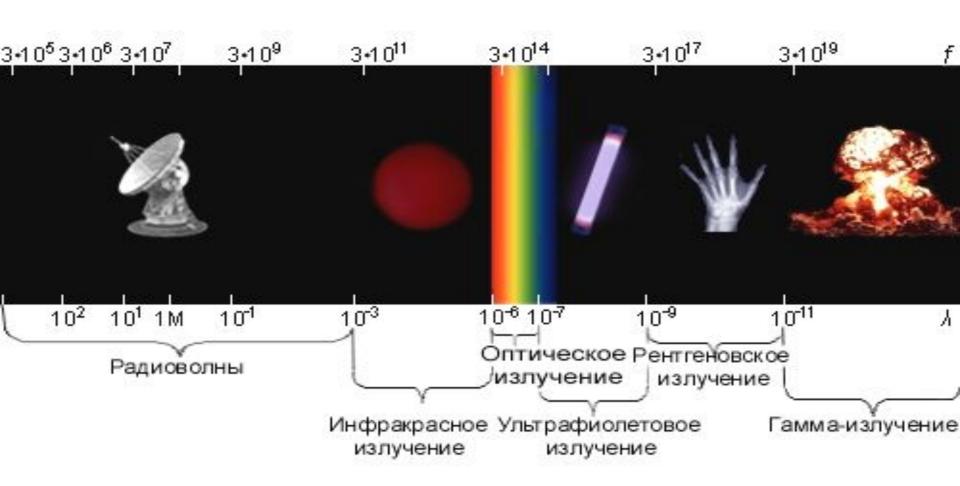
#### 1. Оптическое излучение

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.

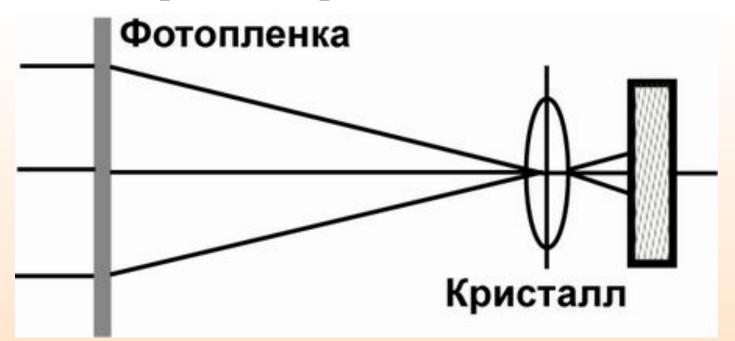


Такое ограничение условно и в значительной степени определяется общностью технических средств и методов исследования явлении в указанном диапазоне.

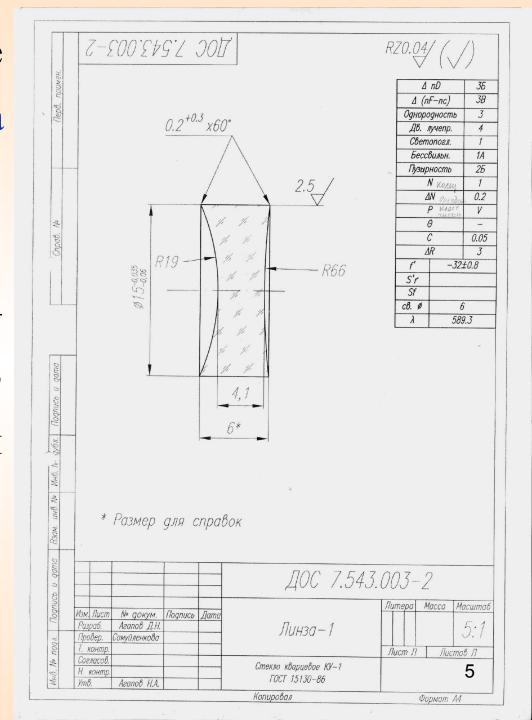
# По традиции *оптику* принято подразделять на

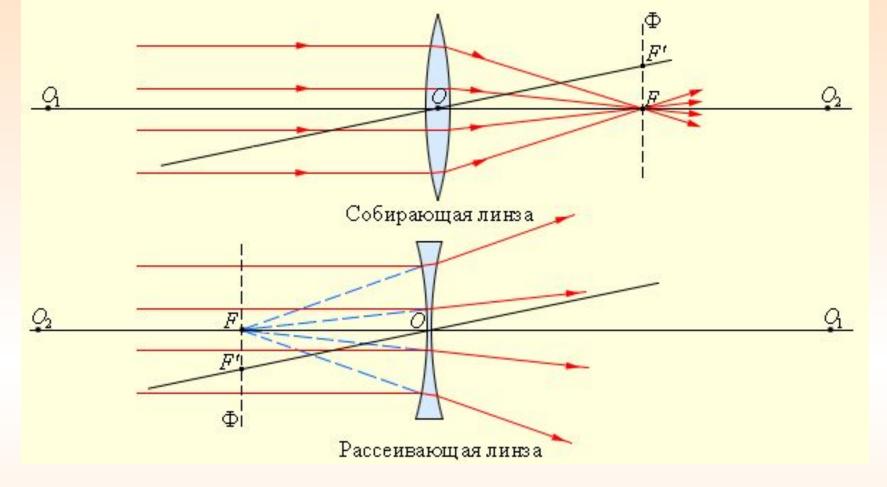
- геометрическую,
- физическую и
- •физиологическую.

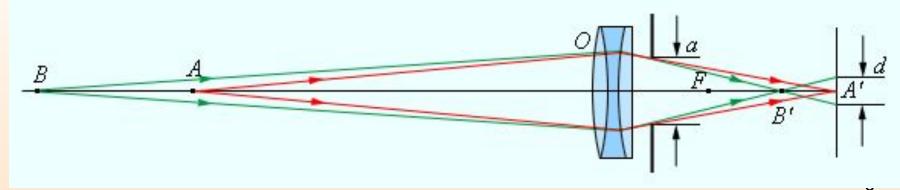
Геометрическая оптика, не рассматривая вопрос о природе света, исходит из эмпирических законов его распространения и использует представление о световых лучах, отражающихся и преломляющихся на границах сред с разными оптическими свойствами и прямолинейных в оптически однородной среде.



Наибольшее значение геометрическая оптика имеет для расчета конструирования оптических приборов – ОЧКОВЫХ лин3 сложных объективов огромных астрономических инструментов.





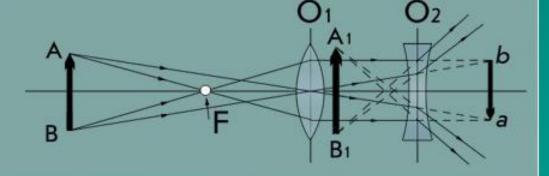


### Подзорные трубы, телескоп

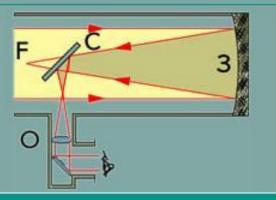
Труба Кеплера



Труба Галилея

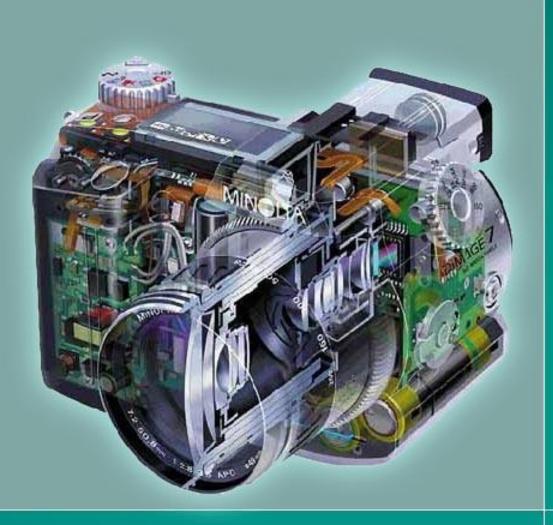


Зеркальный телескоп Ньютона



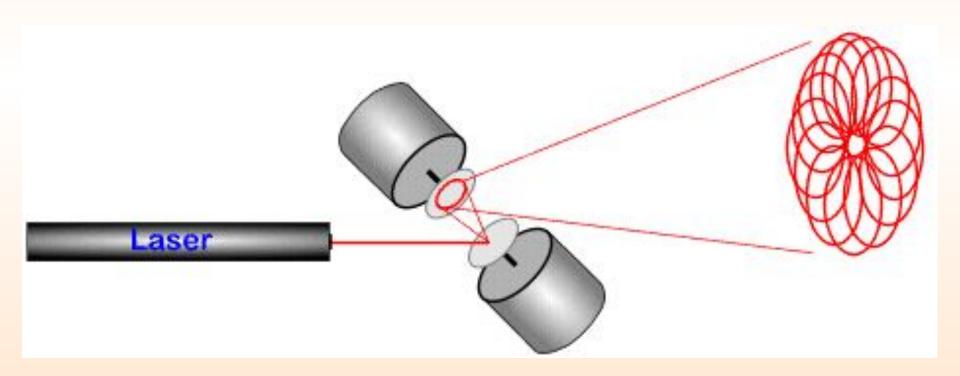
# Цифровая фотокамера

Внешний вид и внутреннее устройство



#### Физическая оптика

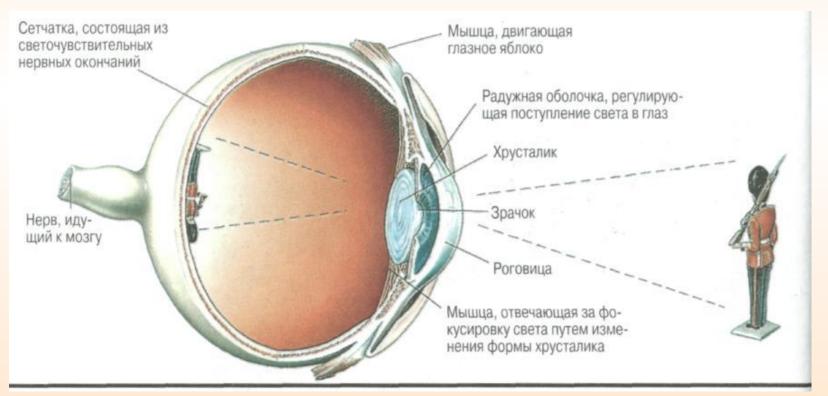
рассматривает проблемы, связанные с процессами испускания света, природой света и световых явлений.



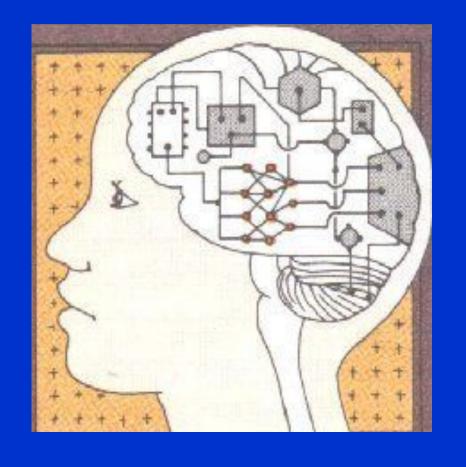
# Устройство лазера



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

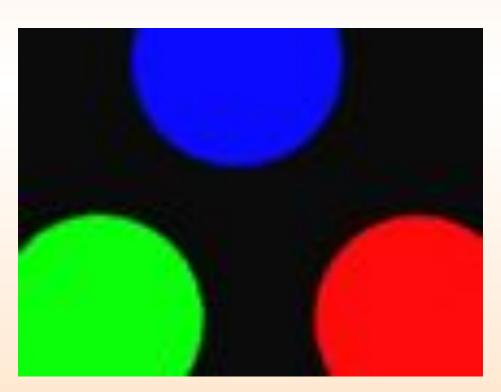


# 80% - 4epes 3pehue



# COSHAHUR YEJOBEKA IJPROOPASYEM UHQOPILAMUHO

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.

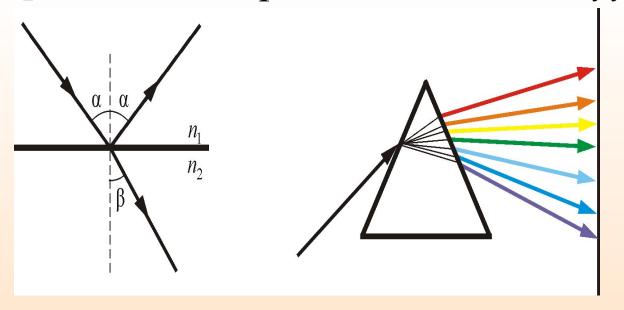
В конце XVII века, на основе многовекового опыта и развития представлений о свете возникли *две мощные теории света* — корпускулярная (Ньютон-Декарт) и волновая (Гук-Гюйгенс).

Из представлений корпускулярной теории Ньютон легко вывел законы отражения и преломления:

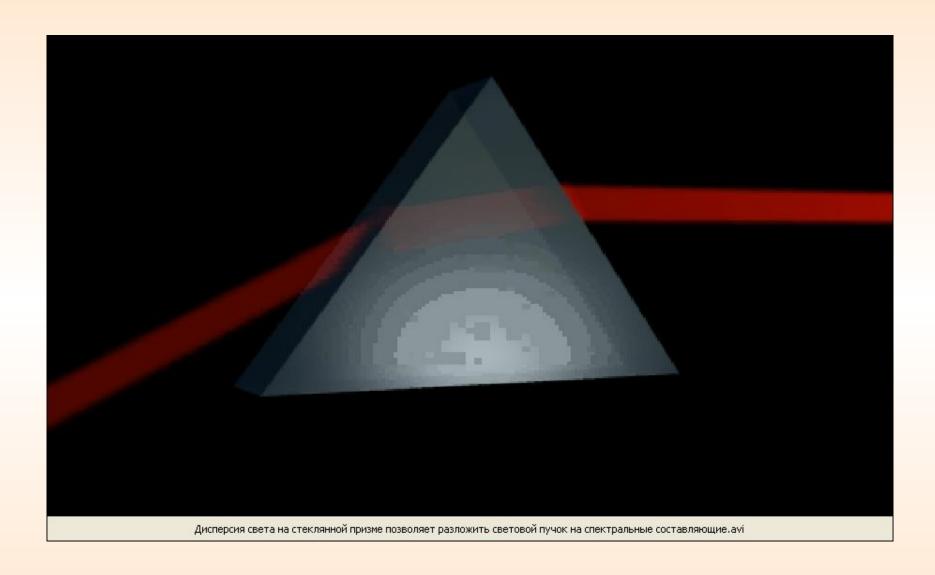
 $\alpha = -\alpha$ ; (угол падения равен углу отражения);

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

постоянная равная отношению скорости света в среде V к скорости света в вакууме с).



Таким образом, Ньютон ошибочно утверждал, что скорость света в веществе больше скорости света в вакууме. 16



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; 18

- 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;

19

1888 г. Г. Герц экспериментально исследовал электромагнитное поле и подтвердил, что электромагнитные волны распространяются со скоростью света  $c = 3*10^8$  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  $\nu$  – частота, h – постоянная Планка.

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

$$m_{\hat{0}} = \frac{E_0}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h}{\lambda c}$$

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*.

21

#### 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 у.

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

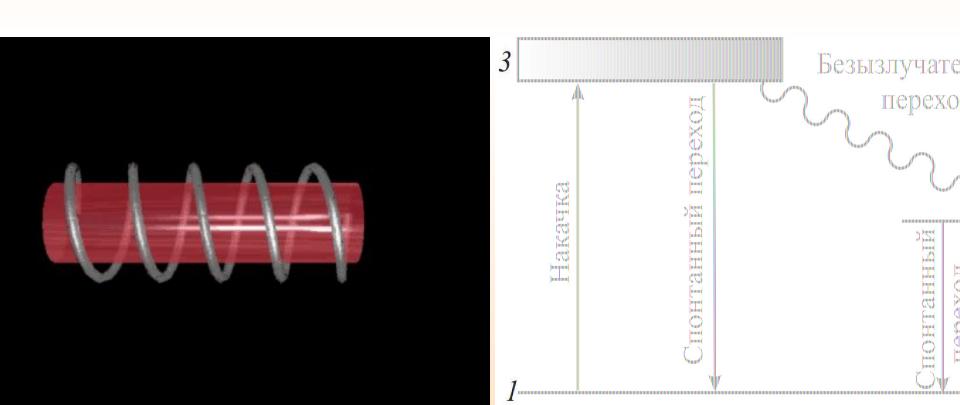
Двойственность природы света — наличие у него одновременно характерных черт, присущих и волнам, и частицам, — является частным случаем корпускулярно-волнового дуализма.

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).

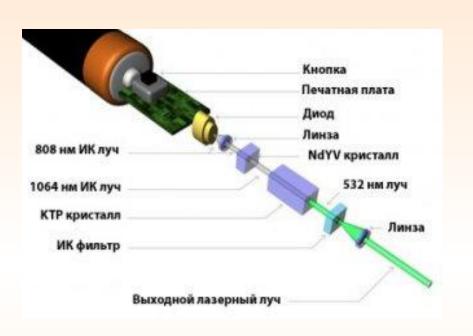
В физической оптике сформировалось новое направление, связанное с генерированием вынужденного излучения и созданием квантовых усилителей и квантовых генераторов излучения (мазеров и лазеров).

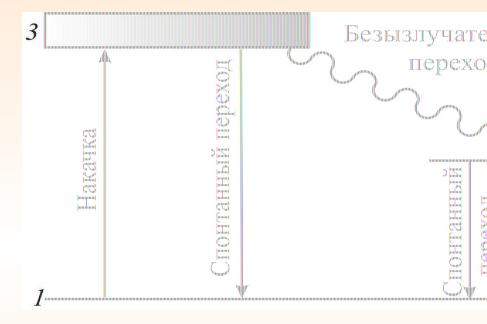
Излучение лазеров обладает большой временной и пространственной когерентностью, высокой монохроматичностью, предельно малой расходимостью пучка и при фокусировке позволяет получать недостижимые ни для каких других источников напряженности электрического поля.

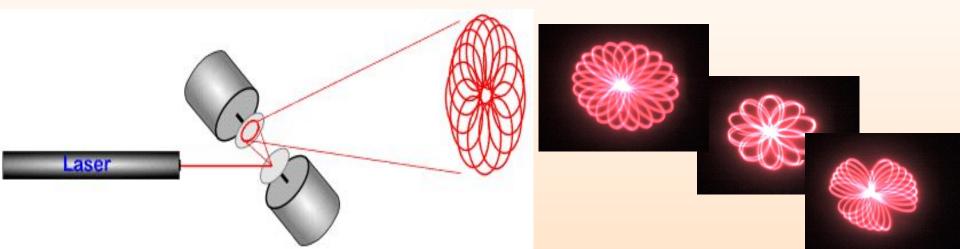
Экспериментальное обнаружение методов генерации вынужденного излучения атомов и молекул — создание оптического квантового генератора (лазера) - наиболее важное событие в современной оптике (А.М. Прохоров, Н.Г. Басов и Ч. Таунс 1954 г.).



#### 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 люугих явлениях свойствами присущими волнам

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:

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

- 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:

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

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

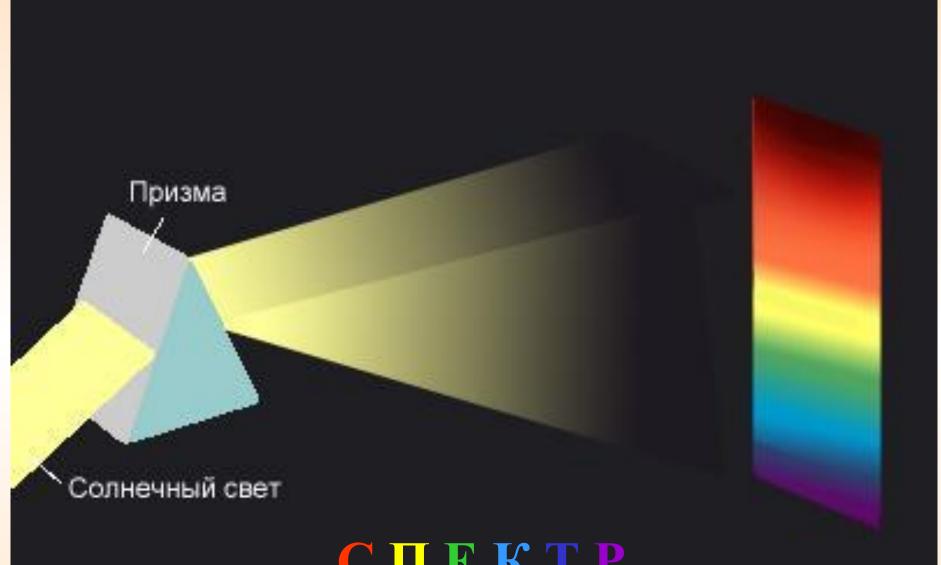
Получаем

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

 $n = \sqrt{\epsilon \mu} \approx \sqrt{\epsilon}$  - для большинства прозрачных сред ( $\mu \approx 1$ )

Значение *п* определяет *оптическую плотность среды*:

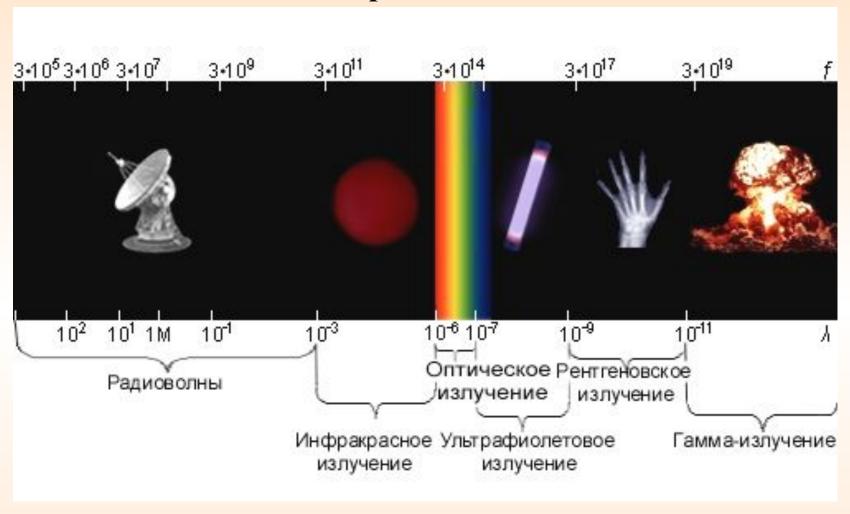
оптически более плотная среда – среда с большим п; оптически менее плотная среда – среда с меньшим п.



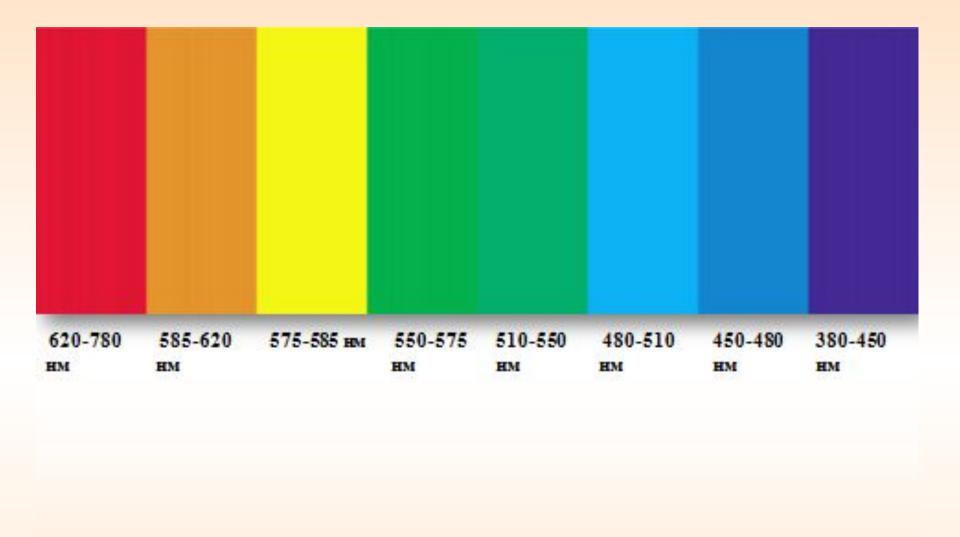
### СПЕКТР

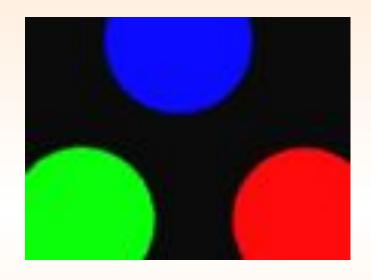
spectrum (лат.) - ви́дение.

#### Шкала электромагнитных волн



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

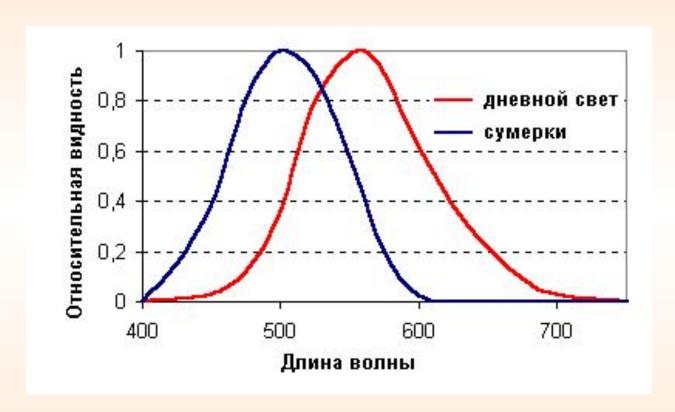




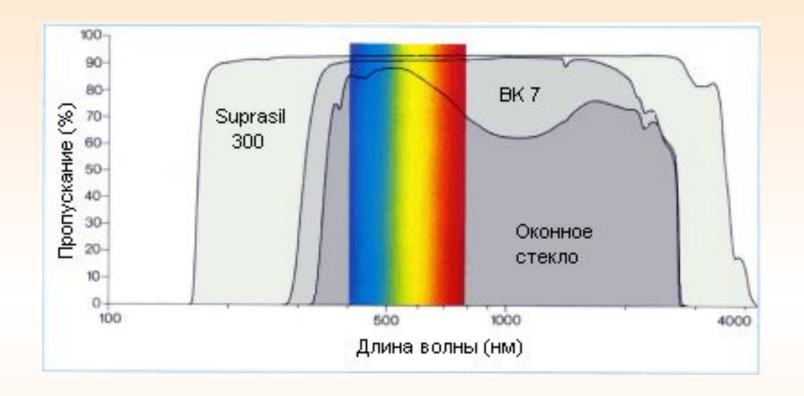
Согласно *теории цветового зрения* Юнга - Гельмгольца ощущение любого цвета можно получить смешиванием спектрально чистых излучений красного, зеленого и синего цветов

#### 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 ВК 7 и обычного стекла.

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

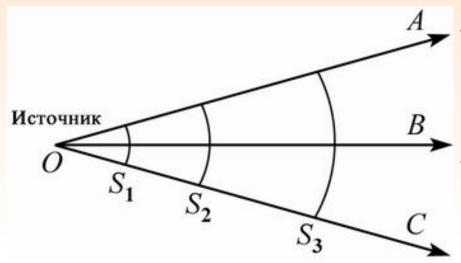
Интенсивность света – модуль среднего по времени значения плотности потока энергии, переносимой световой волной:

$$I=\left|\left\langle P
ight
angle
ight|=\left|\left\langle \left[E,H
ight]
ight
angle
ight|$$
  $P$  — вектор Пойнтинга

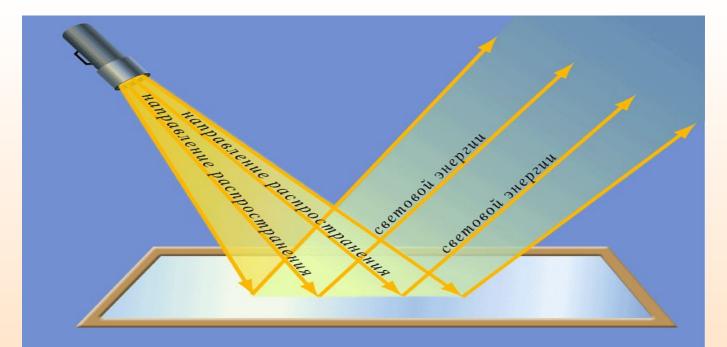
$$I = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}} nE_0^2 \sim nE_0^2$$

В случае однородной среды (n = const) интенсивность пропорциональна квадрату амплитуды световой волны

#### Луч – линия, вдоль которой распространяется световая волна.



- В <u>изотропных средах</u> лучи перпендикулярны к волновым поверхностям
- В <u>анизотропных средах</u> лучи не ортогональны волновым поверхностям



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

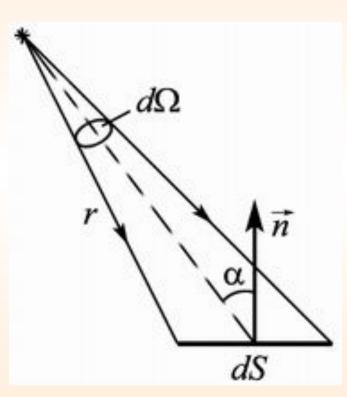
Излучение тела обусловлено волнами, испускаемыми его атомами:

*длительность излучения атома*  $\sim 10^{-8}$  с, за это время образуется *цуг* волн (набор горбов и впадин) длиной  $\sim 3$ 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 потоком 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] = 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 Е некоторой поверхности называется световой поток, падающий на единицу площади освещаемой поверхности:

$$E = \frac{d\Phi}{dS}$$
 [E] = лк (люкс):  $\frac{1}{M} = \frac{M}{M^2}$ 

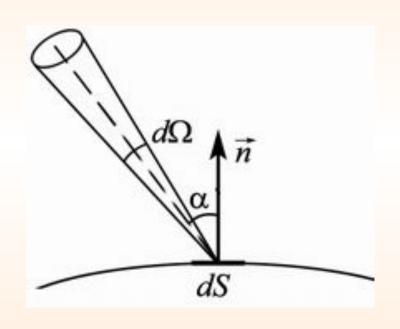
Для точечного источника

$$E = \frac{I}{r^2} \cos \alpha - 3akoh oбратных квадратов:$$

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

- сила света площадки dS в том же направлении

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

• Светимостью M называется полный световой поток, посылаемый единицей светящейся поверхности  $\underline{s}$  одну  $\underline{c}$  сторону ( $\underline{s}$  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 = const):

$$M = \pi L$$