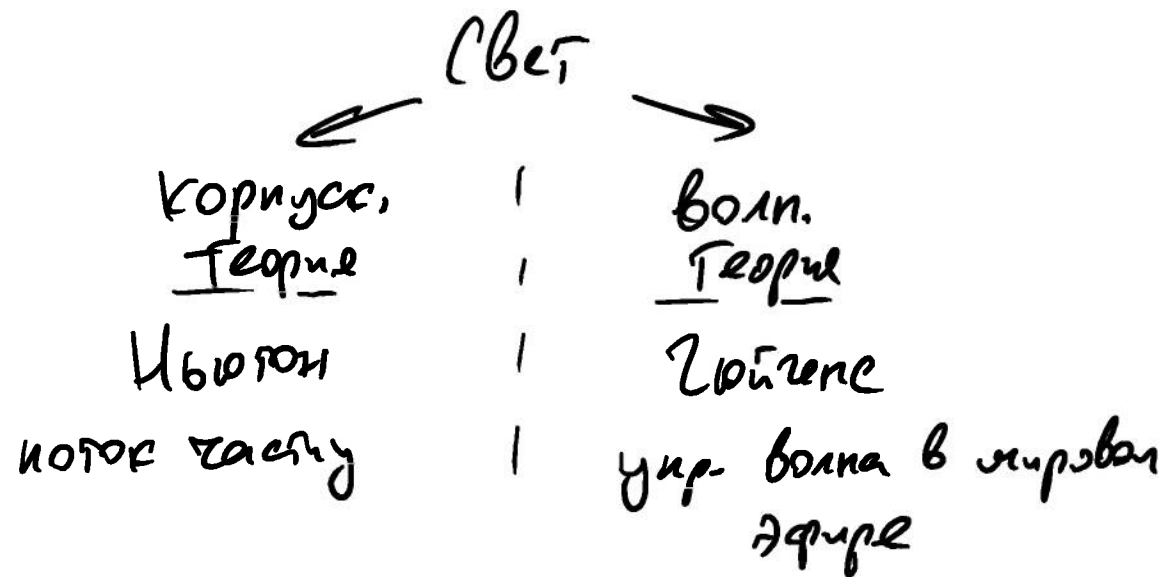


Глава 2. Интерференция

2.1. Природа света

Конеч. 17в



Начало 19в

Френель на осн. волн. теории описал все известные на то время данные.

196 - Максвелл - э/м теория - э/м волны

Л. Герц - эксл. обнаружил э/м волны.

Фотоэфф., изл абс. терм. тем. \Rightarrow свет как поток фотонов.

Эйнштейн.

\Rightarrow корпускулярно-волновой дуализм.

Шкала э/м волн.

Диапазон

Излучение	Длина волны.	Энергия фотона
радиоволны	$> 1 \text{ мм}$	$< 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ эВ}$
ИК	$760 \div 10^6 \text{ нм} = 1 \text{ мм}$	$1,2 \cdot 10^{-3} \div 1,6 \text{ эВ}$
<u>Видимый свет</u>	<u>$380 \div 760 \text{ нм}$</u>	<u>$1,6 \div 3,2 \text{ эВ}$</u>
УФ	$12 \div 380 \text{ нм}$	$3,2 \div 100 \text{ эВ}$
рентген	$0,0012 \div 12 \text{ нм}$	$100 \div 1 \text{ МэВ}$
гамма	$< 0,0012 \text{ нм}$	$> 1 \text{ МэВ}$

Узл. Солнця :

Диапазон λ , мкм	$E_{\text{узл}}$, %
0,3 ÷ 0,4	5
0,4 ÷ 0,75	52
0,75 ÷ 2,3	43

$$\lambda_{\text{max}} = \underline{555 \text{ нм.}}$$

$$\underline{T = 300 \text{ K}}$$

Совр. знач. с.к. света: $c = \underline{299\,792,5 \pm 0,3 \text{ км/с}}$

2.1 Фото метрич. поглед и волниност

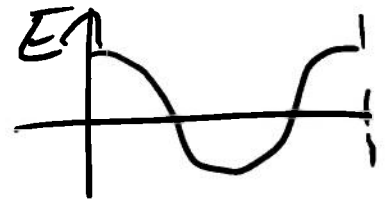
Физ. прибори и глаз човека регистрир. ср. знач. \vec{E}, \vec{H}

$$\text{НО } \langle \vec{E} \rangle = 0; \quad \langle \vec{H} \rangle = 0$$

\Rightarrow проследителне резултативност - зависи.

т.к. $\langle S \rangle \stackrel{\text{= I - интензивност}}{\sim} E^2$

од $\langle E^2 \rangle$

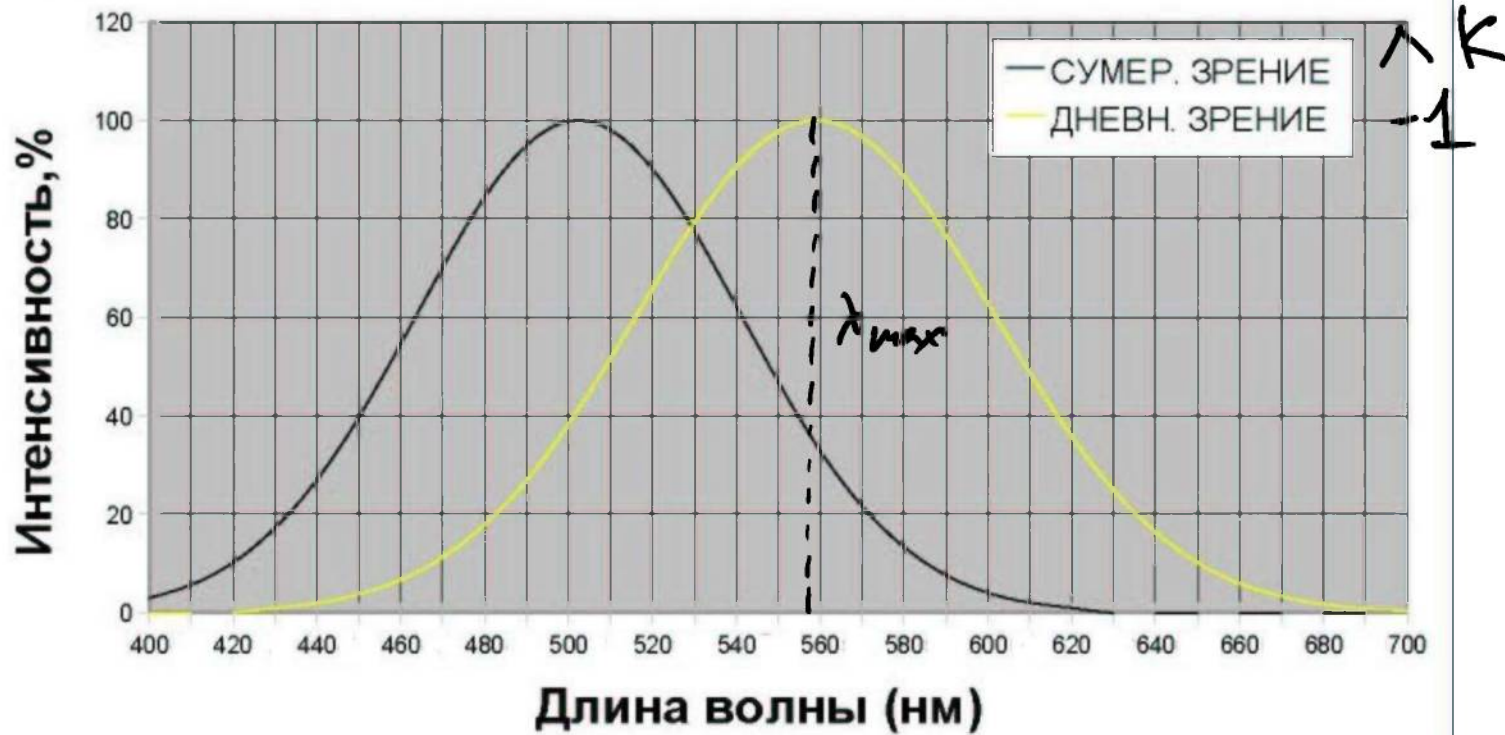


Т.е. глаз и прибори измерево, енергија.

Свет, ощущение глаза: 1) энергия — называем в
 блгу яркостью
2) частота/длина волны — цвет.

Добавит. средн. норм. чел. глаза к свету с длиной λ
кар-зается кривой видности (отн. свет. эффективность)

Кривая видности для дневного и сумеречного зрения



$$K(\lambda_{max}) = 1; \quad \lambda_{max} = 555 \text{ нм (зел.)}$$

Величины

Энергетические

мощность изл-я $P = \frac{dW}{dt}$

dW - энергия, изл. за dt

спектральная плотность мощности изл-я

$$P_\lambda = \frac{dP}{d\lambda};$$

dP - мощность, изл. в интервале длин волн $\lambda \rightarrow \lambda + d\lambda$

Связь:

$$P = \int_0^{\infty} P_\lambda d\lambda$$

Фотометрические

Световой поток Φ_v $[\Phi_v] = \text{лм}$

спектр. плотн. св. потока люмен.

$$\Phi_{v\lambda} = P_\lambda \cdot V(\lambda)$$

$$V(\lambda) = V(555 \text{ нм}) \cdot K(\lambda)$$

- (абс.) ф-я видности

$$\Rightarrow \Phi_v = V(555) \int_0^{\infty} K(\lambda) P_\lambda d\lambda$$

Энерг. сила изл-я $I_{(e)} = \frac{dP}{d\Omega}$

- мощность, излучаемая в
элемент телесного угла $d\Omega$ по
отн. к $d\Omega$

Спектр плотн. энергии
силы излучения

$$I_{\lambda} = dP_{\lambda} / d\Omega$$

- сила изл-я в интервале $\lambda \div \lambda + d\lambda$

Для плоской исп. изл-я, равномерн.
по всем напр. $I = I_0 = \cos \theta$

$$P = \int I d\Omega = \underline{4\pi I_0}$$

Сила света $I_V = \frac{d\Phi_V}{d\Omega}$

$[I_V] = \text{кг (кандела)}$

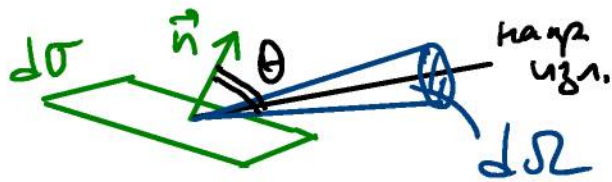
1 кг - сила света, изл. \perp -но пов-сти
черного излучателя с площадью
 $\frac{1}{6} \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$ при $T = 2045 \text{ К}$ ($T_{\text{пл}} P_t$)
и $p = 101325 \text{ Па}$.

$$\Rightarrow 1 \text{ км} = \text{кг} \cdot \text{ср}$$

Спектр-плотн. силы света:

$$I_{V\lambda} = \frac{d\Phi_{V\lambda}}{d\Omega} = V(\lambda) I_{\lambda} = V(\lambda) \frac{dP_{\lambda}}{d\Omega}$$

$$V(555 \text{ нм}) = 683 \text{ лм/Вт}$$



Проекция $d\sigma$ на напр-е угла:
 $d\sigma' = d\sigma \cdot \cos \theta$

⊙ $B=L$

Энергетич. яркость

$$L = \frac{dI(\theta)}{d\sigma'} = \frac{dP}{d\Omega d\sigma \cos \theta}$$

Спектр. яркость:

$$L_\lambda = \frac{dP_\lambda}{d\Omega d\sigma \cos \theta}$$

Угол θ с элем. ков-чи $d\sigma$
 в напр-и θ в элемент тел.
 угла $d\Omega$.

Яркость $L_V = \frac{d\Phi_V}{d\Omega d\sigma \cos \theta} = \frac{dI_V}{d\sigma'}$

Спектр. яркость: $L_{V\lambda} = \frac{d\Phi_{V\lambda}}{d\Omega d\sigma \cos \theta}$

$$L_V d\sigma = \text{const} = (dI_V)_0$$

$$\Rightarrow \boxed{dI_V = (dI_V)_0 \cdot \cos \theta}$$

Закон Ламберта

соотв. - ламбертовский,

④ $R \equiv M$

Энергетическая светимость

$$R = \frac{dP}{d\sigma} = \int L \cdot \cos \theta d\Omega$$

Спектр. плотн. энерг. светимости

$$\Sigma_\lambda = \frac{dP_\lambda}{d\sigma} = \int L_\lambda \cos \theta d\Omega$$

Если $L_\lambda = \text{const}$, то

$$\Sigma_\lambda = L_\lambda \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^\pi \sin \theta \cos \theta d\theta =$$

$$= L_\lambda \cdot 2\pi \cdot \frac{1}{2} = \pi L_\lambda$$

$$R = \int_0^\infty \Sigma_\lambda d\lambda = \pi \cdot L$$

Светимость:

$$R_V = \frac{d\Phi_V}{d\sigma} = \int L_V \cos \theta d\Omega$$

Спектр. плотн.

$$\Sigma_{V\lambda} = \frac{d\Phi_{V\lambda}}{d\sigma} = \int L_{V\lambda} \cos \theta d\Omega$$

Рассм. падение света
на поверхность:

Энерг. освещенность

$$E = \frac{dP}{dS} \text{ — пов. мощ.}$$

Спектр. плотн.

$$E_\lambda = \frac{dP_\lambda}{dS}$$

Освещенность:

$$E_v = \frac{d\Phi_v}{dS};$$

$$E_{v\lambda} = \frac{d\Phi_{v\lambda}}{dS}$$

Световая экспозиция

$$\underline{dH_v = \Phi_v dt}$$

2.3 Сложение интенсивностей световых волн

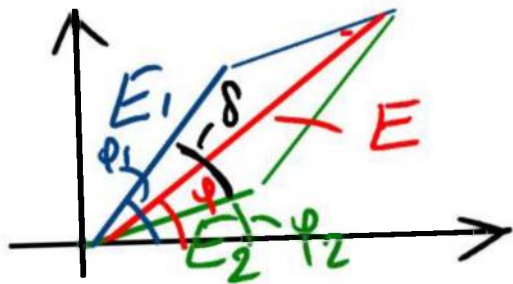
Рассм. 2 свет. волны: $\vec{E}_1 = E_{m1} \cos(\underbrace{\omega_1 t - \vec{k}_1 \vec{r} + d_1}_{\varphi_1(t)})$

$$\vec{E}_2 = E_{m2} \cos(\underbrace{\omega_2 t - \vec{k}_2 \vec{r} + d_2}_{\varphi_2(t)})$$

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

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

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

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

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

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

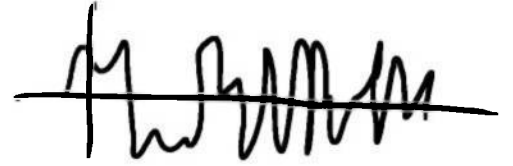
и если $\delta(t)$ принимает разные
 значения в разн. время t - равно вероятно

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

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

$$I = I_1 + I_2$$

Такие колебания — не когерентные.



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

В этом случае:

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

интерференция
эти

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

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

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

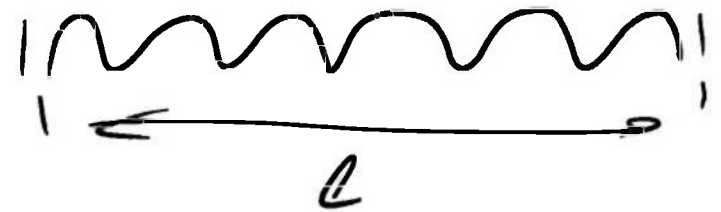
2.4 Основные принципы интерференционных систем

Источники естественного света (Солнце и т.д.) испускают хаотич. последовательность отдельных

узлов гарм. волн.

уз

Длительность узла $\tau \sim 10^{-10}$ с.



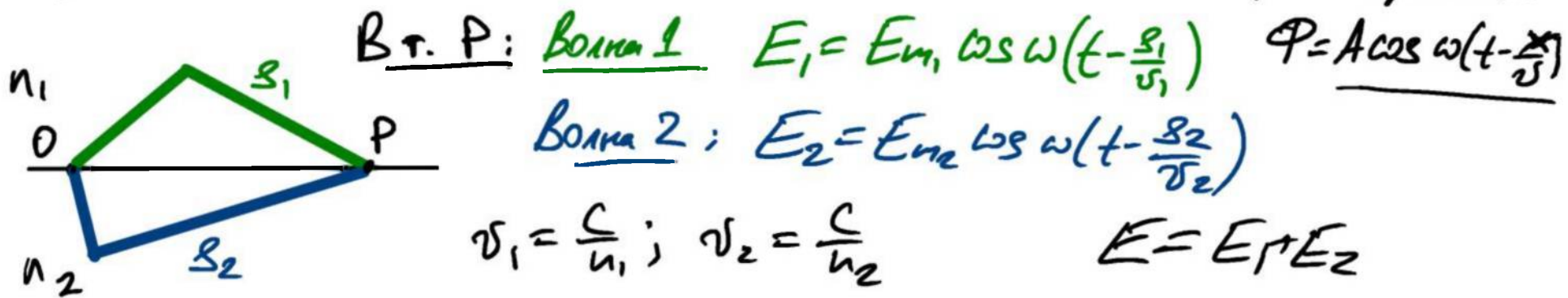
\Rightarrow Разные источники имеют хаотич. изм. $\delta(t)$

\Rightarrow некогерентны и интерференция не наблюдается,

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. разделе | Плоская
сфер. волна



Разность фаз $\delta = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{\omega S_2}{v_2} - \frac{\omega S_1}{v_1} = \frac{\omega}{c} (n_2 S_2 - n_1 S_1)$

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

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

$\delta = \frac{2\pi \Delta}{\lambda}$	λ - 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.

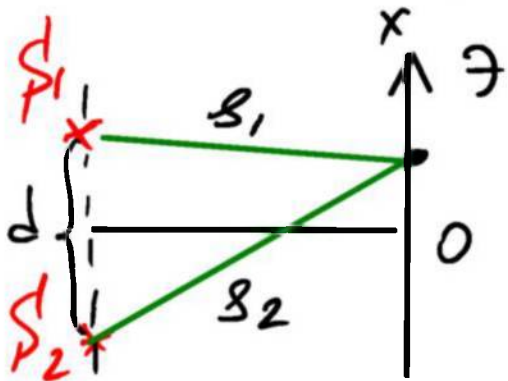
$$\cos \delta = -1 ; \quad \delta = \frac{2k+1}{2}\pi$$

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

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

После разделения волны, часто можно представить, что свет исходит из 2^х точек ис.

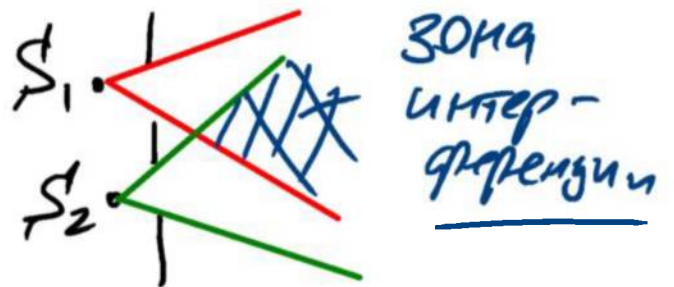
S_1 и S_2 , наход. на р-ч d



max. $\Delta = k\lambda$

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

$k \in \mathbb{Z}$



зона интерференции

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 мин.

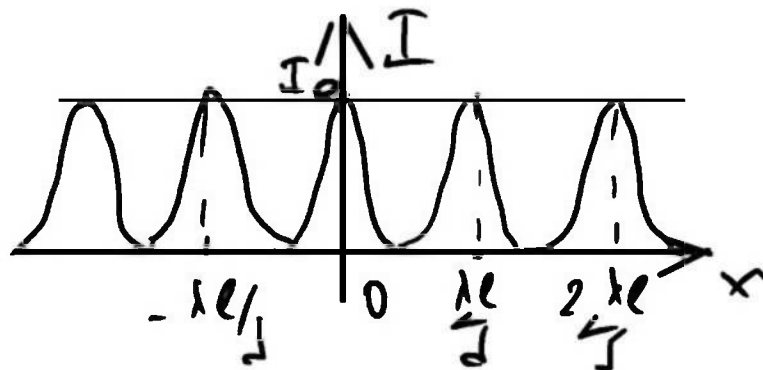
$$\Delta x = \dots = \frac{\lambda l}{d}$$

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

Интерференция: $I = 2I_1 + 2I_1 \cos \frac{2\pi x d}{\lambda l} =$
 $I_1 = I_2$
 $= 2I_1 \left(1 + \cos \frac{2\pi d}{\lambda l} x \right) = >$

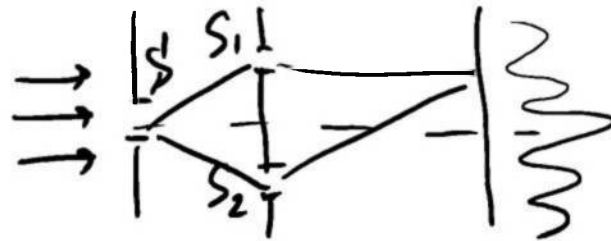
$\Rightarrow I = 4I_1 \cos^2 \eta x \quad | \quad \eta = \frac{\pi d}{\lambda l}$

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



2.5 Когерентность

Один Юнга



Длина когерентности

Полосы при K увели. размываются.

Пусть видно $K=4$ полос \Rightarrow колебание волн

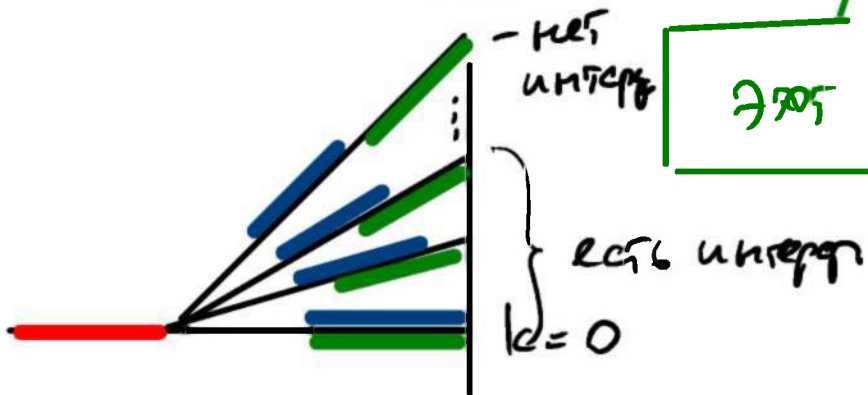
Для волос $K > 4$ — некогерентны.

Т.е. разность хода превышает некую величину.



Вдоль волны когерентный
или себя только участки
в некотором интервале.

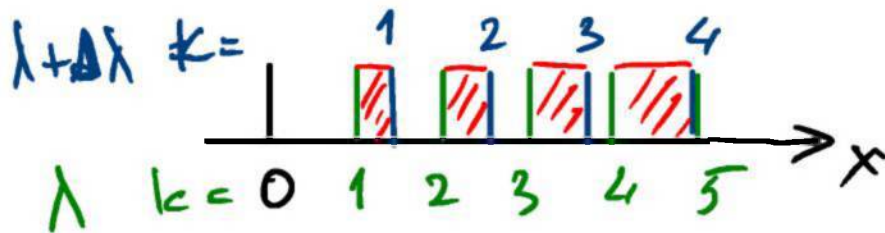
Этот интервал — длина когерентности



$$l_{koh} = k_{max} \cdot \lambda$$

⊗ цель рассм. дос. узкой

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



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

\Rightarrow предельный порядок k ,
при котором исчезает

условие: $\frac{d}{dt} \lambda(k_{m+1}) = \frac{d}{dt} (\lambda + \Delta \lambda) k \Rightarrow \lambda k + \lambda = \lambda k + \Delta \lambda k$

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

$$l_{кор} = \frac{\lambda^2}{\Delta \lambda}$$

солнце: $l_{кор} = 5 \lambda$

лазеры: $l_{кор}$ — сантиметры

Временная когерентность

$$l_{кор} = c \cdot \tau_{кор}$$

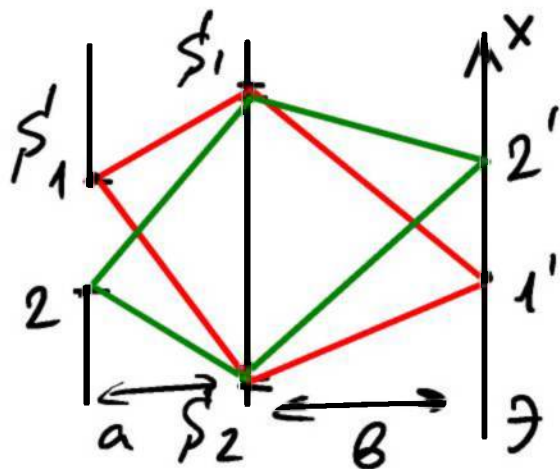
$\tau_{кор}$ — время, в теч. кот. изм-е фазы волны не превышает π .

усл-е
набр.

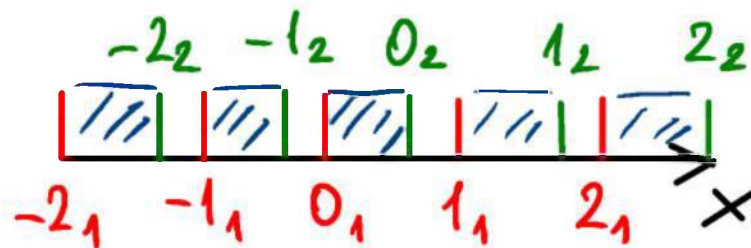
$$\Delta c \ll \underline{l_{кор}}$$

Ширина когерентности

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



min и max разности.



При ^{шир} 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 мб собой

Для опыта Юнга: $h_{\text{кор}} = d$;

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

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

$\delta = \frac{\lambda l}{d}$

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

Солнце; $\varphi = 0,01$ рад.

$\lambda = 0,5$ мкм;

$h_{\text{коз}} = 0,05$ мм;

2.6 Способы наблюдения интерференции

Уровни Т.3 § 4.3 Бипризма, бисзеркала Френеля

интерфер в тонких пленках

Кольца Ньютона