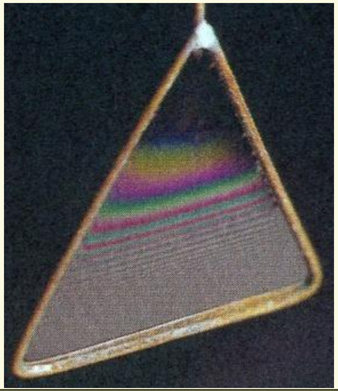
# 3.4. Интерференция в тонких плёнках.

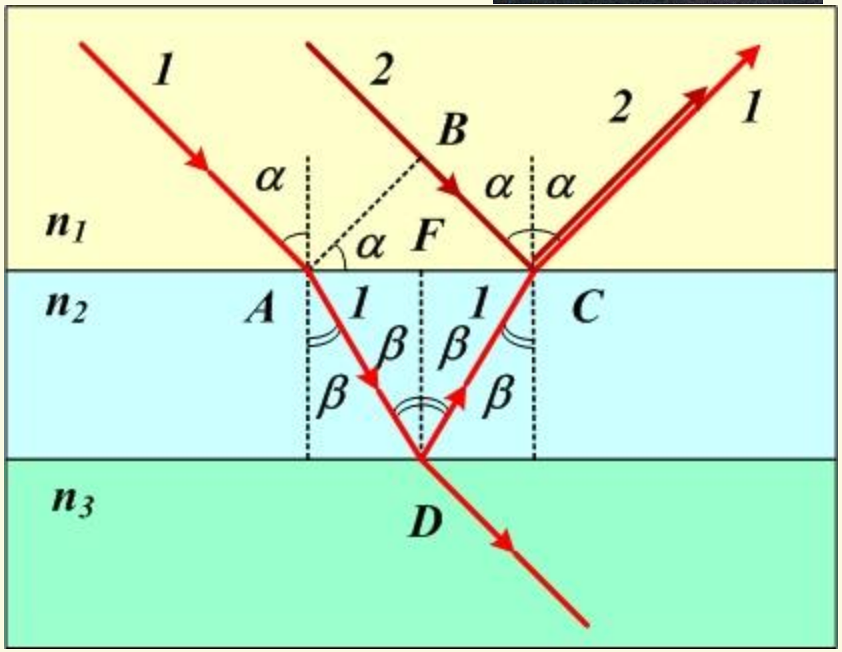
# 3.4. Интерференция в тонких плёнках.

Интерференцию в тонких плёнках можно наблюдать как в отражённом, так и в проходящем свете. Рассмотрим случай наблюдения интерференции в отражённом свете.



Пусть пучок лучей падает под углом $\alpha$ на поверхность плёнки с показателем преломления $n_2$ из среды с показателем преломления $n_1$. Плёнка находится на поверхности среды с показателем преломления $n_3$.

$$n_1 < n_2 < n_3.$$



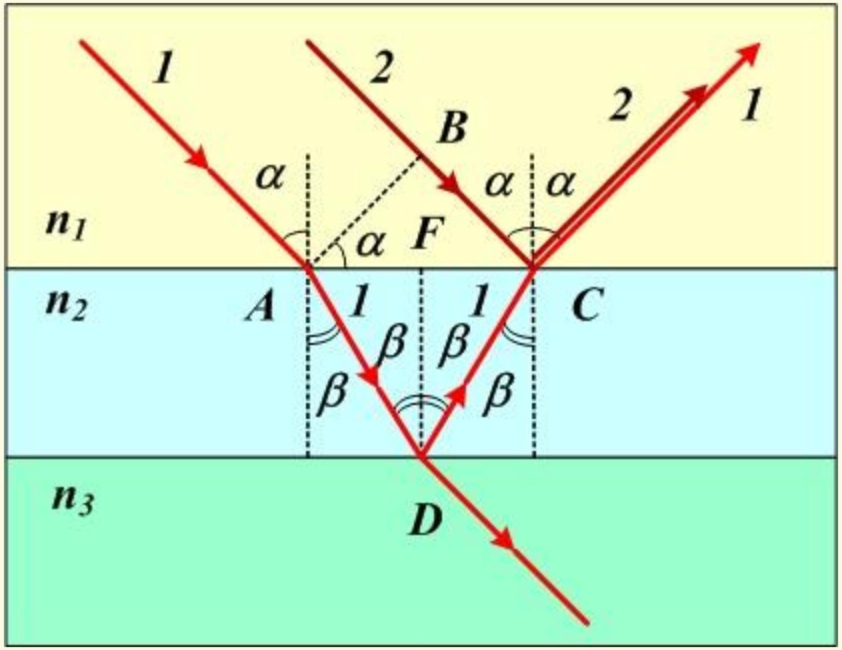

Пример: масляная плёнка на воде или «просветляющее» покрытие на объективе фотоаппарата.

Рассмотрим два луча из пучка (лучи 1 и 2 на рисунке). Они заведомо когерентны, так как идут из одного источника.

# 3.4. Интерференция в тонких плёнках.

Луч 1 проходит в плёнку, отражается от её нижней границы и снова выходит в среду с показателем $n_1$.

Луч 2 отражается от поверхности плёнки в точке С. Далее лучи 1 и 2 распространяются вдоль одной прямой, в результате чего и наблюдается интерференция.




Найдём разность хода между лучами 1 и 2. До того, как лучи дошли до точек *A* и *B* соответственно разность хода между ними отсутствовала.

$$\delta = L_1 - L_2.$$

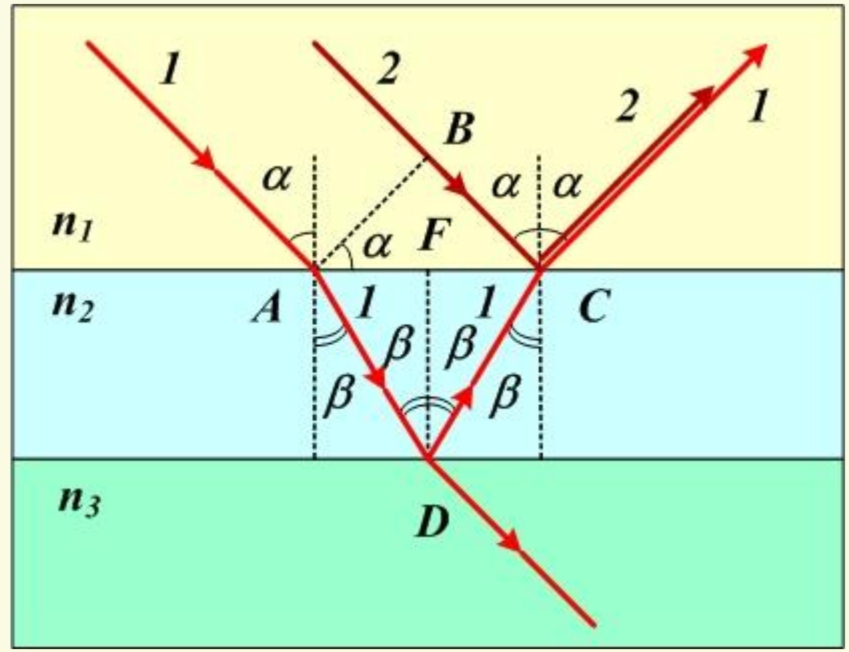
$L_1$ - оптическая длина луча 1.

$L_2$ - оптическая длина луча 2.

# 3.4. Интерференция в тонких плёнках.

$$\delta = L_1 - L_2.$$

$$L_1 = n_2\left|AD\right| + \frac{\lambda}{2} + n_2\left|DC\right|.$$




λ/2 добавлена потому, в точке D происходит отражение от оптически более плотной среды ($n_2 < n_3$) .

$$L_2 = n_1\left|BC\right| + \frac{\lambda}{2}.$$

λ/2 добавлена потому, в точке C происходит отражение от оптически более плотной среды ($n_1 < n_2$) .

$$\delta = n_2\left|AD\right| + \frac{\lambda}{2} + n_2\left|DC\right| - n_1\left|BC\right| - \frac{\lambda}{2} =$$

$$= 2n_2\left|AD\right| - n_1\left|AB\right|. \qquad (\grave{o}\ .\hat{e}.\ AD = DC).$$

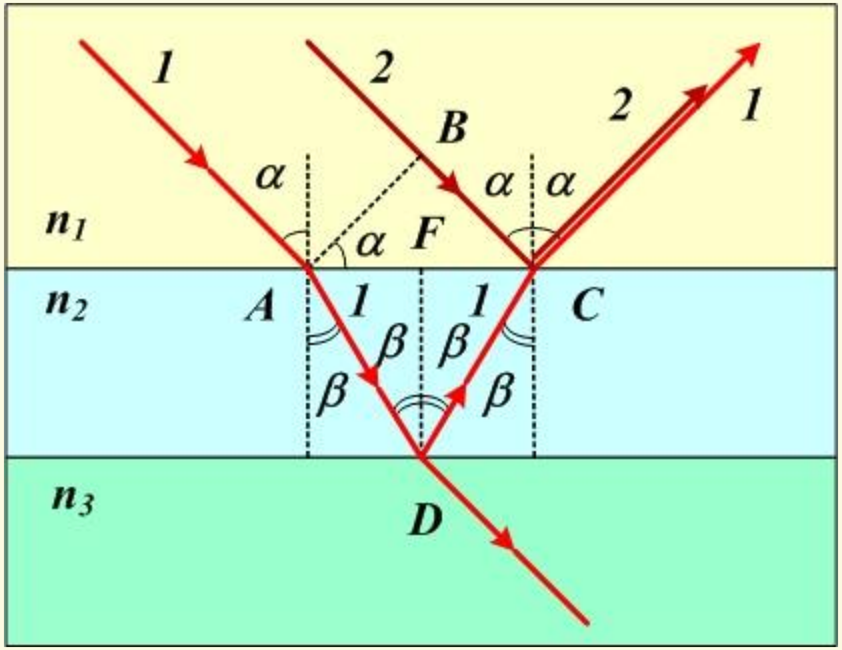
# 3.4. Интерференция в тонких плёнках.

$$\delta = 2n_2\left|AD\right| - n_1\left|BC\right|.$$

$$\left|AD\right| = \frac{h}{\cos\beta}.$$

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}.$$

$$\sin\beta = \frac{\sin\alpha}{n_{21}}.$$




$$\cos\beta = \sqrt{1-\sin^2\beta} = \sqrt{1-\frac{\sin^2\alpha}{n_{21}^2}} = \frac{1}{n_{21}}\sqrt{n_{21}^2-\sin^2\alpha}.$$

$$\left|AD\right| = \frac{n_{21}h}{\sqrt{n_{21}^2-\sin^2\alpha}}.$$

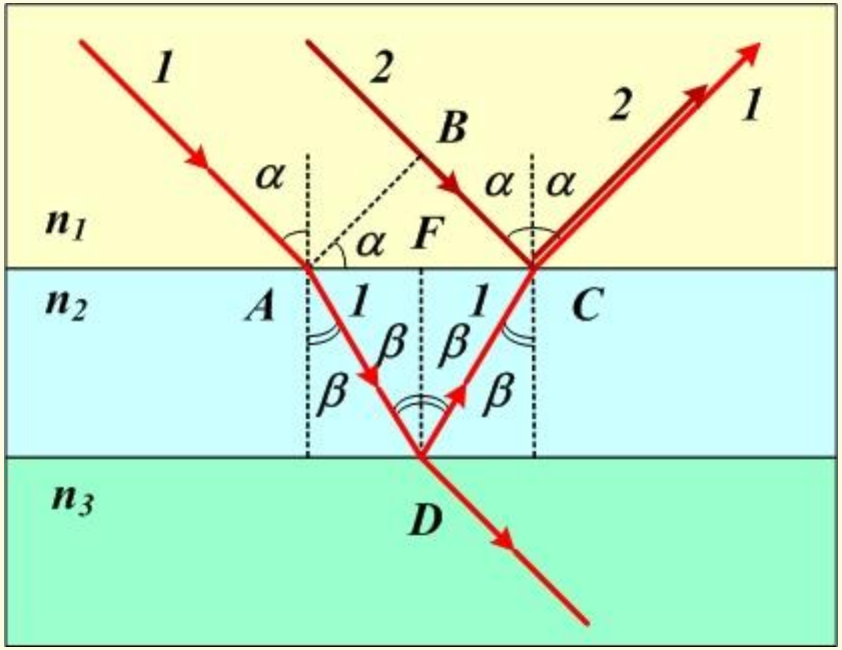
# 3.4. Интерференция в тонких плёнках.

$$\delta = 2n_2|AD| - n_1|BC|.$$

$$|BC| = |AC|\sin\alpha =$$

$$= 2|AF|\sin\alpha =$$

$$= 2h \cdot tg\beta \cdot \sin\alpha.$$




$$tg\beta = \frac{\sin\beta}{\cos\beta}.$$

$$\sin\beta = \frac{\sin\alpha}{n_{21}}, \quad \cos\beta = \frac{1}{n_{21}}\sqrt{n_{21}^2 - \sin^2\alpha}.$$

$$tg\beta = \frac{\sin\alpha}{n_{21}} \cdot \frac{n_{21}}{\sqrt{n_{21}^2 - \sin^2\alpha}} = \frac{\sin\alpha}{\sqrt{n_{21}^2 - \sin^2\alpha}}.$$

# 3.4. Интерференция в тонких плёнках.

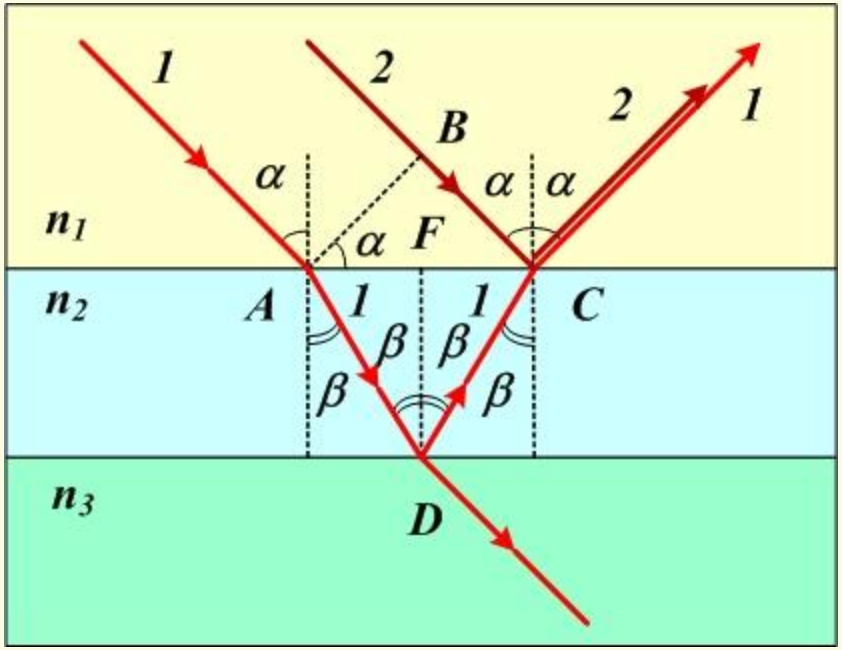
$$|BC| = 2h \cdot tg\beta \cdot \sin\alpha.$$

$$tg\beta = \frac{\sin\alpha}{\sqrt{n_{21}^2 - \sin^2\alpha}}.$$

$$|BC| = \frac{2h\sin^2\alpha}{\sqrt{n_{21}^2 - \sin^2\alpha}}.$$

$$\delta = 2n_2|AD| - n_1|BC|.$$

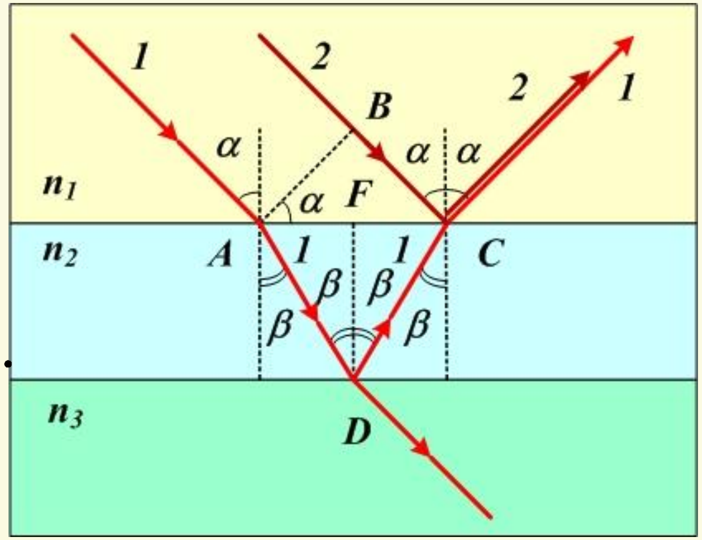
$$|AD| = \frac{n_{21}h}{\sqrt{n_{21}^2 - \sin^2\alpha}}.$$




$$\delta = \frac{2n_2n_{21}h}{\sqrt{n_{21}^2 - \sin^2\alpha}} - \frac{2hn_1\sin^2\alpha}{\sqrt{n_{21}^2 - \sin^2\alpha}}.$$

# 3.4. Интерференция в тонких плёнках.

$$\delta = \frac{2n_2 n_{21} h}{\sqrt{n_{21}^2 - \sin^2\alpha}} - \frac{2hn_1 \sin^2\alpha}{\sqrt{n_{21}^2 - \sin^2\alpha}}.$$



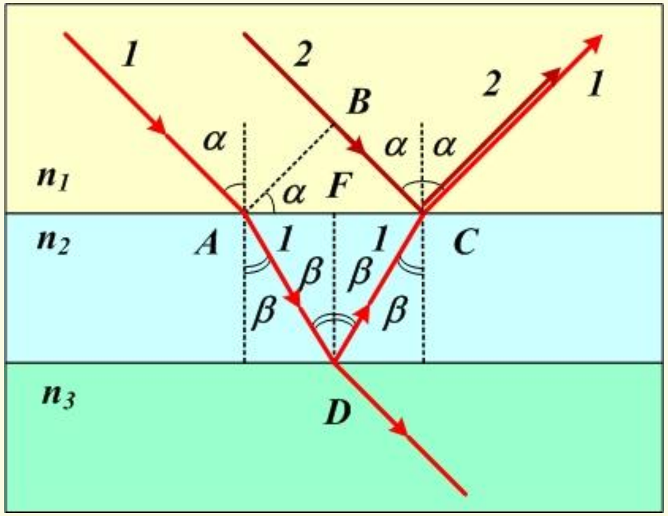

$$\delta = \frac{2h}{\sqrt{n_{21}^2 - \sin^2\alpha}}\left(n_2 n_{21} - n_1 \sin^2\alpha\right).$$

$$n_2 n_{21} - n_1 \sin^2\alpha = n_2 \frac{n_2}{n_1} - n_1 \sin^2\alpha = n_1\left(\frac{n_2^2}{n_1^2} - \sin^2\alpha\right).$$

$$\delta = \frac{2hn_1\left(n_{21}^2 - \sin^2\alpha\right)}{\sqrt{n_{21}^2 - \sin^2\alpha}} = 2hn_1\sqrt{n_{21}^2 - \sin^2\alpha}.$$

# 3.4. Интерференция в тонких плёнках.

$$\delta = 2hn_1\sqrt{n_{21}^2 - \sin^2\alpha}.$$




Вспомним условия минимума и максимума при интерференции

***Максимум:*** $$\delta = m\lambda,$$

***Минимум:*** $$\delta = (2m+1)\frac{\lambda}{2}.$$

В случае интерференции лучей, отражённых от тонкой плёнки получаем

***Максимум:*** $$2hn_1\sqrt{n_{21}^2 - \sin^2\alpha} = m\lambda,$$

***Минимум:*** $$2hn_1\sqrt{n_{21}^2 - \sin^2\alpha} = (2m+1)\frac{\lambda}{2}.$$

Формулы получены для случая $n_1 < n_2 < n_3.$

# 3.4. Интерференция в тонких плёнках.

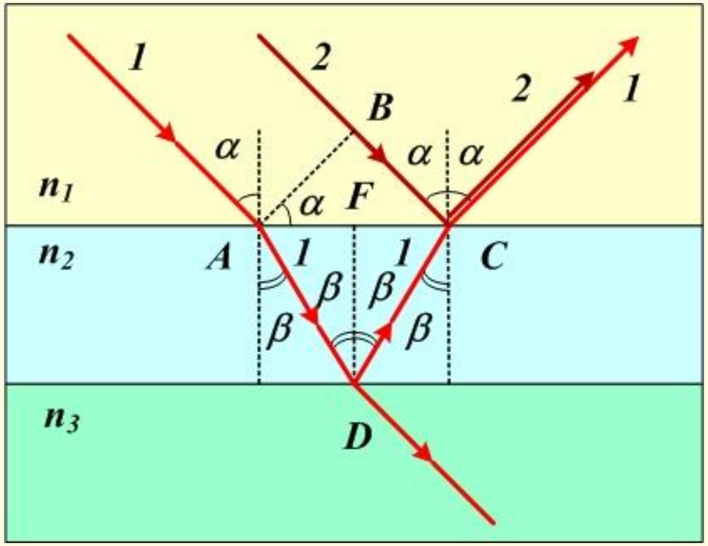
Величина показателя преломления третьей среды в явном виде в формулы не входит, но существенно влияет на результат. Если

$$n_2 < n_3,$$

то к оптической длине луча 1 нужно добавить λ/2, а если

$$n_2 > n_3,$$

то к оптической длине луча 1 λ/2 добавлять не нужно.




Это приведёт к тому, что

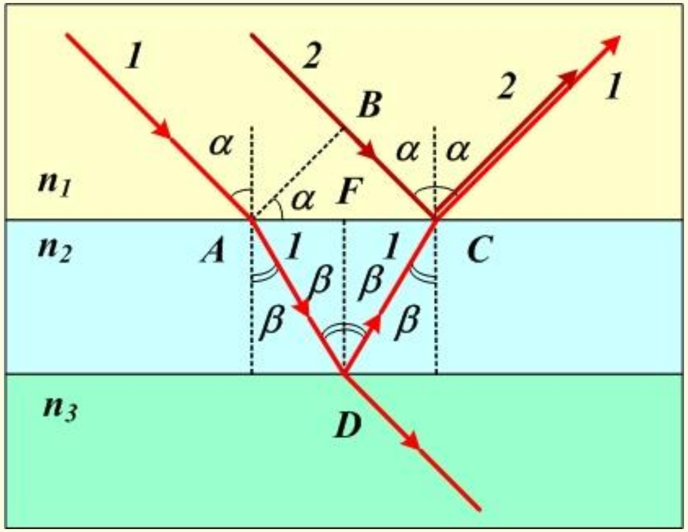
$$\delta' = 2hn_1\sqrt{n_{21}^2 - \sin^2\alpha} - \frac{\lambda}{2}$$

в случае, когда

$$n_2 > n_3.$$

# 3.4. Интерференция в тонких плёнках.

$$\delta' = 2hn_1\sqrt{n_{21}^2 - \sin^2\alpha} - \frac{\lambda}{2}$$




***Максимум:*** $\delta' = m\lambda,$

***Минимум:*** $\delta' = (2m+1)\frac{\lambda}{2}.$

***Максимум:***

$$2hn_1\sqrt{n_{21}^2 - \sin^2\alpha} - \frac{\lambda}{2} = m\lambda$$

$$2hn_1\sqrt{n_{21}^2 - \sin^2\alpha} = \left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda,$$

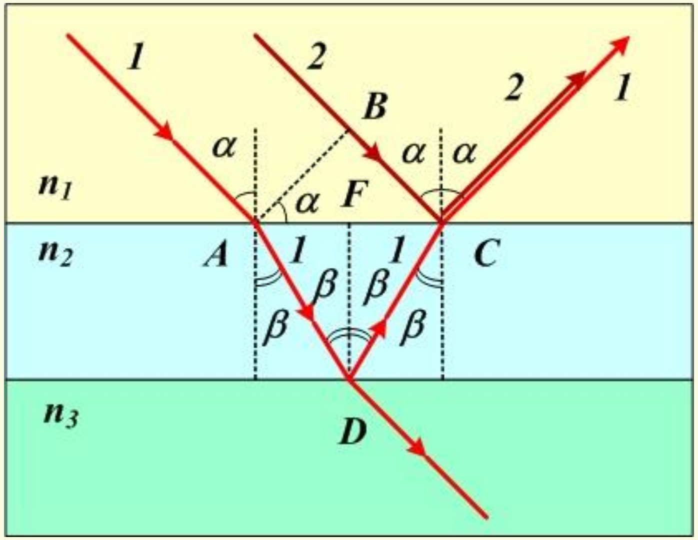
$$2hn_1\sqrt{n_{21}^2 - \sin^2\alpha} = (2m-1)\frac{\lambda}{2}.$$

# 3.4. Интерференция в тонких плёнках.

***Минимум:***

$$2hn_1\sqrt{n_{21}^2-\sin^2\alpha}-\frac{\lambda}{2}=(2m+1)\frac{\lambda}{2},$$

$$2hn_1\sqrt{n_{21}^2-\sin^2\alpha}=m\lambda.$$




Итак, для случая $n_2 > n_3$,

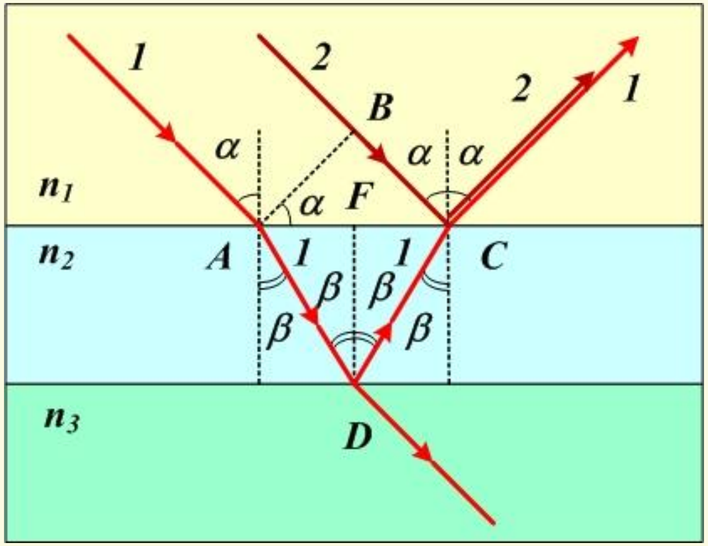
например, для случая, когда плёнка находится в воздухе,

***Максимум:*** $$2hn_1\sqrt{n_{21}^2-\sin^2\alpha}=(2m-1)\frac{\lambda}{2},$$

***Минимум:*** $$2hn_1\sqrt{n_{21}^2-\sin^2\alpha}=m\lambda.$$

# 3.4. Интерференция в тонких плёнках.

Рассмотрим теперь луч, проходящий через плёнку. Можно снова рассчитать геометрически длину луча, потребовать равенства этой длины чётному, либо нечётному числу длин полуволн, но проще применить закон сохранения энергии.




Если в отражённом свете при некоторых углах падения наблюдается максимум интенсивности, то при тех же углах в проходящем свете наблюдается минимум освещённости и наоборот.

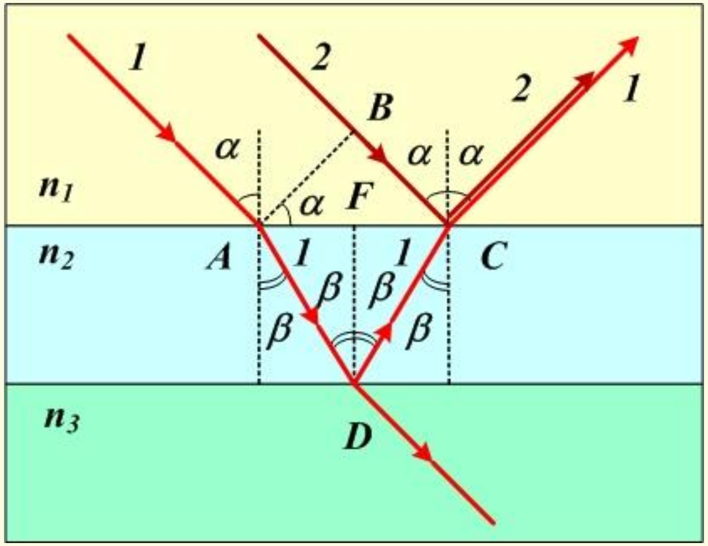
***Максимум:*** $$2hn_1\sqrt{n_{21}^2-\sin^2\alpha}=(2m-1)\frac{\lambda}{2},$$

***Минимум:*** $$2hn_1\sqrt{n_{21}^2-\sin^2\alpha}=m\lambda.$$

Формулы получены для случая $n_1 < n_2 < n_3.$

# 3.4. Интерференция в тонких плёнках.

Для случая проходящих волн, когда плёнка находится в воздухе,




***Максимум:***

$$2hn_1\sqrt{n_{21}^2-\sin^2\alpha}=m\lambda.$$

***Минимум:***

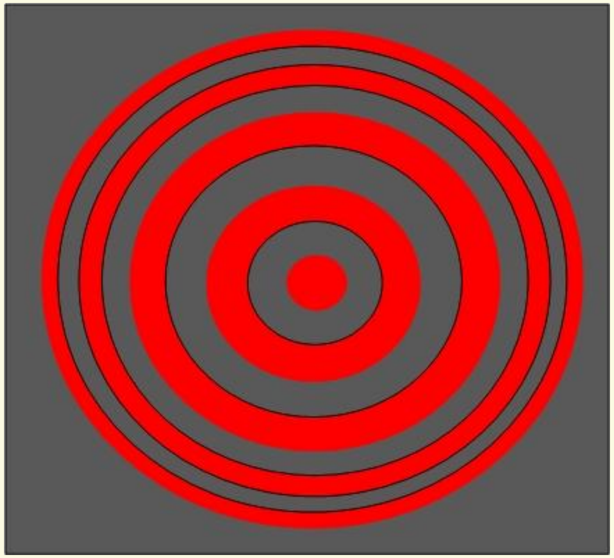
$$2hn_1\sqrt{n_{21}^2-\sin^2\alpha}=(2m-1)\frac{\lambda}{2},$$

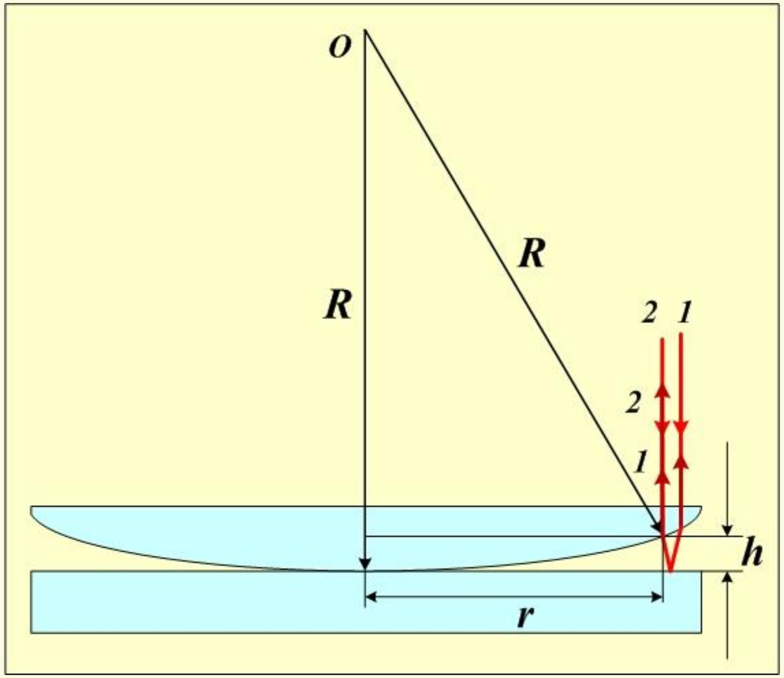
Формулы получены для случая проходящих волн, $n_2 > n_3$.

# 3.5. Кольца Ньютона.

# 3.5. Кольца Ньютона.

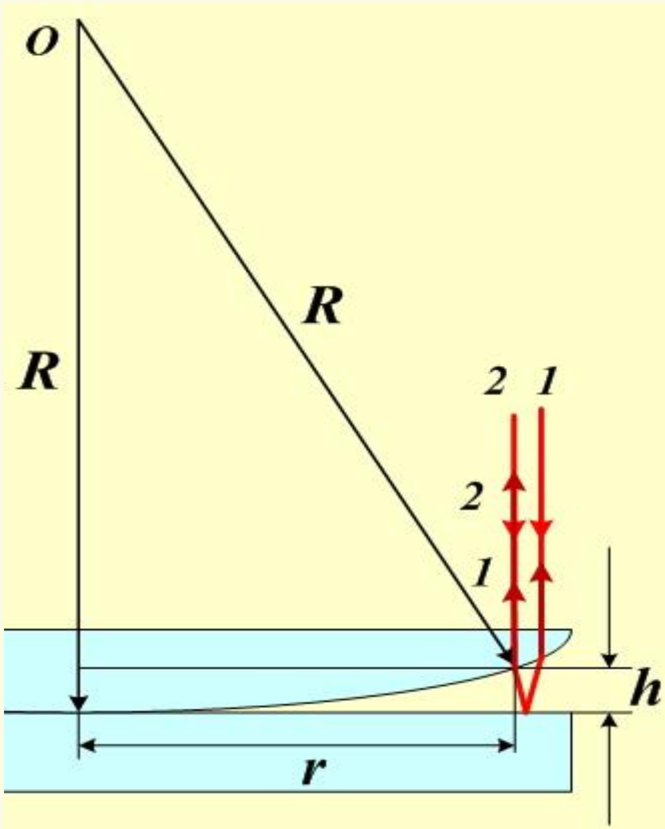
Если на стеклянную пластину положить линзу, то наблюдая в отражённом свете, можно увидеть перераспределение интенсивности излучения, подобное, показанному на рисунке.






Такая картина называется ***«кольцами Ньютона»***. Если наблюдать кольца Ньютона в белом свете, то кольца будут окрашены во все цвета радуги.

# 3.5. Кольца Ньютона.




Рассмотрим ход лучей при наблюдении в отражённом свете.

Луч 1 преломляется на поверхности линзы (сферической поверхности), затем отражается от плоской пластинки, снова преломляется на поверхности линзы.

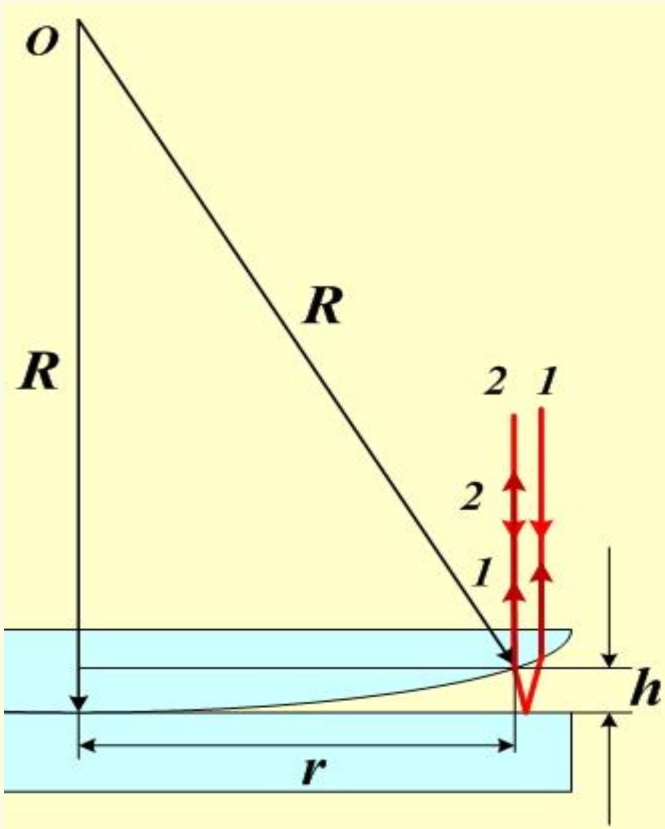
Луч 2 отражается от поверхности линзы (сферической поверхности), и интерферирует с лучом 1.

1. Определим оптическую разность хода между лучами 1 и 2.

2. Определим, в каких точках выполняются условия минимума (тёмные кольца) и максимума (светлые кольца).

3. Определим радиусы тёмных и светлых колец.

# 3.5. Кольца Ньютона.




1. Определим оптическую разность хода между лучами 1 и 2.

$$\delta = 2hn_1 - \frac{\lambda}{2},$$

где $n_1$ – показатель преломления среды между линзой и пластинкой. Считаем, что

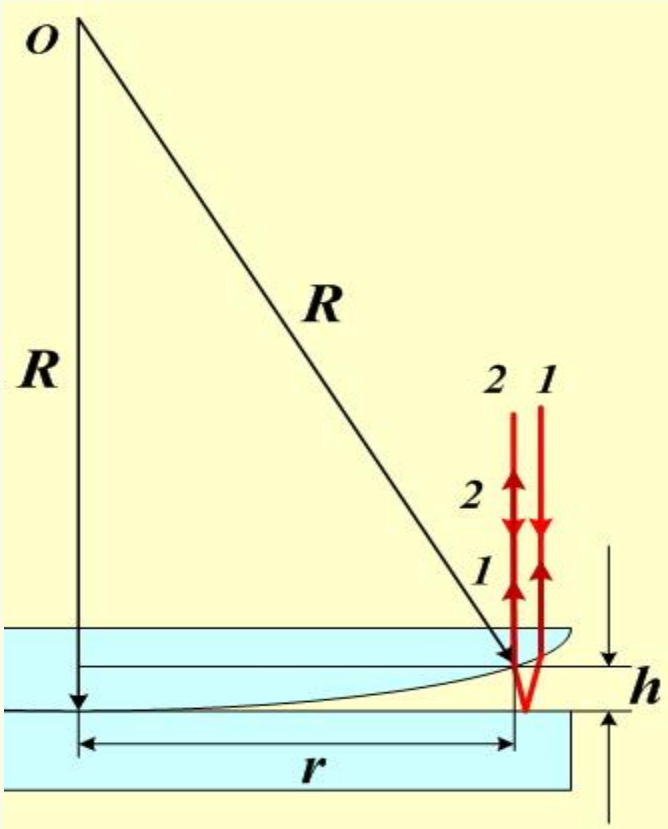
$$n_1 < n_{\text{ï ëàñò èí êè}} = n_{\text{ëèí çû}}.$$

**2. *Максимум:*** $\delta = m\lambda,$

$$\delta = 2hn_1 - \frac{\lambda}{2} = m\lambda,$$

$$2hn_1 = \frac{\lambda}{2} + m\lambda, \qquad 2hn_1 = (2m+1)\frac{\lambda}{2}.$$

# 3.5. Кольца Ньютона.




***Минимум:*** $$\delta = (2m+1)\frac{\lambda}{2}.$$

$$2hn_1 - \frac{\lambda}{2} = (2m+1)\frac{\lambda}{2},$$

$$2hn_1 = m\lambda.$$

3. Определим радиусы тёмных и светлых колец.

Согласно теореме Пифагора:

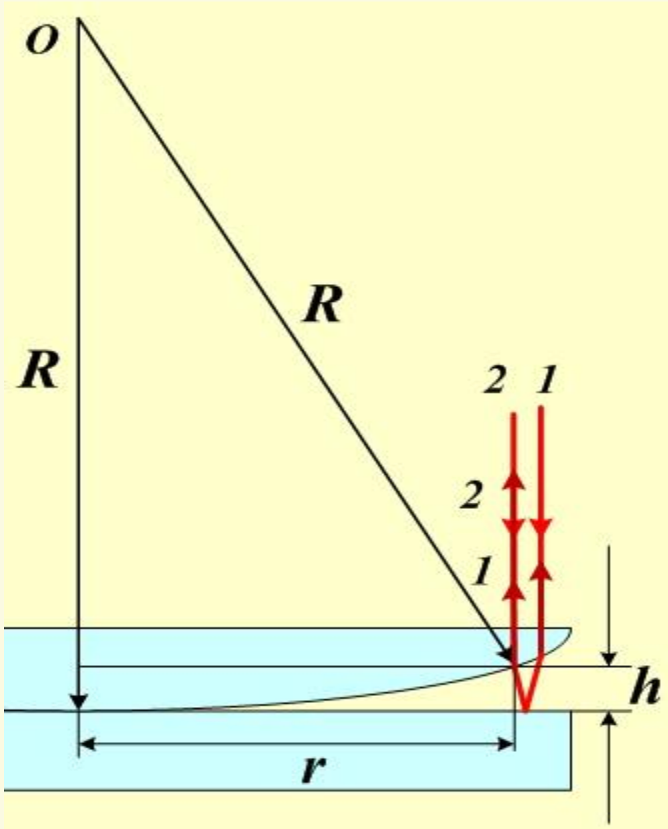
$$R^2 = r^2 + (R-h)^2.$$

$$R^2 = r^2 + R^2 - 2Rh + h^2.$$

Отсюда:

$$r^2 = 2Rh - h^2, \qquad h \ll R, \qquad r = \sqrt{2Rh}.$$

# 3.5. Кольца Ньютона.




Для тёмных колец в отражённом свете:

$$r = \sqrt{2Rh}, \qquad 2hn_1 = m\lambda.$$

$$h = \frac{m\lambda}{2n_1}.$$

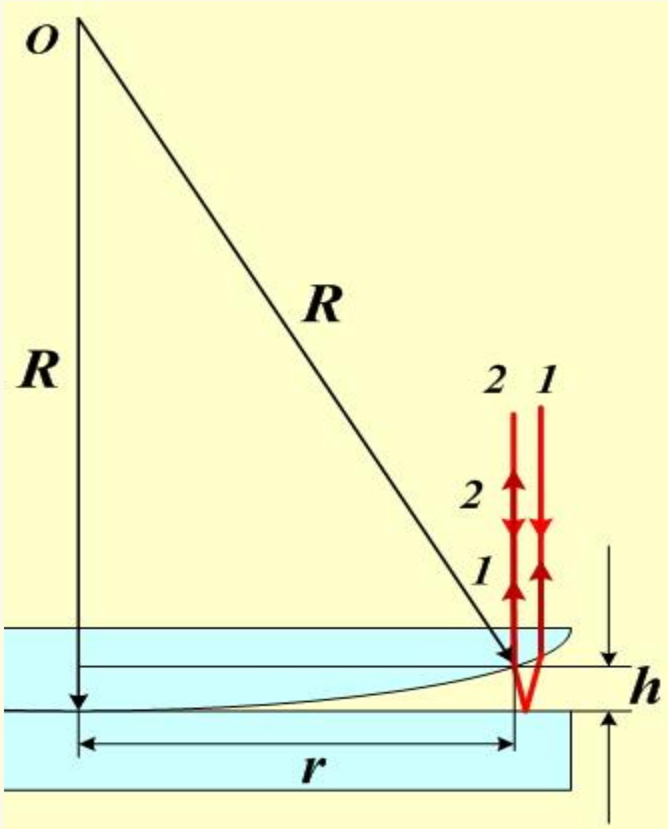
$$r = \sqrt{2R\frac{m\lambda}{2n_1}} = \sqrt{\frac{m\lambda R}{n_1}}.$$

Если $n_1 = 1$ (воздух),

$$r = \sqrt{m\lambda R}.$$

Кольца, тёмные в отражённом свете, являются светлыми в проходящем свете.

# 3.5. Кольца Ньютона.




Для светлых колец в отражённом свете:

$$r = \sqrt{2Rh}, \quad 2hn_1 = (2m+1)\frac{\lambda}{2},$$

$$h = \frac{(2m+1)\lambda}{4n_1}.$$

$$r = \sqrt{2R\frac{(2m+1)\lambda}{4n_1}} = \sqrt{\frac{(2m+1)\lambda R}{2n_1}}.$$

Если $n_1 = 1$ (воздух), $$r = \sqrt{(2m+1)R\frac{\lambda}{2}}.$$

Кольца, светлые в отражённом свете, являются тёмными в проходящем свете.

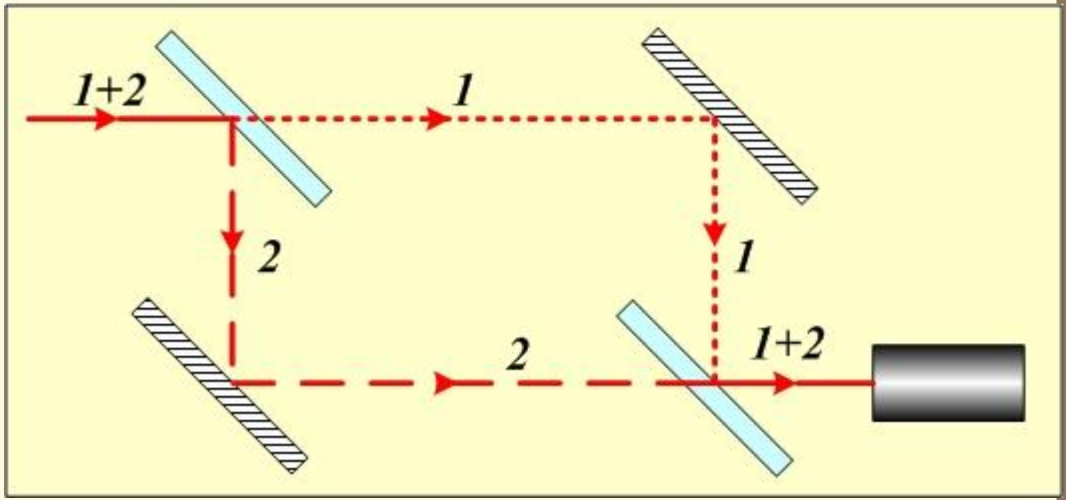
# 3.6. Интерферометры.

# 3.6. Интерферометры.

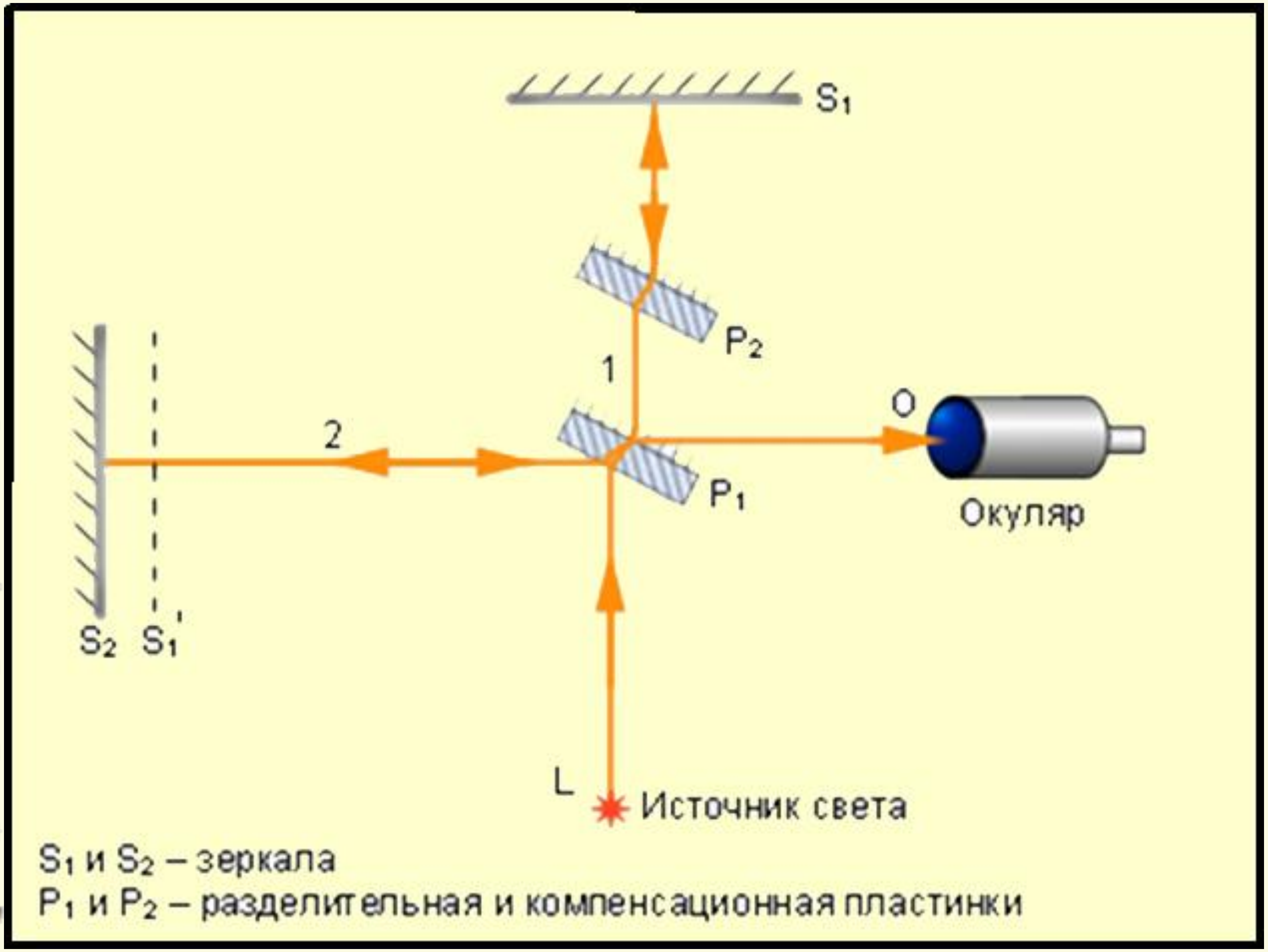
Оптические ***интерферометры*** – приборы для измерения длин волн спектральных линий и их структуры. Их используют также для точного измерения показателей преломления прозрачных сред, контроля формы, микрорельефа и деформации оптических деталей и металлических поверхностей и т.д.

Действие интерферометра основано на пространственном разделении пучка света с помощью того или иного устройства, с целью получения двух когерентных лучей, которые проходят различные оптические пути, а затем сводятся, в результате чего возникает интерференция.

На рисунке показана оптическая схема интерферометра Рождественского, где разделение пучка производится с помощью полупрозрачной пластины, затем лучи отражаются от зеркал.

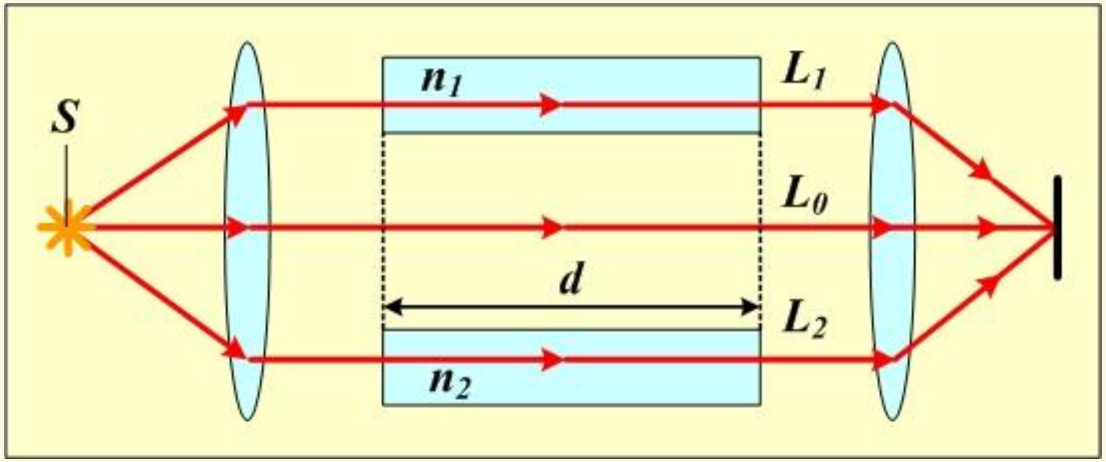


# 3.6. Интерферометры.




Оптическая схема интерферометра Майкельсона

# 3.6. Интерферометры.




Измерение показателя преломления с помощью интерферометра

Пусть в результате заполнения кюветы исследуемым веществом интерференционная картина сдвинулась на m полос. Тогда

$$\Delta L = m\lambda.$$

Дополнительная разность хода возникла из-за того, что один из дучей проходил через кювету с исследуемым веществом, а второй – через откачанную кювету. Длины обеих кювет одинаковы.

$$\Delta L = nd - d = (n-1)d.$$

$$(n-1)d = m\lambda, \qquad n = \frac{m\lambda}{d} + 1.$$

# 3.7. Примеры решения задач.

**1.** В опыте Юнга отверстия освещались монохроматическим светом ($\lambda$ = 600нм). Расстояние между отверстиями $d$ = 1 мм, расстояние от отверстий до экрана 3 м. Найти положение трёх первых светлых полос.

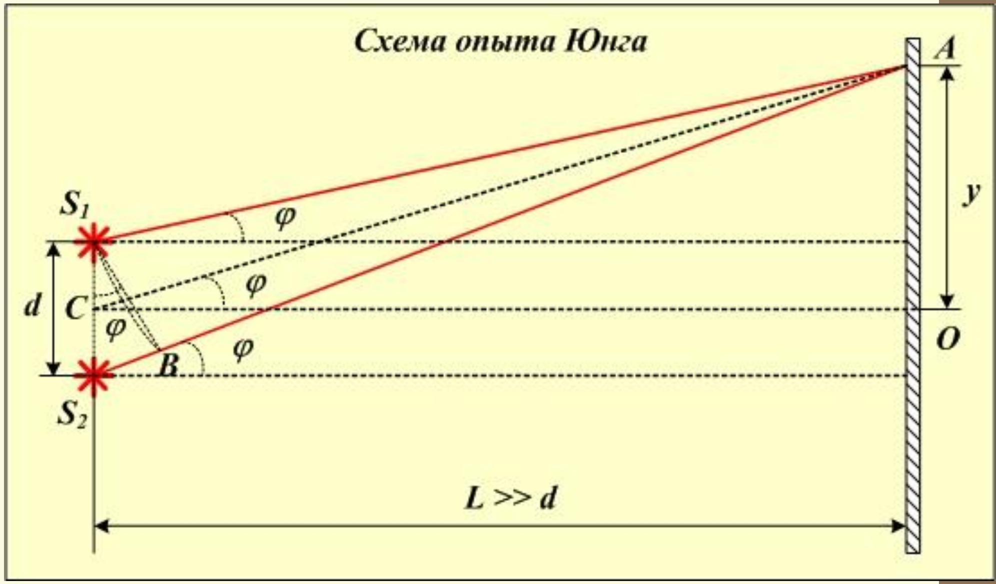
***Дано:***
***$\lambda$ = 600нм***
***$d$ = 1 мм***
***$L$ = 3 м***

***$y_{1,2,3}$ - ?***

## Решение

Условие максимума при интерференции в опыте Юнга:

$$d\sin\varphi = m\lambda.$$




Расстояние $L>>d,$ поэтому

$$\sin\varphi = tg\varphi = \frac{y_m}{L}.$$

Отсюда

$$d\frac{y_m}{L} = m\lambda, \qquad y_m = \frac{m\lambda L}{d}.$$

Выполним расчёты:

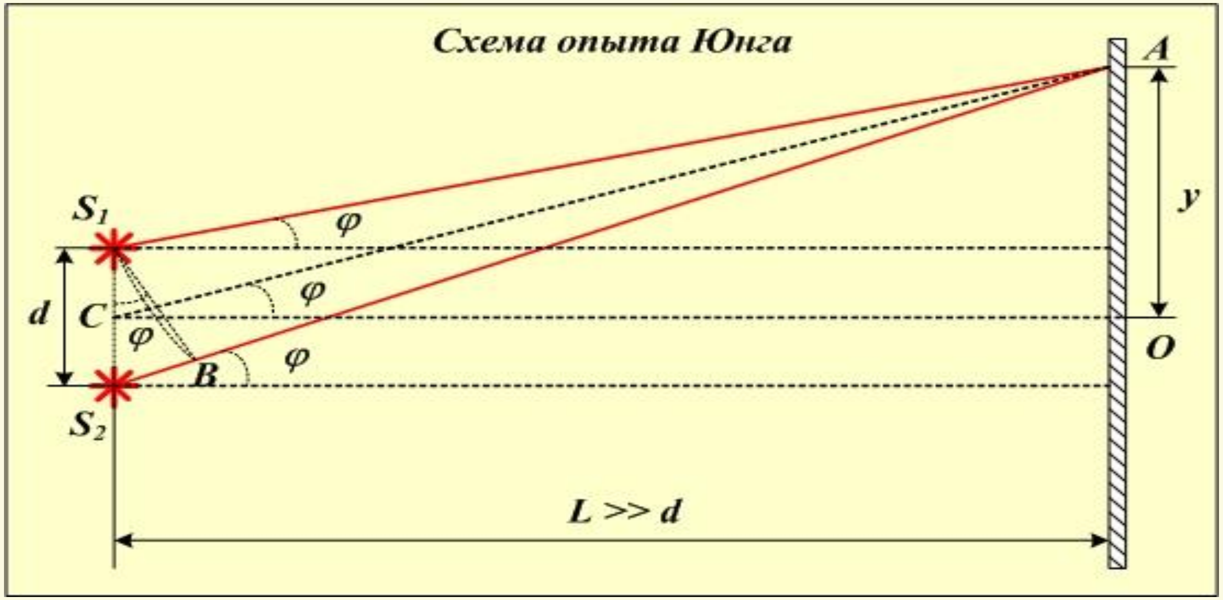
$$y_m = \frac{m\lambda L}{d} = \frac{m\cdot 6\cdot 10^{-7}\cdot 3}{1\cdot 10^{-3}} = 18m\cdot 10^{-4}\,ì\ .$$

$$y_1 = 18\cdot 10^{-4}\text{м} = 1{,}8\,\text{мм}. \qquad y_2 = 3{,}6\,\text{мм}. \qquad y_3 = 5{,}4\ \text{мм}.$$

**2.** В опыте с зеркалами Френеля расстояние между мнимыми изображениями источника света $d$ = 0,5 мм, расстояние от них до экрана $L$ = 5 м. В зелёном свете получились интерференционные полосы, расположенные на расстоянии $l$ = 5 мм друг от друга. Найти длину волны зелёного света.

***Дано:***
***l = 5 мм***
***d = 0,5 мм***
***L = 5 м***

***λ - ?***




***Решение***

Оптическая схема опыта аналогична схеме опыта Юнга ($S_1$ и $S_2$ –мнимые источники). Условие наблюдения интерференционного максимума:

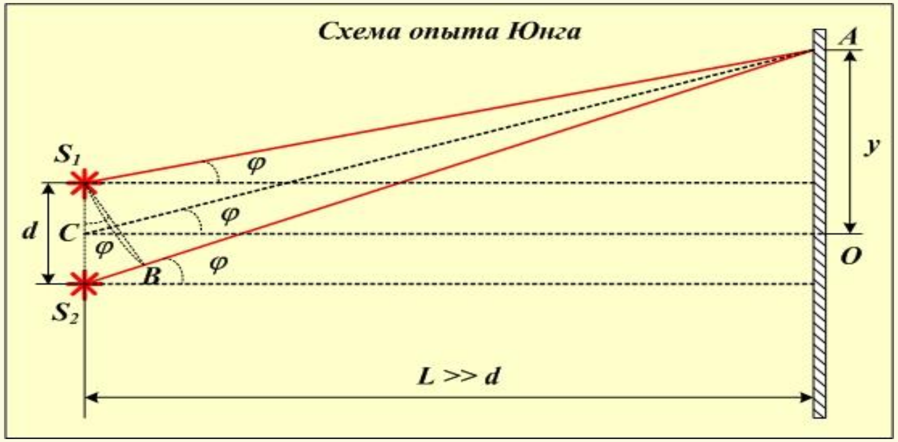
$$d\sin\varphi = m\lambda.$$

Расстояние *L>>d,* поэтому $\sin\varphi = tg\varphi = \dfrac{y_m}{L}$, $\quad d\dfrac{y_m}{L} = m\lambda.$

**2.** В опыте с зеркалами Френеля расстояние между мнимыми изображениями источника света $d = 0{,}5$ мм, расстояние от них до экрана $L = 5$ м. В зелёном свете получились интерференционные полосы, расположенные на расстоянии $l = 5$ мм друг от друга. Найти длину волны зелёного света.

---

## ***Решение (продолжение)***




Расстояние между полосами на экране

$$l = y_m - y_{m-1}.$$

$$l = y_m - y_{m-1} =$$

$$= \frac{m\lambda L}{d} - \frac{(m-1)\lambda L}{d} = \frac{\lambda L}{d}.$$

Отсюда $\lambda = \dfrac{ld}{L}.$ $\quad \lambda = \dfrac{ld}{L} = \dfrac{5\cdot 10^{-4}\cdot 5\cdot 10^{-3}}{5} = 5\cdot 10^{-7}\ \text{ì}\ .$

**3.** В опыте Юнга на пути одного интерферирующего луча помещается стеклянная пластинка перпендикулярно к лучу. Вследствие этого центральная светлая полоса сместилась в положение, первоначально занятое пятой светлой полосой (не считая центральной). Длина волны света $\lambda$ = 600нм. Какова толщина пластины? Показатель преломления стекла $n$ = 1,5.

***Дано:***

$m = 5$

$\lambda = 600$ нм

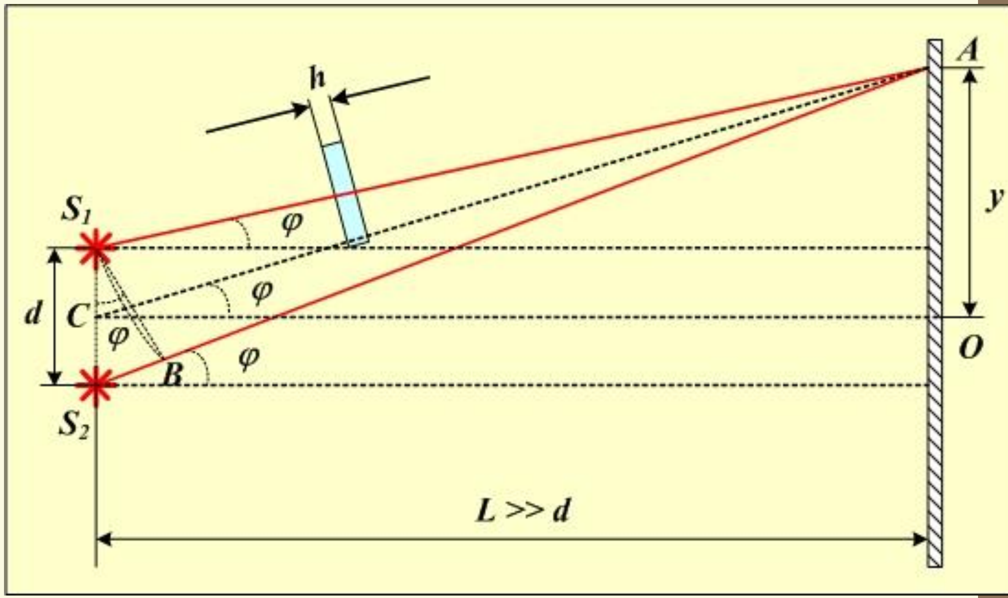
$n = 1,5$

$h$ - ?

***Решение***

В результате помещения пластины на пути одного из лучей интерференционная картина сдвинулась на $m$ полос. Тогда

$$\Delta L = m\lambda.$$




Дополнительная разность хода возникла из-за того, что один из лучей проходил через пластину, а второй – через воздух.

$$\Delta L = nh - h = (n-1)h.$$

$$(n-1)h = m\lambda, \quad h = \frac{m\lambda}{n-1}. \quad h = \frac{5\cdot 6\cdot 10^{-7}}{1,5-1} = 6\cdot 10^{-6}\,ì = 6ì\,êì.$$

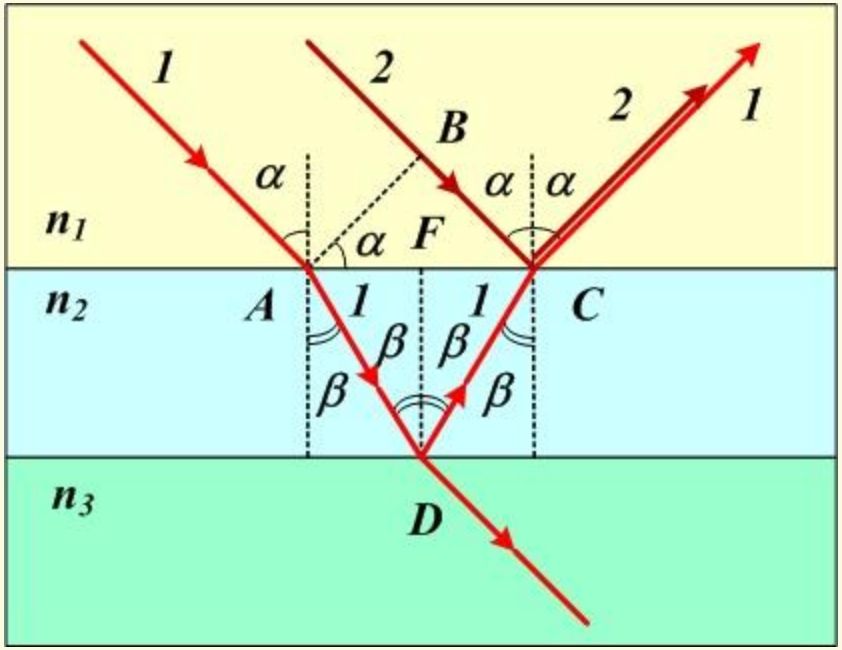
**4.** На мыльную плёнку падает белый свет под углом $i$ = 45° к поверхности плёнки. При какой наименьшей толщине плёнки отражённые лучи будут окрашены в жёлтый цвет ($\lambda$ = 600 нм)?

***Дано:***
$i = 45^o$
$\lambda = 600$ нм
$n = 1{,}33$

$h$ - ?

***Решение***

Согласно условию плёнка находится в воздухе. $n_1 = n_3 = 1$, $n_2 = 1{,}33$. Тогда оптическая разность хода лучей 1 и 2 равна




$$\delta = 2hn_1\sqrt{n_{21}^2 - \sin^2\alpha} - \frac{\lambda}{2}.$$

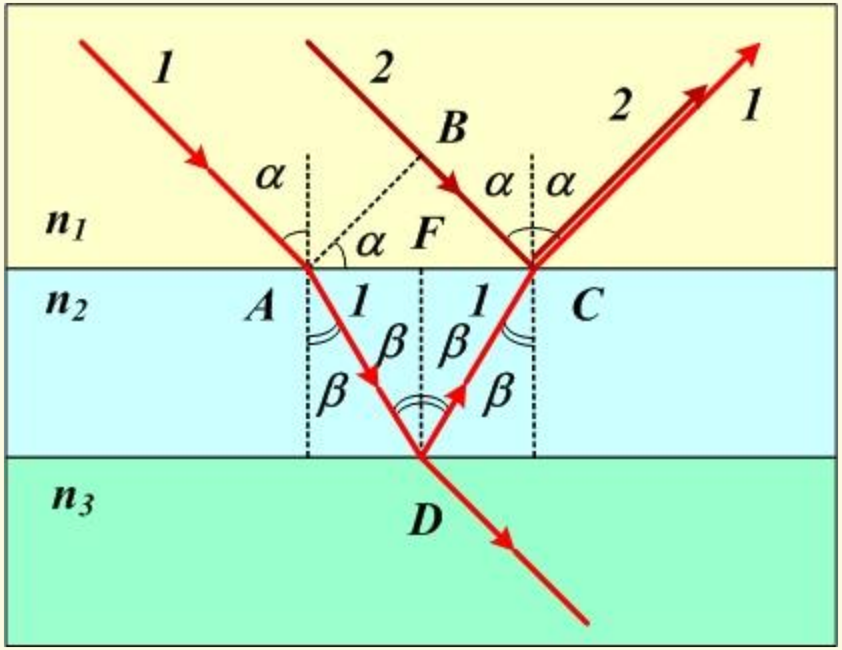
$$n_1 = 1, \quad n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = n, \quad \alpha = i.$$

В точке D отражение происходит от оптически менее плотной среды, фаза волны не изменяется, а в точке C – от оптически более плотной среды, поэтому вычитаем $\lambda/2$.

**4.** На мыльную плёнку падает белый свет под углом $i$ = 45° к поверхности плёнки. При какой наименьшей толщине плёнки отражённые лучи будут окрашены в жёлтый цвет ($\lambda$ = 600 нм)?

***Решение (продолжение)***

$$\delta = 2h\sqrt{n^2 - \sin^2 i} - \frac{\lambda}{2}.$$




Плёнка окрашена в жёлтый цвет, следовательно, для волн, соответствующих жёлтому свету ( $\lambda$ = 600 нм) наблюдается максимум.

$$\delta = m\lambda.$$

$$2h\sqrt{n^2 - \sin^2 i} - \frac{\lambda}{2} = m\lambda,$$

$$2h\sqrt{n^2 - \sin^2 i} = m\lambda + \frac{\lambda}{2},$$

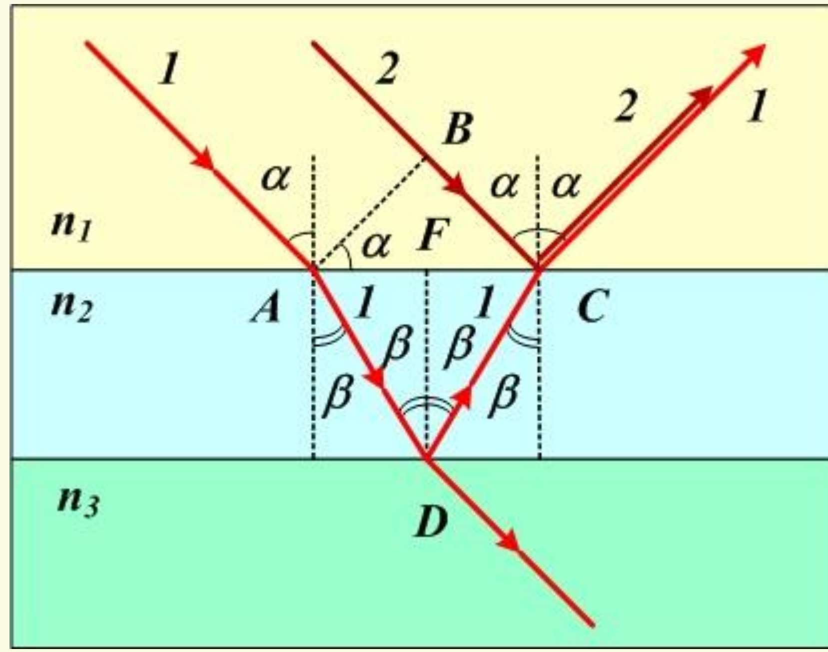
$$2h\sqrt{n^2 - \sin^2 i} = (2m+1)\frac{\lambda}{2},$$

**4.** На мыльную плёнку падает белый свет под углом $i = 45°$ к поверхности плёнки. При какой наименьшей толщине плёнки отражённые лучи будут окрашены в жёлтый цвет ($\lambda = 600$ нм)?

## ***Решение (продолжение)***

$$2h\sqrt{n^2 - \sin^2 i} = (2m+1)\frac{\lambda}{2},$$

$$h = \frac{(2m+1)\lambda}{4\sqrt{n^2 - \sin^2 i}}.$$




Толщина плёнки минимальна, поэтому m = 0.

$$h = \frac{\lambda}{4\sqrt{n^2 - \sin^2 i}} \approx 0{,}13\text{ì êì}.$$

**15.** На поверхность стеклянного объектива ($n_c$ = 1,5) нанесена тонкая плёнка, показатель преломления которой $n$ = 1,2. При какой наименьшей толщине $h$ этой плёнки произойдёт максимальное ослабление отражённого света в средней части видимого спектра (λ = 550 нм)?

---

***Дано:***

***λ = 550 нм***

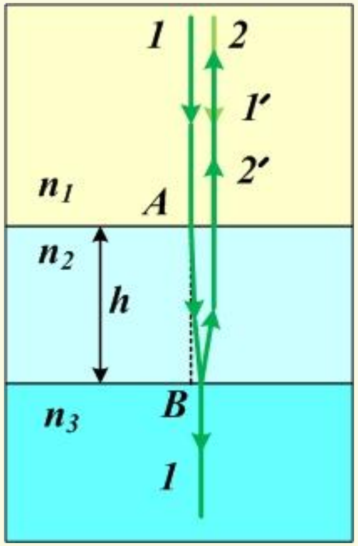
***$n_п$ = 1,2***

***$n_c$ = 1,5***

***h - ?***

***Решение***

Максимальное ослабление отражённого света будет, если в отражённом свете наблюдается минимум интенсивности на заданной длине волны.




$$n_1 < n_2 < n_3,$$

поэтому следует добавить (или вычесть) λ/2 и к оптической длине луча 1 (отражение от границы плёнка – стекло) и к оптической длине луча 2 (отражение от границы воздух плёнка). Итого оптическая разность хода

$$\delta = L_1 - L_2 = 2hn_2 + \frac{\lambda}{2} - \frac{\lambda}{2} = 2hn_2.$$

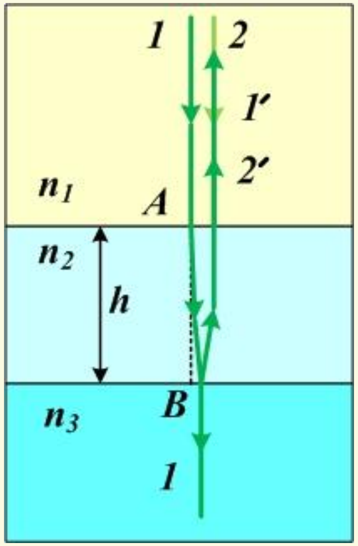
Условие минимума интенсивности:

$$\delta = (2m+1)\frac{\lambda}{2}.$$

**15.** На поверхность стеклянного объектива ($n_c$ = 1,5) нанесена тонкая плёнка, показатель преломления которой *n* = 1,2. При какой наименьшей толщине *h* этой плёнки произойдёт максимальное ослабление отражённого света в средней части видимого спектра ($\lambda$ = 550 нм)?

---

## Решение (продолжение)




$$\delta = (2m+1)\frac{\lambda}{2}, \qquad \delta = 2hn_2.$$

$$2hn_2 = (2m+1)\frac{\lambda}{2}.$$

$$h = \frac{(2m+1)\frac{\lambda}{2}}{2n_2}.$$

Толщина плёнки *h* будет минимальной при *m = 0*.

$$h_{\min} = \frac{\lambda}{4n_2} = \frac{0,55\cdot 10^{-6}}{4\cdot 1,2} \approx 0,12\cdot 10^{-6}\,\grave{\imath} = 0,12\,\grave{\imath}\;\hat{e}\grave{\imath}.$$

**5.** Мыльная плёнка, расположенная вертикально, образует клин вследствие стекания жидкости. При наблюдении интерференционных полос в отраженном свете ртутной дуги ($\lambda$ = 546,1 нм) оказалось, что расстояние между пятью полосами $l$ = 2 см. Найти угол $\gamma$ клина. Свет падает перпендикулярно к поверхности плёнки.

***Дано:***

$\lambda = 546{,}1$ *нм*

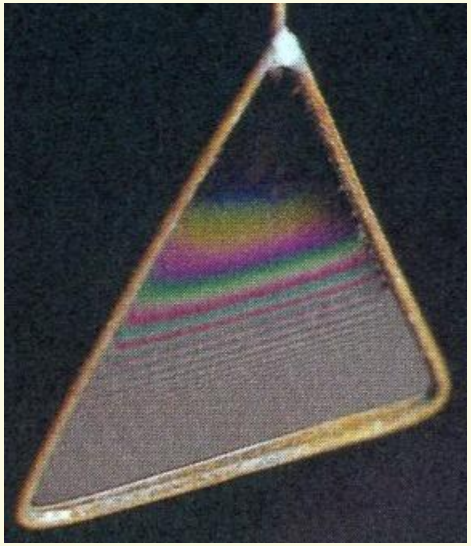
$n_n = 1{,}33$

$l_i = 2$ *см*

$i = 5$

$\gamma$ - ?

***Решение***

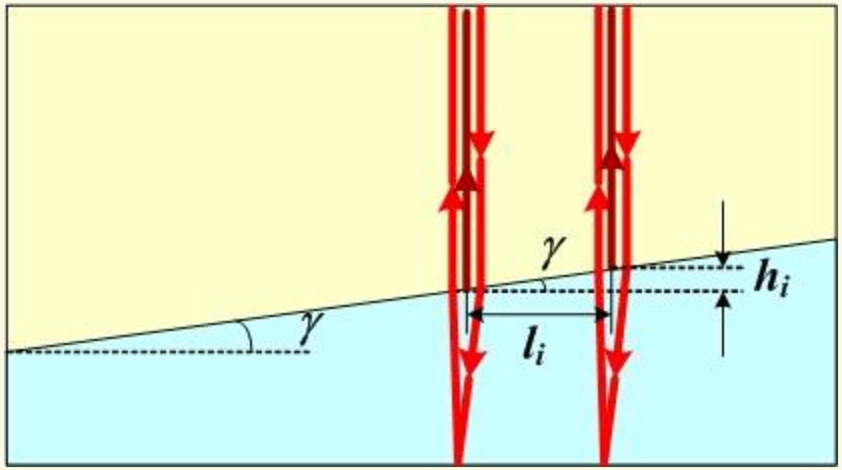


Положение светлых полос в отражённом свете определяется условием максимума для интерференции

$$\delta = m\lambda.$$

Оптическая разность хода определяется толщиной мыльной плёнки

$$\delta = L_1 - L_2 = 2dn - \frac{\lambda}{2}.$$



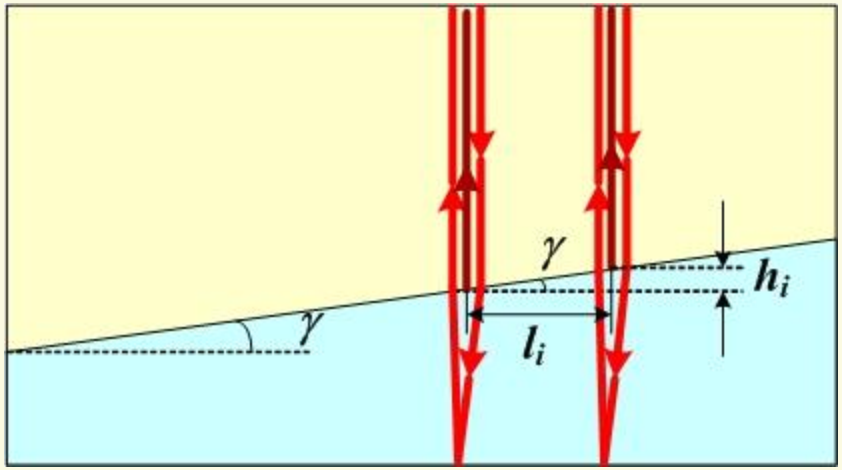

Таким образом, условие максимума в отражённом свете

$$2dn - \frac{\lambda}{2} = m\lambda.$$

**5.** Мыльная плёнка, расположенная вертикально, образует клин вследствие стекания жидкости. При наблюдении интерференционных полос в отраженном свете ртутной дуги ($\lambda$ = 546,1 нм) оказалось, что расстояние между пятью полосами $l$ = 2 см. Найти угол $\gamma$ клина. Свет падает перпендикулярно к поверхности плёнки.

$$2dn - \frac{\lambda}{2} = m\lambda,$$

$$2dn = (2m+1)\frac{\lambda}{2}.$$



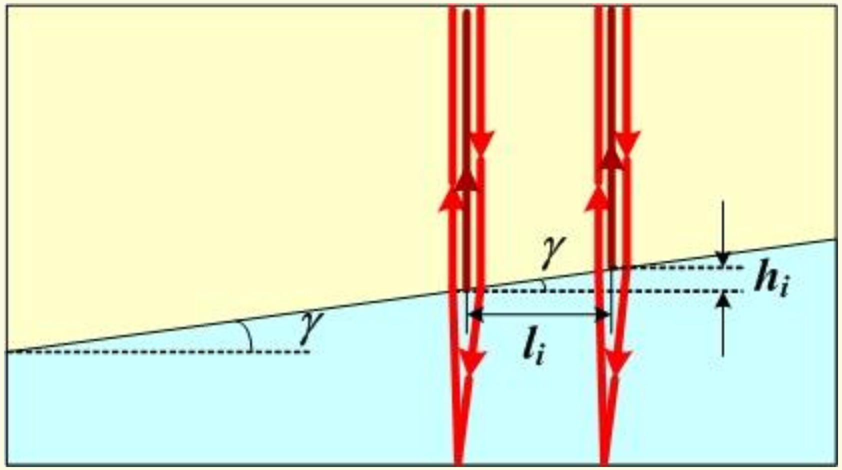

Толщина плёнки в точке, соответствующей максимуму

$$d_m = \frac{(2m+1)}{2n}\frac{\lambda}{2}.$$

Величина $h_i$ есть разность двух значений толщины плёнки, соответствующих разным максимумам:

$$h_i = d_{m+i} - d_m = \frac{(2m+2i+1)}{2n}\frac{\lambda}{2} - \frac{(2m+1)}{2n}\frac{\lambda}{2} = \frac{2i}{2n}\frac{\lambda}{2} = \frac{i\lambda}{2n}.$$

**5.** Мыльная плёнка, расположенная вертикально, образует клин вследствие стекания жидкости. При наблюдении интерференционных полос в отраженном свете ртутной дуги ($\lambda$ = 546,1 нм) оказалось, что расстояние между пятью полосами $l$ = 2 см. Найти угол $\gamma$ клина. Свет падает перпендикулярно к поверхности плёнки.




Из прямоугольного треугольника на рисунке

$$tg\gamma = \frac{h_i}{l_i}.$$

$$\gamma \to 0, \qquad tg\gamma = \gamma.$$

$$\gamma = \frac{h_i}{l_i} = \frac{i\lambda}{2nl_i}.$$

$$\gamma = \frac{i\lambda}{2nl_i} = \frac{5\cdot 546{,}1\cdot 10^{-9}}{2\cdot 1{,}33\cdot 2\cdot 10^{-2}} \approx 5{,}13\cdot 10^{-5} \approx 2{,}94\cdot 10^{-3\circ} \approx 10''$$

<u>6.</u> Установка для получения колец Ньютона освещается монохроматическим светом, падающим по нормали к поверхности пластинки. Наблюдение ведется в отражённом свете. Радиусы двух соседних тёмных колец равны $r_k$ = 4,0 мм и $r_{k+1}$ = 4,38 мм. Радиус кривизны линзы $R$ = 6,4 м. Найти порядковый номер колец и длину волны падающего света.

***Дано:***

***$r_k$ = 4,0 мм***

***$r_{k+1}$ = 4,38 мм***

***$R$ = 6,4 м***

***$n$ - ?***

***$\lambda$ - ?***

***<u>Решение</u>***

Радиус тёмного кольца номер $k$ в отражённом свете определяется формулой

$$r_k = \sqrt{kR\frac{\lambda}{n}}.$$

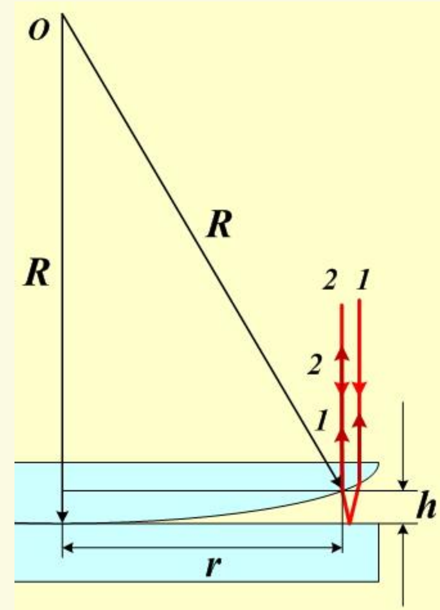
Для колец номер $k$ и $k+1$

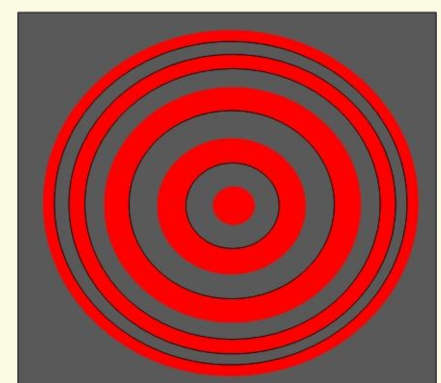
$$r_k^2 = kR\frac{\lambda}{n}, \qquad r_{k+1}^2 = (k+1)R\frac{\lambda}{n}.$$

$$r_{k+1}^2 - r_k^2 = \frac{R\lambda}{n}$$

$$\lambda = \frac{(r_{k+1}^2 - r_k^2)n}{R} \approx 5\cdot 10^{-7} \text{ ì}. \qquad k = \frac{r_k^2 \cdot n}{R\lambda} = 5.$$

(Для $n = 1$)



**10.** Установка для наблюдения колец Ньютона освещена светом с длиной волны $\lambda$ = 589 нм, падающим по нормали к поверхности пластинки. Радиус кривизны линзы $R$ = 10 м. Пространство между линзой и пластинкой заполнено жидкостью. Найти показатель преломления жидкости, если радиус третьего светлого кольца в проходящем свете равен $r_3$ = 3,65 мм.

***Дано:***

***$r_3$ = 3,65 мм***
***$\lambda$ = 589 нм***
***R = 10 м***

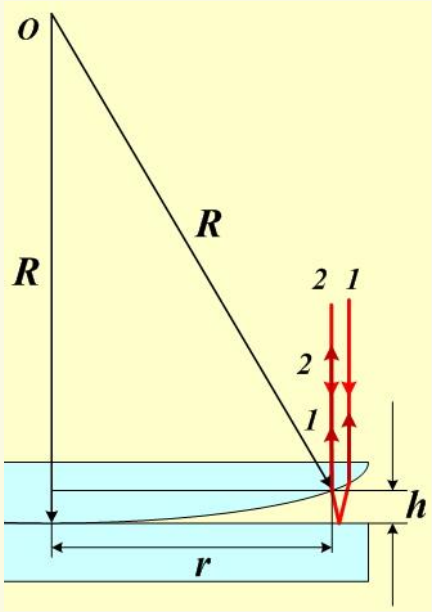
***n - ?***

## *Решение*

Радиус светлого кольца номер $k$ в проходящем свете определяется формулой

$$r_k = \sqrt{kR\frac{\lambda}{n}}.$$

$$r_k^2 = kR\frac{\lambda}{n}.$$




Отсюда показатель преломления жидкости

$$n = kR\frac{\lambda}{r_k^2}.$$

$$n = 3\cdot 10\cdot\frac{589\cdot 10^{-9}}{3{,}65^2\cdot 10^{-6}} \approx 1{,}33.$$

**11.** Установка для наблюдения колец Ньютона освещена монохроматическим светом с длиной волны λ = 500 нм, падающим по нормали к поверхности пластинки. Пространство между линзой и пластинкой заполнено жидкостью с показателем преломления n = 1,33. Найти толщину слоя жидкости в том месте, где в отражённом свете наблюдается третье светлое кольцо.

***Дано:***

*n = 1,33*

*m = 3*

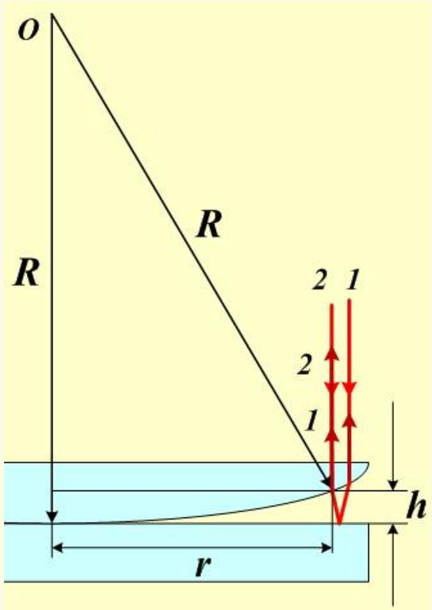
*λ = 500 нм*

*h - ?*

***Решение***

Разность хода между лучами при наблюдении колец Ньютона в отражённом свете определяется формулой

$$\delta = L_1 - L_2 = 2hn + \frac{\lambda}{2} - \frac{\lambda}{2} = 2hn.$$




Условие максимума интенсивности:

$$\delta = m\lambda.$$

$$2nh = m\lambda.$$

$$h = \frac{m\lambda}{2n}.$$

$$h = \frac{3 \cdot 500 \cdot 10^{-9}}{2 \cdot 1,33} \approx 5,6 \cdot 10^{-7} \text{ (м).}$$

**14.** Для измерения показателя преломления аммиака в одно из плеч интерферометра Майкельсона поместили откачанную трубку длиной $l$ = 0,140 м. Концы трубки закрыли плоскопараллельными стёклами. Была получена интерференционная картина. После заполнения трубки аммиаком интерференционная картина сместилась на k = 180 полос. Найдите показатель преломления аммиака, если длина волны света λ = 590 нм.

**Дано:**
***l = 0,140 м***
***k = 180***
***λ = 590 нм***

***n - ?***

## Решение

Интерференционная картина сдвинулась на *k* полос в результате заполнения трубки аммиаком . Дополнительная разность хода возникла из-за того, что один из лучей проходил через трубку, заполненную аммиаком.

$$\Delta L = m\lambda.$$

$$\Delta L = nl - n_0 l = \left(n - n_0\right) l.$$

Если $n_0 = 1,$ то $\left(n-1\right) l = m\lambda.$

$$n = \frac{m\lambda}{l} + 1.$$

$$n = \frac{180 \cdot 590 \cdot 10^{-9}}{0,140} + 1 \approx 1,00759.$$