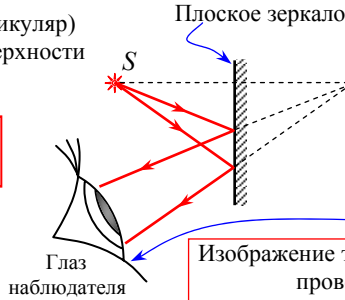
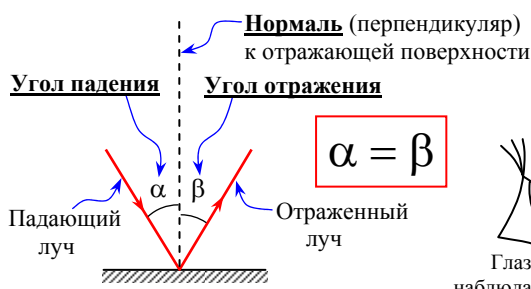


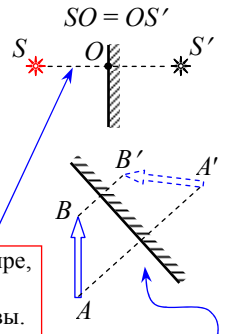
# Х. Оптика

**1. Закон отражения** Луч падающий и луч отраженный лежат в одной плоскости с нормалью, проведенной к отражающей поверхности в точке падения луча. При этом **угол падения равен углу отражения**.



Плоское зеркало  
 $S$  — изображение светящейся точки  $S$  в плоском зеркале — точка пересечения продолжений всех лучей, отраженных от зеркала — наблюдателю кажется, что лучи, попадающие в его глаз, приходят из точки  $S'$

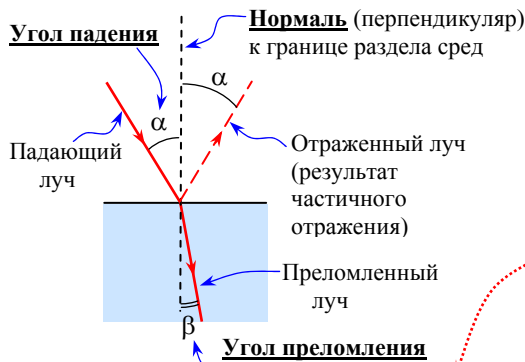
Изображение точки в плоском зеркале лежит на перпендикуляре, проведенном к зеркалу из этой точки, причем, расстояния до зеркала от точки и от ее изображения одинаковы.



Изображение предмета симметрично самому предмету относительно плоскости зеркала

## 2. Закон преломления

При переходе из одной прозрачной среды в другую световой луч частично отражается от границы раздела сред, а частично проходит в следующую среду, причем, в новой среде направление луча может измениться. Такой луч, изменивший свое направление при переходе в новую среду, называется ПРЕЛОМЛЕННЫМ лучом.



Луч падающий и луч преломленный лежат в одной плоскости с нормалью, проведенной к границе раздела сред в точке падения луча. При этом **отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для данных двух сред при данной частоте излучения**.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{21} = \frac{v_{\text{света } 1}}{v_{\text{света } 2}} = \frac{n_2}{n_1}$$

абсолютный показатель преломления второй среды

абсолютный показатель преломления первой среды

**Абсолютный показатель преломления** — показатель преломления среды относительно вакуума:

$$n_{\text{среды}} = \frac{c}{v_{\text{света в среде}}}$$

Скорость света в вакууме  $c \approx 3 \cdot 10^8$  м/с  
 $v_{\text{света в воздухе}} \approx c$ , т. е.  $n_{\text{воздуха}} \approx 1$

**Относительный показатель преломления** (показатель преломления второй среды относительно первой)

Отношение скорости света в первой среде к скорости света во второй

При переходе луча в оптически менее плотную среду ( $n_2 < n_1$ ) может произойти ПОЛНОЕ ОТРАЖЕНИЕ луча от границы раздела сред, если угол падения слишком велик:  $\alpha \geq \alpha_0$

Среда 2 (воздух)  $n_2 < n_1 \Rightarrow \alpha < \beta$

$\alpha_0$  — **угол полного внутреннего отражения**

при угле падения  $\alpha = \alpha_0$   
 угол преломления  $\beta_0 = 90^\circ \Rightarrow$

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

$$\sin \alpha_0 = \frac{1}{n}$$

если луч выходит в воздух или вакуум из среды с показателем преломления  $n$

| $n_2 > n_1$ ; $\alpha > \beta$                                                                | $n_2 < n_1$ ; $\alpha < \beta$                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Среда 1 (воздух) <math>n_1</math><br/>                 Среда 2 (вода) <math>n_2</math></p> | <p>Среда 1 (стекло) <math>n_1</math><br/>                 Среда 2 (воздух) <math>n_2</math></p> |
| При переходе луча в оптически более плотную среду ( $n_2 > n_1$ ) луч приближается к нормали  | При переходе луча в оптически менее плотную среду ( $n_2 < n_1$ ) луч отдаляется от нормали     |

$$n_1 \cdot \sin \alpha_1 = n_2 \cdot \sin \alpha_2 = \dots = \text{const}$$

произведение показателя преломления среды на синус угла между лучом и нормалью в этой среде остается неизменным при переходе из одной среды в другую

## 4. Линза — прозрачное тело, ограниченное двумя сферическими поверхностями.

Линза считается **тонкой**, если ее толщина  $AB$  мала по сравнению с радиусами  $R_1$  и  $R_2$  сферических поверхностей, ограничивающих линзу, а также по сравнению с расстояниями  $d$  и  $f$  от линзы до предмета и от линзы до изображения.

Линза называется **собирающей**, если лучи, падающие на нее параллельно друг другу, после преломления сходятся.

Линза называется **рассеивающей**, если лучи, падающие на нее параллельно друг другу, после преломления расходятся.

**Фокусом линзы** называется точка, в которой после преломления пересекаются лучи, упавшие на линзу параллельно ее главной оптической оси (или продолжения преломленных лучей, если линза рассеивающая).

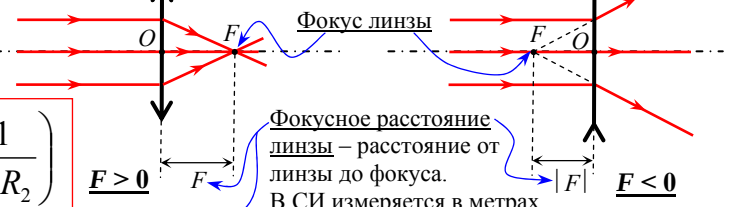
**Оптическая сила линзы** измеряется в **диоптриях**:  
 $1 \text{ дптр} = 1/\text{м} = 1 \text{ м}^{-1}$

$$D = \frac{1}{F} = \left( \frac{n_{\text{линзы}}}{n_{\text{среды}}} - 1 \right) \cdot \left( \frac{1}{\pm R_1} + \frac{1}{\pm R_2} \right)$$

**Главная оптическая ось линзы** — прямая, проходящая через центры  $O_1$  и  $O_2$  сферических поверхностей, ограничивающих линзу.

Обозначение тонкой собирающей линзы

Обозначение тонкой рассеивающей линзы



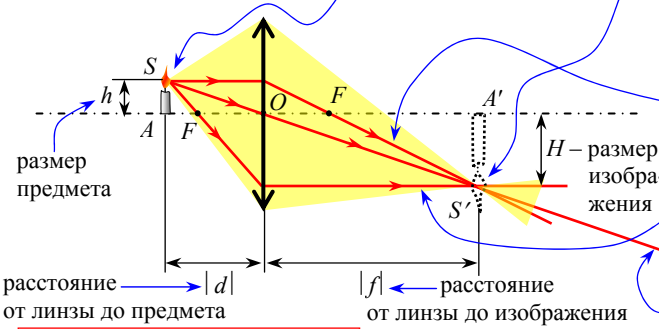
**Фокусное расстояние линзы** — расстояние от линзы до фокуса. В СИ измеряется в метрах.

$F > 0$

$F < 0$

## 5. Изображение

точки  $S$  в линзе — это такая точка  $S'$ , в которой лучи, вышедшие из точки  $S$ , пересекаются после преломления в линзе.



Чтобы построить изображение  $S'$  точки  $S$ , надо знать ход двух лучей, вышедших из  $S$  и преломленных в линзе (где пересекутся эти лучи, там пересекутся и все остальные). Всегда известен ход следующих лучей:

- луч, падающий на линзу параллельно главной оптической оси, преломившись, проходит через фокус (если линза собирающая) или идет так, что его продолжение проходит через фокус (если линза рассеивающая)
- луч, падающий на собирающую линзу, по прямой, проходящей через фокус (луч, падающий на рассеивающую линзу вдоль прямой, проходящей через фокус, расположенный с другой стороны линзы) преломившись, идет параллельно главной оптической оси
- луч, проходящий через оптический центр тонкой линзы, после преломления практически не отклоняется от прямой, вдоль которой он упал на линзу. Если показатель преломления среды одинаков с обеих сторон линзы, то оптический центр (точка  $O$  на рисунке) — пересечение главной оптической оси с плоскостью тонкой линзы.

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

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

**Формула тонкой линзы**

**Линейное** (поперечное) **увеличение** — отношение размера изображения ( $H$ ) к размеру предмета ( $h$ ), когда предмет — отрезок, перпендикулярный главной оптической оси.

**Расстановка знаков в**

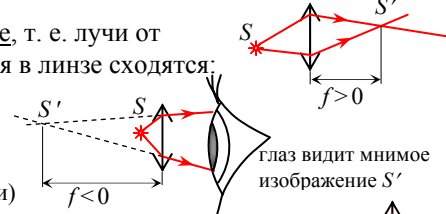
**формуле тонкой линзы:** Перед фокусным расстоянием  $|F|$ : «+» — если линза собирающая, «-» — если линза рассеивающая.

Перед расстоянием  $|f|$  от линзы до изображения: «+» — если изображение действительное, т. е. лучи от точечного источника после преломления в линзе сходятся;

«-» — если изображение мнимое, т. е. лучи от точечного источника

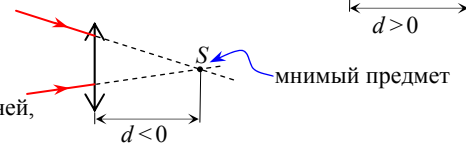
его нельзя получить на экране, как действительное изображение

после преломления в линзе расходятся. В этом случае изображением считается точка пересечения продолжений преломленных лучей  $S'$  (именно в этой точке видится источник света глазу, в который попадают преломленные лучи)



Перед расстоянием  $|d|$  от линзы до предмета: «+» — если предмет действительный, т. е. лучи от точечного источника падают на линзу расходящимся конусом:

«-» — если предмет мнимый, т. е. лучи от точечного источника падают на линзу сходящимся конусом (это возможно, например, если лучи предварительно прошли через собирающую линзу). В этом случае предметом считается точка пересечения продолжений лучей, упавших на линзу.



## 6. Возможные случаи расположения предмета:

**6.1.  $d \rightarrow \infty$**  (т. е.  $d \gg |F|$ ) В этом случае лучи от точечного источника идут практически параллельно друг другу.

**$f = F$**  — изображение точечного источника находится в фокальной плоскости.

**6.2.  $d \in (2F; \infty)$**   
 **$f \in (F; 2F)$**   
(фотография)  
Изображение: действительное ( $f > 0$ ), перевернутое, уменьшенное ( $|d| > |f| \Rightarrow \Gamma < 1$ )

**6.3.  $d = 2F$ ;  $f = 2F$**   
Размер изображения равен размеру предмета ( $d = f, \Gamma = 1$ )

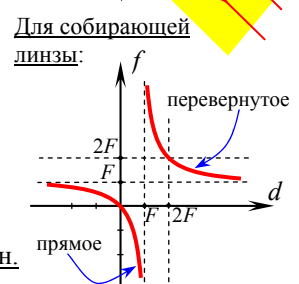
**6.4.  $d \in (F; 2F)$**   
 **$f \in (2F; \infty)$**   
(кино, диафильм)  
Изображение: действительное ( $f > 0$ ), перевернутое, увеличенное ( $|d| < |f| \Rightarrow \Gamma > 1$ )

**6.5.  $d = F$ ;  $f \rightarrow \infty$**  — лучи от источника, лежащего в фокальной плоскости, преломившись, идут параллельно.

**6.6.  $d \in (0; F)$**   
 **$f \in (-\infty; 0)$**   
(лупа)  
Изображение: мнимое ( $f < 0$ ), прямое, увеличенное ( $|d| < |f| \Rightarrow \Gamma > 1$ )

### 6.7. Рассеивающая линза:

Изображение: мнимое ( $f < 0$ ), прямое, уменьшенное ( $|d| > |f| \Rightarrow \Gamma < 1$ )



## 7. Интерференция

— наложение волн, при котором эти волны в одних точках усиливают друг друга, а в других — ослабляют друг друга, так, что интенсивность результирующей волны не равна сумме интенсивностей складывающихся волн ( $I \neq I_1 + I_2$ ). Наблюдать интерференцию можно только при наложении **когерентных волн**.

**Когерентными** называются волны, разность фаз ( $\phi_2 - \phi_1$ ) которых в точке наложения не меняется с течением времени.

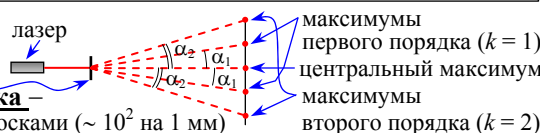
Фаза гармонической (мономатической) волны:  $\phi = \omega t - \frac{2\pi}{\lambda_{\text{вак}}} r_{\text{опт}} + \phi_0$ . Для когерентных волн:  $\phi_2 - \phi_1 = \frac{2\pi}{\lambda_{\text{вак}}} \Delta_{\text{опт}}$

Чтобы волны были когерентны, необходимо:  $\omega_1 = \omega_2$   
 $r_{\text{опт}}$  — оптическая длина пути волны от источника до точки наложения волн:  $r_{\text{опт}} = r_1 n_1 + r_2 n_2 + \dots$

Разность хода этих волн:  $\Delta = r_1 - r_2 = d \cdot x / L$   
Ширина интерференционной полосы:  $h = \lambda \cdot L / d$  (расстояние между соседними максимумами)

## 8. Дифракция

— отклонение от прямолинейного распространения волн при огибании препятствий (прохождении отверстий). В результате дифракции света возникает картина чередования светлых и темных полос, причем свет может попасть в зону геометрической тени. **Дифракционная решетка** — пластинка с чередующимися прозрачными и непрозрачными полосками ( $\sim 10^2$  на 1 мм)



$d \cdot \sin \alpha_k = k \cdot \lambda$   
период решетки  
 $d = (10^{-3} / N)$  м  
число штрихов на 1 мм