

Введение в волновую оптику

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

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

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

Диапазон видимого света:

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

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

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

$$2) \text{ показатель преломления: } n = \frac{c}{v} = \sqrt{\epsilon M} \approx \sqrt{\epsilon} = \sqrt{\epsilon_\infty} \quad (1)$$

$$\epsilon_{\text{H}_2\text{O}} = 81, \epsilon_\infty = 1,77 - \text{на высоких част.}$$
$$n_{\text{H}_2\text{O}} = 1,33$$

3) оптическая длина пути в однородной среде:



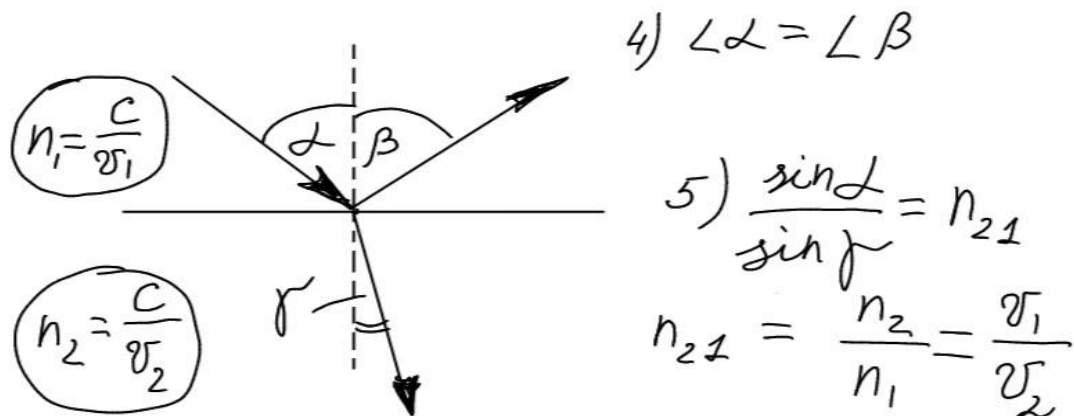
$$L = nS \quad (2)$$

В неоднородной среде:

$$L = \int_1^2 n ds \quad (3)$$

Основные законы геометрической оптики:

- 1) Закон прямолинейного распространения света.
- 2) Закон независимости световых лучей - при пересечении 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.



2. Волновая оптика

2.1 Интерференция световых волн

Интерференция - это круг явлений, при которых интенсивность результирующей волны при наложении волн не равна сумме отдельных 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:

$$A_1 \cos(\omega t + \alpha_1) \quad \text{первая волна}$$
$$A_2 \cos(\omega t + \alpha_2) \quad \text{вторая волна}$$

Исц результирующая:

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos \delta \quad (1)$$

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

Интенсивность света \bar{I} пропорциональна квадрату амплитуды.

$$\bar{I} \sim A^2$$

Тогда уравнение (1) можно записать:

$$\bar{I} = \bar{I}_1 + \bar{I}_2 + 2\sqrt{\bar{I}_1\bar{I}_2} \cos \delta \quad (2)$$

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

Если волны когерентны:

$$\cos \delta > 0 \rightarrow \bar{I} > (\bar{I}_1 + \bar{I}_2) - \text{max}$$
$$\cos \delta < 0 \rightarrow \bar{I} < (\bar{I}_1 + \bar{I}_2) - \text{min}$$

Если волны не когерентны, то разность фаз хаотически меняется и:

$$\langle \cos \delta \rangle = 0; \quad \bar{I} = \bar{I}_1 + \bar{I}_2$$

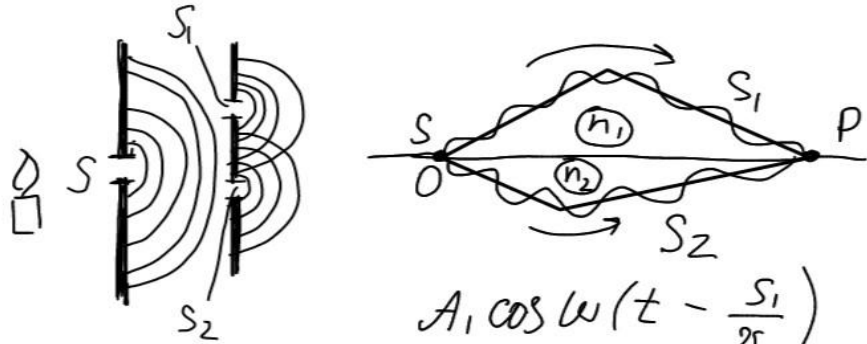
Естественные источники света некогерентны, т.к. свечение тел обусловлено испусканием волн отдельными атомами. Отдельные атомы излучают цуги длительностью 10^{-8} с. Начало фазы каждого нового цуга никак не связано с фазой предыдущего. Поэтому фазы результирующих волн меняются случайным образом - хаотически.

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

Нет когерентности:

$$\bar{I} = 2\bar{I}_1$$

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:

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

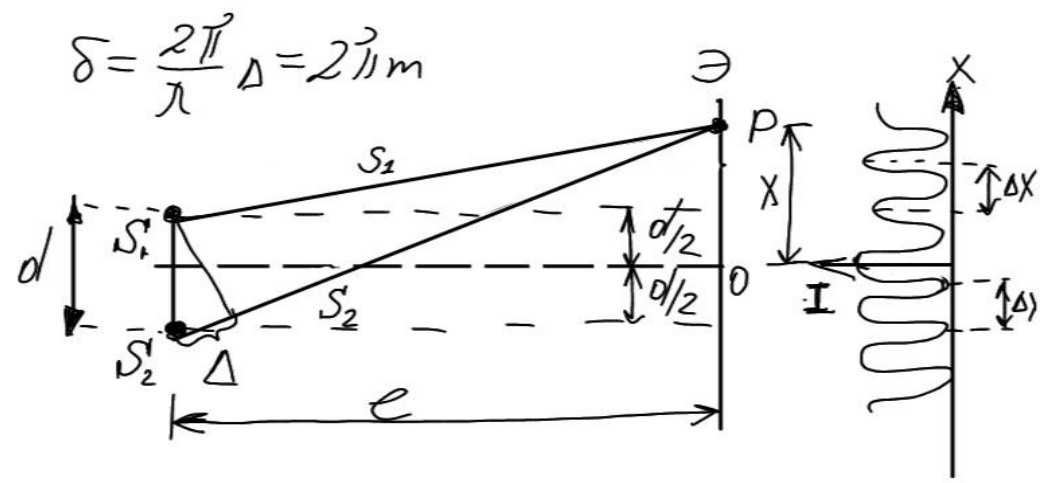
$$v = \frac{c}{\lambda_0} \quad v_1 = \frac{c}{n_1} \quad ; \quad v_2 = \frac{c}{n_2}$$

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

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

- (4) - Оптическая разность хода.
- (3) - Разность фаз двух колебаний.

Вернёмся к опыту Юнга и рассмотрим его схему:



Из (3) следуют условия максимума и минимума:

$$\Delta = \pm m \lambda_0; \quad (m=0, 1, 2, \dots) \quad (5)$$

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

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

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

Вычислим ширину интерференционной полосы в схеме опыта Юнга:

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

$$S_2^2 - S_1^2 = (S_2 - S_1)(S_2 + S_1) = 2 x d$$

$$S_2 - S_1 = \frac{x d}{e} \quad ; \quad S_2 + S_1 \approx 2e$$

$$d \ll e, \\ \Delta = n \frac{x d}{e} \quad (7)$$

$$(7) \rightarrow (5), (6); \quad \lambda = \frac{\lambda_0}{n}$$

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

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

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

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

$$\boxed{\Delta x = \frac{e}{d} \lambda} \quad (8)$$