



Интерференция света



Вопросы

1. Интерференция волн.
2. Опыт Юнга. Интерференция света от двух когерентных источников.
3. Интерференция света от многих когерентных источников.
4. Интерференция света в тонких пленках.
5. Интерферометры.

1. Интерференция волн

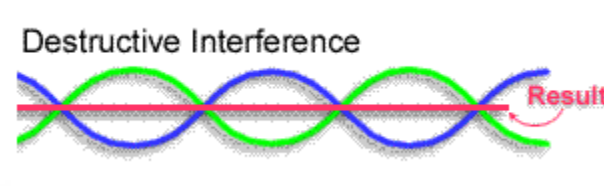
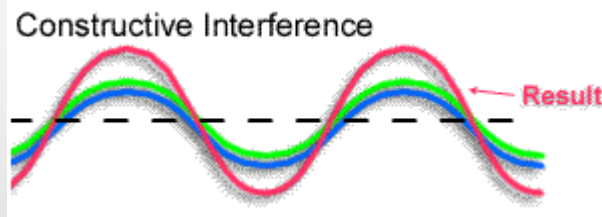


1. Интерференция волн

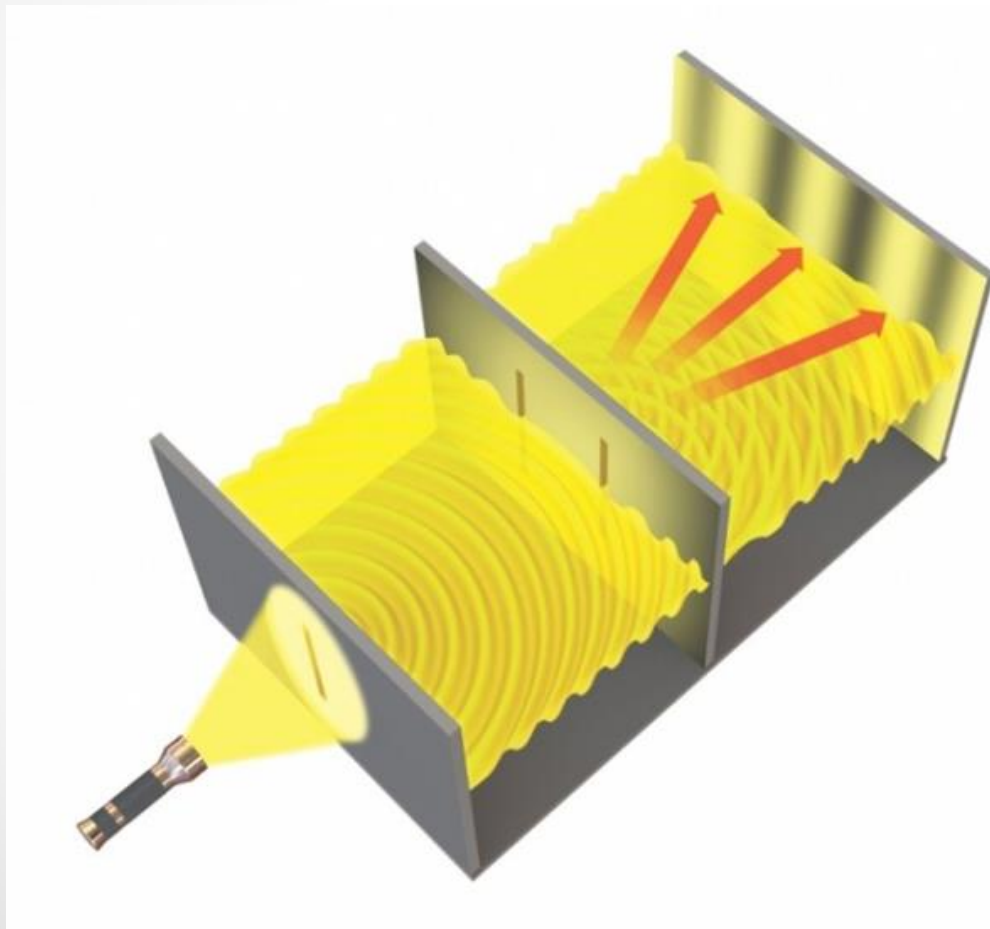
Интерференция - устойчивое во времени пространственное перераспределение энергии волнового процесса, обусловленное сложением нескольких когерентных волн.

Две гармонические волны являются **когерентными**, если их **частоты равны**, а **разность фаз** с течением времени **не изменяется**.

Для интерференционной картины характерно пространственное чередование **максимумов** и **минимумов**.



2. Опыт Юнга. Интерференция света от двух когерентных источников



Thomas Young
(1773-1829)
английский ученый,
один из
основоположников
волновой теории
света.

2. Опыт Юнга. Интерференция света от двух когерентных источников

С волновой точки зрения свет имеет электромагнитную природу.

Распространение света - это распространение ЭМ волн.

Вектор напряженности электрической составляющей ЭМ волны E называют **световым вектором**. Для каждой точки пространства интенсивность света $I \sim E_0^2$ (см «ЭМ волны»).

Пусть в данную точку пространства приходят две световые волны с одинаковыми частотами и параллельными световыми векторами. Колебания результирующего светового вектора будет суммой двух колебаний.

Амплитудное значение светового вектора:

$$E_0^2 = E_{01}^2 + E_{02}^2 + 2E_{01}E_{02} \cos(\Delta\varphi),$$

Интенсивность:

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

2. Опыт Юнга. Интерференция света от двух когерентных источников

Если $I_1 = I_2$, то:

$$I = 2I_1 + 2I_1 \cos(\Delta\varphi).$$

Среднее во времени значение интенсивности для некогерентного излучения:

$$\langle I \rangle = \langle I_1 \rangle + \langle I_2 \rangle = 2\langle I_1 \rangle.$$

Складываются интенсивности !

Интерференционная картина для некогерентного излучения не наблюдается.

2. Опыт Юнга. Интерференция света от двух когерентных источников

Для двух когерентных волн с одинаковой амплитудой:

$$I = 2I_1(1 + \cos(\Delta\varphi)) = 4I_1 \cos^2(\Delta\varphi/2).$$

- Волны в фазе: $\Delta\varphi = m\pi \Rightarrow I = 4I_1 \Rightarrow$ *максимум интенсивности*, $m = 0, \pm 2, \pm 4, \dots$
- Волны в противофазе: $\Delta\varphi = m\pi \Rightarrow I = 0 \Rightarrow$ *минимум интенсивности*, $m = \pm 1, \pm 3, \pm 5, \dots$

Значение интенсивности зависит от разности фаз.

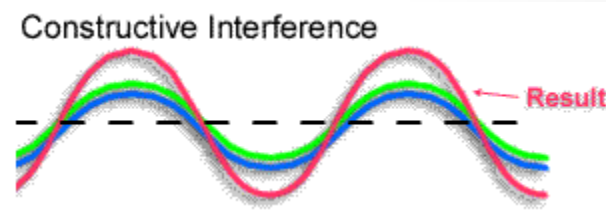
Т.к. волны когерентные, то в каждой точке пространства значение $\Delta\varphi$ является постоянной величиной, зависящей от пространственного положения точки относительно источников когерентных волн.

2. Опыт Юнга. Интерференция света от двух когерентных источников

Условие max:

$$\Delta\varphi = m\pi, \quad m = 0, \pm 2, \pm 4, \dots$$

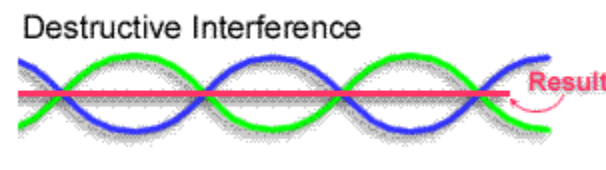
$$\text{интенсивность } I = 4I_1$$



Условие min:

$$\Delta\varphi = m\pi, \quad m = \pm 1, \pm 3, \dots$$

$$\text{интенсивность } I = 0$$



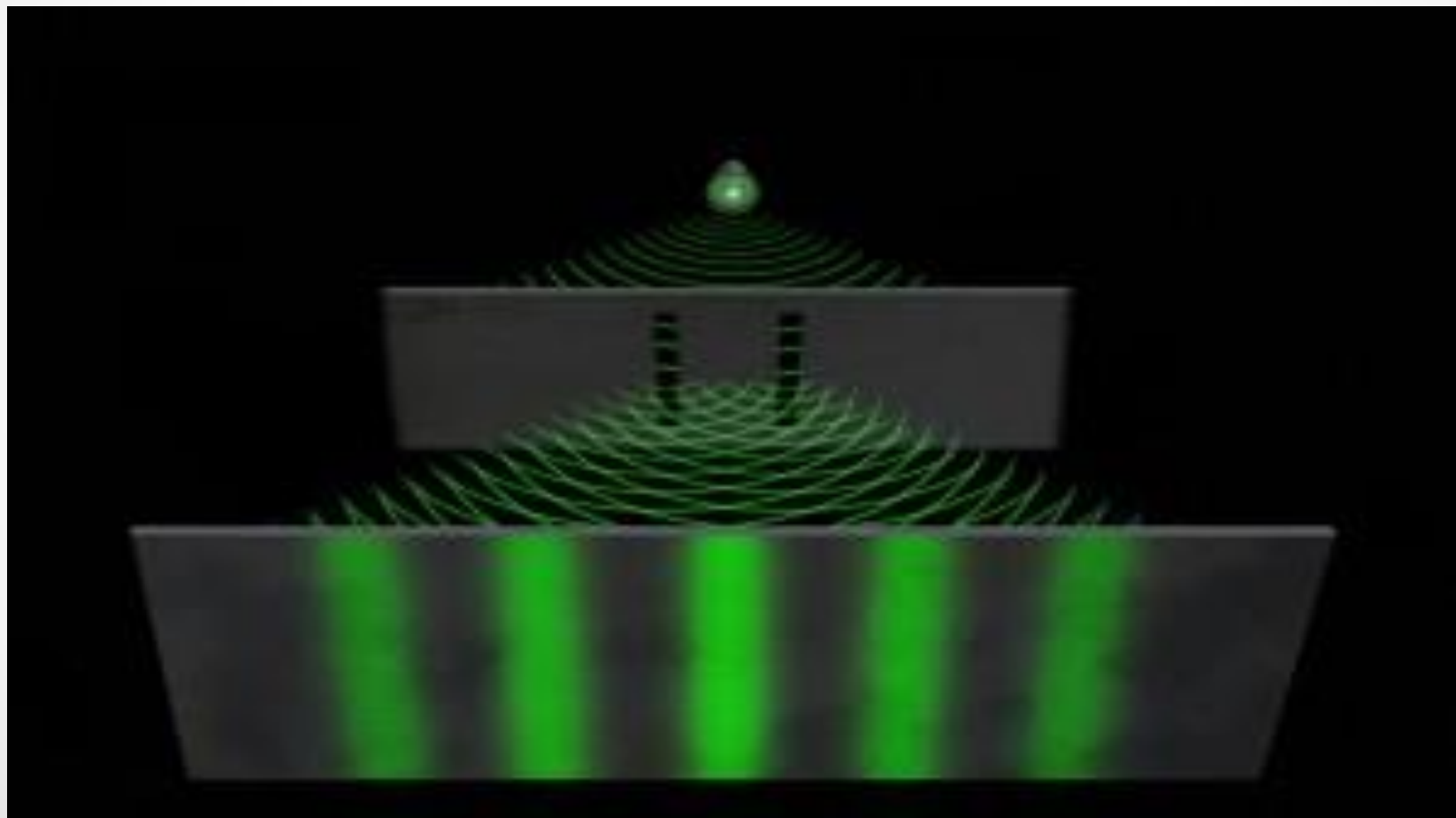
2. Опыт Юнга. Интерференция света от двух когерентных источников

Если волны от двух одинаковых источников света не являются когерентными, то интерференционная картина не наблюдается.

Для получения когерентных световых волн с помощью обычных источников применяют метод разделения света от одного источника на две или нескольких систем волн (световых пучков). В каждом пучке представлено излучение одних и тех же атомов источника. Эти волны когерентны и интерферируют при наложении.

Разделение света на когерентные пучки можно осуществить с помощью экранов и щелей, зеркал и преломляющих систем.

2. Опыт Юнга. Интерференция света от двух когерентных источников



2. Опыт Юнга. Интерференция света от двух когерентных источников

Оптическая разность хода волн:

$n \cdot S$ — оптический путь,

$\Delta = n_1 \cdot S_1 - n_2 \cdot S_2$ — оптическая разность хода волн,

$$\Delta\varphi = k_1 \cdot S_1 - k_2 \cdot S_2 =$$

$$= \frac{2\pi}{\lambda_0} (n_1 \cdot S_1 - n_2 \cdot S_2) \Rightarrow$$

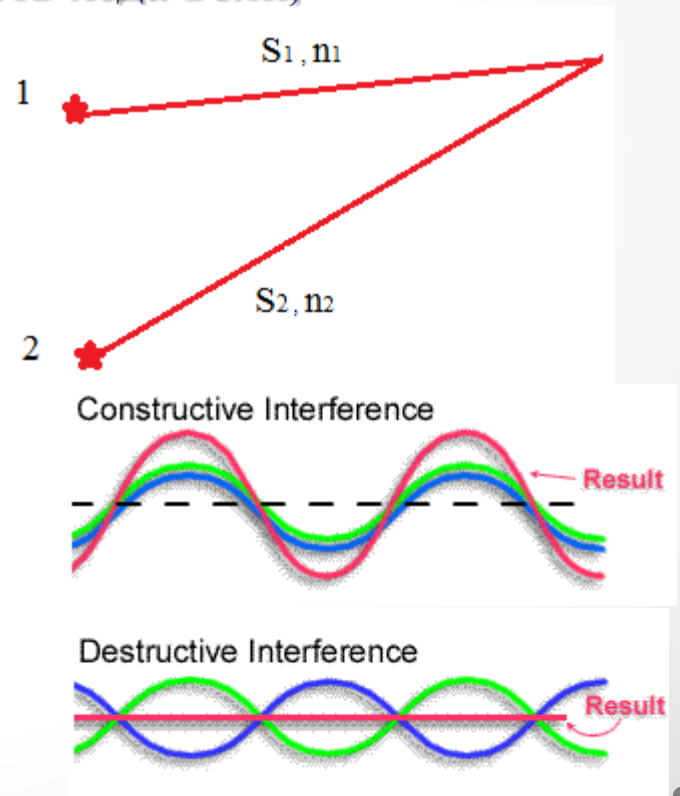
$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda_0} \Delta$$

Условие max:

$$\Delta = m \frac{\lambda_0}{2}, \quad m = 0, \pm 2, \pm 4, \dots$$

Условие min:

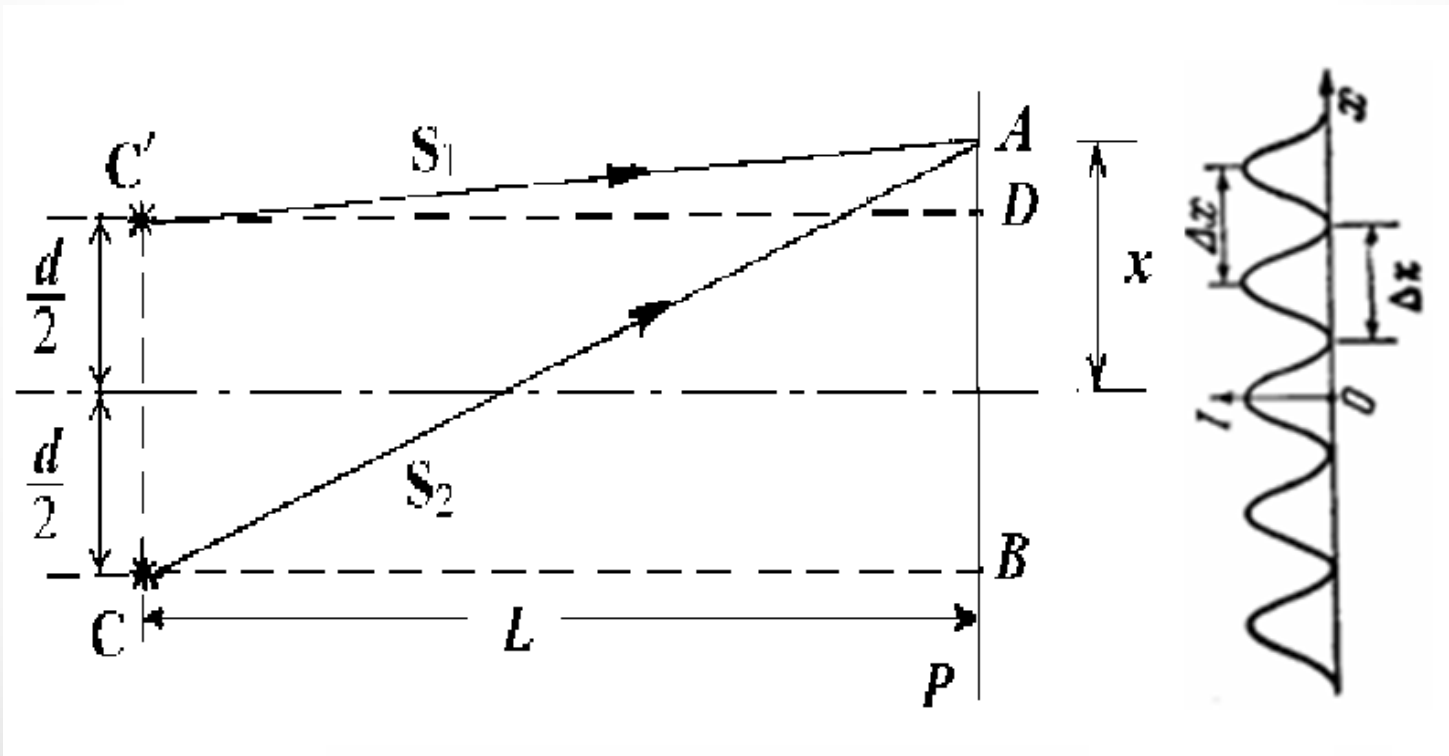
$$\Delta = m \frac{\lambda_0}{2}, \quad m = \pm 1, \pm 3, \dots$$



2. Опыт Юнга. Интерференция света от двух когерентных источников

$$S_2^2 - S_1^2 = \left(x + \frac{d}{2}\right)^2 - \left(x - \frac{d}{2}\right)^2 = 2xd, \text{ с учетом } d \ll L \Rightarrow$$

$\Delta S \cdot 2L = 2xd, \Rightarrow \Delta S = xd/L \Rightarrow n\Delta S = nxd/L$ – *оптическая разность хода волн для точки экрана с координатой x .*



2. Опыт Юнга. Интерференция света от двух когерентных источников

Если $n=1 \Rightarrow \Delta = \frac{xd}{L} \Rightarrow \Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda_0} \cdot \frac{xd}{L} \Rightarrow$

Получаем распределение интенсивности по экрану
(в приближении плоских волн):

$$I(x) = 4I_1 \cos^2\left(\frac{\pi}{\lambda_0} \cdot \frac{xd}{L}\right).$$

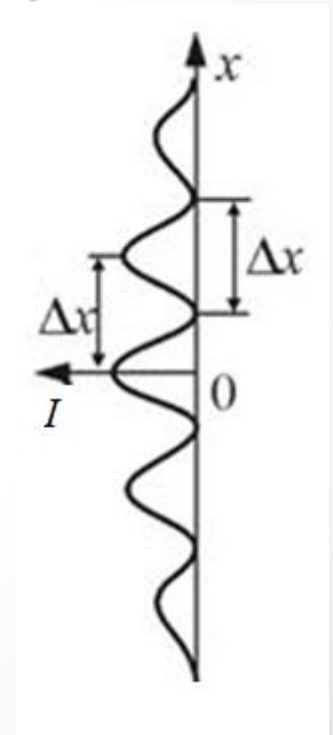
Координаты максимумов и минимумов на экране:

$$x = m \cdot \lambda_0 \frac{L}{d}, \quad \text{max} \Rightarrow m = 0, \pm 2, \pm 4, \dots$$

$$\text{min} \Rightarrow m = \pm 1, \pm 3, \dots$$

Ширина интерференционной полосы на экране:

$$\Delta x = \lambda_0 \frac{L}{d}$$



3. Интерференция света от многих когерентных источников (многолучевая интерференция)

**Оптическая разность хода
двух волн от соседних
источников:**

$$\Delta = d \cdot \sin(\alpha) .$$

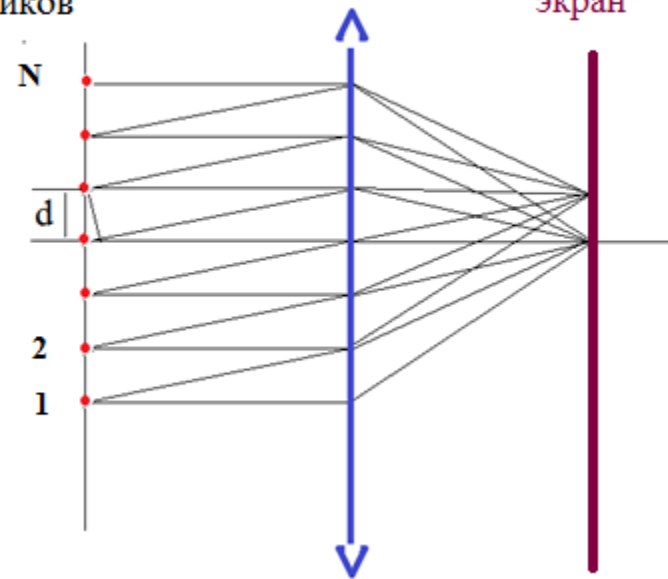
**Тогда разность фаз этих
двух волн:**

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda_0} d \sin(\alpha) .$$

N одинаковых
когерентных
источников

собирающая
линза

экран



3. Интерференция света от многих когерентных источников (многолучевая интерференция)

Векторная диаграмма сложения **N** колебаний.
Из треугольников AOB и AOD:

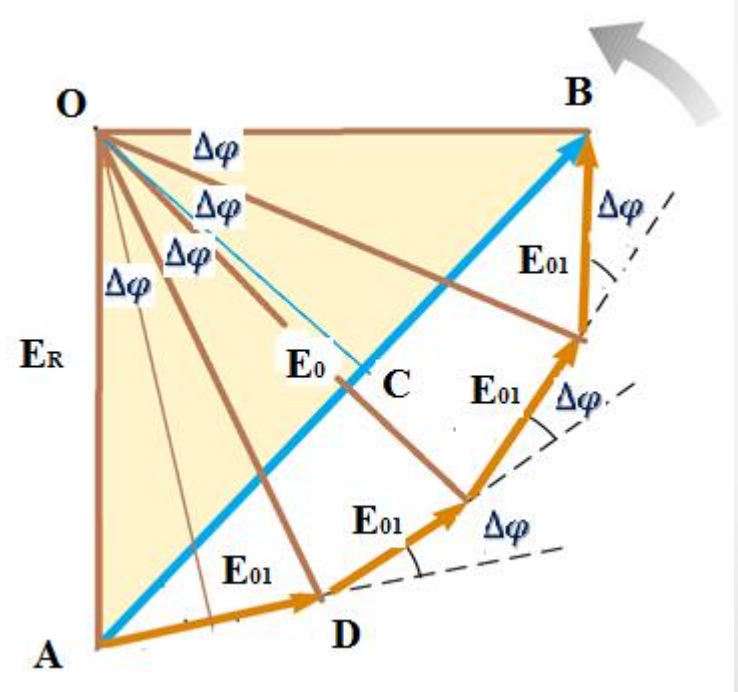
$$E_0 = 2E_R \sin\left(\frac{N \cdot \Delta\varphi}{2}\right),$$

$$E_{01} = 2E_R \sin\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right).$$

Тогда: $E_0 = E_{01} \frac{\sin\left(\frac{N \cdot \Delta\varphi}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right)},$

Результирующая интенсивность:

$$I = I_1 \frac{\sin^2\left(\frac{N \cdot \Delta\varphi}{2}\right)}{\sin^2\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right)} = I_1 \frac{\sin^2\left(\frac{N\pi d \sin(\alpha)}{\lambda_0}\right)}{\sin^2\left(\frac{\pi d \sin(\alpha)}{\lambda_0}\right)},$$



3. Интерференция света от многих когерентных источников (многолучевая интерференция)

Векторная диаграмма сложения **N** колебаний.
Из треугольников AOB и AOD:

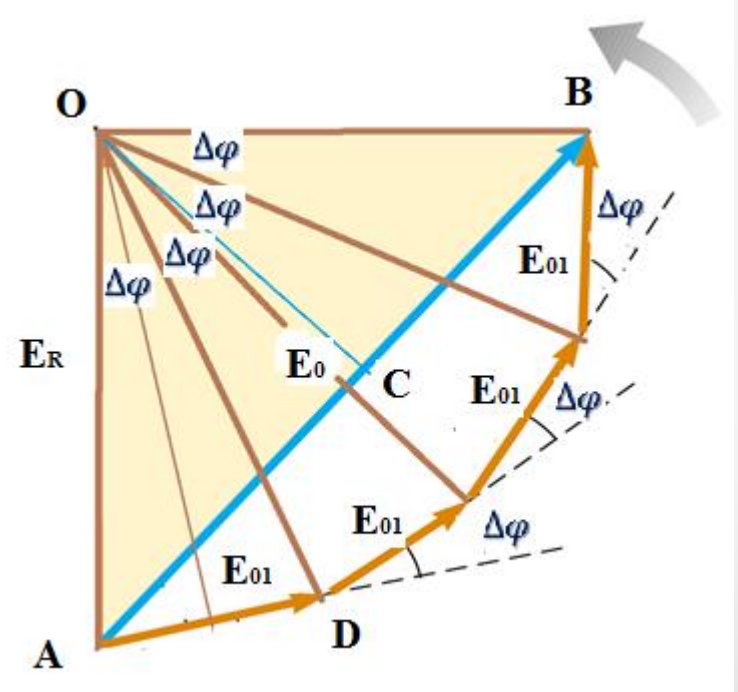
$$E_0 = 2E_R \sin\left(\frac{N \cdot \Delta\varphi}{2}\right),$$

$$E_{01} = 2E_R \sin\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right).$$

Тогда: $E_0 = E_{01} \frac{\sin\left(\frac{N \cdot \Delta\varphi}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right)},$

Результирующая интенсивность:

$$I = I_1 \frac{\sin^2\left(\frac{N \cdot \Delta\varphi}{2}\right)}{\sin^2\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right)} = I_1 \frac{\sin^2\left(\frac{N\pi d \sin(\alpha)}{\lambda_0}\right)}{\sin^2\left(\frac{\pi d \sin(\alpha)}{\lambda_0}\right)},$$



3. Интерференция света от многих когерентных источников (многолучевая интерференция)

Главные максимумы:



$$\Delta\varphi = m \cdot 2\pi, m = 0, 1, 2, \dots$$

$$d \sin(\alpha) = m \lambda_0.$$

Минимумы:

$$N \cdot \Delta\varphi = m' 2\pi, m' = 1, \dots, N - 1.$$

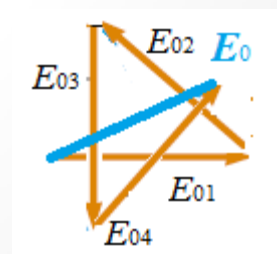
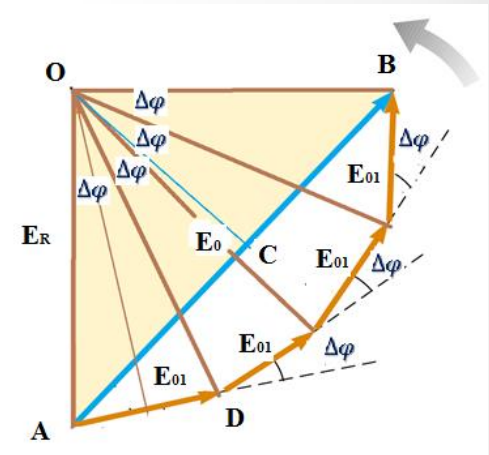
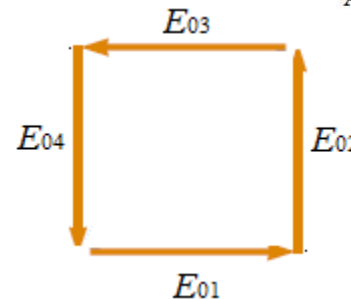
$$N d \sin(\alpha) = m' \lambda_0.$$

Между двумя гл. тах находится $N-1$ min.

Следовательно должно быть $N-2$ тах.

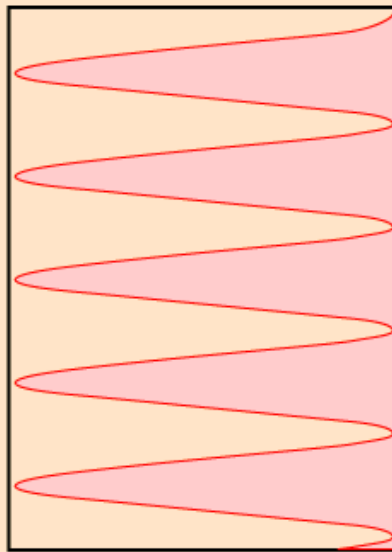
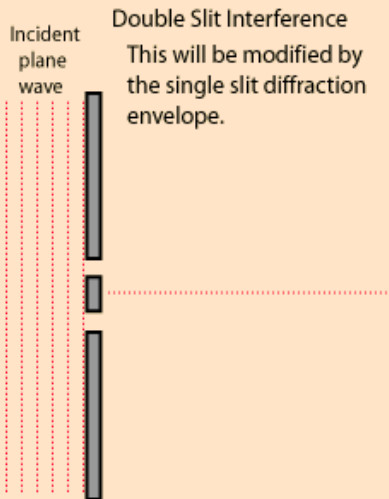
Дополнительные максимумы

$$N \cdot \Delta\varphi = (2m'' + 1)\pi, m'' = 1, \dots, N - 2.$$



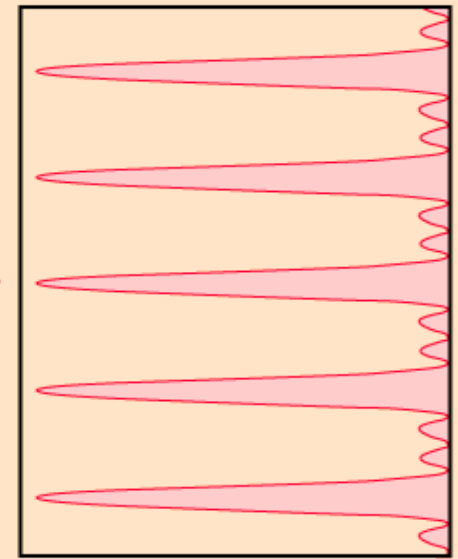
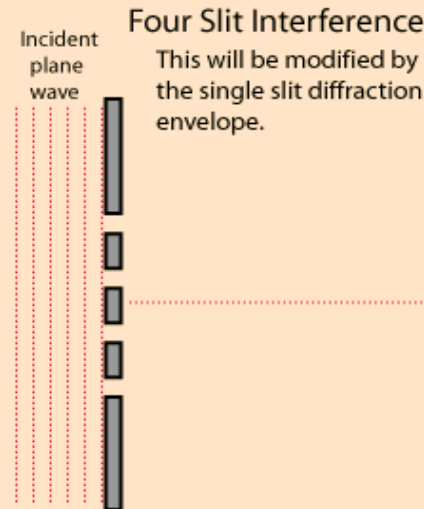
3. Интерференция света от многих когерентных источников (многолучевая интерференция)

Double Slit Interference



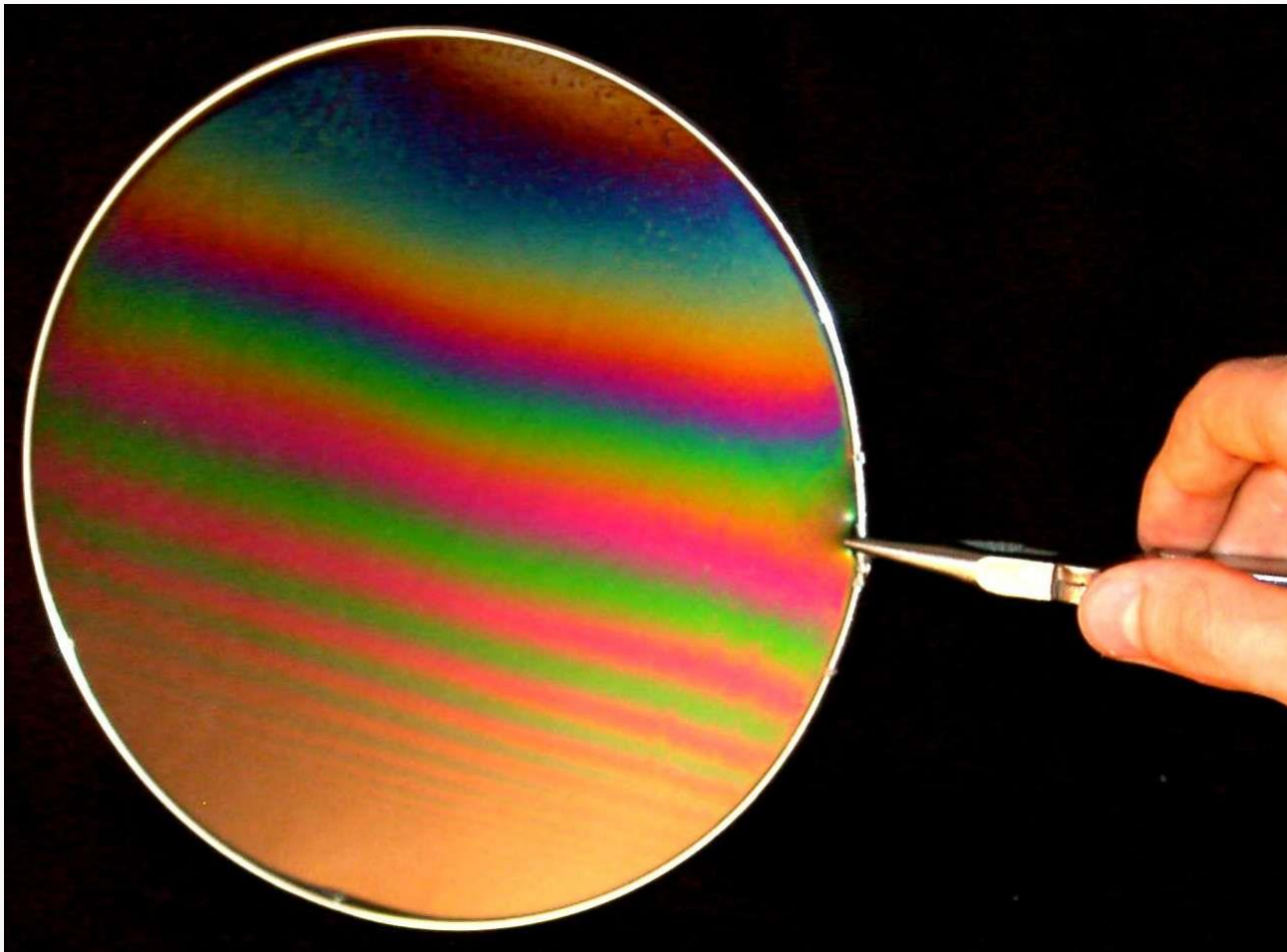
Note: Scale 2x that when diffraction included.

Four Slit Interference



Note: Scale 2x that when diffraction included.

4. Интерференция света в тонких пленках



4. Интерференция света в тонких пленках

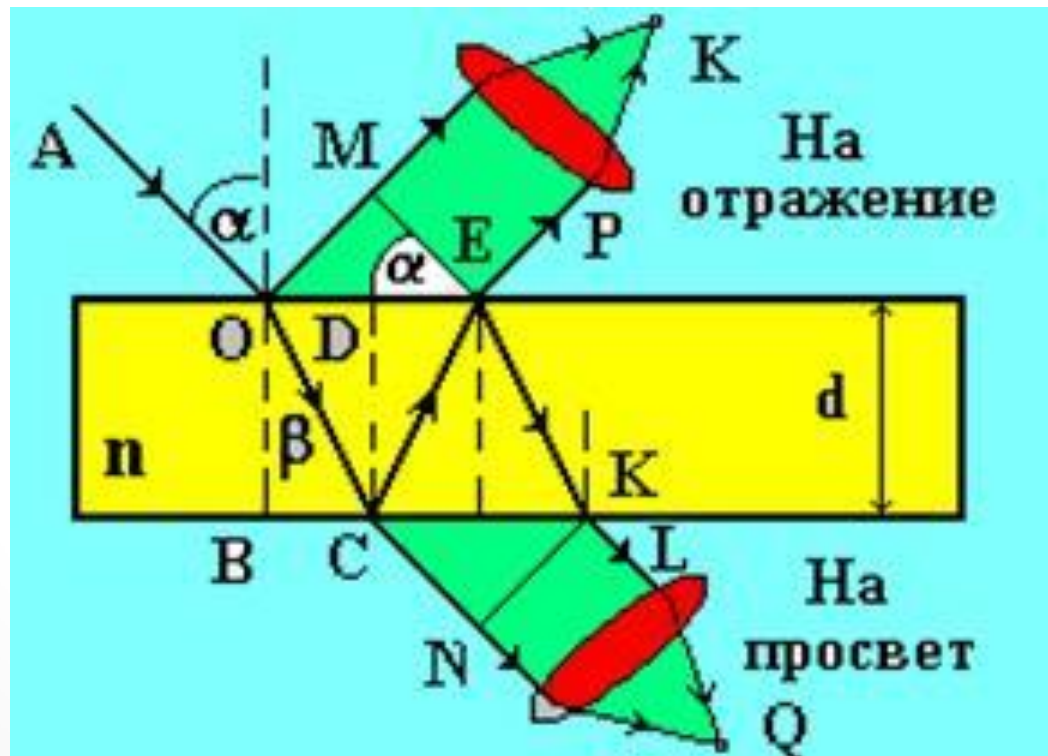


4. Интерференция света в тонких пленках



3. Интерференция света в ТОНКИХ пленках

«Деление амплитуды» при отражении. Два варианта наблюдения интерференции.



4. Интерференция света

В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ

Оптическая разность хода волн для отраженного света:

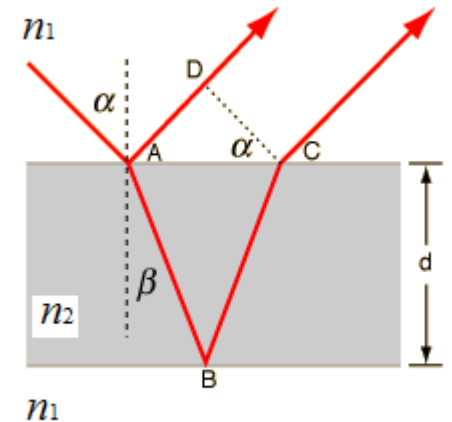
$$\begin{aligned}\Delta &= n_2 \cdot (AB + BC) - n_1 \cdot AD = \\ &= 2n_2 AB - n_1 \cdot 2AB \sin \beta \sin \alpha = \dots \\ &= 2d \sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2(\alpha)}\end{aligned}$$

Учтем изменение фазы на π при отражении как “потерю половины длины волны” :

$$\Delta = 2d \sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2(\alpha)} \mp \frac{\lambda}{2}$$

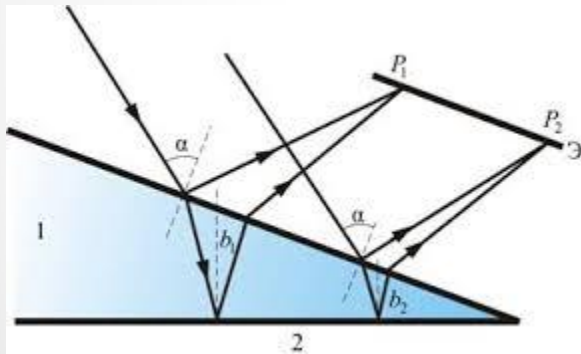
При малых углах падения:

$$\Delta = 2dn_2 \mp \frac{\lambda}{2}$$



4. Интерференция света в ТОНКИХ пленках

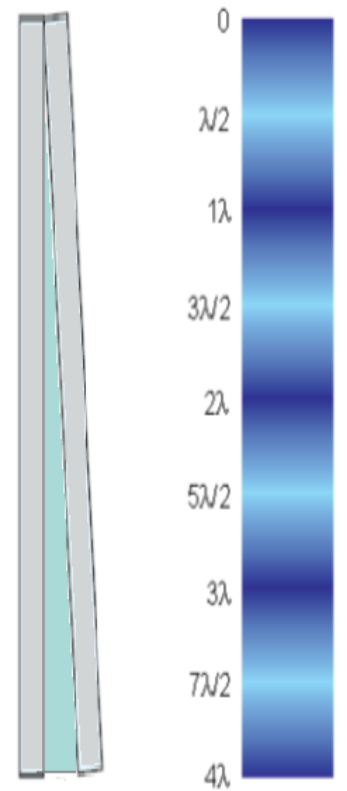
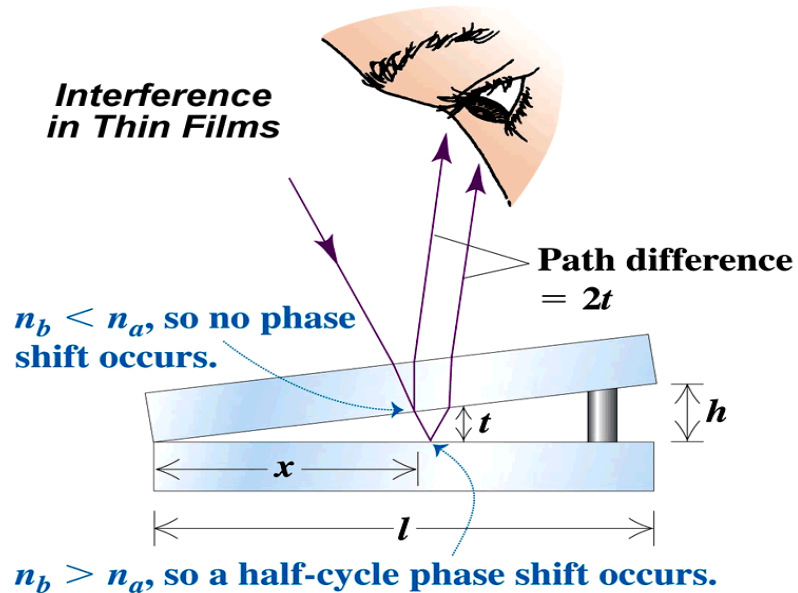
Полосы равной толщины на клине



*Interference
in Thin Films*

$n_b < n_a$, so no phase
shift occurs.

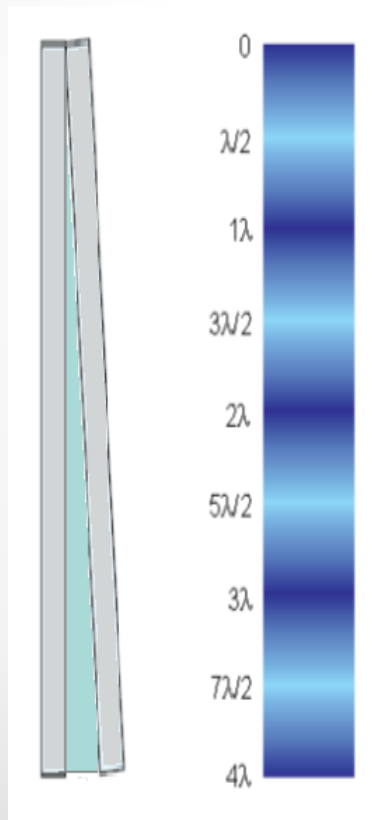
$n_b > n_a$, so a half-cycle phase shift occurs.



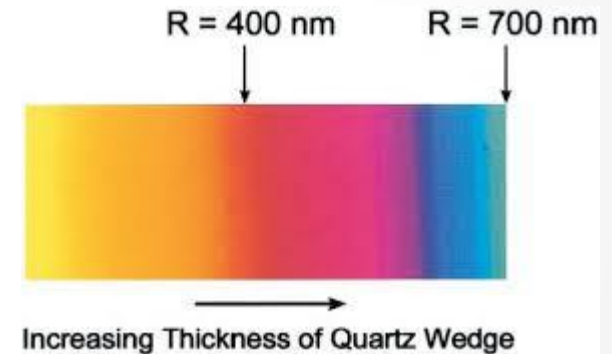
4. Интерференция света в ТОНКИХ пленках

Полосы равной толщины на клине

Монохроматическое
излучение



Белый свет

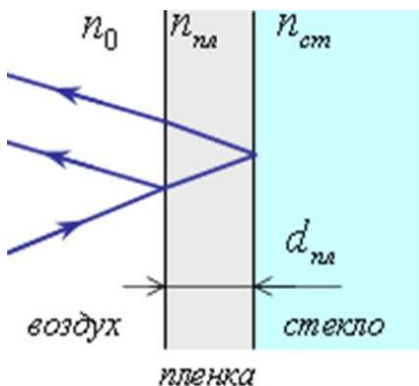


4. Интерференция света в тонких пленках

Просветление оптики

$$n_{\text{воздух}} < n_{\text{пленка}} < n_{\text{стекло}}$$

$$\text{Толщина пленки } n_{\text{пл}} d = \frac{\lambda_0}{4}$$



5. Интерферометрия.

Интерферометры

Оптические интерференционные измерения внесли значительный вклад в развитие физической и инструментальной оптики, а также в совершенствование измерительной техники и метрологии.

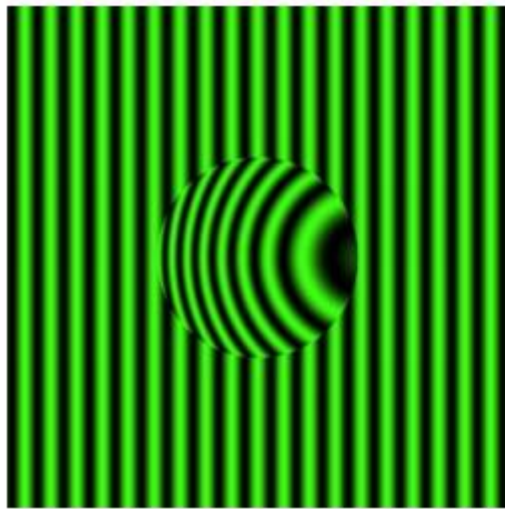
Эти измерения имеют исключительно высокую точность в широком диапазоне измеряемых величин, благодаря использованию в них в качестве меры длины волны света, равной долям микрометра и технически просто воспроизводимой в лабораторных и производственных условиях

Оптическая интерферометрия, ее техника и методология кардинальным образом изменились с изобретением и использованием лазерных источников света.

5. Интерферометрия.

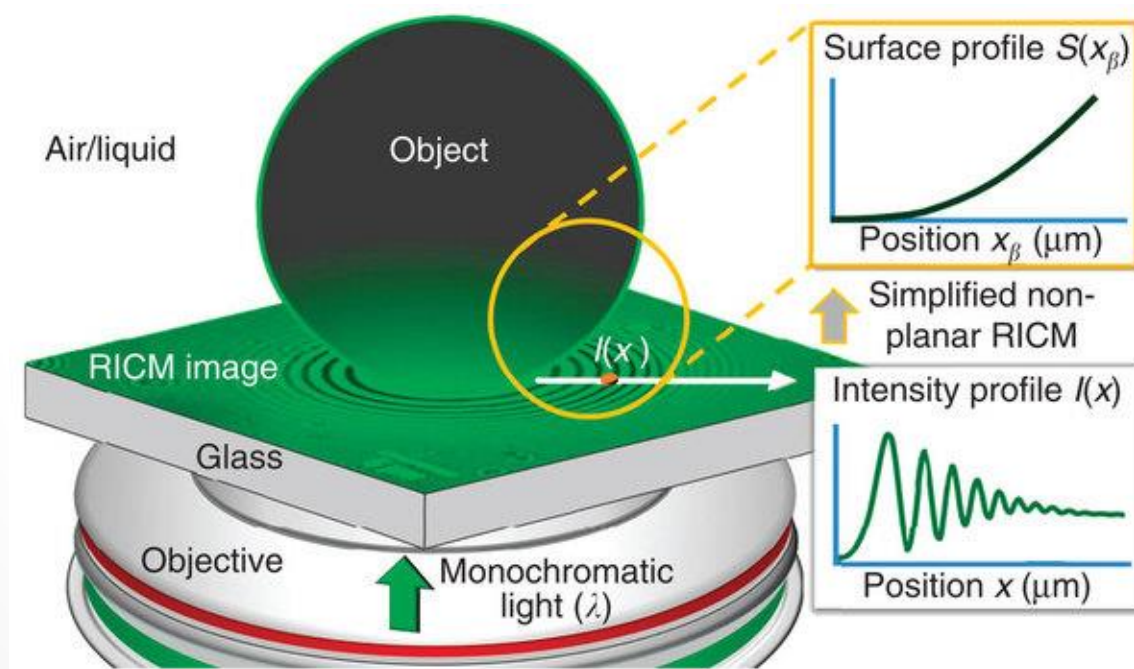
Интерферометр

Интерференционная картина от зеркала с маленьким выступом



5. Интерферометрия. Интерферометры

Интерференционная контрастная микроскопия



5. Интерферометрия.

Интерферометры

Интерферометр — измерительный прибор, действие которого основано на явлении *интерференции*.

Принцип действия: пучок электромагнитного излучения (света, радиоволн и т. п.) пространственно разделяется на два или большее количество когерентных пучков. Пучки проходят различные оптические пути и направляются на экран, создавая интерференционную картину.

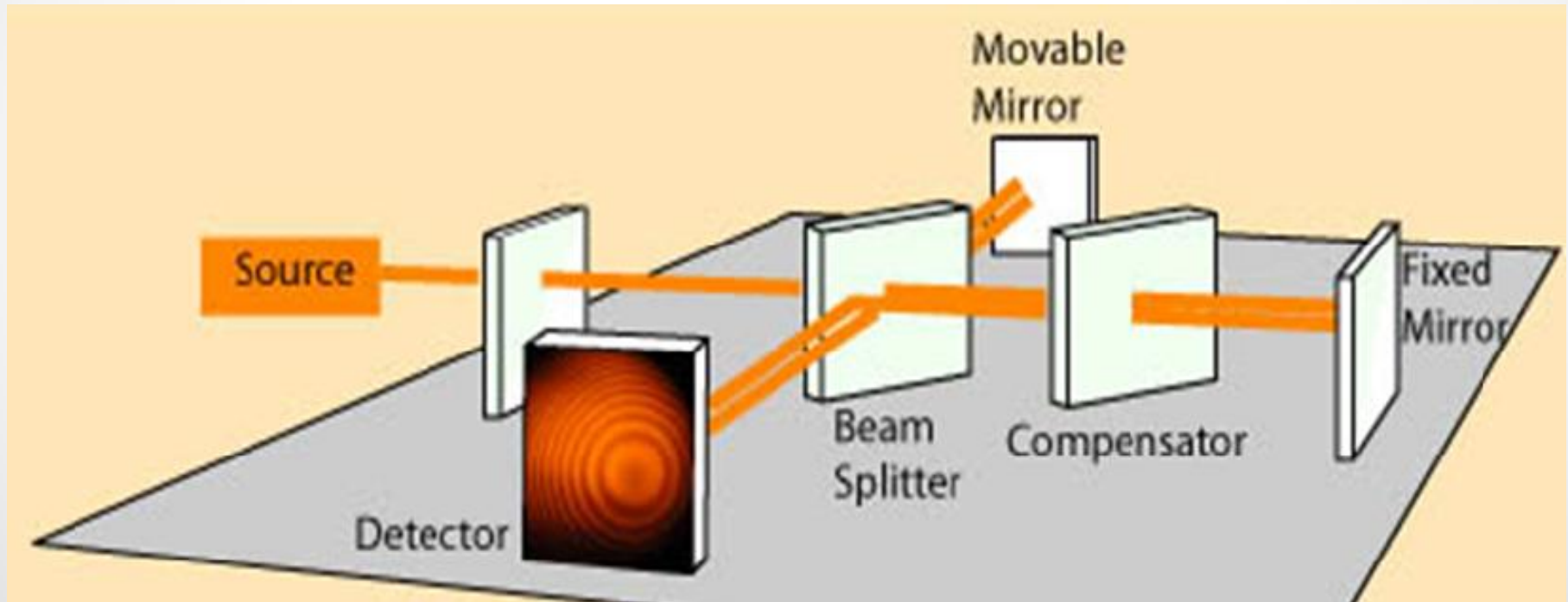
Интерферометры применяются при точных измерениях *длин, углов, показателей преломления, для оценки качества поверхностей.*

5. Интерферометрия. Интерферометры



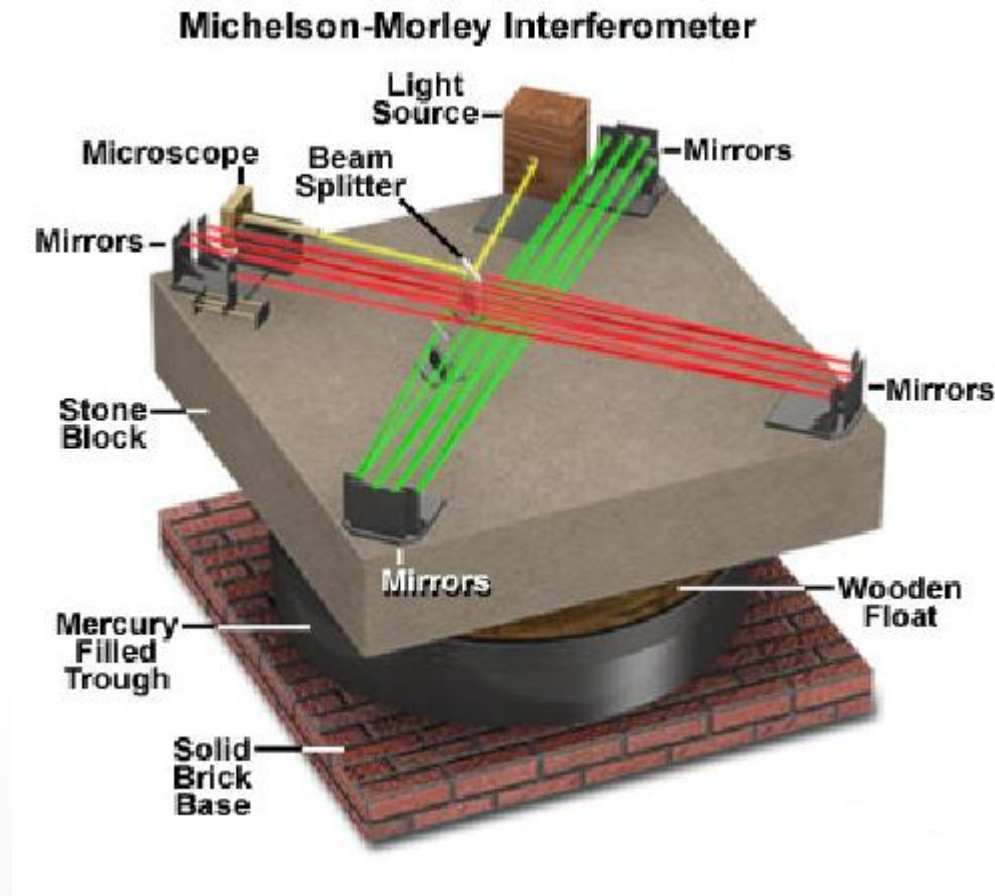
5. Интерферометрия.

Интерферометры



5. Интерферометрия.

Интерферометры



Спасибо за внимание !