

Физика колебаний и волн.

Квантовая физика.

Лекция № 6

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.

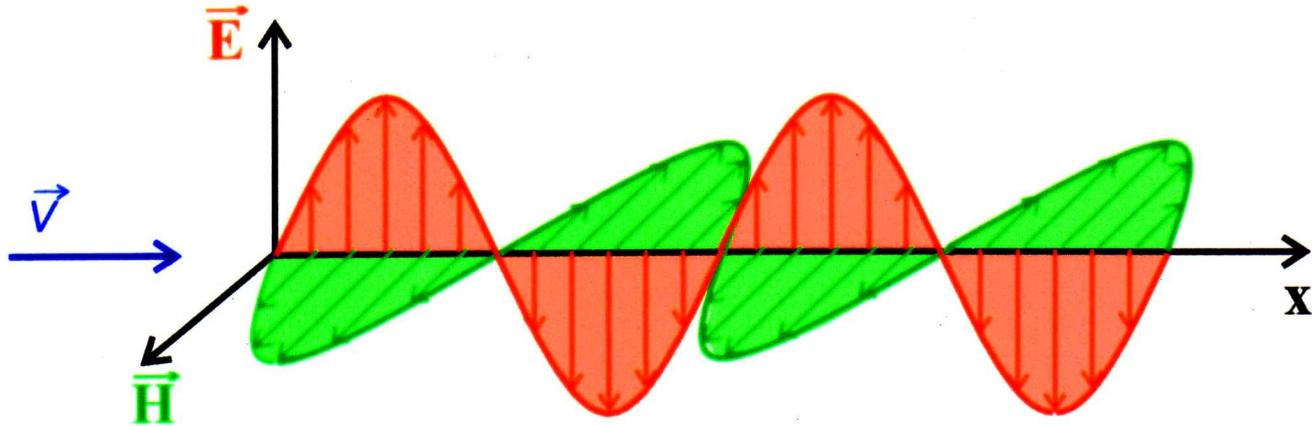
В точках, для которых $r_2 - r_1 = \lambda (m + \frac{1}{2})$, поверхность жидкости не колеблется (узловые точки (линии))



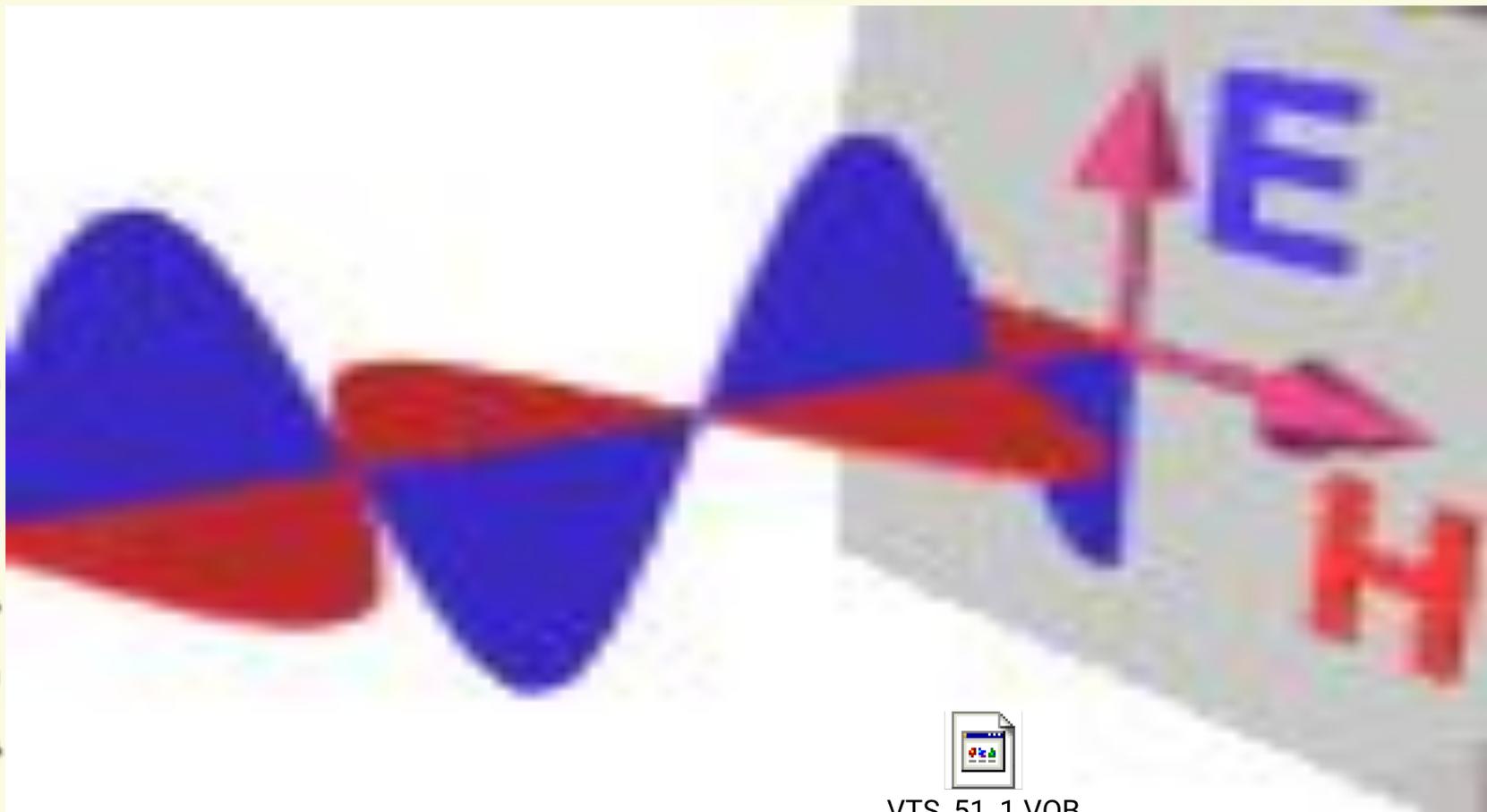
Расстояние от источника до стенки r кратно целому числу полуволн, исходная круговая волна интерферирует с волной, отражённой от стенки, поэтому справа от источника на оси соединяющей фиктивный и реальный источник разность хода будет кратна целому числу волн, и круговая волна накладывается в фазе с волной,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

Электромагнитная волна

"Моментальная фотография" плоской волны



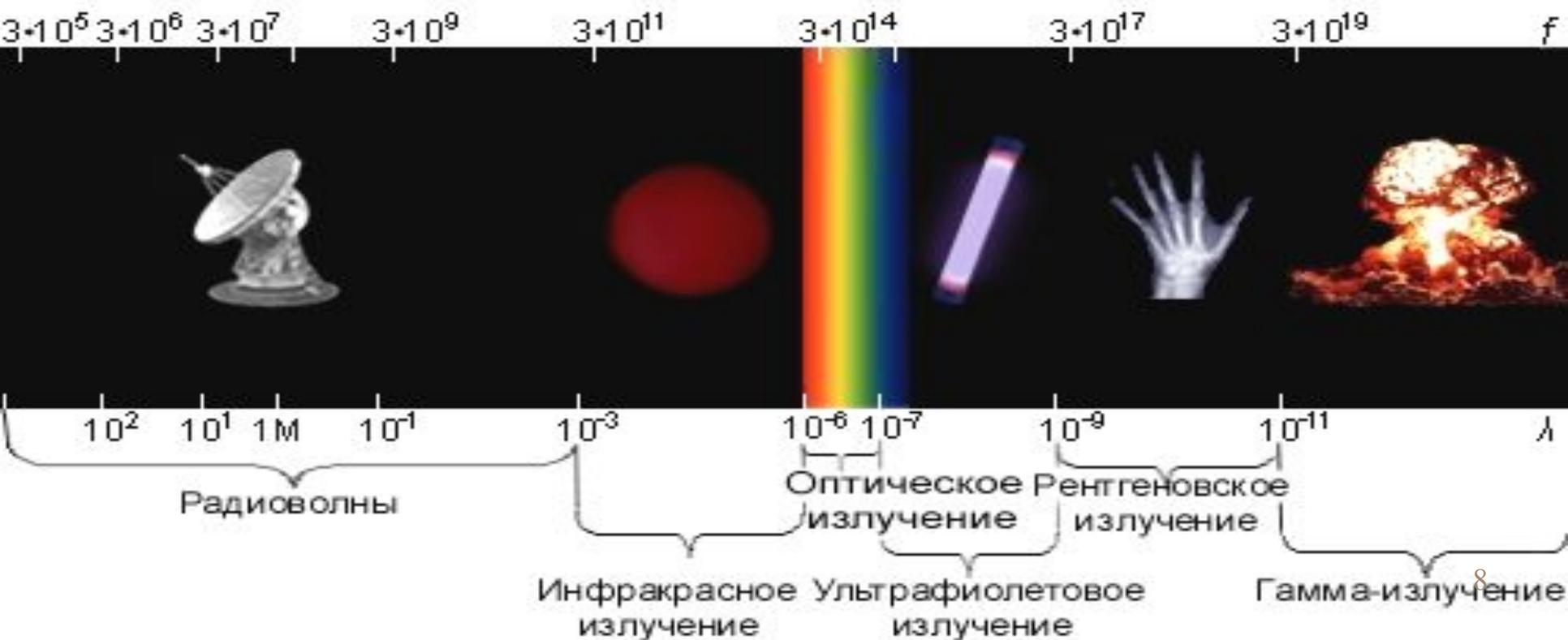
Векторы \vec{E} и \vec{H} - взаимно перпендикулярны и образуют правовинтовую систему с направлением распространения волны

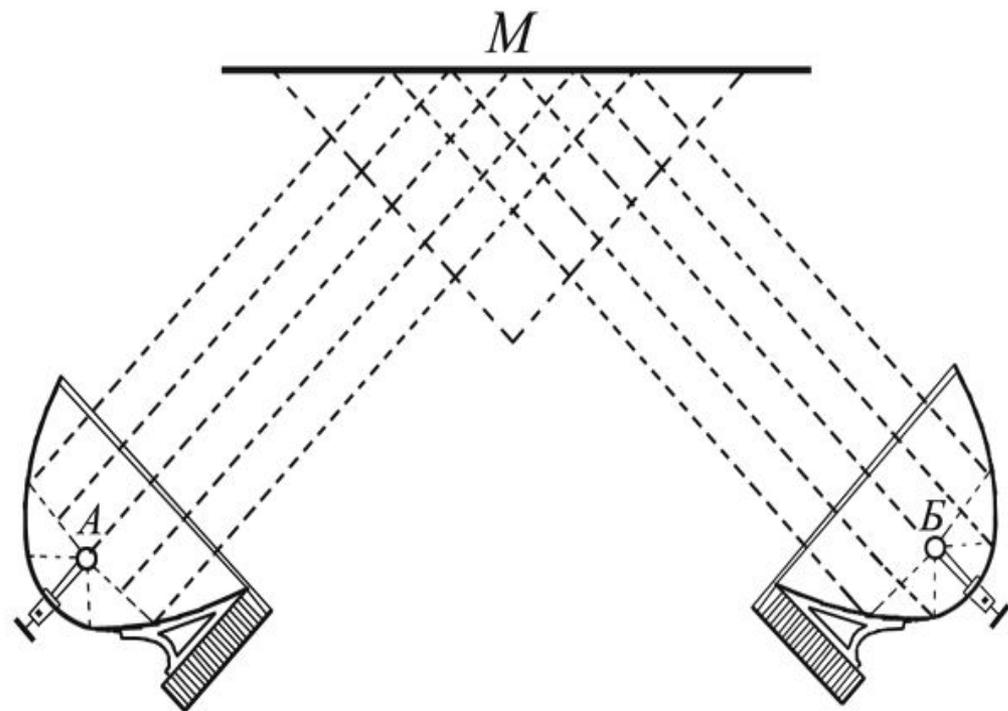


VTS_51_1.VOB

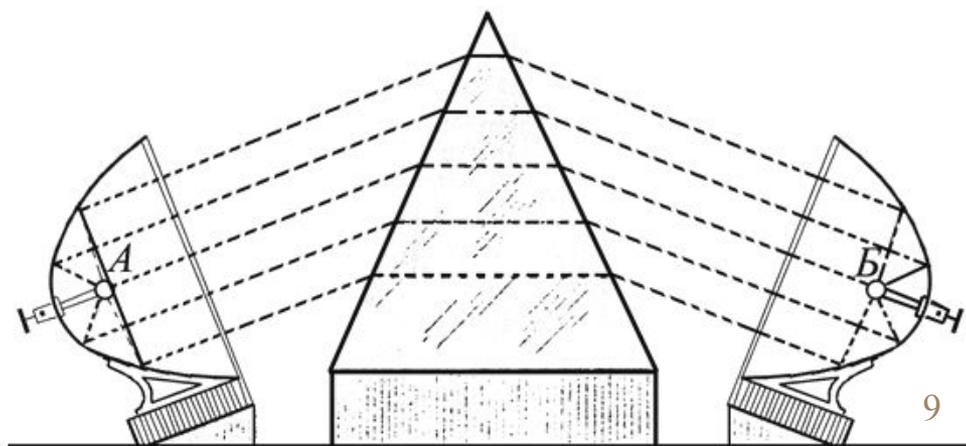
В электромагнитной волне происходят колебания полей, а не вещества, как в случае волн на воде или в натянутом шнуре. Электромагнитные волны представляют собой поперечные волны.

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





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

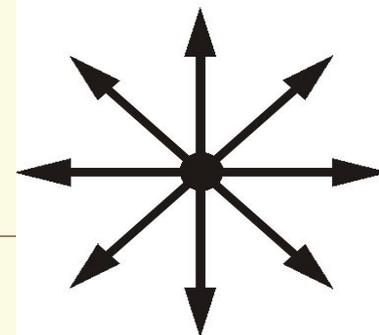


Интерференция наблюдается в результате наложения **когерентных волн линейно поляризованных в одной плоскости**. При этом происходит либо ослабление, либо усиление интенсивности света в зависимости от соотношения фаз складываемых волн.

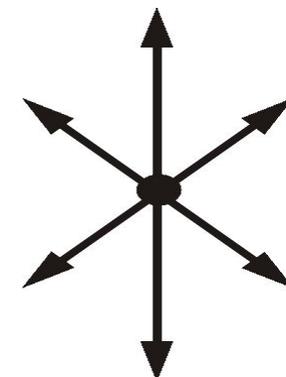
Условия интерференции света:

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:***

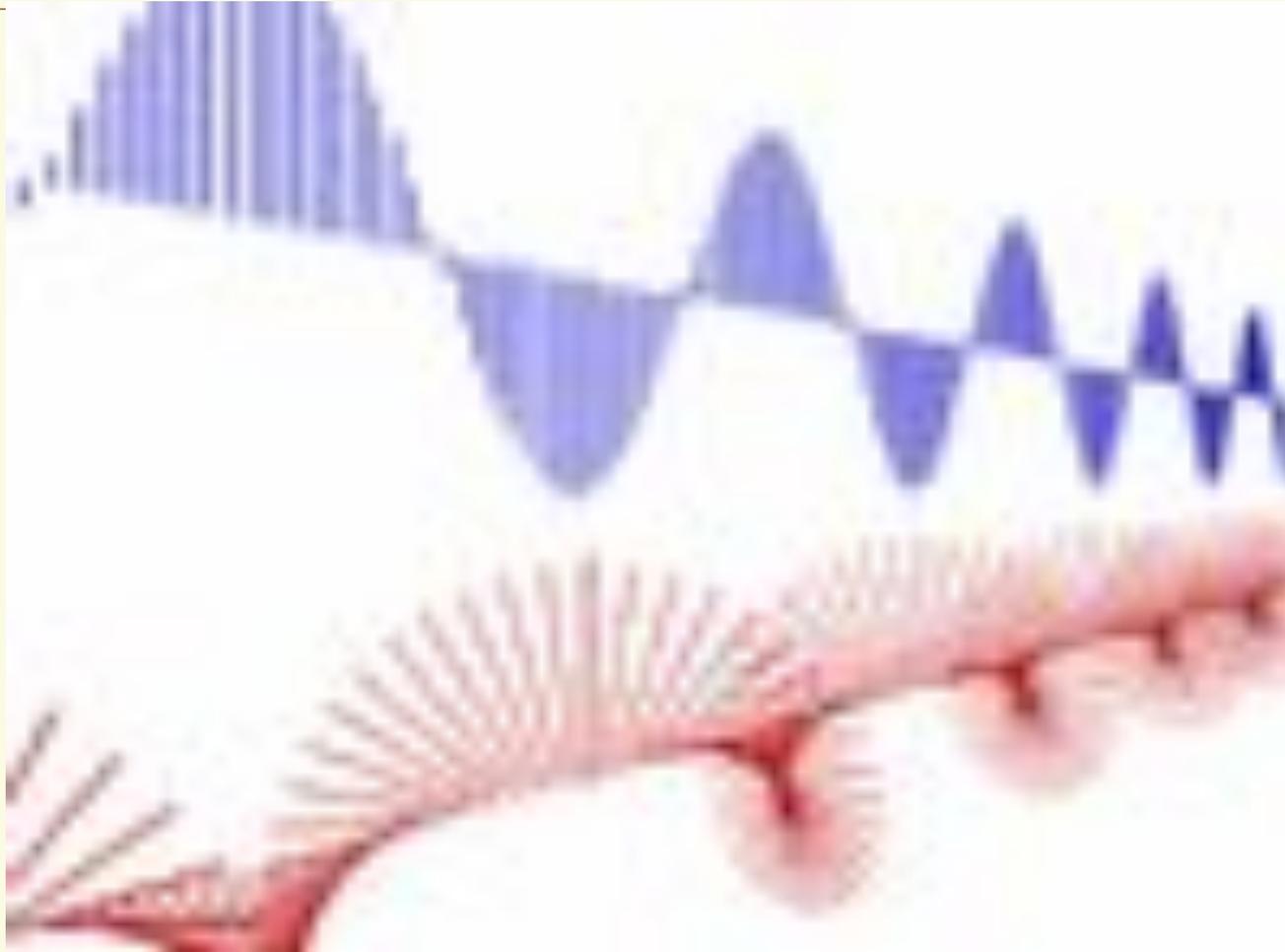


Линейная поляризация:

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



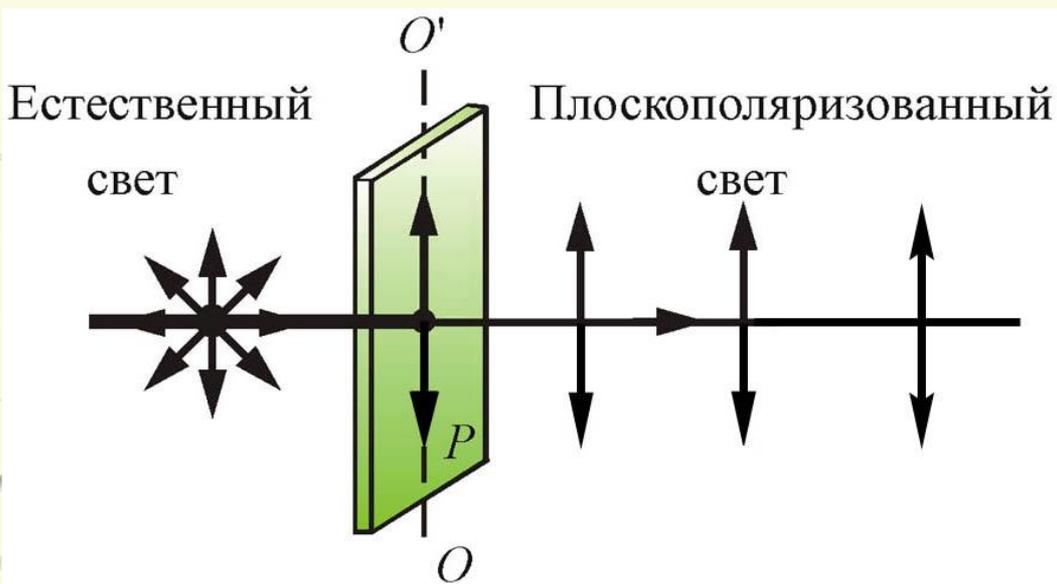
Линейно поляризованная электромагнитная волна и волна круговой поляризации.



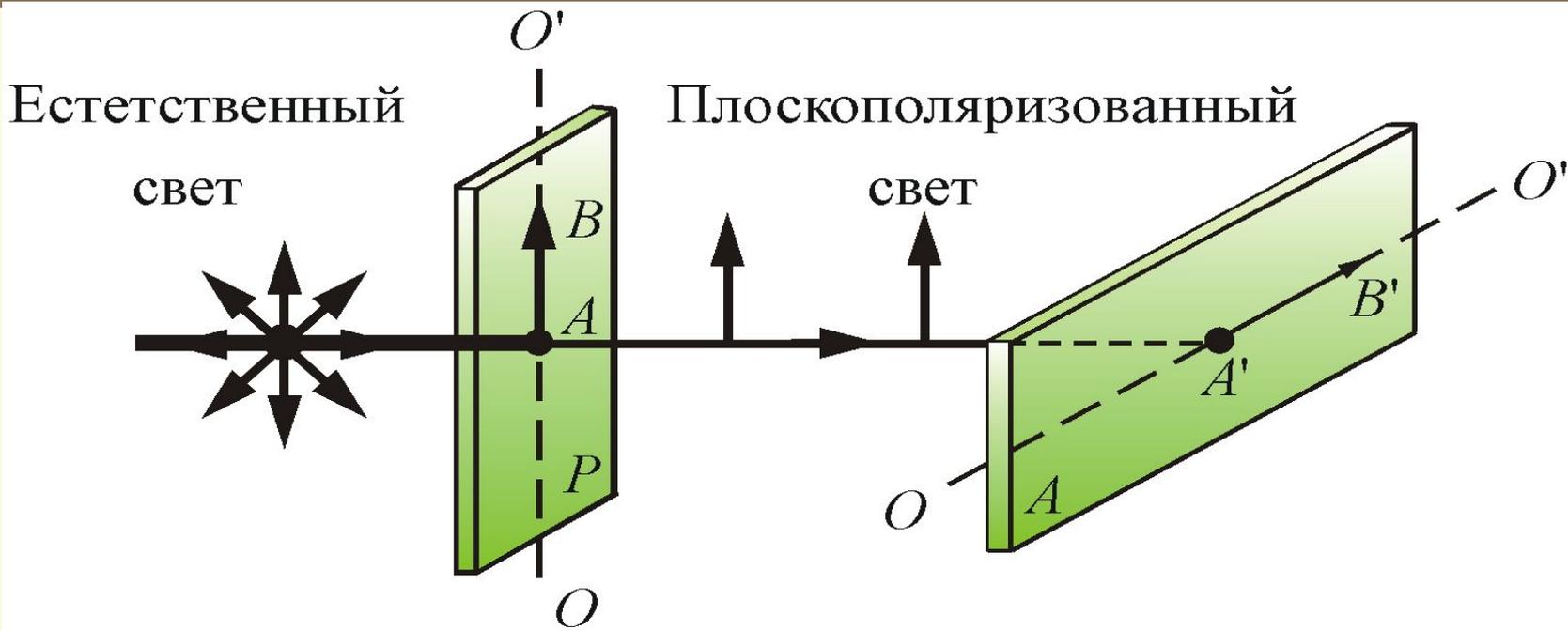
Линейно поляризованный свет:

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' .



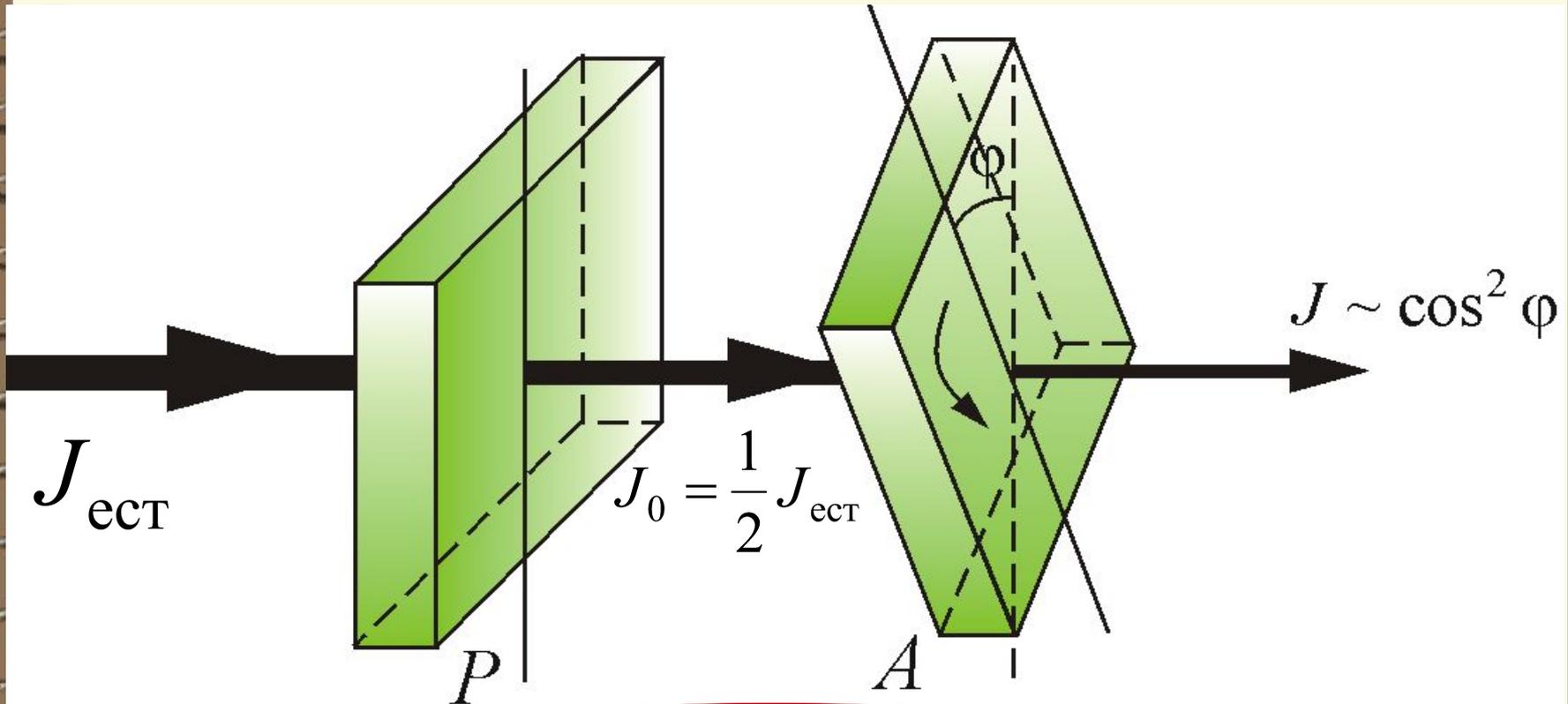
После прохождения **поляризатора** свет будет линейно поляризован в направлении OO'

Интенсивность света, при этом, уменьшится на половину.

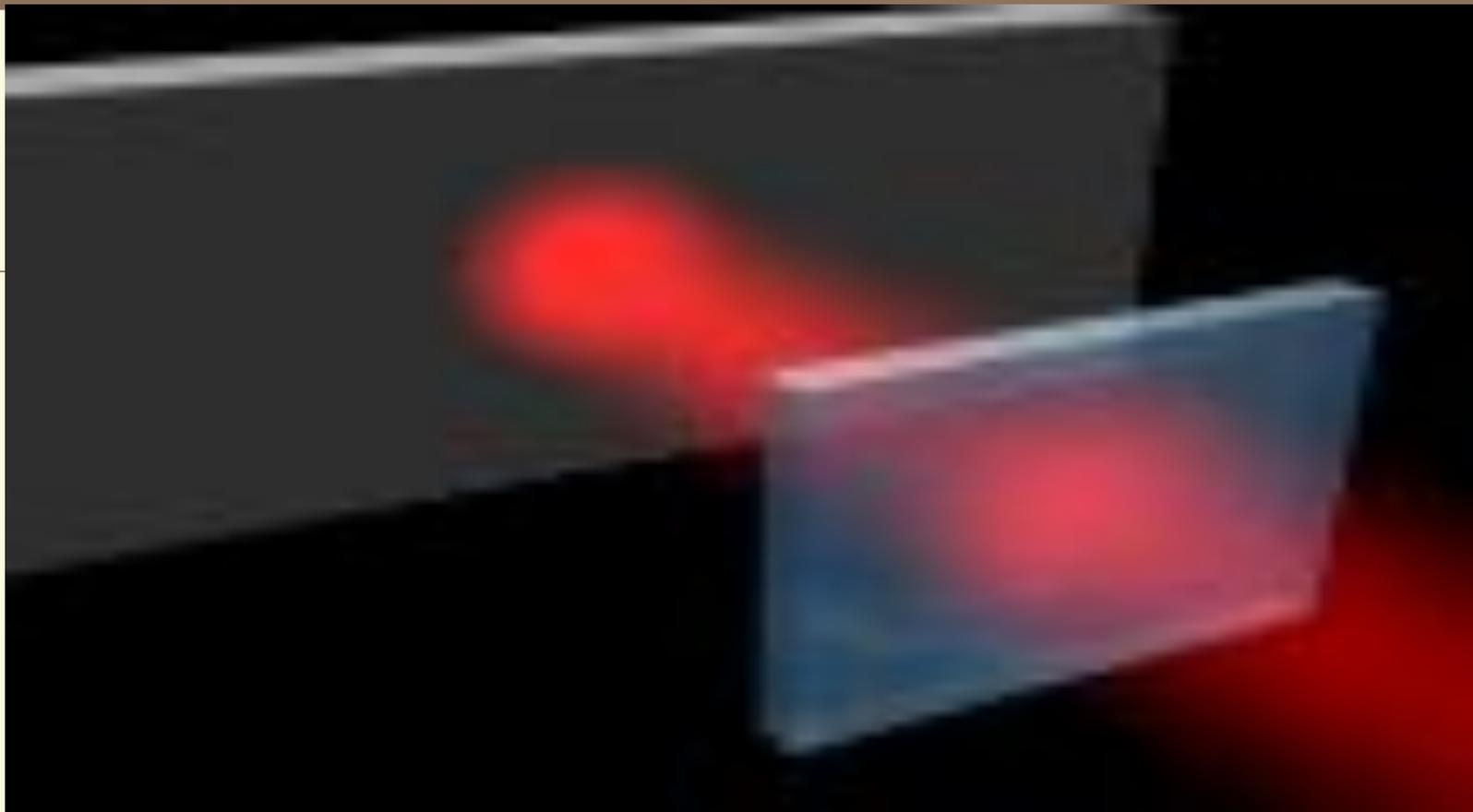
Если на пути луча поставит второй кристалл – **анализатор** A , то интенсивность света будет изменяться в зависимости от того, как ориентированы друг относительно друга обе пластины.

Закон Малюса

В 1809 г. французский инженер Э. Малюс получил:



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



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

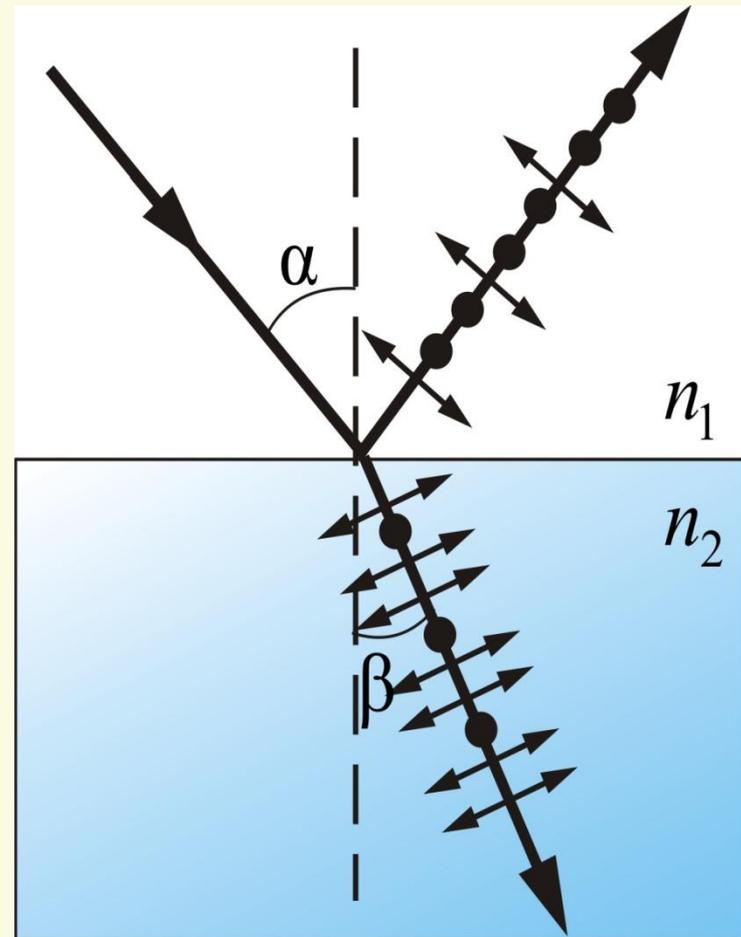
Когда направление выделенной оси поляроида совпадает с направлением поляризации падающего света, на экране за поляроидом видно пятно с максимальной интенсивностью.

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

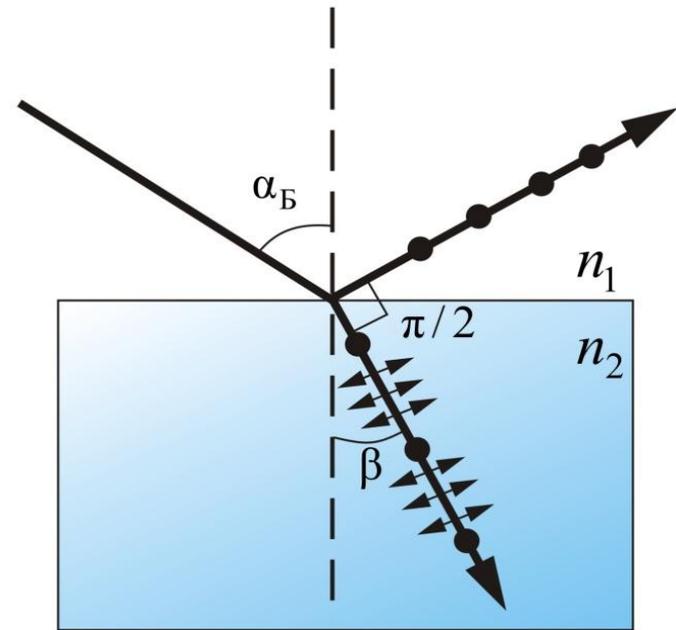
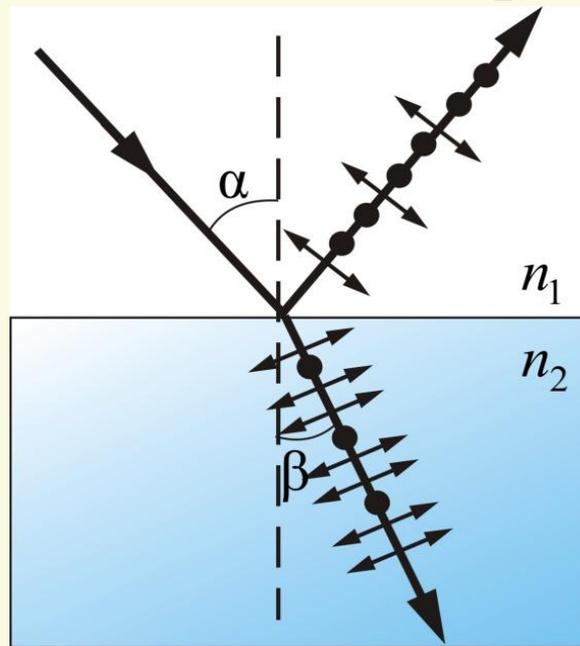
Поляризация при отражении и преломлении

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 α_B ,
удовлетворяющему условию

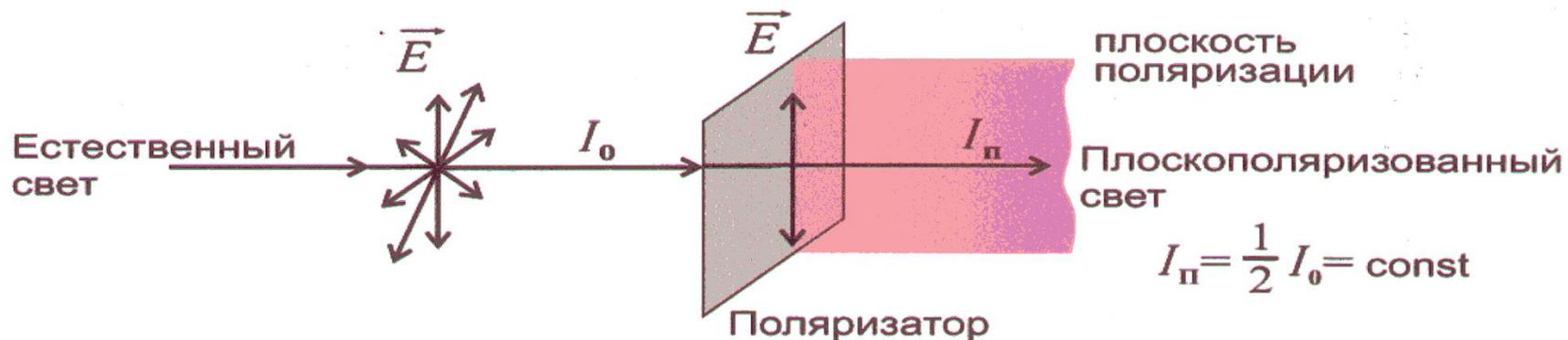
$$\operatorname{tg} \alpha_B = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

то отраженный луч оказывается полностью линейно поляризованным.

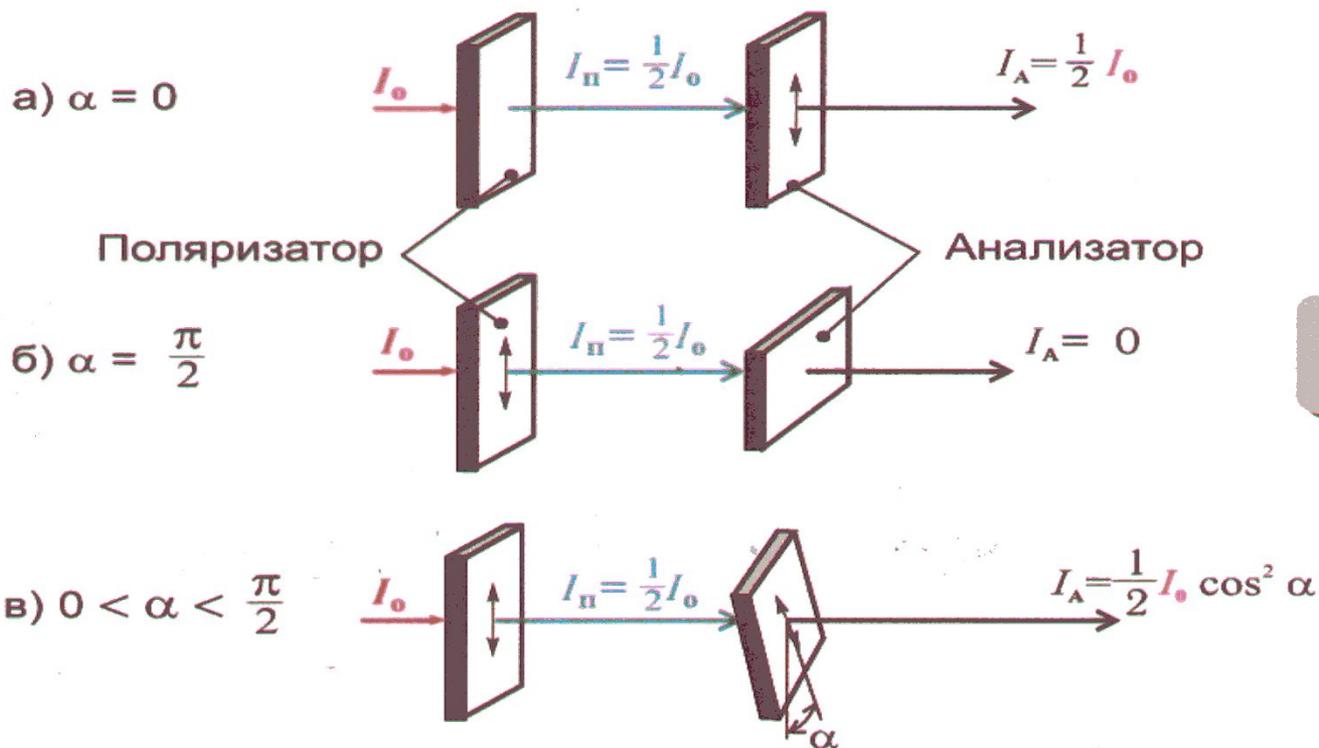
Преломленный луч – поляризован частично.

Угол α_B – называется углом Брюстера.

ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА



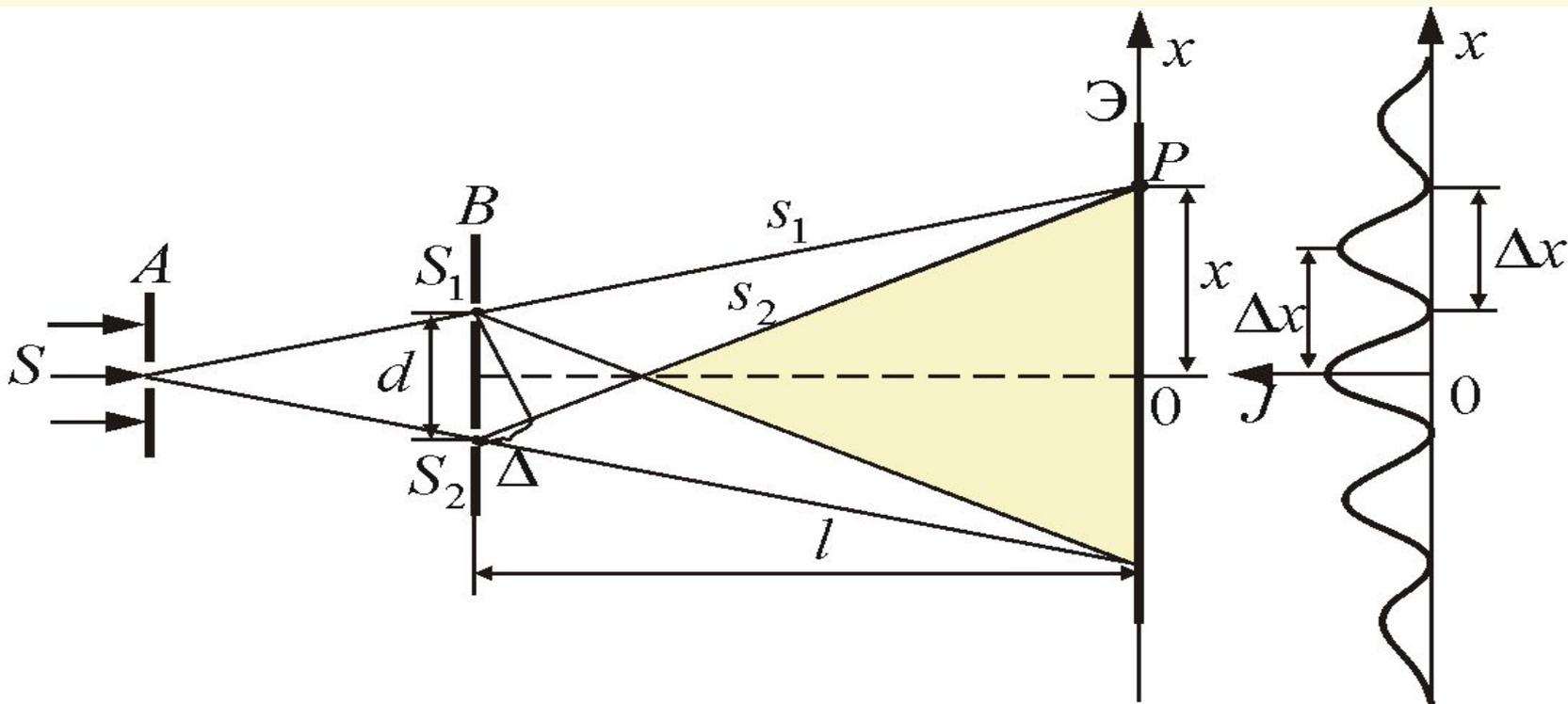
ЗАКОН МАЛЮСА



Классические интерференционные опыты

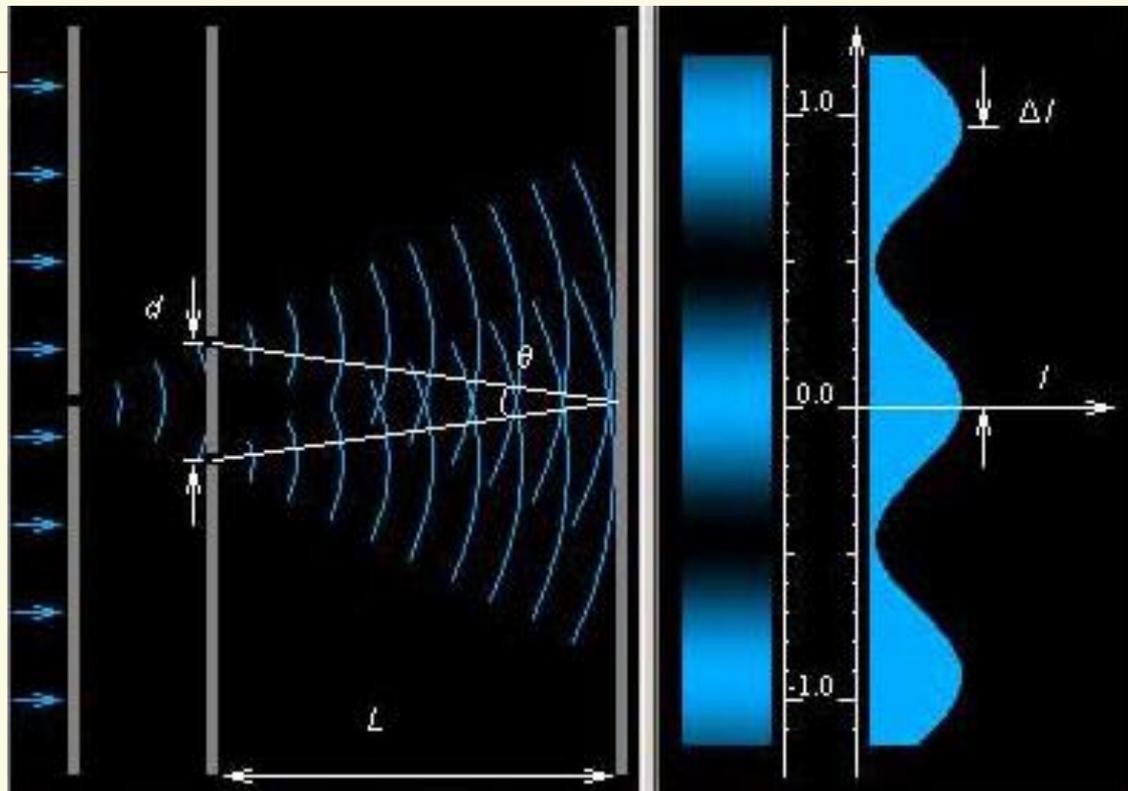
Для получения когерентных волн используется метод разделения света, идущего от источника, на два или несколько пучков с помощью щелей, зеркал преломления и т.д.

1. Опыт Юнга

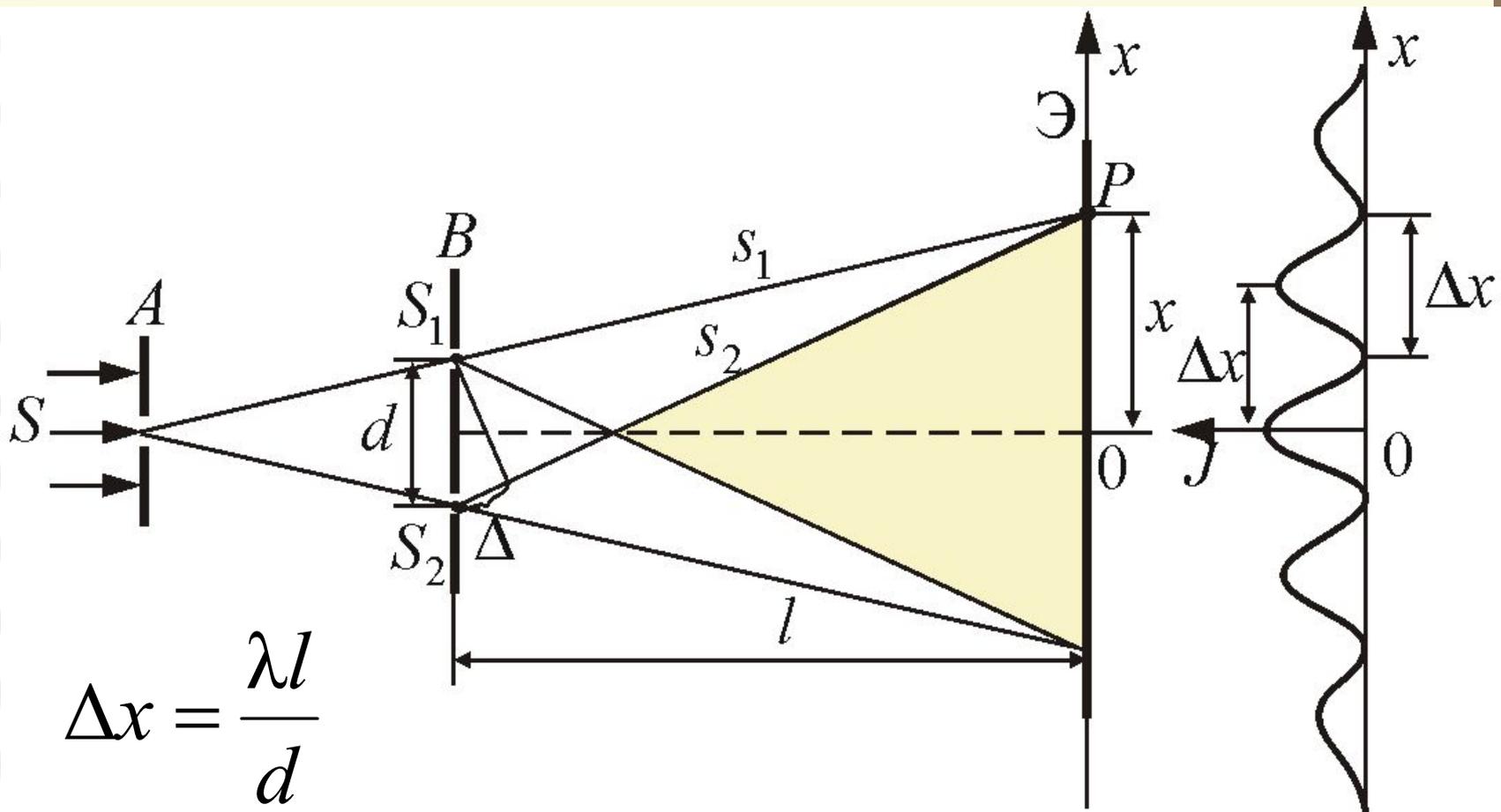


Расстояние l от щелей, причем $l \gg d$

Классический интерференционный опыт Юнга

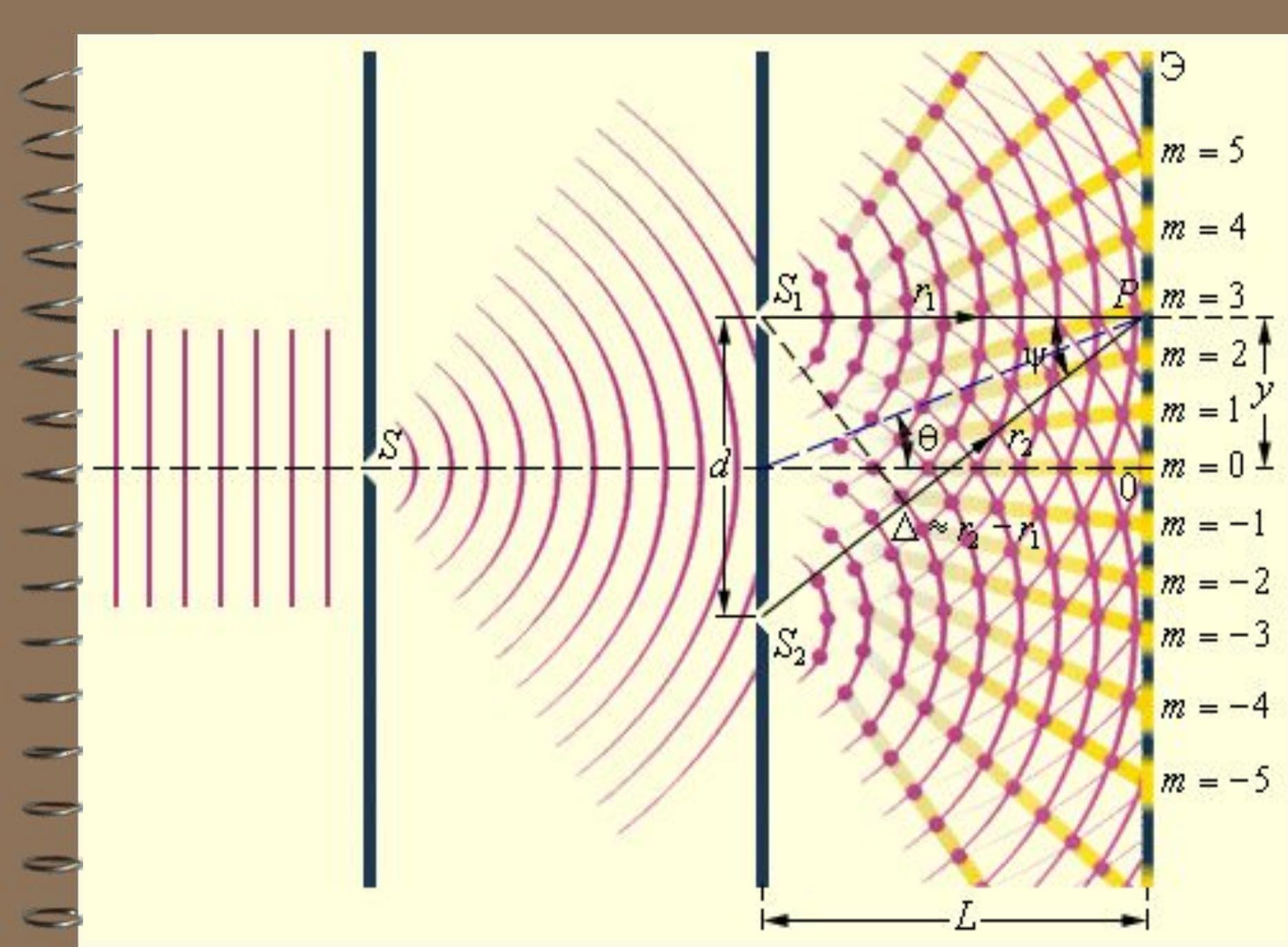


*Параллельный пучок света падает на экран с небольшим отверстием. Пройдя через отверстие, свет доходит до второго экрана, в котором проделаны две щели. Когерентные пучки, излучаемые каждой из щелей, интерферируют на третьем экране.*²¹

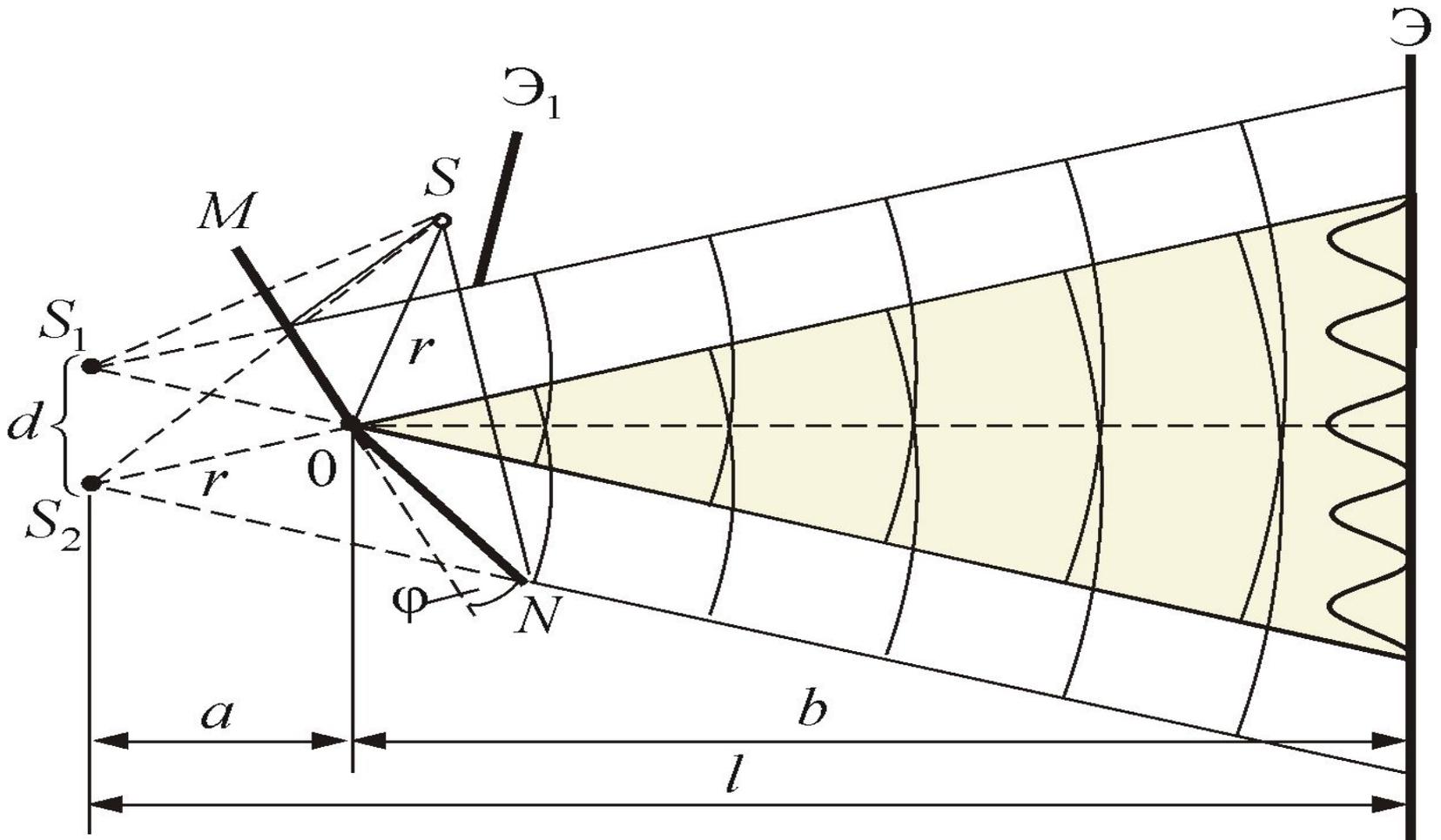


$$\Delta x = \frac{\lambda l}{d}$$

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.

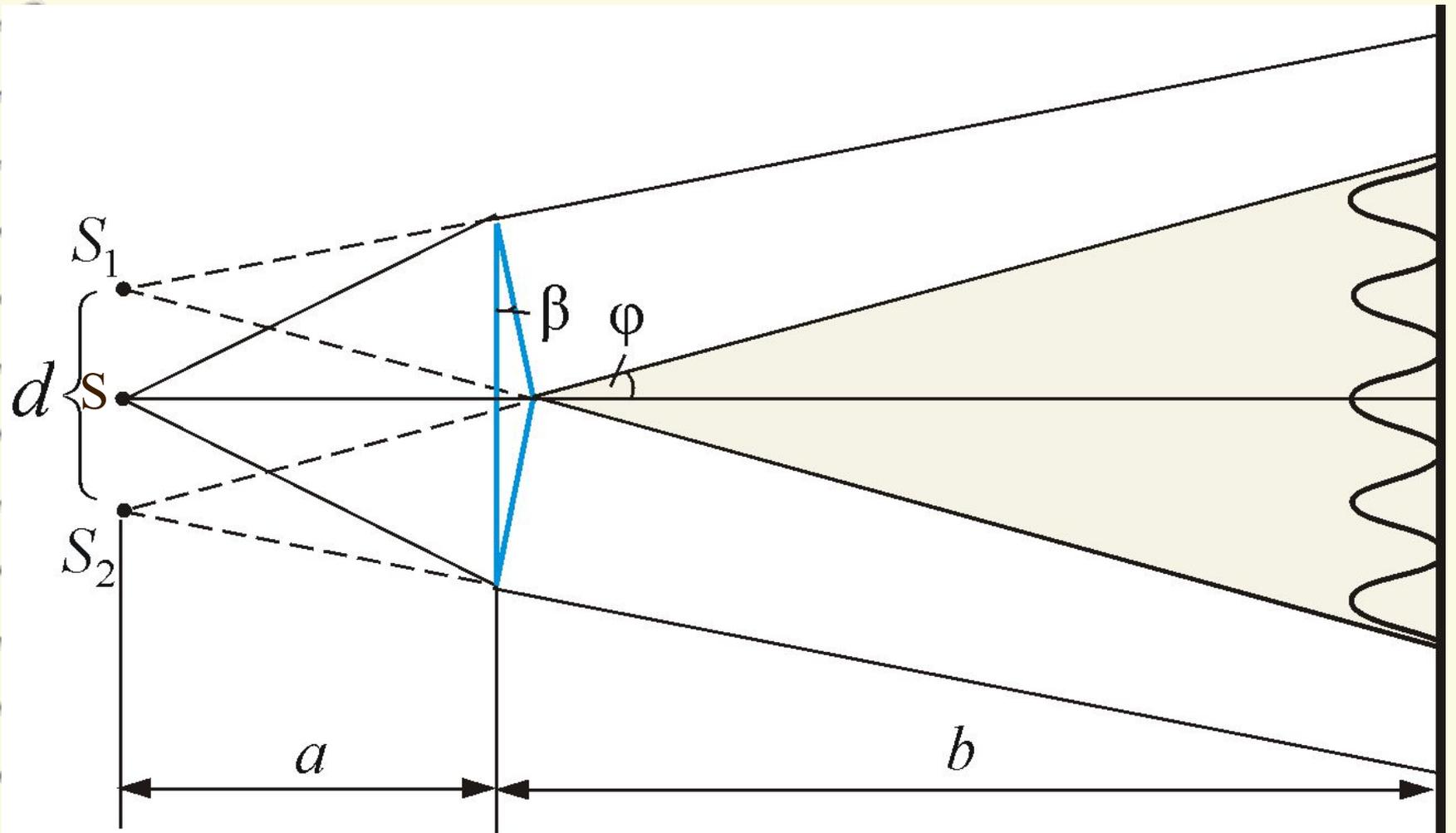


2. Зеркала Френеля (Бизеркала Френеля)



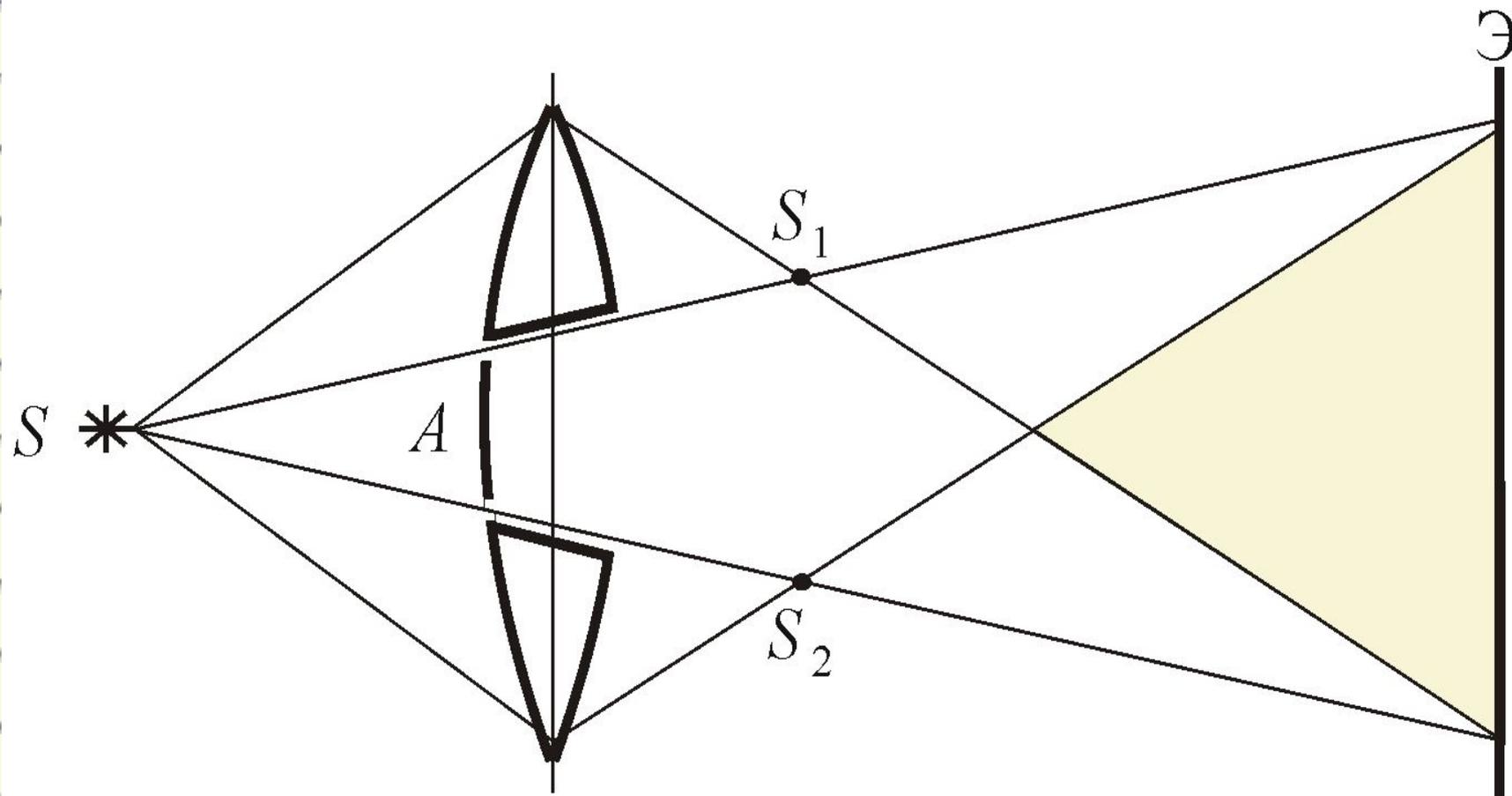
$$\Delta x \approx \frac{\lambda l}{d} = \frac{\lambda(a+b)}{2a\varphi}$$

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

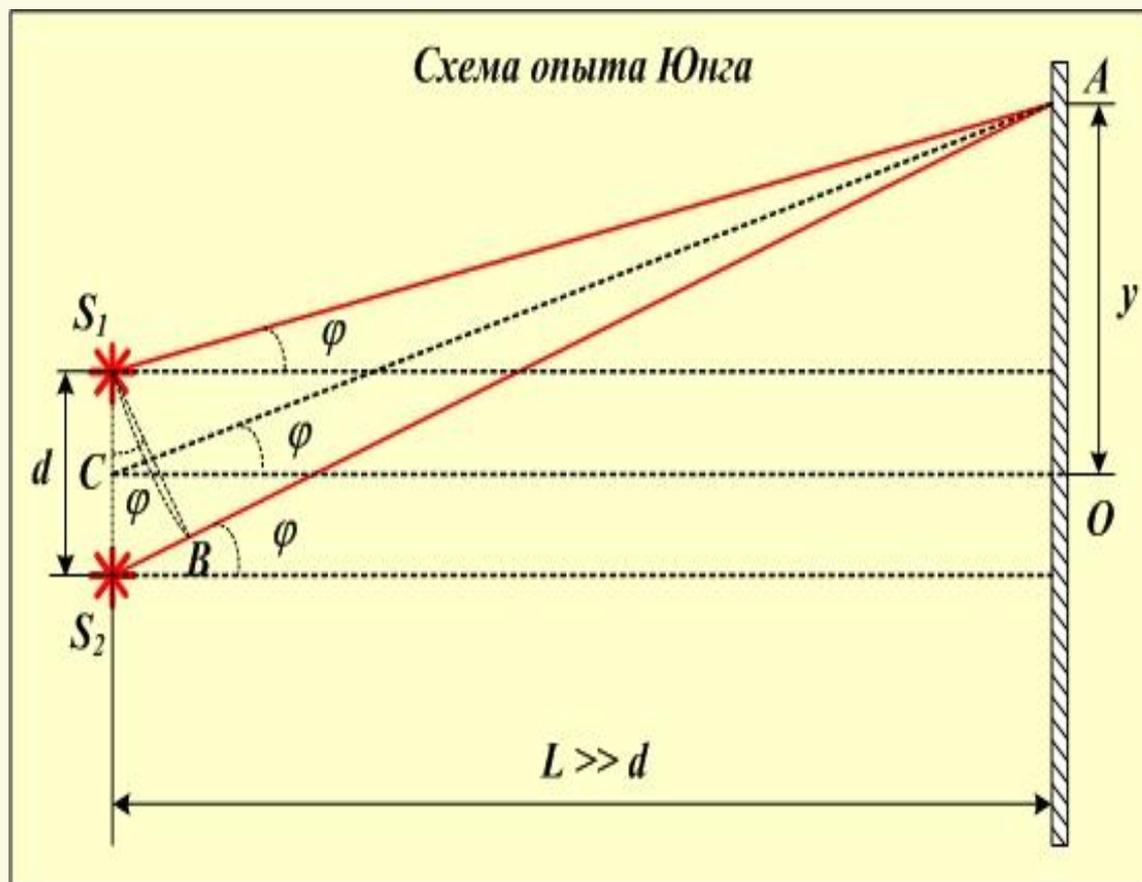
отверстиями d не

может быть

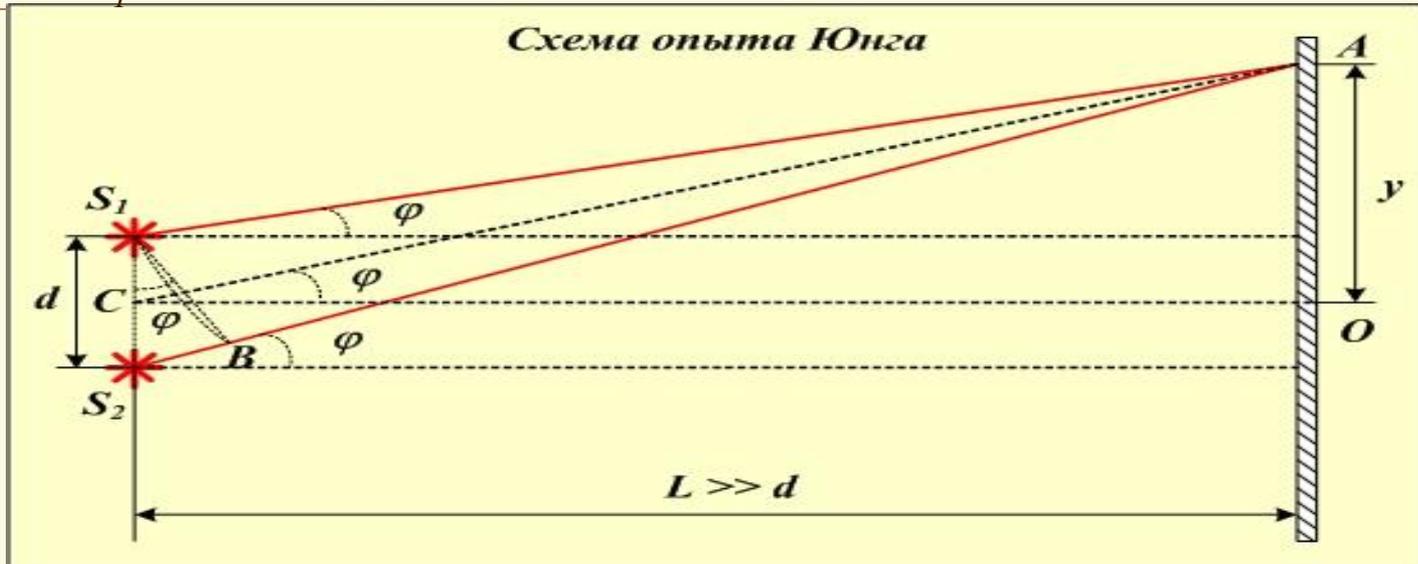
большим иначе

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

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

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

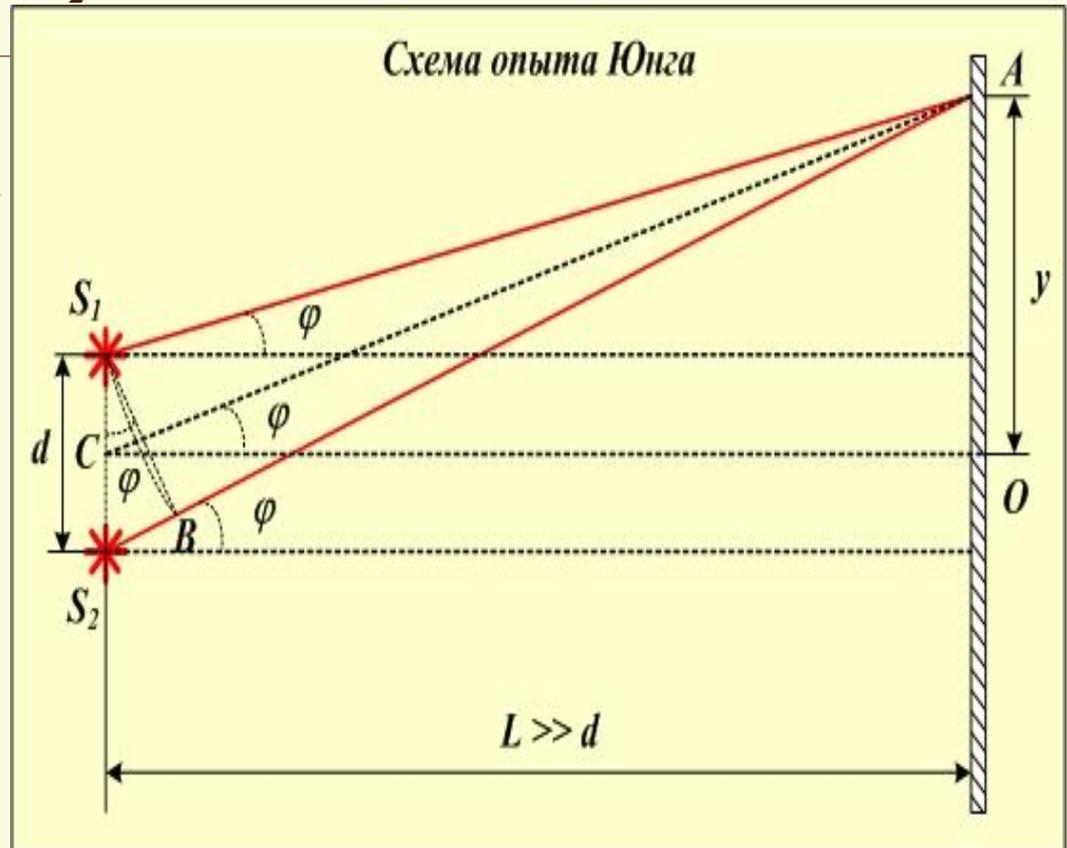
Определим положение интерференционных минимумов на экране. Пусть минимум находится в точке A. Тогда оптическая разность хода между лучами S_1A и S_2A должна быть равна нечётному числу длин полуволн.

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

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

$$\text{Максимумы} : d \sin \varphi = m\lambda,$$

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



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

$$I_p = 2I_0 \left\{ 1 + \cos \left[k \left(r_1 - r_2 \right) + \left(\varphi_{02} - \varphi_{01} \right) \right] \right\}$$

т.к. $\cos \left[k \left(r_1 - r_2 \right) \right] = \cos \left[k \left(r_2 - r_1 \right) \right]$

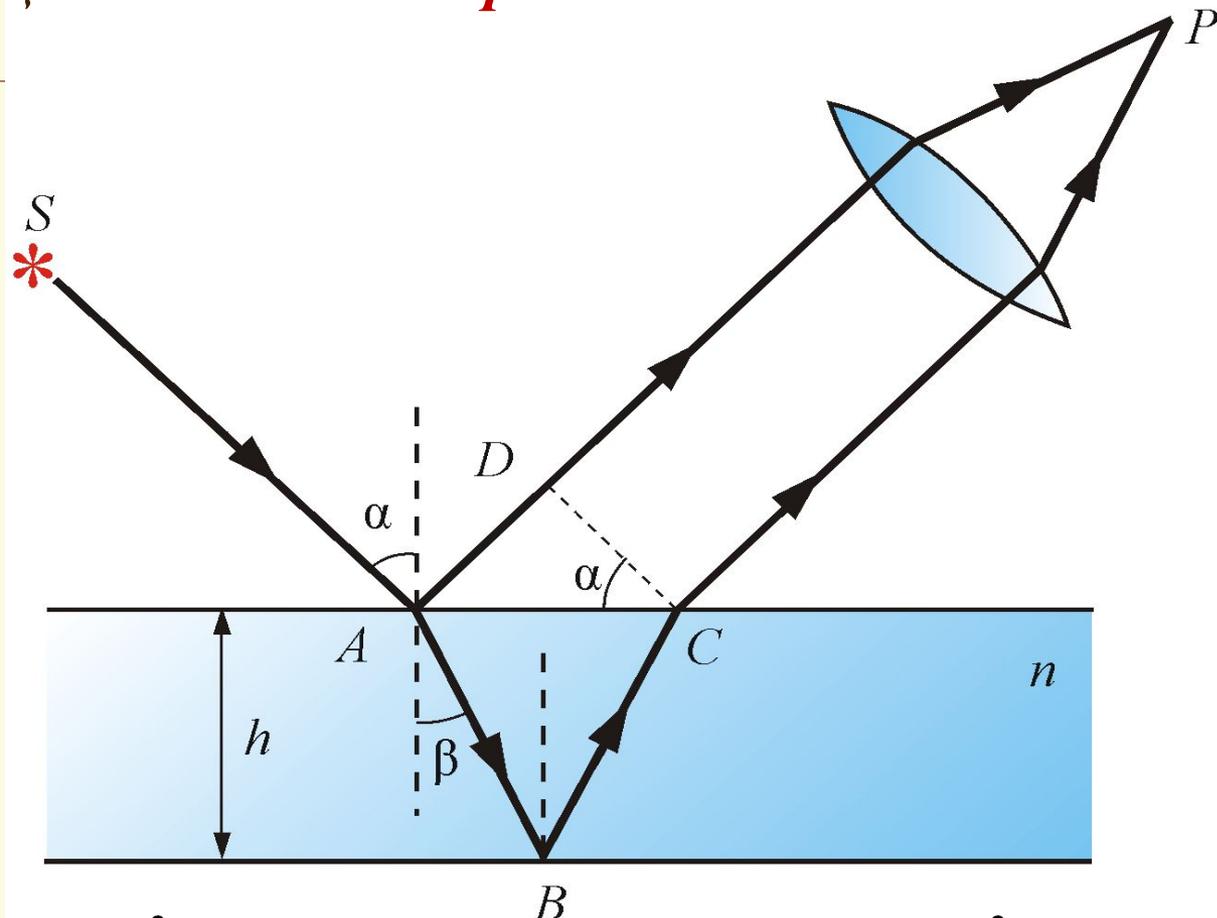
и источники синфазны, то

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

Интерференция в тонких пленках

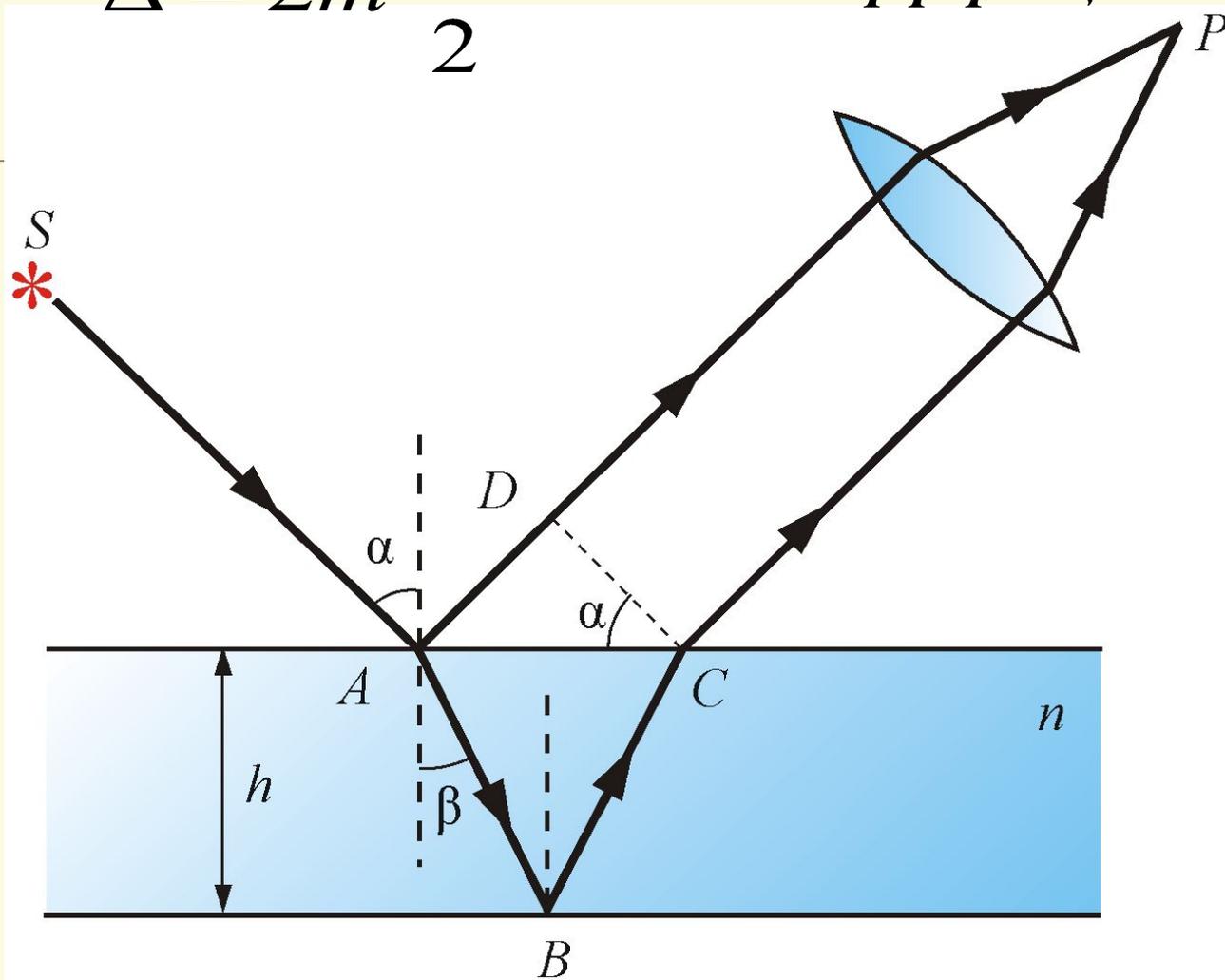
Интерференционные *полосы равного наклона*

*Оптическая
разность хода
с учетом
потери
полуволны:*



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

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

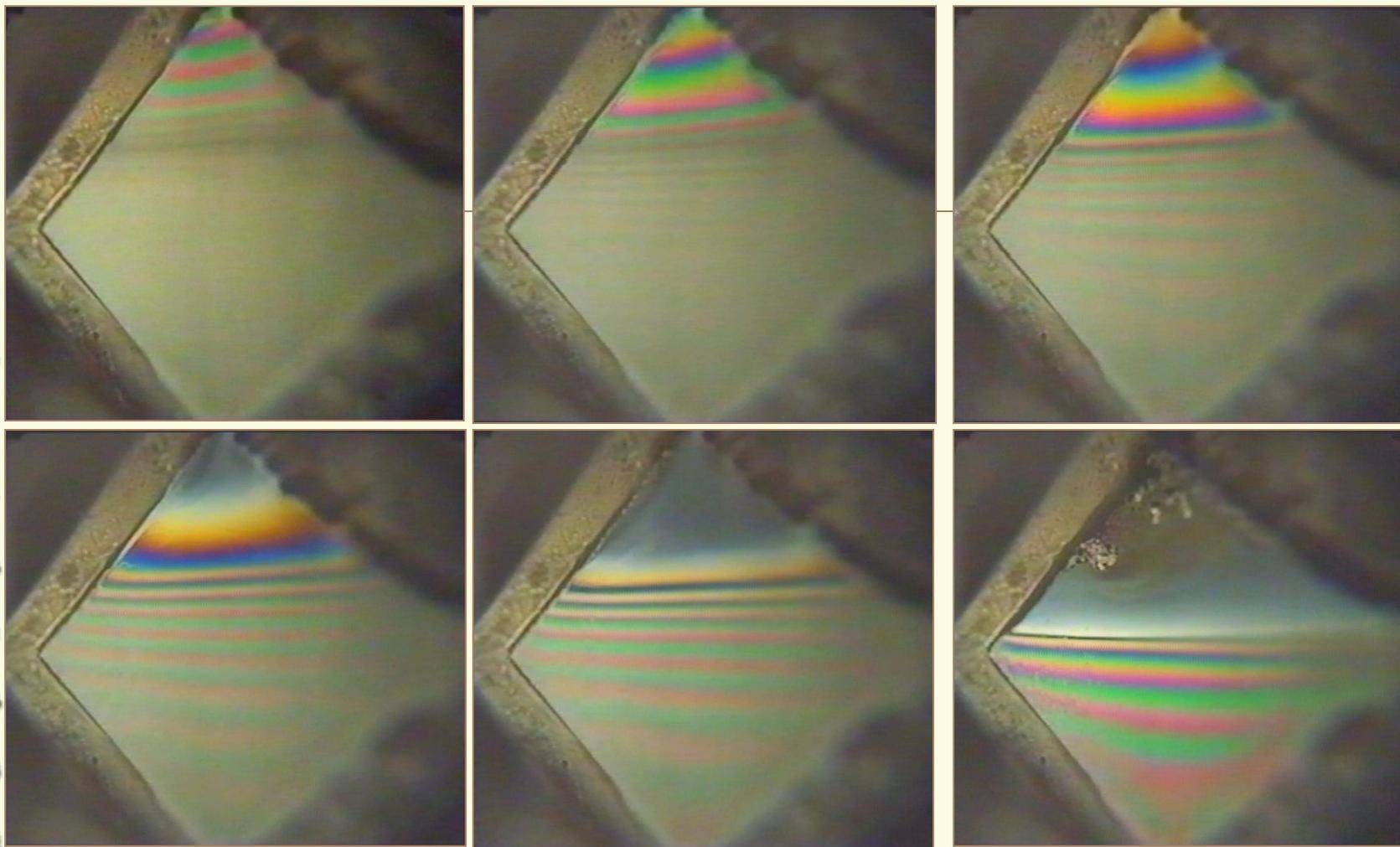


$$\Delta = (2m + 1) \frac{\lambda_0}{2} - \text{min интерференции}$$

Полосы равной толщины

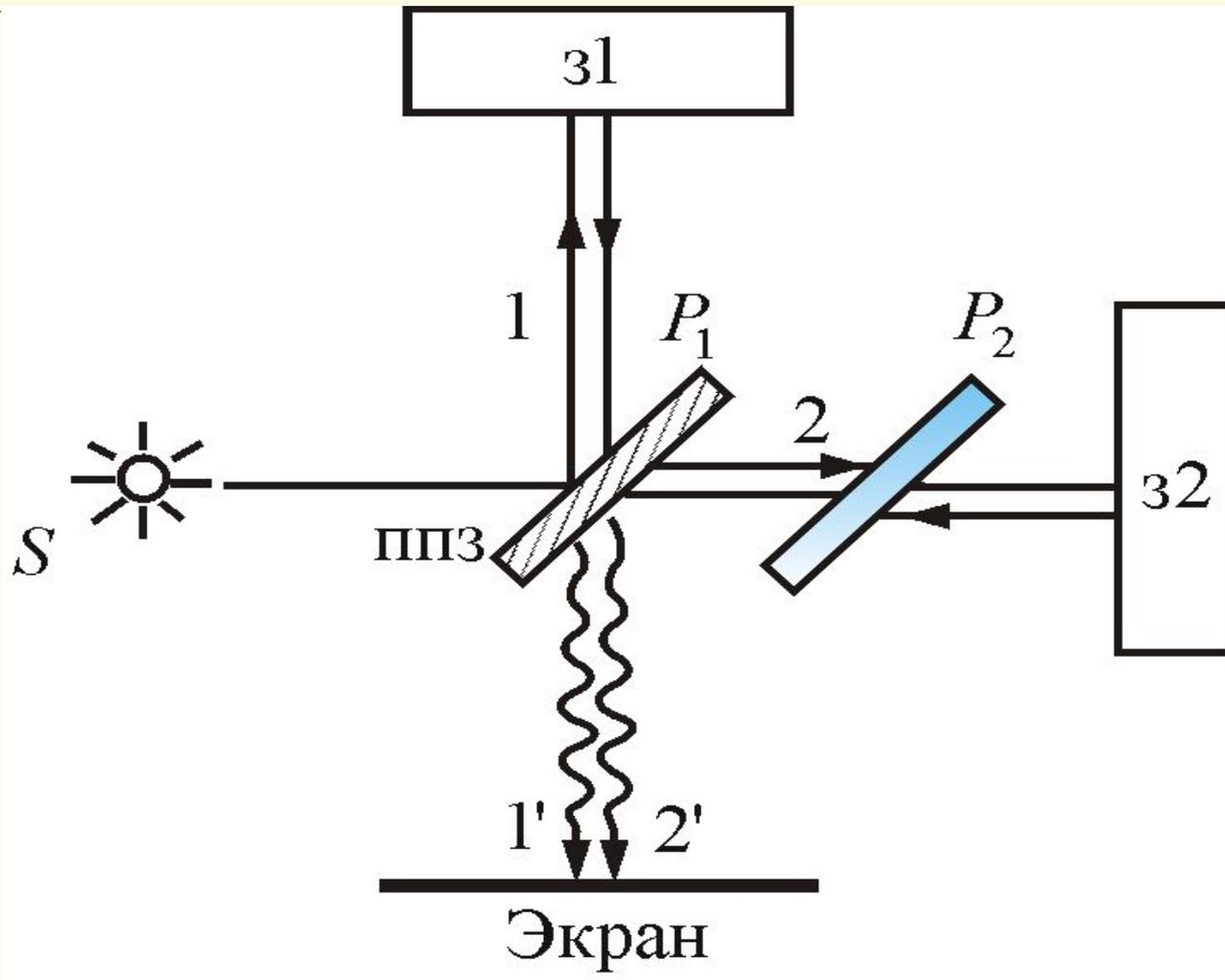
*В белом свете интерференционные полосы, при отражении от тонких пленок - окрашены. Поэтому такое явление называют **цвета тонких пленок**. Его легко наблюдать на мыльных пузырях, на тонких пленках масла или бензина, плавающих на поверхности воды, на пленках окислов, возникающих на поверхности металлов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

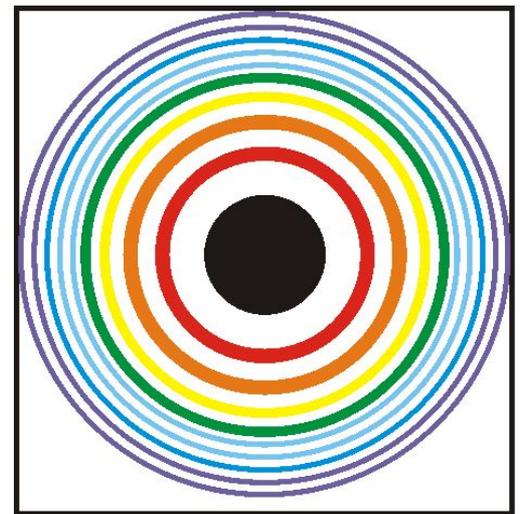
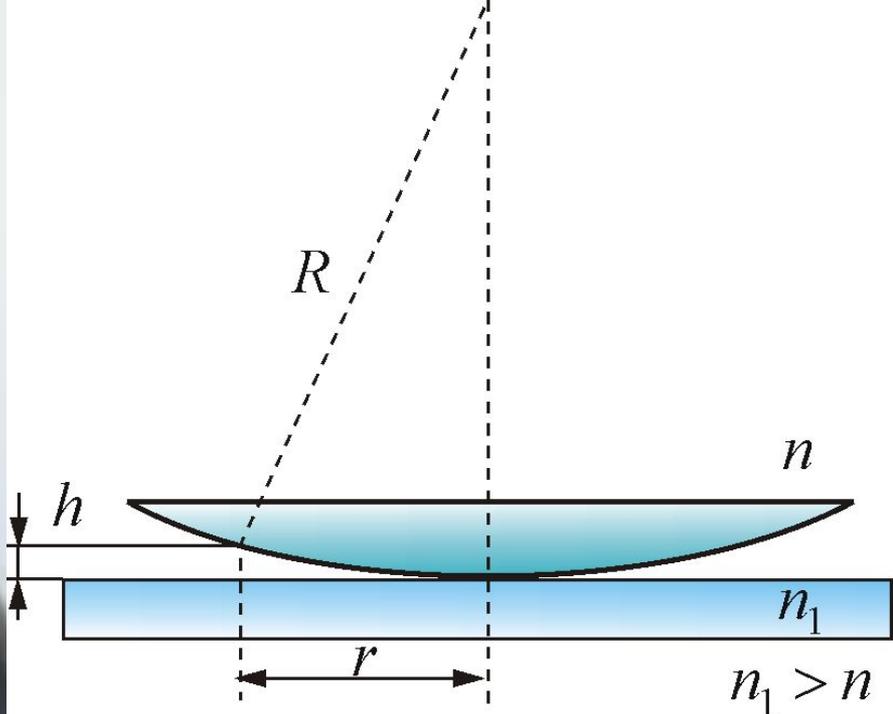
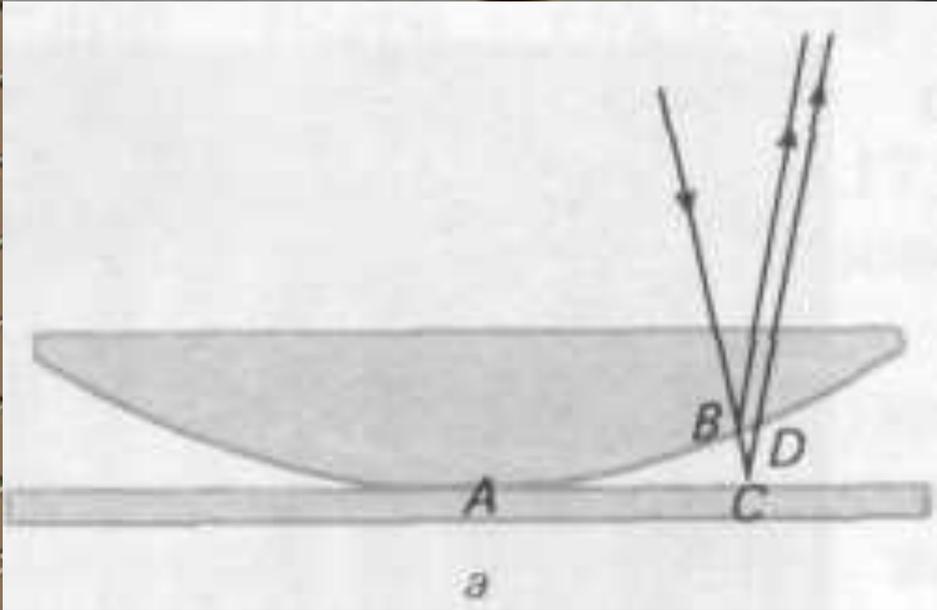




Кольца Ньютона

*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

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

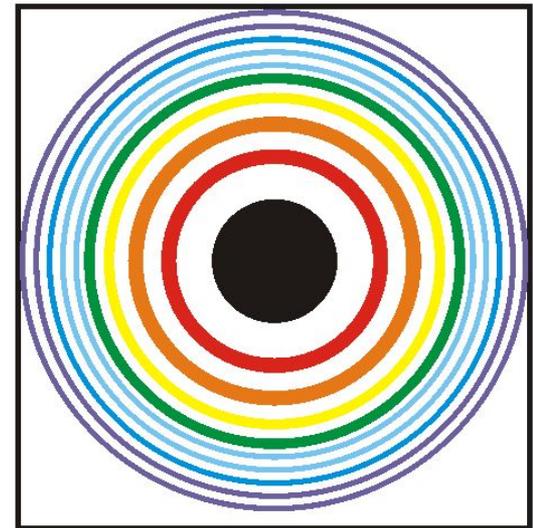
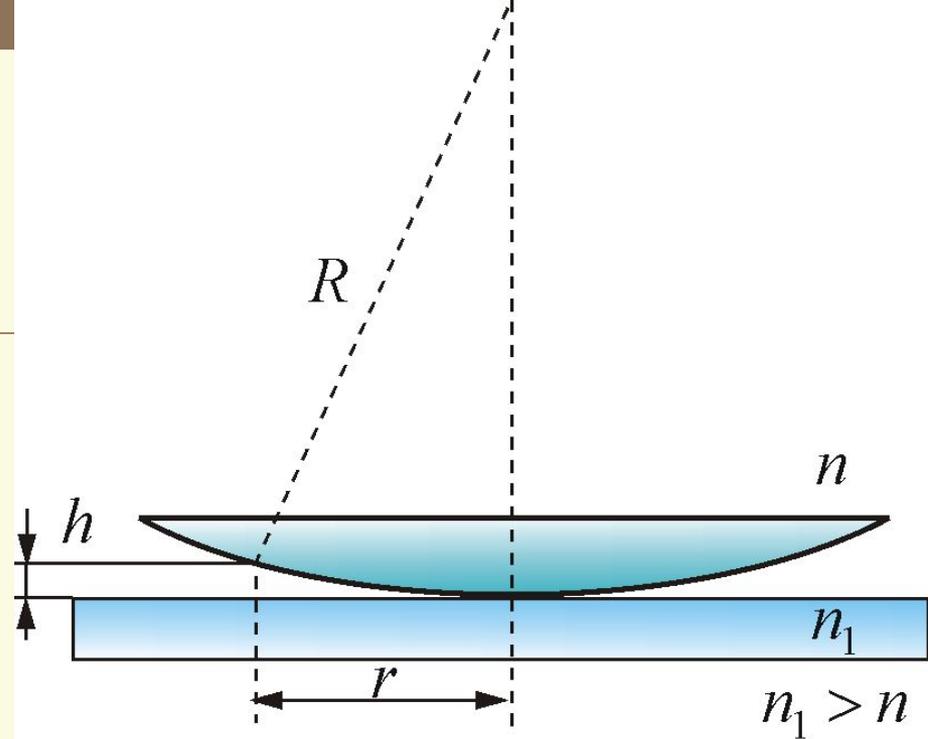
$$h = \frac{m\lambda}{2}$$

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

*- Радиус m -го
светлого кольца*

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

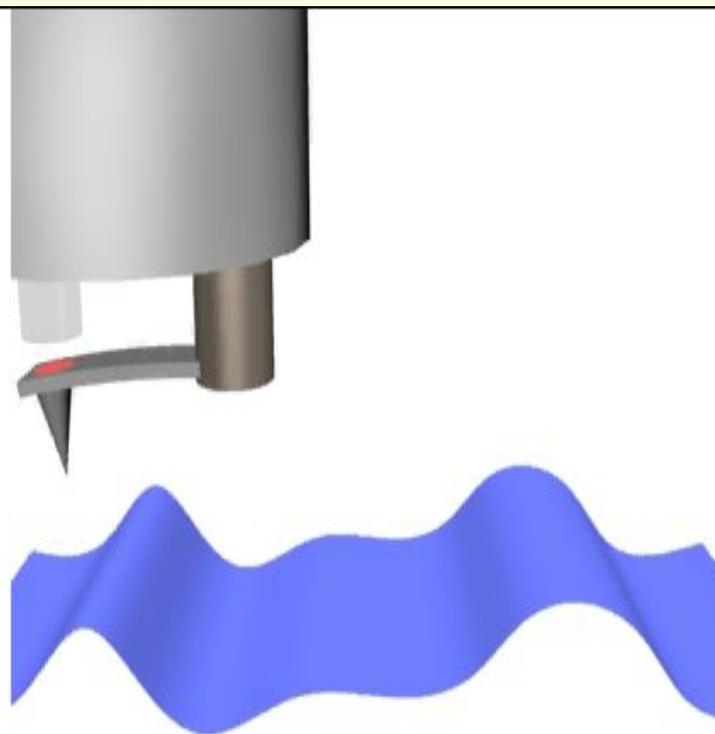
- Радиус m -го темного кольца



Применение интерференции света

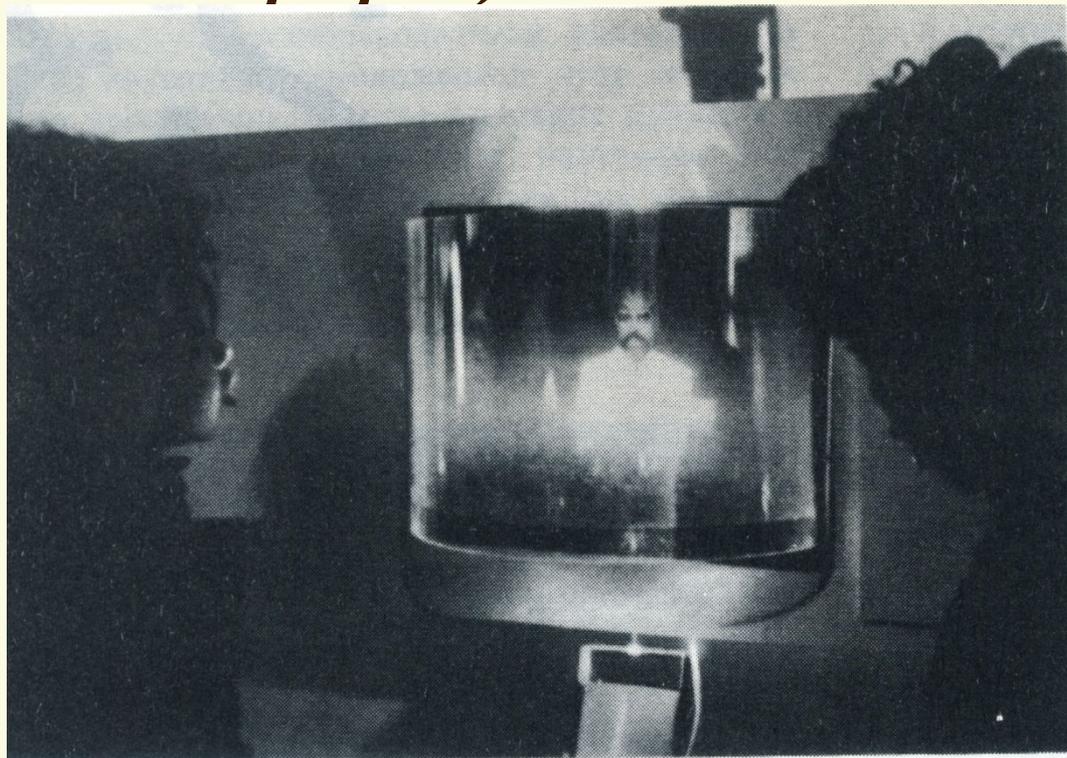
1. Тот факт, что расположение интерференционных полос зависит от длины волны и разности хода лучей, позволяет по виду интерференционной картины (или их смещению) проводить точные измерения расстояний при известной длине волны или, наоборот, определять спектр интерферирующих волн (интерференционная спектроскопия).

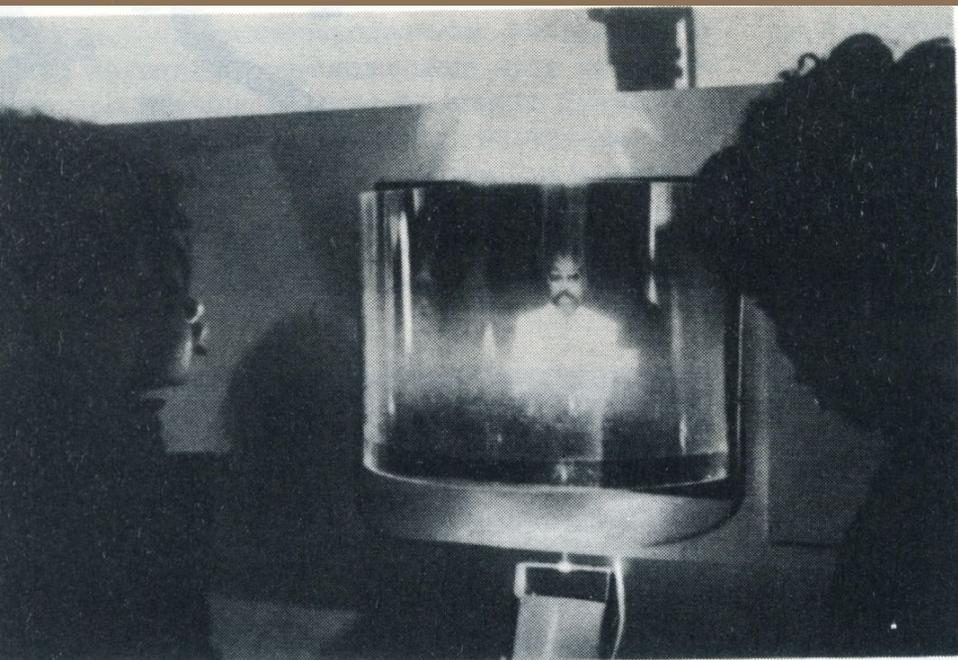
2. По *интерференционной картине можно выявлять и измерять неоднородности среды* (в т.ч. фазовые), в которой распространяются волны, *или отклонения формы поверхности от заданной.*



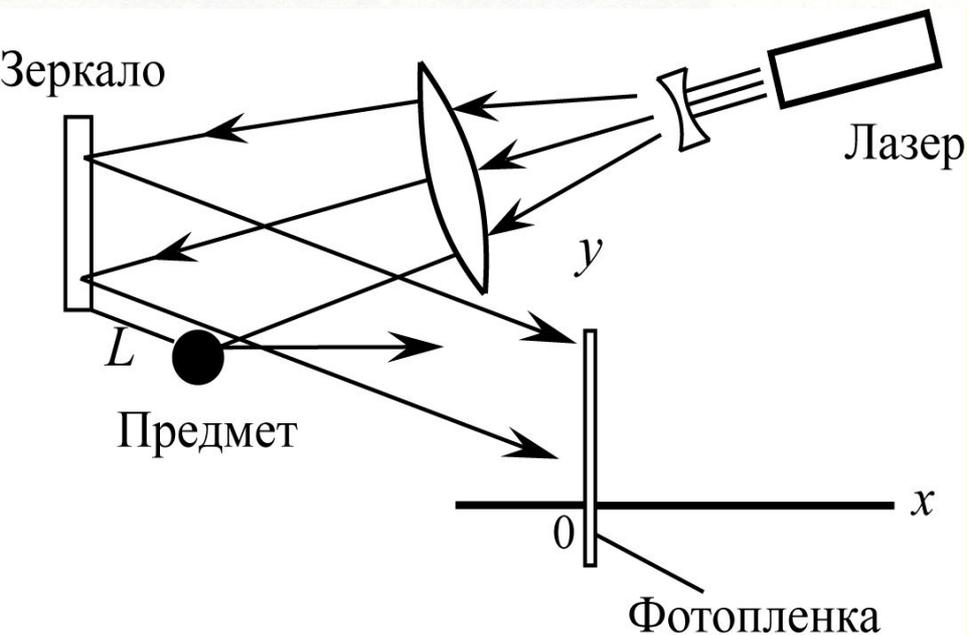
VTS_96_1.VOB

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).*



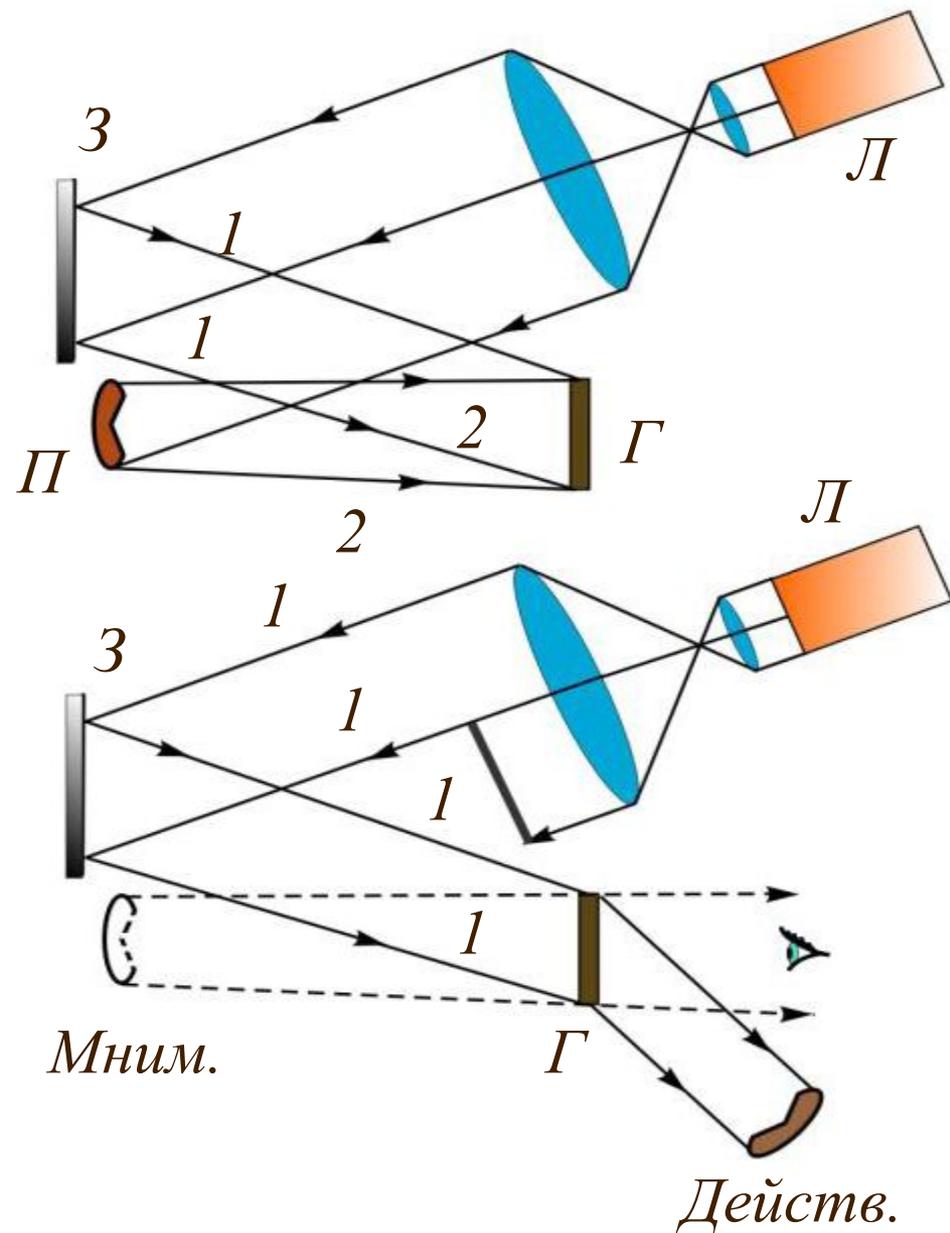


Голографический негатив, освещенный монохроматическим светом, дает полное трехмерное изображение, парящее в пространстве.



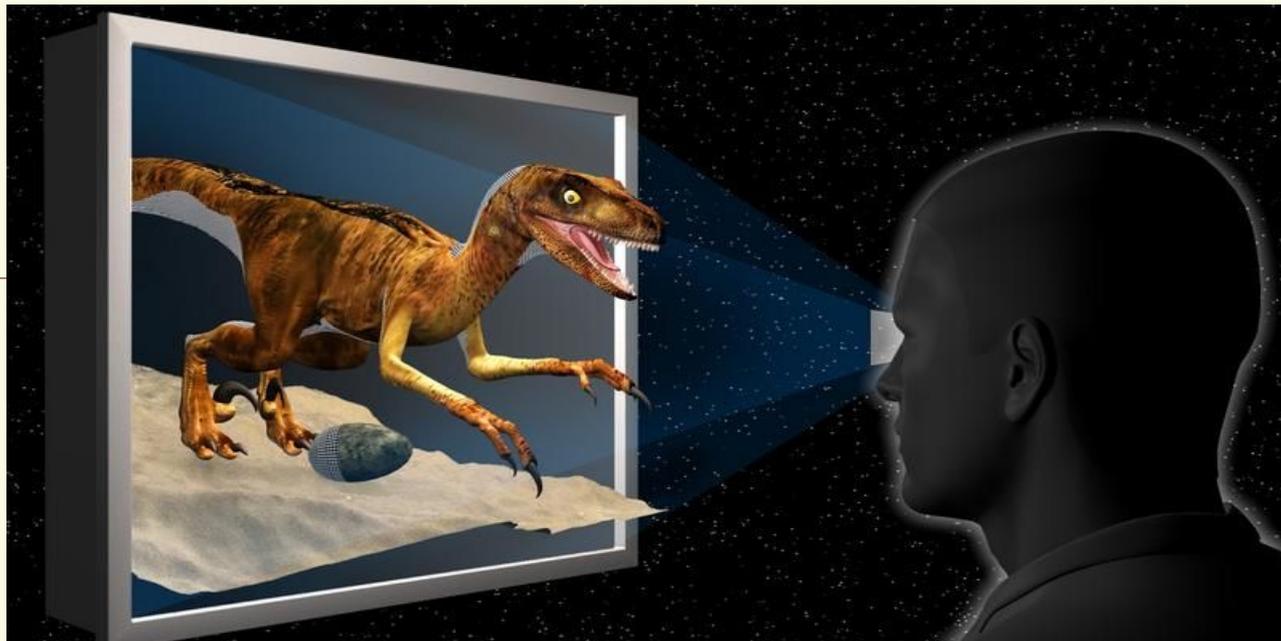
Способ получения голограммы.

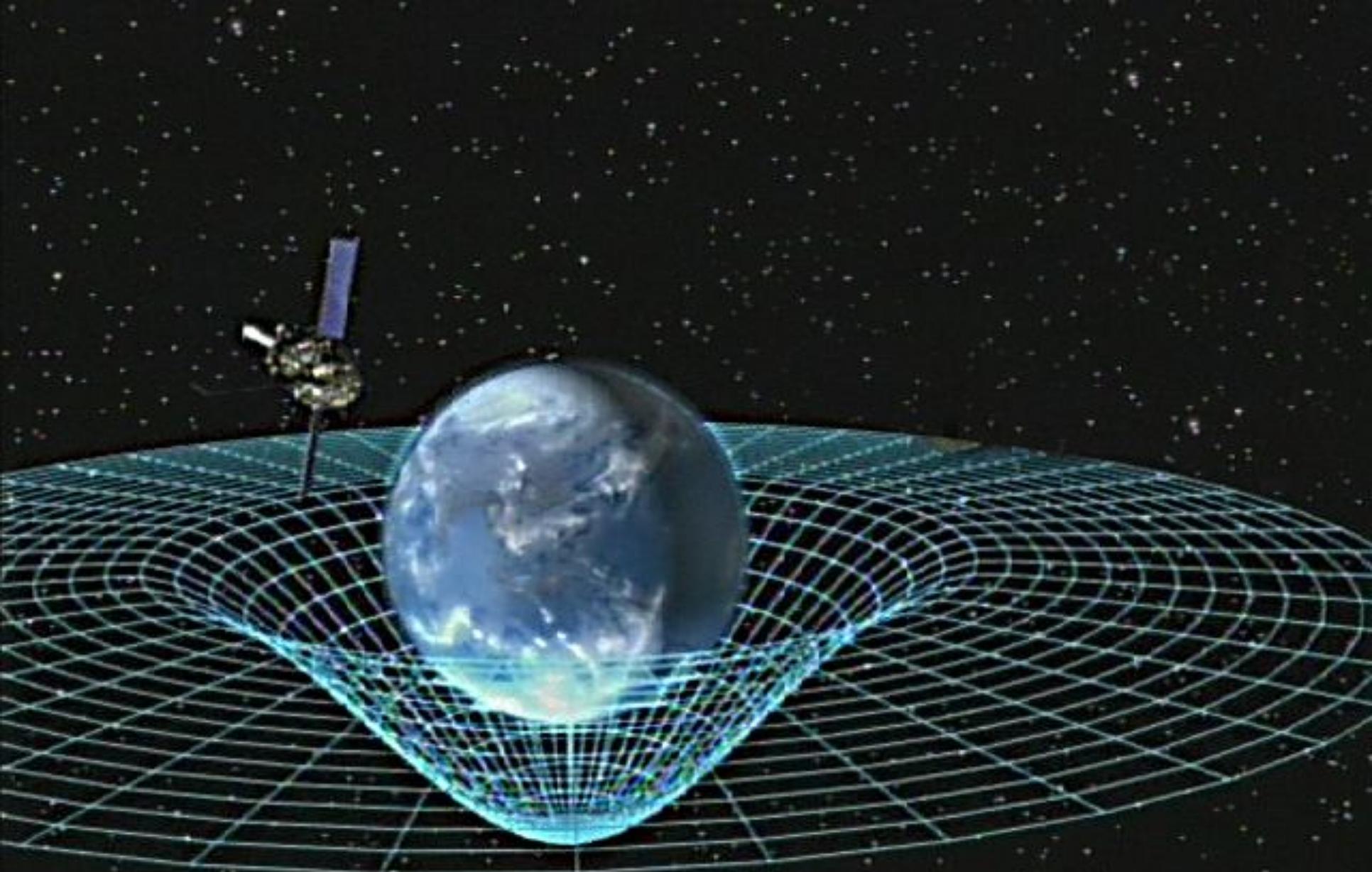
На фотопленку попадают как отраженный от предмета лазерный свет, так и опорный пучок от зеркала



Для того, чтобы осуществить этот метод, используется схема установки. Световой пучок от лазера (Л) делится на две части. Одна часть отражается зеркалом (З) и называется опорным пучком (1), другая отражается предметом (П) и называется предметным пучком (2). Оба пучка когерентны, в результате фотопластинка (Г) фиксирует интерференционную картину. Фотографическая запись этой картины – голограмма – содержит информацию и о фазе, и об амплитуде волн, дифрагированных на объекте, благодаря чему возможно их восстановление.







ЛЕКЦІЯ ЗАКОНЧЕНА!

