Введение в волновую оптику

Свет - это сложное явление. Он ведёт себя то как ЭМВ, то как поток особых частиц - корпускул.

ЭМВ - это колебание векторов $\bar{E}$ и $\bar{H}$.

Однако на опыте химическое, физиологическое, фотоэлектрическое воздействия вызываются только вектором $\bar{E}$. Поэтому, говоря о световом векторе, будем подразумевать только вектор $\bar{E}$.

Диапазон видимого света:

1) $\lambda_0 = 400\,нм \div 760\,нм = 0{,}4\,мкм \div 0{,}76\,мкм$

$$\nu = (0{,}39 \div 0{,}75)\cdot 10^{15}\ Гц$$

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n};$$

2) показатель преломления: $n = \frac{c}{v} = \sqrt{\varepsilon\mu} \approx \sqrt{\varepsilon} = \sqrt{\varepsilon_\infty}$ (1)

$\varepsilon_{H_2O} = 81$, $\varepsilon_\infty = 1{,}77$ – на высоких част.

$n_{H_2O} = 1{,}33$

3) оптическая длина пути в однородной среде:

$$\boxed{L = nS} \qquad (2)$$

В неоднородной среде:

$$\boxed{L = \int_1^2 n\,dS} \qquad (3)$$

Основные законы геометрической оптики:

1) Закон прямолинейного распространения света.

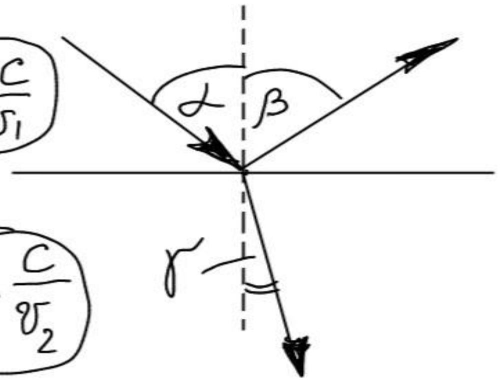
2) Закон независимости световых лучей - при пересеченииии световые лучи не обмениваются энергией.

3) Закон отражения света - угол падения равен углу отражения (см. рис.)

4) Закон преломления - при преломлении на границе раздела сред отношение синуса угла падения к синусу угла преломления равно относительному показателю преломления второй среды относительно первой (см. формулу).

5) Принцип Ферма: свет распространяется по такому пути, для прохождения которого ему требуется минимальное время.

$n_1 = \frac{c}{v_1}$



$n_2 = \frac{c}{v_2}$

4) $\angle\alpha = \angle\beta$

5) $\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = n_{21}$

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

2. Волновая оптика

2.1 Интерференция световых волн

Интерференция - это круг явлений, при которых интенсивность результирующей волны при наложении волн не равна сумме отделных интенсивностей. При этом возникает чередование тёмных и светлых участков - интерференционные полосы.

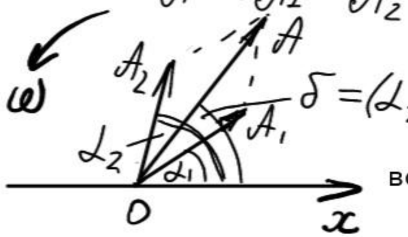
Необходимым требованием для интерференции является ***когерентность источников и монохроматичность волн.***

Пусть две волны с одинаковой частотой ω распространяются в одном направлении:

$A_1 \cos(\omega t + \alpha_1)$ первая волна $\qquad A_2 \cos(\omega t + \alpha_2)$ вторая волна

Ис результирующая:

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2 A_1 A_2 \cos\delta \quad (1)$$



$\delta = (\alpha_2 - \alpha_1)$ - разность фаз, возбуждаемых колебаний.

Интенсивность света I пропорциональна квадрату амплитуды. $I \sim A^2$

Тогда уравнение (1) можно записать:

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

Если разность фаз, возбуждаемых волнами колебаний, постоянна во времени, то волны называются когерентными.

Если волны когерентны:

$$\cos\delta > 0 \rightarrow I > (I_1 + I_2) - max$$
$$\cos\delta < 0 \rightarrow I < (I_1 + I_2) - min$$

Если волны не когерентны, то разность фаз хаотически меняется и: $\langle \cos\delta \rangle = 0; \quad I = I_1 + I_2$

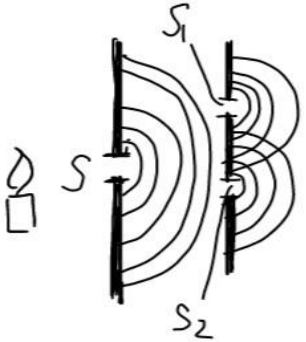
Естественные источники света некогерентны, т.к. свечение тел обусловлено испусканием волн отдельными атомами. Отдельные атомы излучают цуги длительностью 10^{-8} с. Начало фазы каждого нового цуга никак на связано с фазой предидущего. Поэтому фазы результирующих волн меняются случайным образом - хаотически.

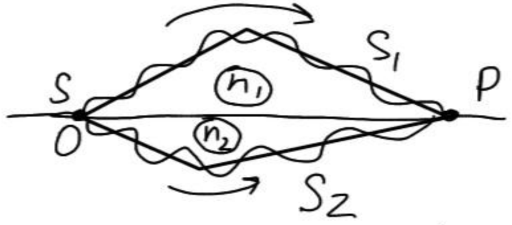
$$\left.\begin{array}{l} I_1 = I_2 \rightarrow I_{max} = 4 I_1 \\ I_{min} = 0 \end{array}\right\} \text{когер.}$$

Нет когерентности:

$$I = 2 I_1$$

Опыт Юнга





$$A_1 \cos \omega \left(t - \frac{s_1}{v_1}\right)$$

$$A_2 \cos \omega \left(t - \frac{s_2}{v_2}\right)$$

Тогда в точке P разность фаз двух колебаний будет:

$$\delta = \omega\left(\frac{s_2}{v_2} - \frac{s_1}{v_1}\right) = \frac{\omega}{c}(n_2 S_2 - n_1 S_1)$$

$$\nu = \frac{c}{\lambda_0} \qquad v_1 = \frac{c}{n_1} \quad ; \quad v_2 = \frac{c}{n_2}$$

$$\frac{\omega}{c} = \frac{2\pi\nu}{c} = \frac{2\pi}{\lambda_0} \Rightarrow \boxed{\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0}\Delta} = const \quad (3)$$

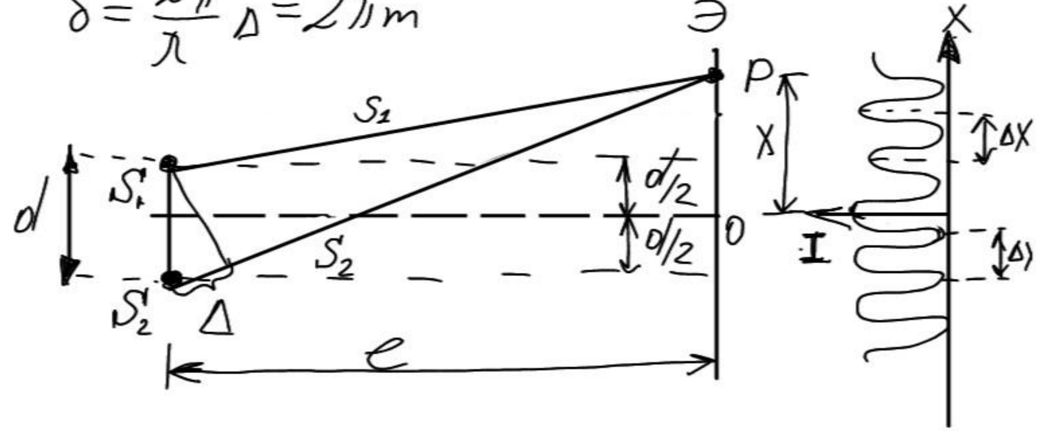
$$\Delta = n_2 S_2 - n_1 S_1 = L_2 - L_1 \quad (4)$$

(4) - Оптическая разность хода.

(3) - Разность фаз двух колебаний.

Вернёмся к опыту Юнга и рассмотрим его схему:

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



Из (3) следуют условия максимума и минимума:

$$\boxed{\Delta = \pm m\lambda_0; \quad (m = 0, 1, 2 \ldots)} \quad (5)$$

$$(\delta = 2\pi m)$$

$$\boxed{\Delta = \pm\left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda_0; \quad (m = 0, 1, 2 \ldots)} \quad (6)$$

$$(\delta = \pm(2m+1)\pi)$$

Вычислим ширину интерференционной полосы в схеме опыта Юнга:

$$S_1^2 = l^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2; \quad S_2^2 = l^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2$$

$$S_2^2 - S_1^2 = (S_2 - S_1)(S_2 + S_1) = 2xd$$

$$S_2 - S_1 = \frac{xd}{l} \quad ; \quad S_2 + S_1 \approx 2l$$

$$d \ll \ell \quad ,$$

$$\Delta = n \frac{x d}{\ell} \qquad (7)$$

$(7) \to (5),(6)$; $\qquad \lambda = \dfrac{\lambda_0}{n}$

$$x_{max} = \pm m \frac{\ell}{d} \lambda$$

$$x_{min} = \pm \left(m + \frac{1}{2}\right) \frac{\ell}{d} \lambda$$

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

Разность координат соседних максимумов или минимумов даст расстояние между полосами, или ширину интерференционной полосы:

$$\boxed{\Delta x = \frac{\ell}{d} \lambda}, \qquad (8)$$