

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА



□ Геометрическая оптика

✓ Законы геометрической оптики

✓ Полное внутреннее отражение

✓ Зеркала

✓ Линзы

✓ Оптические системы

✓ Погрешности оптических систем

✓ Формирование изображения на сетчатке

□ Фотометрия

Геометрическая оптика

Свет – это электромагнитное излучение ($\lambda = 380 \text{ нм} \div 780 \text{ нм}$), воспринимаемое человеческим глазом.

Световой луч – прямая, вдоль которой распространяется свет.

Законы геометрической оптики

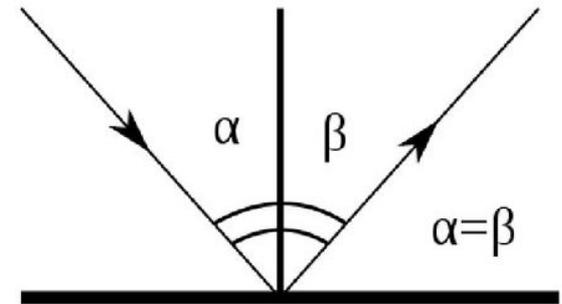
□ **Закон прямолинейного распространения света:** свет в оптически однородной среде распространяется прямолинейно.

Оптически однородная среда:

- прозрачная
- $v = \text{const}$
- распространяется по прямой

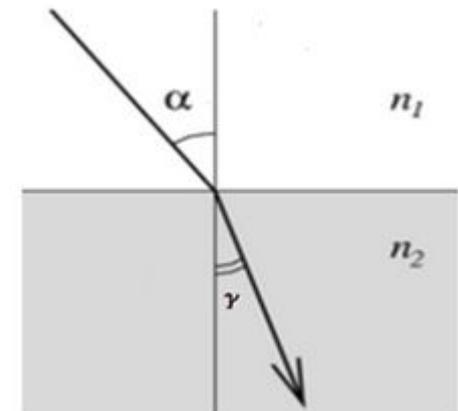
□ **Закон независимости световых пучков:** эффект (результат) полученный отдельным пучком, не зависит от того, действуют ли пучки одновременно или нет.

□ **Закон отражения:** отраженный луч лежит в одной плоскости с падающим лучом и нормалью, восстановленной в точке падения к границе двух сред. Угол отражения равен углу падения.



➤ **Закон преломления:** преломленный луч лежит в одной плоскости с падающим лучом и нормалью, восстановленной в точке падения. Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для данных веществ.

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



Абсолютный показатель преломления среды

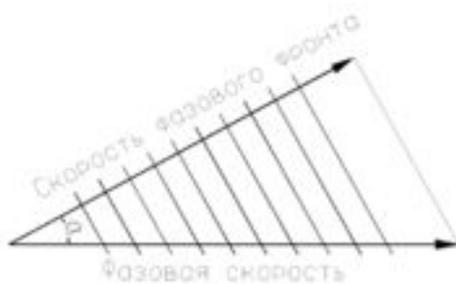
Величина равная отношению скорости электромагнитных волн в вакууме к их фазовой скорости в среде

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

Относительный показатель преломления

Показатель преломления двух веществ равный отношению их абсолютных показателей преломления

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



Фазовая скорость – скорость перемещения точки, имеющей постоянную фазу в пространстве, вдоль определенного направления.

$$v_{\phi} = \frac{\omega}{k}$$

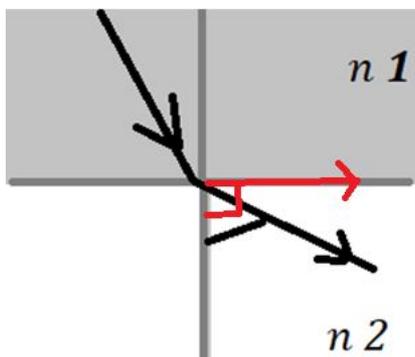
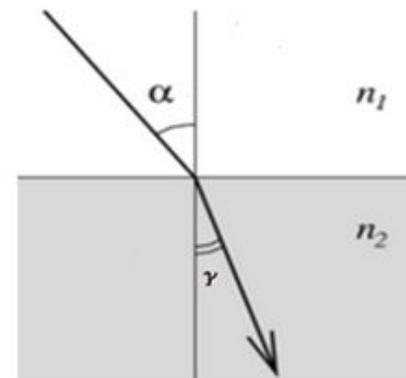
$$n = \sqrt{\epsilon\mu}$$

Полное внутреннее отражение

$$\text{Из } \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \gamma$$

$$n_1 > n_2, \quad \frac{n_1}{n_2} > 1$$



$$\frac{\sin \gamma}{\sin \alpha} = \frac{n_1}{n_2} > 1$$
$$\gamma > \alpha$$

$$\varphi_{\text{пр}} = \arcsin \frac{n_2}{n_1}$$

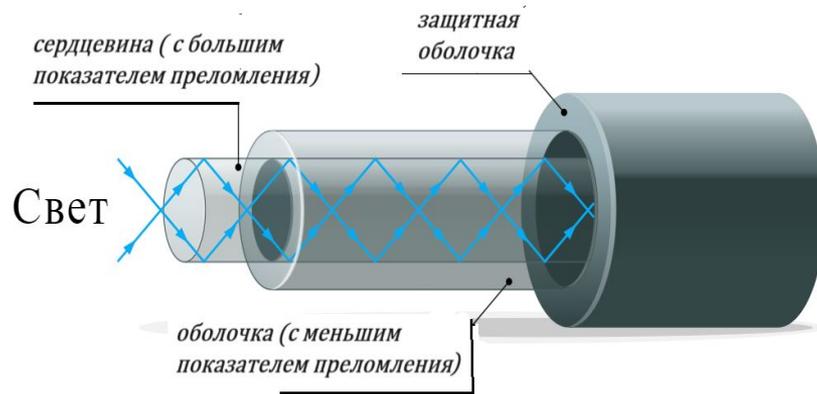
$$\gamma = 90^\circ, \quad \frac{\sin 90}{\sin \alpha} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$\alpha = \varphi_{\text{пр}}$$

$$\sin \varphi_{\text{пр}} = n_{21}$$

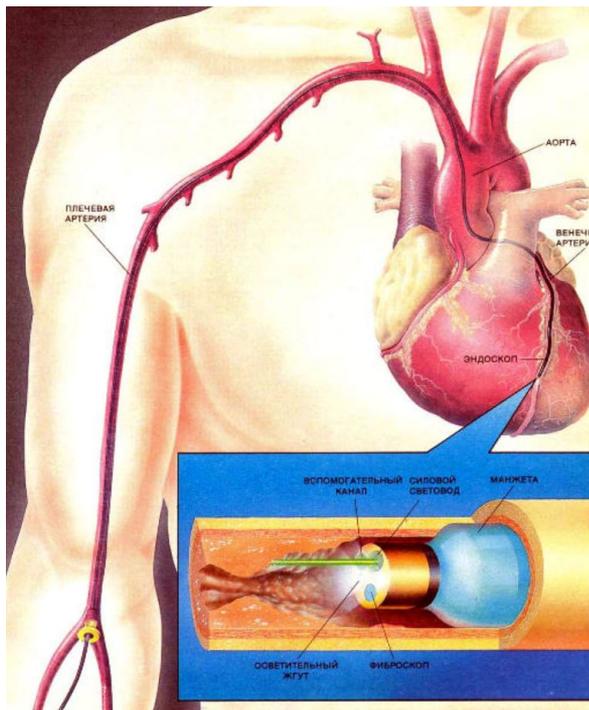
Полное отражение

Свет распространяется из среды оптически более плотной в среду оптически менее плотную и угол падения луча больше (равен) предельному углу.



Волоконная оптика – система передачи оптических изображений с помощью стекловолокон (световоды)

Применение: для освещения и наблюдения участков внутренних органов.



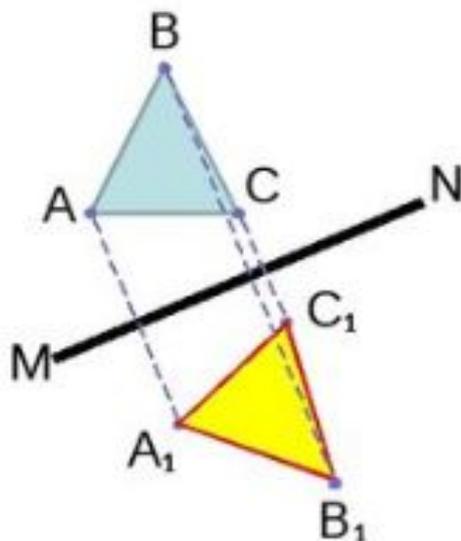
- ✓ эндоскопические устройства
- ✓ оптическая когерентная томография
- ✓ фотоакустическая визуализация
- ✓ волоконно-оптические датчики температуры и давления
- ✓ волоконно-оптические датчики для малоинвазивной хирургии

Зеркала

Зеркало – стекло (пластик, металл) с гладкой поверхностью, предназначенное для отражения света

- плоские
- сферические (вогнутые и выпуклые)

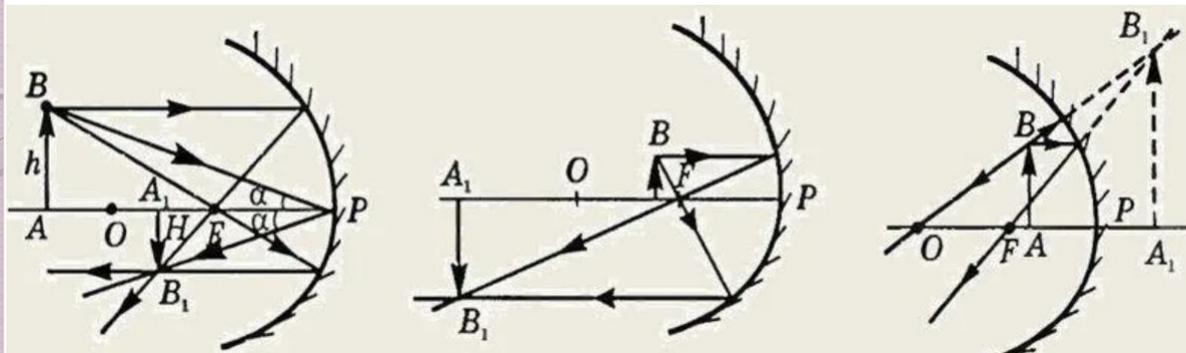
Построение изображения в плоском зеркале MN.



1. изображение мнимое
2. размеры мнимого изображения равны размерам самого предмета
3. мнимое изображение предмета находится на таком же расстоянии, что и предмет
4. у предмета и изображения правая и левая части меняются местами

Построение изображения в сферических зеркалах

вогнутое зеркало



изображение

- ✓ действительное
- ✓ уменьшенное
- ✓ перевернутое

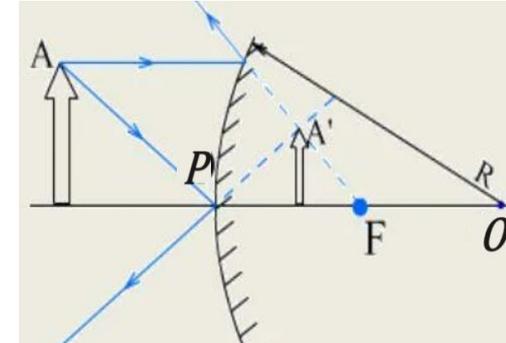
изображение

- ✓ действительное
- ✓ увеличенное
- ✓ перевернутое

изображение

- ✓ мнимое
- ✓ увеличенное
- ✓ прямое

выпуклое зеркало



изображение

- ✓ мнимое
- ✓ уменьшенное
- ✓ прямое

Формула сферического зеркала

$$\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} = \frac{1}{F} = \frac{2}{R}$$

увеличение в зеркалах

$$k = \frac{H}{h} = \frac{a_2}{a_1}$$

a_1 – расстояние от предмета до зеркала

a_2 – расстояние от зеркала до изображения

Линзы

Принцип Ферма

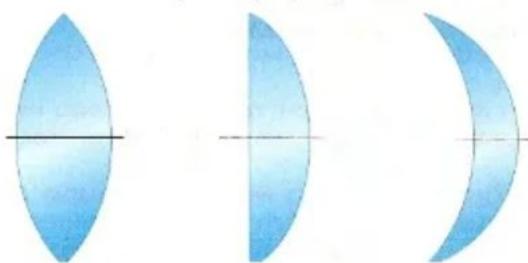
Свет распространяется по такому пути, для прохождения которого ему требуется минимальное время.

Линза – прозрачное тело, ограниченное двумя поверхностями, преломляющие световые лучи формируют оптическое изображение предмета.

Линзы делятся на:

- двояковыпуклая
- плосковыпуклая
- вогнуто-выпуклая

- двояковогнутая
- плосковогнутая
- выпукло-вогнутая



собирающие



рассеивающие

Тонкая линза – линза, толщина которой мала по сравнению с радиусами сферических поверхностей.

Параксиальные лучи – лучи, образующие с оптической осью малые углы, т.е. практически параллельные главной оптической оси.

Главная оптическая ось – прямая, проходящая через центры кривизны поверхности линзы.

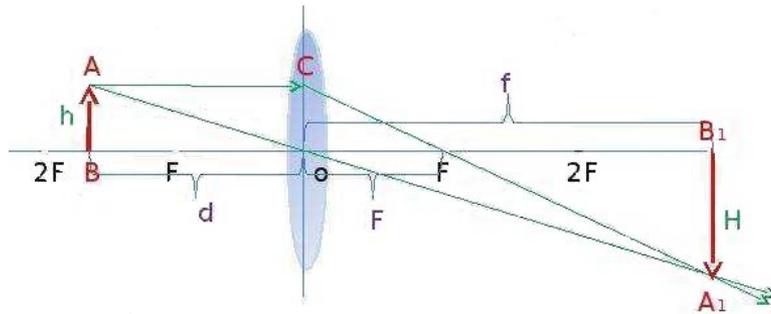
Оптический центр линзы – точка, лежащая на главной оптической оси и обладающая свойством, что лучи проходят через эту точку и не преломляются.

Фокус – точка, в которой после преломления собираются все лучи, падающие на линзу.

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

Построение изображения в линзах

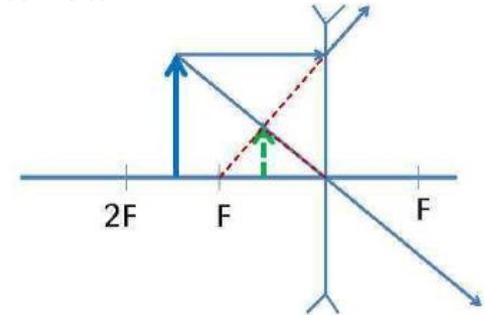
собирающая линза



изображение:

- действительное
- перевернутое
- увеличенное

рассеивающая линза



изображение:

- мнимое
- прямое
- уменьшенное

формула тонкой линзы

$$\left(\frac{n_{\text{л}}}{n_{\text{с}}} - 1\right) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) = \frac{1}{f} + \frac{1}{d} = \frac{1}{F} = D$$

D – оптическая сила линзы (1 дптр(диоптрия))

R_1, R_2 – радиусы кривизны линзы

радиус кривизны выпуклой поверхности – положительный,

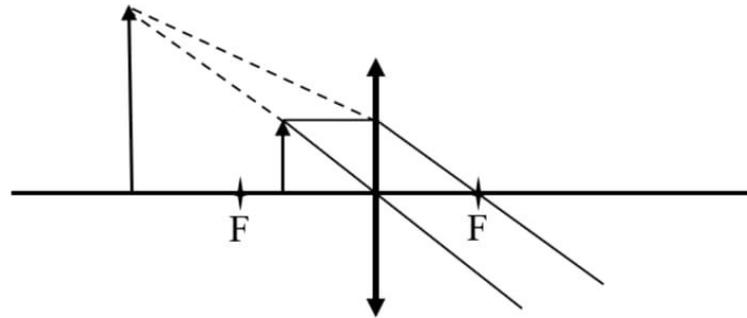
радиус кривизны вогнутой поверхности – отрицательный

увеличение

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

Оптические системы

Лупа – короткофокусная собирающая линза для рассматривания маленьких предметов.



Увеличение лупы

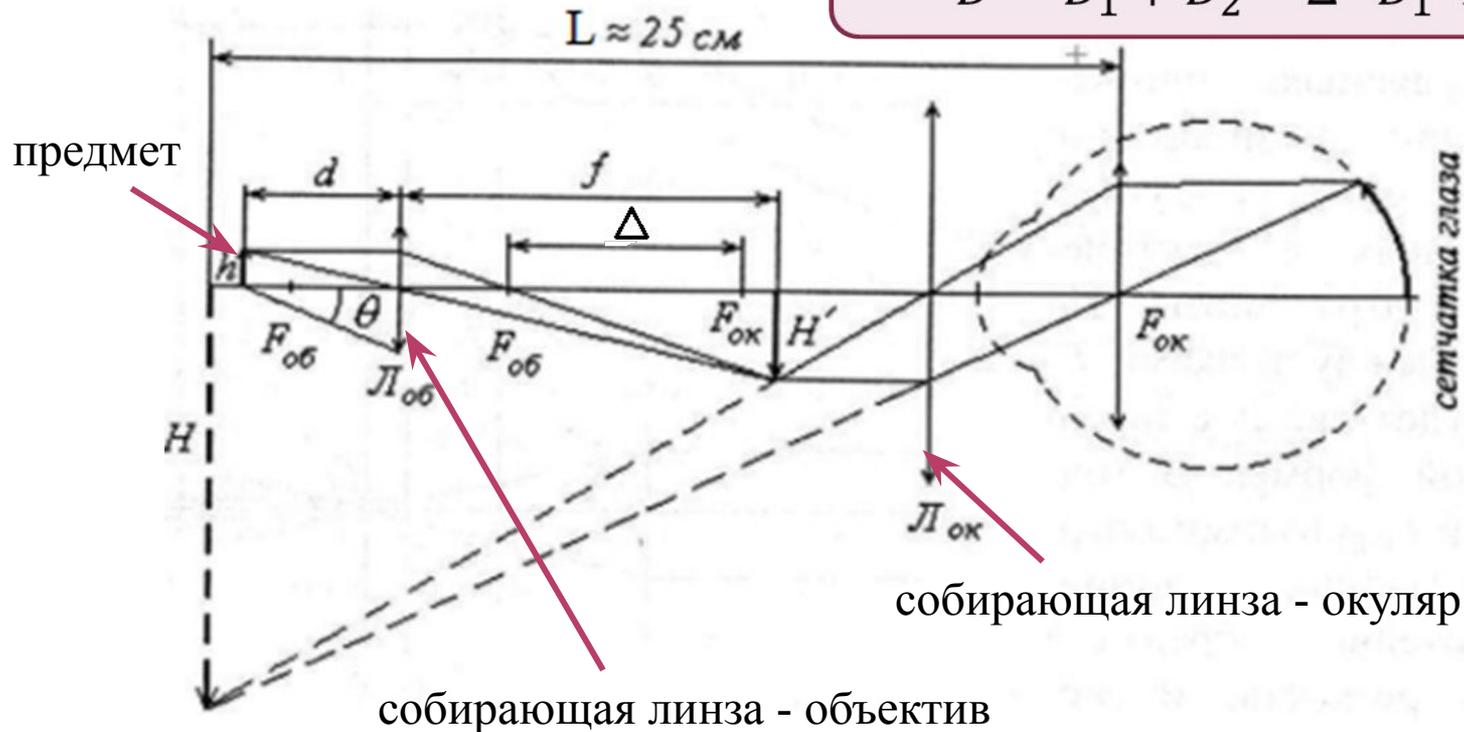
$$k = \frac{L}{F}$$

L – расстояние наилучшего зрения, $L=25$ см

Микроскоп – система из двух собирающих линз (объектив и окуляр), разделенных расстоянием, составляющем тубус.

Оптическая сила системы линз

$$D = D_1 + D_2 - \Delta \cdot D_1 \cdot D_2$$



Увеличение микроскопа

$$k = L\Delta D_1 D_2 = k_1 \cdot k_2$$

L – расстояние наилучшего зрения

Δ – расстояние между фокусами окуляра и объектива

D_1, D_2 – оптическая сила окуляра и объектива

Электронный микроскоп – прибор, позволяющий получить сильно увеличенное изображение. Для освещения образцов используют не свет, а пучок электронов, источником которых служит нагреваемый катод.



Устройство электронного микроскопа

- вместо видимого света используется пучок электронов
- роль линз играет совокупность электрических и магнитных полей
- изображение фотографируется или проецируется на экран
- контраст создается за счет разного рассеяния электронов от соседних участков

недостаток: невозможность изучения живых биологических объектов

Разрешающая способность микроскопа – минимальное расстояние, на котором оптическая система может различить отдельно две близко расположенные точки

**разрешающая
способность микроскопа**

$$\sigma = \frac{\lambda}{2A}$$

**числовая апертура
объектива**
 $A = n \sin \alpha$

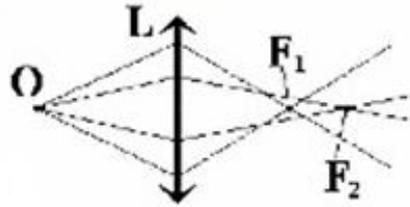
**Разрешающая способность
световой 0,5 – 1 мкм
электронный 20 нм**

λ – длина волны

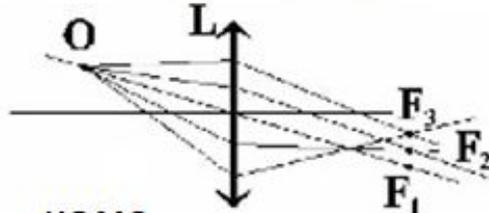
n – показатель преломления среды

α – угловая апертура объектива

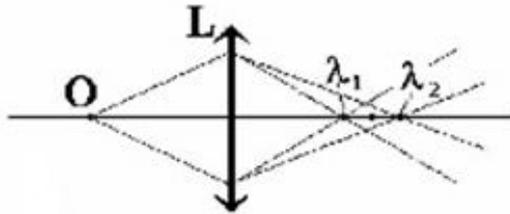
Погрешности оптических систем



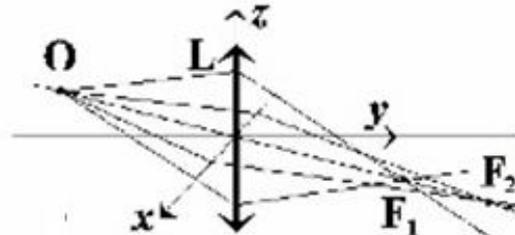
сферическая



кома

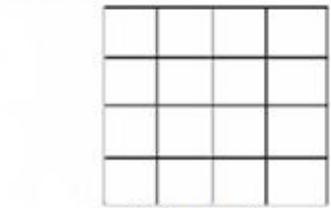


хроматическая

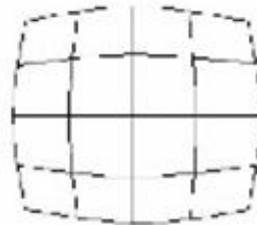
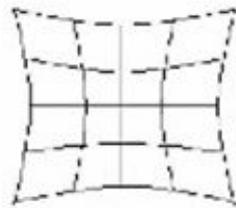


астигматизм

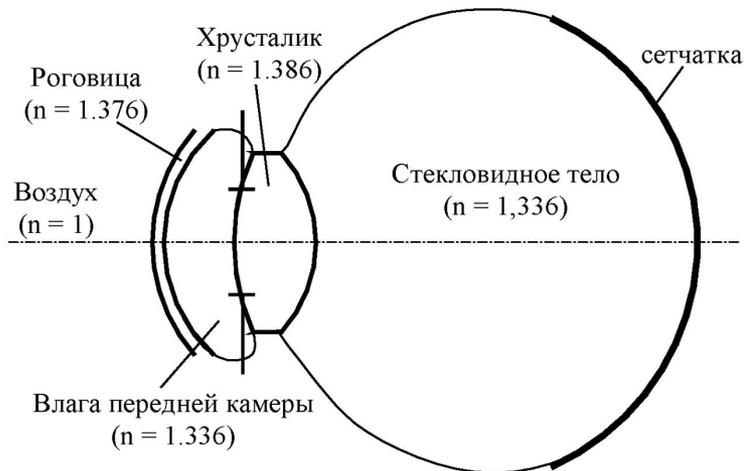
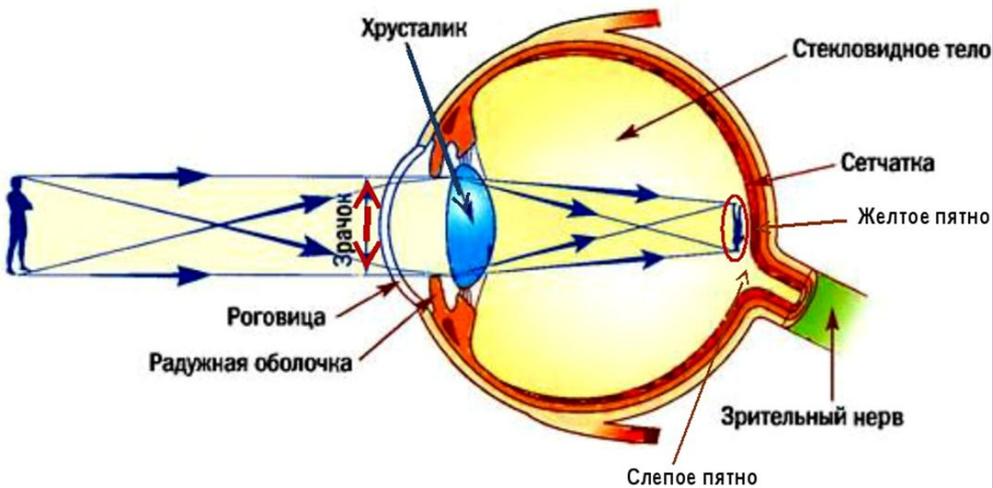
- Сферическая aberrация
- Кома
- Хроматическая aberrация
- Астигматизм
- Дисторсия



дисторсия

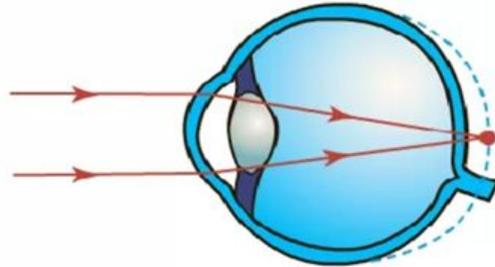


Формирование изображения на сетчатке

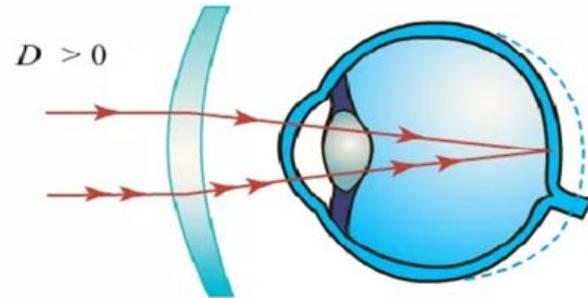


- **Роговица** – собирает на себе лучи света, которые проходят через нее и попадают на радужную оболочку
- На **радужной оболочке** находится зрачок; в зависимости от освещения он сужается или расширяется, т.е. воспринимает различную интенсивность
- **Хрусталик** фокусирует лучи
- **Стекловидное тело** обеспечивает упругость главному яблоку ($D \sim 6 \text{ дптр}$)
- **Сетчатка** – светочувствительный слой и представляет собой разветвление зрительного нерва. *Изображение на сетчатку проецируется перевернутое*
- **Желтое пятно** — самое чувствительное место на сетчатке, т.е. человек видит ясно те предметы, изображение, которых проектируется на желтое пятно
- **Слепое пятно** – место, где зрительный нерв входит в глаз, нет светочувствительных клеток и лучи, попадающие на эту область, не вызывают ощущения света

КОРРЕКЦИЯ ДАЛЬНОЗОРКОСТИ

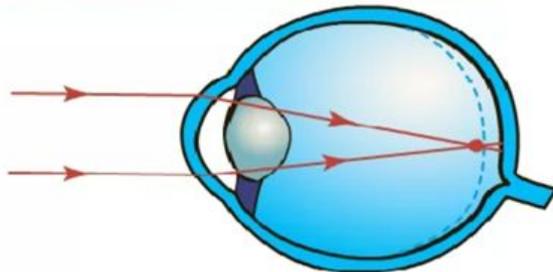


Дальнозоркий глаз

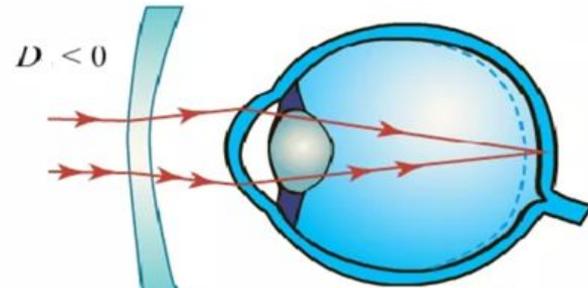


Собирающая (вогнуто-выпуклая) линза
очков для коррекции дальнозоркости

КОРРЕКЦИЯ БЛИЗОРУКОСТИ



Близорукий глаз



Рассеивающая (выпукло-вогнутая) линза
очков для коррекции близорукости

Основные понятия фотометрии

Электромагнитная волна несет с собой энергию. Плотность потока энергии определяется вектором Пойнтинга. Размерность светового потока совпадает с размерностью потока энергии.

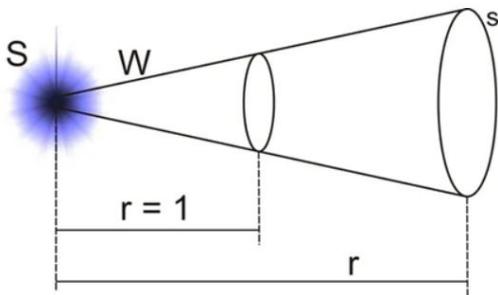
Энергетические характеристики

Поток излучения

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

Энергетическая светимость

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



Энергетическая сила света

$$I = \frac{d\Phi_e}{d\Omega}$$

Энергетическая яркость

Энергетическая яркость

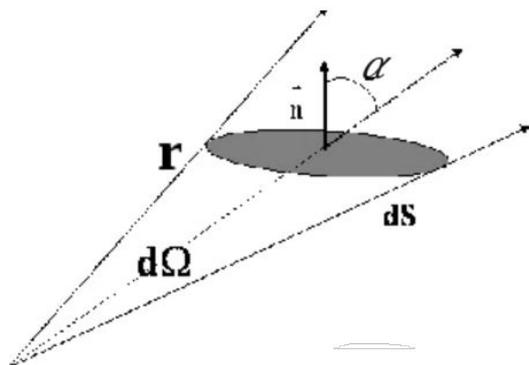
$$B = \frac{I}{S \cos \alpha}$$

$$\frac{\Phi_e}{\pi r^2} = I$$

Энергетическая освещенность

$$E = \frac{d\Phi_e}{dS} = \frac{I}{r^2} \cos \alpha$$

$$\begin{aligned} [\Phi_e] &= 1 \text{ Вт} \\ [R_e], [E] &= 1 \text{ Вт/м}^2 \\ [I] &= 1 \text{ Вт/ср} \\ [B] &= 1 \text{ Вт/ср} \cdot \text{м}^2 \end{aligned}$$



Световые характеристики

Световой поток – это поток лучистой энергии, оцениваемый по зрительному ощущению, $[\Phi] = 1 \text{ лм (люмен)}$

Сила света – поток излучения источника, приходящийся на единицу телесного угла: $I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$, $[I] = 1 \text{ кд (кандела)}$

Светимость – световой поток, испускаемый единицей поверхности наружу по всем направлениям в пределах угла $\left(0, \frac{\pi}{2}\right)$: $R = \frac{d\Phi_R}{dS}$, $[R] = \frac{\text{лм}}{\text{м}^2}$

Освещенность – величина, равная отношению светового потока, падающего на поверхность, к площади этой поверхности

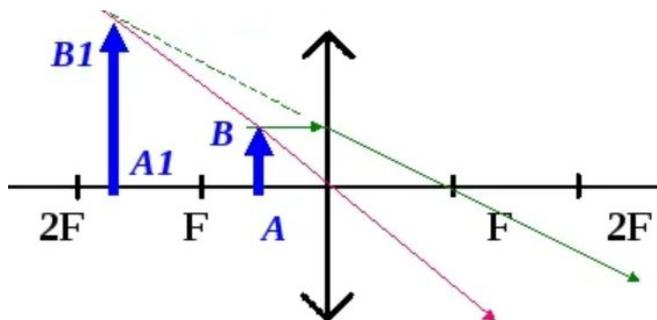
$$E = \frac{d\Phi}{dS} = \frac{I}{r^2} \cos(\alpha), [E] = 1 \text{ лк (люкс)}$$

Яркость

$$B = \frac{I}{S \cos \varphi}, [B] = \frac{\text{кд}}{\text{м}^2}$$

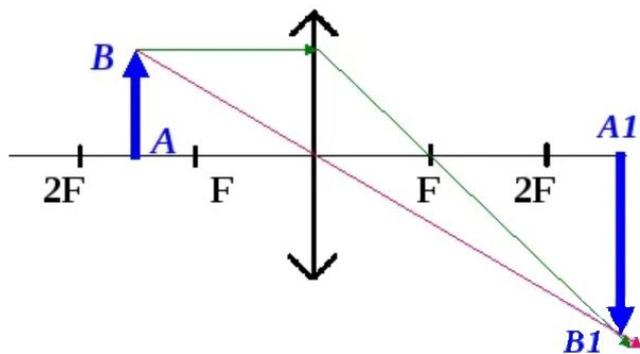
ПРИЛОЖЕНИЕ

Построение изображения в линзе



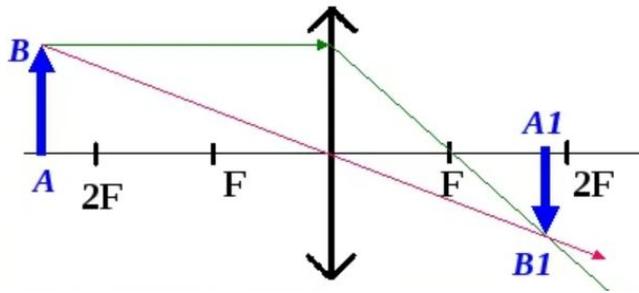
изображение:

- мнимое
- прямое
- увеличенное



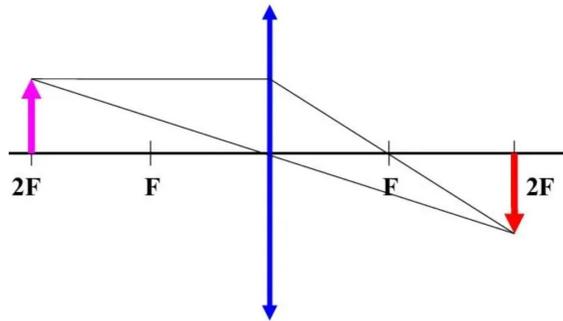
изображение:

- действительное
- перевернутое
- увеличенное



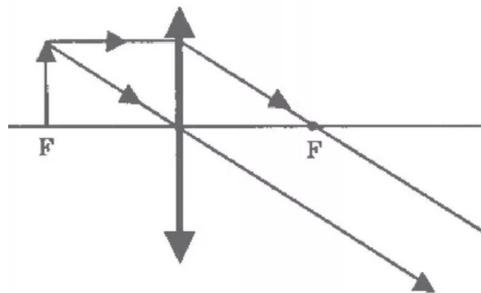
изображение:

- действительное
- перевернутое
- уменьшенное



изображение:

- действительное
- перевернутое
- равное



изображения нет

Строение микроскопа

