



ПОД ЭМУДКВ

Экономико-математическая

школа

Тема 3: Волновая теория света

— Если фотон направляется к плоскости с двумя щелями, в одной из которых детектор, интерференции не будет. Если детектора нет — будет. Если вернуть детектор, когда фотон покинул плоскость, но не достиг конечной точки, интерференция снова пропадет.

— Согласен. И к чему ты клонишь?

— Ни к чему, думаю, неплохо бы смотрелось на футболке

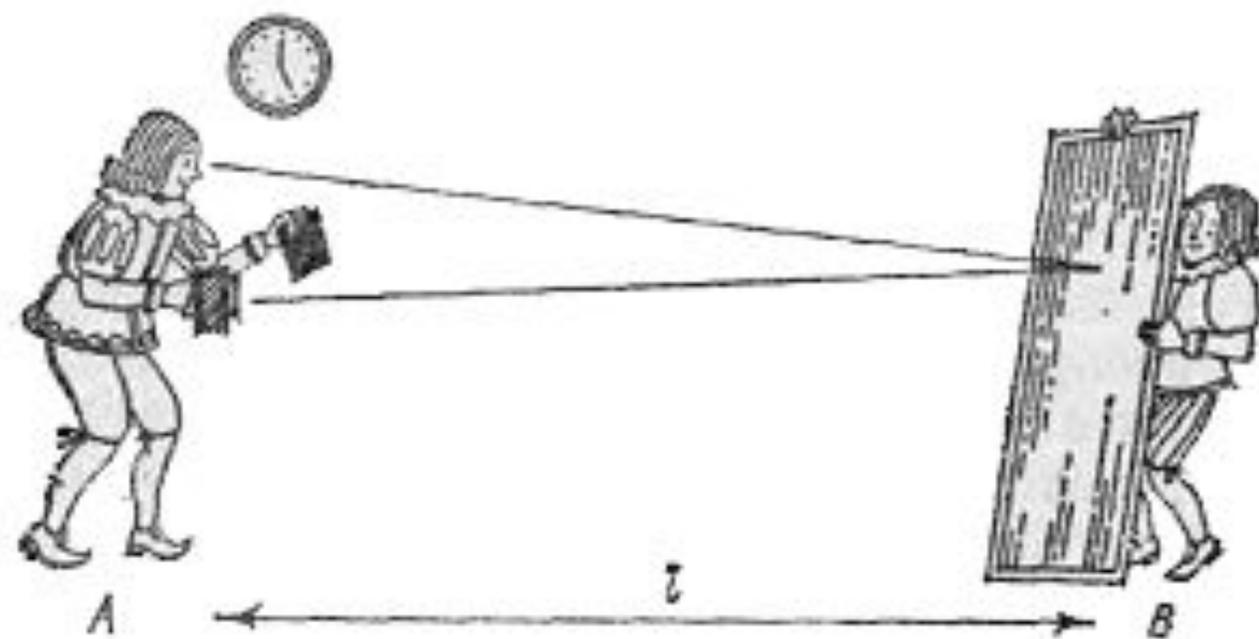
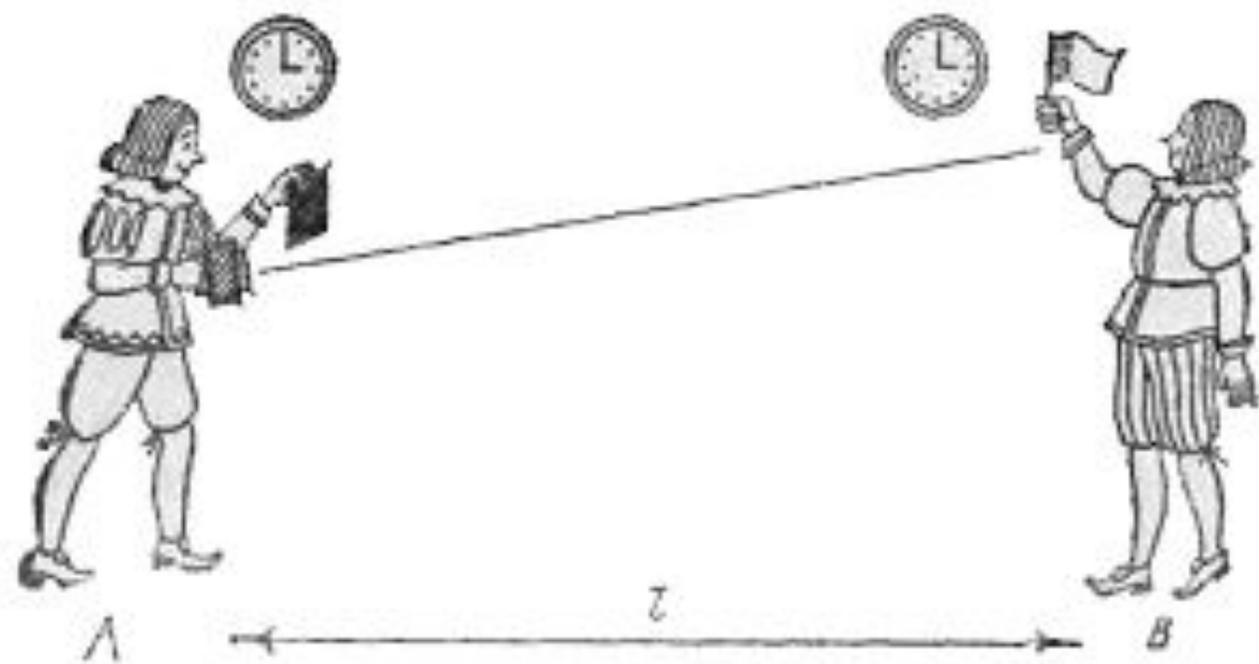
-The Bing Bang Theory

Скорость

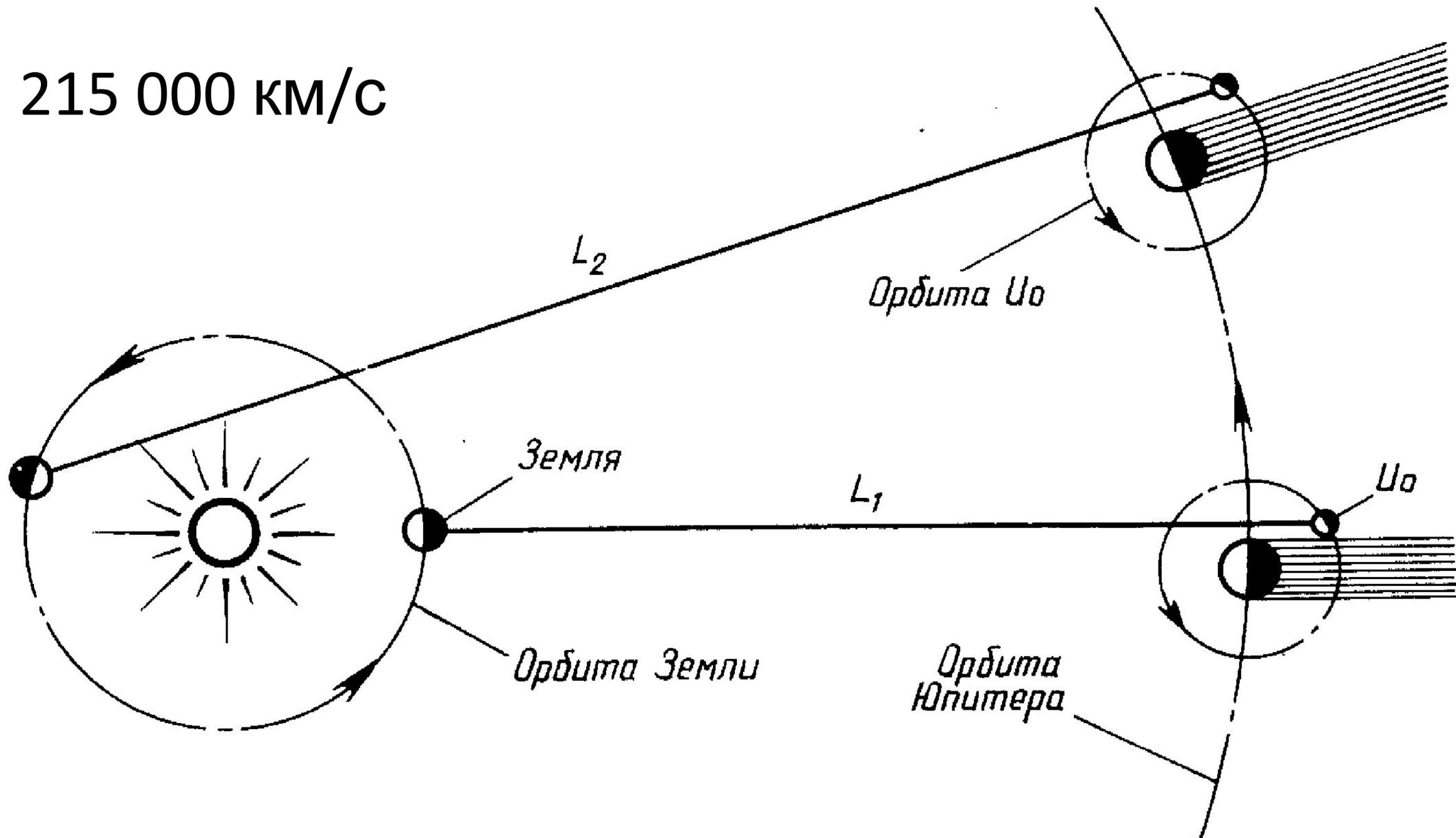
СВЕТА

Понятное дело, что световой сигнал распространяется с какой-то **конечной скоростью**, и учёные много раз делали попытки её измерить

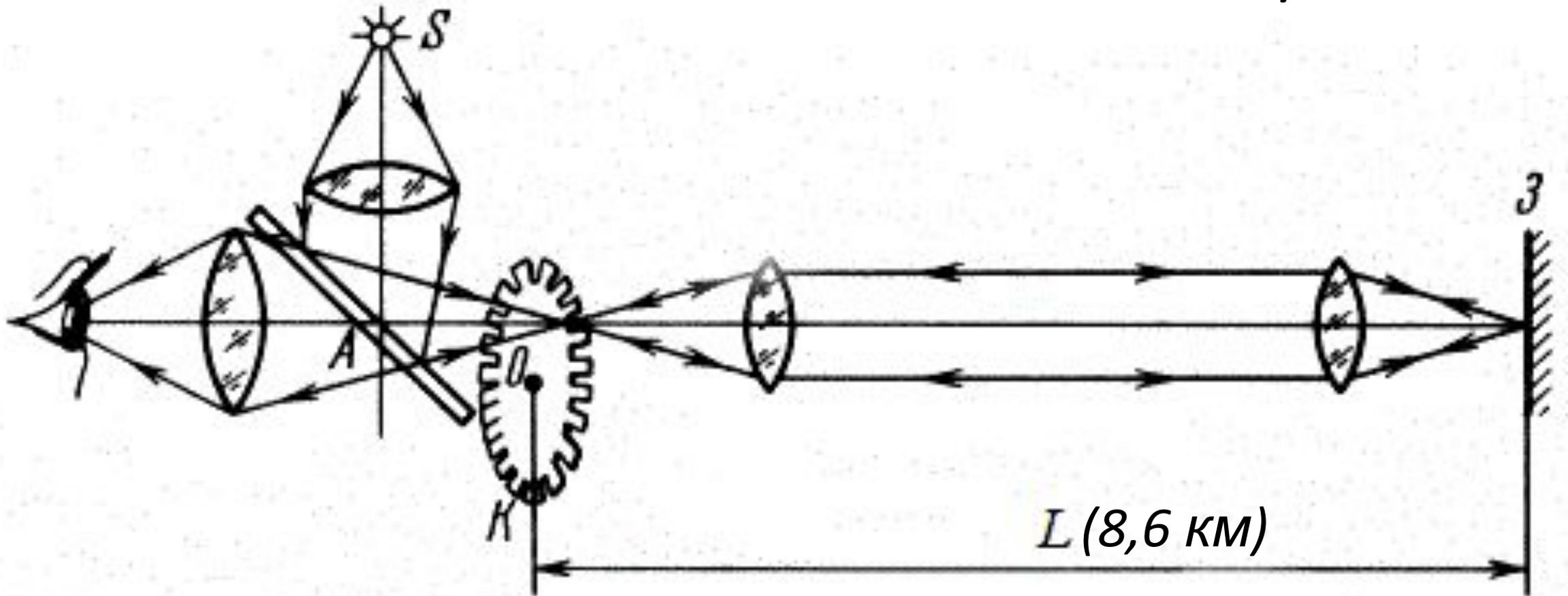
1. “Фонарщики Галилея”, 16-17 век
2. Астрономический метод Рёмера, 1676
3. Лабораторный метод Физо, 1849



215 000 км/с



313 000 км/с

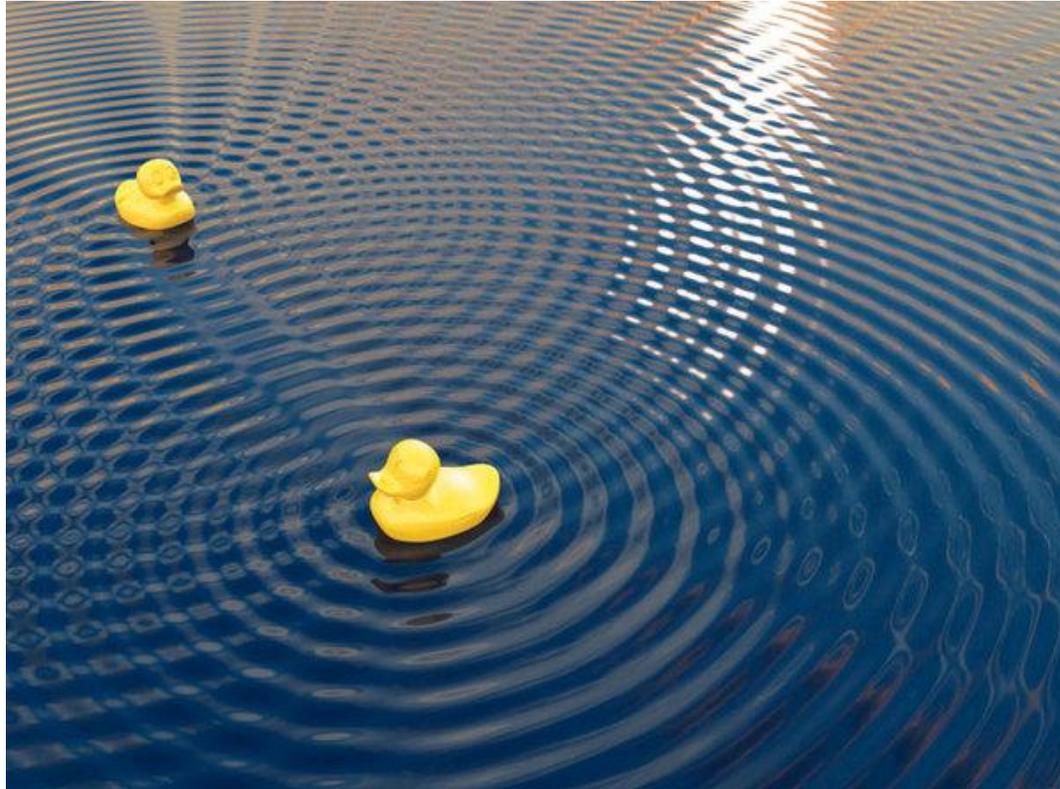


(299 792 458 ± 0,3) m/c

Интерференці



Интерференция механических ВОЛН



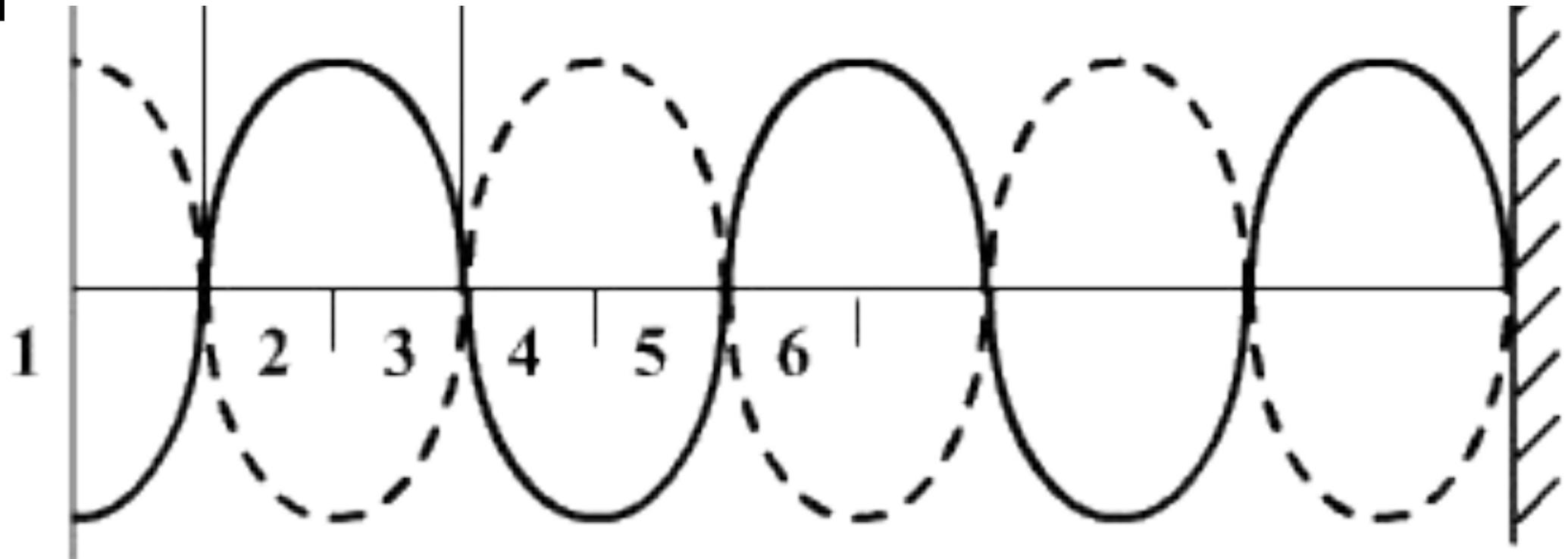
В каждой точке среды колебания, вызванные двумя и более волнами, **складываются**.

Результирующие смещения любой частицы среды представляют собой **сумму смещений**, который происходили бы при распространении **одной волны в отсутствии** другой.

Интерференция механических волн – сложение в пространстве двух (или более) механических волн, при котором образуется *постоянное во времени распределение амплитуды результирующих колебаний* в различных точках пространства

Пример: стоячие

волны



Гармонические колебания

- колебания, происходящие по гармоническому закону (синуса или косинуса)

Уравнение гармонических колебаний:

$$x(t) = A * \cos(\omega * t + \varphi_0),$$

где

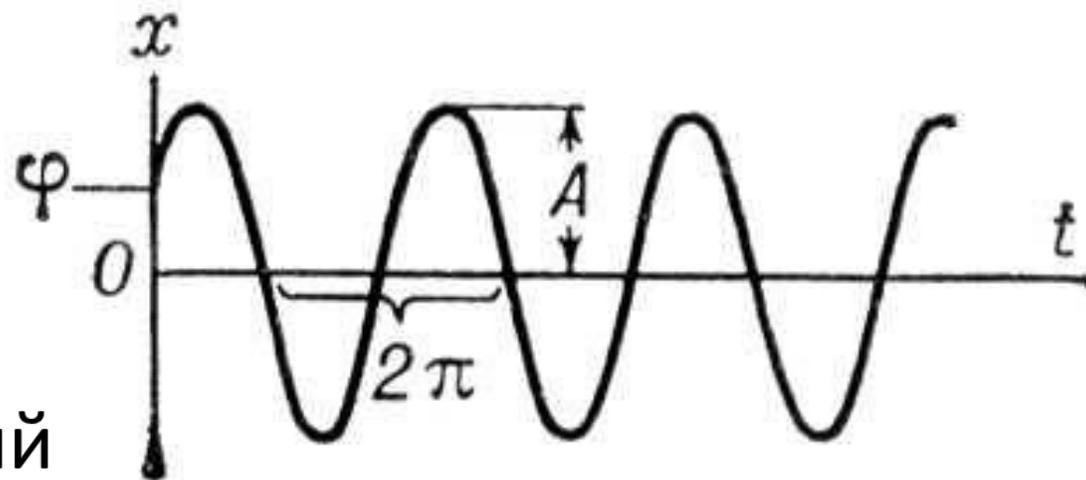
A – амплитуда колебаний

$\omega * t + \varphi_0$ – фаза колебаний

$\omega = \frac{2\pi}{T}$ – угловая частота колебаний

φ_0 – начальная фаза колебаний

T – период колебаний



Гармоническая

волна

гармонические колебания, распространяющееся в пространстве с конечной скоростью

Уравнение бегущей

ВОЛНЫ:

$$X(t) = A * \cos \left(\omega * \left(t \pm \frac{y}{v} \right) + \varphi_0 \right),$$

где

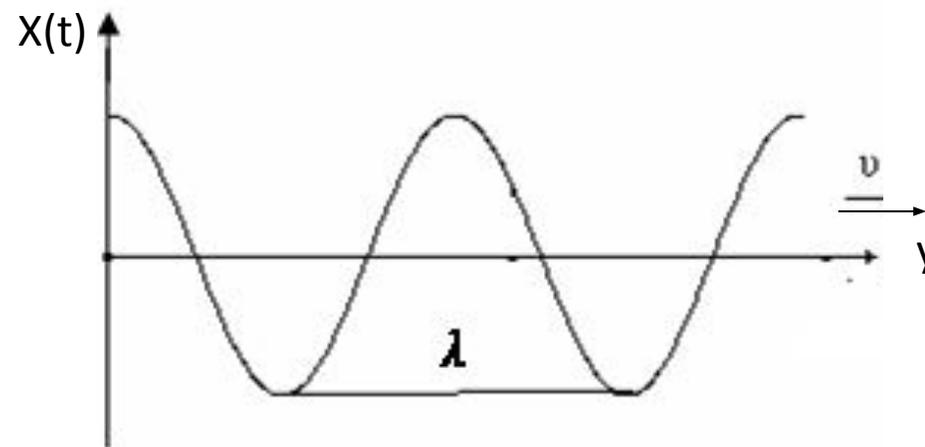
A – амплитуда колебаний

$\omega * \left(t \pm \frac{y}{v} \right) + \varphi_0$ – фаза колебаний

$\omega = \frac{2\pi}{T}$ – угловая частота колебаний

φ_0 – начальная фаза колебаний

T – период колебаний



y – координата волны в пространстве

v – скорость волны

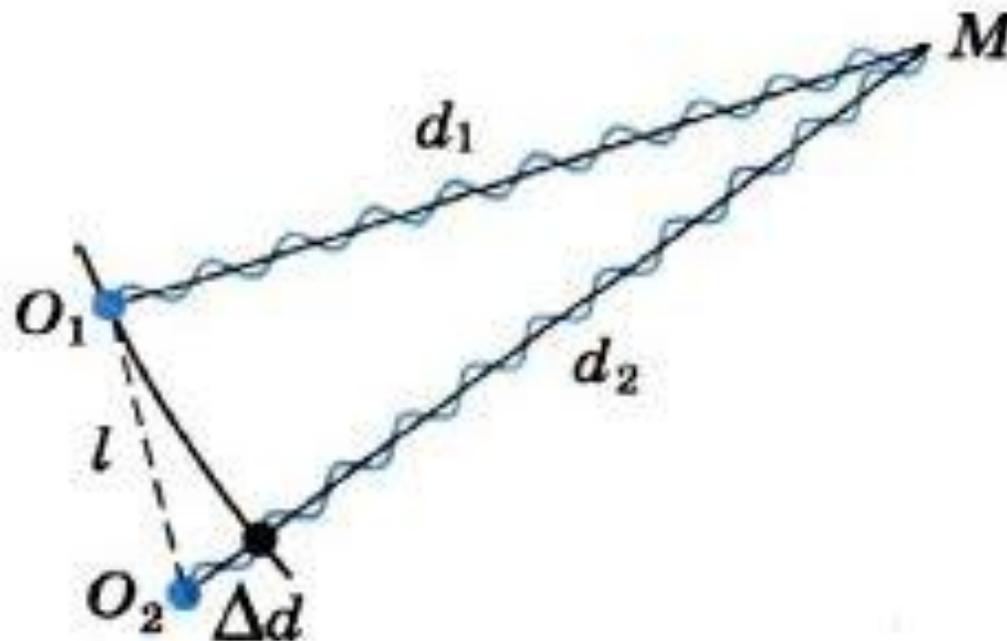
Условия максимумов и

МИНИМУМОВ

Колебания от одного источника будут иметь **одну частоту**

Колебания будут иметь в точке М **одну амплитуду**, если расстояние между источниками много меньше расстояний до точки М

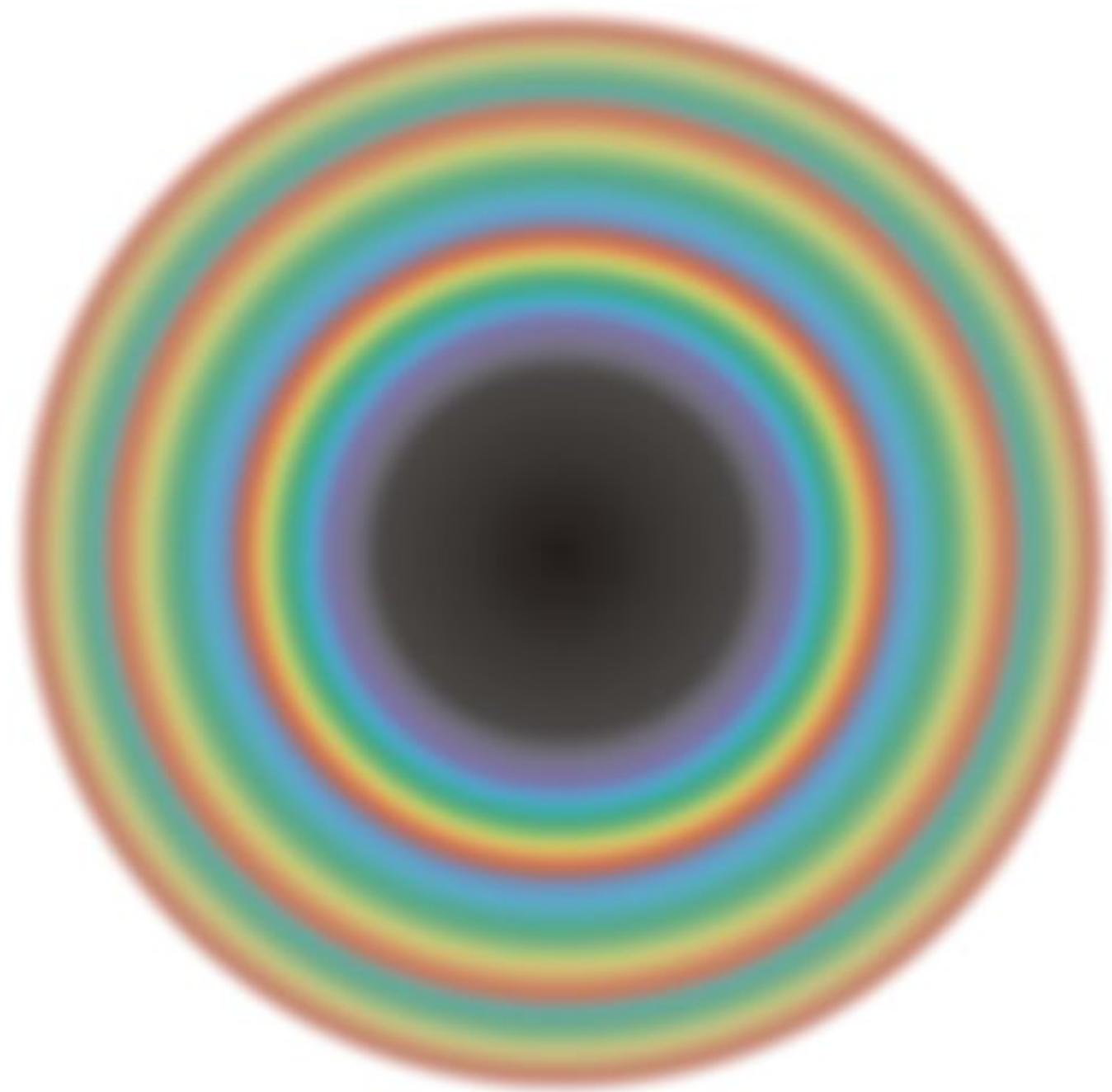
Следовательно, они будут отличаться только фазой (иметь **сдвиг фаз**)



Когерентные волны

Для получения **устойчивой** интерференционной картины необходимо, чтобы источники волн имели **одинаковую частоту** и фазы их колебаний совпадали или отличались на некоторую постоянную (**не зависящую от времени**) величину.

Такие источники называются когерентными. А волны – **когерентными волнами**.



11 февраля 2016 года - открытие гравитационных ВОЛН



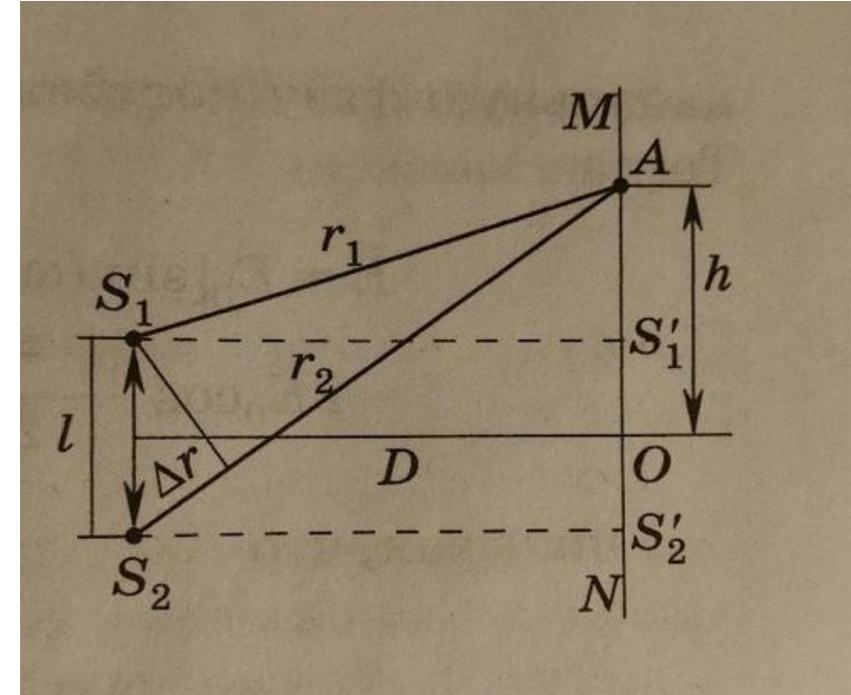
Интерференция

света

1. Источники света S_1 и S_2 **когерентны**

2. Расстояние до точки A экрана MN от источников **много больше** расстояния между ними

3. Свет – электромагнитная волна, в которой колеблется физическая величина, именуемая **напряженностью** электрического поля (E)



Уравнение бегущей световой
волны:

$$E = E_0 \sin\left(\omega * \left(t - \frac{r}{c}\right) + \varphi_0\right)$$

где

E_0 – амплитуда колебаний напряженности

c – скорость света (монохроматической волны)

Тогда в точке А найдем **резльтирующую** напряженность поля:

$$E_A = E_1 + E_2 = E_0 \sin\left(\omega * \left(t - \frac{r_1}{c}\right) + \varphi_{01}\right) + E_0 \sin\left(\omega * \left(t - \frac{r_2}{c}\right) + \varphi_{02}\right)$$

Амплитуды
одинаковые

Частоты
одинаковые

Немного примем на веру:

И введём обозначения:

Тогда:

$$\sin a + \sin b = 2 \sin \frac{a+b}{2} \cos \frac{a-b}{2}$$

$$\varphi_1 = \frac{w * r_1}{c} + \varphi_{01}$$

$$\varphi_2 = \frac{w * r_2}{c} + \varphi_{02}$$

$$\begin{aligned} E_A &= E_1 + E_2 = E_0 \sin\left(w * \left(t - \frac{r_1}{c}\right) + \varphi_{01}\right) + E_0 \sin\left(w * \left(t - \frac{r_2}{c}\right) + \varphi_{02}\right) \\ &= 2E_0 \sin\left(w * t + \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}\right) \cos \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2} \end{aligned}$$

$$E_r = 2E_0 \cos \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2}$$

Однако зрительные ощущения у нас вызывает величина, пропорциональная квадрату напряженности поля – **ИНТЕНСИВНОСТЬ**, амплитуда которой в точке А:

$$I \sim E^2$$

$$I_r = 4I_0 \cos^2 \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2} = 2I_0 (1 + \cos(\varphi_1 - \varphi_2))$$

(т.к. $\cos^2 \frac{a}{2} = \frac{1 + \cos a}{2}$) - опять немного придётся поверить

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{w \cdot (r_2 - r_1)}{c} = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta r \quad \text{если } \varphi_{01} = \varphi_{02}$$

Амплитуда интенсивности света в данной точке будет **максимальной**, если разность хода двух волн, её создающих, равна **целому числу длин волн**

$$\Delta r = k\lambda$$

Амплитуда интенсивности света в данной точке будет **минимальной**, если разность хода двух волн, её создающих, равна **нечётному числу длин полуволн**

$$\Delta r = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$

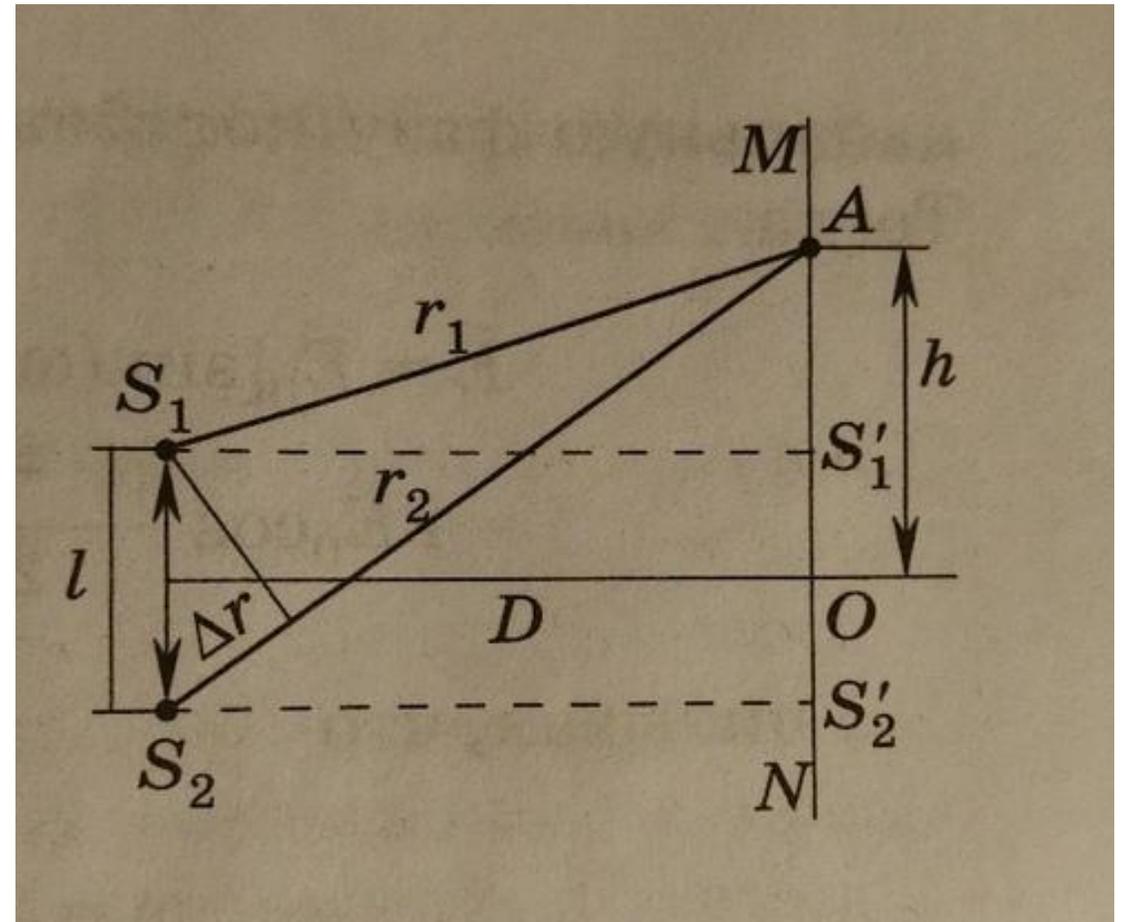
На экране MN образуется чередование минимально и максимально освещенных участков, можно ли найти **распределение** вдоль него?

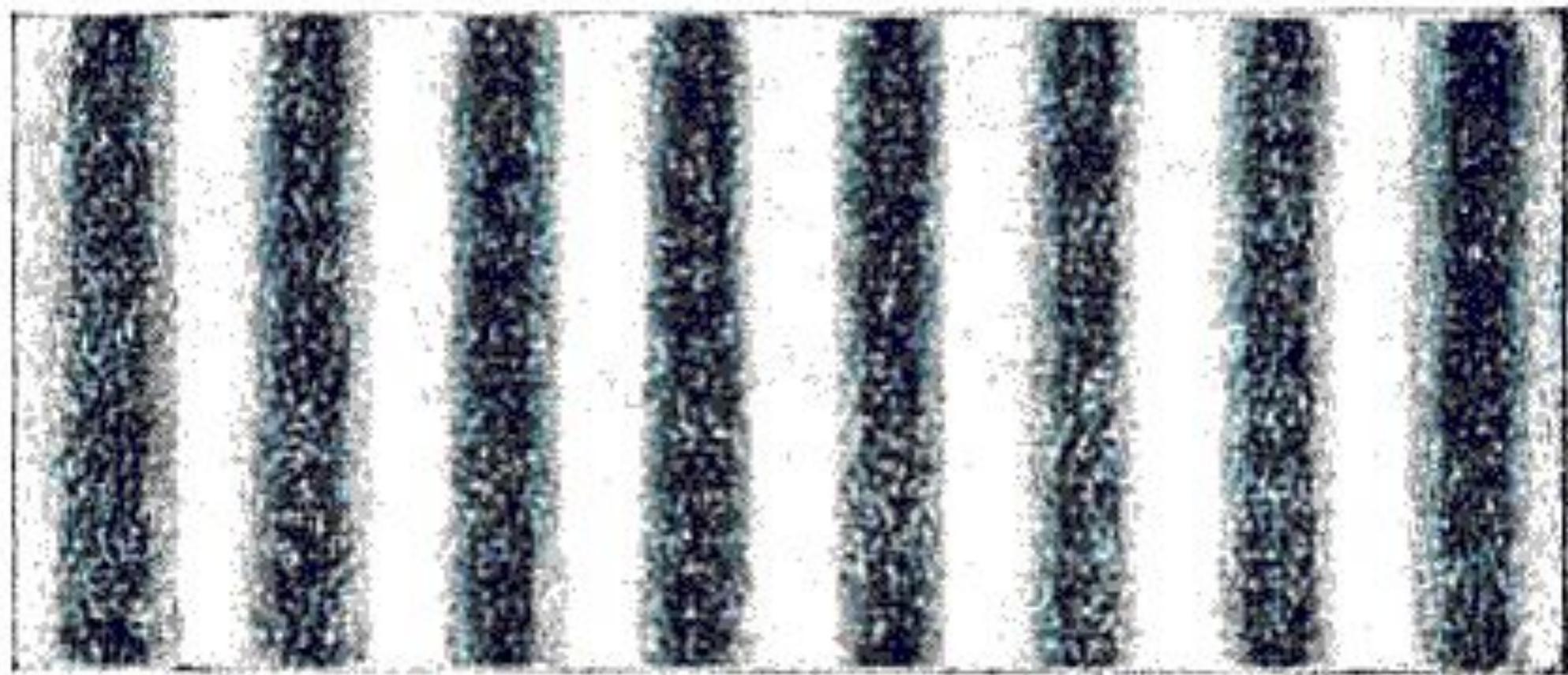
$$r_1^2 = D^2 + \left(h - \frac{l}{2}\right)^2$$

$$r_2^2 = D^2 + \left(h + \frac{l}{2}\right)^2$$

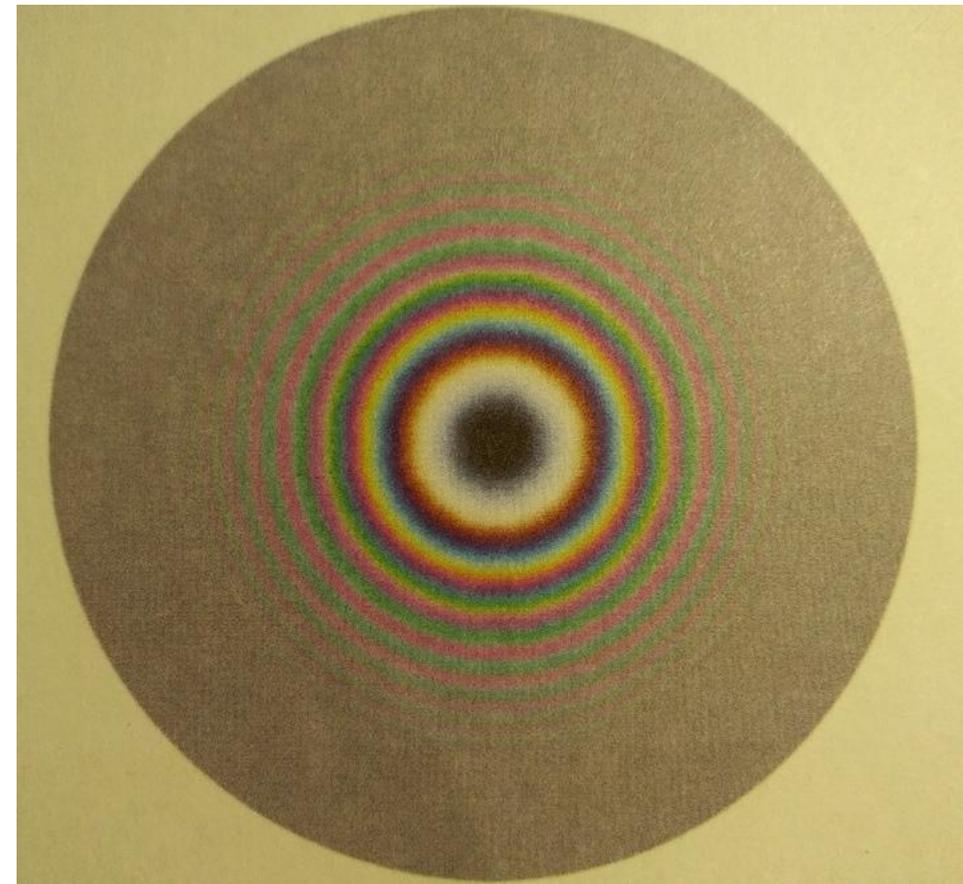
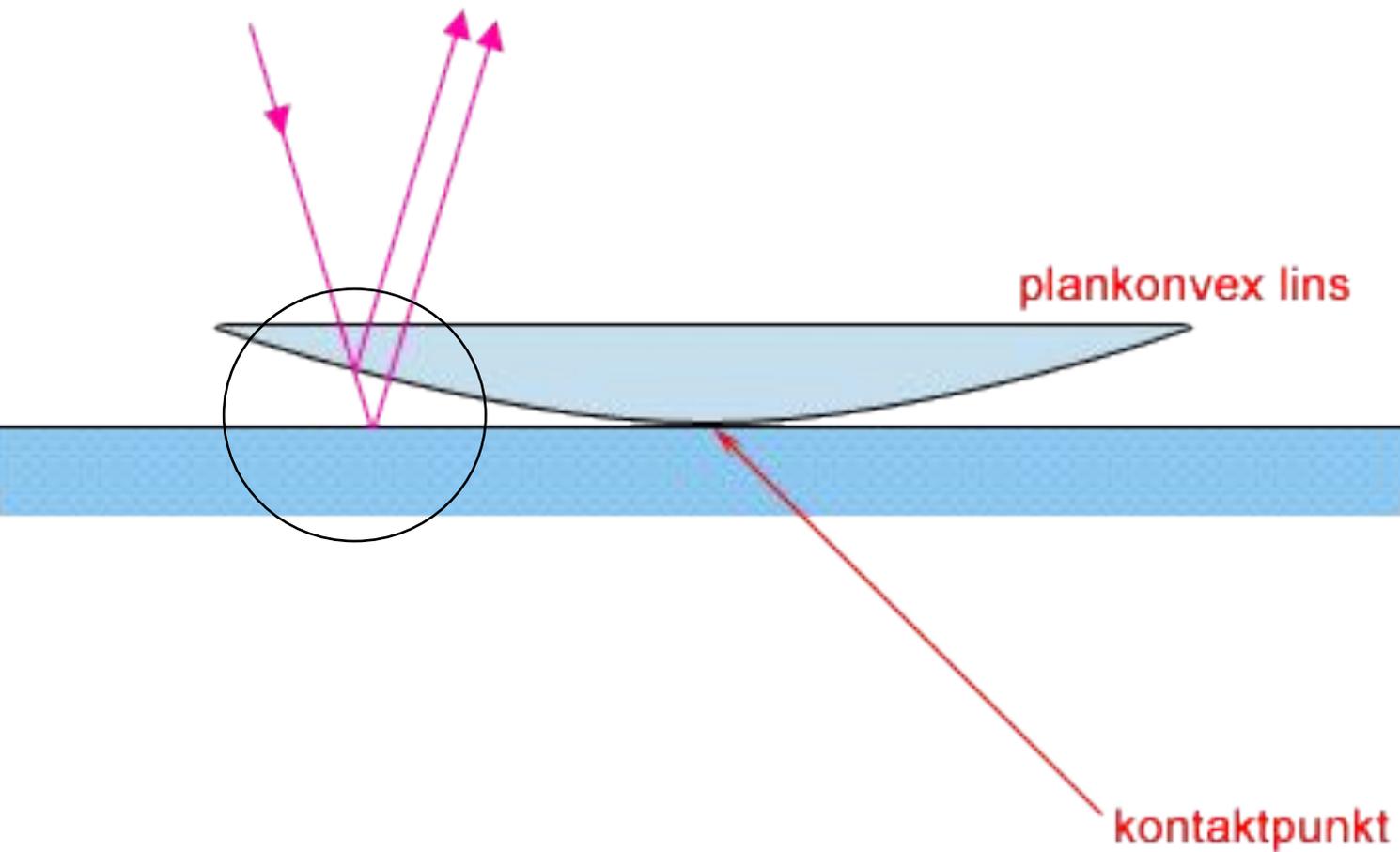
$$r_1^2 - r_2^2 = (r_1 - r_2) * (r_1 + r_2) = 2 * h * l$$

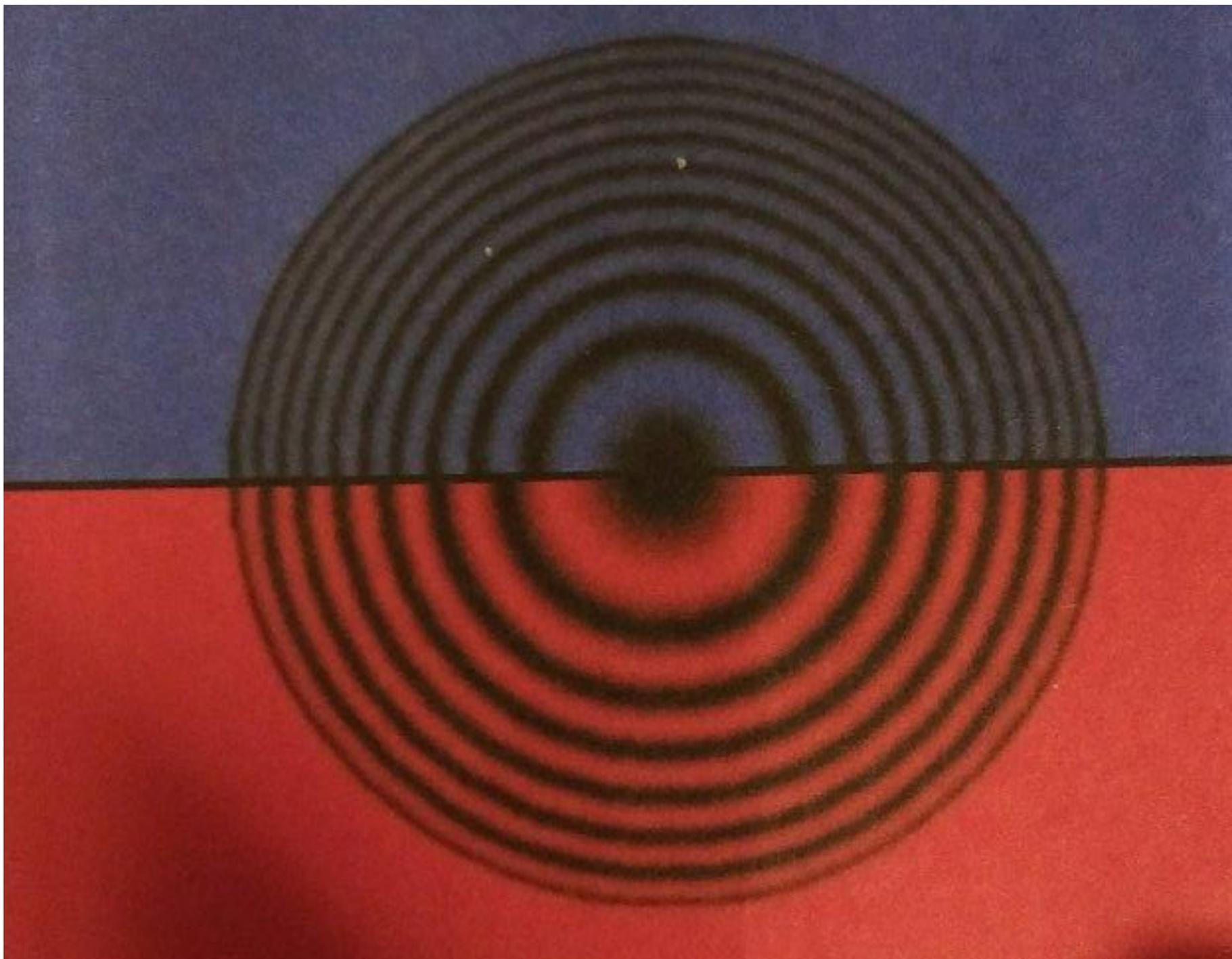
$$\Delta r \approx \frac{hl}{D} = k\lambda$$



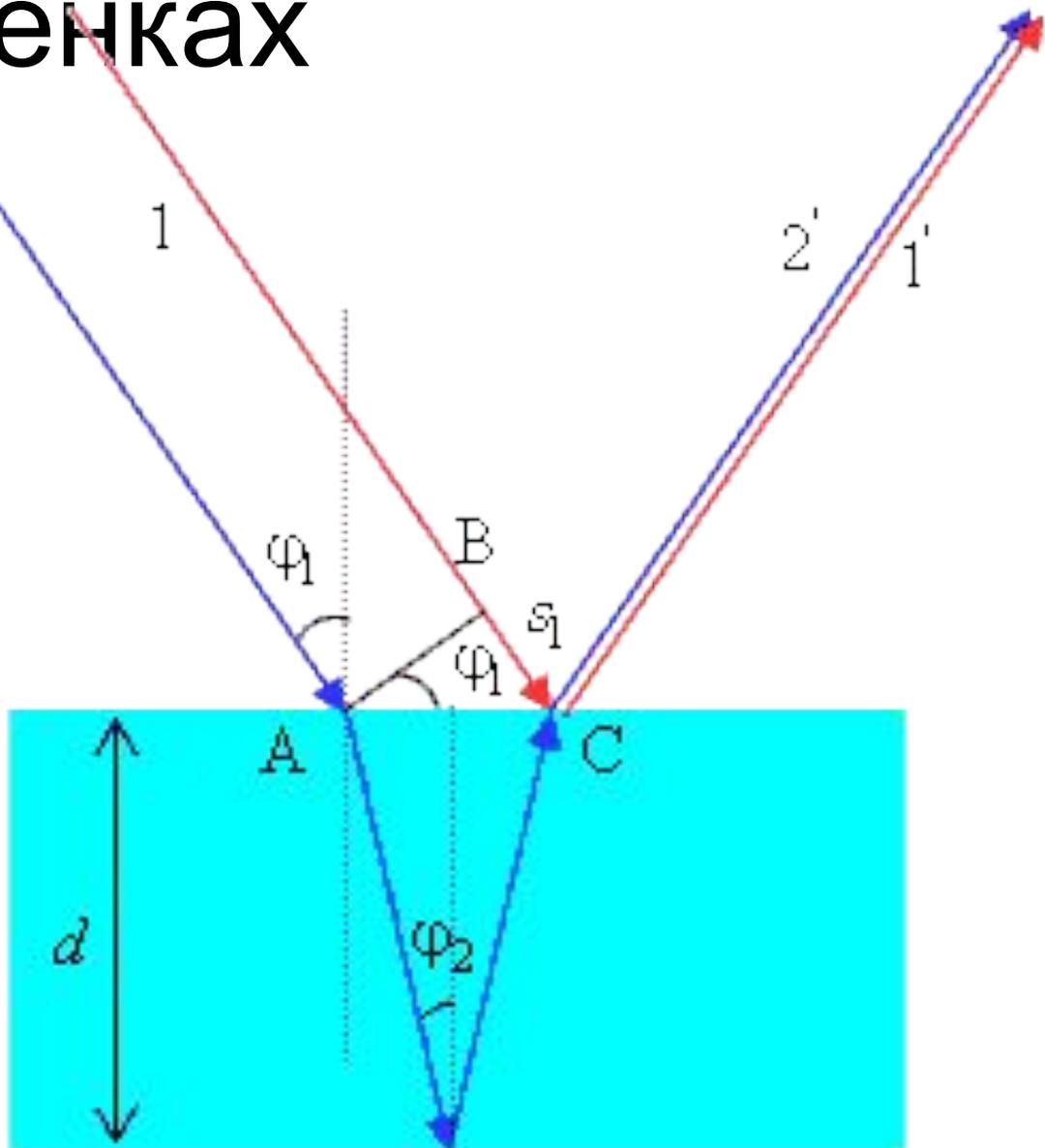


Пример: кольца Ньютона



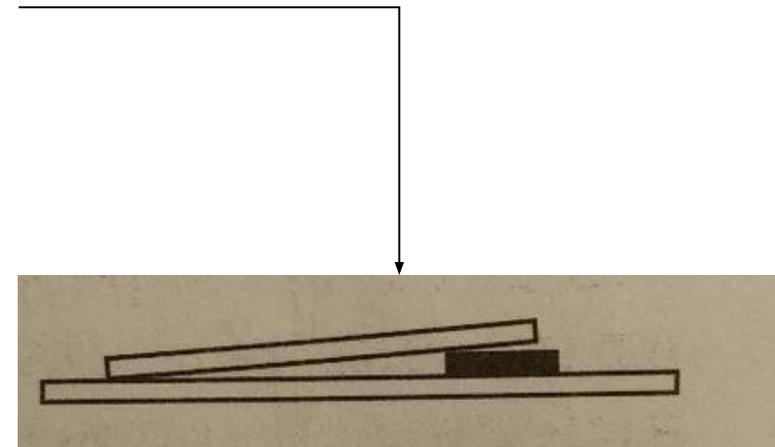


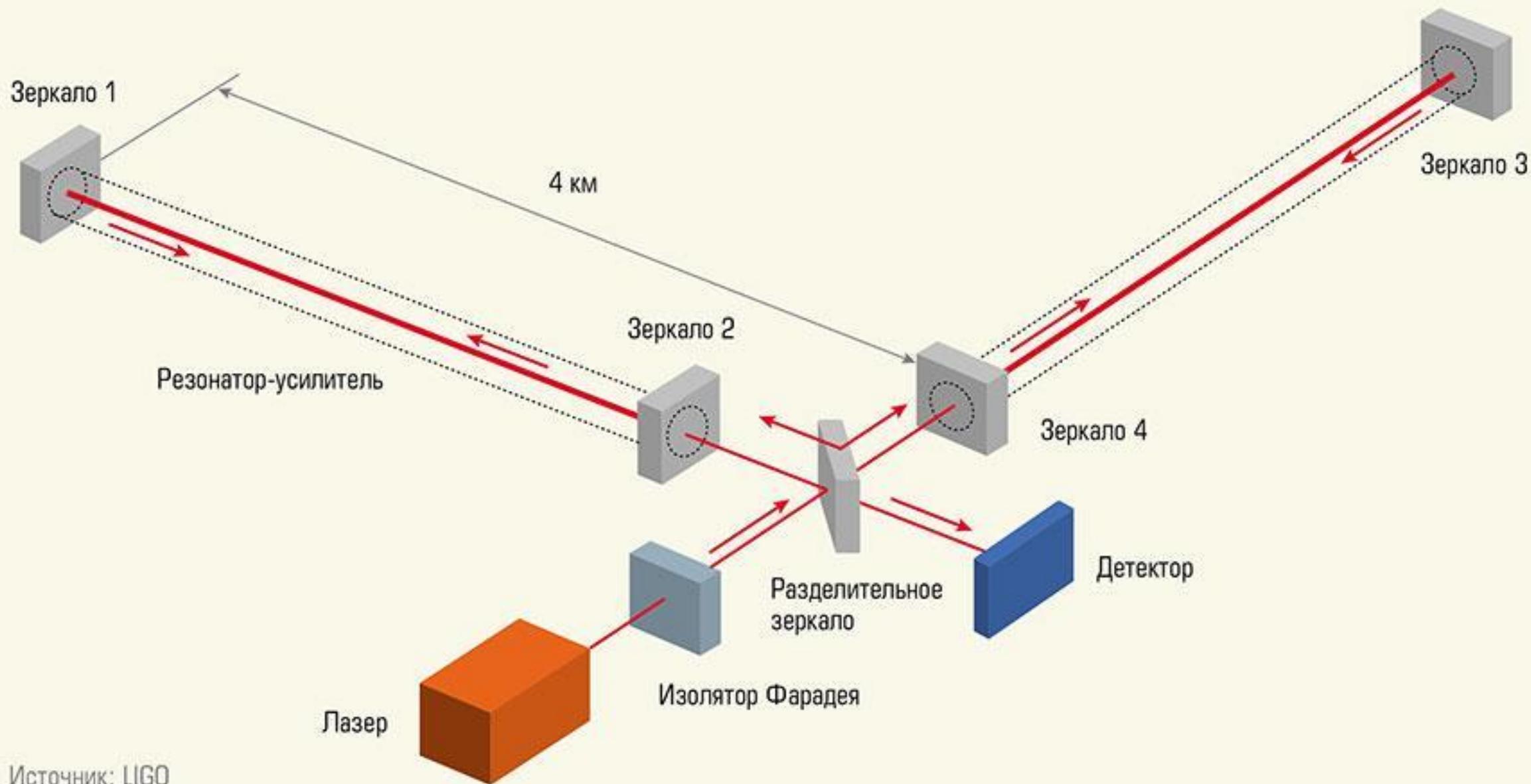
Пример: интерференция в тонких пленках



Применение интерференции

1. Проверка качества обработки поверхностей
(с точностью до 10^{-6} см)
2. Обнаружение гравитационных волн
3. Просветление оптики
4. Радуга!





Дифракция света



**СПАСИБО ЗА
ВНИМАНИЕ**