

# *Интерференция света*

# **ОПТИКА**

```
graph TD; A[ОПТИКА] --> B[волновая]; A --> C[геометрическая]; B --> D[Декарт, Гримальди, Р.Гук, Бартолин, Гюйгенс]; C --> E[Евклид, Архимед, Птолемей, Галилей, Кеплер];
```

The diagram is a hierarchical flowchart. At the top is a box labeled 'ОПТИКА'. Two arrows point down from it to 'волновая' and 'геометрическая'. From 'волновая', an arrow points down to a list of names: Декарт, Гримальди, Р.Гук, Бартолин, Гюйгенс. From 'геометрическая', an arrow points down to a list of names: Евклид, Архимед, Птолемей, Галилей, Кеплер.

**волновая**

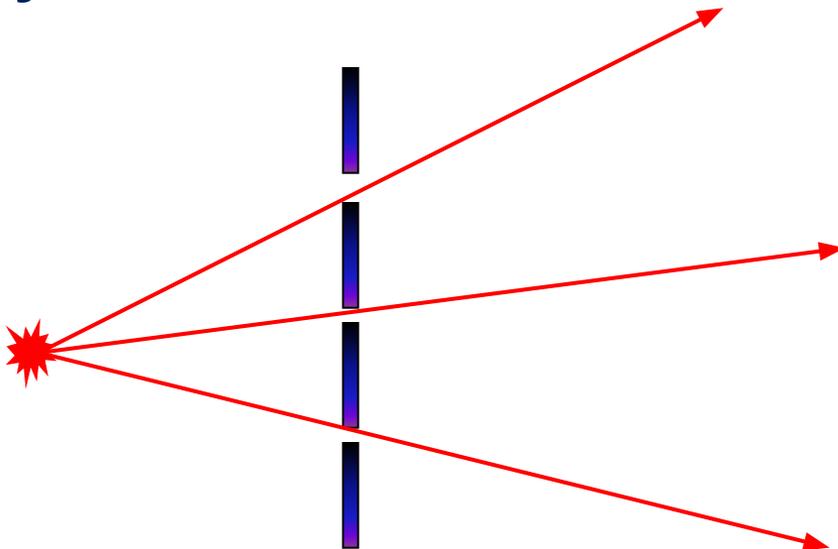
**Декарт, Гримальди,  
Р.Гук, Бартолин,  
Гюйгенс**

**геометрическая**

**Евклид, Архимед,  
Птолемей, Галилей  
Кеплер**

# Закон независимости СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ

Световой поток можно разбить на отдельные световые пучки. Выделяя их при помощи диафрагм. Эффект, производимый отдельным пучком, не зависит от того, действуют ли одновременно другие пучки.



Волны — один из путей переноса энергии в пространстве. Волны обычно распространяются в какой-то среде (например, волны на поверхности озера распространяются в воде), но направление движения самой среды не совпадает с направлением движения волн.

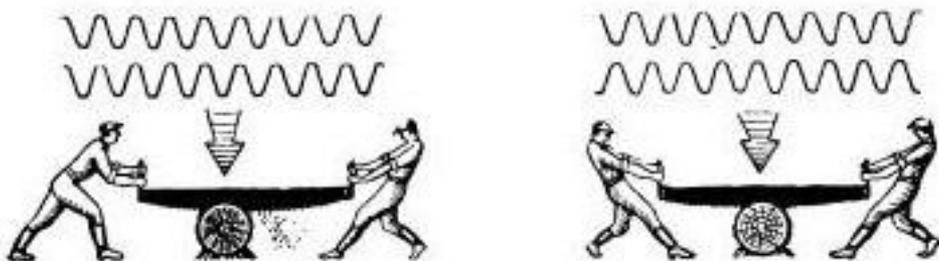
Например, поплавок, покачивающийся на волнах, поднимается и опускается, повторяя движения воды, в то время как волны проходят мимо него.



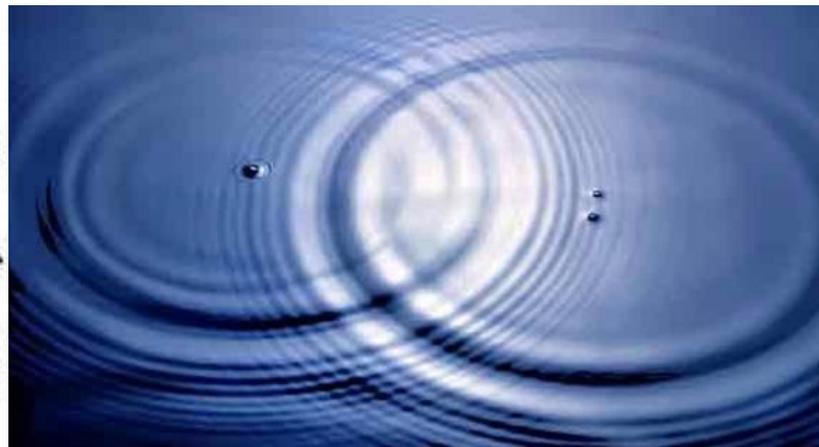
# Принцип суперпозиции для волн:

Амплитуда колебаний, вызванных действием нескольких волн, в любой момент времени равна векторной сумме амплитуд каждой волны в отдельности.

Этот принцип справедлив и для механических (звуковых, на поверхности воды), и для электромагнитных волн.

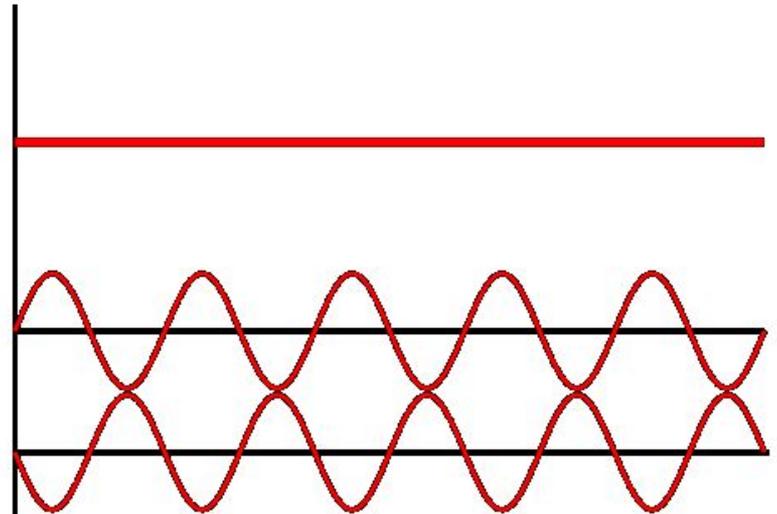
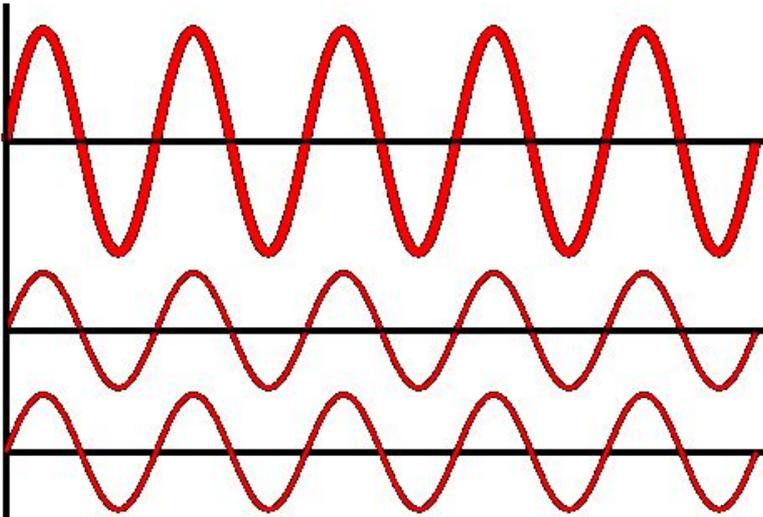


Работа двух пильщиков хорошо иллюстрирует интерференцию. Если оба они воздействуют на пилу «в фазе», работа идет легко. Если же пильщики тянут рукоятки в разные стороны, то их усилия складываются «в противофазе», пила не двигается с места.



# Результат наложения волн

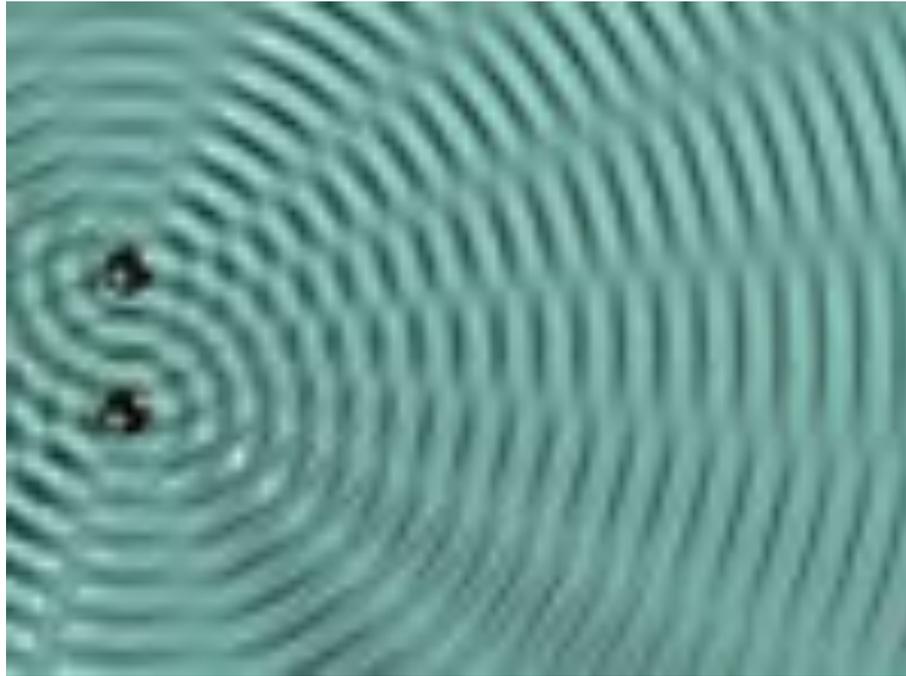
Если встречаются друг с другом два фронта волн с одинаковой фазой, то возникает волновое поле удвоенной интенсивности. Если же, напротив, встречаются друг с другом два фронта волн, положительной и отрицательной, то они гасят взаимно друг друга - излучение бесследно исчезает.



# Определение интерференции

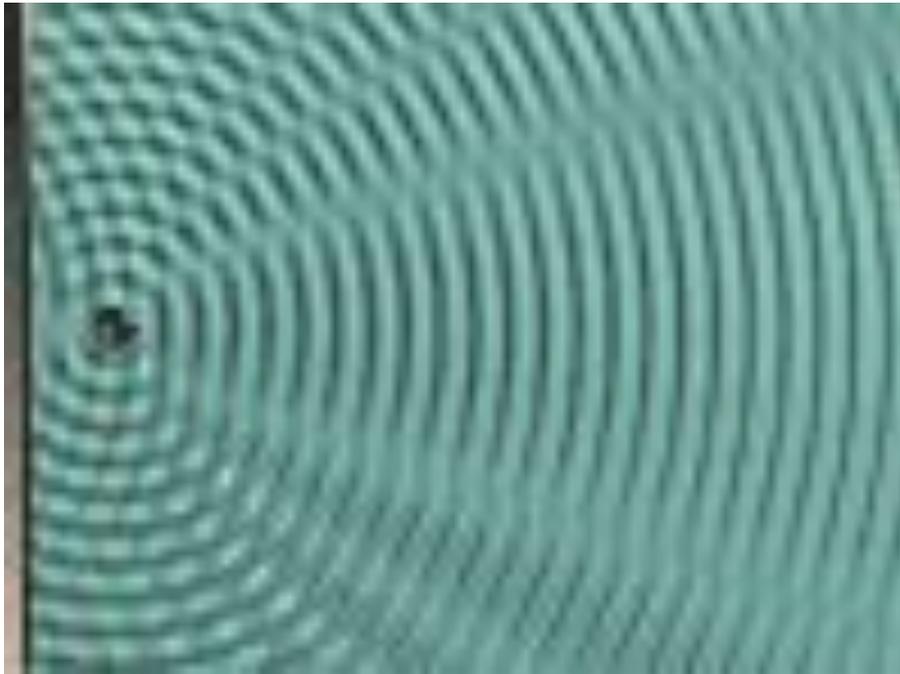
- Явление изменения амплитуды результирующей волны при сложении волн с одинаковыми частотами колебаний называется интерференцией.
- Интерференция – это усиление или ослабление света в результате наложения световых волн.
- Интерференцией называется сложение в пространстве волн, при котором образуется постоянное во времени распределение амплитуд результирующих колебаний.





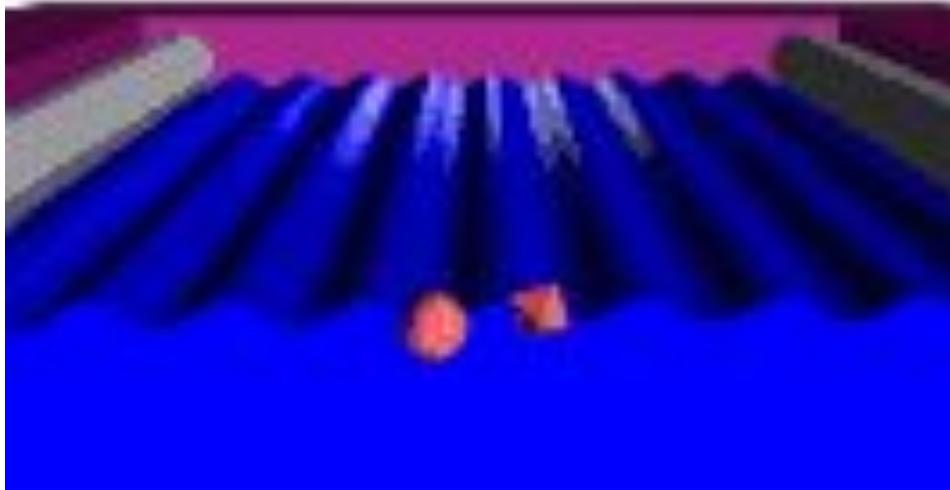
## **Интерференция поверхностных волн от двух точечных ИСТОЧНИКОВ**

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



### Интерференция круговой волны в жидкости с её отражением от стенки

Расстояние от источника до стенки  $r$  кратно целому числу полуволн, исходная круговая волна интерферирует с волной, отражённой от стенки. Согласно пр. Гюйгенса, **отражённая волна совпадает с той, которая бы возбуждалась фиктивным точечным источником, расположенным по другую сторону стенки симметрично реальному источнику**. Т.к.  $r$  кратно целому числу полуволн, то справа от источника на оси соединяющей фиктивный и реальный источник разность фаз будет кратно целому числу волн, и круговая волна накладывается **в фазе с волной**, отражённой от стенки, увеличивая высоту гребней в интерференционной картине

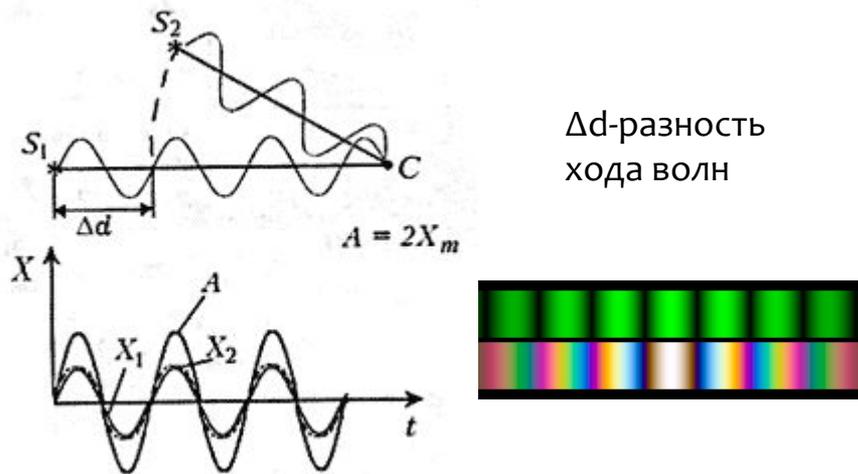


## Интерференция двух волн на поверхности жидкости, возбуждаемых вибрирующими стержнями

Волны распространяются в противоположных направлениях и интерферируют с образованием стоячей волны. Красный шарик расположен в пучности стоячей волны и колеблется с максимальной амплитудой. Параллелепипед расположен в узле интерференционной картины и амплитуда его колебаний равна нулю (он совершает лишь вращательные движения, следуя наклону волны)

# Условия максимума и минимума

Условие максимума:



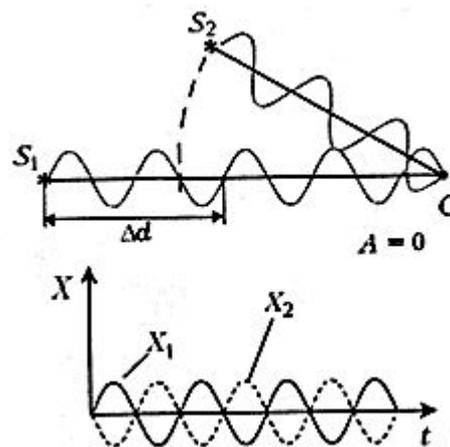
Разность хода волн равна **целому числу** длин волн или **чётному числу** длин полуволен:

$$d_2 - d_1 = 2k \frac{\lambda}{2} = k\lambda$$

$$(k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3...)$$

В рассматриваемой точке С приходят с одинаковыми фазами и усиливают друг друга-амплитуда колебаний точки **максимальна** и равна удвоенной амплитуде.

Условия минимума:



Разность хода равна **нечётному числу** длин полуволен:

$$d_2 - d_1 = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$

$$(k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3...)$$

Волны приходят в точку в противофазе и гасят друг друга. Амплитуда в точке С равна нулю:  $A=0$ .



# Открытие интерференции

Интерференция света наблюдались ещё Ньютоном в 17 в., однако он не смог объяснить её с точки зрения корпускулярной теории. Правильное объяснение интерференции как типично волнового явления было дано Жаном Френелем и Юзом





Томас Юнг

## Физический смысл интерференции:



Х.Гюйгенс

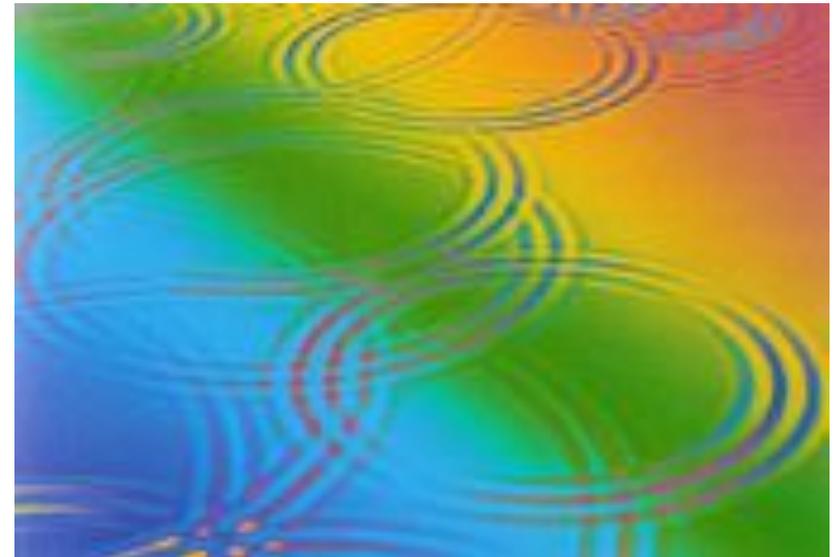
**Почему интерференция**

**является признаком волнового процесса.**

**В 1801 г. Томас Юнг доказал волновую природу света, получив интерференционную картину, и измерив по её результатам**

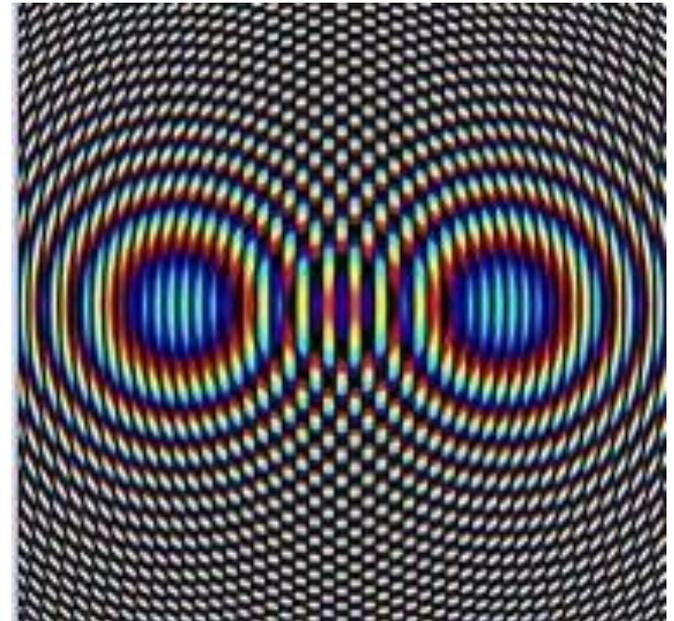
**длину световой волны.**

Концентрические круговые волны с источниками в различных точках на поверхности воды, возникшие в результате падения дождевых капель, в зонах их пересечения дают интерференционную картину. Затемнения соответствуют зонам деструктивной интерференции.



# Волна или поток частиц?

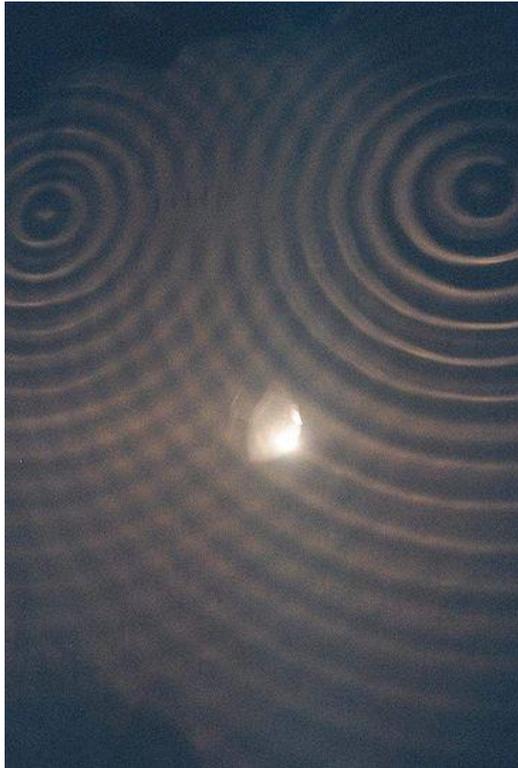
- Эффект интерференционного гашения позволяет нам судить, имеем мы дело с волной или с частицей.
- Именно явление интерференции света окончательно убедило ученых XIX в. в его волновой природе.



**Интерференционная картина представляет собой чередование светлых и тёмных полос.**

**«Кто бы мог подумать, что свет, слагаясь со светом, может вызвать мрак!»**

**Араго**



**Вследствие интерференции происходит перераспределение энергии волны в пространстве. Она концентрируется в точках  $\max$ , а в точки  $\min$ : не поступает совсем.**



Томас Юнг

## Физический смысл интерференции:

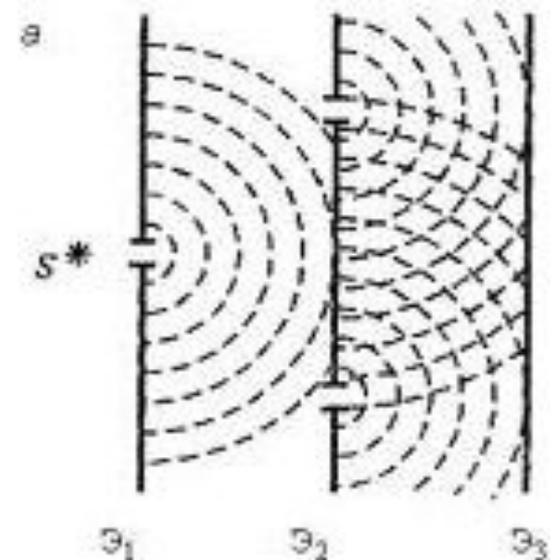
лучи интерференции

является признаком волнового процесса.

В 1801 г. Томас Юнг доказал волновую природу света, получив интерференционную картину, и измерив по её результатам длину световой волны.



Х.Гюйгенс





# Томас Юнг

Томас Юнг был удивительным человеком: он был не только одним из лучших физиков своего времени, но ещё и расшифровывал египетские иероглифы, лечил людей, исследовал механизм зрения, был ловким наездником и даже ... акробатом и канатоходцем! Он играл почти на всех музыкальных инструментах и ещё в юности изучил самостоятельно больше **десяти** языков.

Его **девизом** было:

- «Если это может кто-то, то это смогу и я!»

# Опыт Юнга

- Пучок света направлялся на непрозрачный экран-ширму с двумя параллельными прорезями, позади которого был установлен второй экран. Если бы свет состоял из частиц, на проекционном экране мы увидели бы всего две параллельных полосы света, прошедших через прорези ширмы. А между ними проекционный экран оставался бы практически неосвещенным.

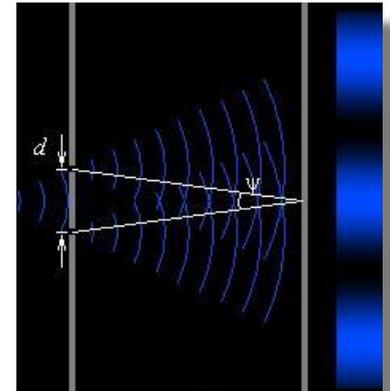
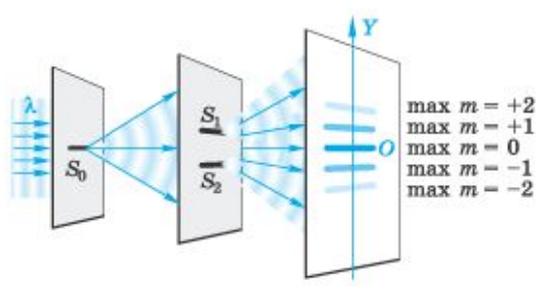
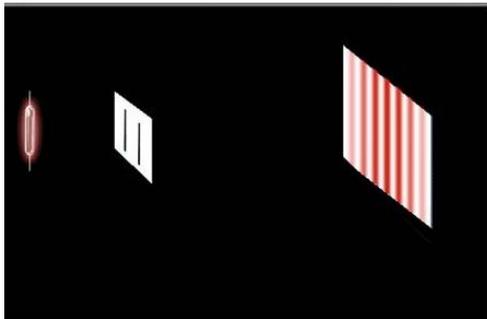


## Опыт Юнга



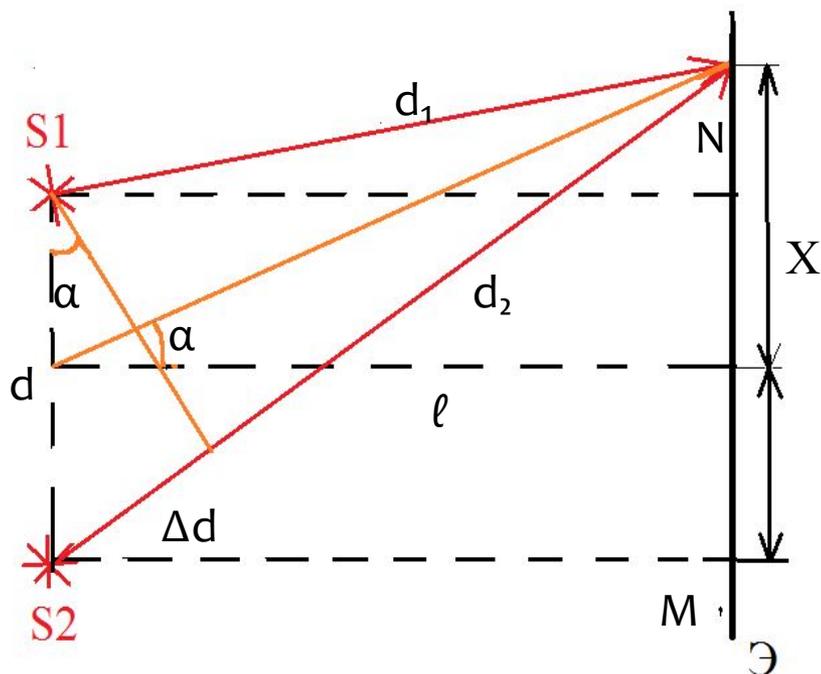
В результате деления фронта волны световые волны, идущие от щелей  $S_1$  и  $S_2$  (шириной около 1 мкм) оказывались когерентными, создавая на экране устойчивую интерференционную картину

*Вследствие интерференции происходит перераспределение энергии в пространстве*



Энергия концентрируется в максимумах за счет того, что в минимумы не поступает совсем!

# Расчёт интерференционной картины в опыте Юнга



Разность хода можно выразить через тригонометрические соотношения

$$\Delta d = d \cdot \sin \alpha = d \cdot \frac{x}{\ell}$$

$$\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha \approx \frac{x}{\ell}$$

$$\Delta d = k \cdot \lambda$$

$$x = \frac{\lambda \cdot \ell}{d}$$

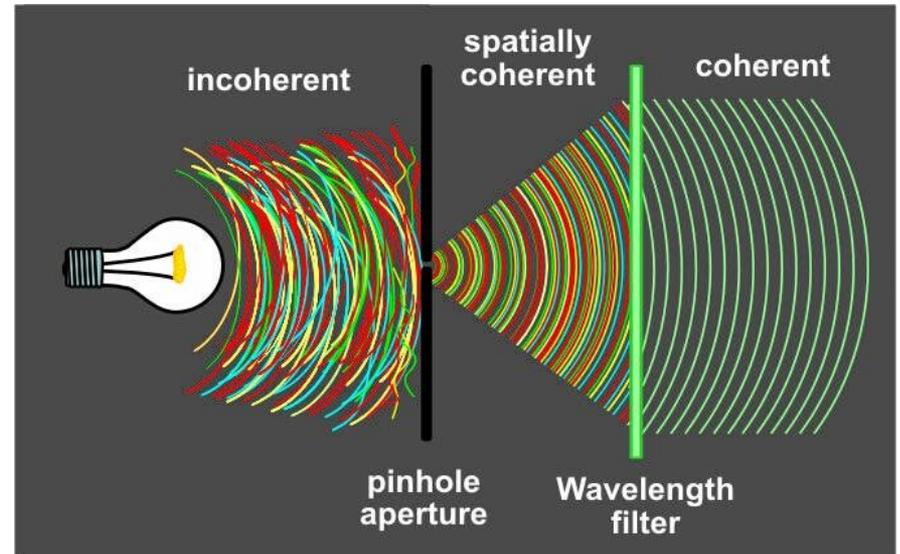
$$\lambda = d \cdot \frac{x}{\ell} \rightarrow$$

$$x = \frac{\lambda \cdot \ell}{d}$$

Расстояние между интерференционными полосами зависит от длины волны  $\lambda$ , расстояния от мнимых источников до экрана  $\ell$  и расстояния между источниками  $d$

# Необходимые условия наблюдения интерференции:

1. Когерентными называются волны с одинаковой частотой, поляризацией и постоянной во времени разностью фаз.
2. Монохроматичным называется излучение постоянно частоты и амплитуды.



## Условие максимума:

Интерференционные максимумы наблюдаются в тех точках пространства, в которые волны приходят с одинаковой фазой колебаний:

$$\Delta\phi = 0; \pm 2\pi; \pm 2\pi n.$$

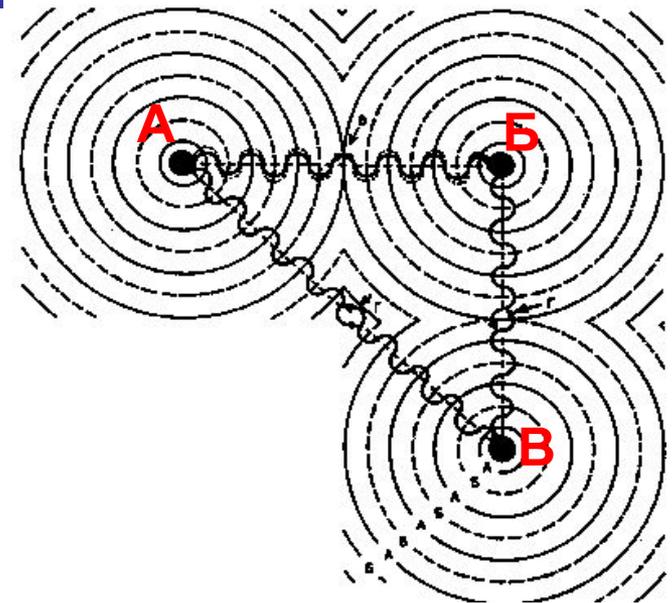
Условие **max**: амплитуда колебаний среды в данной точке максимальна, если разность хода двух волн, возбуждающих колебания в этой точке, равна целому

числу длин волн:  $\Delta = k \lambda$

$\Delta$  - разность хода;

$\lambda$  - длина волны

$k = 1, 2, 3, \dots$

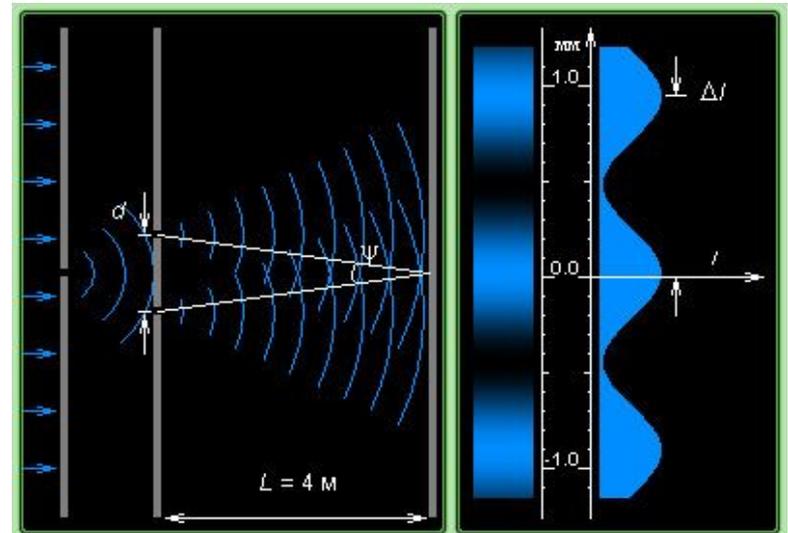
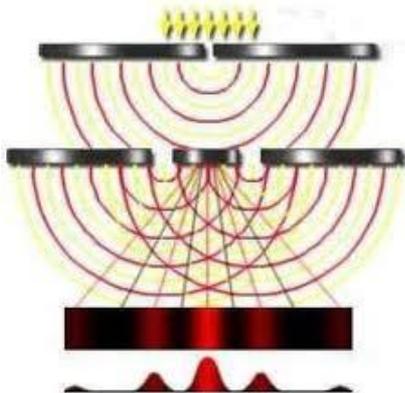


# Условие минимума:

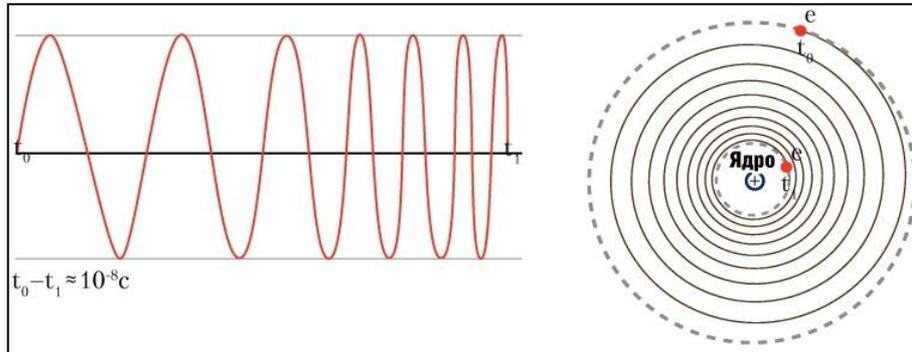
Амплитуда колебаний равна нулю в тех точках пространства, в которых волны с одинаковой амплитудой приходят в противоположных фазах, т.е. со сдвигом фаз на  $\pm\pi n$ :  $\Delta\phi = \pm\pi; \pm3\pi; \dots \pm\pi n$ .

**Условие min:** Амплитуда колебаний минимальна, если разность хода двух волн, возбуждающих колебания в этой точке, равна нечётному числу половолн.

$$\Delta = (2k + 1) \lambda / 2$$



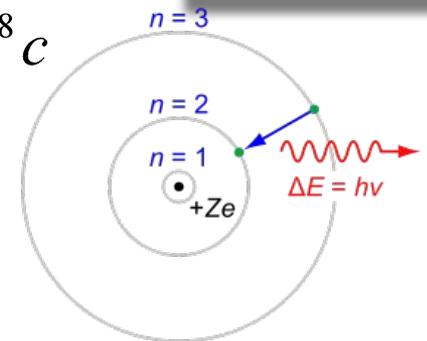
Два независимых источника **естественного** света не являются когерентными!



$$l = cT$$

$$l = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{М}}{\text{с}} \cdot 10^{-8} \text{ с}$$

$$l = 3 \text{ м}$$



**Атомы источников излучают свет *независимо* друг от друга отдельными обрывками (цугами) синусоидальных волн, которые не согласованы друг с другом!**

Традиционными **современными** источниками когерентного излучения являются **лазеры!**





*...Надо свет от одного источника разделить на два пучка и, заставив их пройти различные пути, свести вместе...*

Огюстен Френель

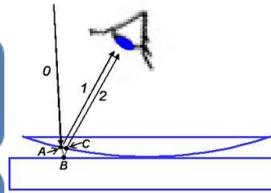
1

**идея  
Френеля**

Зеркала

Призмы и  
линзы

Экраны и  
щели



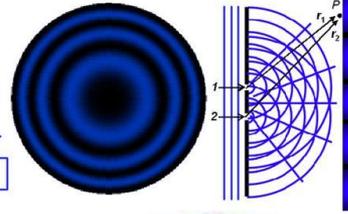
2

**идея  
Юнга**

Тонкие  
пленки

Кольца  
Ньютона

Клин



*...Когерентные волны от одного источника возникают при отражении света от передней и задней поверхностей тонких пленок...*

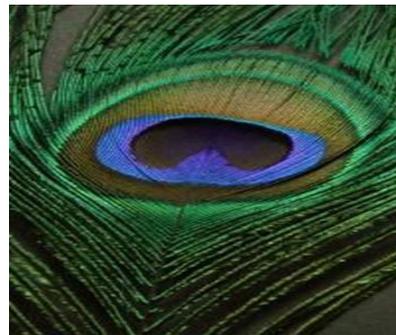
Томас



Юнг

# Способы получения и наблюдения интерференции света

- 1) **разделение волны по фронту** (опыт Юнга, бипризма Френеля, зеркала Ллойда);
- 2) **разделение волны по амплитуде** (по ходу волны)-интерференция в тонких плёнках (мыльные пузыри, бензиново-масляные плёнки, крылья насекомых, клин, кольца Ньютона).



# Наблюдение и применение интерференции

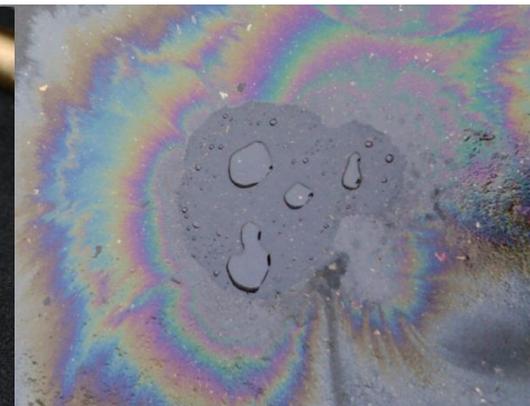
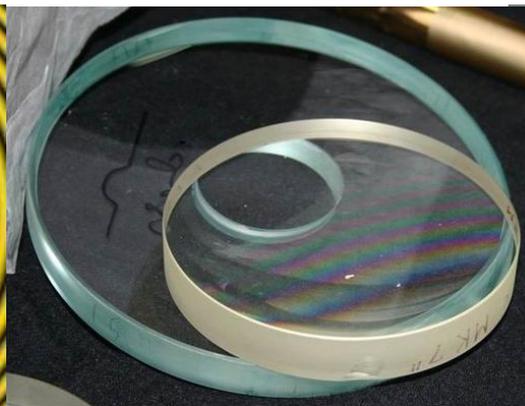
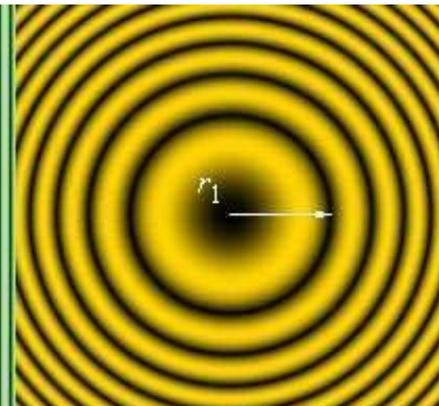
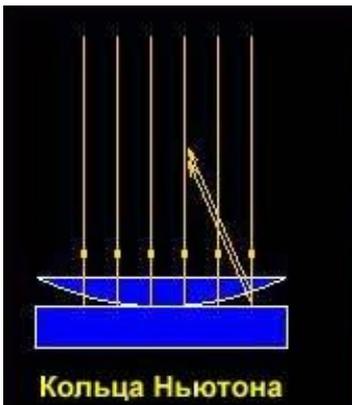
1 «Мыльный пузырь пожалуй, самое изысканное



преломления газов.

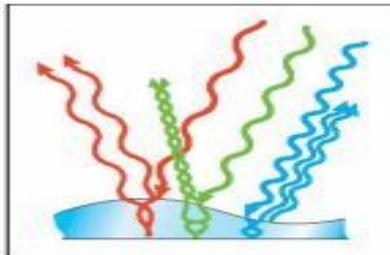
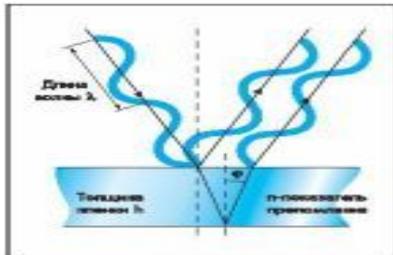
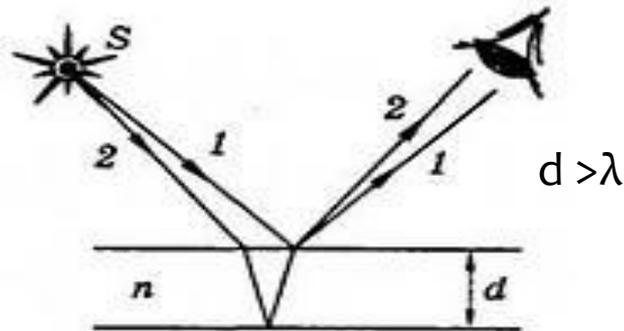
5. Просветление оптики (за счёт уменьшения доли отражённого света,  $n$  плёнки  $< n$  стекла, толщина плёнки  $h = \lambda / 4n$ )

6. В промышленности (проверка



# Интерференция в тонких плёнках

- **Причина:** отражение от внешней поверхности плёнки, а другая – от внутренней.
- **Тонкая плёнка** – мыльные пузыри, бензиново-масляная плёнка на поверхности воды, крылья насекомых и т.д.



Различные цвета тонких пленок — результат интерференции двух волн, отражающихся от нижней и верхней поверхностей пленки.



# Интерференция света

*...Когерентные волны от одного источника возникают при отражении света от передней и задней поверхностей тонких пленок (масляные пленки и пленки жира на воде, крылья насекомых, мыльные пузыри)...*

Томас Юнг

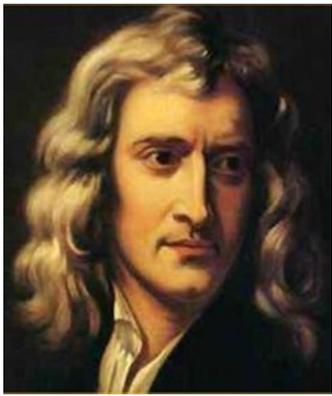


Сияя гладкой пленкой,  
Растягиваясь вширь,  
Выходит нежный, тонкий,  
Раскрашенный пузырь.

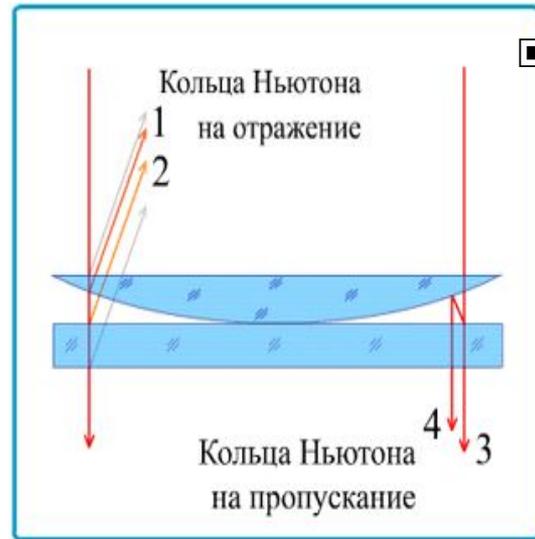
Горит, как хвост павлиний.  
Каких цветов в нем нет!  
Лиловый, красный, синий,  
Зеленый, желтый цвет.



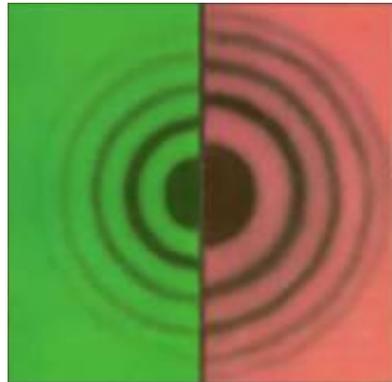
Самуил Маршак



# Кольца «Ньютона»



Интерференционные полосы равной толщины в форме колец, расположенных concentрически вокруг точки касания двух сферических поверхностей, либо плоскости и сферы. Впервые описаны в 1675 г. И. Ньютоном. Интерференция происходит в тонком зазоре (обычно воздушном), разделяющим соприкасающиеся поверхности; этот зазор играет роль тонкой плёнки.



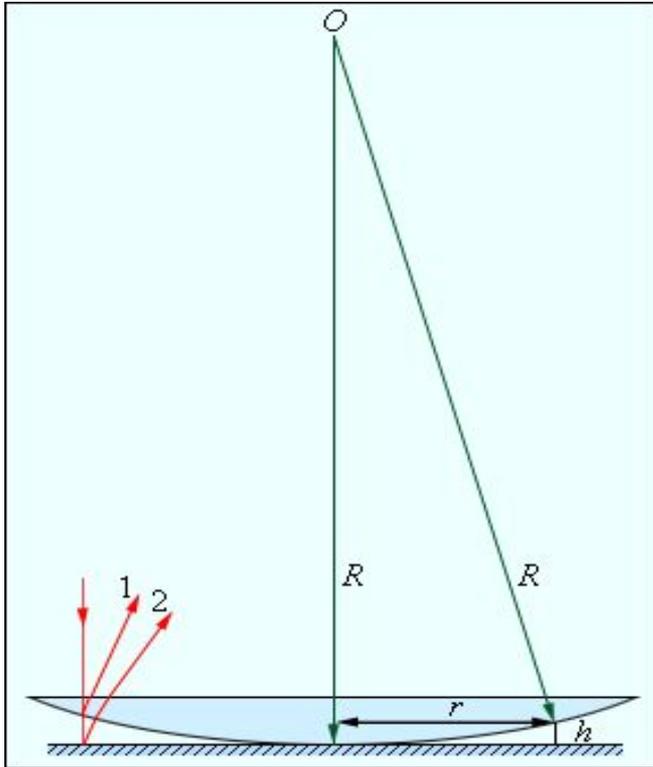
Радиусы колец увеличиваются при переходе от фиолетового конца спектра к красному.



Опыт

Ньютона

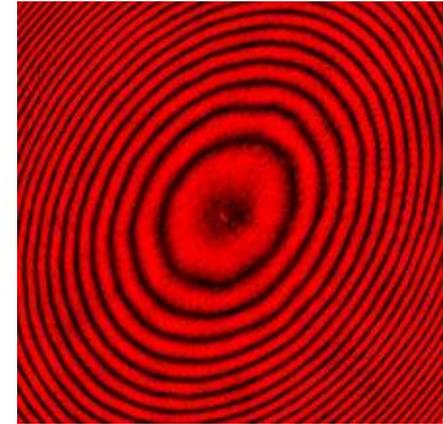
# Кольца Ньютона



**Кольца Ньютона** - интерференционная картина, возникающая при отражении света в тонкой воздушной прослойке между плоской стеклянной пластиной и плосковыпуклой линзой большого радиуса кривизны

$$x = \frac{\lambda \cdot r}{d}$$

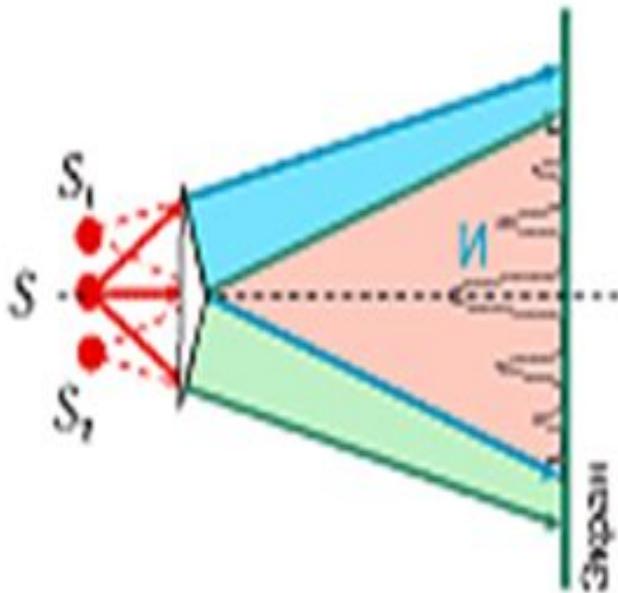
$r$  - радиус кольца,  
 $R$  - радиус кривизны выпуклой поверхности линзы.



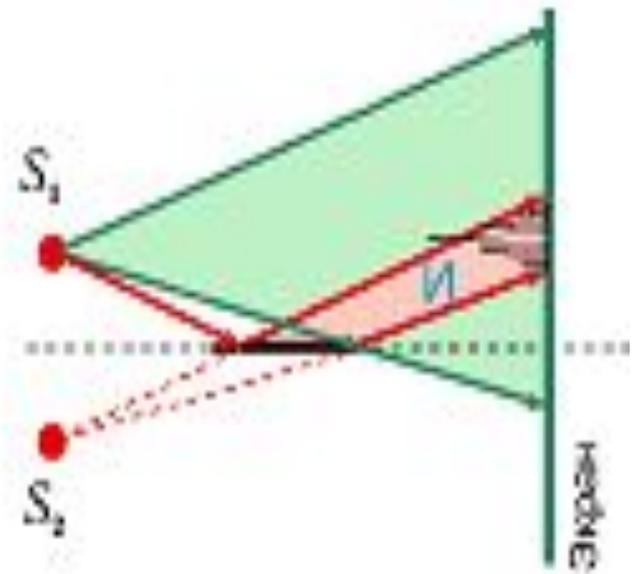
Интерференционная картина имеет вид концентрических колец, получивших название **колец Ньютона**

# Способы получения когерентных волн

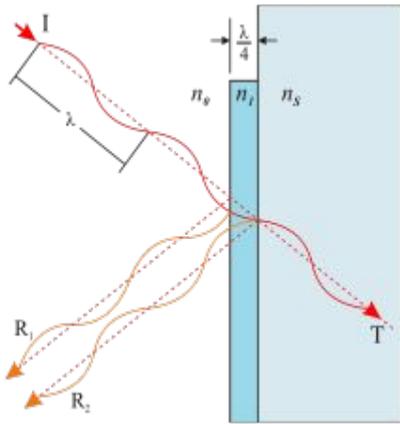
Бипризма Френеля



Зеркало Ллойда



# «Просветление» ОПТИКИ



Уменьшение отражения света поверхности в результате нанесения на неё специальной плёнки.

Условие минимума интерференции для падающего и отражённого лучей:

(формула 1)

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

где  $d$  - толщина плёнки,  $n$  - показатель преломления вещества плёнки. Из этого выражения получается:

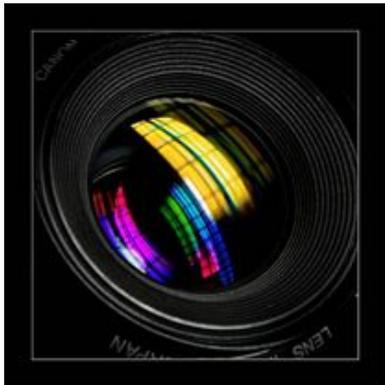
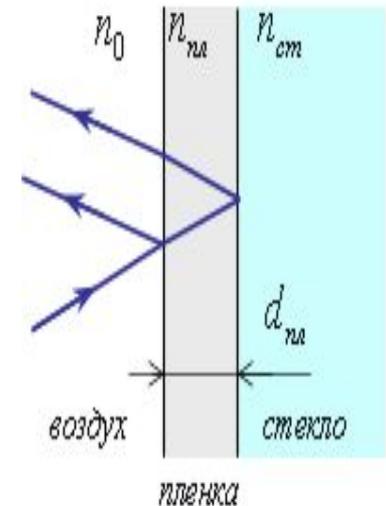
(формула 2)

$$d = \frac{\lambda}{4n}$$

Кстати, для максимального эффекта, показатель преломления плёнки должен быть равен:

(формула 3)

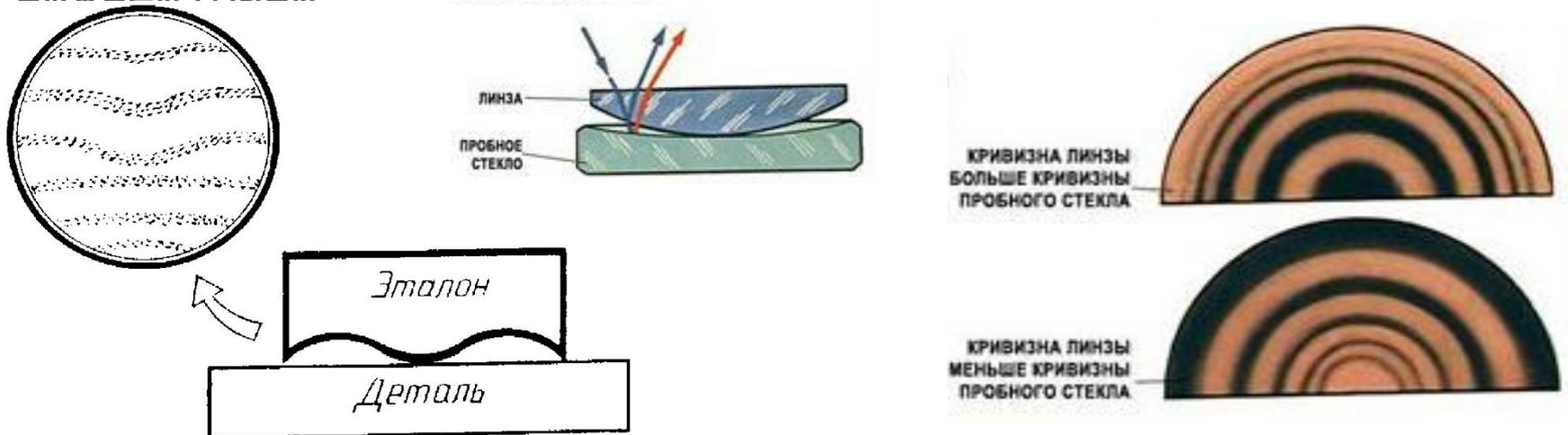
$$n = \sqrt{n_{ст}}$$



Почему линза, покрытая просветляющей плёнкой, кажется фиолетовой при рассмотрении её в отражённом свете?

# Применение интерференции

**Проверка качества обработки поверхностей.** С помощью интерференции можно оценить качество обработки поверхности изделия с точностью до  $1/10$  длины волны, т. е. с точностью до  $10^{-6}$  см. Для этого нужно создать тонкую клиновидную прослойку воздуха между поверхностью образца и очень гладкой эталонной пластиной. Тогда неровности поверхности размером до  $10^{-6}$  см вызовут заметные искривления интерференционных полос, образующихся при отражении света от проверяемой поверхности и нижней грани



# Запомни!

Разность хода волны зависит от среды:

$$\Delta = L n$$

L - расстояние, которое проходит волна

n - показатель преломления среды

$\Delta$  - разность хода

