

Вопросы:

- 1. Когерентность и монохроматичность световых волн. Условия наблюдения интерференции света.**
- 2. Интерференция в тонких пленках.**
- 3. Применение интерференции света.**

Интерференция – проявление волновой природы света.

Интерференция света – это пространственное перераспределение светового потока при наложении двух (или нескольких) световых волн, приводящее к образованию устойчивой по времени картины чередования светлых полос (максимумов интенсивности) и темных полос (минимумов интенсивности).



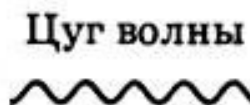
Интерферировать могут только когерентные световые волны.

Условию когерентности удовлетворяют *монохроматические волны* – волны одной определенной и строго постоянной частоты: $\omega = \text{const.}$ (длины волны: $\lambda = \text{const.}$), *разность фаз которых в каждой точке $\Delta\varphi = \text{const.}$*

Реальные источники света не являются строго монохроматическими и когерентными:

- излучение всегда имеет статистический характер (атомы светового источника излучают независимо друг от друга в случайные моменты времени, и излучение каждого атома длится очень короткое время $\tau \leq 10^{-8}$ с);
- через время порядка τ вся совокупность излучающих атомов обновляется, и поэтому когерентность может существовать только на интервалах времени порядка τ .

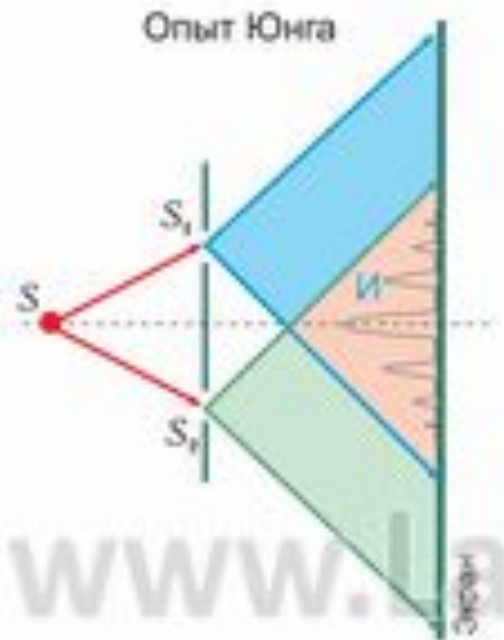
В излученных атомами отдельных волновых цугах всегда содержится спектр частот $\Delta\omega$, а их начальные фазы никак не связаны друг с другом.



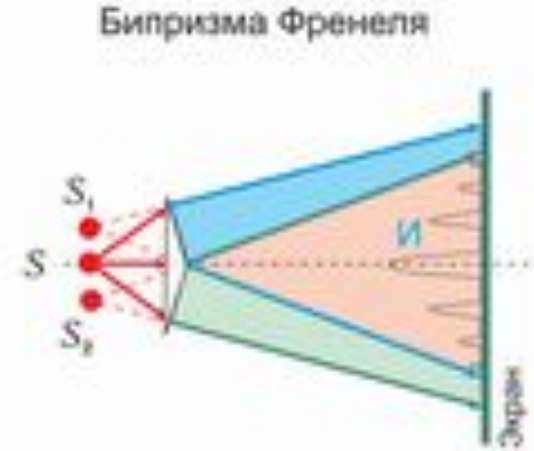
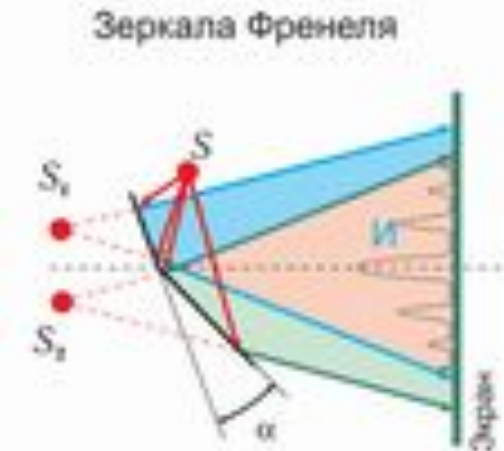
$$\tau = \frac{2\pi}{\Delta\omega}$$

Таким образом, независимые источники света (кроме лазеров) всегда являются некогерентными и не позволяют получить интерференционную картину.

Классические интерференционные опыты



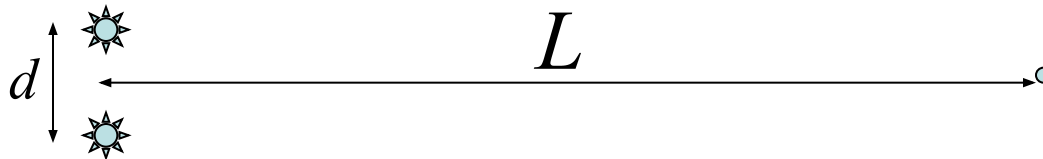
До появления лазеров для наблюдения интерференции света когерентные пучки получали разделением и последующим сведением световых волн, исходящих из одного и того же источника.



Средняя продолжительность одного цуга принимается за *время когерентности* $\tau_{\text{ког}}$, а величина $l_{\text{ког}} = c\tau_{\text{ког}}$ называется *длиной когерентности*.

Условия наблюдения интерференции света:

- *условие временной когерентности* (определяется степенью монохроматичности световых волн $\Delta\lambda/\lambda$): оптическая разность хода интерферирующих волн не может превышать длину когерентности ($\Delta < l_{\text{ког}}$). На практике это приводит к существованию предельного наблюдаемого порядка интерференционных максимумов $m_{\text{пред}} = \lambda/\Delta\lambda$. $\Delta = n(r_2 - r_1)$
- *условие пространственной когерентности* (определяется размерами и взаимным расположением источников света): расстояние между источниками должно быть много меньше расстояния от источников до точки наблюдения ($d \ll L$).



Задача об интерференции волн сводится к задаче о сложении колебаний с одинаковыми частотами, но с разными фазами.

$$E = A_1 \cos(\omega t - kr_1) + A_2 \cos(\omega t - kr_2) = A \cos(\omega t - \varphi)$$

E – модуль вектора напряженности электрического поля (светового вектора) волны; $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число.

Вместо амплитуды светового вектора A можно пользоваться величиной *интенсивности световой волны* I – усредненным по времени модулем вектора плотности потока энергии (вектора Умова-Пойнтинга):

$$I = \left\langle \left| \vec{E} \times \vec{H} \right| \right\rangle = \frac{1}{2} A^2 \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon_0 \varepsilon}{\mu_0 \mu}}$$

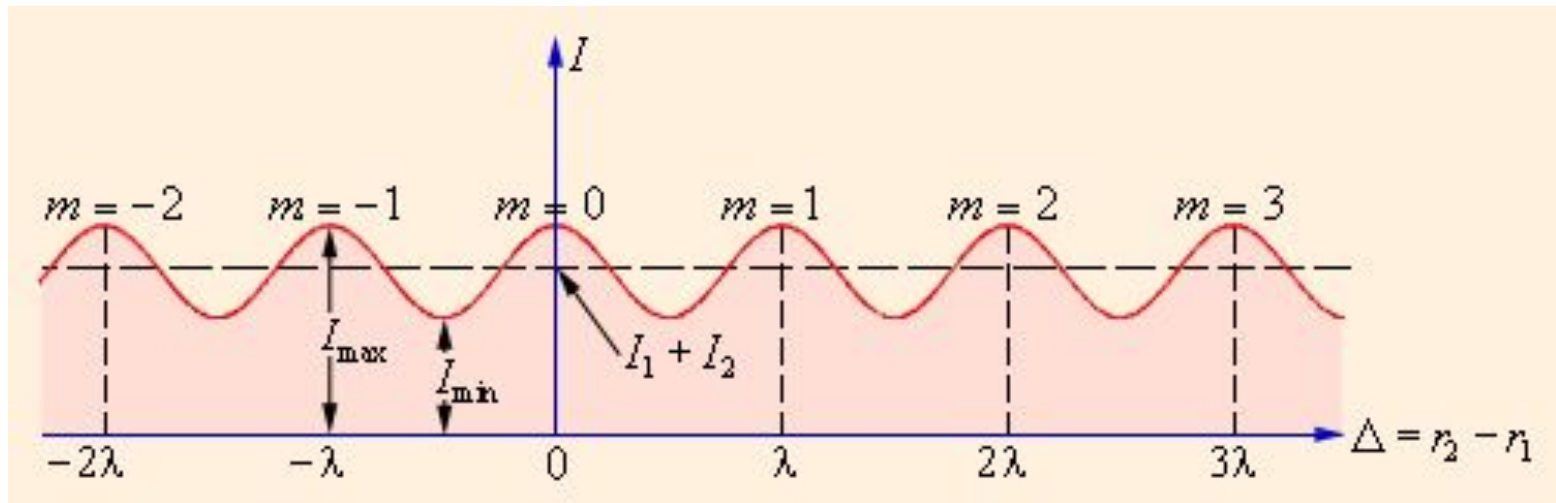
Результат сложения световых векторов:

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(k \cdot \Delta_{\text{геом}})$$

или:
$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1I_2} \cdot \cos(k \cdot \Delta_{\text{геом}})$$

где $\Delta_{\text{геом}} = r_2 - r_1$ – *геометрическая разность хода интерферирующих волн.*

При интерференции световых волн формируется устойчивая картина чередования светлых и темных полос:



Если световые волны распространяются в среде с показателем преломления $n \neq 1$, то условия максимумов и минимумов формулируются для оптической разности хода $\Delta = n \cdot \Delta_{\text{геом}}$:

1) условие интерференционных максимумов

(колебания световых векторов происходят в одинаковой фазе)

$$\Delta = 2m \frac{\lambda_0}{2} = m\lambda_0, \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots - \text{порядок максимума})$$

В частном случае при $I_1 = I_2 = I_0$ имеем:

$$I_{\text{max}} = 4I_0 \text{ (усиление света);}$$

2) условие интерференционных минимумов

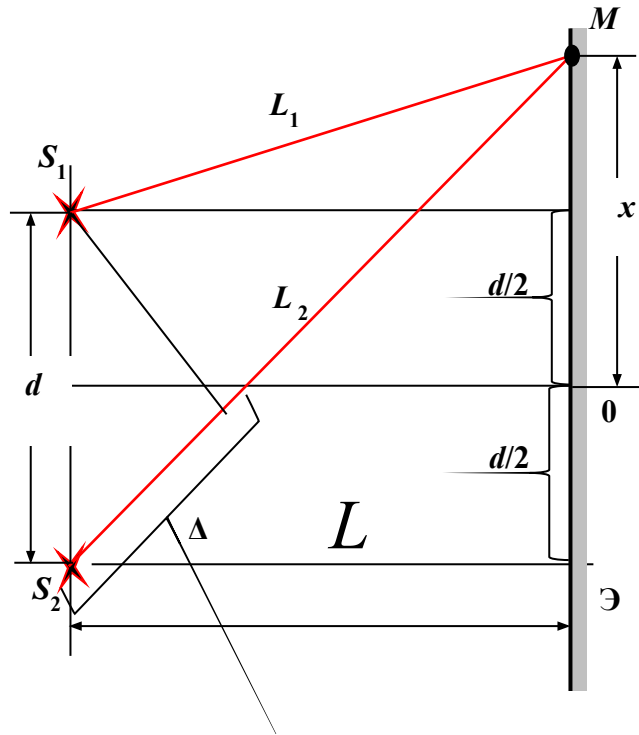
(колебания световых векторов происходят в противофазе)

$$\Delta = (2m + 1) \frac{\lambda_0}{2}, \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots - \text{порядок минимума})$$

В частном случае при $I_1 = I_2 = I_0$ имеем:

$$I_{\text{min}} = 0 \text{ (гашение света).}$$

Расчет интерференционной картины от двух источников



$$L_2^2 = L^2 + (x + d/2)^2$$

$$L_1^2 = L^2 + (x - d/2)^2 \Rightarrow L_2^2 - L_1^2 = 2xd$$

Так как $L \gg d$, то:

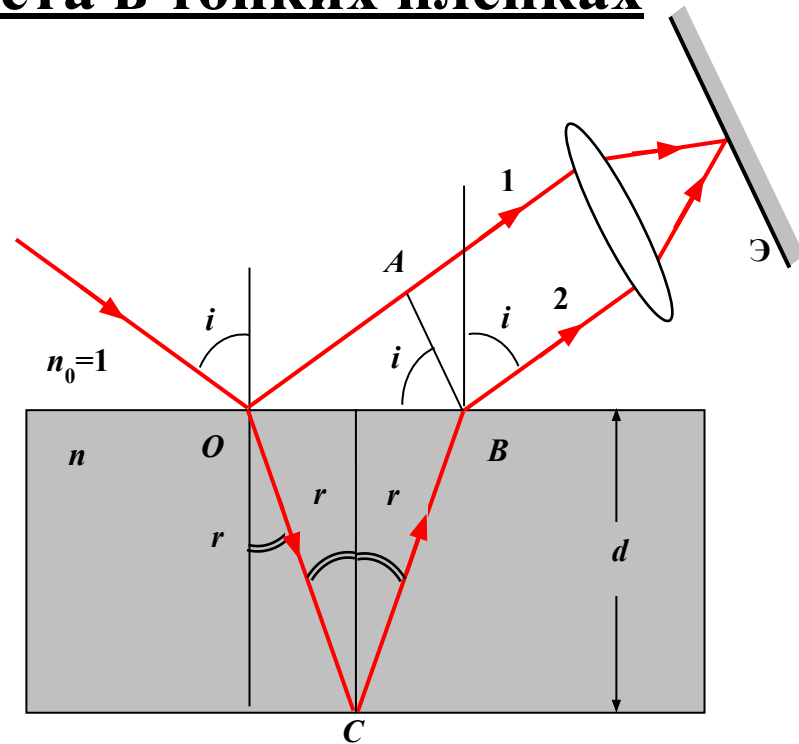
$$\Delta = L_2 - L_1 = \frac{2xd}{L_2 + L_1} \approx \frac{2xd}{2L} = \frac{xd}{L}$$

Применяя условия максимумов и минимумов, находим координаты x_{\max} и x_{\min} :

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

$$\Delta x = m \frac{L}{d} \lambda - (m - 1) \frac{L}{d} \lambda = \frac{L}{d} \lambda \quad \text{— ширина интерференционной полосы.}$$

Интерференция света в тонких пленках



$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \frac{\lambda_0}{2}$ – *оптическая разность хода лучей, отраженных от верхней и нижней поверхностей пленки.*

$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \frac{\lambda_0}{2} = m\lambda_0, \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$ – *максимумы.*

$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} + \frac{\lambda_0}{2} = (2m + 1)\frac{\lambda_0}{2}, \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$ – *минимумы.*

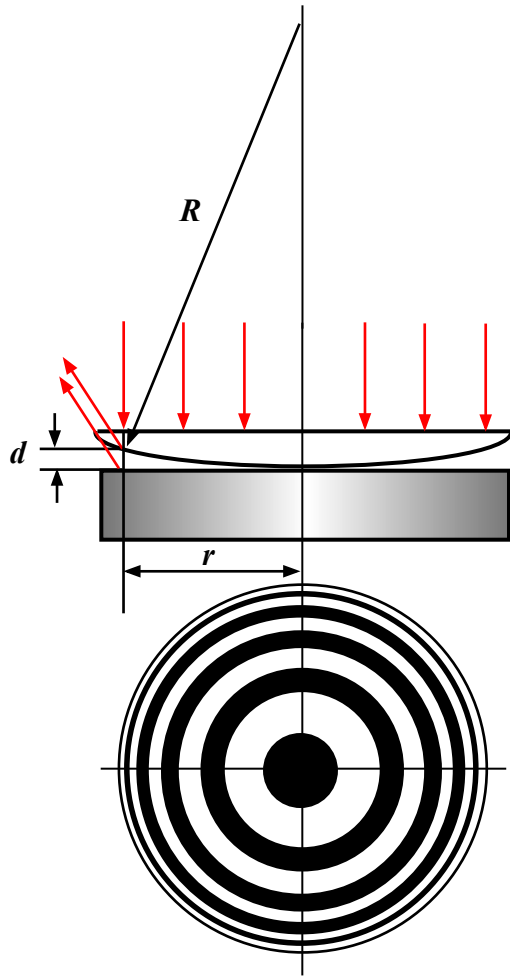
Условия максимумов и минимумов при интерференции в тонких пленках зависят при постоянных значениях n , λ_0 от угла падения i и толщины пленки d , в зависимости от этого различают два типа интерференционной картины: *линии равного наклона* и *линии равной толщины*.

Линиями равного наклона называют интерференционную картину, возникающую в результате наложения отраженных лучей, падающих на плоскопараллельную пленку под одинаковыми углами.

Линиями равной толщины называют интерференционную картину, возникающую в результате наложения лучей, отраженных пленкой переменной толщины от мест с одинаковой толщиной.

Кольца Ньютона

Кольца Ньютона – классический пример линий равной толщины.



$$R^2 = r^2 + (R - d)^2$$

$$d \ll R \Rightarrow d = r^2 / (2R)$$

$$\Rightarrow \Delta = 2d + \frac{\lambda_0}{2} = \frac{r^2}{R} + \frac{\lambda_0}{2}$$

Условие максимума \Rightarrow радиус светлого кольца в отраженном свете:

$$r^{\text{св}} = \sqrt{\lambda_0 R \left(m - \frac{1}{2} \right)}$$

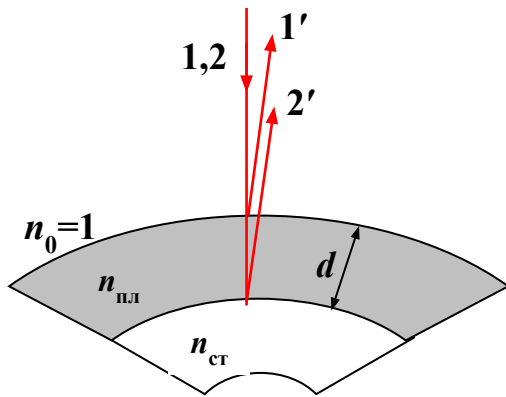
Условие минимума \Rightarrow
радиус темного кольца
в отраженном свете:

$$r^{\text{тем}} = \sqrt{m \lambda_0 R} \quad (m - \text{номер кольца})$$

Пример применения интерференции света

Просветление оптики – это нанесение на свободные поверхности линз тонких прозрачных пленок с показателем преломления n меньшим, чем у стекла:

$$1 < n_{\text{пл}} < n_{\text{ст.}}$$



$$\Delta = 2n_{\text{пл}} d = (2m + 1) \frac{\lambda_0}{2}$$

Задачи, решаемые с помощью просветленной оптики:

- *устранение многочисленных отражений света в оптических системах, содержащих большое количество линз, и, как следствие, – уменьшение потерь светового потока;*
- *устранение бликов, вызванных отражением от поверхности линз и приводящих к демаскировке местонахождения оптического прибора.*