Часть II. ***Волновая оптика***

Лекция 8. Интерференция волн. Интерференция света

Уже было: 2.4. Фазовые и амплитудные соотношения для электромагнитной волны

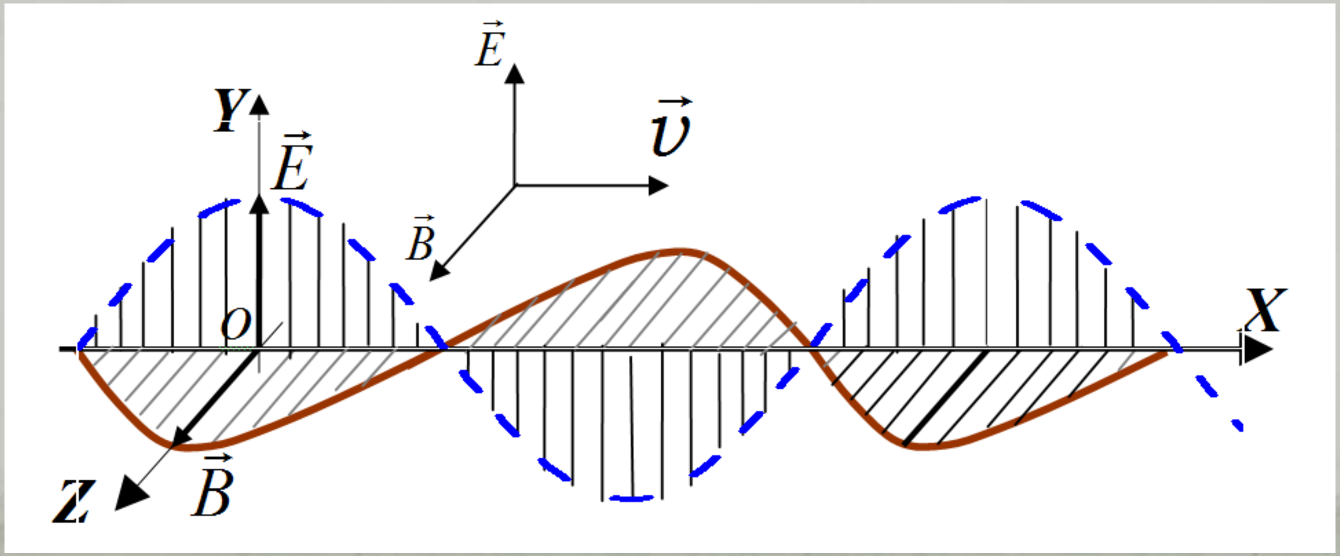
$E(x,t) = E_0 \cdot \cos(\omega t - kx);$ $\quad$ $B(x,t) = B_0 \cdot \cos(\omega t - kx + \varphi)$

$\varphi = 0$

$$\frac{\partial E_y}{\partial x} = -\frac{\partial B_z}{\partial t} \quad (1a) \quad \Rightarrow \quad kE_0 \sin(\omega t - kx) = \omega B_0 \sin(\omega t - kx + \varphi)$$

$$\frac{\omega}{k} = \upsilon \quad \Rightarrow \quad E_0 = \upsilon \cdot B_0$$

но и $E(t) = \upsilon \cdot B(t)$



2.5. Характеристики переноса энергии электромагнитной волной

$$w_э = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} \qquad E = \upsilon B \quad \Rightarrow E^2(t) = \frac{B^2(t)}{\varepsilon\varepsilon_0\mu\mu_0} \quad \Rightarrow \quad \varepsilon\varepsilon_0 E^2(t) = \frac{B^2(t)}{\mu\mu_0}$$

$$w_м = \frac{B^2}{2\mu\mu_0}$$

Варианты записи энергии:

$$w = w_э + w_м = \varepsilon\varepsilon_0 E^2(t) = \frac{B^2(t)}{\mu\mu_0} = \frac{E(t)\cdot B(t)}{\mu\mu_0\upsilon}$$

Плотность потока энергии

$$S(t) = w(t)\cdot\upsilon = \frac{E(t)B(t)}{\mu\mu_0}$$

Интенсивность ≡ средняя плотность энергии

$$I = \langle S(t)\rangle = \langle w(t)\rangle\cdot\upsilon = \frac{E_0 B_0}{2\mu\mu_0}$$

Вектор Пойнтинга

$$\vec{S}(t) = w(t)\cdot\vec{\upsilon} = \frac{[\vec{E},\vec{B}]}{\mu\mu_0}$$

Векторная Интенсивность:

$$\langle\vec{S}(t)\rangle = \langle w(t)\rangle\cdot\vec{\upsilon} = \frac{[\vec{E}_0,\vec{B}_0]}{2\mu\mu_0}$$

Поток

$$\Phi = \int_\Sigma \vec{S}\cdot d\vec{s} = \int_\Sigma S_n ds \qquad \langle\Phi\rangle = \int_\Sigma \langle\vec{S}(t)\rangle\cdot d\vec{s} = \int_\Sigma \langle S_n(t)\rangle ds$$

Пример (задача 7.24) : $W = \langle\Phi\rangle\cdot\tau = \int_{ca}\langle\vec{S}(t)\rangle\cdot d\vec{s} = \ldots = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{\varepsilon\varepsilon_0}{\mu\mu_0}}\cdot E_0^2\cdot\pi R^2\cdot\tau$

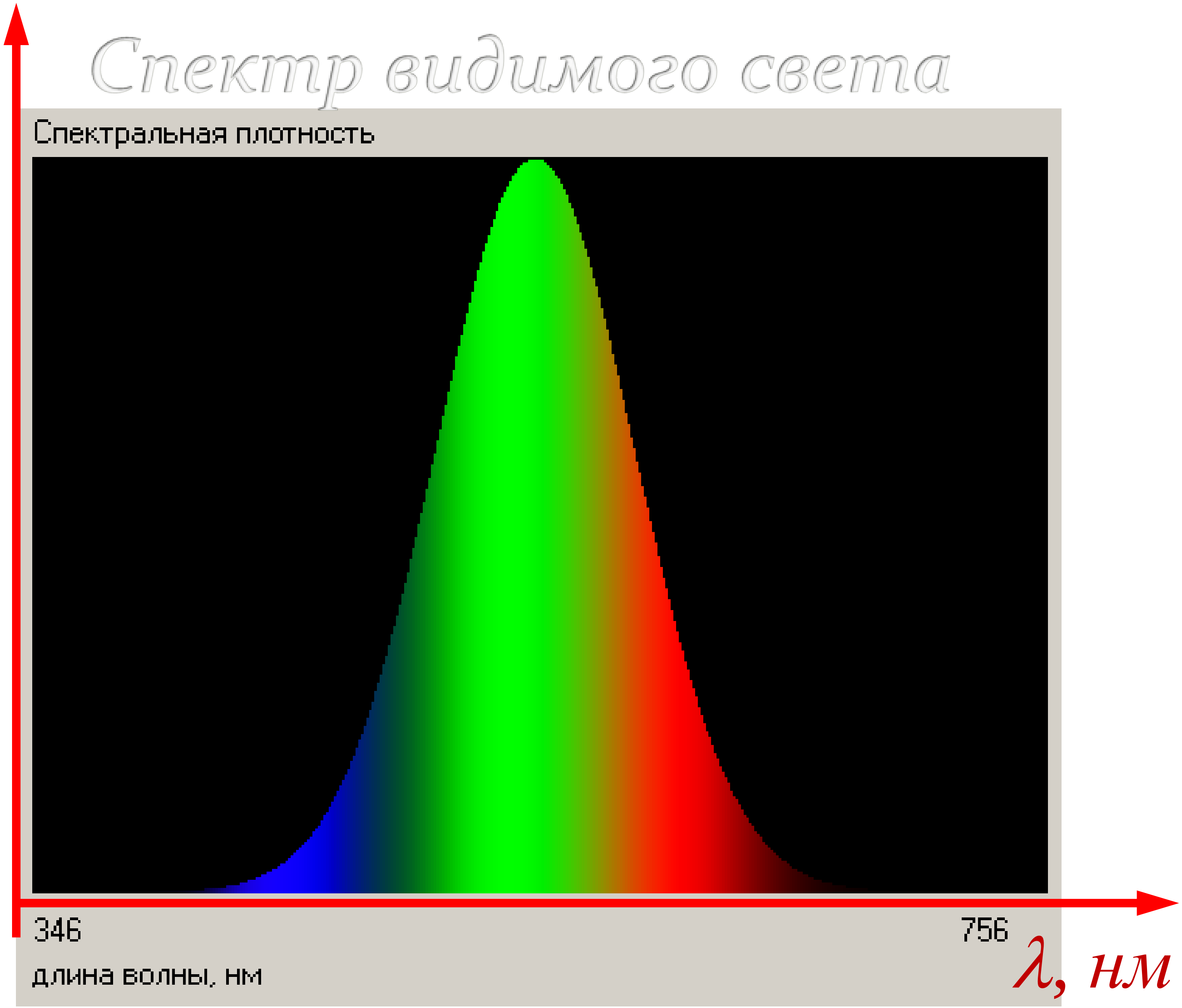
$$\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = \upsilon^2 \cdot \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial x^2}$$

$$\upsilon = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\varepsilon_0\mu\mu_0}} = \frac{c}{n}$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}} = 3 \cdot 10^8 \ м/с$$

$$n = \sqrt{\varepsilon\mu}$$

ШКАЛА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН



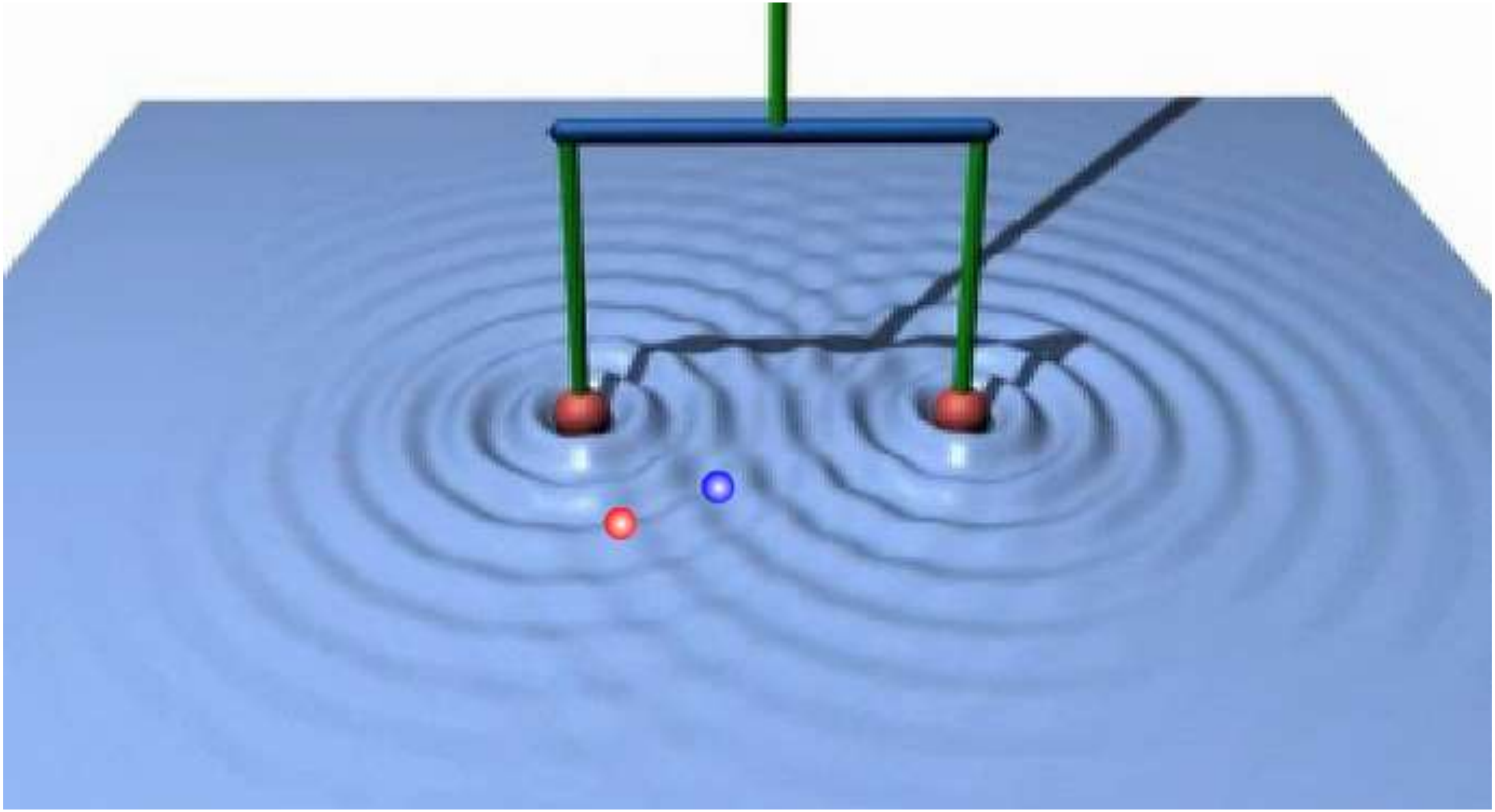
Спектр видимого света
Спектральная плотность
346
756
длина волны, нм
λ, нм

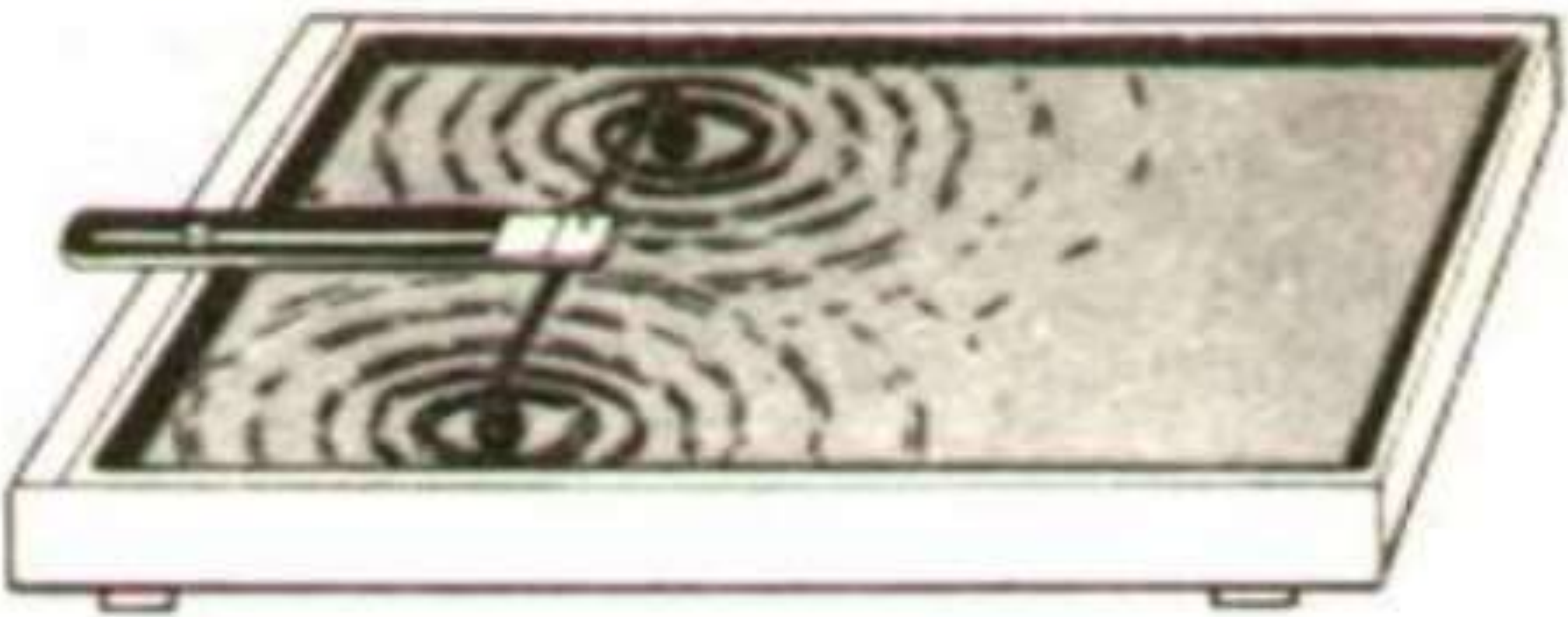
Глава IV. Интерференция света

Природа света ??? Пифагор ⇒ Ньютон / Гюйгенс ⇒ Т. Юнг

§ 1. Понятие об интерференции волн

Упругие волны





Интерференционная картина

(***<u>Опр</u>***.) *Интерференцией волн называется сложение волн с образованием* ***устойчивой во времени*** *интерференционной картины – чередованием максимумов и минимумов результирующих колебаний в различных точках пространства*

§ 2. Интерференция света. Схема Юнга

- "Кто бы мог подумать, что свет слагаясь со светом, может вызвать мрак …"

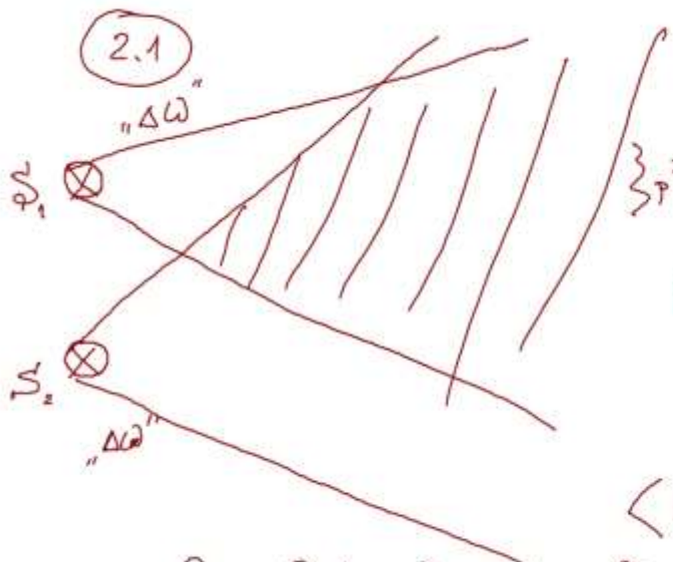
Франсуа Араго

2.1. Проблемы когерентности (*почему со светом всё сложнее?*)

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

$$\langle \cos\delta(t)\rangle_\tau = 0$$

$$I_p = I_1 + I_2$$ *НЕТ интерференции!!*



$\xi_p = \xi_1 + \xi_2$, но

Нет инт-й картины

$\Leftarrow$ Не когерентны (?)

$\langle \cos\delta \rangle = 0$, $I_p = I_1 + I_2$

$\delta = \delta(x,y)$, но не (t)

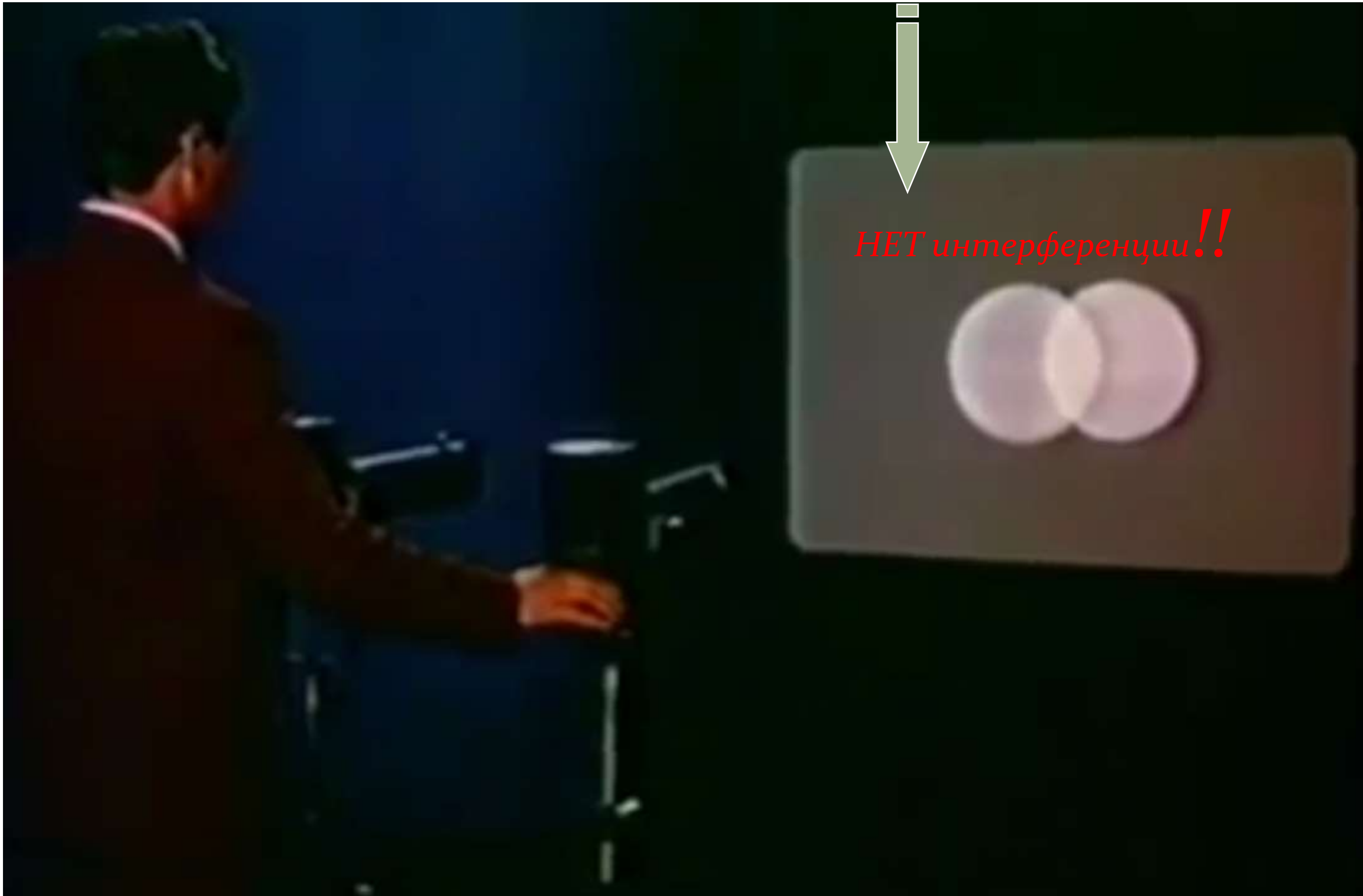
Идеально когерентные (источники) $\begin{cases} \text{а). } \omega_0,\ \varphi_{01,2} \neq f(t); \\ \text{б). точечные.} \end{cases}$

„Степень когерентности“

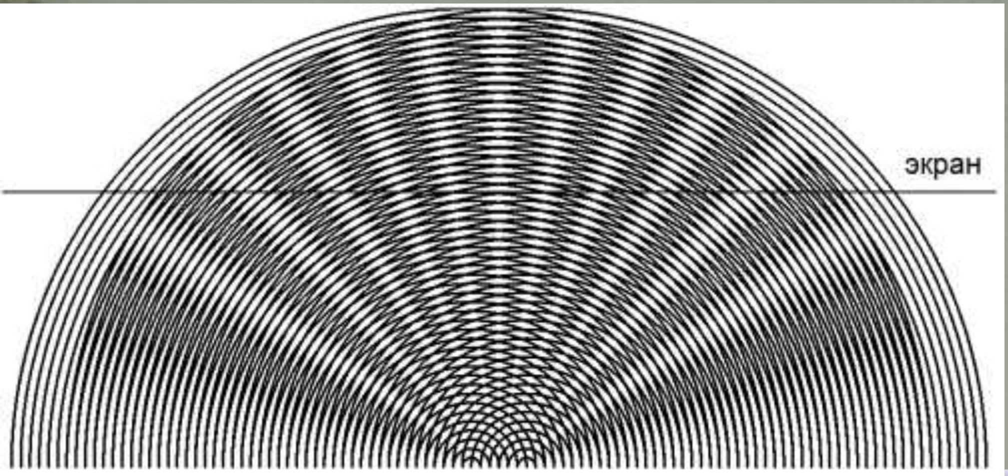
$$V = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

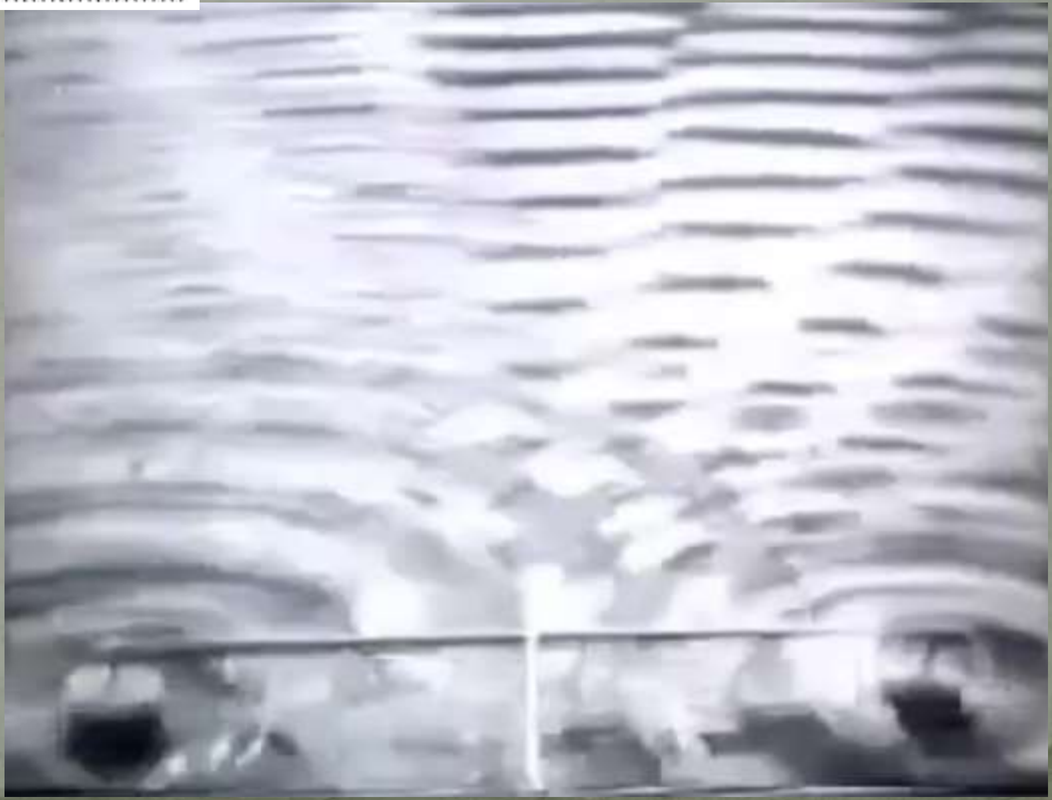
Только случай $I_p \neq I_1 + I_2$ *– “интерференция”!!*

$\langle \cos\delta(t) \rangle_t = 0$ *НЕТ когерентности* **!!** $I_p = I_1 + I_2$



Антракт:
Интерференция упругих волн. Интерференционная картина





2.2. Интерференционная схема Юнга *(опыт Юнга, 1801 – 1803 г.)* *)

Т. Юнг – механик («модуль Юнга»), астроном, врач, оптик («астигматизм»), востоковед (расшифровка иероглифов по Розеттскому камню), филолог (13 языков в совершенстве! , … - … «последний человек, который знал всё» Э. Робинсон

Т. Юнг (1803 г.): ***«интерферируют только две части одного и того же света»***

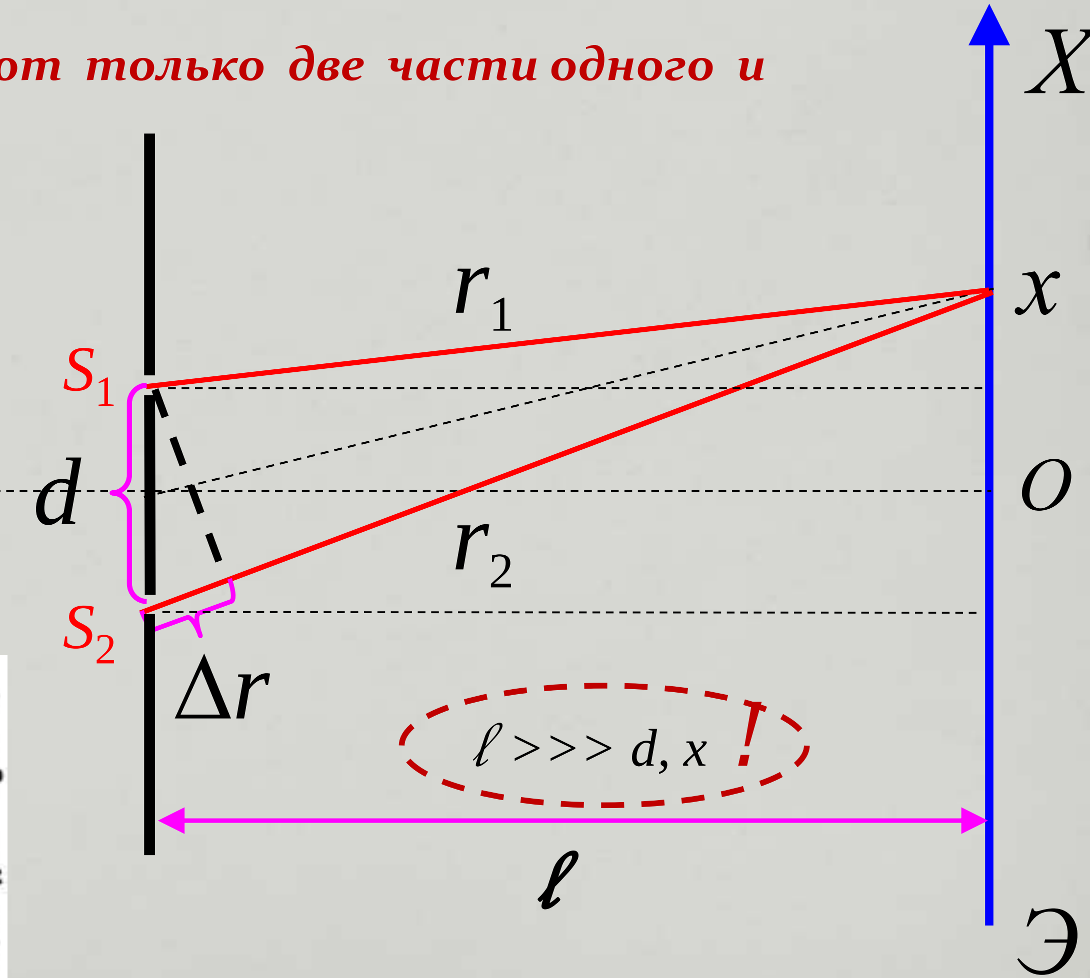
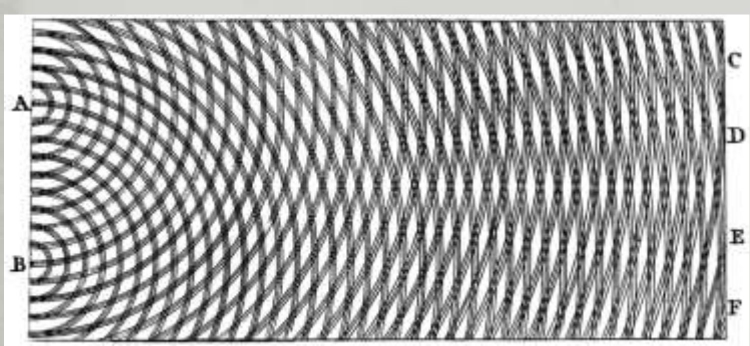


Иллюстрация Т. Юнга к его лекции в Королевском обществе 1803 года



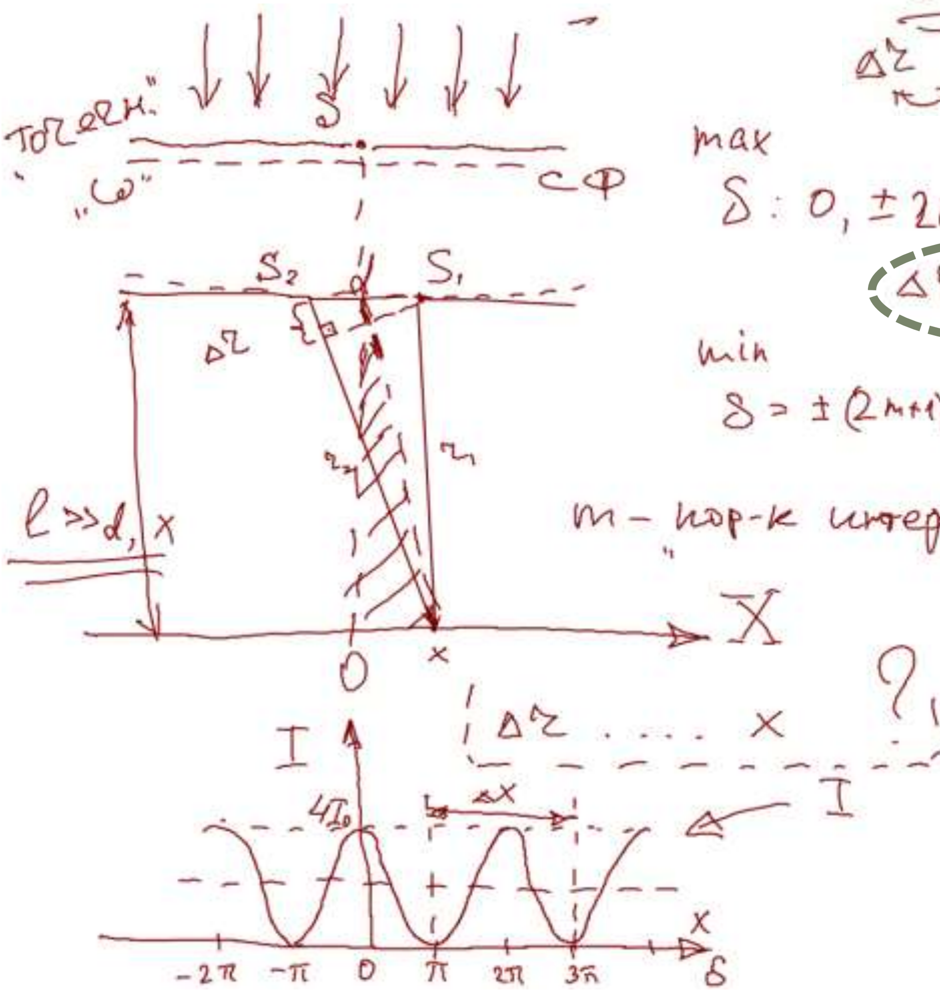
*) «Опыты и проблемы по звуку и свету» (1899 г.)
1801—1803: «Теория света и цветов», «Опыты и исчисления, относящиеся к физической оптике».

2.3. Положение максимумов и минимумов. Ширина интерференционной полосы

Доска

$l \gg d$: $\quad \dfrac{\Delta r}{d} = \dfrac{x}{l}$; $\quad \boxed{\Delta r = \dfrac{d}{l}\cdot x}$

$\Delta r \quad x$



max

δ: $0, \pm 2\pi, \ldots, \pm 2m\pi$; $\quad \boxed{x^{(max)} = \pm m\cdot\dfrac{l}{d}\cdot\lambda}$

$\Delta r = \pm m\lambda$

$m = 0, 1, 2, \ldots$

min

$\delta = \pm(2m+1)\pi \Rightarrow \Delta r = \pm\left(m+\frac{1}{2}\right)\lambda$,

$x^{(min)} = \pm\left(m+\frac{1}{2}\right)\dfrac{l}{d}\cdot\lambda.$

m – „пор-к интерференции"

$\Delta r \ \ldots\ x$?,

„Ширина инт. полосы":

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

λ – ?

$$x^{(max)} = \pm m\frac{l}{d}\lambda,$$

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

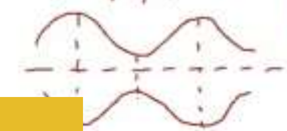
Положение максимумов, m = 0, 1, 2, 3, …

Ширина интерференционной полосы

Доска 1

б) $\delta = \pm\pi, \pm 3\pi, \ldots, (2m+1)\pi$

$m = 0, 1, \ldots$



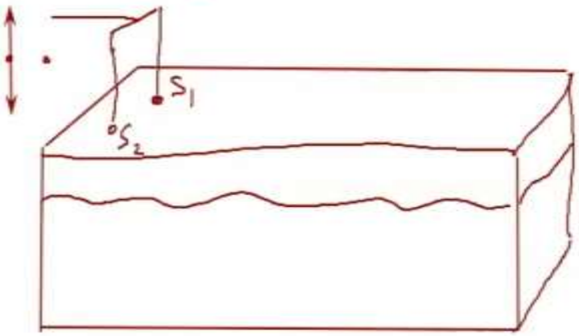
$A_p = 0$ min

$I_p = 0$

…: max / min

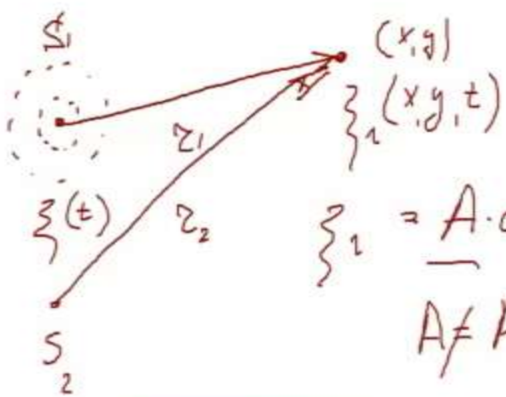
…-я картина

$\xi(t) = A\cos\omega t$



$$\xi_p(x,y,t) = \xi_1(x,y,t) + \xi_2(x,y,t)$$

$$A\cos(\omega t + \varphi_1) = A\cos(\omega t + \varphi_2) =$$

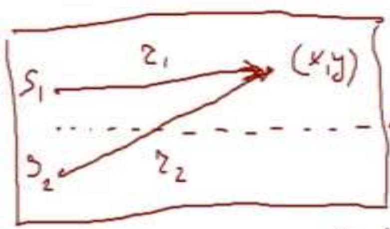


$$\delta = \varphi_1 - \varphi_2$$

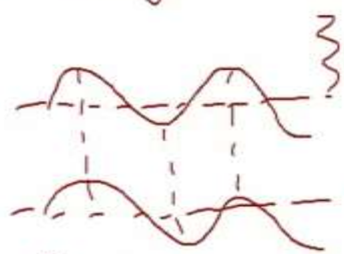
$$\xi_1 = A\cdot\cos(\omega t - kr)$$

$$A \ne A(r)$$

$$\delta = \delta(x,y)$$



$\leftarrow r_1 = r_2 \Rightarrow \varphi_1 = \varphi_2$



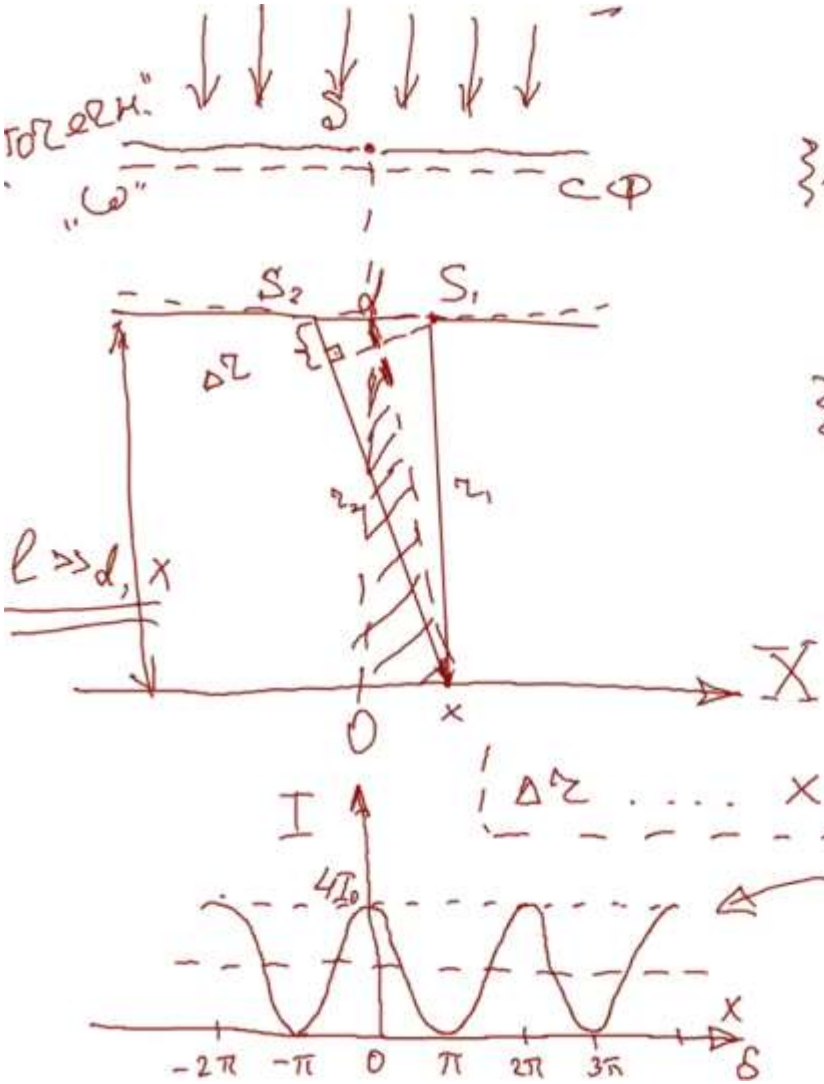
$W \sim A^2 \leftarrow A_p = 2A$

max: $I_p = 4I_0$

$\delta = 0, \pm 2\pi, \pm 4\pi, \ldots, 2m\pi$

Доска

2.3. Схема Юнга: Положение максимумов и минимумов. Ширина интерференционной полосы



$\Delta r \;\dots\; x$?

$\xi_1(r_1, t) = E_0 \cdot \cos(\omega t - k r_1)$

E_0 – ампл. вект. $\vec{E}$

$\xi_2(r_2, t) = E_0 \cdot \cos(\omega t - k r_2)$

$\varphi_{01} = \varphi_{02}$

$\delta = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta r$

разность хода

$\Delta r = r_2 - r_1$

геом. р. х.

$I_p = 2I_0(1 + \cos\delta)$

$\frac{\Delta r}{d} = \frac{x}{l}$; $\Delta r = \frac{d}{l} \cdot x$

$$x^{(\max)} = \pm m \frac{l}{d} \lambda,$$

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

Положение максимумов, $m = 0, 1, 2, 3, \dots$

Ширина интерференционной полосы