

## 25. Интерференция света в тонких пленках. Условия максимумов и минимумов интерференции. Полосы равной толщины и равного наклона, кольца Ньютона

### Интерференция света в тонких пленках

#### *Интерференция:*

При наложении гармонических (в общем случае когерентных) световых волн происходит перераспределение светового потока в пространстве, в результате чего в одних местах возникают максимумы, а в других – минимумы интенсивности.

Явление сложения световых пучков, ведущее к образованию светлых и темных полос.

Многим людям приходилось наблюдать радужную окраску мыльных пленок; цвета побежалости закаленных стальных деталей, покрытых тонким прозрачным слоем окисных пленок; тонких пленок нефти, бензина, масел, плавающих на поверхности воды. Все эти явления вызваны интерференцией света в тонких пленках. Интерференцию света в тонких пленках можно наблюдать в *проходящем* или *отраженном* свете.

Рассмотрим интерференцию света на отражение от тонкой прозрачной пленки (пластинки) толщиной  $d$  с абсолютным показателем преломления  $n$ .

Пластинка (пленка) находится в вакууме ( $n_1 = n_{\text{вак}} = 1$ ,  $\lambda$  – длина волны света в вакууме, причем  $n > n_1$ ).

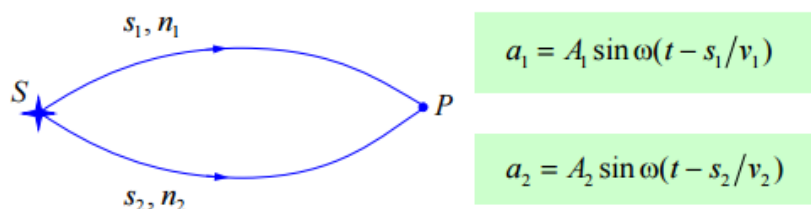
Пусть на пленку падает плоская монохроматическая волна  $\lambda$  под углом  $\alpha$  (луч АО). В точке О на верхней поверхности этот луч частично отражается (луч ОМ) и частично преломляется (луч ОС). Преломленный луч ОС, достигнув нижней поверхности пленки, в точке С испытывает, в свою очередь отражение (луч СЕ) и преломление (луч СН), переходя снова в вакуум.

Отраженный луч СЕ на верхней поверхности пленки в точке Е испытывает частичное отражение (луч ЕК) и частичное преломление (луч ЕР).

Преломленный луч ЕР и отраженный луч ОМ когерентны и при наложении интерferируют. Действительно, если на их пути поставить собирательную линзу, то в точке К на экране можно наблюдать интерференционную картину на отражение, максимум и минимум которой будут определяться оптической разностью хода, возникающей между лучами ОМ и ЕР от точки О до плоскости ЕМ.



Аналогичный расчет можно провести для интерференции в тонких пленках на просвет в точке Q. Однако дополнительной оптической разности хода в этом случае не наблюдается. Поэтому максимум интерференции в тонких пленках на просвет соответствует условию минимума на отражение и, наоборот, минимум интерференции в тонких пленках на просвет соответствует максимуму на отражение. При освещении пленки белым светом для некоторых длин волн будет выполняться условие максимума, а для других – условие минимума, поэтому пленка в отраженном свете выглядит окрашенной.



Разность фаз колебаний

$$\delta = \omega \left( \frac{s_2}{v_2} - \frac{s_1}{v_1} \right) = \frac{\omega}{c} (n_2 s_2 - n_1 s_1) \quad \left[ \quad n = \frac{c}{v} \quad \right]$$

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

$$\Delta = n_2 s_2 - n_1 s_1 = L_2 - L_1 \quad - \text{оптическая разность хода}$$

$$L = ns \quad - \text{оптическая длина пути}$$



$$\text{Условие максимума: } \Delta = \pm m \lambda_0 \quad (m = 0, 1, 2 \dots)$$

$$\text{Условие минимума: } \Delta = \pm \left( m + \frac{1}{2} \right) \lambda_0 \quad (m = 0, 1, 2 \dots)$$

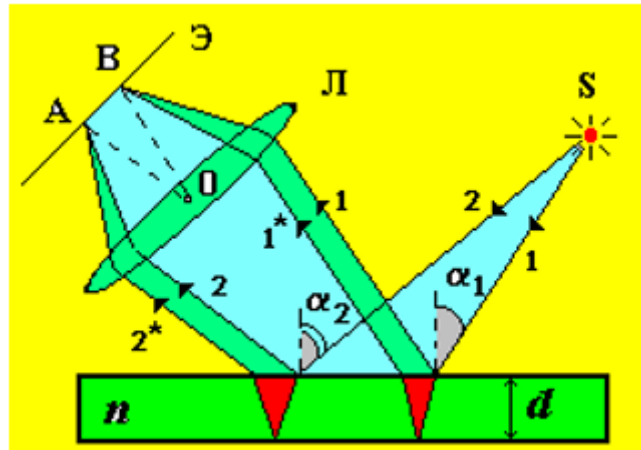
$\lambda_0$  – длина волны в вакууме

### Пластины постоянной толщины

#### Полосы равного наклона

При падении сходящегося (расходящегося) пучка света на плоскопараллельную пластинку (пленку) при интерференции могут возникнуть полосы равного наклона. Для каждой пары лучей 1 и 1\*, 2 и 2\* оптическая разность хода  $\delta$  определяется формулой

$$\delta = 2dn \cos \beta - \frac{\lambda}{2}$$



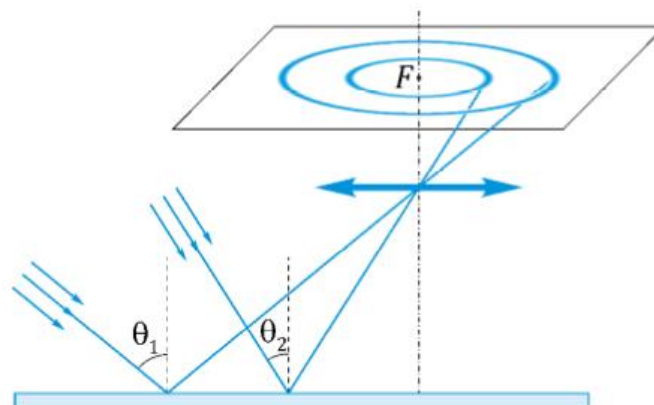
При наблюдении интерференционной картины используют собирающую линзу (Л) и экран (Э). В каждой точке экрана собираются и интерferируют лучи, которые после отражения от пленки параллельны прямым линиям, соединяющими их с оптическим центром линзы О. Например, лучи 1 и 1\* – в точке В, лучи 2 и 2\* – в точке А и т. д.

Интерференционная картина на экране имеет вид чередующихся светлых и темных полос (полосы равного наклона), каждой из которых соответствует определенное значение угла падения  $\alpha$ .

Максимум или минимум интерференции на отражение в этом случае зависят от угла падения лучей. При освещении пленки белым светом на экране возникает система разноцветных полос равного наклона.

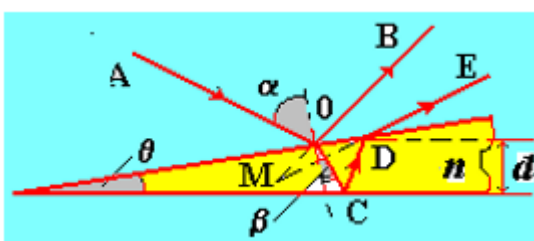
**Тонкая пластинка освещается рассеянным монохроматическим светом.**

**В фокальной плоскости линзы возникает системы полос – *полос равного наклона.***



### Полосы равной толщины

Несколько другая интерференционная картина наблюдается при освещении светом тонких пленок, толщина которых изменяется (плоский клин). Пусть на клин с малым углом  $\theta$  между его боковыми поверхностями падает плоская волна монохроматического света (луч АО) под углом  $\alpha$ .



Складываемые волны, возникающие в результате отражения света от верхней (луч ОВ) и нижней (луч ДЕ) поверхностей клина, имеют оптическую разность хода  $\delta$ , которая находится по формуле

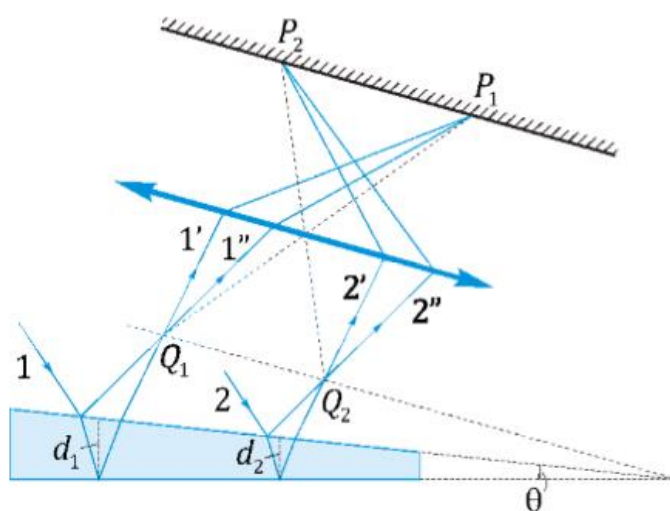
$$\delta = 2dn \cos \beta - \frac{\lambda}{2}$$

где  $d$  – средняя толщина клина на участке ОС.

При фиксированных значениях  $n$  и  $\alpha$  участкам пленки с одинаковым значением  $d$  соответствуют равные оптические разности хода световых лучей, поэтому в отраженном свете наблюдаются *интерференционные полосы равной толщины*. Расходящиеся лучи ОВ и DE кажутся исходящими из некоторой точки М, расположенной вблизи поверхности клина. Поэтому полосы равной толщины локализованы вблизи поверхности пленки и параллельны ребру клина.

Тонкая пластинка в виде клина освещается плоской световой волной.

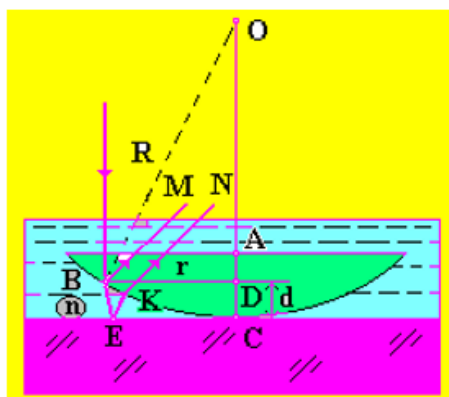
В плоскости экрана возникает системы полос – *полос равной толщины*.



### Кольца Ньютона

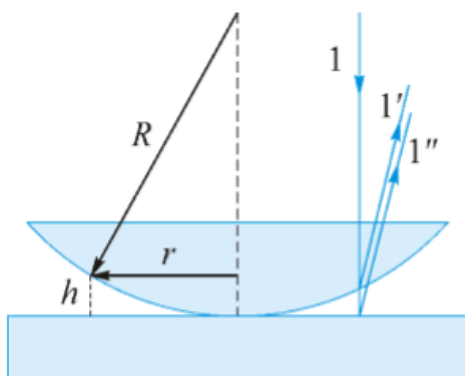
Полосы равной толщины можно наблюдать с помощью установки «Кольца Ньютона». Установка состоит из плосковыпуклой стеклянной линзы с радиусом кривизны  $R$ , которая выпуклой частью опирается на плоскопараллельную стеклянную пластинку. Пространство между линзой и пластинкой может быть заполнено жидкостью с абсолютным показателем преломления  $n$  (например, для воды  $n=1,33$ ).

Если на плоскую поверхность линзы падает нормально (перпендикулярно) плоская волна монохроматического света, то в точке В ( $r = BD$ ) свет частично преломляется (луч ВЕ) и отражается от верхней (луч ВМ) и нижней (луч ЕК) поверхностей клина между линзой и пластинкой.



Таким образом, при сложении отраженных волн от поверхностей клина возникают интерференционные кольца равной толщины. В центре находится темное пятно (минимум), которое окружено системой концентрических светлых (максимум) и темных колец, ширина и интенсивность которых постепенно убывают по мере удаления от центра.





С учетом потери полуволны

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

**Светлые кольца:**  $r_m = \sqrt{(m - \frac{1}{2})\lambda_0 R} \quad (m = 1, 2, 3, \dots)$

**Темные кольца:**  $r_m^* = \sqrt{m\lambda_0 R} \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$