

# Лекция 3

## Передача и прием информации на основе фотонов

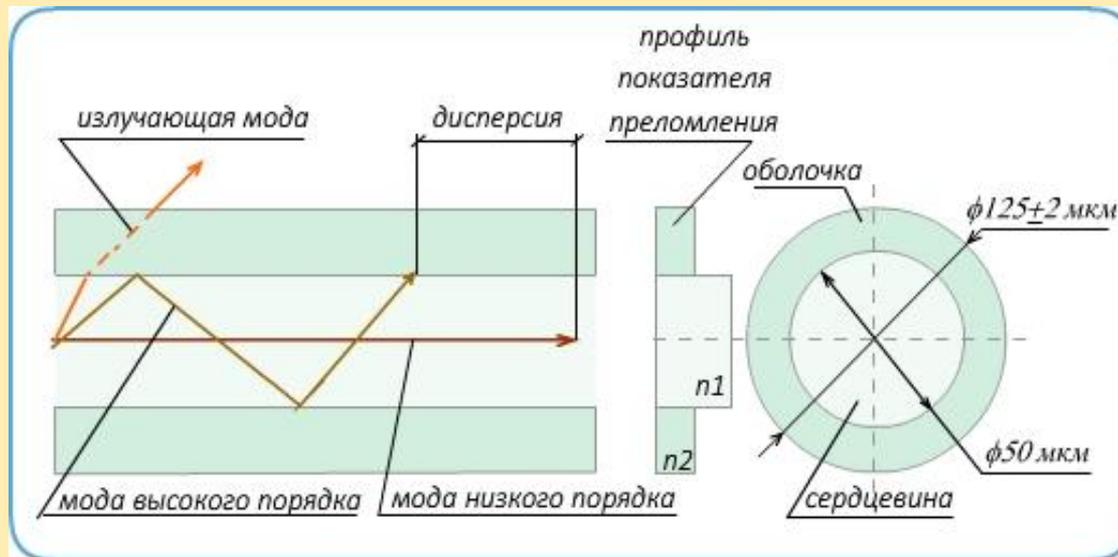
**Повторение предыдущего  
материала**

## **Вопросы, задаваемые на защите лабораторных работ :**

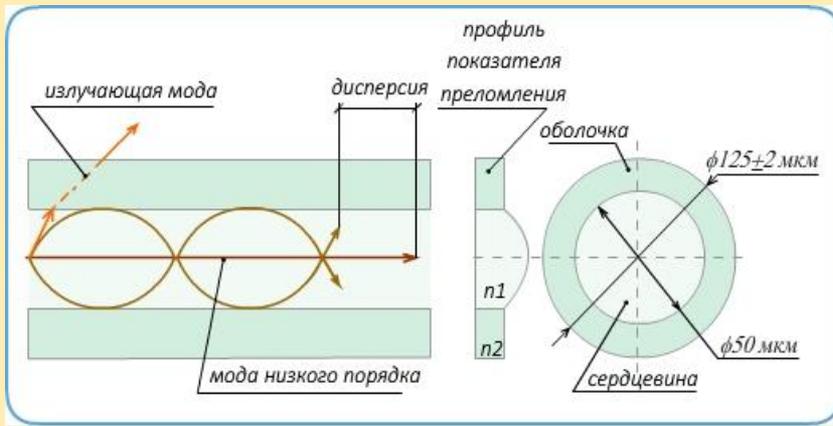
- 1. Типы оптических волокон.**
- 2. Влияние распространения различных мод на качество передачи сигнала. (Дисперсия).**
- 3. Числовая апертура**
- 4. Окна прозрачности оптического волокна.  
Коэффициент затухания**

# Типы оптических волокон

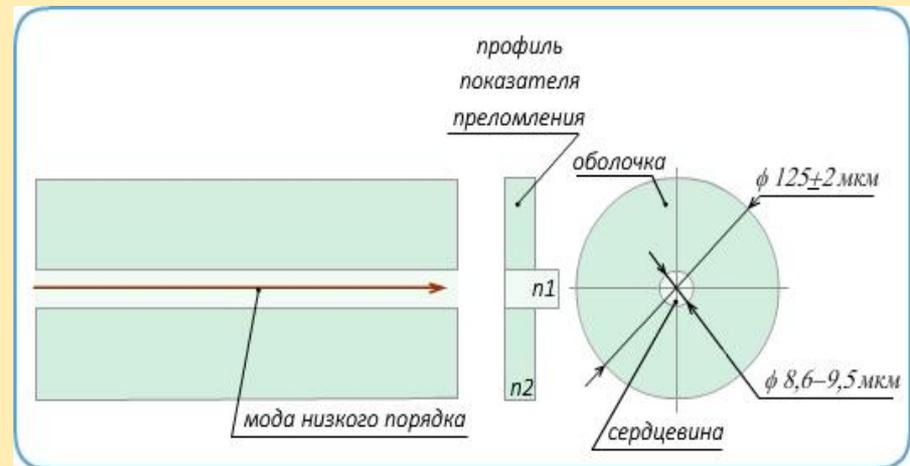
(повторение предыдущая лекция)



Многомодовое волокно со ступенчатым профилем показателя преломления

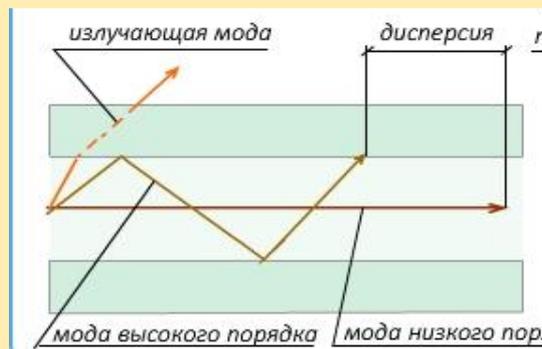


Многомодовое волокно с градиентным профилем преломления



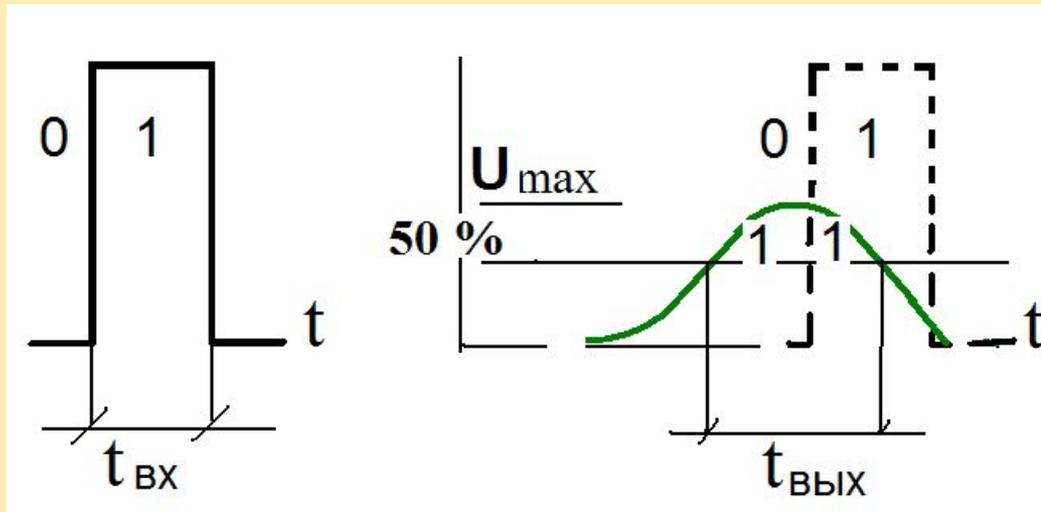
Одномодовое волокно с ступенчатым профилем преломления

# Межмодовая дисперсия



Межмодовая дисперсия отражена отрезком между концами осевого и апертурного лучей, который характеризует время.

Как следствие, лучи достигают приемника в разные моменты времени, что отражается на качестве передачи сигнала.



Импульс на выходе, расширенный за счёт дисперсии, займёт и соседнюю битовую позицию, которая исходно должна быть логическим 0. Возникает типичная битовая ошибка .

Дисперсия определяется как квадратичная разность длительности импульсов на выходе и входе оптического волокна световода, получаемой на половине высоты импульса, и измеряется в пикосекундах [пс].

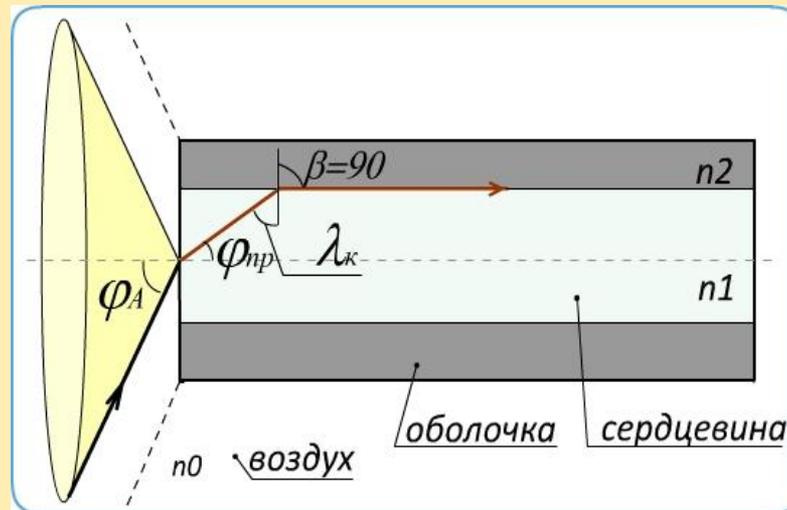
$$\tau = \sqrt{t_{\text{ВЫХ}}^2 - t_{\text{ВХ}}^2}$$

# Числовая апертура

ступенчатого многомодового

представляет важную характеристику, которая определяет способность оптического волокна принимать и распространять свет, принимаемой мощности,

ОБ Числовая апертура в переводе на английский язык звучит как Numerical aperture (NA)



**Определение 1.** Числовая апертура равна синусу максимального угла между осью ОБ и лучом, для которого выполняется условие полного внутреннего отражения в оптическом волокне:

$$NA = \sin \varphi_A$$

**Определение 2.** Числовая апертура равна корню квадратному из разности квадратов максимального значения показателя преломления сердцевины  $n_1^2$  и значение показателя преломления оптической оболочки оптического волокна  $n_2^2$ :

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

### Доказательство

Параметры падающего на торец ОВ и преломленного лучей связаны законом Снеллиуса:

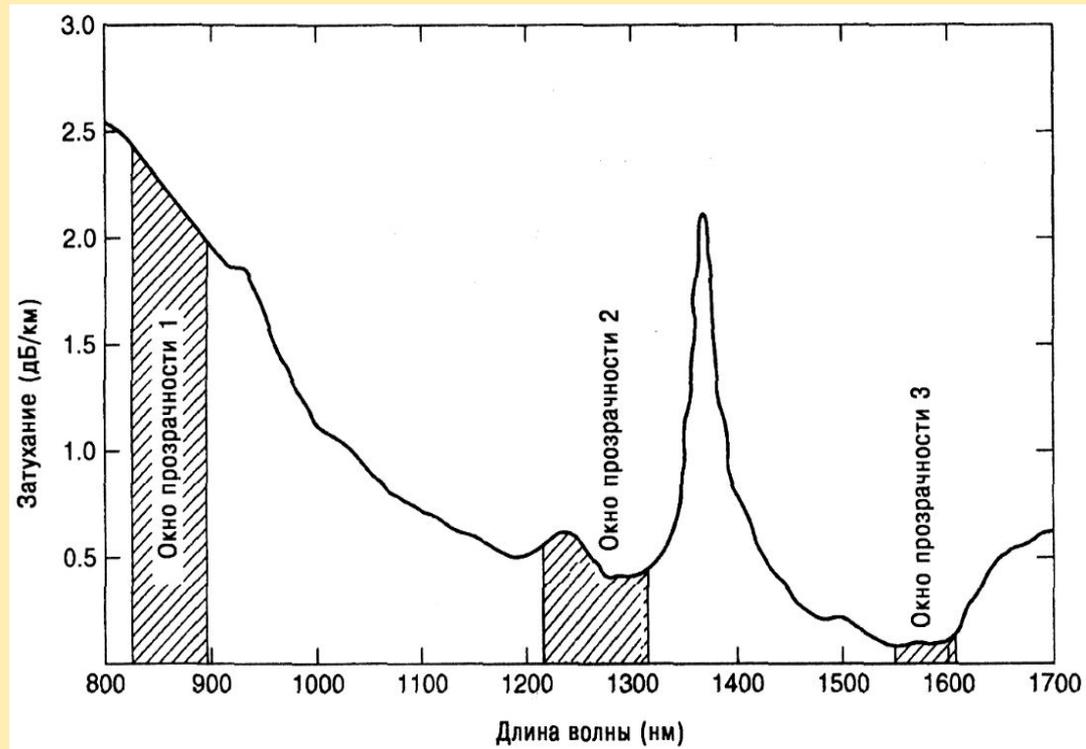
$$n_0 \cdot \sin \varphi_A = n_1 \cdot \sin \varphi_{\text{пр}}$$

По формуле приведения можно выразить угол  $\varphi_{\text{пр}}$  через критический угол  $\lambda_{\text{кр}}$ :

$$\sin \varphi_{\text{пр}} = \sin(90 - \lambda_{\text{кр}}) = \cos \lambda_{\text{кр}}$$

# Зависимость затухания сигнала в оптическом волокне от длины волны

три основных окна прозрачности: **820 – 900 нм;** **1280 – 1350 нм;**  
**1528 – 1561 нм**



## Определение

Затуханием называют потери оптической мощности по мере распространения света по волокну.

Затухание  $\alpha$  определяют отношением оптических мощностей на входе  $P_{вх}$  и выходе  $P_{вых}$ .

Для оценки используют логарифмические единицы с основанием 10 (десятичные логарифмы). Поэтому величина затухания  $\alpha$  выражается в децибелах [дБ]:

$$\alpha[\text{дБ}] = 10 \log \left( \frac{P_{\text{вх}}}{P_{\text{вых}}} \right),$$

и называется коэффициентом затухания света в ОВ

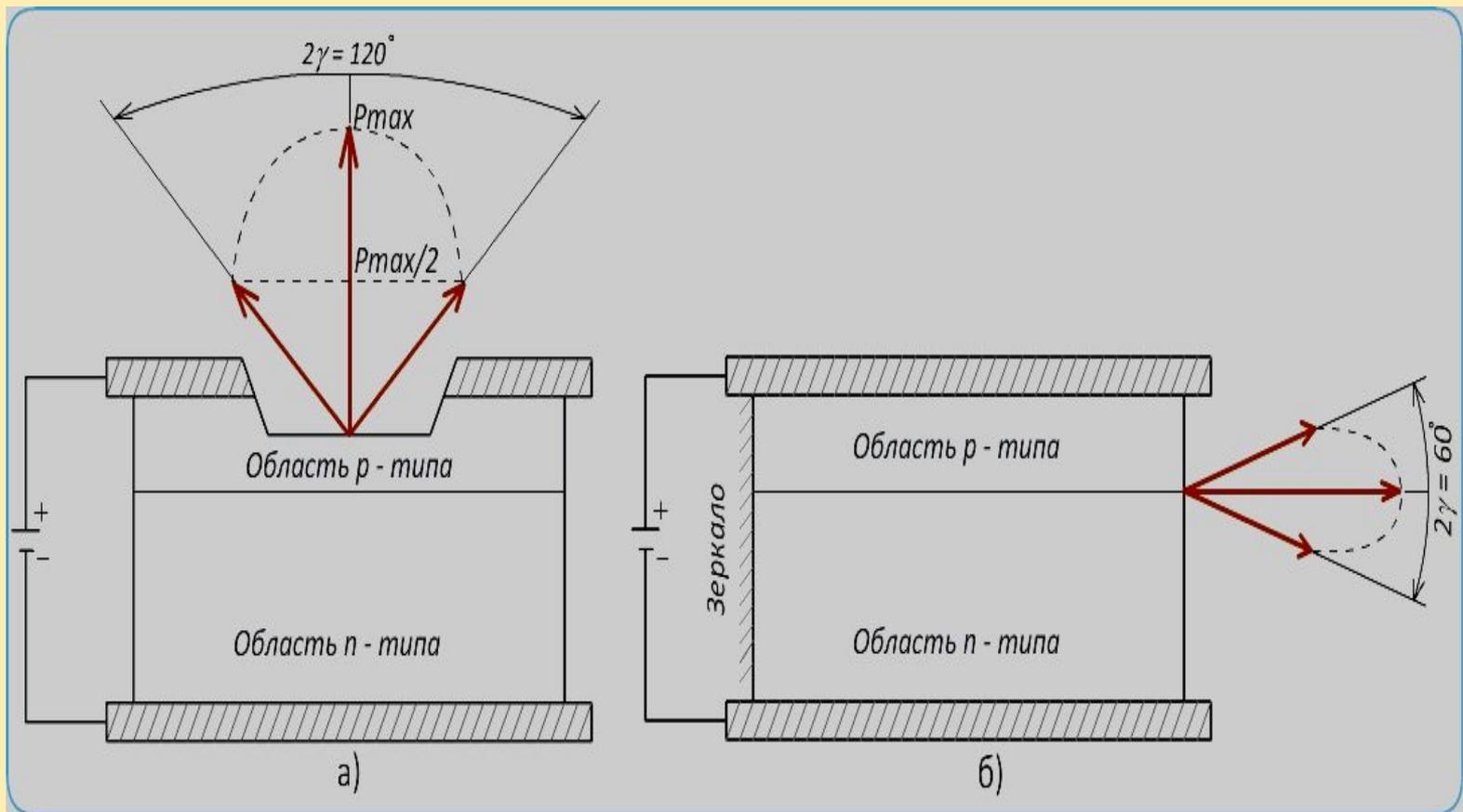
# Пошла лекция 3

# Источники излучения

В качестве источников света используют светоизлучающие диоды (СИД) и лазерные диоды (ЛД)

Светоизлучающие диоды находят широкое применение в ВОСП небольшой длины В офисных ВОСП – до 2 км и в коротких секциях – до 15 км.

Структуры СИД классифицируют по двум признакам: структура с излучающей поверхностью и структура с излучающим срезом.



СИД с излучающей поверхностью (а),  
 СИД с излучающим срезом и СЛД (б)

СЛД – сверхлюминисцентный диод

В СИД с излучающей поверхностью оптическое волокно присоединяется к поверхности излучения через специальную выемку в полупроводниковой подложке.

В конструкции СИД с излучающим срезом светоизлучающий торец СИД согласуется с ОВ с помощью линзовой системой.

# Основные характеристики светодиодов

- мощность излучения;
- диаграмма направленности;
- длина волны излучения;
- спектральная ширина;
- быстродействие;
- срок службы.

Выходная мощность СИД с излучающей поверхностью и излучающим срезом лежит в пределах между 0,01 и 0,1 мВт.

Для СЛД максимальная выходная мощность излучения лежит в диапазоне от 0,03 до 6 мВт

Диаграмма направленности излучения светодиода показывает распределение энергии излучения в пространстве (см.рисунок).

Угловая расходимость излучения оценивается на уровне уменьшения мощности в пространстве в два раза ( $P_{\text{вых}}/2$ ).

Чем уже выходная диаграмма, тем большая мощность света может попасть в ОВ.

Из диаграмм, представленных на рисунке видно, что СИД с излучающей поверхностью имеет угол расходимости  $120^\circ$ , а СИД с излучающим срезом -  $60^\circ$ .

Длиной волны излучения считается длина волны  $\lambda_0$ , на которой выходная мощность максимальна.

Длины волн выпускаемых светодиодов лежат в окнах прозрачности, используемых для ВОСП.

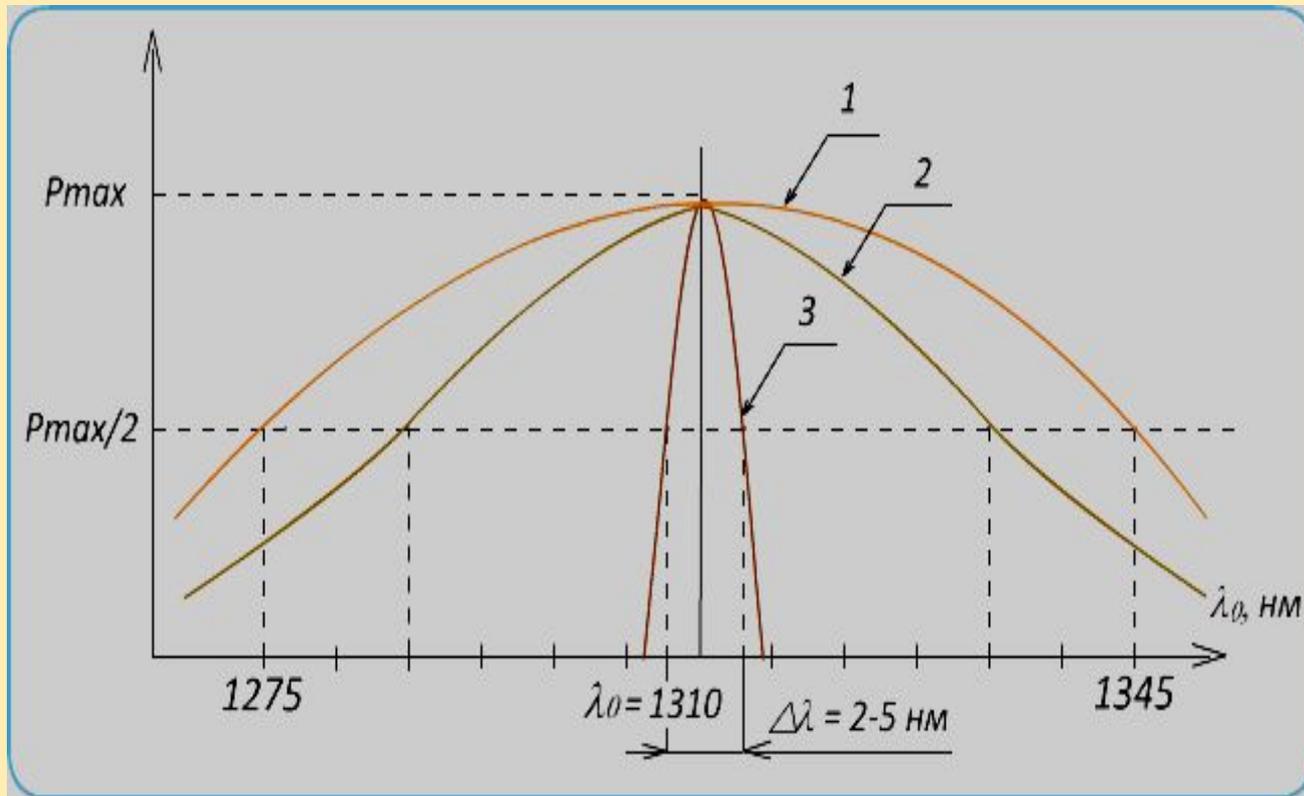
Это следующие длины волн:

$\lambda_0 = 850$  нм;  $\lambda_0 = 1310$  нм;  $\lambda_0 = 1550$  нм.

Светодиоды не являются идеально монохроматическими, они излучают в некотором диапазоне длин волн.

Этот диапазон известен как спектральная ширина источника. Она определяется на уровне 50 % от максимальной мощности, на длине волны  $\lambda_0$

Спектральная характеристика источника излучения показывает зависимость излучаемой мощности от длины волны.



Спектральная характеристика СИД с излучающим срезом (1), суперлюминисцентного диода (2) и лазерного диода (3)

## Быстродействие

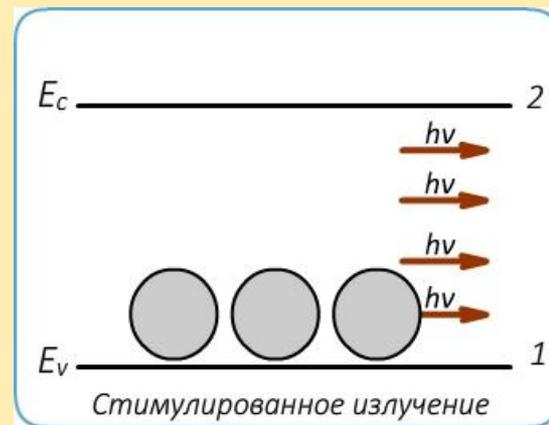
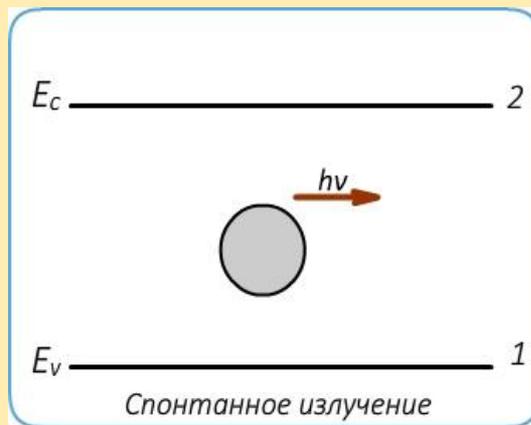
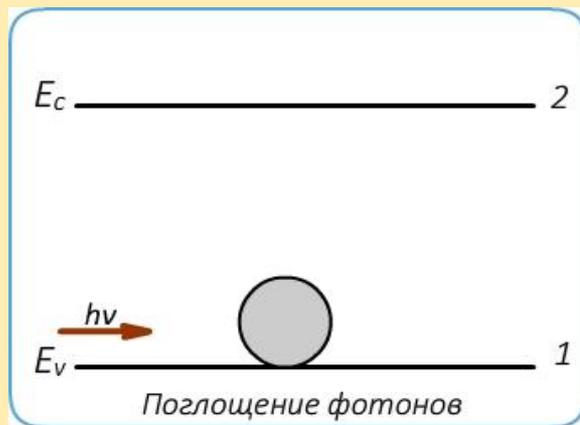
В единицах бит/с.

Для светоизлучающих диодов она составляет менее 0,155 Гбит/с.

Для лазерных диодов от 0,155 Гбит/с до 40 Гбит/с

Ресурс работы СИДов составляет  $10^6$  часов  
= 41600 дней = 114 лет

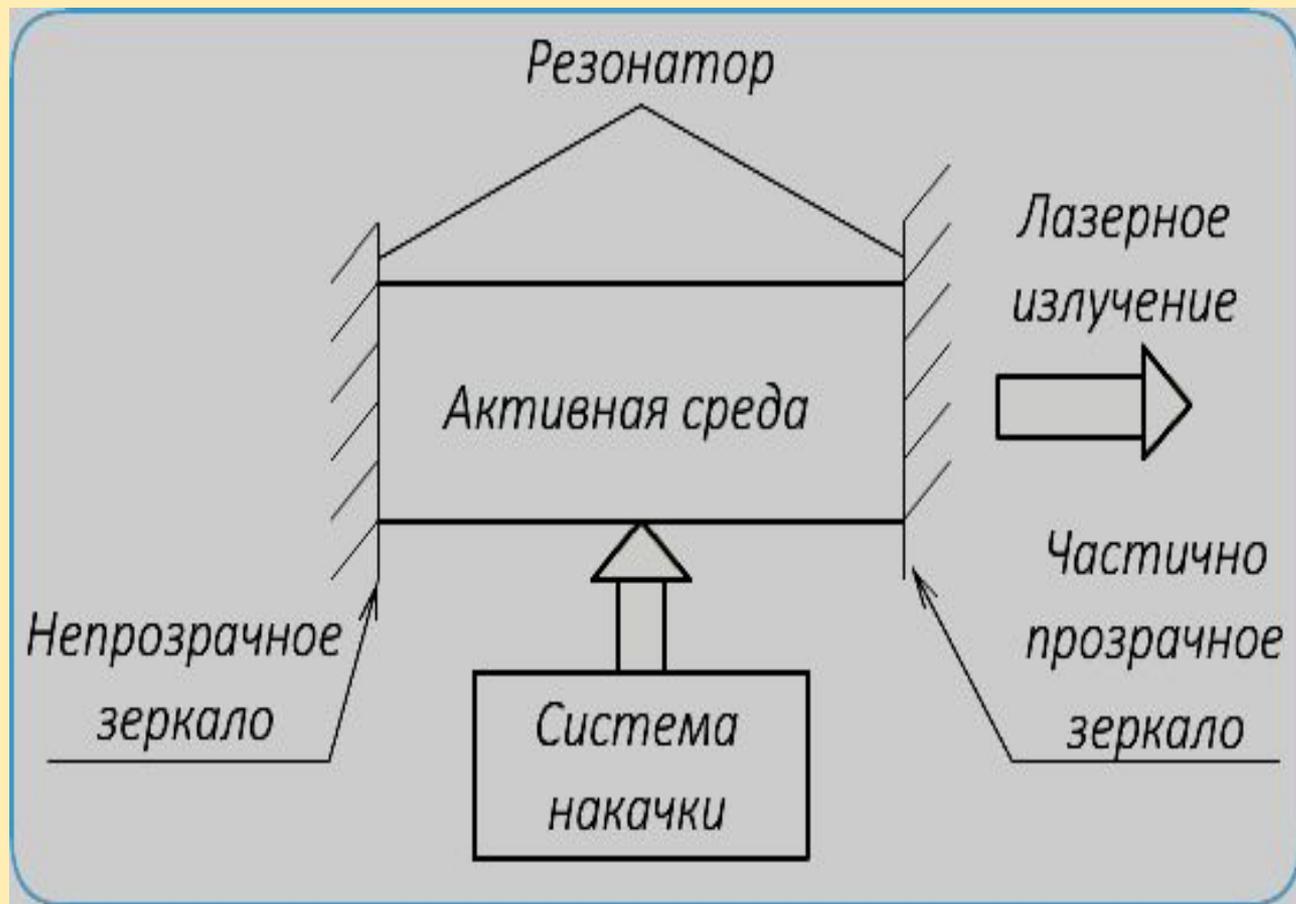
# Принцип действия лазера



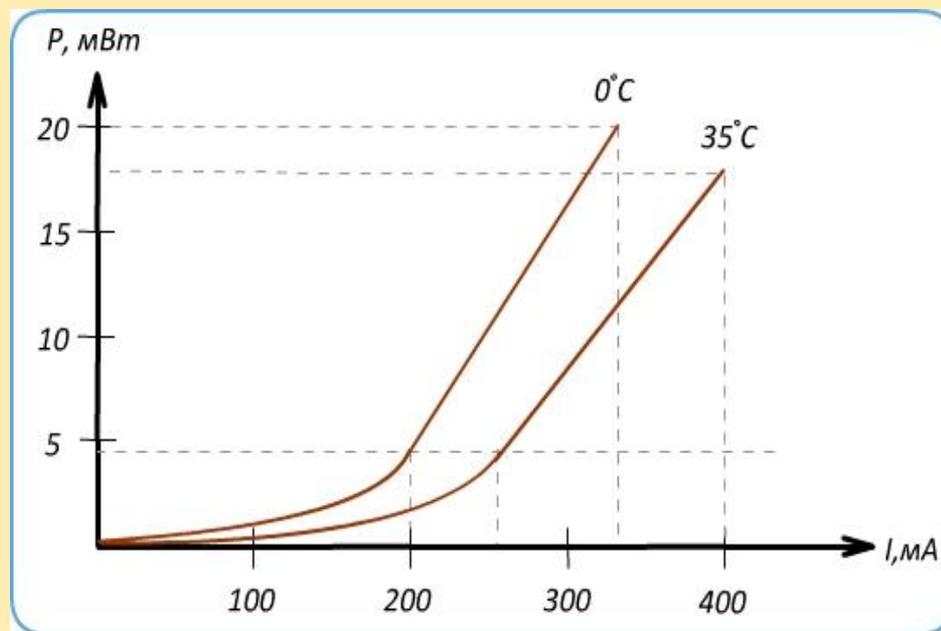
# Состав лазера

Лазер содержит три основных компонента:

- активную среду, в которой создают инверсию населенностей;
- устройство для создания инверсии населенностей (система накачки);
- оптический резонатор.



# Характеристики ЛД



Зависимость мощности излучения от тока накачки (ватт-амперная характеристика) при различных значениях температуры.

Диаграмма направленности (расходимость излучения) у лазерных источников излучения составляет от  $10^\circ$  до  $20^\circ$  .

Длиной волны излучения ЛД считается длина волны  $\lambda_0$ , на которой выходная мощность максимальна (см. слайд 15). Применяют лазеры с длиной волны 1300 нм и 1550 нм

Ширина линии на уровне половинной мощности в зависимости от типа резонатора составляет от 0,01 до 3 нм.

## Быстродействие

Скорость источника определяется временем нарастания и спада светового импульса.

Лазеры имеют время нарастания менее 1 нс. У СИД оно составляет несколько наносекунд.

Скорость передачи информации современных лазеров составляет 40 Гбит/с

Лазеры имеют ресурс работы порядка  $10^5$  –  $10^6$  часов