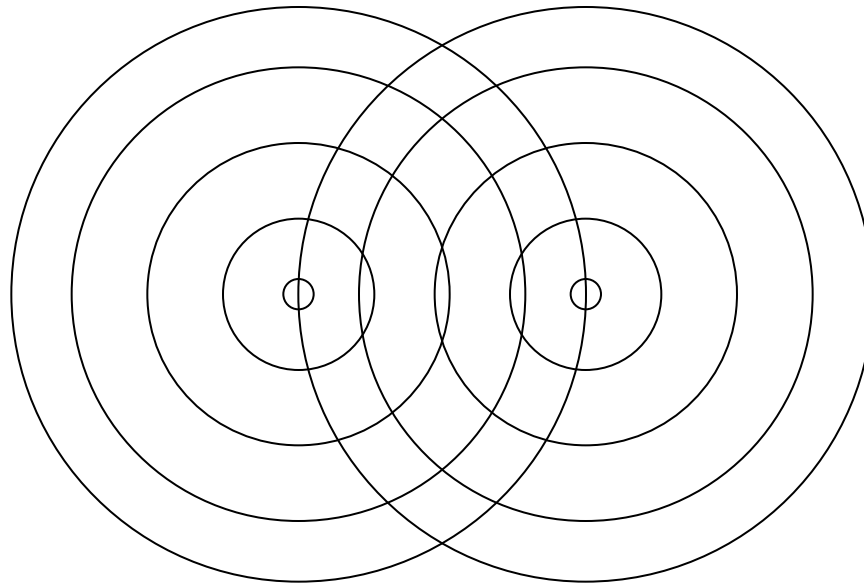
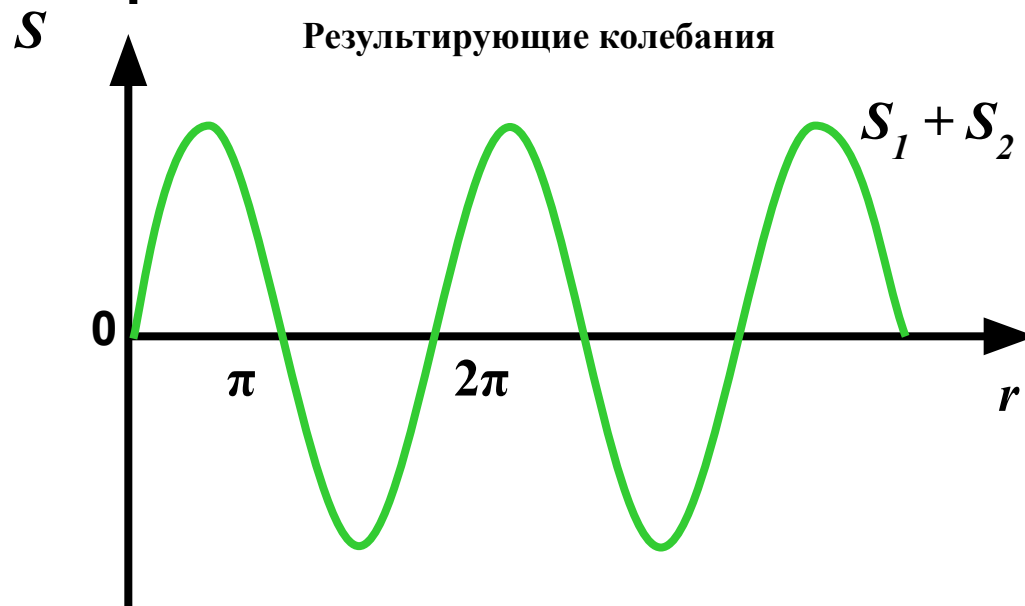
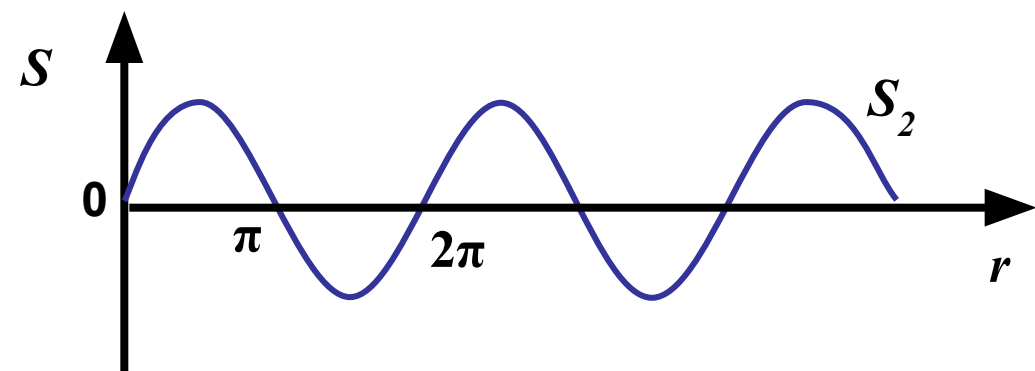
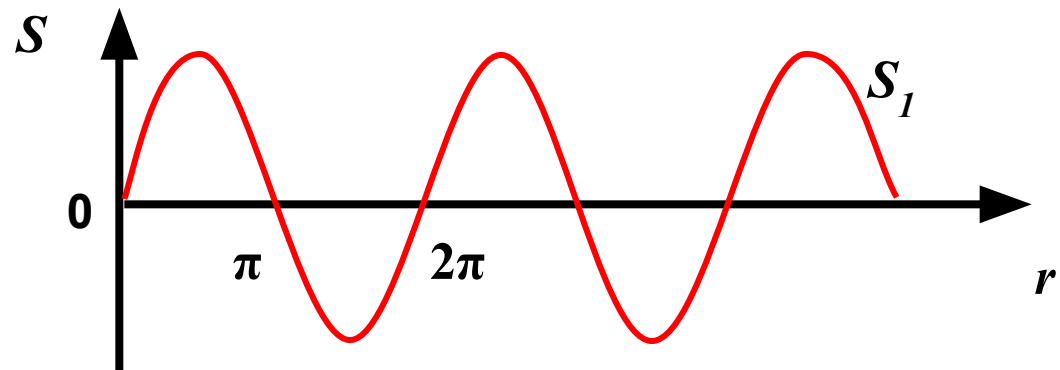


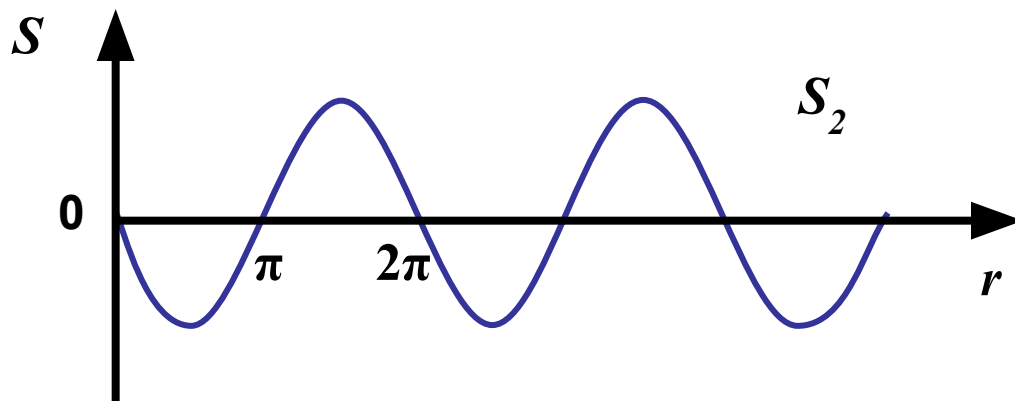
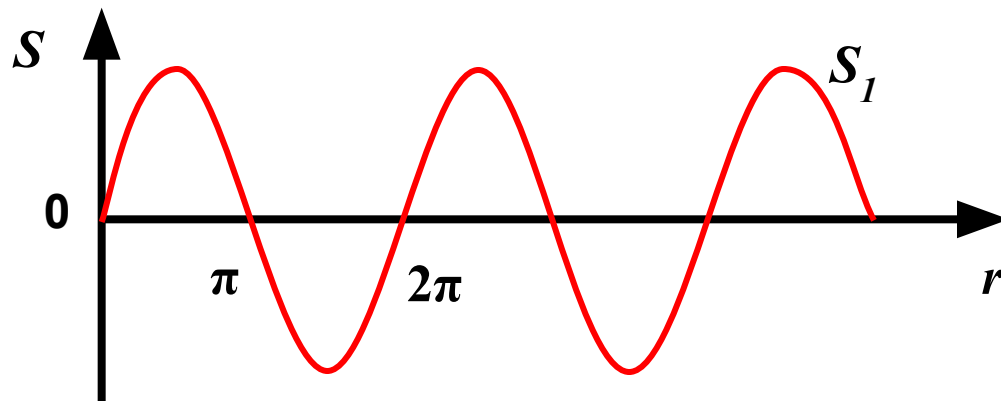
Лекция № 2

3. ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА

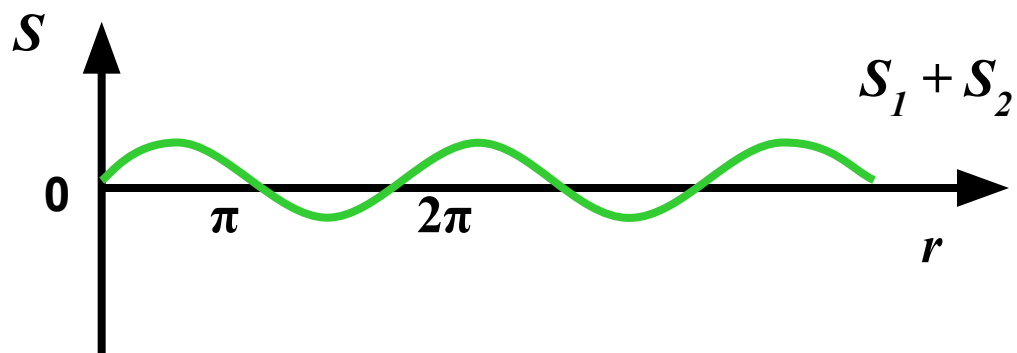
3.1. Когерентность и монохроматичность световых волн







Результирующие колебания

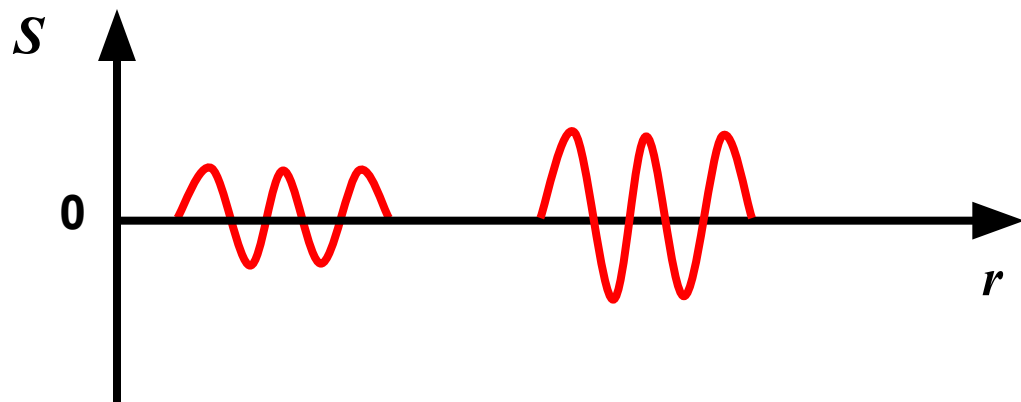


Необходимым условием интерференции волн является их когерентность, т.е. согласованное протекание во времени и пространстве нескольких колебательных или волновых процессов.

Две волны называются когерентными, если разность их фаз в каждой точке пространства с течением времени не изменяется.

В двух самостоятельных источниках света атомы излучают независимо друг от друга.

$$\tau \approx 10^{-8} \text{ с}$$



Прерывистое излучение света атомами в виде отдельных коротких импульсов называется волновым цугом.

Средняя продолжительность одного цуга $\tau_{\text{ког}}$ называется **временем когерентности**.

Ряд физических процессов, происходящих в источнике света, определяет тот наименьший интервал времени, в течение которого фазу и амплитуду испускаемой волны можно считать постоянными. Этот промежуток времени называется **временем когерентности**.

Время когерентности – время, за которое случайное изменение фазы волны достигает значения π .

$$l_{\text{ког}} = c\tau_{\text{ког}}$$

Длина когерентности – расстояние на которое распространяется волна за время, пока ее фаза и амплитуда остаются в среднем постоянными.

Длина когерентности – расстояние, на котором случайное изменение фазы достигает значения π .

Когерентность колебаний, которые совершаются в одной и той же точке пространства, определяемая степенью монохроматичности волн, называется **временной когерентностью**.

Наряду с временной когерентностью для описания когерентных свойств волн в плоскости, перпендикулярной направлению их распространения, вводится понятие **пространственной когерентности**.

Радиусом когерентности (или длиной пространственной когерентности) называется максимальное поперечное направлению распространения волны расстояние, на котором возможно проявление интерференции.

$$\rho_{\text{ког}} \approx \frac{\lambda}{2\Delta\phi}$$

где λ - длина волны света, $\Delta\phi$ - угловой размер источника.

ПРИМЕР

При угловом размере Солнца на Земле $\phi \approx 10^{-2}$ рад и $\lambda \approx 0,5$ мкм

$$\rho_{\text{ког}} \approx 0,025 \text{ мм}$$

При таком малом радиусе когерентности невозможно непосредственно наблюдать интерференцию солнечных лучей, поскольку разрешающая способность человеческого глаза на расстоянии наилучшего зрения составляет лишь 0,1 мм.

3.2. Интерференция света от двух ИСТОЧНИКОВ

\vec{E} – световой вектор

$$\vec{E}_1 \quad \vec{E}_2 \quad \longrightarrow \quad \vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

$$A_1 = A_1 \cos(\omega t + \varphi_1), \quad A_2 = A_2 \cos(\omega t + \varphi_2) \quad (3.1)$$

$A_1, A_2, \varphi_1, \varphi_2$ – амплитуды и начальные фазы колебаний

$$a_1 = A_1 e^{i\varphi_1}, \quad a_2 = A_2 e^{i\varphi_2}$$

$$\vec{E} = a_1 e^{i\omega t} + a_2 e^{i\omega t} \quad (3.2)$$

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = (a_1 + a_2) e^{i\omega t} \quad \text{где} \quad a = a_1 + a_2$$

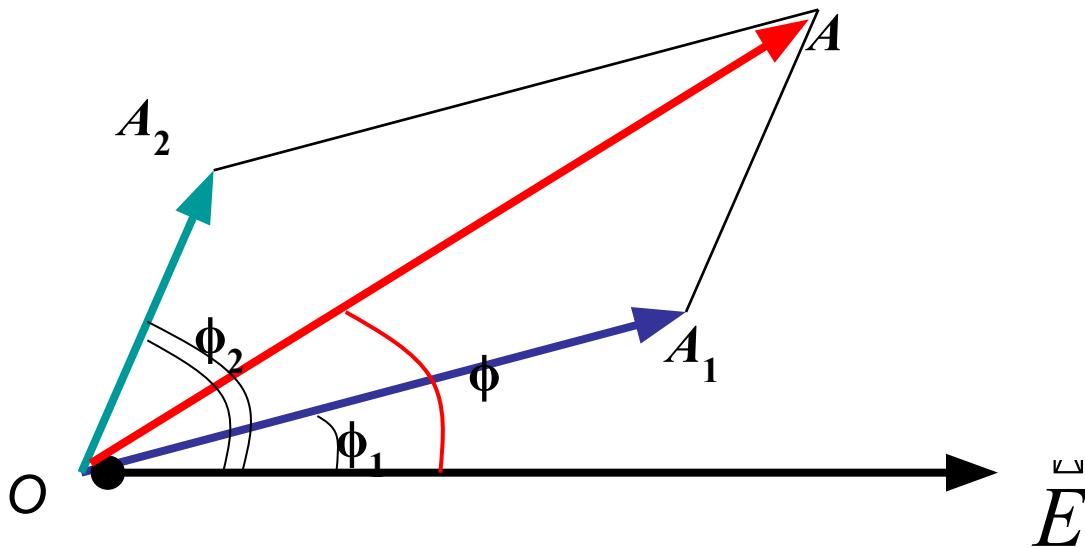
$$Ae^{i\varphi} = A_1e^{i\varphi_1} + A_2e^{i\varphi_2}$$

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_2A_1\cos(\varphi_1 - \varphi_2) \quad (3.3)$$

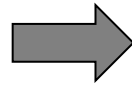
$$A\cos\varphi = A_1\cos\varphi_1 + A_2\cos\varphi_2,$$

$$A\sin\varphi = A_1\sin\varphi_1 + A_2\sin\varphi_2.$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{A_1\sin\varphi_2 + A_2\sin\varphi_1}{A_1\cos\varphi_1 + A_2\cos\varphi_2} \quad (3.4)$$



$$\cos(\varphi_2 - \varphi_1) = \text{const}$$

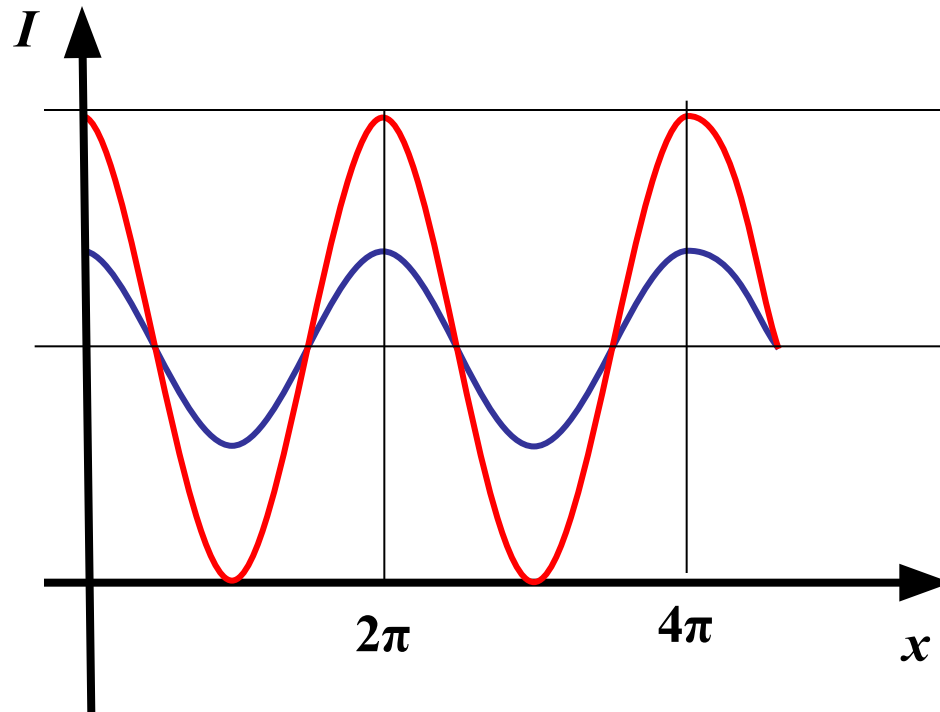


$$A^2$$

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1) \quad (3.5)$$

$$I_{\max} = \left(\sqrt{I_1} + \sqrt{I_2} \right)^2 \quad (3.6)$$

$$I_{\min} = \left(\sqrt{I_1} - \sqrt{I_2} \right)^2 \quad (3.7)$$



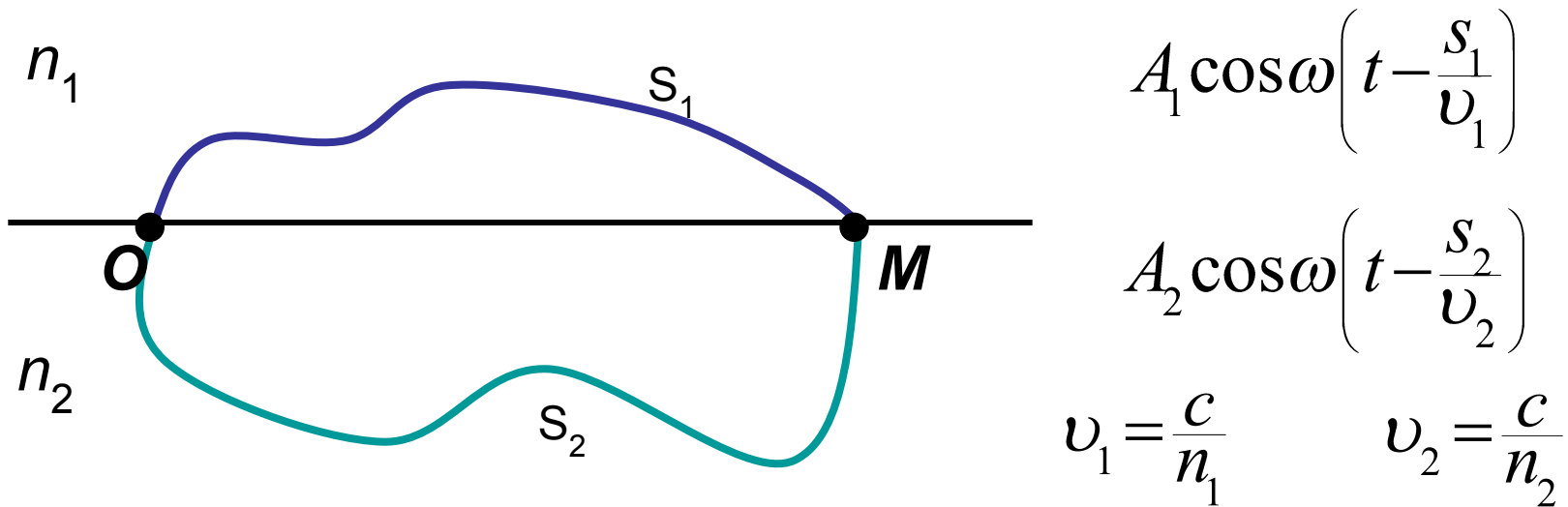
Интерференцией света называют явление перераспределения энергии световых волн в пространстве, возникающее при наложении двух или большего числа когерентных волн.

Для количественной оценки качества интерференционной картины Майкельсоном было введено понятие **видимость полос** V , определяемое через соотношение интенсивностей максимумов и минимумов:

$$V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

Как можно создать условия, необходимые для возникновения интерференции световых волн?

Применяют метод разделения волны, излучаемой одним источником, на две части, которые после прохождения разных оптических путей накладываются друг на друга, и наблюдается интерференционная картина.



$$\delta = \omega \left(\frac{s_2}{v_2} - \frac{s_1}{v_1} \right) = \frac{2\pi}{\lambda_0} (s_2 n_2 - s_1 n_1) = \frac{2\pi}{\lambda_0} (L_2 - L_1) = \frac{2\pi}{\lambda_0} \Delta$$

где λ_0 – длина волны в вакууме и $\frac{\omega}{c} = \frac{2\pi\nu}{c} = \frac{2\pi}{\lambda_0}$

Произведение геометрической длины s пути световой волны в данной среде на показатель n преломления этой среды называется **оптической длиной волны L**

$\Delta = L_2 - L_1$ – разность оптических длин проходимых волнами путей – называется **оптической разностью хода**

Если оптическая разность хода равна целому числу волн в вакууме

$$\begin{aligned}\Delta &= \pm m \lambda_0 \quad (m = 0, 1, 2, \dots) \\ \delta &= \pm 2m\pi\end{aligned}\tag{3.8}$$

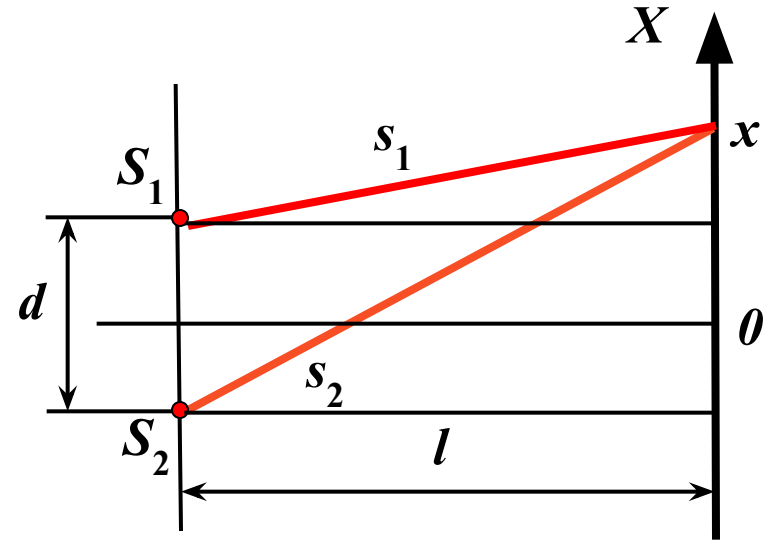
(3.8) является **условием интерференционного максимума**

Если оптическая разность хода

$$\begin{aligned}\Delta &= \pm (2m + 1) \frac{\lambda_0}{2} \quad (m = 0, 1, 2, \dots) \\ \delta &= \pm (2m + 1)\pi\end{aligned}\tag{3.9}$$

(3.9) является **условием интерференционного минимума**

Расчет интерференционной картины от двух когерентных источников



$$s_2^2 - s_1^2 = \left[l^2 + \left(x + \frac{d}{2} \right)^2 \right] - \left[l^2 + \left(x - \frac{d}{2} \right)^2 \right]$$



$$s_2^2 - s_1^2 = 2dx \quad (s_2 - s_1)(s_2 + s_1) = 2dx$$

пусть $d \ll l$, тогда $s_1 + s_2 \approx 2l$

$$\Delta = s_2 - s_1 = \frac{2xd}{s_2 + s_1}$$

$$\Delta = \frac{xd}{l} \quad (3.10)$$

Условия максимумов:

$$x_{\max} = \pm m \frac{l}{d} \lambda_0 \quad (m = 0, 1, 2, \dots) \quad (3.11)$$

Условия минимумов:

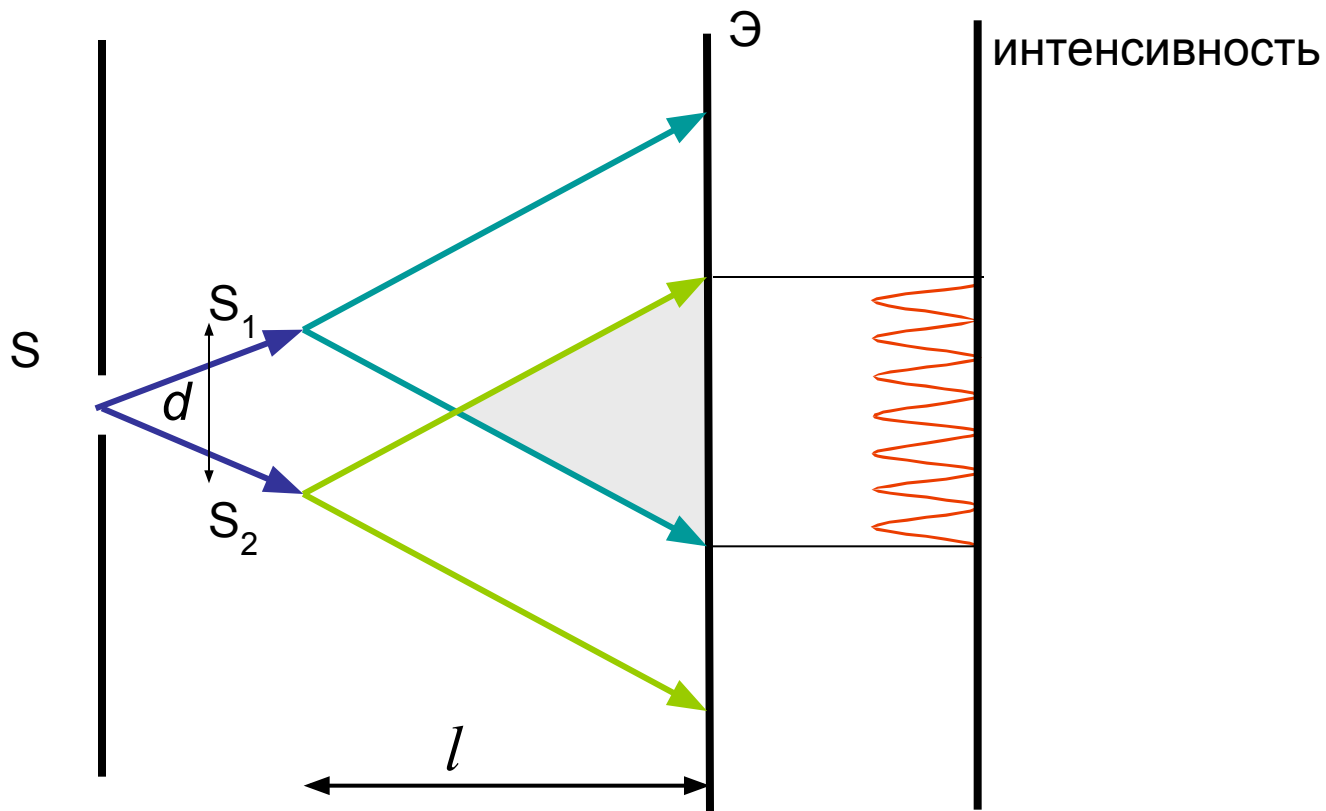
$$x_{\min} = \pm \left(m + \frac{1}{2} \right) \frac{l}{d} \lambda_0 \quad (m = 0, 1, 2, \dots) \quad (3.12)$$

$$\Delta x_m = \frac{l}{d} \lambda_0 \quad - \text{ширина интерференционной полосы.} \quad (3.13)$$

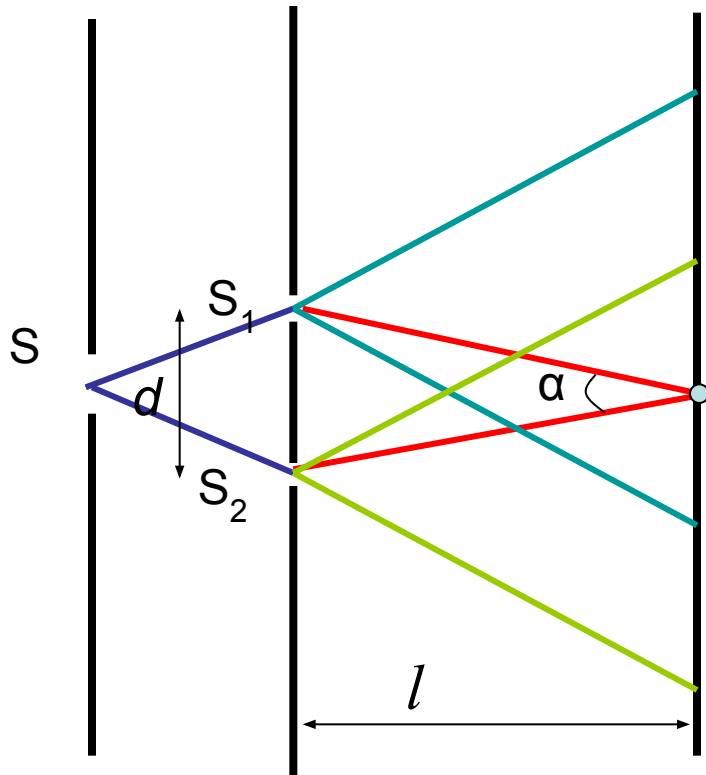
3.3. Методы наблюдения интерференции света

1. Опыт Юнга.

Юнг получал полосы интерференции по способу, описанному им в публичных лекциях 1807 г



Оценим ширину интерференционной полосы



$$d = 1 \text{ мм}, \quad l = 1 \text{ м}$$

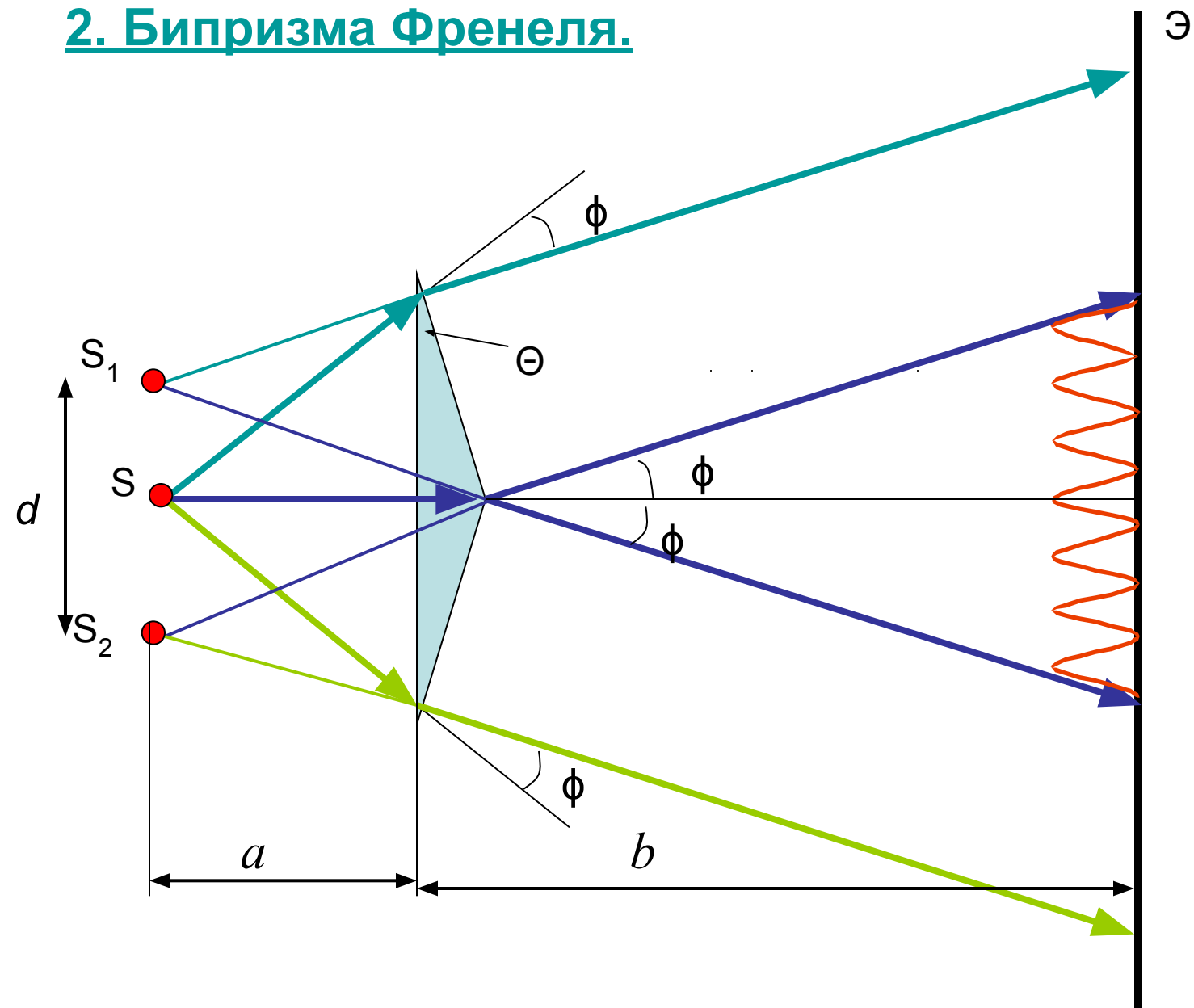
$$\alpha = \frac{d}{l} = 0,001 \text{ рад}$$

Красный свет $\lambda = 600 \text{ нм}$

$$\Delta x = \frac{\lambda}{\alpha} = 600 \text{ нм} = 0,6 \text{ мм}$$

Задолго до Юнга, в 1665 г., аналогичный опыт был поставлен Гримальди.

2. Бипризма Френеля.



$$\varphi = (n_{np} - n_{cp}) \Theta \quad l = a + b$$

$$d = 2a \sin \varphi \approx 2a \varphi = 2a (n_{np} - n_{cp}) \Theta$$

$$\Delta x = \frac{a + b}{2a (n_{np} - n_{cp}) \Theta} \lambda \quad (3.14)$$

$$2b \operatorname{tg} \varphi \approx 2b \varphi = 2b (n_{np} - n_{cp}) \Theta$$

$$N = \frac{4ab (n_{np} - n_{cp})^2 \Theta^2}{\lambda (a + b)} \quad (3.15)$$

