

# Оптика

**Оптика** – это раздел физики, в котором изучаются закономерности световых явлений, природа света и его взаимодействие с веществом.

**Световой луч** – это линия, вдоль которой распространяется свет.

## Закон независимости световых лучей:

при пересечении световых лучей каждый из них продолжает распространяться в прежнем направлении.

**Источник света** – это тело, которое излучает свет.

При излучении света источник теряет энергию, при поглощении его внутренняя энергия увеличивается, т. е. распространение света сопровождается переносом энергии.

*Виды источников света:*

- тепловые – это источники, в которых излучение света происходит в результате нагревания тела до высокой температуры;
- люминисцентные – это тела, излучающие свет при облучении их светом, рентгеновскими лучами, радиоактивным излучением и т. д.

**Точечный источник света** – это источник, представляющий собой светящуюся материальную точку, т. е. источник, размеры которого малы по сравнению с расстоянием до освещаемого предмета.

Если источник света находится в бесконечности, то его лучи падают на поверхность параллельным пучком.

**Свет** – это электромагнитная волна с частотой от  $1,5 \cdot 10^{11}$  Гц до  $3 \cdot 10^{16}$  Гц.

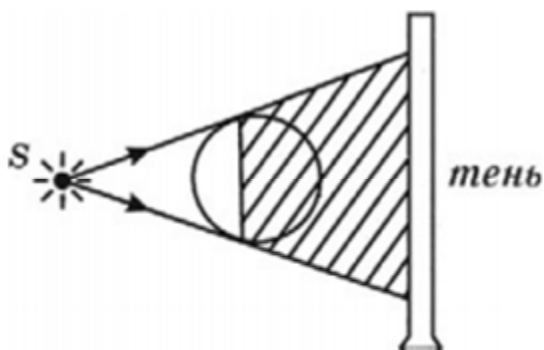
Скорость света в вакууме:  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с.

## Прямолинейное распространение света

### Закон распространения света:

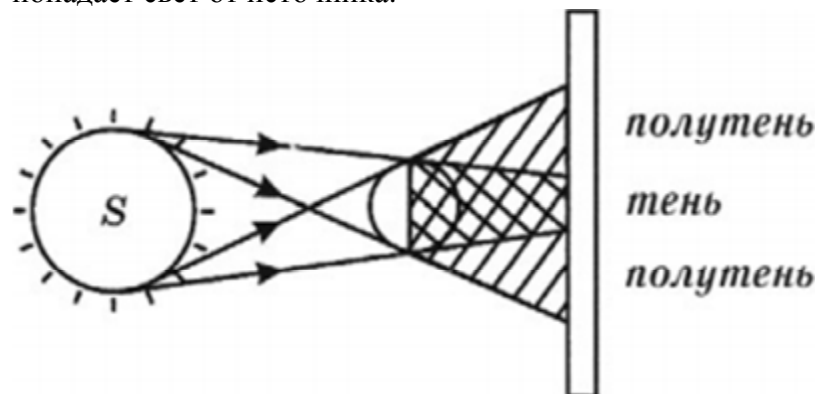
свет в прозрачной однородной среде распространяется прямолинейно.

Экспериментальным доказательством прямолинейности распространения света является образование тени.



**Тень** – это область пространства, куда не попадает свет от источника.

**Полутень** – это область пространства, куда частично попадает свет от источника.



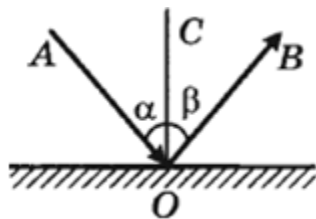
Если источник света точечный, то на экране образуется четкая тень предмета.

Если источник неточечный, то на экране образуется размытая тень (области тени и полутени).

Образованием тени при падении света на непрозрачный предмет объясняются такие явления, как солнечное и лунное затмения.

# Закон отражения света

**Отражение** – это явление, при котором при падении световых лучей на непрозрачную гладкую поверхность они меняют направление распространения, возвращаясь в прежнюю среду.



АО – падающий луч, ОВ – отраженный луч, СО – перпендикуляр

**Угол падения** – это угол между падающим лучом и перпендикуляром к отражающей поверхности.

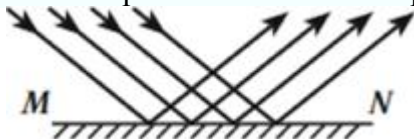
**Угол отражения** – это угол между отраженным лучом и перпендикуляром к отражающей поверхности.

## Законы отражения света

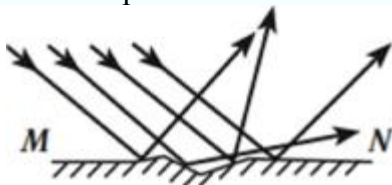
- Лучи падающий и отраженный лежат в одной плоскости с перпендикуляром, восстановленным в точку падения луча к отражающей поверхности.
- Угол отражения равен углу падения.  $\angle\beta = \angle\alpha$ , где  $\alpha$  – угол падения,  $\beta$  – угол отражения.

## Виды отражения

- *Зеркальное* – это отражение, при котором лучи, падающие на поверхность параллельным пучком, после отражения остаются параллельными.



- *Рассеянное* – это отражение, при котором лучи, падающие на поверхность параллельным пучком, после отражения отклоняются в различных направлениях.



Если луч падает перпендикулярно отражающей поверхности, то угол падения равен нулю, и угол отражения тоже равен нулю. Поэтому луч отражается в обратном направлении.

## Важно!

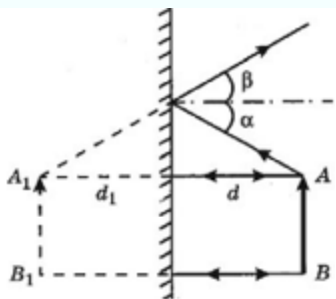
В оптике все углы отсчитываются от перпендикуляра к отражающей поверхности или к границе раздела сред.

# Построение изображений в плоском зеркале

Построение изображения в плоском зеркале основано на законах отражения света.

## Алгоритм построения изображения в плоском зеркале

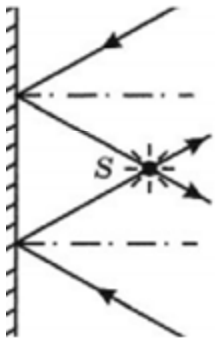
1. Проведите из данной точки на поверхность луч под произвольным углом. В точке падения луча на границу раздела сред проведите перпендикуляр.
2. Отметьте угол падения  $\alpha$ .
3. Постройте равный ему угол отражения  $\beta$ .
4. Проведите из данной точки перпендикуляр к поверхности зеркала ( $\alpha=0$ ).
5. Постройте равный ему угол отражения ( $\beta=0$ ) (эти лучи совпадают).
6. Проведите пунктирной линией продолжения отраженных лучей за зеркало.
7. Найдите точку пересечения продолжений отраженных лучей (эта точка является изображением данной точки в плоском зеркале).
8. Аналогично постройте изображение второй точки.
9. Соедините полученные изображения точек пунктирной линией.



Изображение предмета в плоском зеркале мнимое, прямое, по размерам равное предмету, находящееся за зеркалом на таком же расстоянии, на каком предмет находится перед зеркалом.

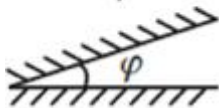
**Важно!**

Если на поверхность плоского зеркала падает сходящийся пучок лучей, то изображение получается действительным.



Если поверхность двух плоских зеркал образует угол  $\varphi$ , то количество изображений в такой системе зеркал можно определить по формуле:

$$N = \frac{360^\circ}{\varphi} - 1$$



где N – количество изображений.

## Закон преломления света

**Преломление света** – это изменение направления распространения светового луча на границе раздела двух сред.

**Угол преломления** – это угол между преломленным лучом и перпендикуляром к границе раздела двух сред.

$\gamma$  – угол преломления

**Законы преломления света**

Лучи падающий и преломленный лежат в одной плоскости с перпендикуляром, восстановленным в точку падения луча к преломляющей поверхности.

Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для данных двух сред и равная относительному показателю преломления двух сред:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n_{21}$$

где  $n_{21}$  – относительный показатель преломления.

Первой является среда, в которой распространяется падающий луч, второй является среда, в которой распространяется преломленный луч.

*Относительный показатель преломления* равен отношению абсолютного показателя преломления второй среды к абсолютному показателю преломления первой среды:

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$$

где  $n_1$  – абсолютный показатель преломления первой среды;  $n_2$  – абсолютный показатель преломления второй среды.

*Абсолютный показатель преломления* показывает, во сколько раз скорость света в вакууме больше, чем в данной среде:

$$n = \frac{c}{v},$$

где  $c$  – скорость света в вакууме,  $v$  – скорость распространения света в данной среде.

$$n_{21} = \frac{c \cdot v_1}{v_2 \cdot c} = \frac{v_1}{v_2}.$$

Относительный показатель преломления показывает, во сколько раз скорость распространения света в первой среде больше, чем во второй:

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2}.$$

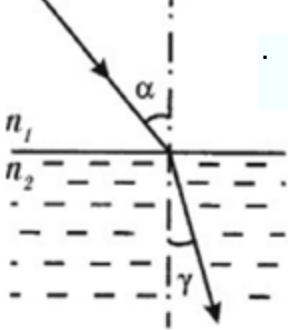
Среда, у которой абсолютный показатель преломления больше, является оптически более плотной средой.

Среда, у которой абсолютный показатель преломления меньше, является оптически менее плотной средой.

### Следствия закона преломления света

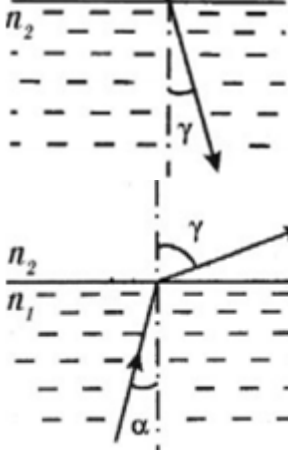
Если свет падает из оптически менее плотной среды в оптически более плотную, то угол падения больше угла преломления:

$$n_1 < n_2, \quad \angle \alpha > \angle \gamma.$$

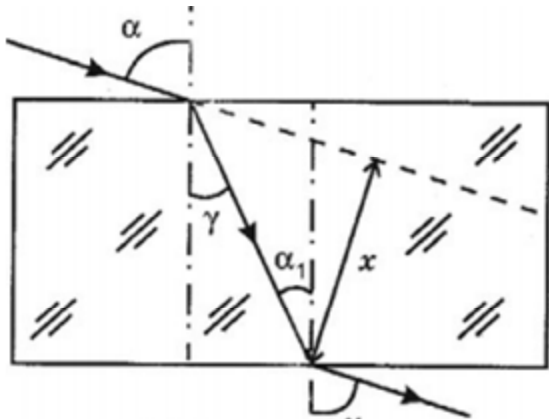


Если свет падает из оптически более плотной среды в оптически менее плотную, то угол падения меньше угла преломления:

$$n_1 > n_2, \quad \angle \alpha < \angle \gamma.$$



Если луч падает на плоско параллельную пластину, изготовленную из оптически более плотного вещества, чем окружающая среда, то луч не изменяет своего направления, а лишь смещается на некоторое расстояние.



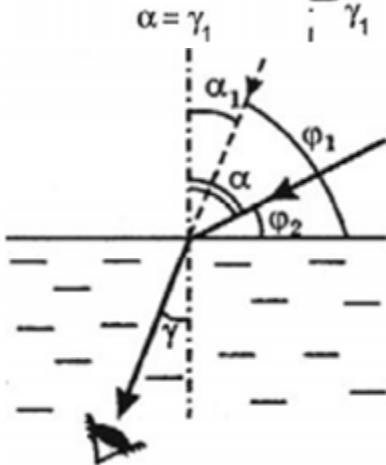
$x$  – смещение луча от первоначального направления:

$$x = \frac{d \cdot \sin(\alpha - \gamma)}{\cos \gamma}$$

где  $d$  – толщина пластины.

### Важно!

Если в условии задачи говорится, что «кажется, что луч падает под углом  $\phi_1$  к поверхности воды», то имеют в виду не кажущийся угол падения  $\alpha_1$ , а угол между кажущимся падающим лучом и поверхностью воды  $\phi_1$ .



# Линзы. Оптическая сила линзы

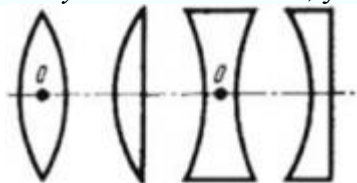
**Линза** – это прозрачное тело, ограниченное двумя сферическими или криволинейными поверхностями, одна из которых может быть плоской.

**Тонкая линза** – физическая модель линзы, в которой ее толщиной можно пренебречь по сравнению с диаметром линзы.

## Классификация линз

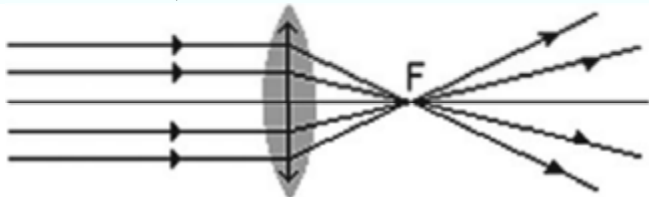
1. По форме:

- *выпуклые* – это линзы, у которых средняя часть толще, чем края;
- *вогнутые* – это линзы, у которых края толще, чем средняя часть.

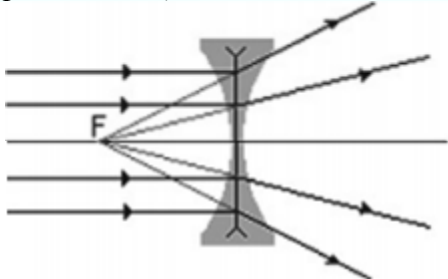


2. По оптическим свойствам:

- *собирающие* – это линзы, после прохождения которых параллельный пучок лучей собирается в одной точке;



- *рассеивающие* – это линзы, после прохождения которых параллельный пучок лучей рассеивается.



Условные обозначения:

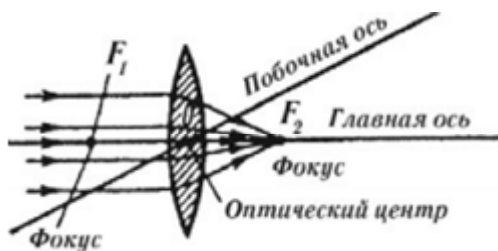


– собирающая линза;



– рассеивающая линза.

## Величины, характеризующие линзу



*Главная оптическая ось* – это прямая, проходящая через центры сферических поверхностей линзы.

*Оптический центр линзы* – это точка пересечения главной оптической оси с линзой, проходя через которую луч не изменяет своего направления.

*Побочная оптическая ось* – это любая прямая, проходящая через оптический центр линзы под произвольным углом к главной оптической оси.

*Фокус линзы* – это точка, в которой пересекаются после преломления лучи, падающие на линзу параллельно главной оптической оси.

Обозначение – F.

*Фокусное расстояние* – это расстояние от оптического центра линзы до ее фокуса. Обозначение – F, единица измерения – м.

*Фокальная плоскость* – это плоскость, проходящая через фокус линзы перпендикулярно ее главной оптической оси.

*Побочный фокус* – это точка пересечения побочной оптической оси с фокальной плоскостью.

*Оптическая сила линзы* – это величина, обратная фокусному расстоянию.

Обозначение – D, единица измерения – диоптрия (дптр):

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

1 дптр – это оптическая сила линзы с фокусным расстоянием 1 м.

**Важно!**

Оптическая сила линзы зависит от показателя преломления линзы и от радиусов кривизны сферических поверхностей, ограничивающих линзу:

$$D = \left( \frac{n_l}{n_{cp}} - 1 \right) \cdot \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right),$$

где  $n_l$  – показатель преломления линзы,  $n_{cp}$  – показатель преломления среды,  $R_1$  и  $R_2$  – радиусы сферических поверхностей.

Если поверхности выпуклые, то  $R_1 > 0$  и  $R_2 > 0$ , если поверхности вогнутые, то  $R_1 < 0$  и  $R_2 < 0$ .

Если одна из поверхностей линзы плоская, например первая, то  $R_1 \rightarrow \infty$ , а вторая поверхность выпуклая:  $R_2 > 0$ , то

$$D = \left( \frac{n_l}{n_{cp}} - 1 \right) \cdot \left( \frac{1}{R_2} \right), \text{ т.к. } \frac{1}{\infty} = 0$$

## Интерференция света

**Интерференция света** – это явление перераспределения энергии в пространстве, происходящее в результате сложения когерентных волн, вследствие чего в одних местах возникают максимумы, а в других минимумы.

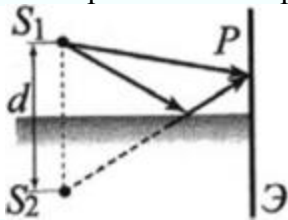
**Когерентные волны** – это волны, имеющие одинаковую частоту и постоянную во времени разность фаз.

Когерентные волны можно получить от одного источника в результате отражения, преломления или дифракции.

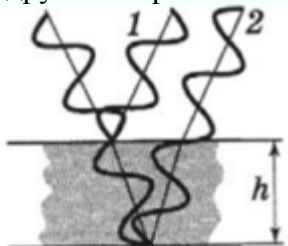
Два независимых источника света не могут быть когерентными, поэтому в опытах с интерференцией света световые пучки от одного источника разделяют на два пучка, заставляя их проходить разные расстояния, а потом соединяют.

**Когерентными могут быть:**

- волны, одна из которых падает на экран непосредственно от источника света, а другая создается его отражением в зеркале (зеркало Ллойда);

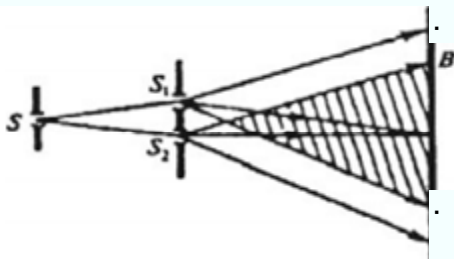


- волны, образованные отражением одной и той же волны от двух сдвинутых относительно друга поверхностей (тонкие пленки);



- волны, падающие от точечного источника на непрозрачную преграду с двумя узкими щелями, которые разделяют исходный пучок света на два когерентных пучка (опыт Юнга).





Интерференционная картина представляет собой чередование светлых (цветных) и темных полос.

Источником когерентных волн является лазер.

### Использование интерференции света

Интерферометры – это приборы, которые контролируют качество обработки поверхностей зеркал, точность

изготовления деталей оптических инструментов и измерительных приборов.

Просветление оптики – на поверхность линз наносят тонкую пленку с показателем преломления меньше, чем показатель преломления стекла. Подбирая толщину пленки и величину показателя преломления, добиваются «гашения отраженных волн», вследствие чего возрастает интенсивность света, пропускаемого линзой.

## Дифракция света

**Дифракция света** – это явление отклонения волны от прямолинейного распространения при прохождении через малые отверстия и огибании волной малых препятствий.

Наилучшее условие для наблюдения дифракции создается, когда размеры отверстий или препятствий – порядка длины волны. Чтобы определить распределение интенсивности световой волны, распространяющейся в среде с неоднородностями, используют принцип Гюйгенса–Френеля.

### Принцип Гюйгенса–Френеля

Каждая точка фронта волны является источником вторичных волн, которые интерферируют между собой. Поверхность, касательная ко всем вторичным волнам, представляет новое положение фронта волны в следующий момент времени.



Все вторичные источники, расположенные на поверхности фронта волны, когерентны между собой, поэтому амплитуда и фаза волны в любой точке пространства – это результат интерференции волн, излучаемых вторичными источниками.

## Дисперсия света

**Дисперсия света** – это зависимость показателя преломления среды от длины волны (частоты) падающего на вещество света.

### Опыт Ньютона (1672)

Из-за дисперсии световые волны с различной длиной волны поразному преломляются веществом, что приводит к разложению белого света на цветные монохроматические лучи – спектр.



Цвет	Длина волны, нм	Ширина участка, нм
Красный	800 – 620	180
Оранжевый	620 – 585	35
Желтый	585 – 575	10
Зеленый	550 – 510	40
Голубой	510 – 480	30
Синий	480 – 450	30
Фиолетовый	450 – 390	60

Для лучей света различной цветности показатели преломления данного вещества различны, т. к. различны скорости распространения электромагнитных волн, у которых разная длина волны. Луч красного света преломляется меньше из-за того, что красный свет имеет в веществе наибольшую скорость, а луч фиолетового цвета преломляется больше, так как скорость для фиолетового цвета наименьшая. Это объясняется особенностями взаимодействия этих волн с электронами, входящими в состав атомов и молекул вещества среды, где они движутся. Дисперсией света объясняется такое природное явление, как радуга.

## Основные формулы по теме «Оптика»

$$\angle \beta = \angle \alpha \quad - \text{закон отражения света}$$

$$N = \frac{360^\circ}{\varphi} - 1 \quad - \text{количество изображений, даваемых плоскими зеркалами}$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n_{21} \quad - \text{закон преломления света}$$

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}, \quad n_{21} = \frac{v_1}{v_2} \quad - \text{относительный показатель преломления}$$

$$n = \frac{c}{v} \quad - \text{абсолютный показатель преломления}$$

$$\frac{\sin \alpha_{np.}}{\sin 90^\circ} = \sin \alpha_{np.} = \frac{n_2}{n_1} \quad - \text{предельный угол полного отражения}$$

$$\Theta = \alpha_1 + \gamma_2 - \varphi \quad - \text{угол отклонения луча призмой}$$

$$x = \frac{d \cdot \sin(\alpha - \gamma)}{\cos \gamma} \quad - \text{смещение луча от первоначального направления}$$

$$D = \frac{1}{F} \quad - \text{оптическая сила линзы}$$



$$\pm \frac{1}{F} = \pm \frac{1}{d} \pm \frac{1}{f} \quad - \text{ формула тонкой линзы}$$

$$\Gamma = \frac{H}{h}, \quad \Gamma = \frac{f}{d} \quad - \text{ увеличение линзы}$$

$$\Delta r = k\lambda, \quad \Delta r = 2k\frac{\lambda}{2} \quad - \text{ условие максимума интерференции}$$

$$\Delta r = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda, \quad \Delta r = (2k+1)\frac{\lambda}{2} \quad - \text{ условие минимума интерференции}$$

$$\Delta = n \cdot \Delta r \quad - \text{ оптическая разность хода}$$

$$d = a + b, \quad d = \frac{l}{N} \quad - \text{ период решетки}$$

$$d \sin \varphi = k\lambda \quad - \text{ формула дифракционной решетки}$$