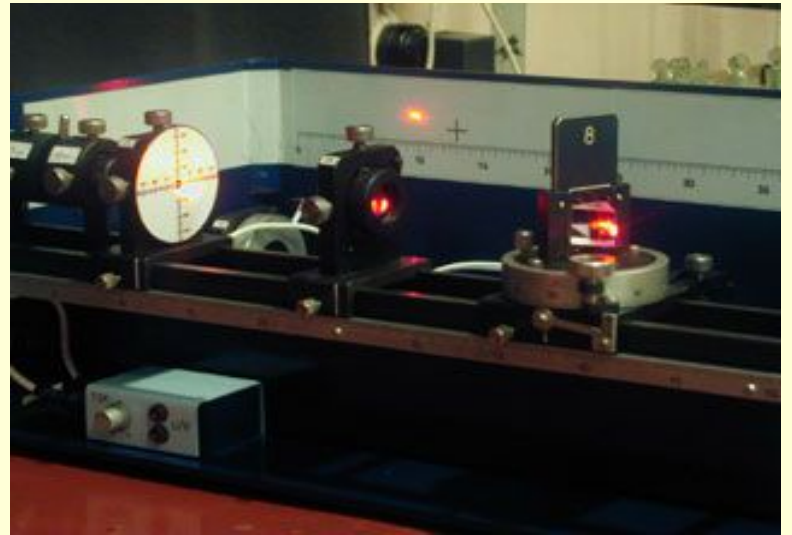


# Оптика и квантовая физика

для студентов  
2 курса ФТФ и ГГФ



Кафедра общей физики



# Содержание курса «Оптика и квантовая физика»

## Оптика

- Интерференция света
- Дифракция света
- Голография
- Поляризация волн
- Отражение и преломление света
- Поглощение и дисперсия волн
- Нелинейные процессы в оптике

# Содержание курса «Оптика и квантовая физика»

## Квантовая и ядерная физика

- Квантовые свойства света
- Модель атома
- Элементы квантовой механики
- Квантово-механическое описание атомов
- Оптические квантовые генераторы
- Основы физики атомного ядра
- Ядерные реакции
- Элементарные частицы

# Структура плоской волны

$$E_y = E_m \cos(\omega t - kx)$$

$$H_z = H_m \cos(\omega t - kx)$$

плоская гармоническая волна

$$E = E_m e^{i(\omega t - kx)}$$

$$H = H_m e^{i(\omega t - kx)}$$

в комплексной форме

$E_m$  и  $H_m$  – амплитуды колебаний векторов напряженности электрического и магнитного полей волны;

$\omega = 2\pi/T$  – круговая частота колебаний;

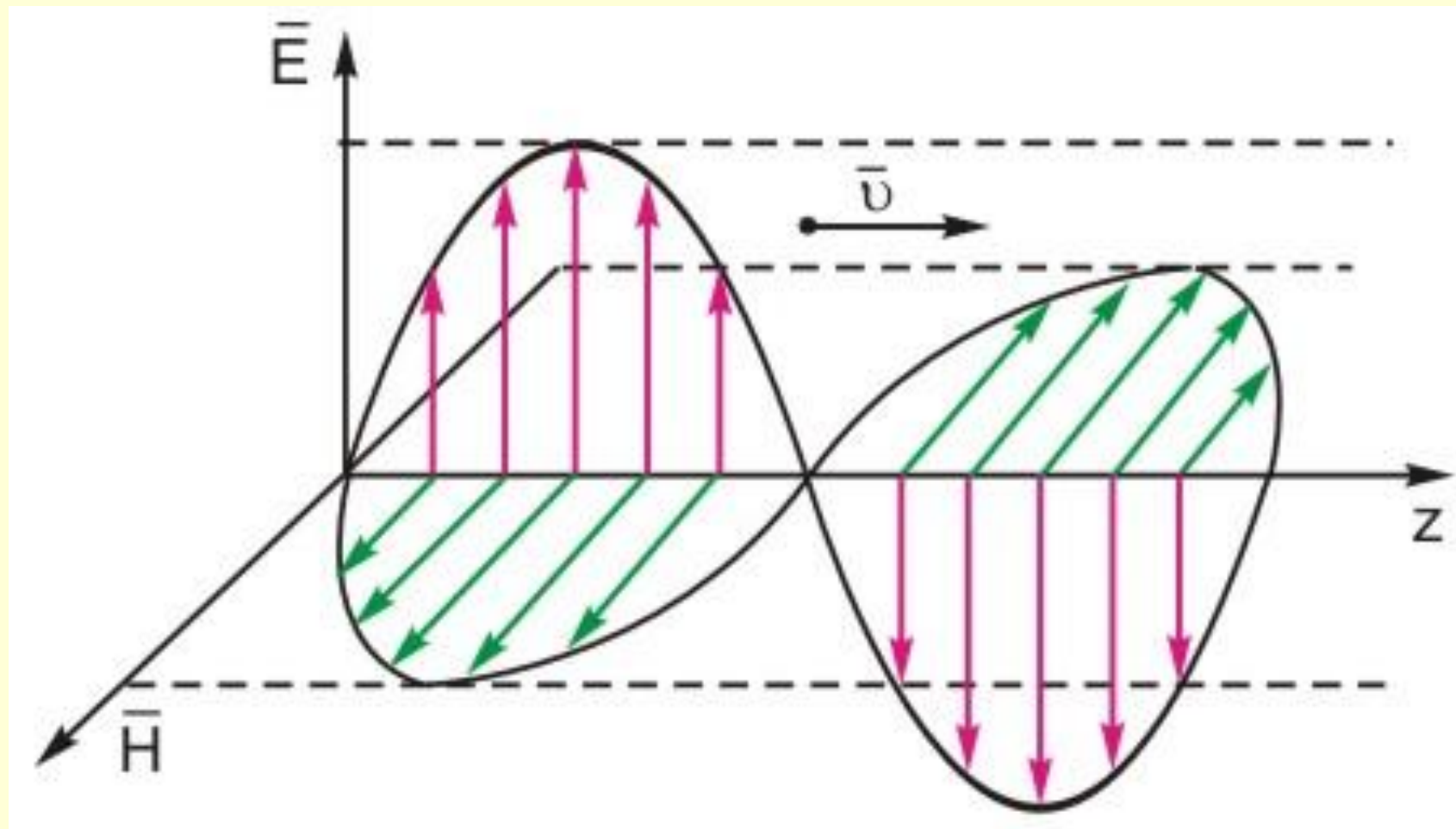
$k = \omega/u = 2\pi/\lambda$  – волновое число.

$T$  – период колебаний,

$\lambda$  – длина волны,

$u$  – скорость распространения волны.

# Моментальный снимок волны



# Основные свойства волны

$\mathbf{E} \perp \mathbf{H} \perp \mathbf{u}$  ( $\mathbf{E}$ ,  $\mathbf{H}$ ,  $\mathbf{u}$  – правая тройка векторов)

Колебания электрического и магнитного полей происходят в одной фазе.

$$\sqrt{\epsilon\epsilon_0} \mathbf{E} = \sqrt{\mu\mu_0} \mathbf{H}$$

$$\mathbf{v} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\epsilon_0\mu\mu_0}}$$

- скорость электромагнитных волн зависит от диэлектрических и магнитных свойств среды

$$\mathbf{c} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0\mu_0}}$$

- скорость электромагнитной волны в вакууме

$$\mathbf{v} = \frac{\mathbf{c}}{\sqrt{\epsilon\mu}}$$



Перенос энергии характеризуется *вектором плотности потока энергии* (вектор Умова-Пойнтинга):

$$\mathbf{S} = [ \mathbf{E} ; \mathbf{H} ]$$

Направление вектора  $\mathbf{S}$  определяет направление переноса энергии, т.е. светового луча.

$$\mathbf{S} = \omega \mathbf{v}$$

$$\omega = \varepsilon \varepsilon_0 \mathbf{E}^2$$

– объемная плотность энергии электромагнитного поля

Интенсивность ( $\mathbf{I}$ ) волны - среднее значение плотности потока энергии  $\mathbf{S}$  –

$$\mathbf{I} = \langle \mathbf{S} \rangle$$

$$\mathbf{I} = \varepsilon \varepsilon_0 \nu \tilde{\mathbf{E}}^2$$

$$\mathbf{I} = \frac{1}{2} \varepsilon \varepsilon_0 \nu \mathbf{E}_m^2$$

$$\mathbf{I} \sim \mathbf{E}_m^2$$

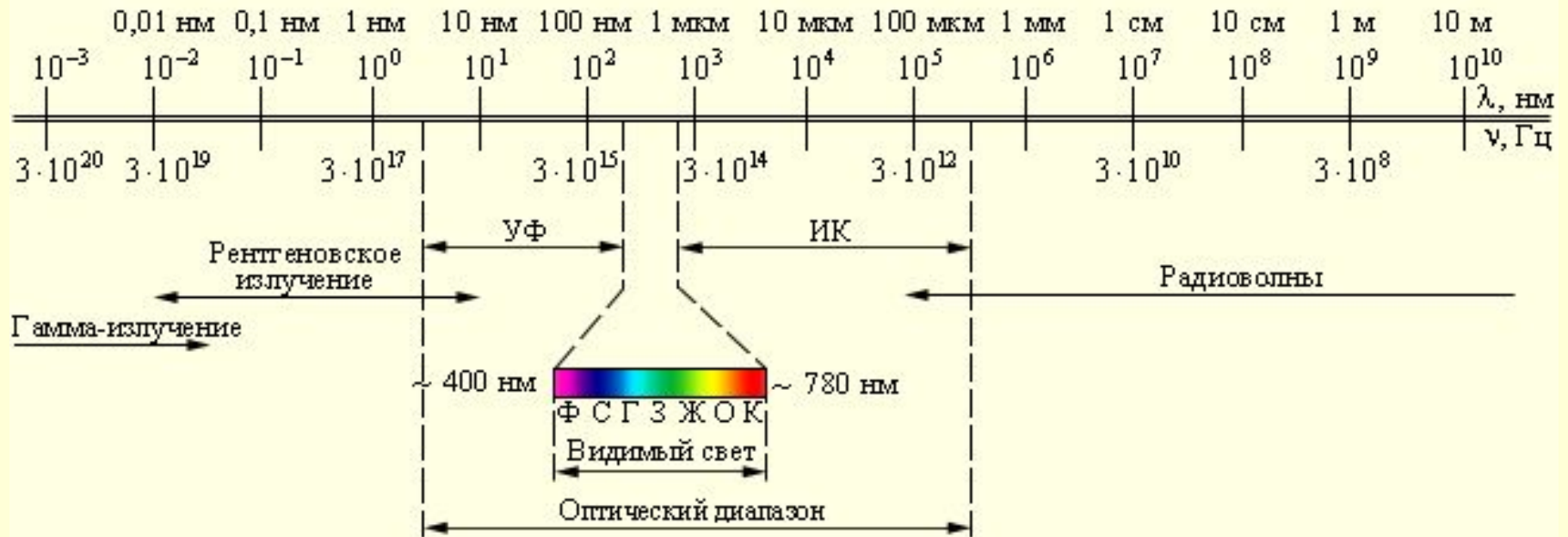
$$\mathbf{I} = \frac{1}{2} \varepsilon_0 c \mathbf{E}_m^2$$

– в вакууме



Для слабых полей  $\mathbf{E}_m \approx 10^{-2}$  В/см.  
В лазерных пучках  $\mathbf{E}_m \approx 10^6$  В/см

# Шкала электромагнитных волн

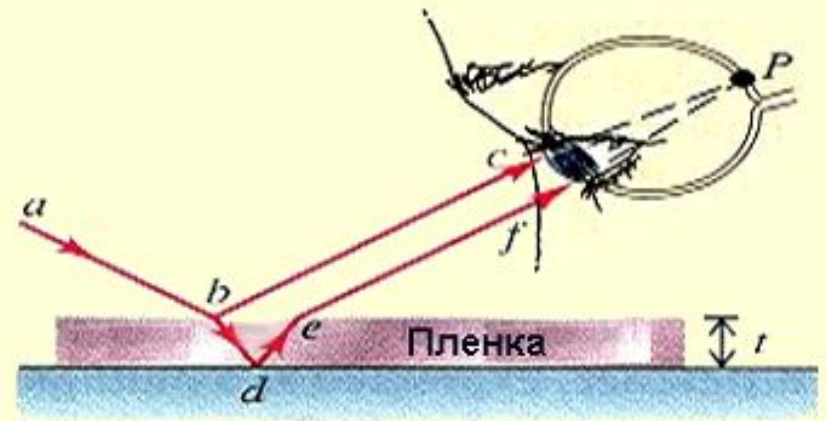




# Интерференция света

## Часть 1

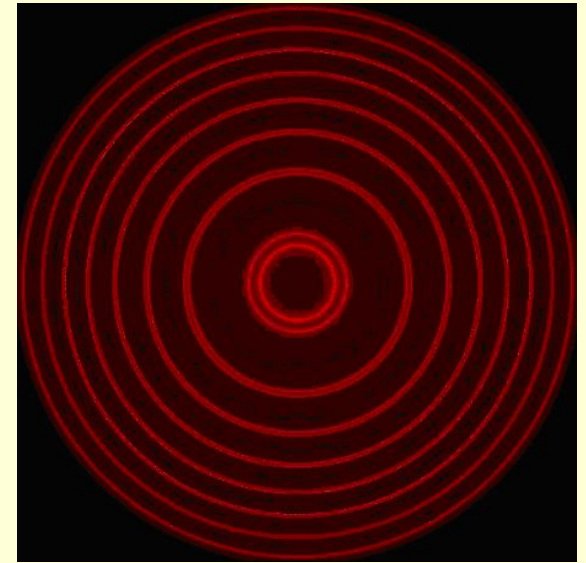
- ✓ Интерференция монохроматических волн
- ✓ Методы получения когерентных волн
- ✓ Расчет картины интерференции от двух точечных когерентных источников





**Интерференция** – явление пространственного перераспределения интенсивности света, происходящее при наложении двух или более когерентных волн.

**Когерентные** – волны одинаковой частоты, разность фаз которых не изменяется со временем в каждой точке волнового поля, колебания полей в этих волнах должны происходить в одной плоскости.



*Примеры интерференции: окраска бензиновой пленки на лужах, окраска мыльных пузырей, окисных пленок, просветление оптики, неравномерное освещение предметов при определенных условиях.*

# Интерференция монохроматических волн

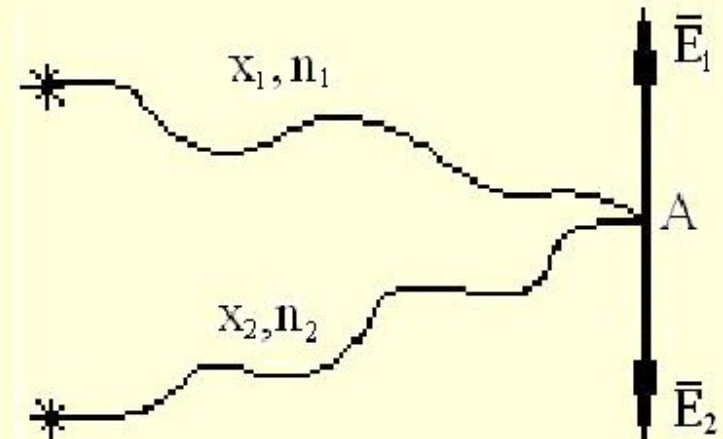
Монохроматические волны - идеализация

$$E_1 = E_{m1} \cos(\omega_1 t - k_1 x_1 + \varphi_{01})$$

$$E_2 = E_{m2} \cos(\omega_2 t - k_2 x_2 + \varphi_{02})$$

УСЛОВИЯ:

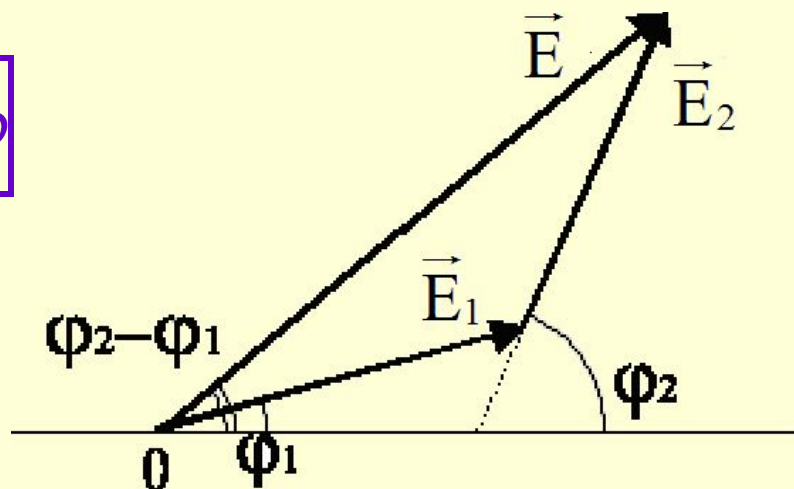
1.  $\omega_1 = \omega_2$
2.  $\mathbf{E}_1 \parallel \mathbf{E}_2$
3.  $\varphi_{01} = \varphi_{02}$



По методу векторных диаграмм:

$$E_m^2 = E_{m1}^2 + E_{m2}^2 + 2E_{m1}E_{m2} \cos \Delta\varphi$$

$\Delta\varphi$  – разность фаз колебаний  $E_1$  и  $E_2$  в точке наблюдения



$$I \sim E_m^2 \rightarrow$$

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \Delta\varphi$$

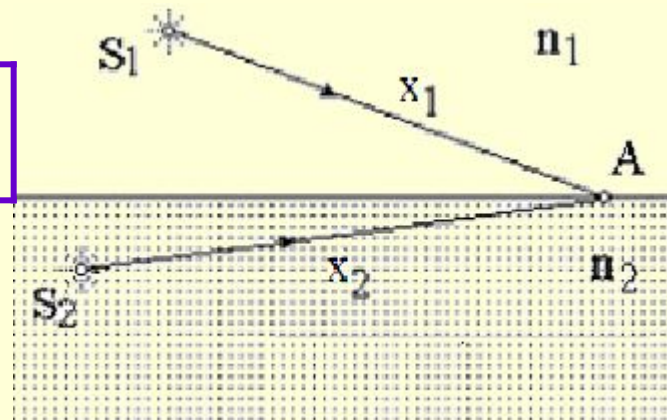
$I$  – зависит от сдвига фаз  $\Delta\varphi$  !!!

*Связь между разностью фаз и оптической разностью хода двух монохроматических волн:*

$$\Delta\varphi_{12} = k_1x_1 - k_2x_2$$

$$k = 2\pi / \lambda$$

$$n = c/v = \lambda_0 / \lambda$$



$$\Delta\varphi_{12} = \frac{2\pi}{\lambda_0} (x_1 \cdot n_1 - x_2 \cdot n_2)$$

$$x_1 \cdot n_1 - x_2 \cdot n_2 = \Delta_{12}$$

$$\Delta\varphi_{12} = \frac{2\pi}{\lambda_0} \cdot \Delta_{12}$$

$\Delta_{12}$  - оптическая разность хода



## Анализ (для двухволновой интерференции)

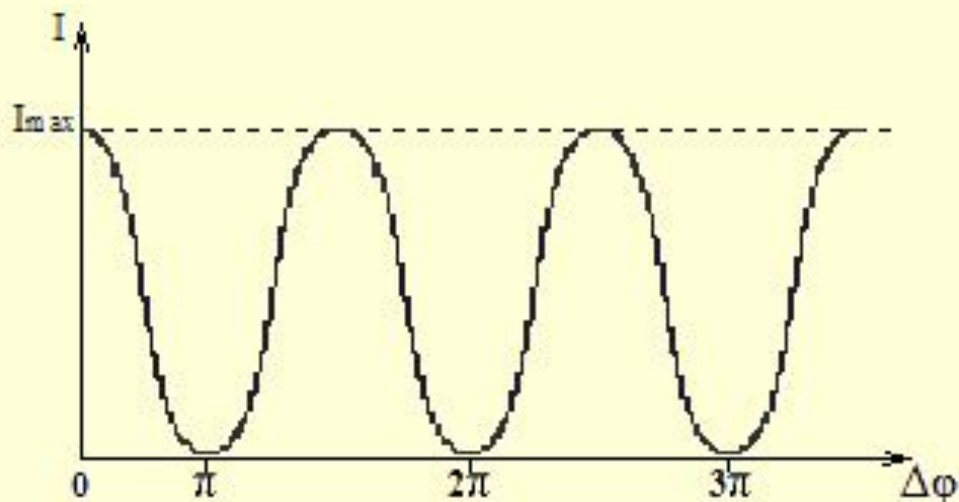
$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \Delta\varphi$$

Условия максимумов	Условия минимумов
Разность хода $\Delta = m\lambda$ , где $m = 0, 1, 2, \dots$	Разность хода $\Delta = (2m+1) \cdot \lambda/2$
Разность фаз $\Delta\varphi = 2m \cdot \pi$	Разность фаз $\Delta\varphi = (2m+1) \cdot \pi$
Колебания в точке наложения волн имеют одинаковую фазу	Колебания в точке наложения волн имеют противоположную фазу
Наблюдается усиление колебаний $I_{\max} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}$	Наблюдается ослабление колебаний $I_{\min} = I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2}$

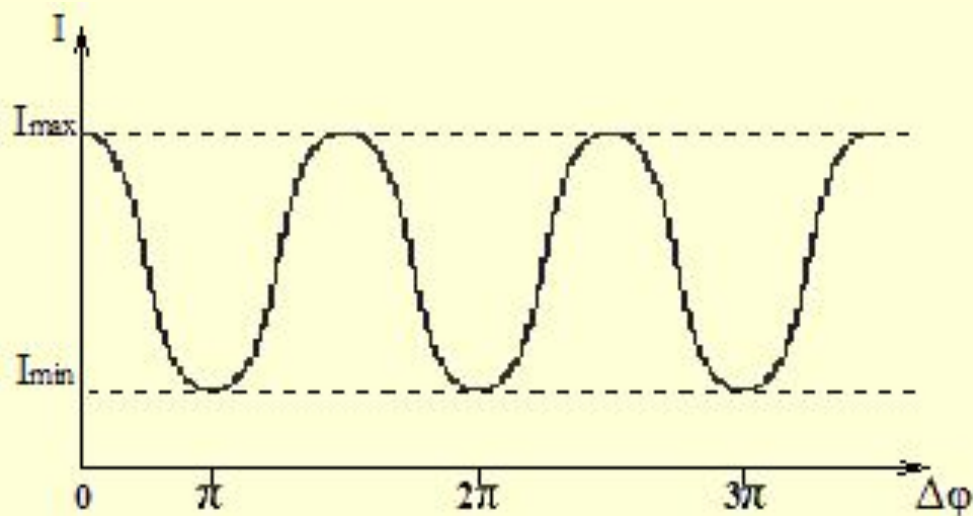
## Зависимость интенсивности от разности фаз

$$I_1 = I_2 = I_0 \rightarrow I(\Delta\varphi) = I_0 \cos^2(\Delta\varphi/2)$$

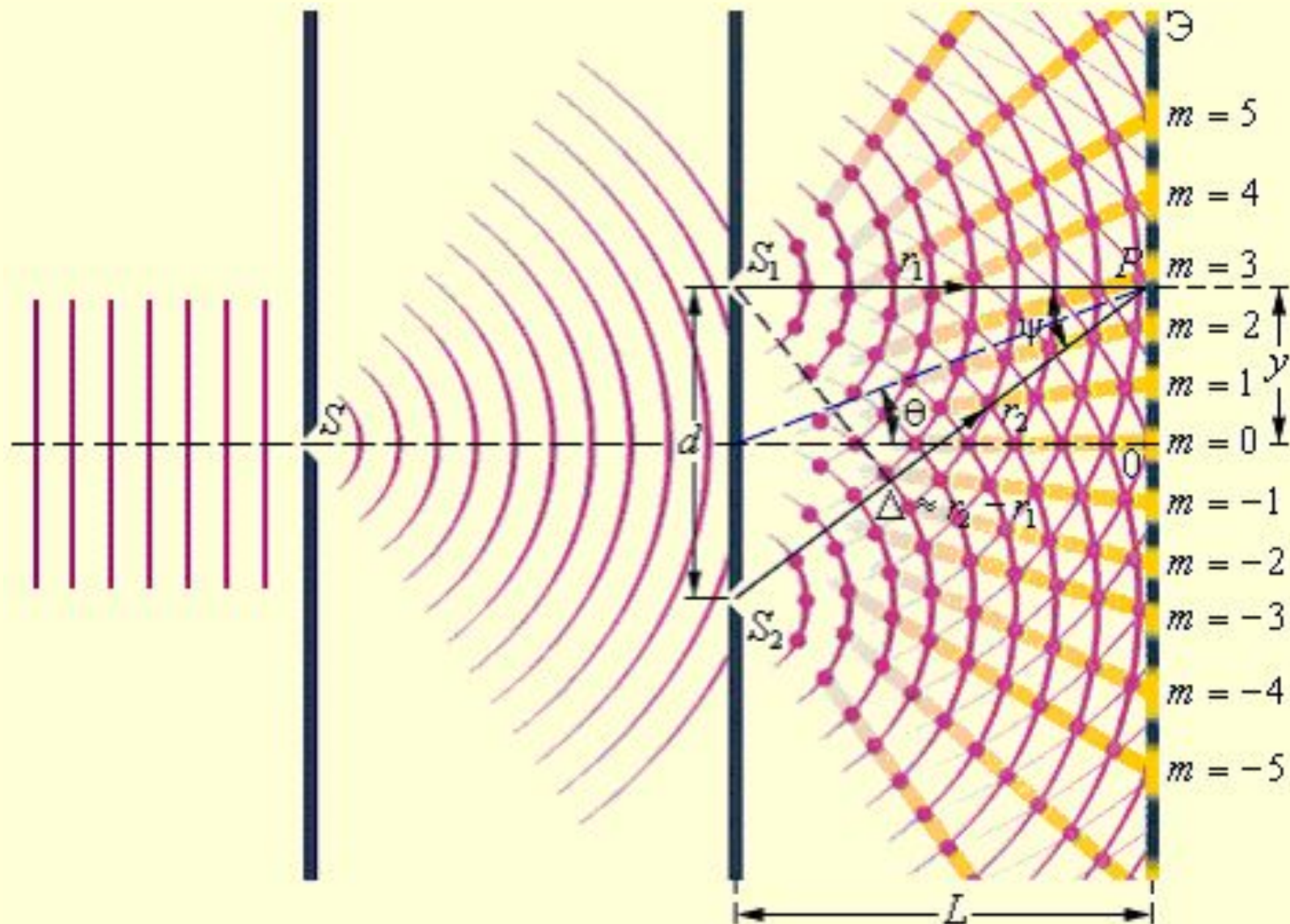
$$I_1 = I_2$$



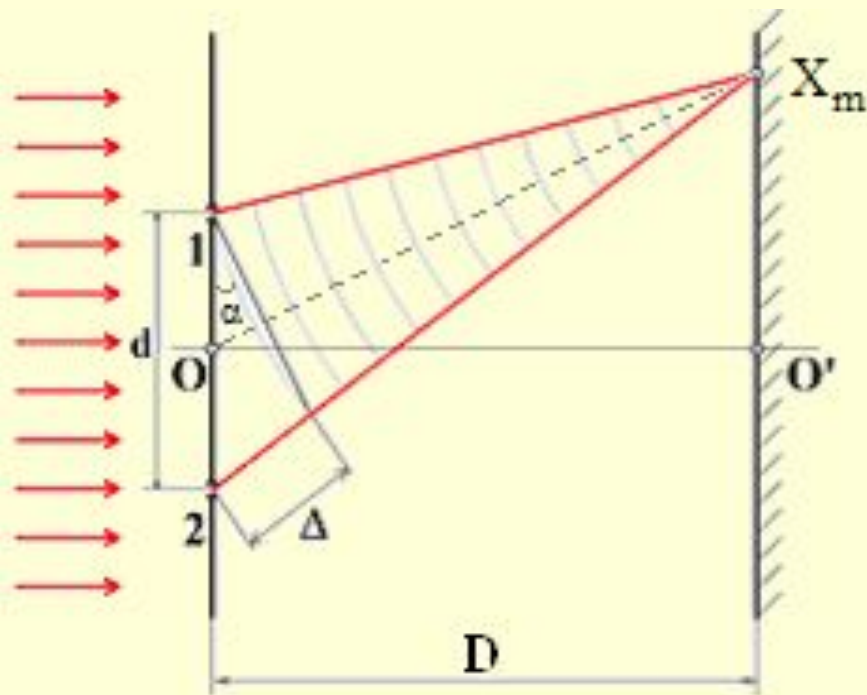
$$I_1 \neq I_2$$



## Расчет картины интерференции от двух точечных когерентных источников







Условие  $d \ll D$

Из подобия треугольников:

$$\frac{x_m}{\Delta} = \frac{D}{d} \quad \Rightarrow \quad x_m = \frac{D}{d} \Delta$$

Условие максимума  $\Delta = m\lambda \rightarrow$

$$x_{\max} = m \frac{\lambda D}{d}$$

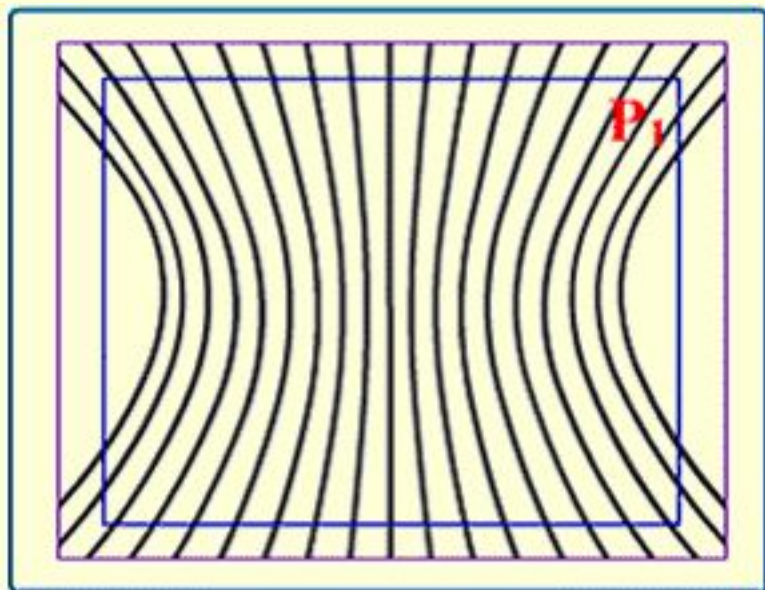
Условие минимума  $\Delta = (m+1/2)\lambda \rightarrow$

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

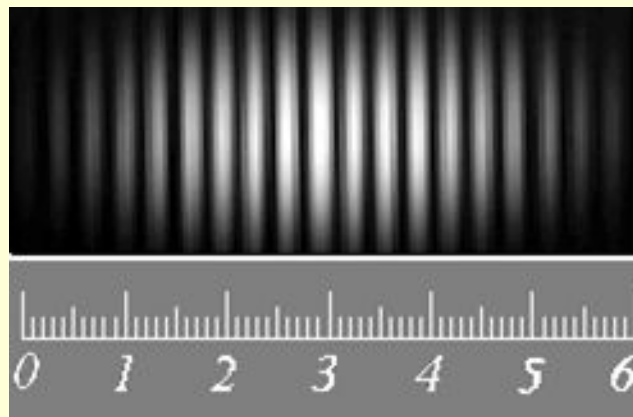
$\Delta x = x_m - x_{m-1}$  - ширина интерференционной ПОЛОСЫ

$$\Delta x = \frac{\lambda D}{d}$$

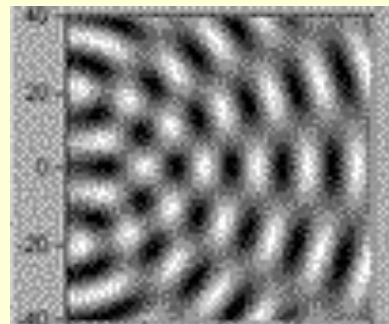
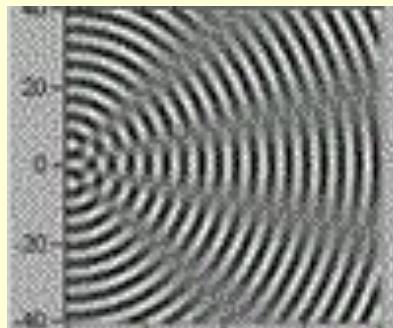
*Картина интерференционных полос.*



*Ширина интерференционной полосы*

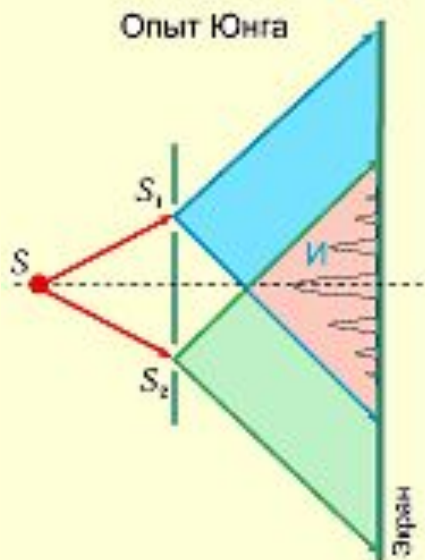


*Зависимость ширины интерференционной полосы  
от расстояния между источниками*



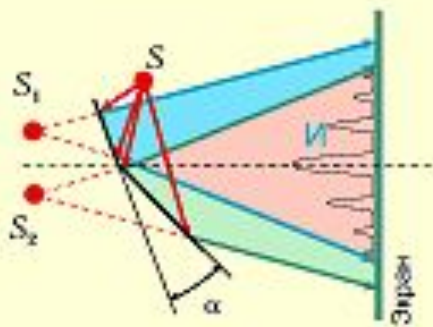
# Методы получения когерентных волн

## Методы деления волнового фронта

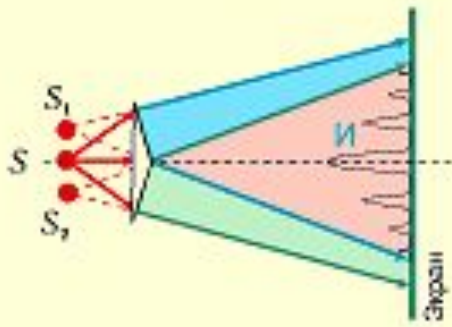


- Метод Юнга
- Бипризма Френеля
- Бизеркала Френеля
- Зеркало Ллойда
- и др.

Зеркала Френеля

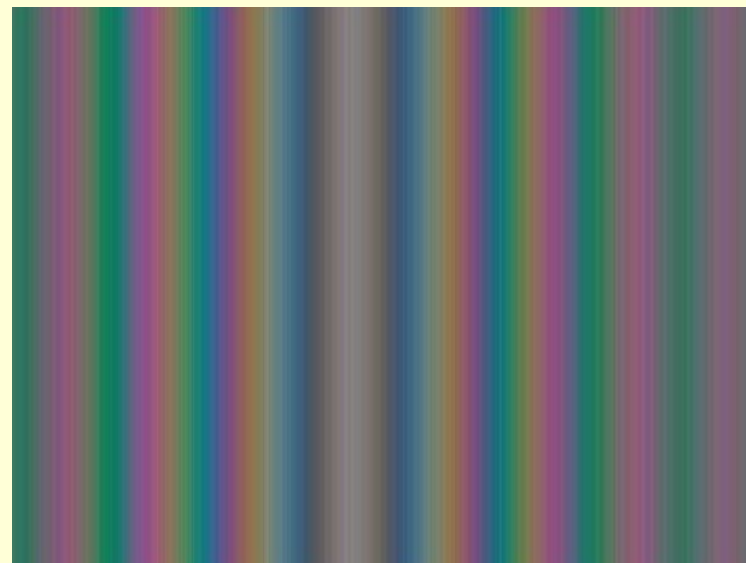


Бипризма Френеля



$S$  - источник света,

$И$  - область наблюдения интерференционной картины



*Картина интерференции,  
наблюдаемая через бипризму Френеля*



