The background of the image is a spiral-bound notebook with a light beige, textured cover. The spiral binding is visible on the left side. The text is written in a bold, green, serif font with a slight shadow effect.

# **Физика колебаний и волн. Квантовая физика.**

# Лекция № 4

---

## Интерференция волн.

- 1. Условия интерференции волн.*
- 2. Классические интерференционные опыты.*
- 3. Интерференция сферических волн.*

***Интерференция волн*** (от лат. *inter* – взаимно, между собой и *ferio* – ударяю, поражаю) – ***пространственное перераспределение энергии волн при наложении двух или нескольких волн.***

***Интерференция волн – одно из основных свойств волн любой природы (упругих, электромагнитных, в т.ч. световых и др.). Такие характерные волновые явления, как излучение, распространение и дифракция, тоже связаны с интерференцией.***



*Круговая волна на поверхности жидкости, возбуждаемая точечным источником (гармонически колеблющимся шариком).*



*Интерференция поверхностных волн от двух точечных синфазных источников.*

*В точках, для которых  $r_2 - r_1 = \lambda (m + 1/2)$ , поверхность жидкости не колеблется (узловые точки (линии))*

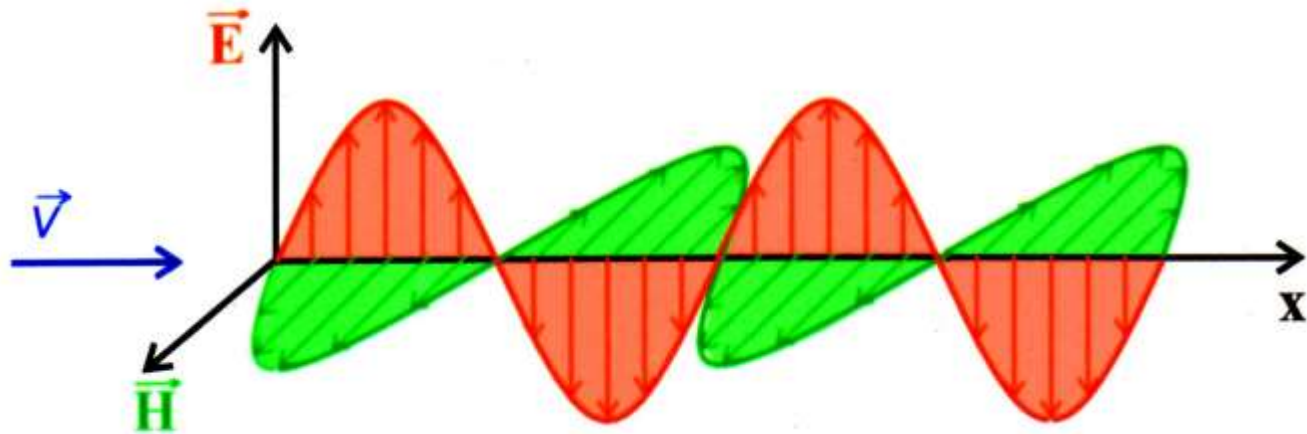


*Расстояние от источника до стенки  $r$  кратно целому числу полуволн, исходная круговая волна интерферирует с волной, отражённой от стенки, поэтому справа от источника на оси соединяющей фиктивный и реальный источник разность хода будет кратна целому числу волн, и круговая волна накладывается в фазе с волной, отражённой от стенки, увеличивая высоту гребней в интерференционной картине*

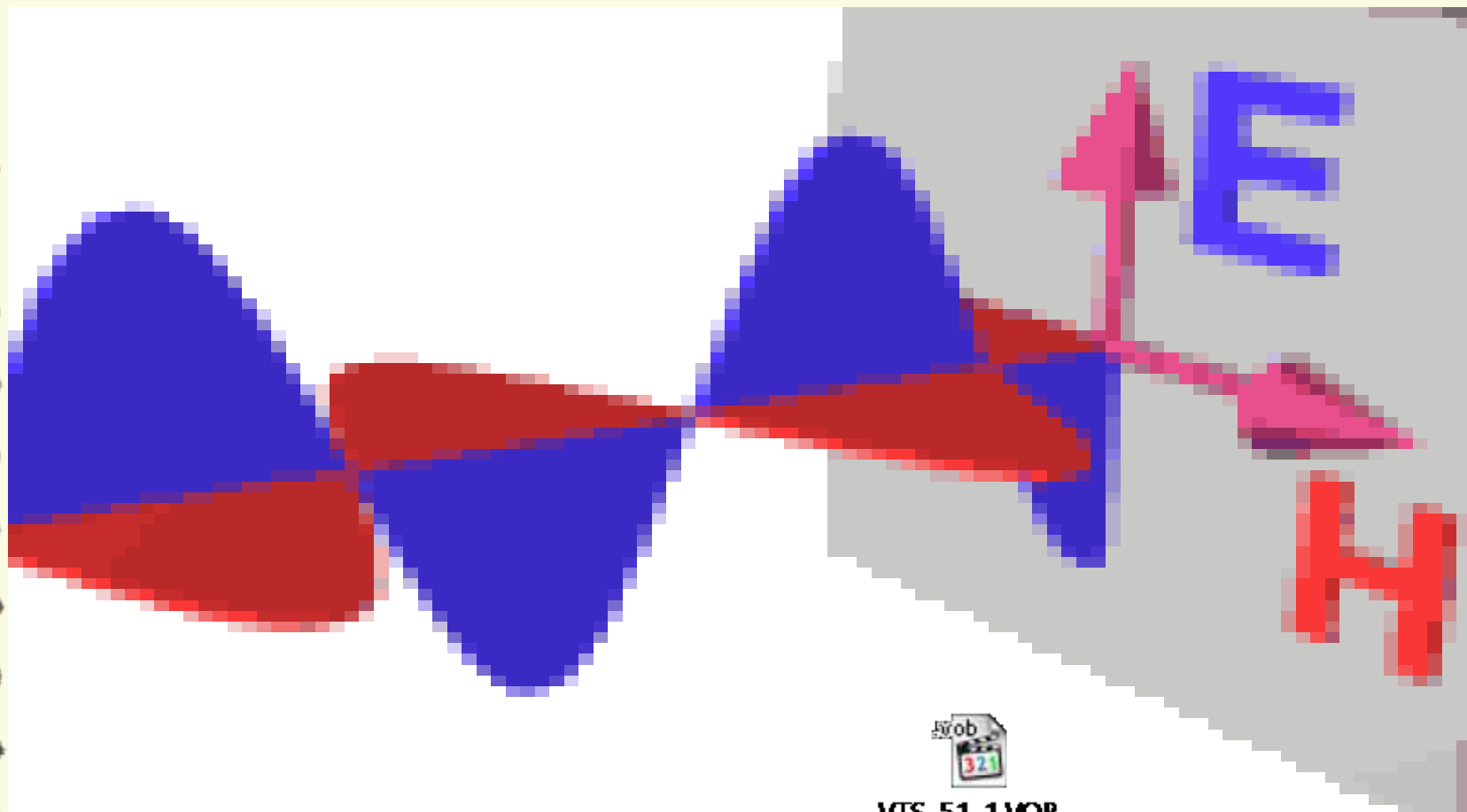


# Электромагнитная волна

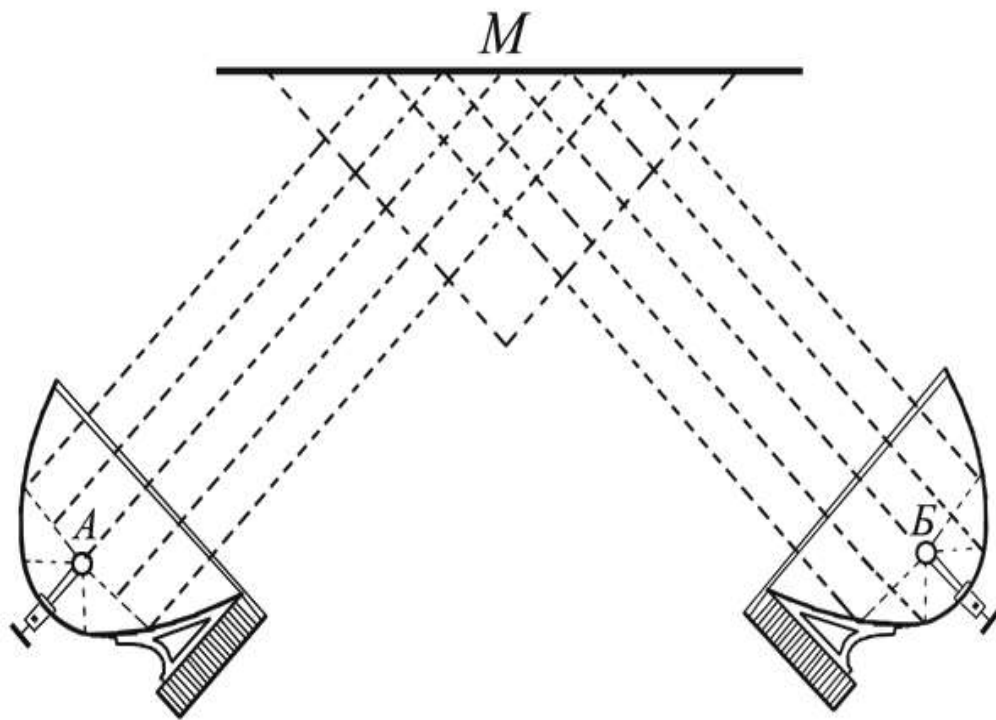
"Моментальная фотография" плоской волны



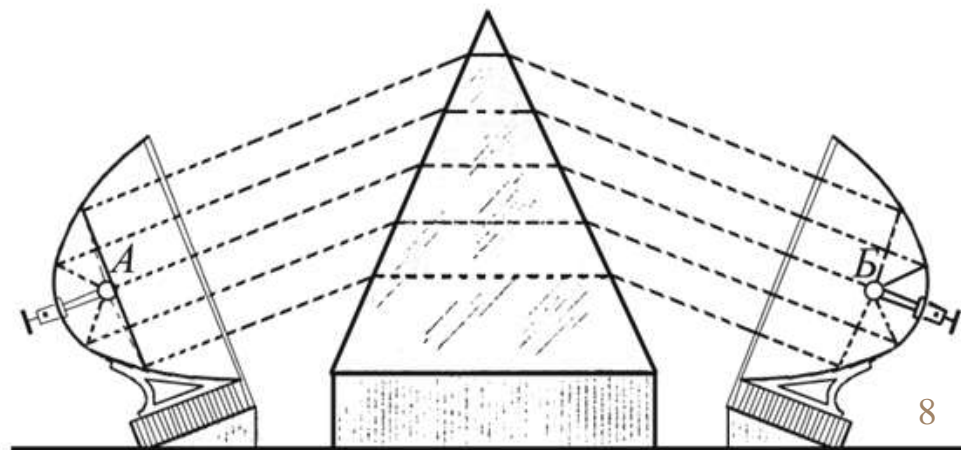
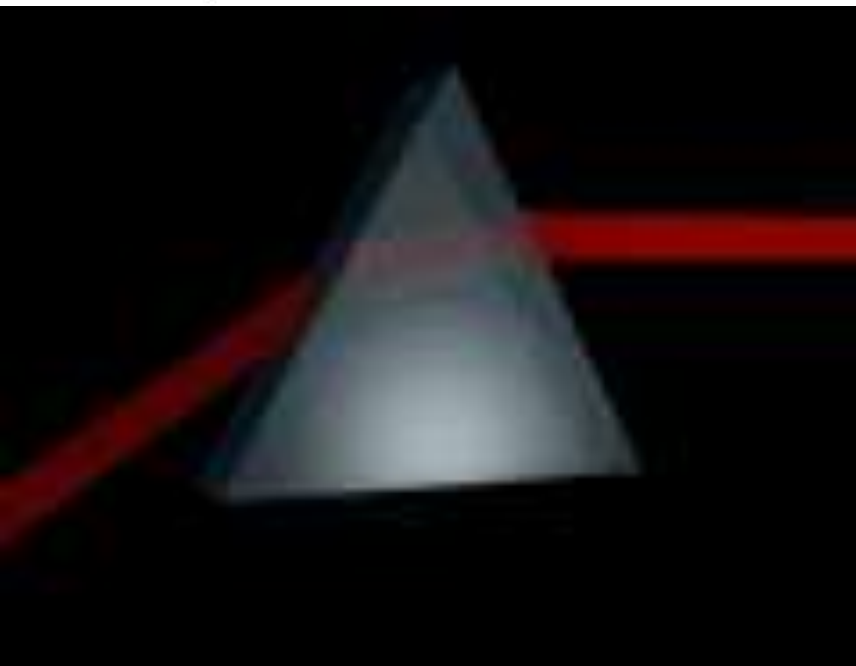
Векторы  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$  - взаимно перпендикулярны и образуют правовинтовую систему с направлением распространения волны



*В электромагнитной волне происходят колебания полей, а не вещества, как в случае волн на воде или в натянутом шнуре. Электромагнитные волны представляют собой поперечные волны.*

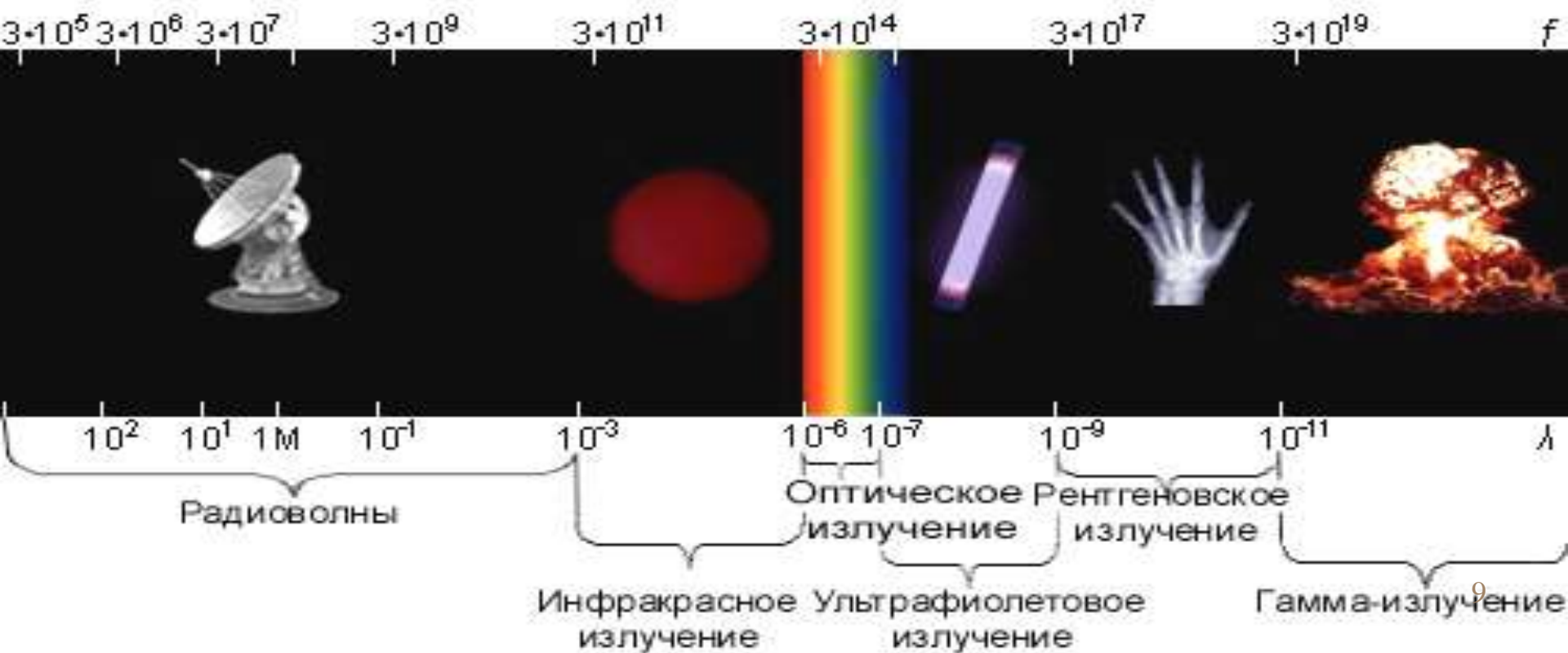


*Г. Герц установил  
полную аналогию  
электромагнитных и  
световых волн и  
показал, что для  
электромагнитных  
волн справедлив закон  
отражения и  
преломления*





*Оптический диапазон длин волн  $\lambda$  ограничен с одной стороны рентгеновскими лучами, а с другой – микроволновым диапазоном радиоизлучения. Видимый свет (в вакууме):  $\lambda = [400 \text{ нм (фиолетовый)} - 760 \text{ нм (красный)}]$*

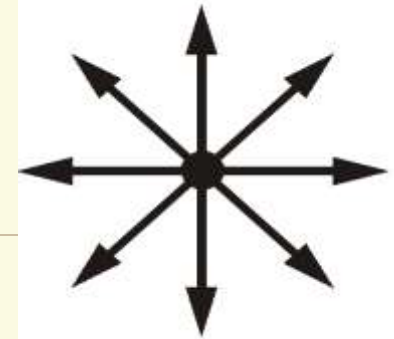


**Интерференция** наблюдается в результате наложения **когерентных** волн **линейно поляризованных в одной плоскости**. При этом происходит либо ослабление, либо усиление интенсивности света в зависимости от соотношения фаз складываемых волн.

Условия интерференции света:

1. **Когерентность** волн , т. е. у этих волн разность фаз не зависит от времени ( сохраняется за время наблюдения). Этому условию удовлетворяют монохроматические электромагнитные волны, частоты которых одинаковы.
2. **Волны** должны быть **линейно поляризованы в одной плоскости**.

*Естественный свет —  
неполяризованный:*



*Свет с преимущественным  
направлением колебаний вектора  $\vec{E}$   
называют **частично  
поляризованным светом:***

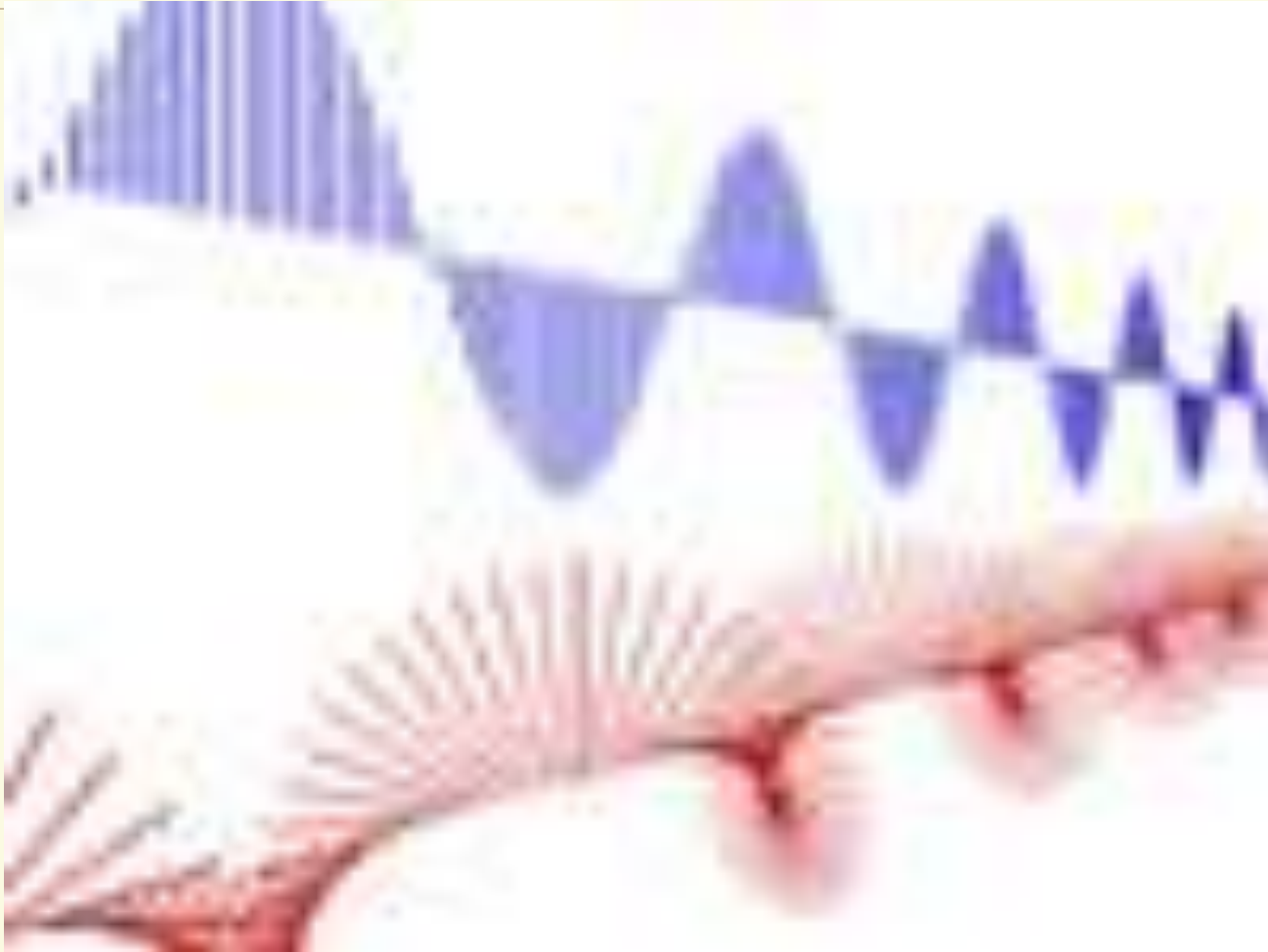


*Линейная поляризация:*

*Электромагнитная волна в этом  
случае называется **полностью  
поляризованной.***



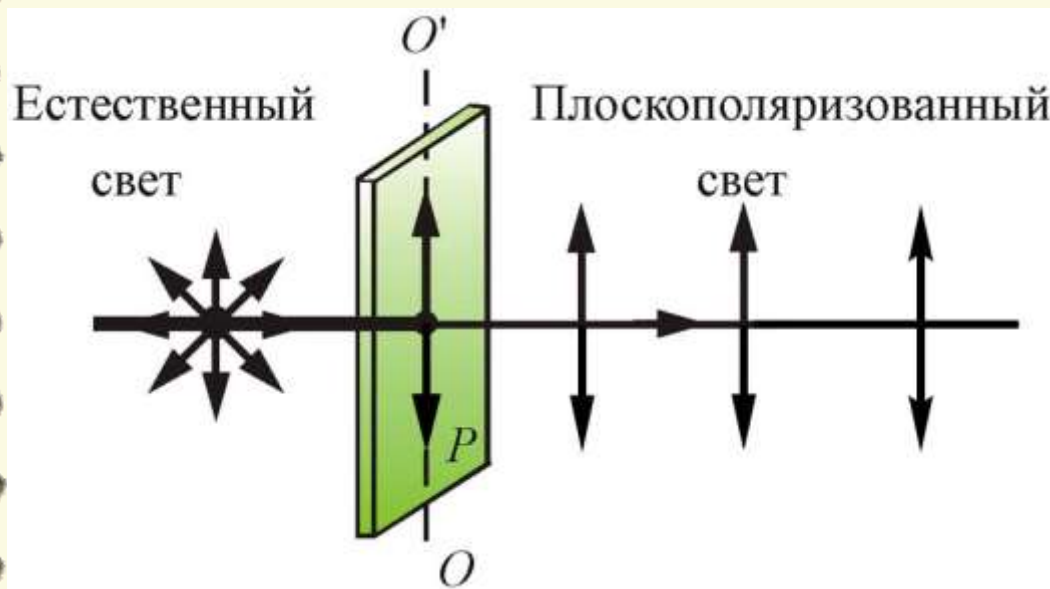
## **Линейно поляризованная электромагнитная волна и волна круговой поляризации.**



# Линейно поляризованный свет:

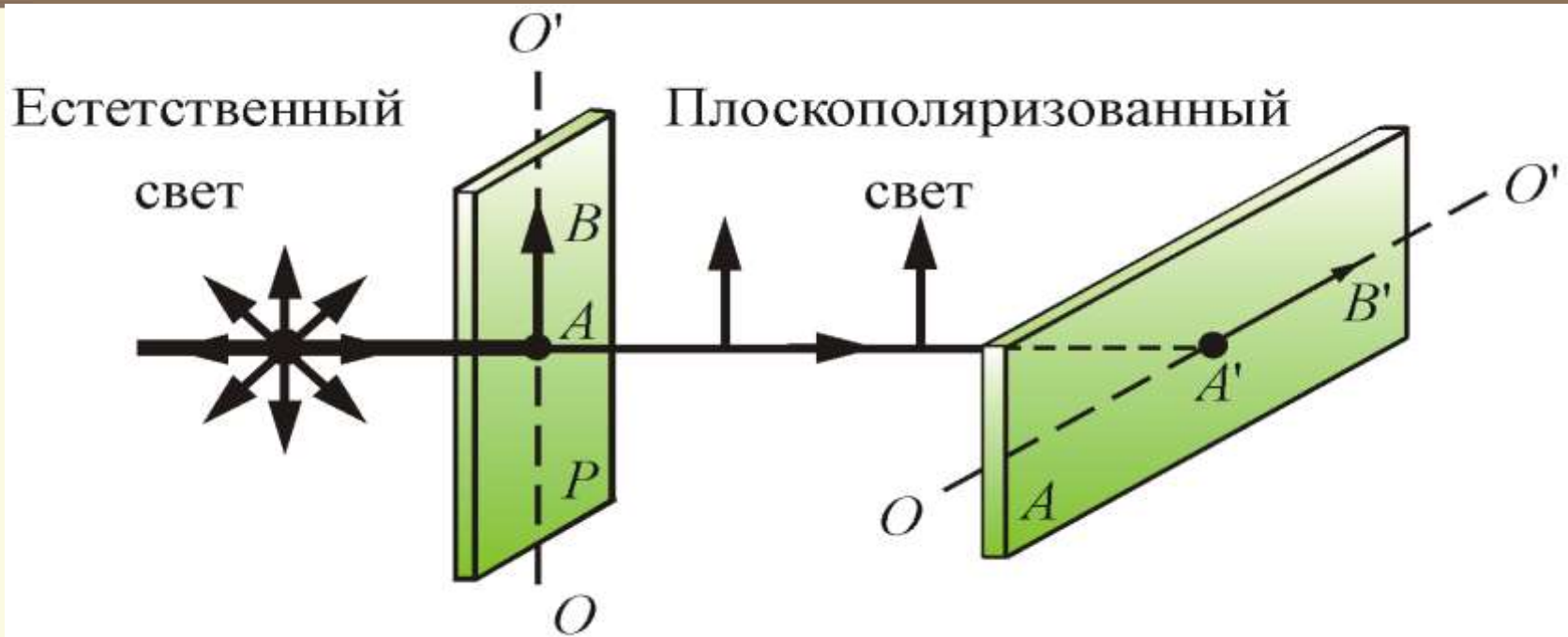
Устройства, позволяющие получать линейно поляризованный свет из естественного, называют **линейными поляризаторами**:

- свободно пропускают колебания, параллельные **плоскости поляризатора**,
- полностью или частично задерживают колебания перпендикулярные к его плоскости.



После прохождения поляризатора свет будет линейно поляризован в направлении  $OO'$ .





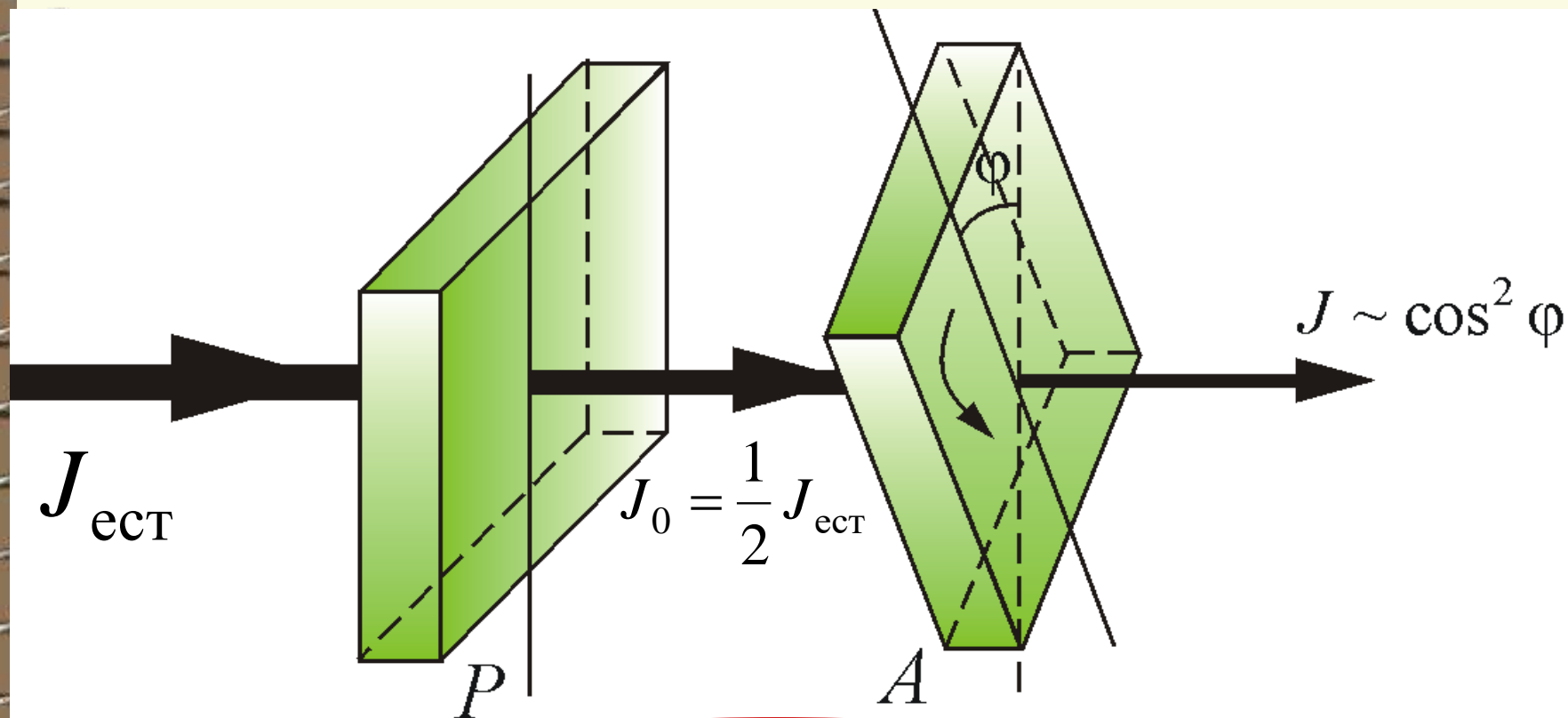
После прохождения **поляризатора** свет будет линейно поляризован в направлении  $OO'$

**Интенсивность света, при этом, уменьшится на половину.**

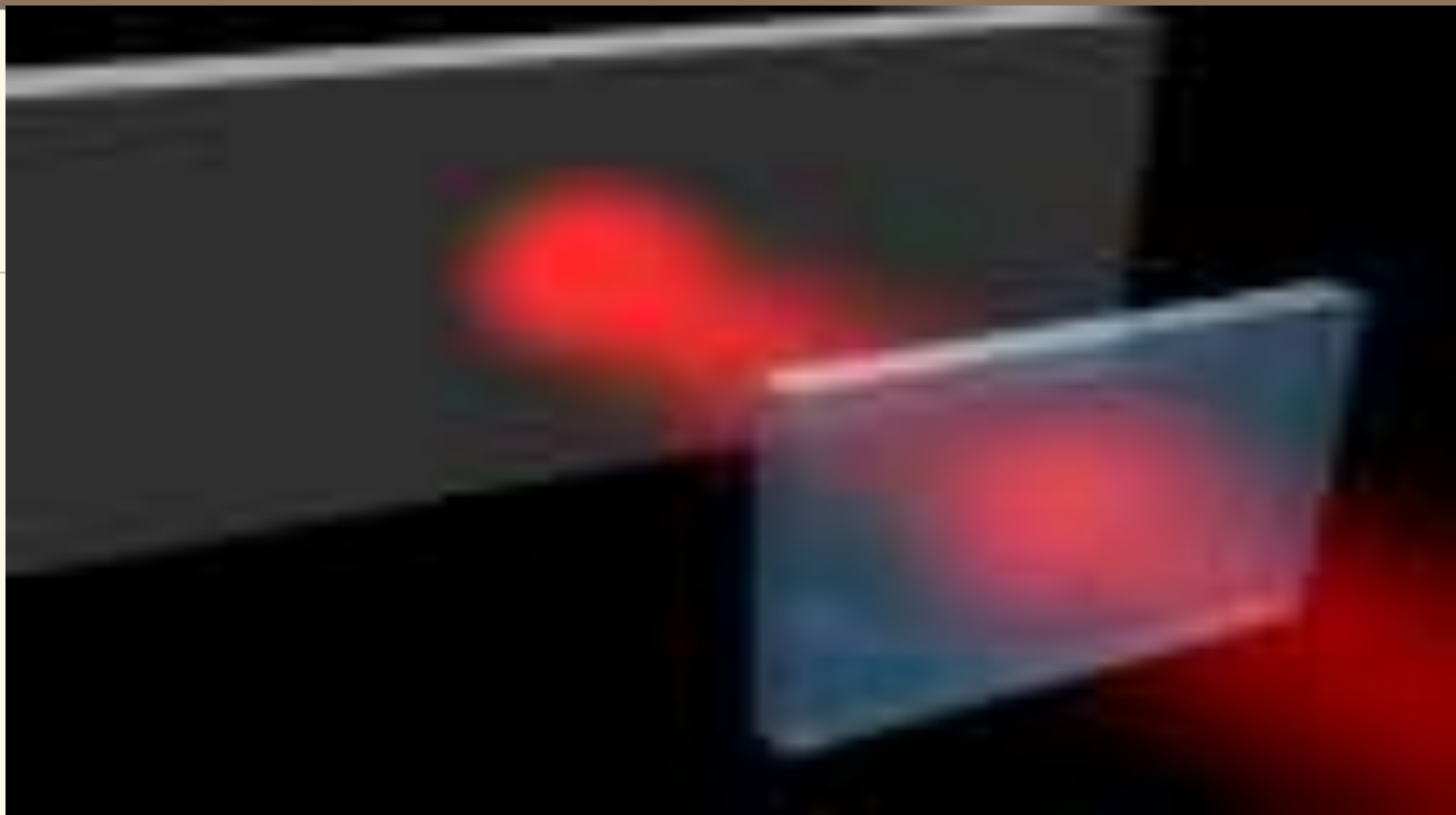
Если на пути луча поставить второй кристалл – **анализатор**  $A$ , то интенсивность света будет изменяться в зависимости от того, как ориентированы друг относительно друга обе пластины.

# Закон Малюса

В 1809 г. французский инженер Э. Малюс получил:



$$J = J_0 \cos^2 \phi = \frac{1}{2} J_{\text{ест}} \cos^2 \phi$$



*Прохождение линейно поляризованного света He-Ne лазера через вращающийся поляроид:*

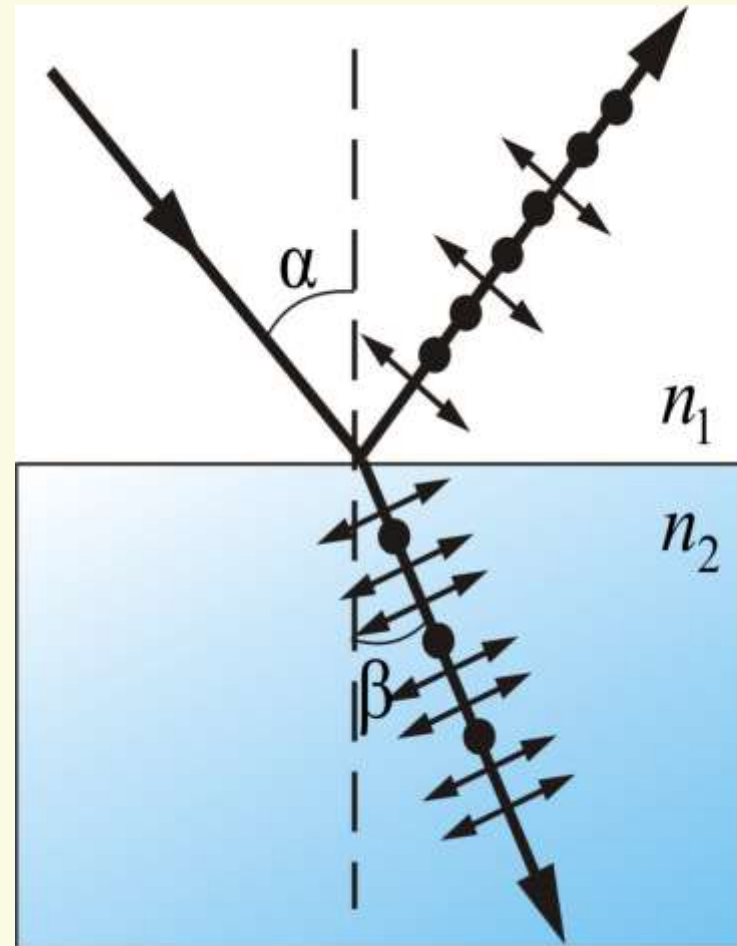
*Когда направление выделенной оси поляроида совпадает с направлением поляризации падающего света, на экране за поляроидом видно пятно с максимальной интенсивностью.*

*Когда эти направления перпендикулярны, свет полностью поглощается поляроидом, и световое пятно на экране отсутствует.*

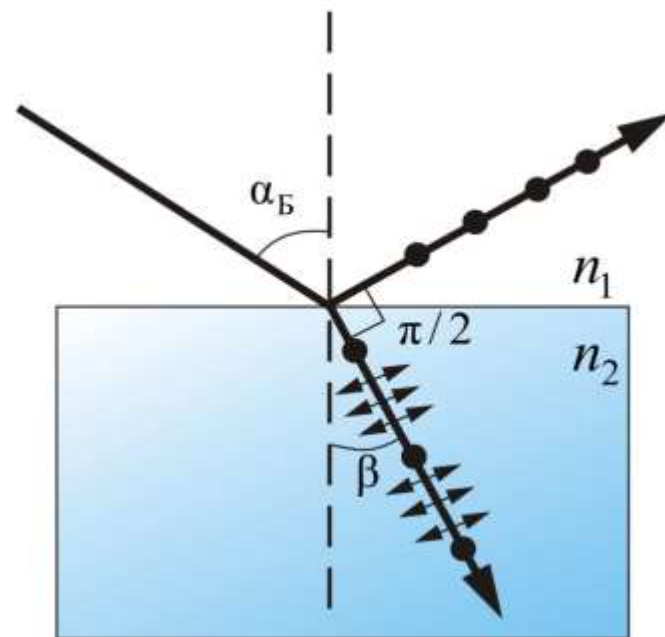
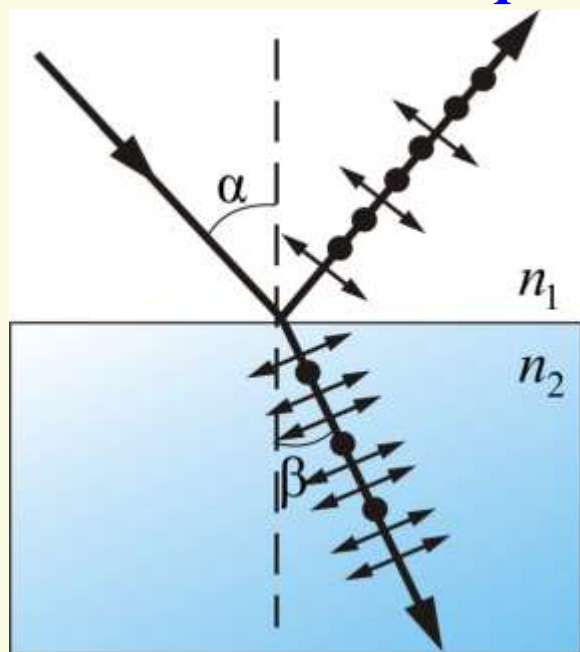
# Поляризация при отражении и преломлении

Свет поляризуется при **отражении** от границы двух сред и при прохождении границы – при **преломлении**.

В **отраженном** луче преобладают колебания, **перпендикулярные плоскости падения**, а в **преломленном** луче – колебания **параллельные плоскости падения**.



## Степень поляризации зависит от угла падения:



Если луч падает на границу двух сред под углом  $\alpha$ ,  
удовлетворяющему условию

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

то отраженный луч оказывается полностью линейно поляризованным.

Преломленный луч — поляризован частично.

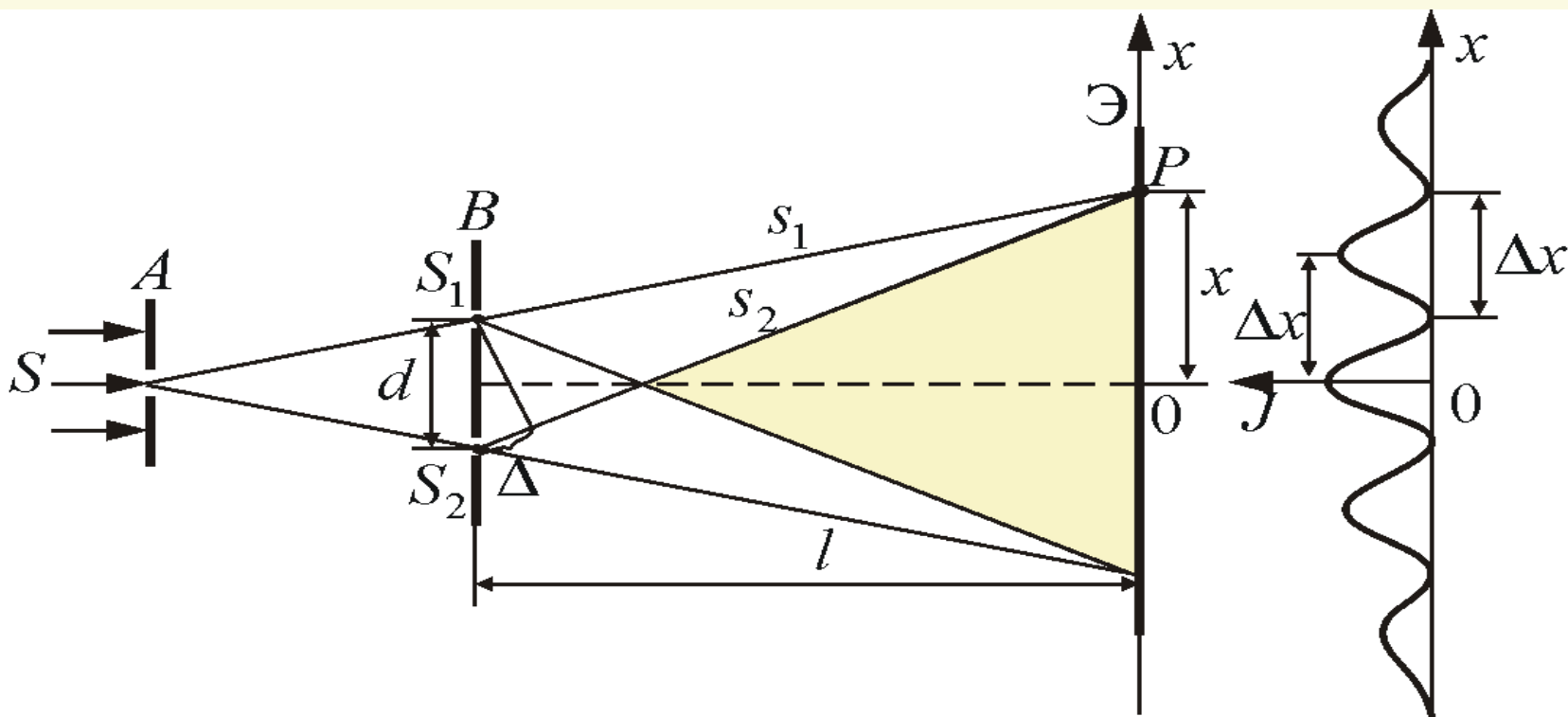
Угол  $\alpha$  — называется углом Брюстера.



# Классические интерференционные опыты

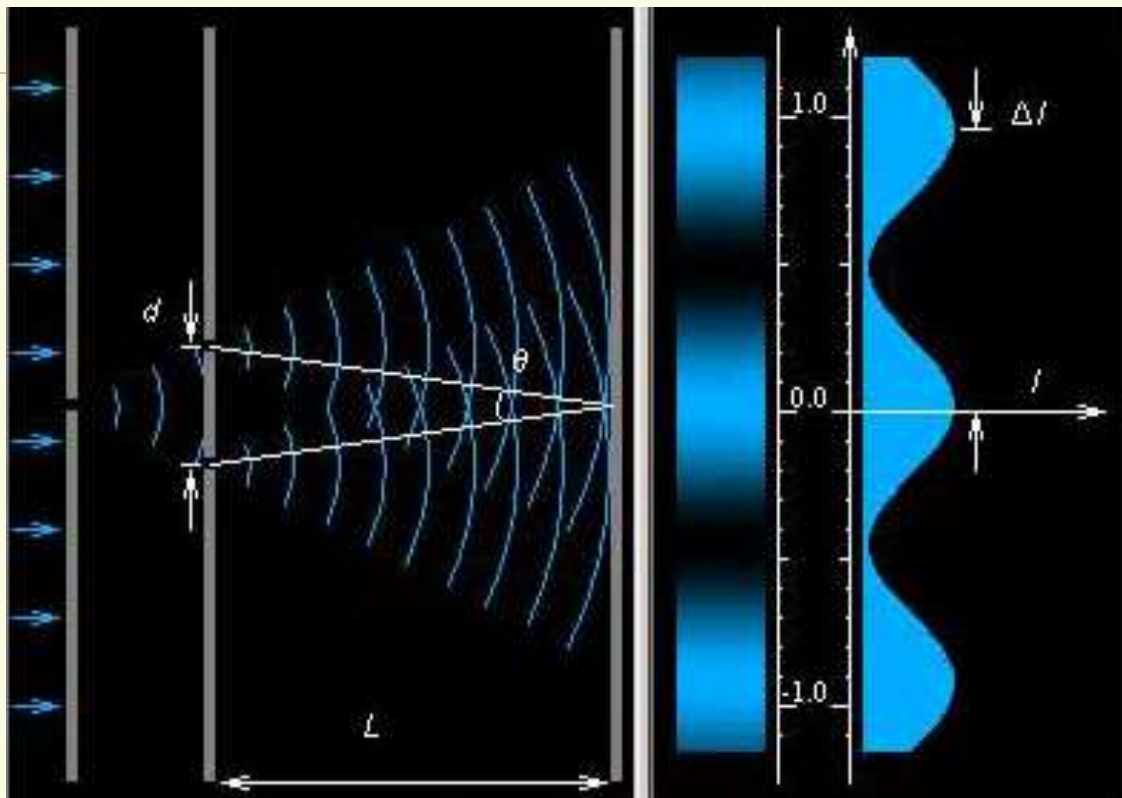
Для получения когерентных волн используется метод разделения света, идущего от источника, на два или несколько пучков с помощью щелей, зеркал преломления и т.д.

## 1. Опыт Юнга

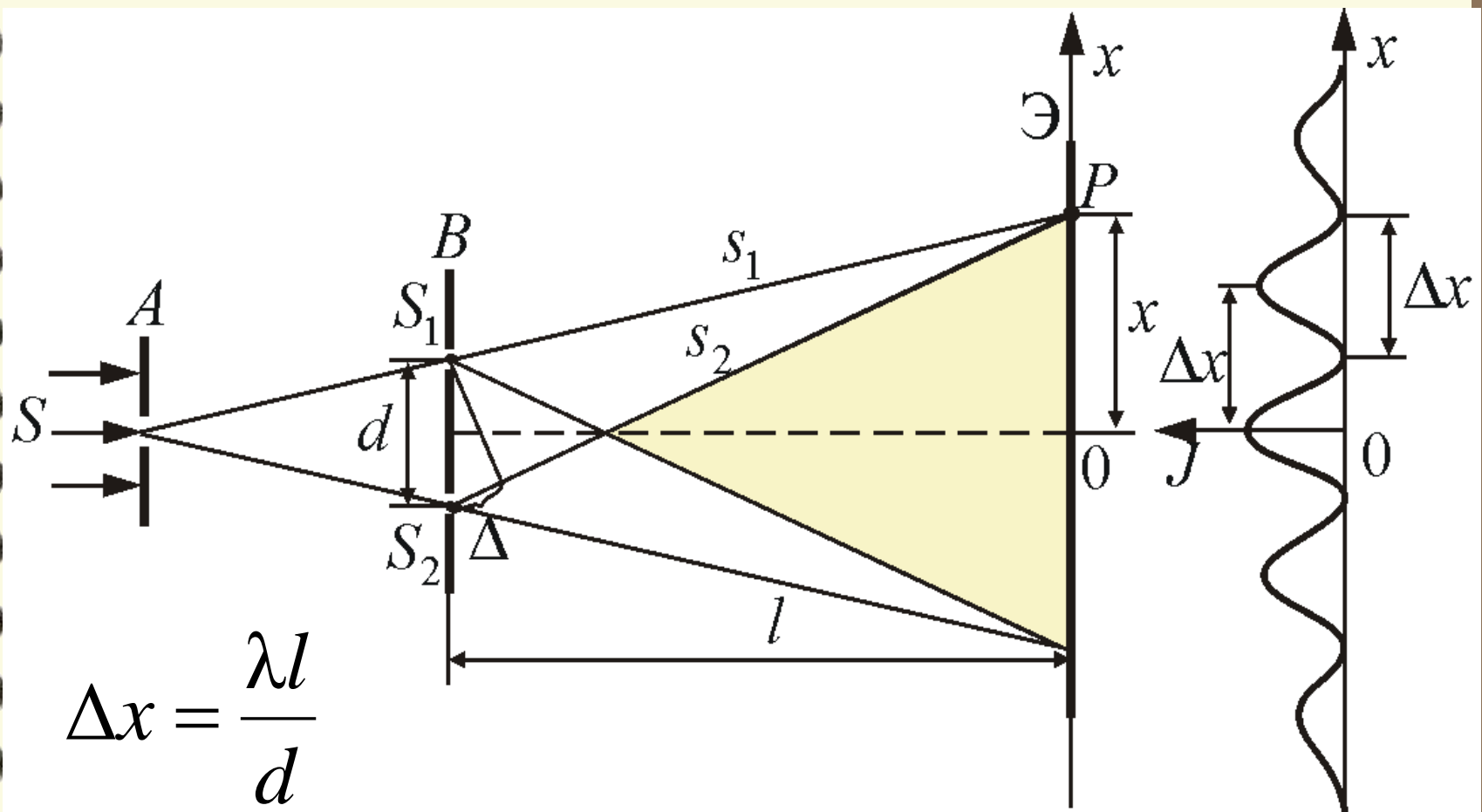


Расстояние  $l$  от щелей, причем  $l \gg d$

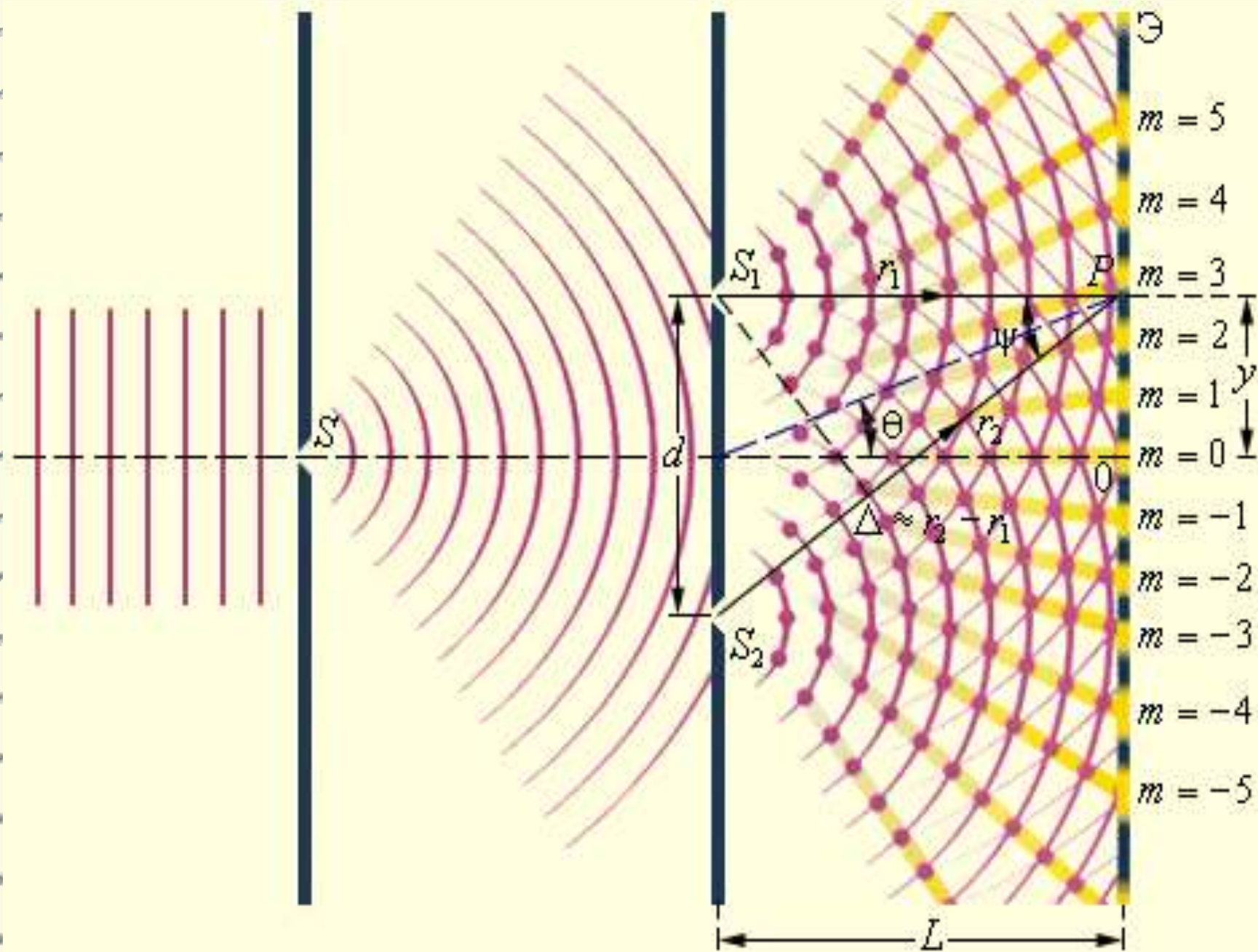
## Классический интерференционный опыт Юнга



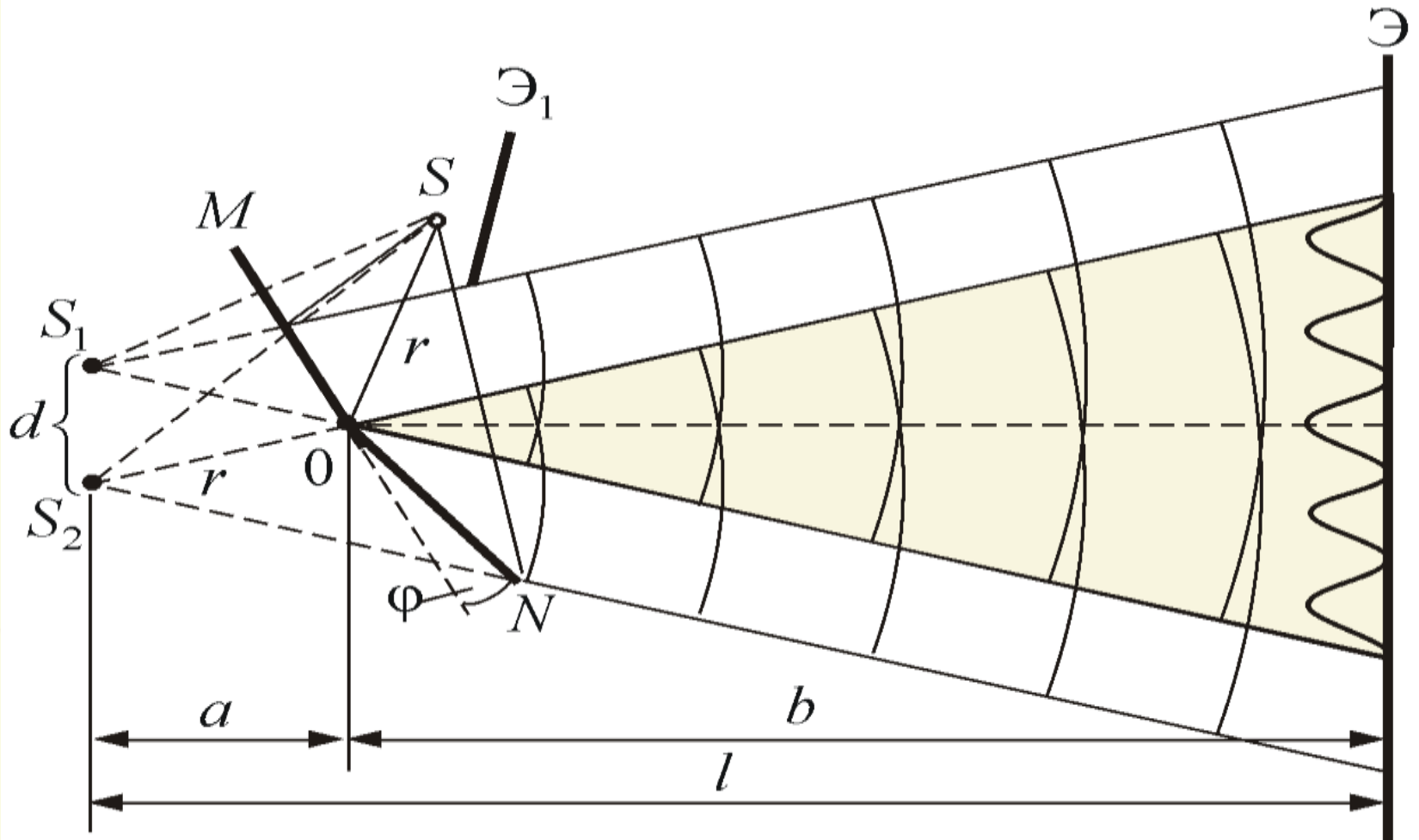
Параллельный пучок света падает на экран с небольшим отверстием. Пройдя через отверстие, свет доходит до второго экрана, в котором проделаны две щели. Когерентные пучки, излучаемые каждой из щелей, интерферируют на третьем экране.<sup>20</sup>



*Главный максимум, соответствующий  $m = 0$  проходит через точку  $O$ . Вверх и вниз от него располагаются максимумы (минимумы) первого  $m = 1$  второго ( $m = 2$ ) порядков, и т. д.*



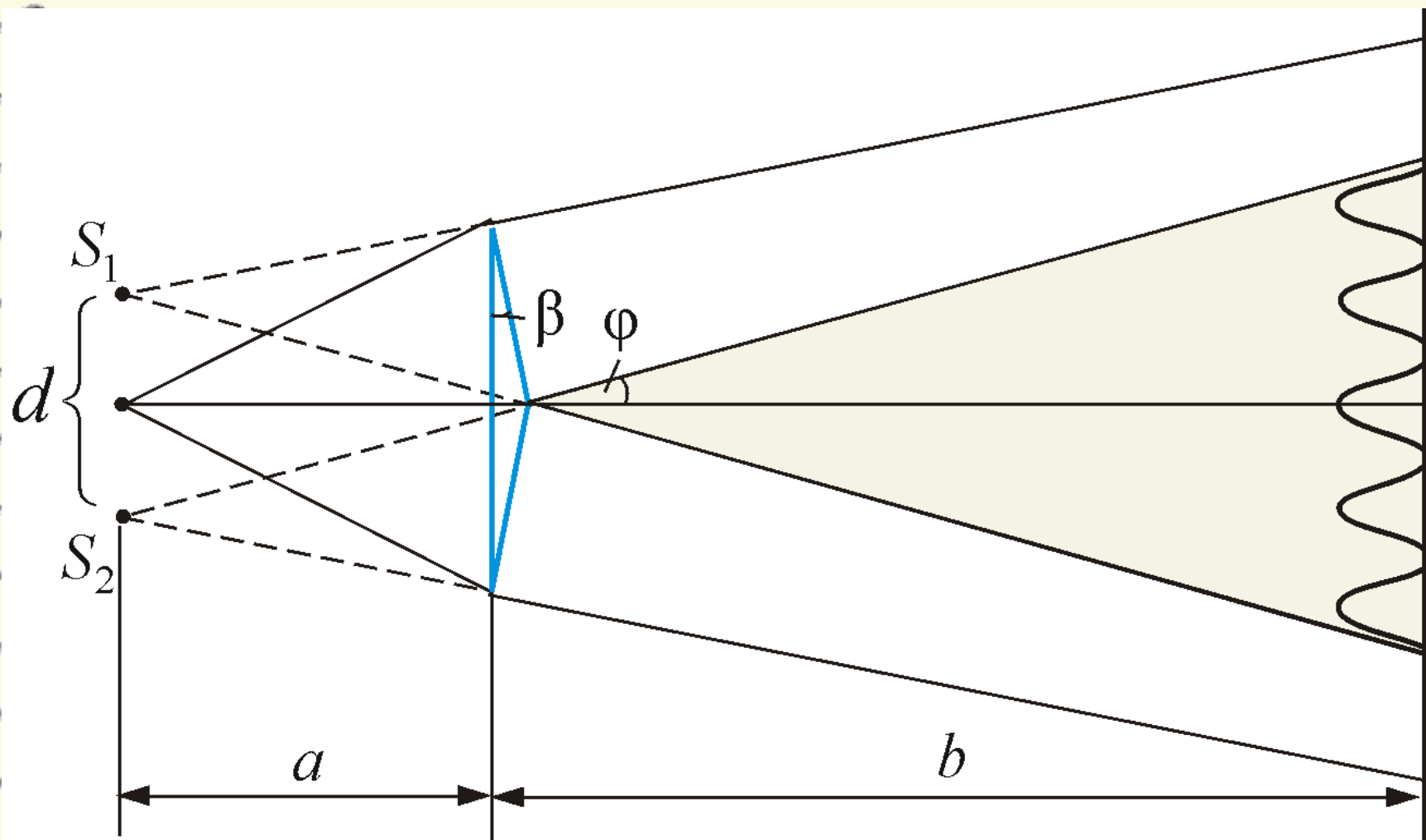
## 2. Зеркала Френеля ( Бизеркала Френеля)



$$\Delta x \approx \frac{\lambda l}{d} = \frac{\lambda(a+b)}{2a\phi}$$

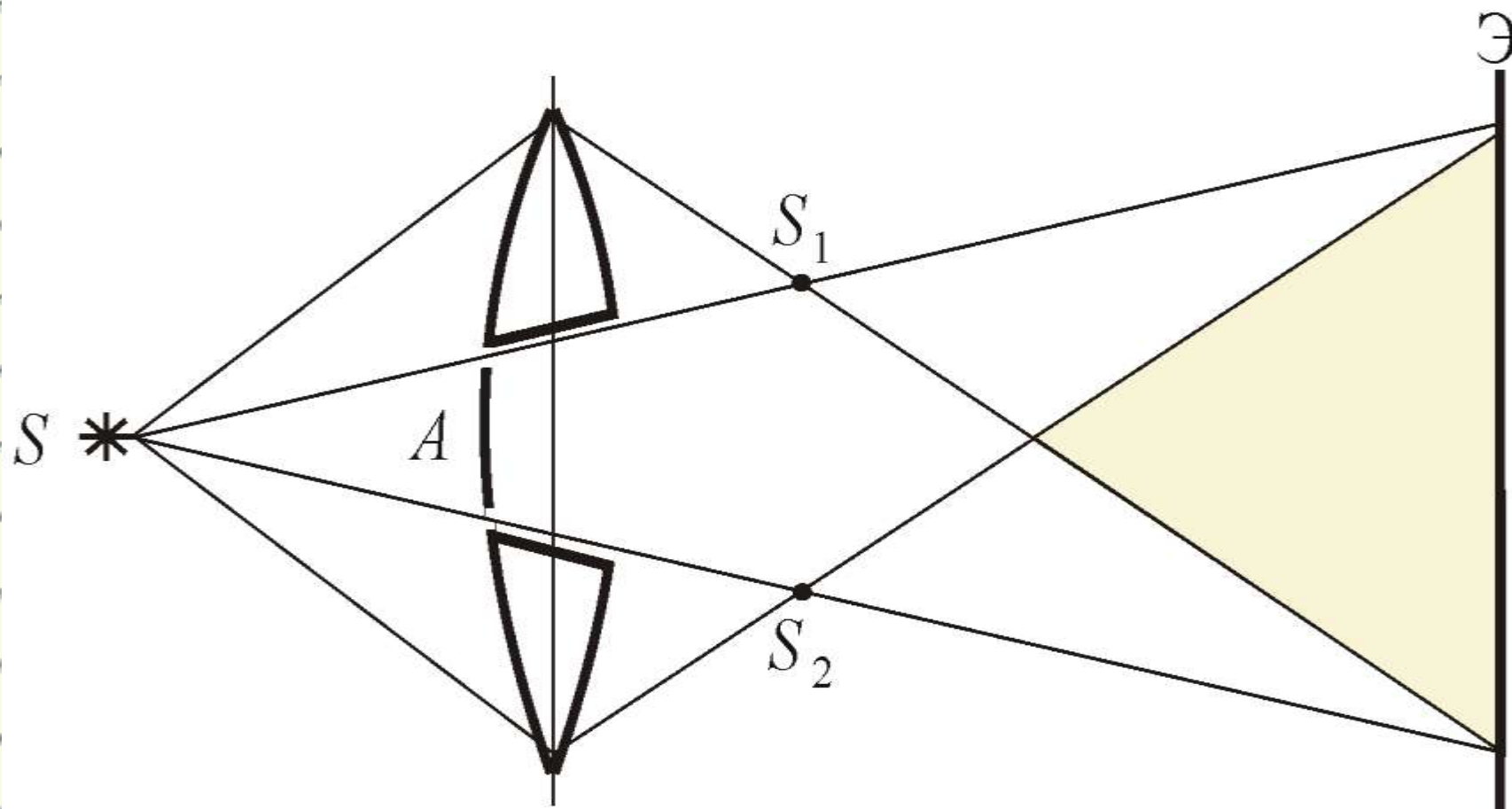


### 3. Бипризма Френеля



$$\Delta x = \frac{(a+b)}{2(n-1) \cdot a \cdot \beta} \cdot \lambda$$

## 4. Билинза Бийе



## Интерференция двух монохроматических сферических волн

Принципиальная схема установок, в которых свет от источника  $S$  расщепляется на две когерентные волны с помощью зеркал, призм, линз и т.п.  $S_1$  и  $S_2$  - точечные источники когерентных волн (действительные или мнимые).

В опыте Юнга

источниками

когерентных волн

являются два

отверстия (щели) в

непрозрачном экране,

на которые падает

свет от одного

источника.

Расстояние между

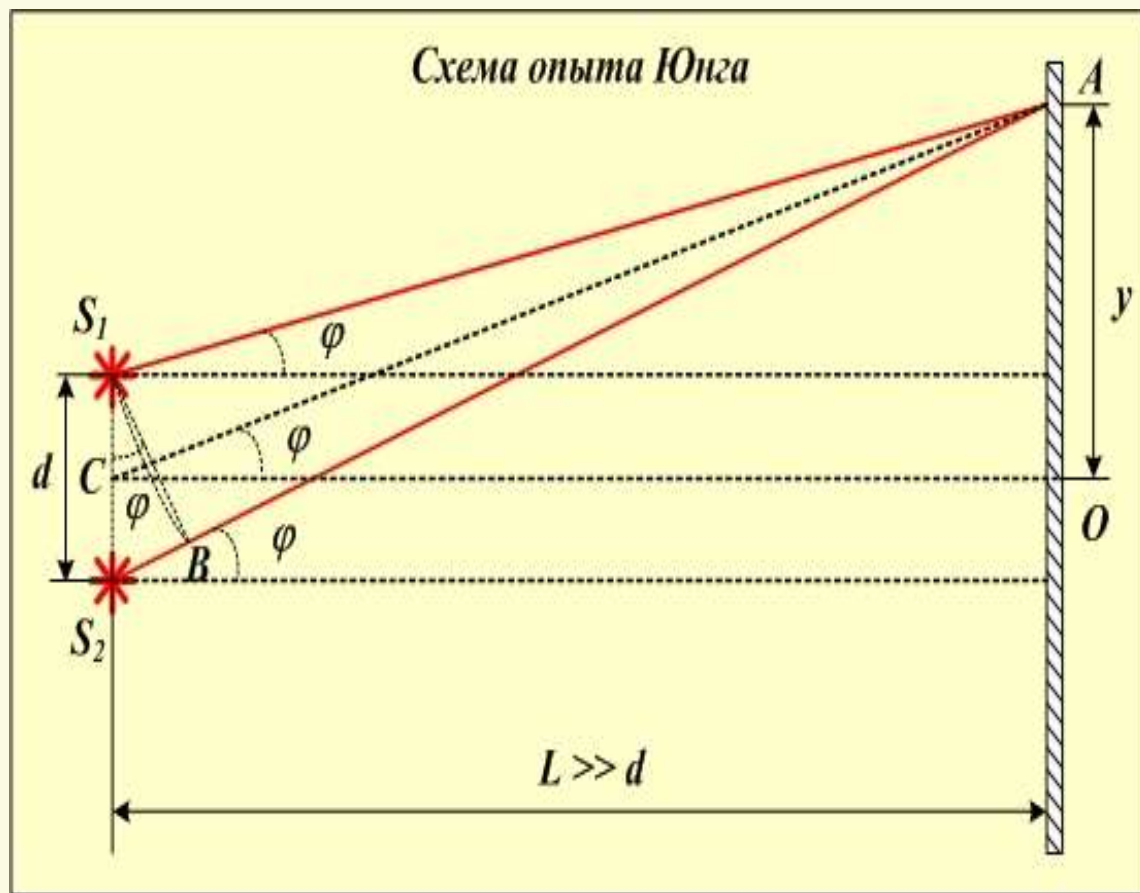
отверстиями  $d$  не

может быть

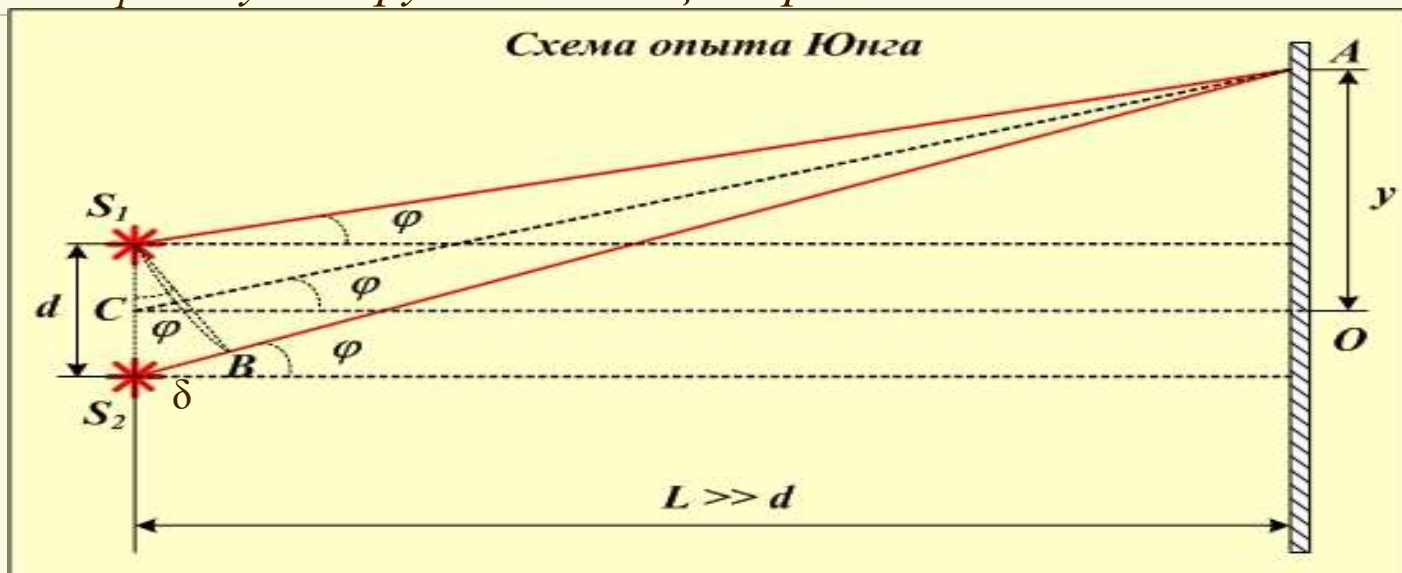
большим иначе

нарушится условие

когерентности волн.



Определим положение интерференционных **максимумов** на экране. Пусть максимум находится в точке  $A$ . Тогда оптическая разность хода между лучами  $S_1A$  и  $S_2A$  должна быть равна целому числу длин волн.  $S_1B$  – дуга окружности с центром в точке  $A$ .



$L \gg d$ , поэтому можно считать, что  $S_1B$  не только дуга окружности с центром в точке  $A$ , но одновременно и хорда и касательная к этой окружности. Следовательно,  $S_1B$  перпендикулярна  $S_2A$ .

$$\angle S_2S_1B = \angle AS_2D = \varphi.$$

Из треугольника  $S_2S_1B$

$$|S_2B| = \delta = d \sin \varphi.$$

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

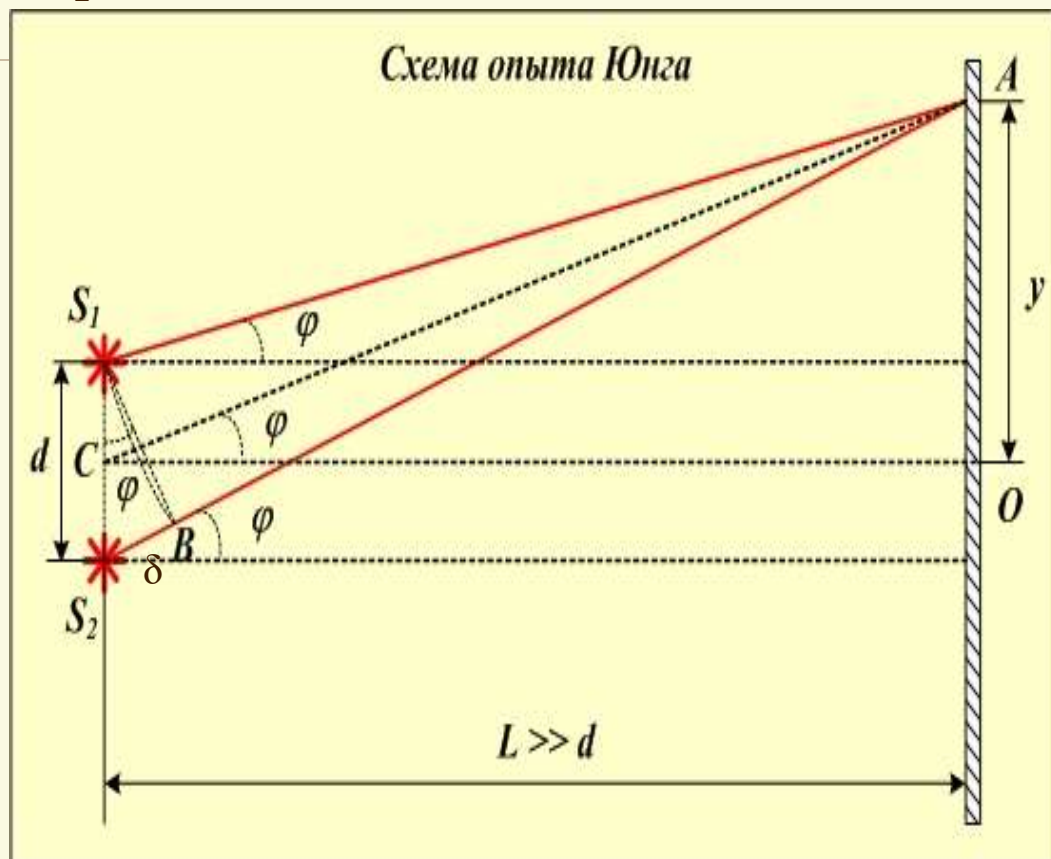
Определим положение интерференционных **минимумов** на экране. Пусть минимум находится в точке A. Тогда оптическая разность хода между лучами  $S_1A$  и  $S_2A$  должна быть равна нечётному числу длин полуволн.

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

Итак, условия наблюдения интерференционных максимумов и минимумов в опыте Юнга:

max :  $d \sin \varphi = m\lambda,$

min:  $d \sin \varphi = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}.$





*Интенсивность результирующей волны от двух точечных источников в точке наблюдения A будет :*

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

где  $I_1(x)$  и  $I_2(x)$  - интенсивность каждого поля по отдельности,  $\Delta\varphi(x) = k\Delta x$  - пространственное распределение разности фаз этих полей вдоль оси  $x$ . Если  $I_1(x) = I_2(x) = I_0(x) = I_0$ , то

$$I_p = 2I_0 \left\{ 1 + \cos \left[ \vec{k}(\vec{r}_1 - \vec{r}_2) + (\varphi_{02} - \varphi_{01}) \right] \right\}$$

*т.к.*  $\cos \Delta\varphi = \cos \left[ \vec{k}(\vec{r}_1 - \vec{r}_2) \right] = \cos [k(r_2 - r_1)]$

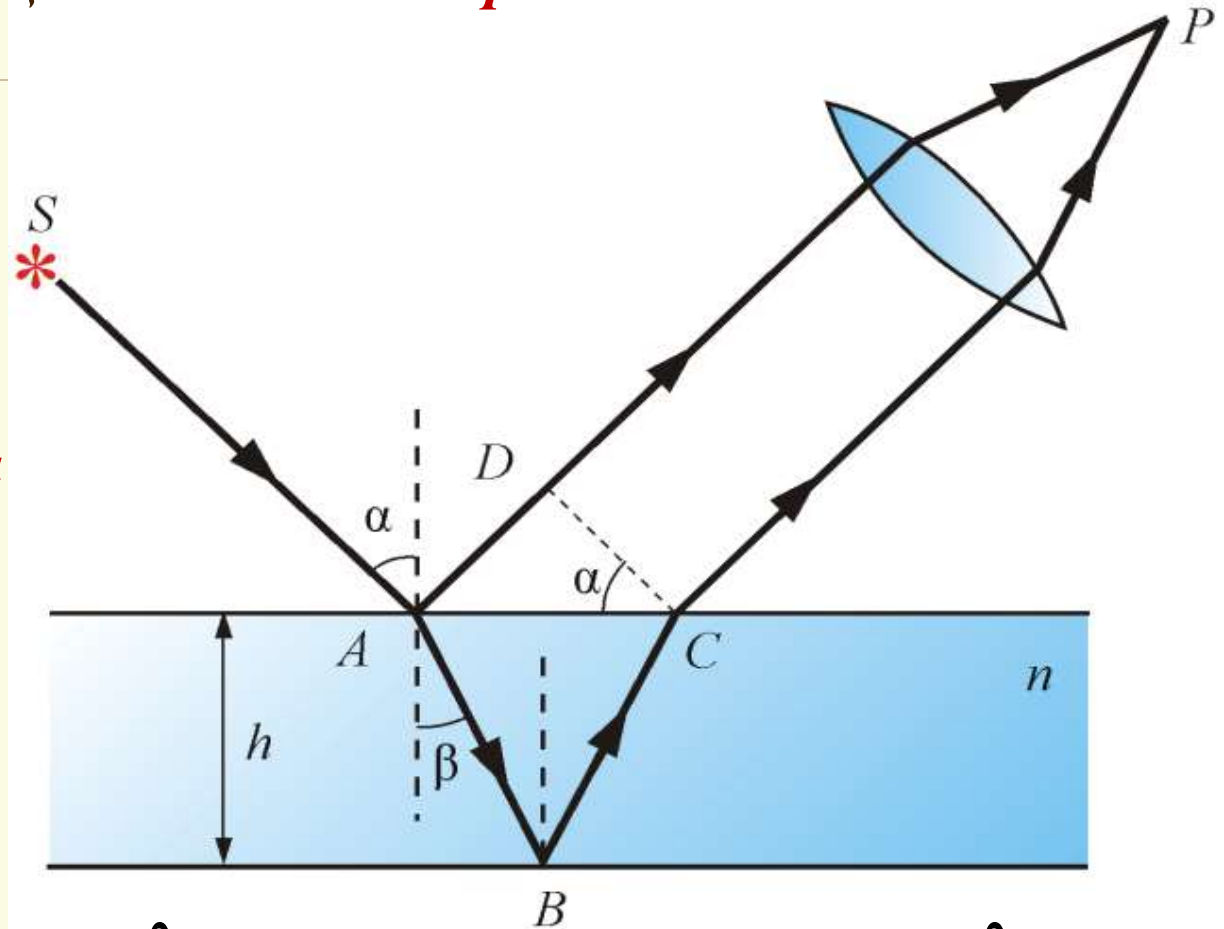
*и источники синфазны, то*

$$I_p = 2I_0 (1 + \cos(kd \sin \varphi))$$

# Интерференция в тонких пленках

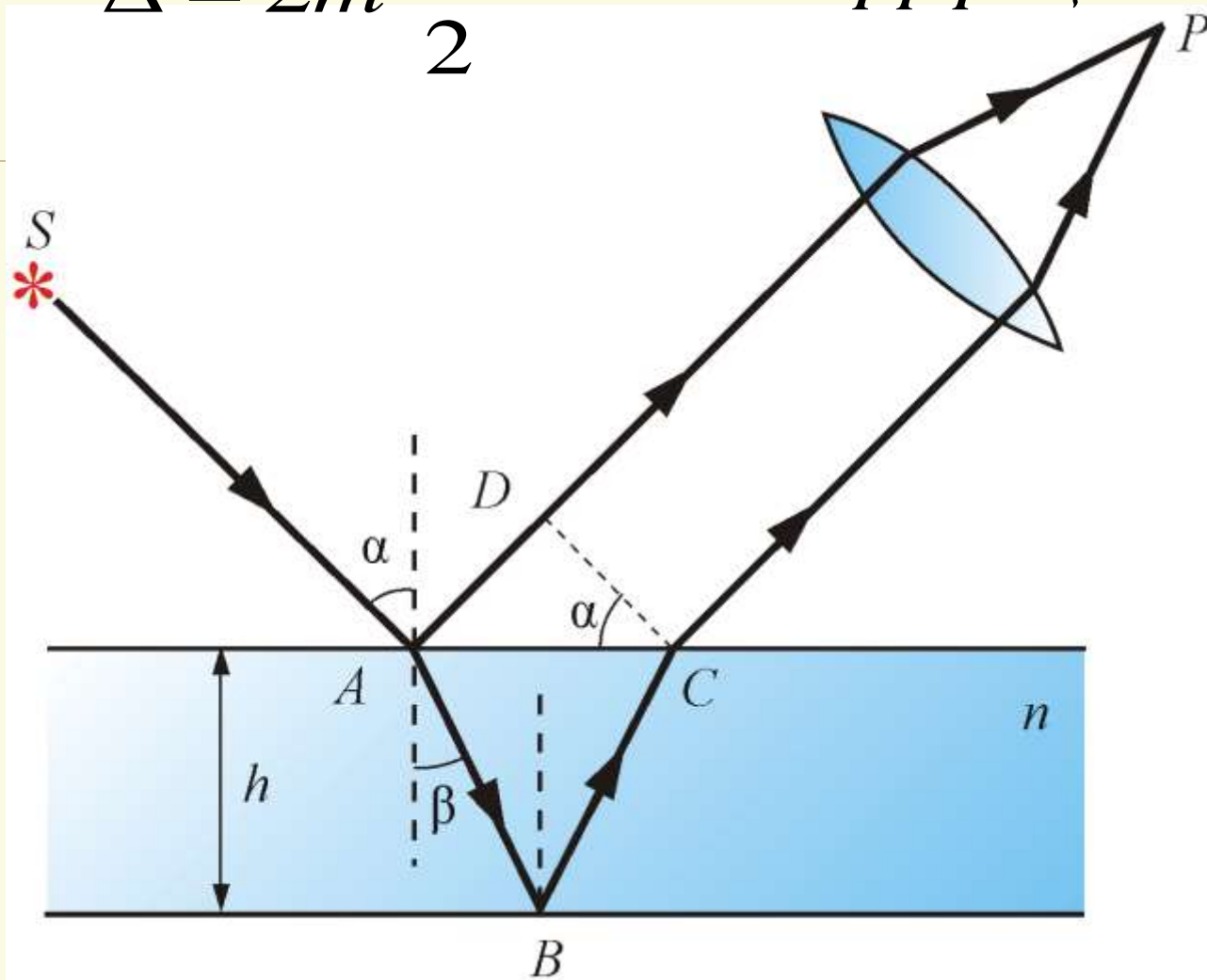
## Интерференционные *полосы равного наклона*

*Оптическая  
разность хода  
с учетом  
потери  
полуволны:*



$$\Delta = 2nh \cos \beta \pm \frac{\lambda_0}{2} = 2h \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \pm \frac{\lambda_0}{2}$$

$$\Delta = 2m \frac{\lambda_0}{2} - \text{max интерференции}$$

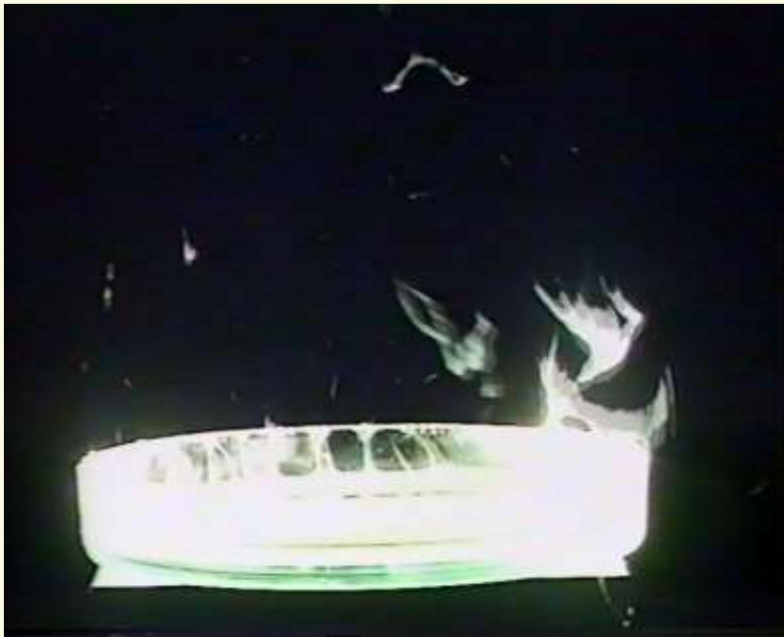


$$\Delta = (2m + 1) \frac{\lambda_0}{2} - \text{min интерференции}$$

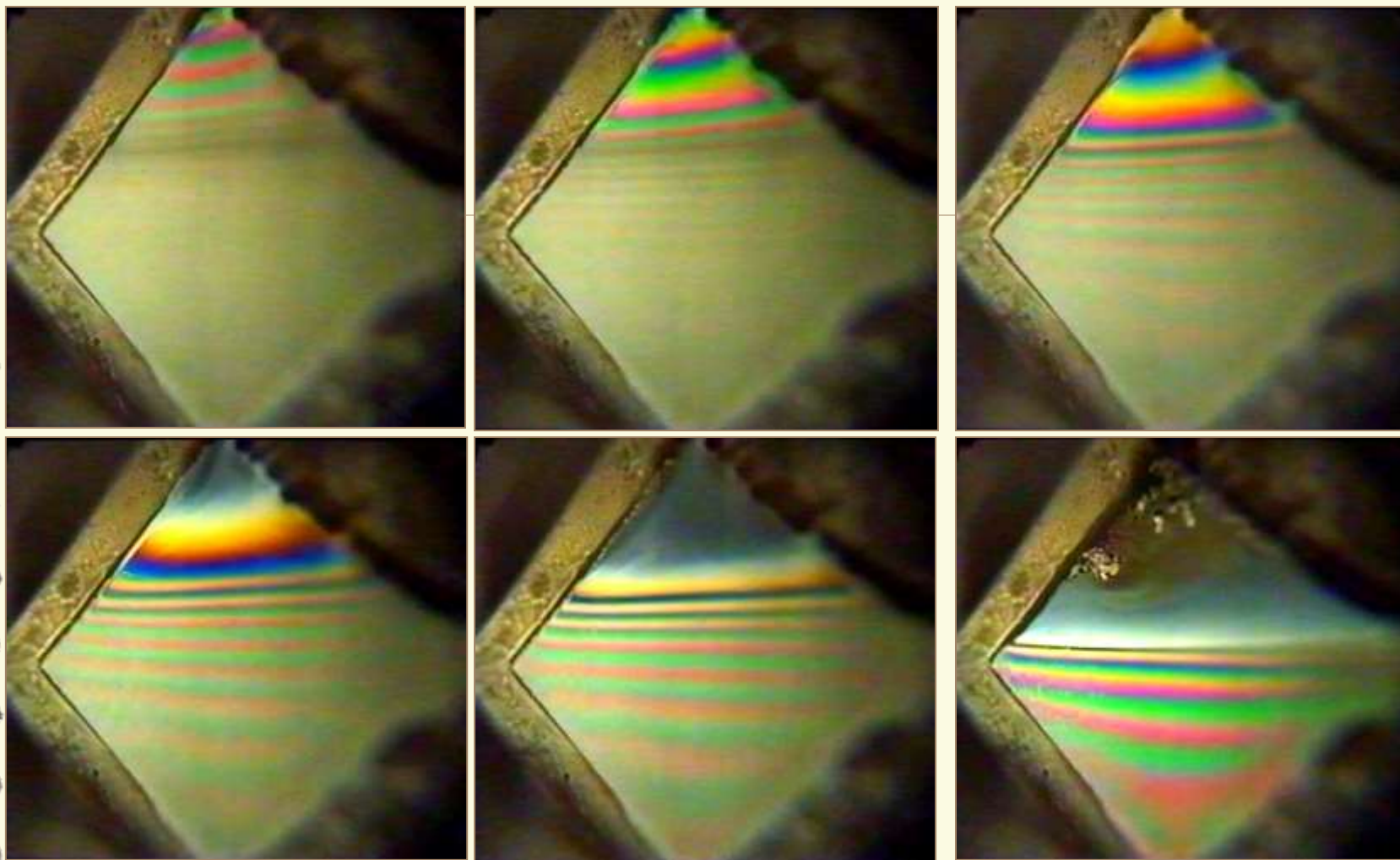
## *Полосы равной толщины*

---

*В белом свете интерференционные полосы, при отражении от тонких пленок - окрашены. Поэтому такое явление называют **цвета тонких пленок**. Его легко наблюдать на мыльных пузырях, на тонких пленках масла или бензина, плавающих на поверхности воды, на пленках окислов, возникающих на поверхности металлов при закалке, и т.п.*

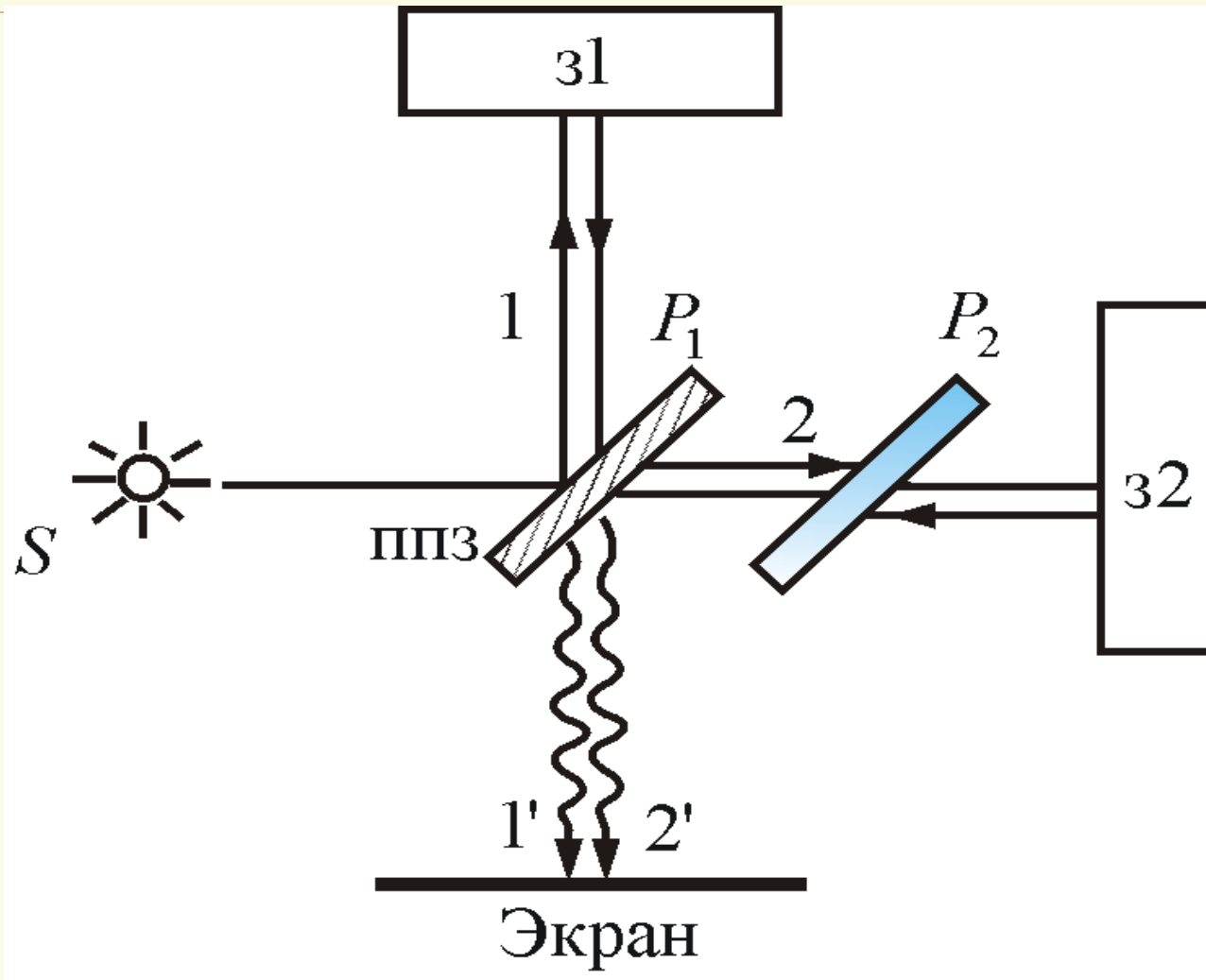






*Изменение картины интерференции  
по мере уменьшения  
толщины мыльной пленки*

Для наблюдения *интерференционных полос* *равного наклона* вместо плоскопараллельной пластинки можно использовать *интерферометр Майкельсона* :

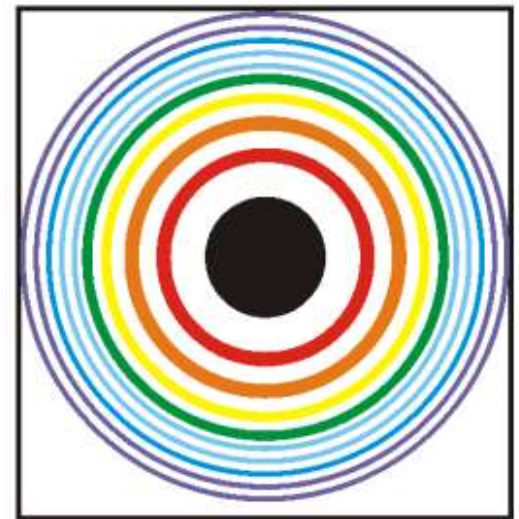
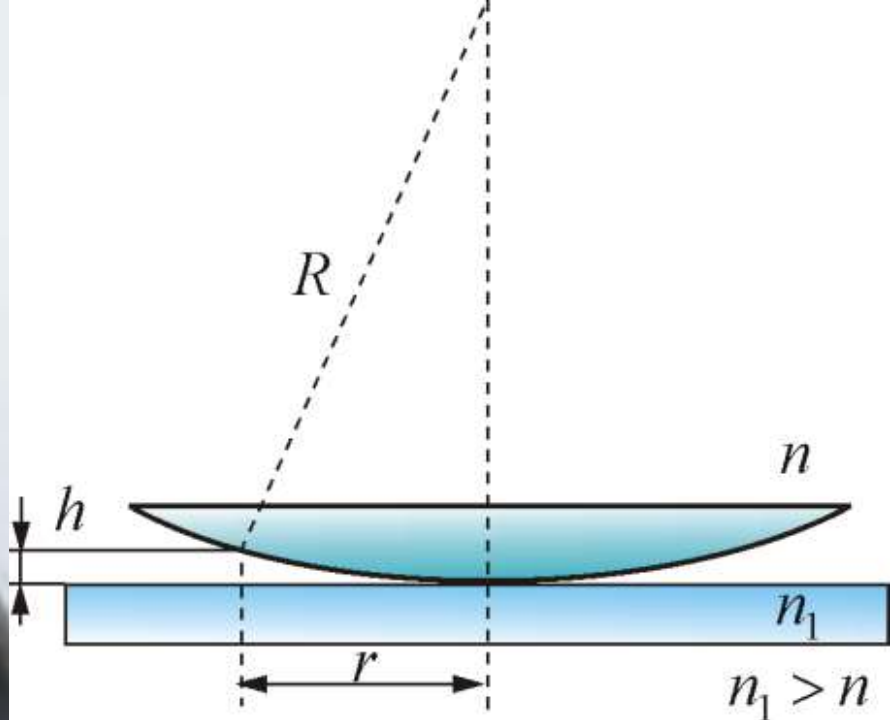
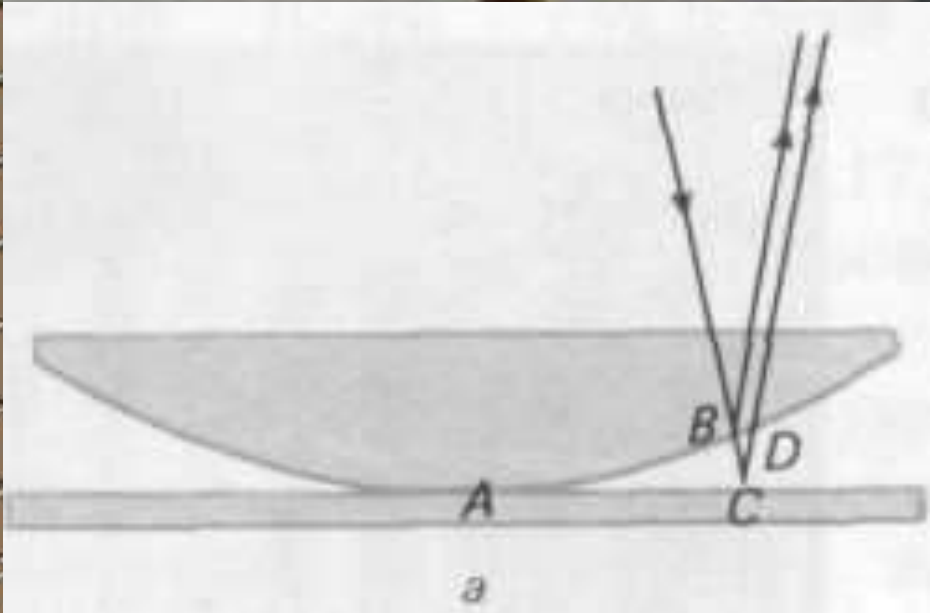




## *Кольца Ньютона*

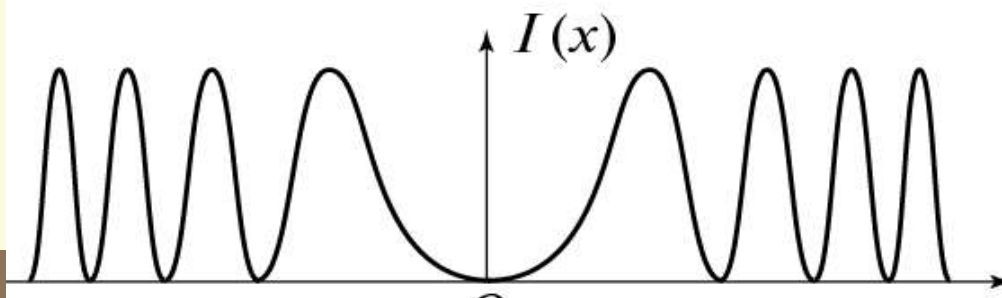
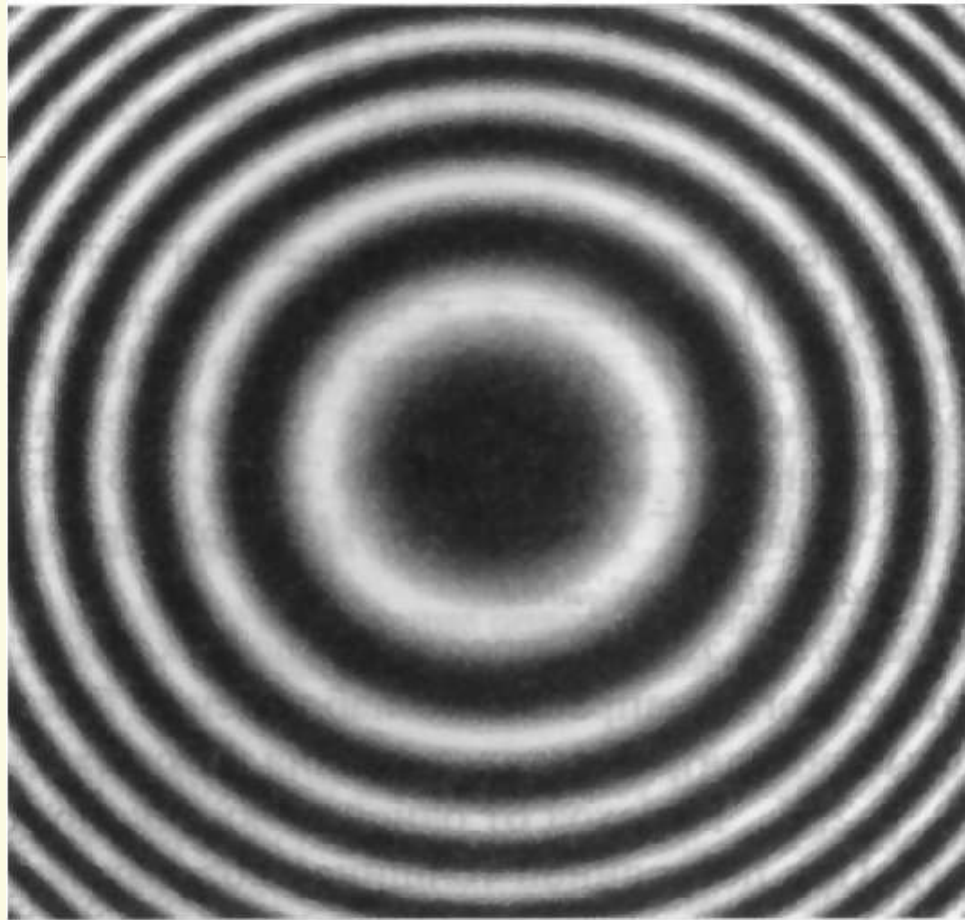
*Кольцевые **полосы**  
**равной** **толщины**,  
наблюдаемые в  
воздушном зазоре*

*между соприкасающимися выпуклой  
сферической поверхностью линзы малой  
кривизны и плоской поверхностью стекла,  
называют кольцами Ньютона.*





# Кольца Ньютона





# Кольца Ньютона

$$h = R - \sqrt{R^2 - r^2} \approx \frac{r^2}{2R}$$

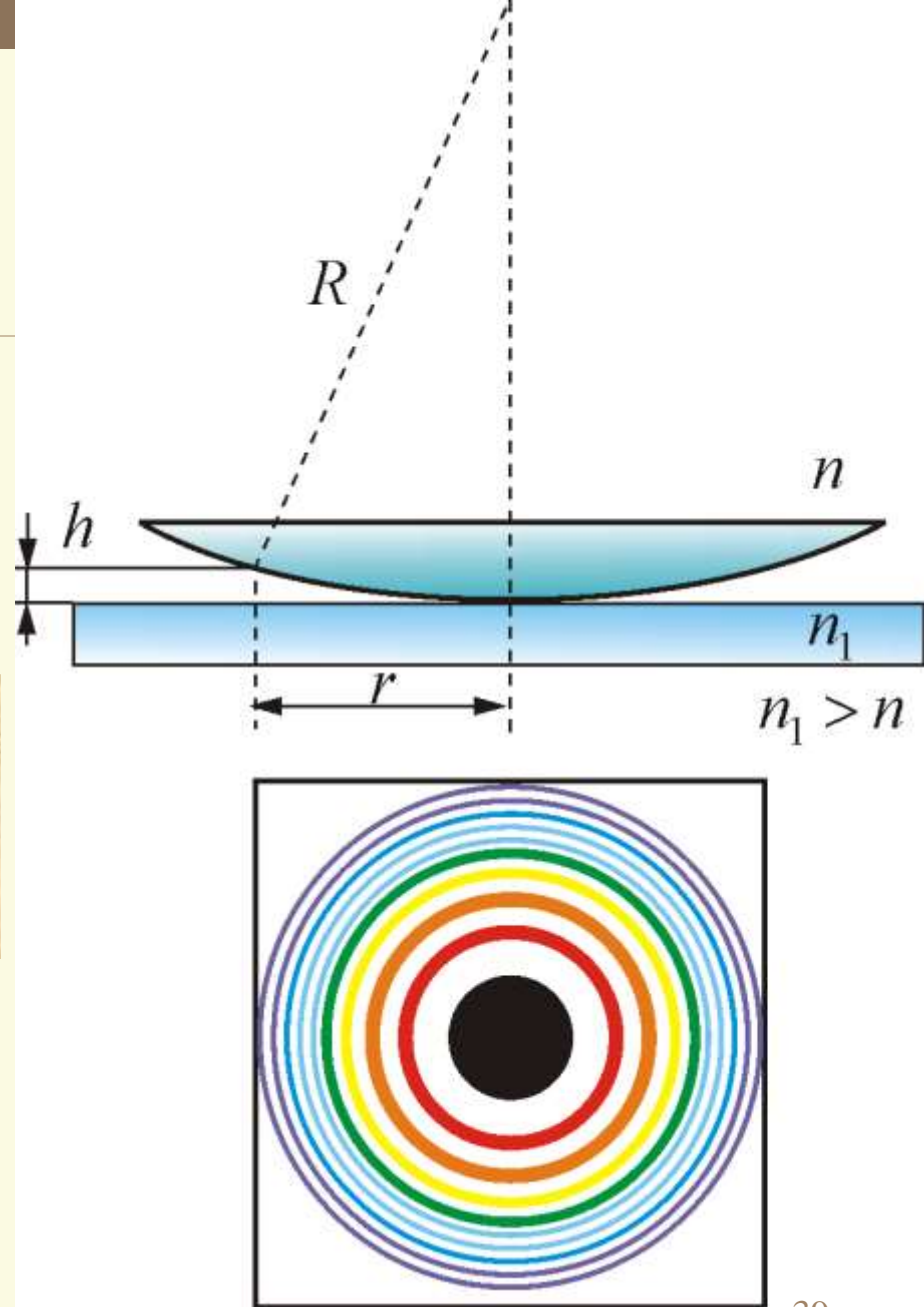
$$h = \frac{m\lambda}{2}$$

$$r_m = \sqrt{\left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda_0 R}$$

*- Радиус  $m$ -го  
светлого кольца*

$$r_m = \sqrt{mR\lambda_0}$$

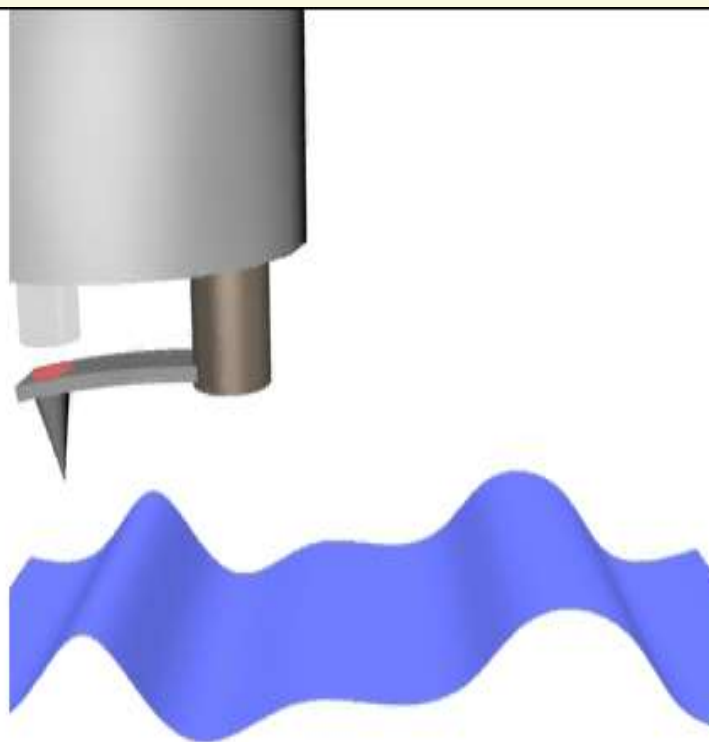
*- Радиус  $m$ -го темного кольца*



# Применение интерференции света

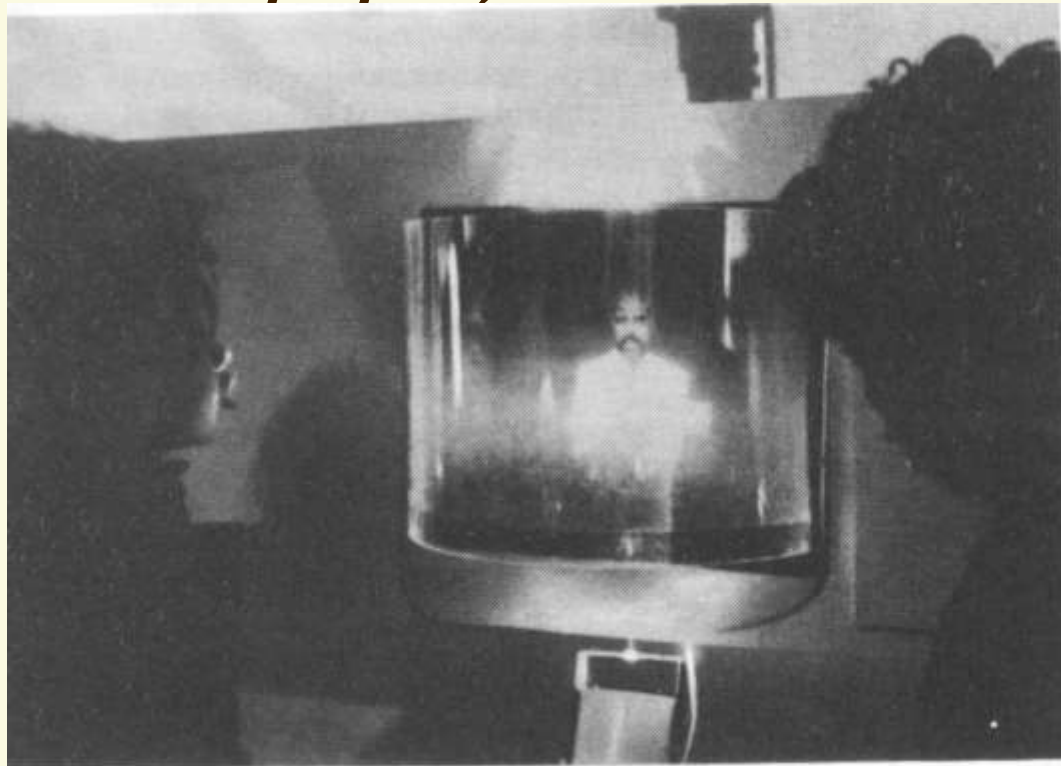
1. Тот факт, что расположение интерференционных полос зависит от длины волны и разности хода лучей, позволяет по виду интерференционной картины (или их смещению) **проводить точные измерения расстояний при известной длине волны или, наоборот, определять спектр интерферирующих волн (интерференционная спектроскопия).**

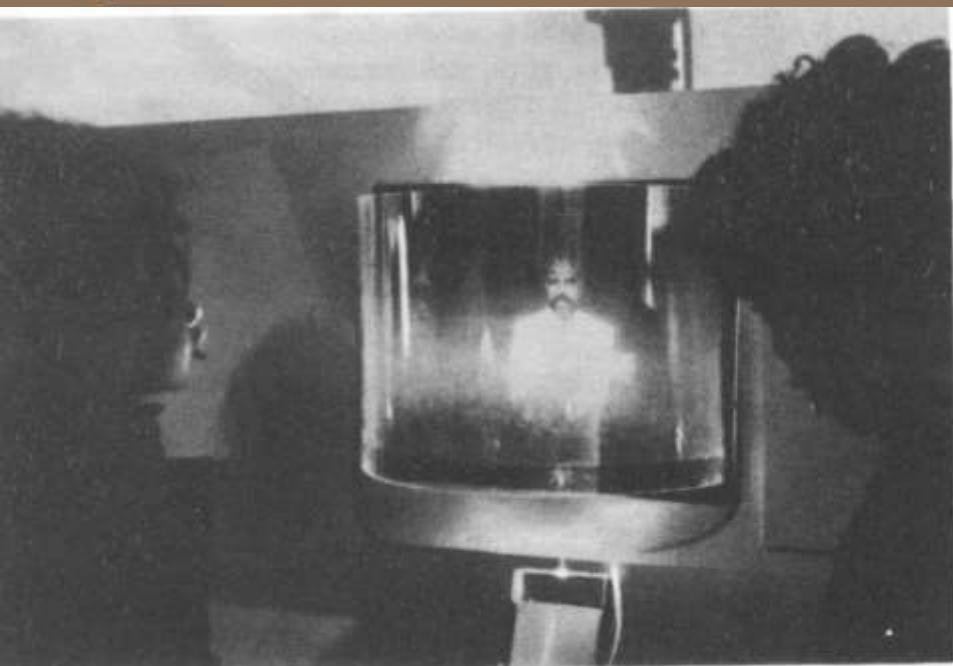
2. По *интерференционной картине можно выявлять и измерять неоднородности среды* (в т.ч. фазовые), в которой распространяются волны, *или отклонения формы поверхности от заданной.*



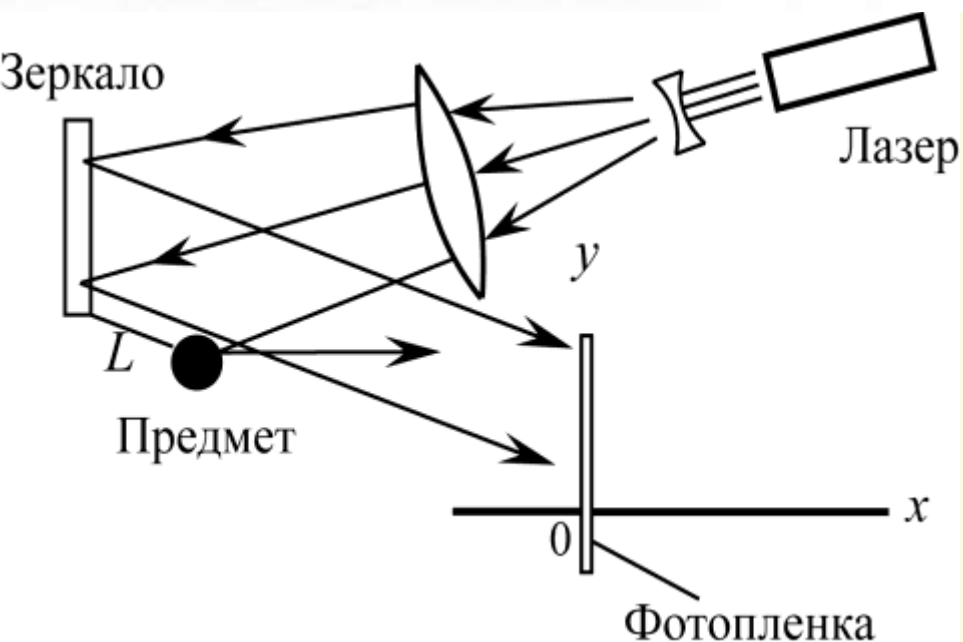
VTS\_96\_1.VOB

3. *Явление интерференции волн, рассеянных от некоторого объекта (или прошедших через него), с «опорной» волной лежит в основе голографии (в т.ч. оптической, акустической или СВЧ-голографии).*





*Голографический негатив, освещенный монохроматическим светом, дает полное трехмерное изображение, парящее в пространстве.*

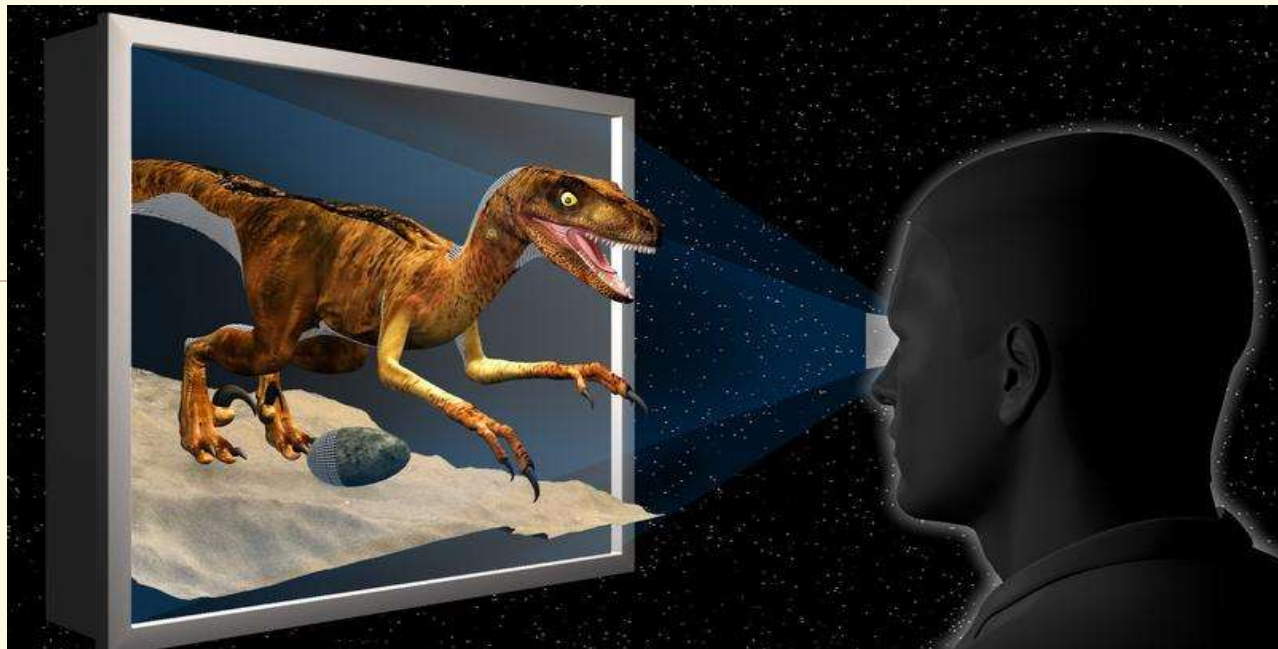


*Способ получения голограммы.*

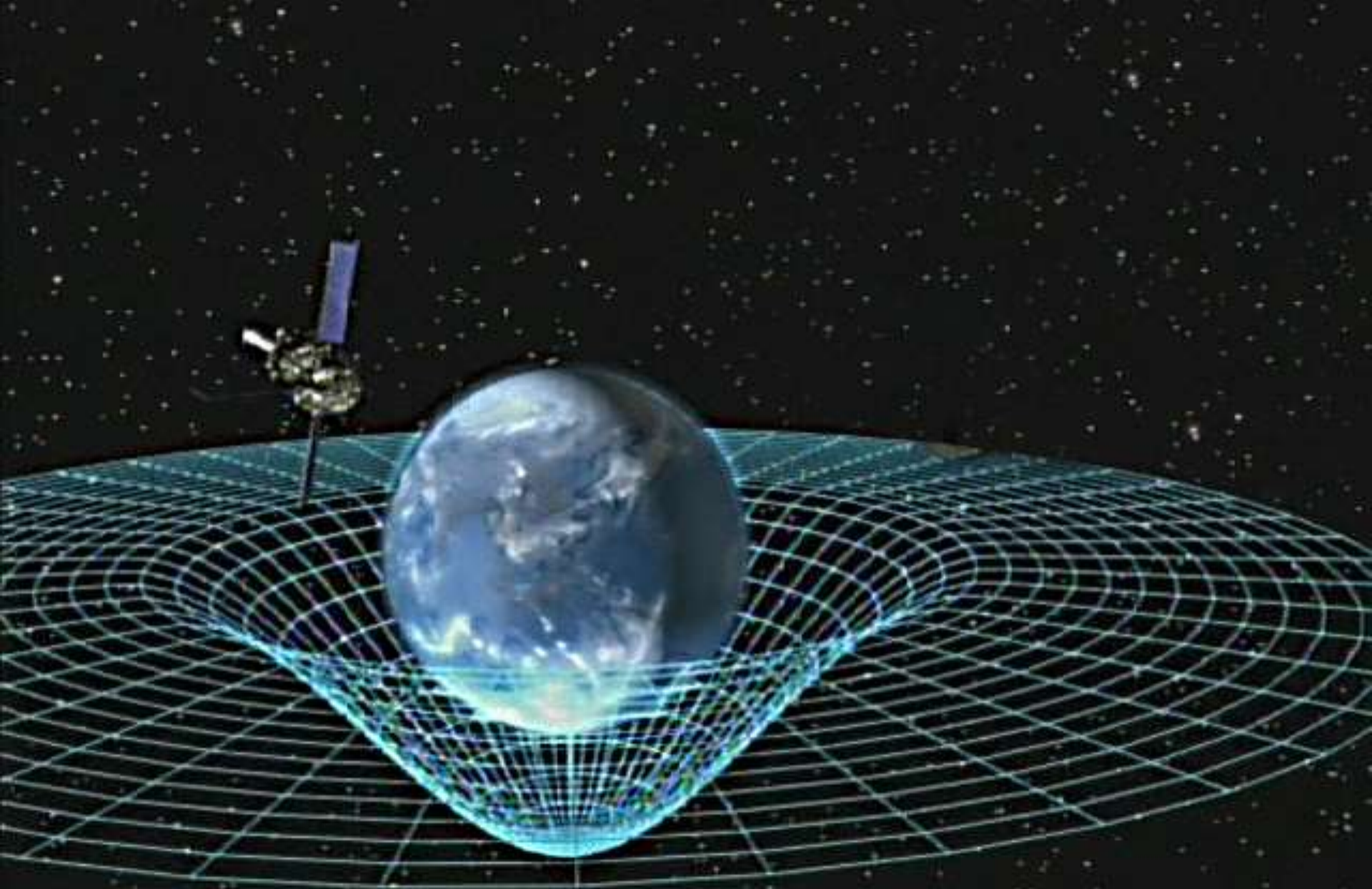
*На фотопленку попадают как отраженный от предмета лазерный свет, так и опорный пучок от зеркала*











ЛЕКЦІЯ ЗАКОНЧЕНА!

