

# ПРИКЛАДНАЯ ОПТИКА

## ЛЕКЦИЯ 2

### Влияние атмосферы на работу оптико-электронных приборов. Тепловое излучение и его источники

Группы: ЭЛБО-01-18, ЭЛБО-03-18,  
ЭОСО-01-18, ЭОСО-02-18

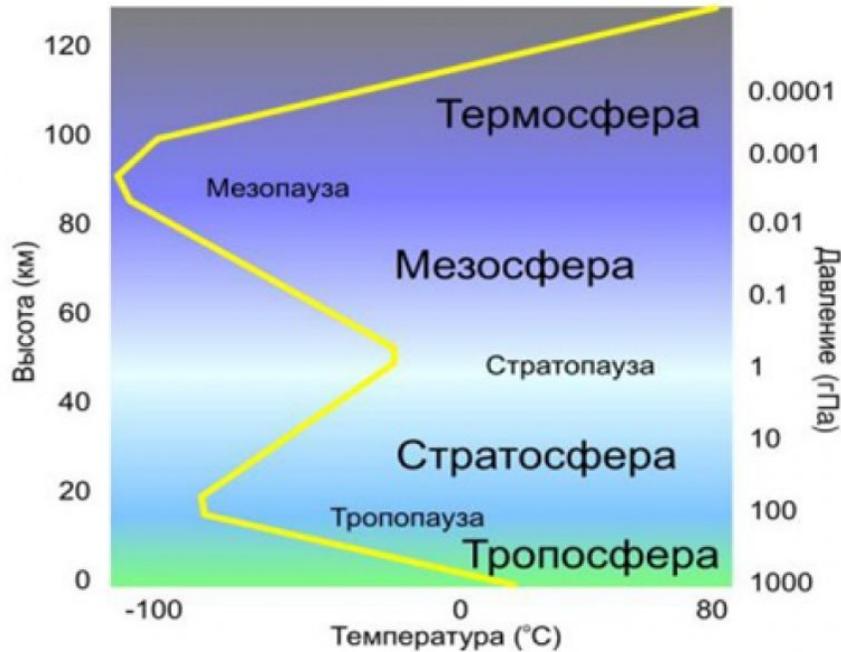
Преподаватель:  
Доцент, к.ф.-м.н,  
Анастасия Павловна Шестакова

# План лекций

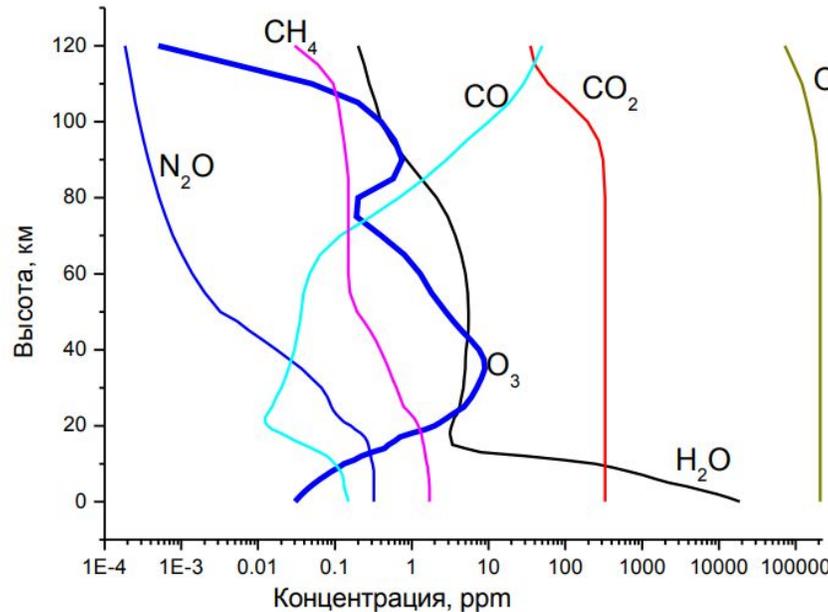
1. Общие сведения об оптико-электронных приборах и их применении.
2. Влияние атмосферы на работу оптико-электронных приборов. Тепловое излучение и его источники.
3. Свойства лазерного излучения. Фотометрическая и светоэнергетическая системы единиц.
4. Принцип действия лазеров.
5. Приёмники лучистой энергии (ПЛЭ).
6. Основы расчёта оптических систем.
7. Типы оптических систем.
8. Оптические материалы и покрытия. Оптические фильтры.
9. Оптомеханические модуляторы.

# Распространение излучения в атмосфере.

## Состав и строение атмосферы



Строение атмосферы



Высотные профили концентрации основных газов

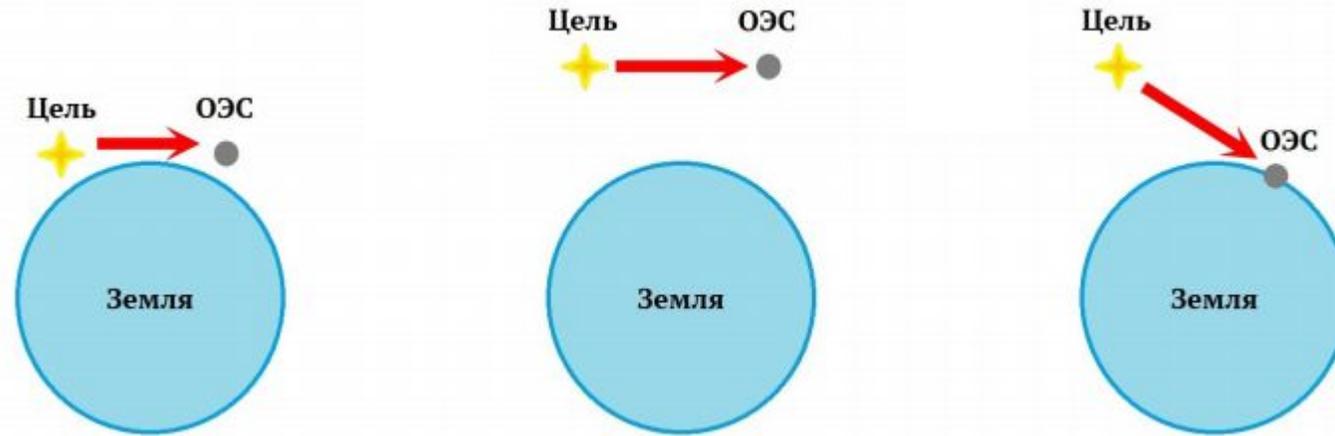
**Влияние атмосферы** обусловлено процессами рассеяния и поглощения, которые приводят к ослаблению и искажению сигнала.

Факторы, позволяющие произвести **расчёт влияния** атмосферы:

- протяжённость трассы;
- высоту над уровнем моря;
- вид трассы;
- количество водяных паров

**Приземной слой:**  $\text{N}_2$  (78%), вслед за ним по распространённости идёт кислород  $\text{O}_2$  (21%). От 0,00003 до 0,00005% занимает углекислый газ  $\text{CO}_2$ , а от 0,001 до 4% — водяной пар  $\text{H}_2\text{O}$ .

# Излучение целей и фонов



Виды траекторий, проходимых сигналом от цели до оптико-электронной системы

Приступая к проектированию ОЭП, необходимо иметь **основные характеристики** цели:

- суммарную мощность излучения;
- спектральный состав излучения;
- распределение силы излучения по направлению (индикатрису).

Индикатриса может быть получена экспериментально или теоретически

# Тепловое излучение

Электромагнитное излучение, возникающее за счёт внутренней энергии тела, называется **тепловым**.

Спектральная плотность энергетической светимости (излучательная способность):

$$E_{\nu, T} = \frac{dW_{\nu, \nu+d\nu}}{d\nu}$$

Спектральная поглощательная способность:

$$A_{\nu, T} = \frac{dW_{\nu, \nu+d\nu}^{\text{погл}}}{dW_{\nu, \nu+d\nu}^{\text{пад}}}$$

Интегральная энергетическая светимость:

$$E_T = \int_0^{\infty} E_{\nu, T} d\nu; \quad R_T = \int_0^{\infty} \varepsilon_{\nu, T} d\nu$$

Спектральная плотность энергетической светимости (излучательная способность) связана с объемной плотностью излучения соотношением

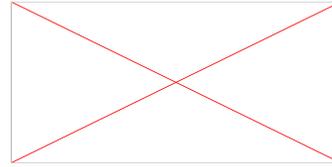
$$E_{\nu, T} = \frac{c}{4} u(\nu, T)$$

## Виды излучений:

1. фотолюминесценция
2. электролюминесценция
3. хемилюминесценция
4. катодолюминесценция
5. радикало-рекомбинационная люминесценция

# Законы теплового излучения и их применение

**Закон Кирхгофа:** отношение испускательной к поглощательной способности не зависит от природы тела, оно является для всех тел одной и той же универсальной функцией частоты и температуры:



Сажа или платиновая чернь имеют поглощающую способность



По определению  $\alpha$  не может быть больше единицы.

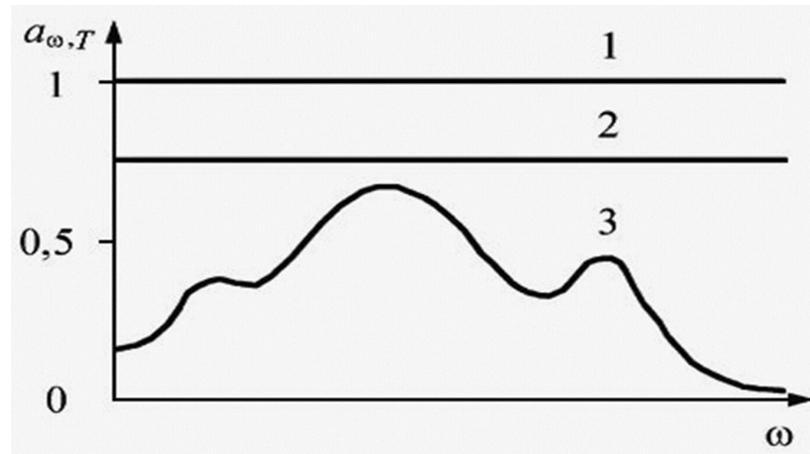
Тело, у которого  $\alpha < 1$  и одинакова по всему диапазону частот, называют серым телом.

Тело, у которого  $\alpha = 1$  – абсолютно черное тело.

Абсолютно черное тело

**Абсолютно черное тело** – тело, поглощающее абсолютно всё падающее на него излучение во всех диапазонах

**В природе абсолютно черных тел не существует!**



1 - абсолютно черное тело;  
2 - серое тело;  
3 - реальное тело всегда отражает часть энергии падающего на него излучения

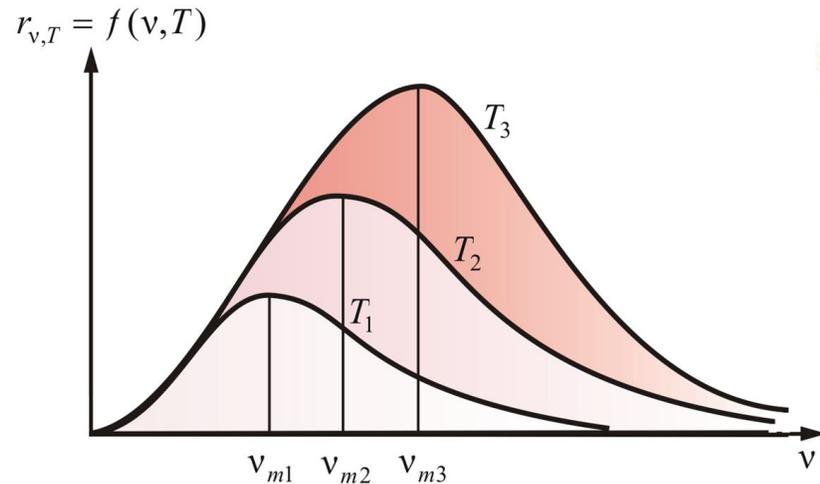
Реальное тело всегда отражает часть энергии падающего на него излучения

# Закон Стефана-Больцмана

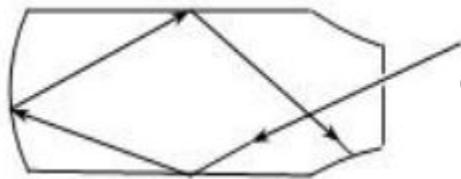
**Закон Стефана-Больцмана:** интегральная энергетическая светимость тела  $R$  пропорциональна четвёртой степени абсолютной температуры  $T$ .

$$R = \sigma T^4$$

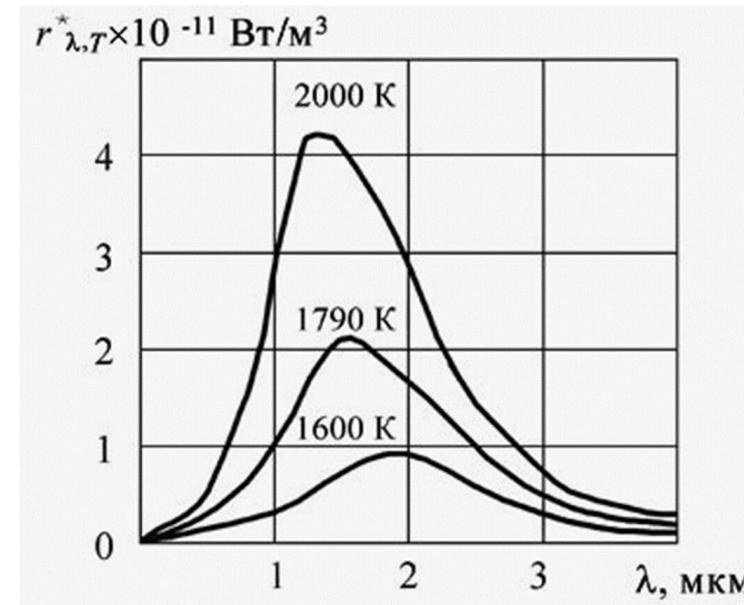
$\sigma = 5,7 \times 10^{-8}$  Дж/(м<sup>2</sup>·с·К<sup>4</sup>) - постоянная Стефана-Больцмана



Площадь под кривой  $r_{\omega, T} = f(T)$  равна  $R = \sigma T^4$



Справедливо только для АЧТ



Спектральная испускательная способность абсолютно черного тела

# Закон Планка

**Термодинамическая вероятность** – число возможных микроскопических комбинаций, совместимое с данным состоянием в целом.

Энергия осциллятора должна быть целым кратным некоторой единицы энергии, пропорциональной его частоте:

$$E_n = nh\nu$$

Минимальная порция энергии:  $E = h\nu = \hbar\omega$

Формула Планка:

$$r_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1},$$

$$\left. \begin{array}{l} \omega = 2\pi\nu \\ \hbar = h/2\pi \end{array} \right\} \begin{array}{l} h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \\ \hbar = 1,054 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \end{array} \quad \text{– постоянная Планка}$$

# Закон Планка

Окончательный вид формулы Планка

$$r_{\nu, T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1},$$



1) В области малых частот, т.е. при  $h\nu \ll kT$

$$e^{\frac{h\nu}{kT}} = 1 + \frac{h\nu}{kT} + \dots$$

Получаем формулу **Рэля-Джинса**:

$$r_{\nu, T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} kT$$

2) В области больших частот, при  $h\nu \gg kT$  из формулы Планка получаем **формулу Вина**:

$$r_{\nu, T} = \frac{2\pi h\nu^3}{c^2} e^{-\frac{h\nu}{kT}}$$

# Закон Планка

Также из формулы Планка можно получить **закон Стефана-Больцмана**:

$$R = \int_0^{\infty} r_{\nu, T} d\nu = \int_0^{\infty} \frac{2\pi h \nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1} d\nu$$

Отсюда можно вывести закон Стефана-Больцмана:

$$R = \sigma T^4$$

Другая форма записи формулы Планка

$$r_{\lambda, T} = \frac{4\pi^2 \hbar c^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{2\pi \hbar c / kT \lambda} - 1}$$

**Из формулы Планка**, зная универсальные постоянные  $h$ ,  $k$  и  $c$ , можно вычислить постоянную Стефана-Больцмана  $\sigma$  и Вина  $b$ .

Закон Кирхгофа применяется при создании т. н. абсолютно чёрных тел — приборов, по своим свойствам наиболее близких к абсолютно чёрному телу

Закон Стефана-Больцмана позволяет вычислить световой поток, зная температуру цели, т. к. величина  $R$  является производной от потока.

С помощью закона Планка определяется поток для любого спектрального диапазона (интегралом излучательной способности является интегральная энергетическая светимость  $R$ , которая, в свою очередь, есть производная от потока  $\Phi$ ).

Закон Вина позволяет определить спектральный диапазон работы прибора.

# Искусственные источники излучения

## Лампа накаливания



типичный тепловой и световой излучатель – вакуумная колба с вольфрамовой спиралью, которая под воздействием электричества раскаляется до высоких температур.

+	-
Не вредны	Малый срок службы
Дешевизна	Большой расход энергии
Простота в обслуживании	Спектральный состав сильно отличается от естественного

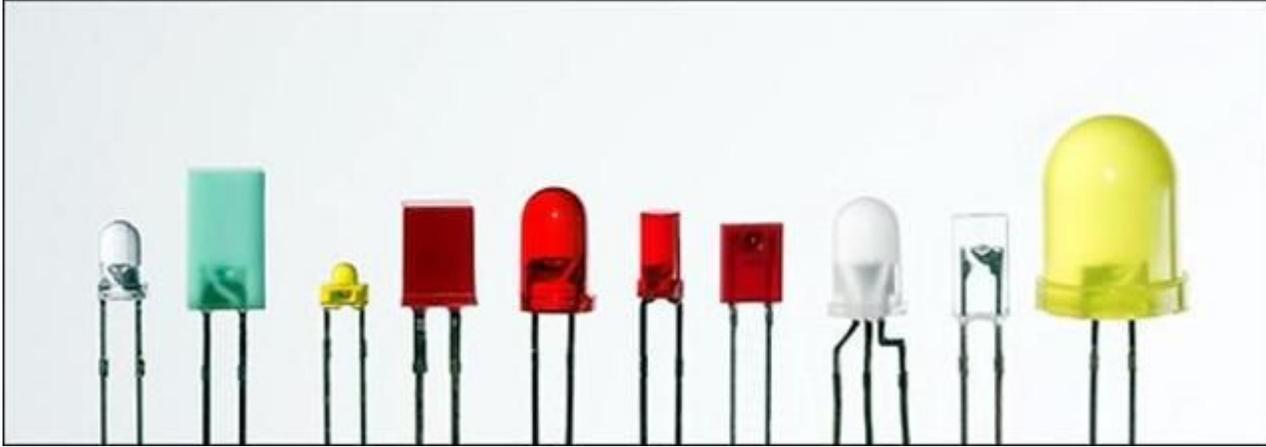
## Газоразрядные лампы



В колбе, кроме газовых соединений и примесей химических веществ, находятся электроды, которые создают разряд.

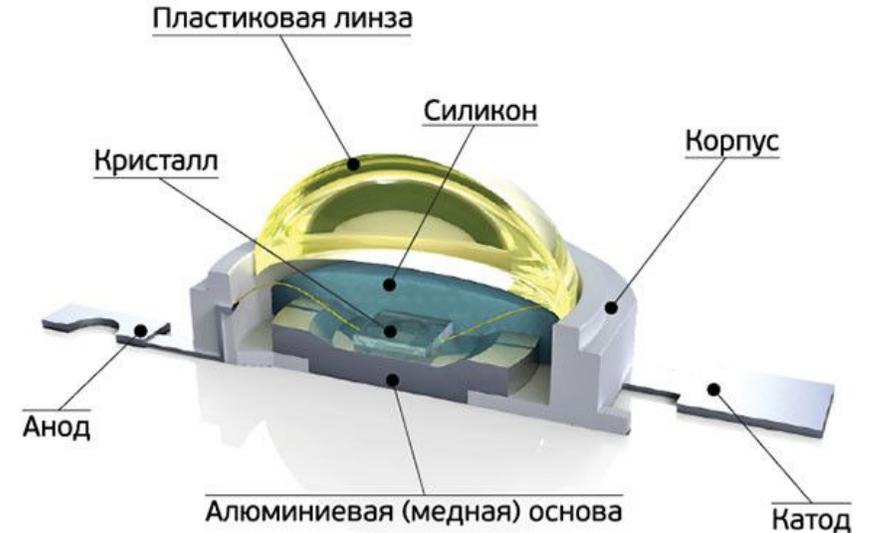
+	-
Высокая световая отдача	Наличие вредных для человека и биосферы паров ртути
Большой срок службы	Длительный переход на номинальный режим
Близкий к естественному спектр излучения	Пульсация светового потока

# Светодиоды



Светодиод - прибор, основанный на полупроводнике и преобразует электрический ток в световое излучение.

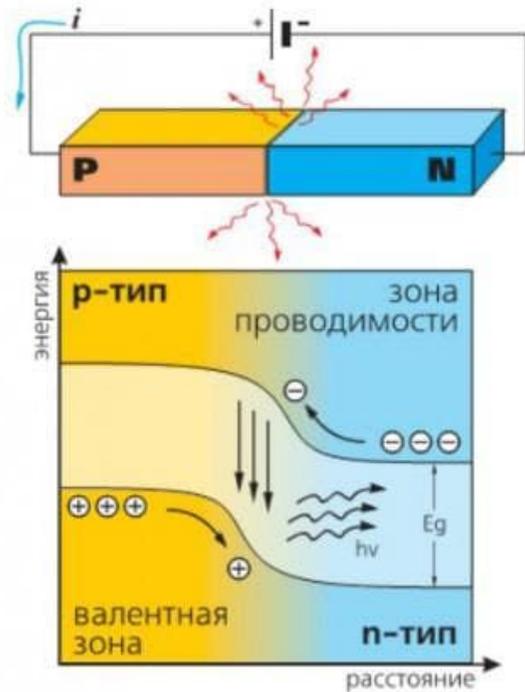
Свечение, которое излучает светодиод при подключении его к электрическому току, зависит не от цветовой окраски корпуса. Он зависит от материала, который используется при производстве полупроводника. Так, например, примеси алюминия, индия, гелия, фосфора вызывают свечение от красного до желтого цвета. Азот, галлий, индий придают излучаемому свету цвета от зеленого до голубого. Чтобы добиться белого свечения в кристалл добавляют люминофор, используемый для производства люминесцентных ламп.



+	-
Надежность	Высокая цена
Не греется	Направленность света
Узкий спектр излучения	Ограничена сфера применения
Низкий вольтаж	

# Принцип работы светодиода

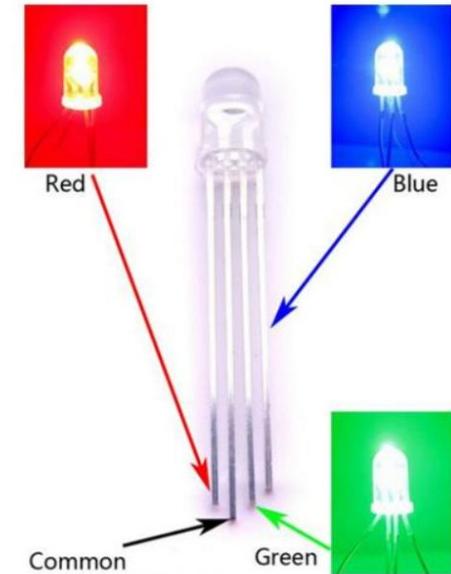
Принцип работы: p-n переход



...«Когда к аноду подается положительный заряд электричества, а к катоду отрицательный, то на p-n переходе между кристаллом катодом начинает течь ток»

Виды светодиодов:

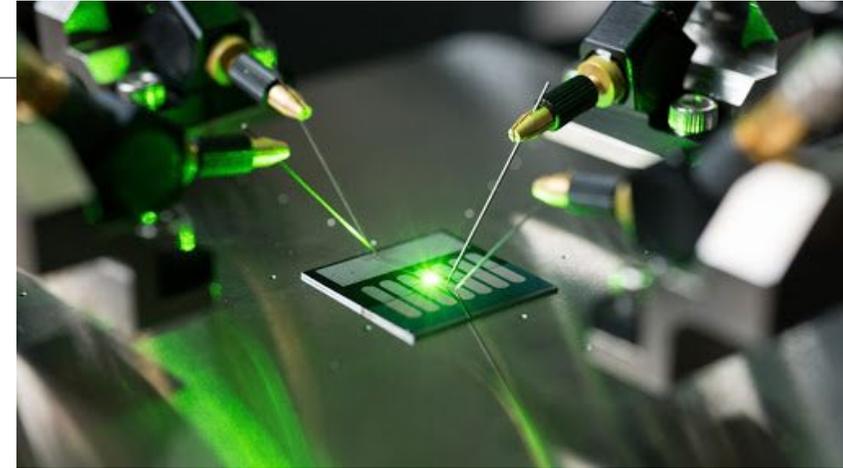
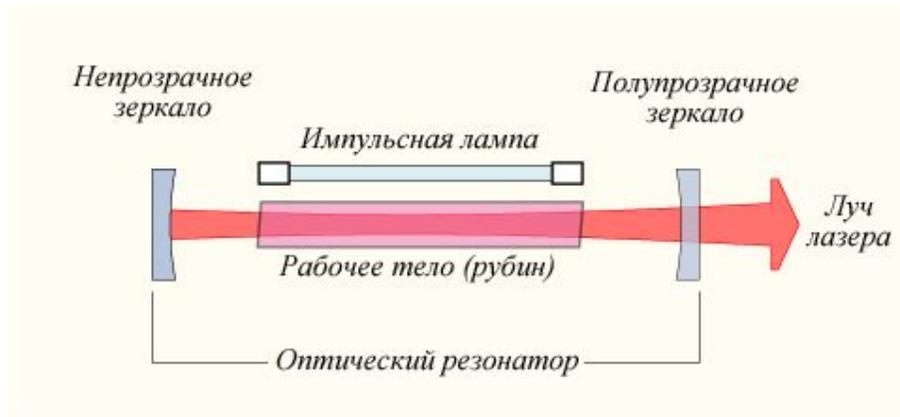
- индикаторные – с маленькой мощностью, для подсветки в приборах;
- осветительные – с большой мощностью, уровень освещенности соответствует обычным (люминесцентным и вольфрамовым) источникам света.



Подобный тип устройств способен излучать любой оттенок светового спектра за счет применения в одном кристалле 3-х светодиодов: красного, зеленого и синего. В зависимости от интенсивности свечения каждого из них, меняется излучаемый свет.

# Лазеры

**Лазер** (от англ. laser, light amplification by stimulated emission of radiation «усиление света посредством вынужденного излучения») — устройство, преобразующее энергию накачки (световую, электрическую, тепловую, химическую и др.) в энергию когерентного, монохроматического, поляризованного и узконаправленного потока излучения.



## Схематичное устройство лазера

Свойства лазерного излучения:

- высокая монохроматичность;
- высокая направленность;
- высокая интенсивность излучения;
- высокая когерентность;
- высокая поляризация.

