

## Глава 3. Интерференция света

### 3.1. Сложение интенсивностей световых волн

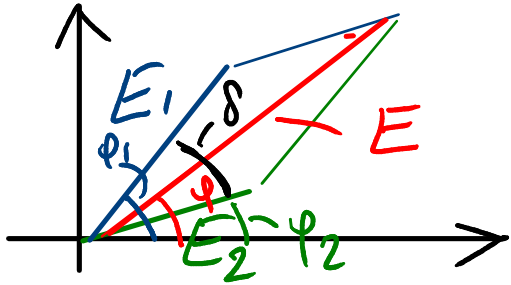
Рассм. 2 свет. волны:  $\vec{E}_1 = E_{m1} \cos(\underbrace{\omega_1 t - \vec{k}_1 \vec{r} + \alpha_1}_{\varphi_1(t)})$

$$\vec{E}_2 = E_{m2} \cos(\underbrace{\omega_2 t - \vec{k}_2 \vec{r} + \alpha_2}_{\varphi_2(t)})$$

Пусть  $\vec{E}_1 \parallel \vec{E}_2$ .

Рассм. суперпозицию этих волн в одной точке  $\vec{r}$ :

$$E = E_1 + E_2 = E_{m1} \cos \varphi_1 + E_{m2} \cos \varphi_2$$



Результ. колеб.:  $E = E_m \cos \varphi(t)$

причем  $E_m^2 = E_{m1}^2 + E_{m2}^2 + \underline{2E_{m1}E_{m2} \cos \delta}$

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

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{E_{m1} \sin \varphi_1 + E_{m2} \sin \varphi_2}{E_{m1} \cos \varphi_1 + E_{m2} \cos \varphi_2}$$

Если колеб-я несогласованы  
 $\varphi_1 \neq \varphi_2$  ( $\omega_1 \neq \omega_2$  и т.д.), то

$$\underline{\delta = \delta(t)}$$

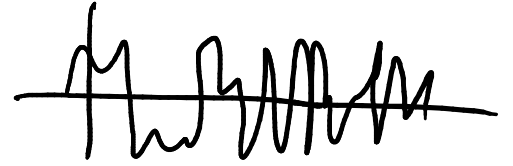
и если  $\delta(t)$  принимает разные  
 значения в разн. время  $t$  - равно колеб.

$$\text{то } \langle \cos \delta \rangle = 0$$

$$\Rightarrow \langle E^2 \rangle = \langle E_1^2 \rangle + \langle E_2^2 \rangle + 0$$

$$I = I_1 + I_2$$

Такие колебания — не когерентные.



Если  $\delta = \text{const}$  (от времени), то такие колебания (волны) — когерентные

В этом случае:

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

интерференционный  
терм

$\cos \delta > 0$   $\Rightarrow I > I_1 + I_2$  - усиление света

$\cos \delta < 0$   $\Rightarrow I < I_1 + I_2$  - ослабление.

При суперпозиции когерентных волн происходит пространственное перераспределение интенсивности; в одних местах - макс, в других - мин.  
Это явление - интерференция.

$$I_1 = I_2 \quad \cos \delta = 1 \Rightarrow I_{\max} = I_1 + I_1 + 2I_1 = 4I_1$$

$$\cos \delta = -1 \Rightarrow I_{\min} = I_1 + I_1 - 2I_1 = \underline{\underline{0}}$$

## 3.2. Основные принципы интерференционных систем

Источник естественного света (Солнце и т.д.) испускает хаотич. последовательность отдельных

**цугов** гарм. волн.

Длительность цуга  $\tau \sim 10^{-8} \text{ с}$ .

**цуг**



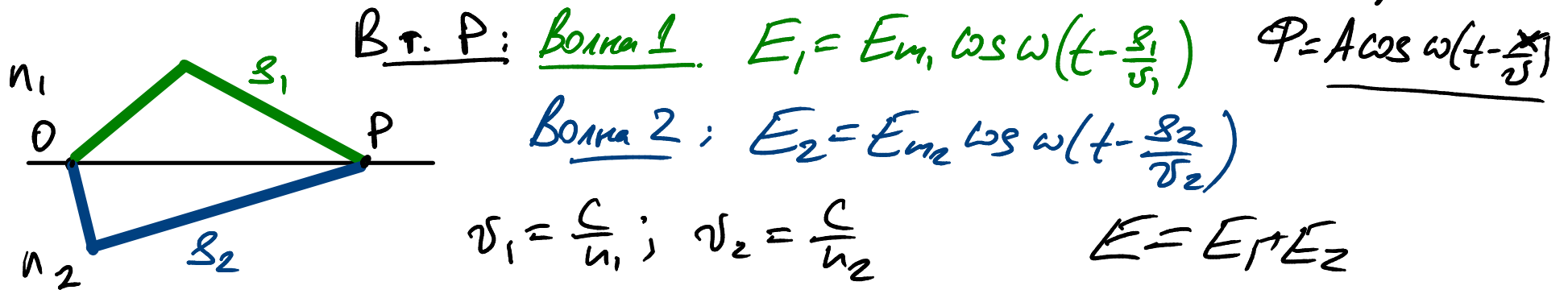
$\Rightarrow$  Разные источники имеют хаотич. изм.  $\rho(t)$

$\Rightarrow$  некогерентны и интерференц. не наблюдаются,

Ост. принят получение когер. волн от ест. ист.:

Волну, изл. одним ест. ист., **разделяют** тем или иным способом на 2 (и более) части и затем накладывают их др на др.

Пусть разделение волны происх. в т. О на ср. раздел | Плоская <sup>запр. волна</sup>



Разность фаз  $\delta = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{\omega s_2}{v_2} - \frac{\omega s_1}{v_1} = \frac{\omega}{c} (n_2 s_2 - n_1 s_1)$

$$\text{Т.о. } \delta = \frac{\omega}{c} (L_2 - L_1) ;$$

$$\bar{\omega} = 2\pi\nu = \frac{2\pi c}{\lambda}$$

$\delta = \frac{2\pi \Delta}{\lambda}$	$\lambda$ - длина волны в вакууме
--	-----------------------------------

$\Delta = L_2 - L_1$
Опт. разность хода лучей

$$\Rightarrow \Delta = \lambda \cdot \frac{\delta}{2\pi}$$

Условие интерф. макс.

$$\cos \delta = 1 ; \quad \delta = 2\pi k ; \quad k \in \mathbb{Z}$$

$$\Delta = k\lambda ; \quad k \in \mathbb{Z}$$

$k$  - порядок интерференции

Условие интерф. мин.

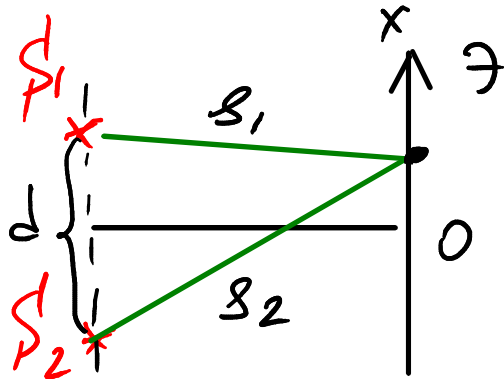
$$\cos \delta = -1 ; \quad \delta = \frac{2k+1}{2}\pi$$

$$\Delta = (k + \frac{1}{2})\lambda ; \quad k \in \mathbb{Z}$$

Интенсивность: 
$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \frac{2\pi \Delta}{\lambda}$$

После разделения волны, часто можно представить, что свет исходит из 2<sup>х</sup> точек ис.

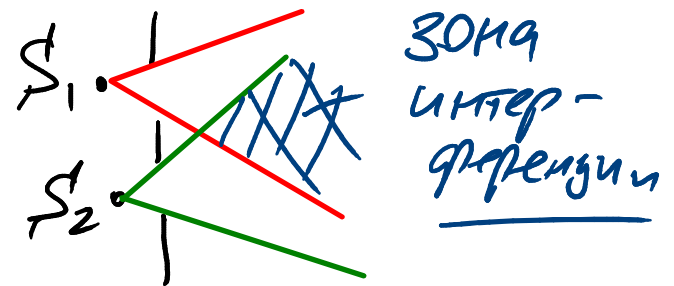
$S_1$  и  $S_2$ , наход. на р-ч  $d$



max.  $\Delta = k\lambda$

min  $\Delta = \left(\frac{2k+1}{2}\right)\lambda$

$k \in \mathbb{Z}$



ЗОНА  
интер-  
ференции

Область пересечения  
волн из  $S_1$  и  $S_2$



Можно показать (см. практику):  $d \ll l$

разность хода:

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

max

$$x_k^{\max} = \frac{\lambda l}{d} \cdot k$$

min

$$x_k^{\min} = \frac{\lambda l}{d} \left( \frac{2k+1}{2} \right)$$

Ширина интерференционной полосы - расстояние

между 2-ми соседними min.

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

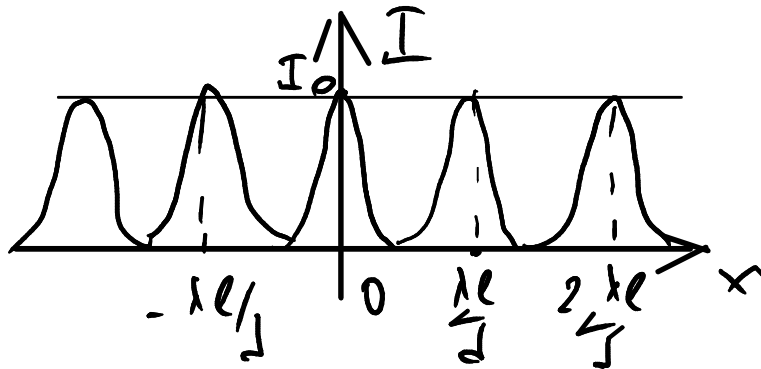
Р-е и max (максимумы) также равно  $\Delta x = \frac{\lambda l}{d}$ .

Интерференция:  $I = 2I_1 + 2I_1 \cos \frac{2\pi x d}{\lambda l} =$   
 $I_1 = I_2$

$$= 2I_1 \left( 1 + \cos \frac{2\pi d}{\lambda l} x \right) = >$$

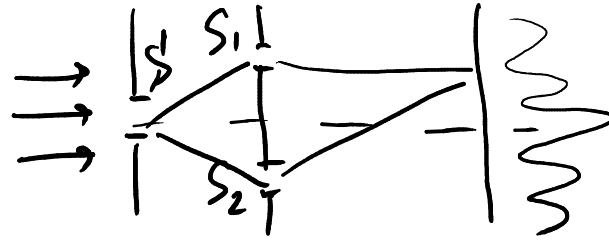
$$\Rightarrow I = 4I_1 \cos^2 \eta x \quad | \quad \eta = \frac{\pi d}{\lambda l}$$

$$\Rightarrow I = I_0 \cos^2 \eta x$$



## 3.3. Когерентность

Опыт Юнга



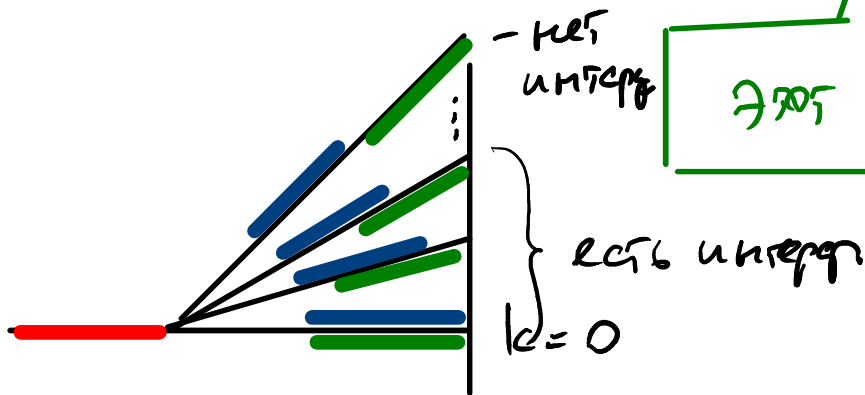
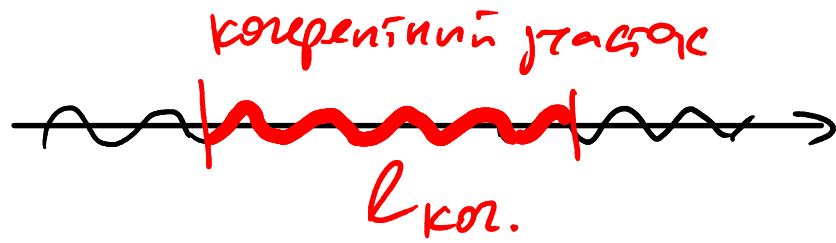
## Длина когерентности

Полосы при  $k$  увелич. размываются.

Пусть видны  $k = 4$  полос  $\Rightarrow$  колебание волн

Для волос  $k > 4$  — некогерентны.

Т.е. разность хода превышает некую величину.



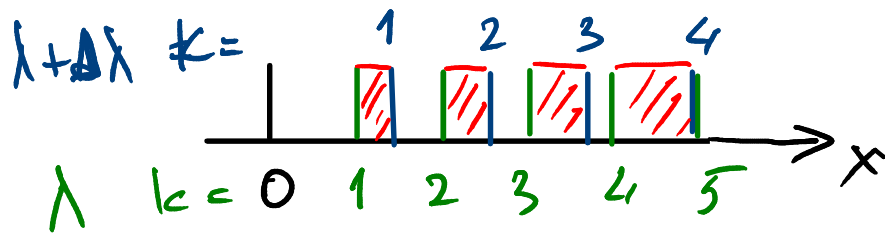
Вдоль волны когерентный  
участок только в некотором  
интервале.

Этот интервал — длина когерентности

$$l_{\text{ког}} = k_{\text{max}} \cdot \lambda$$

⊗ цель рассм. дос. узкой.

Пусть свет имеет  $\lambda$  в интервале  $\lambda \div \lambda + \Delta\lambda$



$$x_k^{\text{max}} = \frac{\lambda l}{d} \cdot k$$

$\Rightarrow$  предельный порядок k,  
при котором исчезает

условие:  $\frac{d}{d\lambda} \lambda(k_{\text{ин}}) = \frac{d}{d\lambda} (\lambda + \Delta\lambda) \cdot k \Rightarrow \lambda k + \lambda = \lambda k + \Delta\lambda k$

$\Rightarrow k_{\text{max}} = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \quad | \quad \Rightarrow l_{\text{коз}} = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \cdot \lambda \Rightarrow$

$$l_{\text{коз}} = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$$

солнце:  $l_{\text{коз}} = 5 \lambda$

лазеры:  $l_{\text{коз}}$  — сантиметры

Временная когерентность

$$l_{\text{коз}} = c \cdot \tau_{\text{коз}}$$

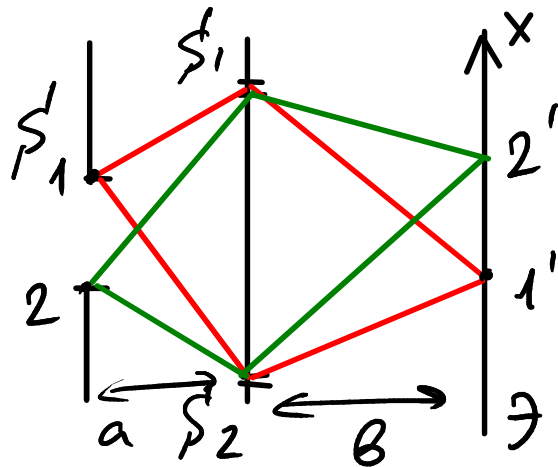
$\tau_{\text{коз}}$  — время, в теч. кот. изм-е фазы волны не превышает  $\pi$ .

усл-е  
набр.

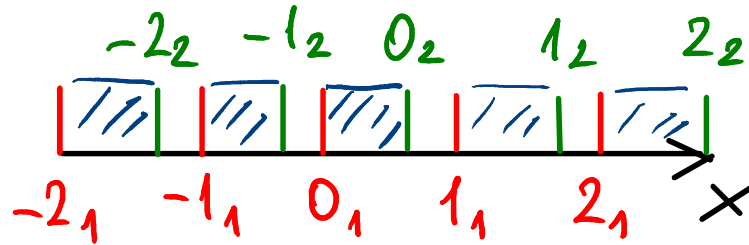
$$\Delta c \ll \underline{l_{\text{коз}}}$$

# Ширина когерентности

Пусть в опыте Юнга, свет — монохр., но цель — не узкая.



min и max разности.



При <sup>шир</sup> широких щелях, интервал м/у max пропадает,  
— т.е. волны — некоэр.

Интерфер картина на бл. при ширине щели  $\delta < \lambda$ .  
Знал.

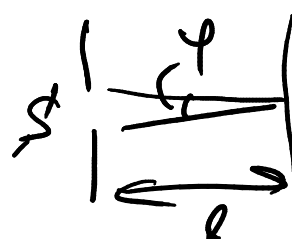
Ширина когерентности —  $h_{\text{кор}}$  — ширина, на  
кот. все участки когерентны между собой

---

Для опыта Юнга:  $h_{\text{кор}} = d$ ;

картина интерфер.  $\delta = \Delta x = \frac{\lambda l}{\delta} \Rightarrow d = \frac{\lambda l}{\delta}$

$\Rightarrow h_{\text{кор}} = \frac{\lambda l}{\delta} = \frac{\lambda}{\delta/l} = \frac{\lambda}{\varphi}$



Т.О.  $h_{\text{коз}} = \frac{\lambda}{\varphi}$ ;  $\varphi$  - угол размер источника.

Солнце;  $\varphi = 0,01$  рад.

$\lambda = 0,5$  мкм;

$h_{\text{коз}} = 0,05$  мм;

### 3.4. Способы наблюдения интерференции

Уровни Т.3 § 4.3 Биризма, бизеркала Френеля

интерфер в тонких пленках

Кольца Ньютона