Тема 13: **Дифракція Френеля**

Питання лекції:

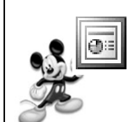
1. Дифракція від круглого отвору і диска.
2. Метод графічного складання амплітуд.
3. Дифракція від прямолінійного краю площини.

1. Дифракція від круглого отвору і диска

Дифракція від круглого отвору.

Як уже зазначалось, дифракція Френеля реалізується, коли розміри перепони і відстань до екрану є порівняними.

Нехай світло від точкового джерела *O* падає на круглий отвір з радіусом r перешкоди *П* і потрапляє на екран у точку *P* (рис.13.1).



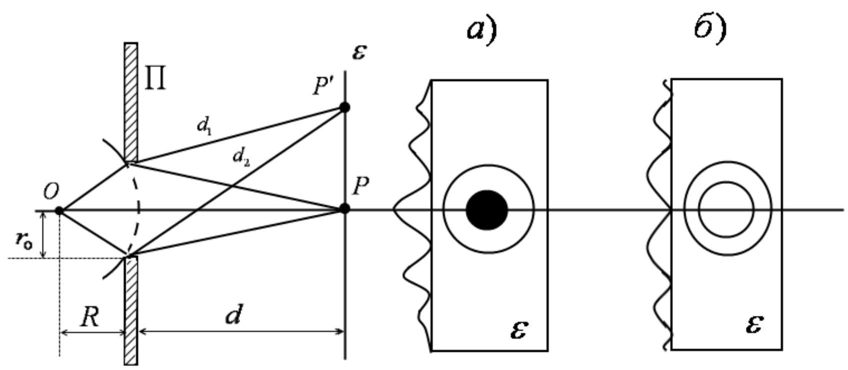


Рис. 13.1

Цей отвір залишає відкритими *m* зон. Радіус зони *m*

$$r_m = \sqrt{\frac{Rd}{R+d} m\lambda} \; . \qquad (1)$$

Звідси

$$m = \frac{r^2_m}{\lambda}\left(\frac{R+d}{Rd}\right) = \frac{r^2_m}{\lambda}\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{d}\right) . \qquad (2)$$

Із зростанням *d* кількість зон зменшується. Амплітуда результуючого коливання в точці *P* буде:

$$E = E_1 - E_2 + E_3 - E_4 + \ldots\ldots \pm E_m \qquad (3)$$

Якщо отвір відкриває тільки одну зону, то в точці P буде максимальне значення амплітуди, коли відкриті дві зони – буде мінімум.

Якщо екран переміщується вздовж OP, то, згідно з (2), число відкритих зон буде залежати від d і на екрані можна спостерігати максимуми і мінімуми, які змінюють один одного (рис. 13.1 а, б).

Зміщення в бік від лінії OP в точку P' призводить до додаткової різниці ходу і появи периферійних максимумів і мінімумів ($d_1 \neq d_2$). На екрані ці максимуми і мінімуми утворюють кільця.

Дифракція від круглого диска. Розмістимо між точковим джерелом світла S і точкою спостереження P непрозорий круглий диск з радіусом r_0 так, щоб він закривав m перших зон Френеля (рис. 13.2).

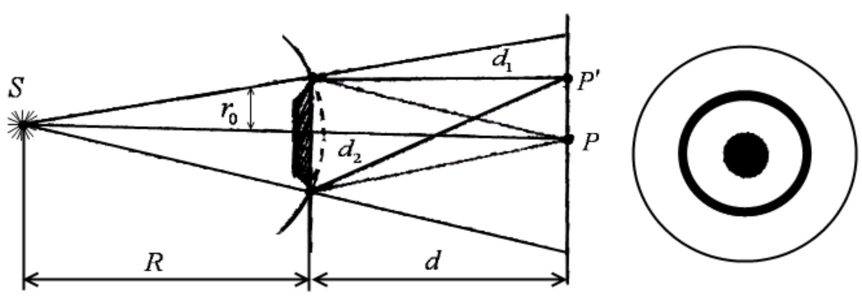


Рис. 13.2

Амплітуда світлової хвилі в точці P

$$E = E_{m+1} - E_{m+2} + E_{m+3} - E_{m+4} + \ldots = \\ = \frac{E_{m+1}}{2} + \left(\frac{E_{m+1}}{2} - E_{m+2} + \frac{E_{m+3}}{2} \right) + \ldots \qquad (4)$$

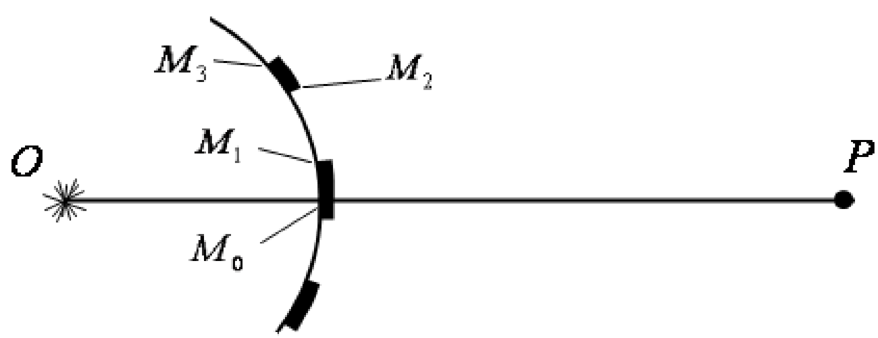
$$E = \frac{E_{m+1}}{2}. \qquad (5)$$

Таким чином, у центрі виходить світла пляма незалежно від того, парне чи непарне значення m. При зміщенні до периферії з'являється додаткова різниця ходу і виникають мінімуми і максимуми з меншою амплітудою, які утворюють концентричні кільця.

Дифракція від круглого диска має свою історію. Френеля запросили виступити на засіданні академії. Він написав "Мемуар про дифракцію світла", який одержав конкурсну премію. За дорученням академії розрахунки Френеля перевірив математик Пуассон. І він заявив, що теорія Френеля дає безглузді результати. За цією теорією у центрі тіні від круглого екрана повинна з'явитися світла пляма! Френель просить поставити експеримент. За справу береться Араго і виявляє в центрі тіні світлу пляму! Вона так і називається – "Пляма Пуассона". Зауважимо – пляма Пуассона (того, хто заперечував її), а не пляма Френеля! Цікаво відмітити, що Френель почав з нуля, нічого не знаючи про предмет своїх досліджень. А через два роки стає академіком Франції. У вісім років Френель ледве вмів читати, а до школи пішов у 13 років.

2. Метод графічного складання амплітуд

Метод зон Френеля дає можливість знайти амплітуду коливань у точці *P* (рис. 13.3), що прийшли від усіх зон хвильової поверхні.



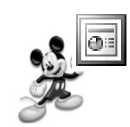


Рис. 13.3

Складання коливань у точці *P*, що прийшли від різних зон, зручно здійснювати графічно. Для цього зону розбивають на рівні малі елементи так, щоб фазу коливань від одного елемента можна було вважати однаковою. Тоді дію елемента зони можна виразити вектором, довжина якого дорівнює амплітуді в точці *P*, а напрям визначає фазу (рис. 13.4).

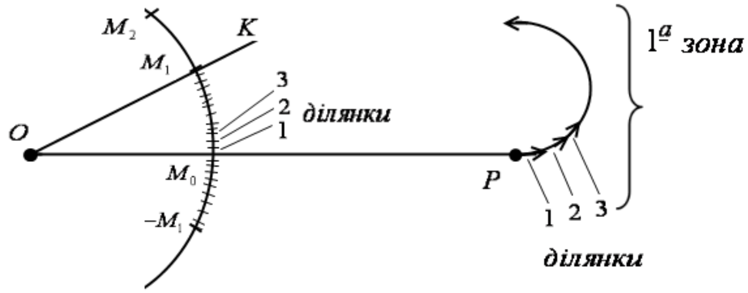


Рис. 13.4

Рис. 13.5

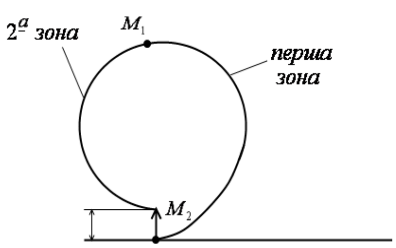


Рис.13.6

Дію сусіднього елемента можна виразити другим вектором (2), трохи повернутим відносно першого у зв'зку зі зміною фази. Довжина цього вектора дещо менша через зміну нахилу поверхні даної ділянки відносно точки P (рис. 13.5).

Коливання від останньої ділянки першої зони вже будуть у протифазі. Дію всієї першої зони можна представити вектором M_0M_1 .

Щоб врахувати дію другої зони, потрібно продовжити побудову діаграми (рис. 13.6). Вектор M_0M_1 і відображає спільну дію двох зон.

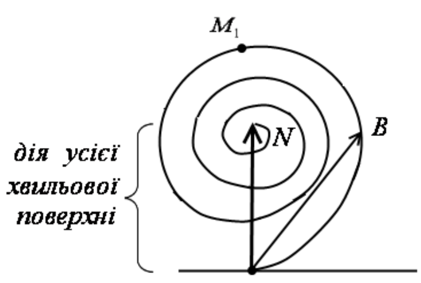


Рис. 13.7

Дію всіх зон – усієї хвильової поверхні, можна представити спіраллю – вектором M_0M_1 (рис. 13.7).

Як бачимо, амплітуда від усієї хвильової поверхні приблизно в два рази менша, ніж від однієї першої зони (інтенсивність менша в чотири рази). Навіть половина першої зони має більшу амплітуду, ніж уся хвильова поверхня: $M_0B = M_0N\sqrt{2}$ (інтенсивність у два рази більша).

3. Дифракція від прямолінійного краю площини

Якщо світлова хвиля перекривається плоскою перепоною з прямолінійним краєм, то побудова кільцевих зон Френеля стає незручною (рис. 13.8).

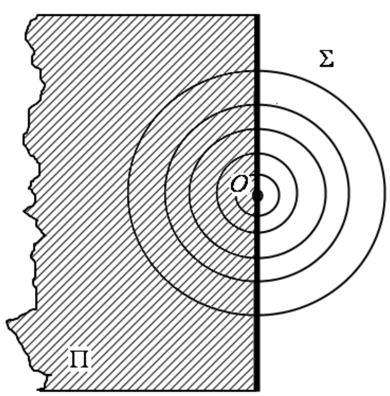


Рис. 13.8

Задачу з визначення інтенсивності світла в цьому випадку можна розв'язати шляхом розбиття хвильової поверхні на зони дещо іншим способом. Нехай O – джерело світла, Σ – хвильова поверхня, П – перепона.

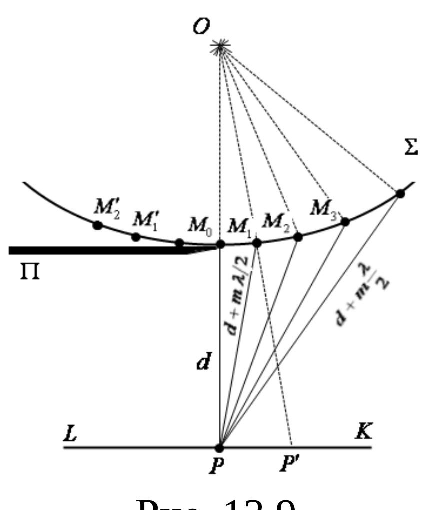


Рис. 13.9

Сферична хвильова поверхня розбивається на сектори, такі, що від точок M_0, M_1, M_2 до точки P відстань відрізняється на (рис. 13.9). Можна показати, що відстань M_0M_1, M_1M_2, M_2M_3, ... відносяться між собою як 1:0, 41:0, 32:0,27 і т.д.

Аналогічно відносяться і площі частин сферичної поверхні. При віддаленні від M_0 вони спочатку дуже швидко спадають, а потім цей процес сповільнюється.

Подібно до того, як будувалась векторна діаграма для врахування дії кільцевих зон, можна побудувати діаграму дії різних зон і для даного випадку. Це теж буде спіраль, але з двома гілками, які відображають дію правої і лівої частин хвильової поверхні (спіраль Корню, рис. 13.10).

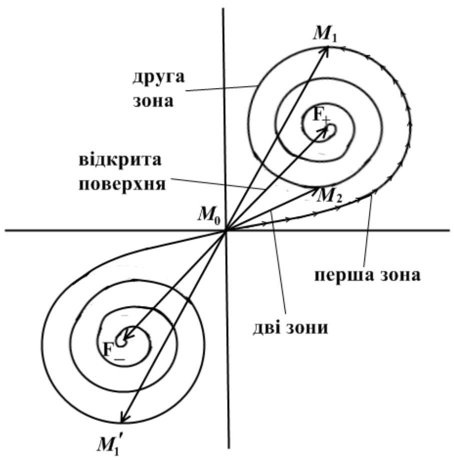


Рис. 13.10

Права частина хвильової поверхні відображається полюсом F_+, до якого сходиться спіраль. Ліва, прикрита частина, відображається полюсом F_-. Результуючий вектор M_0M_1, характеризує амплітуду коливань у точці P, які прийшли від першої зони. M_0M_2 – амплітуда від першої і другої зон, M_0F_+ – від усієї правої половини хвильової поверхні. $(F_-)M_0(F_+)$ – амплітуда від усієї хвильової поверхні; (M_0F_+) – від усієї правої хвильової поверхні і першої зони зліва.

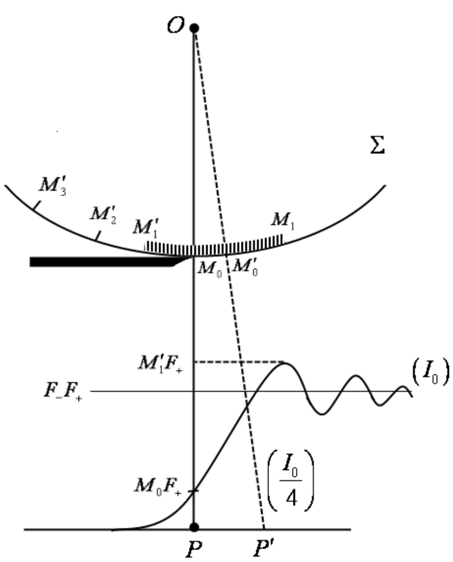


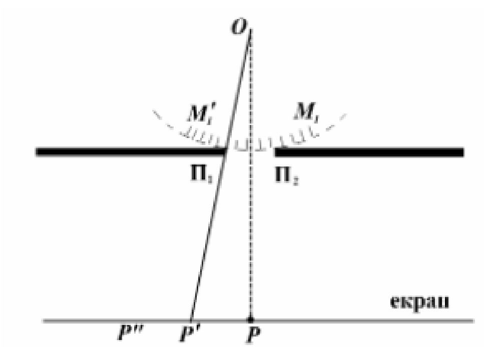
Рис. 13.11

Розглянемо, як змінюється освітленість екрана при переході з області тіні в його освітлену частину (рис.13.11).

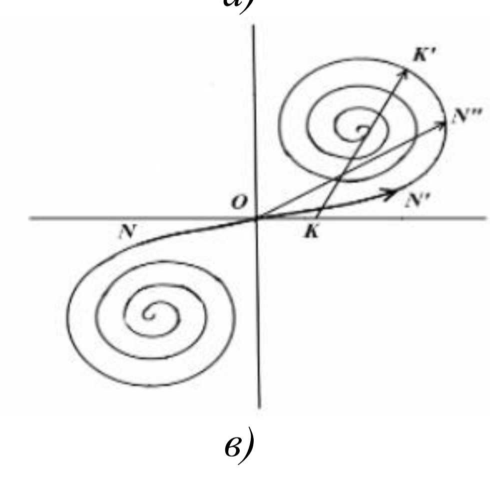
Нехай на екрані E амплітуда визначається вектором M_0F_+ (рис. 13. 10), тобто половиною хвильової поверхні. Інтенсивність буде в чотири рази меншою, ніж від усієї хвильової поверхні: $I = \frac{1}{4}I_0$.

При зміщенні вправо (точка *P* на екрані *E*, рис. 13.11) інтенсивність зростатиме, оскільки з цієї точки видно всю праву половину хвильової поверхні і ще частину лівої. Коли зліва відкривається вся перша зона $(M'_1 M_0)$ – буде максимум амплітуди. При дальшому зміщенні вправо буде відкриватися ліва парна зона $(M_1 M_2)$ і амплітуда стане зменшуватись. Потім відкриється ліва непарна $(M'_2 M'_3)$ зона і амплітуда знову зросте і т.д. На рис. 11 це коливання представлено графіком для амплітуди. При далекому зміщенні вправо будемо бачити всю хвильову поверхню, її праву і ліву частини (інтенсивність $\boldsymbol{I_0}$**)**. При зміщенні вліво від точки *P* (в область тіні) спочатку зникатиме права перша зона, потім друга і так далі. Амплітуда при цьому стрімко спадатиме.

4. Дифракція від щілини

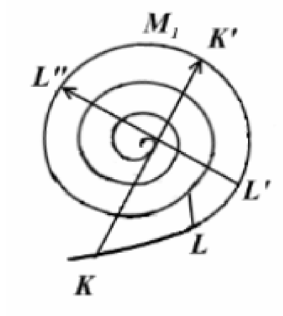


а)

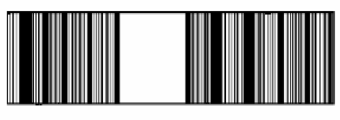


в)

Розглянемо випадок, коли світло від точкового джерела *O* падає на щілину, утворену двома напівплощинами Π_1 і Π_2. Задача дифракції може бути розв'язана за допомогою спіралі Корню. З точки *P,* яка знаходиться на середині екрана (рис. 13.12 а), видно, припустимо, тільки частину першої зони (щілина вузька). На спіралі Корню (рис. 13.12 в) початок і кінець вектора, що характеризує амплітуду (*NN'*) відносно точки *P* буде симетричним. Якщо зміститися в точку *P'*, початок ре-



c)



d)

Рис. 13.12

зультуючого вектора зміститься на середину спіралі ($\overrightarrow{ON}$"), тому що ліва частина хвильової поверхні буде закрита. Кінець вектора переміститься по спіралі в точку N'', оскільки справа буде видно більшу частину зони. Якщо переміститися ще більше вліво (P''), частини першої зони зліва вже не буде видно і початок вектора $\overrightarrow{KK'}$" зміститься вгору по спіралі (рис. 13.12 *c*). Кінець вектора теж буде ковзати по спіралі в залежності від того, які зони справа відкриваються ($\overrightarrow{LM_1}$,$\overrightarrow{L'L}$" і т.д.).

При такому переміщенні початок і кінець вектора зійдуться в найближчих точках сусідніх витків спіралі і інтенсивність зменшиться. Далі вектор знову видовжиться і інтенсивність дещо зросте і так далі. Таким чином, френелівська дифракційна картина від щілини являє собою освітлену (більше чи менше) смугу, по обидві сторони якої розміщені симетричні світло-темні смуги (рис. 13.12 *d*).

Питання для контролю

1. Пояснити дифракцію від круглого отвору.
2. Пояснити дифракцію від диска. Що таке "пляма Пуассона" ?
3. Пояснити метод графічного складання амплітуд.
4. Як відбувається дифракція від прямолінійного краю півплощини.
5. Що таке "спіраль Корню" ?
6. Пояснити дифракцію від щілини.

Допоміжна література

1. *Малинко В.Н., Сусь Б.А.* Курс физики, т.2, ч.2. – Киев: КВВИУС, 1987, § 62-64.
2. *Савельев И.В.* Курс общей физики, т.2, 1978, § 127, 128.