



**ФГБОУ ВО
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра нормальной физиологии

Оптика

Автор: Панченко Е.И.

Оптика — раздел физики, в котором рассматриваются закономерности излучения, поглощения и распространения света.

Природа света двойственна, дуалистична

(т. е. свет проявляет себя и как электромагнитная волна, и как поток частиц — фотонов).

Дуализм света, в частности, отражается формулой:

$$\varepsilon = h\nu,$$

1. энергия ε фотона - квантовая характеристика,
2. частота колебаний ν — характеристика волнового процесса.

Свет — это поток особых частиц электромагнитного поля, называемых фотонами и имеющих двойственные корпускулярно - волновые свойства.

Излучение может быть:

1. **Простым (монохроматическим)** (излучение какой-либо одной длины волны)
2. **Сложным** (излучение, состоящее из волн различной длины).

Интерференция света



- **Интерференция света** – перераспределение интенсивности света в результате наложения (суперпозиции) нескольких световых волн (такое сложение световых волн, в результате которого образуется устойчивая картина их усиления или ослабления)
- Это явление сопровождается чередующимися в пространстве максимумами и минимумами интенсивности.
- Когерентными являются источники света, создающие волны одинаковой длины, между которыми существует постоянная разность фаз.
- **Интерференцией световых волн** называется сложение двух когерентных волн, вследствие которого наблюдается усиление или ослабление результирующих световых колебаний.

Произведение геометрического пути волны на показатель преломления среды, т. е. xn , называют **оптической длиной пути**, а разность этих путей

$$\delta = x_1 n_1 - x_2 n_2$$

— **оптической разностью хода волн.**

Условие **максимума при интерференции** наблюдается в тех точках, для которых оптическая разность хода равна целому числу длин волн (четному числу полуволен):

$$\delta = \frac{\lambda}{2\pi} 2k\pi = k\lambda;$$

и минимума - в тех точках, для которых оптическая разность хода равна нечетному числу полуволен:

$$\delta = \frac{\lambda}{2\pi} (2k + 1)\pi = (2k + 1)\frac{\lambda}{2},$$

где $k = 0, 1, 2 \dots$

Использование интерференции

- Объективы оптических устройств состоят из большого числа оптических стекол, линз, призм. Каждая отполированная поверхность стекла отражает около 5% падающего на нее света.
- Потери света при отражении могут достигать 25 % в объективе фотоаппарата и 50 % в микроскопе.
- Для уменьшения интенсивности отраженного света объектив покрывают прозрачной пленкой, толщина которой равна $1/4$ длины волны света. Для того чтобы волны ослабляли друг друга, должно выполняться условие минимума.
- В результате возрастает доля прошедшего света.
- **Покрытие оптических поверхностей специальными пленками называют просветлением оптики, а сами оптические изделия с такими покрытиями — просветленной оптикой.**

Интерференцию света используют в специальных приборах — **интерферометрах** — для измерения с высокой степенью точности длин волн, небольших расстояний, показателей преломления веществ и определения качества оптических поверхностей.

Интерференционный рефрактометр (интерферометр, приспособленный для измерения показателя преломления) Интерференционный рефрактометр применяют, в частности, с санитарно-гигиеническими целями для определения содержания вредных газов.

Сочетание двухлучевого интерферометра и микроскопа, получившее название **интерференционного микроскопа**, используют в биологии для измерения показателя преломления, концентрации сухого вещества и толщины прозрачных микрообъектов.

Дифракция света

Дифракцией света называют явление отклонения света от прямолинейного пути в случае, когда световая волна встречает на своем пути препятствие или щель, соизмеримых с длиной волны.

- Описание дифракционной картины возможно с учетом интерференции вторичных волн.

Принцип Гюйгенса – Френеля:

- Каждая точка волновой поверхности, которой достигла в данный момент волна, является центром элементарных (вторичных) сферических волн, их внешняя огибающая будет новой волновой поверхностью в последующий момент.
- Вторичные волны, являясь когерентными интерферируют.

Явление дифракции используют для определения длины световой волны с помощью дифракционной решетки.

Дифракционная решетка — оптическое устройство, представляющее собой совокупность большого числа параллельных, обычно равноотстоящих друг от друга, щелей (прозрачная пластинка с рядом непрозрачных промежутков в виде штрихов).

Суммарную ширину щели **a** и промежутка **b** между щелями называют **постоянной или периодом дифракционной решетки**: $d=a+b$.
Формула дифракционной решетки:

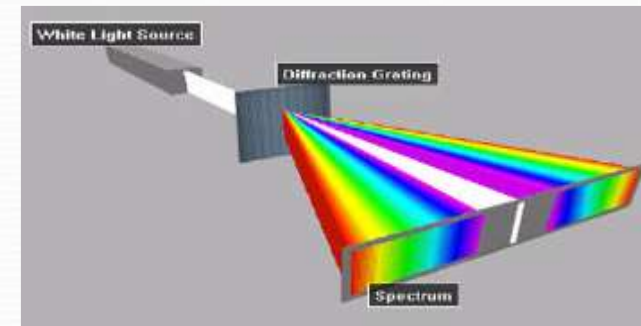
$$n\lambda = d \sin \varphi,$$

n — порядок дифракционного спектра (целое число длин волн, уложившихся в разности хода лучей ($n=0, 1, 2 \dots$)),

d — постоянная решетки или период решетки,

φ — угол дифракции,

λ — длина волны монохроматического света.



Рентгеноструктурный анализ – метод определения структуры вещества путем исследования закономерностей дифракции рентгеновского излучения на изучаемых образцах (на атомах кристаллической решетки).

Если на кристаллическую решетку направить поток рентгеновских лучей под некоторым углом θ , то они будут дифрагировать, так как расстояние между атомами в кристалле соответствует длине волны рентгеновского излучения.

Если на некотором расстоянии от кристалла поместить фотопластинку, то она зарегистрирует интерференцию отраженных лучей.

Формула Вульфа - Брэгга

Максимумы интерференции при отражении возникают в случае, когда разность хода равна целому числу длин волн:

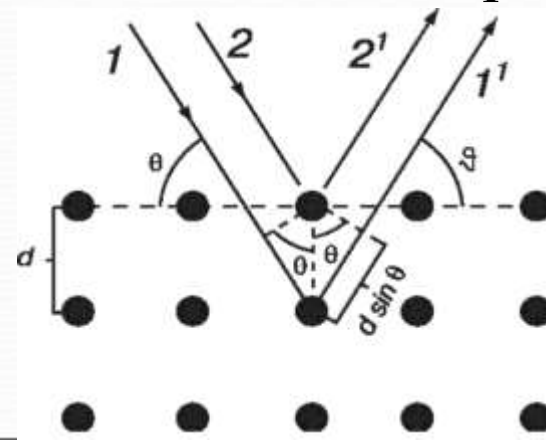
$$2d \sin \theta = k\lambda; \quad k = 1, 2, 3...$$

где θ – угол скольжения рентгеновских лучей,

λ – длина волны,

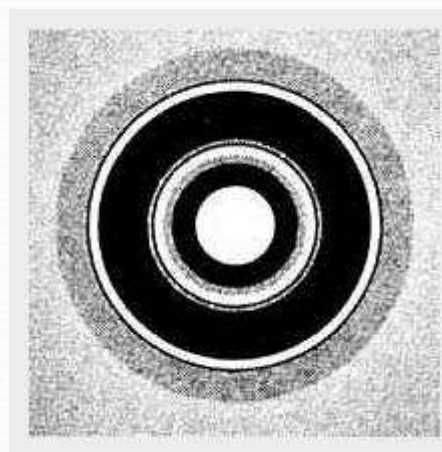
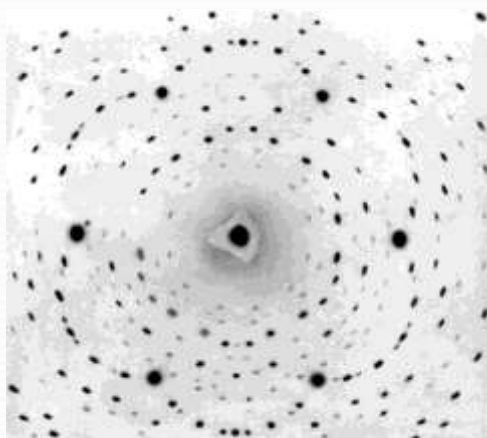
d – межплоскостное (межатомное) расстояние).

В качестве дифракционной решетки можно взять кристалл.

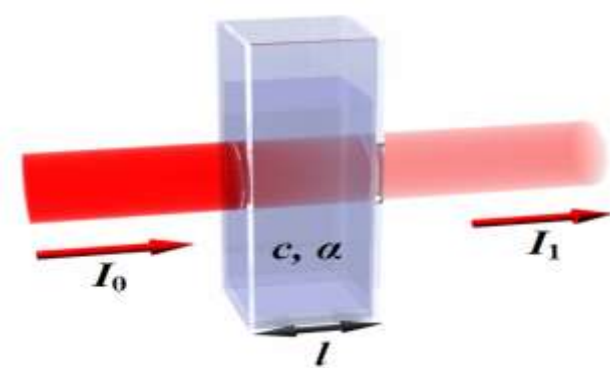


Если вещество представляет собой монокристалл, то дифракционная картина представляет собой чередование темных (засвеченных) и светлых (незасвеченных) пятен

Если вещество представляет собой смесь большого числа очень маленьких кристалликов (как в металле или порошке), возникает серия колец



Поглощение света



- Интенсивность света, распространяющегося в среде, может уменьшаться из-за поглощения и рассеяния его молекулами (атомами) вещества.
- **Поглощением света** называют ослабление интенсивности света при прохождении через любое вещество вследствие превращения световой энергии в другие виды энергии.

Закон поглощения света Бугера

- В каждом последующем слое среды одинаковой толщины поглощается одинаковая часть потока энергии, падающей на него световой волны, независимо от его абсолютной величины.

$$I = I_0 e^{-k_\lambda l}.$$

- k_λ линейный коэффициент поглощения (показатель поглощения) света веществом
- I_0 и I – интенсивности плоской монохроматической световой волны на входе в слой поглощающего вещества толщиной l и на выходе из него

Изучение поглощения света в растворах.

В этом случае поглощение света зависит также и от концентрации "с" молекул, с которыми взаимодействуют фотоны света.

Закон поглощения света в разбавленных растворах носит название **закона Бугера-Ламберта-Бера**

$$I = I_0 e^{-\chi_{\lambda} Cl},$$

χ_{λ} - натуральный молярный показатель поглощения для раствора единичной концентрации, C – молярная концентрация, l – толщина слоя раствора.

Закон Бугера—Ламберта—Бера используют для фотометрического определения концентрации окрашенных веществ.

Для этого непосредственно измеряют потоки падающего и прошедшего через раствор монохроматического света (**концентрационная колориметрия**) .

Рассеяние света

- **Рассеянием света** называют явление, при котором распространяющийся в среде световой пучок отклоняется по всевозможным направлениям.
- Необходимое условие для возникновения рассеяния света — наличие оптических неоднородностей, т. е., в частности, областей с иным, чем основная среда, показателем преломления.
- Размер неоднородностей должен быть соизмерим с длиной волны света.
- Интенсивность рассеянного света тем выше, чем меньше размер неоднородностей

Различают два основных вида оптических неоднородностей:

Мелкие инородные частицы в однородном прозрачном веществе. Такие среды являются мутными: дым (твердые частицы в газе), туман (капельки жидкости в газе), взвеси, эмульсии и т. п. Рассеяние в мутных средах называют явлением Тиндаля;

Оптические неоднородности, возникающие в чистом веществе из-за статистического отклонения молекул от равномерного распределения (флуктуации плотности). Рассеяние света на неоднородностях этого типа называют молекулярным, например рассеяние света в атмосфере.

Рассеяние света в мутных средах с размерами неоднородностей не выше $0,2 \lambda$, где λ — длина волны света, называют **рэлеевским рассеянием**.

При молекулярном рассеянии интенсивность рассеянного света обратно пропорциональна четвертой степени длины волны (**закон Рэля**):

$$I \approx \frac{1}{\lambda^4}.$$

Метод определения концентрации вещества в коллоидном растворе называется **нефелометрией**.

При этом сравнивают интенсивности рассеянного света в стандартном и исследуемом растворах. Растворы освещают боковым светом.

Естественный свет - совокупность электромагнитных волн со всевозможными направлениями световых векторов (E), перпендикулярных направлению распространения света.

Плоскополяризованный свет - свет, в луче которого ориентация всех световых векторов одинакова.

Плоскость, проходящая через электрический вектор $\vec{E}$ в направлении распространения электромагнитной волны, является **плоскостью поляризации**.

Устройство, позволяющее получать поляризованный свет из естественного, называют **поляризатором**.

Поляризатор пропускает только *проекцию* светового вектора E на некоторую плоскость, которую называют *главной плоскостью поляризатора*.

Обнаружить наличие поляризации света и определить ее степень можно с помощью анализатора.

Поляризатор можно использовать для анализа поляризованного света, тогда его называют **анализатором**.

При прохождении поляризованного света через анализатор
выполняется

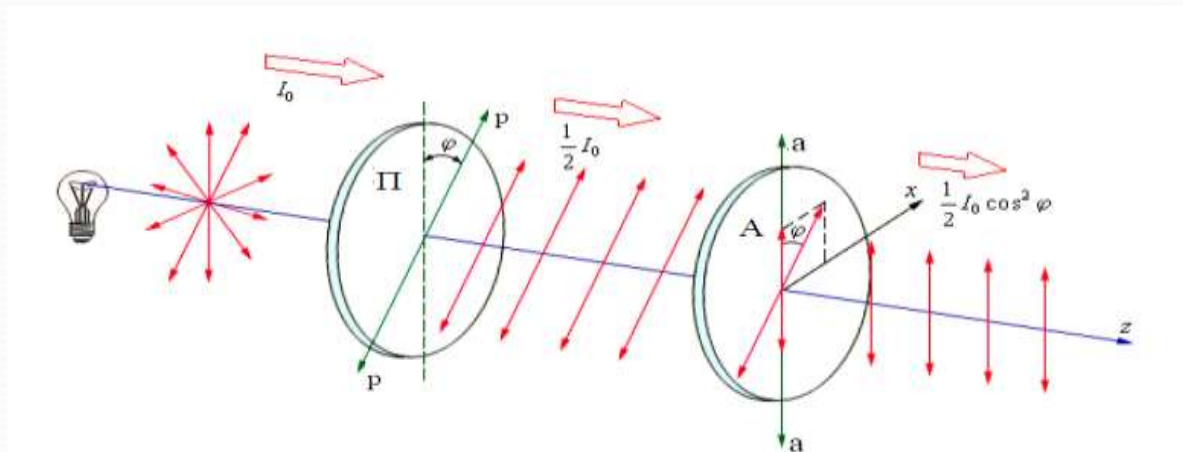
Закон Малюса

$$I = I_0 \cos^2 \varphi,$$

I_0 — интенсивность плоскополяризованного света,
падающего на анализатор,

I — интенсивность света, вышедшего из анализатора,

φ — угол между плоскостями поляризатора и анализатора.



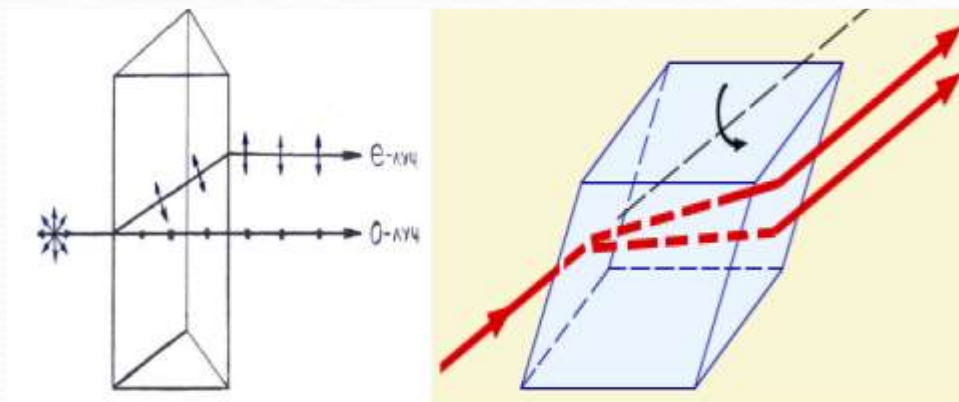
Поляризованный свет образуется при **двойном лучепреломлении**.

Некоторые прозрачные кристаллы обладают анизотропией, проявляющейся в том, что показатель преломления будет различным в разных направлениях.

В таких кристаллах из падающего луча образуется два преломленных луча:

1. **обыкновенный** (подчиняется законам преломления),
2. **необыкновенный** (не подчиняется законам преломления).

Оба луча будут поляризованы во взаимно перпендикулярных плоскостях.



Вращение плоскости поляризации, обнаруженное впервые на кристаллах кварца, заключается в повороте плоскости поляризации плоскополяризованного света при прохождении через вещество. Вещества, обладающие таким свойством, называют **оптически активными (сахар, кварц, киноварь, растворы сахара, глюкозы, скипидара, никотина).**

Метод измерения концентрации растворенных веществ, в частности сахара (**поляриметрия, или сахариметрия**) используют в медицине для определения концентрации сахара в моче, в биофизических исследованиях, а также в пищевой промышленности.

Соответствующие измерительные приборы называют **поляриметрами или сахариметрами.**

Поляриметр позволяет измерять не только концентрацию, но и удельное вращение.

Волоконная оптика



- **Волоконной оптикой** называют раздел оптики, в котором рассматривают передачу света и изображения по светопроводам.
- Волоконная оптика основана на явлении **полного внутреннего отражения**: свет, попадая внутрь прозрачного волокна, окруженного веществом с меньшим показателем преломления, многократно отражается и распространяется вдоль этого волокна.
- При движении света из среды более оптически плотной в среду менее оптически плотную, при некоторых углах падения, свет не переходит во вторую среду, а полностью отражается от границы двух сред

- Для передачи больших световых потоков и сохранения гибкости светопроводящей системы отдельные волокна собираются в пучки (жгуты) — **световоды**.

В медицине световоды используют для решения двух задач:

1. передачи световой энергии, главным образом для освещения холодным светом внутренних полостей (не имеет значения положение отдельных волокон в световоде),
2. передачи изображения (существенно, чтобы расположение волокон на входе и выходе световода было одинаковым).

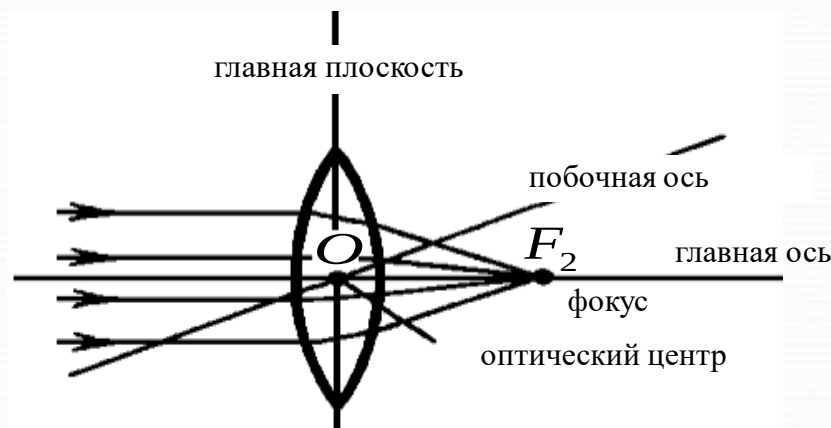
Примеры применения волоконной оптики:

Эндоскоп — специальный прибор для осмотра внутренних полостей (желудок, прямая кишка и др.).

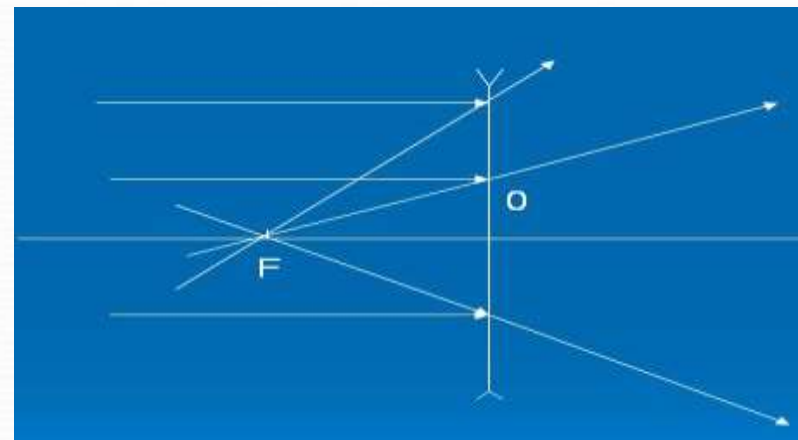
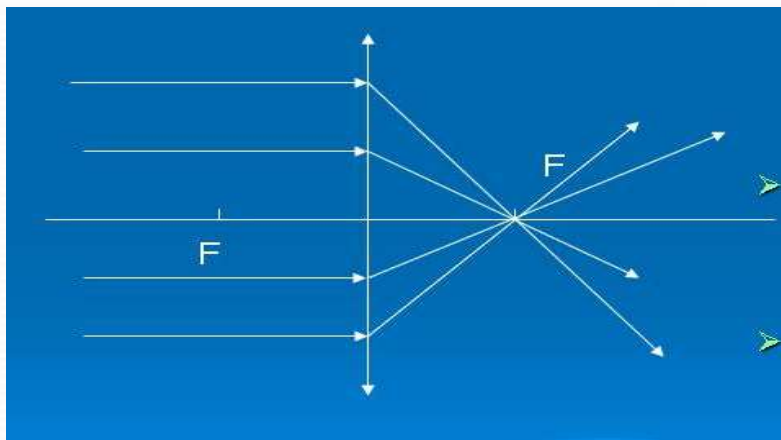
Волоконный гастроскоп. С его помощью можно не только визуально осмотреть желудок, но и произвести необходимые снимки с целью диагностики.

Линзы

- Оптической линзой называется прозрачное тело, которое ограничено двумя криволинейными поверхностями и по показателю преломления отличающееся от окружающей среды.
- Линия, проведенная через центры поверхностей, называется главной оптической осью линзы.
- Точка на главной оптической оси, в которой пересекаются лучи, падающие на линзу параллельно главной оптической оси, или их продолжение после преломления, называется главным фокусом линзы. Расстояние от оптического центра линзы до фокуса называется фокусным расстоянием F .



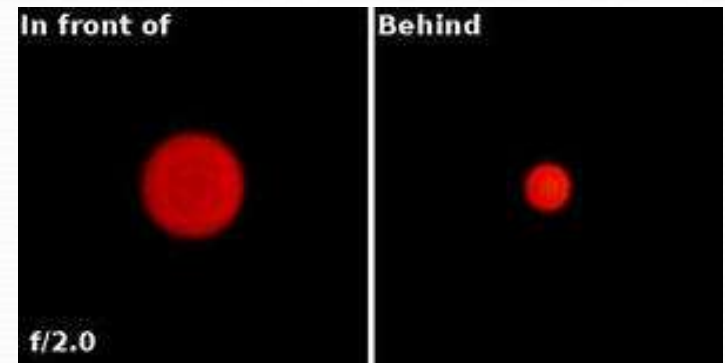
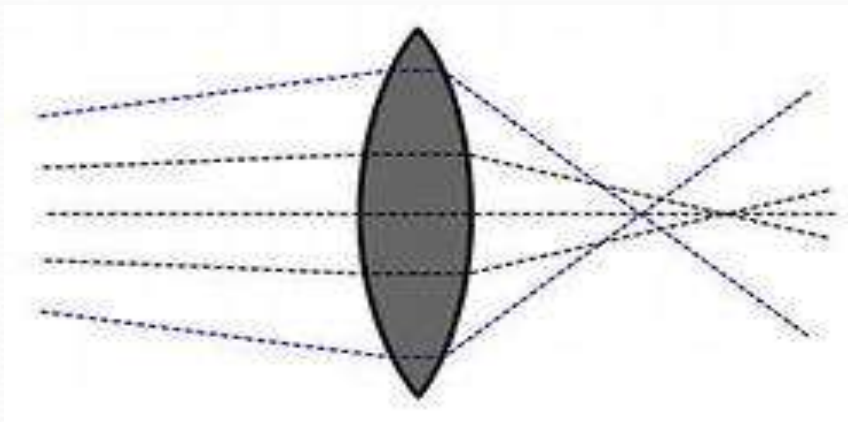
- Линза называется собирающей, если она отклоняет лучи, направленные на нее параллельно главной оптической оси, к главной оптической оси. Иначе – **рассеивающей**.
- Величина, обратная фокусному расстоянию, называется **оптической силой линзы D** . Оптическая сила характеризует преломляющую способность линзы.
- Оптическая сила измеряется в диоптриях, если фокусное расстояние выражено в метрах.
- Для собирающих линз $D > 0$, для рассеивающих линз $D < 0$.



Аберрации, или погрешности, реальных оптических систем, существенно снижающие качество оптических изображений.

Сферическая аберрация.

Она заключается в том, что **периферические части линзы сильнее отклоняют лучи, идущие от точки на оси, чем центральные.** Вследствие этого изображение светящейся точки на экране имеет вид светлого пятна. Для устранения сферической аберрации создают систему из вогнутой и выпуклой линз.

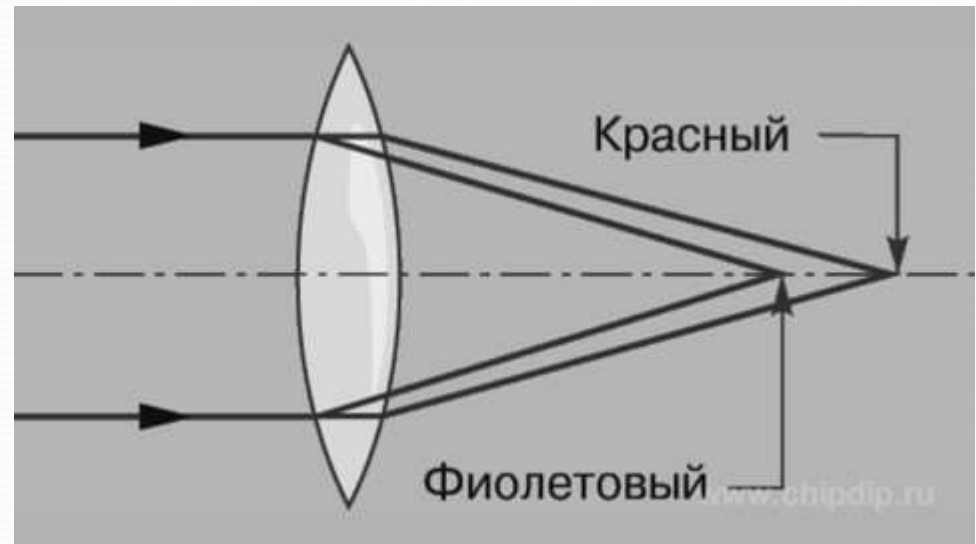
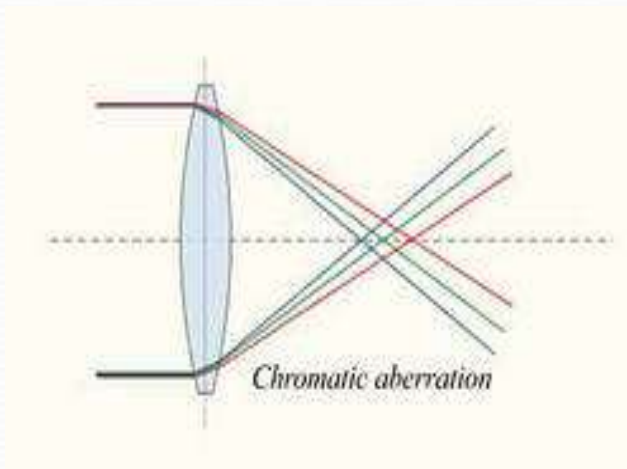


Хроматическая аберрация.

Фокусное расстояние линзы определяется показателем преломления, который зависит от длины волны.

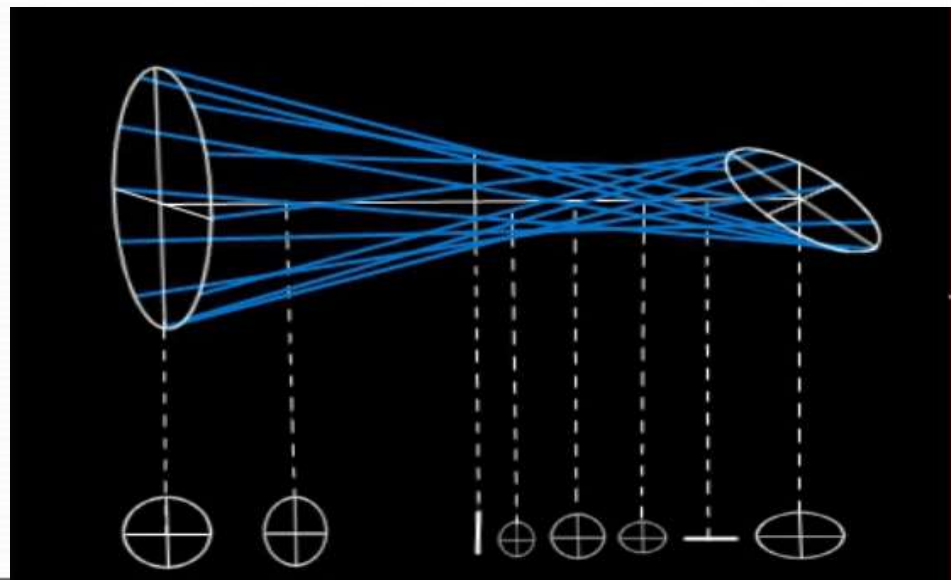
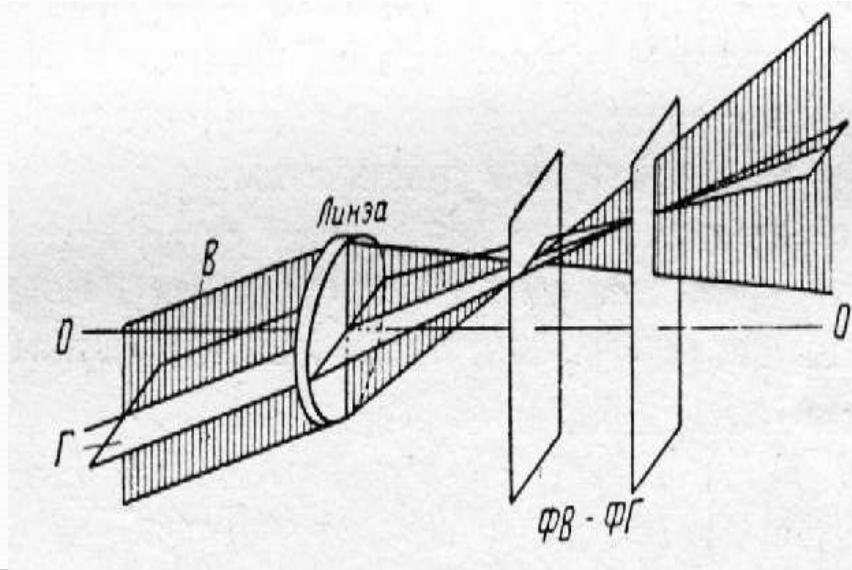
Поэтому пучок белого света, идущий параллельно главной оптической оси, будет фокусироваться в разных ее точках, разлагаясь в спектр, кружок на экране окажется окрашенным.

Для исправления этого вида аберрации создают ахроматические оптические системы из линз, которые изготавливают из стекол с разной дисперсией: ахроматы и апохроматы.



Астигматизм - это недостаток оптической системы, при котором сферическая световая волна, проходя оптическую систему, деформируется и перестает быть сферической.

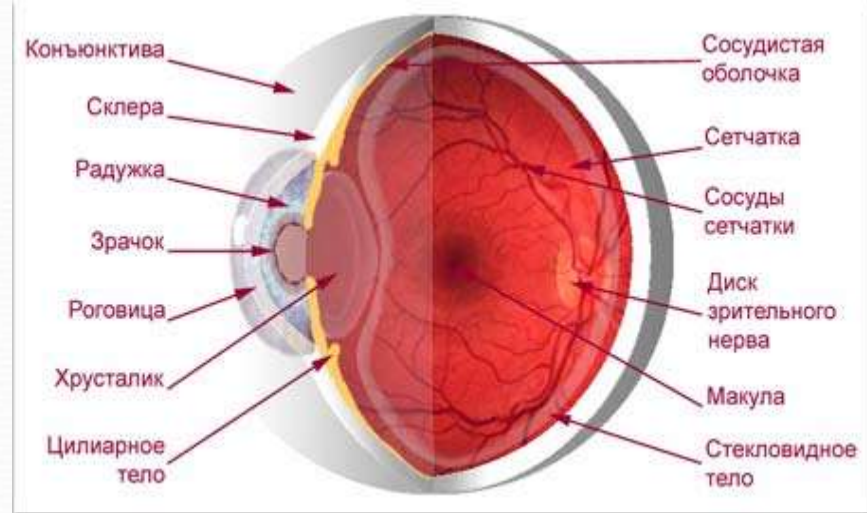
(асимметрия оптической системы – несферическая форма роговицы или хрусталика - глаз неспособен одинаково резко видеть взаимно перпендикулярные линии на таблице, для компенсации используют цилиндрические линзы).



**Глаз человека является
своеобразным оптическим прибором,
занимающим в оптике особое место.**

Оптическая система глаза состоит из **светопроводящей** (преломляющей) части, которая содержит роговицу, жидкость передней камеры, хрусталик и стекловидное тело, и **световоспринимающей** части, которая представлена сетчаткой глаза.

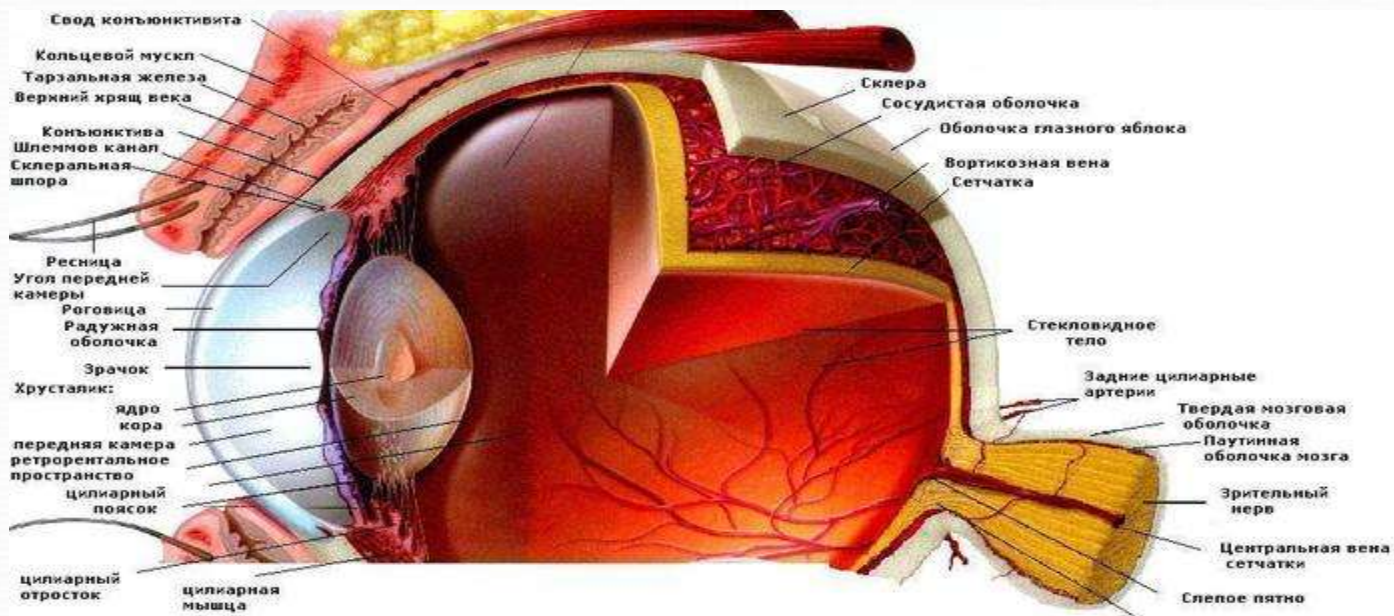
К склере прилегает сосудистая оболочка, внутренняя поверхность которой выстлана слоем темных пигментных клеток, препятствующих внутреннему диффузному рассеянию света в глазу



По оптическим свойствам роговица — наиболее сильно преломляющая часть глаза.

хрусталик — прозрачное и упругое тело, подобное двояковыпуклой линзе.

Между роговицей и хрусталиком расположена **передняя камера** глаза, она заполнена водянистой влагой — **жидкостью**, близкой по оптическим свойствам к воде. Вся внутренняя часть глаза от хрусталика до задней стенки занята прозрачной студенистой массой, называемой **стекловидным телом**.



Световоспринимающий (рецепторный) аппарат глаза – сетчатка, в ней находятся **светочувствительные зрительные клетки (палочки и колбочки)**, периферические концы которых имеют различную форму.

Преломляющая система глаза – это центрированная система. Ее оптическая сила равна алгебраической сумме оптических сил роговицы (~ 40 дптр) и хрусталика (~ 20 дптр): **60 дптр**.

Основное преломление света происходит на внешней границе роговицы. Различно удаленные предметы должны давать на сетчатке одинаково резкие изображения (изменение кривизны хрусталика – изменение фокусного расстояния).

Приспособление глаза к четкому видению различно удаленных предметов — «наводку на резкость» — называют **аккомодацией**.

Наиболее близкое расположение предмета от глаза, при котором еще возможно четкое изображение на сетчатке, называют **ближней точкой глаза (ближняя точка ясного видения)**.

Расстояние до ближней точки глаза с возрастом увеличивается; следовательно, аккомодация уменьшается.

Углом зрения называется угол, образованный прямыми, проходящими через оптический центр глаза к краям рассматриваемого предмета.

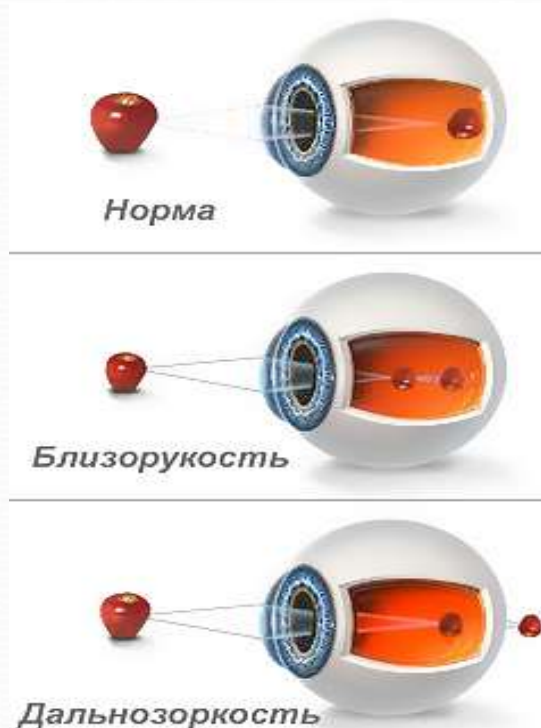
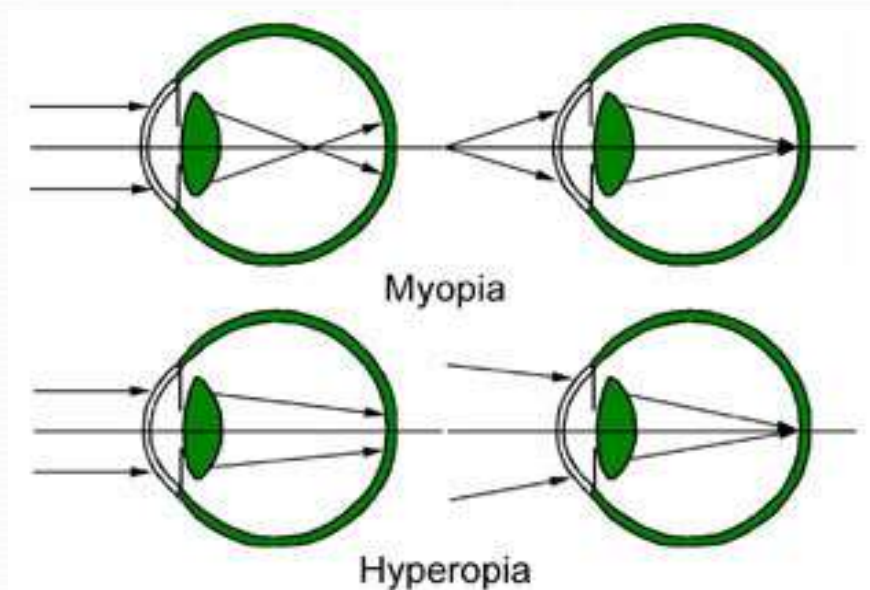
Для характеристики разрешающей способности глаза используют **наименьший угол зрения**, при котором человеческий глаз еще различает две точки предмета.

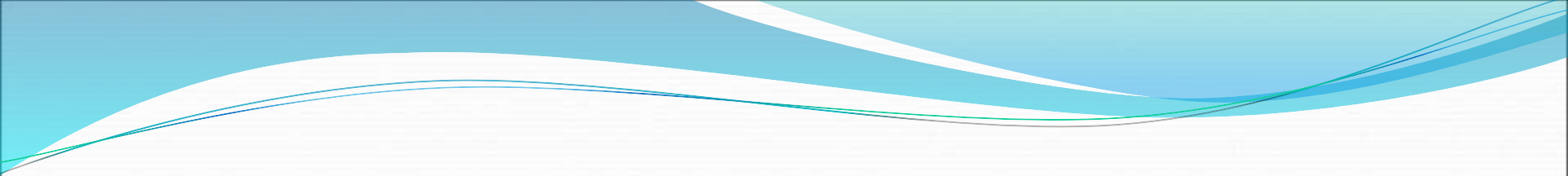
В медицине разрешающую способность глаза оценивают **остротой зрения**.

Близорукость — недостаток глаза, состоящий в том, что задний фокус при отсутствии аккомодации лежит впереди сетчатки;

в случае **дальнозоркости** задний фокус при отсутствии аккомодации лежит за сетчаткой.

Для коррекции близорукого глаза применяют рассеивающую линзу, дальнозоркого — собирающую.





Спасибо за внимание!