

Оптика

Оптика

- Природа света



- Скорость света



- Геометрическая оптика

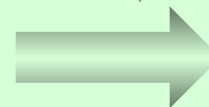
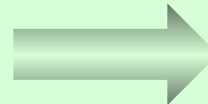
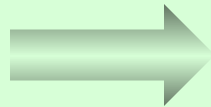
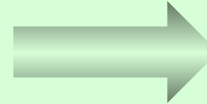
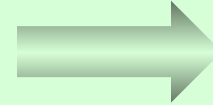


- Волновая оптика



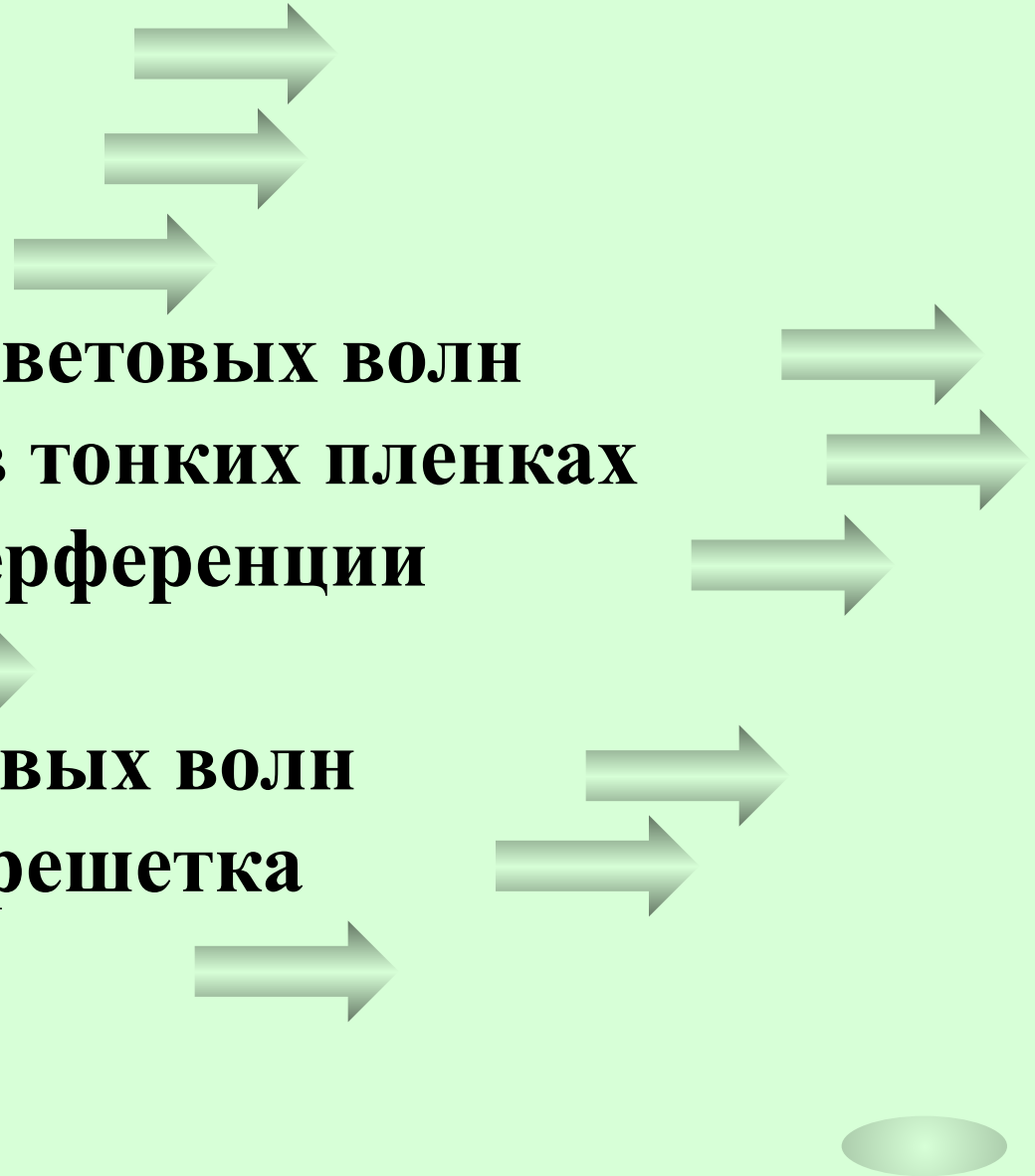
Геометрическая оптика

- 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

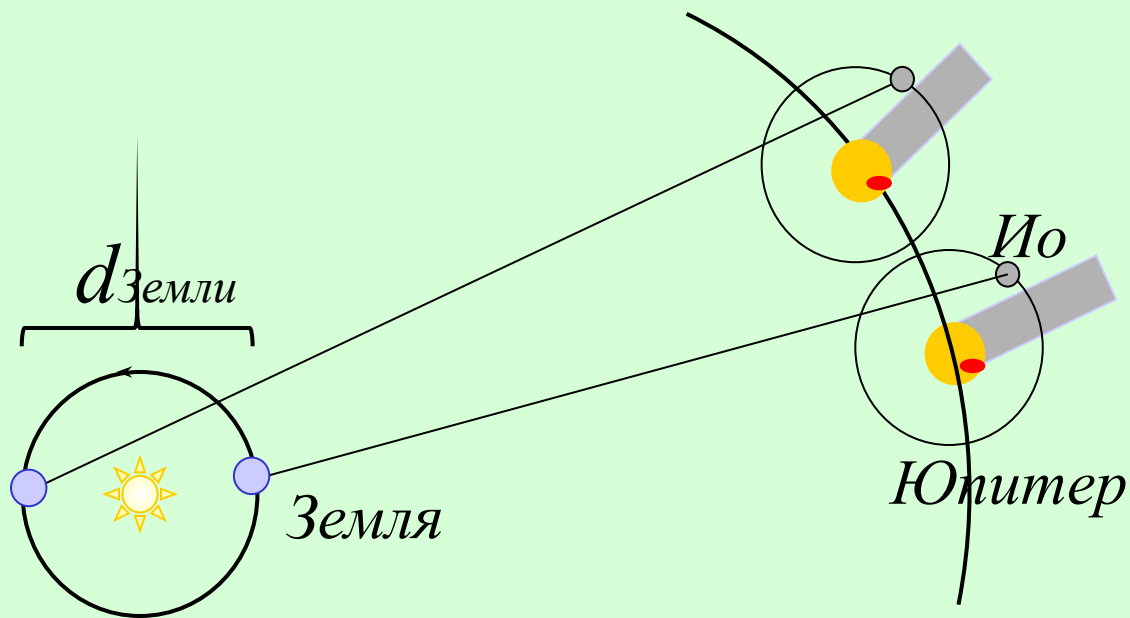
Макс Планк — квантовая природа света



Скорость света

1676 г.

Оле Рёмер



Период обращения Земли – 1 год

Период обращения Юпитера – 11,9 лет

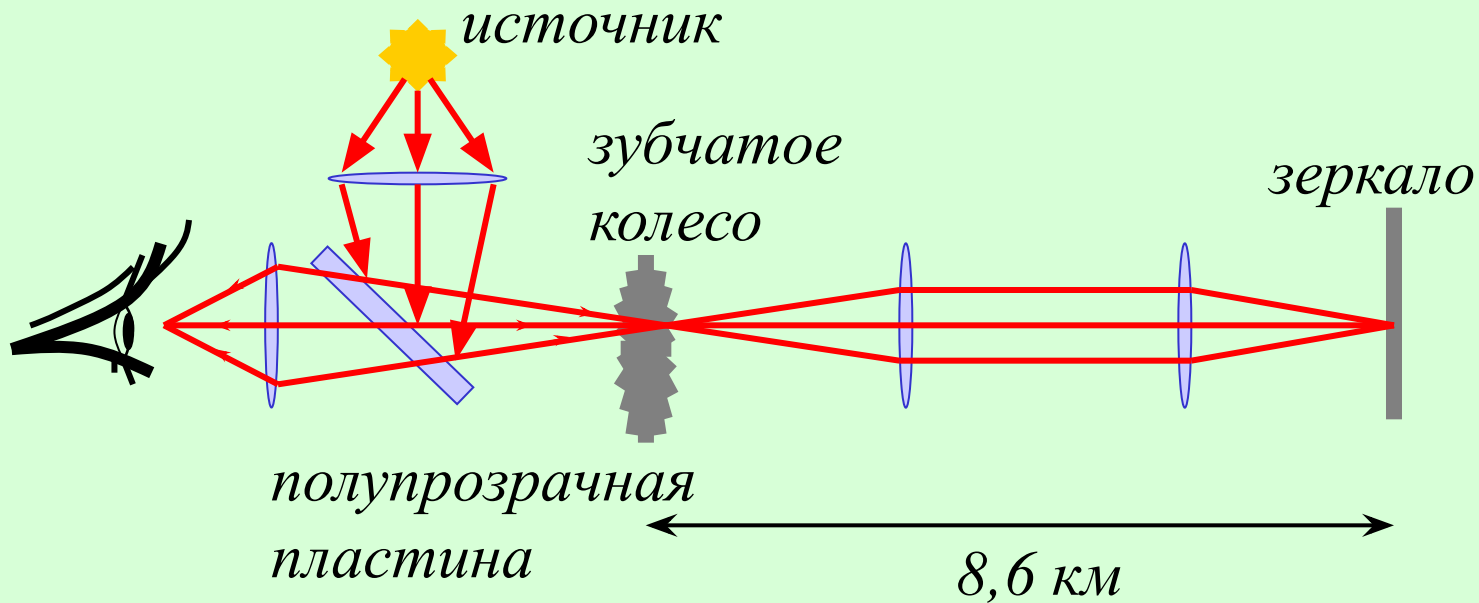
$$v_{\text{света}} = \frac{22 \text{ мин}}{d_{\text{Земли}}} = 215000 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$

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

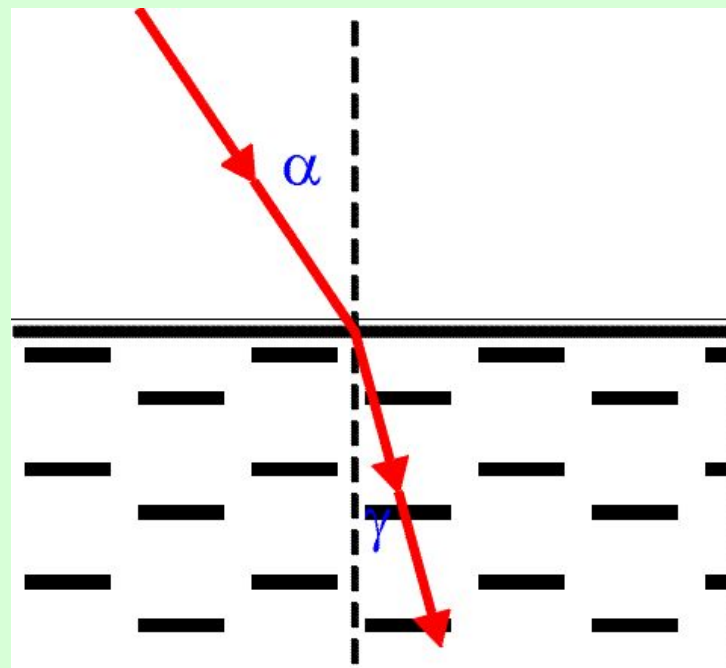
$$v_{\text{света}} = c = 299792458 \frac{\mathcal{M}}{c} \approx 3 \cdot 10^8 \frac{\mathcal{M}}{c}$$



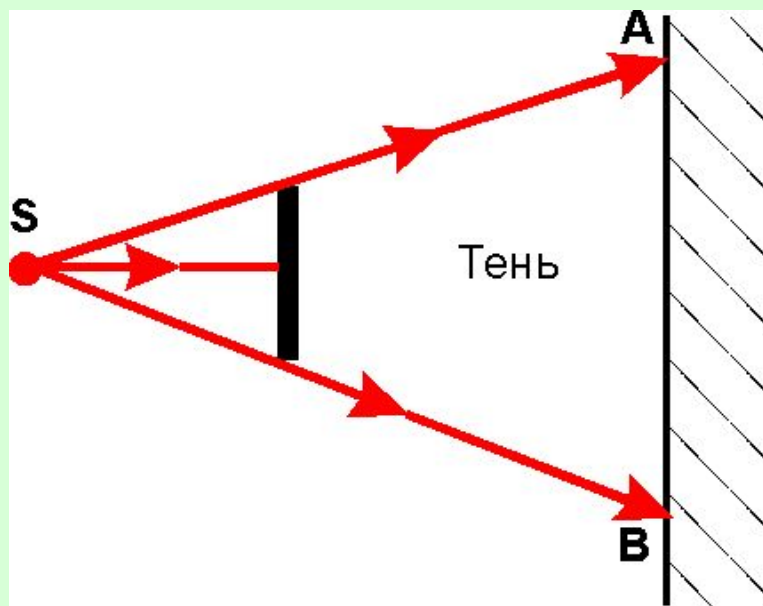
Распространение света

В однородной среде свет распространяется прямолинейно.

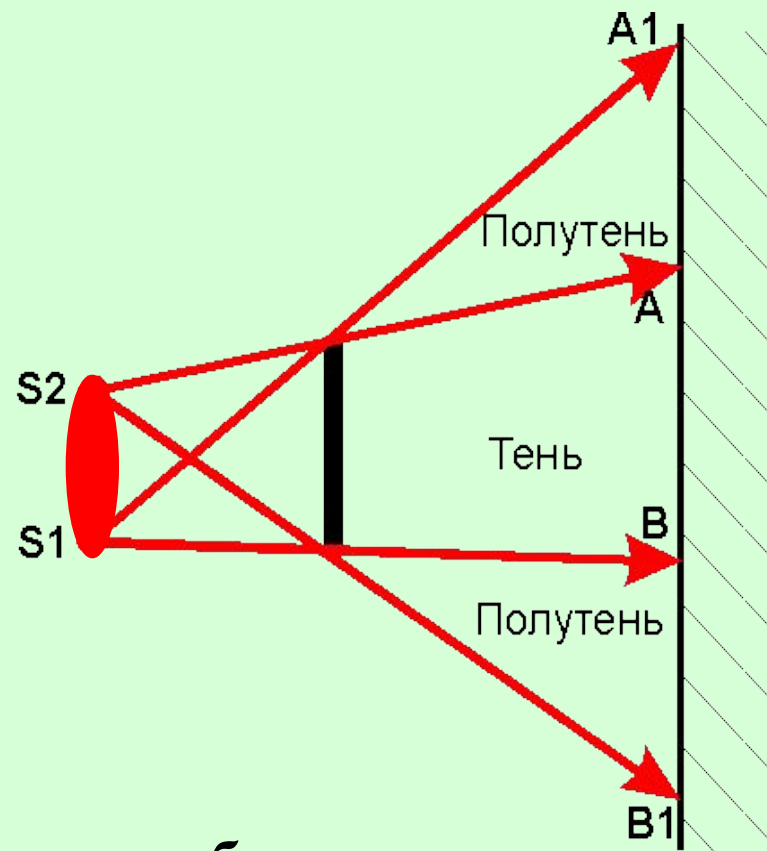
На границе двух сред свет меняет свое направление – преломляется.



Образование тени и полутени



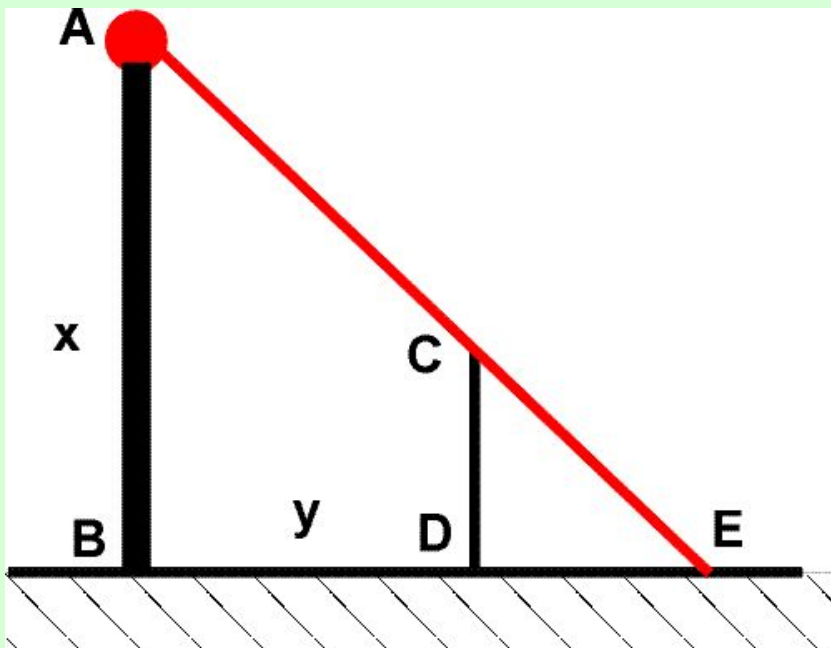
Тень образуется, если размер источника меньше размера препятствия.



Полутень образуется, если размер источника больше размера препятствия.



Образование тени и полутени



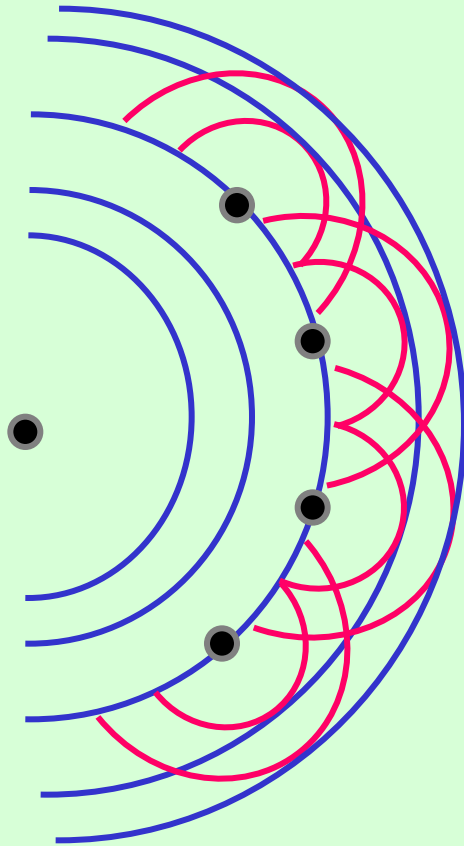
$$\frac{AB}{CD} = \frac{BE}{DE} = \frac{BD + DE}{DE}$$



Принцип Гюйгенса

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

точечный
источник



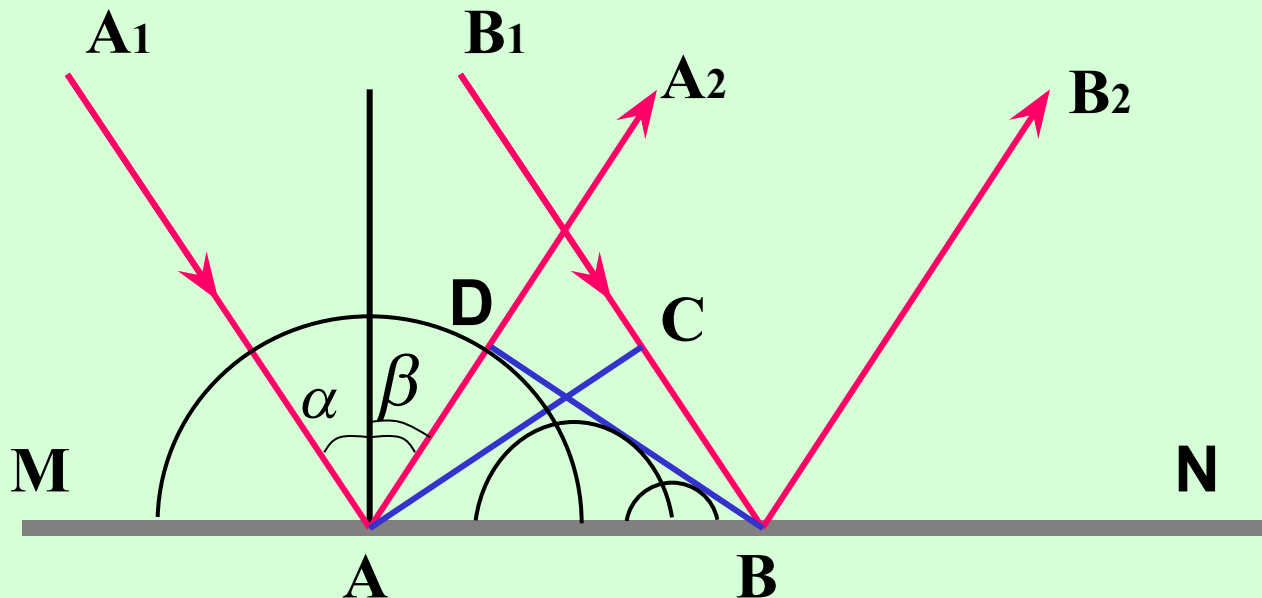
**Фронт первичной волны
– это огибающая
фронтов вторичных
волн.**



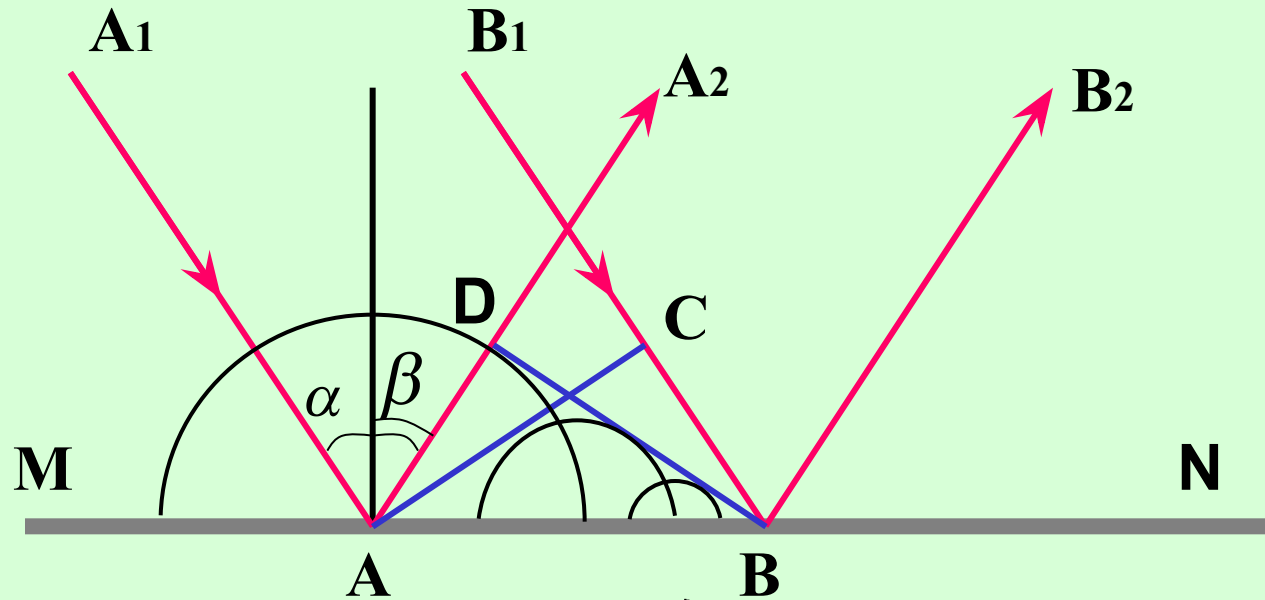
Отражение света

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

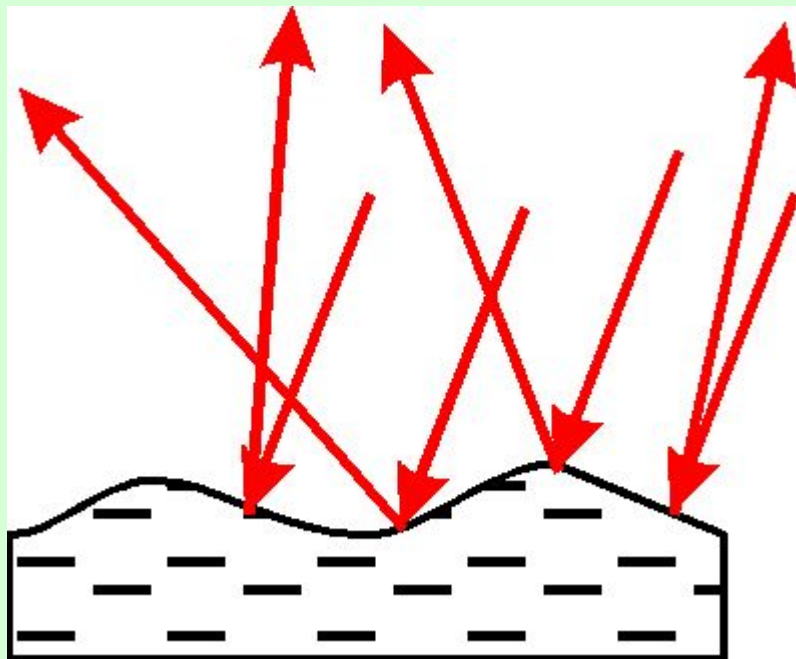


$$\left. \begin{aligned} AD &= v\Delta t = CB \\ \angle ADB &= 90^\circ \\ \angle BCA &= 90^\circ \end{aligned} \right\} \angle DBA = \angle CAB$$

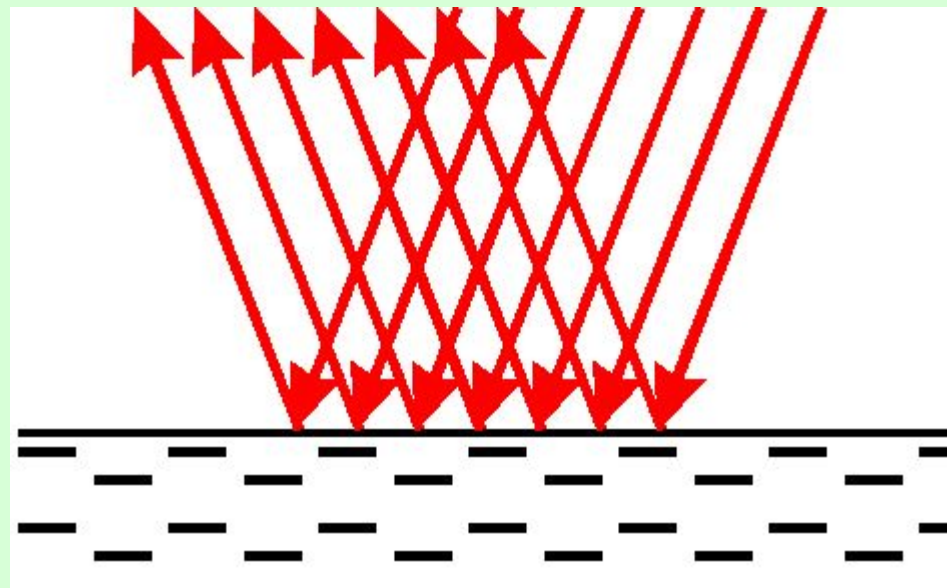
$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \angle CAB \\ \beta &= \angle DBA \end{aligned} \right\} \alpha = \beta$$

Отражение света

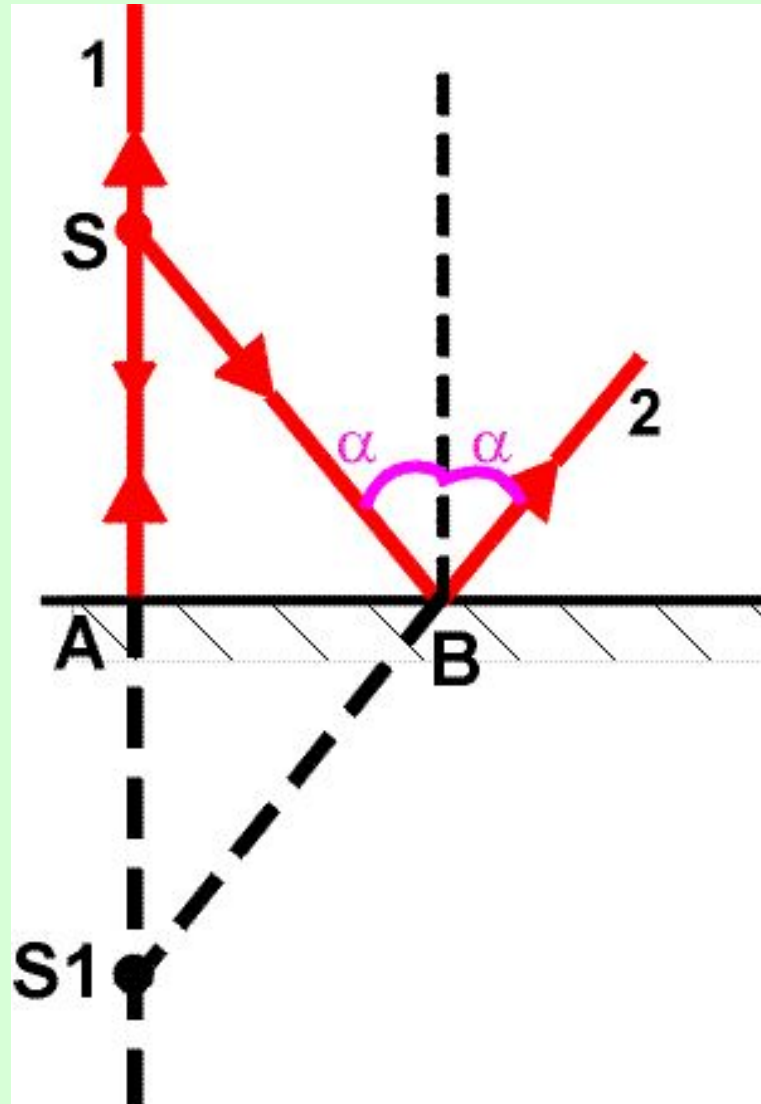
Рассеянное отражение
(шероховатая поверхность)



Зеркальное отражение
(гладкая поверхность)

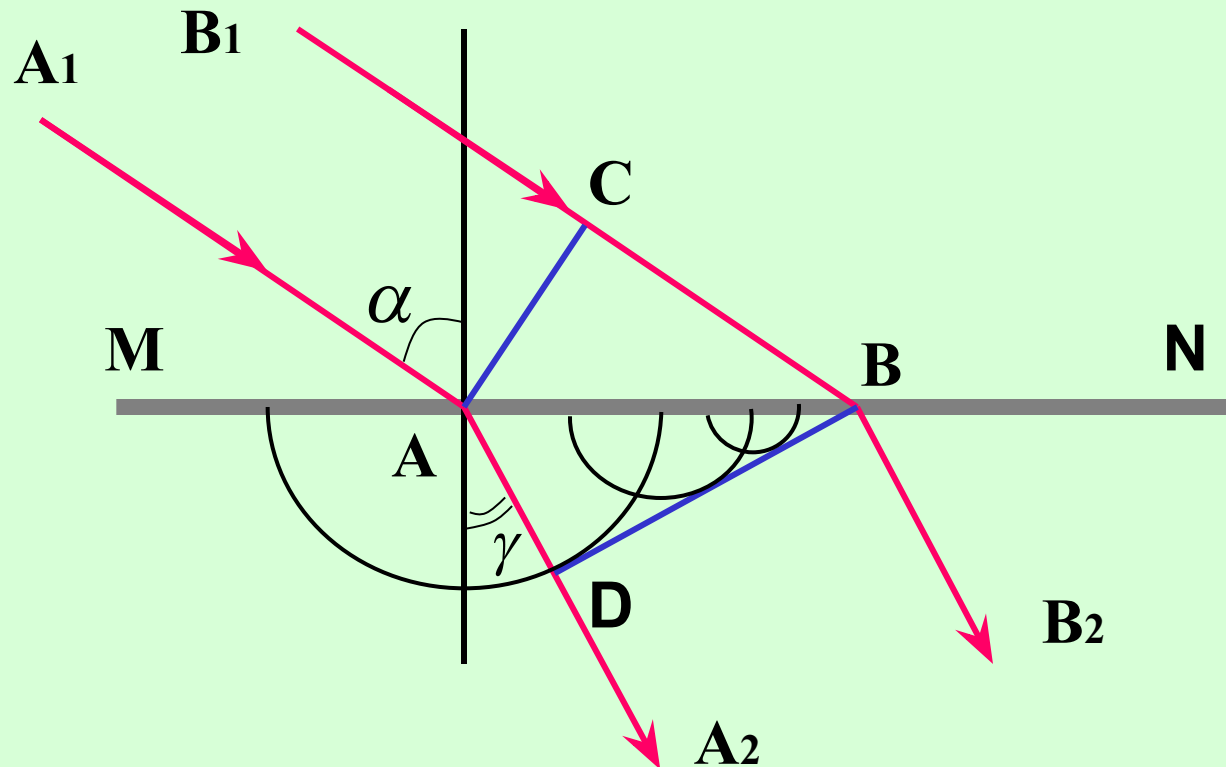


Плоское зеркало



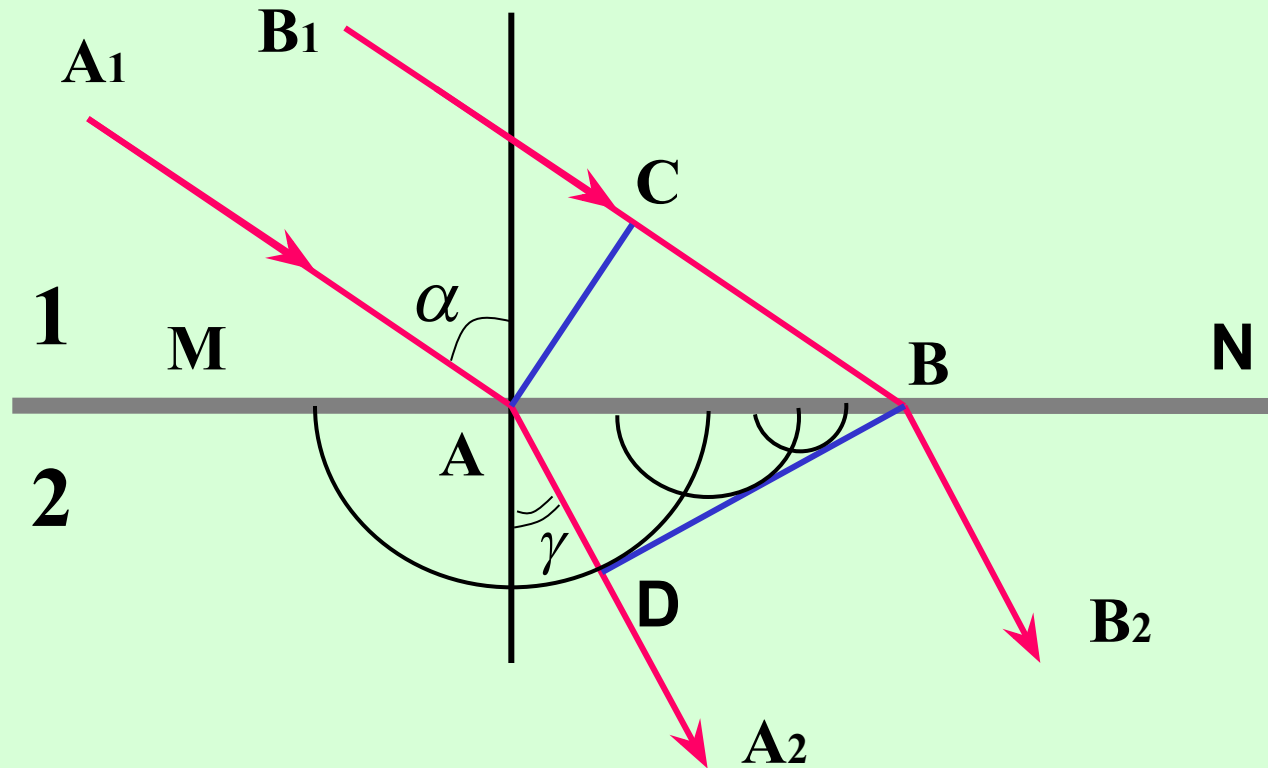
Преломление света

Закон преломления света: луч падающий на поверхность, луч преломленный и перпендикуляр, восстановленный 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



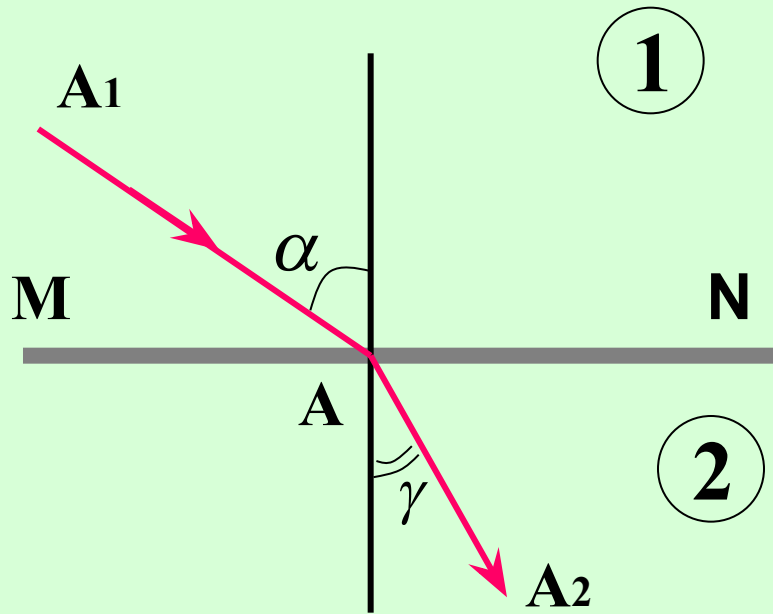
$$\left. \begin{aligned} CB = v_1 \Delta t = AB \sin \alpha \\ AD = v_2 \Delta t = AB \sin \gamma \end{aligned} \right\} \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{v_1}{v_2} = n$$

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

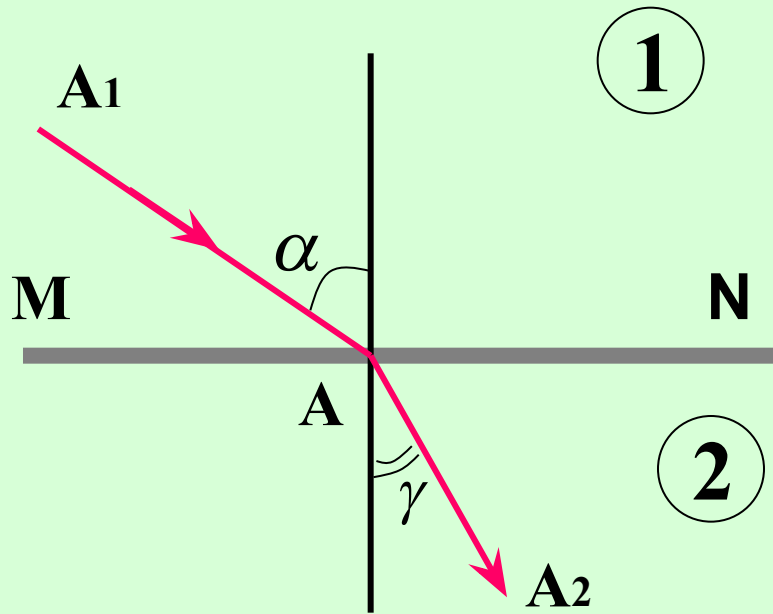
$$\left. \begin{aligned} n_1 &= \frac{c}{v_1} \\ n_2 &= \frac{c}{v_2} \end{aligned} \right\} n_{12} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\frac{c}{n_1}}{\frac{c}{n_2}} = \frac{n_2}{n_1}$$

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

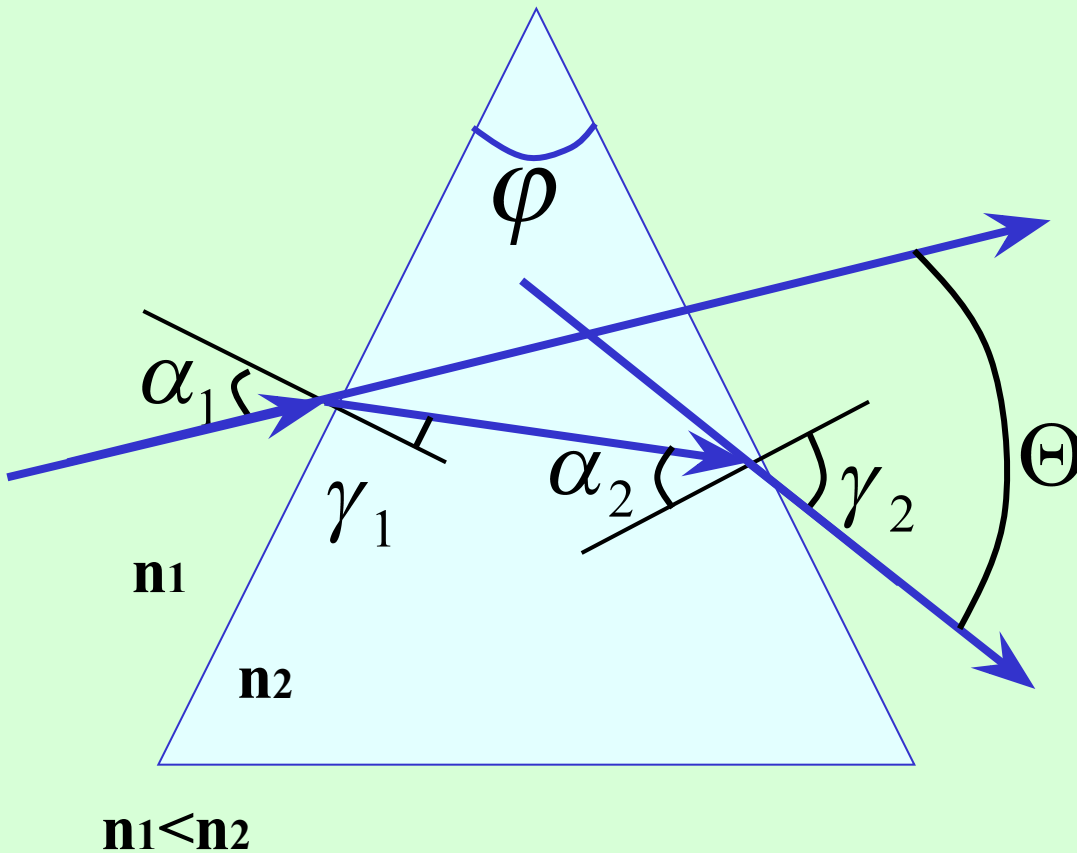
$n = 1.0$

$n = 1.5$



Преломление света

Прохождение луча света через призму

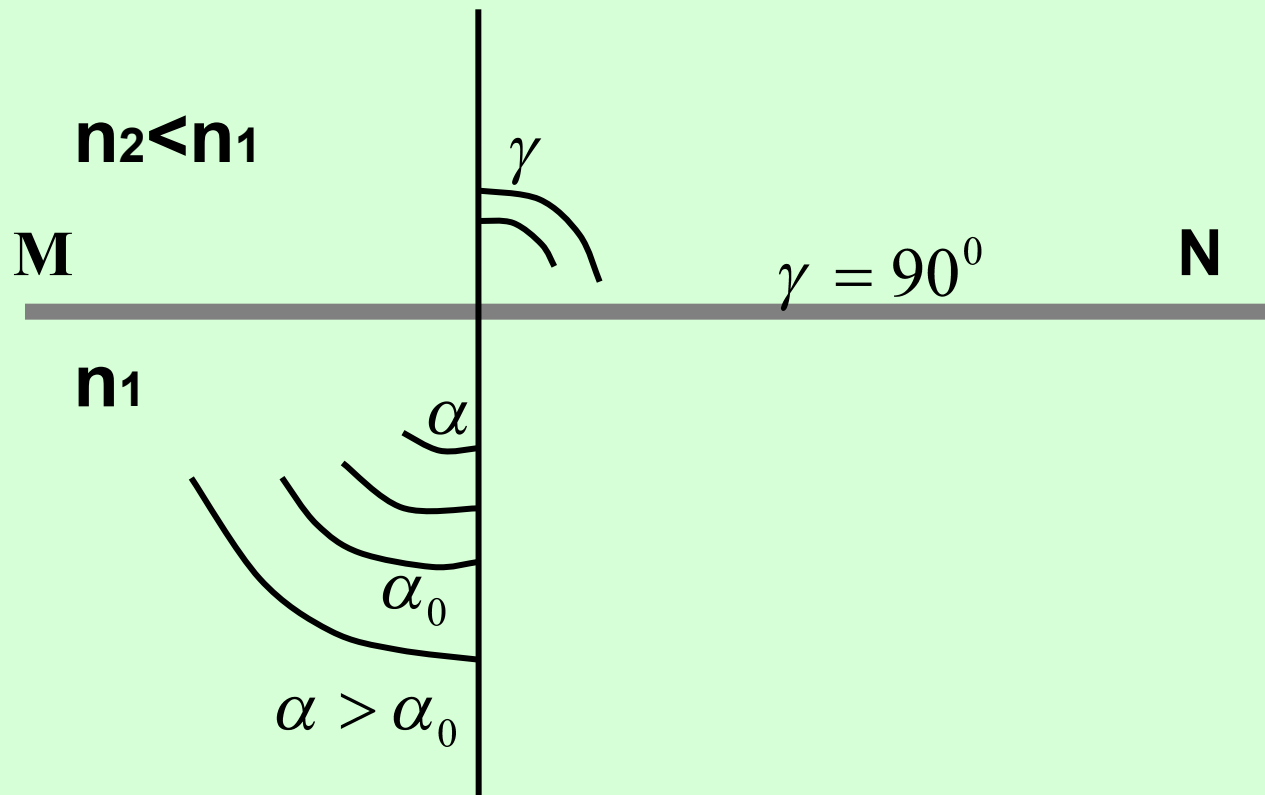


Если вещество призмы более плотное чем окружающая среда, то луч света, пройдя сквозь призму отклоняется к ее основанию.

φ - преломляющий угол призмы

Полное отражение

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



α_0 - предельный угол полного отражения

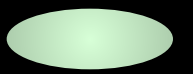
$$\left[\begin{array}{l} \alpha \leq \alpha_0 \\ \gamma < 90^\circ \end{array} \right. \left[\begin{array}{l} \alpha = \alpha_0 \\ \alpha = \alpha_0 \\ \beta = 90^\circ \\ \gamma = 90^\circ \end{array} \right. \left[\begin{array}{l} \alpha > \alpha_0 \\ \gamma > 90^\circ \end{array} \right.$$

Полное отражение

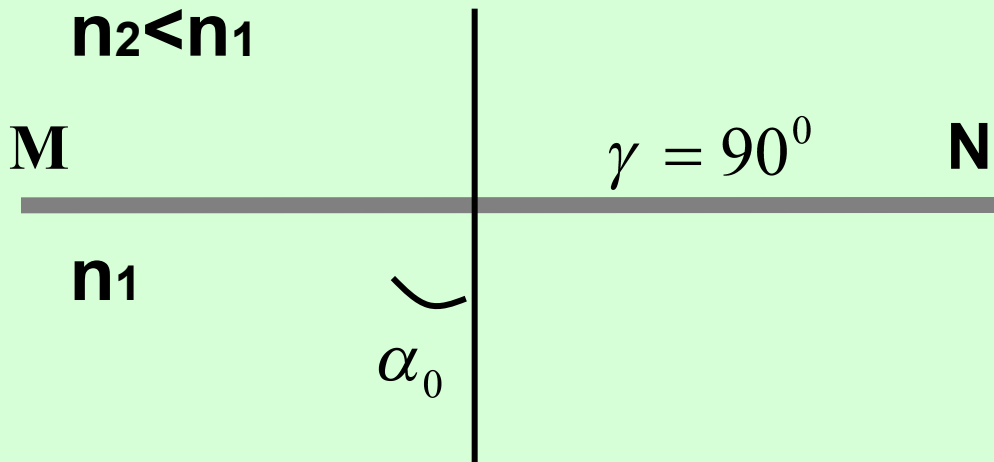
$n = 1.5$

TIR

$n = 1.0$



Полное отражение



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

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

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

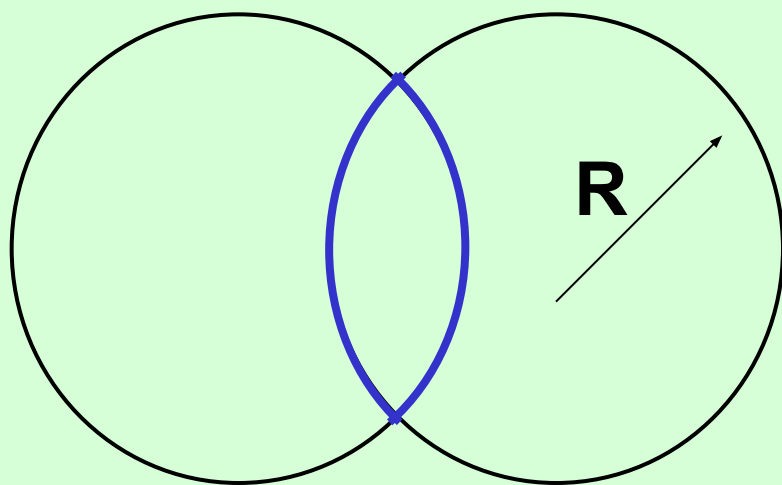
$$\frac{\sin \alpha_0}{\sin 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1}$$

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

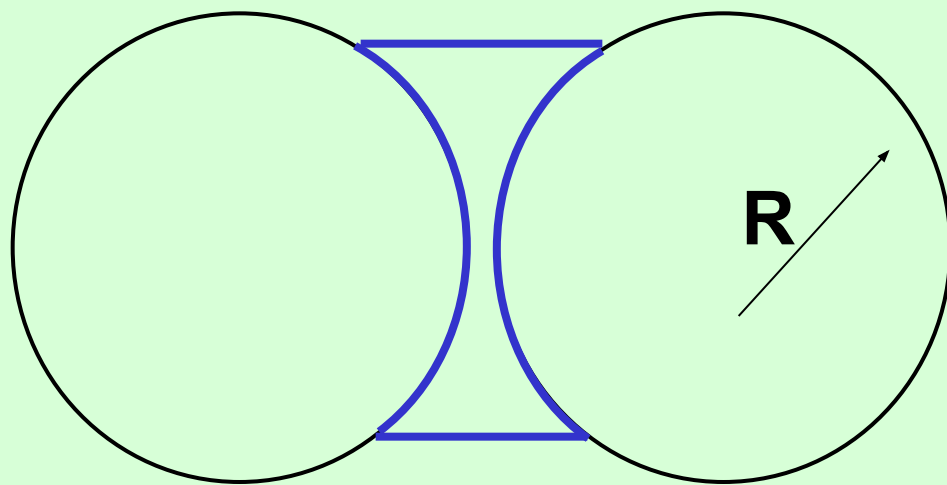


Линзы

Линза - прозрачное тело, ограниченное двумя сферическими поверхностями.



выпуклая линза



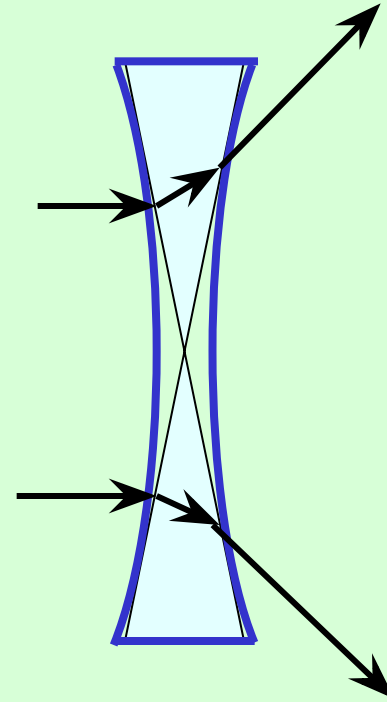
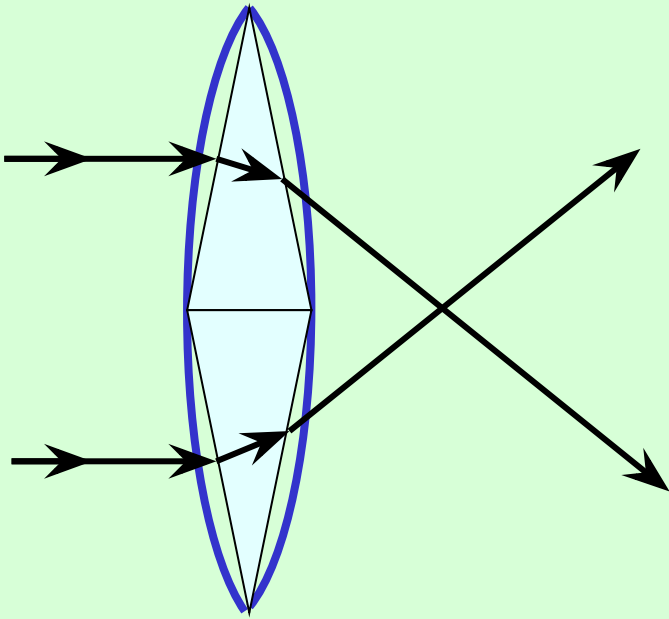
вогнутая линза



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



Линзы



Вещество из которого изготовлена линза плотнее окружающей среды.



Линзы

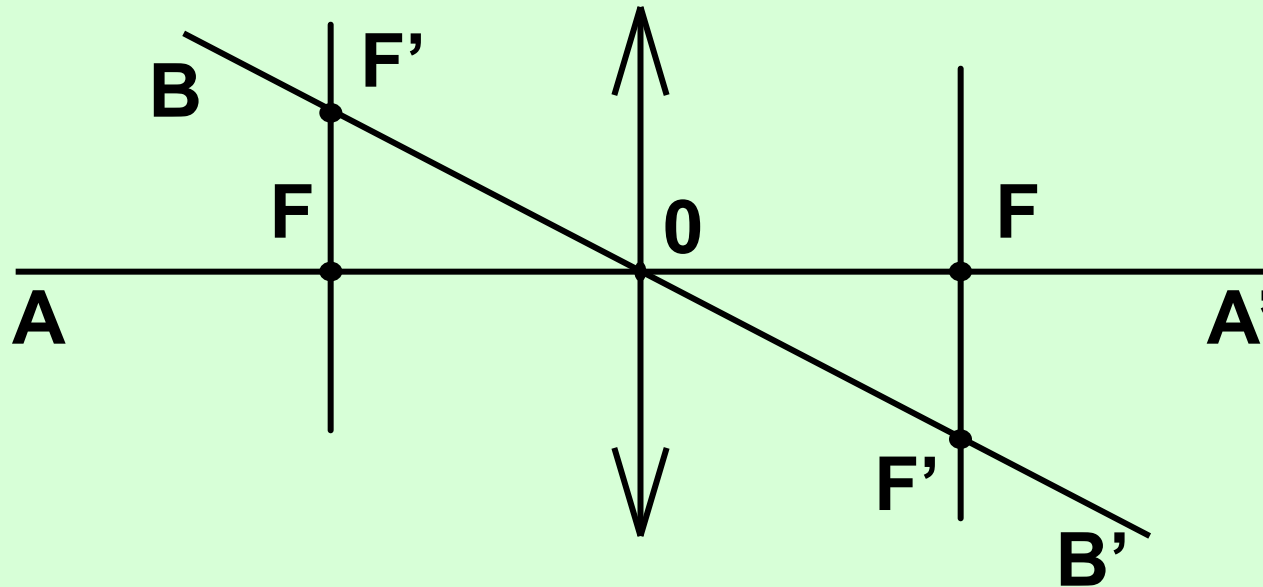
Характеристики изображений в линзе:

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



Линзы

Основные точки, оси и плоскости линзы

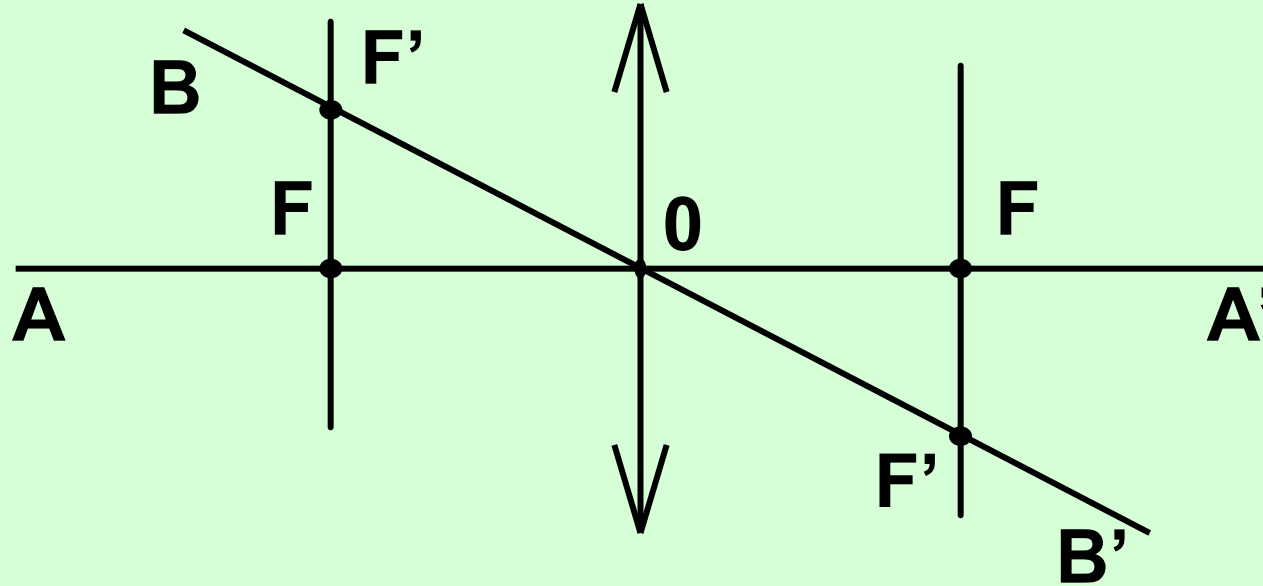


O – оптический центр линзы (проходя через него луч не преломляется).



Линзы

Основные точки, оси и плоскости линзы

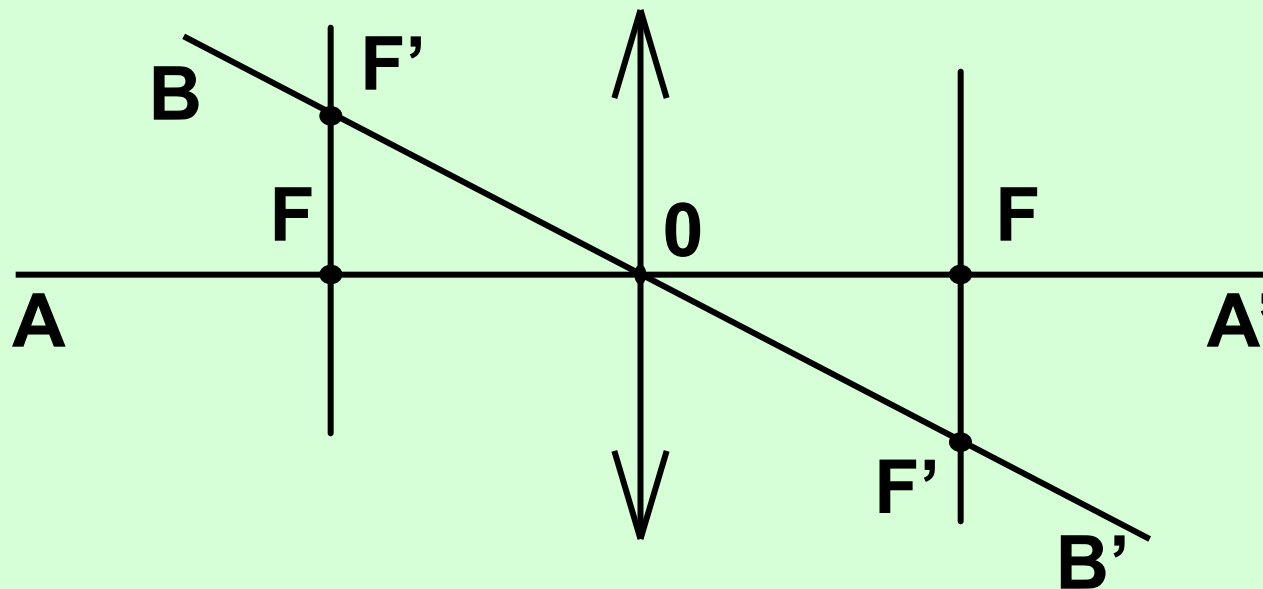


АОА' – главная оптическая ось (проходит через оптический центр линзы, перпендикулярно плоскости линзы).



Линзы

Основные точки, оси и плоскости линзы

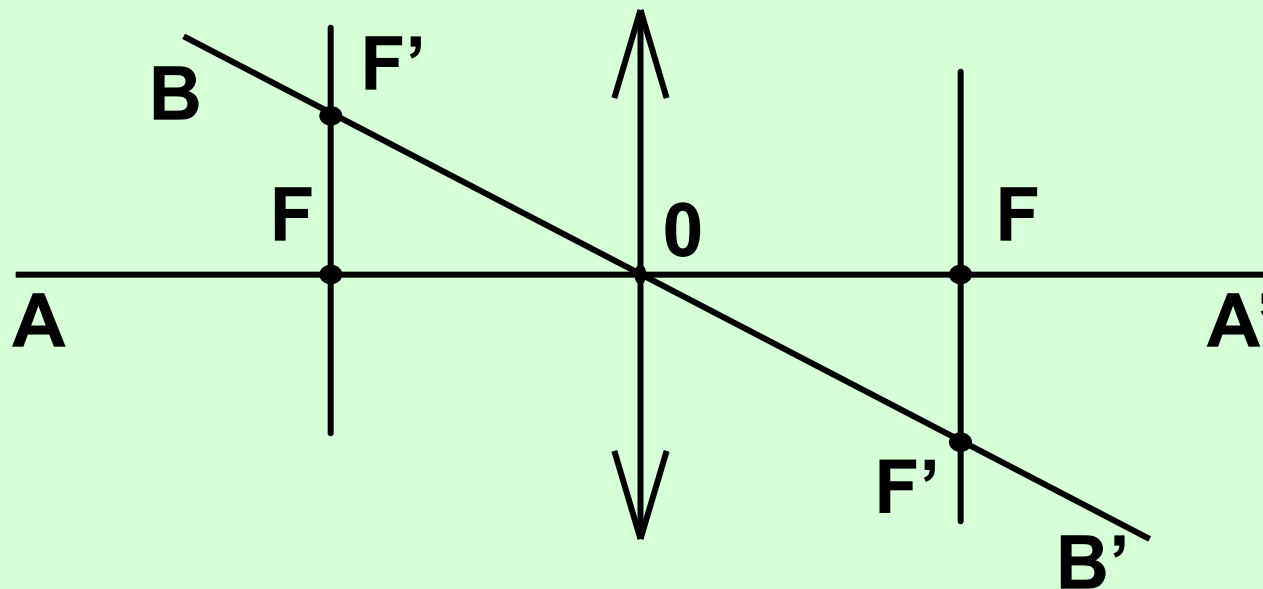


BOB' – побочная оптическая ось (проходит через оптический центр линзы, не перпендикулярно плоскости линзы).



Линзы

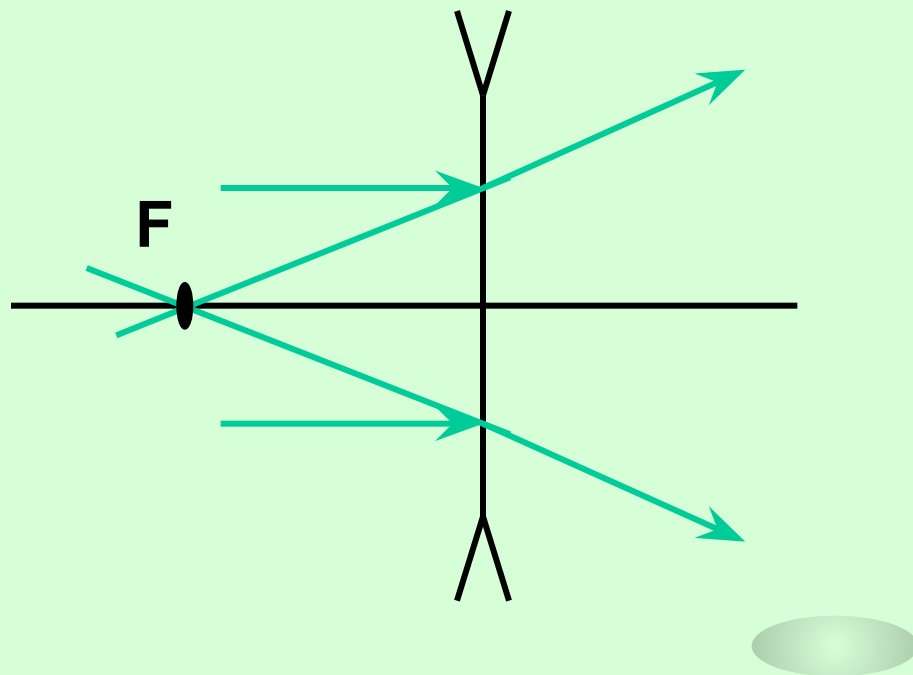
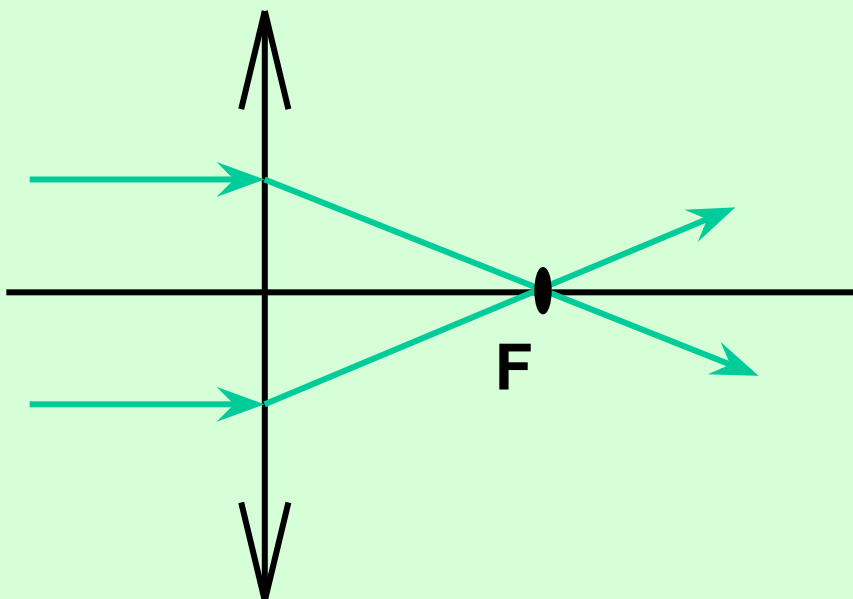
Основные точки, оси и плоскости линзы



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).

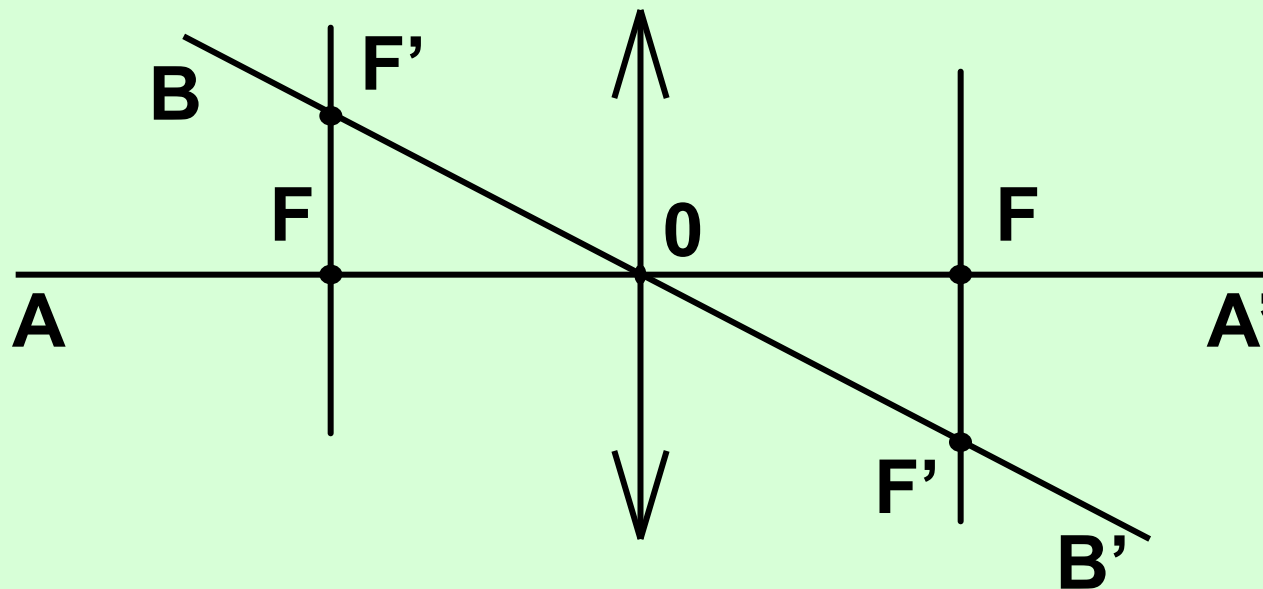


Линзы



Линзы

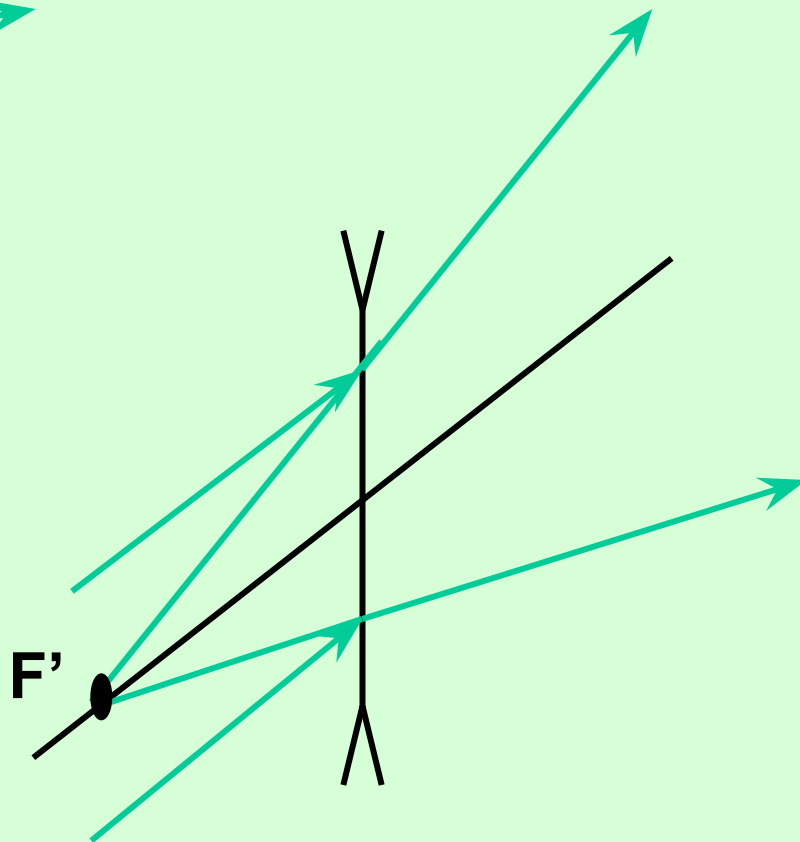
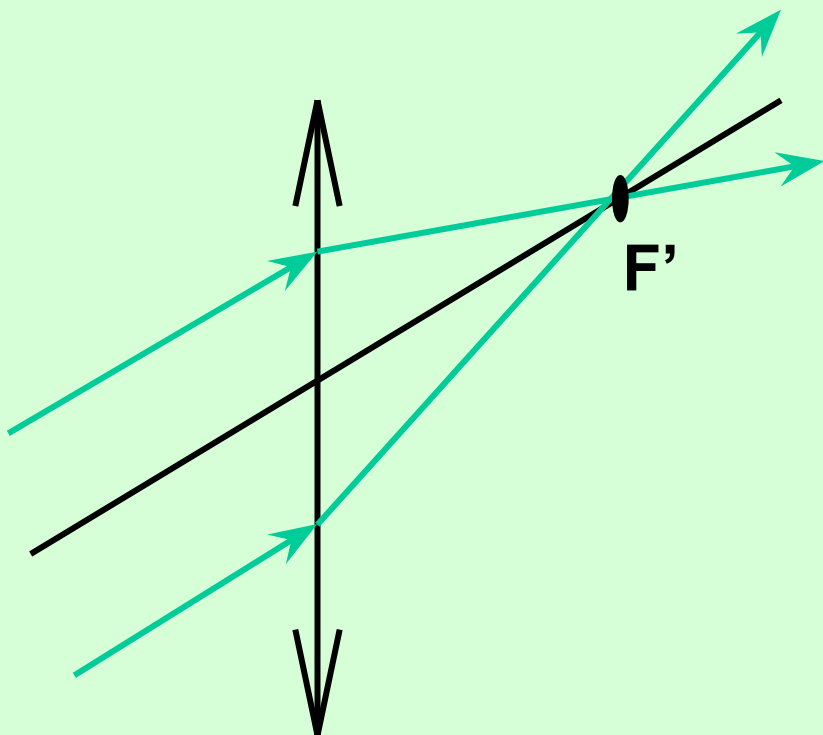
Основные точки, оси и плоскости линзы



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).

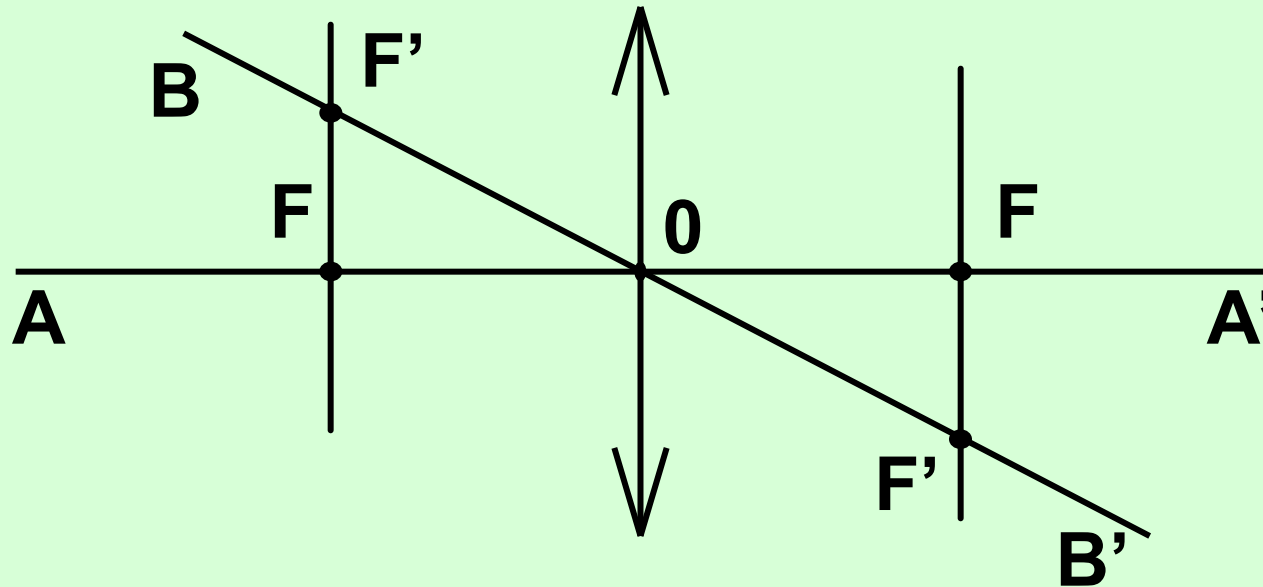


Линзы



Линзы

Основные точки, оси и плоскости линзы

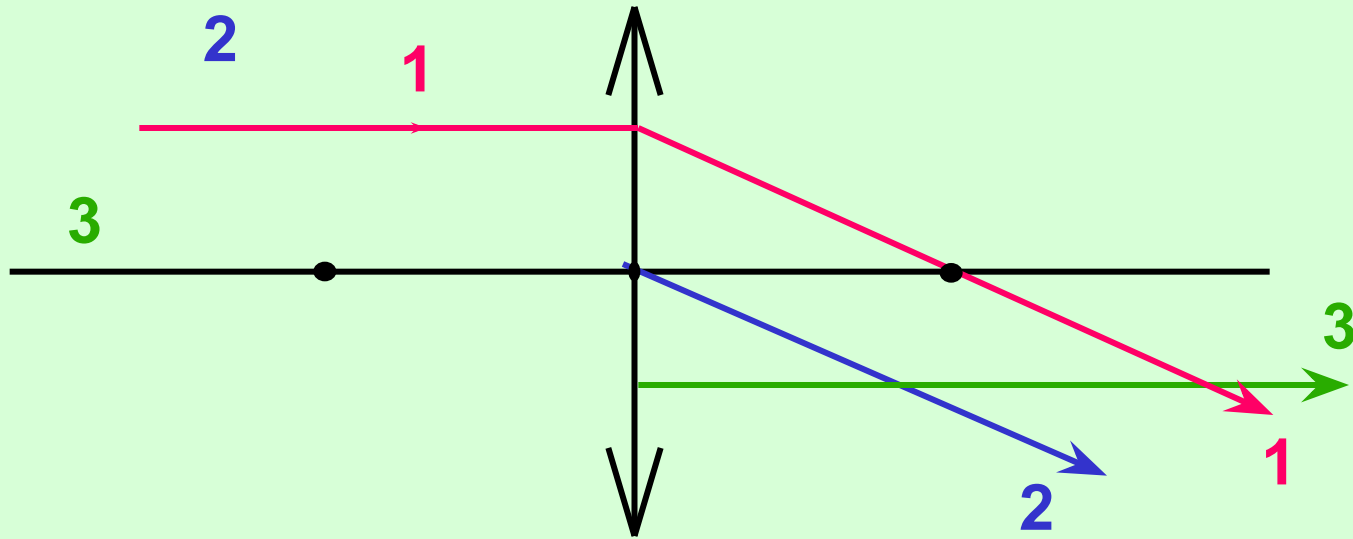


$F'F$ - фокальная плоскость (на ней лежат все фокусы линзы).

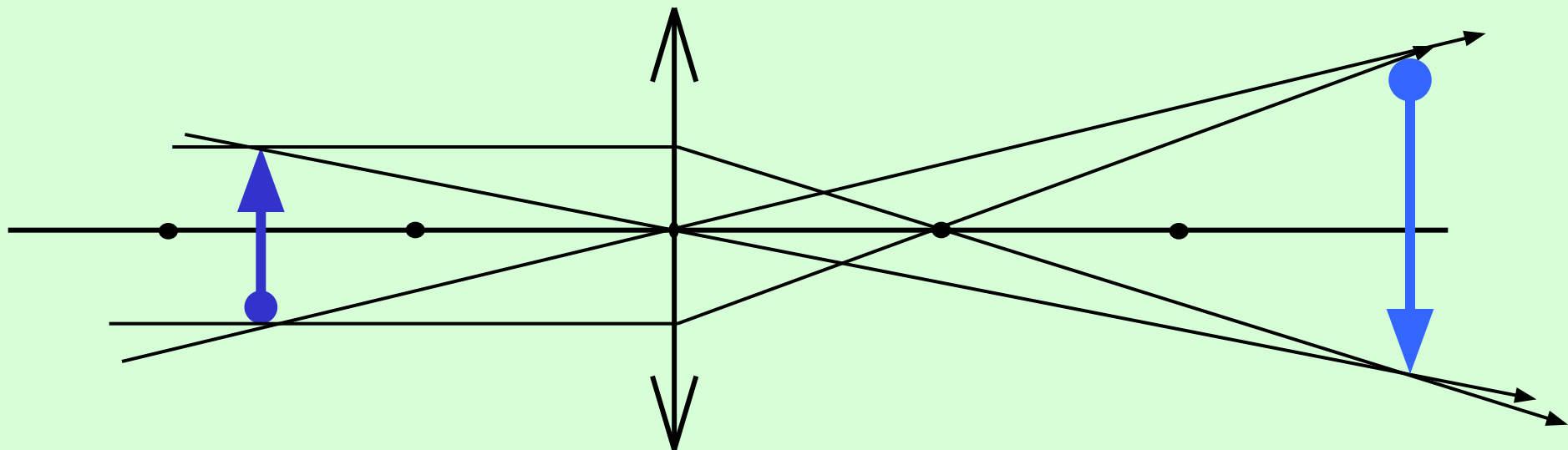


Линзы

Три «замечательных» луча линзы.



Линзы



Изображение:

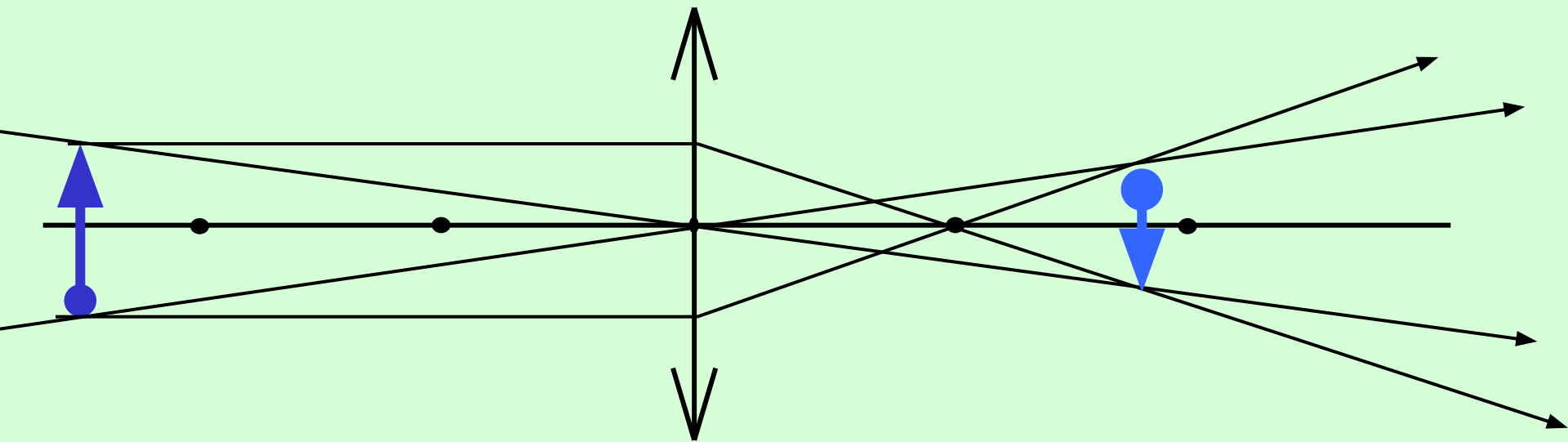
Действительное

Обратное

Увеличенное



Линзы



Изображение:

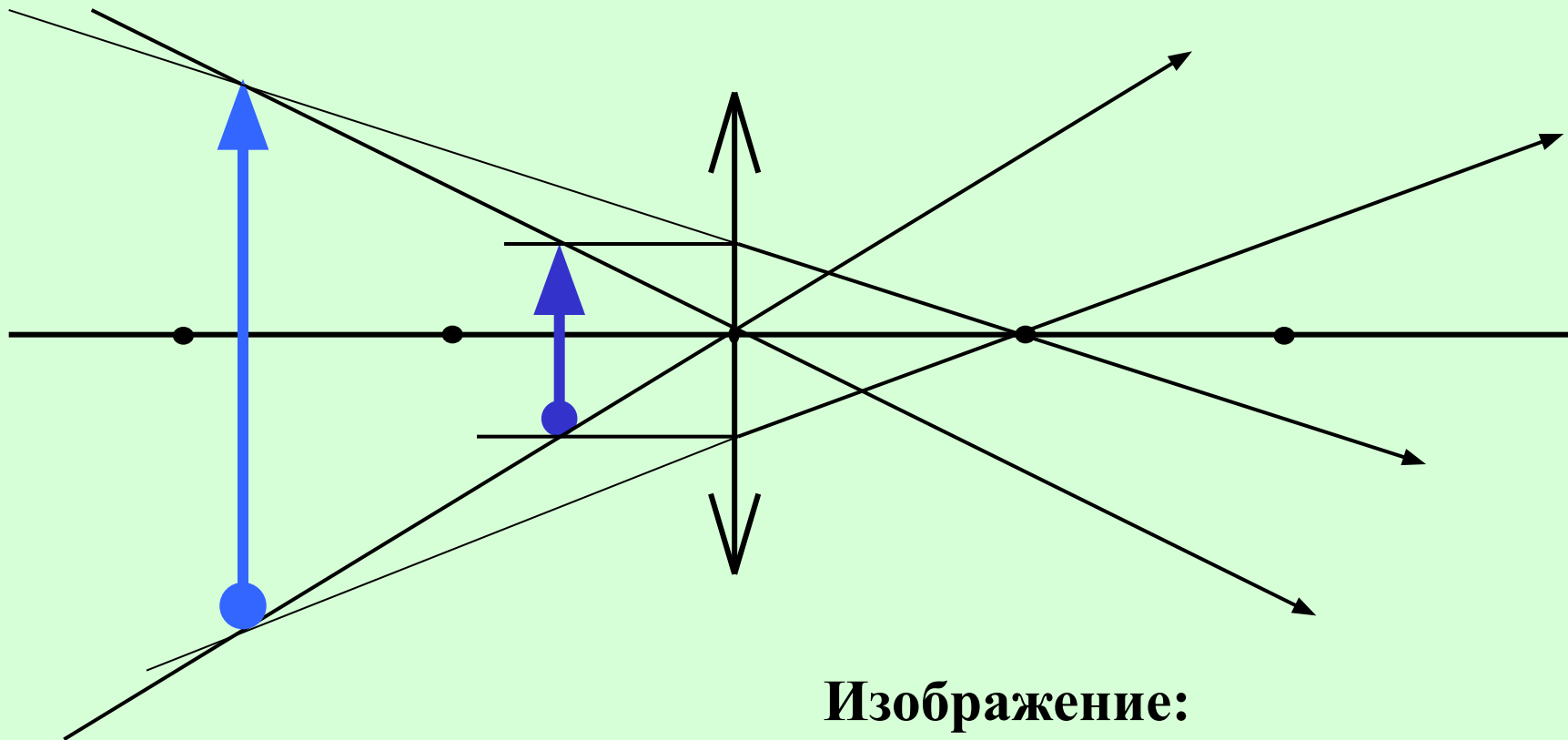
Действительное

Обратное

Уменьшенное



Линзы



Изображение:

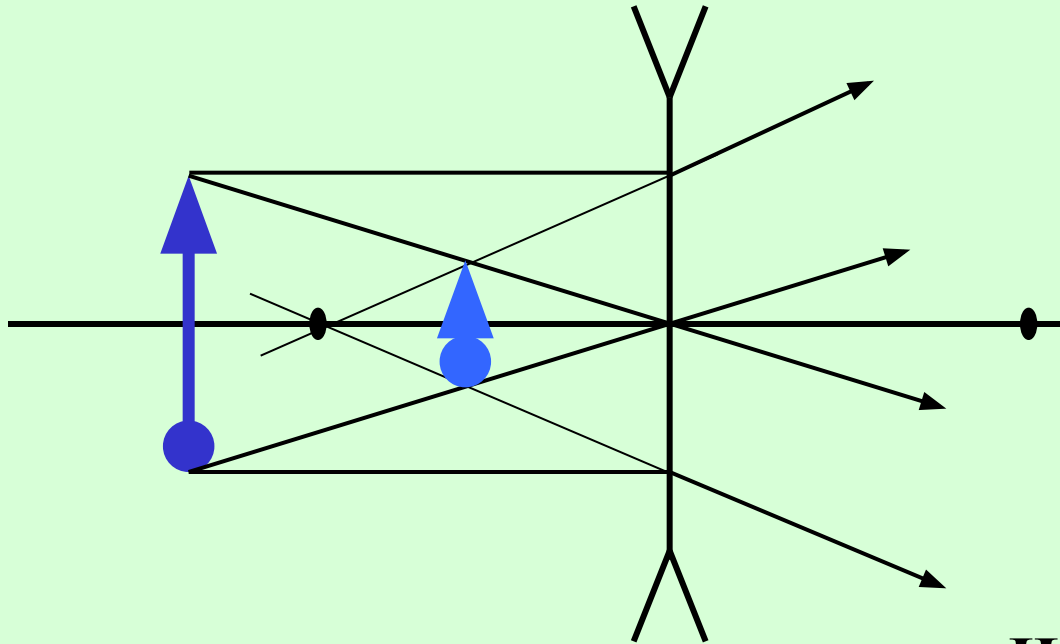
Мнимое

Прямое

Увеличенное



Линзы

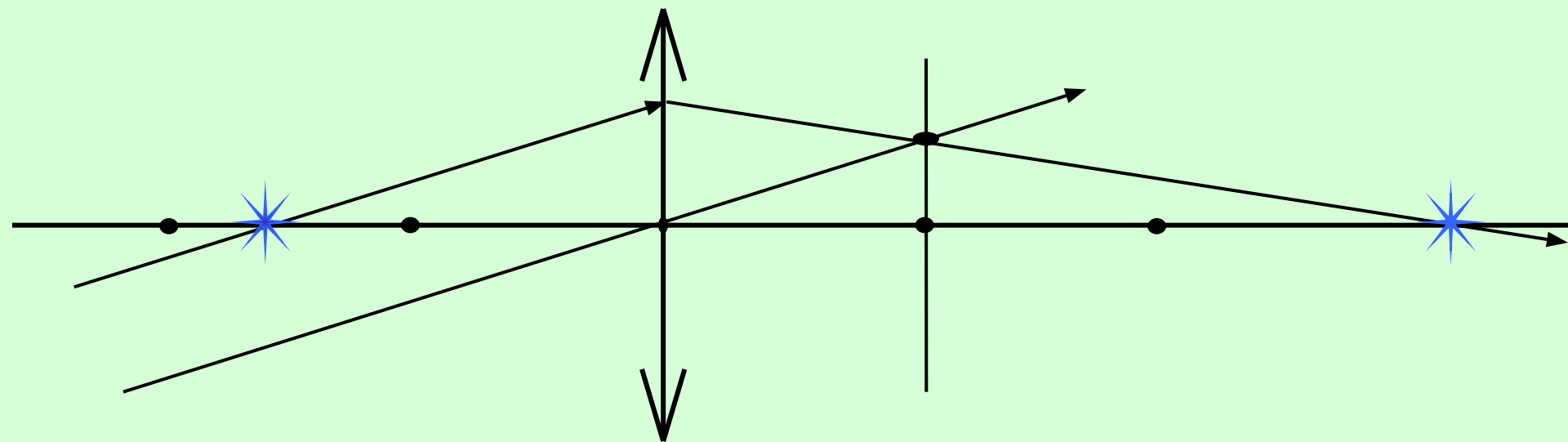


Изображение:

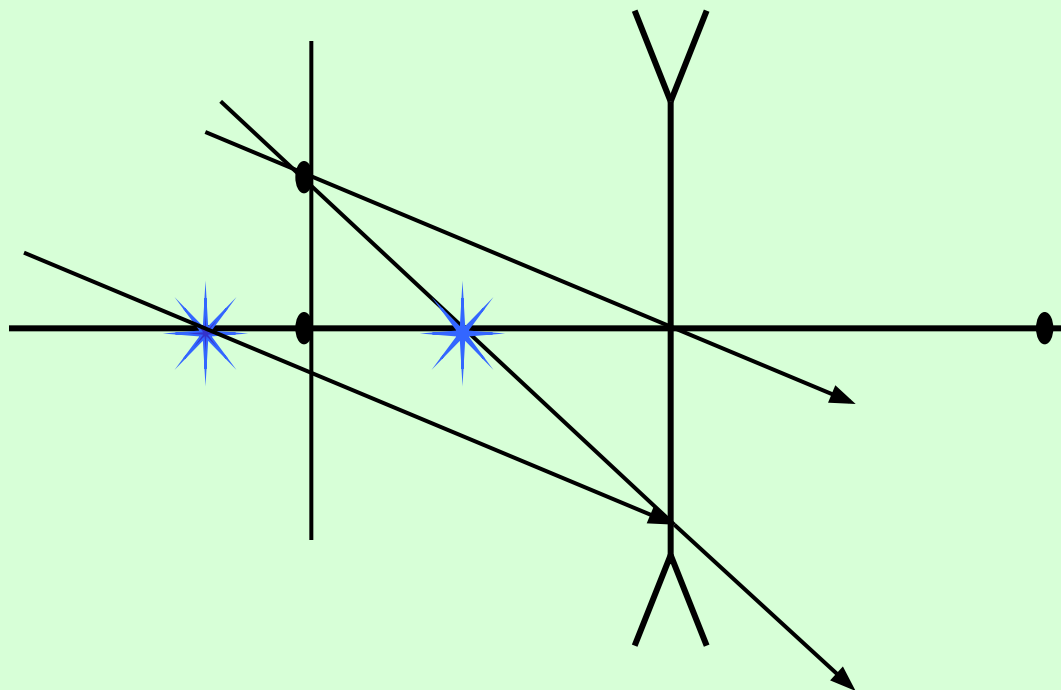
- **Мнимое**
- **Прямое**
- **Уменьшенное**



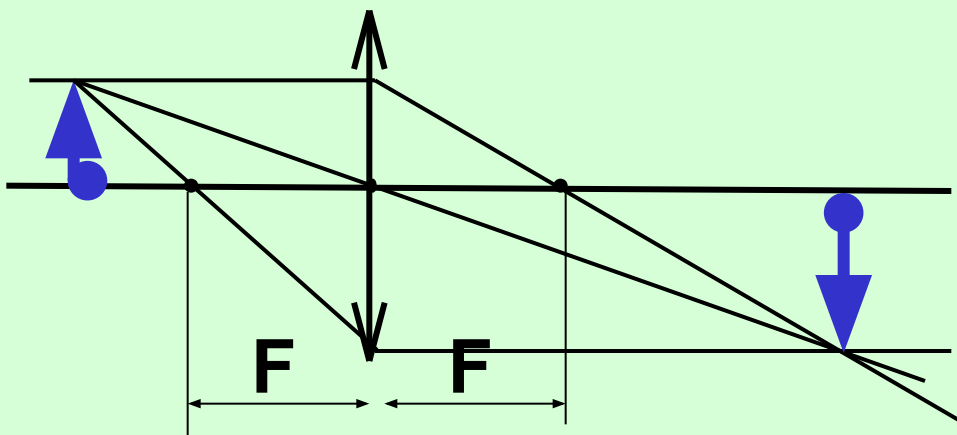
Линзы



Линзы



Линзы



F – фокусное
расстояние линзы

$$[F] = м$$

Оптическая сила линзы:

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

$$[D] = дптр \quad (диоптрия)$$

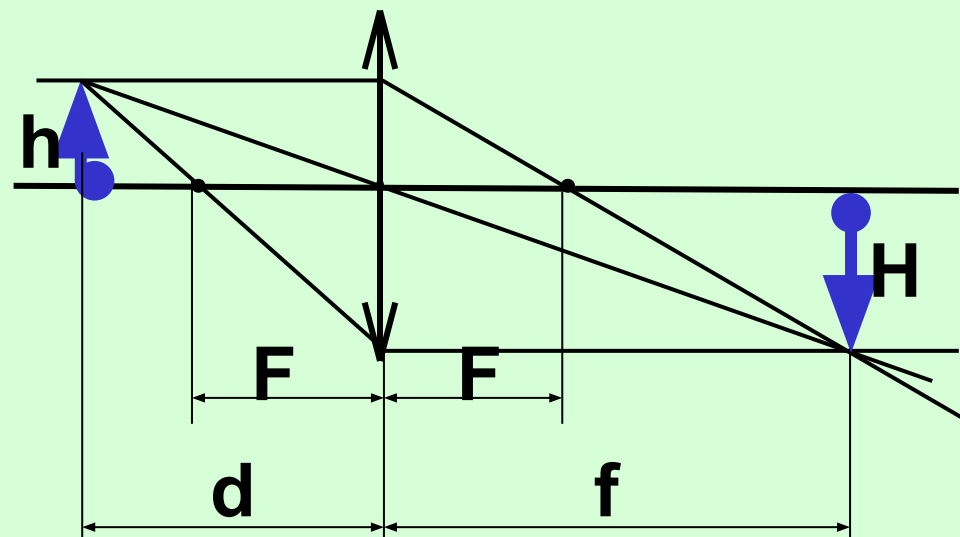
$D > 0$ - линза собирающая

$$1 \text{ дптр} = \frac{1}{1м}$$

$D < 0$ - линза рассеивающая



Линзы



Формула тонкой линзы:

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

Увеличение линзы:

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

$$\frac{1}{F} > 0 \quad - \text{линза собирающая}$$

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

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

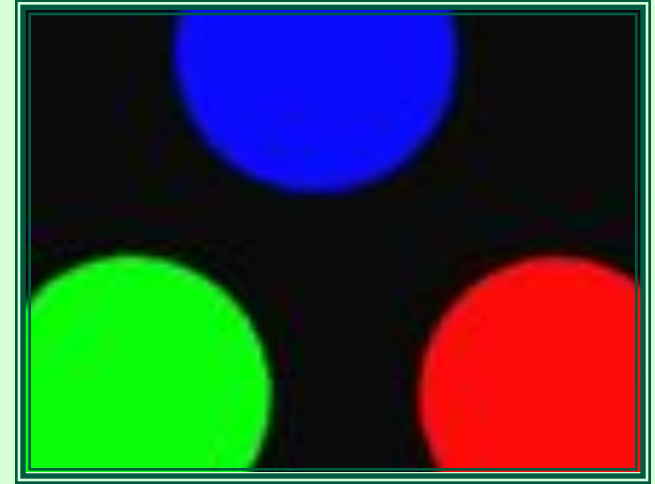
$$\frac{1}{f} < 0 \quad - \text{изображение мнимое}$$



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.

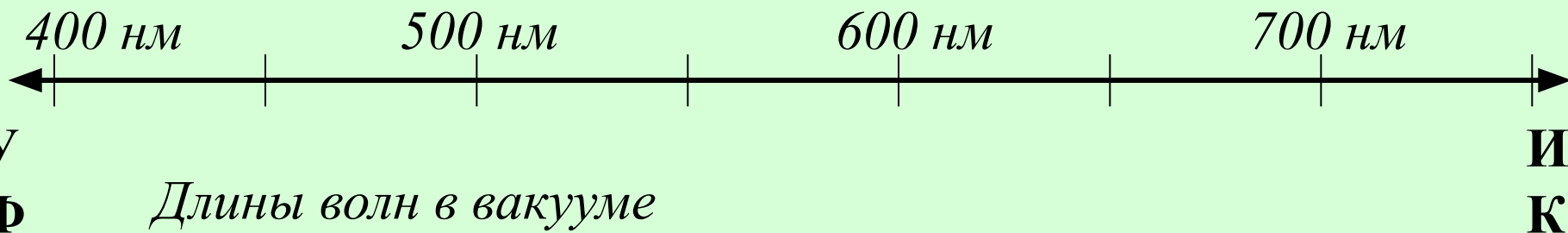
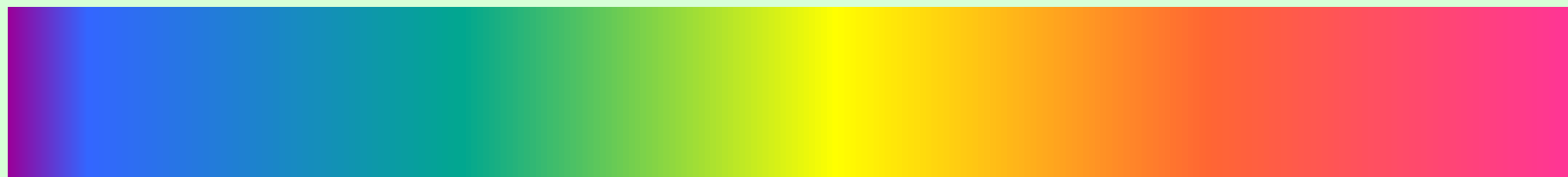
Свет, представляющий собой набор волн различных длин – полихроматичный. (Белый свет является полихроматичным).



Дисперсия света

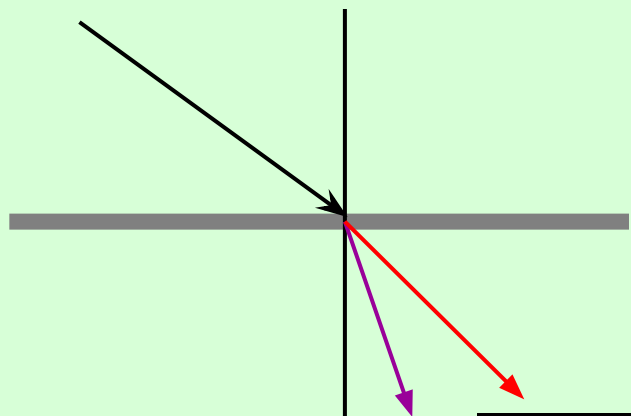
Дисперсия – разложение света в спектр.

От латинского слова *dispersio* – рассеяние.

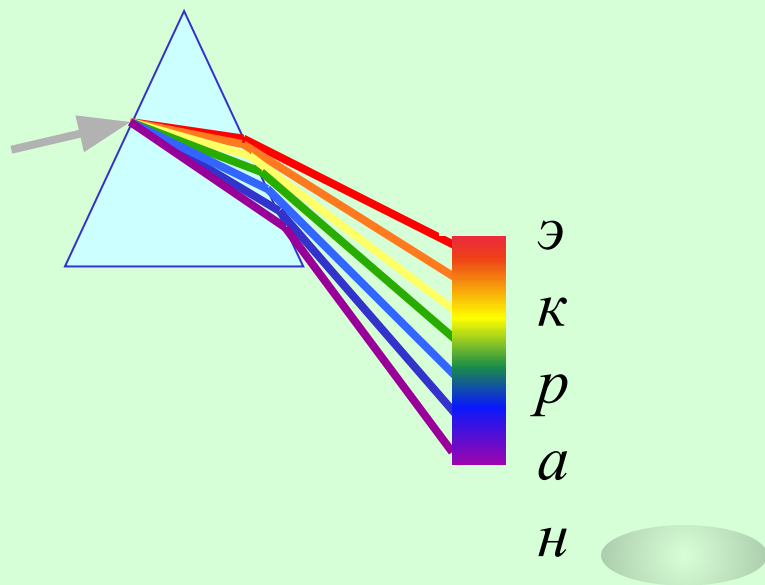


Дисперсия света

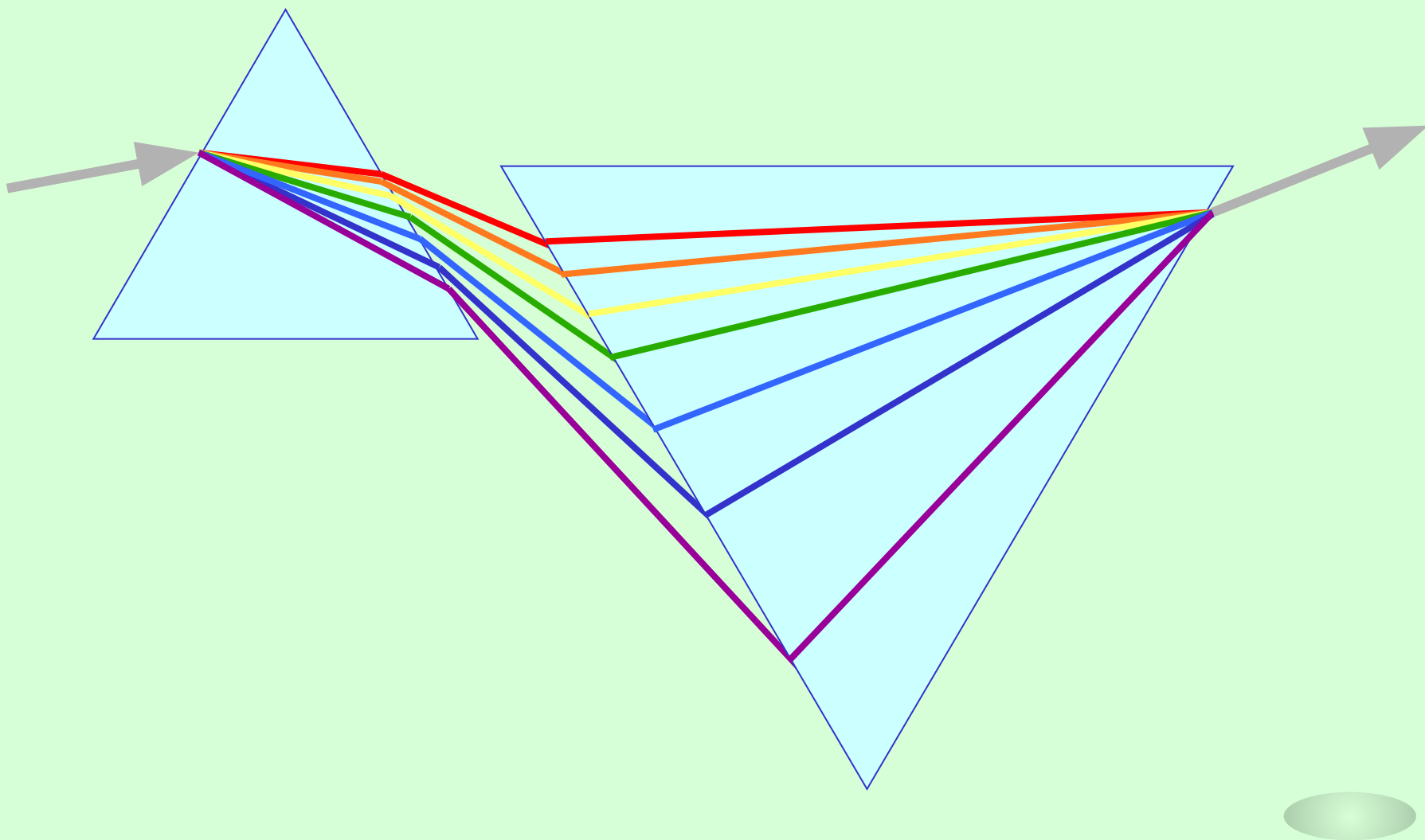
Причиной дисперсии является различие показателей преломления для волн разной длины. (сильнее всего преломляется фиолетовый свет, слабее всего преломляется красный свет).



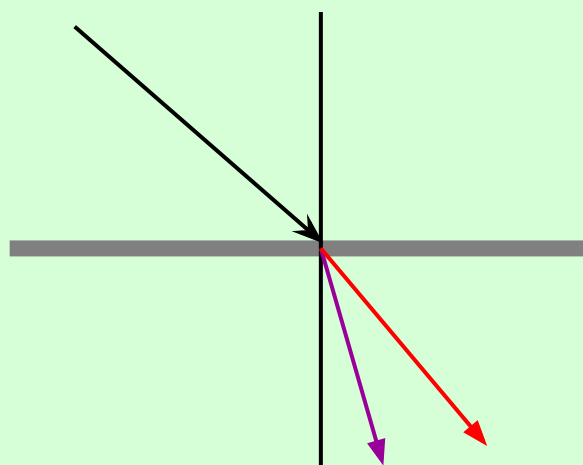
Исаак Ньютон наблюдал дисперсию, пропуская свет через призму.



Дисперсия света



Дисперсия света



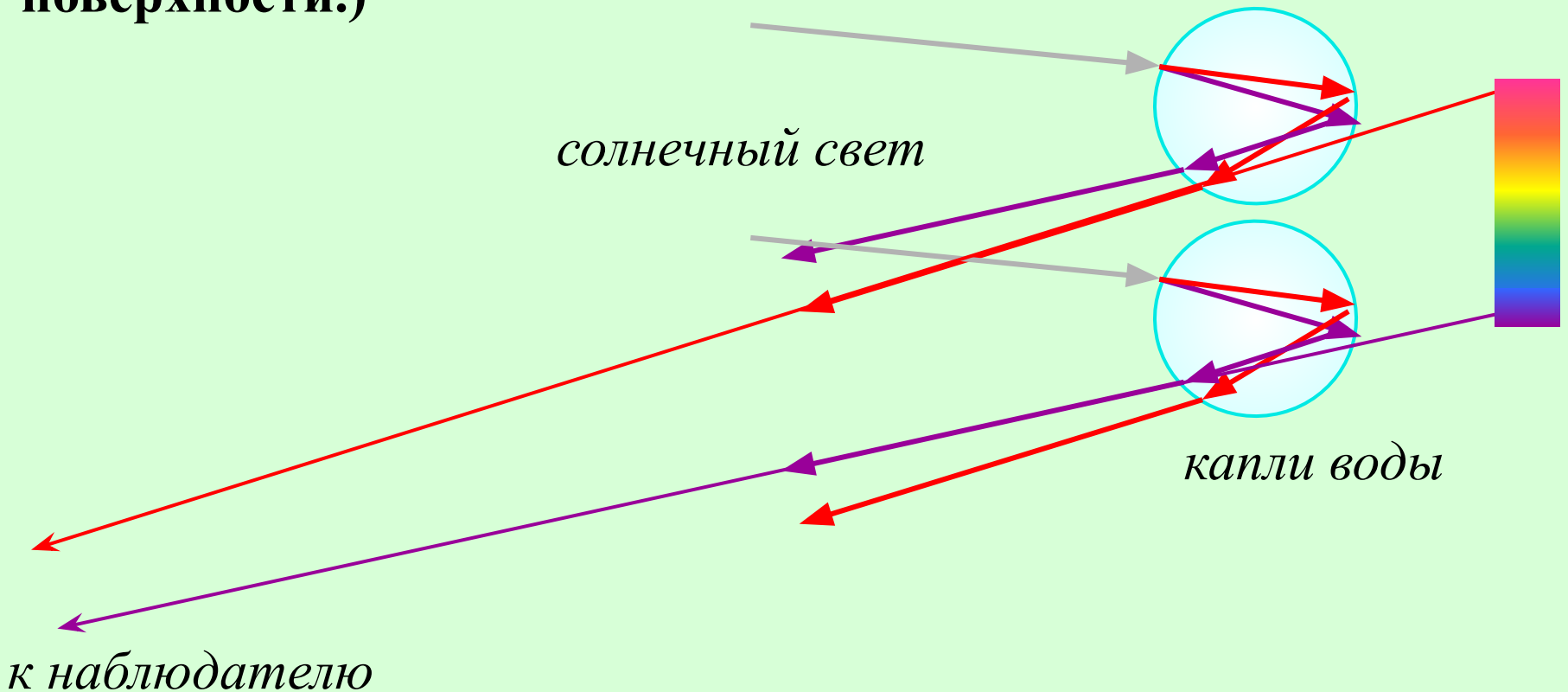
$$\left. \begin{array}{l} n_{\phi} > n_{\kappa p} \\ n_{cp} = \frac{c}{v_{cp}} \end{array} \right\} v_{\phi} < v_{\kappa p}$$

$$\left[\begin{array}{l} v_{cp} = v \cdot \lambda_{cp} \\ c = v \cdot \lambda_0 \\ v_{cp} = \frac{c}{n_{cp}} \end{array} \right] \lambda_{cp} = \frac{\lambda_0}{n_{cp}}$$



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.**

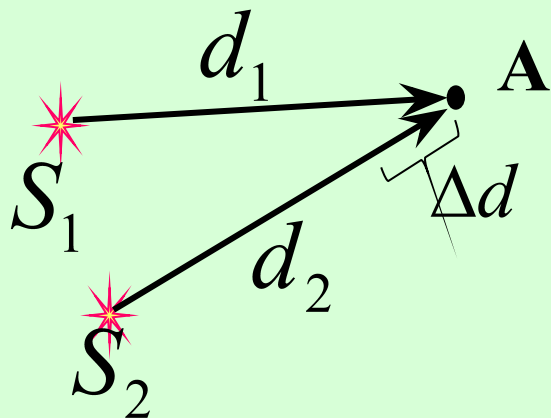


Для образования устойчивой интерференционной картины необходимо, чтобы источники волн имели одинаковую частоту и разность фаз их колебаний была постоянна.

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



Интерференция света

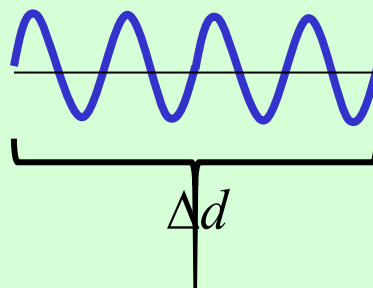
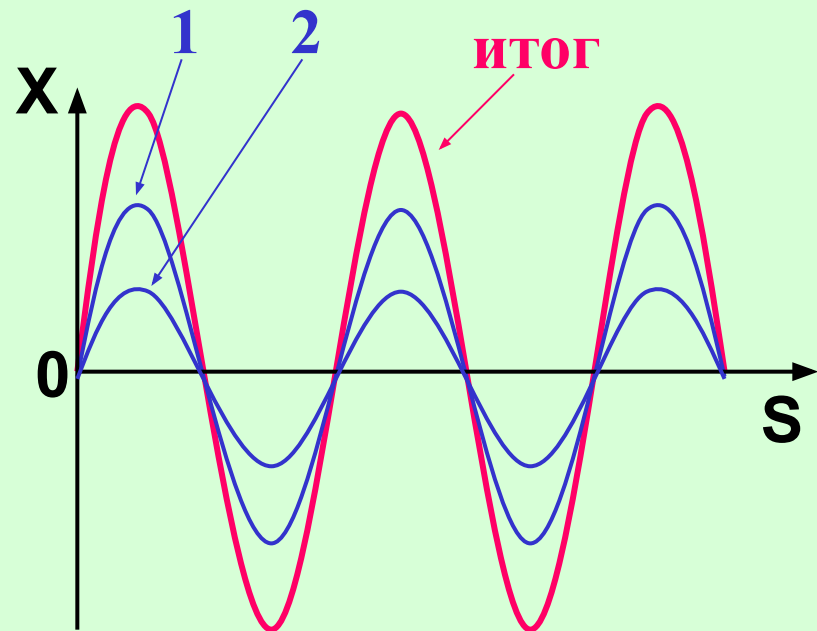


$$\Delta d = d_2 - d_1 - \text{разность хода}$$

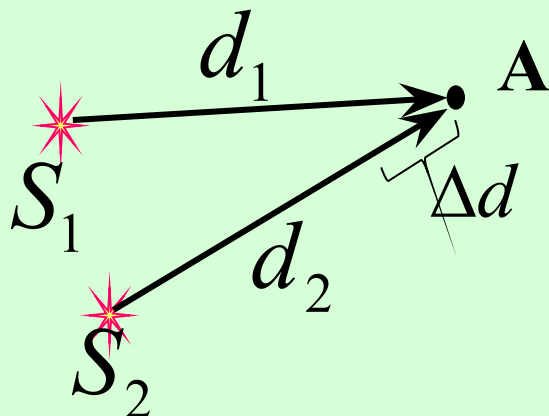
Если волны приходят в точку A в одинаковой фазе, то в точке A наблюдается максимум – волны усиливают друг друга.

Условие max: $\Delta d = k\lambda$

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

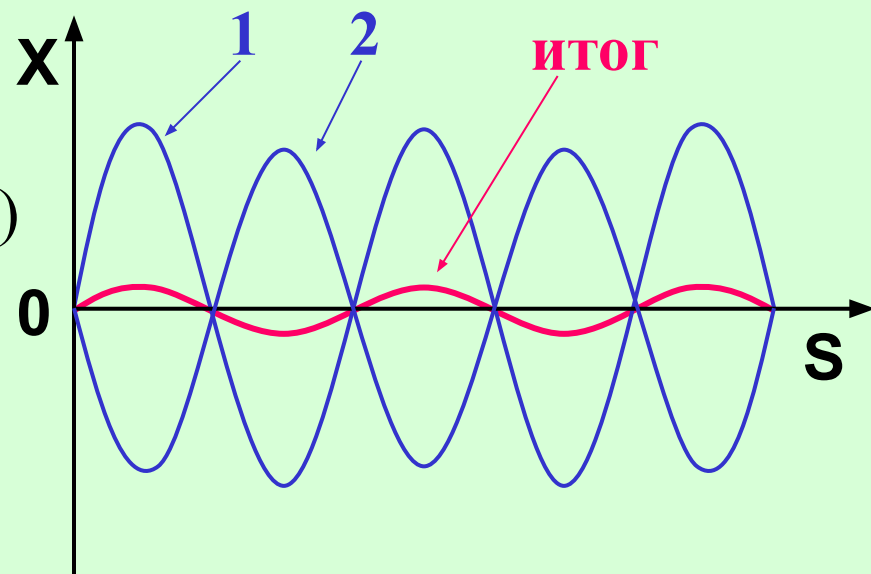


Интерференция света



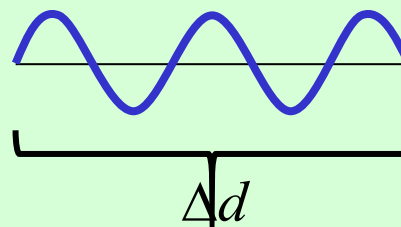
$\Delta d = d_2 - d_1$ — разность хода

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

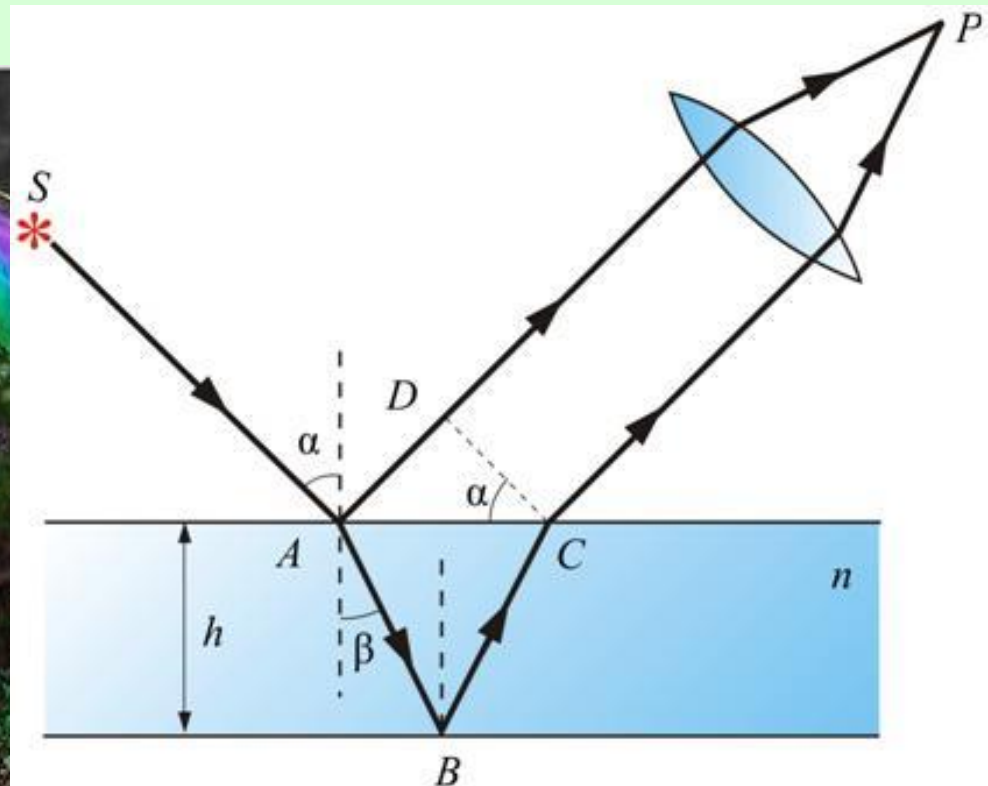
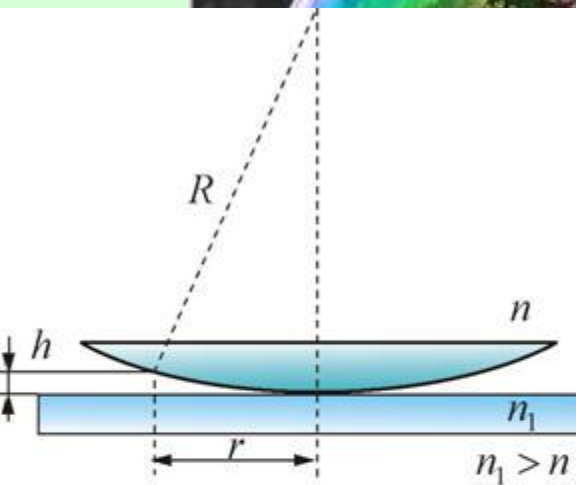


Условие min: $\Delta d = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$

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



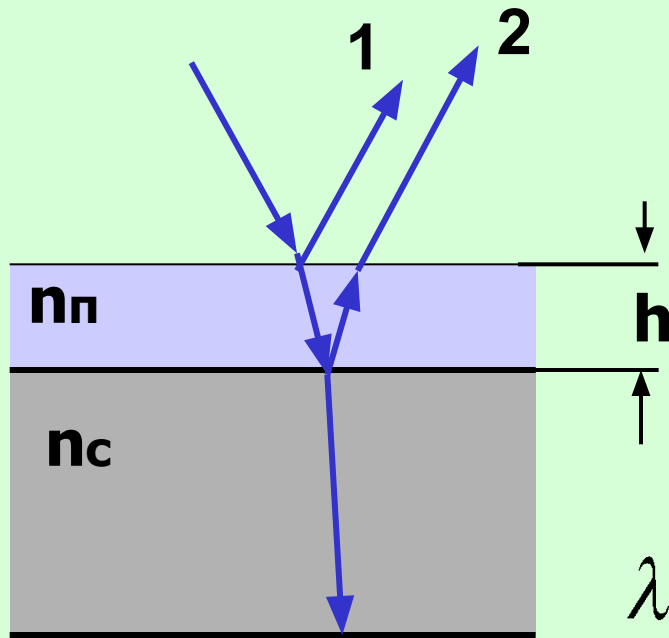
Интерференция света



Pavel Kosenko [2003]

Интерференция света

Одно из применений интерференции – просветление оптики.



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

$$\left. \begin{aligned} \lambda_{\text{пленки}} &= \frac{\lambda}{n_{\text{пленки}}} \\ 2h &= \frac{\lambda_{\text{пленки}}}{2} = \frac{\lambda}{2n_{\text{пленки}}} \end{aligned} \right\} h = \frac{\lambda}{4n_{\text{пленки}}}$$



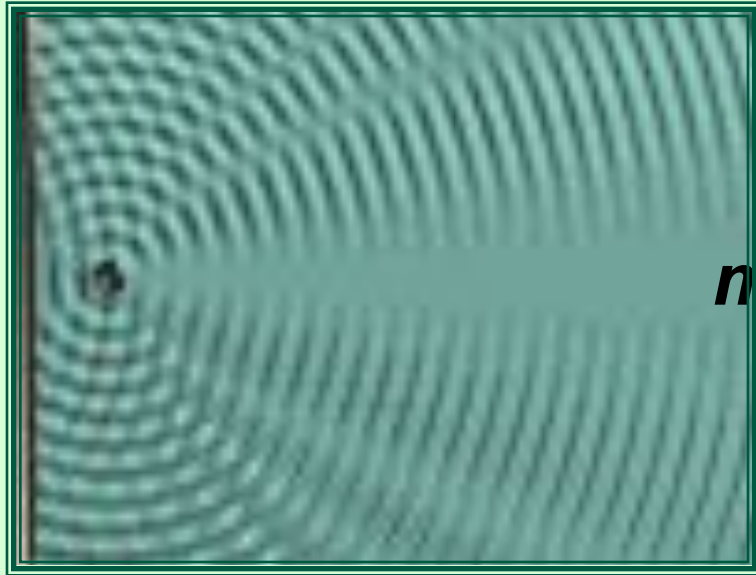
Дифракция

Дифракция – явление огибания волной препятствия.

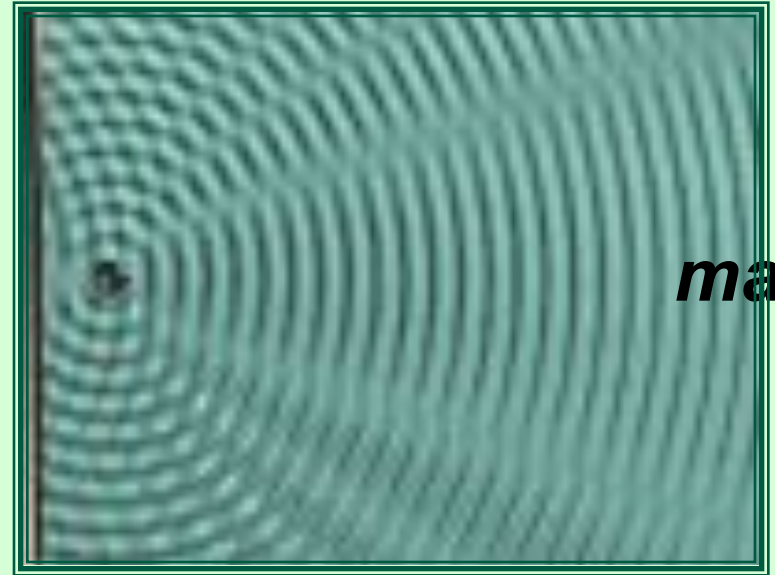
**От латинского
слова difraktus –
разломанный.**



Дифракция



min



max

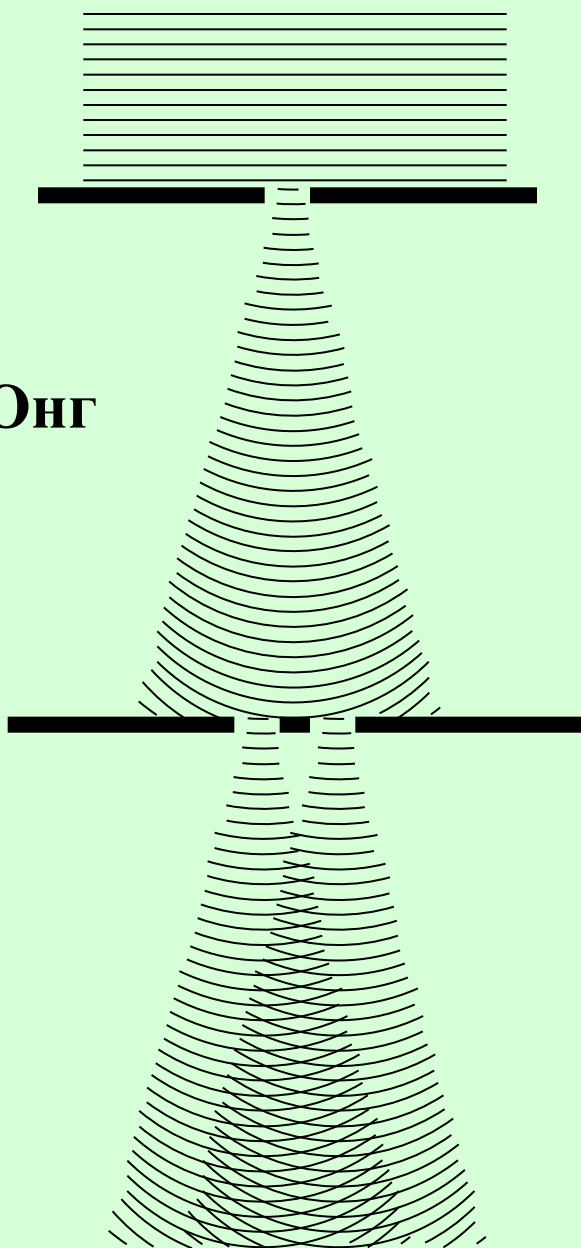
Дифракция – результат интерференции вторичных волн.



Дифракция света

1802 г.

Томас Юнг



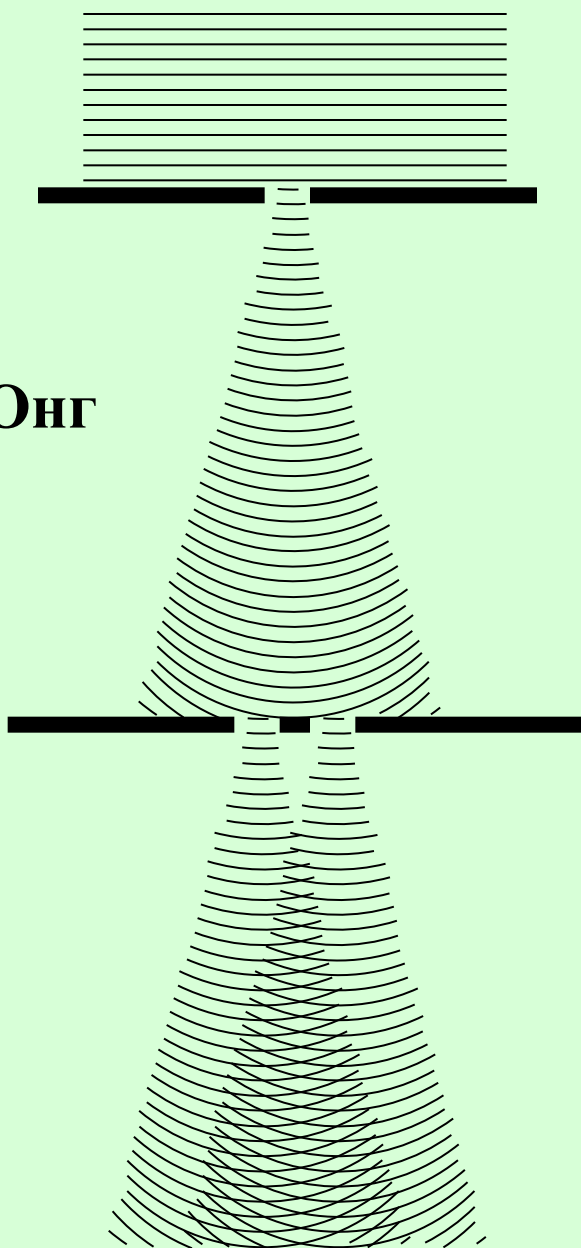
Изменяется ширина щелей



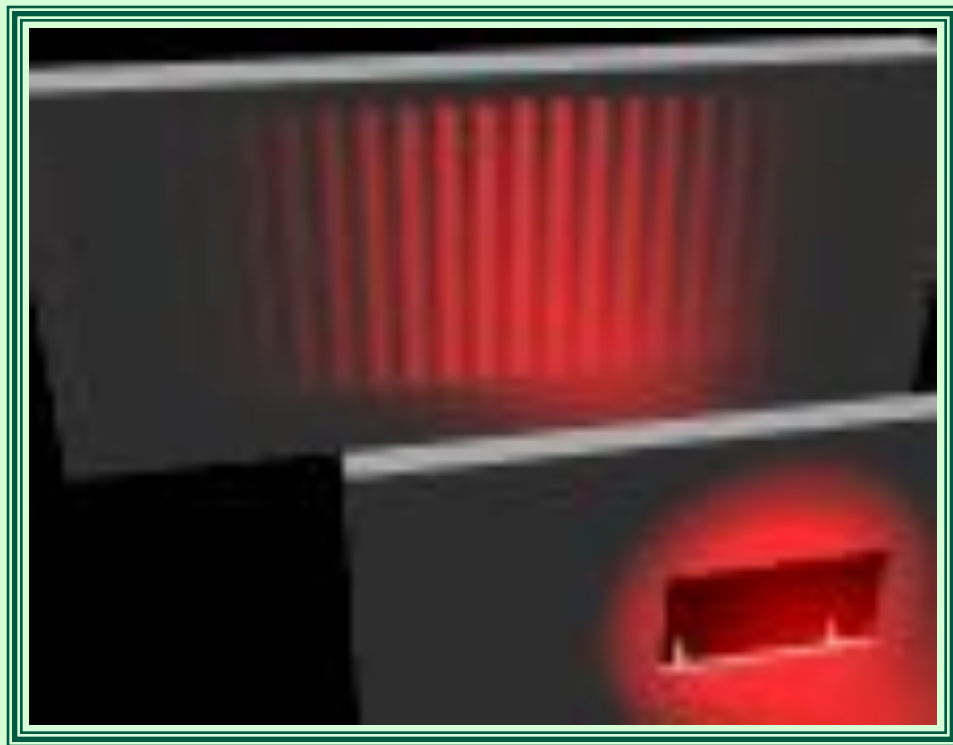
Дифракция света

1802 г.

Томас Юнг

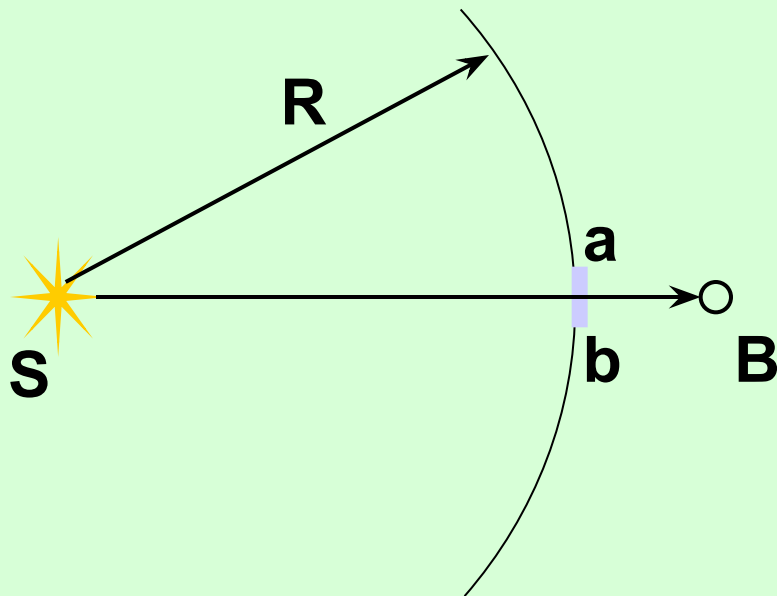


Изменяется расстояние
между щелями



Дифракция света

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

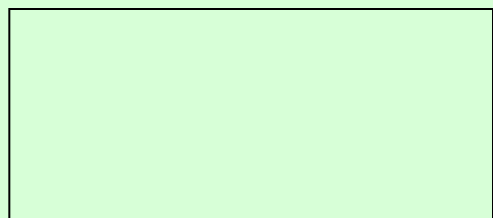


Дифракционная решетка

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

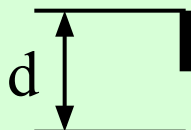


d_1



d_2

$d_1 > d_2$



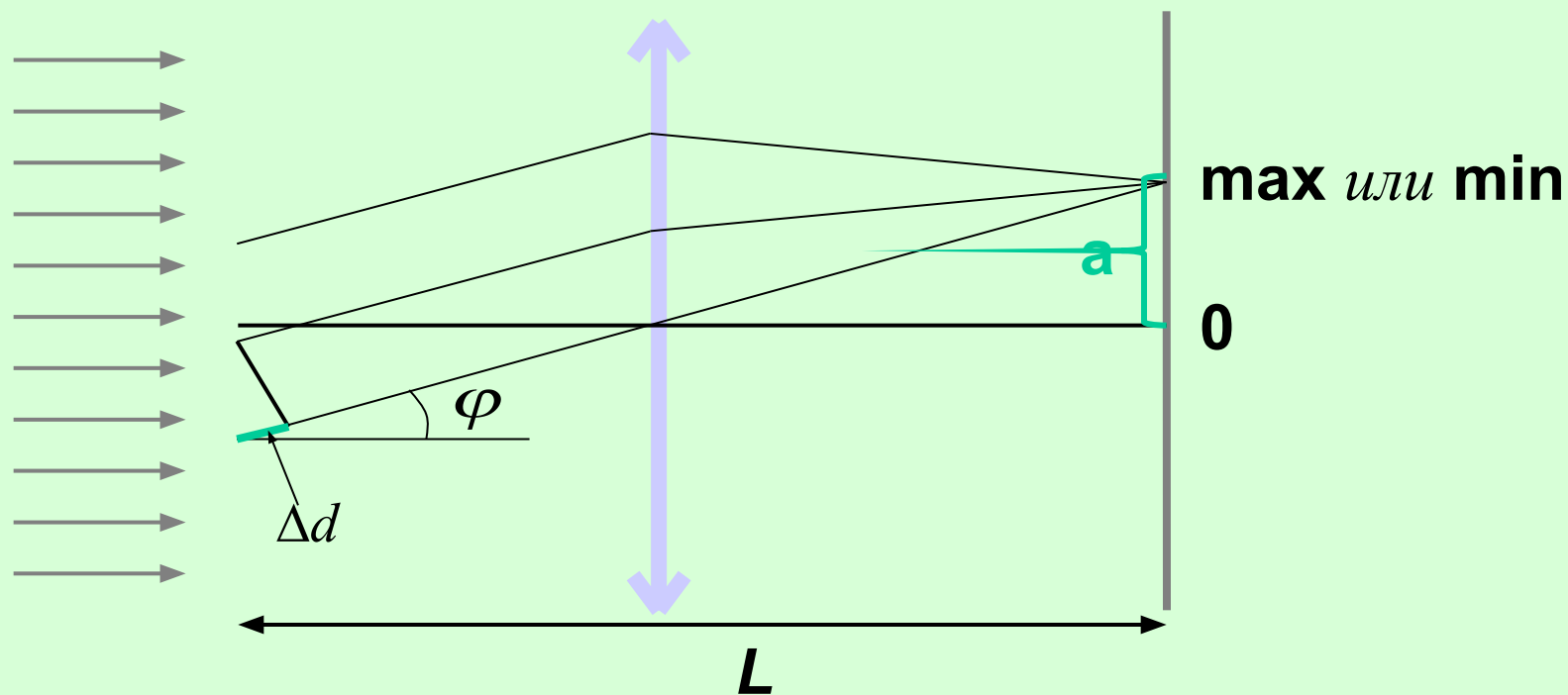
d – период (постоянная) дифракционной решетки.

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

N – число штрихов на 1 м.

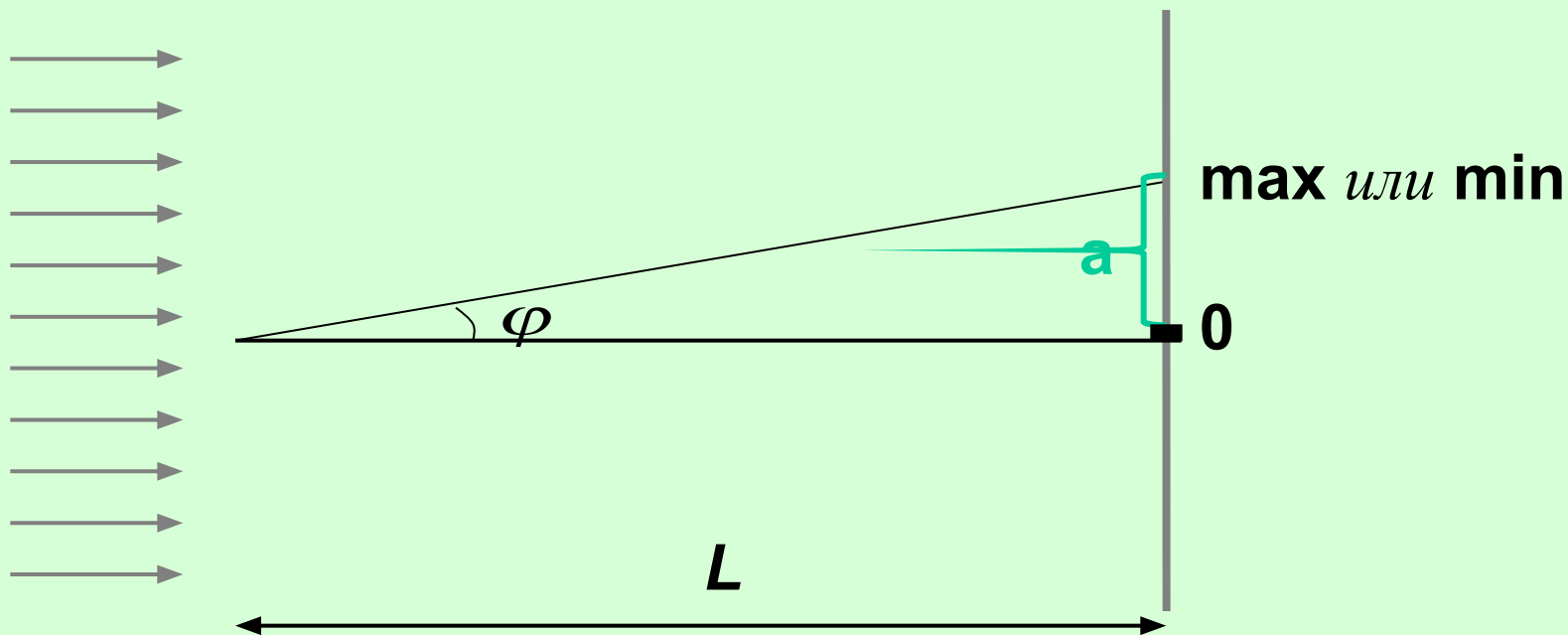


Дифракционная решетка



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

Дифракционная решетка



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

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

$$\left. \begin{aligned} \sin \varphi &= \frac{a}{L} \\ \sin \varphi &= \frac{\Delta d}{d} \end{aligned} \right\} a = \frac{\Delta d L}{d}$$

Дифракционная решетка

3 min

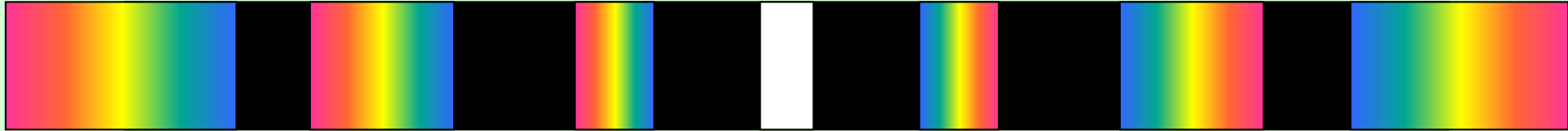
2 min

1 min

1 min

2 min

3 min



3 max

2 max

1 max

главный
max

1 max

2 max

3 max

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

$$\Delta d = k\lambda$$

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

$$\text{гл. max} : k = 0$$

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

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

.....

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

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

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

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

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

.....

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

Дифракционная решетка

3 min

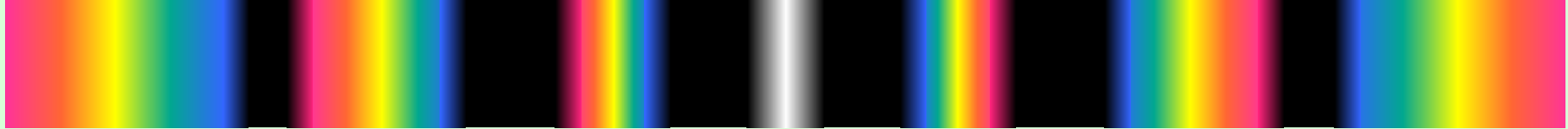
2 min

1 min

1 min

2 min

3 min



3 max

2 max

1 max

*главный
max*

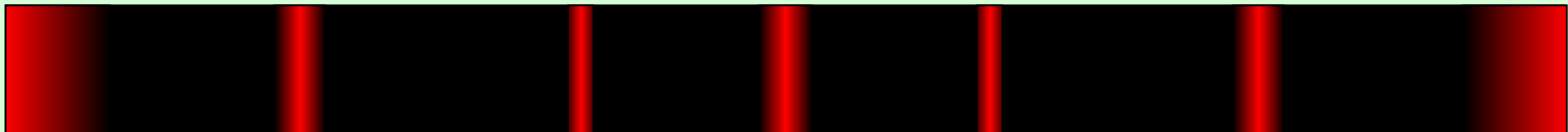
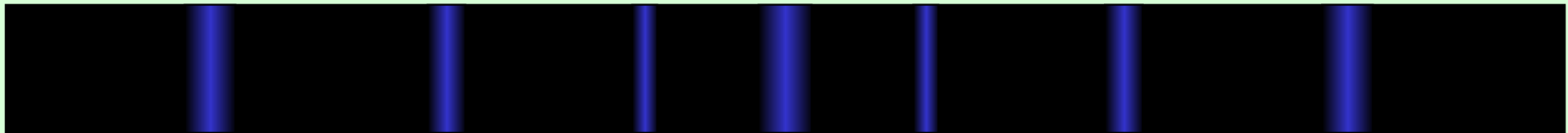
1 max

2 max

3 max

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

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



Дифракционная решетка

Максимальный порядок спектра.

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

$$\varphi_{\max} = 90^0 \Rightarrow \sin \varphi_{\max} = 1$$

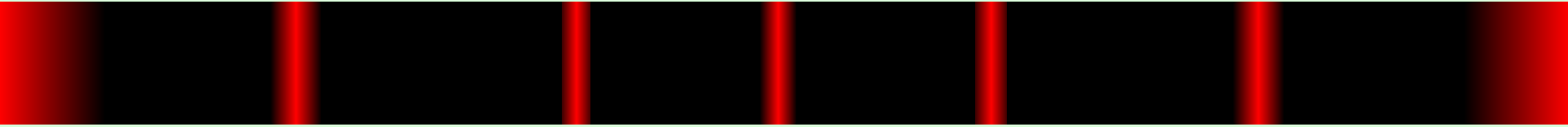
$$d \cdot 1 = k_{\max} \lambda$$

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

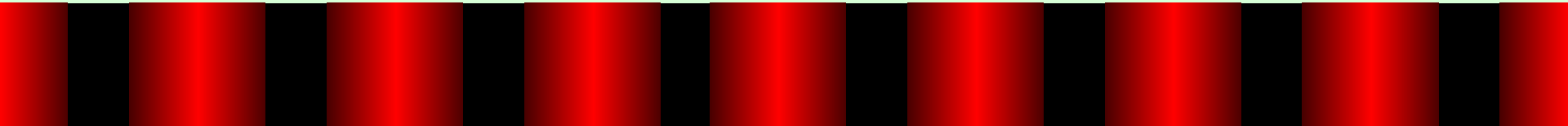


Дифракционная решетка

Дифракционная картина от дифракционной решетки:

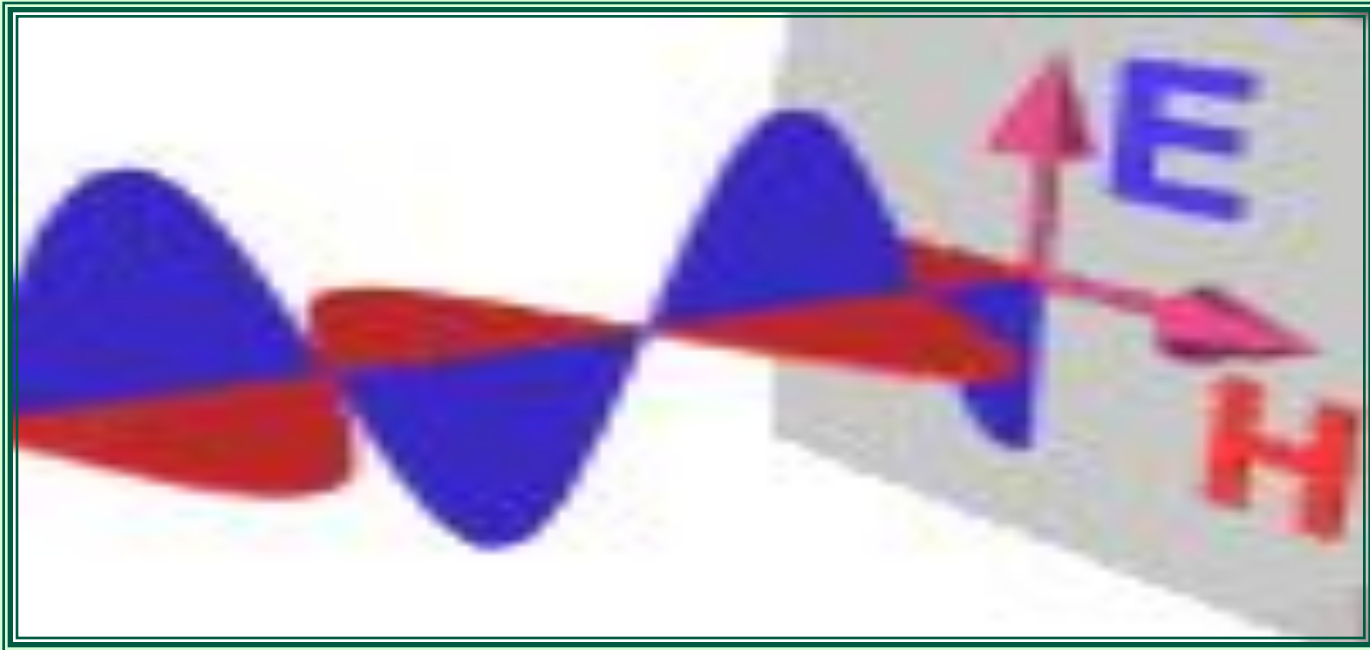


Дифракционная картина от двух щелей:



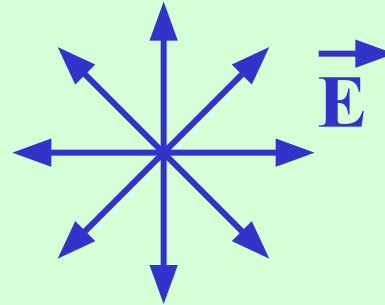
Поляризация света

Свет – электромагнитная волна – поперечная волна.

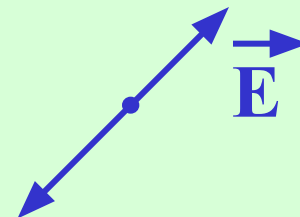
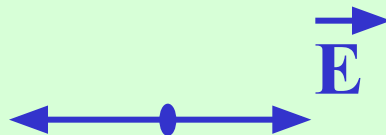
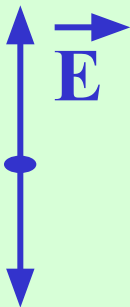


Поляризация света

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

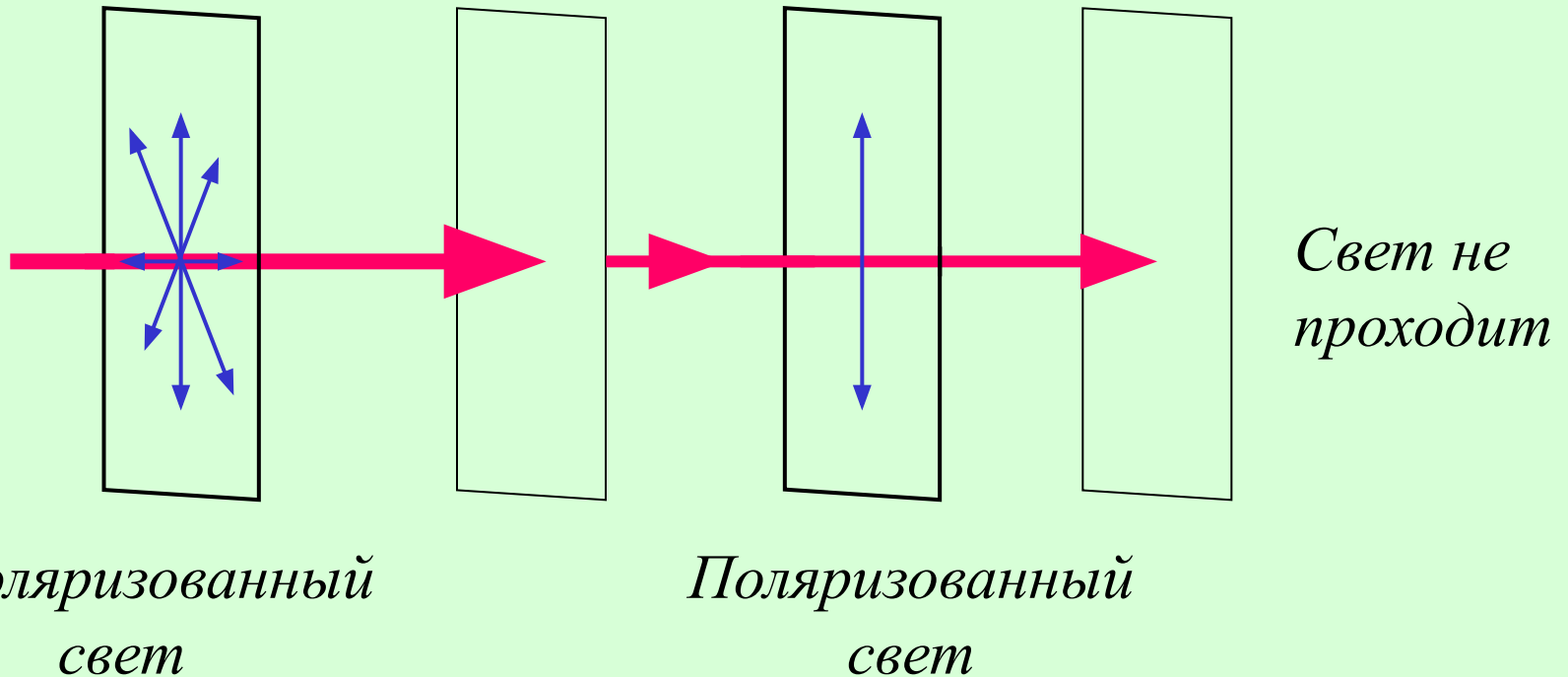
Свет поляризуется

- при прохождении через поляроид**
- при отражении и преломлении**



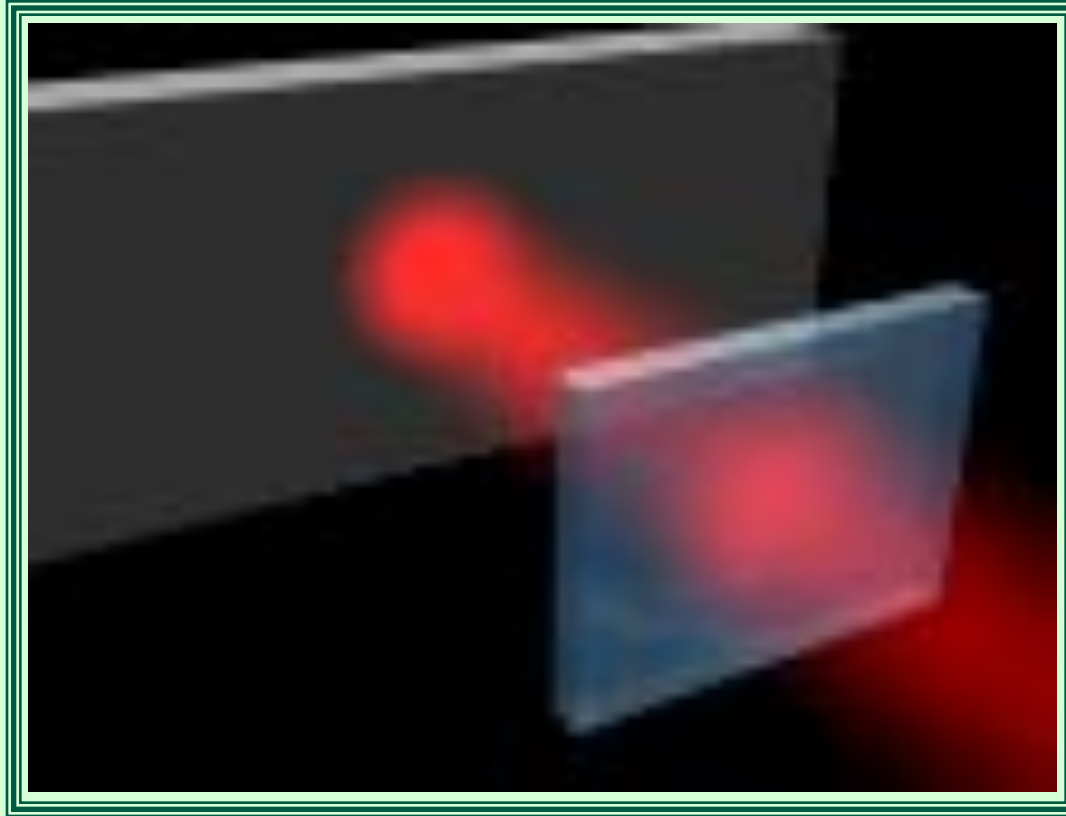
Поляризация света

Свет поляризуется при прохождении через поляроид.



Поляризация света

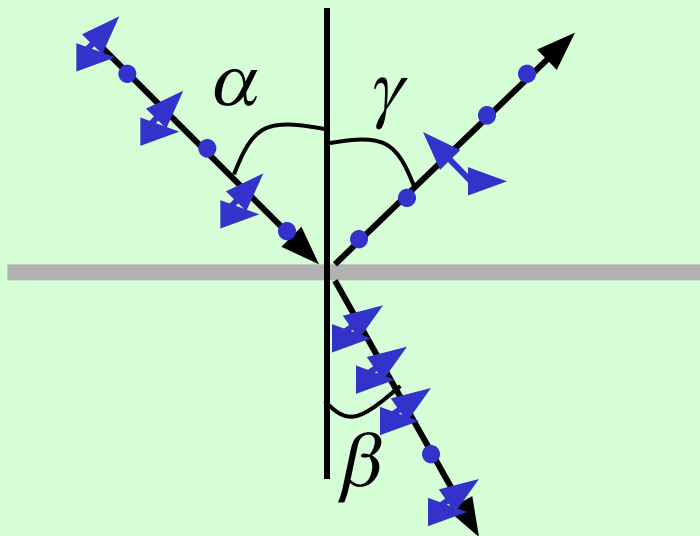
Поляроид – вещество, вызывающее поляризацию света.



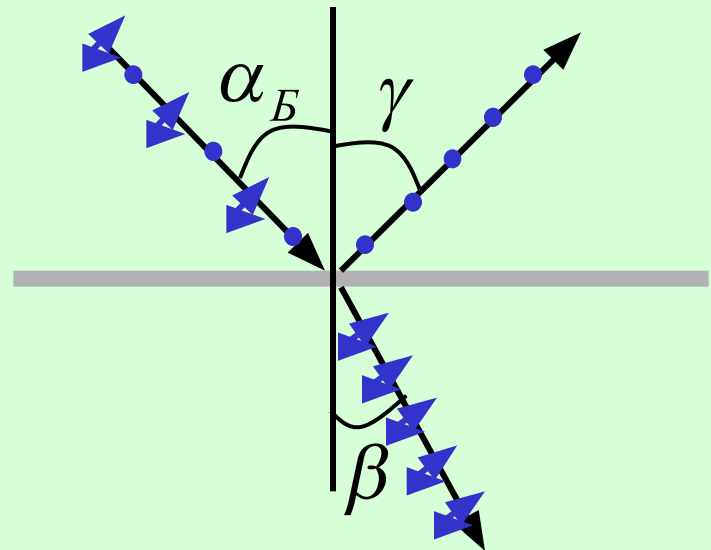
Поляризация света

При отражении и преломлении свет поляризуется.

Частичная поляризация



Полная поляризация



$\alpha = \alpha_B$ - угол Брюстера

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

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

