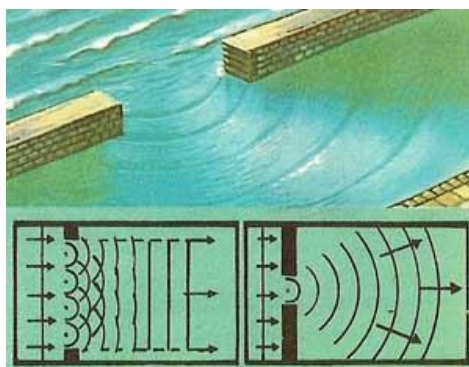


# ДИФРАКЦИЯ НА СВЕТЛИНАТА. ПРИНЦИП НА ХЮЙГЕНС. ПРИНЦИП НА ХЮЙГЕНС-ФРЕНЕЛ. ЗОНИ НА ФРЕНЕЛ. АМПЛИТУДНИ И ФАЗОВИ ЗОНАЛНИ РЕШЕТКИ.

## ДИФРАКЦИЯ НА СВЕТЛИНАТА

**Дифракция** - отклонение на светлината от праволинейното ѝ разпространение в среда с резки нееднородности (прегради, препятствия, отвори и т.н.), около които възниква локално амплитудно или фазово нарушение на вълновия фронт.



Дифракция възниква във всички случаи, когато изменението на амплитудата или фазата не е еднакво за цялата вълнова повърхност. Тя води до отклонението на светлинните вълни от препятствия и проникване на светлината зад прегради (в областта на геометрична сянка).

Между интерференцията и дифракцията няма съществени физически различия. Същността на двете явления се заключава в преразпределение на светлинния поток в резултат на суперпозицията на кохерентни вълни.

Различават се два вида дифракция:

### ➤ Дифракция на Френел

- Ако източникът на светлина и точката на наблюдение не са разположени твърде далече от препятствието (преграда, отвор и т.н.), се наблюдава дифракция на сферични вълни.
- Наблюдава се без оптична система.
- Наблюдава се дифракционен образ на препятствието.

### ➤ Дифракция на Фраунхофер

- Ако източникът на светлина и точката на наблюдение са разположени от препятствието толкова далече, че лъчите образуват практически успореден сноп лъчи, се наблюдава дифракция на плоски вълни.
- Наблюдава се с помощта на оптична система – например поставяне на леща пред екрана.
- Наблюдава се дифракционен образ на източника.

Ще бъде разгледана дифракция на Френел.

За обяснение на явлениято дифракция се използва принципът на Хюйгенс.

## ПРИНЦИП НА ХЮЙГЕНС

Според принципа на Хюйгенс всяка точка, до която достига вълната, става център на вторични вълни, чиято обвивка определя положението на вълновия фронт в следващия момент от време.

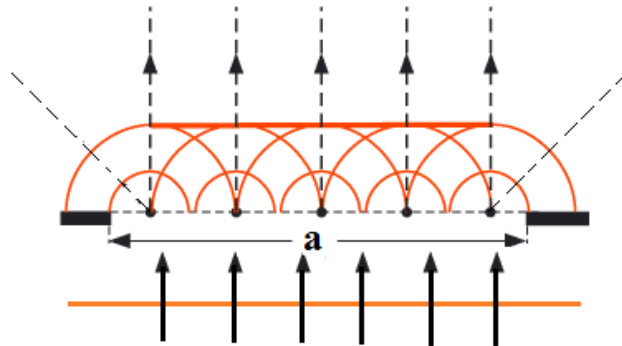
Като пример за приложение на принципа на Хюйгенс може да се разгледа падането на плоска вълна върху преграда с отвор – показано на фигурата в дясно.

Когато вълновият фронт достигне до преградата, всяка точка от отвора става източник на вторични вълни, а обвивката им дава фронта на вълната, преминала през отвора. От фигурата се вижда, че вълновият фронт е плосък само в средната част на отвора, а на границите му се получава закривяване, т.е. вълната прониква в областта на геометричната сянка, като заобикаля ръба на преградата.

Явлението дифракция е характерно за вълновите процеси. Следователно, ако светлината действително представлява вълнов процес, то за нея също трябва да се наблюдава проникване в областта на геометричната сянка. Известно е обаче, че при осветяване на предметите с точков източник на светлина се получава рязка сянка, т.е. вълните не се отклоняват от праволинейното си разпространение. Това дава основание да възникне въпросът защо съществува рязка сянка, след като светлината има вълнов характер.

За съжаление принципът на Хюйгенс не дава отговор на този въпрос. Той представлява геометричен начин за построяване на вълновите повърхности и обяснява само посоката на разпространение на вълната. Не обяснява как се пресмята амплитудата и фазата в дадена точка и съответно големината на интензитета, а от там и разпределението на интензитета.

Физически смисъл в принципа на Хюйгенс внася Френел, допълвайки го с идеята за интерференцията на вторичните вълни.



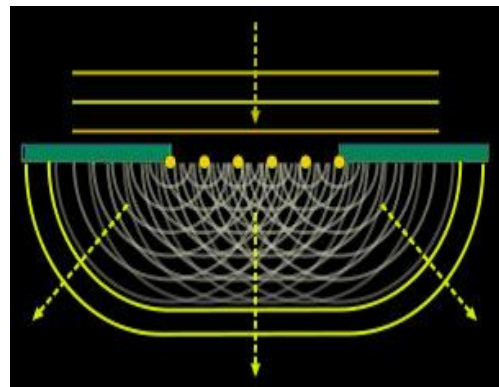
## ПРИНЦИП НА ХЮЙГЕНС-ФРЕНЕЛ

Френел допълва принципа на Хюйгенс с твърдението, че вторичните вълни интерферират помежду си.

Отчитането на амплитудите и фазите на вторичните вълни и принципа на суперпозиция позволяват да се намери амплитудата на резултантната вълна във всяка точка от пространството, а от там и разпределението на интензитета.

Съчетанието на принципа на Хюйгенс с принципа за интерференцията се нарича принцип на Хюйгенс-Френел.

Според принципа на Хюйгенс-Френел светлинната вълна, излъчвана от всеки източник  $S$ , може да се представи като суперпозиция от кохерентни вторични вълни, излъчвани от фиктивни източници. За такива източници могат да служат безкрайно



малки елементи от всяка повърхност, обхващаща източника. Следователно разпространяващите се от източника вълни могат да се разглеждат като резултат от интерференцията на всички кохерентни вторични вълни. Резултатното трептене ще бъде суперпозиция от трептенията за цялата вълнова повърхност  $S$  и може да се запише в следния вид:

$$E = \int_S k(\varphi) \frac{a_0}{r} \exp[i(\omega t - kr - \alpha_0)] dS, \quad (1)$$

където  $a_0$  е амплитуда на трептене в мястото, където е елементът  $dS$ .

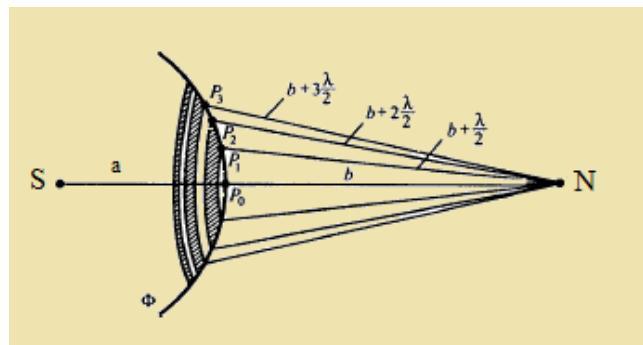
$k = k(\varphi)$  - коефициент, зависещ от ъгъл  $\varphi$  между нормалата към  $dS$  и направлението от  $dS$  до точката, в която се наблюдава трептенето.

Формула (1) представлява аналитичен израз на принципа на Хюйгенс-Френел.

## ЗОНИ НА ФРЕНЕЛ

Принципът на Хюйгенс-Френел в рамките на вълновата теория би трябвало да даде отговор на въпроса за праволинейното разпространение на светлината. За целта Френел разглежда взаимната интерференция на вторичните вълни и прилага начин известен като зонен метод на Френел.

За да се определи амплитудата на светлинната вълна, излъчвана от точков източник  $S$  и разпространяваща се в еднородна среда в произволна точка  $N$  се използва фигурата, представена в дясно.



Вълновата повърхност на тази вълна е симетрична спрямо правата  $SN$ . Френел разделя тази повърхност на кръгови зони с такива размери, че разстоянията от краищата им до точката  $N$  да се различават с  $\frac{\lambda}{2}$ , т.е. да е в сила зависимостта:

$$P_1N - P_0N = P_2N - P_1N = P_3N - P_2N = \dots = \frac{\lambda}{2}.$$

Такова разделяне на фронта на вълната на зони се получава, ако от точката  $N$  се опишат сфери със следните радиуси:

$$b + \frac{\lambda}{2}, b + 2\frac{\lambda}{2}, b + 3\frac{\lambda}{2}, \dots, b + m\frac{\lambda}{2},$$

където  $b$  е разстоянието от върха на вълновата повърхност до точка  $N$ ;  $b_m = b + m\frac{\lambda}{2}$  е разстоянието от края на  $m$ -тата зона до точка  $N$ .

Тогава трептенията, излъчвани от две съседни зони, ще идват в точка  $N$  с противоположни фази и при наслагването им взаимно ще се компенсират.

Следователно амплитудата на резултантното трептене в точка  $N$  може да се представи по следния начин:

$$A = A_1 - A_2 + A_3 - A_4 + \dots \pm A_m,$$

където  $A_1, A_2, \dots, A_m$  са амплитудите на трептенията, възбудени от първата, втората, третата и т.н. до  $m$ -тата зона.

В случая когато  $m$  заема нечетна стойност, резултантното трептене се определя с формулата:

$$A = \frac{A_1}{2} + \frac{A_m}{2}$$

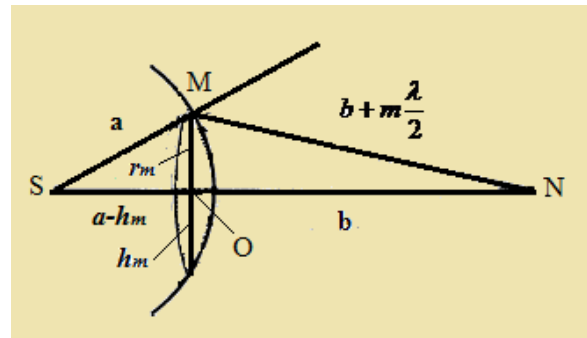
В случая когато  $m$  заема четна стойност, резултантното трептене се определя с формулата:

$$A = \frac{A_1}{2} - \frac{A_m}{2}$$

За да се пресметне амплитудата на резултантното трептене в точка N, трябва да се определи площта на зоните на Френел.

Външната граница на  $m$ -тата зона отделя от вълновата повърхност сферичен сегмент с височина  $h_m$  (фигура).

Ако с  $S_m$  се означава площта на сферичен сегмент с височина  $h_m$ , отделен от вълновата повърхност от външната граница на  $m$ -тата зона, а с  $S_{m-1}$  – сегмент отделен от външната граница на  $(m-1)$ -та зона, то площта на  $m$ -тата зона на Френел ще се определи от формулата:



$$\Delta S_m = S_m - S_{m-1} \quad (2)$$

$$S_m = 2\pi a h_m \quad (3)$$

За да се определи  $h_m$  се прилага питагорова теорема за правоъгълните триъгълници SOM и NOM и се получава:

$$r_m^2 = a^2 - (a - h_m)^2 = \left(b + m \frac{\lambda}{2}\right)^2 - (b + h_m)^2, \quad (4)$$

където  $r_m$  е радиусът на външната граница на  $m$ -тата зона

От уравнение (4) за  $h_m$  се получава:

$$h_m = \frac{bm\lambda + \frac{m^2\lambda^2}{4}}{2(a+b)} \quad (5)$$

Ако  $m$  не е много голямо, то в уравнение (5)  $\lambda^2$  може да се пренебрегне.

Тогава за  $h_m$  се получава изразът:

$$h_m = \frac{bm\lambda}{2(a+b)} \quad (6)$$

Като се замести  $h_m$  от уравнение (6) в уравнение (3) за площта  $S_m$  се получава:

$$S_m = \frac{\pi ab}{a+b} m\lambda \quad (7)$$

От уравнение (7) и уравнение (2) за площта на  $m$ -тата френелова зона се получава:

$$\Delta S_m = \frac{\pi ab}{a+b} \lambda \quad (8)$$

Площите на зоните на Френел са равни при неголям брой зони  $m$ .

За да се изчисли радиусът на  $m$ -тата френелова зона се използва уравнение (4), откъдето се получава:

$$r_m^2 = 2ah_m - h_m^2; \quad h_m^2 \rightarrow 0 \quad (9)$$

Чрез заместване на  $h_m$  от уравнение (6) в уравнение (9) за квадрата на радиуса на  $m$ -тата френелова зона се получава:

$$r_m^2 = \frac{abm\lambda}{(a+b)} \quad (10)$$

Чрез коренуване на уравнение (10) се получава:

$$r_m = \sqrt{\frac{ab}{a+b} m\lambda} \quad (11)$$

От уравнение (11) се вижда, че радиусът на френеловата зона зависи от  $\sqrt{m}$ .

Броят на откритите зони на Френел –  $m$  могат да се определят от уравнение (10).

$$m = \frac{r^2(a+b)}{ab\lambda} \quad (12)$$

т.е. броят на френеловите зони зависи от големината на отвора  $r$ , дължината на вълната  $\lambda$ , радиуса на сферичната вълна  $a$  и от разстоянието  $b$  (от точка О до екрана в точка N).

Следователно, изменяйки  $b$  ще се изменя и броят на френеловите зони, които ще се виждат от точка N. С нарастване на  $b$  ще намалява  $m$ , следователно ще се откриват по-малко на брой зони.

Експериментално потвърждение на правдоподобността на зонния модел на Френел са тъй наречените зонални пластинки.

- **Амплитудна зонална пластина (решетка на Соре)**

Трептенията от четните и нечетните зони на Френел са в противофаза следователно взаимно се отслабват. Ако на пътя на светлинната вълна се постави пластина, която закрива всички четни или нечетни зони, то интензитетът на светлината в точка N силно нараства. Тази пластина се нарича амплитудно-зонална или решетка на Соре и действа подобно на събирателна леща.

- **фазова зонална пластина**

Още по-добър ефект се постига не чрез закриването на четните (нечетните) зони, а чрез изменение на фазата на четните спрямо нечетните с  $\pi$ . Това става чрез прозрачна пластина, чиято дебелина се изменя стъпаловидно, така, че фазовата разлика между съседните зони да се измени с  $\pi$ . Това е стъпалчеста фазова зонална решетка. По сравнение с амплитудната зонална решетка, фазовата дава допълнително увеличение на амплитудата два пъти, а интензитетът на светлината – се увеличава четири пъти.