до точки  $K$  по прямій. Відрізок  $OA$  показує амплітуду коливання, яке дійшло до точки  $K$  при повній відсутності перешкод між  $I$  та  $K$ .



Нарисувати подібні діаграми для випадків, коли ширма закриває всі зони Френеля, крім 1) першої зони Френеля; 2) трьох з половиною перших зон (спіраль необхідно відтворювати приблизно).



Коли відкрита лише центральна зона, то амплітуда коливань буде  $OA_1$ , тобто вона в два рази більша, ніж при повністю відкритій хвильовій поверхні  $\vec{OA}_1 \approx 2 \cdot \vec{OA}$ .



Всі відкриті зони рисуємо суцільною лінією, а закриті – пунктирною.

Для трьох з половиною відкритих зон амплітуда коливань буде  $OA_3$ , вона менша, ніж  $OA_1$ , хоча отвір збільшився.

### Задачі для самостійного розв'язування та домашнього завдання

1. Обчислити радіуси перших п'яти зон Френеля для випадку плоскої хвилі. Відстань від хвильової поверхні до точки спостереження дорівнює 1 м. Довжина хвилі  $\lambda = 5 \cdot 10^{-7}$  м.
2. Дифракційна картина спостерігається на відстані 4 м від точкового джерела монохроматичного світла ( $\lambda = 5 \cdot 10^{-7}$  м). Посередині між екраном і джерелом світла розташована діафрагма з круглим отвором. При якому радіусі отвору центр дифракційних кілець, які спостерігаються на екрані, буде найбільш темним?
3. Дифракційна картина спостерігається на відстані  $l$  від точкового джерела монохроматичного світла ( $\lambda = 6 \cdot 10^{-7}$  м). На відстані  $0,5 l$  від джерела розміщена кругла непрозора перешкода діаметром 1 см. Чому дорівнює відстань « $l$ », коли перешкода закриває тільки центральну зону Френеля?

4. 1) Обчислити радіус  $m$ -ї зони Френеля, якщо відстань від джерела до зональної пластини дорівнює  $a$ , а відстань від пластини до екрана дорівнює  $b$ . Довжина хвилі  $\lambda$ . 2) Знайти радіус першої зони, якщо  $a = b = 10$  м;  $\lambda = 4500\text{\AA}$ .
5. 1) Обчислити радіус  $m$ -ї зони при умові, що на зональну пластинку падає плоска хвиля. 2) Знайти  $\rho_1$  для цього випадку, вважаючи, що  $b = 10$  м, а  $\lambda = 4500\text{\AA}$ .
6. Яка інтенсивність  $I$  в фокусі зональної пластини, коли закриті всі зони Френеля, окрім першої. Інтенсивність світла без пластини дорівнює  $I_0$ .
7. Яка інтенсивність світла в центрі екрана, якщо діафрагма закриває всі зони, за винятком верхньої половини першої зони? Інтенсивність світла при відсутності діафрагми дорівнює  $I_0$ .
8. Яка інтенсивність світла в центрі дифракційної картини, якщо круглий екран закриває всю першу зону? Інтенсивність світла при відсутності екрана  $I_0$ .
9. Якщо круглий отвір (наприклад ірисова діафрагма) збільшується таким чином, що його радіус від радіуса однієї зони збільшується до радіуса двох зон, то освітленість у точці К на екрані падає майже до нуля. Як узгодити цей факт зі збільшенням всього світлового потоку крізь діафрагму в два рази?
10. Точкове джерело монохроматичного світла розміщено на відстані 3 м від круглої діафрагми, а екран з протилежної сторони – на відстані 2 м від неї. При яких радіусах діафрагми центр дифракційної картини на екрані буде темним, а при яких – світлим, якщо перпендикуляр, опущений з джерела на площину діафрагми, проходить крізь її центр?
11. Використовуючи метод спіралі Френеля, побудувати діаграму для випадку, коли ширма закриває всі зони Френеля, крім двох перших зон, і навпаки, коли вона закриває тільки дві зони Френеля. Показати відрізки, які є амплітудами коливань для цих випадків. (Джерело світла точкове).
12. Використовуючи метод спіралі Френеля, показати, що при відсутності перешкод інтенсивність світла  $I$  в точці К

на екрані приблизно в 4 рази менша за інтенсивність світла, що пройшло крізь отвір, який пропускає лише одну зону Френеля. (Джерело світла точкове).

13. Показати, що інтенсивність світла, яке пройшло крізь отвір, що пропускає тільки половину першої зони Френеля, приблизно в два рази більша за інтенсивність при повній відсутності перешкод.
14. Побудувати діаграму, яка відповідає випадку, коли перші 1,5 зони закриті круглим диском. Показати амплітуду коливань.
15. Побудувати діаграму, яка відповідає випадку, коли світло проходить крізь кільцевий отвір, який відкриває 3-тю і 4-ту зони Френеля. Показати амплітуду коливань.
16. Побудувати діаграму, яка відповідає випадку, коли 3-тя і 4-та зони закриті непрозорим кільцем. Показати амплітуду коливань.