

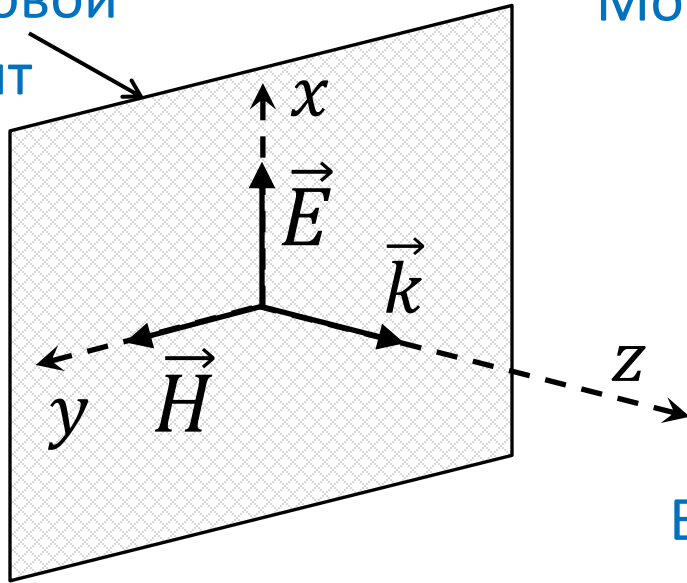


Интерференция в монохроматическом свете

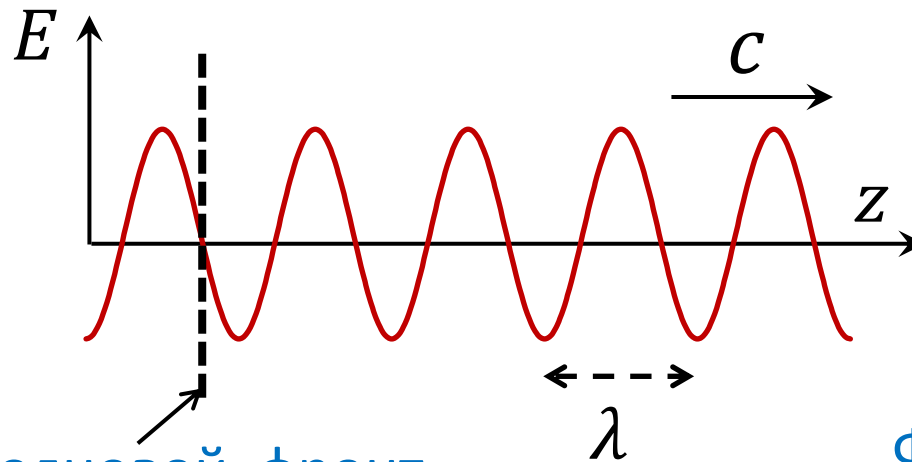
ЛЕКЦИЯ 3

Плоская монохроматическая электромагнитная волна в вакууме

Волновой фронт



Монохроматическая волна – волна фиксированной частоты ω



Волновой фронт

Параметры волны:

λ - длина волны

$\nu = \frac{\omega}{2\pi}$ - частота

$k = \frac{2\pi}{\lambda}$ - волновое число

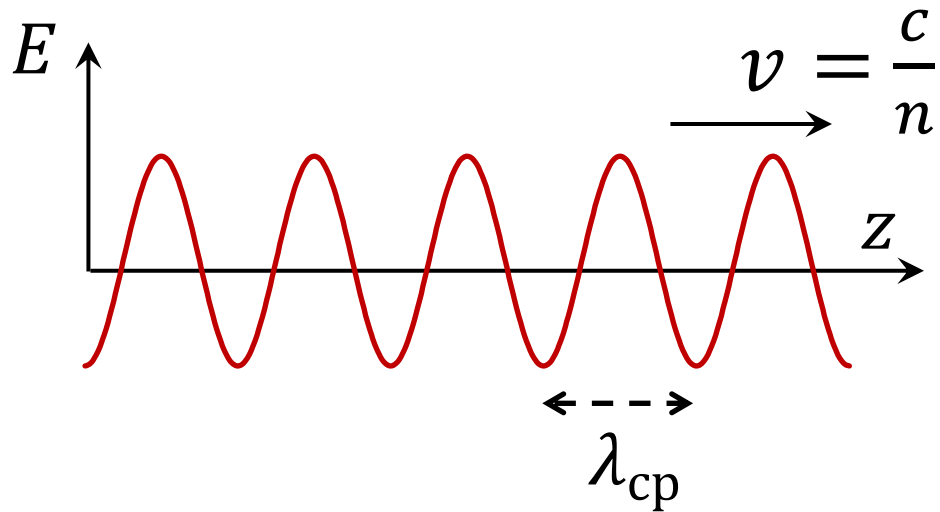
Формулы: $\omega = kc$, $\nu\lambda = c$

Электрическое поле в плоской электромагнитной волне:

$$\vec{E} = \vec{E}_0 e^{ikz - i\omega t + i\varphi_0}, \quad \vec{k} \text{ направлен по оси } z$$

$$\vec{E} = \vec{E}_0 e^{i\vec{k}\vec{r} - i\omega t + i\varphi_0}, \quad \text{в общем случае}$$

Плоская электромагнитная волна в среде. Оптическая длина



Электрическое поле в электромагнитной волне

в среде: $\vec{E} = \vec{E}_0 e^{iknz - i\omega t + i\varphi_0} \Rightarrow$

Длина волны в среде:

$$\lambda_{\text{cp}} = \frac{v}{\nu} = \frac{c}{n\nu} = \frac{\lambda}{n}$$

λ – длина волны в вакууме,
 n – показатель преломления среды

Волновое число в среде:

$$k_{\text{cp}} = \frac{2\pi}{\lambda_{\text{cp}}} = \frac{2\pi n}{\lambda} = kn$$

Оптическая длина:

$$l = nz$$

Интенсивность света

Вектор Пойнтинга:

$$\vec{S} = \frac{c}{4\pi} [\vec{E}, \vec{H}]$$

$$|\vec{S}| = \frac{c}{4\pi} EH = \frac{c}{4\pi} nE^2,$$

где $H = nE$

Интенсивность: $I = \overline{|\vec{S}|} \Rightarrow$
(черта – усреднение по времени)

$$I = \frac{c}{4\pi} n \overline{E^2} = \frac{cn}{8\pi} E_0^2$$

Для поля, заданного в комплексном виде:

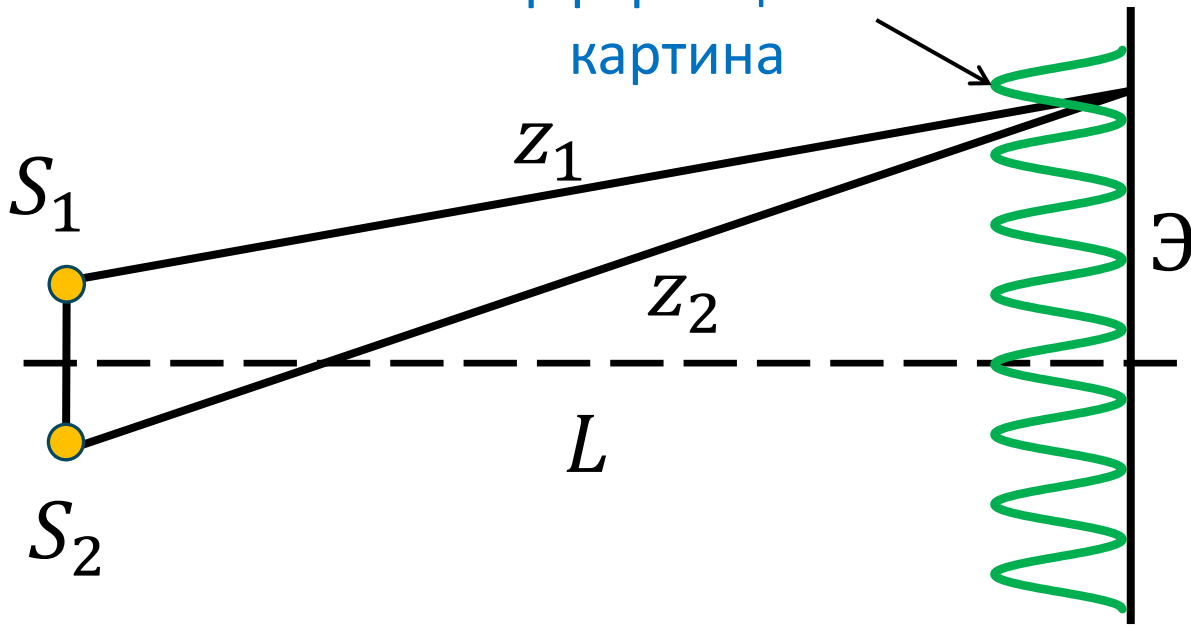
$$I = \frac{cn}{8\pi} \vec{E} \vec{E}^*$$

Постоянный множитель часто отбрасывают:

$$I = \vec{E} \vec{E}^*$$

Двулучевая интерференция в монохроматическом свете

Интерференционная картина



Световое поле: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$

$$\vec{E}_1 = \vec{A}_1 e^{i\varphi_1}, \quad \vec{E}_2 = \vec{A}_2 e^{i\varphi_2}$$

$$\varphi_1 = -\omega t + kz_1 + \varphi_{01}$$

$$\varphi_2 = -\omega t + kz_2 + \varphi_{02}$$

Два источника излучают на одной и той же частоте ω !

Интенсивность $I = \vec{E} \vec{E}^*$:

$$I = I_1 + I_2 + 2\vec{A}_1 \vec{A}_2 \cos(\Delta\varphi)$$

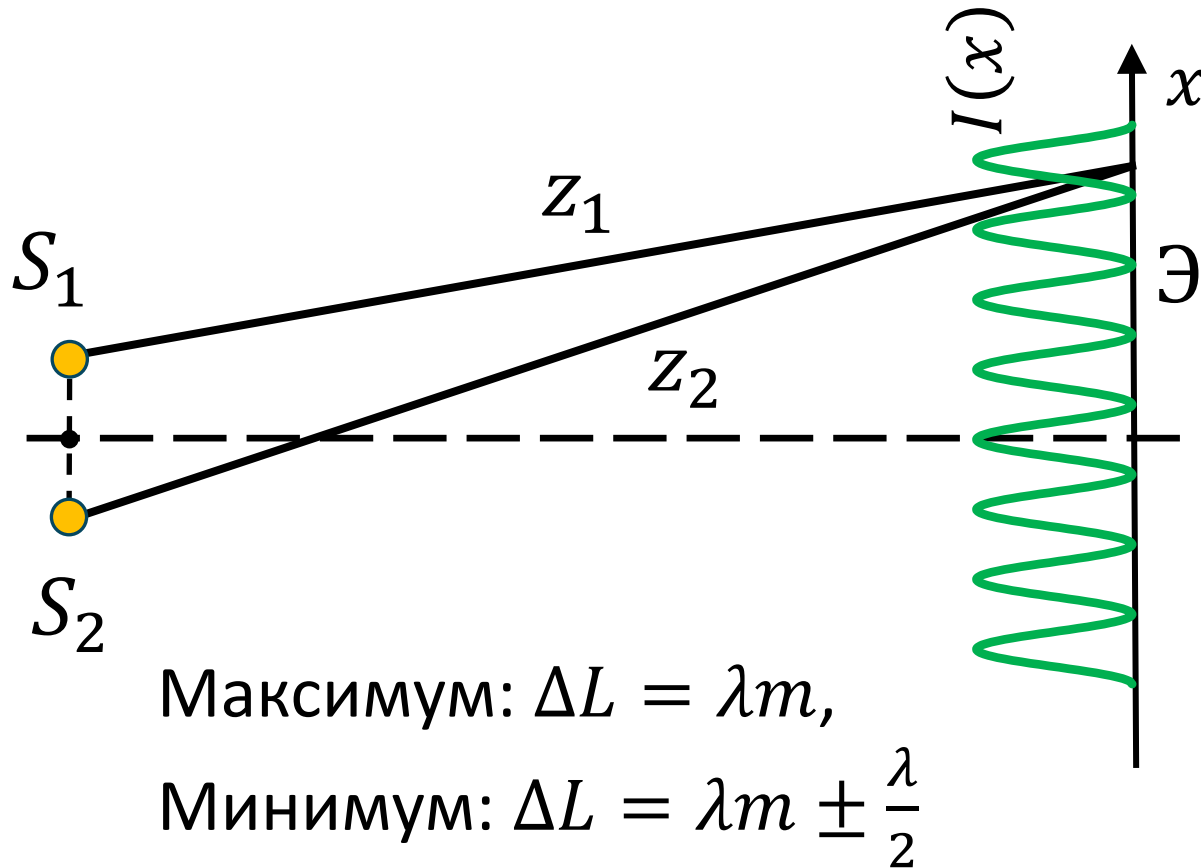
где $I_1 = |\vec{A}_1|^2$, $I_2 = |\vec{A}_2|^2$, $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = k(z_2 - z_1) + \varphi_{02} - \varphi_{01}$

Условия возникновения интерференции

- 1) Источники излучают на одной и той же частоте.
- 2) Разность начальных фаз $\varphi_{02} - \varphi_{01}$ не меняется во времени.
- 3) Вектора \vec{E}_1 и \vec{E}_2 не перпендикулярны.

Если условия 1) и 2) выполнены, такие источники называются когерентными.

Вид интерференционной картины



При условии $\vec{E}_1 \uparrow\uparrow \vec{E}_2$ и $\varphi_{02} = \varphi_{01}$
Интенсивность света в
интерференционной картине:

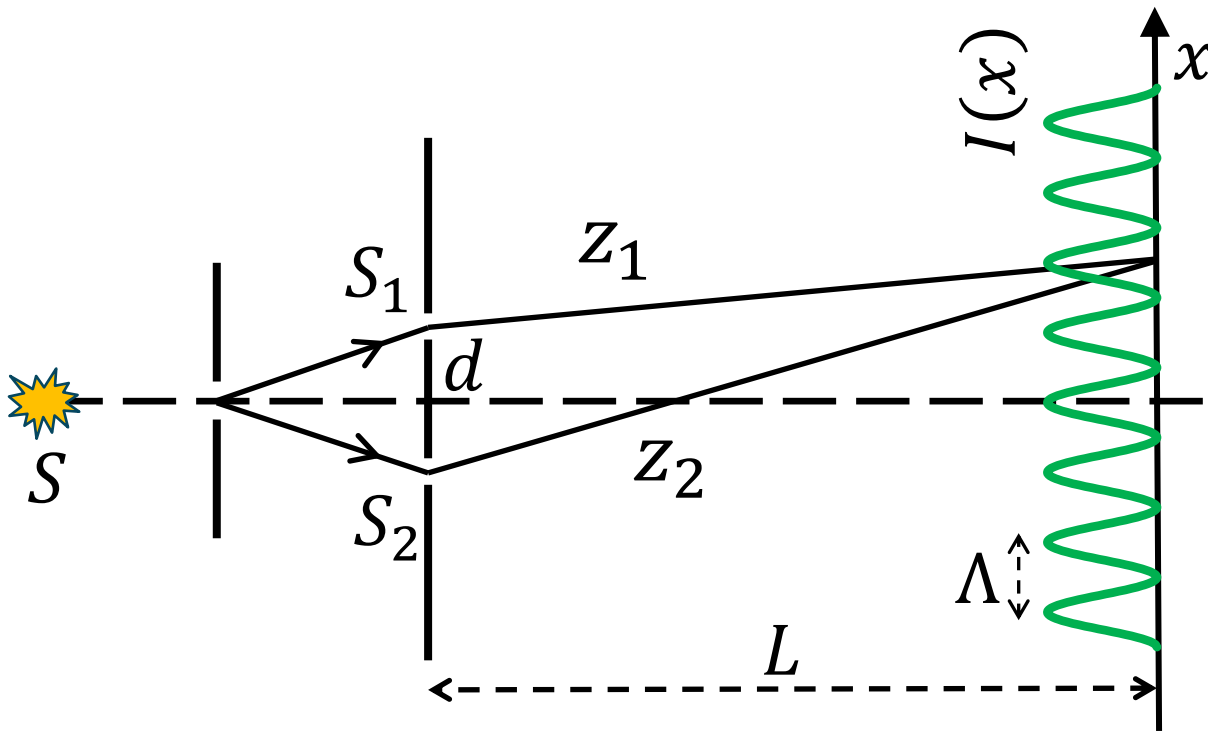
$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(k\Delta L)$$

Разность хода: $\Delta L = z_2 - z_1$, $k = 2\pi/\lambda$

Если $I_1 = I_2 = I_0$

$$I = 2I_0[1 + \cos(k\Delta L)]$$

Интерференционная схема Юнга



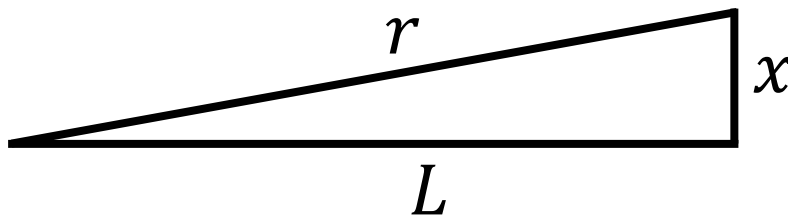
Разность хода: $\Delta L = z_2 - z_1 = \frac{xd}{L}$
(см. следующий слайд)

Интенсивность света в
интерференционной картине:

$$I(x) = 2I_0 \left[1 + \cos \left(\frac{2\pi xd}{\lambda L} \right) \right]$$

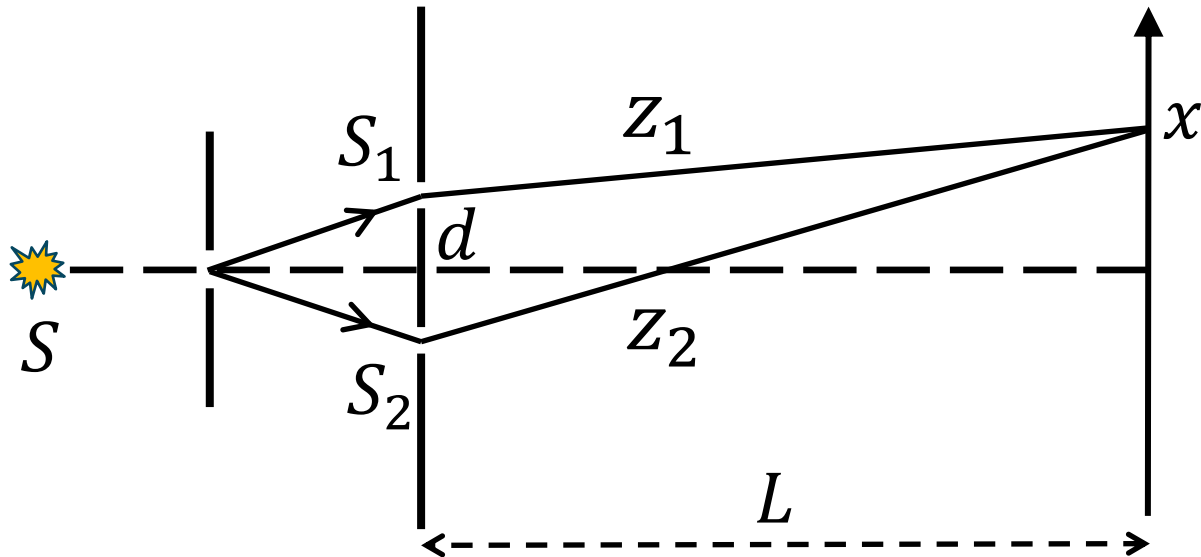
Период интерференционной картины
(ширина полосы): $\Lambda = \lambda L / d$

Вывод разности хода в параксиальном приближении



$$r = \sqrt{L^2 + x^2}$$

$$\text{При } x \ll L: r = L \sqrt{1 + \frac{x^2}{L^2}} \approx L + \frac{x^2}{2L}$$

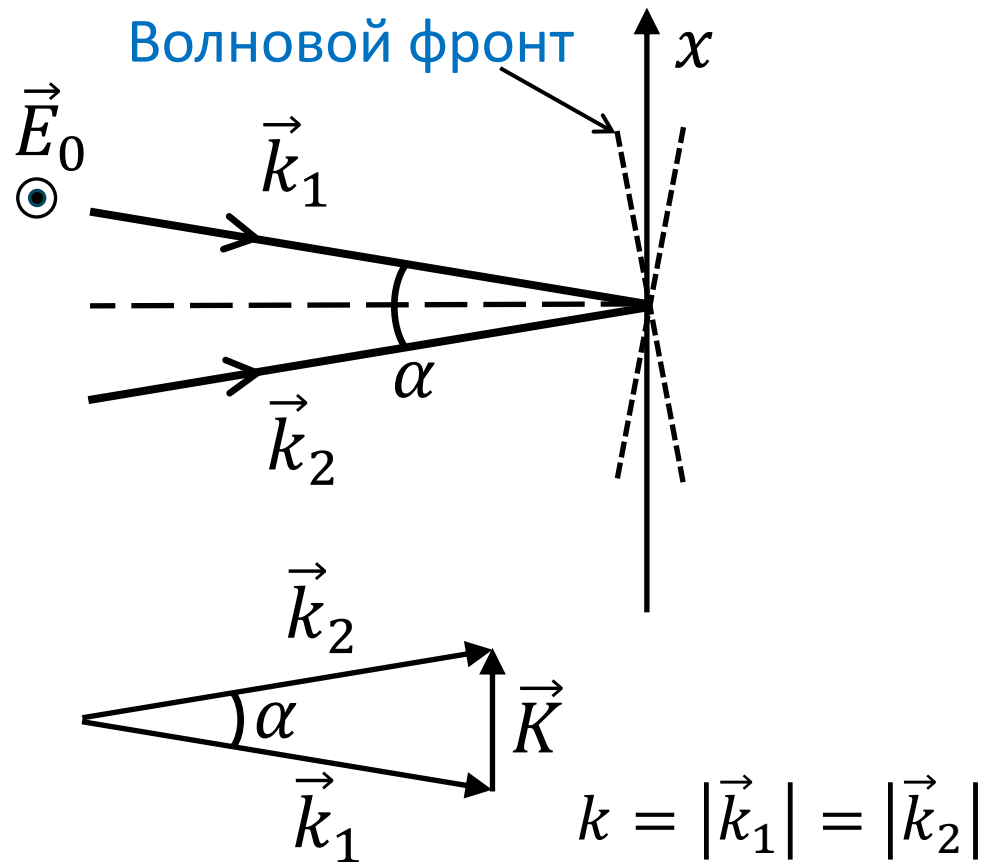


$$\text{Разность хода: } \Delta L = z_2 - z_1$$

$$\Delta L = \sqrt{L^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2} - \sqrt{L^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2}$$

$$\Delta L = \frac{1}{2L} \left[\left(x + \frac{d}{2}\right)^2 - \left(x - \frac{d}{2}\right)^2 \right] = \boxed{\frac{xd}{L}}$$

Ширина интерференционных полос



Световое поле: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$

$$\vec{E}_1 = \vec{E}_0 e^{i\vec{k}_1 \vec{r}}, \quad \vec{E}_2 = \vec{E}_0 e^{i\vec{k}_2 \vec{r}}$$

Интенсивность света: $I = 2I_0 [1 + \cos(\Delta\varphi)]$

$$\Delta\varphi = (\vec{k}_2 - \vec{k}_1) \vec{r} = Kx, \quad \vec{K} = \vec{k}_2 - \vec{k}_1$$

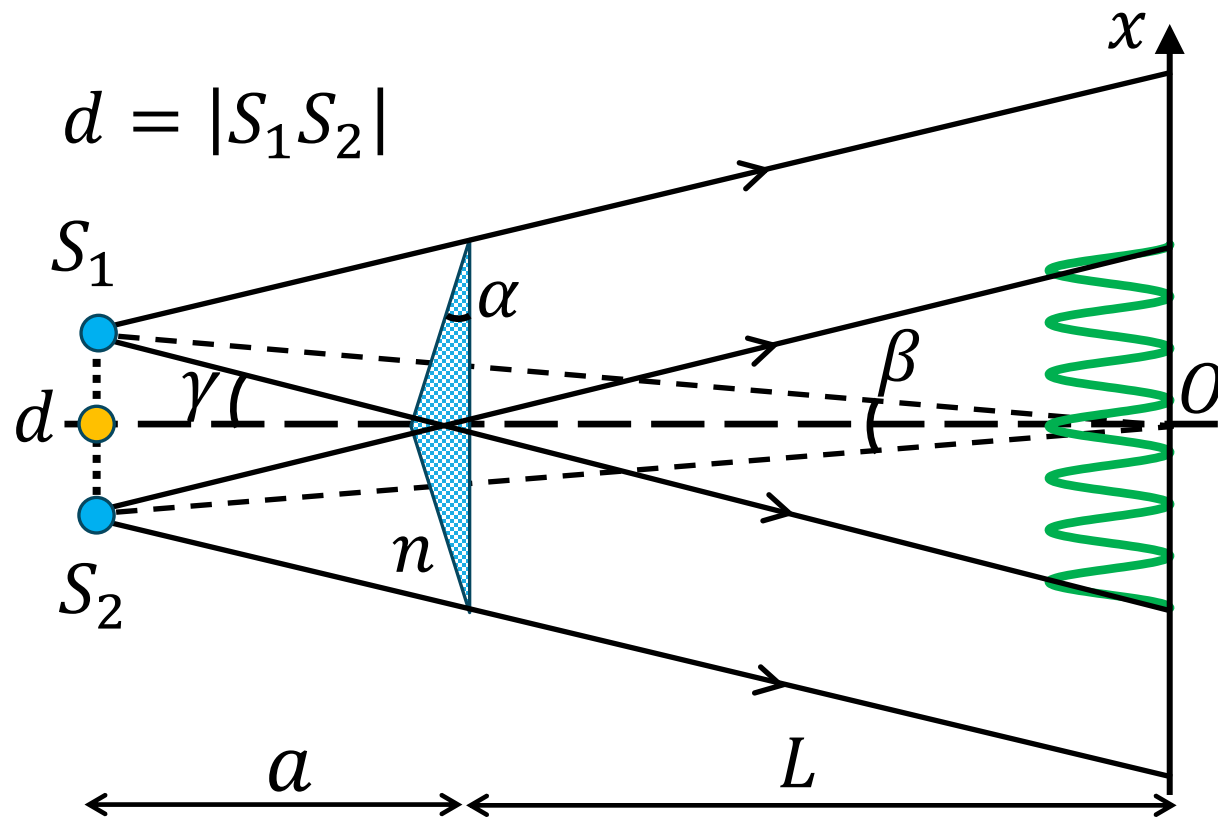
$$K = 2k \sin(\alpha/2) \approx k\alpha = \frac{2\pi\alpha}{\lambda}$$

Разность фаз: $\Delta\varphi = Kx = \frac{2\pi\alpha}{\lambda} x$

Ширина полосы:

$$\Lambda = \lambda/\alpha$$

Бипризма Френеля



Расстояние между мнимыми источниками:
 $d = 2\gamma a = 2\alpha(n - 1)a$,
где $\gamma = \alpha(n - 1)$ (см следующий слайд).

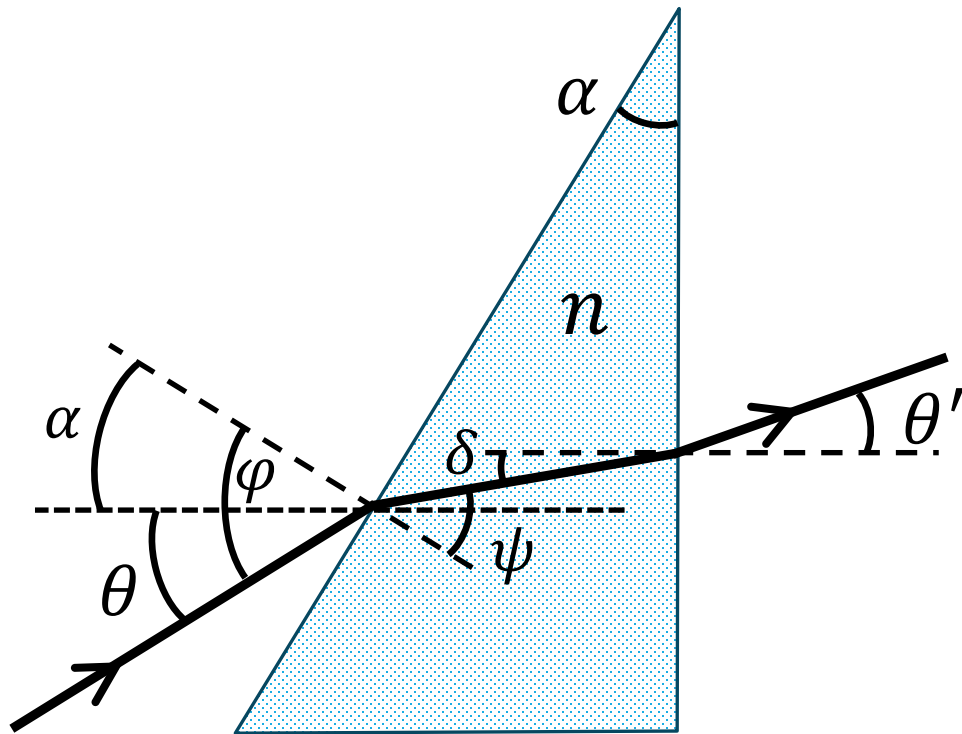
Ширина полосы:

$$\Lambda = \frac{\lambda}{\beta} = \frac{\lambda(a + L)}{d} = \frac{\lambda(a + L)}{2\alpha(n - 1)a}$$

Интенсивность света в
интерференционной картине:

$$I(x) = 2I_0 \left[1 + \cos \left(\frac{2\pi x}{\Lambda} \right) \right]$$

Поворот луча клином



$$\left\{ \begin{array}{l} \varphi = \theta + \alpha, \\ \varphi = n\psi, \\ \delta = \psi - \alpha, \\ n\delta = \theta' \end{array} \right. \Rightarrow$$

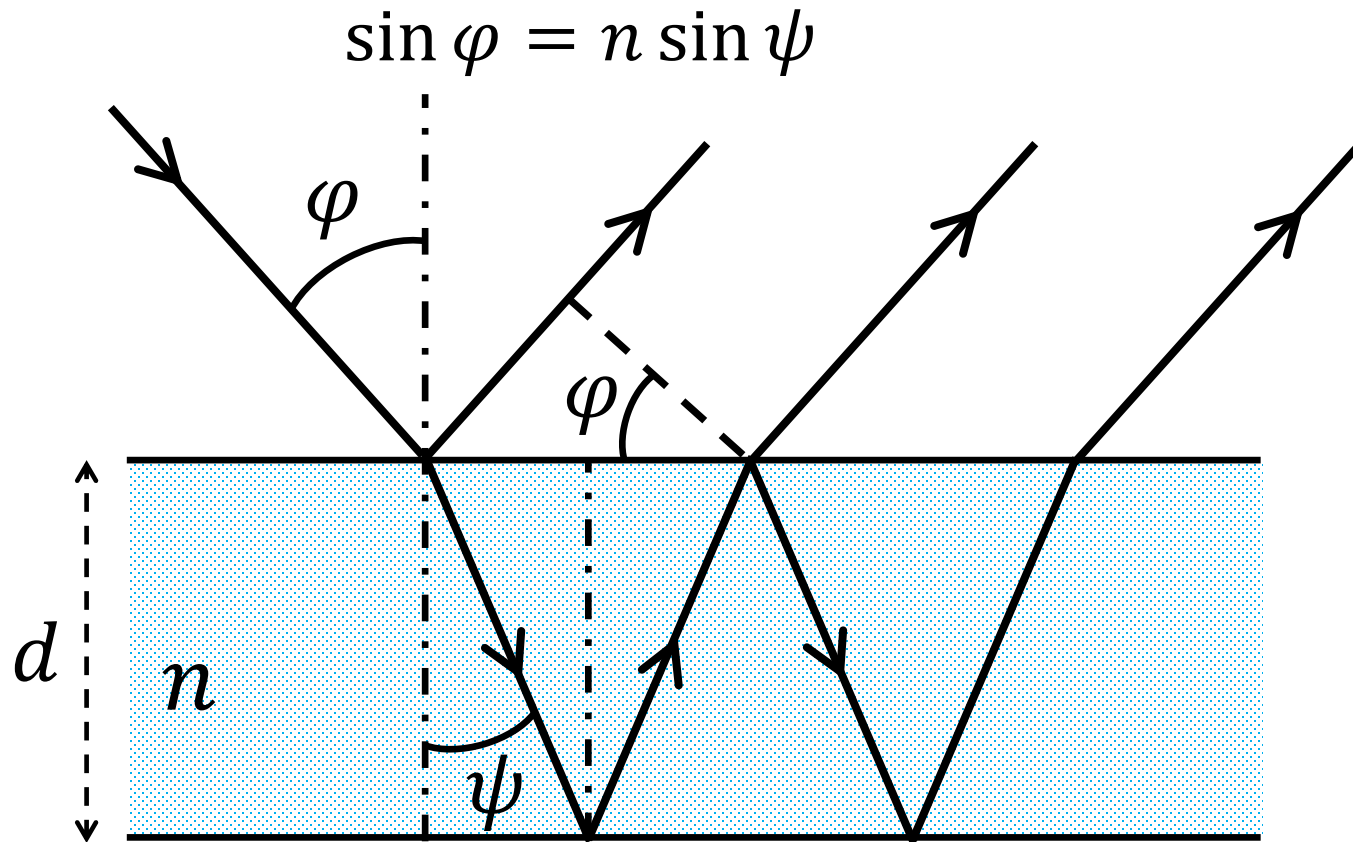
$$\theta' = n\psi - n\alpha$$

$$\theta' = \theta - (n - 1)\alpha$$

Все лучи поворачиваются на один и тот же угол γ (по часовой стрелке):

$$\gamma = -(n - 1)\alpha$$

Многолучевая интерференция в пленках (полосы равного наклона)



Разность хода:

$$\Delta L = \frac{2nd}{\cos \psi} - 2d \operatorname{tg} \psi \sin \varphi$$

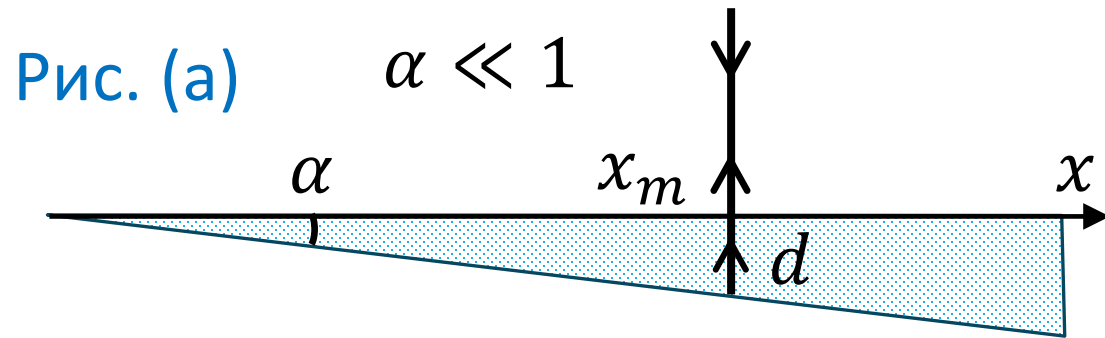
$$\Delta L = \frac{2nd(1 - \sin^2 \psi)}{\cos \psi}$$

$$\Delta L = 2nd \cos \psi \pm \frac{\lambda}{2}$$

Темная полоса: $\Delta L = m\lambda \pm \frac{\lambda}{2}$

$$2nd \cos \psi = m\lambda$$

Интерференция в клине

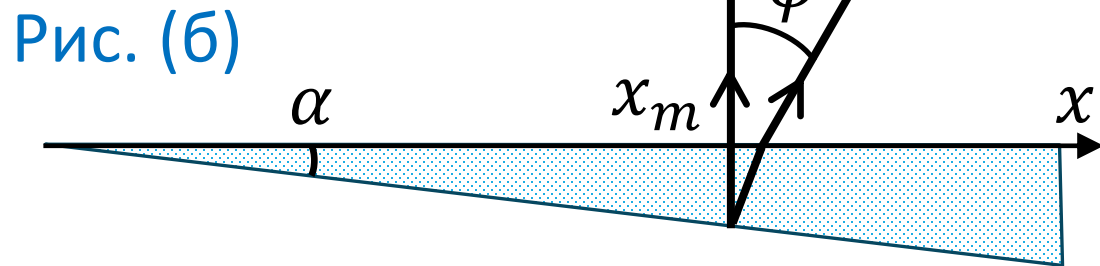


(а) Разность хода: $\Delta L = 2nd + \frac{\lambda}{2}$

$$d = \alpha x$$

Темная полоса: $\Delta L = m\lambda + \frac{\lambda}{2}$

$$2n\alpha x_m = m\lambda, \quad m = 0, 1, 2, \dots$$



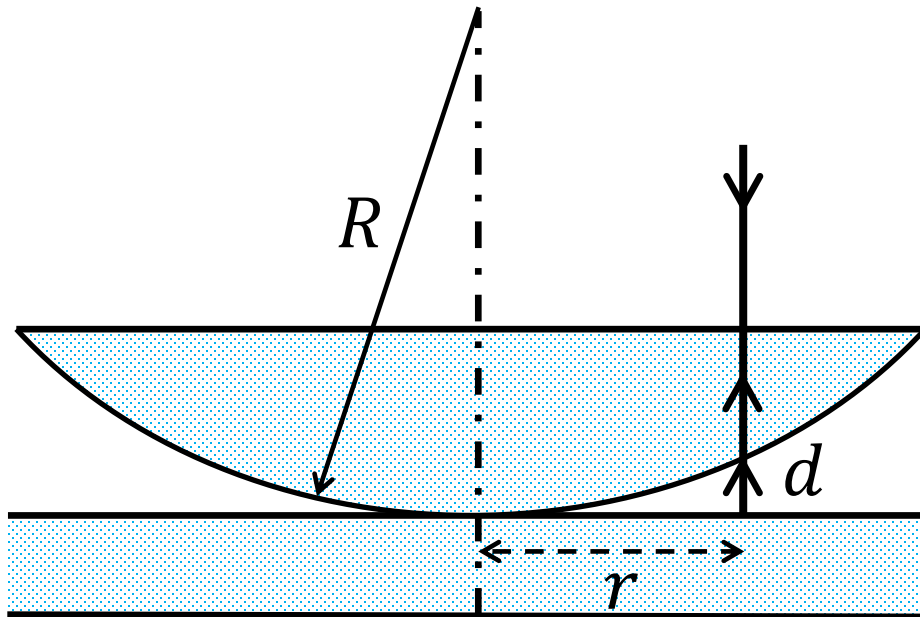
Ширина полосы: $\Lambda = x_{m+1} - x_m$

$$\Lambda = \frac{\lambda}{2n\alpha}$$

(б) $\varphi = 2\alpha n$, $\Lambda = \frac{\lambda}{\varphi} = \frac{\lambda}{2n\alpha}$

Интерференционная картина в клине – полосы равной толщины

Кольца Ньютона



В центре – темное пятно в отраженном свете

Разность хода: $\Delta L = 2d + \frac{\lambda}{2}$

$$d = R - \sqrt{R^2 - r^2} = \frac{r^2}{2R}$$

Темные полосы: $\Delta L = m\lambda + \frac{\lambda}{2}$

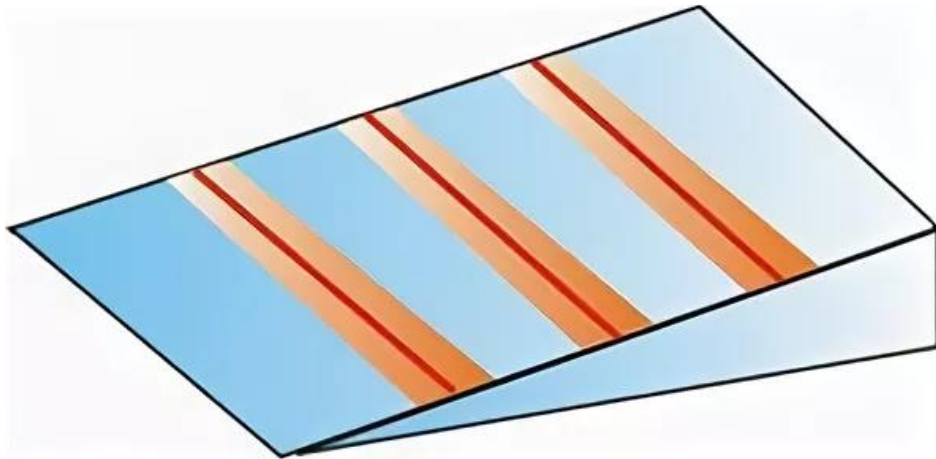
$$r_m = \sqrt{m\lambda R}, \quad m = 1, 2, \dots$$

Ширина полосы: $\Lambda = r_{m+1} - r_m$

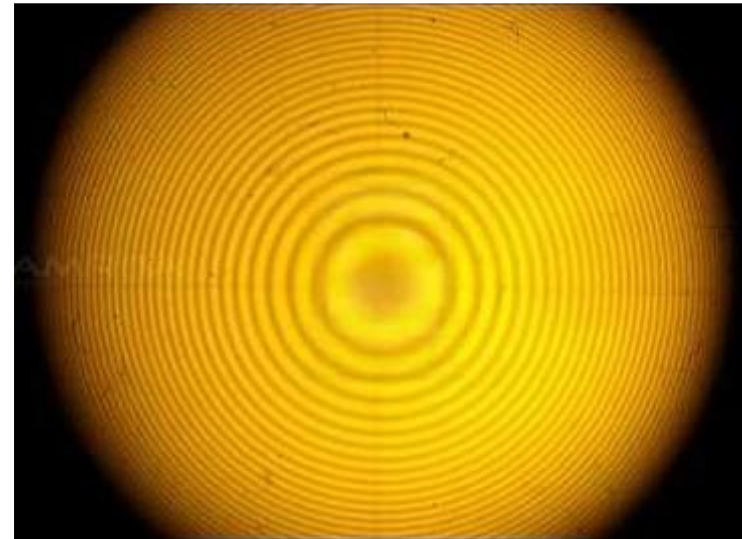
$$\Lambda = \frac{\sqrt{\lambda R}}{\sqrt{m+1} + \sqrt{m}} \approx \frac{\sqrt{\lambda R}}{2\sqrt{m}} \quad \text{при } m \gg 1$$

Примеры многолучевой интерференции

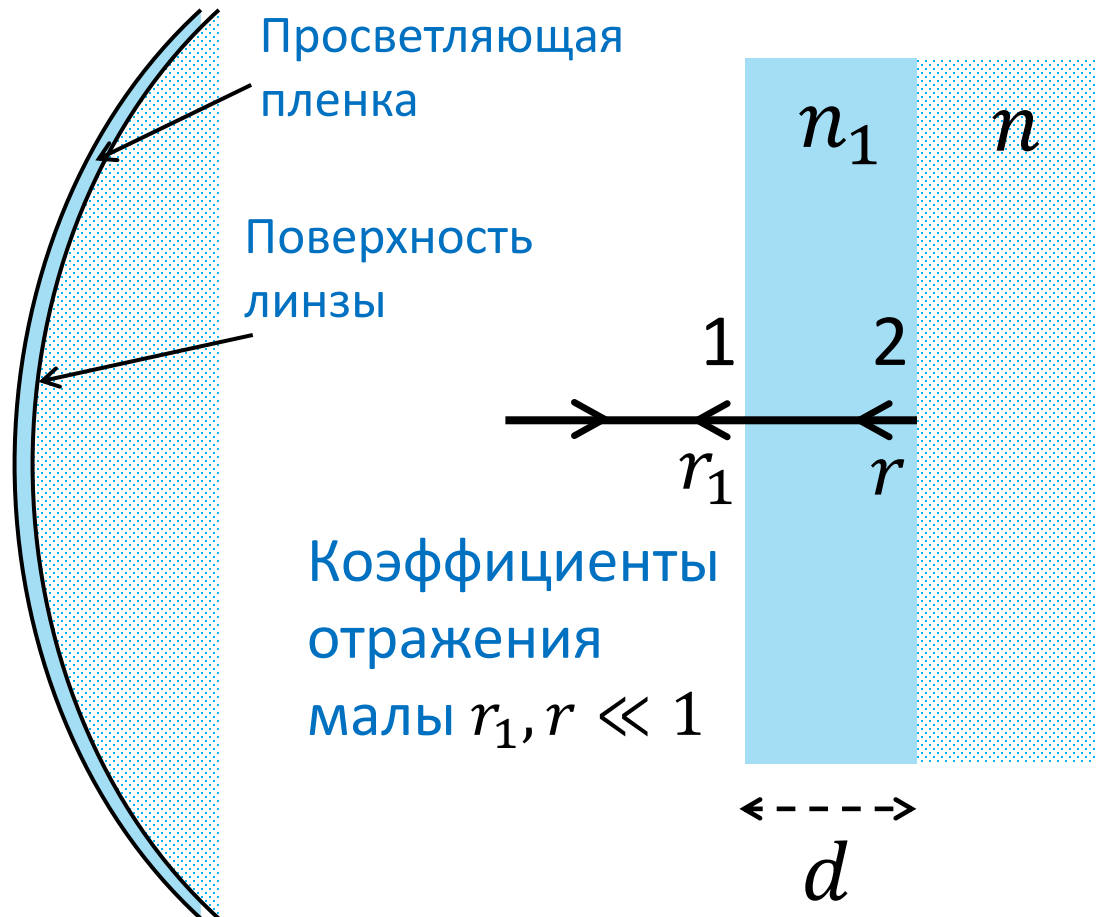
Интерференционные полосы
равной толщины на клине



Интерференционные кольца
Ньютона



Просветление оптики



Отраженные волны будут в противофазе, если:

$$2n_1d = \lambda/2$$

Оптическая толщина пленки:

$$n_1d = \lambda/4$$

Если коэффициенты отражения взять одинаковые $r_1 = r$, то отраженные волны от поверхностей 1 и 2 погасят друг друга:

$$\frac{n_1 - 1}{n_1 + 1} = \frac{n/n_1 - 1}{n/n_1 + 1} \Rightarrow \frac{n}{n_1} = n_1$$

Показатель преломления просветляющей пленки:

$$n_1 = \sqrt{n}$$

Дополнение к лекции 2: Оптические инструменты. Бинокль. Призмы Порро

Призмы Порро переворачивают изображение, поэтому окуляр – собирающая линза.

