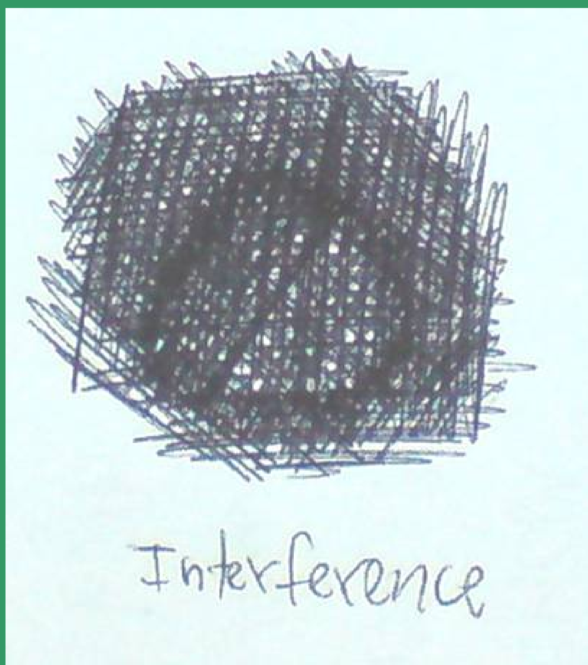
ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ НА СВЕТЛИНАТА



Лектор: проф. д-р Т. Йовчева

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 се 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.

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

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

Резултантното трептене е : $\boxed{E = E_1 + E_2}$

Резултантния интензитет е : $I = c.E_0^2$

$$\boxed{I = c.[E_{01}^2 + E_{02}^2 + 2E_{01}E_{02}.\cos(\varphi_2 - \varphi_1)}$$

2. Интерференция на светлината

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

Означаваме фазовата разлика като:

$$\delta = \varphi_2 - \varphi_1 = k_2 r_2 - \alpha_2 - k_1 r_1 + \alpha_1$$

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

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.

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

- δ = 0, 2π,...2mπ, четно число π, cosδ = 1

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

- δ = π, 3π,...(2m+1)π, нечетно число π, cosδ = -1

$$I = I_1 + I_2 - 2.\sqrt{I_1.I_2}$$, 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) $\delta = \varphi_2 - \varphi_1 = f(t)$,

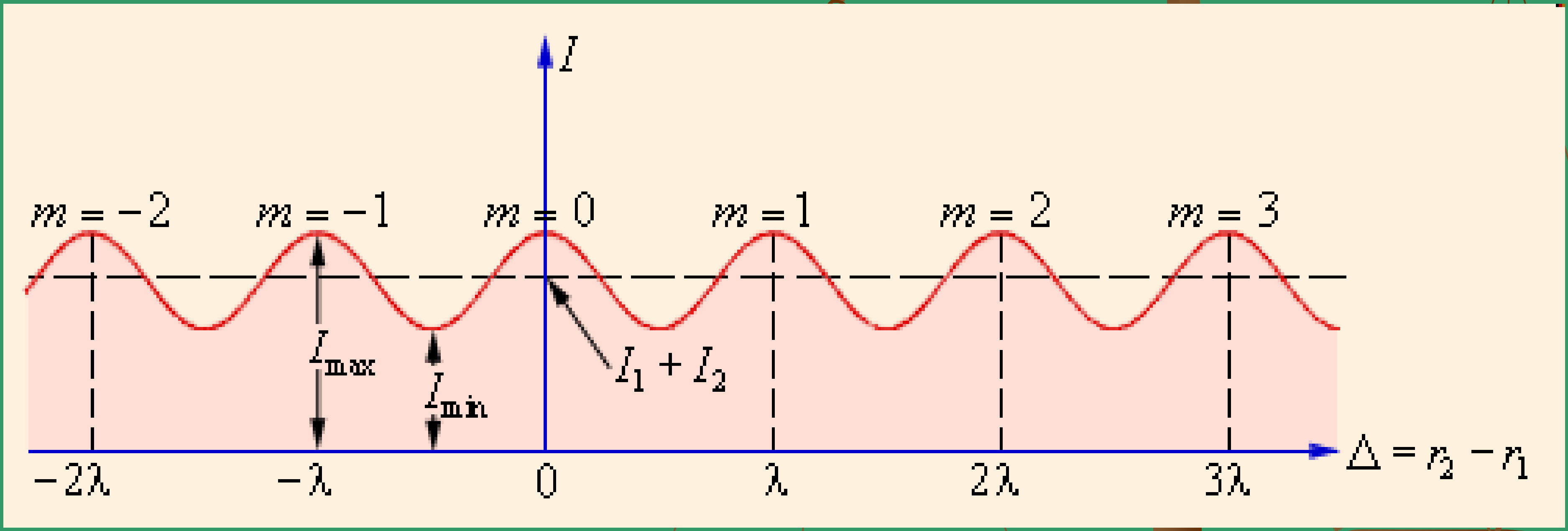
тъй като $\alpha_2 - \alpha_1 = f(t)$ – некохерентни вълни

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

$$I = I_1 + I_2$$

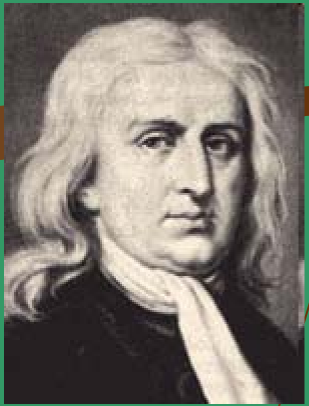
Распределение на интензитета в интерферентчната картина.

Цяло число m - порядък на интерферентчните максимуми



Експериментално наблюдение на явлението интерференция на светлината

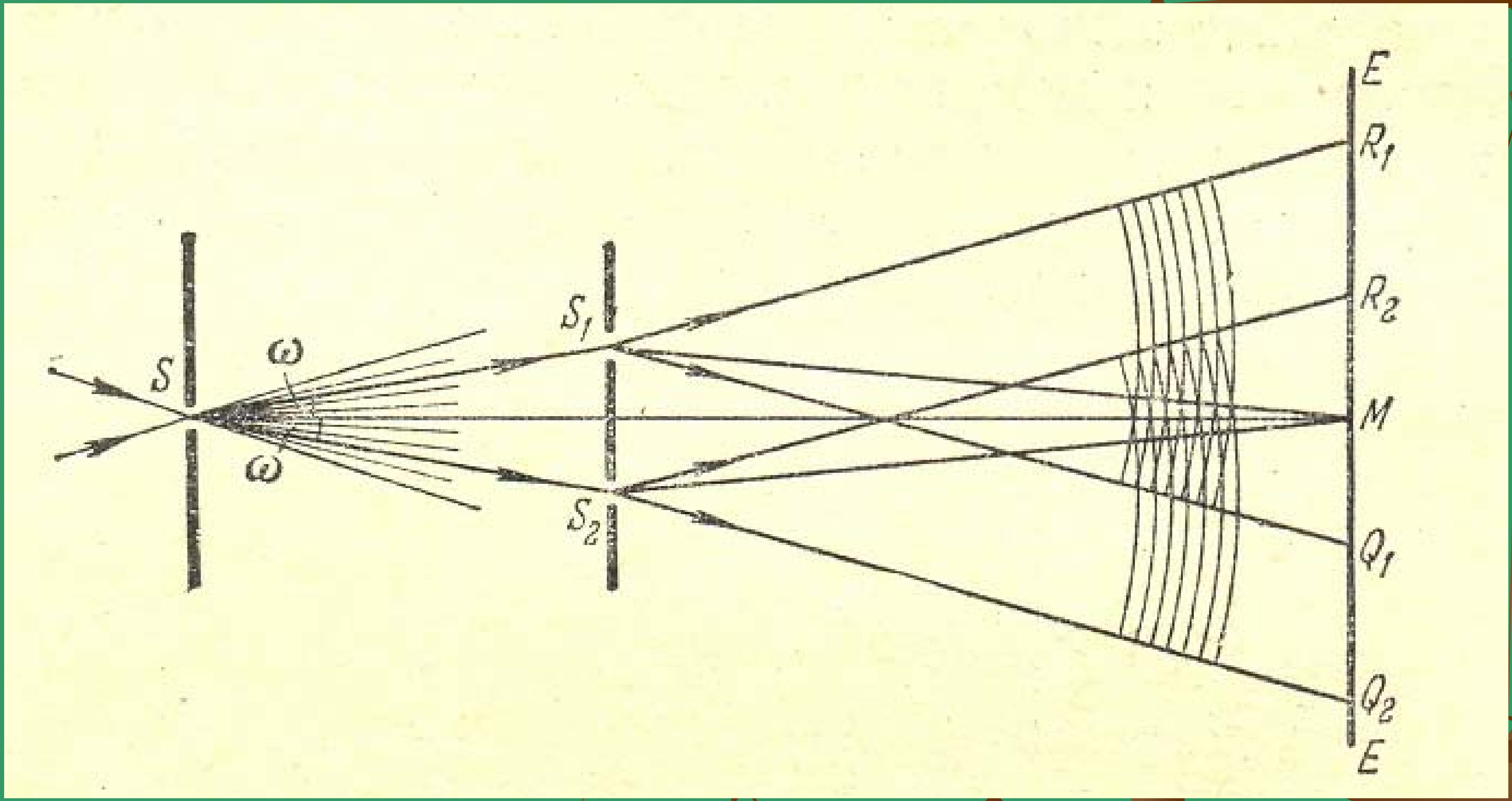
- Първи експеримент за наблюдение на интерференция на светлината в лабораторни условия – Исак Нютон.
- Нютонови пръстени – ИК е концентрични кръгове. Нютон не успява да обясни чрез корпускулярната теория, защо се появяват тези кръгове. Но, разбира, че явлението е свързано с някаква периодичност на светлинните 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.

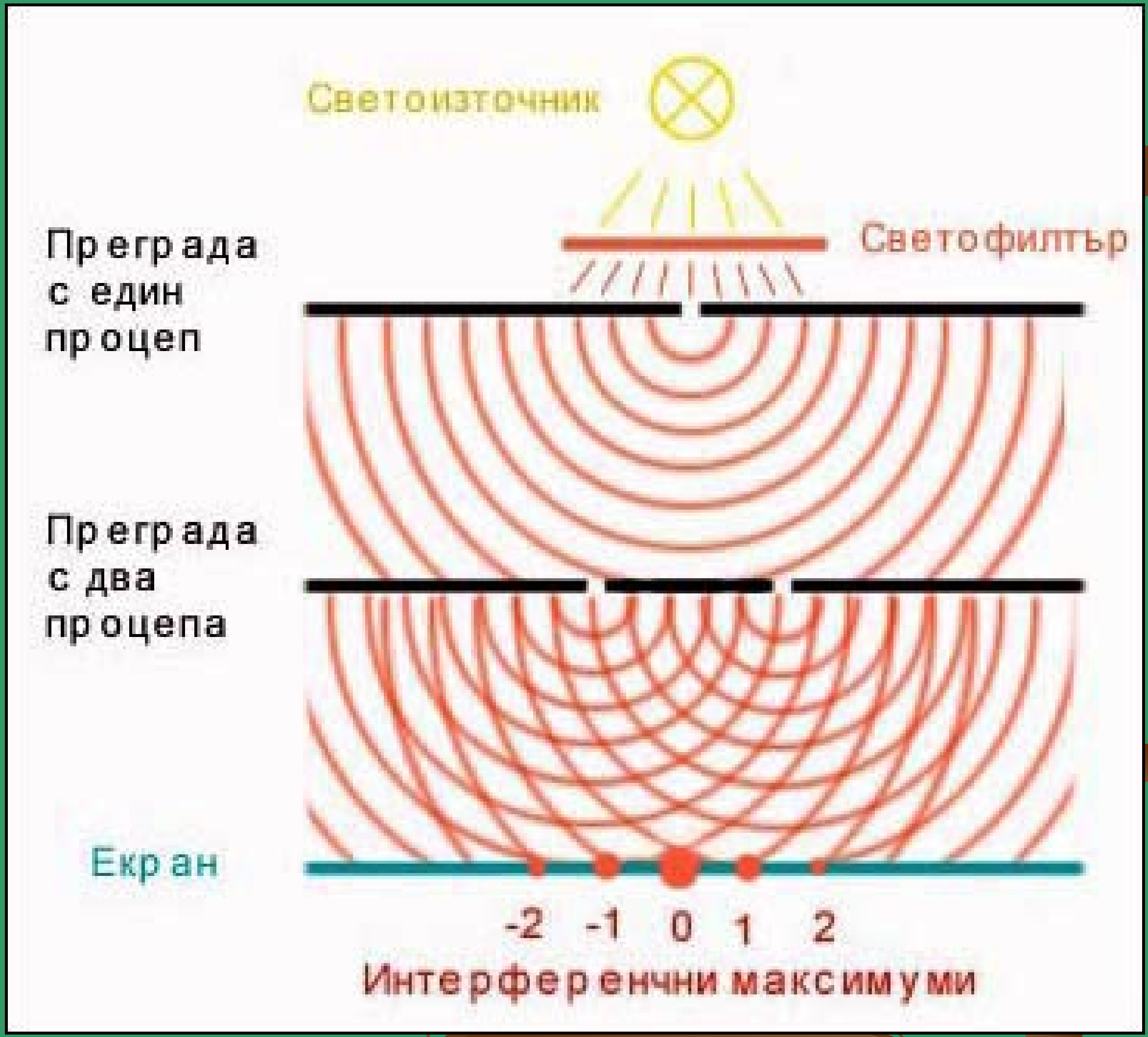
3.1 Опит на Юнг

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



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

Опит на Юнг


Светоизточник
Светофилтър
Преграда с един процеп
Преграда с два процепа
Екран
-2 -1 0 1 2
Интерференчни максимуми

3.2. 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.

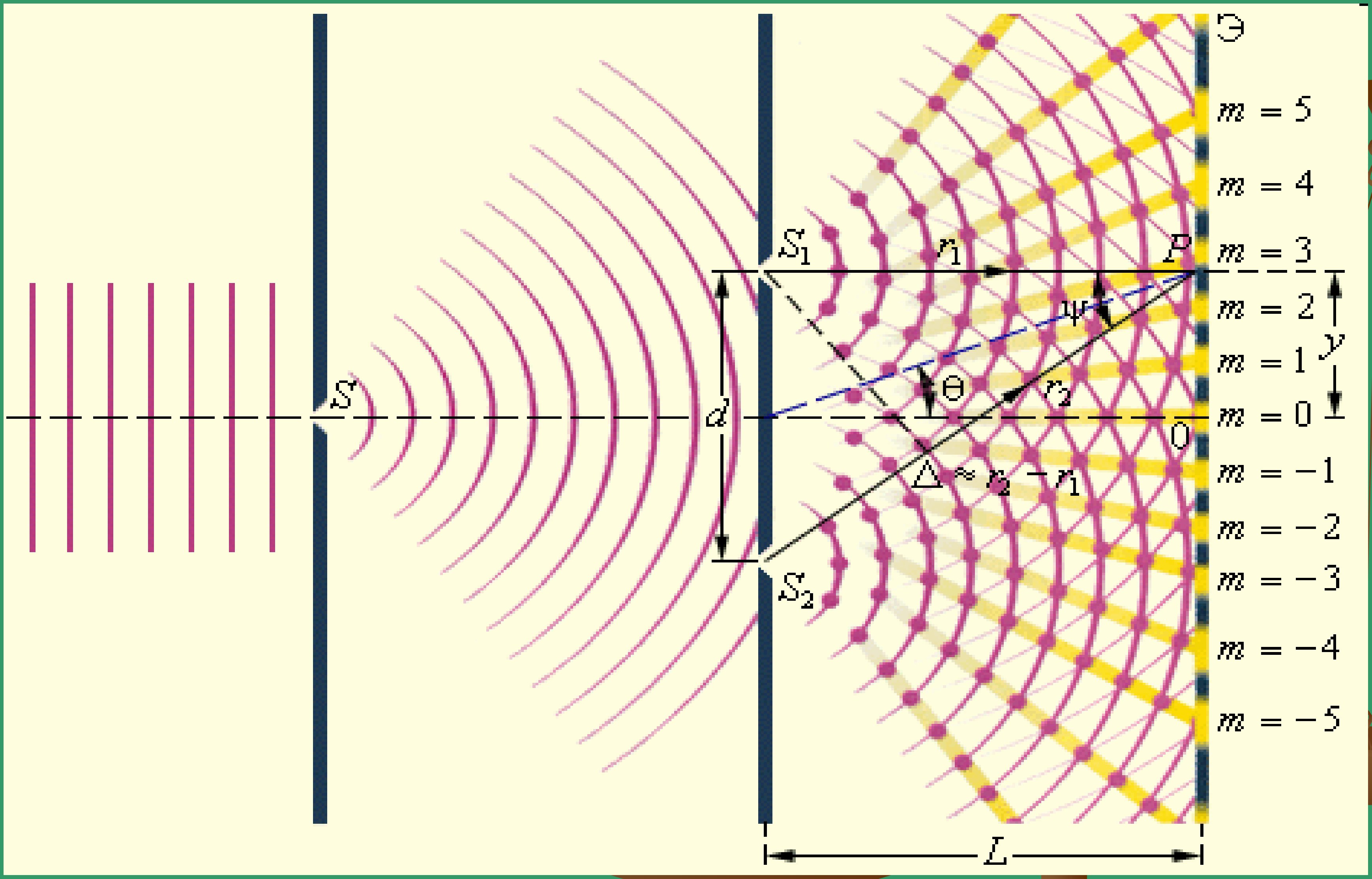
$$L = n.r$$ - оптичен път

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0}.(n_2.r_2 - n_1.r_1) = \frac{2\pi}{\lambda_0}.\Delta$$ - разлика във фазите

λ_0 - дължина на вълната на светлинните трептения във вакуум,

Δ - разлик в оптичните пътища.

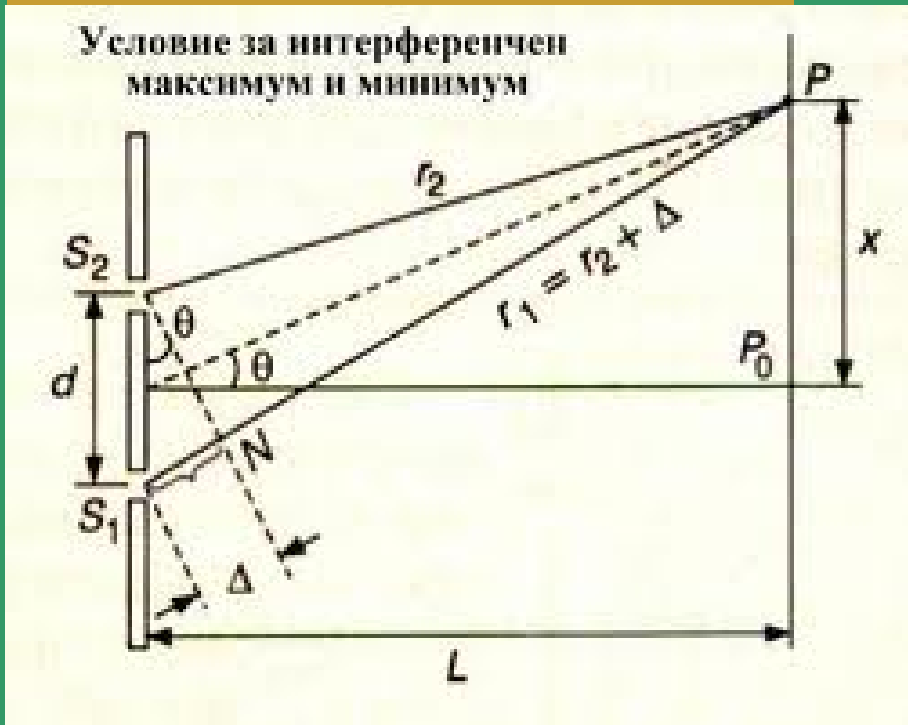
Опит на Юнг



S
S_1
S_2
r_1
r_2
P
Э
ψ
Θ
d
0
y
L
$\Delta \approx r_2 - r_1$
$m = 5$
$m = 4$
$m = 3$
$m = 2$
$m = 1$
$m = 0$
$m = -1$
$m = -2$
$m = -3$
$m = -4$
$m = -5$

4. Условия за получаване на максимуми и минимуми

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



$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0}.\Delta$$, $E_{01} = E_{02} = E_0$

а) Условия за максимум –

$I = I_{max} = 4I_0$ $(\cos\delta = 1)$

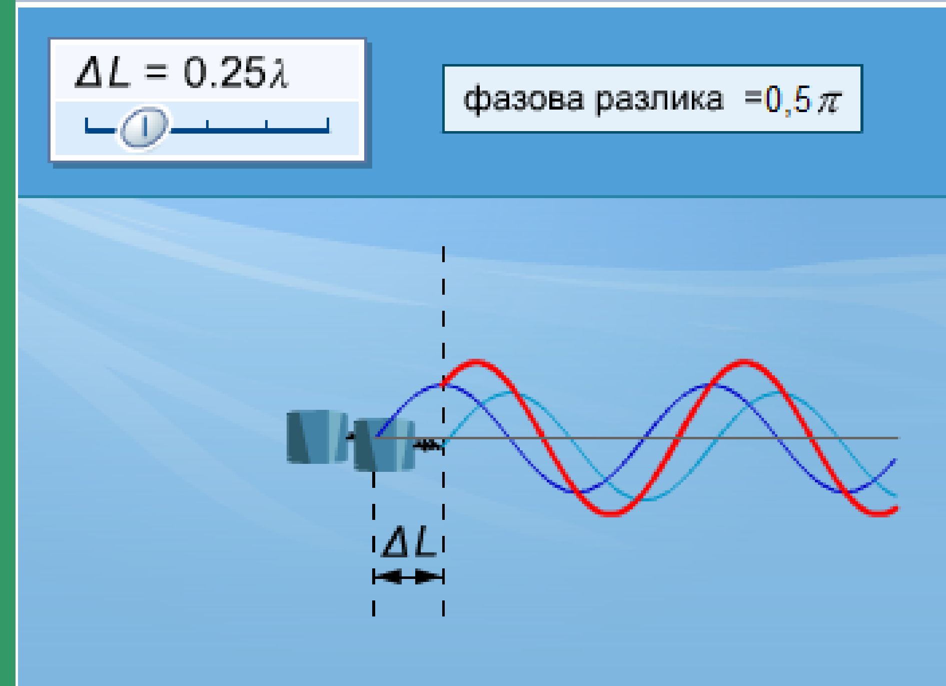
$\delta = 2m.\pi$ или $\Delta = 2m.\frac{\lambda}{2}$

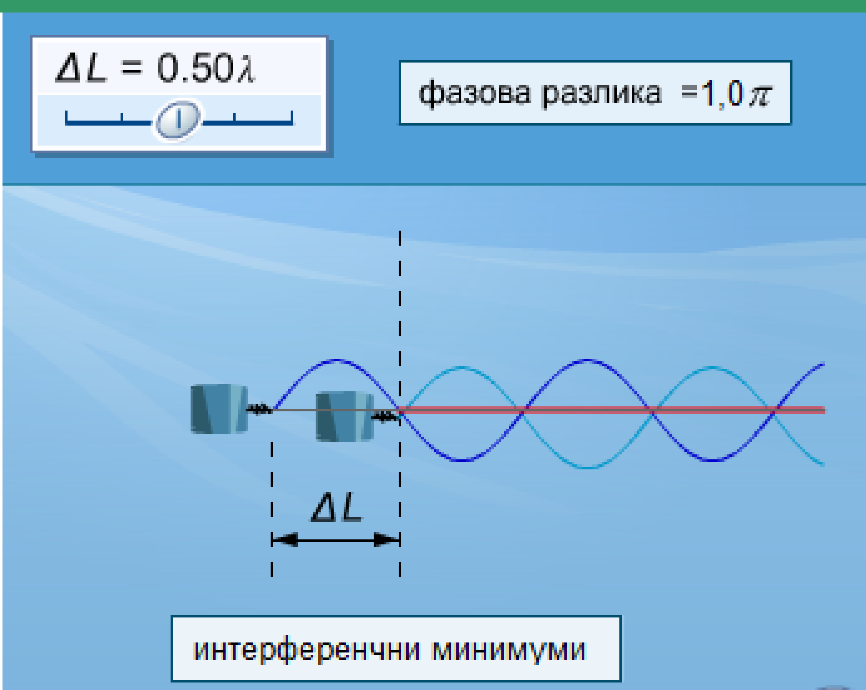
б) Условия за минимум – $I = I_{min} = 0$ $(\cos\delta = -1)$

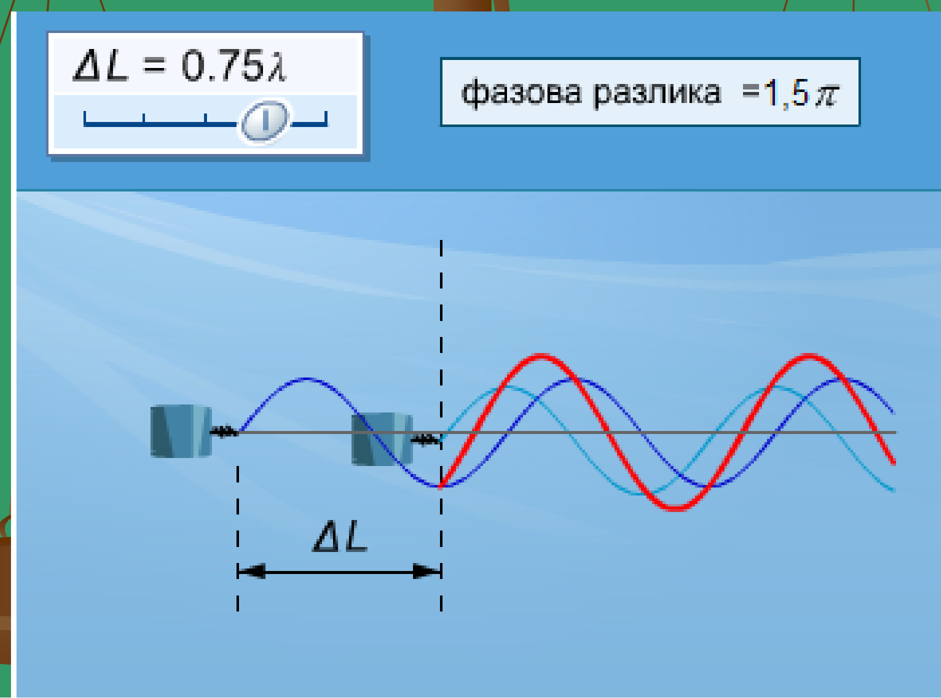
$\delta = (2m+1).\pi$ или $\Delta = (2m+1).\frac{\lambda}{2}$

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

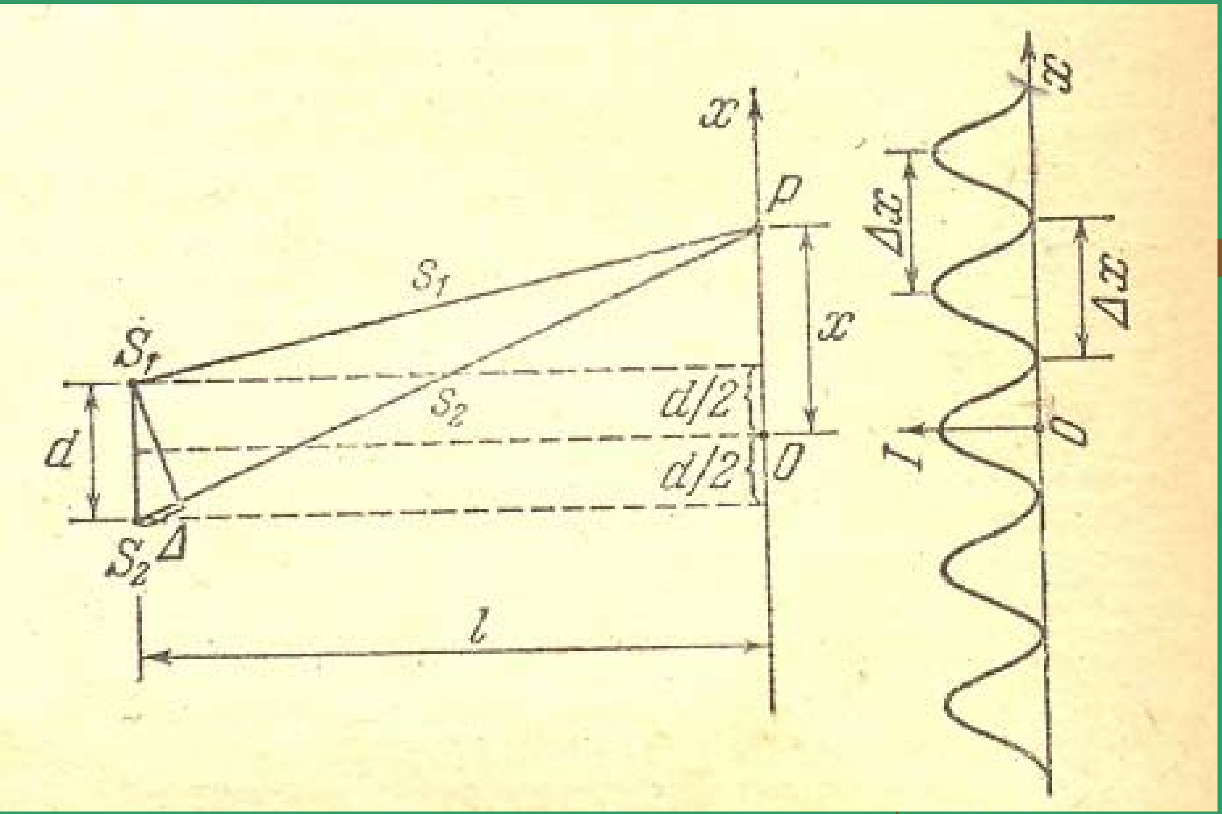

ΔL = 1.00λ
фазова разлика =2,0π
ΔL
интерференчни максимуми


ΔL = 0.25λ
фазова разлика =0,5π
ΔL


ΔL = 0.50λ
фазова разлика =1,0π
ΔL
интерференчни минимуми


ΔL = 0.75λ
фазова разлика =1,5π
ΔL

5. Анализ на интерференчната картина



$$\Delta = (s_2 - s_1).n, \quad n_в = 1$$

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

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

$$s_2^2 - s_1^2 = 2.x.d$$

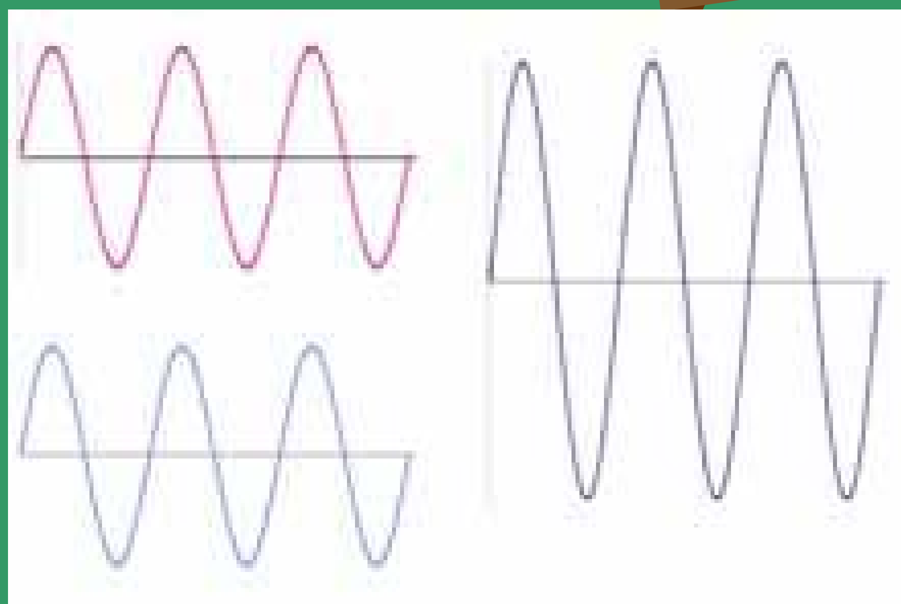
$$(s_2 - s_1).(s_2 + s_1) = 2.x.d$$

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

$$\Delta = \frac{d}{l}.x$$ - разлика в оптичните пътища

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

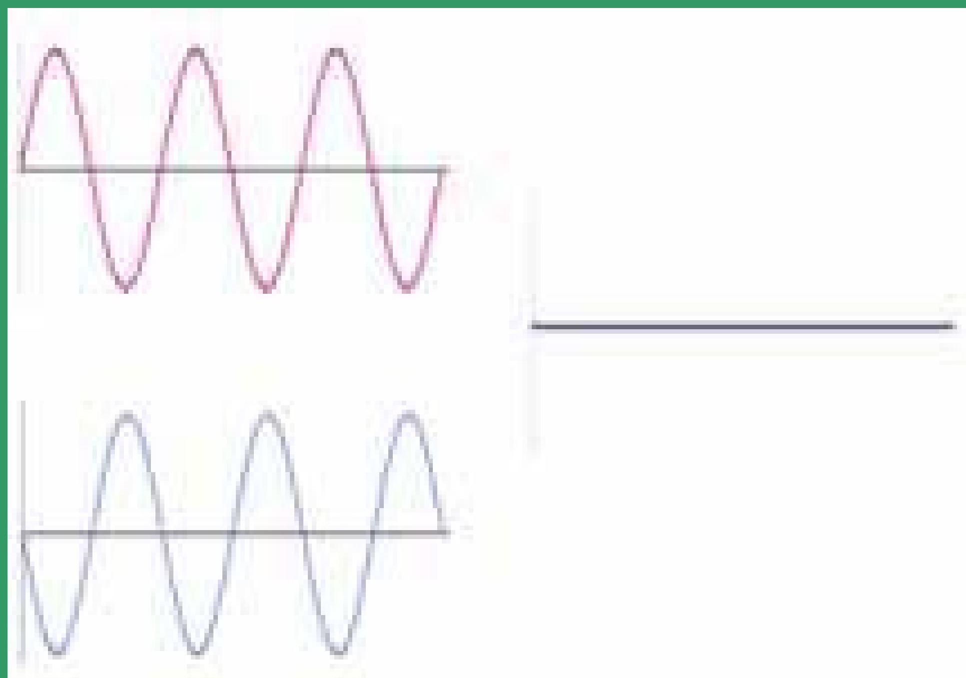
$$\Delta = \frac{d}{l}.x_m = m.\lambda; \quad x_m = m.\frac{l}{d}.\lambda$$



Конструктивна интерференция (Интерференчен максимум)

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

$$\Delta = \frac{d}{l}.x'_m = (2m+1).\frac{\lambda}{2}; \quad x'_m = (2m+1).\frac{l}{d}.\frac{\lambda}{2}$$



Деструктивна интерференция (Интерференчен минимум)

☞ 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

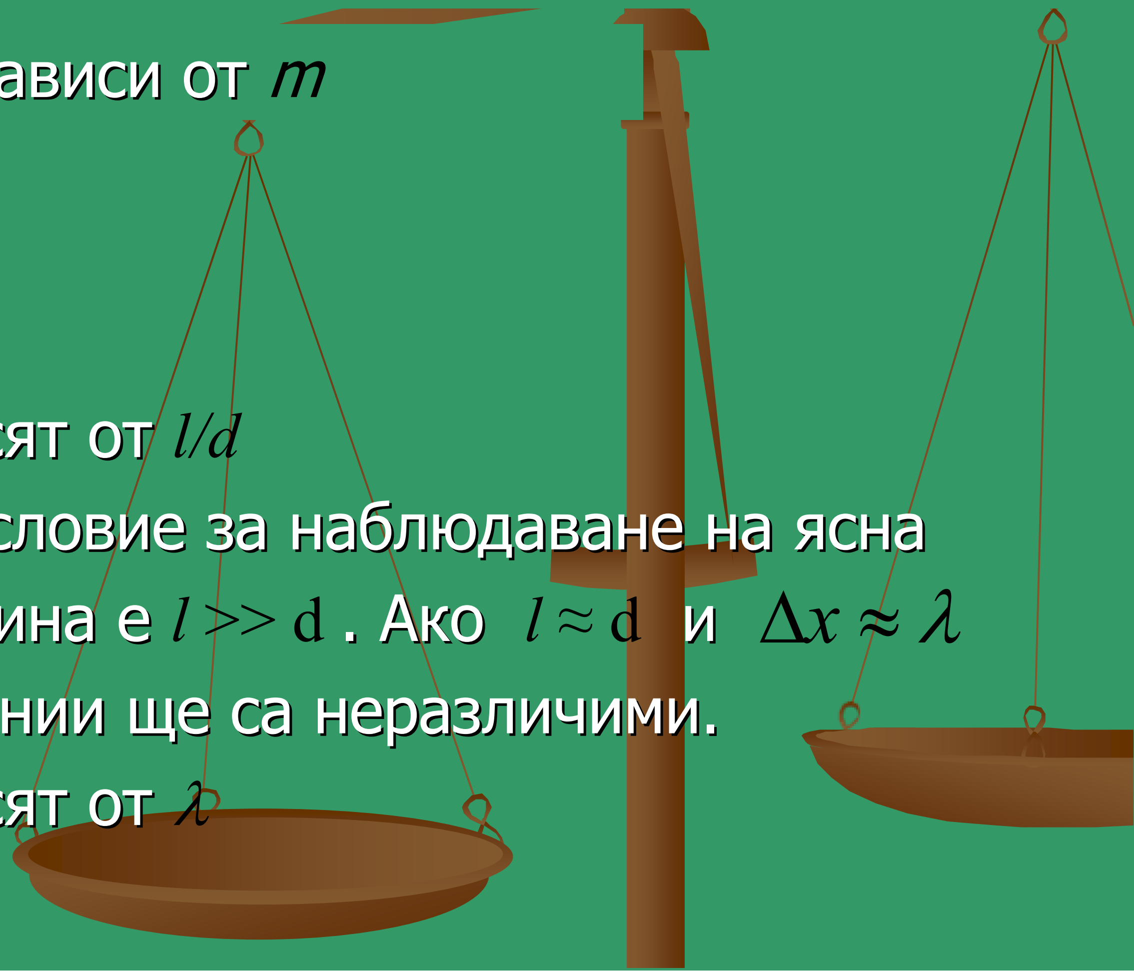
$\Delta x = \frac{l}{d}.\lambda$ - не зависи от *m*

Изводи:

✓ x_m, x'_m, Δx зависят от l/d

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

✓ x_m, x'_m, Δx зависят от λ



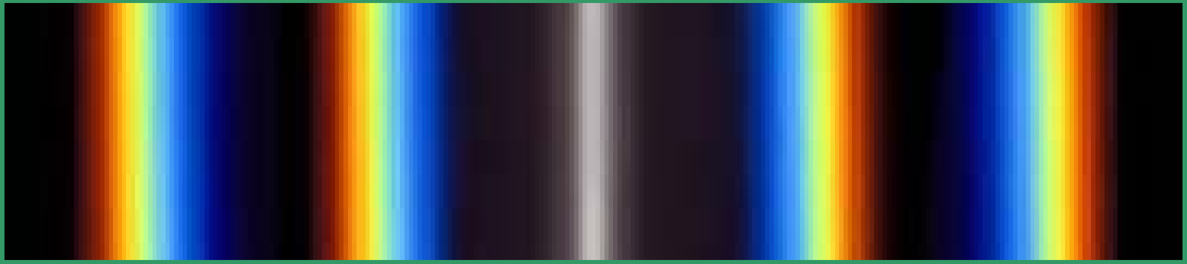
Изводи:

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

◇ ***Бяла светлина:***

➢ За m = 0 при x = 0 се наблюдава нулев максимум за всички λ (бял, неоцветен).

➢ За m ≠ 0 при x ≠ 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.



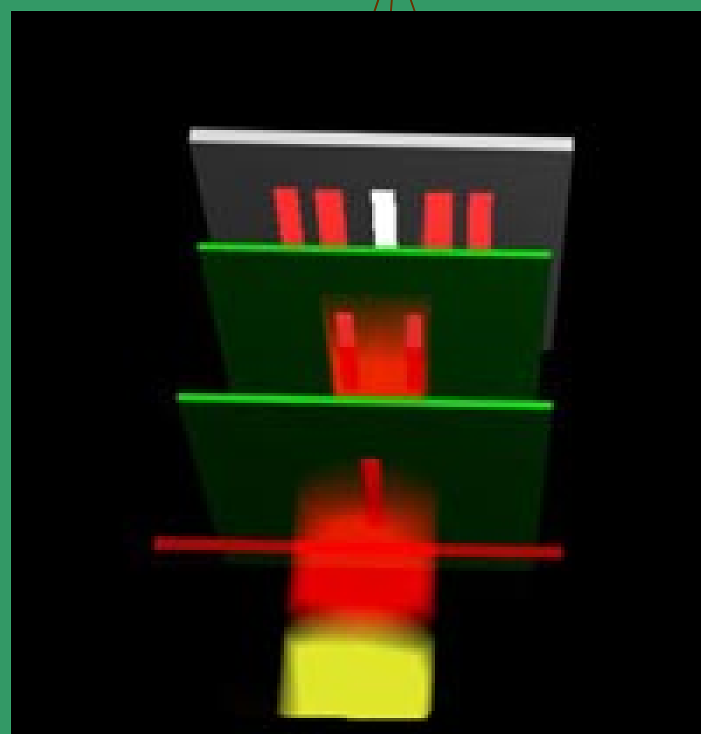
◇ Монохроматична светлина:

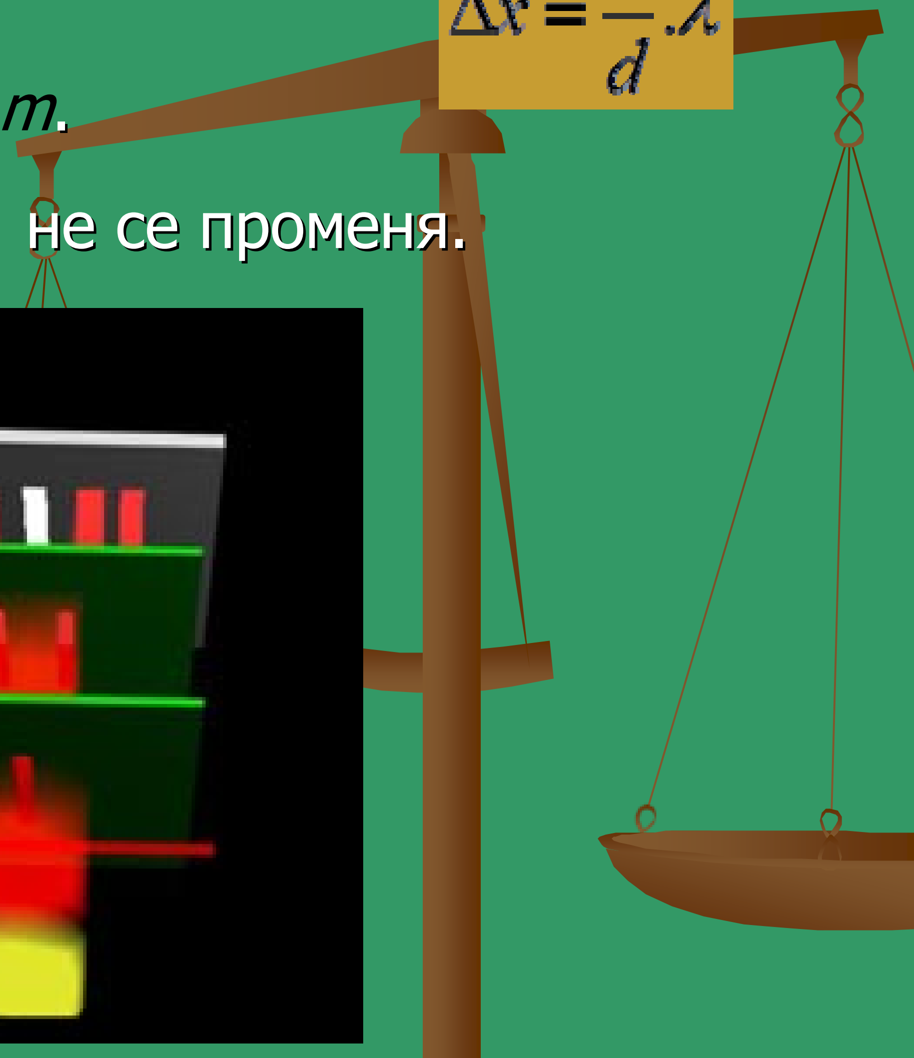
Броят различими интерференчните линии значително нараства. Оцветени са в един цвят.

$$\Delta x = \frac{l}{d}.\lambda$$

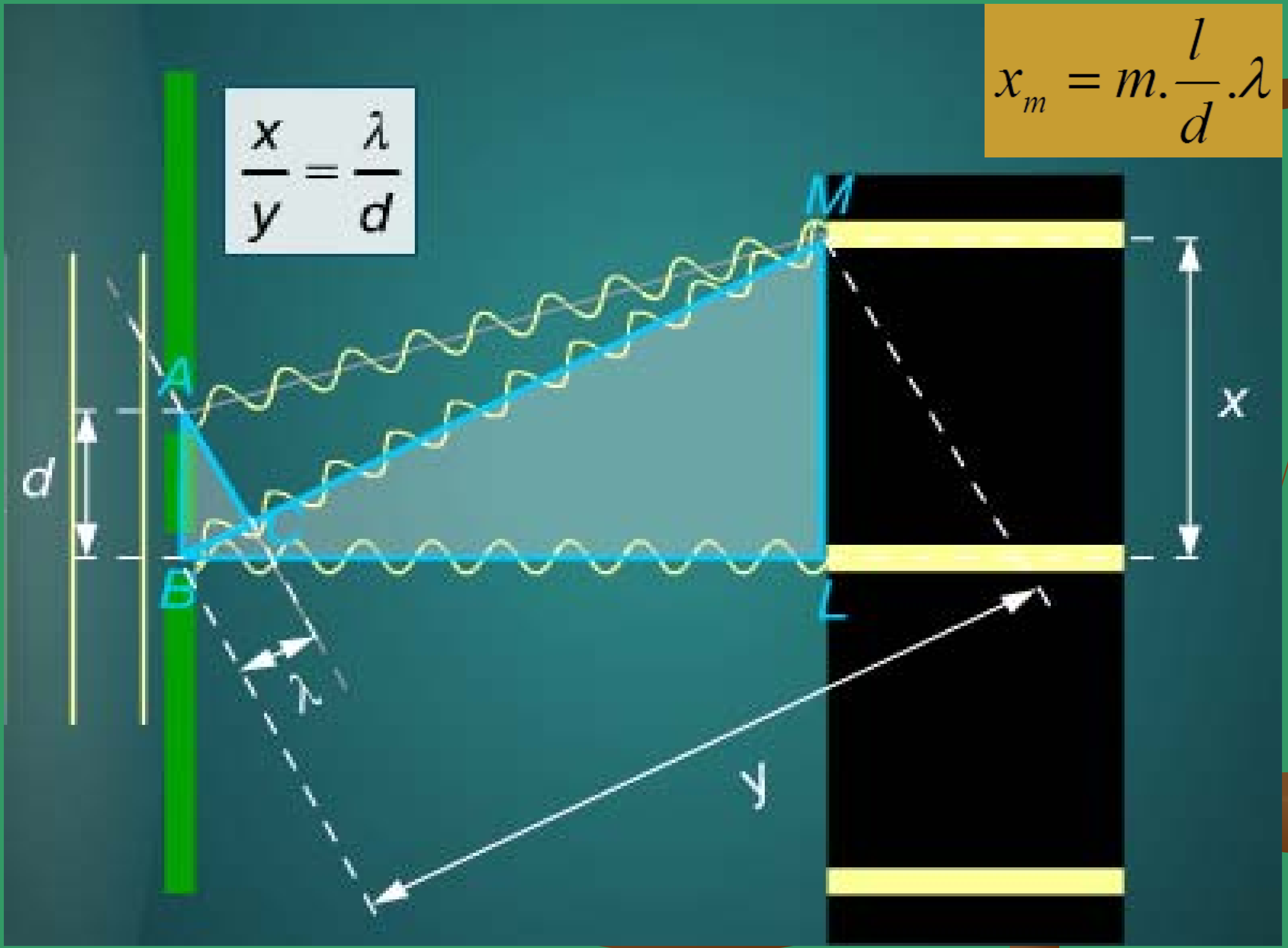
✓ Δx - не зависи от m.

За дадено λ ширината Δx не се променя.

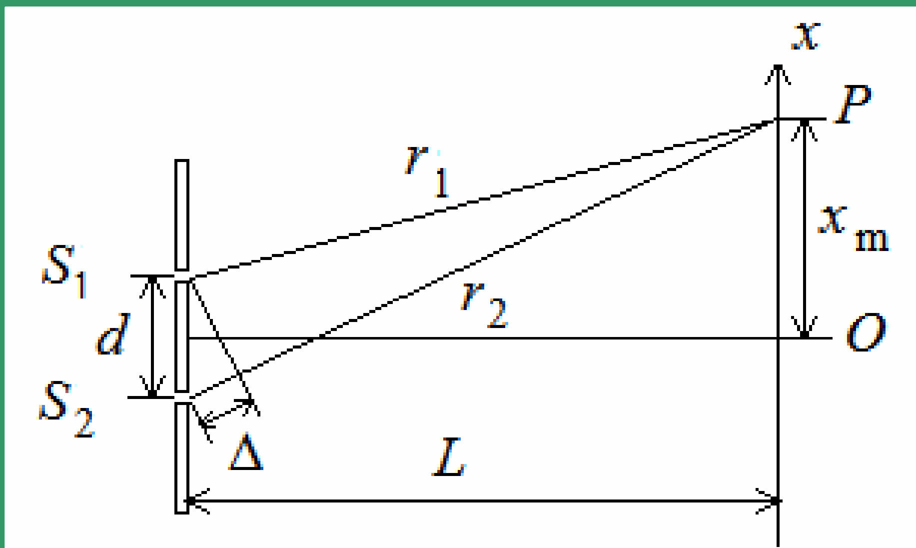




Измерване на дължината на вълната



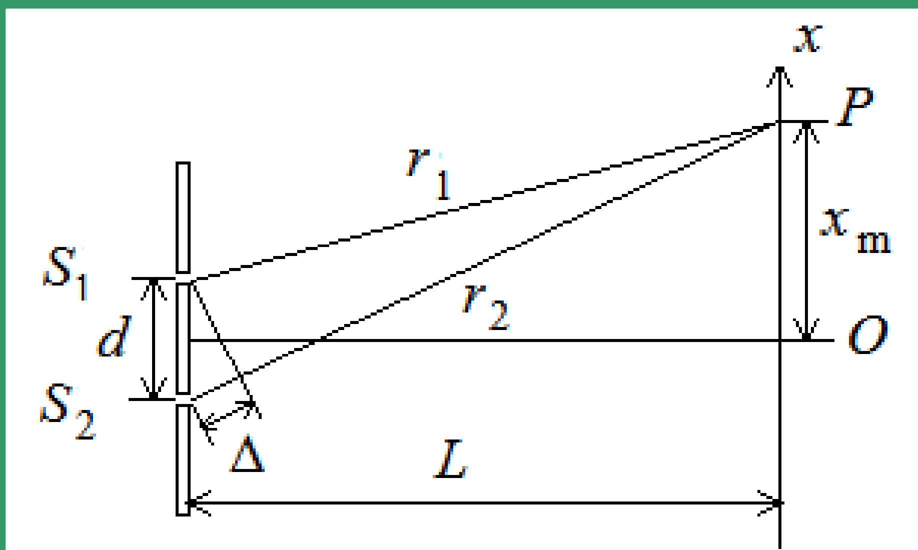
Задача 1. Пресметнете ширината на една интерференчна ивица, ако в опита на Юнг, разстоянието между двата процепа е d = 3,6 mm, а разстоянието до екрана е L = 3 m. Наблюдението се провежда със светлина с дължина на вълната λ = 550 nm.



$$\Delta x = \frac{L}{d}\lambda$$

$$\Delta x = \frac{3.550.10^{-9}}{3,6.10^{-3}} = 4,58.10^{-4}\,\mathrm{m} = 0,46\,\mathrm{mm}$$

Задача 2. Намерете дължината на вълната на монохроматична светлина, ако в опита на Юнг разстоянието между централния и първия страничен максимум е $\Delta x = 0{,}05$ cm, разстоянието между двата процепа е $d = 0{,}5$ cm, а разстоянието до екрана - $L = 5$ m.

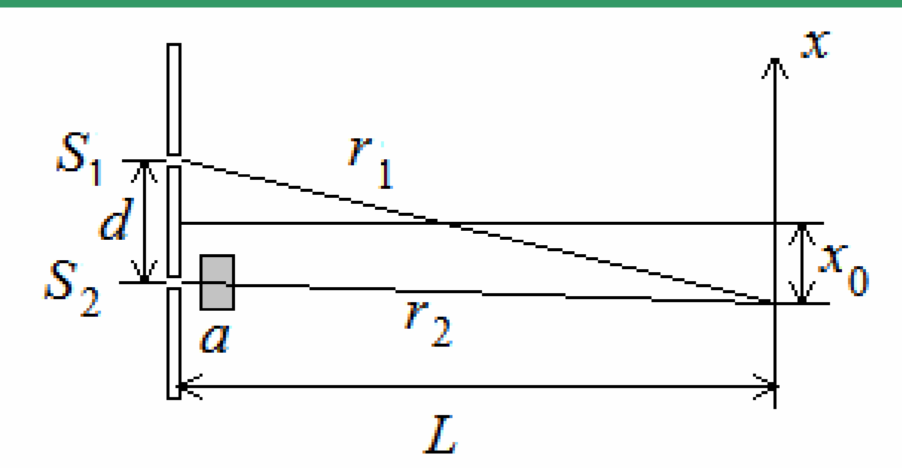


$$\Delta x = \frac{L}{d}\lambda$$

$$\lambda = \frac{\Delta x d}{L}$$

$$\lambda = \frac{0{,}05.10^{-2}.0{,}5.10^{-2}}{5} = \frac{0{,}025.10^{-4}}{5} = 5.10^{-7}\,\text{m} = 500\,\text{nm}$$

Задача 3. Определете с колко ще се отмести централният максимум в интерференчната картина от два процепа, разположени на разстояние d един от друг, ако до единия от тях се постави тънка плоскопаралелна пластинка с дебелина a и с показател на пречупване n. Разстоянието от процепите до екрана е L.



$$\Delta = \left(\left(r_2 - a\right)n_0 + an\right) - r_1 n_0$$

$$\Delta = r_2 - a + an - r_1 = r_2 - r_1 + a\left(n-1\right)$$

$$\Delta = m\lambda \rightarrow r_2 - r_1 + a\left(n-1\right) = m\lambda$$

$$r_2 - r_1 = (d/L)x_m \qquad m = 0 \qquad x_m = x_0 \rightarrow \frac{d}{L}x_0 + a\left(n-1\right) = 0$$

$$\frac{d\,x_0 + La\left(n-1\right)}{L} = 0 \Rightarrow \frac{d\,x_0}{L} = -\frac{La\left(n-1\right)}{L} \rightarrow x_0 = -\frac{La\left(n-1\right)}{d}$$

Знакът минус показва, че централният максимум се е отместил надолу.