

Законы оптики, лежащие в основе
построения оптических приборов.

- Оптика — это один из самых значимых разделов физики. Оптика помогает решить современные технические задачи в различных областях приборостроения, помогает в развитие промышленного производства.

1. Понятие оптики

- Оптика - раздел физики, в котором изучается природа оптического излучения (света), его распространение и явления, наблюдаемые при взаимодействии света и вещества. Оптическое излучение представляет собой электромагнитные волны, длина которых составляет приблизительно 10^{-5} - 10^{-7} м, и поэтому оптика - часть общего учения об электромагнитном поле.
- По традиции оптику принято подразделять на геометрическую, физическую и физиологическую.
- Одна из важнейших традиционных задач оптики - получение изображений, соответствующих оригиналам.
- Все оптические системы по положению предмета и его изображения делят на следующие четыре вида:
 - микроскопы;**
 - телескопические системы;**
 - объективы;**
 - проекционные системы.**
- Разнообразие оптических приборов и других оптических устройств и их совершенствование связано как с потребностями народного хозяйства, так и с успехами в области физики, автоматики, электроники, вычислительной техники и технологии.

2. Оптика – одна из древнейших наук

- О прямолинейном распространении световых лучей люди узнали ещё в глубокой древности, наблюдая за тенями от предметов. Возможно, и само понятие прямой линии возникло на основе таких наблюдений. Поэтому неудивительно, что автором первых дошедших до нас сочинений по оптике был великий древнегреческий математик Евклид, живший в III веке до нашей эры.
- Закон, описывающий отражение света, был известен ещё Евклиду и Архимеду, а во II веке Клавдий Птолемей проверил его экспериментально. Он обнаружил, что угол между падающим лучом и перпендикуляром к поверхности плоского зеркала (угол падения) равен углу между этим перпендикуляром и отраженным лучом (углу отражения).
- Свет, попав на границу раздела двух прозрачных сред, частично отражается обратно, в первую среду, оставшаяся же часть преломляется и проникает во вторую.

Закон, которому подчиняется преломление, пытались найти сначала греческие, а позже арабские ученые. Вителлий, поляк по происхождению, живший в Италии в VIII веке, обнаружил свойство обратимости световых лучей: углы между лучами и перпендикуляром к поверхности не зависят от того, с какой стороны свет пересекает преломляющую поверхность. Но автором закона преломления считается голландец Виллеброрд Снелль, экспериментально открывший его в 1621 году.

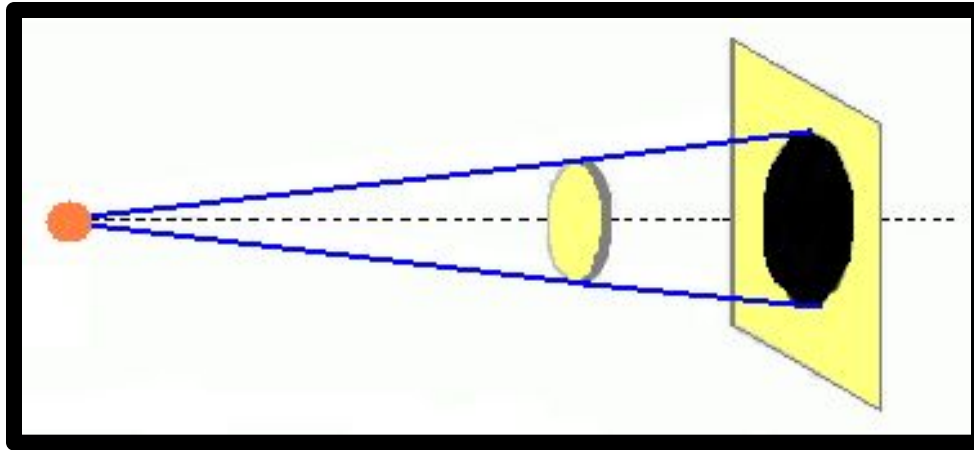
3. Основные законы оптики

- **Закон прямолинейного распространения света в однородной среде.**
- **Закон независимости световых лучей.**
- **Закон отражения света от зеркальной поверхности.**
- **Закон преломления света на границах двух прозрачных сред.**

3.1 Закон прямолинейного распространения света

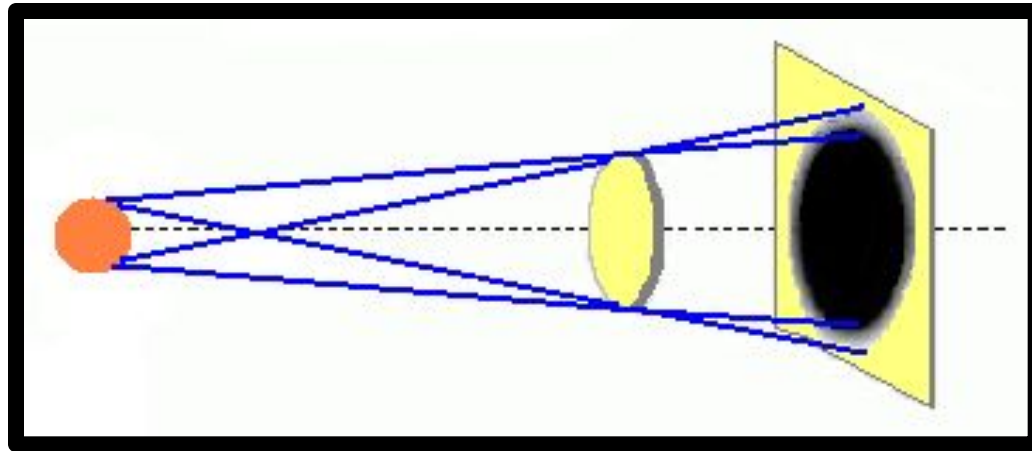
- Согласно этому закону свет между двумя точками в однородной и изотропной среде (в среде, оптические свойства которой не зависят от положения точки и от направления луча) распространяется по прямой, соединяющей указанные точки. На основе закона прямолинейного распространения света обычно объясняют возникновение теней и полутеней, явления солнечных и лунных затмений. Все самые точные физические и астрономические измерения основаны на применении этого закона.

Точечный источник



- Прямолинейность световых лучей означает, что форма тени предмета при его освещении точечным источником соответствует геометрической центральной проекции контура предмета (с центром в источнике).

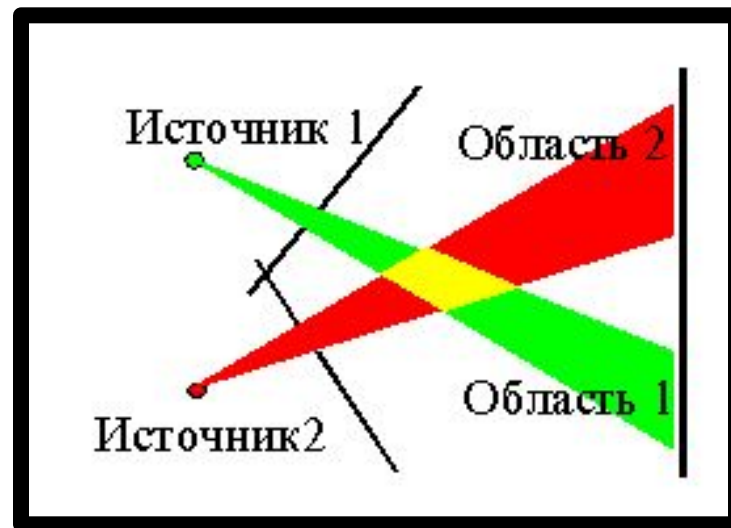
Протяженный источник



- При освещении предмета протяженным источником света края тени оказываются размытыми. В переходную область между полной тенью и светом (в область полутени) попадают лучи не от всех точек источника.

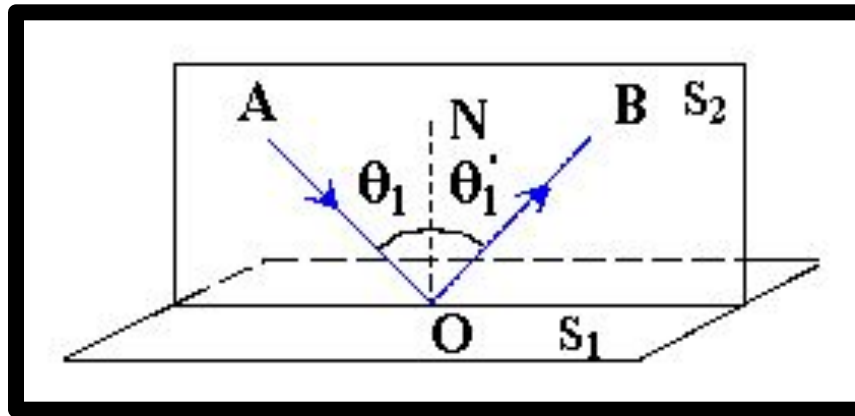
3.2 Закон независимости распространения световых пучков

- Сущность этого закона заключается в том, что отдельные лучи и пучки, встречаясь и пересекаясь друг с другом, не оказывают взаимного влияния. Другими словами, производимое одним пучком действие не зависит от наличия других пучков. Этот закон нарушается при распространении в веществе света высокой интенсивности (сфокусированное лазерное излучение), а также в активных средах с инверсией населенностей (в рабочем веществе лазера).

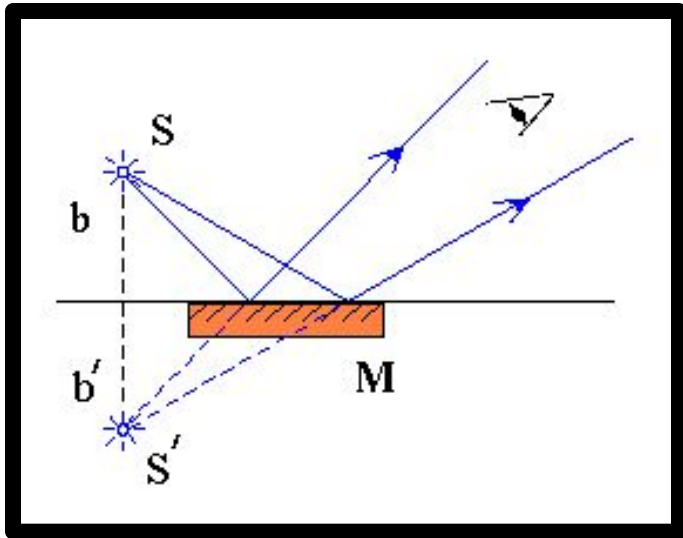


3.3 Закон отражения света

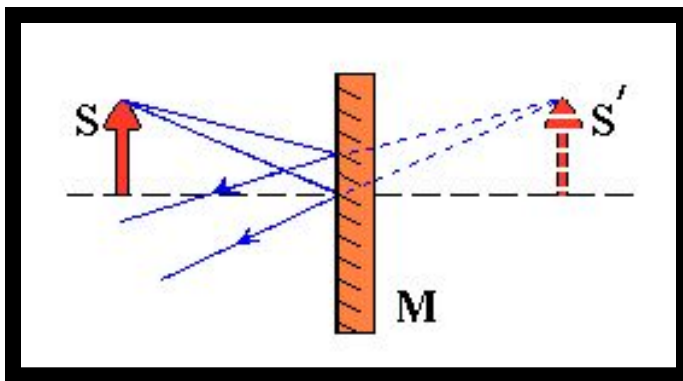
При падении света на зеркальную поверхность свет отражается, причем луч падающий, луч отраженный и нормаль к отражающей поверхности лежат в одной плоскости. Угол падения равен углу отражения: $\theta_1 = \theta_1'$. Закон отражения справедлив как для плоских, так и для искривленных поверхностей.



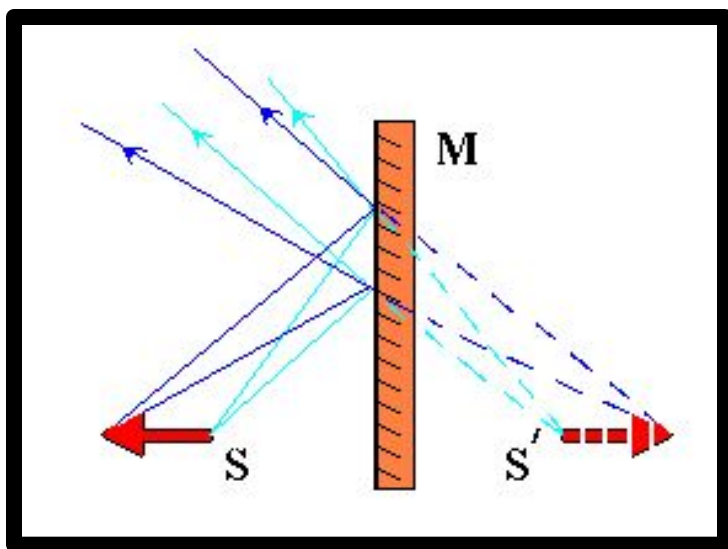
- S_1 - отражающая поверхность; S_2 - плоскость падения; AO - падающий луч; OB - отраженный луч; ON - нормаль к отражающей поверхности.



- Пучок лучей, выходящих из точечного источника (т. е. гомоцентрический пучок), после отражения в плоском зеркале остается гомоцентрическим: если отраженные лучи мысленно продолжить назад, эти продолжения лучей пересекутся за зеркалом в одной точке, которую можно считать мнимым изображением источника. Источник и его изображение расположены симметрично относительно зеркала. Наблюдателю кажется, что отраженные от зеркала лучи выходят из точки S' , расположенной за зеркалом симметрично точке S .



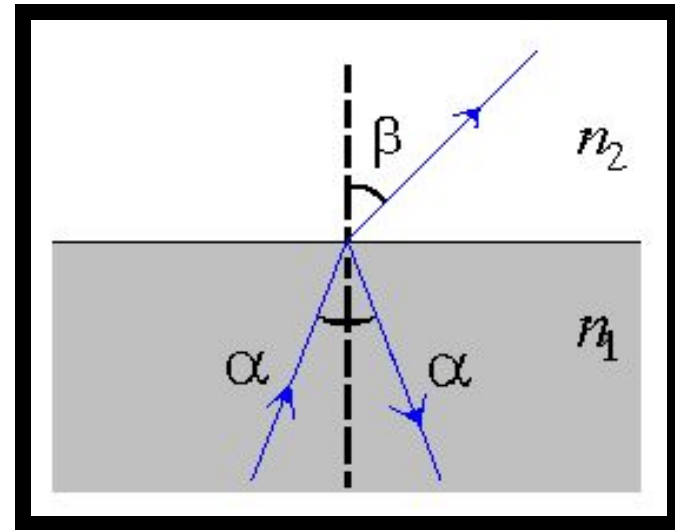
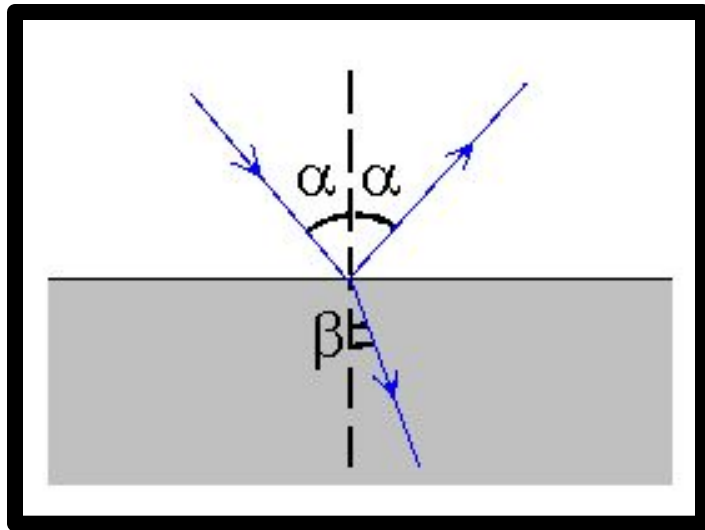
- При отражении от плоской зеркальной поверхности световых лучей, исходящих от некоторого предмета, возникает мнимое изображение предмета. Предмет и его мнимое изображение располагаются симметрично относительно зеркальной поверхности. Изображение предмета в плоском зеркале равно по размеру самому предмету.



- Мнимое изображение пространственного (трех- мерного) предмета в плоском зеркале отличается от самого предмета как правая система координат отличается от левой (т.е. как правая рука отличается от левой).

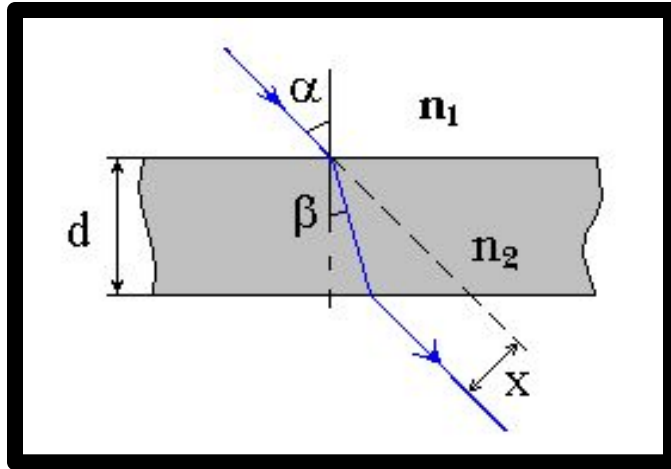
3.4 Закон преломления света

При падении света на границу раздела прозрачных сред с показателями преломления n_1 и n_2 часть света отражается, а часть проходит во вторую среду, изменяя направление распространения (преломляется).

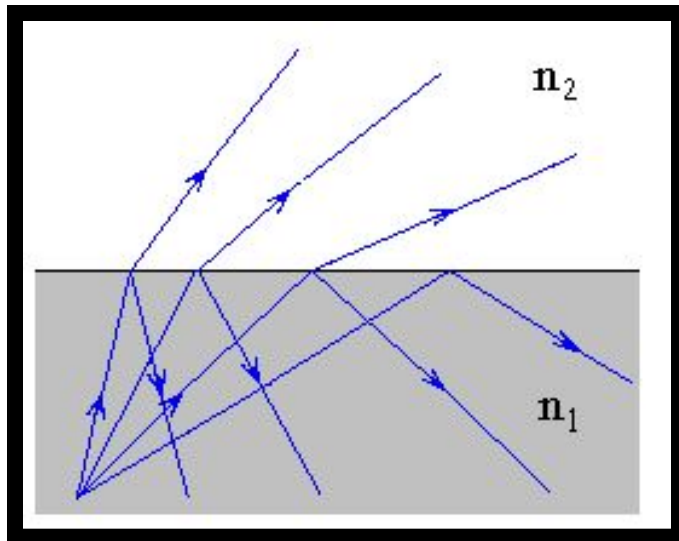


- Лучи падающий, отраженный, преломленный и нормаль к границе раздела лежат в одной плоскости. Угол падения и угол отражения равны друг другу: $\alpha = \alpha_1$. Углы падения и преломления связаны соотношением $n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \beta$. Математическую формулировку этого закона дал Декарт. $n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \beta$

Схема хода лучей при преломлении

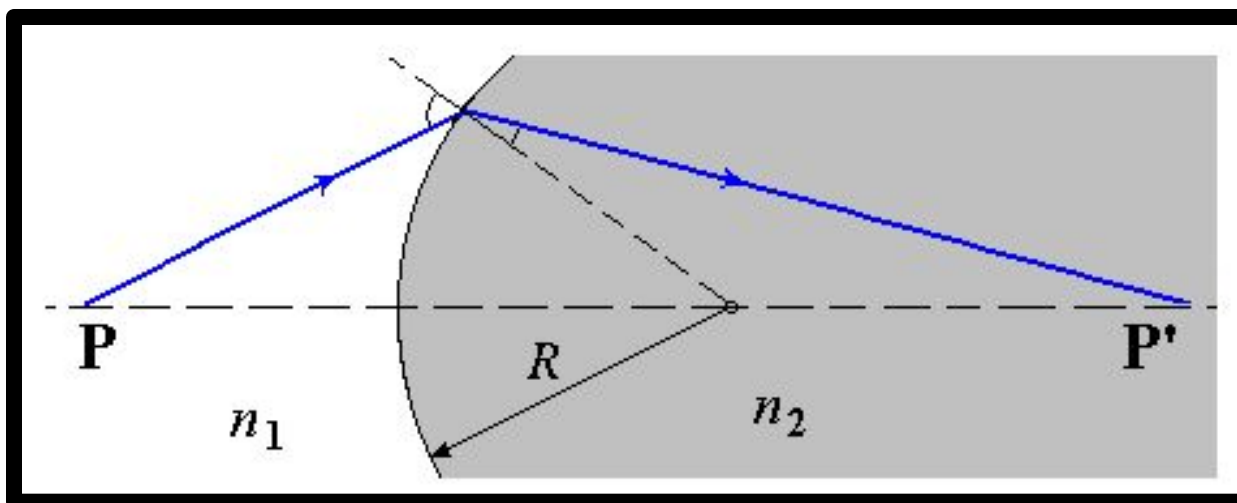


- При прохождении света через плоскопараллельную пластину свет дважды на своем пути претерпевает преломление, в результате чего луч падающий на пластину и луч выходящий из нее оказываются параллельными. Смещение луча можно вычислить по формуле: $X = d (\sin \alpha - \operatorname{tg} \beta \cos \alpha)$.



- При переходе света из оптически более плотной среды в оптически менее плотную среду по мере увеличения угла падения направление преломленного луча приближается к границе раздела. Когда угол падения превосходит некоторое предельное значение, преломленный луч не существует - падающий на границу раздела свет полностью отражается. Это свойство называется полным внутренним отражением.
 $n_1 > n_2$

Преломление на сферической границе раздела



- Когда луч падает на сферическую границу раздела двух сред, построение отраженного и преломленного лучей производится следующим образом: строится плоскость касания в точке падения луча на сферическую поверхность и восстанавливается нормаль к этой плоскости в точке падения. Дальнейшие построения и расчеты проводятся так же, как при падении на плоскую поверхность.

4. Оптические материалы

4.1 Оптическое стекло



Кварц SiO_2

- Стекло — твердое аморфное состояние вещества. Характерные для стекла свойства — высокое светопропускание (прозрачность), светопреломление, изотропность (реже, у спецстёкол — анизотропность) и др.



- Оптическое стекло — прозрачное стекло специального состава, используемое для изготовления различных оптических приборов. Для изготовления оптических деталей применяют оптическое стекло бесцветное и цветное, кварцевое оптическое стекло, кремневое оптическое стекло (только Кремниевые (ОС) способны пропускать ИК — лучи, Кварцевые (ОС) — пропускать ультрафиолетовые лучи + лучи видимого спектра электромагнитного излучения), пластмассы и другие материалы.



- В силу исключительно высоких требований, предъявляемых к качеству изображения оптических систем, естественно возникла необходимость в изготовлении широкого ассортимента специальных сортов стёкол, различных по своим свойствам. Оптическое стекло, в отличие от обыкновенного, должно обладать особенно высокой прозрачностью, чистотой, бесцветностью, однородностью, преломляющей способностью.

«Просветление» оптики

- После полирования производится контроль качества поверхности стекла и затем для улучшения характеристик изделия может быть произведено просветление оптики путем нанесения тонких прозрачных пленок, как правило, металлических. Эти пленки улучшают оптические характеристики и могут улучшать механические, например, защищать стекло от помутнения при длительном нахождении во влажной атмосфере.

4.2 Диафрагма



- Диафрагма (оптика) (греч. *diáphragma* — перегородка) — оптический прибор, ограничивающий поток света, непрозрачная преграда, ограничивающая поперечное сечение световых пучков в оптических системах (в телескопах, дальномерах, микроскопах, кино- и фотоаппаратах и т.д.).

Роль диафрагмы



Ирисовая диафрагма

- Роль диафрагмы часто играют зачерненные элементы оправы линз, призм, зеркал и др. оптических деталей, зрачок глаза, границы освещённого предмета, в спектро스코пе — щелевая диафрагма, в фотоаппаратах — ирисовая или ступенчатая диафрагма.

- Любая оптическая система – глаз вооруженный и невооруженный, фотографический аппарат, проекционный аппарат – в конечном счете рисует изображение на плоскости (экран, фото- пластинка, сетчатка глаза); объекты же в большинстве случаев трёхмерны. Однако даже идеальная оптическая система, не будучи ограниченной, не давала бы изображений трехмерного объекта на плоскости. Действительно, отдельные точки трехмерного объекта находятся на различных расстояниях от оптической системы, и им соответствуют различные сопряженные плоскости.
- Размер и положение диафрагмы определяют поле зрения, освещённость и качество изображения, глубину резкости и разрешающую способность оптической системы.

4.3 Линза



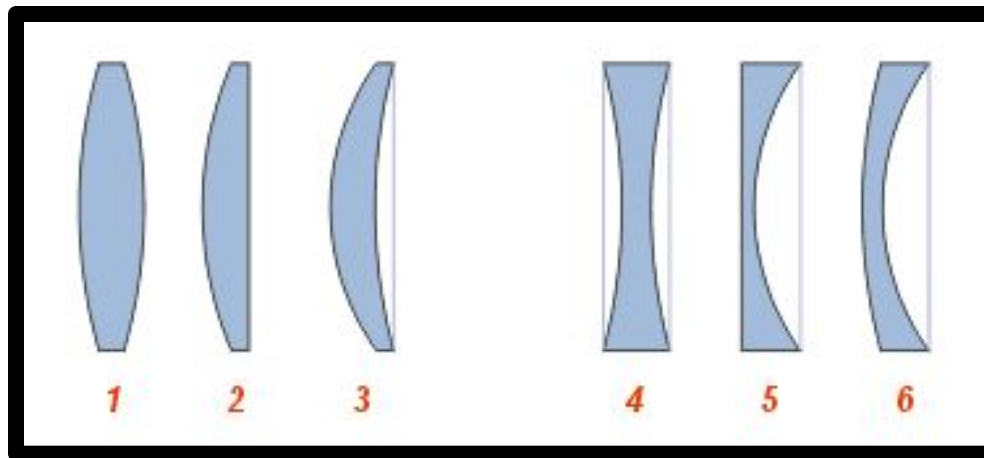
- Линза (от лат. lens - чечевица) — обычно — диск из прозрачного однородного материала, ограниченный двумя полированными поверхностями - сферическими или плоской и сферической, хотя, в настоящее время, все чаще применяются и т. н. «асферические линзы», форма поверхности которых отличается от сферы.



- Иногда линзами называют и другие оптические приборы, которые создают сходный оптический эффект, хоть они не обладают указанными внешними характеристиками. Например, плоские «линзы», изготовленные из материала с переменным коэффициентом преломления, изменяющимся в зависимости от расстояния от центра, или линзы Френеля (зонная пластинка), использующие явление дифракции.
- В качестве материала линз, чаще всего, используются оптические материалы, такие как стекло, оптическое стекло, оптически прозрачные пластмассы и другие материалы.

Характеристика линз

- В зависимости от форм различают собирательные (положительные) и рассеивающие (отрицательные) линзы. К группе собирательных линз обычно относят линзы, у которых середина толще их краёв, а к группе рассеивающих — линзы, края которых толще середины. Следует отметить, что это верно, только если показатель преломления у материала линзы больше, чем у окружающей среды. Если показатель преломления линзы меньше, ситуация будет обратной. Например, пузырек воздуха в воде — двояковыпуклая рассеивающая линза.



Виды линз:

Собирающие:

1 — двояковыпуклая

2 — плоско-выпуклая

3 — вогнуто-выпуклая (положительный мениск)

(отрицательный мениск)

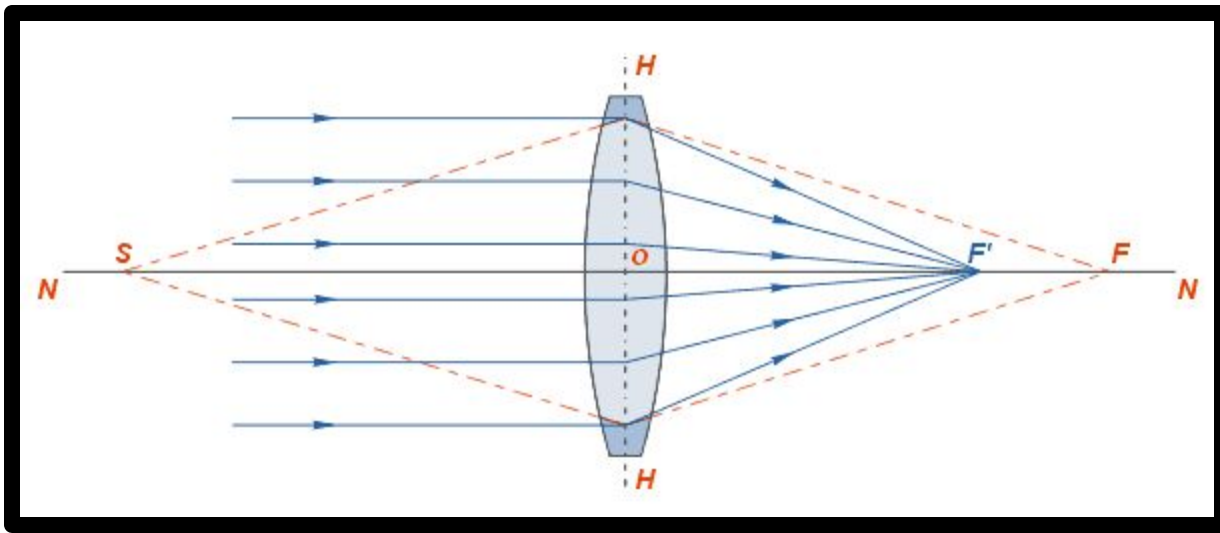
Рассеивающие:

4 — двояковогнутая

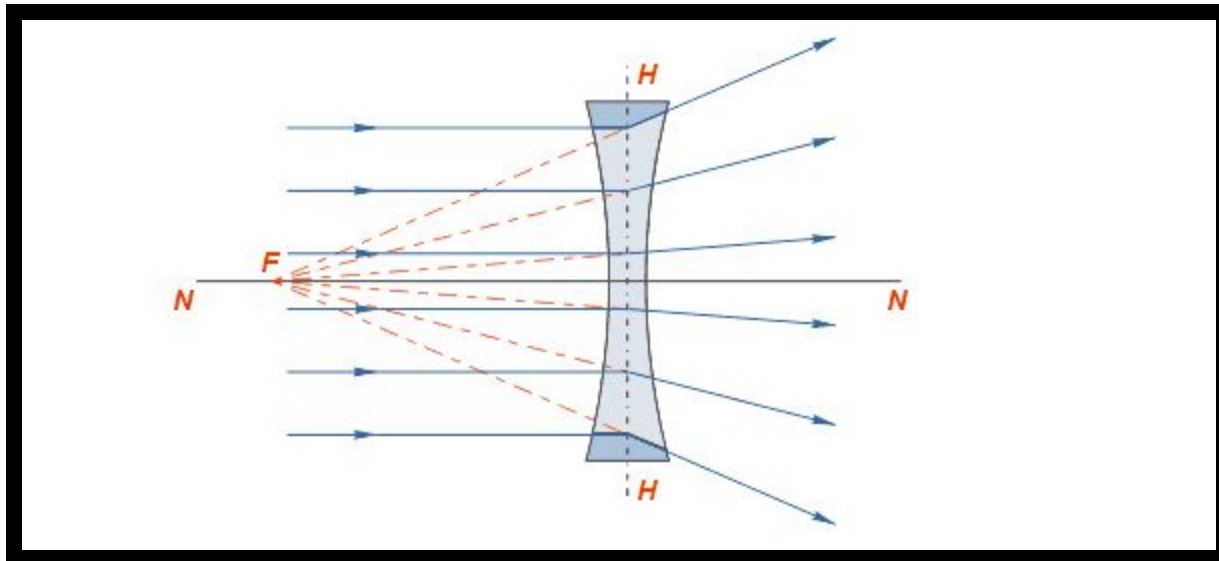
5 — плоско-вогнутая

6 — выпукло-вогнутая

- Линзы характеризуются, как правило, своей оптической силой (измеряется в диоптриях), или фокусным расстоянием, а также апертурой.
- Отличительным свойством собирающей линзы является способность собирать падающие на её поверхность лучи в одной точке, расположенной по другую сторону линзы.



Основные элементы линзы: NN — главная оптическая ось — прямая линия, проходящая через центры сферических поверхностей, ограничивающих линзу; O — оптический центр — точка, которая у двояковыпуклых или двояковогнутых (с одинаковыми радиусами поверхностей) линз находится на оптической оси внутри линзы (в её центре).

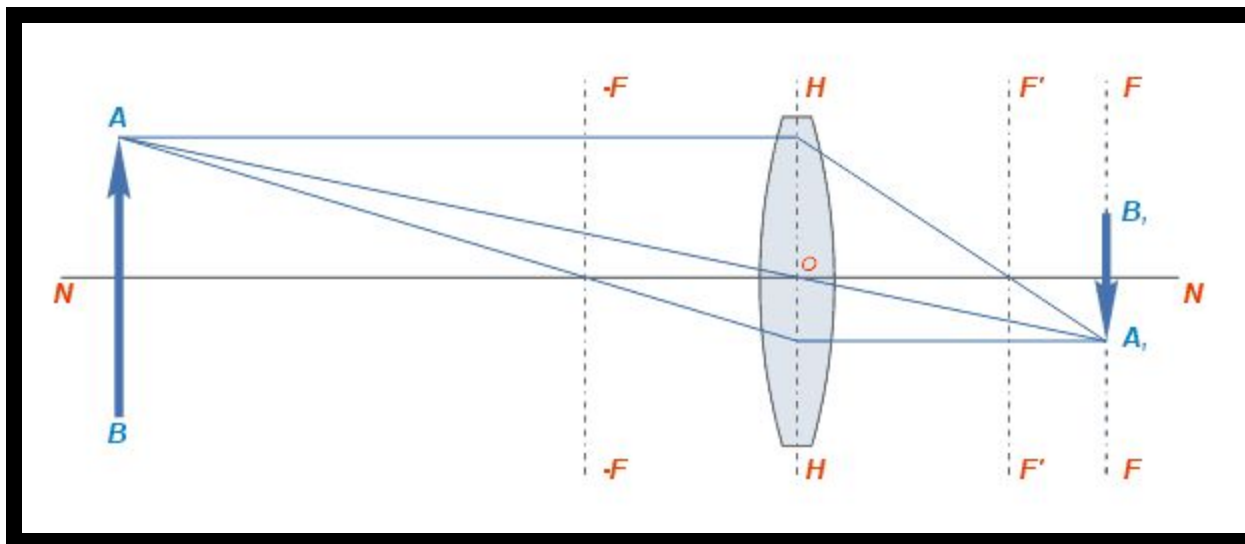


Построение изображения собирающей линзой

- Построение линзой изображения предметов, имеющих определённую форму и размеры, получается следующим образом: допустим, линия АВ представляет собой объект, находящийся на некотором расстоянии от линзы, значительно превышающем её фокусное расстояние. От каждой точки предмета через линзу пройдёт бесчисленное количество лучей, из которых, для наглядности, на рисунке схематически изображен ход только трёх лучей.

Три луча, исходящие из точки А, пройдут через линзу и пересекутся с соответствующих точек схода на A_1B_1 , образуя изображение. Полученное изображение является действительным и перевернутым.

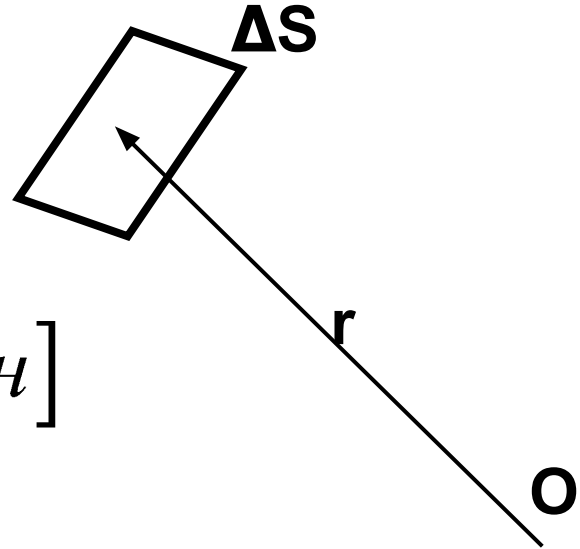
В данном случае изображение получено в сопряжённом фокусе в некоторой фокальной плоскости FF , несколько удаленной от главной фокальной плоскости $F'F'$, проходящей параллельно ей через главный фокус.



ФОТОМЕТРИЯ

Основные понятия

1. Телесный угол: $\omega = \frac{\Delta S}{R^2}$.



$$\omega_0 = \frac{4\pi R^2}{R^2} = 4\pi \text{ [стерадиан]}$$

2. Световой поток измеряется энергией, переносимой световыми волнами через данную площадку в единицу времени:

$$\Phi = \frac{dW}{dt} \text{ [люмен]}$$

3. Сила света - световой поток в единицу телесного угла:

$$I = \frac{\Phi}{d\omega} \quad [\text{кд}], \quad \left[\frac{\text{лм}}{\text{ср}} \right]$$

Полный световой поток, испускаемый изотропным источником света равен:

$$\Phi_0 = 4\pi I_0.$$

4. Светимость поверхности R численно равна световому потоку, испускаемому единичной площади светящегося тела:

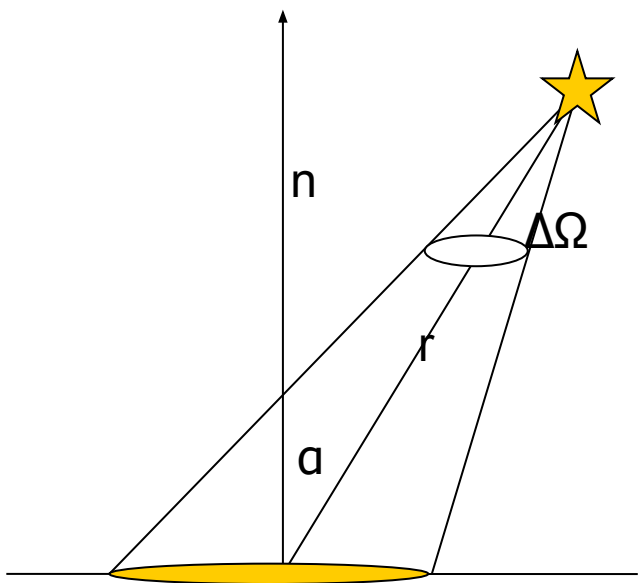
$$R = \frac{\Phi}{dS} \quad [\text{кд/м}^2].$$

ЕСЛИ СВЕТИМОСТЬ ОБУСЛОВЛЕНА

ОСВЕЩЕННОСТЬЮ, ТО $R = \rho E$;

ρ - КОЭФФИЦИЕНТ ОТРАЖЕНИЯ, E – ОСВЕЩЕННОСТЬ.

5. Освещенность E характеризуется величиной светового потока, падающего под определенным углом на единицу площади поверхности



$$E = \frac{\Phi}{dS} = \frac{I \cos \alpha}{r^2} \left[\frac{\text{лм}}{\text{лк}, \frac{\text{м}^2}{2}} \right].$$

6. Яркостью светящейся поверхности называется величина, численно равная отношению силы света элемента излучающей поверхности dS к площади проекции этого элемента на плоскость, перпендикулярную направлению наблюдения

$$B = \frac{\Phi}{\omega d S \cos \Theta} \left[\frac{\kappa d}{2} \right].$$

$$B = \frac{\kappa d}{d S \cos \Theta} \left[\frac{\quad}{2} \right].$$