

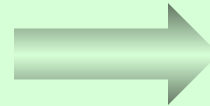
# Оптика

# Оптика

• Природа света



• Скорость света



• Геометрическая оптика

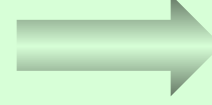
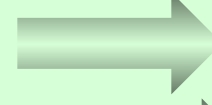
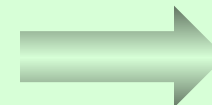
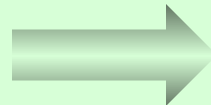
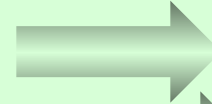


• Волновая оптика



# Геометрическая оптика

- **Распространение света**
- **Образование тени и полутени**
- **Принцип Гюйгенса**
  - **Отражение света**
  - **Преломление света**
  - **Полное внутреннее отражение**
- **Линзы**
  - **Основные элементы линзы**
  - **Построение в линзе**
- **Формула тонкой линзы**

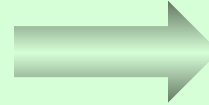


# Волновая оптика

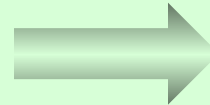
- Принцип Гюйгенса



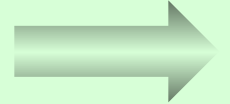
- Дисперсия света



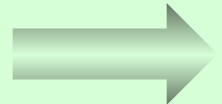
- Интерференция



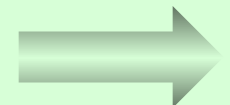
- Интерференция световых волн



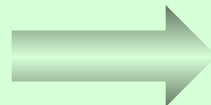
- Интерференция в тонких пленках



- Применение интерференции



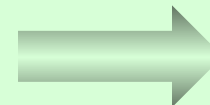
- Дифракция



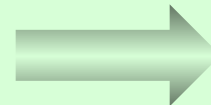
- Дифракция световых волн



- Дифракционная решетка



- Поляризация света



# Природа света

**17 век**

**Исаак Ньютон**

**корпускулярная теория  
(свет – поток частиц)**

**Христиан Гюйгенс**

**волновая теория  
(свет – волна)**

**19 век**

**Джеймс Кларк Максвелл – электромагнитная природа света**

**20 век**

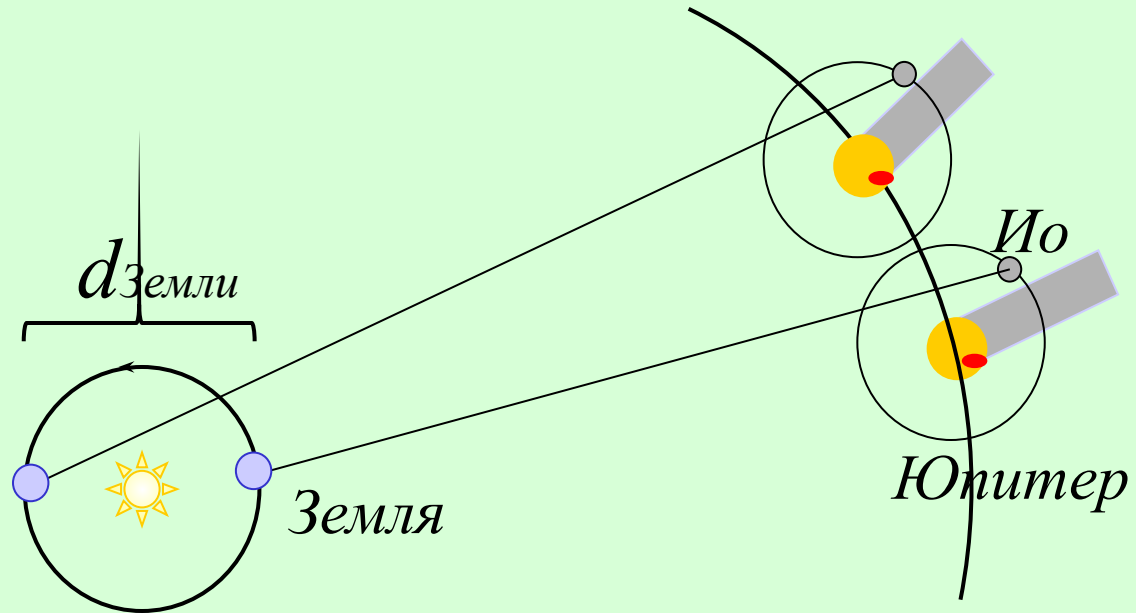
**Макс Планк – квантовая природа света**



# Скорость света

1676 г.

Оле Рёмер



Период обращения Земли – 1 год

Период обращения Юпитера – 11,9 лет

$$v_{\text{света}} = \frac{22 \text{ мин}}{d_{\text{Земли}}} = 215000 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$

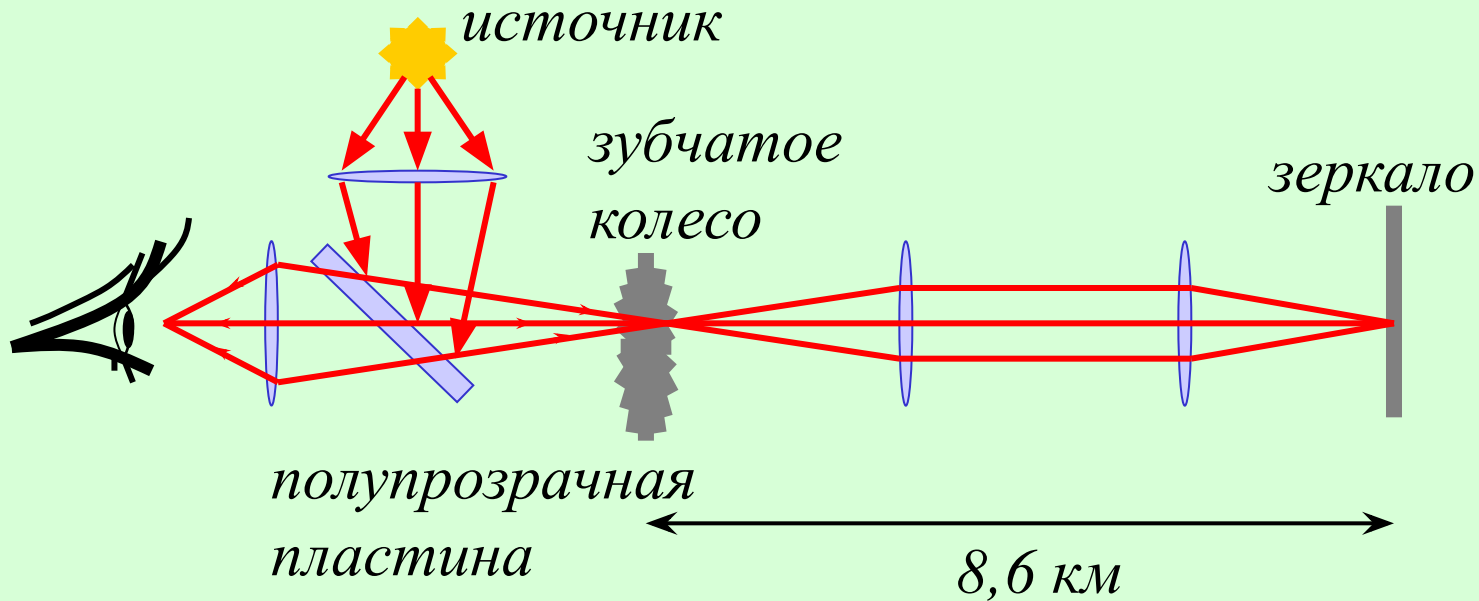


# Скорость света

1849 г.

Ипполит Физо

$$v_{\text{света}} = 313000 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$



$$\left. \begin{aligned} \Delta t &= \frac{2S}{v_{\text{света}}} = \frac{T}{2N} \\ T &= \frac{2\pi}{\omega} \end{aligned} \right\} \frac{2S}{v_{\text{света}}} = \frac{2\pi}{2N\omega} \Rightarrow v_{\text{света}} = \frac{2SN\omega}{\pi}$$



# Скорость света

$$v_{\text{света}} = c = 299792458 \frac{\mathcal{M}}{c} \approx 3 \cdot 10^8 \frac{\mathcal{M}}{c}$$

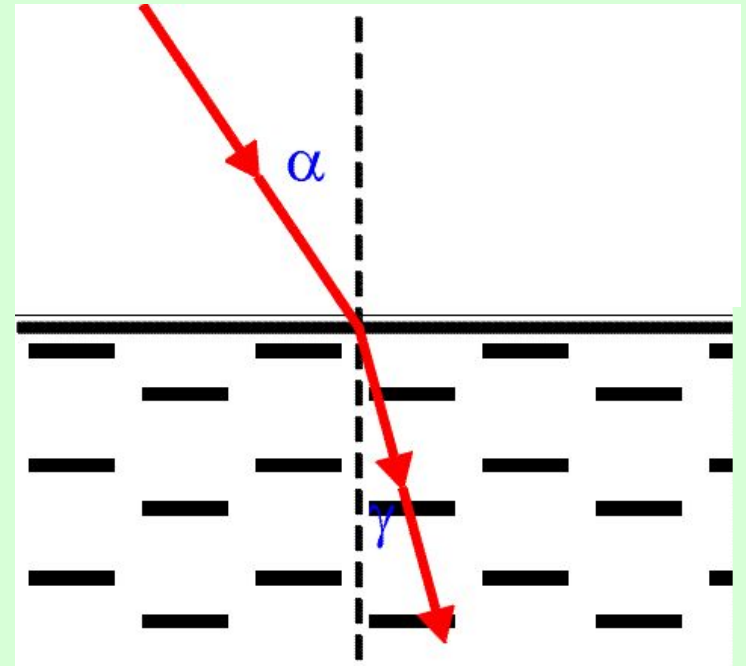




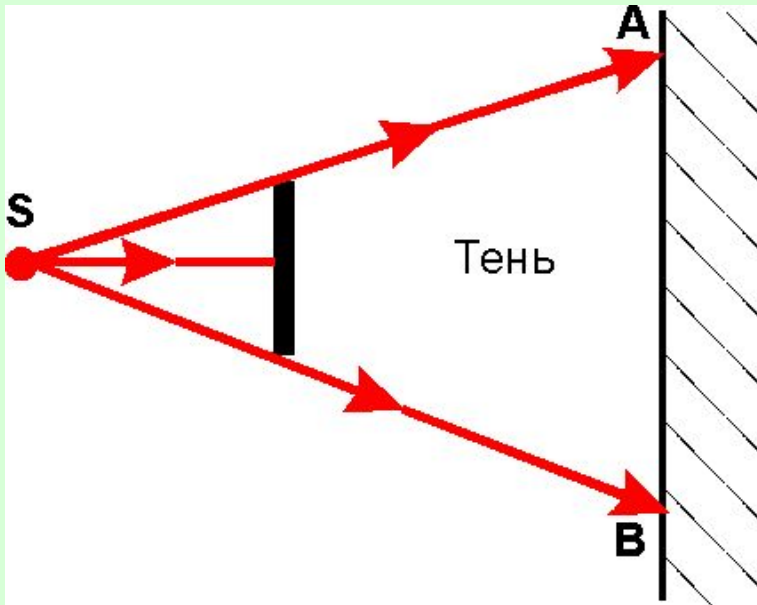
# Распространение света

**В однородной среде свет распространяется прямолинейно.**

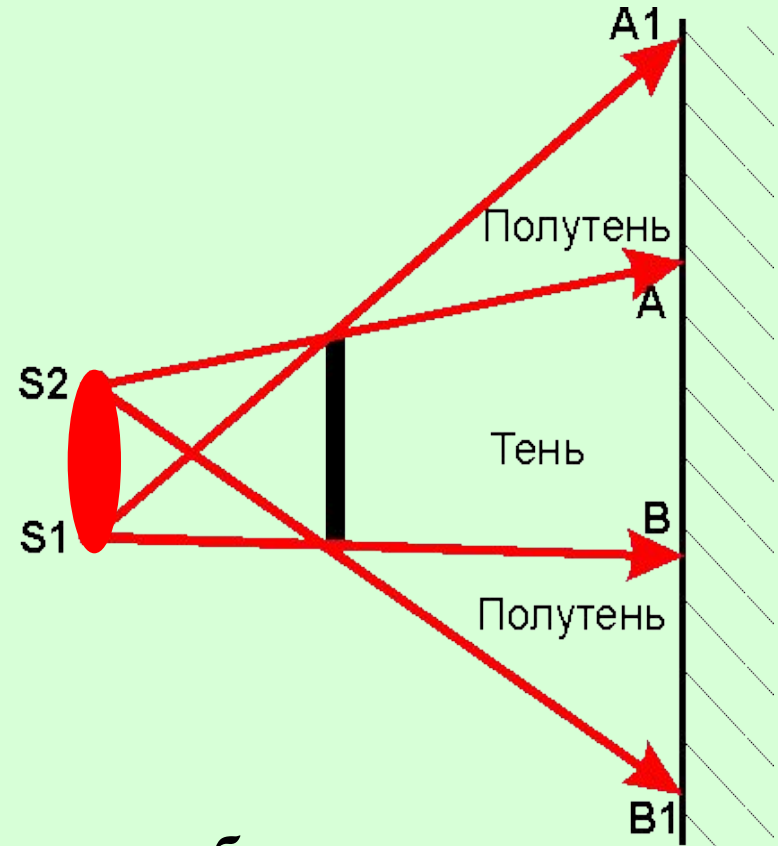
**На границе двух сред свет меняет свое направление – преломляется.**



# Образование тени и полутени



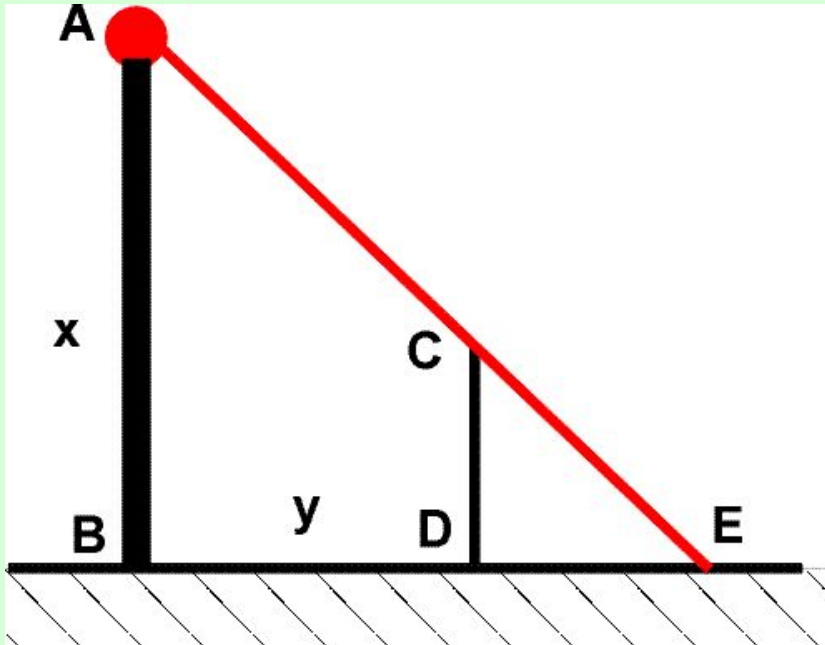
**Тень образуется, если размер источника меньше размера препятствия.**



**Полутень образуется, если размер источника больше размера препятствия.**



# Образование тени и полутени



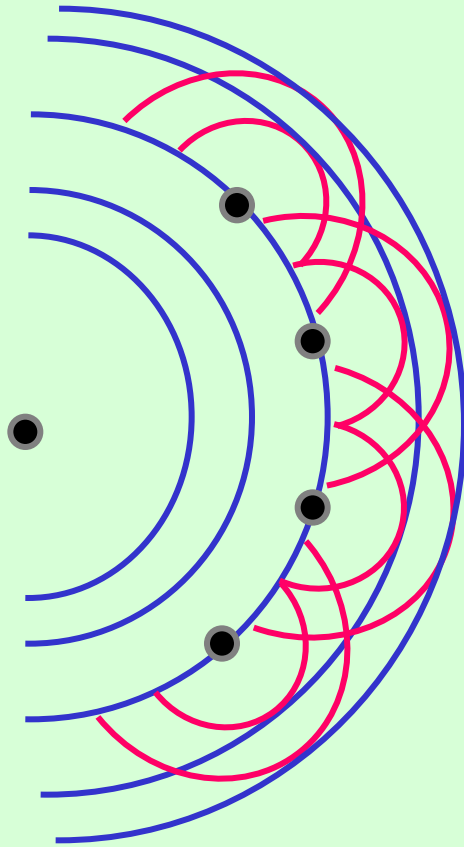
$$\frac{AB}{CD} = \frac{BE}{DE} = \frac{BD + DE}{DE}$$



# Принцип Гюйгенса

**Каждая точка среды, до которой дошла волна, сама становится источником вторичных волн.**

точечный  
источник



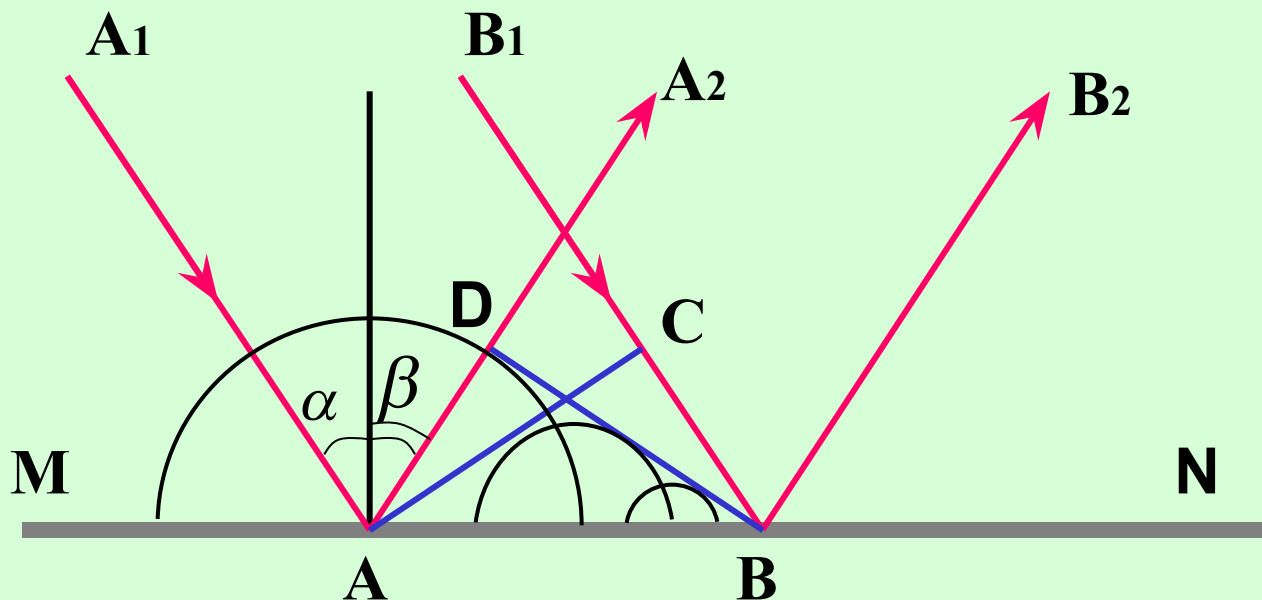
**Фронт первичной волны  
– это огибающая  
фронтон вторичных  
волн.**



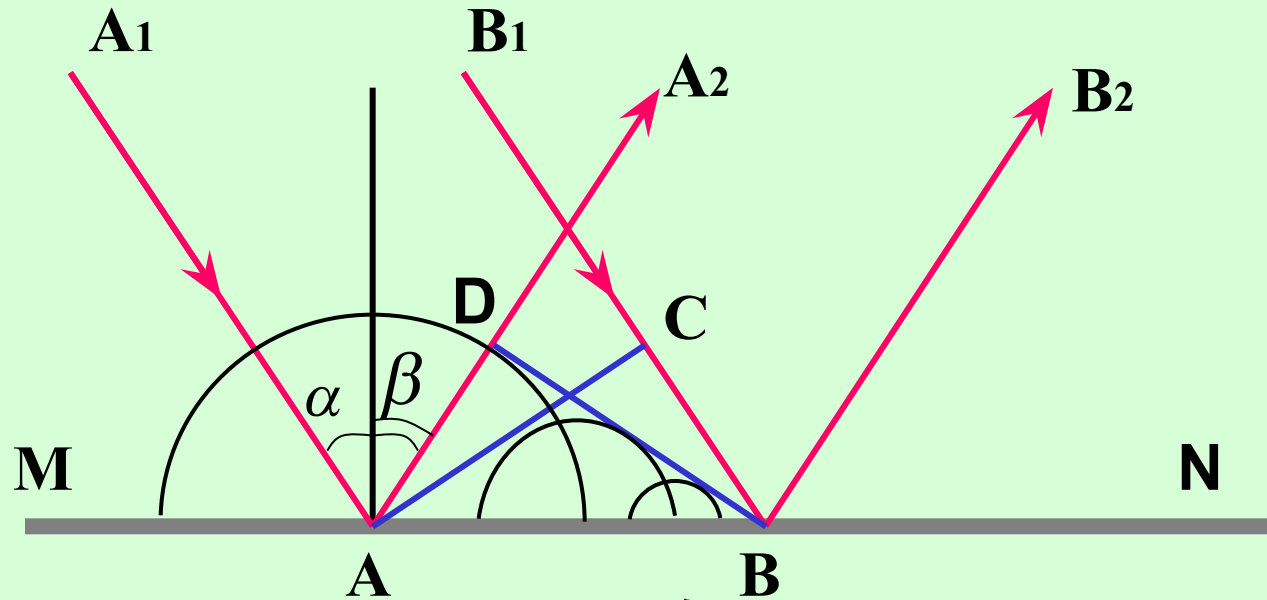
# Отражение света

**Закон отражения света:** луч падающий на поверхность, луч отраженный и перпендикуляр, восстановленный в точке падения лежат в одной плоскости; угол отражения равен углу падения.

$$\alpha = \beta$$



# Отражение света



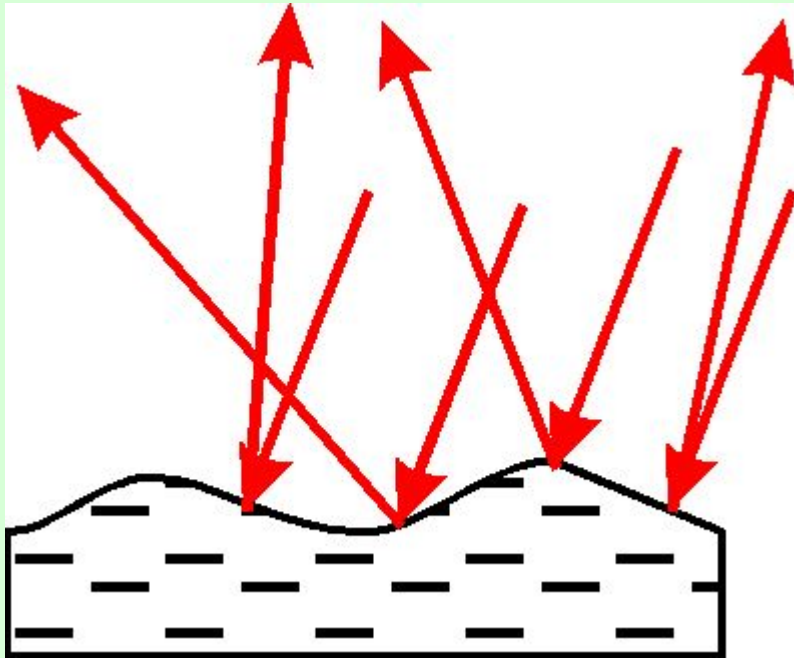
$$\left. \begin{aligned} AD = v\Delta t = CB \\ \angle ADB = 90^\circ \\ \angle BCA = 90^\circ \end{aligned} \right\} \angle DBA = \angle CAB$$

$$\left. \begin{aligned} \alpha = \angle CAB \\ \beta = \angle DBA \end{aligned} \right\} \alpha = \beta$$

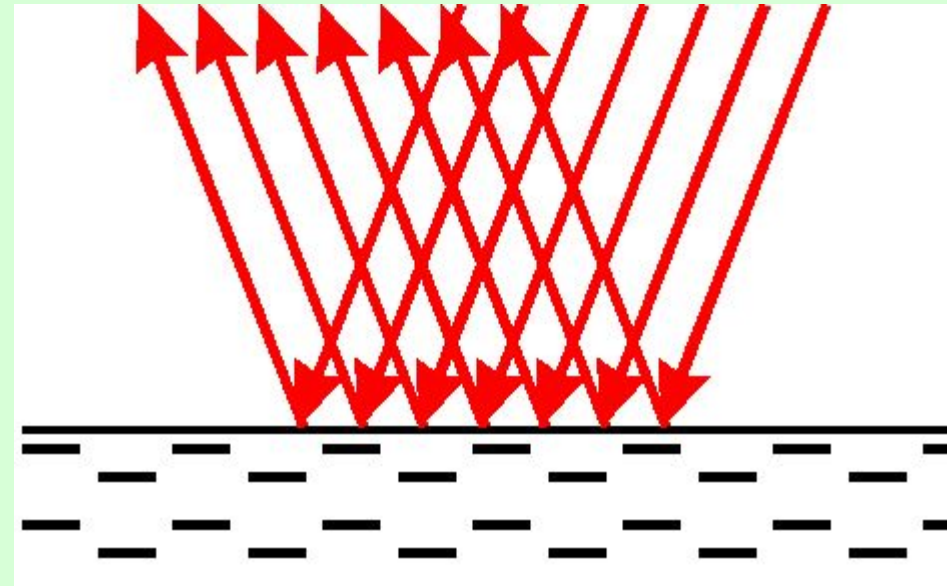


# Отражение света

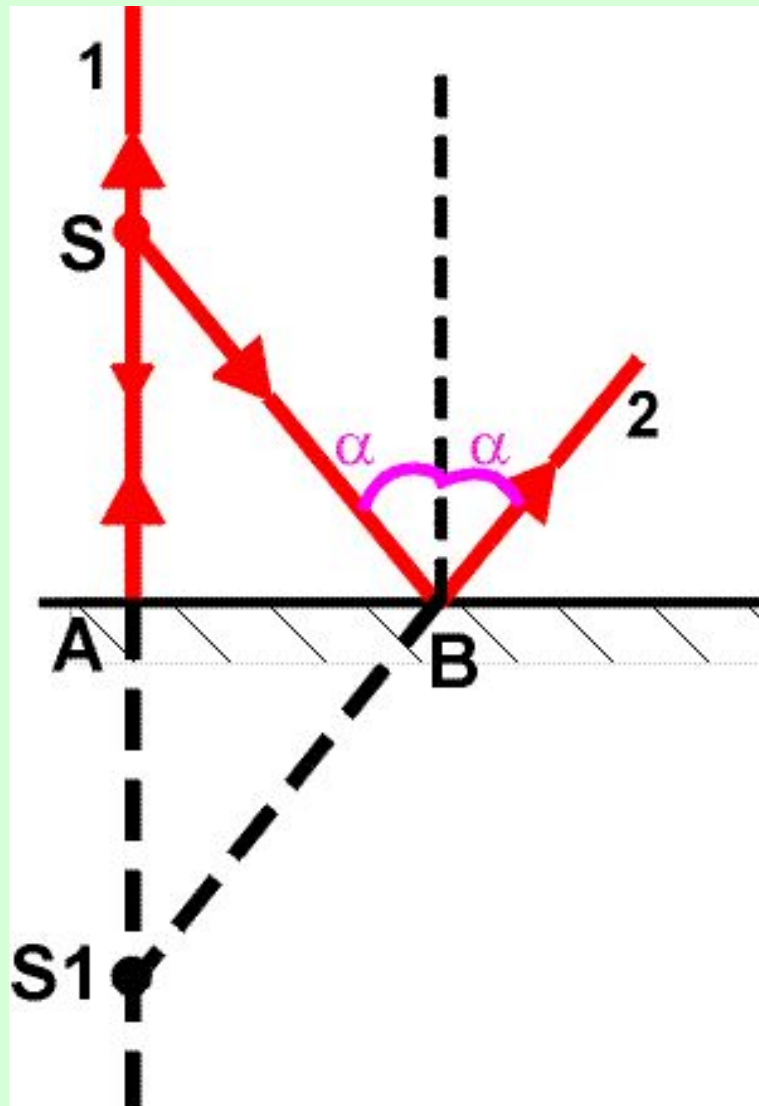
**Рассеянное отражение  
(шероховатая поверхность)**



**Зеркальное отражение  
(гладкая поверхность)**



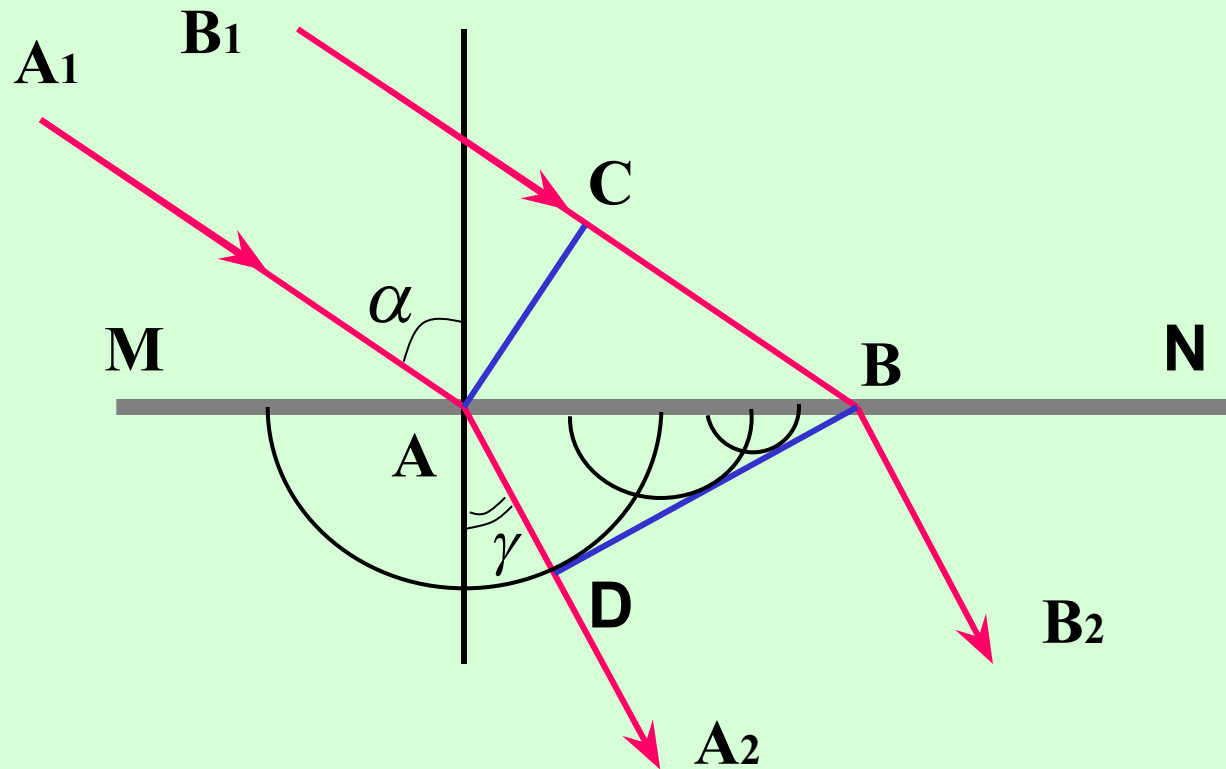
# Плоское зеркало





# Преломление света

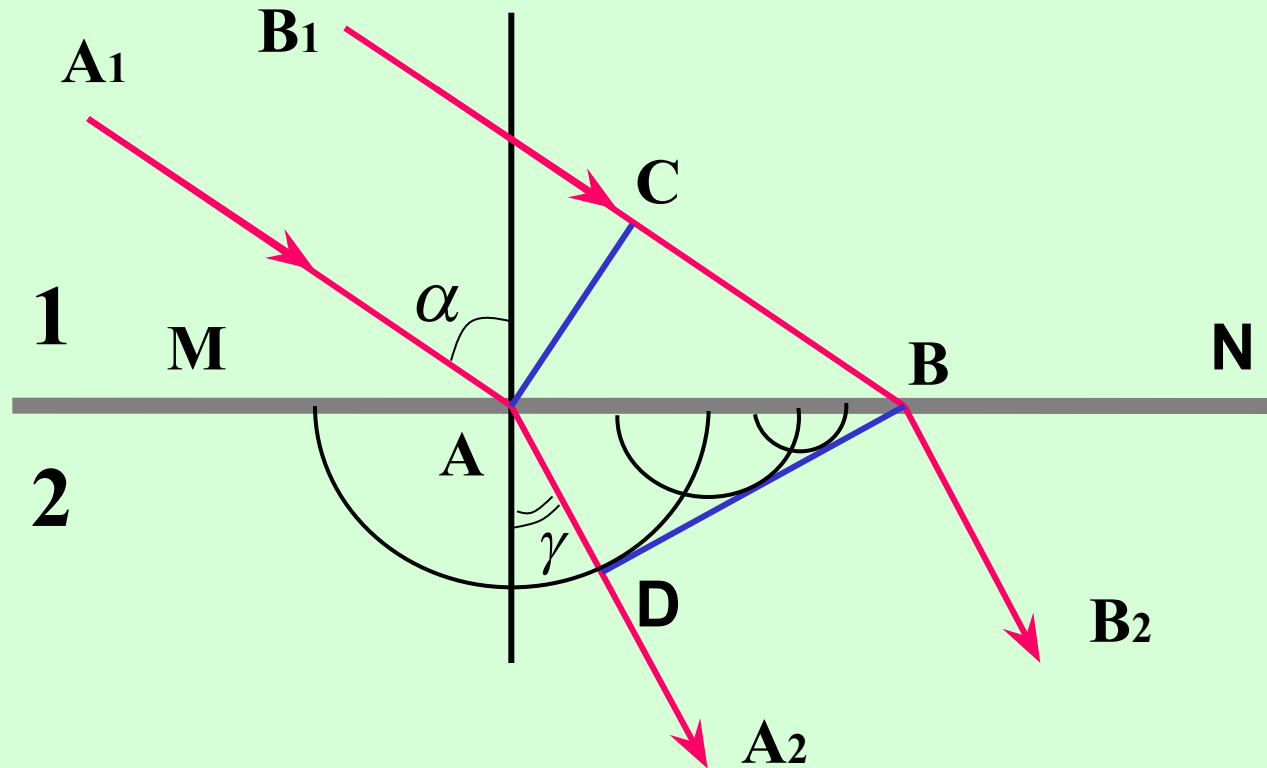
**Закон преломления света: луч падающий на поверхность, луч преломленный и перпендикуляр, восставленный в точке падения лежат в одной плоскости; отношения синуса угла падения к синусу угла отражения есть величина постоянная для данных двух сред.**



$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n$$



# Преломление света



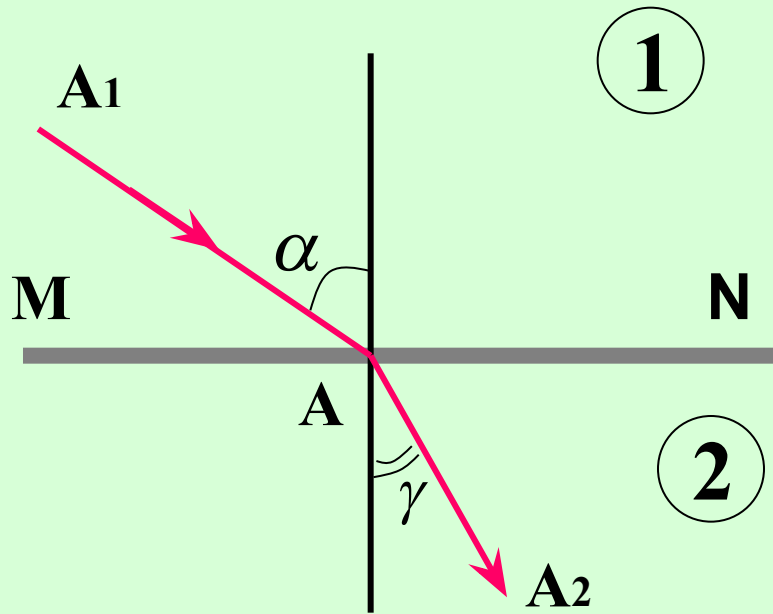
$$\left. \begin{aligned} CB &= v_1 \Delta t = AB \sin \alpha \\ AD &= v_2 \Delta t = AB \sin \gamma \end{aligned} \right\} \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{v_1}{v_2} = n$$

$v_1$  - скорость света в среде 1

$v_2$  - скорость света в среде 2



# Преломление света



$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n_{12}$$

$n_{12}$  – относительный  
показатель преломления

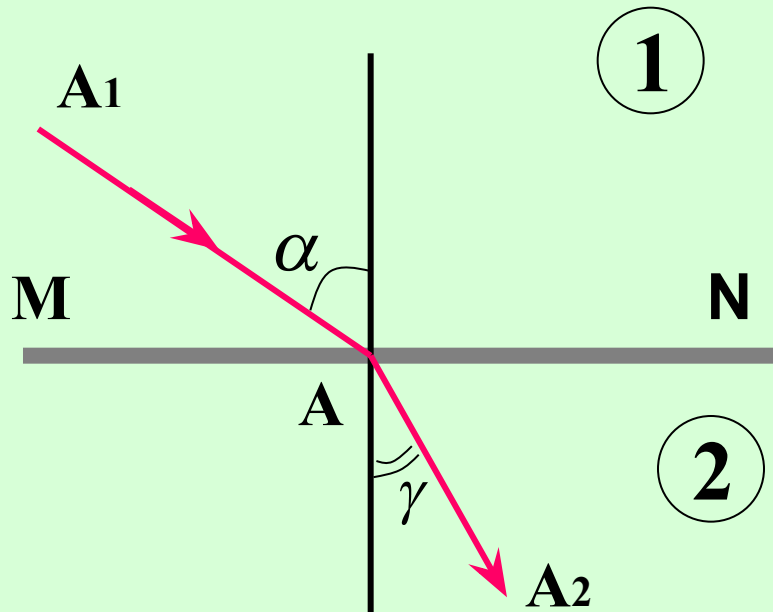
$$\left. \begin{aligned} n_1 &= \frac{c}{v_1} \\ n_2 &= \frac{c}{v_2} \end{aligned} \right\} n_{12} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\frac{c}{n_1}}{\frac{c}{n_2}} = \frac{n_2}{n_1}$$

$n_1$  – абсолютный  
показатель  
преломления среды 1

$n_2$  – абсолютный  
показатель  
преломления среды 2



# Преломление света



$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n_{12} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

$$n_{\text{воздуха}} = 1,000292 \approx 1$$



# Преломление света

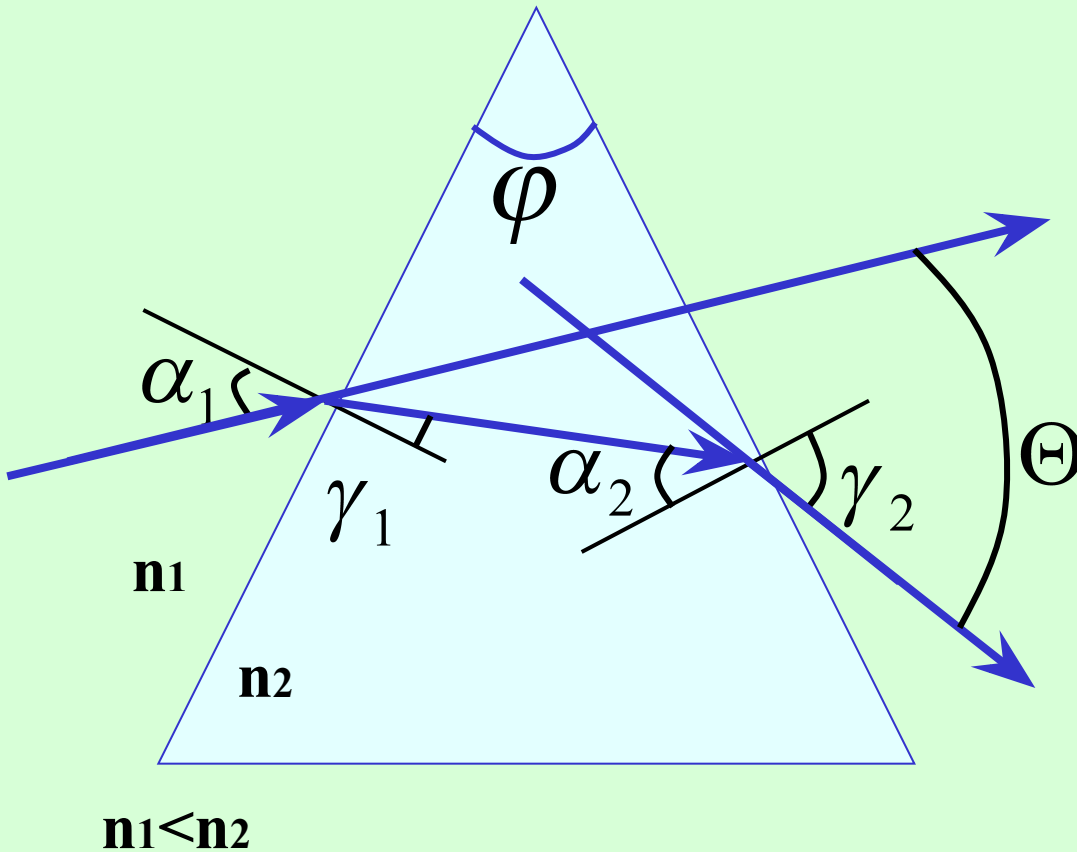
$n = 1.0$

$n = 1.5$



# Преломление света

## Прохождение луча света через призму



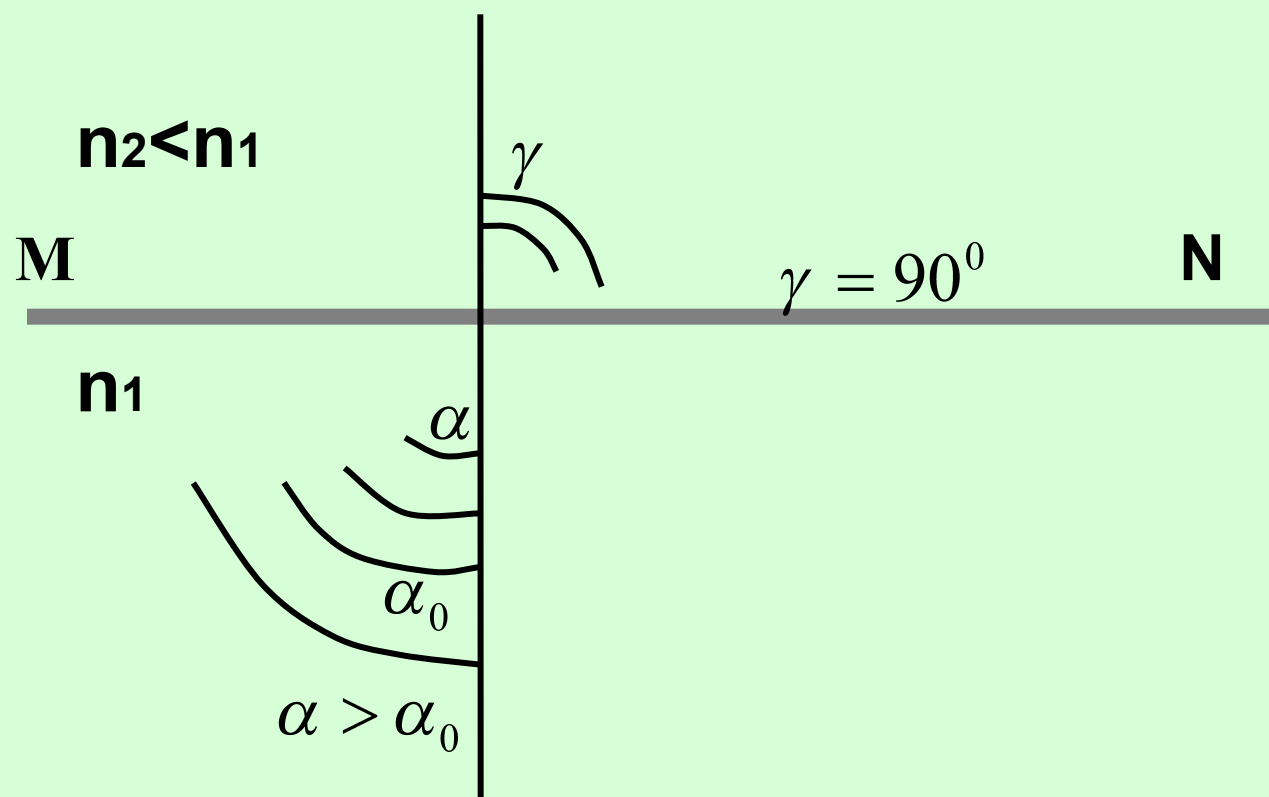
Если вещество призмы более плотное чем окружающая среда, то луч света, пройдя сквозь призму отклоняется к ее основанию.

$\varphi$  - преломляющий угол призмы



# Полное отражение

Явление полного отражения наблюдается при переходе света из оптически более плотной среды в менее плотную.



$$\left[ \begin{array}{l} \beta \leq \alpha_0 \\ \gamma < 90^\circ \\ \alpha = \alpha_0 \\ \beta = 90^\circ \\ \gamma = 90^\circ \end{array} \right.$$

$$\left[ \begin{array}{l} \alpha > \alpha_0 \\ \gamma > 90^\circ \end{array} \right.$$

$\alpha_0$  - предельный угол полного отражения

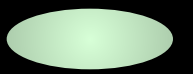


# Полное отражение

$n = 1.5$

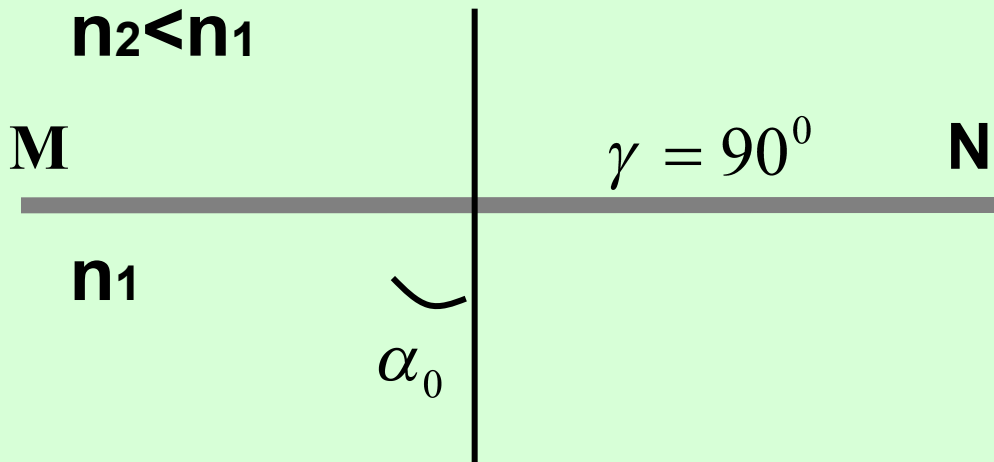
TIR

$n = 1.0$





# Полное отражение



$$\begin{cases} \alpha = \alpha_0 \\ \gamma = 90^\circ \end{cases}$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\frac{\sin \alpha_0}{1} = \frac{n_2}{n_1}$$

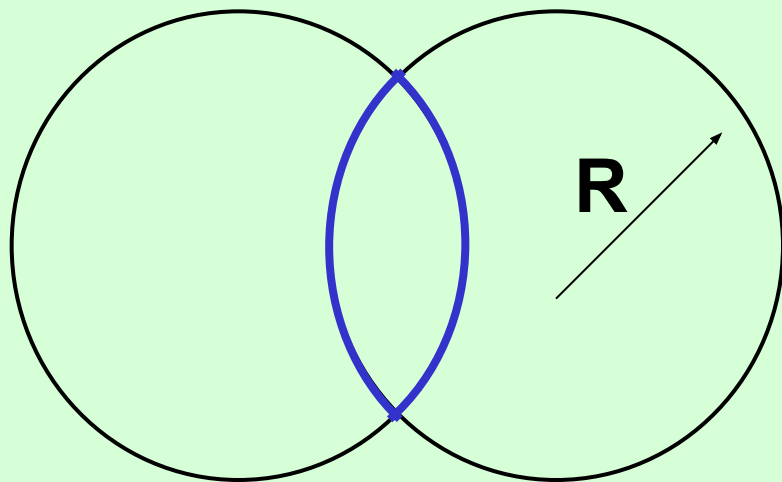
$$\frac{\sin \alpha_0}{\sin 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\alpha_0 = \arcsin \frac{n_2}{n_1}$$

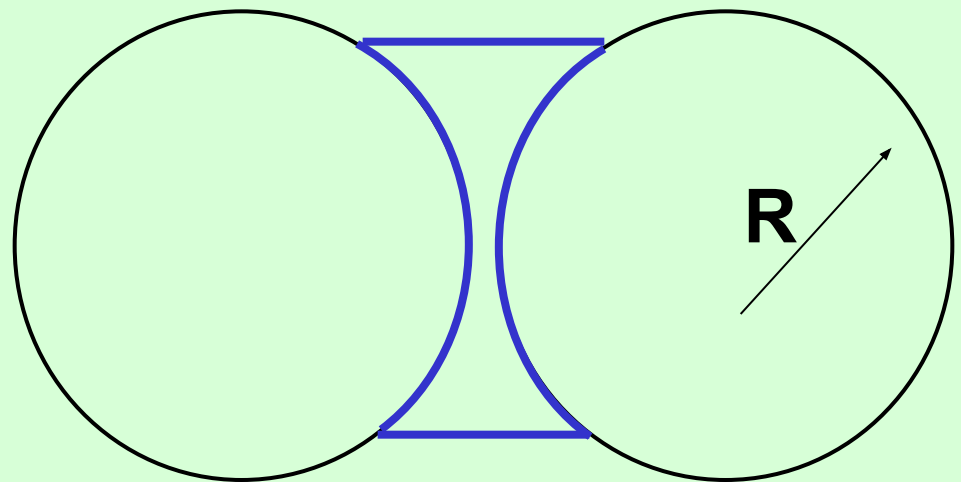


# Линзы

Линза - прозрачное тело, ограниченное двумя сферическими поверхностями.



выпуклая линза



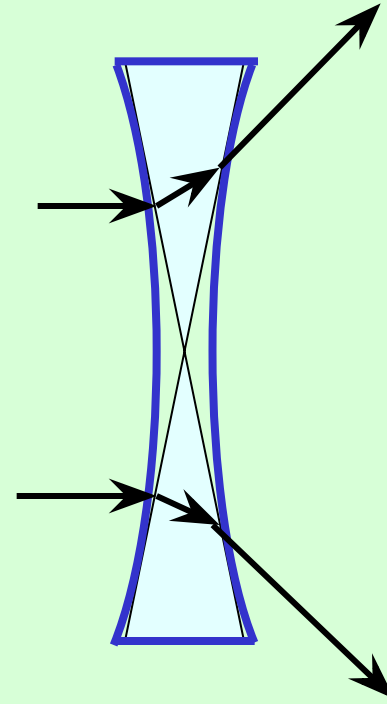
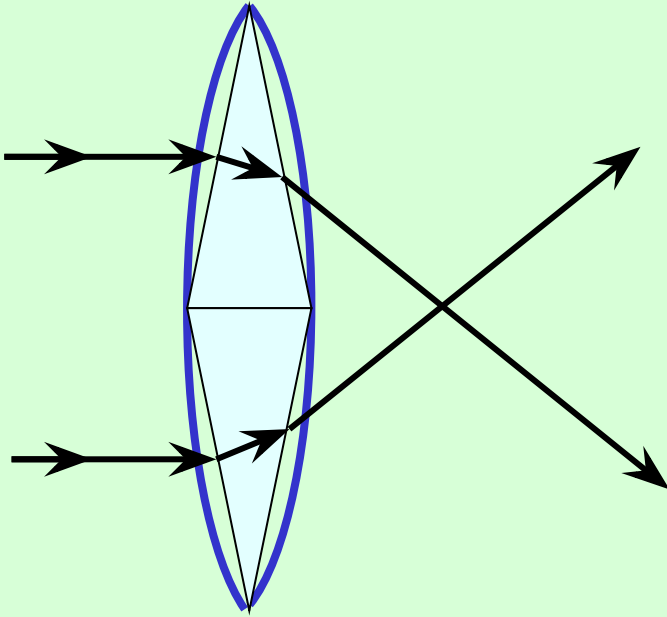
вогнутая линза



Тонкая линза – это линза, толщина которой во много раз меньше радиуса кривизны ее поверхностей.



# Линзы



Вещество из которого изготовлена линза плотнее окружающей среды.



# Линзы

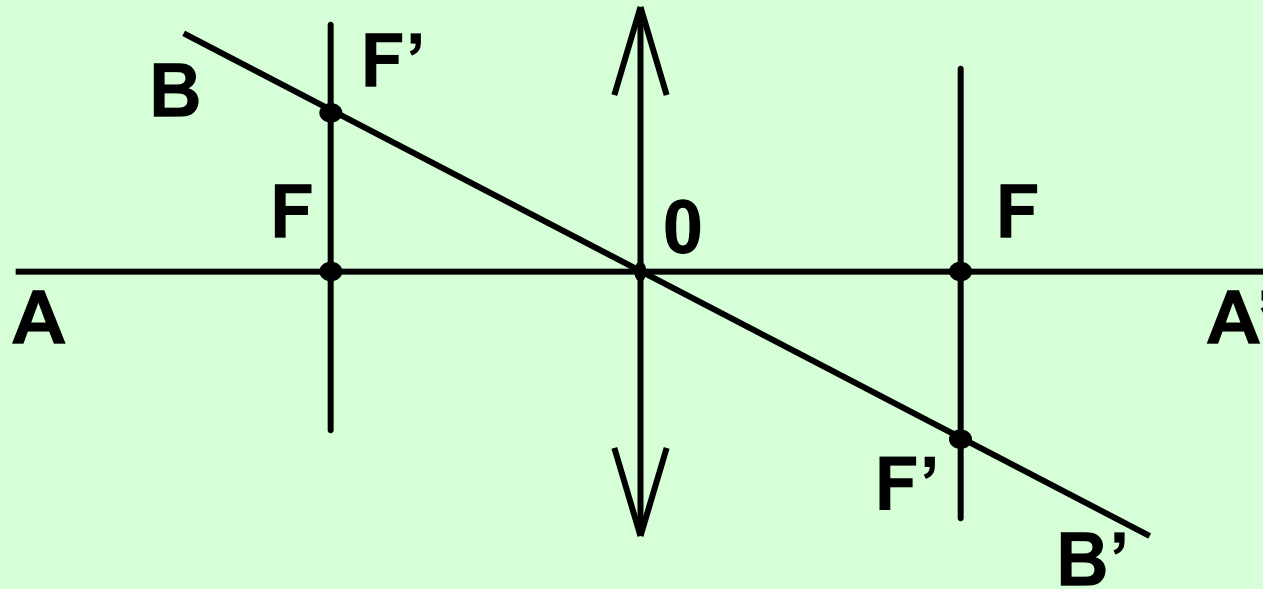
## Характеристики изображений в линзе:

- Действительное или мнимое
- Прямое или обратное
- Увеличенное, уменьшенное или равное



# Линзы

## Основные точки, оси и плоскости линзы

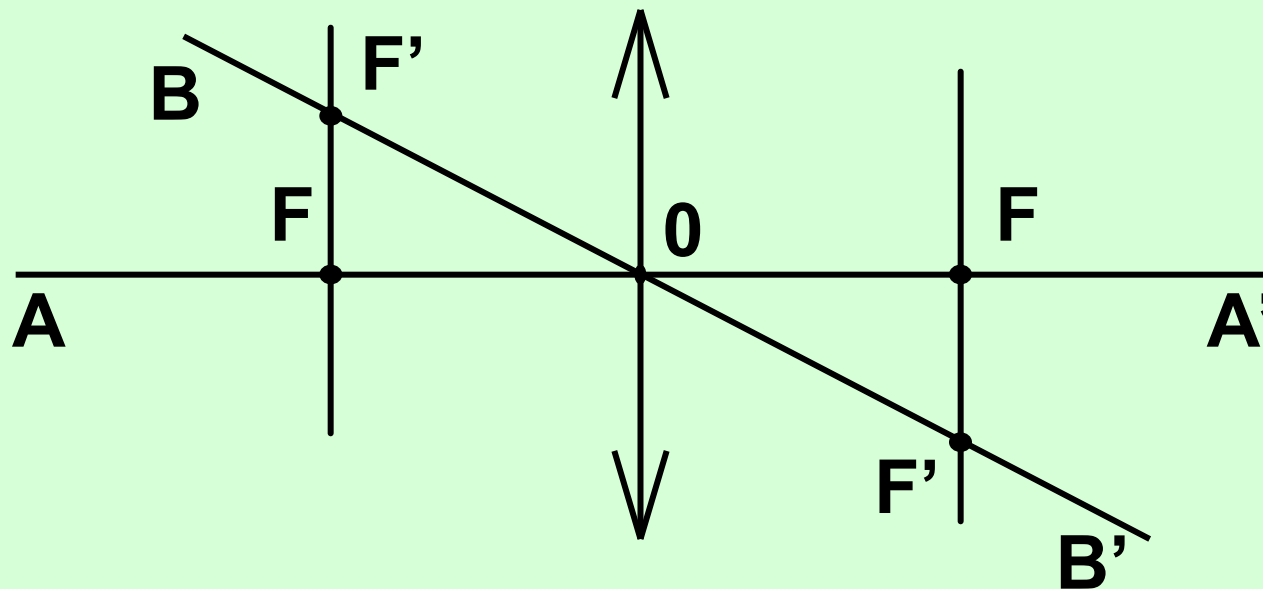


$O$  – оптический центр линзы (проходя через него луч не преломляется).



# Линзы

## Основные точки, оси и плоскости линзы

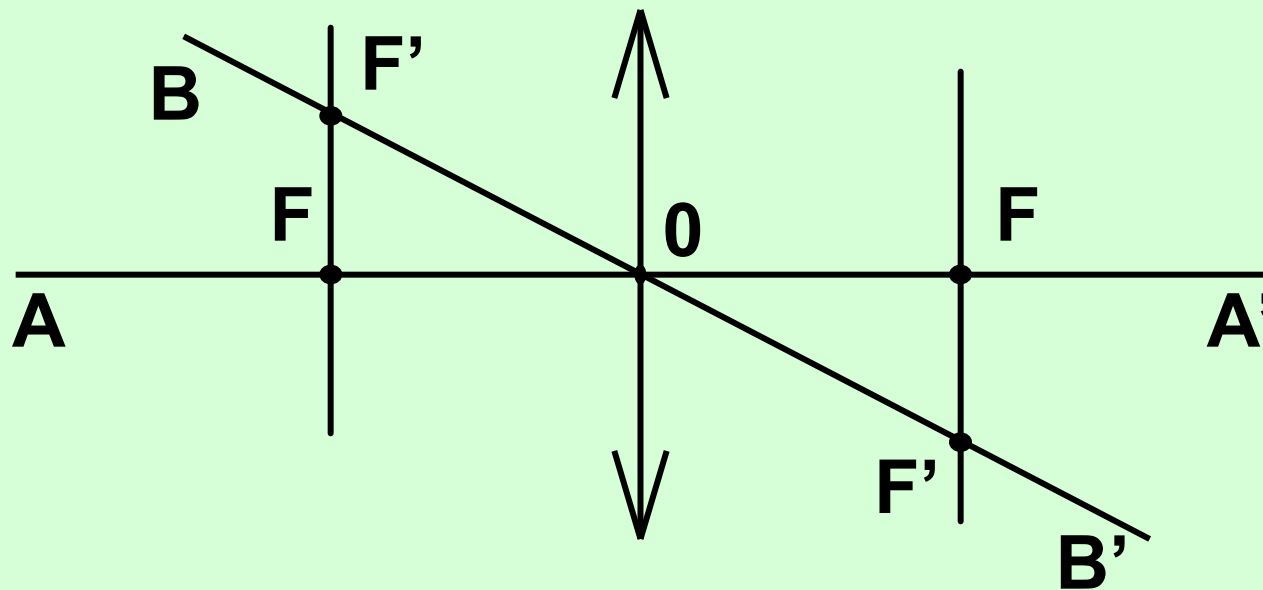


$AOA'$  – главная оптическая ось (проходит через оптический центр линзы, перпендикулярно плоскости линзы).



# Линзы

## Основные точки, оси и плоскости линзы

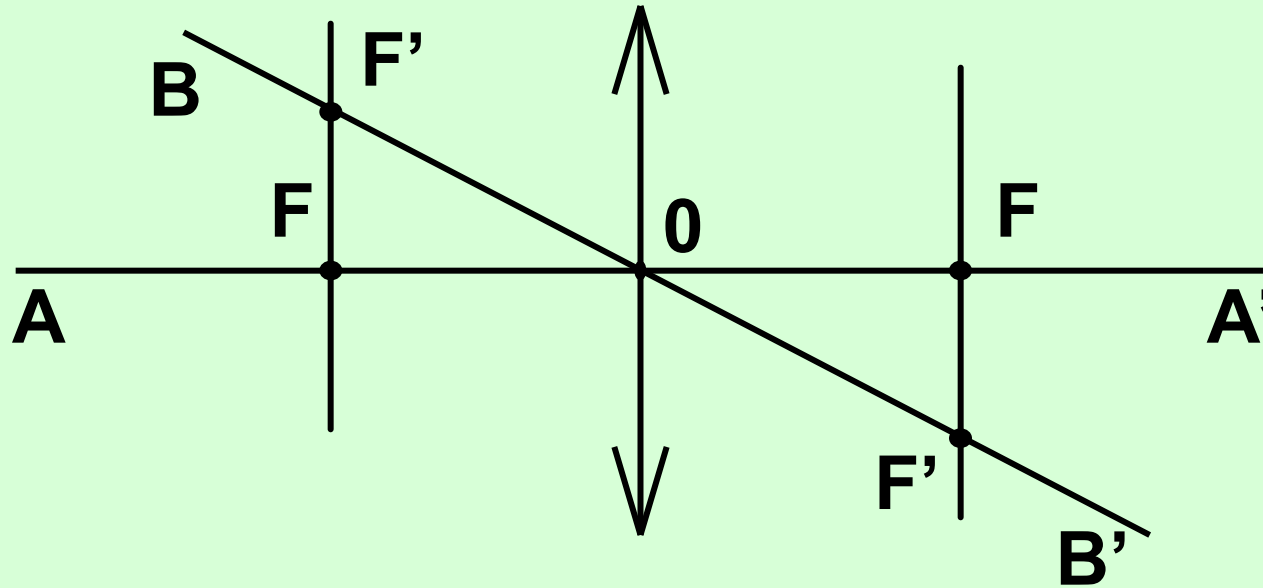


**$BOB'$**  – побочная оптическая ось (проходит через оптический центр линзы, не перпендикулярно плоскости линзы).



# Линзы

## Основные точки, оси и плоскости линзы

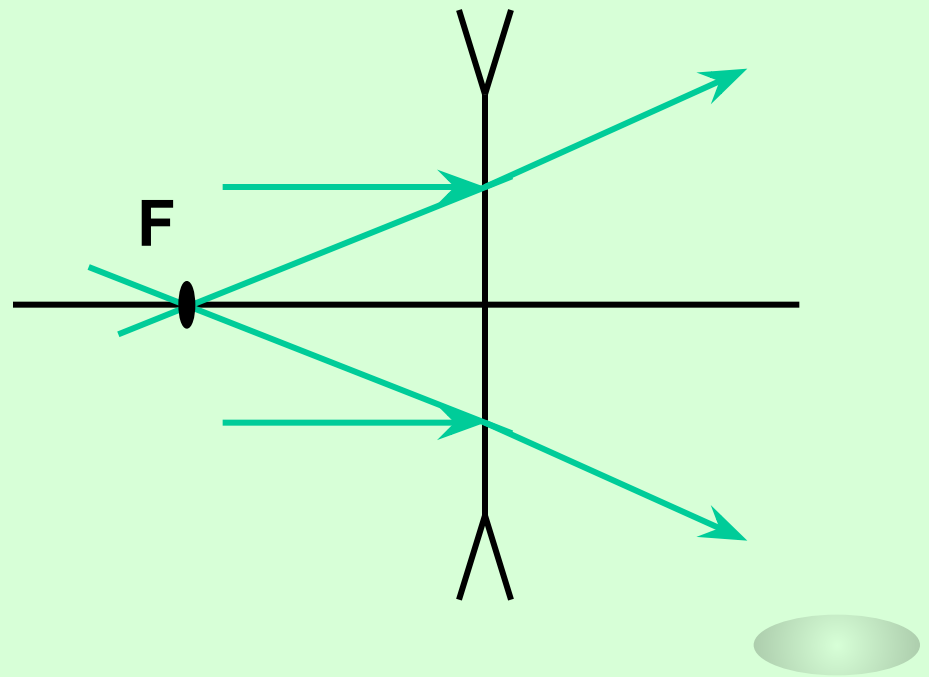
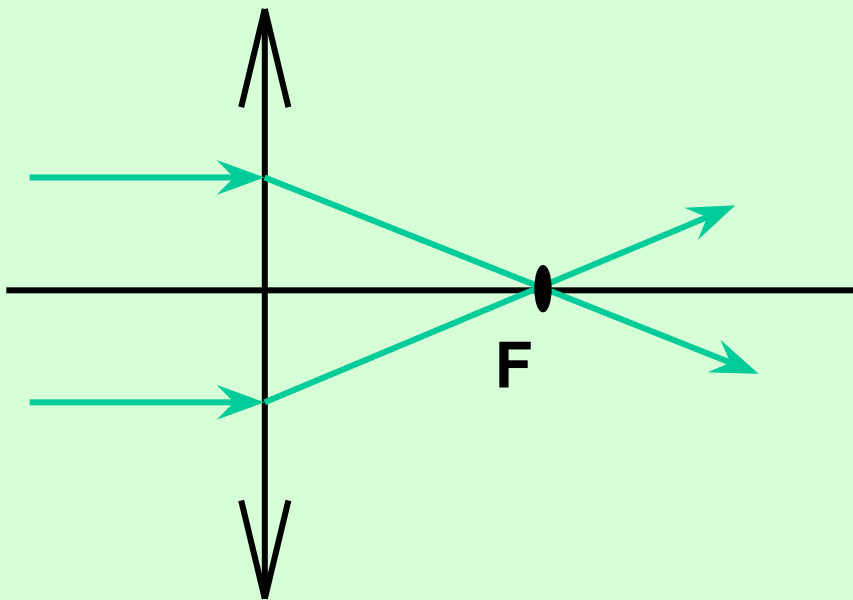


$F, F'$  – главные фокусы линзы (лежат на главной оптической оси; в них собираются лучи (или продолжения лучей), которые до прохождения линзы были параллельны главной оптической оси).



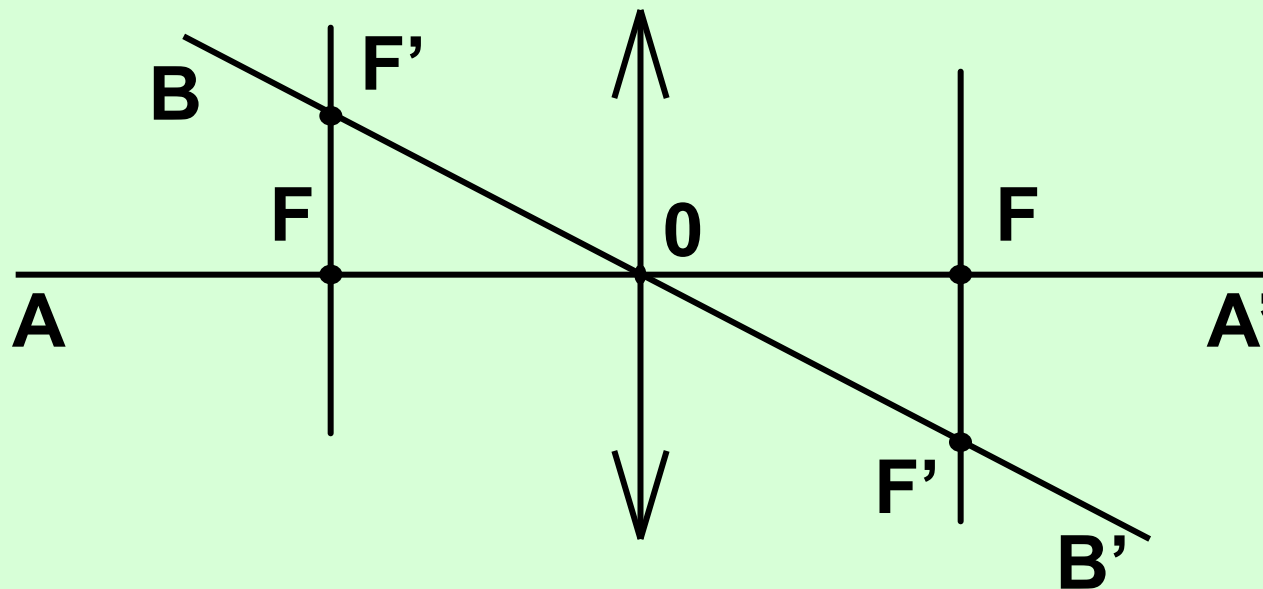


# Линзы



# Линзы

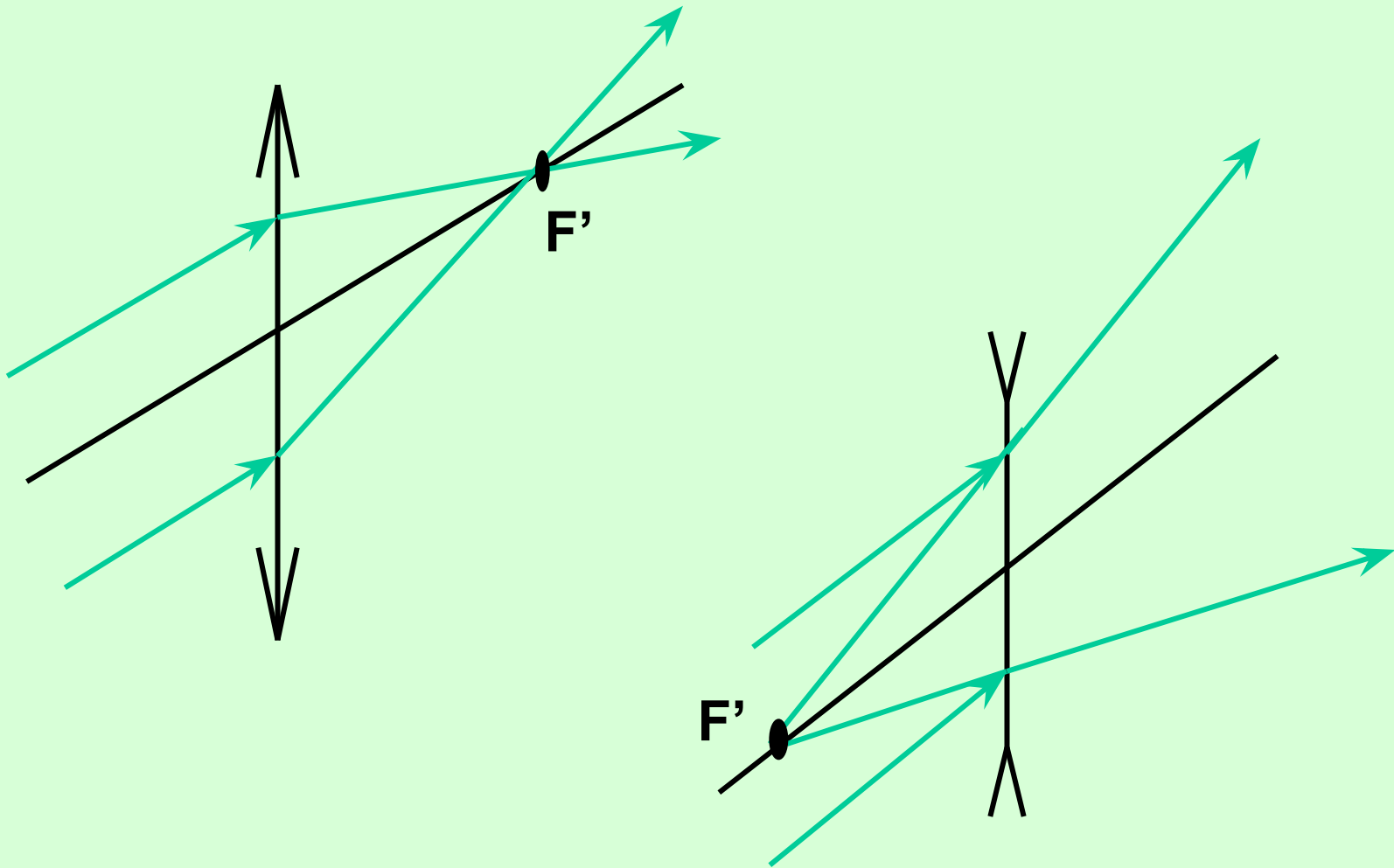
## Основные точки, оси и плоскости линзы



$F', F'$  – побочные фокусы линзы (лежат на побочной оптической оси; в них собираются лучи (или продолжения лучей), которые до прохождения линзы были параллельны побочной оптической оси).

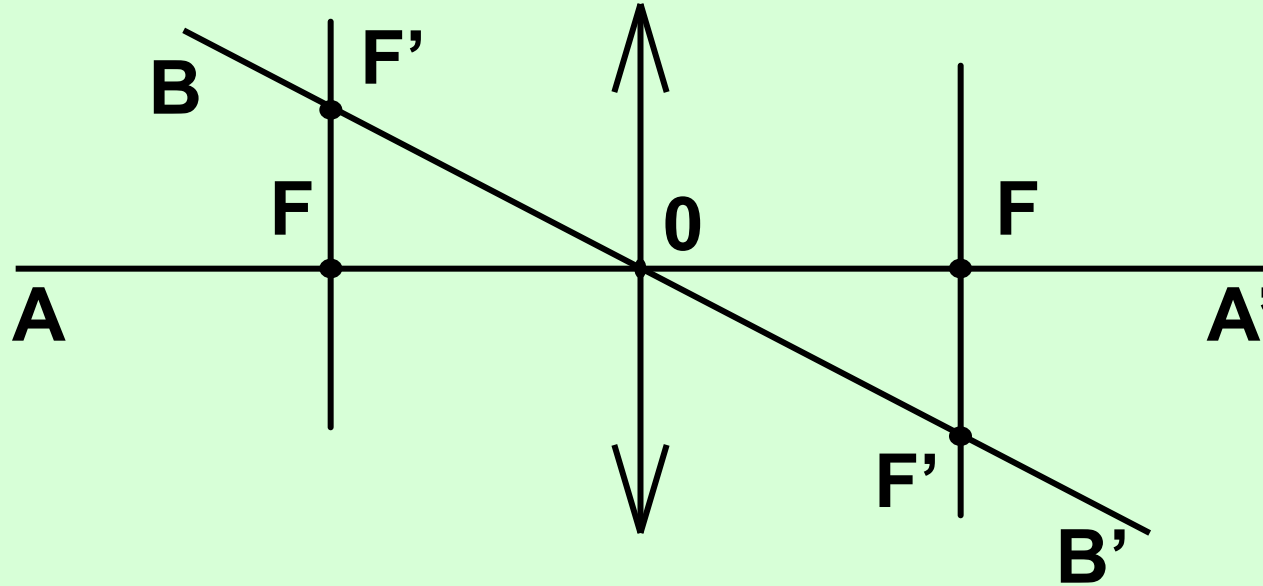


# Линзы



# Линзы

## Основные точки, оси и плоскости линзы

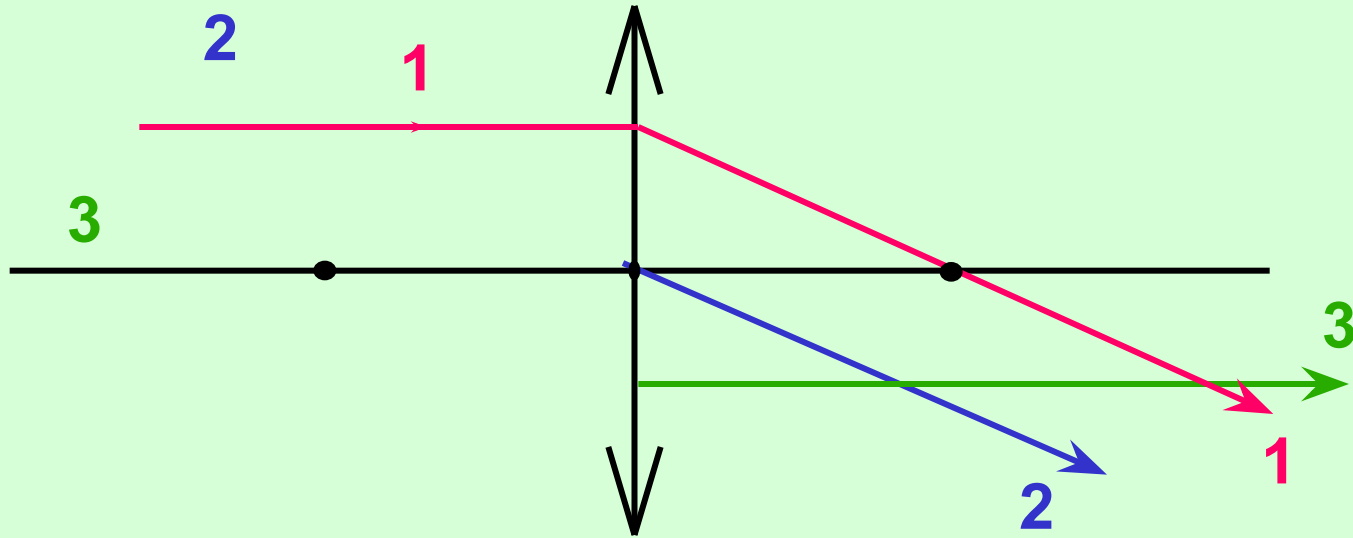


$F'F$ - фокальная плоскость (на ней лежат все фокусы линзы).

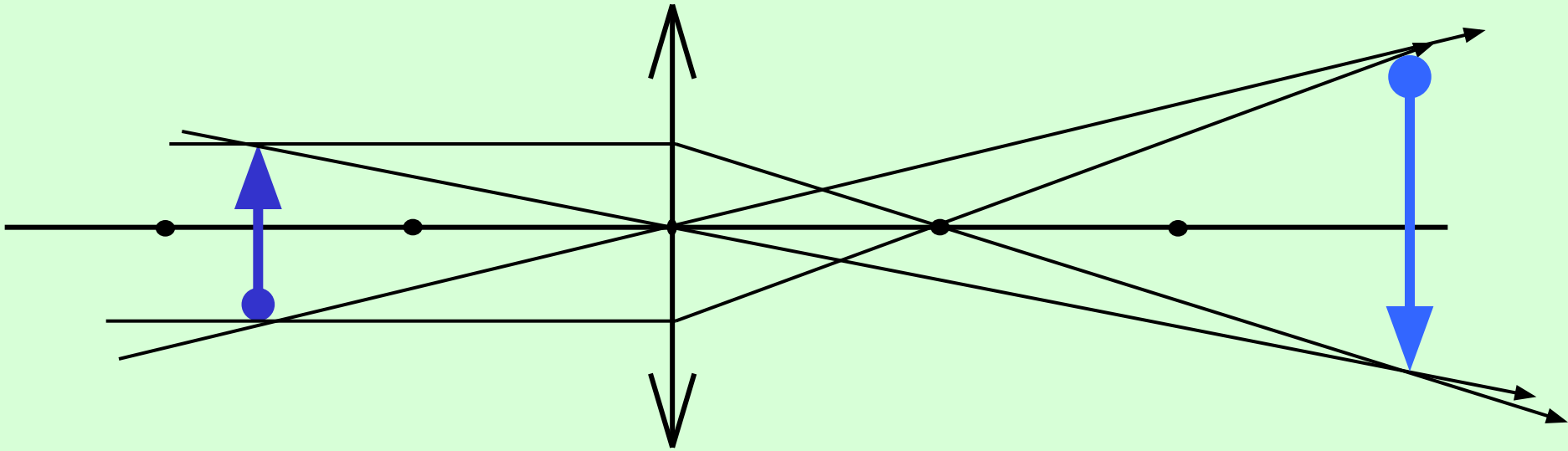


# Линзы

Три «замечательных» луча линзы.



# Линзы



**Изображение:**

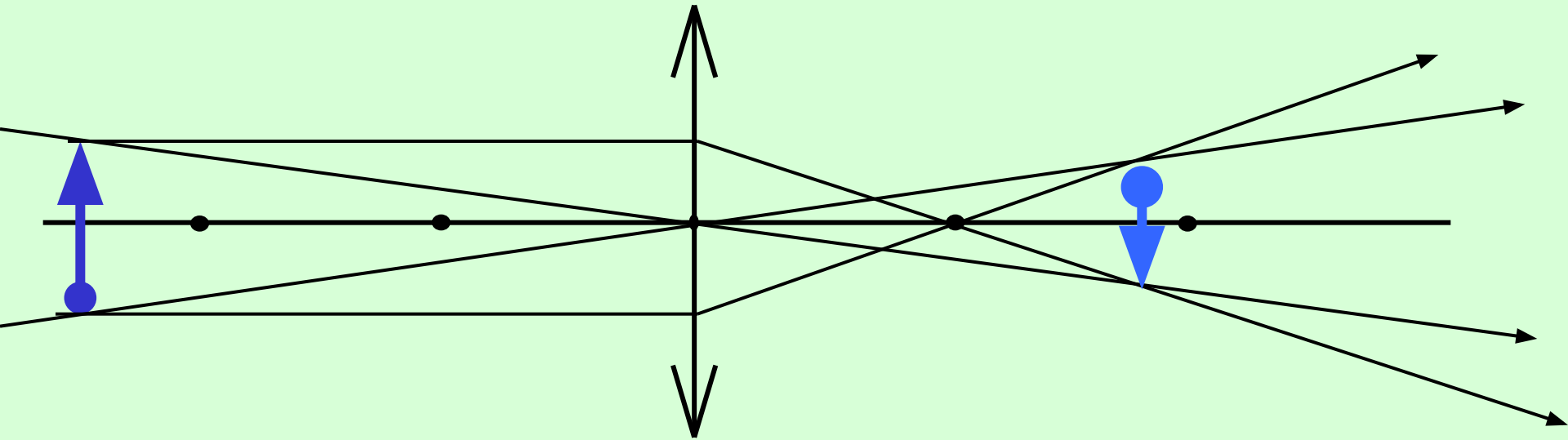
**Действительное**

**Обратное**

**Увеличенное**



# Линзы



**Изображение:**

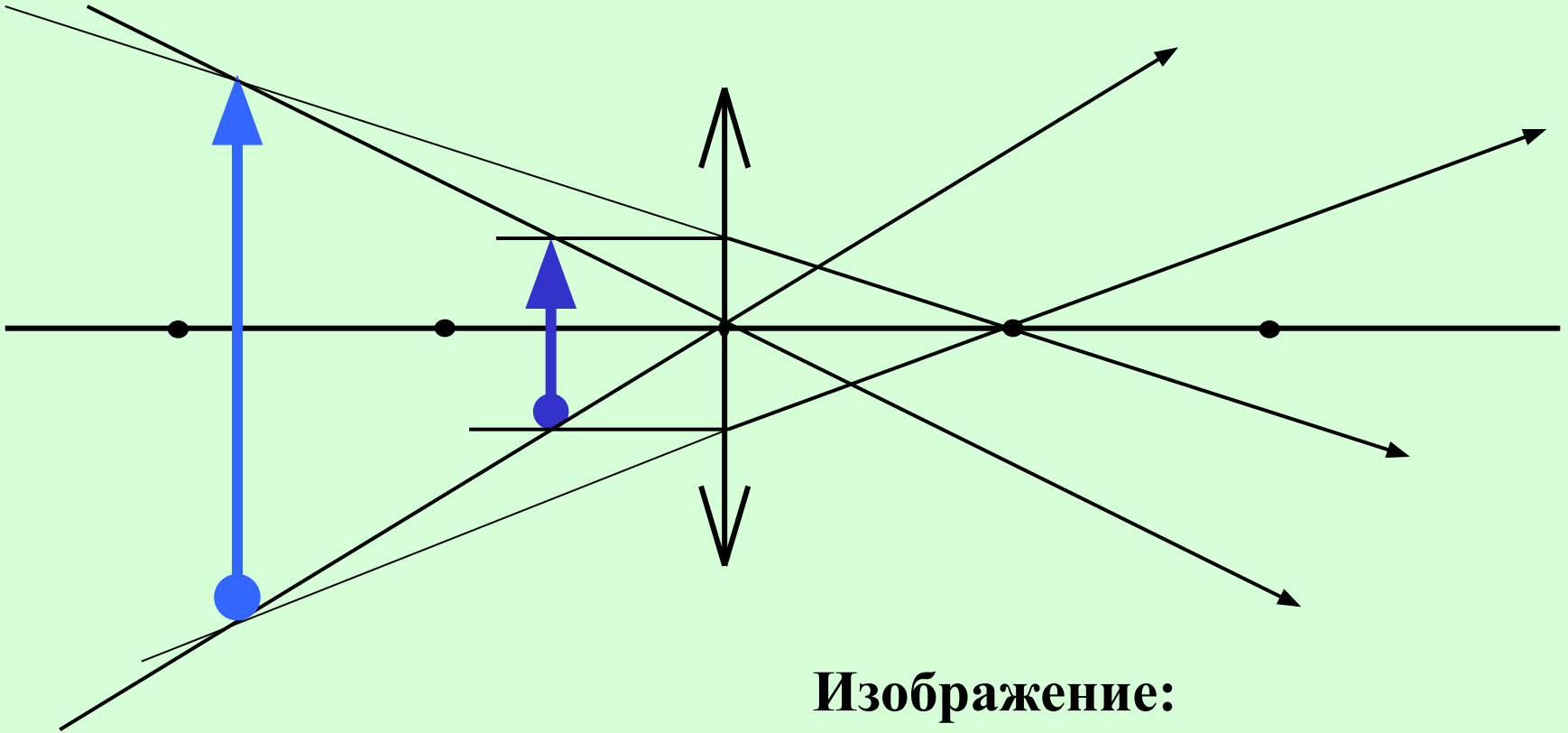
**Действительное**

**Обратное**

**Уменьшенное**



# Линзы



**Изображение:**

**Мнимое**

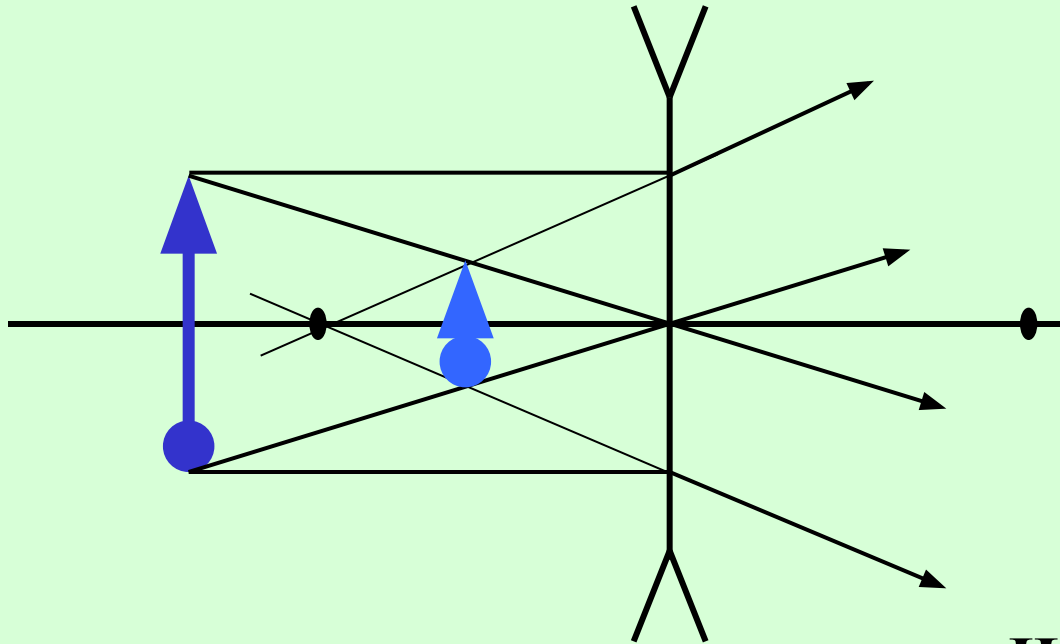
**Прямое**

**Увеличенное**





# Линзы

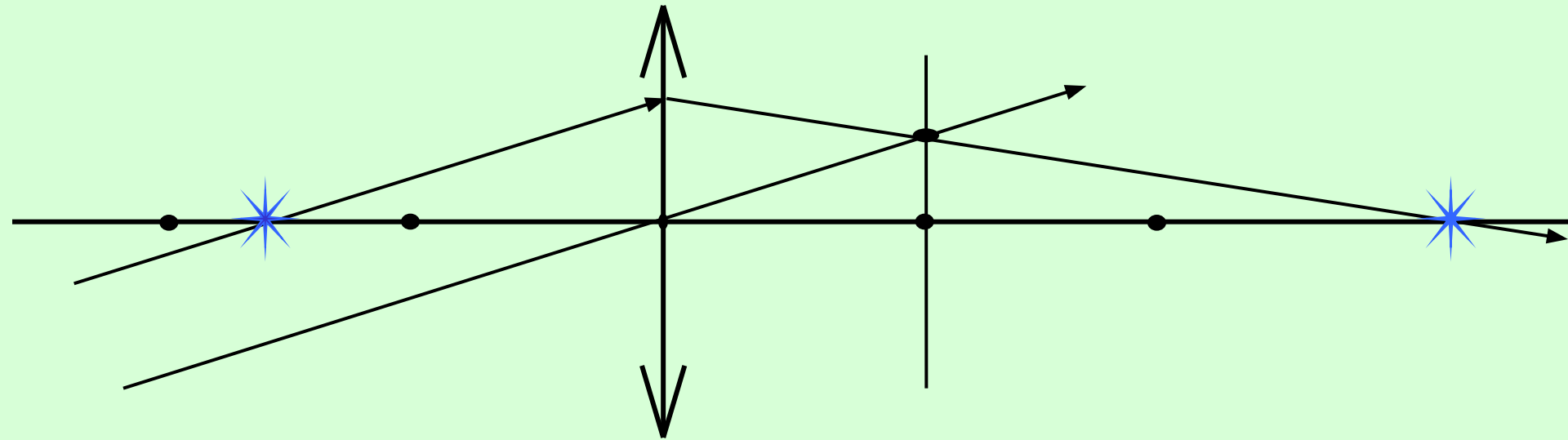


**Изображение:**

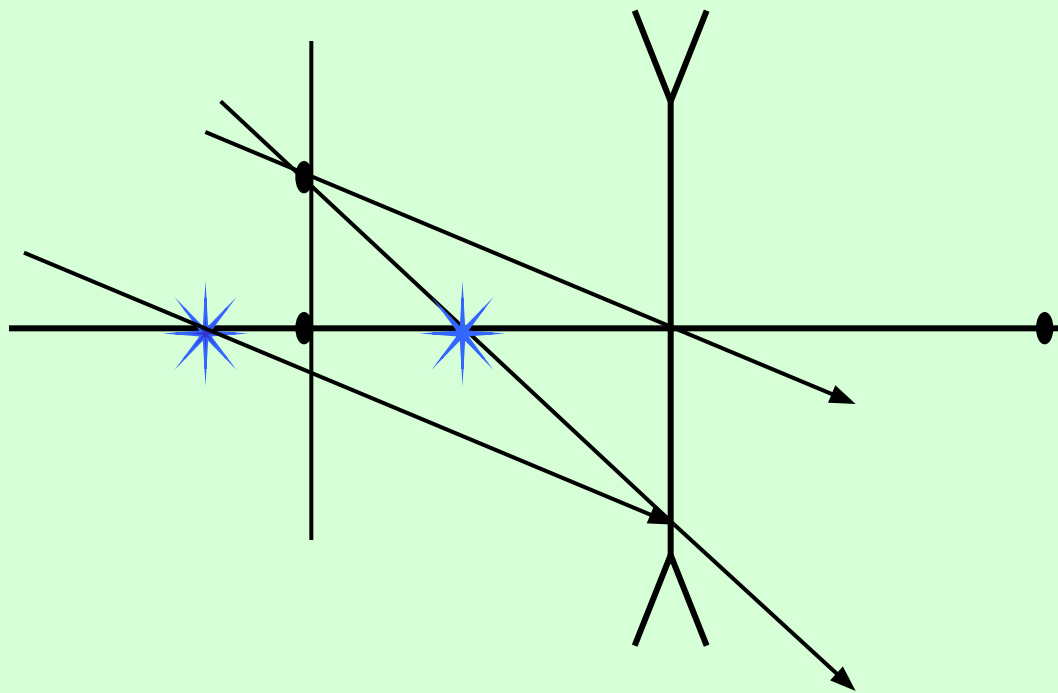
- **Мнимое**
- **Прямое**
- **Уменьшенное**



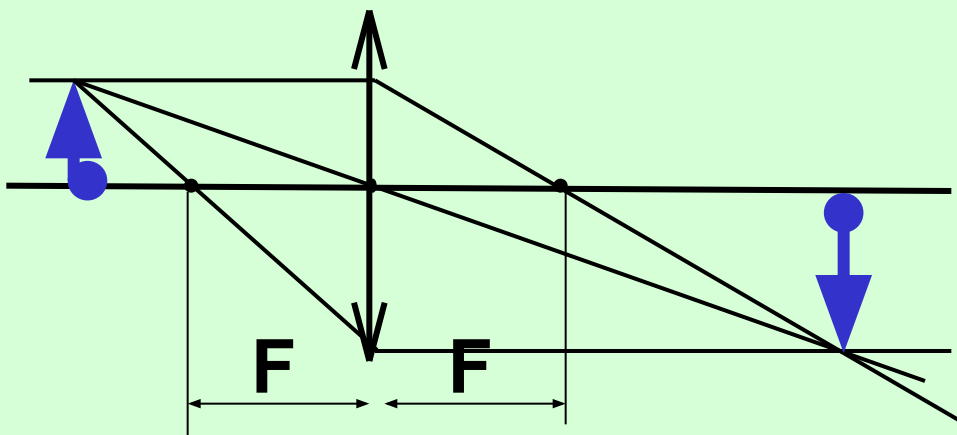
# Линзы



# Линзы



# Линзы



**F** – фокусное  
расстояние линзы

$$[F] = \text{м}$$

**Оптическая сила линзы:**

$$D = \frac{1}{F}$$

$$[D] = \text{дптр} \quad (\text{диоптрия})$$

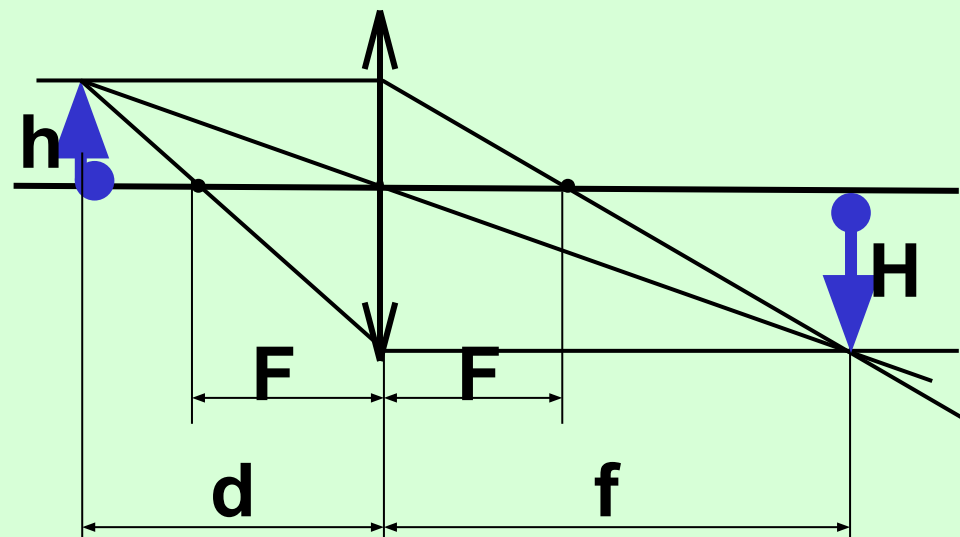
$D > 0$  - линза собирающая

$D < 0$  - линза рассеивающая

$$1 \text{ дптр} = \frac{1}{1\text{м}}$$



# Линзы



Формула тонкой линзы:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

Увеличение линзы:

$$\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}$$

$\frac{1}{F} > 0$  - линза собирающая

$\frac{1}{F} < 0$  - линза рассеивающая

$\frac{1}{f} > 0$  - изображение  
действительное

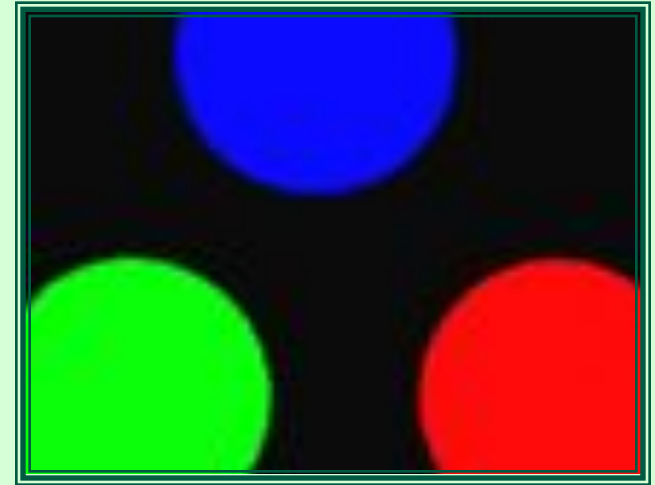
$\frac{1}{f} < 0$  - изображение мнимое



# Дисперсия света

Белый свет представляет собой набор волн различной длины.

$$400 \text{ нм} \leq \lambda_{\text{света}} \leq 760 \text{ нм}$$



Свет, представляющий собой набор волн одинаковой длины – монохроматичный.

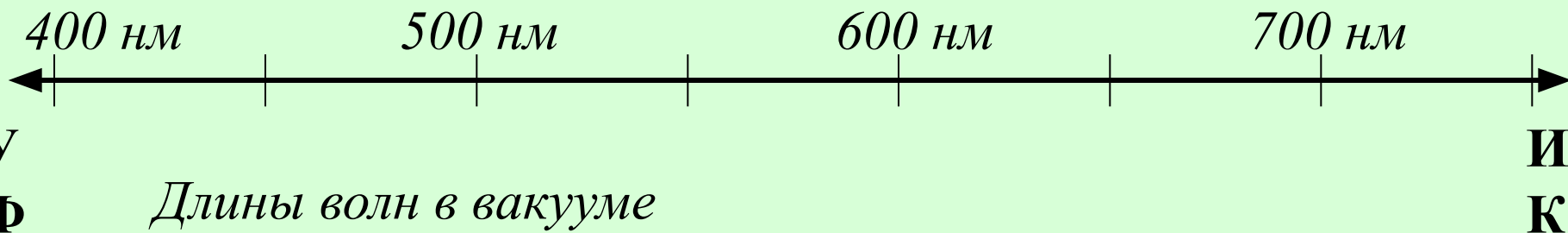
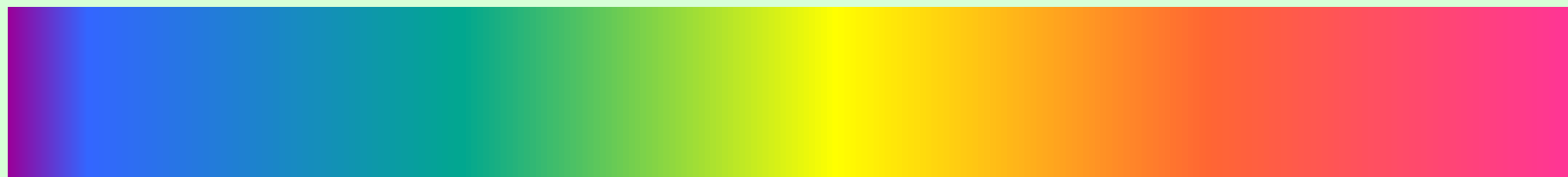
Свет, представляющий собой набор волн различных длин – полихроматичный. (Белый свет является полихроматичным).



# Дисперсия света

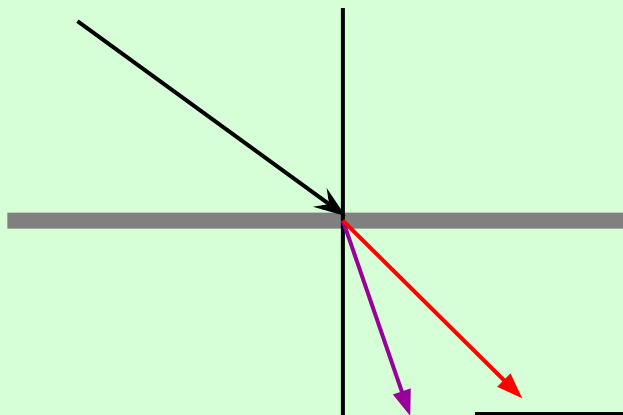
Дисперсия – разложение света в спектр.

От латинского слова *dispersio* – рассеяние.

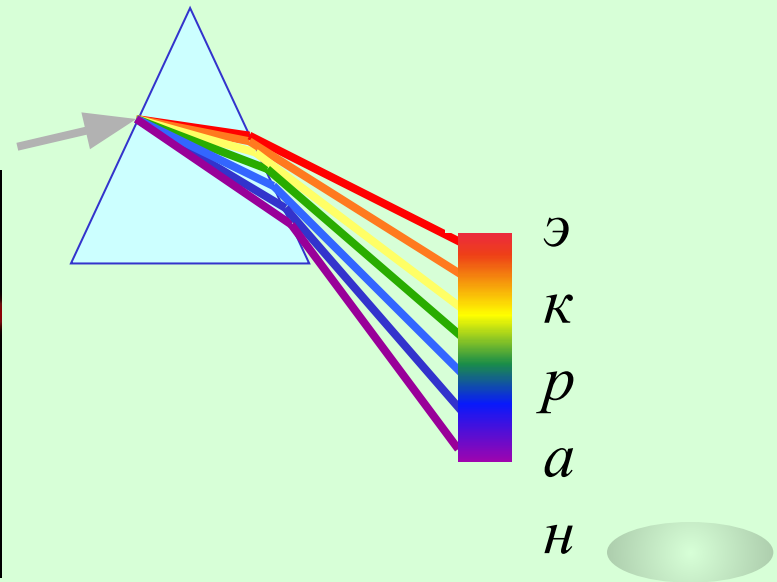


# Дисперсия света

Причиной дисперсии является различие показателей преломления для волн разной длины. (сильнее всего преломляется фиолетовый свет, слабее всего преломляется красный свет).

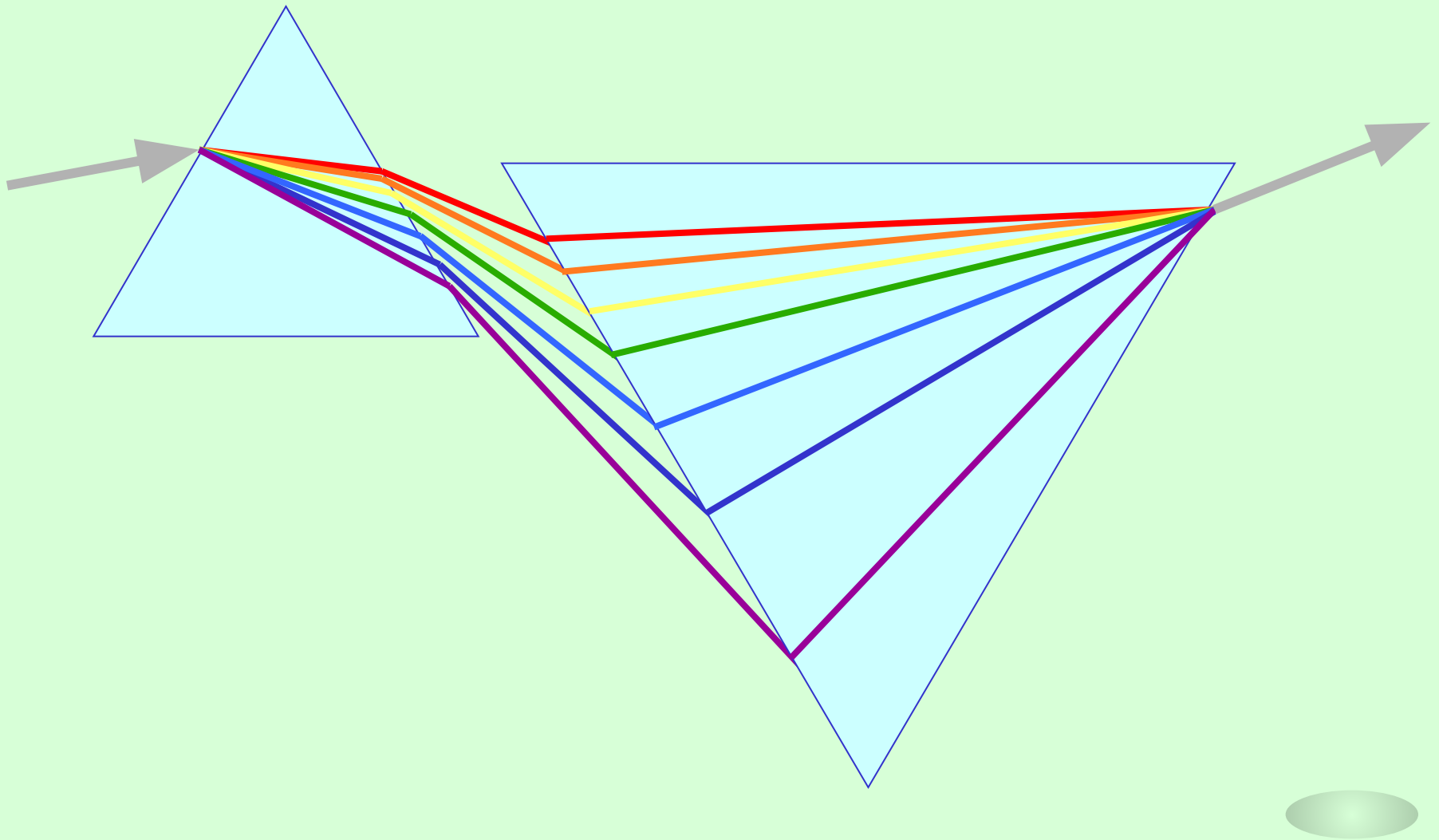


Исаак Ньютон наблюдал дисперсию, пропуская свет через призму.

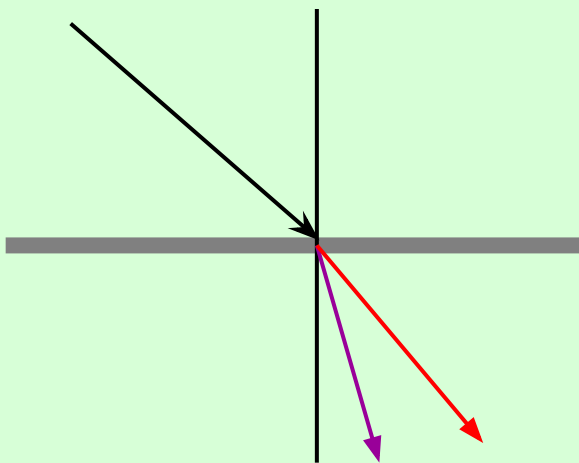




# Дисперсия света



# Дисперсия света



$$\left. \begin{array}{l} n_{\phi} > n_{\kappa\rho} \\ n_{\text{cp}} = \frac{c}{v_{\text{cp}}} \end{array} \right\} v_{\phi} < v_{\kappa\rho}$$

$$v_{\text{cp}} = v \cdot \lambda_{\text{cp}}$$

$$c = v \cdot \lambda_0$$

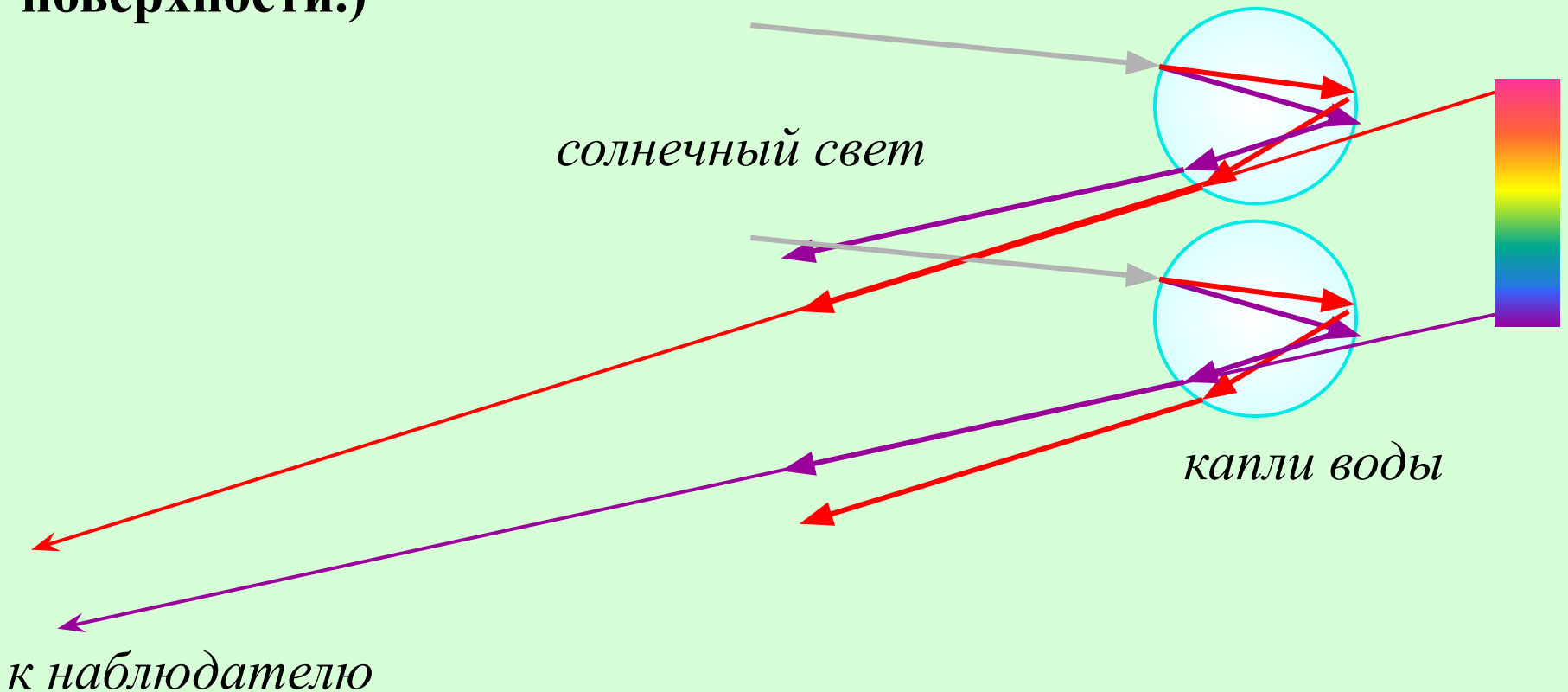
$$v_{\text{cp}} = \frac{c}{n_{\text{cp}}}$$

$$\lambda_{\text{cp}} = \frac{\lambda_0}{n_{\text{cp}}}$$



# Дисперсия света

**Пример дисперсии света – радуга. (Разложение света в спектр происходит из-за преломления лучей сферическими капельками воды и отражения от их внутренней поверхности.)**



# Интерференция света

**Интерференция – явление сложения волн в пространстве.**

**От латинских слов  
inter – взаимно,  
между собой и ferio –  
ударяю, поражаю.**

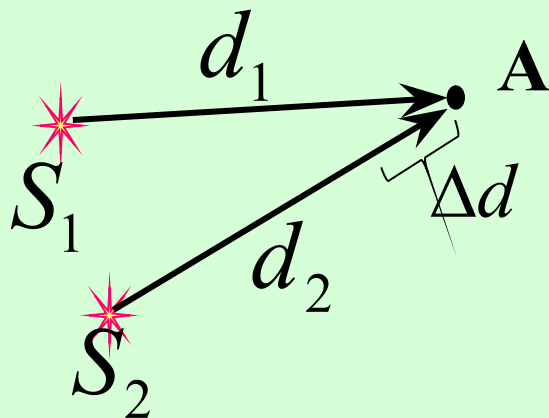


**Для образования устойчивой интерференционной картины необходимо, чтобы источники волн имели одинаковую частоту и разность фаз их колебаний была постоянна.**

**Источники, удовлетворяющие этим условиям, называются когерентными. (От латинского слова cohaerens – взаимосвязанный).**



# Интерференция света

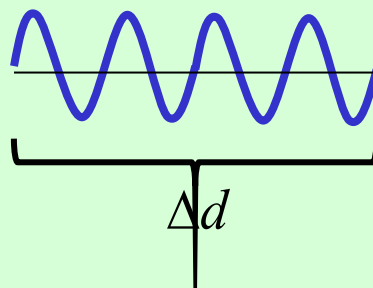
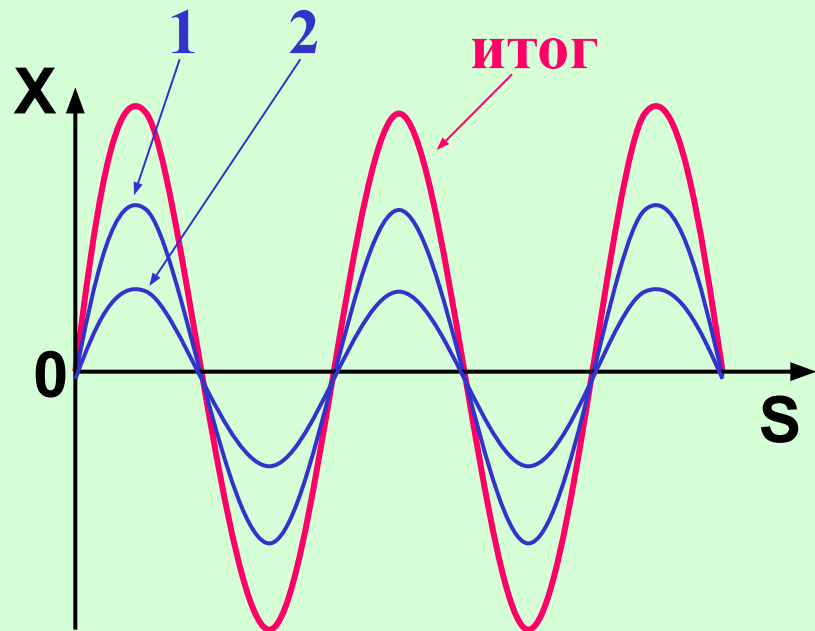


$$\Delta d = d_2 - d_1 - \text{разность хода}$$

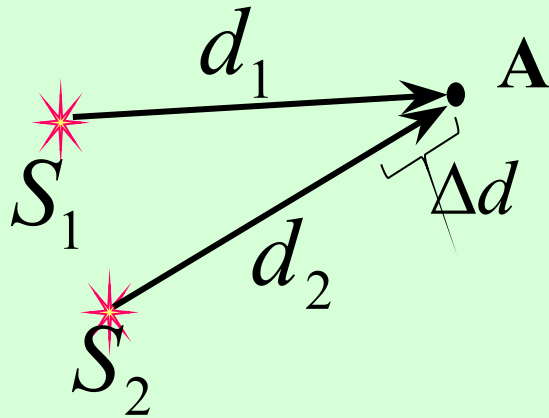
Если волны приходят в точку  $A$  в одинаковой фазе, то в точке  $A$  наблюдается максимум – волны усиливают друг друга.

Условие  $\text{max}$ :  $\Delta d = k\lambda$

$$k = 0, 1, 2, 3, \dots$$

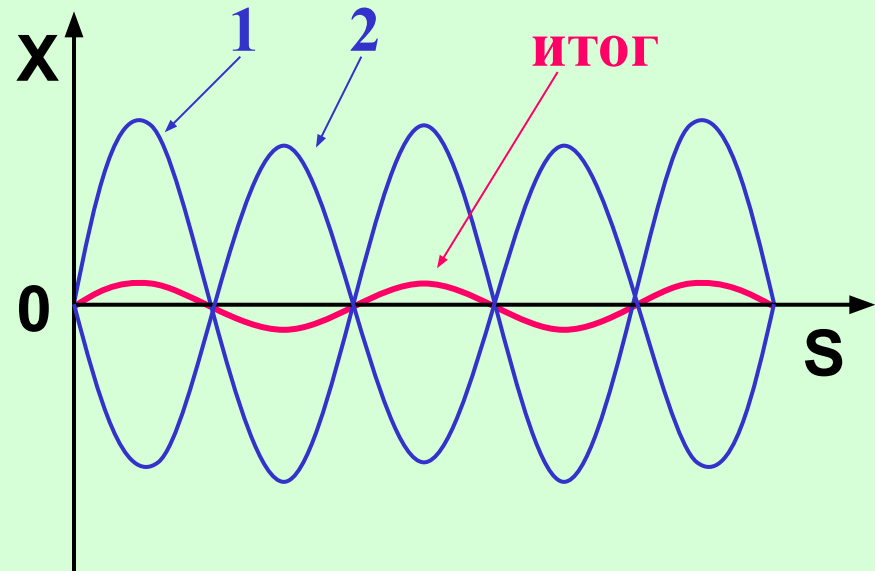


# Интерференция света



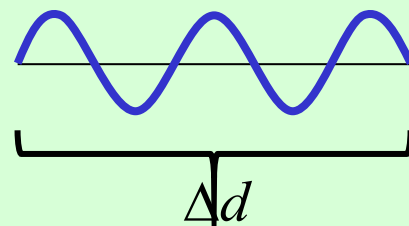
$$\Delta d = d_2 - d_1 - \text{разность хода}$$

Если волны приходят в точку  $A$  в противоположных фазах, то в точке  $A$  наблюдается минимум – волны ослабляют друг друга.

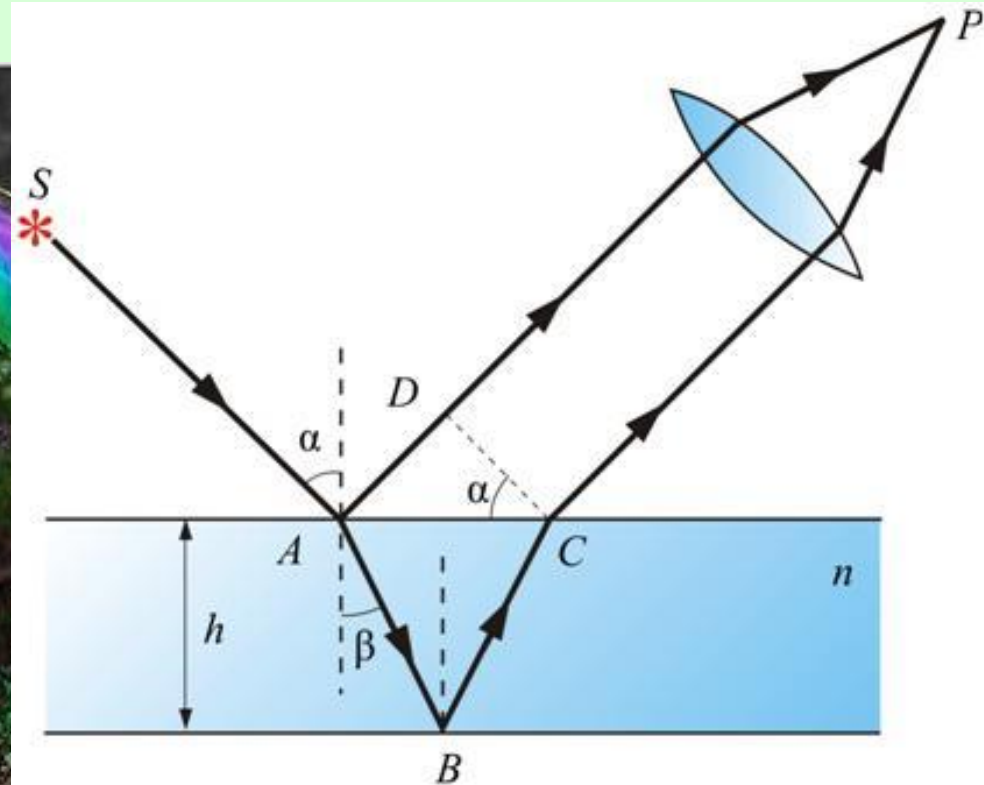
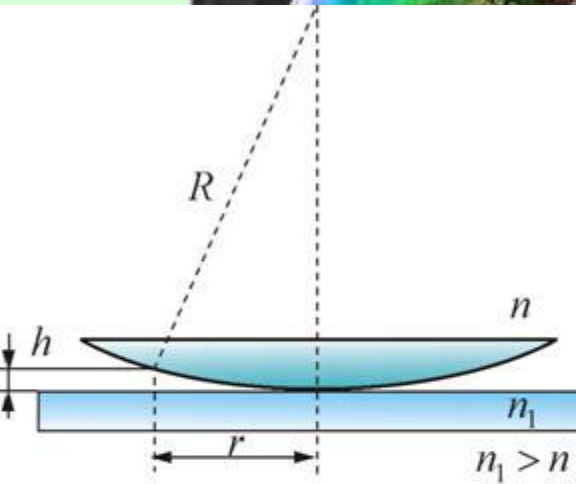


$$\text{Условие min: } \Delta d = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$

$$k = 0, 1, 2, 3, \dots$$

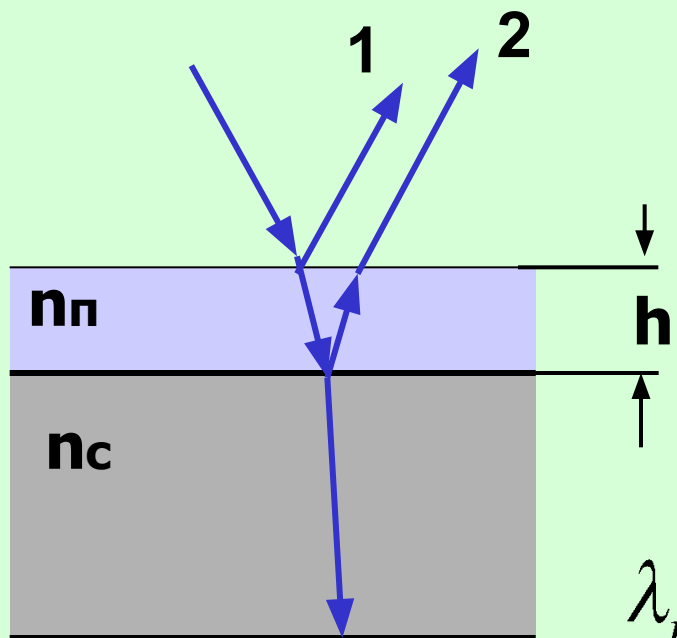


# Интерференция света



# Интерференция света

Одно из применений интерференции – просветление оптики.



$$n_{\text{пленки}} < n_{\text{стекла}}$$

$$\lambda_{\text{пленки}} = \frac{\lambda}{n_{\text{пленки}}}$$

$$2h = \frac{\lambda_{\text{пленки}}}{2} = \frac{\lambda}{2n_{\text{пленки}}}$$

$$h = \frac{\lambda}{4n_{\text{пленки}}}$$





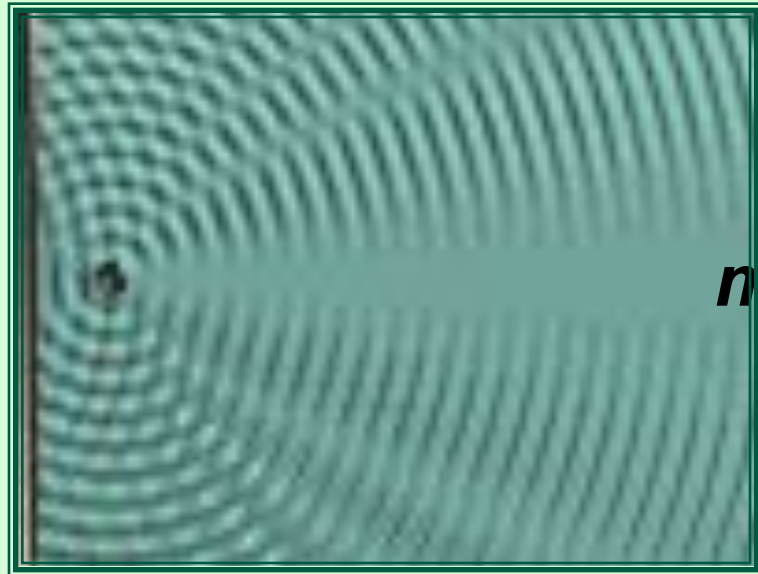
# Дифракция

**Дифракция – явление огибания волной препятствия.**

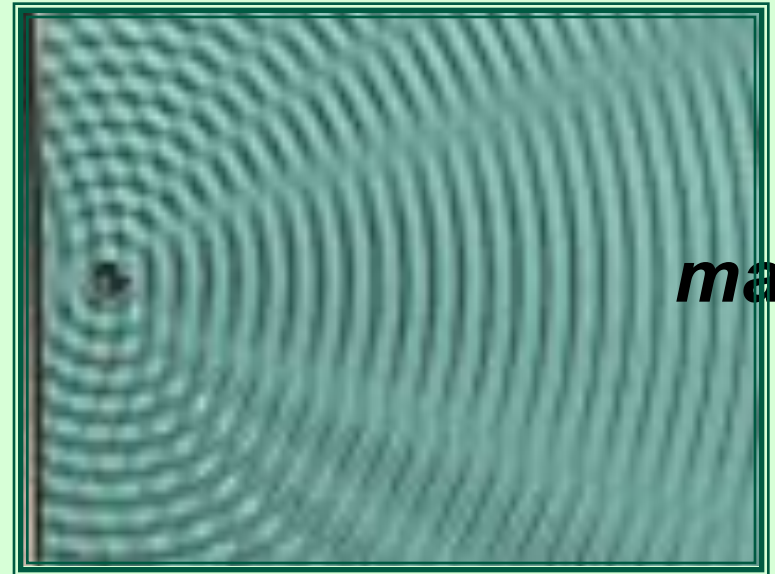
**От латинского слова difraktus – разломанный.**



# Дифракция



*min*

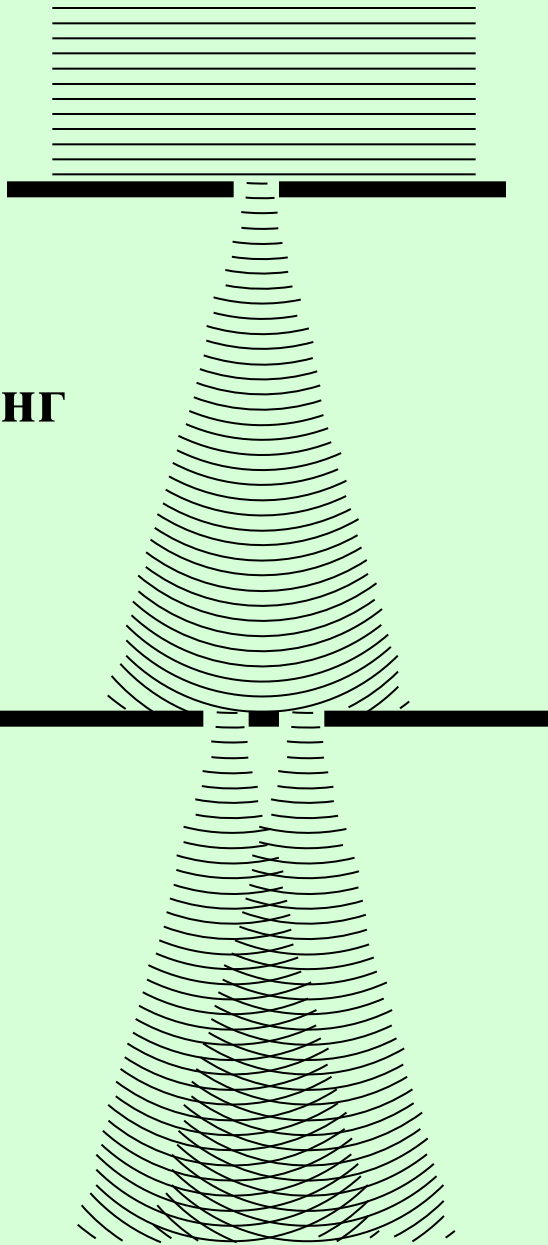


*max*

**Дифракция – результат интерференции вторичных волн.**



# Дифракция света



Изменяется ширина щелей

1802 г.

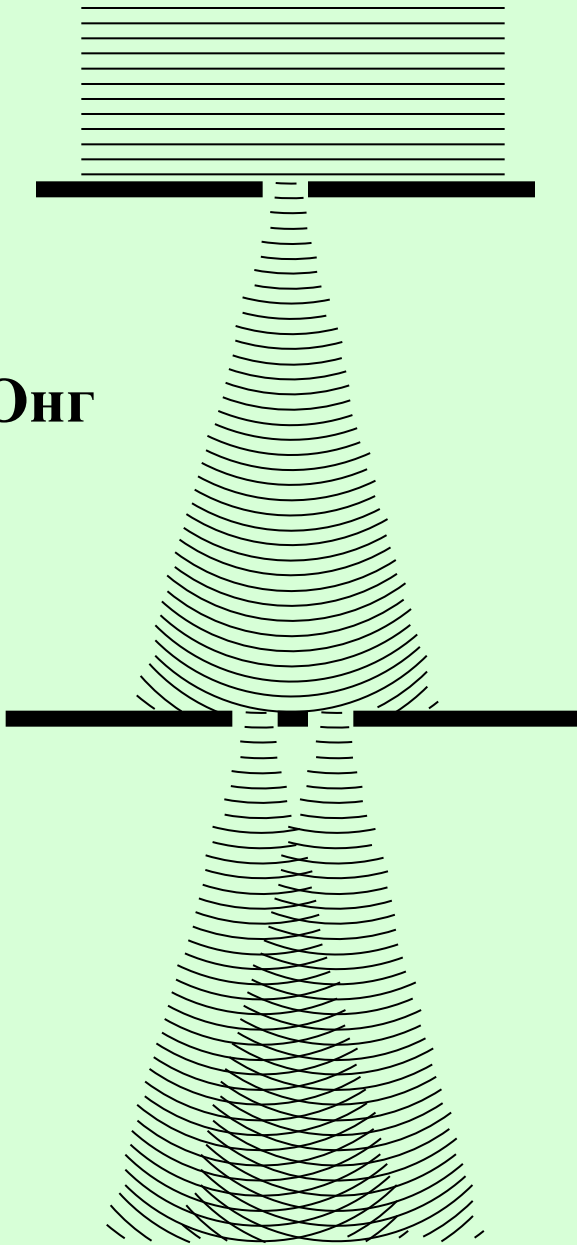
Томас Юнг



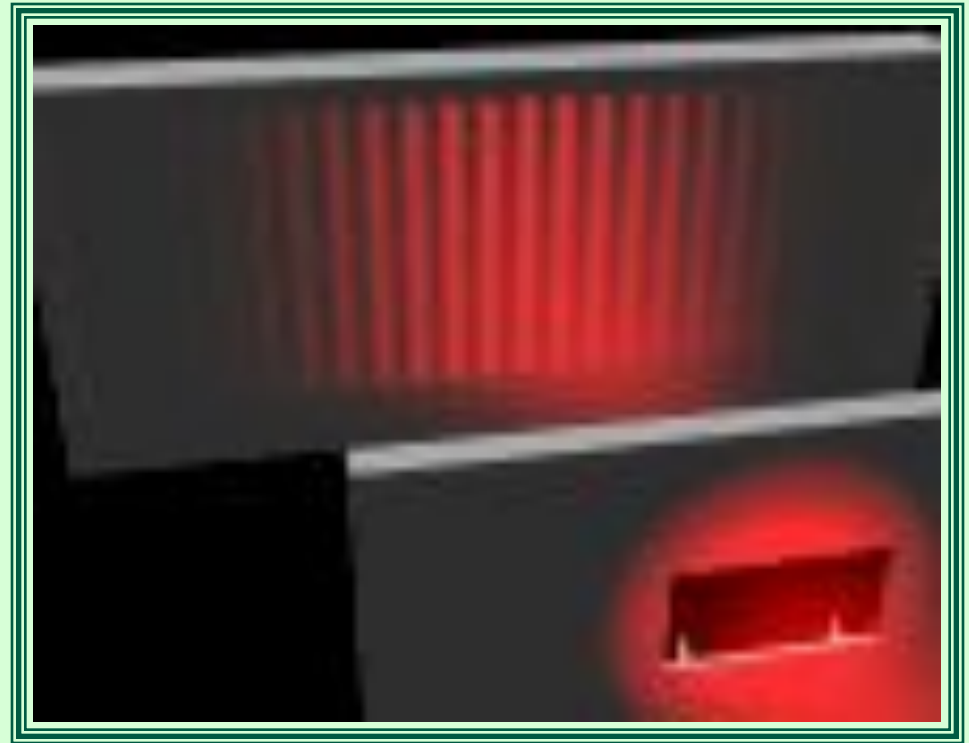
# Дифракция света

1802 г.

Томас Юнг

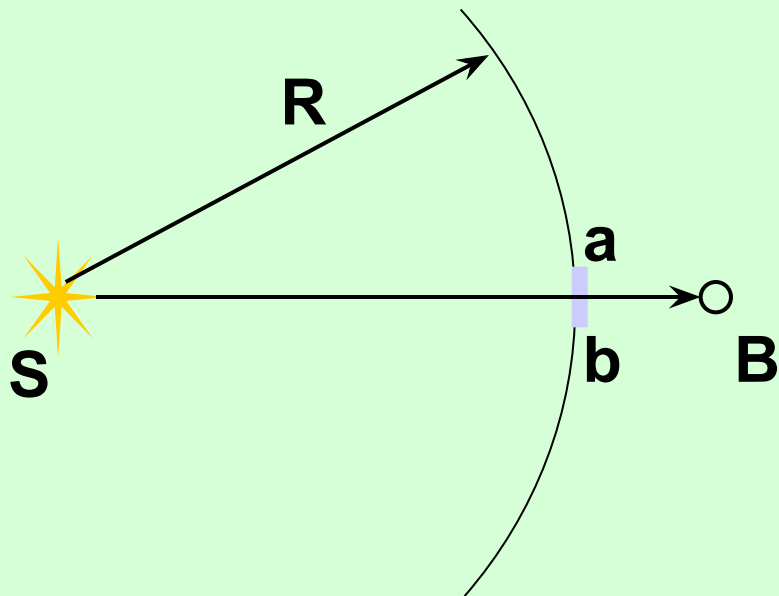


Изменяется расстояние  
между щелями



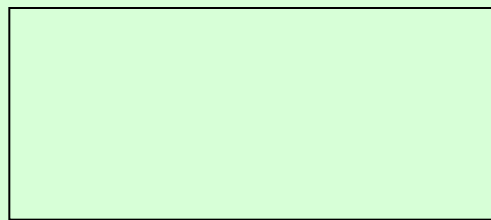
# Дифракция света

**Принцип Гюйгенса – Френеля: волновая поверхность в любой момент времени представляет собой не просто огибающую вторичных волн, а результат их интерференции.**

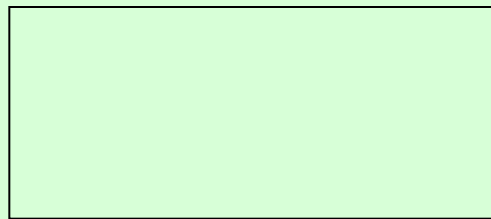


# Дифракционная решетка

Дифракционная решетка представляет собой совокупность большого числа узких щелей, разделенных непрозрачными промежутками.

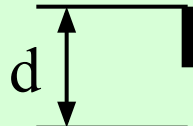


$d_1$



$d_2$

$d_1 > d_2$



$d$

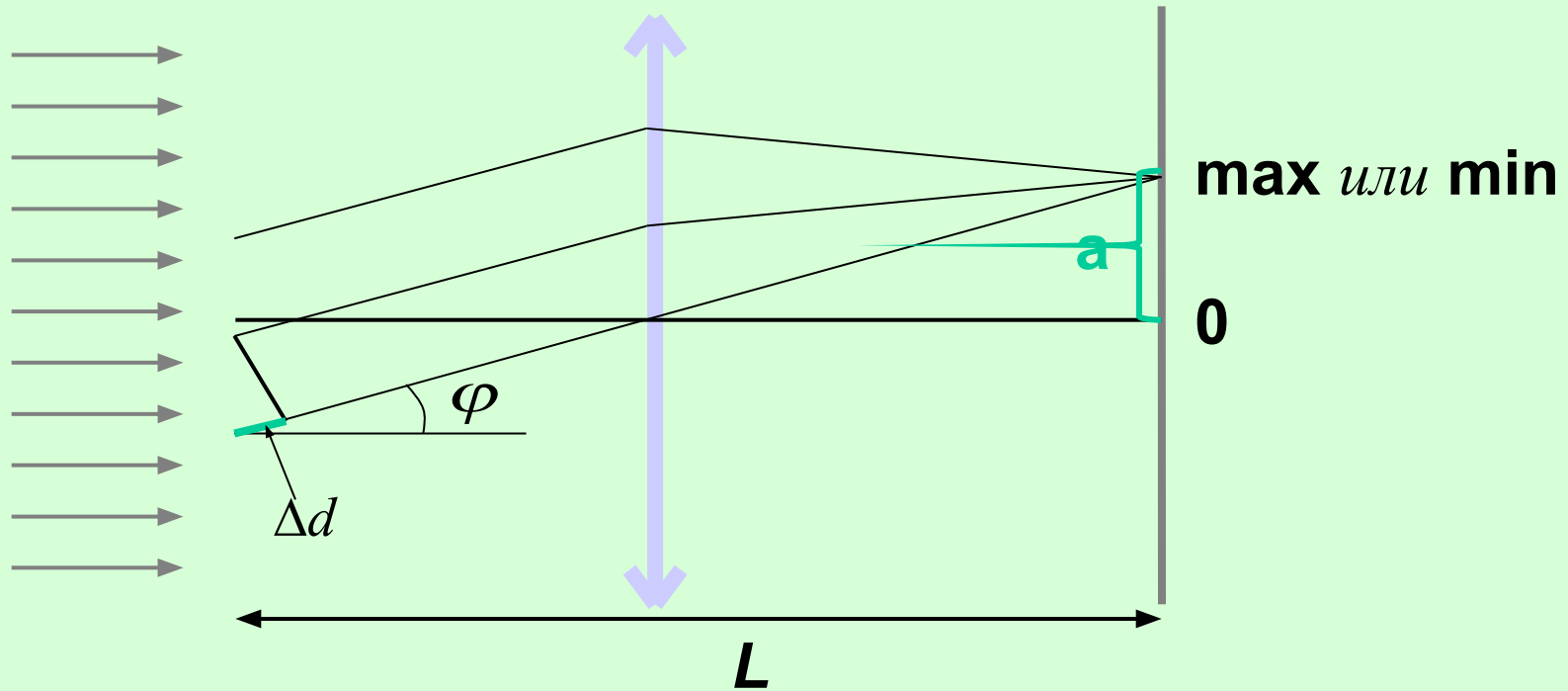
$d$  – период (постоянная) дифракционной решетки.

$$d = \frac{1}{N} \quad [d] = \text{м}$$

$N$  – число штрихов на 1 м.



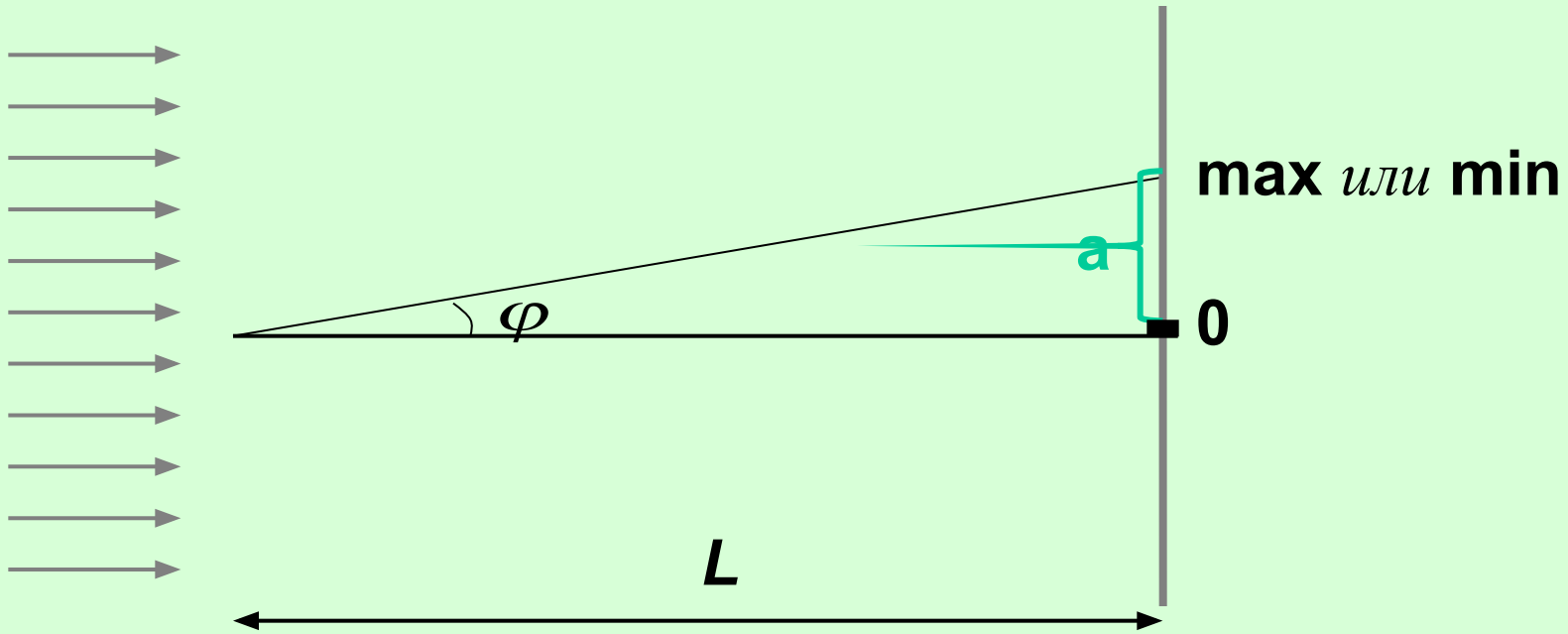
# Дифракционная решетка



$$\left. \begin{aligned} \Delta d &= k\lambda \\ \Delta d &= d \cdot \sin \varphi \end{aligned} \right\} d \cdot \sin \varphi = k\lambda$$



# Дифракционная решетка



$$d \cdot \sin \varphi = k\lambda$$

$$\sin \varphi \sim \lambda$$

$$\sin \varphi = \frac{a}{L}$$

$$\sin \varphi = \frac{\Delta d}{d}$$

$$a = \frac{\Delta d L}{d}$$





# Дифракционная решетка

3 min

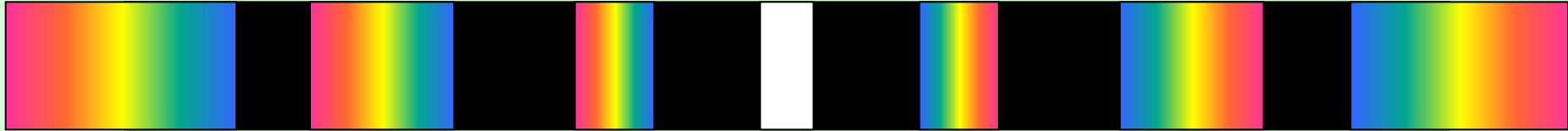
2 min

1 min

1 min

2 min

3 min



3 max

2 max

1 max

главный  
max

1 max

2 max

3 max

$$d \cdot \sin \varphi = k\lambda$$

$$\Delta d = k\lambda$$

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

$$\sin \varphi \sim \lambda$$

$$\text{гл. max} : k = 0$$

$$1 \text{ min} : k = 0$$

$$1 \text{ max} : k = 1$$

$$2 \text{ min} : k = 1$$

$$2 \text{ max} : k = 2$$

$$3 \text{ min} : k = 2$$

.....

.....

$$n \text{ max} : k = n$$

$$n \text{ min} : k = (n - 1)$$

# Дифракционная решетка

*3 min*

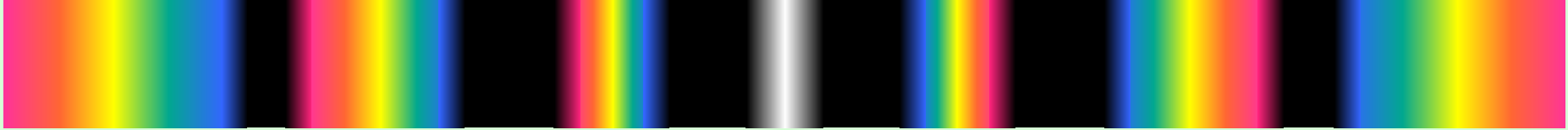
*2 min*

*1 min*

*1 min*

*2 min*

*3 min*



*3 max*

*2 max*

*1 max*

главный  
*max*

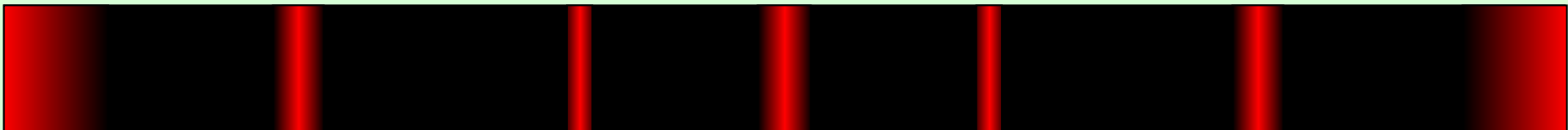
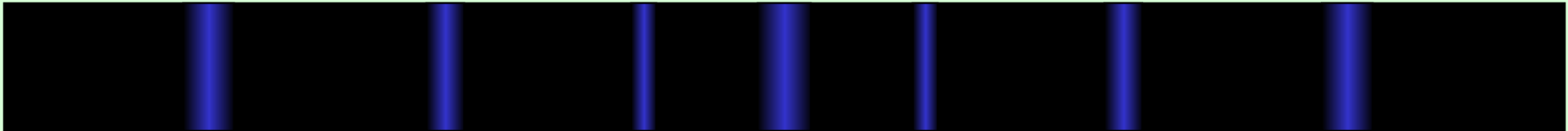
*1 max*

*2 max*

*3 max*

$$d \cdot \sin \varphi = k\lambda$$

$$\sin \varphi \sim \lambda$$



# Дифракционная решетка

Максимальный порядок спектра.

$$d \cdot \sin \varphi = k\lambda$$

$$\varphi_{\max} = 90^{\circ} \Rightarrow \sin \varphi_{\max} = 1$$

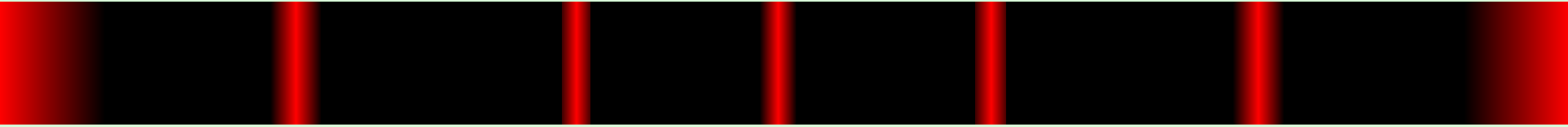
$$d \cdot 1 = k_{\max} \lambda$$

$$k_{\max} = \frac{d}{\lambda}$$

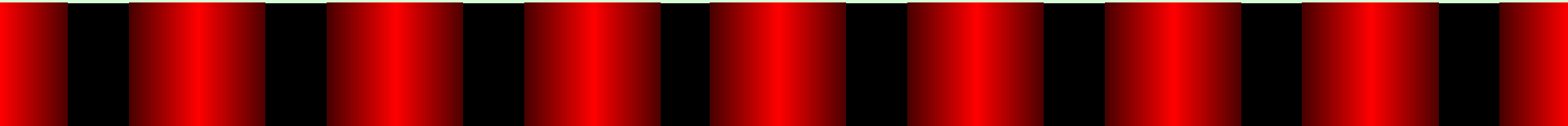


# Дифракционная решетка

Дифракционная картина от дифракционной решетки:

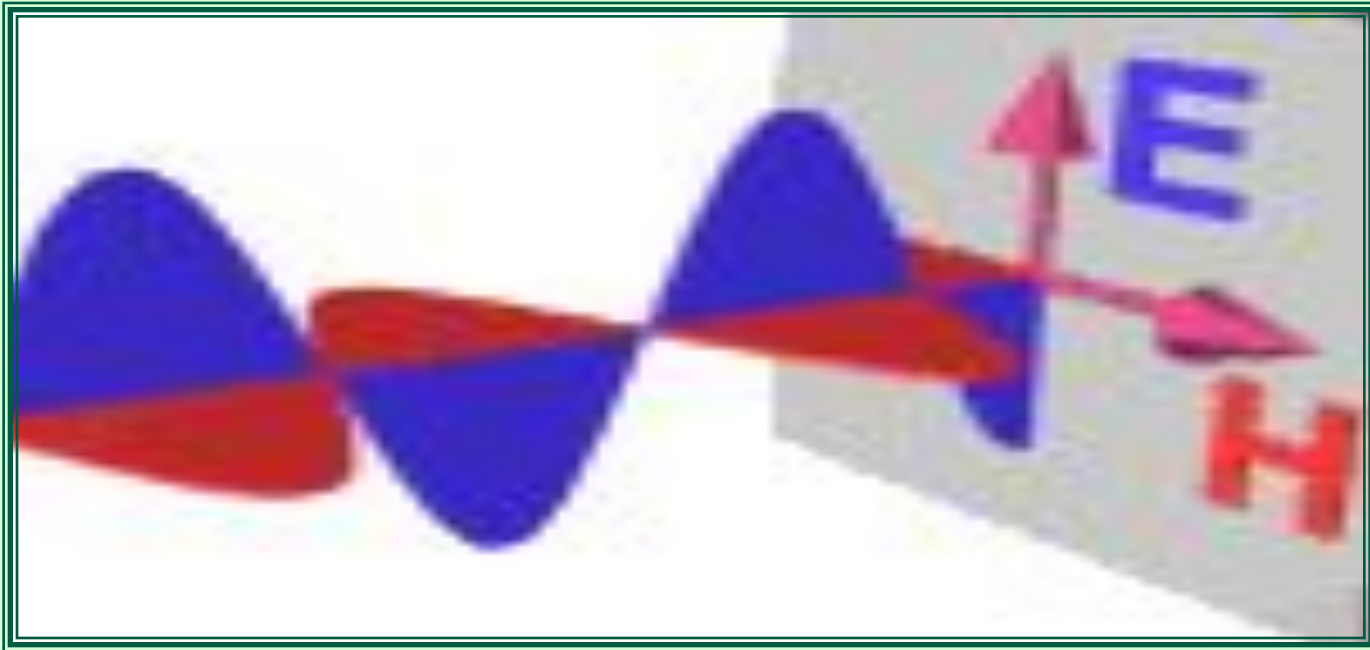


Дифракционная картина от двух щелей:



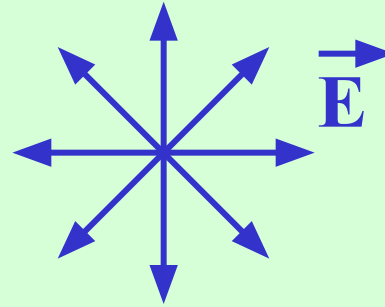
# Поляризация света

Свет – электромагнитная волна – поперечная волна.

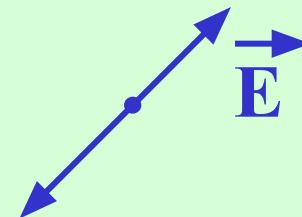
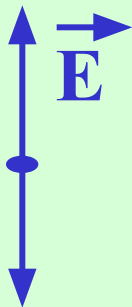


# Поляризация света

**Естественный (неполяризованный) свет – свет, в котором присутствуют все возможные направления вектора напряженности.**



**Поляризованный свет – свет, в котором присутствует только одно направление вектора напряженности.**



# Поляризация света

**Свет поляризуется**

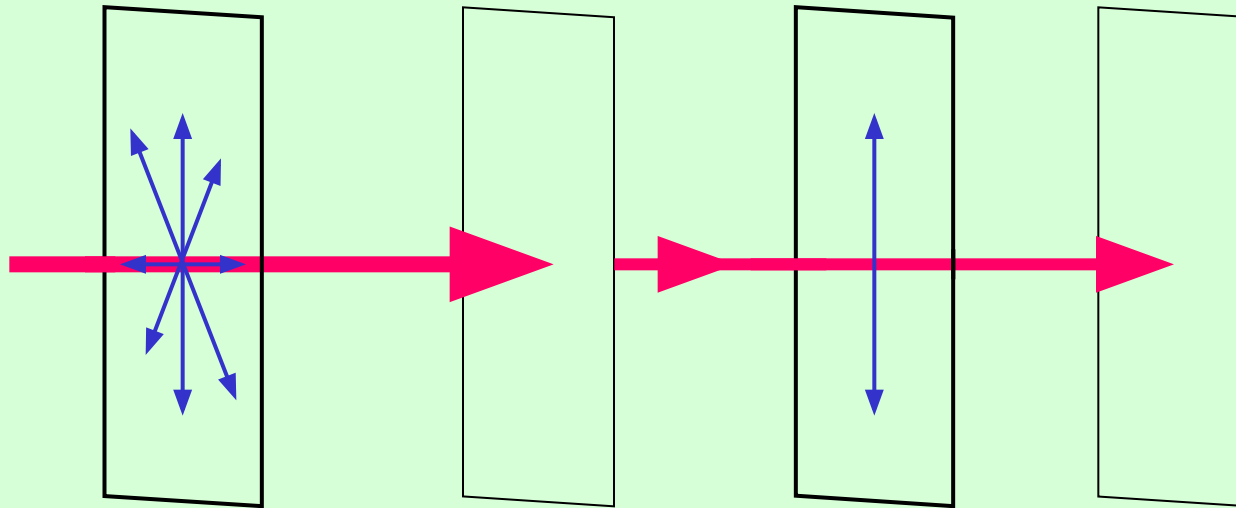
**-при прохождении через поляроид**

**-при отражении и преломлении**



# Поляризация света

Свет поляризуется при прохождении через поляроид.



*Свет не  
проходит*

*Неполяризованный  
свет*

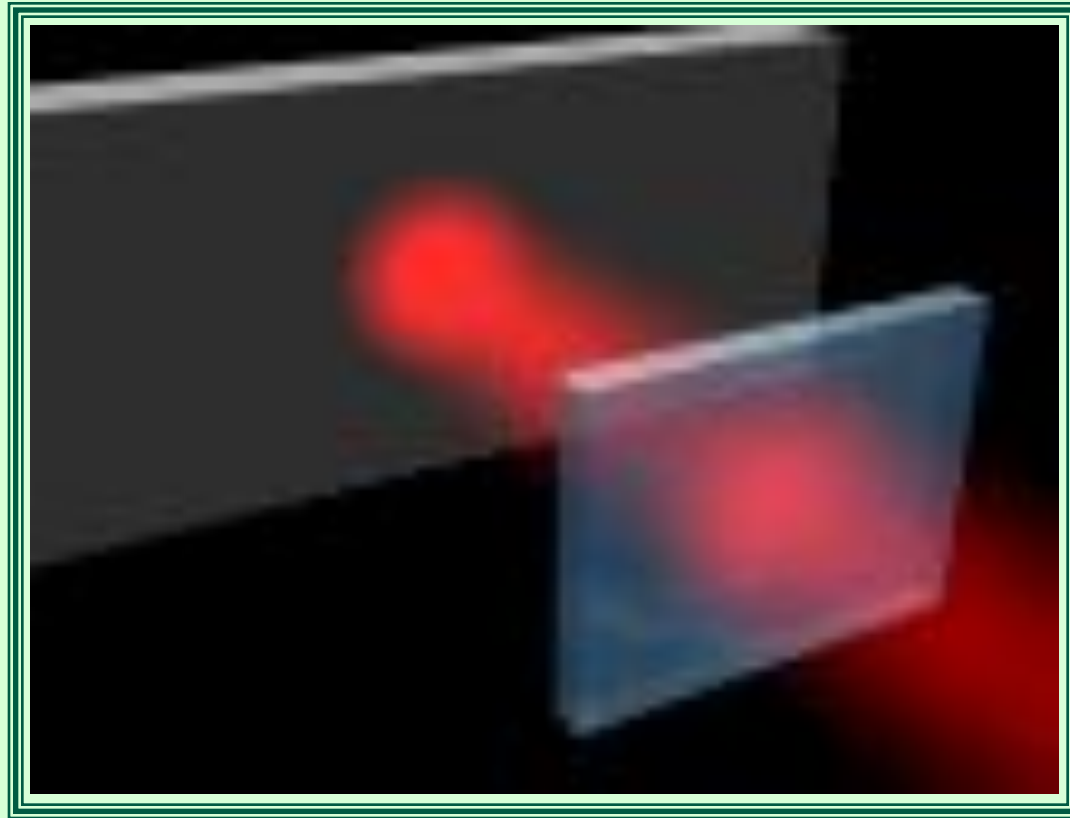
*Поляризованный  
свет*





# Поляризация света

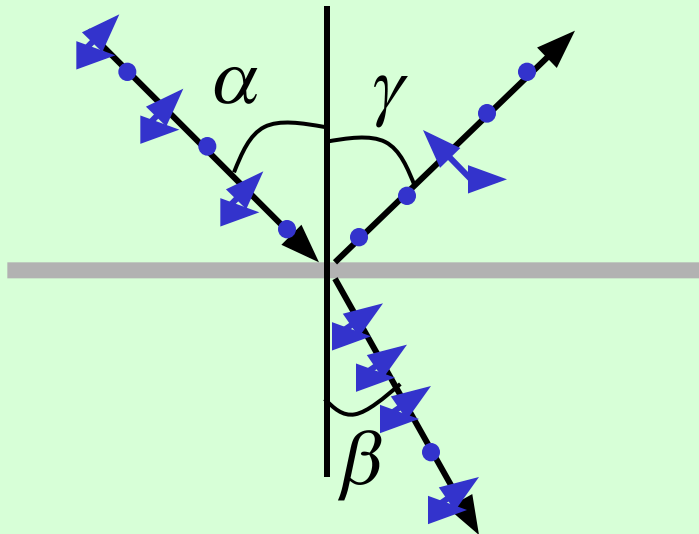
**Поляроид – вещество, вызывающее поляризацию света.**



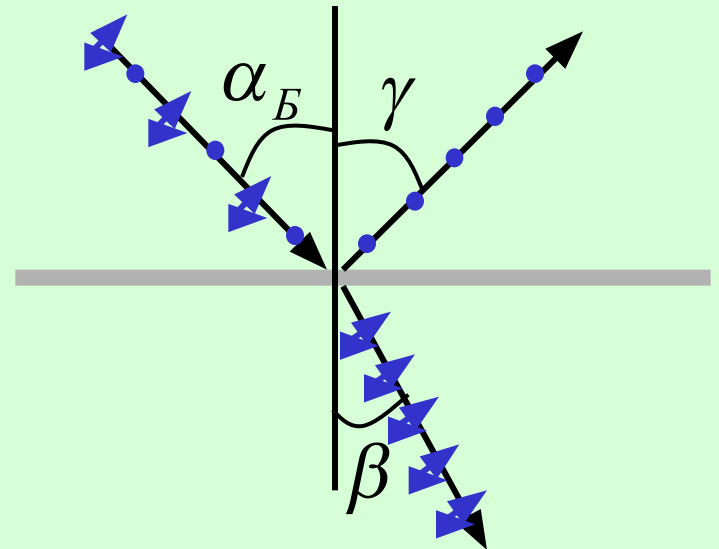
# Поляризация света

При отражении и преломлении свет поляризуется.

Частичная поляризация



Полная поляризация



$\alpha = \alpha_B$  - угол Брюстера

$$\operatorname{tg} \alpha_B = 1$$

$$\alpha + \beta = 90^\circ$$

