

Оптика

для студентов 2 курса ФТФ



Авторы

Светлана Алексеевна Чудинова,

Ольга Яковлевна Березина

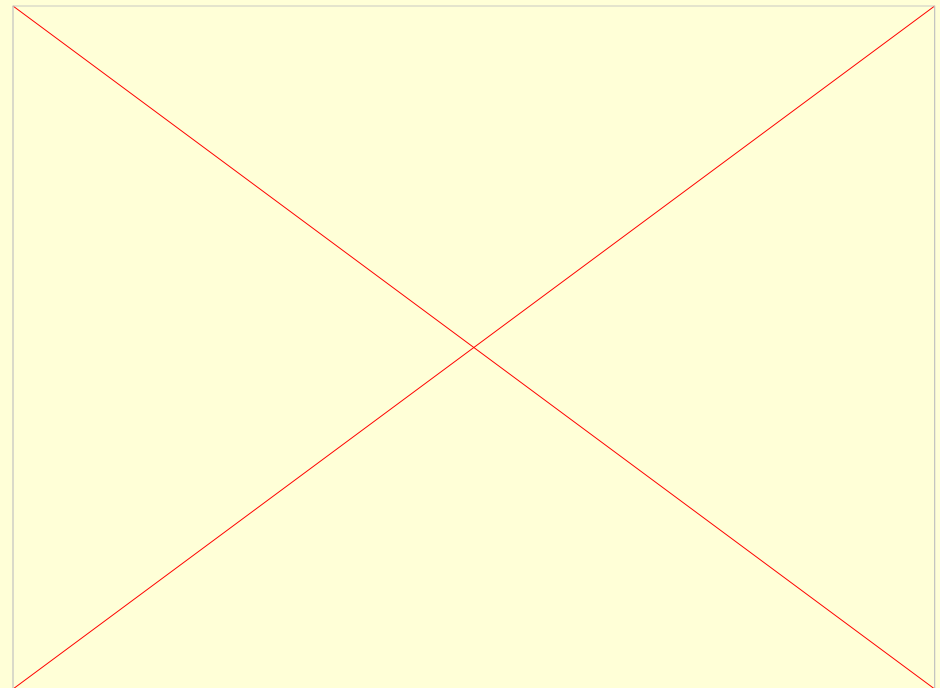
berezina@psu.karelia.ru

Кафедра общей физики

Интерференция света

Часть 2

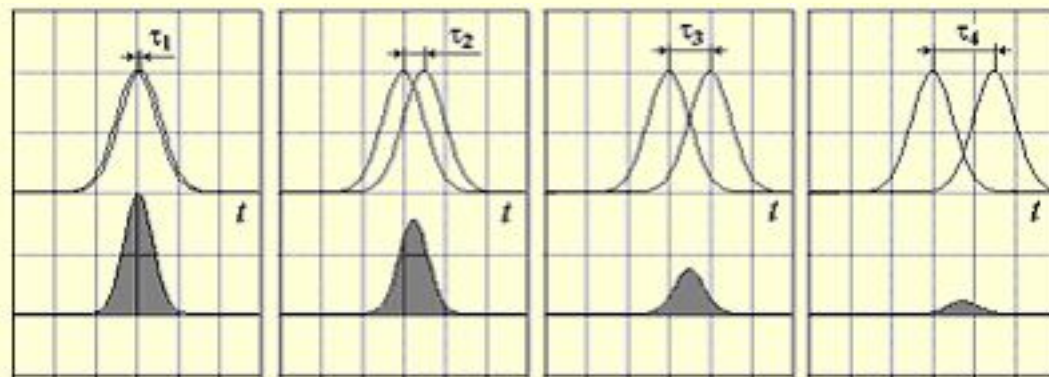
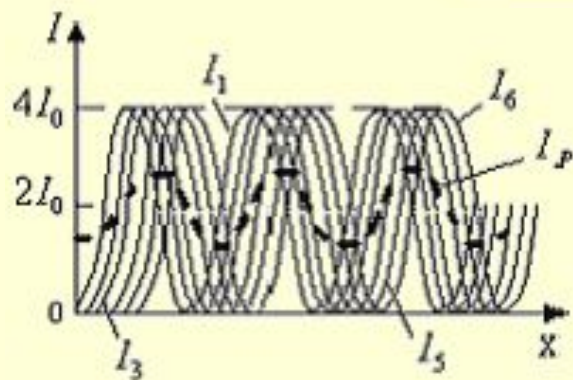
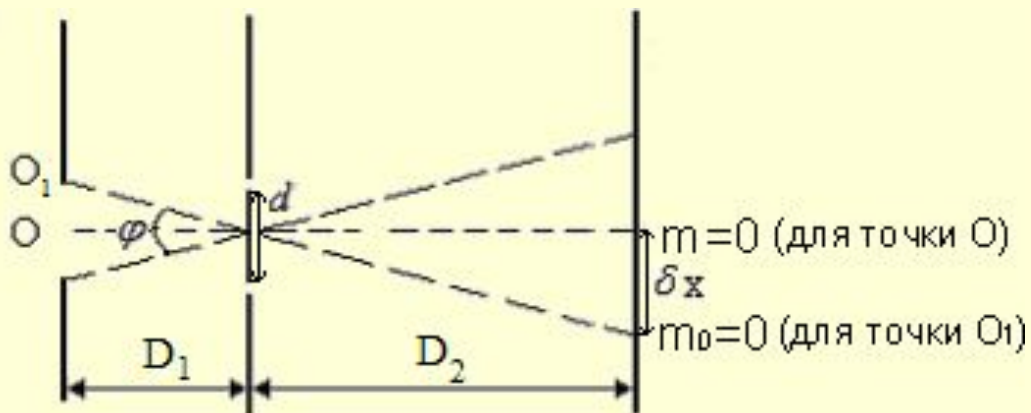
- ✓ **Условие пространственной когерентности**
- ✓ **Интерференция в тонких пленках**
- ✓ **Применение явлений интерференции**



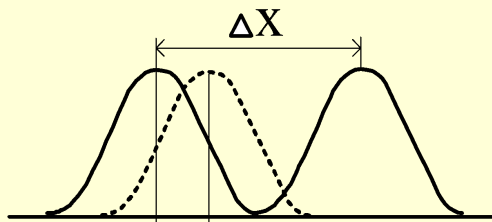
Условие пространственной когерентности



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



Размытие интерференционной картины



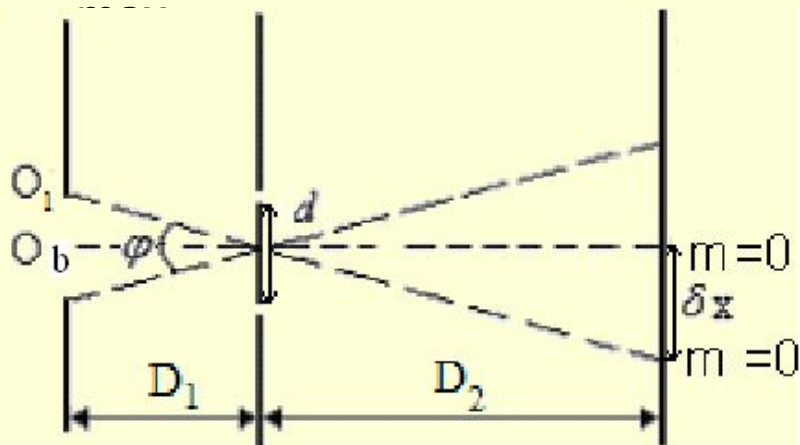
δx - смещение 0-го

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 $\lambda_0 = 550 \text{ нм}$

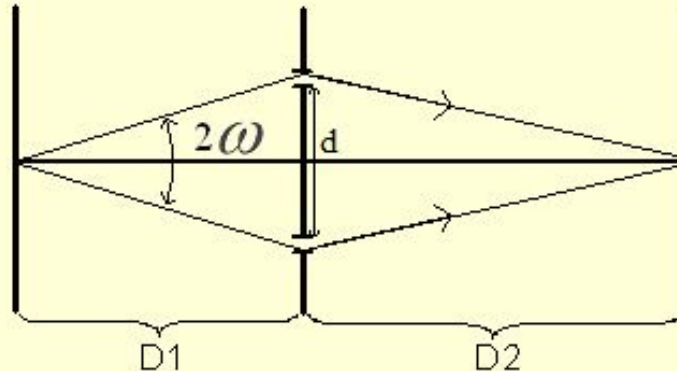
$$\rho_{\text{ког}} = \cancel{dM} \frac{\lambda_0}{\varphi} = \frac{5,5 \cdot 10^{-7}}{0,01} = 0,055$$

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



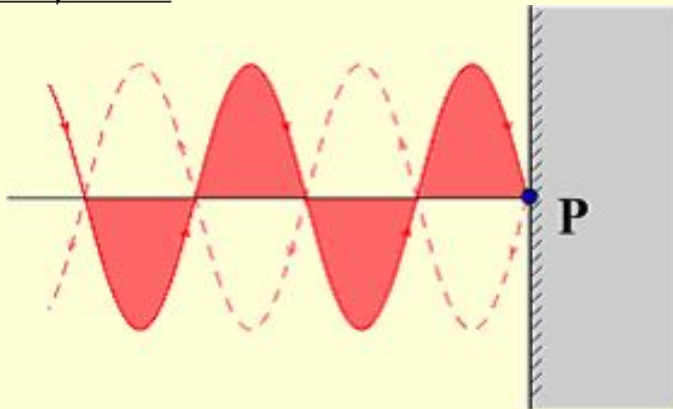
Условие достаточной резкости картины интерференции:

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

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

2ω - 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

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

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

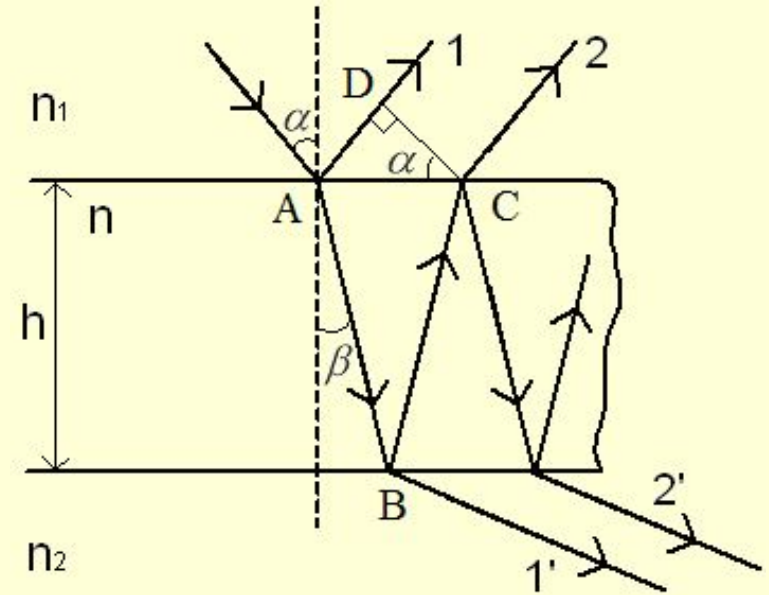
$$\Delta_{12} = L_2 - L_1 = (ABC) \cdot n - (AD) \cdot n_1 \pm \lambda/2$$

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

- условие максимума интерференции

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

- условие максимума при интерференции на тонкой пленке



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

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

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

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

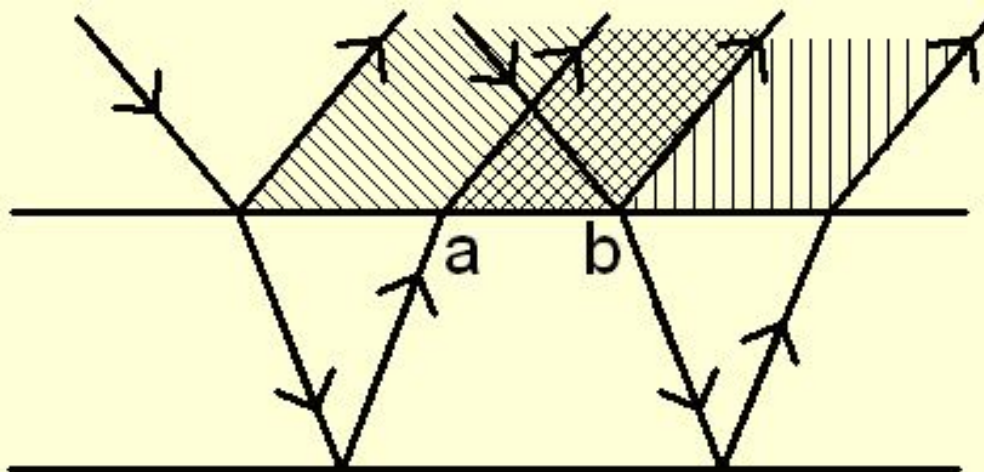
$$\Delta_{12} = 2hn \cos \beta \pm \frac{\lambda}{2}$$

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 λ которого выполняется условие максимума: $\Delta_{12} = m\lambda$.

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

Примеры применения

1. Просветление оптики

2. Получение диэлектрических зеркал

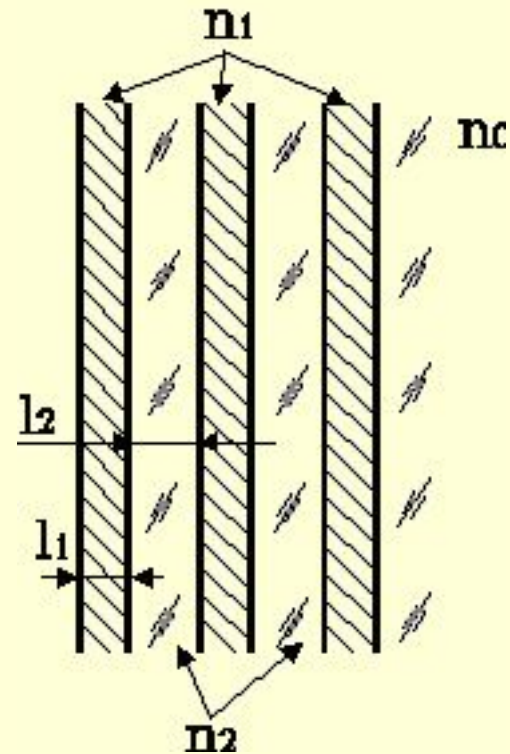
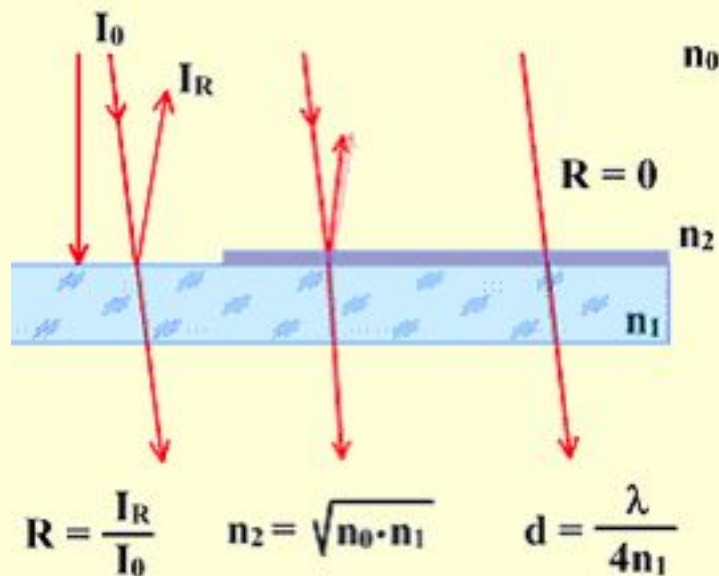
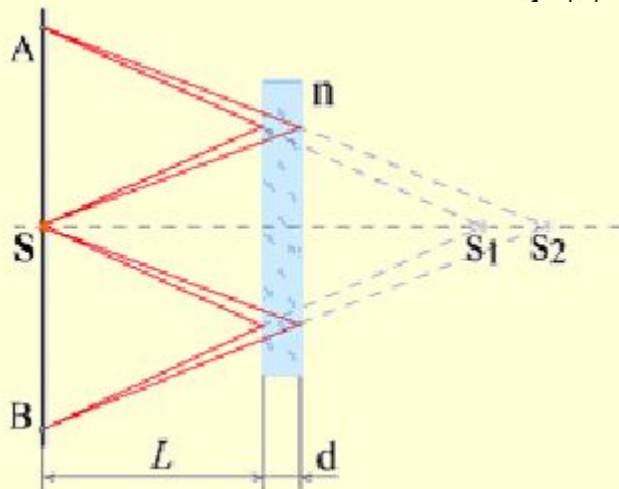
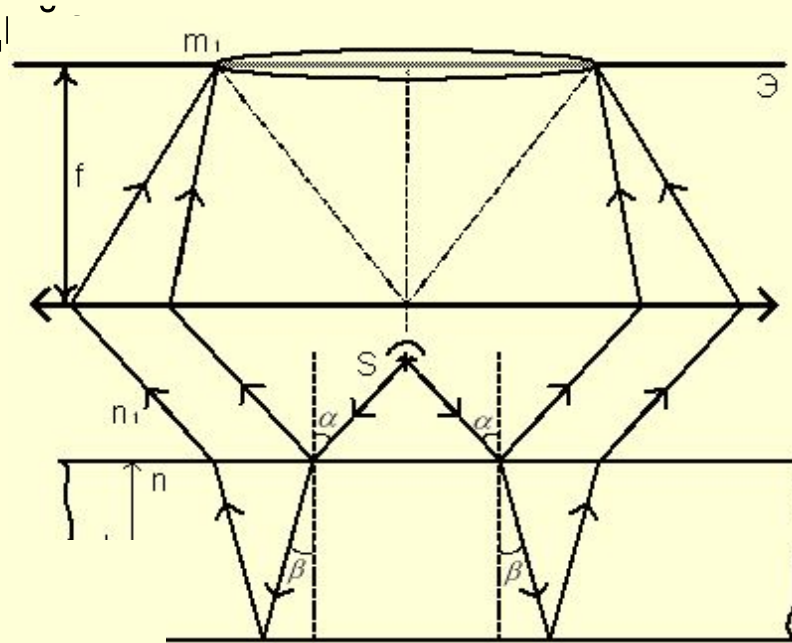


Схема многослойного диэлектрического покрытия ($n_1 > n_0$, $n_1 > n_2$, $n_1 l_1 = n_2 l_2 = \lambda_0 / 4$)

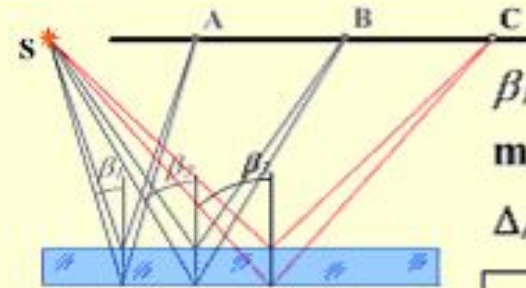
С семью слоями $R = 0,9$ в спектральной области шириной порядка **50 нм**. Для получения коэффициента отражения $R = 0,99$ (такие зеркала используются в лазерных резонаторах) надо нанести **11-13** слоев.

2. Линии равного наклона

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



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



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

$$m_A > m_B > m_C$$

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

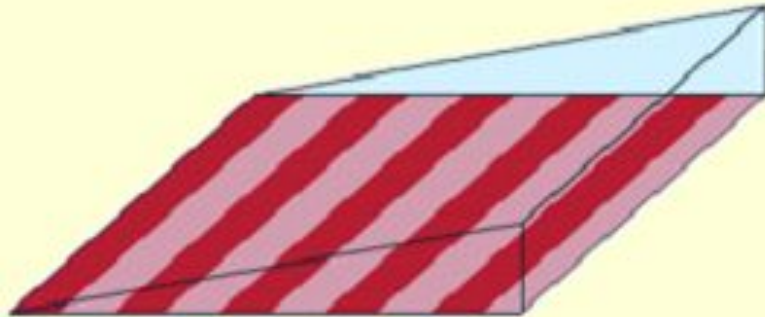
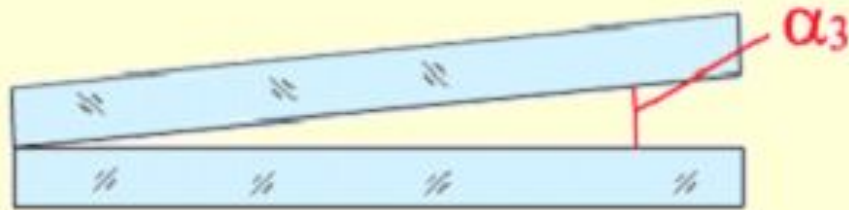
$$\Delta = 2dn \cdot \cos \beta + \frac{\lambda}{2}$$

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

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

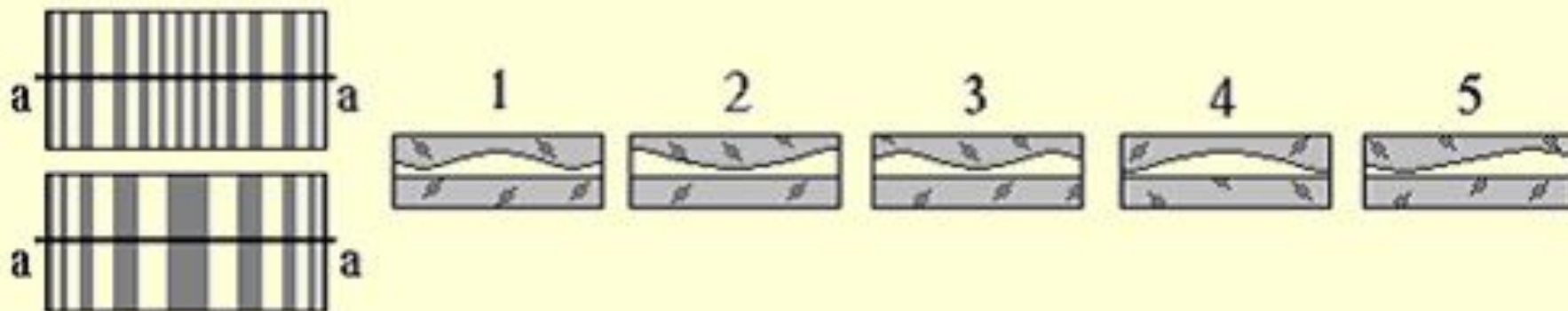
$$\Delta_{12} = m\lambda$$

- максимум (светлая полоса)

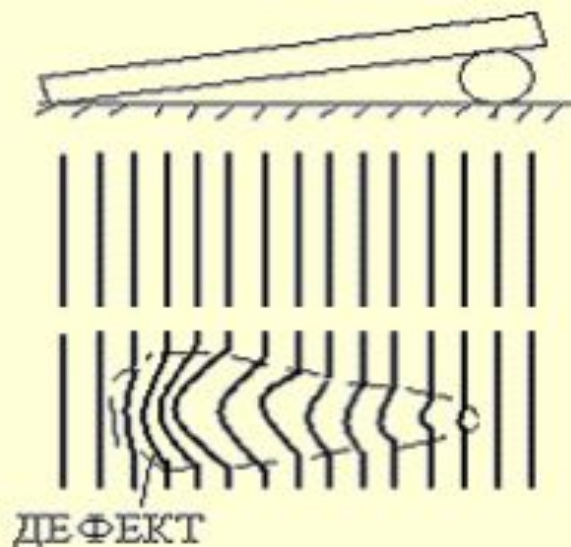
$$\Delta_{12} = (m + \frac{1}{2})\lambda$$

- минимум (темная полоса)

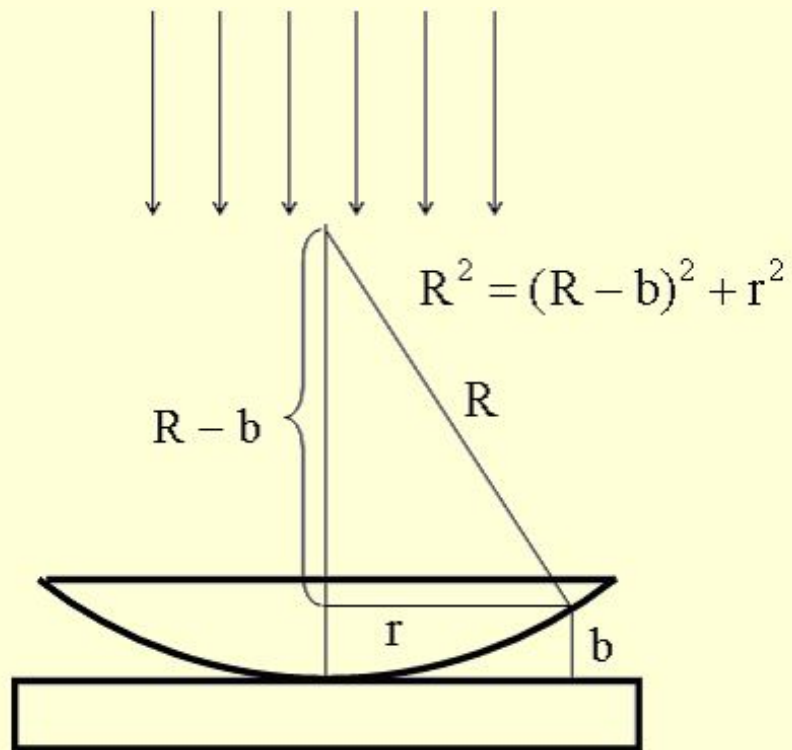
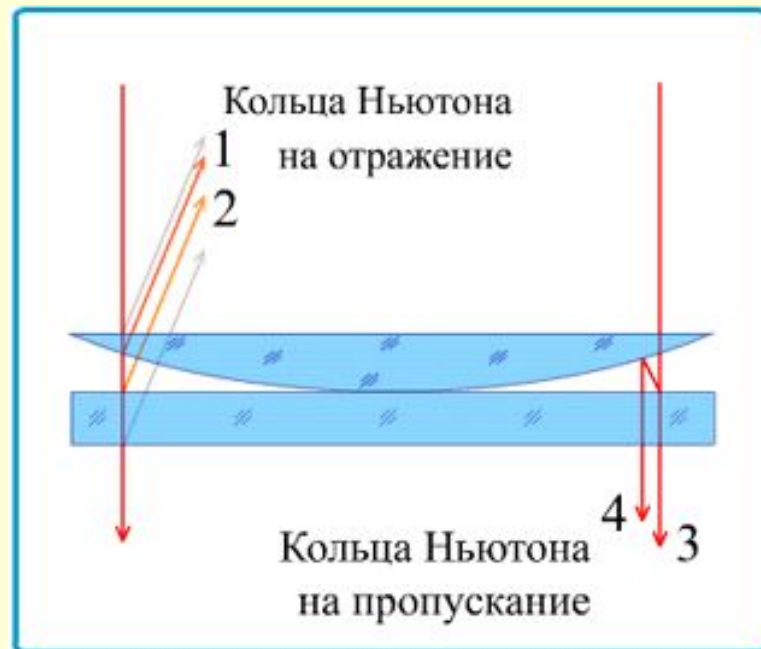
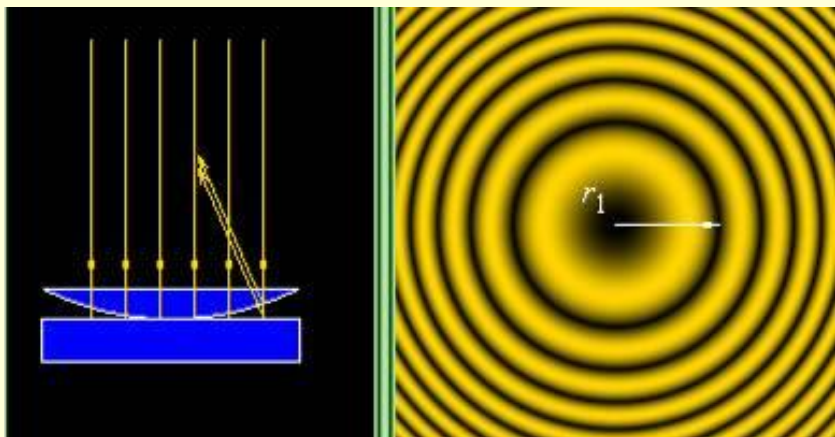
Задание. Определите, какие два зазора из представленных пяти соответствуют данным системам интерференционных полос равной толщины:



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.

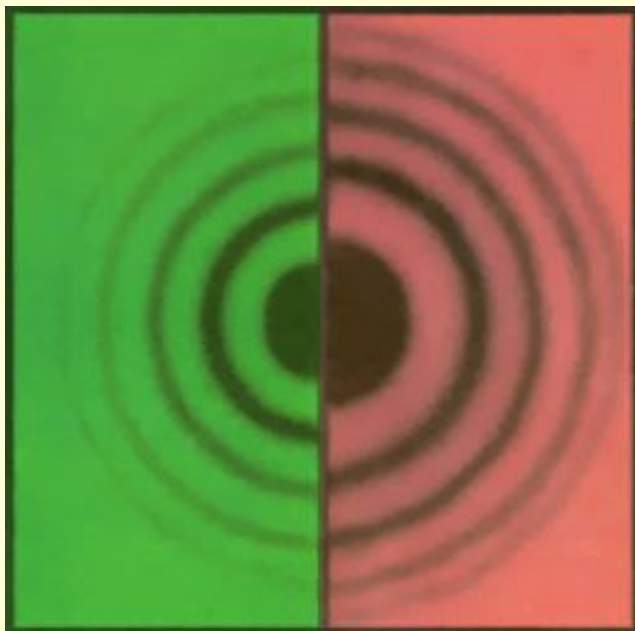
$$r_m = \sqrt{(m - 1/2)\lambda R}$$

- 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:

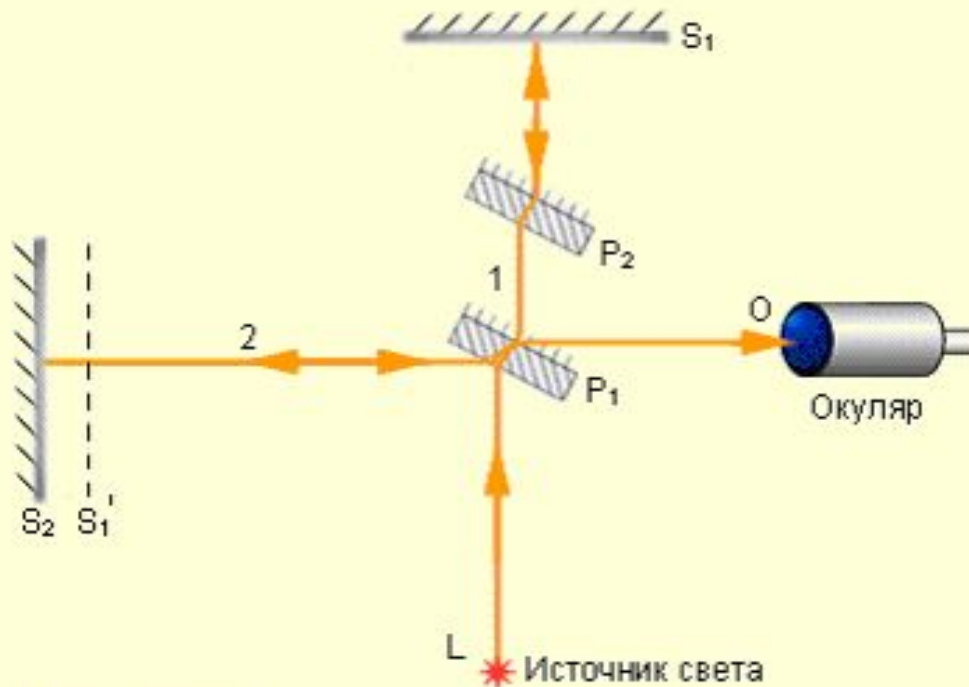
- Длины волны λ
- Коэффициента преломления n
- Длин эталонов
- Малых перемещений
- Деформаций
- Качества обработки поверхностей

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)

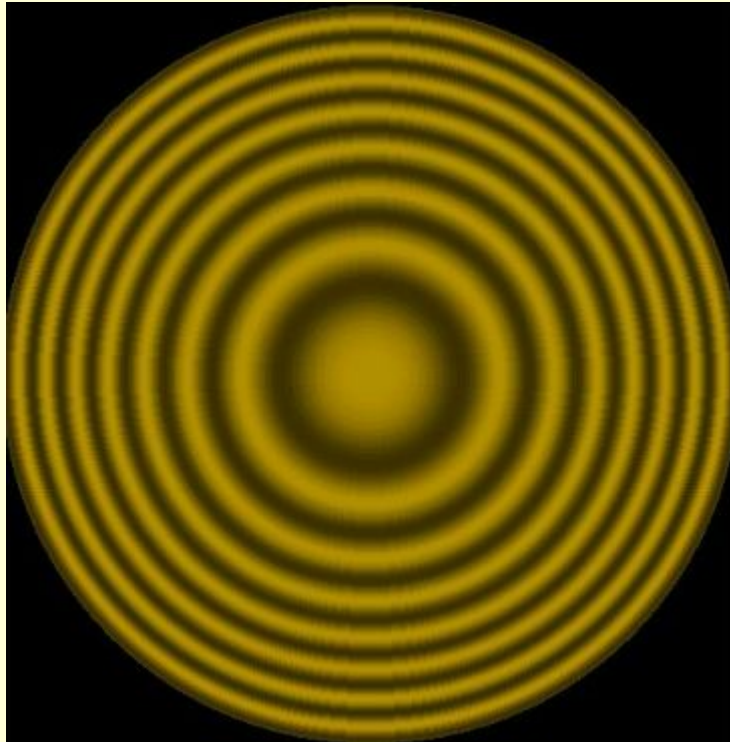
S_1' – референтная плоскость (плоскость сравнения)

– совпадает с изображением зеркала S_1 в полупрозрачном слое.

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

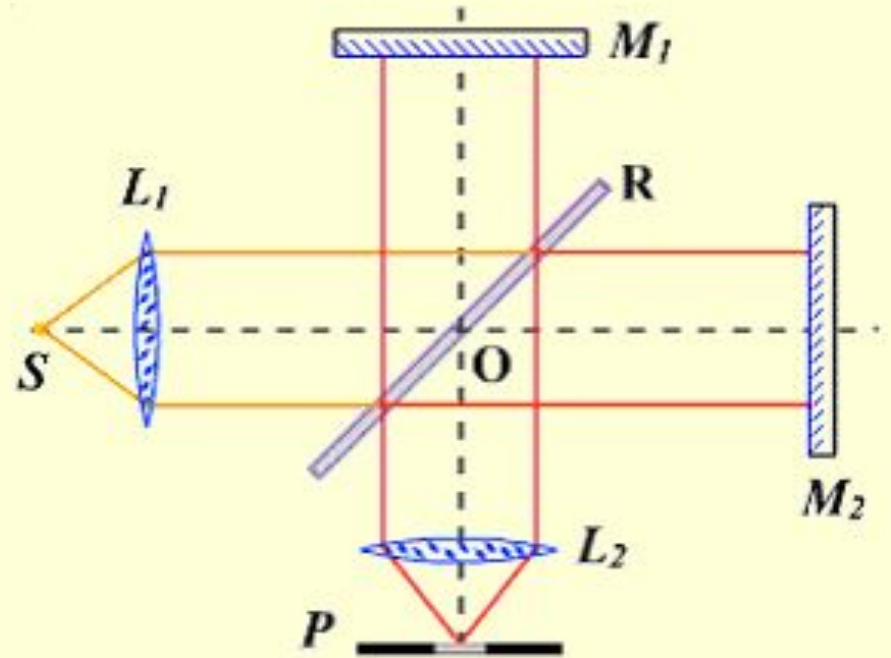
Можно получить 2 класса картин:

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*



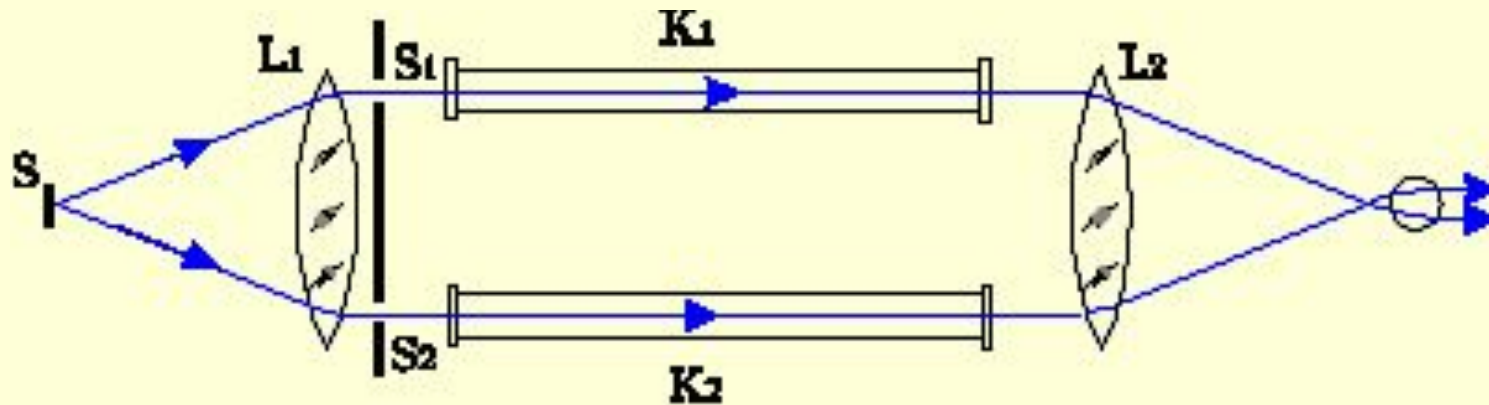
Зеркало S_2 наклонено к референтной плоскости. От источника света - параллельный пучок (через линзу)

Интерферометр Линника

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

Интерферометр Релея

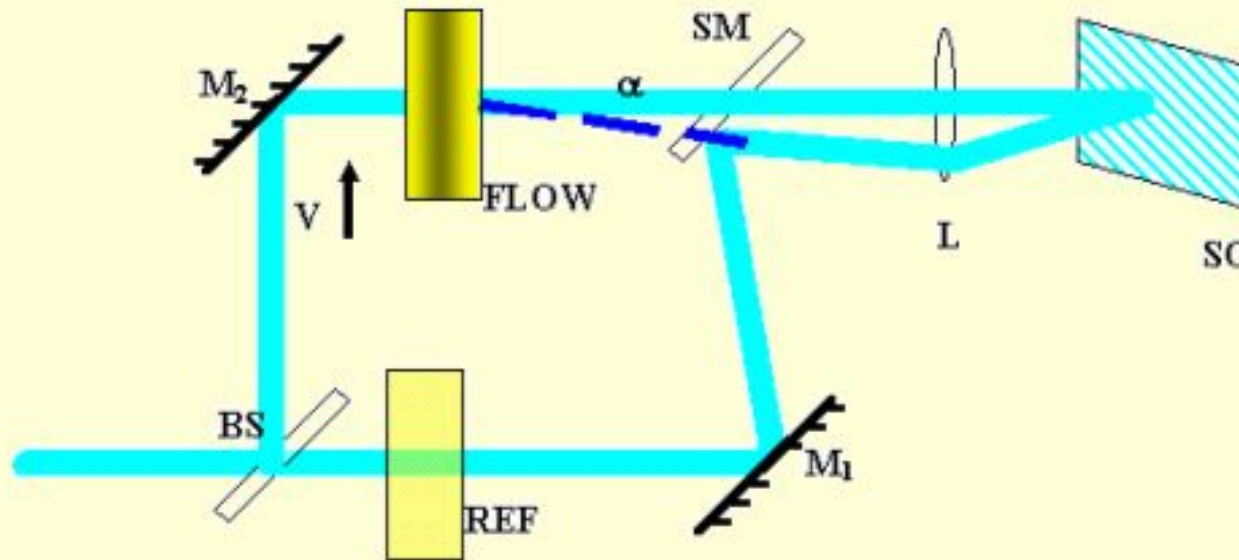
Предназначен для измерения показателей преломления газов и жидкостей



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

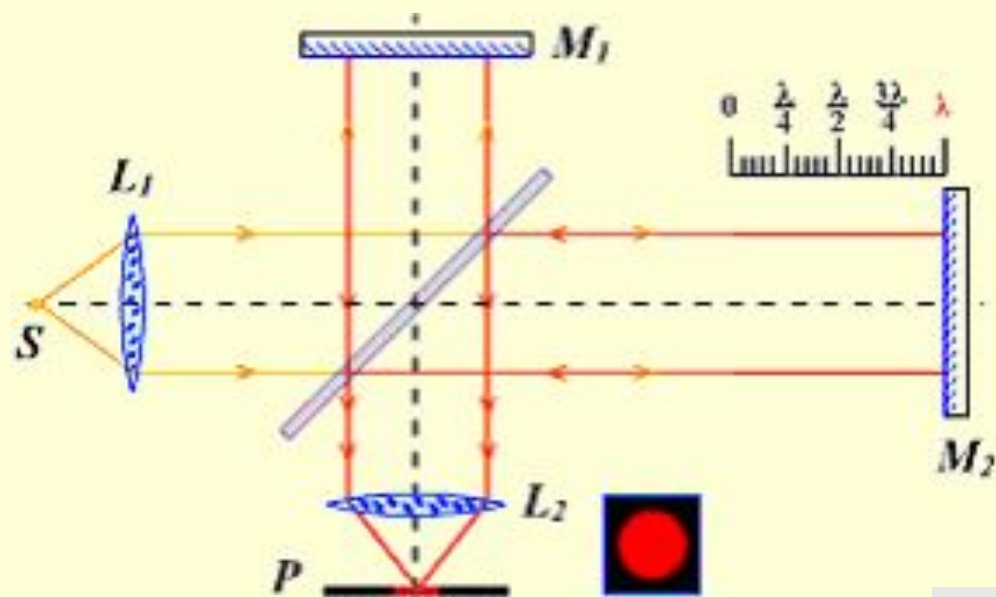
предназначен для интерференционных измерений модуляции плотности в газовых потоках (в аэродинамических трубах и т.п.).



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



Фурье - спектрометр



Продолжение
следует

