

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ НА СВЕТЛИНАТА

1. Събиране на монохроматични вълни

Разглеждаме два монохроматични източника с еднаква честота и еднаква поляризация, независими един от друг. В дадена точка от пространството тези вълни си сумират по принципа на суперпозицията и предизвикват резултантно трептене със същата честота и постоянна с времето амплитуда, зависеща от разликата във фазите на двете вълни за дадената точка.

$$E_1 = E_{01} \cdot \cos(\omega t - k_1 r_1 + \alpha_1) = E_{01} \cdot \cos(\omega t - \varphi_1), \varphi_1 = k_1 r_1 - \alpha_1$$

$$E_2 = E_{02} \cdot \cos(\omega t - k_2 r_2 + \alpha_2) = E_{02} \cdot \cos(\omega t - \varphi_2), \varphi_2 = k_2 r_2 - \alpha_2$$

Резултантното трептене е :

$$E = E_1 + E_2$$

$$E = E_{01} \cdot \cos(\omega t - \varphi_1) + E_{02} \cdot \cos(\omega t - \varphi_2)$$

$$E = E_{01} \cdot \exp(i\omega t) \cdot \exp(-i\varphi_1) + E_{02} \cdot \exp(i\omega t) \cdot \exp(-i\varphi_2) =$$

$$= [E_{01} \cdot \exp(-i\varphi_1) + E_{02} \cdot \exp(-i\varphi_2)] \cdot \exp(i\omega t) = E_0 \cdot \exp(i\omega t)$$

E_0 - комплексна амплитуда

$$I = c \cdot E_0^2 = c \cdot [E_{01} \cdot \exp(-i\varphi_1) + E_{02} \cdot \exp(-i\varphi_2)] \cdot [E_{01} \cdot \exp(i\varphi_1) + E_{02} \cdot \exp(i\varphi_2)] =$$

$$= c \cdot [E_{01}^2 + E_{02}^2 + E_{01} \cdot E_{02} \cdot \exp[i \cdot (\varphi_2 - \varphi_1)] + E_{01} \cdot E_{02} \cdot \exp[-i \cdot (\varphi_2 - \varphi_1)]] =$$

$$= c \cdot [E_{01}^2 + E_{02}^2 + 2E_{01}E_{02} \cdot \frac{\exp[i \cdot (\varphi_2 - \varphi_1)] + \exp[-i \cdot (\varphi_2 - \varphi_1)]}{2}]$$

$$\cos \varphi = \frac{\exp(i\varphi) + \exp(-i\varphi)}{2}$$

2. Интерференция на светлината

$$I = I_1 + I_2 + 2 \cdot \sqrt{I_1 \cdot I_2} \cdot \cos(\varphi_2 - \varphi_1)$$

Означаваме фазовата разлика като $\delta = \varphi_2 - \varphi_1 = k_2 r_2 - \alpha_2 - k_1 r_1 + \alpha_1$

$$I = I_1 + I_2 + 2 \cdot \sqrt{I_1 \cdot I_2} \cdot \cos \delta$$

$$2 \cdot \sqrt{I_1 \cdot I_2} \cdot \cos \delta \text{ - интерференчен член}$$

а) $\alpha_2 = \alpha_1$ или $\alpha_2 - \alpha_1 = \text{const}$, $\delta(t) = \text{const}$.

Началните фази са еднакви или постоянни с времето, т.е вълните са кохерентни. Тогава се наблюдава интерференция.

$$\delta = \varphi_2 - \varphi_1 = k_2 r_2 - k_1 r_1 = \text{const}, \text{ за дадена точка}$$

1) $\delta = 0, 2\pi, \dots, 2m\pi$, четно число π , $\cos \delta = 1$

$$I = I_1 + I_2 + 2 \cdot \sqrt{I_1 \cdot I_2}, \text{ max}$$

2) $\delta = \pi, 3\pi, \dots, (2m+1)\pi$, нечетно число π , $\cos \delta = -1$

$$I = I_1 + I_2 - 2 \cdot \sqrt{I_1 \cdot I_2}, \text{ min}$$

Интерференция – явление, при което в резултат на наслагване на кохерентни вълни става преразпределение на светлинния поток в пространството и възникват максимуми и минимуми на интензитета.

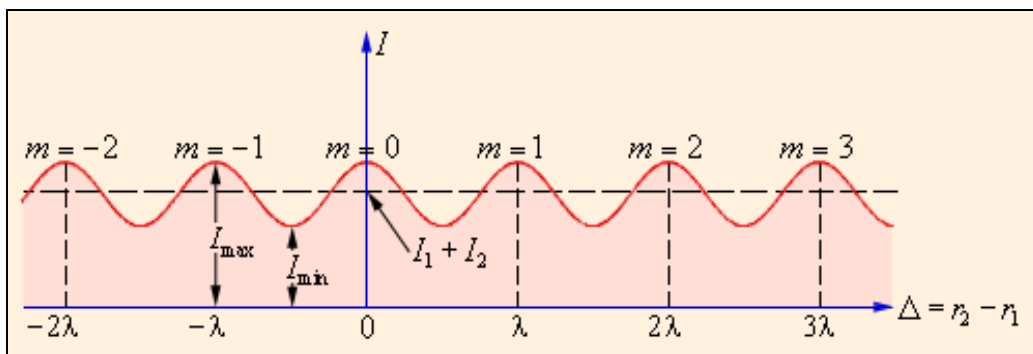
б) $\delta = \varphi_2 - \varphi_1 = f(t)$, тъй като $\alpha_2 - \alpha_1 = f(t)$ – некохерентни вълни

В случай на некохерентни вълни δ непрекъснато се изменя, приемайки с равна вероятност произволни стойности, т.е. $\langle \cos \delta \rangle = 0$

$$I = I_1 + I_2$$

Разпределение на интензитета в интерференчната картина.

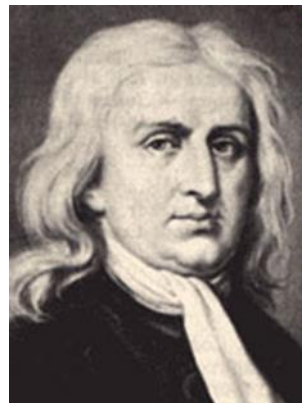
Цяло число m - порядък на интерференчните максимуми



3. Опит на Юнг

Експериментално наблюдение на явлението интерференция на светлината

- Първи експеримент за наблюдение на интерференция на светлината в лабораторни условия – **Исак Нютон**.
- Нютонови пръстени – ИК е концентрични кръгове. Нютон не успява да обясни чрез корпускулярната теория, защо се появяват тези кръгове. Но, разбира, че явлението е свързано с някаква периодичност на светлинните процеси.
- Първи експериментален опит на явлението интерференция, което се обяснява с вълновата теория на светлината - опита на **Томас Юнг** 1802г.
- Юнг първи разбира, че интерференция не може да се наблюдава при събиране на вълни от два независими източника.



3.1 Оптичен път

Явлението интерференция е свързано с разликата във фазите, с която пристигат лъчите в дадена точка, а самите фази зависят от това, колко дължини на вълната могат да се насложат в разстоянието от източника до разглежданата точка. Този брой зависи от средата, в която се разпространява лъча.

$$\delta = \varphi_2 - \varphi_1, \alpha_1 = \alpha_2$$

$$\delta = k_2 \cdot r_2 - k_1 r_1 = \frac{2\pi}{\lambda_2} \cdot r_2 - \frac{2\pi}{\lambda_1} \cdot r_1$$

$$n_1 = \frac{c}{v_1} \cdot \frac{T}{T} = \frac{\lambda_0}{\lambda_1}, n_2 = \frac{c}{v_2} \cdot \frac{T}{T} = \frac{\lambda_0}{\lambda_2}, T_1 = T_2 = T \Leftarrow \omega_1 = \omega_2 = \omega$$

λ - дължина на вълната на светлинните трептения в дадена среда

λ_0 - дължина на вълната на светлинните трептения във вакуум

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0} \cdot (n_2 \cdot r_2 - n_1 \cdot r_1)$$

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0} \cdot (L_2 - L_1)$$

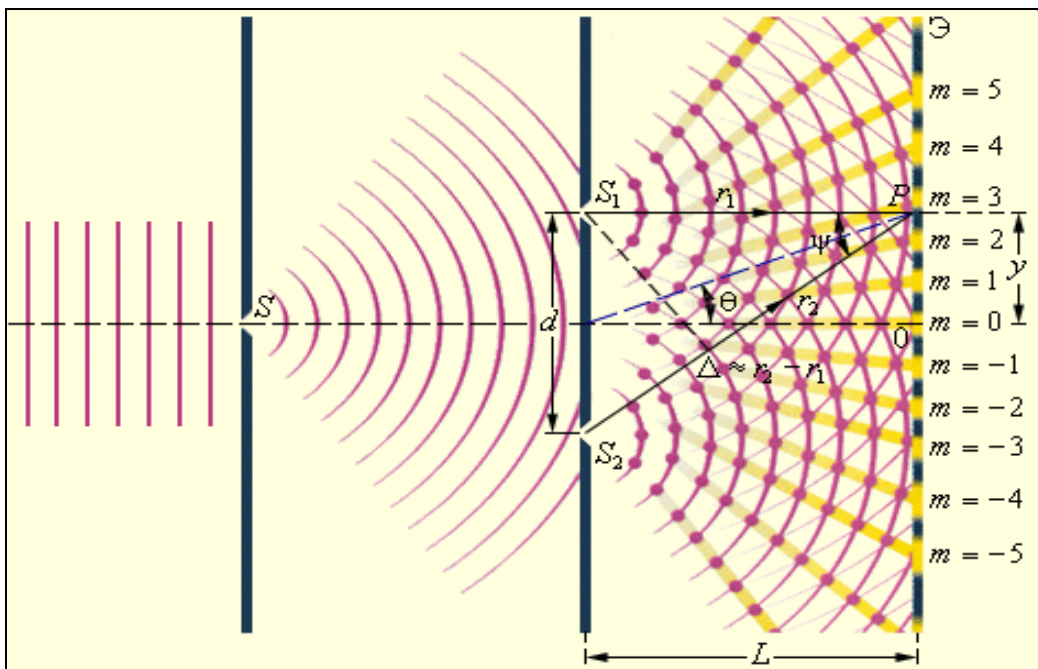
$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0} \cdot \Delta$$

Вълните ще са във фаза ($\delta=0$), ако $L_1=L_2$. L_1 и L_2 – оптични пътища.

$L = n \cdot r$ - оптичен път

3.2 Опит на Юнг

Първа експериментална установка за демонстрация на интерференция на светлината (1802г.)



$\angle S_1SS_2$ – апертура на интерференция при опита на Юнг.

4. Условия за получаване на максимуми и минимуми

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0} \cdot \Delta$$

$$E_{01} = E_{02} = E_0$$

а) Условия за максимум

$$I = I_{\max} = 4I_0$$

$$\delta = 2m \cdot \pi \text{ или } \Delta = 2m \cdot \frac{\lambda}{2}$$

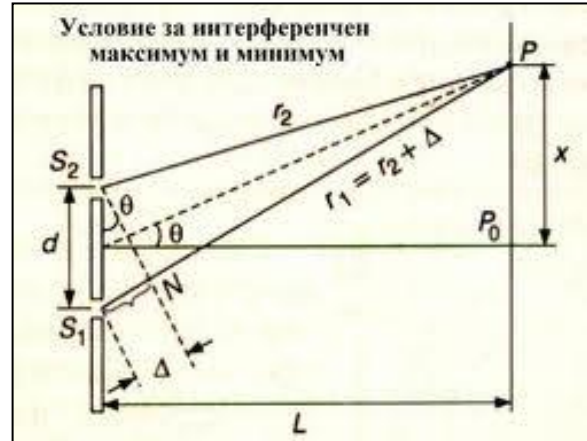
$$m = \frac{\delta}{2\pi} = \frac{\Delta}{\lambda} \text{ - порядък на интерференчните максимуми}$$

б) Условия за минимум

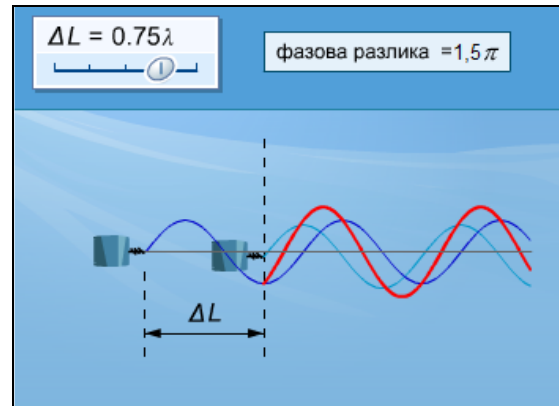
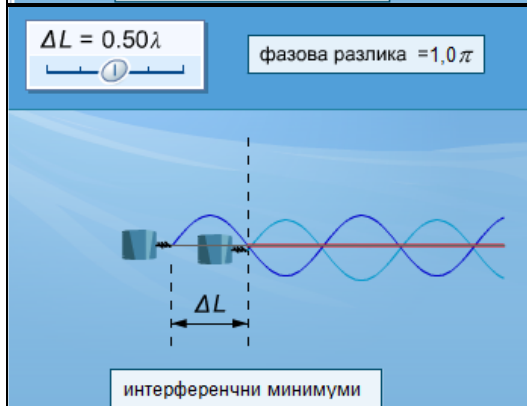
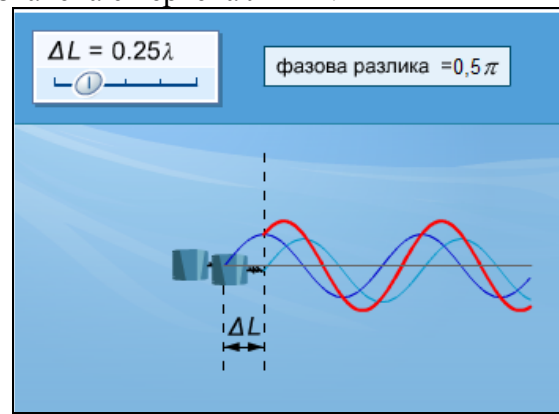
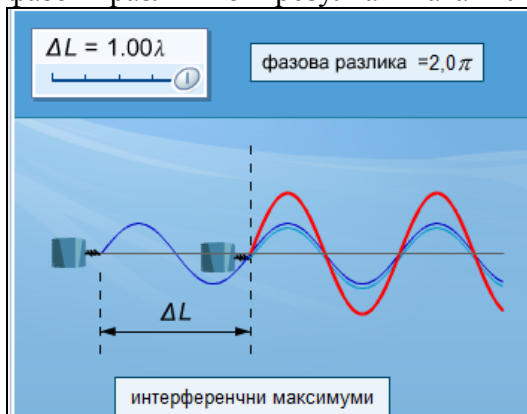
$$I = I_{\min} = 0$$

$$\delta = (2m+1) \cdot \pi \text{ или } \Delta = (2m+1) \cdot \frac{\lambda}{2}$$

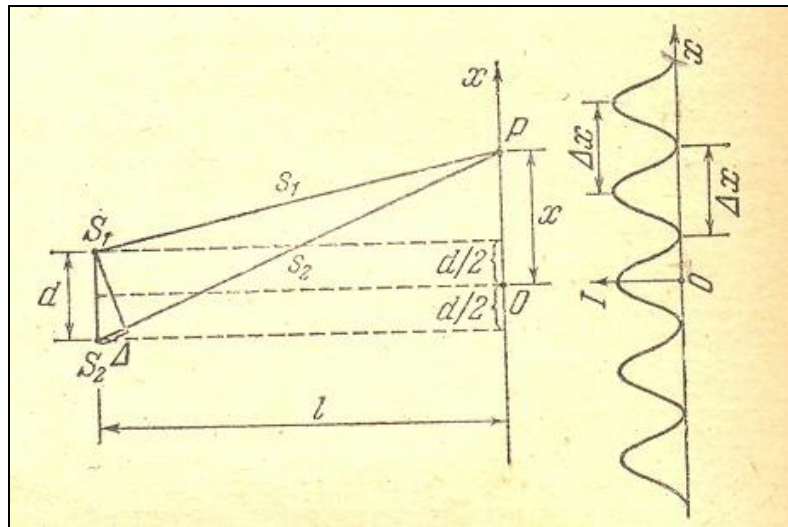
$$m = \frac{\delta}{2\pi} = \frac{\Delta}{\lambda} \text{ - порядък на интерференчните минимуми}$$



На фигурата по-долу синята и зелена вълна интерферират при четири различни фазови разлики δ и резултантната вълна е означена с червена линия.



5. Анализ на интерференчната картина



$$\Delta = (s_2 - s_1) \cdot n, \quad n_e = 1$$

$$s_1^2 = l^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2$$

$$s_2^2 - s_1^2 = 2 \cdot x \cdot d$$

$$(s_2 - s_1) \cdot (s_2 + s_1) = 2 \cdot x \cdot d$$

$$s_2^2 = l^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2$$

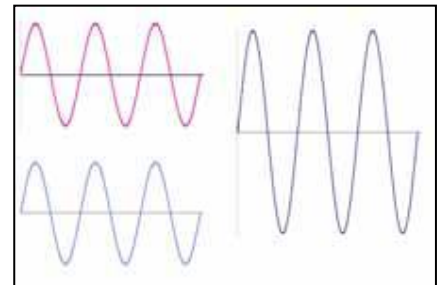
$$\Delta \cdot 2l = 2 \cdot x \cdot d$$

$$\boxed{\Delta = \frac{d}{L} \cdot x} \quad \text{- разлика в оптичните пътища}$$

- **Максимум** – при стойности $x_{\max} = x_m$ на екрана се наблюдават максимуми

$$\Delta = \frac{d}{L} \cdot x_m = m \cdot \lambda$$

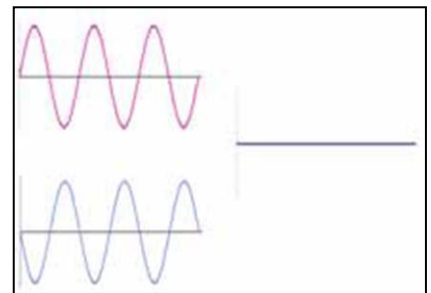
$$x_m = m \cdot \frac{l}{d} \cdot \lambda$$



- **Минимум** – при стойности $x_{\min} = x'_m$ на екрана се наблюдават минимуми

$$\Delta = \frac{d}{L} \cdot x'_m = (2m + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$$

$$x'_m = (2m + 1) \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\lambda}{2}$$



➤ **Ширина на интерференчна линия**

$\Delta x = (x_m - x_{m-1})$ - разстояние между интерференчни линии

$\Delta x = (x'_m - x'_{m-1})$ - ширина на интерференчна линия

$\Delta x = \frac{l}{d} \cdot \lambda$ - не зависи от m

➤ **Изводи:**

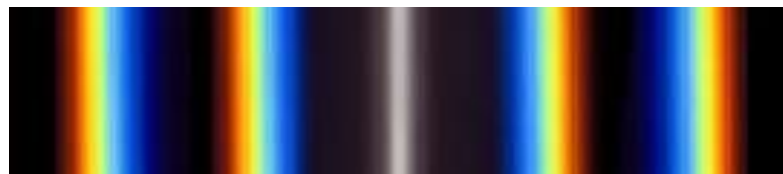
- $x_m, x'_m, \Delta x$ зависят от l/d

Необходимо условие за наблюдаване на ясна интерференчна картина е $l \gg d$. Ако $l \approx d$ и $\Delta x \approx \lambda$ интерференчните линии ще са неразличими.

- $x_m, x'_m, \Delta x$ зависят от λ

Бяла светлина:

- За $m = 0$ при $x = 0$ се наблюдава нулев максимум за всички λ . (бял, нецветен).
- За $m \neq 0$ при $x \neq 0$ максимумите за различните λ са отместени. Най-близко до нулевия максимум е максимумът за цвета с минимална λ (син). С отдалечаване от нулевия максимум, максимумите за различни λ се отместват един спрямо друг все повече и повече. Това води до наслагване на ивици и размазване на картината.

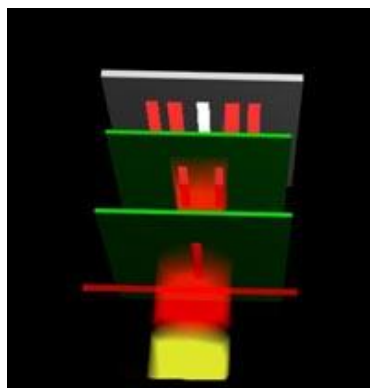


Монохроматична светлина:

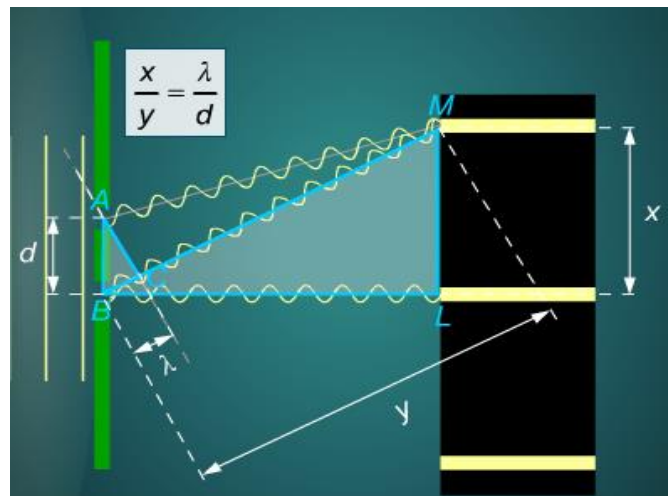
Броят различни интерференчни линии значително нараства. Оцветени са в един цвят.

- Δx не зависи от m .

За дадено λ ширината Δx не се променя.



Измерване на дължината на вълната чрез интерференция на светлината



5.1 . Влияние на немонохроматичността на интерференчната картина

Ако $x_m(\lambda_2) = x_{m+1}(\lambda_1)$ ще се наблюдава препокриване на ивиците.

$$m \cdot \frac{l}{d} \cdot \lambda_2 = (m+1) \cdot \frac{l}{d} \cdot \lambda_1$$

$$m = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}$$

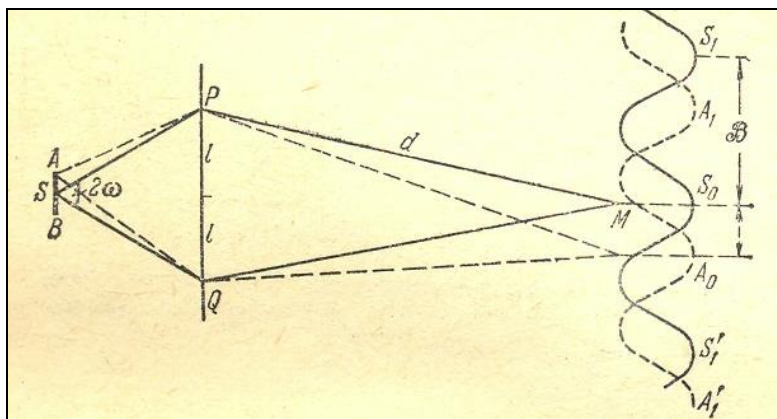
За зелената живачна линия $\lambda = 546,1\text{nm}$ и $\Delta\lambda = 0,01\text{nm}$, могат да се получат приблизително $m = 54\,610$ отделни интерференчни линии.

5.2 . Влияние на ширината на процепа или на размера на източника на светлина

а) Ако $AB \ll \lambda$, фазата от всяка точка на източника АВ до коя да е точка Р от екрана е една и съща \Rightarrow получава се отчетлива интерференчна картина.

б) Ако $AB > \lambda$ и $AB \approx PQ$

Интерферират множество двойки вълни, изходящи от т.Р и т.Q, които се явяват изображение на една и съща точка от източника АВ. Така се получава наслагване на множество интерференчни картини, създадени от множество двойки кохерентни източници. Отделните точки на източника АВ възбуждат вълни, чиито фази не са свързани помежду си, следователно интерференчната картина върху екрана ще се образува от наслагване на множество интерференчни картини, всяка от които е създадена от дадена точка на източника АВ. Тази картина малко или много се размива.

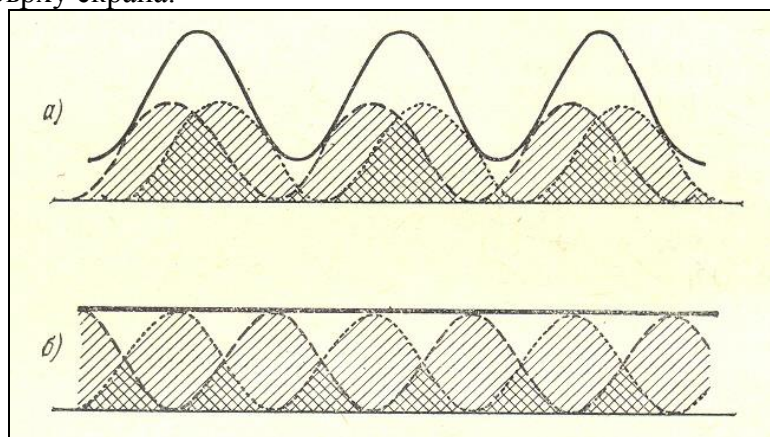


$\angle PSQ = 2\omega$ – апертюра на интерференция за всяка точка от полето;

$S_0, S_1, S_1' \dots, S_m, S_m'$ – интерференчни максимуми с ширина Δx , получени от т. S, средна за източника АВ, върху екрана;

$A_0, A_1, A_1' \dots, A_m, A_m'$ – интерференчни максимуми с ширина Δx , получени от т. А, на източника АВ, върху екрана;

$B_0, B_1, B_1' \dots, B_m, B_m'$ – интерференчни максимуми с ширина Δx , получени от т. В на източника АВ, върху екрана.



Наслагване на интерференчни картини, отместени една спрямо друга. Непрекъснатата линия – резултатна интерференчна картина.

а) Отместване на линиите на $\frac{1}{4}\lambda$ - все още се наблюдават отчетливи максимуми и минимума.

б) Отместване на линиите на $\frac{1}{2}\lambda$ - равномерна осветеност.

Ясна интерференчна картина ще се наблюдава, ако е изпълнено:

$$\delta x \leq \frac{\Delta x}{2}$$

δx - отместване на едната система интерференчни линии A_i , спрямо другата B_i или интервалът, в който ще се разположат максимумите от m -ти порядък.

Ъглов размер на източника: $\varphi = \frac{AB}{SO}$, т.О – среда на PQ.

Условие за наблюдение на интерференция от протяжен източник АВ:

$$\varphi \leq \frac{\lambda}{2.PQ}$$

