

ЭЛЕМЕНТЫ КВАНТОВОЙ БИОФИЗИКИ

Лекция 2.

**ФОТОБИОЛОГИЧЕС-
КИЕ ПРОЦЕССЫ.**

ЛАЗЕРЫ.

- 1. ПОНЯТИЕ И СТАДИИ
ФОТОБИОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ. ИХ ВИДЫ.**
- 2. ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ
РАБОТЫ ЛАЗЕРОВ.
СВОЙСТВА
ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.**

1. ПОНЯТИЕ И СТАДИИ ФОТОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В основе –

**БЕЗИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЙ
ПЕРЕХОД**

из возбужденного
состояния

в основное

ПУТЕМ ВСТУПЛЕНИЯ В
ХИМИЧЕСКИЕ
РЕАКЦИИ.

**ФОТОБИОЛОГИЧЕСКИЕ
(ФБ) -**

**ВСЕ ПРОЦЕССЫ
В БИОЛОГИЧЕСКИХ
СИСТЕМАХ,
ПРОИСХОДЯЩИЕ ПРИ
ПОГЛОЩЕНИИ
ЭНЕРГИИ СВЕТА
И ПРИВОДЯЩИЕ К
ИЗМЕНЕНИЮ ИХ
СТРУКТУРЫ И ФУНКЦИИ**

СТАДИИ ФБ ПРОЦЕССОВ

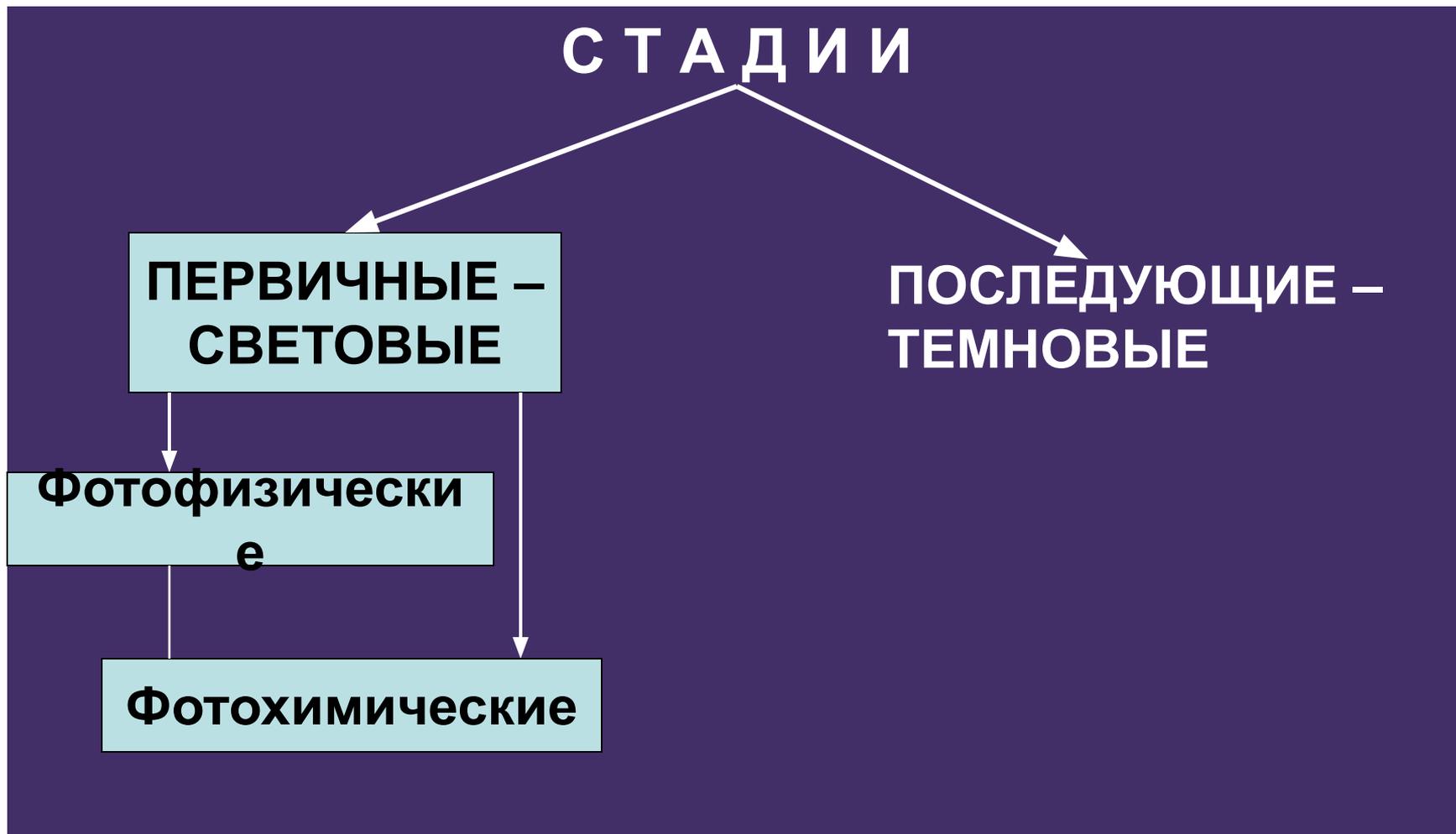
СТАДИИ

**ПЕРВИЧНЫЕ –
СВЕТОВЫЕ**

**ПОСЛЕДУЮЩИЕ –
ТЕМНОВЫЕ**

**Фотофизически
е**

Фотохимические



Фотофизическая и фотохимическая стадии

ФОТОФИЗИКА:

самый первый акт –
ПОГЛОЩЕНИЕ КВАНТА
СВЕТА,
ПЕРЕХОД В
ВОЗБУЖДЕННОЕ
СОСТОЯНИЕ.

ФОТОХИМИЯ:

ВСТУПЛЕНИЕ
ВОЗБУЖДЕННОЙ
МОЛЕКУЛЫ
В ХИМИЧЕСКИЕ
РЕАКЦИИ,
приводящие (через ряд
промежуточных этапов)
к образованию
УСТОЙЧИВЫХ
СОЕДИНЕНИЙ.

СВОБОДНЫЕ РАДИКАЛЫ

Обычные
промежуточные этапы
ф/х стадии –
ФОТОИОНИЗАЦИЯ
и образование
СВОБОДНЫХ
РАДИКАЛОВ.

$(RH^{\cdot})^{+}$ - ион-радикал

R^{\cdot} - нейтральный,

ROO^{\cdot} - перекисный
радикалы

Свободные радикалы –
очень активные,
чрезвычайно
реакционноспособные
соединения.

*Их определение
и роль в организме
рассмотрим позже.*

Первичные стадии

Содержание первичных стадий в целом:

ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭНЕРГИИ ФОТОНА

В ЭНЕРГИЮ ХИМИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ

**ПЕРВЫХ УСТОЙЧИВЫХ
ФОТОПРОДУКТОВ.**

Квантовый выход

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ
ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
ПОГЛОЩЕННОЙ
СВЕТОВОЙ ЭНЕРГИИ В
ХИМИЧЕСКУЮ
оценивается
*КВАНТОВЫМ ВЫХОДОМ.***

$$\phi = n / N.$$

n – число вступивших
в реакцию молекул,
N – число поглощенных
квантов

$$0 < \phi \leq 1.$$

**ОБЫЧНО КВАНТОВЫЙ
ВЫХОД ЗНАЧИТЕЛЬНО
МЕНЬШЕ ЕДИНИЦЫ,
ТАК КАК ЧАСТЬ
ПОГЛОЩЕННЫХ
КВАНТОВ
РАСТРАЧИВАЕТСЯ В
ТЕПЛО
ИЛИ ИДЕТ НА
ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЮ.**

ВИДЫ ФОТОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

СВЕТОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ
РАЗНОЙ ДЛИНЫ ВОЛНЫ
ПОГЛОЩАЕТСЯ РАЗНЫМИ
МОЛЕКУЛАМИ.



ОДНОТИПНЫЕ
ПЕРВИЧНЫЕ РЕАКЦИИ
РАЗВИВАЮТСЯ
В РАЗНЫХ СУБСТРАТАХ
И ПРИВОДЯТ
К РАЗЛИЧНОМУ
БИОЛОГИЧЕСКОМУ
ЭФФЕКТУ.

ТРИ ГРУППЫ ФБ
ПРОЦЕССОВ:

ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЕ

ФОТОРЕЦЕПТОРНЫЕ

ФОТОДЕСТРУКТИВНЫЕ

Виды ФБ процессов

1. ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЕ

ПРОЦЕССЫ СОЗДАНИЯ
НОВОЙ, ОБЫЧНО БОЛЕЕ
СЛОЖНОЙ СТРУКТУРЫ.

Примеры –
фотосинтез растений;
образование витамина Д
из провитамина,
синтез пигмента
меланина у животных.

2. ПРОЦЕССЫ

ФОТОРЕЦЕПЦИИ –
ПОЛУЧЕНИЕ ИНФОРМА-
ЦИИ ОБ ОКРУЖАЮЩЕЙ
СРЕДЕ
ЧЕРЕЗ ПОСРЕДСТВО
СВЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.

Наиболее
совершенный вид -
зрение позвоночных.

**3. ФОТОДЕСТРУКТИВНЫЕ
ПРОЦЕССЫ -
ПОРАЖЕНИЕ,
РАЗРУШЕНИЕ
СТРУКТУРЫ
(ПОД ВЛИЯНИЕМ
БОЛЬШИХ ПОРЦИЙ
СВЕТОВОЙ ЭНЕРГИИ).**

*Могут играть
как положительную
(разрушение
опухолей),
так и отрицательную
роль.*

Переходим

к лазерам

2. ПРИНЦИПЫ УСТРОЙСТВА И РАБОТЫ ЛАЗЕРОВ

ЛАЗЕРЫ –
ОПТИЧЕСКИЕ
КВАНТОВЫЕ
ГЕНЕРАТОРЫ (ОКГ).

В ОСНОВЕ –

ВЫНУЖДЕННАЯ
ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ.

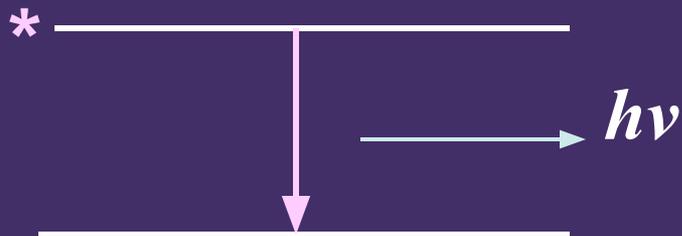
«Light Amplification by
Stimulated Emission of
Radiation» -

«Усиление света путем
вынужденного
излучения». - 1960 г.

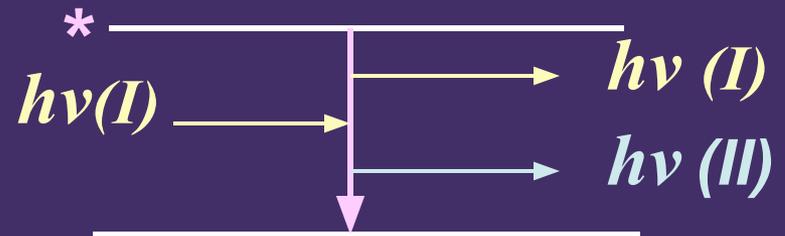
Но первым квантовым
генератором был мазер
– квантовый генератор
ЭМ волн СВЧ-
диапазона
(микроволн). – 1955 г.,
Басов, Прохоров и Таунс.

Спонтанная и вынужденная люминесценция

**СПОНТАННАЯ
ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ –
ПОСЛЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ
МОЛЕКУЛЫ
ИЗЛУЧЕНИЕ
ВОЗНИКАЕТ
САМОПРОИЗВОЛЬНО.**



**ВЫНУЖДЕННАЯ
ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ -
ИЗЛУЧЕНИЕ ВОЗНИКАЕТ
ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ
С ВОЗБУЖДЕННОЙ
ЧАСТИЦЕЙ
НОВОГО ФОТОНА.**



Оптический квантовый усилитель

В РЕЗУЛЬТАТЕ
ВЫНУЖДЕННОГО КВАНТОВОГО ПЕРЕХОДА
ОТ ЧАСТИЦЫ В ОДНОМ И ТОМ ЖЕ НАПРАВЛЕНИИ
РАСПРОСТРАНЯЮТСЯ ДВА ОДИНАКОВЫХ ФОТОНА –

- ПЕРВИЧНЫЙ, ВЫНУЖДАЮЩИЙ,
- И ВТОРИЧНЫЙ, ВНОВЬ ИСПУЩЕННЫЙ.

ВСТРЕЧА КАЖДОГО
С ВОЗБУЖДЕННОЙ
ЧАСТИЦЕЙ



4 ОДИНАКОВЫХ ФОТОНА



8



16

и т.д. -

ЛАВИНООБРАЗНОЕ
НАРАСТАНИЕ

числа фотонов



УСИЛЕНИЕ СВЕТА ПРИ ЕГО
ПРОХОЖДЕНИИ ЧЕРЕЗ
СИСТЕМУ

Условия реализации ОКУ

**СИСТЕМА –
ОПТИЧЕСКИЙ
КВАНТОВЫЙ
УСИЛИТЕЛЬ.**

УСЛОВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ :

- 1. ИНВЕРСНАЯ
(ПРОТИВОПОЛОЖНАЯ
НОРМАЛЬНОЙ)
ЗАСЕЛЕННОСТЬ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
УРОВНЕЙ.**

**ПРОЦЕСС ВОЗБУЖДЕНИЯ
ВЕЩЕСТВА С ЦЕЛЮ
СОЗДАНИЯ ИНВЕРСИИ
НАСЕЛЕННОСТЕЙ –**

НАКАЧКА:

**ОПТИЧЕСКАЯ,
ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ,
ХИМИЧЕСКАЯ.**

- 2. МЕТАСТАБИЛЬНОЕ
ВОЗБУЖДЕННОЕ
СОСТОЯНИЕ**

Пояснения

В обычном состоянии вещества большинство его молекул находится в основном состоянии.

В этом случае вероятность встречи фотона с уже возбужденной частицей мала.

Для увеличения этой вероятности необходимо:

- увеличить число возбужденных частиц путем сообщения системе большого количества энергии;**
- добиться того, чтобы возбужденное состояние было сравнительно устойчивым, долгоживущим – метастабильным.**

Преобразование ОКУ в ОКГ

3. ДЛЯ ПРЕВРАЩЕНИЯ
ПРОЦЕССА УСИЛЕНИЯ В
ПРОЦЕСС ГЕНЕРАЦИИ-
ПОЛОЖИТЕЛЬНАЯ
ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ.

В ЛАЗЕРАХ –
С ПОМОЩЬЮ
ОПТИЧЕСКОГО
РЕЗОНАТОРА:

это ДВА ЗЕРКАЛА,
СПЛОШНОЕ И
ПОЛУПРОЗРАЧНОЕ.

ЯЧЕЙКА С АКТИВНЫМ
ВЕЩЕСТВОМ -
МЕЖДУ НИМИ.

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ЛАЗЕРА

спл



п/пр



А В

С
Н

Принципиальная схема лазера

АВ – активное вещество, в котором происходит вынужденная люминесценция.

СН – система накачки.

Слева и справа от ячейки с АВ – зеркала.

Вынужденно испущенные АВ фотоны многократно отражаются от зеркал и повторяют свой путь в веществе.

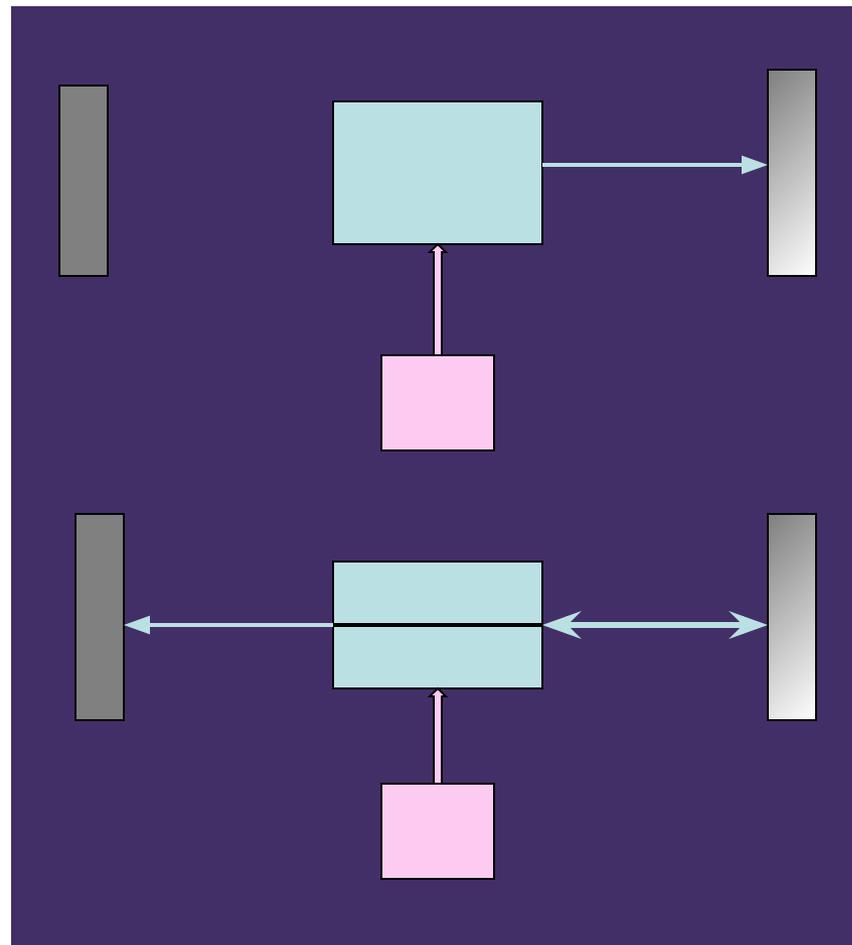
При этом число их встреч с возбужденными частицами увеличивается



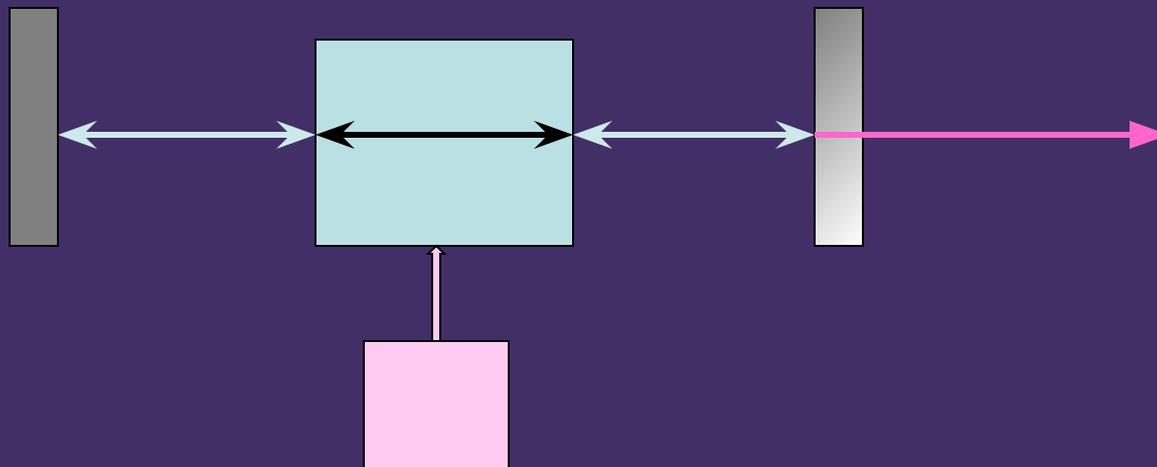
появляются все новые фотоны, интенсивность люминесценции растет.

Принцип работы лазера

Когда интенсивность
вынужденной
люминесценции
достигает критической
величины,
излучение выходит
наружу
через полупрозрачное
зеркало.



Принцип работы лазера



ВИДЫ ЛАЗЕРОВ

ЛАЗЕРЫ РАЗЛИЧАЮТСЯ:

- 1) **ПО ИСПОЛЬЗУЕМОМУ АКТИВНОМУ ВЕЩЕСТВУ;**
- 2) **ПО РЕЖИМУ РАБОТЫ;**
- 3) **ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ ИЗЛУЧЕНИЯ –**
МОЩНОСТИ,
ДЛИТЕЛЬНОСТИ,
ДЛИНЕ ВОЛНЫ,
КОЭФИЦИЕНТУ
ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ.

(1)

Существуют лазеры:

- **ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ:**
АВ – стекла
с примесью кристаллов
(пример - рубиновый)
 - **ЖИДКОСТНЫЕ**
 - **ГАЗОВЫЕ (пример -**
гелий-неоновый)
 - **ПОЛУПРОВОДНИ-**
КОВЫЕ
- и некоторые другие.**

ВИДЫ ЛАЗЕРОВ

(2) РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЛАЗЕРОВ:

- СТАЦИОНАРНЫЙ
 - ИМПУЛЬСНЫЙ
СВОБОДНОЙ
ГЕНЕРАЦИИ
 - ГИГАНТСКИХ
ИМПУЛЬСОВ
- (короткие, но очень
мощные – получаются
при управлении
потерями энергии в АВ)

(3) *КОЭФФИЦИЕНТ
ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ*
показывает, какая
часть энергии накачки
непосредственно
преобразуется в
энергию лазерного
излучения.

Из названных лазеров
наибольший к.п.д.
имеют
полупроводниковые.

СВОЙСТВА ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

- ❖ **МОНОХРОМАТИЧНОСТЬ**
- ❖ **КОГЕРЕНТНОСТЬ**
- ❖ **СТРОГАЯ НАПРАВЛЕННОСТЬ (пучок почти параллельный)**
- ❖ **БОЛЬШАЯ МОЩНОСТЬ**

Монохроматичность – одинаковая длина волны. – Позволяет облучать селективно данное вещество.

Когерентность – одинаковая фаза и частота колебаний.

Строгая направленность. – Локальное действие.

Мощность. – Применение в хирургии.