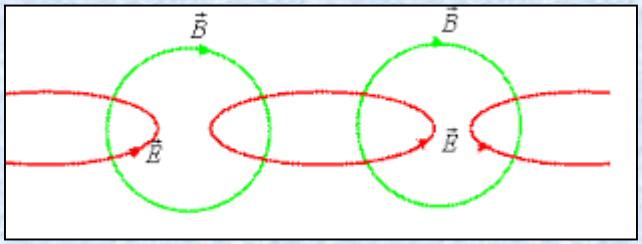
Теория электромагнитного поля

Основные положения теории Максвелла:
а) всякое переменное электрическое поле порождает магнитное;
б) всякое переменное магнитное поле порождает электрическое (явление электромагнитной индукции).

Взаимное образование электрических и магнитных полей приводит к возникновению электромагнитной волны — распространение единого электромагнитного поля в пространстве.



Электромагнитная волна **- это электромагнитные колебания, распространяющиеся в пространстве и переносящие энергию.**

Уравнение волны

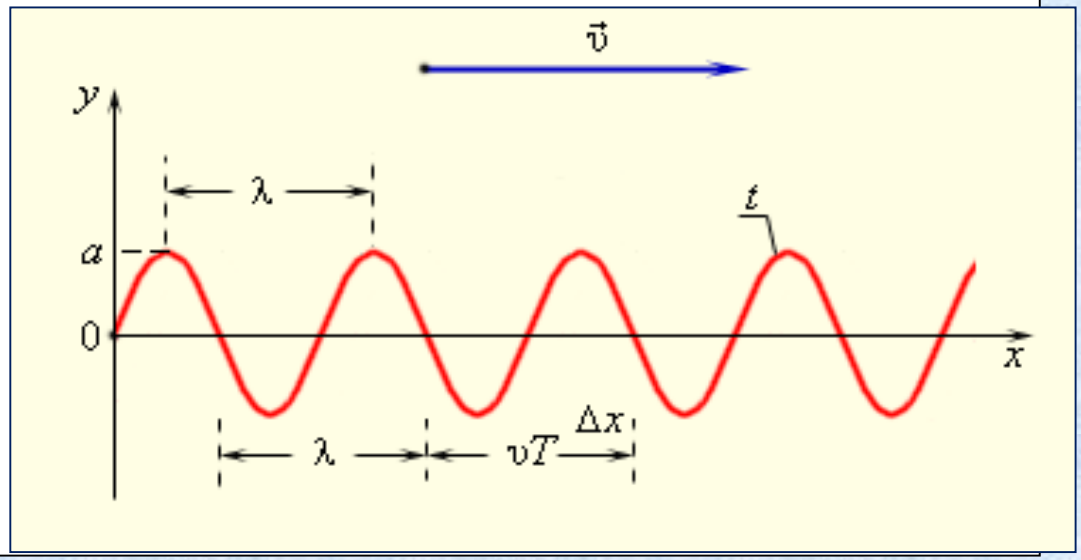
Уравнение волны:

$$y = A\cos\left[\omega\left(t - \frac{x}{\upsilon}\right)\right]$$

где ***y*** – **измеряемая величина** (возмущение),
A – **амплитуда волны:** максимальное отклонение от положения равновесия;
ω– **круговая частота (*ω* = 2*πν*)**, ***t*** – **время**, ***x*** – **координата** точки.
Длина волны *λ* – расстояние между ближайшими точками, колеблющимися в одинаковой фазе.

Длина волны: $\lambda = \upsilon T = \dfrac{\upsilon}{\nu}$

υ – **скорость** распространения волны,
T – **период**: время одного колебания;
ν – **частота** колебаний.

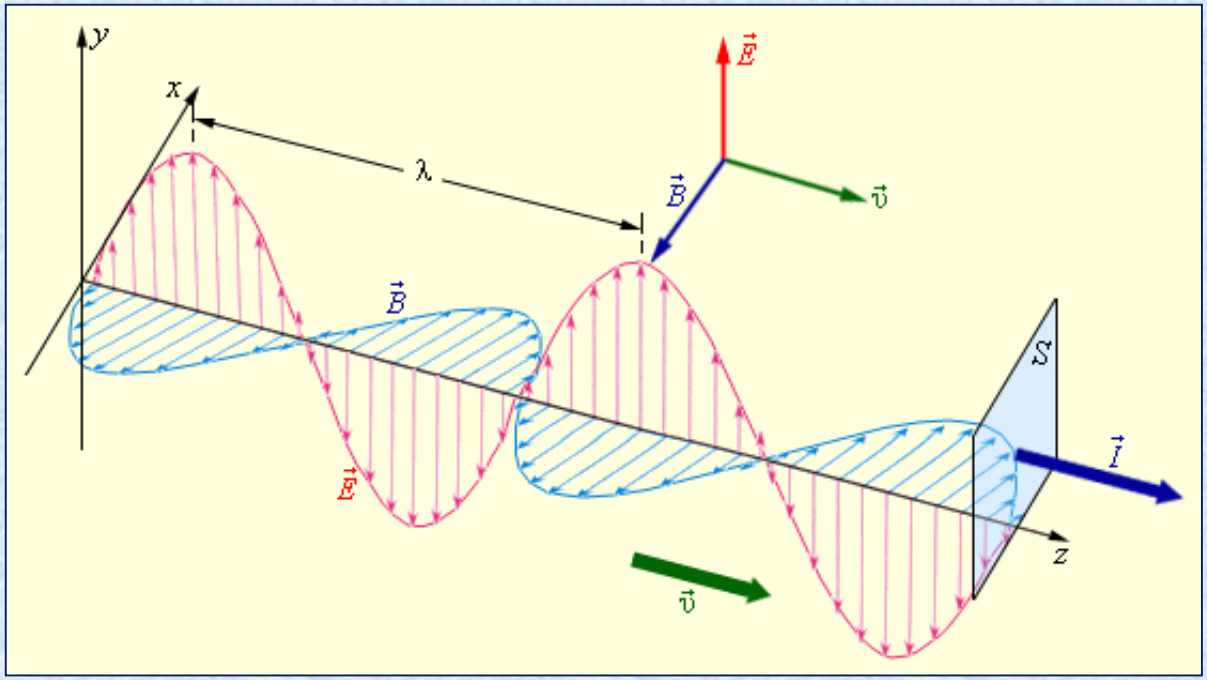


Уравнение электромагнитной волны

Уравнения электромагнитной волны:

$$E = E_m \cos\left[\omega\left(t - \frac{x}{\upsilon}\right)\right]; \quad B = B_m \cos\left[\omega\left(t - \frac{x}{\upsilon}\right)\right]$$

где $\boldsymbol{E}$ - напряженность электрического поля в момент времени **t**,
$\boldsymbol{E_m}$ – амплитуда напряженности электрического поля;
$\boldsymbol{B}$ - магнитная индукция в момент времени **t**;
$\boldsymbol{B_m}$ – амплитуда магнитной индукции.



Векторы $\vec{E}$, $\vec{B}$ и $\vec{\upsilon}$ взаимно перпендикулярны.

Электромагнитные волны – поперечные.

Скорость электромагнитной волны

Скорость распространения электромагнитной волны:

$$\upsilon = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\varepsilon_0\mu\mu_0}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}}$$

где $c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}} = 3\cdot 10^8$ м/с **- скорость света в вакууме**;

ε и μ — соответственно диэлектрическая и магнитная проницаемости среды,

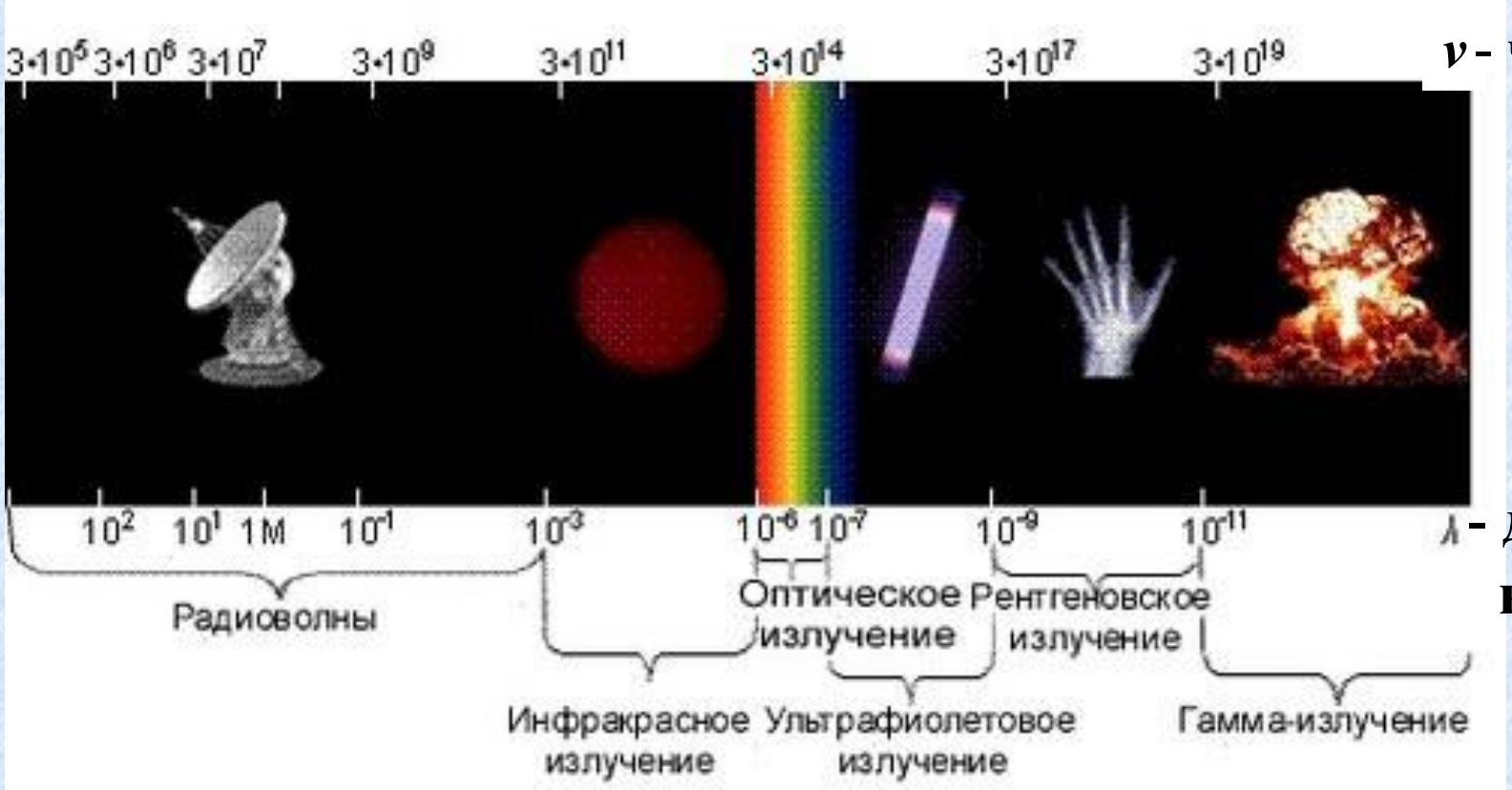
ε_0 и μ_0 — соответственно электрическая и магнитная постоянные.

$$n = \frac{c}{\upsilon} = \sqrt{\varepsilon\mu}$$

- абсолютный показатель преломления среды.

Скорость распространения электромагнитных волн равна скорости света – электромагнитная теория света Максвелла.

Шкала электромагнитных волн



ν - частота, Гц

λ - длина волны, м

Длина волны, м	Название диапазона	Источники
10^4–5×10^{-5}	Радиоволны	Переменные токи в проводниках
1×10^{-3}–$7{,}6\times10^{-7}$	Инфракрасное излучение	Излучение верхних электронных оболочек атомов и молекул
$7{,}6\times10^{-7}$–4×10^{-7}	Видимый свет (λ = 400–760 нм)	
4×10^{-7}–1×10^{-8}	Ультрафиолетовое излучение	

Длина волны, м	Название диапазона	Источники
1×10^{-7}–1×10^{-12}	Рентгеновское излучение	Внутриатомные процессы; очень большие ускорения заряженных частиц
2×10^{-10} и менее	γ–излучение	Ядерные процессы, радиоактивный распад, космические лучи

Энергия фотона: $\varepsilon = h\nu = hc/\lambda$

Влияние радиоволн на человека

Радиоволны, генерируемые с помощью электронных устройств, по длине охватывают диапазон от миллиметров до нескольких километров. **Длинные и средние радиоволны (λ>100 м)** практически не взаимодействуют с биологическими объектами. **В медицинских целях** они **не используются**.

С уменьшением длины волны биологическая активность радиоволн возрастает. **Волны ВЧ-диапазона (10^3-10 м)** заметно поглощаются биологическими тканями, а для **УВЧ (10^{-1} м)** и **СВЧ-диапазонов (1-10^{-3} м)** это поглощение становится очень значительным. **УВЧ-диапазон используется в медицине для глубокого прогревания тканей**.

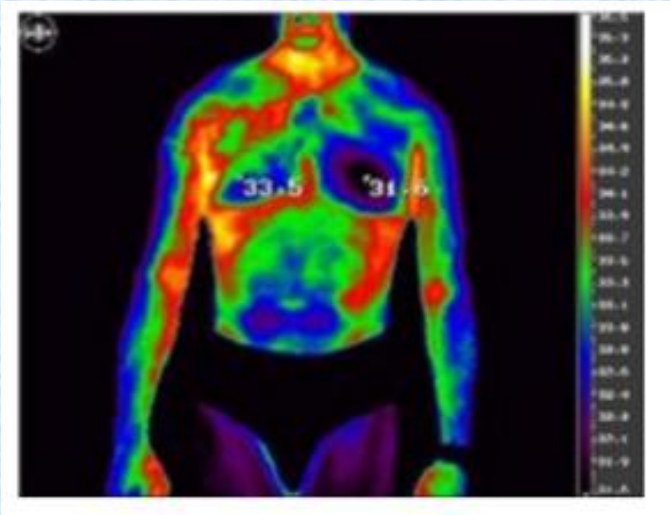
Особенно эффективно поглощают такие волны ткани со значительным содержанием воды, что приводит к их сильному нагреванию. Большое выделение тепла опасно для органов и тканей, имеющих плохую систему кровоснабжения, например для хрусталика. Так, радиоизлучение с длиной волны 10^{-12} см может повысить температуру в задней части хрусталика на 20 °С.

Инфракрасное излучение (ИК) [10^{-3}-10^{-6} м]

ИК излучение испускают все нагретые тела.
Молекулы, входящие в состав кожного покрова человека, «резонируют» на инфракрасных частотах; поэтому именно это излучение преимущественно поглощается и тем самым согревает человека.

ИК излучение применяется в медицине, так как оказывает согревающее, болеутоляющее, антиспазматическое, противовоспалительное, циркуляторное, стимулирующее и отвлекающее действие.

Термограммы используют в медицине для диагностики заболеваний. Так, инфракрасные снимки вен позволяют обнаруживать места закупорки сосудов, локализации тромбов или злокачественных опухолей, даже если их температура превышает окружающую температуру на сотые доли градусов.



термограмма

Видимый свет [390-760 нм ($3{,}9\cdot10^{-7}$-$7{,}6\cdot10^{-7}$ м)]

На долю видимого света приходится до 48 % излучения Солнца и 15 % излучения искусственных источников. **Видимый свет необходим для нормальной жизнедеятельности человека - с его помощью организм получает свыше 90 % информации о внешнем мире**. Диапазон видимого света делится на поддиапазоны, соответствующие основным цветам.

Таблица 1

Диапазоны волн видимого излучения и соответствующие им цвета

	Наименование	Длина волны λ, нм
	Ультрафиолетовый	< 400
	Фиолетовый	400—430
	Синий	430—470
	Голубой	470—500
	Зеленый	500—560
	Желтый	560—590
	Оранжевый	590—630
	Красный	630—700
	Инфракрасный	> 700

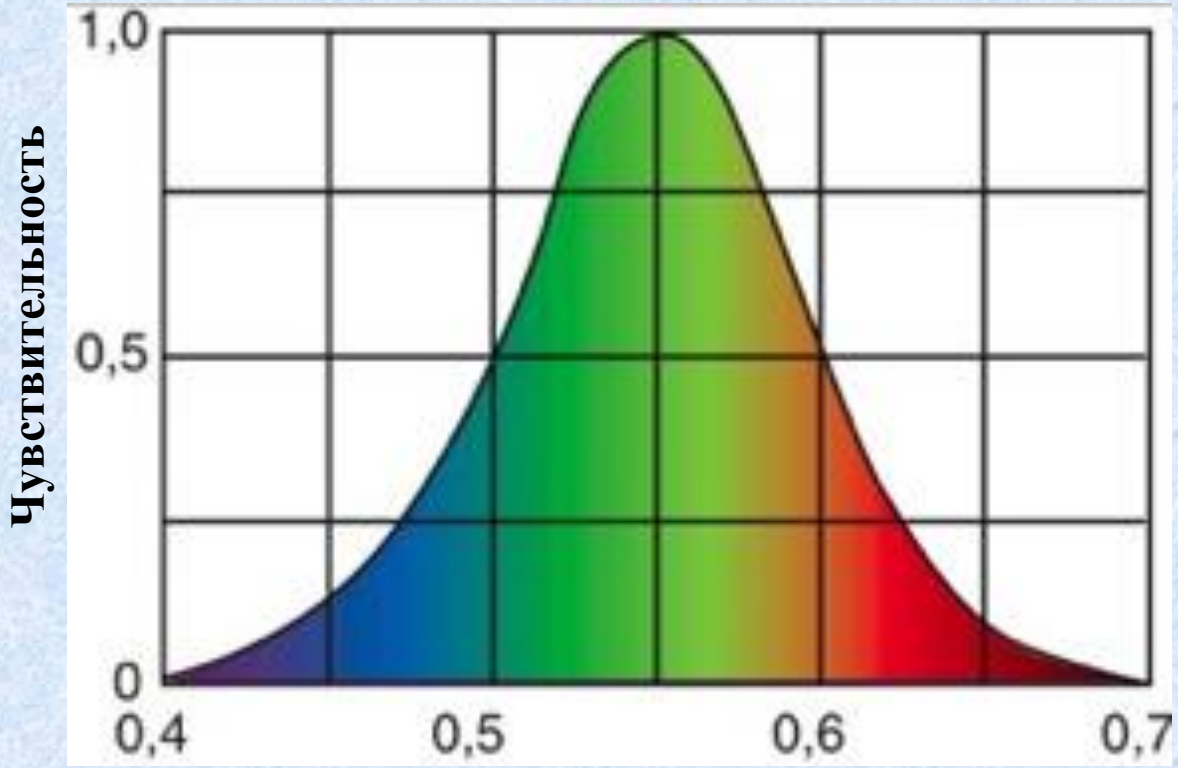
Кривая видности

Один и тот же поток лучистой энергии ***Ф***, поступающий в глаз на разных частотах, вызывает неодинаковые зрительные ощущения, а если этот поток лежит за пределами «полосы пропускания» глаза, то вообще им никак не фиксируется.

$$\Phi = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

***ΔE* - энергия**

***Δt*- время**



Кривая видности - зависимость относительной чувствительности человеческого глаза от длины волны падающего излучения.

Ультрафиолетовое излучение (УФ) [10^{-7}-10^{-9} м]

УФ-излучение оказывает заметное воздействие на кожные покровы, инициируя фотохимические и фотобиологические реакции.

Малые дозы оказывают **благотворное действие** на человека, активизируя **синтез витамина D** в организме, а также вызывая загар, улучшаем иммунобиологические свойства.

Большая доза УФ излучения может вызвать **повреждения глаз, ожог кожи и раковые образования** (в 80% случаев излечимые). Кроме того, чрезмерное УФ-облучение ослабляет иммунную систему организма, способствуя развитию некоторых заболеваний.

УФ излучение с длиной волны меньше 399 нм деполимеризует нуклеиновые кислоты и разрушает протеины, нарушая жизненные процессы в организме. Поэтому **в малых дозах** такое излучение **обладает бактерицидным действием**, уничтожая микроорганизмы.

Рентгеновское и гамма-излучение [$<10^{-9}$ м]

Рентгеновское излучение, используемое в медицине, создают с помощью рентгеновских трубок.
Источником гамма-излучения являются радиоактивные изотопы.

В медицине **рентгеновское излучение** применяется как для **диагностики** (**рентгенография, флюорография**), так и для лучения (рентгенотерапия).

Короткофокусная рентгенотерапия с успехом **применяется при лечении рака** кожи, рака верхней и нижней губы I и II стадии заболевания и др.

При лечении глубоко расположенных опухолей рентгенотерапия заменена дистанционной гамма-терапией (**γ-терапия**)

ОПТИКА

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

Природа света двойственна (дуалистична). Это означает, что **свет** проявляет себя **и** как **электромагнитная волна**, **и** как **поток частиц** — фотонов.

Энергия фотона ε: $\varepsilon = h\nu$

где ***h*** – постоянная Планка, $h = 6{,}62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с.

ν – частота электромагнитной световой волны.

В одних оптических явлениях в большей степени проявляются волновые свойства света, а в других — корпускулярные.

В зависимости от круга рассматриваемых явлений **оптику делят на разделы:**

- **геометрическая (лучевая) оптика,**
- **волновая (физическая) оптика,**
- **квантовая (корпускулярная) оптика.**

Геометрическая оптика

Геометрическая (лучевая) оптика — раздел, в котором изучают законы распространения света на основании представления о световом луче как линии, вдоль которой распространяется энергия световой волны.

Основные законы оптических явлений (законы геометрической оптики):

1) закон прямолинейного распространения света;

2) закон независимости световых лучей;

3) закон отражения света;

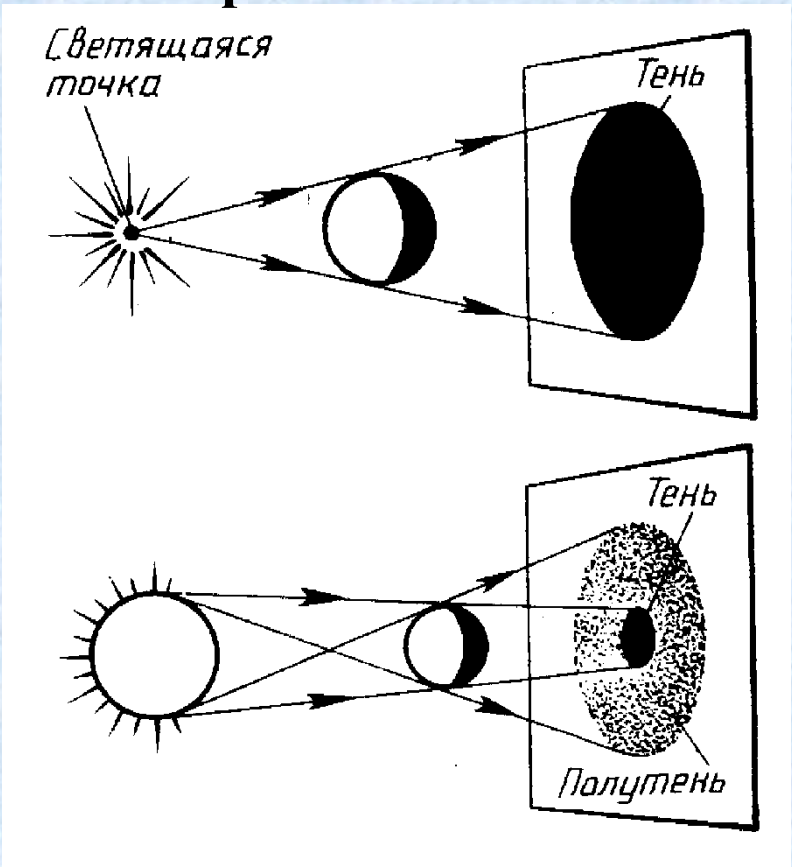
4) закон преломления света.

1. Закон прямолинейного распространения света

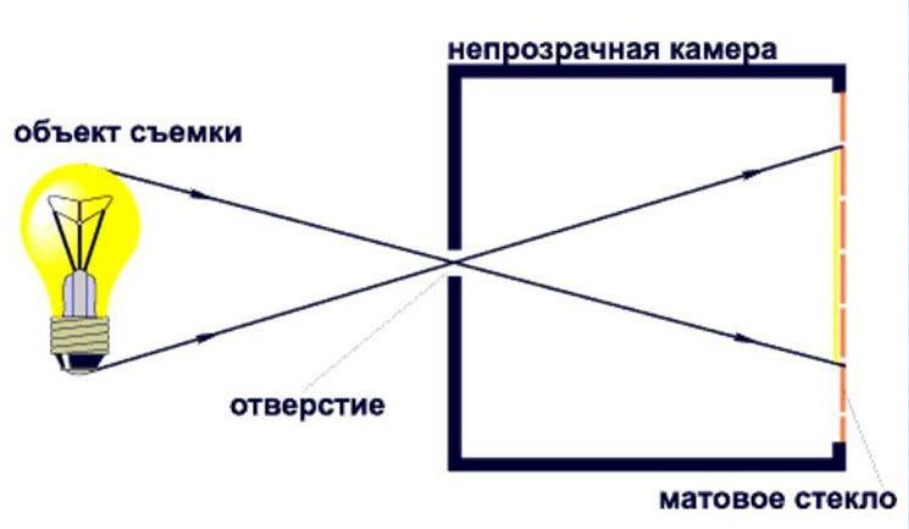
Закон прямолинейного распространения света — свет в оптически однородной среде распространяется прямолинейно.

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

Образование тени



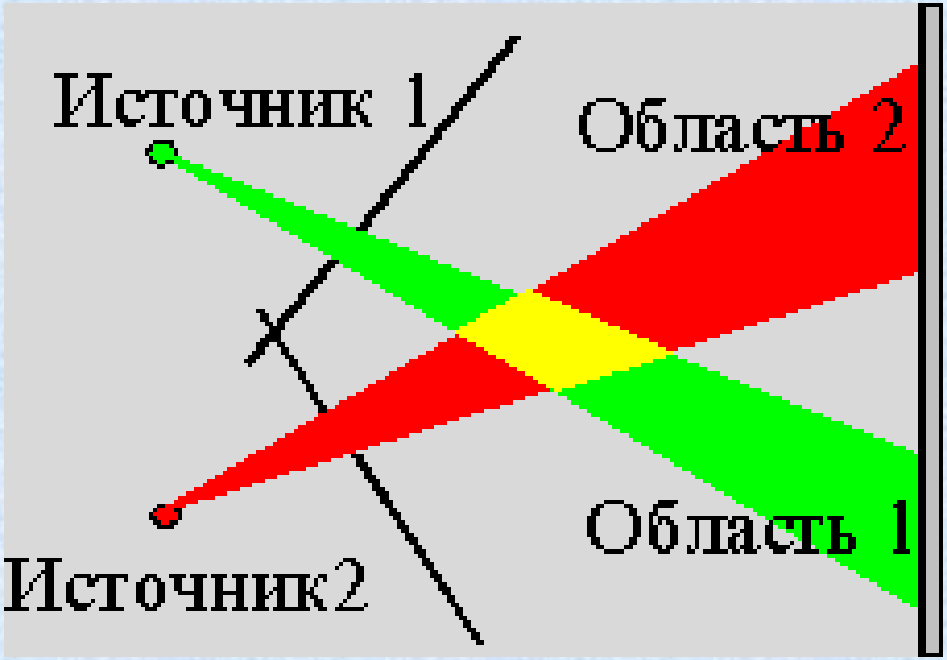
Изображение в камере-обскуре



2. Закон независимости световых лучей

Закон независимости световых лучей — эффект, производимый отдельным лучом, не зависит от того, действуют ли одновременно остальные лучи или они устранены.

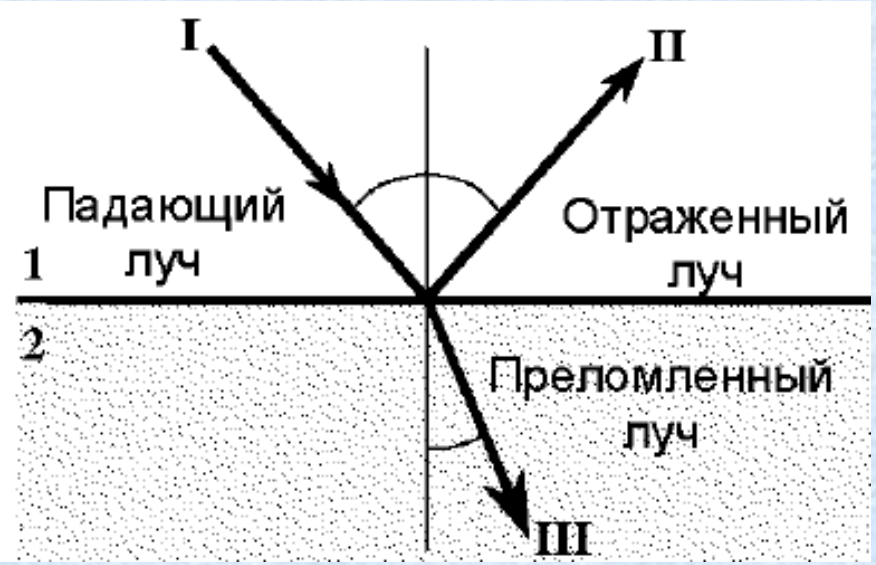
Освещенность экрана, создаваемая несколькими световыми пучками, равна сумме освещенностей, создаваемых каждым пучком в отдельности.

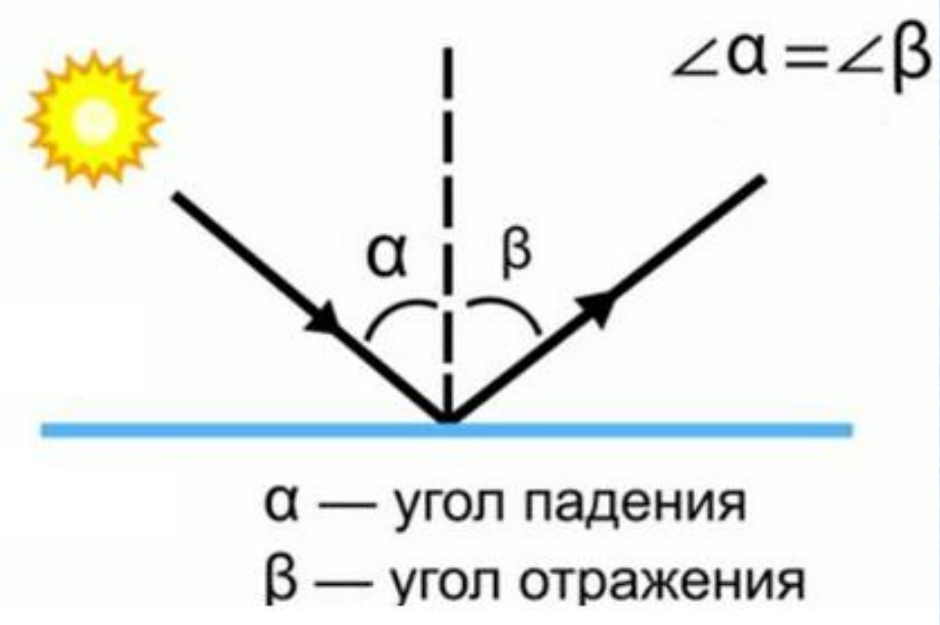


3. Закон отражения света

Когда луч достигает плоской границы раздела двух прозрачных сред, он частично проходит во вторую среду (преломляется), частично возвращается обратно (отражается).

Закон отражения света: падающий и отраженный лучи лежат в одной плоскости с перпендикуляром к границе раздела в точке падения, причем **угол падения равен углу отражения**.





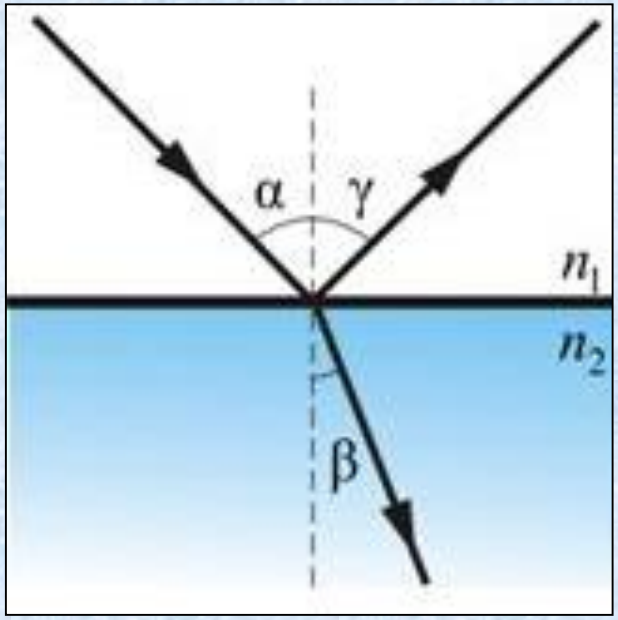
4. Закон преломления света

Закон преломления света: луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр, проведенный к границе раздела двух сред в точке падения, лежат в одной плоскости; **отношение синуса угла падения к синусу угла преломления** для рассматриваемых сред **зависит только от длины световой волны**, но не зависит от узла падения, т.е.:

$$\boxed{\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = n_{21}} \qquad n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$$

где n_{21} – **относительный показатель преломления**

n_1, n_2 – абсолютные показатели преломления сред (относительно вакуума).

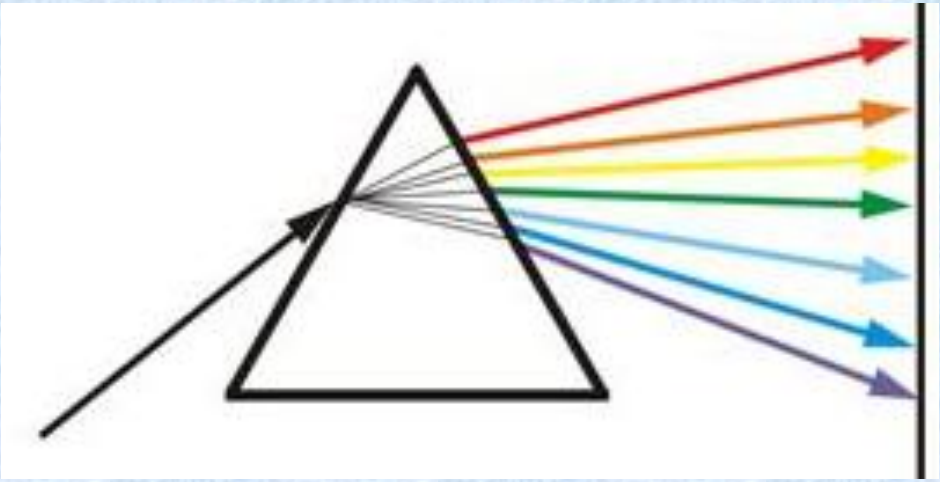


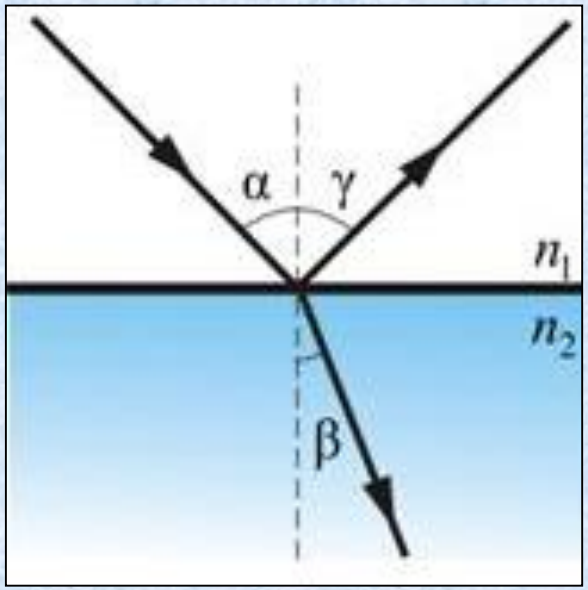
Показатель преломления среды

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

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

Показатель преломления n зависит от длины световой волны («цвета») - дисперсия





Полное внутреннее отражение

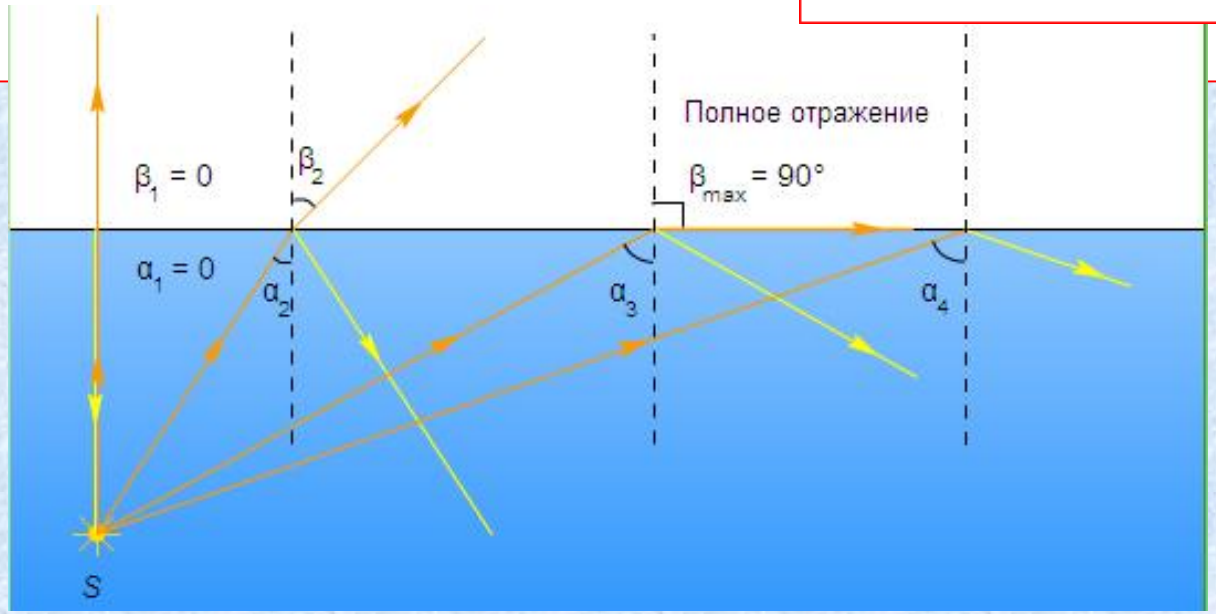
Если свет распространяется из среды с большим показателем преломления n_1 (оптически более плотной) в среду с меньшим показателем преломления n_2 (оптически менее плотную) **($n_1 > n_2$)**, например, из стекла в воду, то

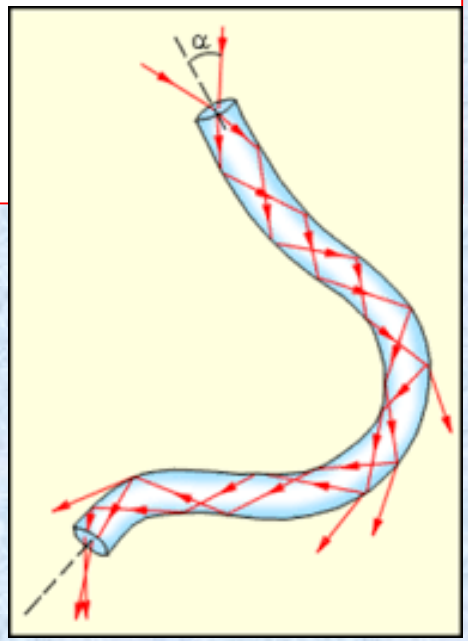
$$\frac{\sin\beta}{\sin\alpha} = n_{12} = \frac{n_1}{n_2} > 1$$

При углах падения $\alpha > \alpha_{пр}$ весь падающий **свет полностью отражается.**

Предельный угол (при β=90º):

$$\sin\alpha_{пр} = n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$$





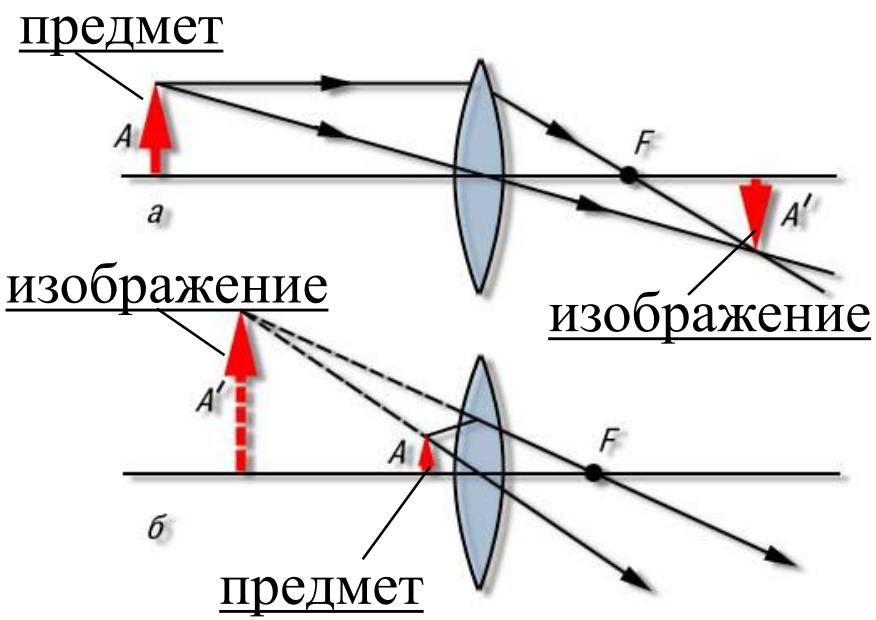
Световод

Геометрическая теория оптических изображений

Если пучок световых лучей, исходящий из какой-либо точки **А**, в результате отражений, преломлений или изгибаний в неоднородной среде сходится в точке **А’**, то **А’** называется **оптическим изображением или просто изображением точки А**.

Изображение **А’** называется **действительным** если световые лучи **действительно пересекаются** в точке **А’**.

Если же в **А’ пересекаются продолжения лучей**, проведенные в направлении, обратном распространению света, то изображение называется **мнимым**.



- Действительное изображение

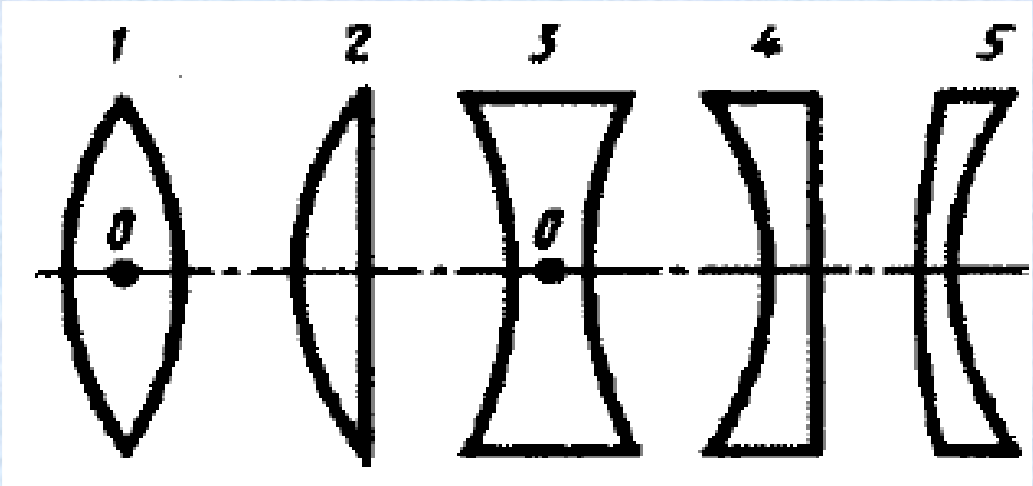
- Мнимое изображение

Линзы

Линзой называется прозрачное тело, ограниченное с двух сторон криволинейной поверхностью.

Типы линз:

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

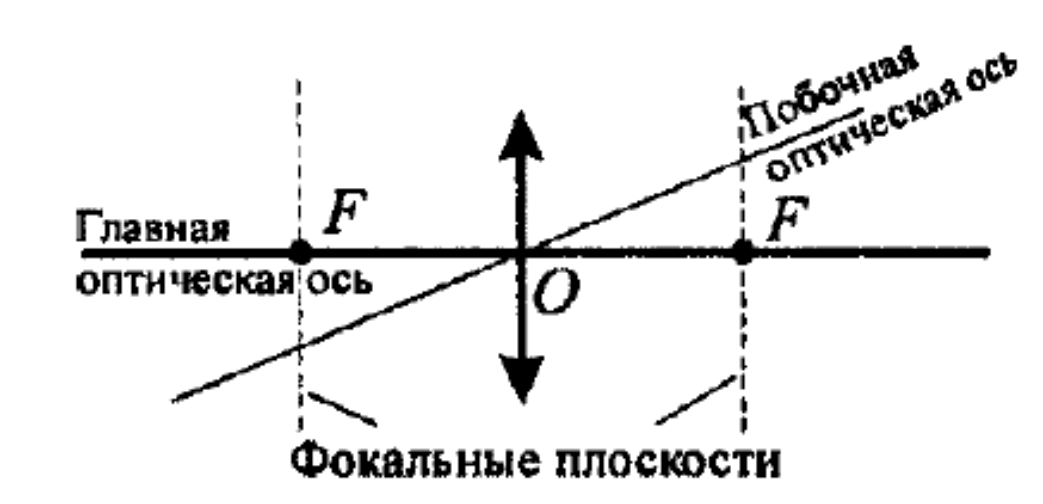


Линза называется тонкой, если ее толщина ***d*** значительно меньше, чем радиусы кривизны R_1 и R_2 обеих поверхностей.

$$d \ll R_1, R_2$$

На оптических схемах линзы обычно обозначают двунаправленной стрелкой.

Элементы тонкой линзы



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

Оптическим центром линзы (обычно обозначается О) называется точка, лежащая на главной оптической оси и обладающая тем свойством, что **лучи проходят сквозь нее 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** светового пучка, **распространяющиеся параллельно главной оптической оси**.

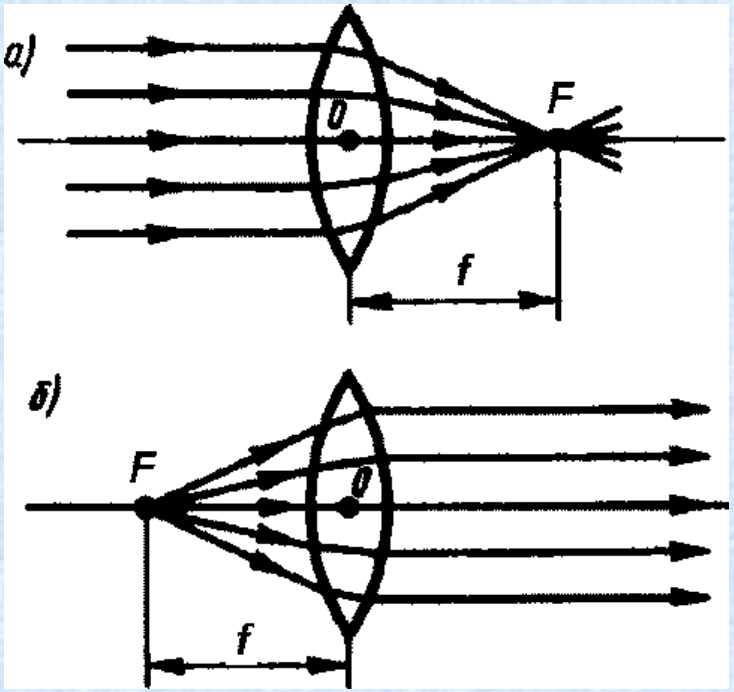
Фокальной плоскостью называется плоскость, проходящая через фокус линзы перпендикулярно ее главной оптической оси.

Формула тонкой линзы

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

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

где R_1, R_2 – радиусы кривизны поверхностей линзы; n_{21} – относительный показатель преломления.



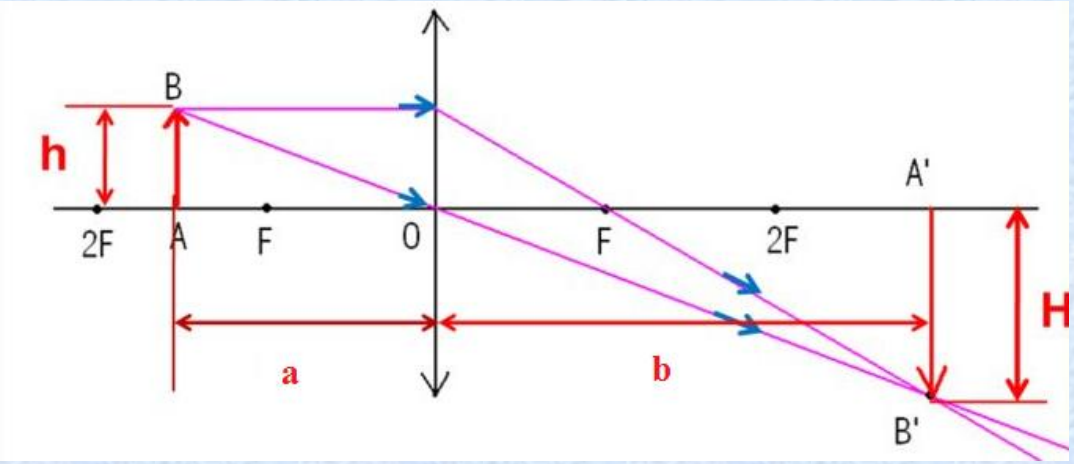
Формула тонкой линзы:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

где ***a*** — расстояния от линзы до предмета;

b - расстояние от линзы до изображения;

f – фокусное расстояние.

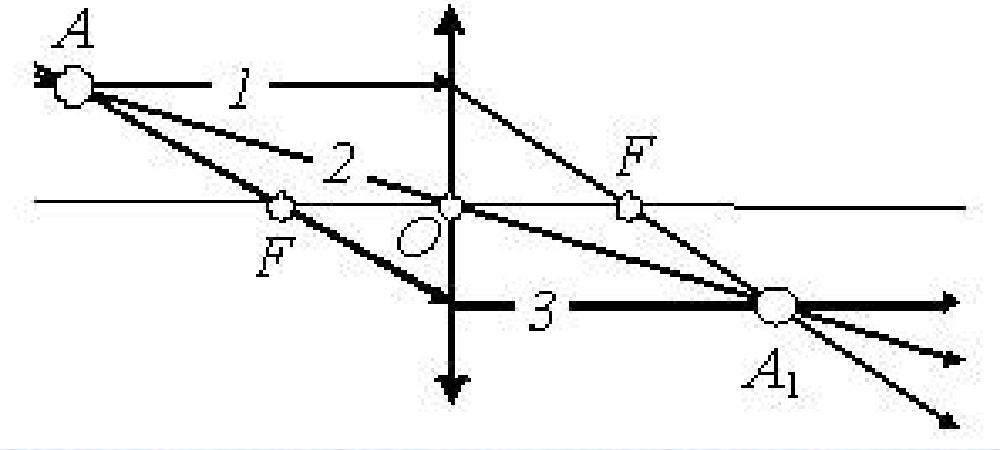


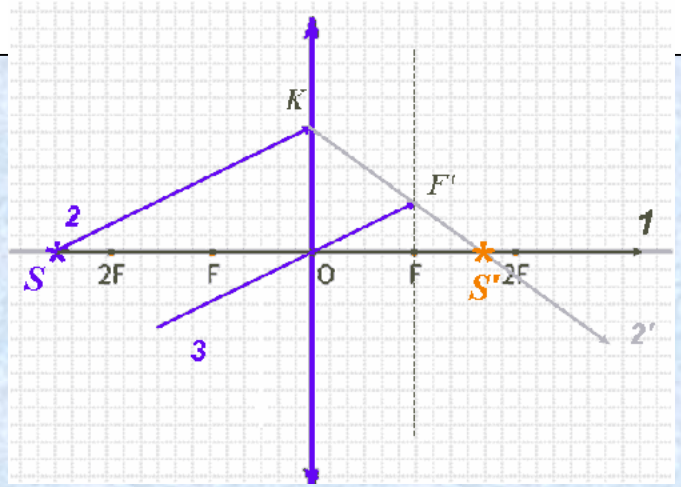
Построение изображения в тонкой линзе

Величина ***D = 1/f*** называется **оптической силой линзы**.
Ее единица — диоптрия (дптр) — оптическая сила линзы с фокусным расстоянием 1 м.

Правила для построения изображений в тонких линзах:

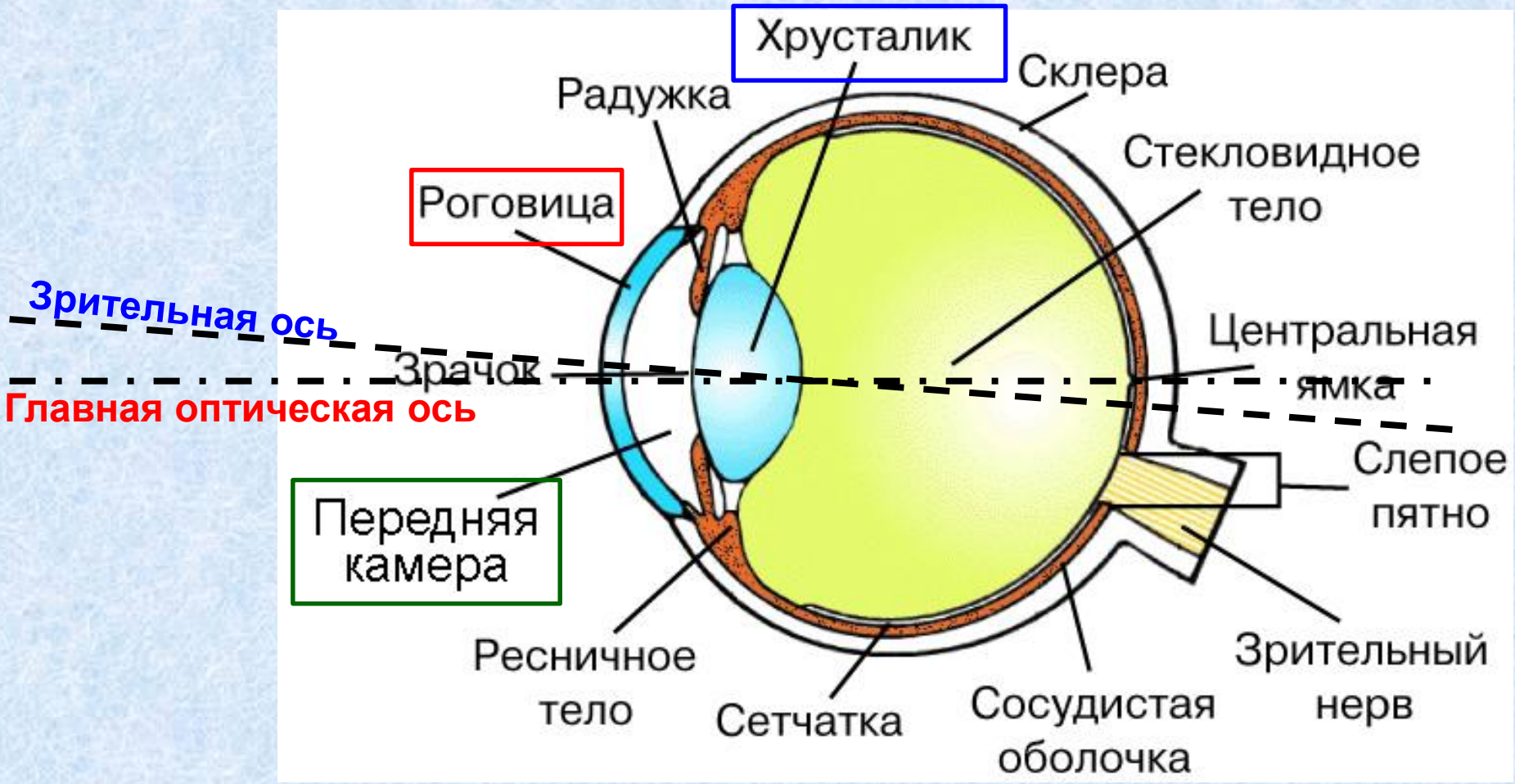
1. Луч, проходящий через центр линзы не изменяет своего направления,
2. Луч, проходящий через фокус линзы F после линзы пойдет параллельно главной оптической оси;
3. Лучи, идущие параллельно главной оптической оси после прохождения через линзу пересекаются в фокусе;
4. Параллельно идущие лучи после прохождения линзы пересекаются в фокальной плоскости.





Светопроводящий аппарат глаза

Глаз – центрированная оптическая система, образованная **роговицей**, **жидкостью передней камеры** и **хрусталиком** (четыре преломляющие поверхности) и ограниченная спереди воздушной средой, сзади — стекловидным телом.



Оптические свойства глазных сред

Структурный элемент глаза	Показатель преломления	Радиус кривизны		Оптическая сила, дптр
		передней поверхности	задней поверхности	
Роговица	1,376	7,7	6,8	40–43
Влага передней камеры	1,333	6,8	~10	4
Хрусталик неаккомодированный	1,414	10,0	6,0	20
Хрусталик максимально аккомодированный	1,424	5,3	5,3	33
Стекловидное тело	1,336	~6	–	–

Светопроводящий аппарат глаза

Модель: глаз – собирающая линза с показателем преломления n = 1,336.

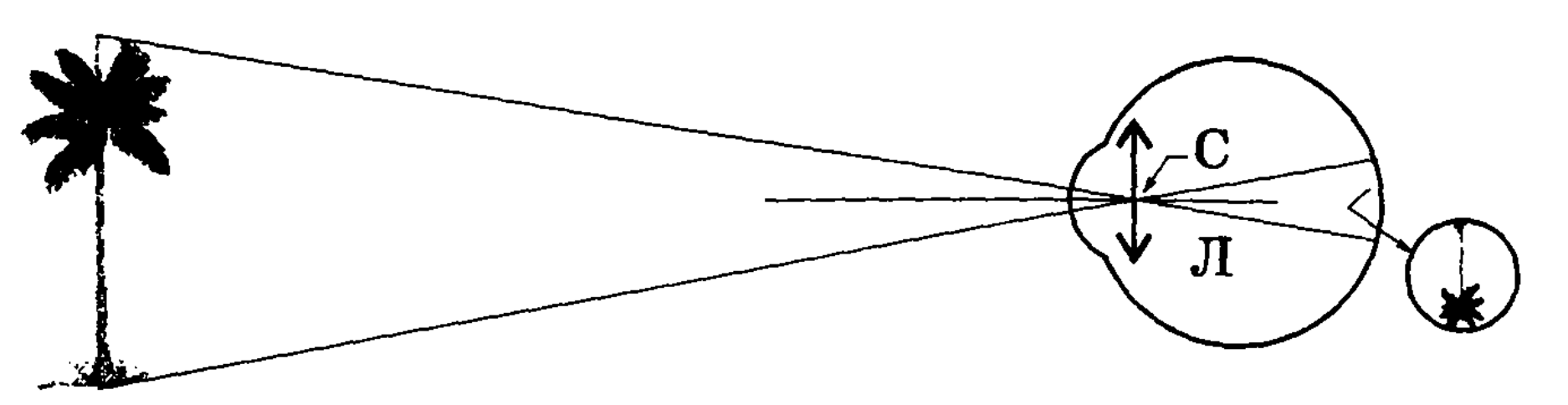


Схема построения изображения на сетчатке глаза:

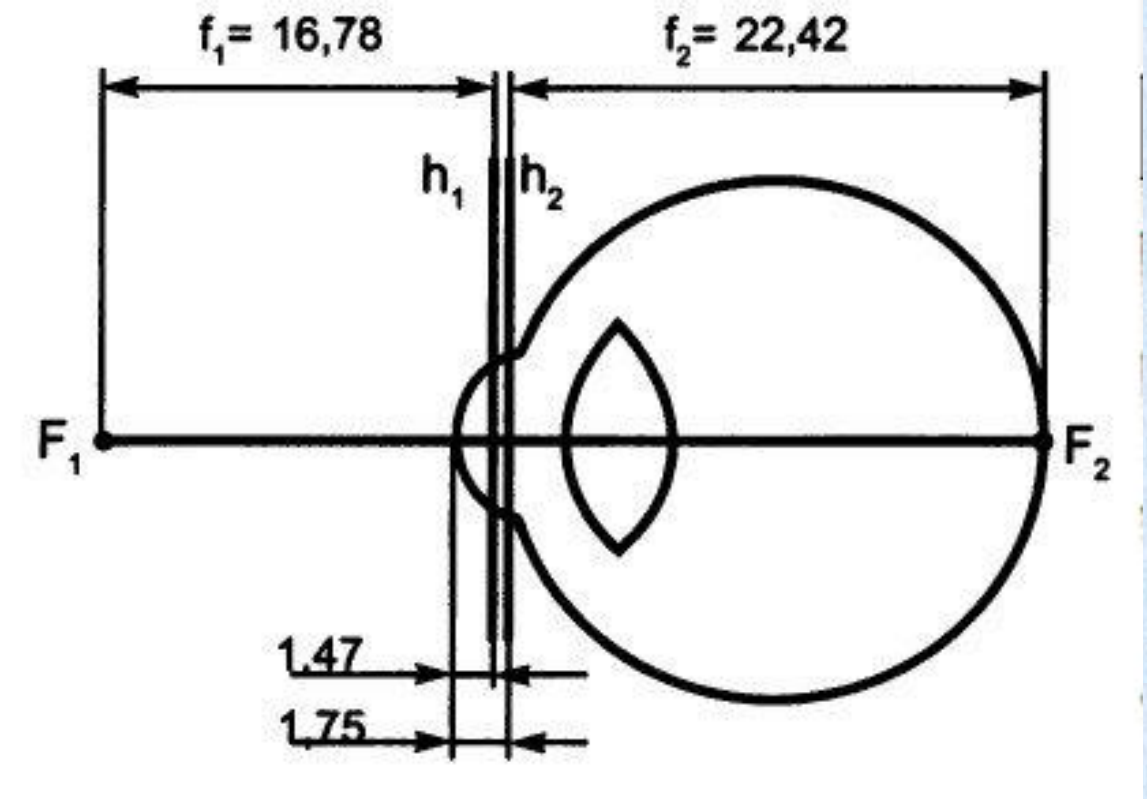
С – оптический центр хрусталика;

Л – «приведенный глаз»

Светопроводящий аппарат глаза

Основное преломление света происходит на внешней границе роговицы, оптическая сила всей роговицы равна приблизительно 40 дптр, хрусталика — около 20 дптр, а всего глаза — около 60 дптр.

При изменении кривизны хрусталика (с помощью кольцевой мышцы), меняются фокусные расстояния f_1 и f_2.



F_1 – передний главный фокус;

F_2 – задний главный фокус;

f_1 – переднее фокусное расстояние (мм),

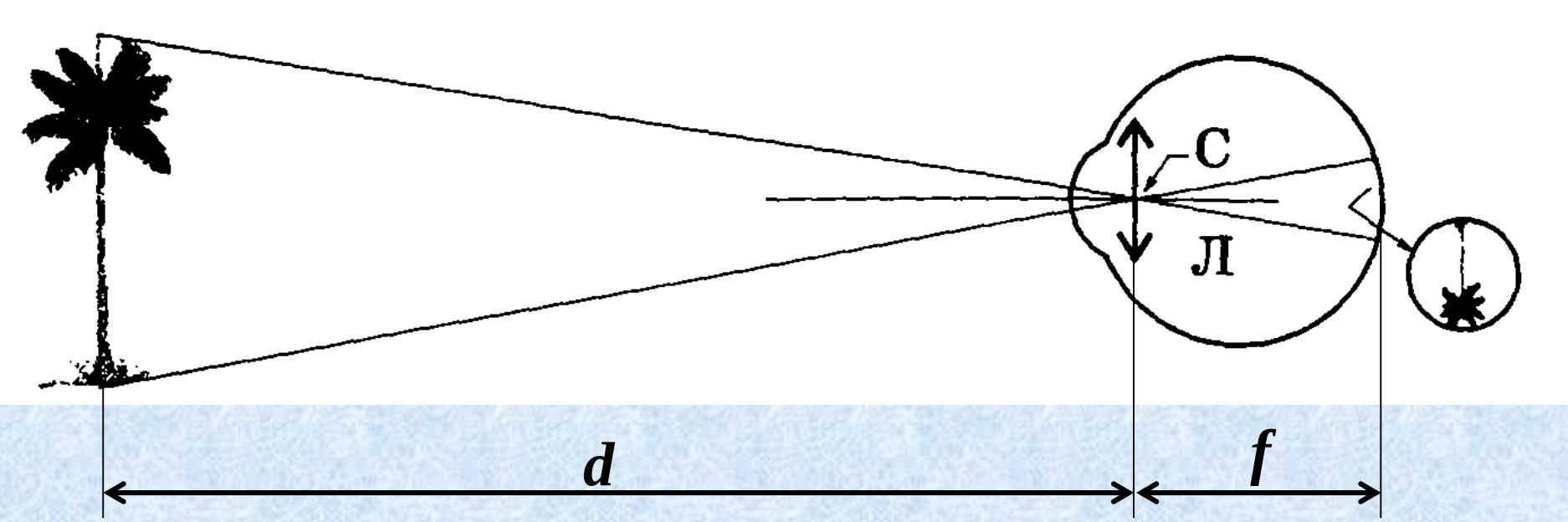
f_2 – заднее фокусное расстояние (мм);

h_1 и **h_2** – передняя и задняя главные плоскости.

Аккомодация

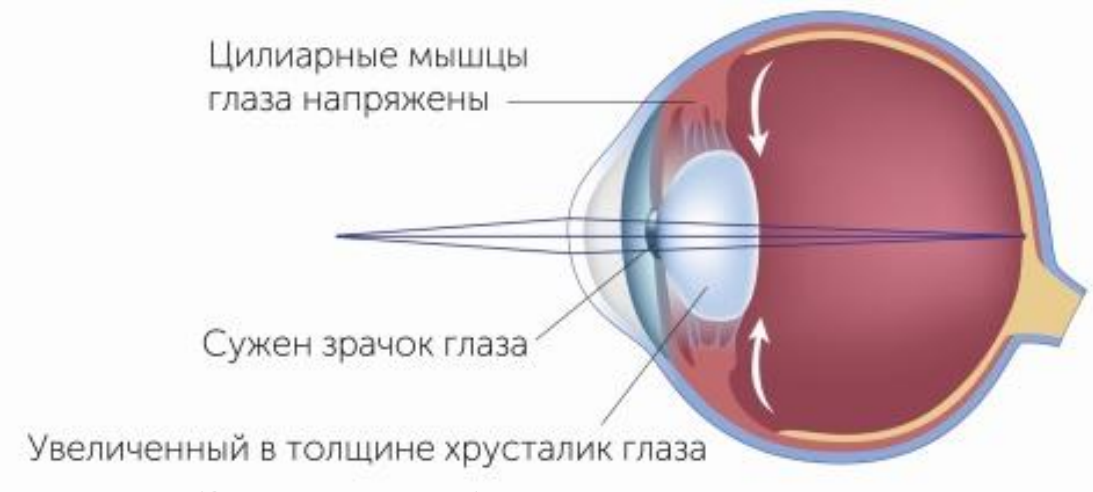
Изображение на сетчатке будет четким только, если расстояние ***d*** от предмета до центра хрусталика, расстояние ***f*** (*f* = 17 мм) от центра хрусталика до сетчатки и фокусное расстояние ***F*** глаза удовлетворяют формуле тонкой линзы:

$$\frac{1}{d}+\frac{1}{f}=\frac{1}{F}$$

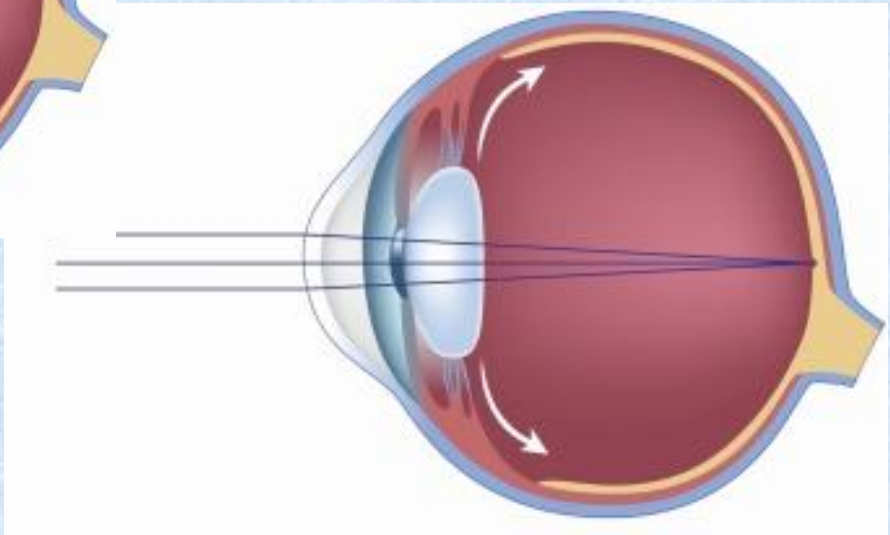


Аккомодация

Приспособление глаза к четкому видению различно удаленных предметов — «наводку на резкость» — называют аккомодацией. Если предмет приближается к глазу, то у хрусталика увеличивается кривизна; чем ближе предмет, тем больше оптическая сила глаза, ее изменения происходят приблизительно в пределах 60—70 дптр.



Зрение вблизи



Зрение вдали

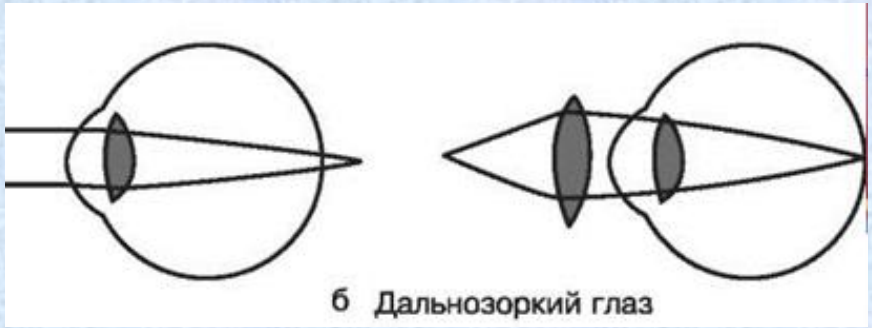
Недостатки оптической системы глаза
Аметропия

В нормальном глазу при отсутствии аккомодации задний фокус совпадает с сетчаткой — такой глаз называют **эмметропическим**; глаз называют **аметропическим**, если это условие не выполняется.

Аметропия

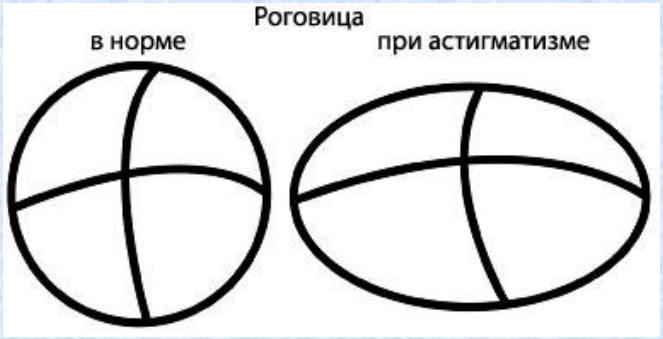
Близорукость (миопия)
недостаток глаза, состоящий в том, что **задний фокус** при отсутствии аккомодации лежит **перед сетчаткой**

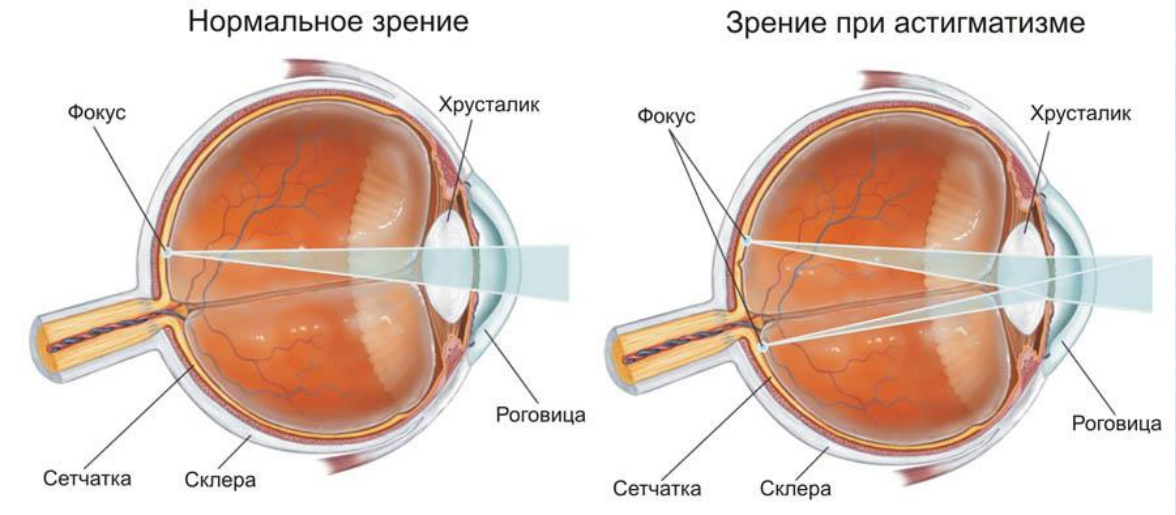
Дальнозоркость (гиперметропия)
недостаток глаза, состоящий в том, что **задний фокус** при отсутствии аккомодации лежит **за сетчаткой**



Недостатки оптической системы глаза
Астигматизм

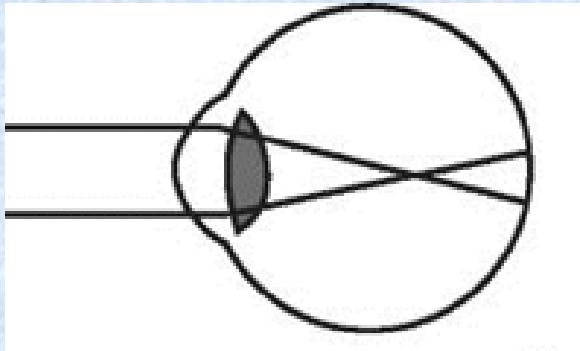
Астигматизм обусловлен асимметрией оптической системы (**несферическая форма роговицы или хрусталика**).
Это проявляется, в частности, в неспособности глаза одинаково резко видеть взаимно перпендикулярные линии на испытательной таблице. Такой недостаток глаза компенсируют специальными очками с цилиндрическими линзами.

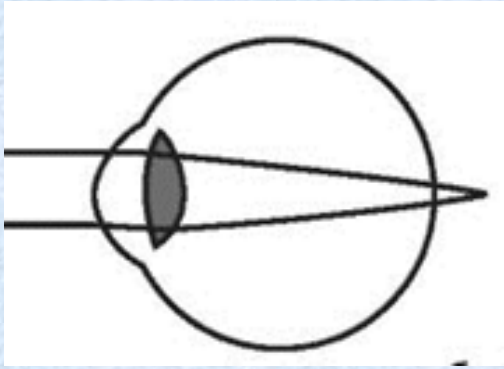




Световые лучи, лежащие в горизонтальной и вертикальной плоскостях имеют разные фокусы

Недостатки оптической системы глаза



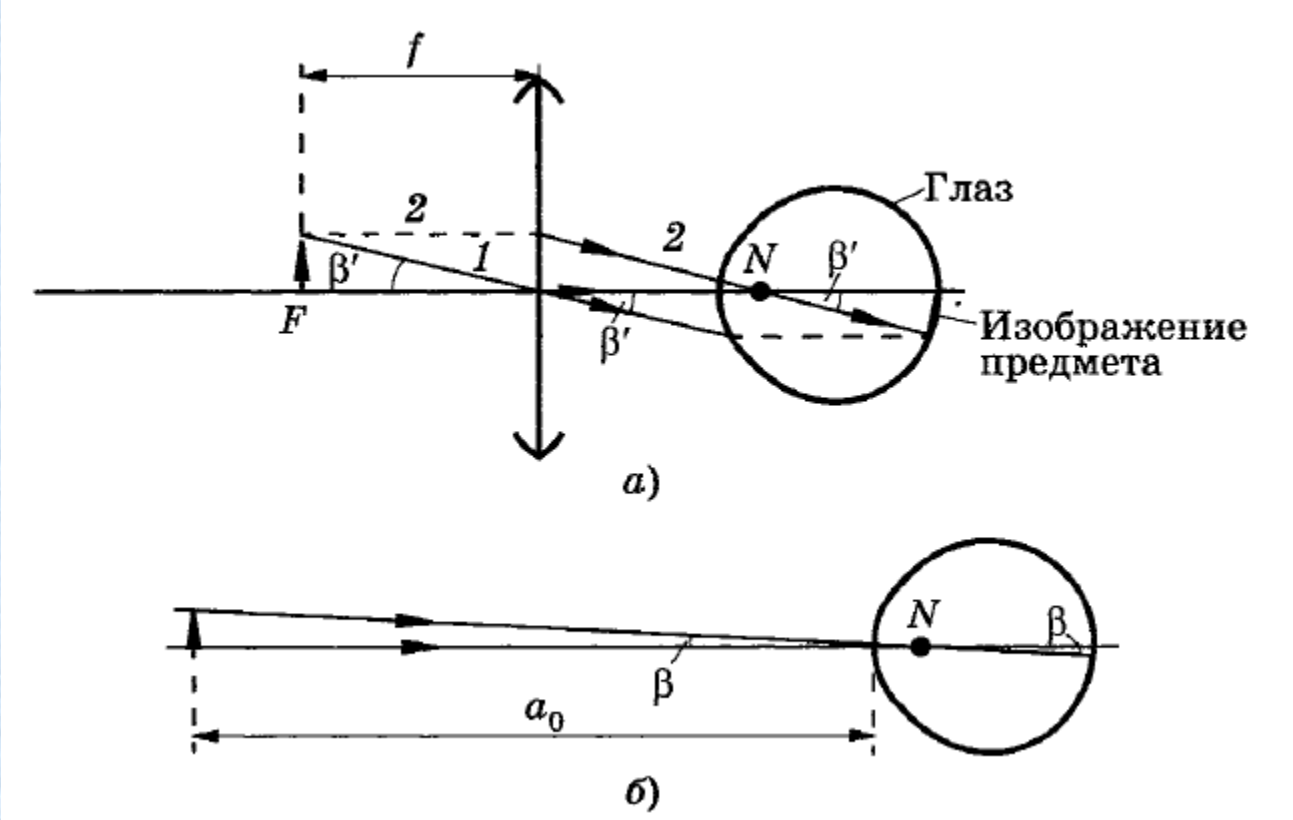


Лупа

Лупой называется собирающая линза, используемая для получения увеличенных мнимых изображений предмета.

Лупу размещают непосредственно перед глазом, предмет помещается вблизи ее переднего фокуса, но ближе к линзе ***(d ≈ F***, но ***d < F)***

Лупа увеличивает угол зрения, под которым рассматривается изображение предмета (β’ > β)



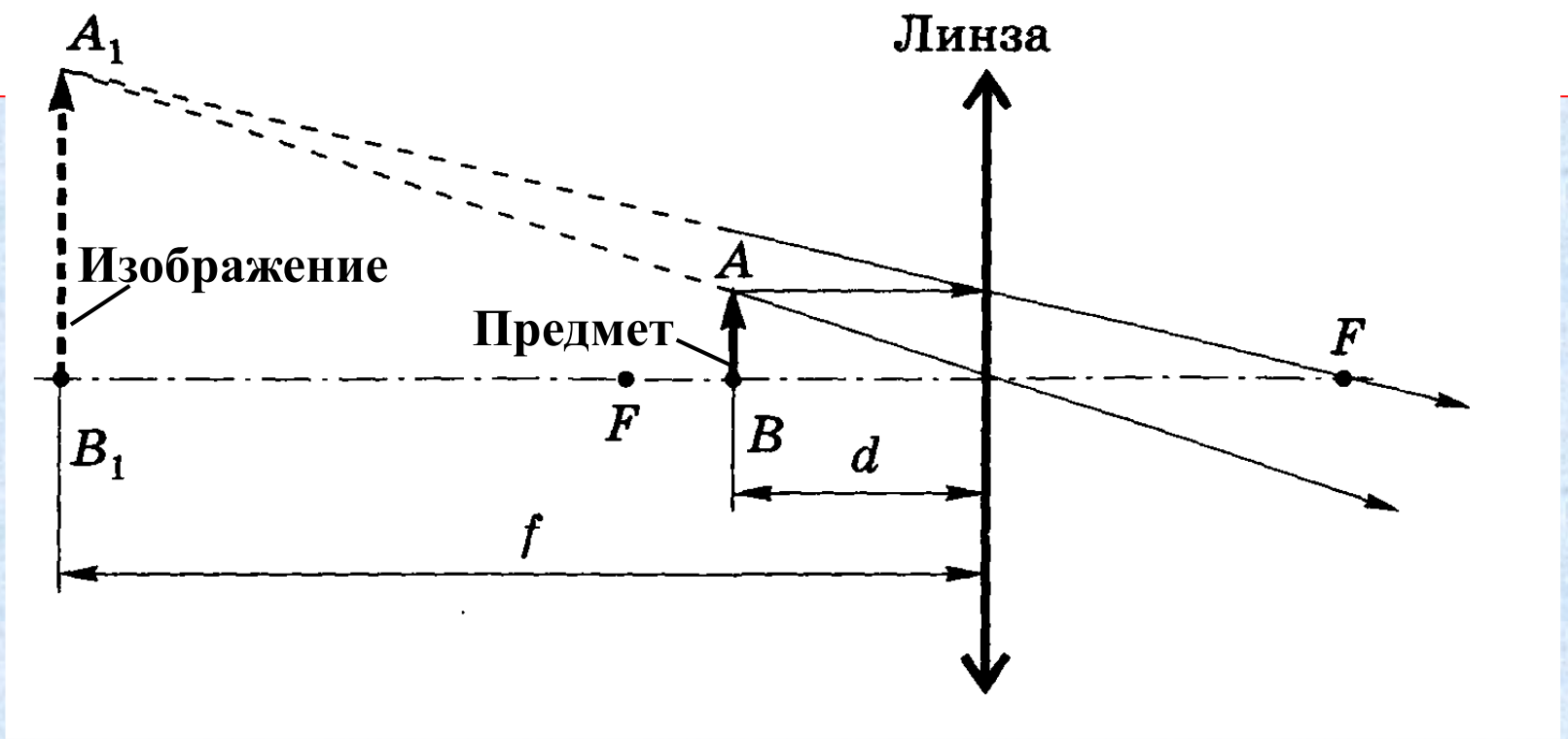
Лупа

Увеличением лупы называют отношение угла зрения β', под которым видно изображение предмета, к углу зрения β, под которым виден предмет, находящийся на расстоянии наилучшего зрения a_0 = 25 см:

$$\Gamma = \beta' / \beta$$

Линейное увеличение лупы:

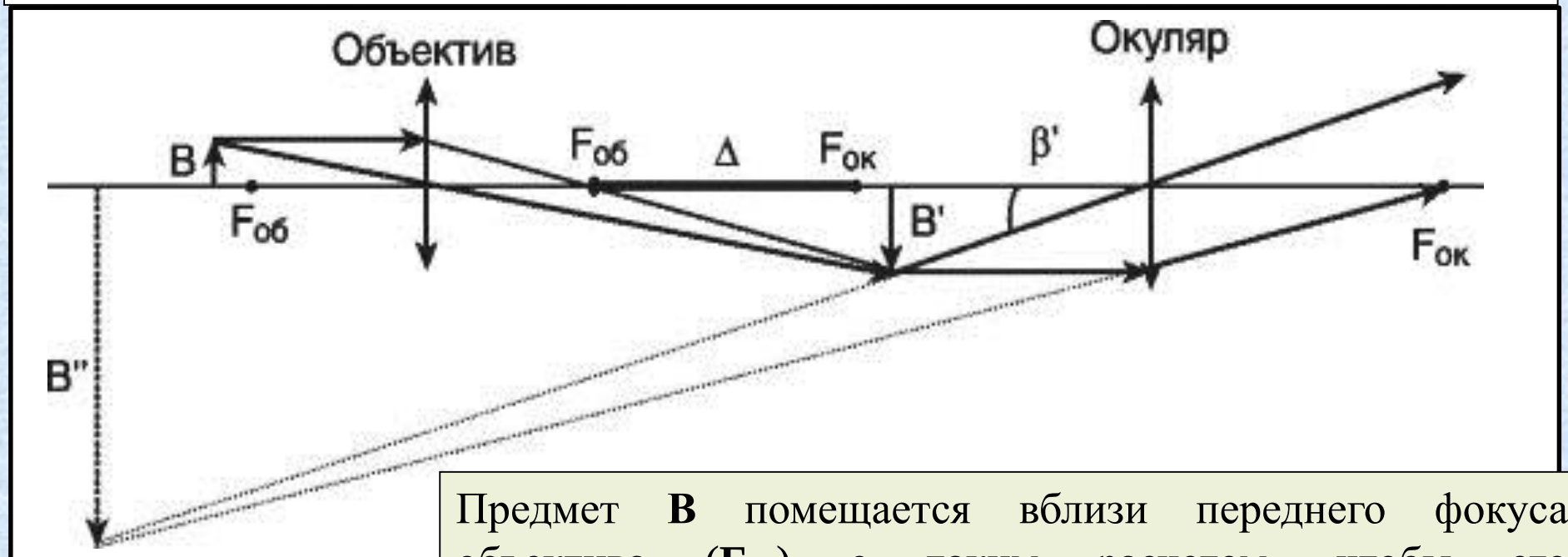
$$\Gamma = \frac{A_1B_1}{AB} = \frac{f}{d} \approx \frac{a_0}{F}$$



Микроскоп

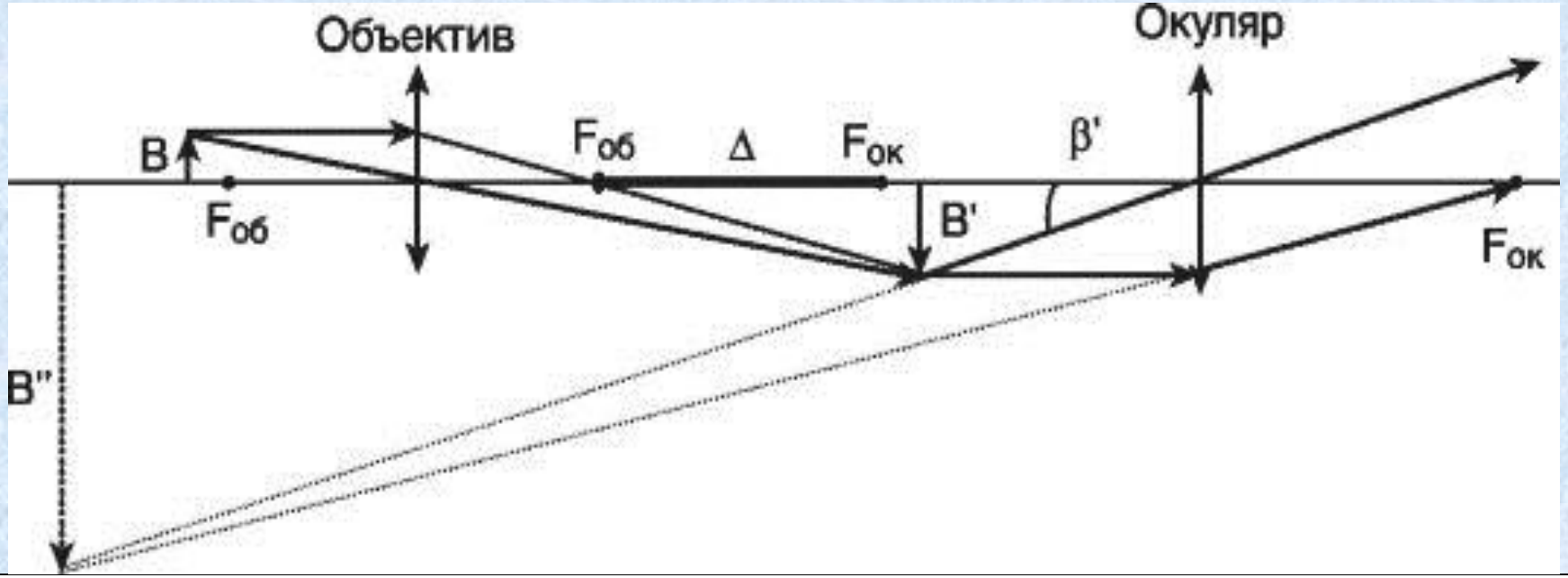
Микроскоп представляет собой сочетание двух (или более) собирающих линз: **объектива** и **окуляра**, расположенных на значительном расстоянии друг от друга

Окуляр – лупа (перед глазом), объектив – дополнительная линза (перед предметом)



Предмет **B** помещается вблизи переднего фокуса объектива (**$F_{об}$**) с таким расчетом, чтобы его действительное, увеличенное изображение **B'** находилось между окуляром и его передним фокусом. При этом **окуляр дает мнимое увеличенное изображение B"**, которое и рассматривает глаз

Увеличение микроскопа

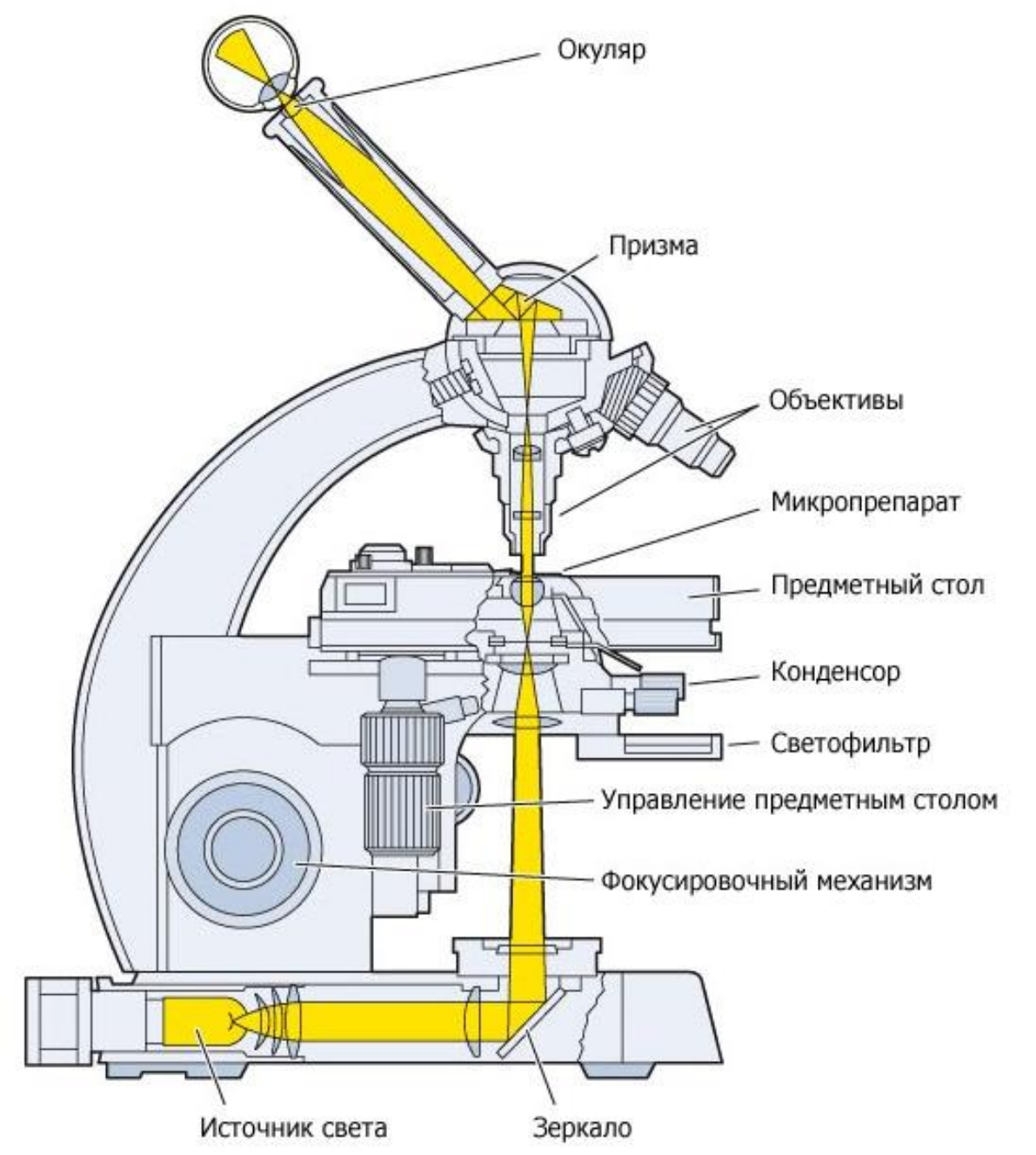


Линейное увеличение микроскопа *Г*:

$$\Gamma = \frac{B''}{B} = \frac{B''}{B'} \cdot \frac{B'}{B} = \Gamma_{ок} \cdot \Gamma_{об}$$

$$\Gamma_{ок} = \frac{a_0}{F_{ок}}; \quad \Gamma_{об} = \frac{\Delta}{F_{об}};$$

$$\boxed{\Gamma = \frac{a_0 \Delta}{F_{ок} F_{об}}}$$

где $\Gamma_{ок}$, $\Gamma_{об}$ – линейное увеличение окуляра и объектива соответственно;
a_0 – расстояние наилучшего зрения, Δ – длина тубуса микроскопа
$F_{ок}$, $F_{об}$ – фокусные расстояния окуляра и объектива соответственно

Устройство микроскопа