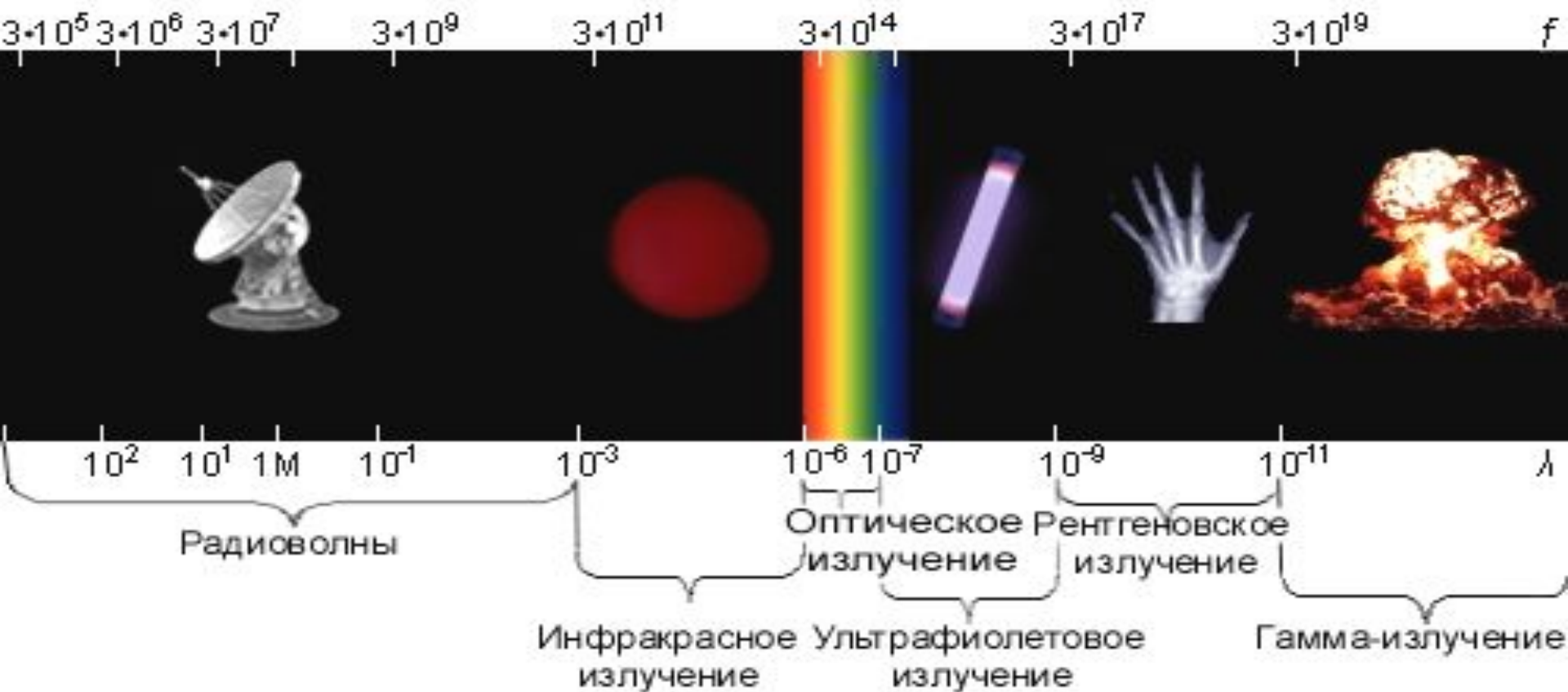


1. Оптическое излучение

Оптика – (от греч. *optike* – наука о зрительных восприятиях) – *раздел физики, в котором изучаются оптическое излучение (свет), его распространение и явления, наблюдаемые при взаимодействии света и вещества.*

Оптическое излучение представляет собой электромагнитные волны, и поэтому оптика – *часть общего учения об электромагнитном поле.*

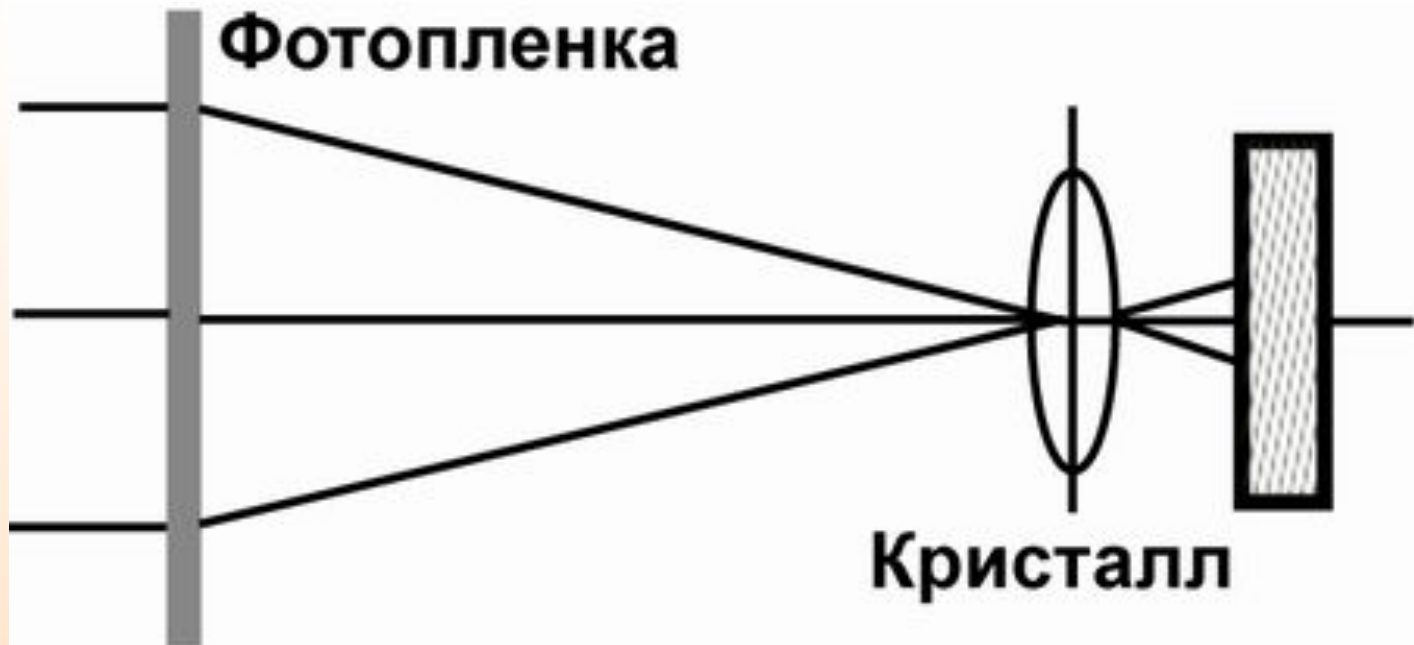
Оптический диапазон длин волн λ ограничен с одной стороны рентгеновскими лучами, а с другой – микроволновым диапазоном радиоизлучения.



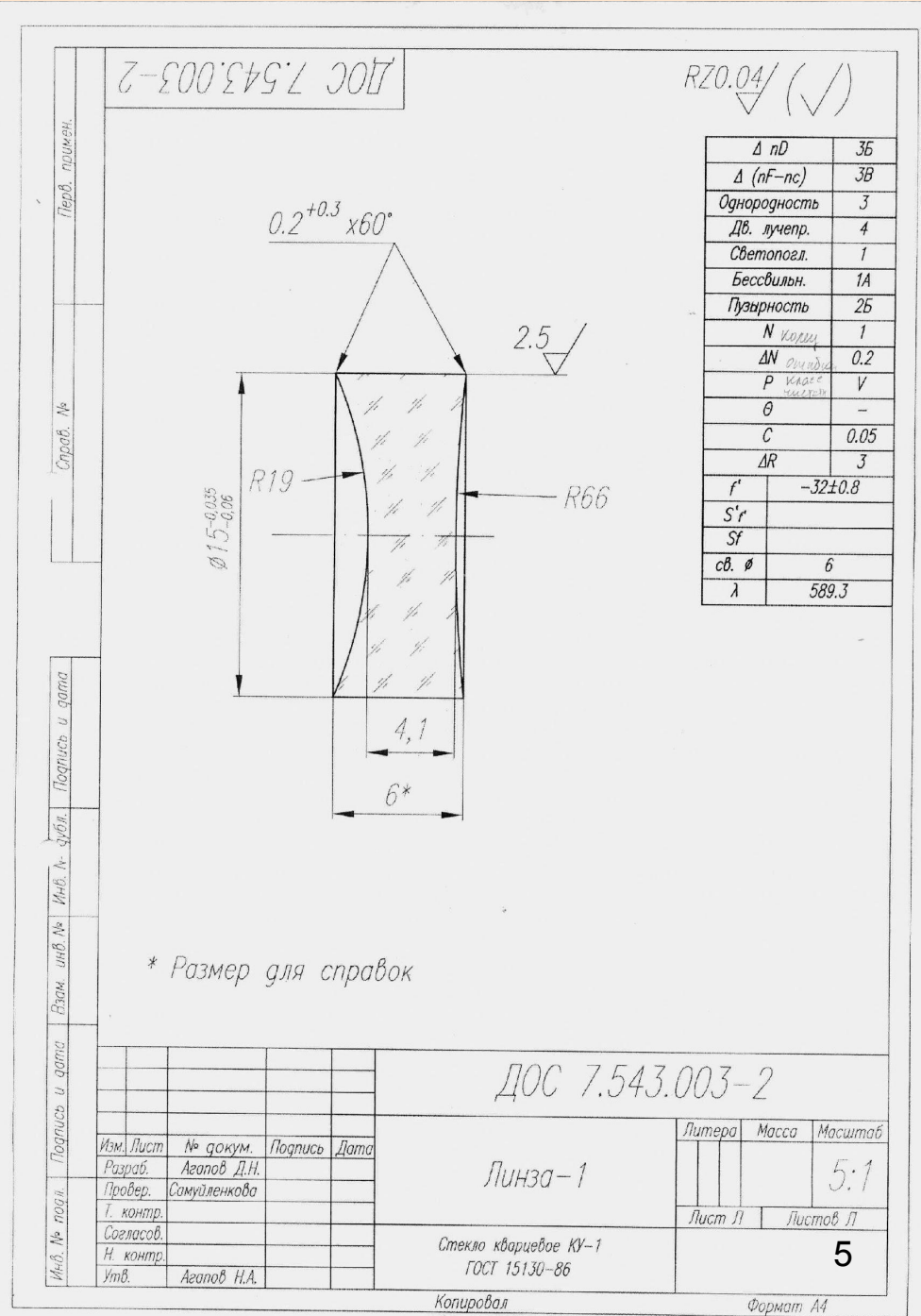
Такое ограничение условно и в значительной степени определяется общностью технических средств и методов исследования явления в указанном диапазоне.

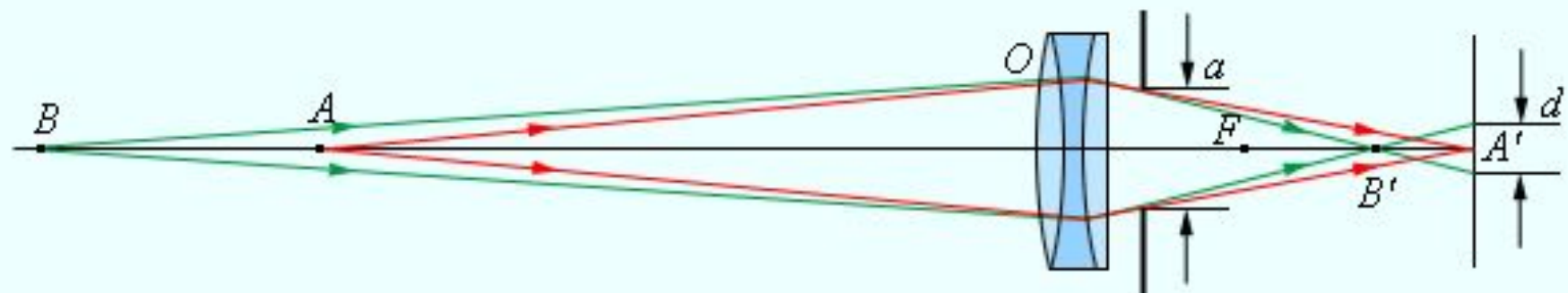
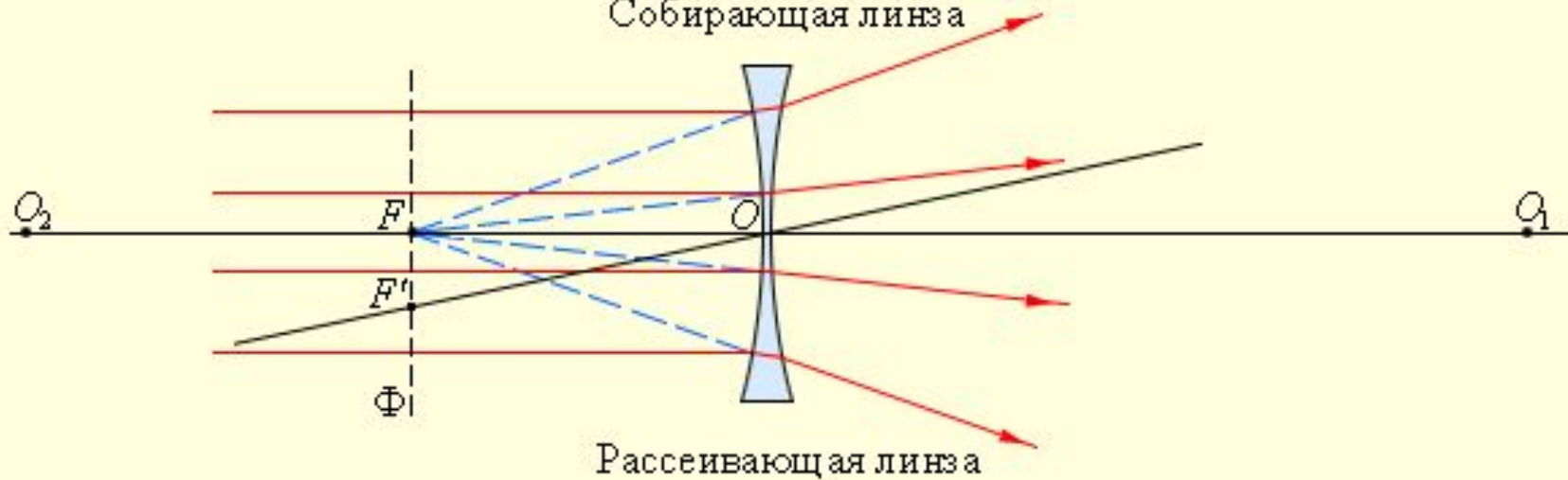
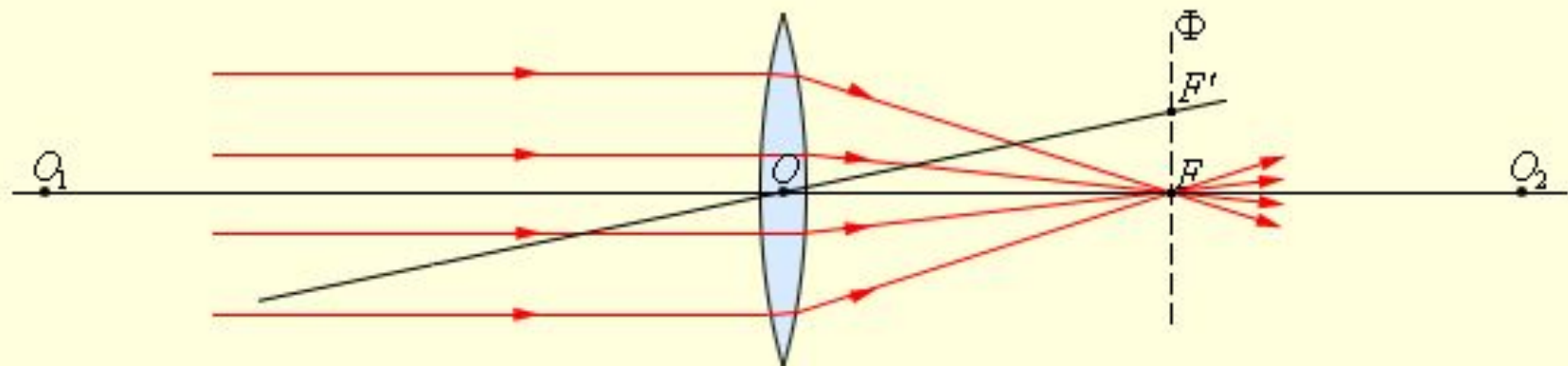
- По традиции **оптику**
принято подразделять на
- **геометрическую,**
 - **физическую и**
 - **физиологическую.**

Геометрическая оптика, не рассматривая вопрос о природе света, исходит из эмпирических законов его распространения и использует представление о световых лучах, отражающихся и преломляющихся на границах сред с разными оптическими свойствами и прямолинейных в оптически однородной среде.



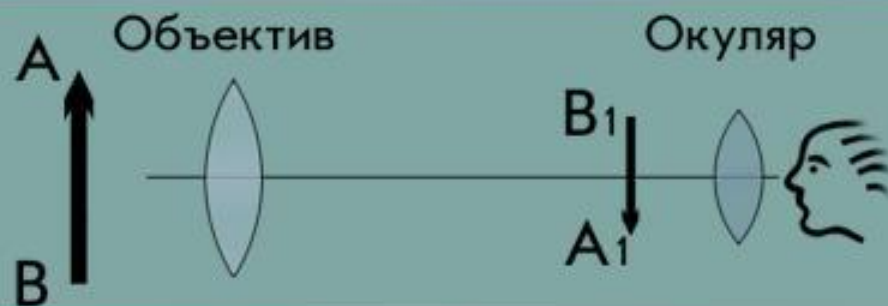
Наибольшее значение геометрическая оптика имеет для расчета и конструирования оптических приборов — от очковых линз до сложных объективов и огромных астрономических инструментов.



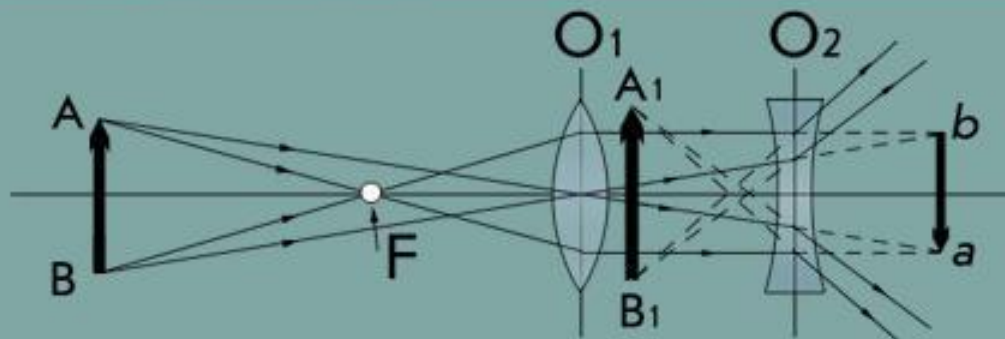


Подзорные трубы, телескоп

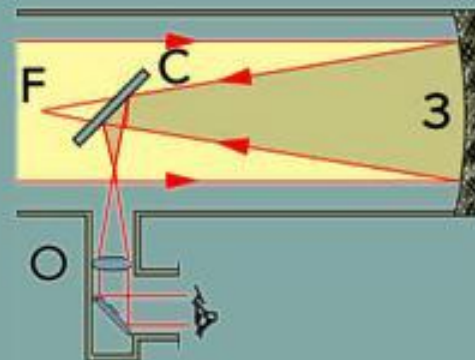
Труба Кеплера



Труба Галилея

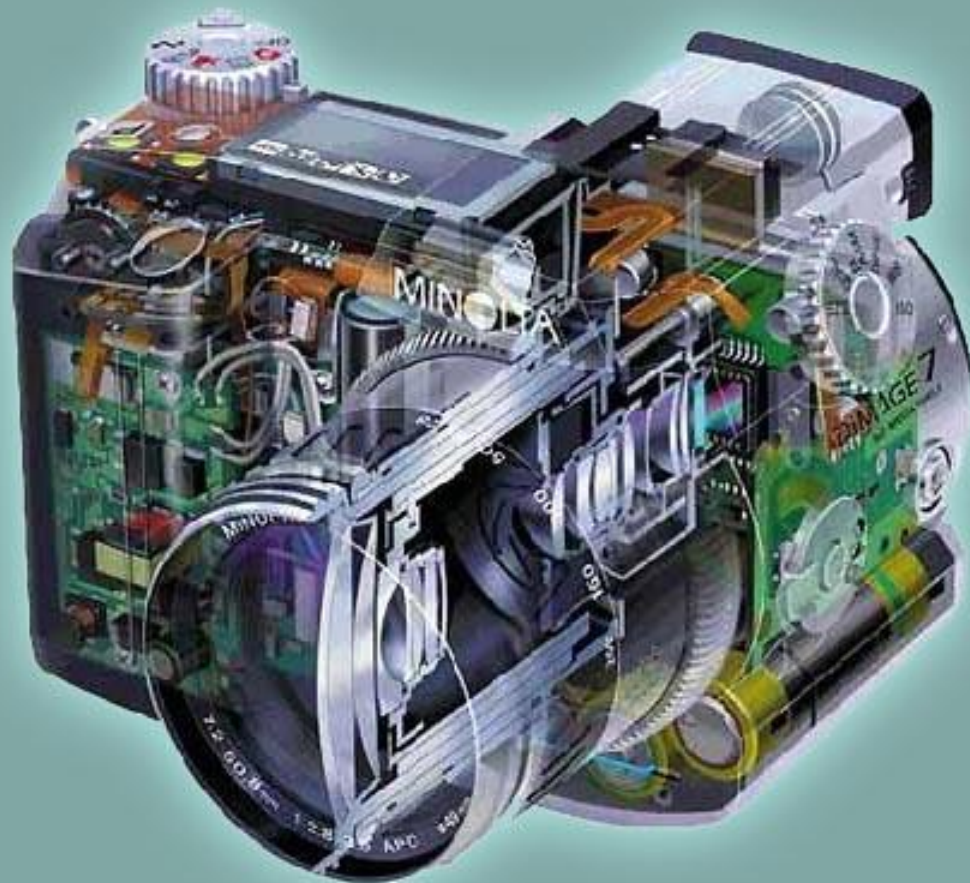


Зеркальный телескоп Ньютона



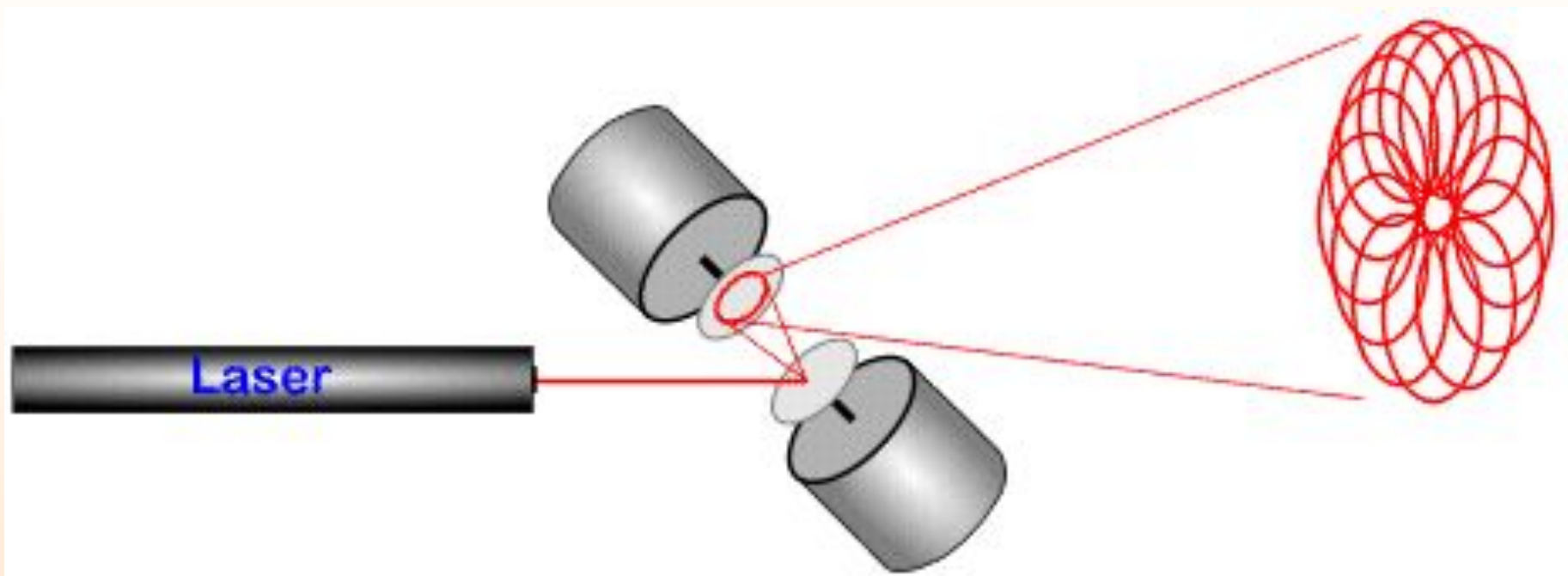
Цифровая фотокамера

Внешний вид и внутреннее устройство

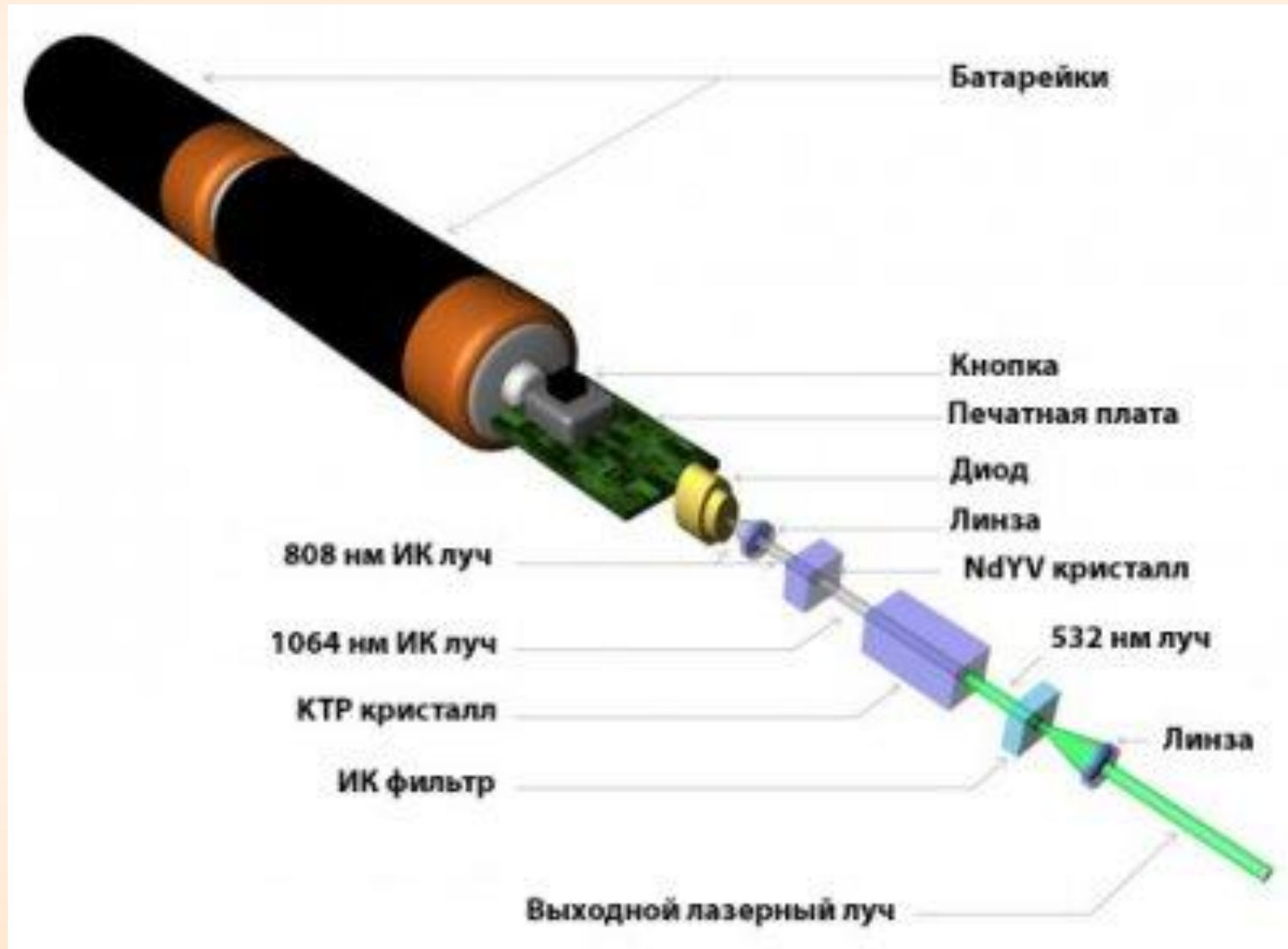


Физическая оптика

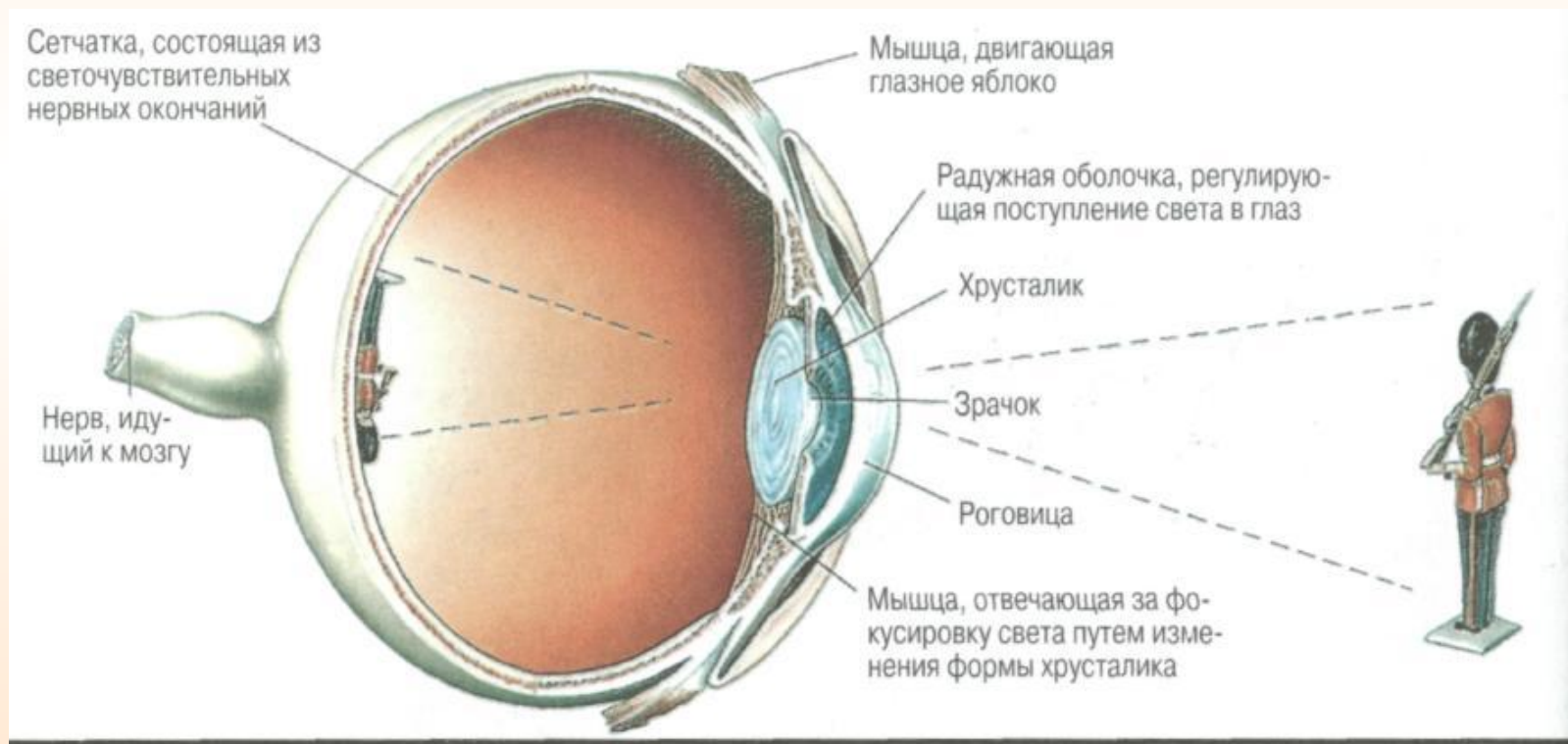
рассматривает проблемы, связанные с процессами испускания света, природой света и световых явлений.



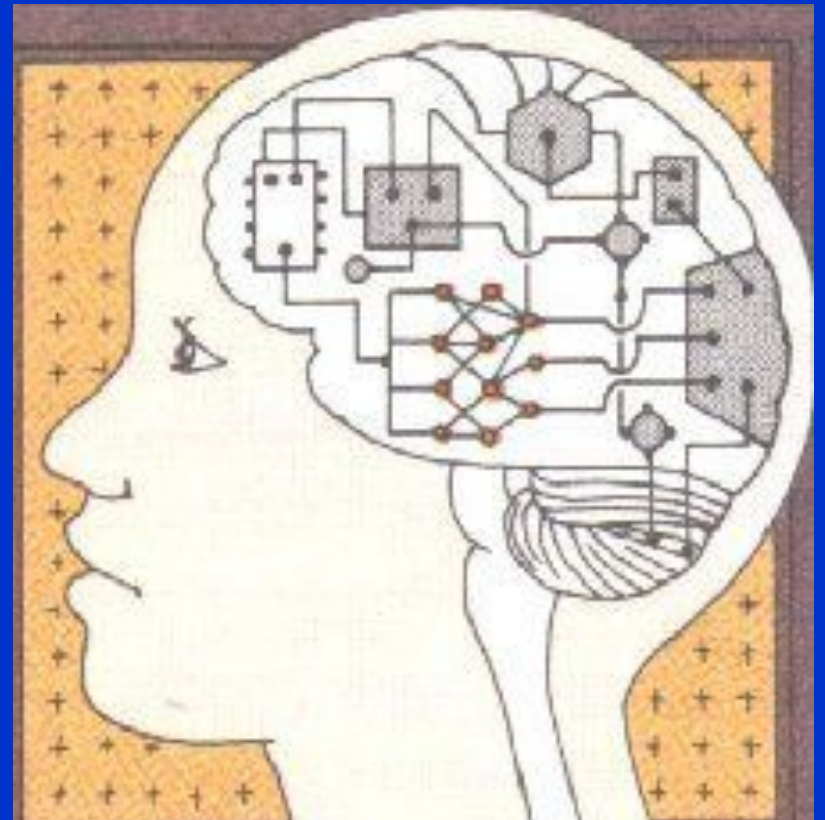
Устройство лазера



Физиологическая оптика изучает строение и функционирование всего аппарата зрения – от глаза до коры мозга; разрабатывается теория зрения, восприятия света и цвета.



80% - через зрение



Сознание человека преобразует информацию

Результаты физиологической оптики используются в медицине, физиологии, технике при разработке разнообразных устройств – от осветительных приборов и очков до цветного кино и телевидения.



Развитие взглядов на природу света

Основные законы геометрической оптики известны ещё с древних времен. Но ни Платон ни Евклид ни Аристотель и Птолемей не смогли дать точных формулировок этих законов.

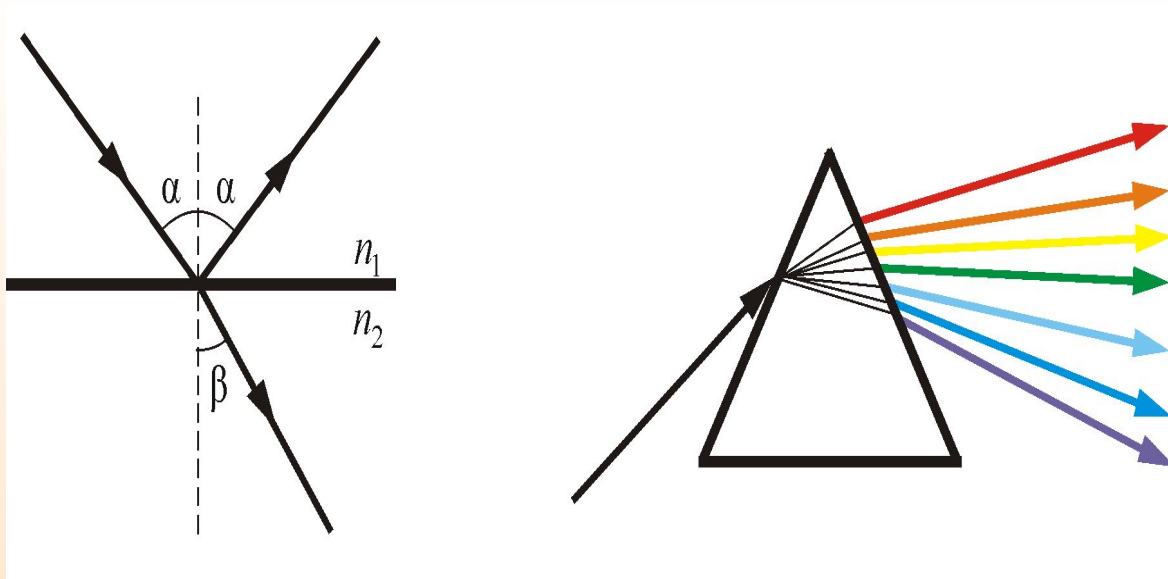
В конце XVII века, на основе многовекового опыта и развития представлений о свете возникли *две мощные теории света* – *корпускулярная* (Ньютон-Декарт) и *волновая* (Гук-Гюйгенс).

Из представлений корпускулярной теории **НЬЮТОН** легко **вывел законы отражения и преломления:**

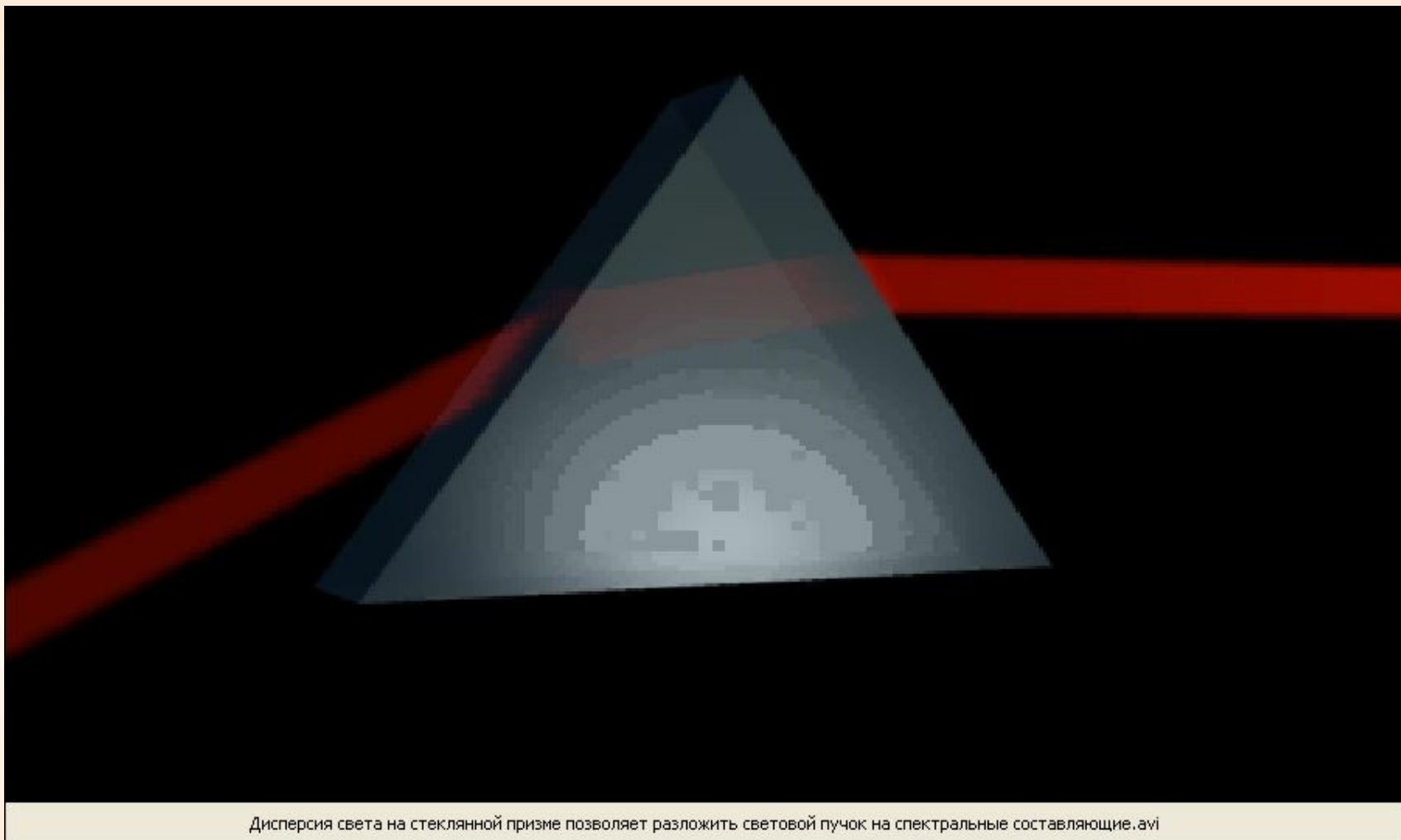
$\alpha = -\alpha$; (угол падения равен углу отражения);

$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v}{c} = n$ (отношение синуса угла падения к синусу угла преломления – величина

постоянная равная отношению скорости света в среде v к скорости света в вакууме c).



Таким образом, НЬЮТОН **ошибочно** утверждал, что скорость света в веществе больше скорости света в вакууме.



Дисперсия света на стеклянной призме позволяет разложить световой пучок на спектральные составляющие.avi

Начало XIX в. характеризуется интенсивным развитием математической *теории колебаний и волн* и ее приложением к объяснению ряда оптических явлений. В связи с работами Т. Юнга и О. Френеля, победа временно перешла к *волновой оптике*:

1801 г. Т. Юнг сформулировал принцип интерференции и объяснил цвета таких пленок;

1818 г. О. Френель получает премию Парижской Академии за **объяснение дифракции**;

1840 г. О. Френель и Д. Арго исследуют интерференцию поляризованного света и доказывают поперечность световых колебаний;

1841 г. О. Френель строит теорию кристаллооптических колебаний;

1849 г. А. Физо измерил скорость света и рассчитал по волновой теории коэффициент преломления воды $n = 1,33$, что совпало с экспериментом;

1848 г. М. Фарадей открыл вращение плоскости поляризации света в магнитном поле (эффект Фарадея);

1860 г. Дж. Максвелл основываясь на открытии Фарадея пришел к выводу, что **свет есть электромагнитные**, а не упругие **волны**;

1888 г. Г. Герц экспериментально исследовал электромагнитное поле и подтвердил, что **электромагнитные волны распространяются со скоростью света $c = 3 \cdot 10^8$ м/с**

1899 г. П.Н. Лебедев измерил давление света.

1900 г. Макс Планк показал, что излучение абсолютно черного тела можно объяснить, если предложить, что **свет излучается** не непрерывно, а порциями, **квантами** с энергией $E_0 = h\nu$, где ν – частота, h – постоянная Планка.

В 1905 г. Альберт Эйнштейн объяснил закономерности фотоэффекта на основе представления о световых частицах – «квантах» света, «фотонах», масса которых

$$m_{\delta} = \frac{E_0}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h}{\lambda c}$$

Это соотношение связывает *корпускулярные характеристики излучения – массу и энергию кванта – с волновыми – частотой и длиной волны.*

Работы Планка и Эйнштейна явились началом развития *квантовой физики.*

Корпускулярно – волновой дуализм

Волновая оптика позволяет объяснить все эмпирические законы геометрической оптики и установить границы ее применимости.

Хорошо описывая распространение света в материальных средах, волновая оптика *не смогла* удовлетворительно объяснить процессы его испускания и поглощения.

Исследование этих процессов привели к выводу, что элементарная система (атом, молекула) может испускать или поглощать энергию электромагнитного поля лишь дискретными порциями (квантами), пропорциональными частоте излучения ν .

Поэтому *световому электромагнитному полю сопоставляется поток квантов света – фотонов*, распространяющихся в вакууме со скоростью света.

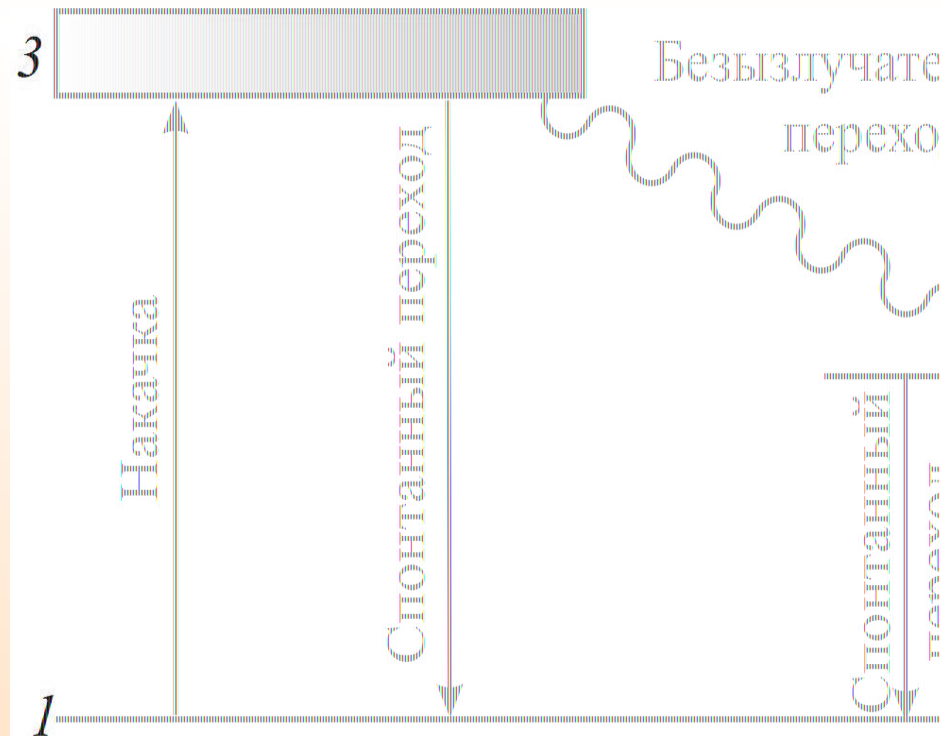
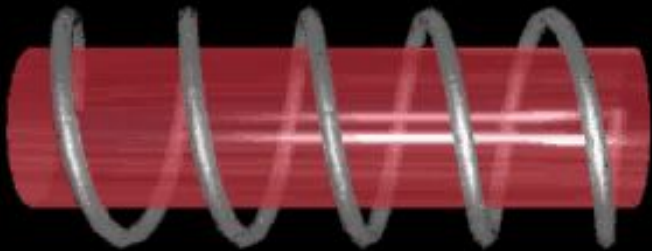
Двойственность природы света – наличие у него одновременно характерных черт, присущих и волнам, и частицам, – является частным случаем *корпускулярно-волнового дуализма*.

Эта концепция была впервые сформулирована именно для оптического излучения; она утвердилась как универсальная для всех частиц микромира после обнаружения волновых свойств у материальных частиц (дифракция частиц).

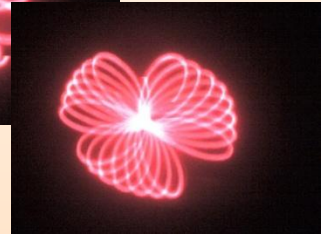
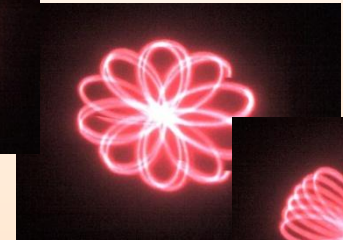
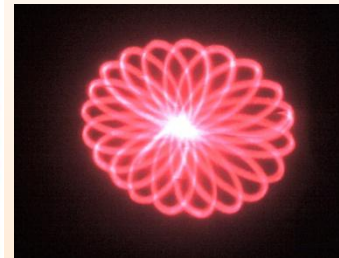
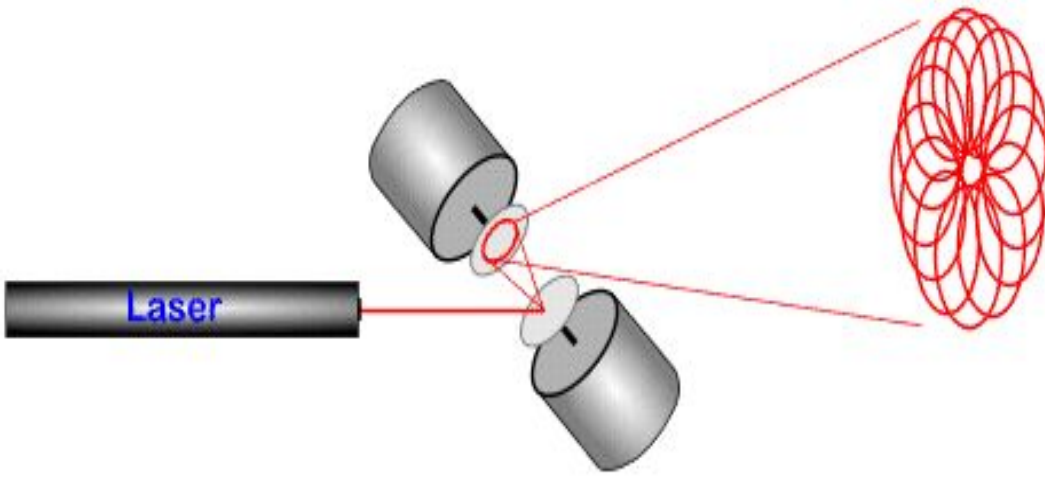
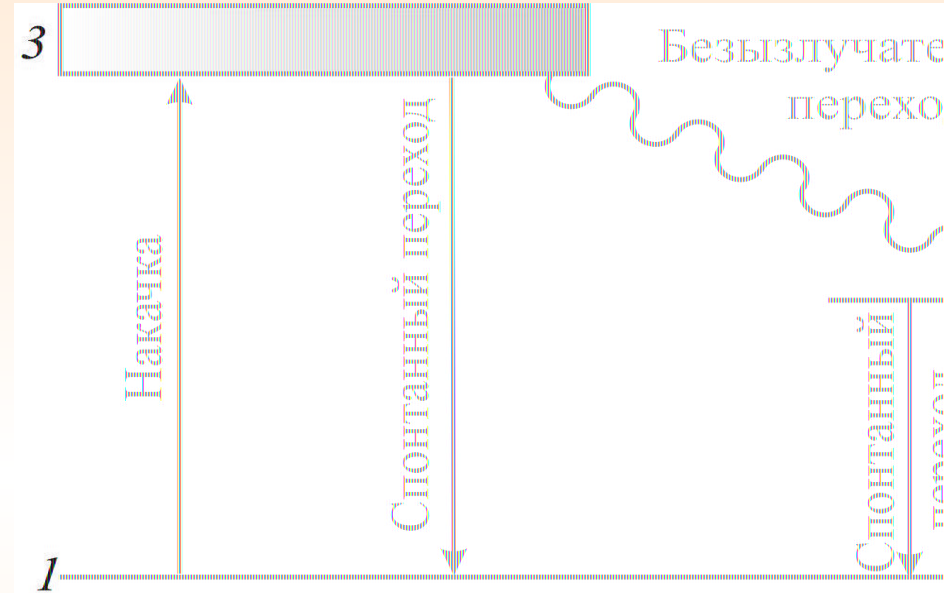
В физической оптике сформировалось новое направление, связанное с генерированием вынужденного излучения и созданием квантовых усилителей и квантовых генераторов излучения (мазеров и лазеров).

Излучение лазеров обладает большой временной и пространственной когерентностью, высокой монохроматичностью, предельно малой расходимостью пучка и при фокусировке позволяет получать недостижимые ни для каких других источников напряженности электрического поля.

Экспериментальное обнаружение методов генерации вынужденного излучения атомов и молекул – *создание оптического квантового генератора (лазера)* - наиболее важное событие *в современной оптике* (А.М. Прохоров, Н.Г. Басов и Ч. Таунс 1954 г.).



Оптический квантовый генератор (лазер)



В современной физической оптике
квантовые представления не
противоречат волновым, а
сочетаются на основе квантовой
механики и квантовой
электродинамики.

Основные характеристики световых волн

Корпускулярно-волновой дуализм:

свет в некоторых явлениях обладает свойствами, присущими частицам (корпускулярная теория), в других явлениях свойствами, присущими волнам (волновая теория).

В данном разделе будем *рассматривать свет как электромагнитные волны.*

Световые волны:

Плоская волна:

$$E = E_0 \cos(\omega t - kx + \varphi)$$

Сферическая волна:

$$E = \frac{E_0}{r} \cos(\omega t - kr + \varphi)$$

\vec{E} – вектор напряженности электрического поля;

E_0 – амплитуда;

r – расстояние до источника ;

k – волновое число;

φ – начальная фаза.

Световой вектор - вектор напряженности электрического поля.

Его колебаниями обусловлено физиологическое, фотохимическое и т.д. действие света.

Отношение скорости световой волны в вакууме к фазовой скорости в некоторой среде называется **абсолютным показателем преломления среды**:

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

Поскольку

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}$$

Получаем

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

- для большинства прозрачных сред ($\mu \approx 1$)

Значение n определяет **оптическую плотность среды**:

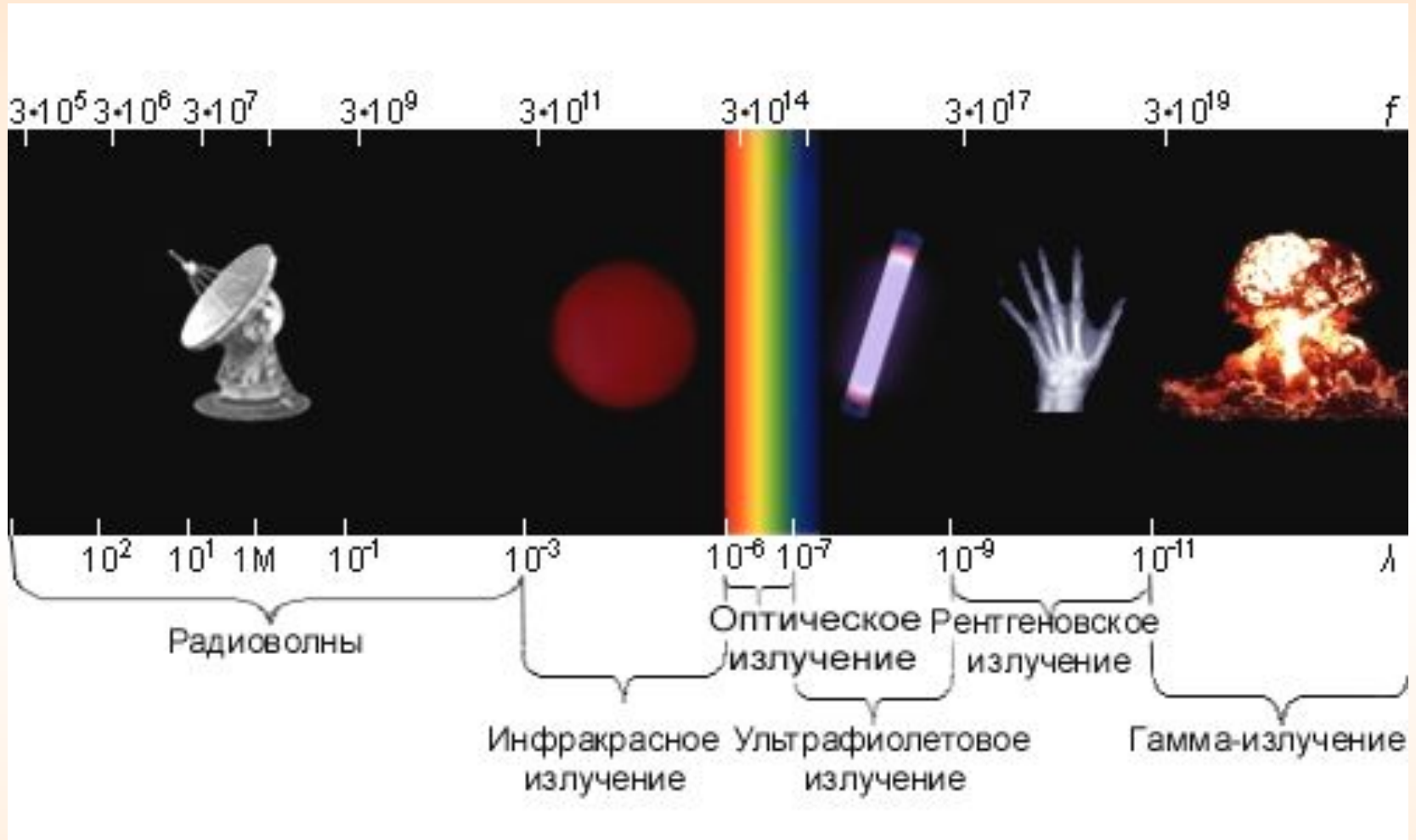
оптически более плотная среда – среда с бóльшим n ;
оптически менее плотная среда – среда с меньшим n .



СПЕКТР

spectrum (лат.) - видение.

Шкала электромагнитных волн



Видимый свет (в вакууме): $\lambda = [400$ (фиолетовый);
 760 нм (красный)]



620-780

HM

585-620

HM

575-585 HM

550-575

HM

510-550

HM

480-510

HM

450-480

HM

380-450

HM

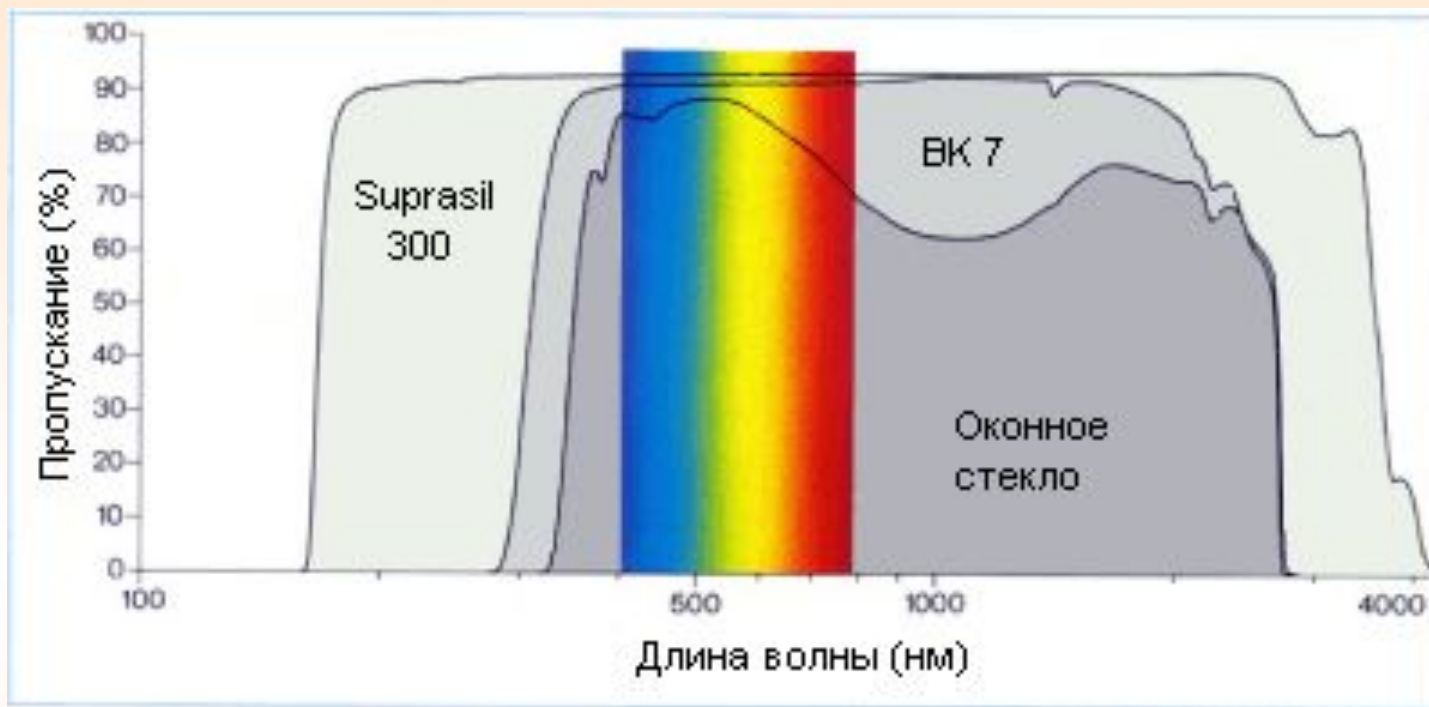


Согласно *теории цветового зрения* Юнга - Гельмгольца
ощущение любого цвета можно получить смешиванием
спектрально чистых излучений красного, зеленого и синего
ЦВЕТОВ

Кривая видности - относительная спектральная чувствительность глаза к излучениям различных длин волн



- максимальная чувствительность глаза при дневном свете —
на длине волны **555 нм**,
- при сумеречном свете - на длине волны **510 нм**.



Спектр оптического пропускания синтетического кварцевого стекла Suprasil 300, оптического стекла BK 7 и обычного стекла.

(кварцевое стекло вследствие малого количества примесей обладает чрезвычайно широким спектром пропускания и малым поглощением света (обычное оконное стекло поглощает столько же света, сколько и кварцевое стекло толщиной в 100 метров)).

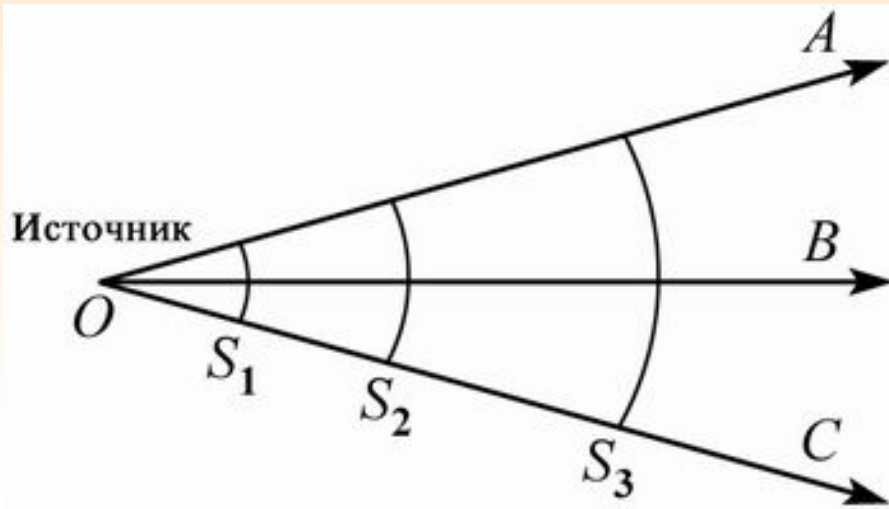
Интенсивность света – модуль среднего по времени значения плотности потока энергии, переносимой световой волной:

$$I = \left| \langle \vec{P} \rangle \right| = \left| \langle [\vec{E}, \vec{H}] \rangle \right| \quad \vec{P} \text{ – вектор Пойнтинга}$$

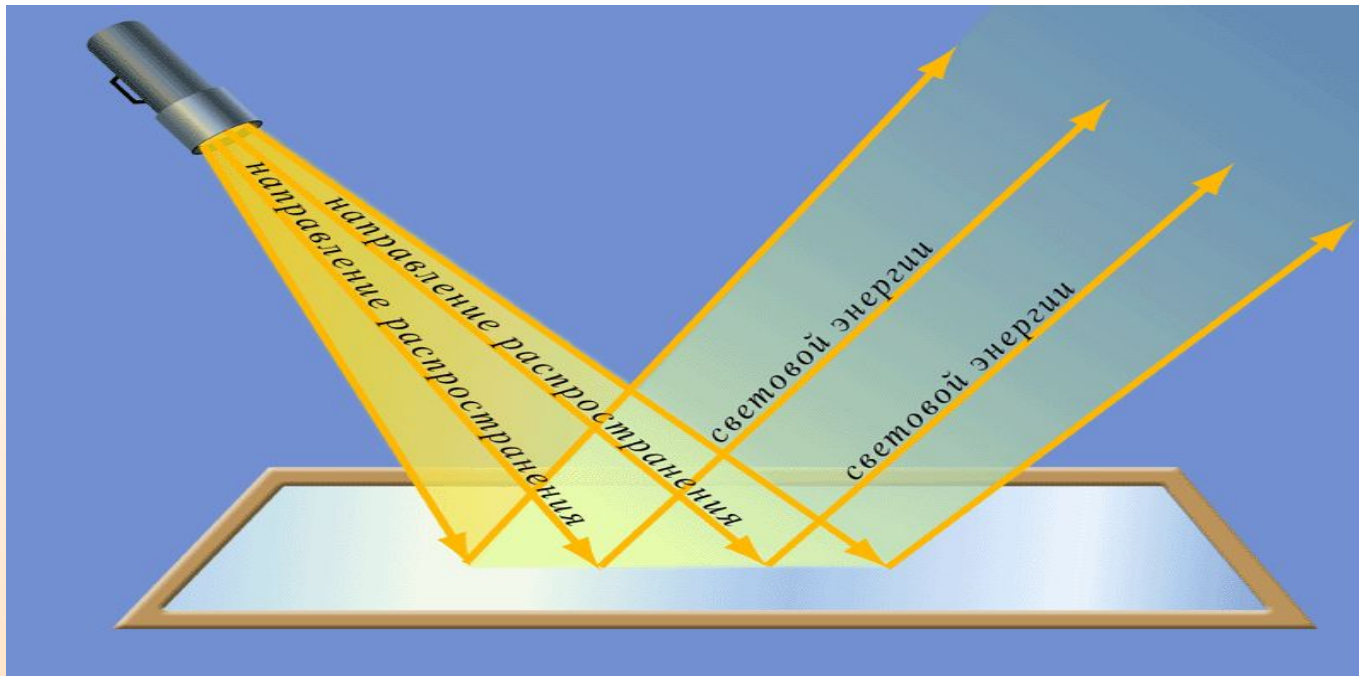
$$I = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} n E_0^2 \sim n E_0^2$$

В случае однородной среды ($n = \text{const}$) интенсивность пропорциональна квадрату амплитуды световой волны

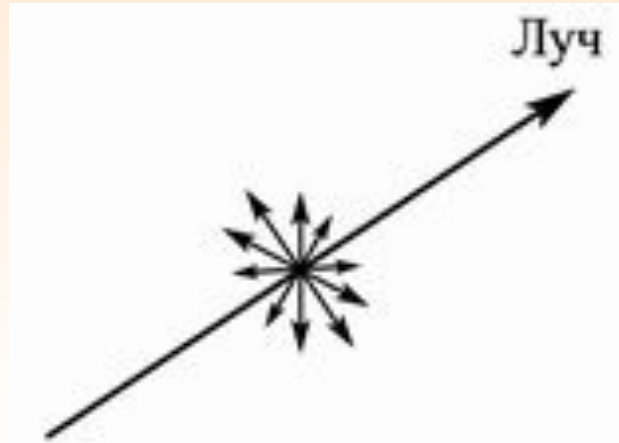
Луч – линия, вдоль которой распространяется световая волна.



- В изотропных средах лучи перпендикулярны к волновым поверхностям
- В анизотропных средах лучи не ортогональны волновым поверхностям



В естественном свете колебания светового вектора совершаются во всех направлениях, перпендикулярных к лучу.



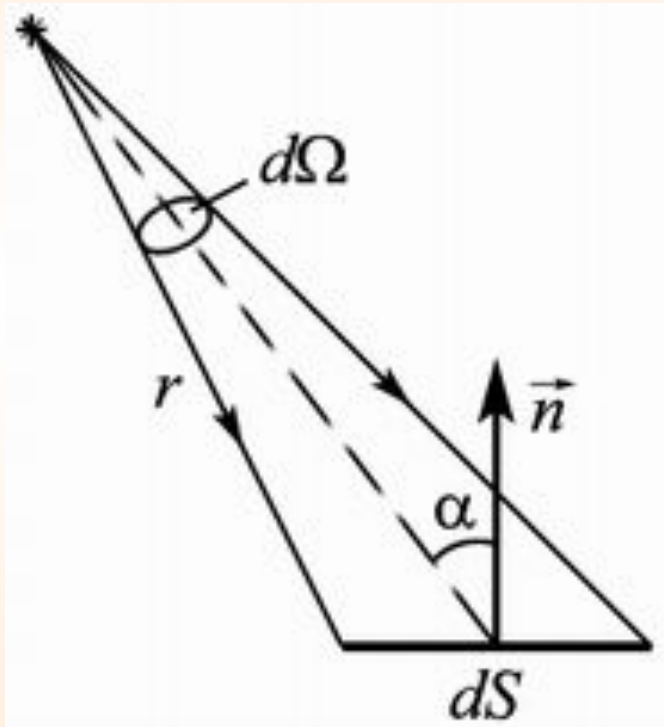
Излучение тела обусловлено волнами, испускаемыми его атомами:

длительность излучения атома $\sim 10^{-8}$ с, за это время образуется **цуг волн** (набор горбов и впадин) **длиной** $\sim 3\text{м}$.

Плоскость колебаний каждого цуга ориентирована случайным образом.

В результирующей волне (суперпозиции цугов от разных атомов) **все направления равновероятны**.

Световые, или фотометрические величины



Энергия, переносимая световыми лучами в единицу времени, называется **поток энергии (лучистым потоком)**, проходящим через площадку dS в телесный угол $d\Omega$.

Если нормаль к площадке dS образует с направлением излучения угол α , то необходимо рассматривать ее проекцию – видимую величину площадки, если ее рассматривать под углом α к нормали:

$$dS_{\perp} = dS \cos \alpha$$

Силой света источника I в заданном направлении называется световой поток, посылаемый им в этом направлении и отнесенный к единице телесного угла.

Единицы измерения: $[I] = \text{кд (кандела)}$

Световой поток для точечного источника

$$\Phi = \int I \cdot d\Omega$$

1 люмен – это **световой поток**, посылаемый источником с силой света в 1 канделу внутрь телесного угла в 1 стерадиан:

$$1 \text{ лм} = 1 \text{ кд} \cdot 1 \text{ ср}$$

Освещенностью E некоторой поверхности называется световой поток, падающий на единицу площади освещаемой поверхности:

$$E = \frac{d\Phi}{dS} \quad [E] = \text{лк (люкс)}: \quad \text{лк} = \frac{\text{лм}}{\text{м}^2}$$

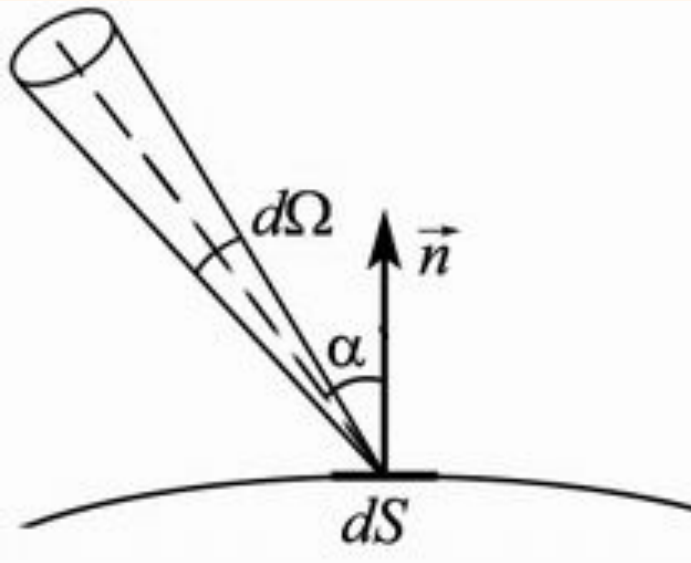
Для точечного источника

$$E = \frac{I}{r^2} \cos \alpha \quad - \text{закон обратных квадратов:}$$

- освещенность, создаваемая точечным источником, обратно пропорциональна квадрату расстояния до него и прямо пропорциональна косинусу угла между направлением падающих лучей и нормалью к освещаемой поверхности.

Для протяженных источников вводятся следующие понятия:

- **Яркостью L** называется световой поток, исходящий из площадки dS в заданном направлении, отнесенный к единице телесного угла и к единице ее **видимой величины**:



$$L_{\alpha} = \frac{d\Phi}{d\Omega \cdot dS \cdot \cos \alpha} = \frac{dI}{dS \cdot \cos \alpha}$$

где

$$dI = \frac{d\Phi}{d\Omega}$$

- сила света площадки dS в том же направлении

Источники, яркость которых одинакова по всем направлениям, называются **ламбертовскими (косинусными)**:

$$dI \sim \cos \alpha$$

- **Светимостью M** называется полный световой поток, посылаемый единицей светящейся поверхности в одну сторону (в телесный угол $\Omega = 2\pi$):

Световой поток с единицы поверхности в телесный угол $d\Omega$ равен

$$d\Phi = L_\alpha \cos \alpha \cdot d\Omega$$

Тогда

$$M = \int L_\alpha \cos \alpha \cdot d\Omega = 2\pi \int_0^{\pi/2} L_\alpha \cos \alpha \sin \alpha \cdot d\alpha$$

Для ламбертовских источников ($L = \text{const}$):

$$M = \pi L$$