

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИКИ (1)

Оптика – раздел физики, который изучает природу света, световые явления и взаимодействие света с веществом.

Оптическое излучение представляет собой электромагнитные волны, и поэтому оптика является частью общего учения об электромагнитном поле.

В зависимости от круга рассматриваемых явлений оптику делят на **геометрическую** (лучевую), **волновую** (физическую), **квантовую** (корпускулярную).

Ещё до установления природы света были известны следующие законы:

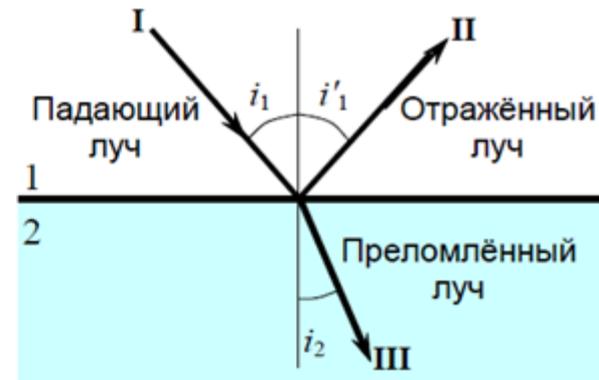
Закон прямолинейного распространения света: свет в оптически однородной среде распространяется прямолинейно.

Световой луч – линия, вдоль которой переносится световая энергия. В однородной среде лучи света представляют собой **прямые линии**.

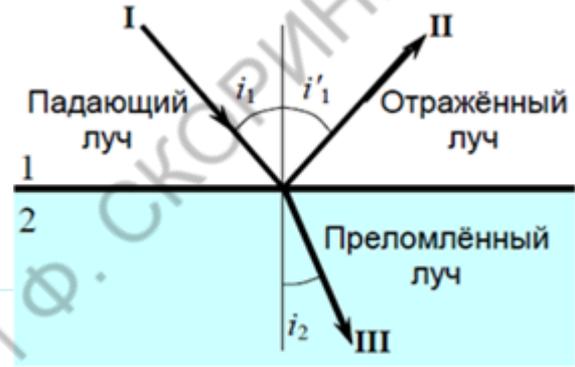
Закон независимости световых пучков: эффект, производимый отдельным пучком, не зависит от того, действуют ли одновременно остальные пучки или они устранены.

Закон отражения: отражённый луч лежит в одной плоскости с падающим лучом и перпендикуляром, проведённым к границе раздела двух сред в точке падения; угол отражения i'_1 равен углу падения i_1 :

$$i'_1 = i_1.$$



ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИКИ (2)



Закон преломления: луч падающий, луч преломлённый и перпендикуляр, проведённый к границе раздела двух сред в точке падения, лежат в одной плоскости; отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для данных сред, равная n_{21} – **относительному показателю преломления** второй среды относительно первой, который равен отношению абсолютных показателей преломления двух сред.

Следовательно, закон преломления будет иметь вид:

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2.$$

Абсолютным показателем преломления среды называется величина n , равная отношению скорости электромагнитных волн в вакууме c к их фазовой скорости

v в среде. Поскольку $v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}$, то:

$$n = \sqrt{\epsilon\mu},$$

где ϵ и μ – соответственно электрическая и магнитная проницаемость среды.

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = n_{21}$$

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

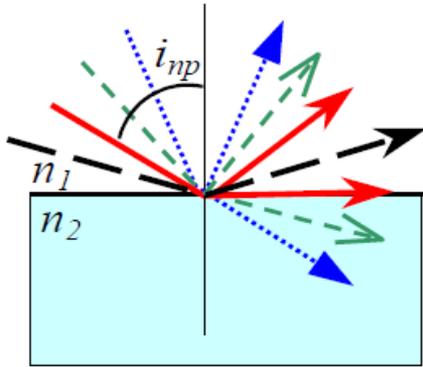
$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$$

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

$$n = \sqrt{\epsilon\mu}$$

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИКИ (2)

Если свет распространяется из среды с **большим** показателем преломления n_1 (оптически более плотной) в среду с **меньшим** показателем преломления n_2 (оптически менее плотную) ($n_1 > n_2$) (например, из стекла в воздух или из воды в воздух), то:



$$\frac{\sin i_2}{\sin i_1} = \frac{n_1}{n_2} > 1.$$

Следовательно, угол преломления i_2 больше угла падения i_1 . Увеличивая угол падения, при некотором **предельном угле** $i_{\text{пр}}$ угол преломления окажется

равным $\frac{\pi}{2}$. При углах падения $i_1 > i_{\text{пр}}$ весь падающий

свет **полностью отражается**.

При углах падения $i_{\text{пр}} > i_1 > \pi/2$ луч не преломляется, а полностью отражается в первую среду, причём интенсивности отражённого и падающего лучей одинаковы.

Это явление называется **полным внутренним отражением света**.

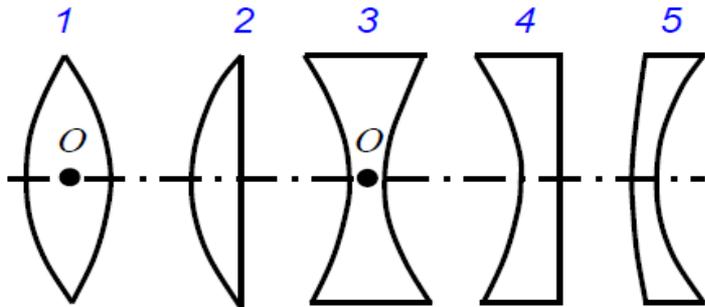
Предельный угол определяется соотношением

$$\sin i_{\text{пр}} = \frac{n_2}{n_1} \sin \frac{\pi}{2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}.$$

Явление полного отражения используется в призмах полного отражения и световодах.

ЛИНЗЫ (1)

Линзой называется прозрачное тело, ограниченное с двух сторон криволинейной поверхностью. (В частном случае одна из поверхностей может быть плоской). По внешней форме линзы делятся на

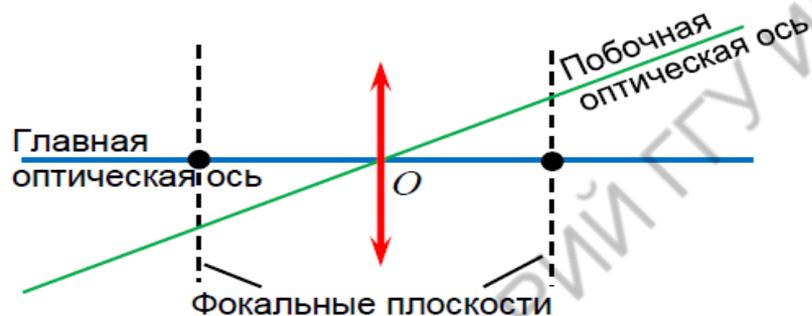


1) двояковыпуклые; 2) плосковыпуклые; 3) двояковогнутые; 4) плосковогнутые; 5) выпукло-вогнутые.

Линза называется **тонкой**, если её толщина значительно меньше, чем

радиусы кривизны R_1 и R_2 обеих поверхностей. На оптических схемах линзы обычно обозначают **двунаправленной стрелкой** (\updownarrow).

Радиус кривизны $R > 0$ для выпуклой поверхности; $R < 0$ для вогнутой.



Прямая проходящая через центры кривизны поверхностей линзы называется **главной оптической осью**.

Оптическим центром линзы (обычно обозначается O) называется точка, лежащая на главной оптической оси и обладающая тем

свойством, что лучи проходят сквозь неё, не преломляясь.

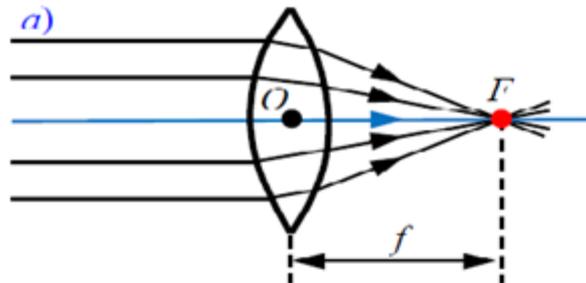
Побочными оптическими осями называются прямые, проходящие через оптический центр линзы и не совпадающие с главной оптической осью.

Фокусом линзы F называется точка, лежащая на главной оптической оси, в которой пересекаются лучи **параксиального** (приосевого) светового пучка, распространяющиеся параллельно главной оптической оси.

Фокальной плоскостью называется плоскость, проходящая через фокус линзы перпендикулярно её главной оптической оси.

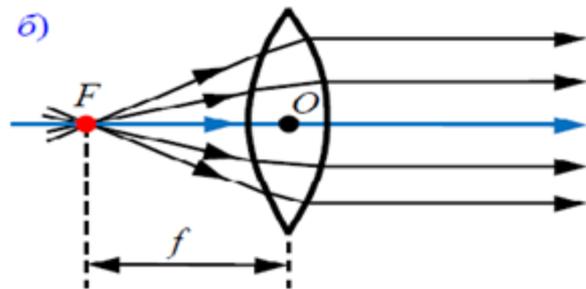
ЛИНЗЫ (2)

Фокусным расстоянием f называется расстояние между оптическим центром линзы O и её фокусом F :



$$f = \frac{1}{(n_{21} - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)}$$

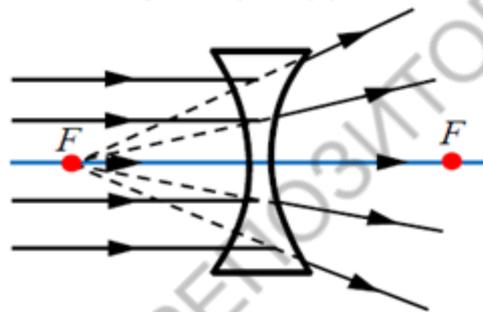
Формула тонкой линзы: $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$,



где a и b – расстояния от линзы до предмета и его изображения. Если $a = \infty$, т.е. лучи падают на линзу параллельным пучком (а), то $b = f$. Если $b = \infty$, т.е. изображение находится в бесконечности (б), и, следовательно, лучи выходят из линзы параллельным пучком, то $a = f$.

Фокусные расстояния линзы, окружённой с обеих сторон *одинаковой* средой, *равны*.

Величина $\Phi = 1/f$ называется **оптической силой линзы**. Ее единица – **диоптрия** (дптр) – оптическая сила линзы с фокусным расстоянием 1 м.

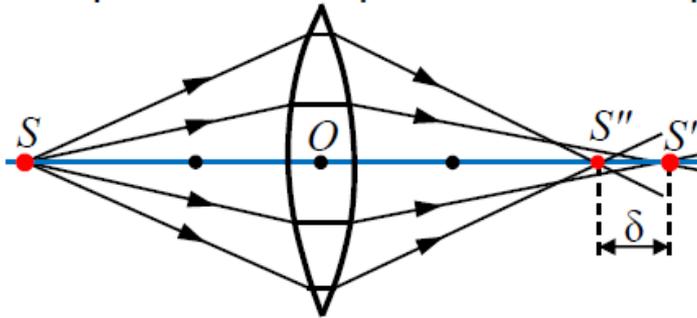


Линзы с **положительной** оптической силой являются **собирающими**, с **отрицательной** – **рассеивающими**.

В отличие от собирающей линзы, рассеивающая линза имеет **мнимые** фокусы. В мнимом фокусе сходятся (после преломления) воображаемые продолжения лучей, падающих на рассеивающую линзу параллельно главной оптической оси.

АБЕРРАЦИИ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ (1)

В реальных оптических системах используются пучки отличающиеся от параксиальных, показатель преломления линз зависит от длины волны падающего света, а сам свет немонохроматичен. Искажения оптического изображения которые возникают при этом называются **абберациями**.

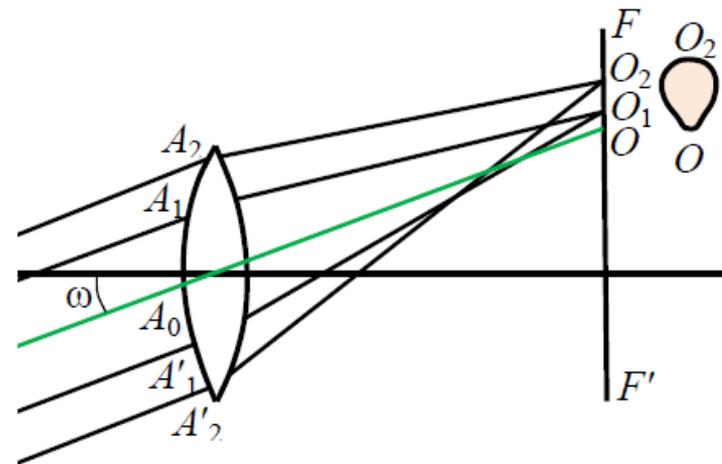


Сферическая абберация является частным случаем астигматизма.

Кома. Если через оптическую систему проходит широкий пучок от точечного источника света, расположенного не на оптической оси, то получаемое изображение этой точки будет в виде освещённого пятна неправильной формы.

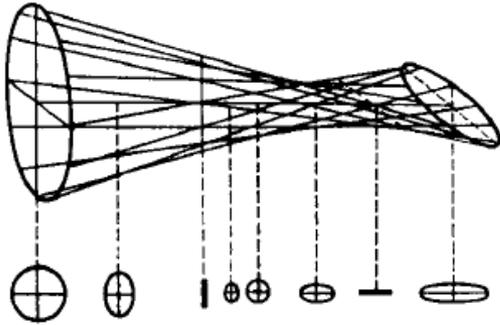
Точечным источником света называется источник, размерами которого можно пренебречь.

Сферическая абберация. Фокус S'' для лучей, более удалённых от оптической оси чем параксиальные, находится ближе, чем фокус S' параксиальных лучей. В результате изображение светящейся точки имеет вид расплывчатого пятна.



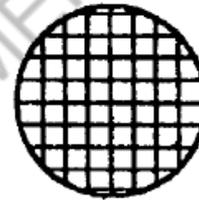
АБЕРРАЦИИ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ (2)

Астигматизм. Погрешность, обусловленная неодинаковостью кривизны оптической поверхности в разных плоскостях сечения падающего на неё светового пучка.

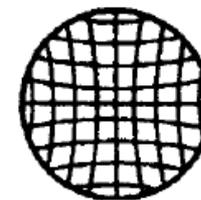


ко различается. В результате нарушается геометрическое подобие между предметом (например, прямоугольная сетка) и его изображением (рисунок (b) – подушкообразная дисторсия, (c) – бочкообразная дисторсия).

Дисторсия. Погрешность, при которой при больших углах падения лучей на линзу линейное увеличение для точек предмета, которые находятся на разных расстояниях от главной оптической



a)

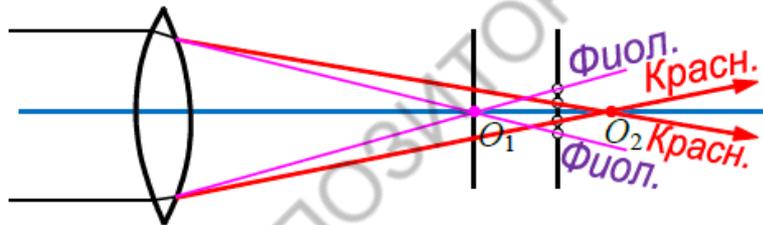


b)



c)

Хроматическая aberrация. При падении на оптическую систему белого света отдельные составляющие его монохроматические лучи фокусируются в разных точках (наибольшее фокусное расстояние имеют красные лучи, наименьшее – фиолетовые), поэтому



изображение размыто и по краям окрашено.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ В ФОТОМЕТРИИ (1)

Фотометрия – раздел оптики, в котором рассматриваются энергетические характеристики оптического излучения в процессах его испускания, распространения и взаимодействия с веществом. При этом значительное внимание уделяется вопросам измерения интенсивности света и его источников.

Энергетические величины в фотометрии характеризуют энергетические параметры оптического излучения без учёта особенностей его воздействия на тот или иной приёмник излучения.

Поток излучения Φ_e – величина, равная отношению энергии W излучения ко времени t , за которое излучение произошло (мощность излучения). *Единица потока излучения – ватт (Вт).*

$$\Phi_e = \frac{W}{t}.$$

Энергетическая светимость (излучательность) R_e – величина, равная отношению потока излучения Φ_e , испускаемого поверхностью, к площади S сечения, сквозь которое этот поток проходит (поверхностная плотность потока излучения). *Единица энергетической светимости – ватт на метр в квадрате (Вт/м²).*

$$R_e = \frac{\Phi_e}{S}.$$

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ В ФОТОМЕТРИИ (2)

Энергетическая сила света (сила излучения) I_e – величина, равная отношению потока излучения Φ_e точечного источника к телесному углу ω , в пределах которого это излучение распространяется. *Единица энергетической силы света – ватт настерадиан (Вт/ср).*

$$I_e = \frac{\Phi_e}{\omega}.$$

Энергетическая яркость (лучистость) B_e – величина, равная отношению энергетической силы света ΔI_e элемента излучающей поверхности к площади ΔS проекции этого элемента на плоскость, перпендикулярную направлению наблюдения. *Единица энергетической яркости – ватт настерадиан-метр в квадрате (Вт/(ср·м²)).*

$$B_e = \frac{\Delta I_e}{\Delta S}.$$

Энергетическая освещённость (облучённость) E_e – характеризует величину потока излучения, падающего на единицу освещаемой поверхности. *Единица энергетической освещённости – ватт на метр в квадрате (Вт/м²).*

СВЕТОВЫЕ ВЕЛИЧИНЫ В ФОТОМЕТРИИ

Различные приёмники, используемые при оптических измерениях, обладают **селективностью (избирательностью)**. Для каждого из них характерна своя кривая чувствительности к энергии различных длин волн.

Световые измерения, являясь субъективными, отличаются от объективных, энергетических, и для них вводятся световые единицы, используемые только для видимого света.

Основной световой единицей в СИ является **единица силы света I – кандела (кд)** – сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ герц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет $\frac{1}{683}$ Вт/ср.

Единица светового потока Φ (мощности оптического излучения) – **люмен (лм)**: 1 лм – световой поток, испускаемый точечным источником силой света в 1 кд внутри телесного угла в 1 ср (**1 лм = 1 кд·ср**).

Светимость R – суммарный поток, посылаемый светящейся площадкой с площадью S . **Единица светимости – люмен на метр в квадрате (лм/м²)**.

$$R = \frac{\Phi}{S}.$$

Яркость светящейся поверхности в некотором направлении φ есть величина, равная отношению силы света I в этом направлении к площади S проекции светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную данному направлению. **Единица яркости – кандела на метр в квадрате (кд/м²)**.

$$B_{\varphi} = \frac{I}{S \cos \varphi}.$$

Освещённость E – величина, равная отношению светового потока Φ , падающего на поверхность, к площади S этой поверхности. **Единица освещённости – люкс (лк)**: 1 лк – освещённость поверхности, на один квадратный метр которой падает световой поток в 1 лм (**1 лк = 1 лм/м²**).

$$E = \frac{\Phi}{S}.$$