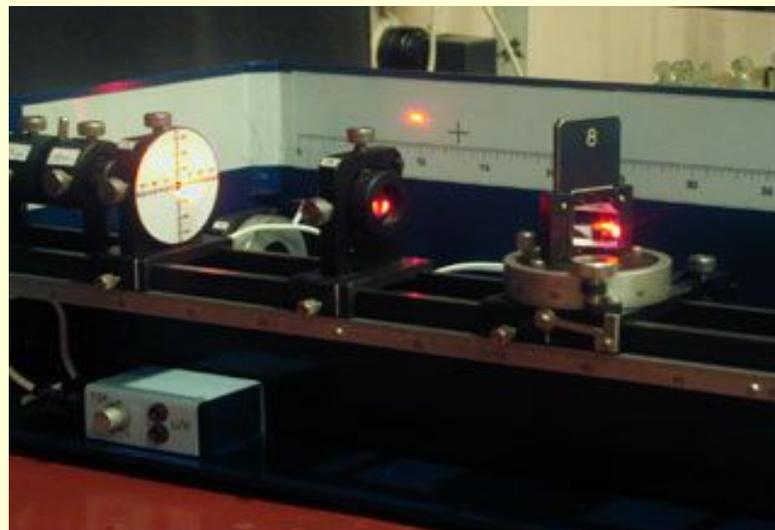


# Оптика

для студентов 2 курса ФТФ



**Авторы**

**Светлана Алексеевна Чудинова,**

**Ольга Яковлевна Березина**

**[berezina@psu.karelia.ru](mailto:berezina@psu.karelia.ru)**

Кафедра общей физики



# Интерференция света

## Часть 2

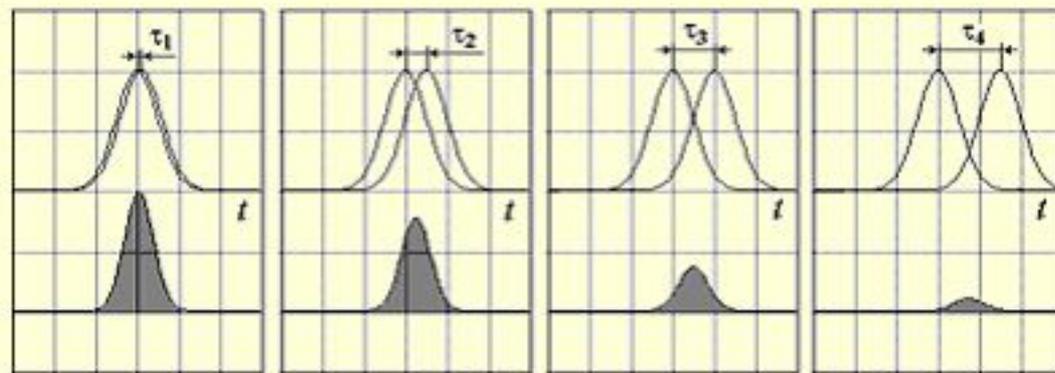
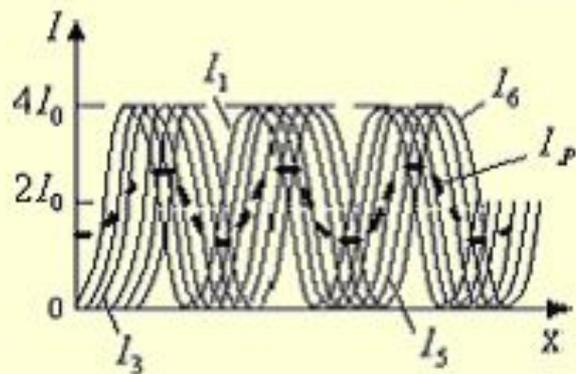
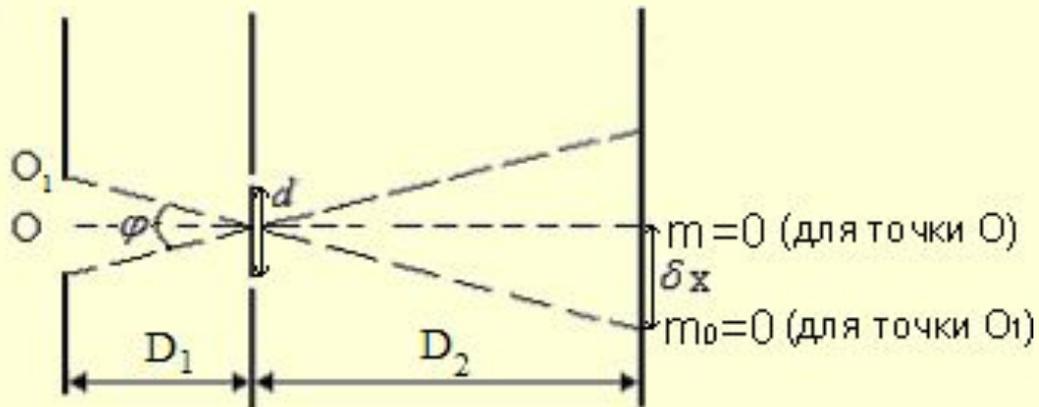
- ✓ Условие пространственной когерентности
- ✓ Интерференция в тонких пленках
- ✓ Применение явлений интерференции



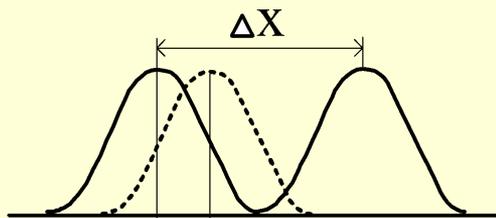
# Условие пространственной когерентности



Пространственная когерентность - это источник ухудшения картины интерференции, связанный с расходимостью светового пучка и с конечными размерами источника излучения



*Размытие интерференционной картины*



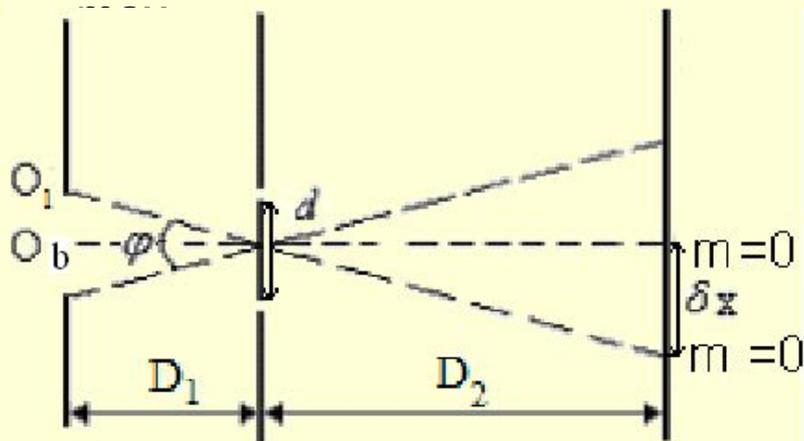
$\delta x$  - смещение 0-го

Условие наблюдения картины интерференции:

$$\delta x < \frac{\Delta x}{2}$$

Из подобия треугольников

$$\frac{\delta x}{b/2} = \frac{D_2}{D_1} \Rightarrow \delta x = \frac{b}{2} \cdot \frac{D_2}{D_1}$$



$$\Delta x = \frac{\lambda D_2}{d} \rightarrow \frac{b}{2} \cdot \frac{D_2}{D_1} < \frac{\lambda D_2}{2d}$$

$$\varphi = \frac{b}{D_1} \text{ - угловой размер источника}$$

Оценочное условие пространственной когерентности:

$$d < \frac{\lambda}{\varphi}$$

Предельное расстояние между щелями:

$$d_{\text{пред}} = \frac{\lambda}{\varphi}$$

$d_{\text{пред}} = \rho_{\text{ког}}$  – радиус когерентности волнового поля, максимальное расстояние между точками волновой поверхности, на котором вторичные волны, испускаемые этими точками, еще будут когерентными.

## Пример

При наблюдении картины интерференции от Солнца  
(его угловые размеры  $\varphi = 0,1 \text{ рад}$ ) для  $\lambda_0 = 550 \text{ нм}$

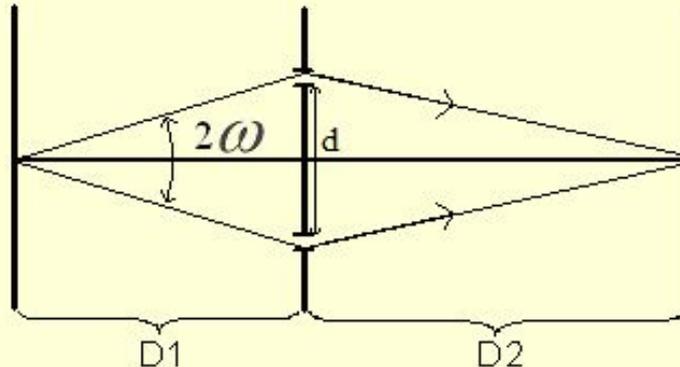
$$\rho_{\text{ког}} = \cancel{dM} \frac{\lambda_0}{\varphi} = \frac{5,5 \cdot 10^{-7}}{0,01} = 0,055$$

Объем когерентности

$$V_{\text{ког}} = \pi \cdot \rho_{\text{ког}}^2 \cdot l_{\text{ког}}$$

- объединенное условие пространственной и временной когерентности

## Влияние ширины источника на интерференционную картину



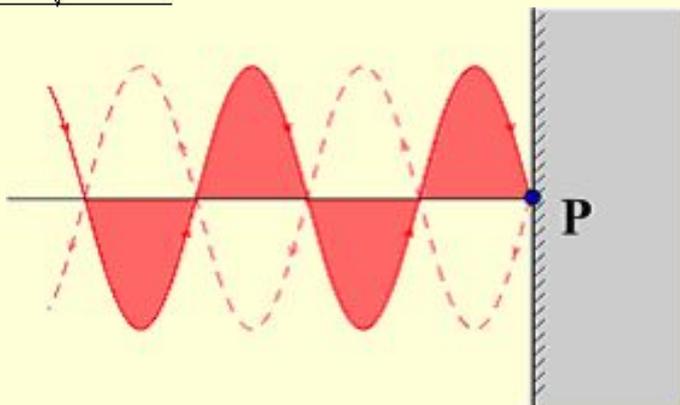
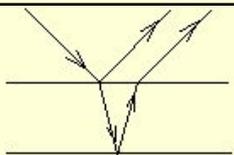
Условие достаточной резкости картины интерференции:

$$\frac{b_{\max}}{2} \cdot \frac{D_2}{D_1} = \frac{\lambda D_2}{4d} \quad \Rightarrow \quad b_{\max} \operatorname{tg} \omega = \frac{\lambda}{4}$$

$$\delta x < \frac{\Delta x}{4}$$

$2\omega$  - апертура интерференции – угол между лучами, сходящимися в одной точке интерференционного поля в момент их выхода из источника.

# Интерференция в тонких пленках



Отражение от более плотной среды

$$L_1 = (AD) \cdot n_1 (+\lambda/2) \quad (\text{"+"}, \text{если } n > n_1)$$

$$L_2 = (ABC) \cdot n (+\lambda/2) \quad (\text{"+"}, \text{если } n_2 > n)$$

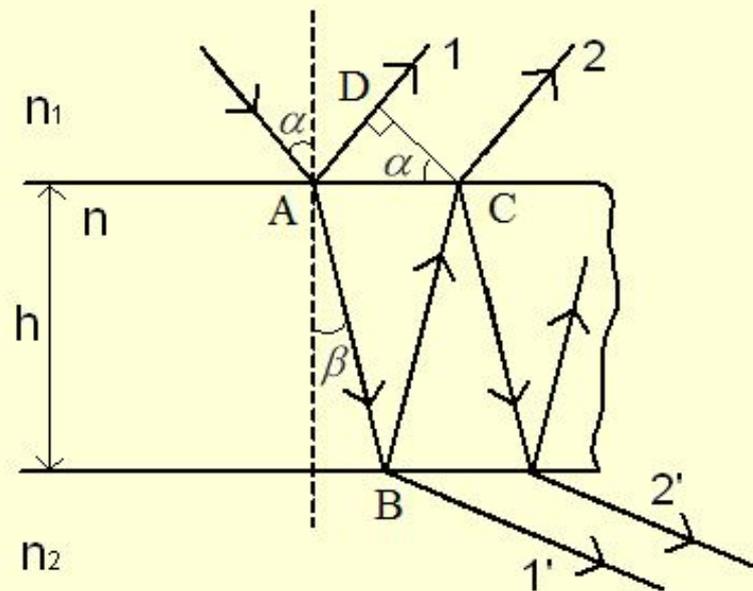
$$\Delta_{12} = L_2 - L_1 = (ABC) \cdot n - (AD) \cdot n_1 \pm \lambda/2$$

$$\Delta_{12} = m \lambda$$

- условие максимума интерференции

$$2hn \cos \beta \pm \frac{\lambda}{2} = m \lambda$$

- условие максимума при интерференции на тонкой пленке



$$AD = AC \cdot \sin \alpha$$

$$AB = BC = \frac{h}{\cos \beta}$$

$$AC = 2h \cdot \operatorname{tg} \beta$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n}{n_1}$$

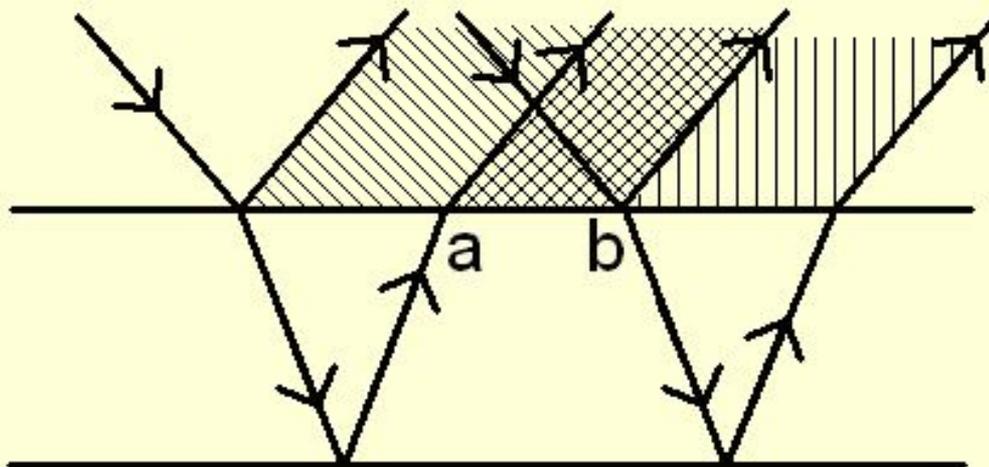
$$\Delta_{12} = 2hn \cos \beta \pm \frac{\lambda}{2}$$

# Виды интерференционных картин на тонких пленках

## 1. Цвета тонких пленок

– интерференция при освещении пленки широким пучком

Условия:  $h = \text{const}$ , пучок лучей широкий и параллельный



### Проявление интерференции

При освещении **белым светом** – окраска области **ab** в тот цвет, для  $\lambda$  которого выполняется условие максимума:  $\Delta_{12} = m\lambda$ .

При освещении **монохроматическим светом** ( $\lambda = \text{const}$ ) – область **ab** ярко освещена, если для  $\lambda$  выполняется условие максимума; область **ab** черная, если для  $\lambda$  выполняется условие минимума  $\Delta_{12} = (m + \frac{1}{2}) \lambda$ .

# Примеры применения

## 1. Просветление оптики

## 2. Получение диэлектрических зеркал

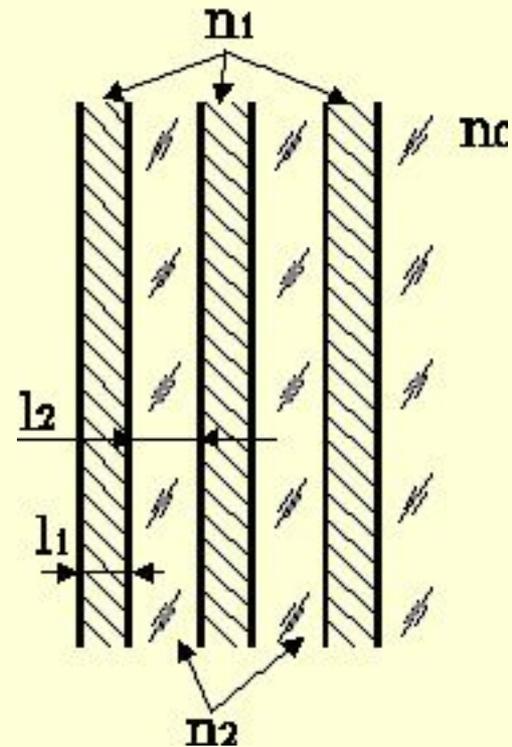
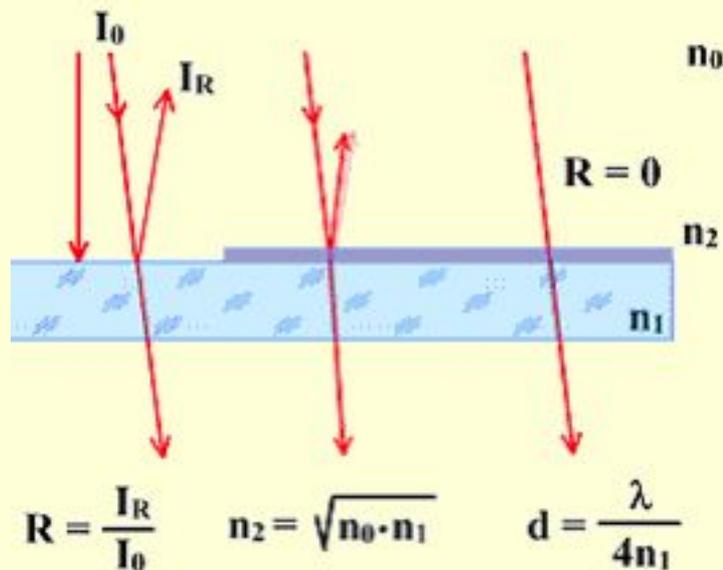
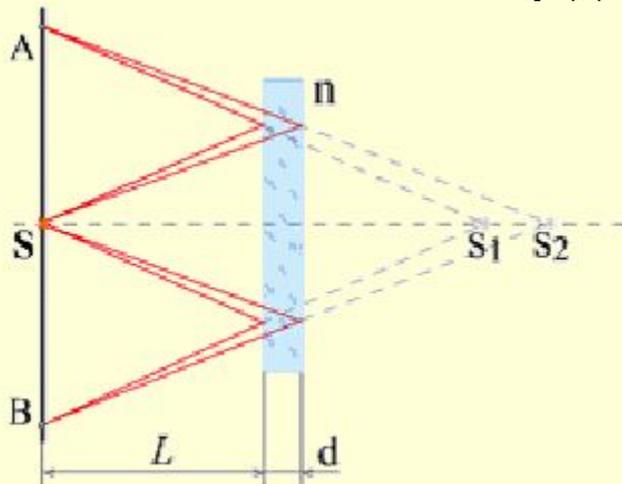
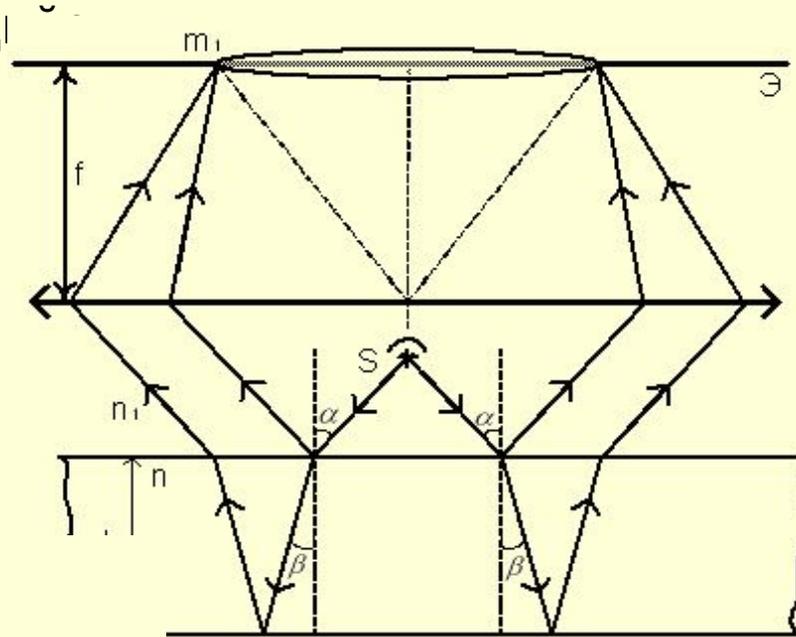


Схема многослойного диэлектрического покрытия ( $n_1 > n_0$ ,  $n_1 > n_2$ ,  $n_1 l_1 = n_2 l_2 = \lambda_0/4$ )

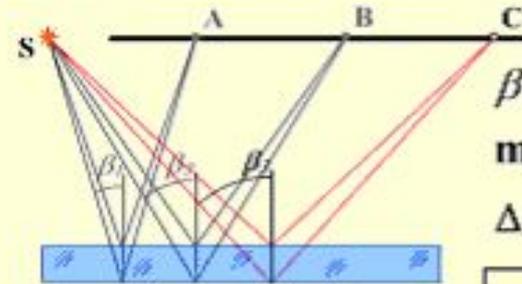
С семью слоями  $R = 0,9$  в спектральной области шириной порядка 50 нм. Для получения коэффициента отражения  $R = 0,99$  (такие зеркала используются в лазерных резонаторах) надо нанести 11-13 слоев.

## 2. Линии равного наклона

Условия:  $h = \text{const}$ ,  $\lambda = \text{const}$ , световой пучок – расходящийся



$$\cos \beta \pm \frac{\lambda}{2}$$



$$\beta_1 < \beta_2 < \beta_3$$

$$m_A > m_B > m_C$$

$$\Delta_A > \Delta_B > \Delta_C$$

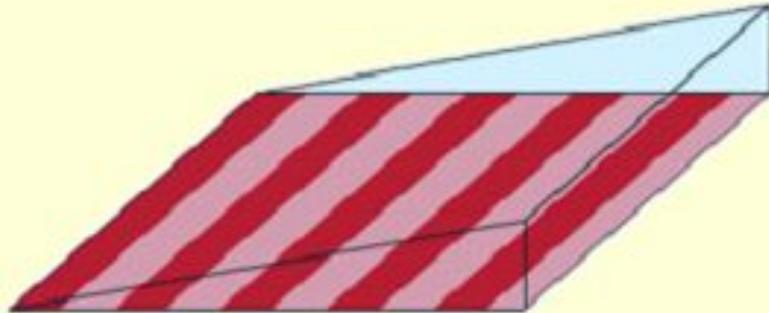
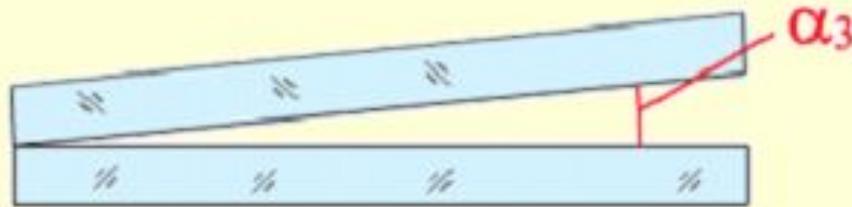
$$\Delta = 2dn \cdot \cos \beta + \frac{\lambda}{2}$$

*Свойства полос равного наклона*

Полосы локализованы в бесконечности, имеют вид колец.

### 3. Линии равной толщины

Условия: толщина пленки плавно изменяется ( $h \neq \text{const}$ ), представляя собой клин. Пучок параллельный.



*Система полос равной толщины*

$$\Delta_{12} = 2h \cdot n \cdot \cos \beta \pm \frac{\lambda}{2}$$

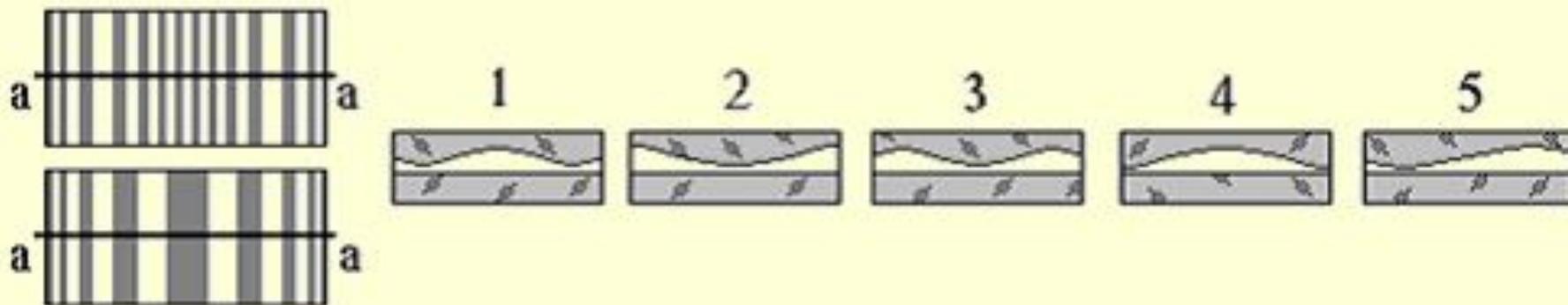
$$\Delta_{12} = m\lambda$$

- максимум (светлая полоса)

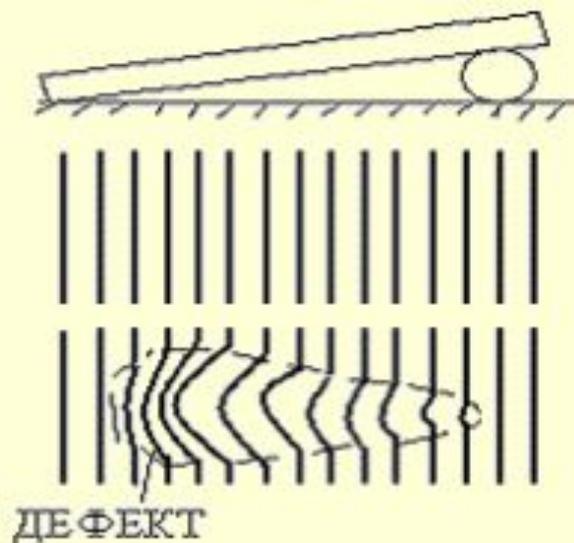
$$\Delta_{12} = (m + \frac{1}{2})\lambda$$

- минимум (темная полоса)

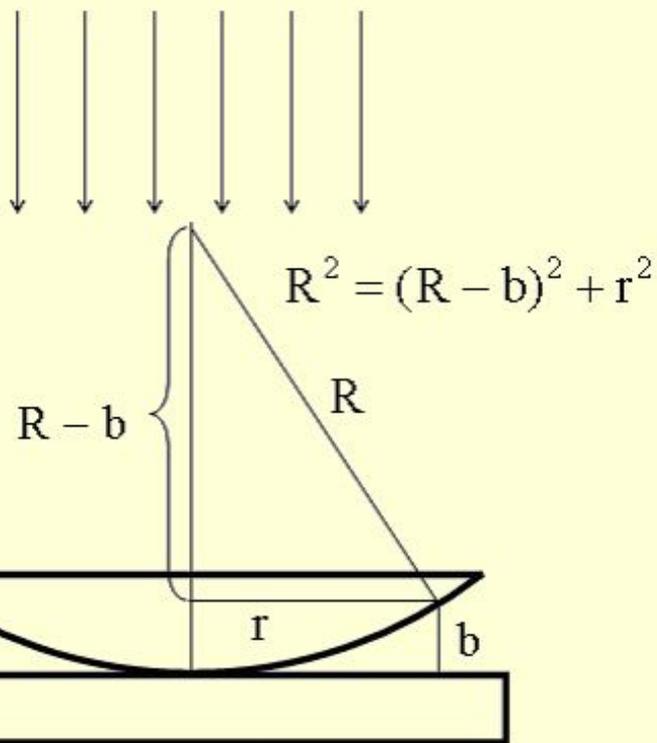
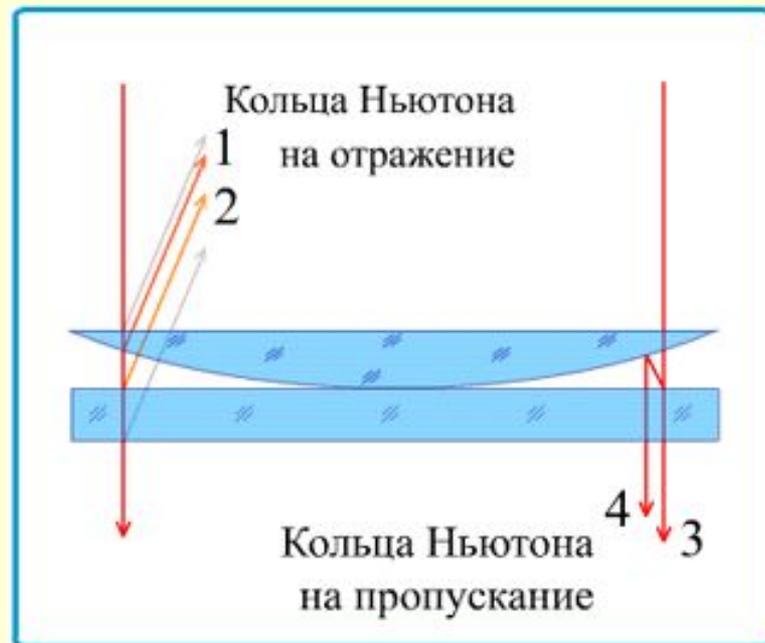
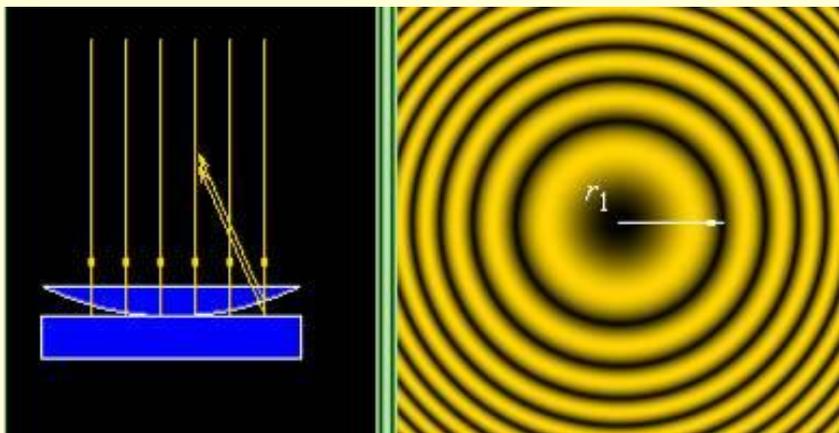
**Задание.** Определите, какие два зазора из представленных пяти соответствуют данным системам интерференционных полос равной толщины:



**Пример применения** - определение качества обработки поверхностей



# Кольца Ньютона



$$b = \frac{r^2}{2R}, \text{ т.к. } b^2 \rightarrow 0$$

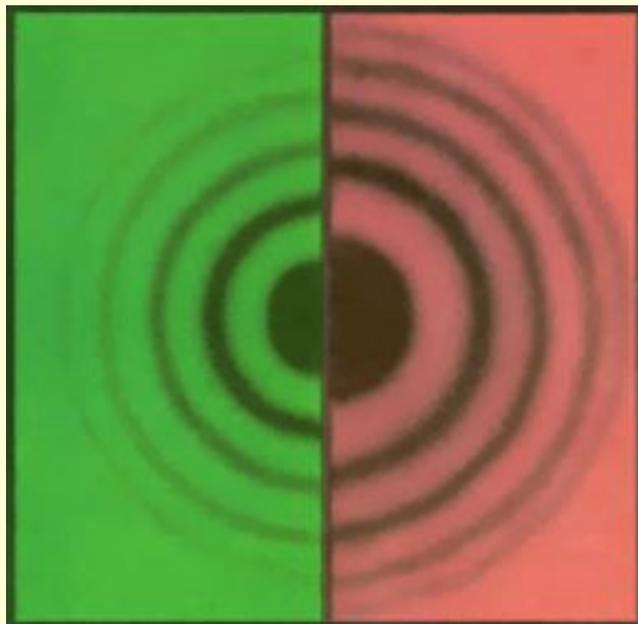
$$\Delta = 2bn + \frac{\lambda}{2} = \frac{r^2}{R} + \frac{\lambda}{2}$$

Условие максимума (светлые кольца)  $\Delta = m \lambda$ , где  $m$  – целое число.

$$r_m = \sqrt{(m - 1/2)\lambda R}$$
 - радиус  $m$ -го *светлого* кольца в *отраженном* свете  
(и *темного* – в *прошедшем*)

Условие минимума (темные кольца)  $\Delta = (m + 1/2) \lambda$ .

$$r_m = \sqrt{m\lambda R}$$
 - радиус  $m$ -го *темного* кольца в *отраженном* свете  
(и *светлого* – в *прошедшем*)



*Кольца Ньютона в зеленом и красном свете*

**Пример применения** – проверка качества шлифовки линз.

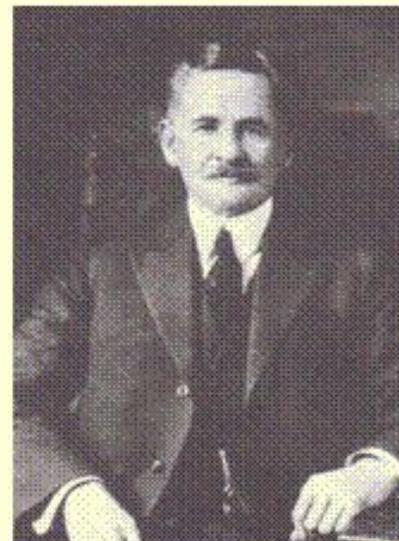
# Применение интерференции

## Для измерений:

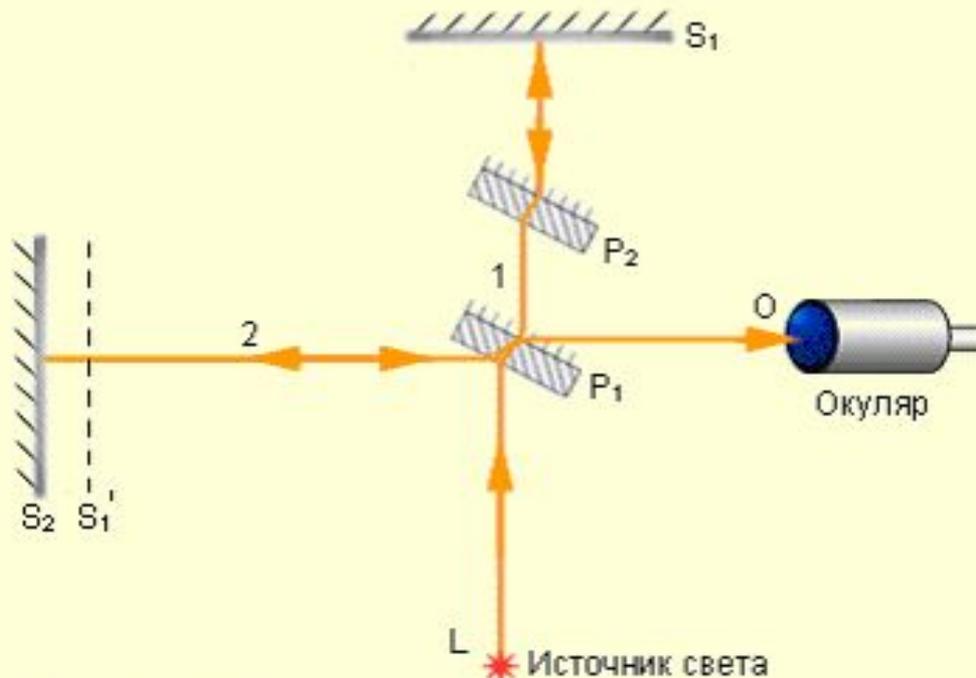
- Длины волны  $\lambda$
- Коэффициента преломления  $n$
- Длин эталонов
- Малых перемещений
- Деформаций
- Качества обработки поверхностей

# Интерферометры

## Интерферометр Майкельсона



Алберт Майкельсон



$S_1$  и  $S_2$  – зеркала

$P_1$  и  $P_2$  – разделительная и компенсационная пластинки

$P_1$  – светоотделитель (полупрозрачная пластинка)

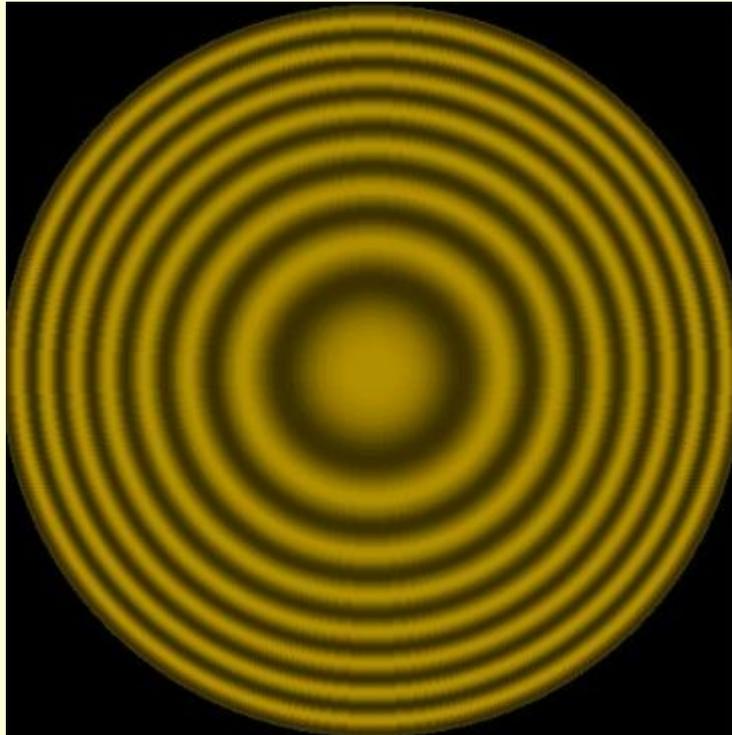
$S_1'$  – референтная плоскость (плоскость сравнения)

– совпадает с изображением зеркала  $S_1$  в полупрозрачном слое.

Если зеркало  $S_2$  совпадает с референтной плоскостью, то  $\Delta = 2(L_1 - L_2) = 0$

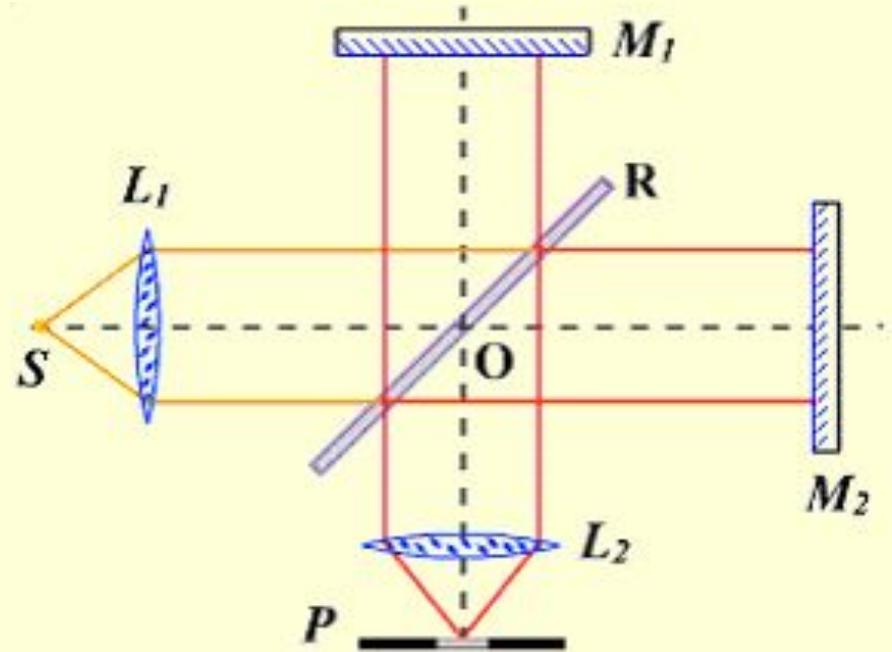
## Можно получить 2 класса картин:

1. *Линии равного наклона*



Зеркало  $S_2$  смещено от референтной плоскости, между  $S_1$  и  $S_2$  как бы плоскопараллельная пластинка. От источника света - расходящийся пучок.

2. *Линии равной толщины*



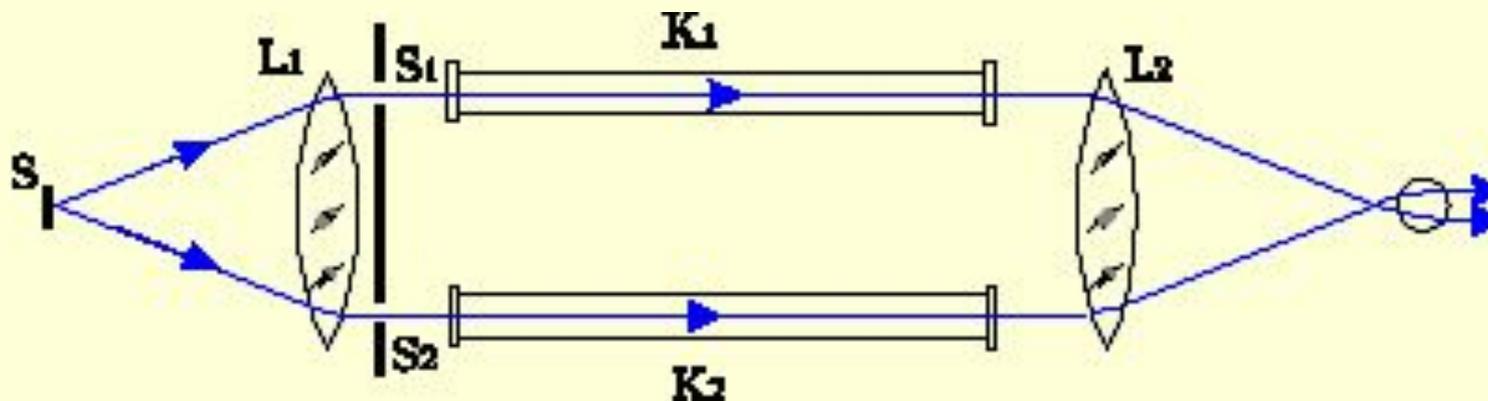
Зеркало  $S_2$  наклонено к референтной плоскости. От источника света - параллельный пучок (через линзу)

## Интерферометр Линника

Предназначен для оценки качества поверхности.  
Для этого одно из зеркал нужно заменить поверхностью.

## Интерферометр Релея

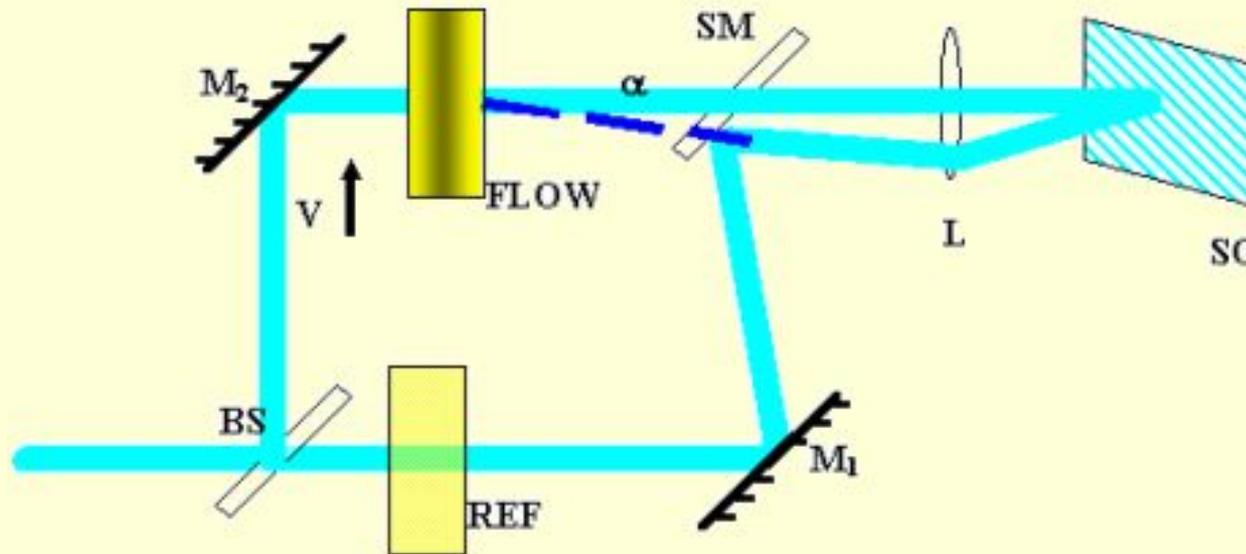
Предназначен для измерения показателей преломления газов и жидкостей



Внизу свет идет вне кювет. Нижняя система интерференционных полос - шкала для отсчета. Добавочная разность хода  $\Delta = (n_2 - n_1)l$ , где  $n_1$  и  $n_2$  - коэффициенты преломления веществ, заполняющих кюветы. Верхняя система полос сдвинута относительно нижней. По смещению с помощью компенсатора определяют  $n_2 - n_1$ . Позволяет обнаружить изменение  $n_2 - n_1$  около  $10^{-7}$ .

## Интерферометр Маха-Цендера

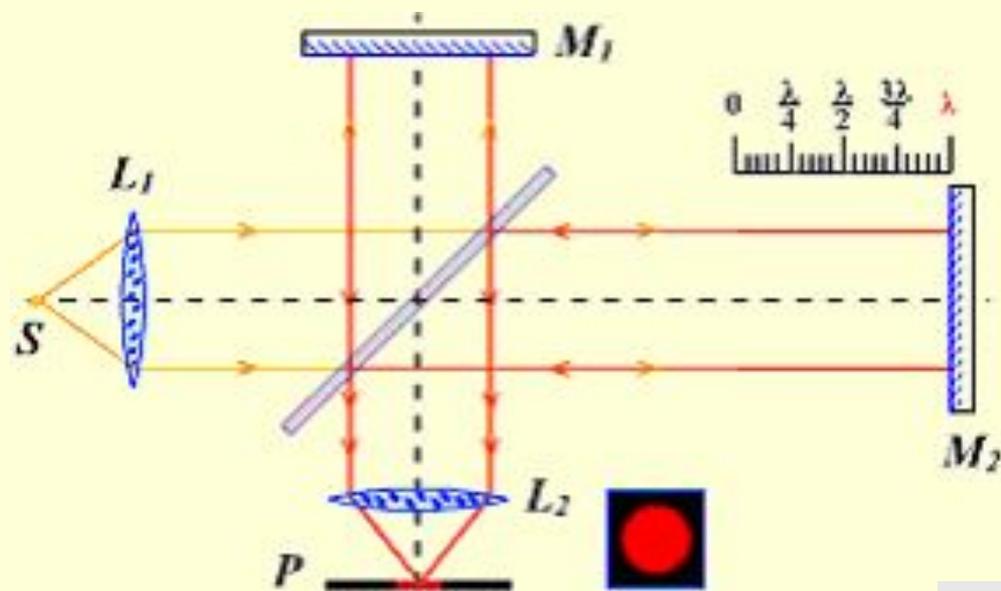
предназначен для интерференционных измерений модуляции плотности в газовых потоках (в аэродинамических трубах и т.п.).



$n = 1 + t\lambda/L$ ,  
где  $L$  - длина кюветы,  
 $t$  - порядок интерференции



# Фурье - спектрометр



Продолжение  
следует

