

**Тема: Рентгеновское излучение.
Элементы квантовой биофизики.**

лекция № 8

для студентов 1 курса, обучающихся по специальности
31.05.01 – Лечебное дело

К.п.н., доцент Шилина Н.Г.
Красноярск, 2020

Цель лекции:

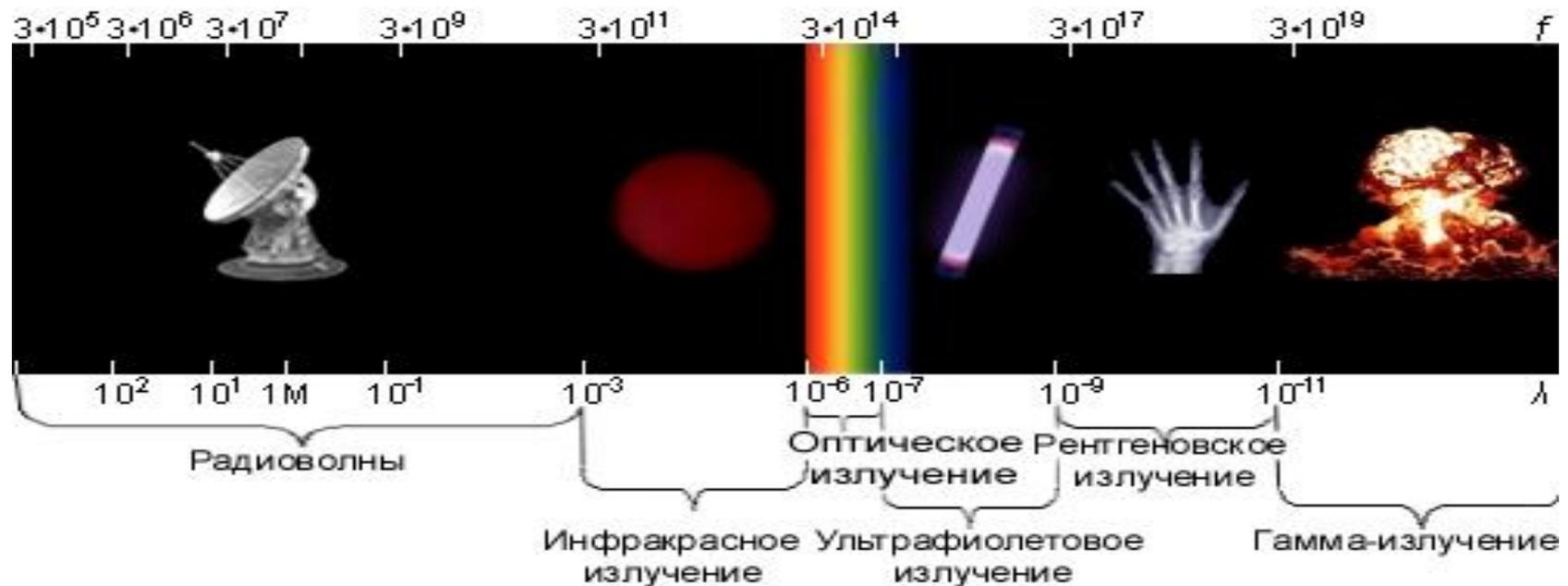
Ознакомить обучающихся с:

- понятием рентгеновского излучения и способами его получения
- механизмами взаимодействия рентгеновского излучения с веществом и использованием его в медицине
- строением лазеров и их применением в медицине

План лекции:

1. Виды рентгеновского излучения и способы его получения.
2. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом.
3. Применение рентгеновского излучения в медицине.
4. Лазер.

Рентгеновское излучение - электромагнитные волны с длиной от 80 до 10^{-5} нм.

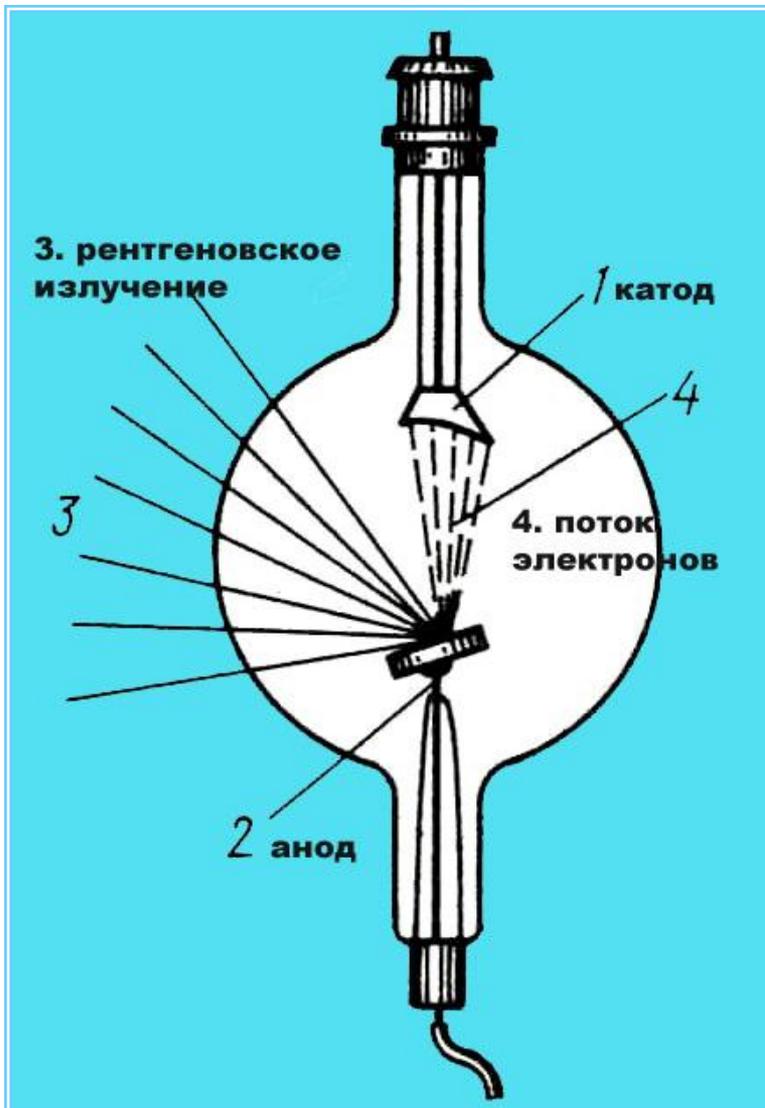


Первый в истории рентгеновский снимок



Был сделан в 1895 г.
К. Рентгеном.

Рентгеновская трубка

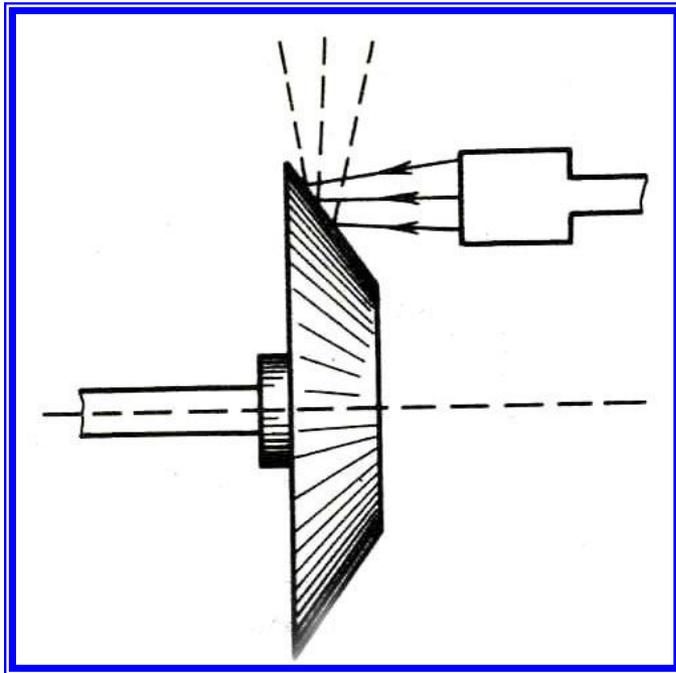


РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

ТОРМОЗНОЕ

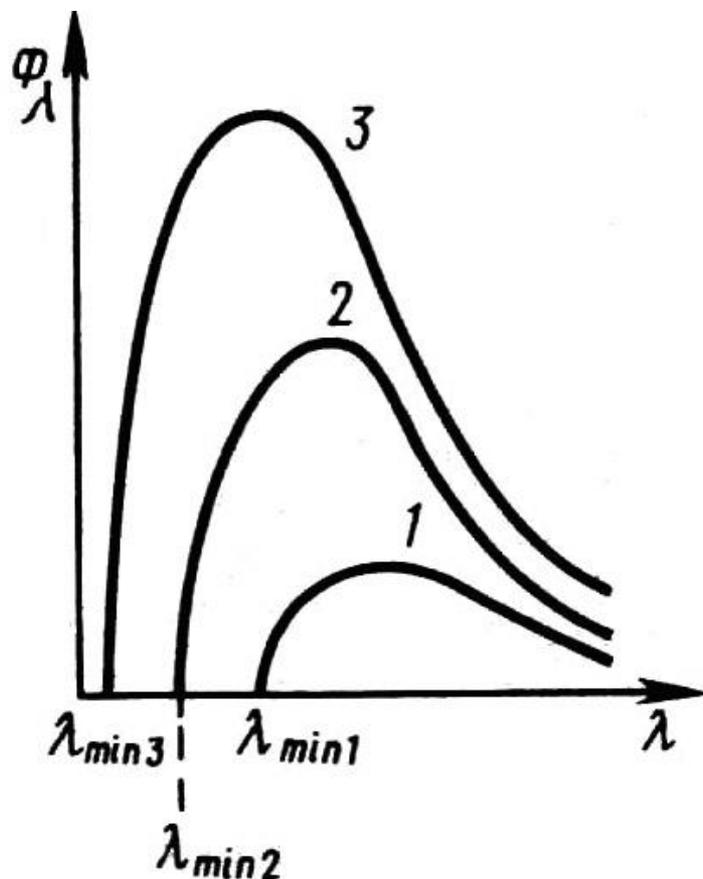
ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОЕ

Вращающийся анод



В рентгеновское излучение превращается примерно 5%, остальная энергия выделяется в виде тепла. Поэтому анод изготавливается из тугоплавкого материала.

Спектр тормозного рентгеновского излучения ($U_1 < U_2 < U_3$)



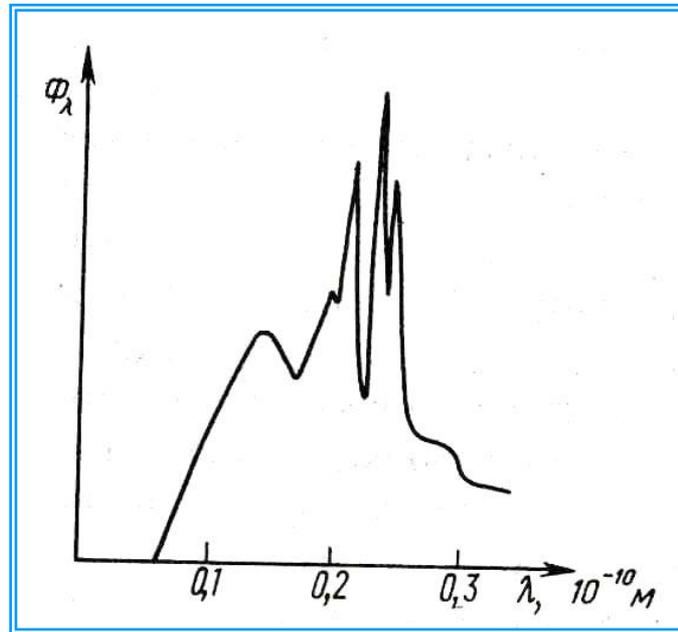
$$eU = h \cdot \nu_{\max} = hc / \lambda_{\min};$$

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{eU} \quad \lambda_{\min} = \frac{12,3}{U}$$

**$\Phi = kIU^2Z$ – ПОТОК
рентгеновского
излучения
 $k=10^{-9} \text{ В}^{-1}$**

Спектр характеристического рентгеновского излучения

$$\sqrt{\nu} = A(Z - B)$$



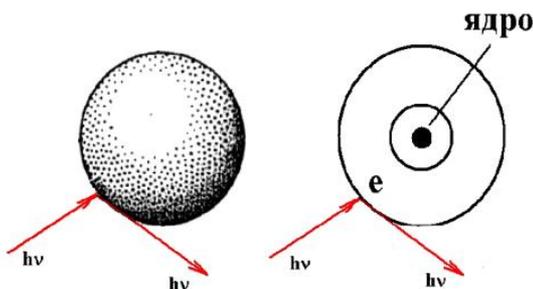
Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом

Когерентное
рассеяние

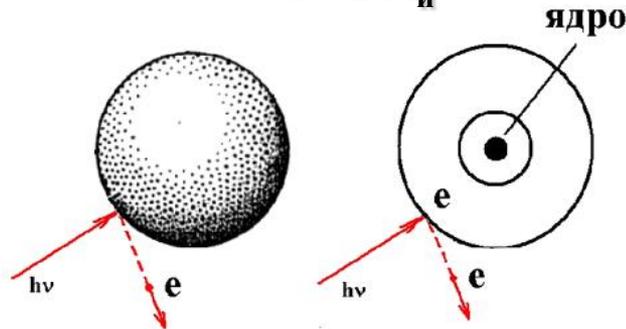
Фотоэффект

Некогерентное
рассеяние

$$h\nu < A_{и}$$



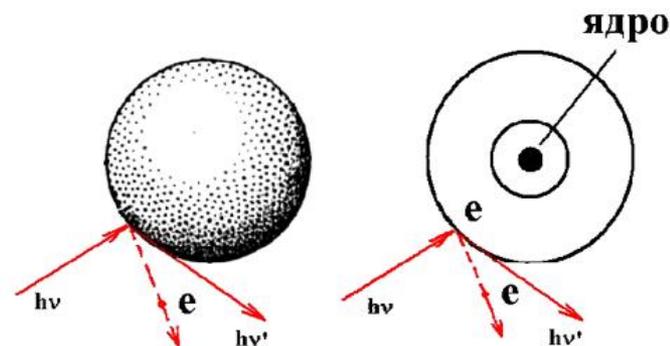
$$h\nu \geq A_{и}$$



$$h\nu = A_{\nu} + E_k -$$

уравнение
Эйнштейна

$$h\nu \gg A_{и}$$



$$h\nu = A_{\nu} + E_k + h\nu'$$

– уравнение
Комптона

Закон ослабления рентгеновского излучения

$$\Phi = \Phi_0 e^{-\mu x}$$

μ —

Линейный коэффициент ослабления

$$\mu = \mu_k + \mu_{нк} + \mu_f$$

Линейный коэффициент ослабления

μ_m —

Массовый коэффициент ослабления

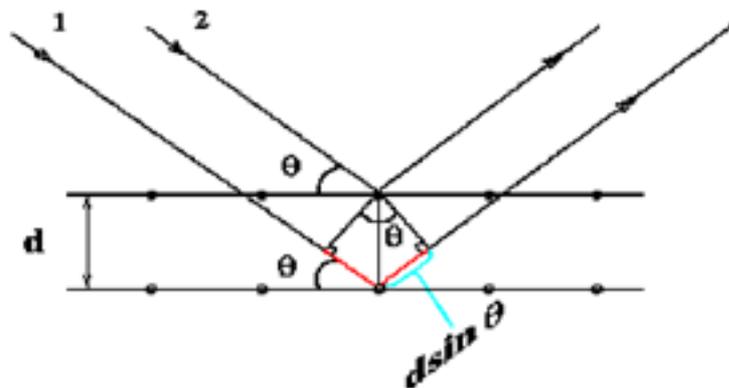
$$\mu_m = \mu / \rho$$

Не зависит от плотности вещества

$$\mu_{m \text{ кости}} / \mu_{m \text{ воды}} = 68$$

Дифракция рентгеновских лучей

Формула Вульфа-Брэггов:



$$2d\sin\theta = k\lambda$$

где d — межплоскостное расстояние в кристалле,

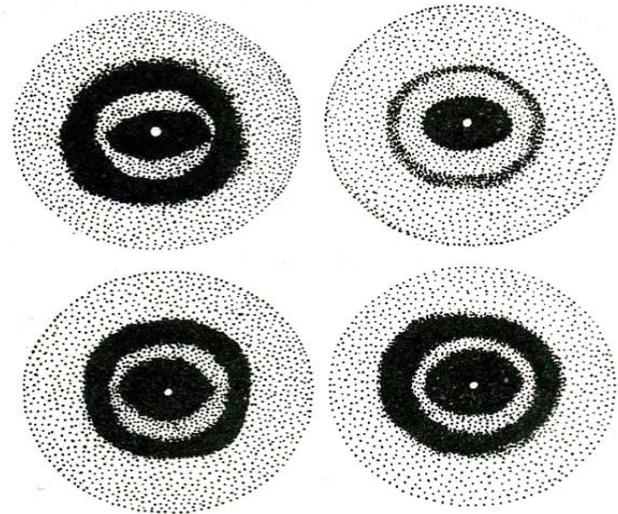
θ — угол между плоскостью кристалла и падающим рентгеновским лучом (угол скольжения),

λ — длина волны рентгеновского излучения.

Рентгеноструктурный анализ

метод определения структуры вещества по исследованию закономерностей дифракции рентгеновского излучения на изучаемых образцах.

Рентгенограмма белков



Защита от излучения

1) временем

2) расстоянием

Для минимизации поражающего действия необходимо находиться, как можно дальше от источника излучения и по возможности меньшее время. Если это невыполнимо, то необходима защита

3) материалом

(бетон толщиной 1-2 м, свинец 1-2 см)
в рентгеновских кабинетах часто используют резиновый просвинцованный фартук.

Рентгенодиагностика (до 120 кэВ)

Рентгенография

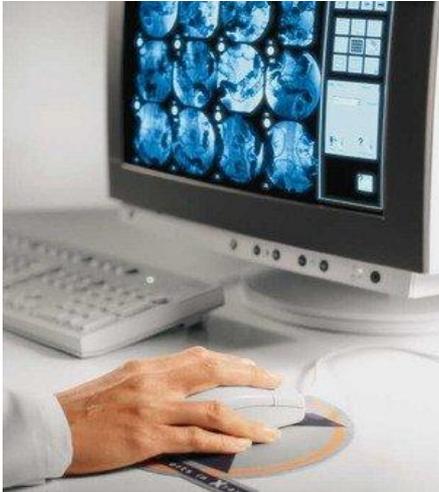
Изображение на фотопленке

Рентгеноскопия

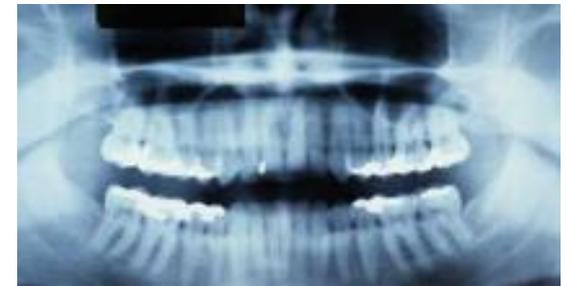
Изображение на
рентгенолюминесцирующем
экране

Рентгенотерапия
150-200 кэВ

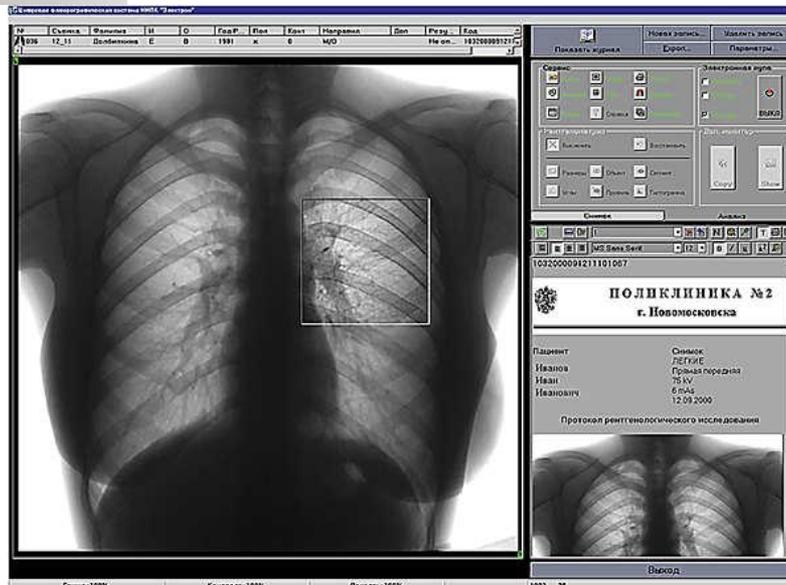
Цифровая рентгенография



Аппарат для цифровой рентгенографии

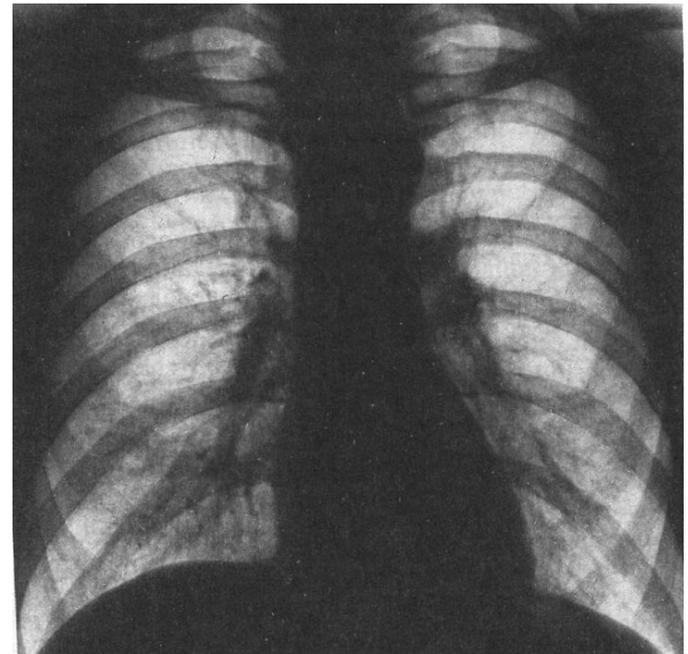


Рентгенограмма челюсти



Цифровая рентгенограмма

Флюорография



Рентгеноскопия, рентгенография

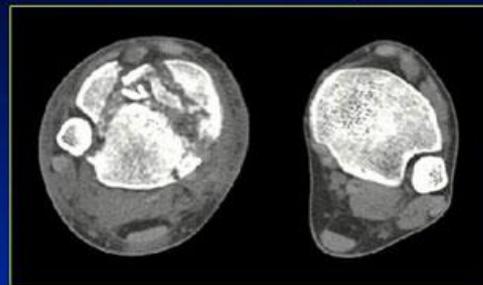


Рентгеновская томография – послойное изображение органов и тканей



КТ ГОЛЕНОСТОПНОГО СУСТАВА

(перелом большеберцовой и малоберцовой костей)



ПЕРВИЧНЫЕ ПРОЦЕССЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ:

1. Ионизация и возбуждение
2. Увеличение скорости молекулярно-кинетического движения
3. Характеристическое рентгеновское излучение
4. Радиолюминесценция
5. Химические процессы.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ

Количественные оценки взаимодействия

Линейная плотность
ионизации

Линейная тормозная
способность

Средний линейный
пробег

Линейная плотность ионизации

- это отношение ионов одного знака, dn образованных заряженной ионизирующей частицей на элементарном пути dL , к длине этого пути. $I = dn/dL$

Линейная тормозная способность

- это отношение энергии dE , теряемой заряженной ионизирующей частицей при прохождении элементарного пути dL , к длине этого пути. $S = dE/dL$

Средний линейный пробег

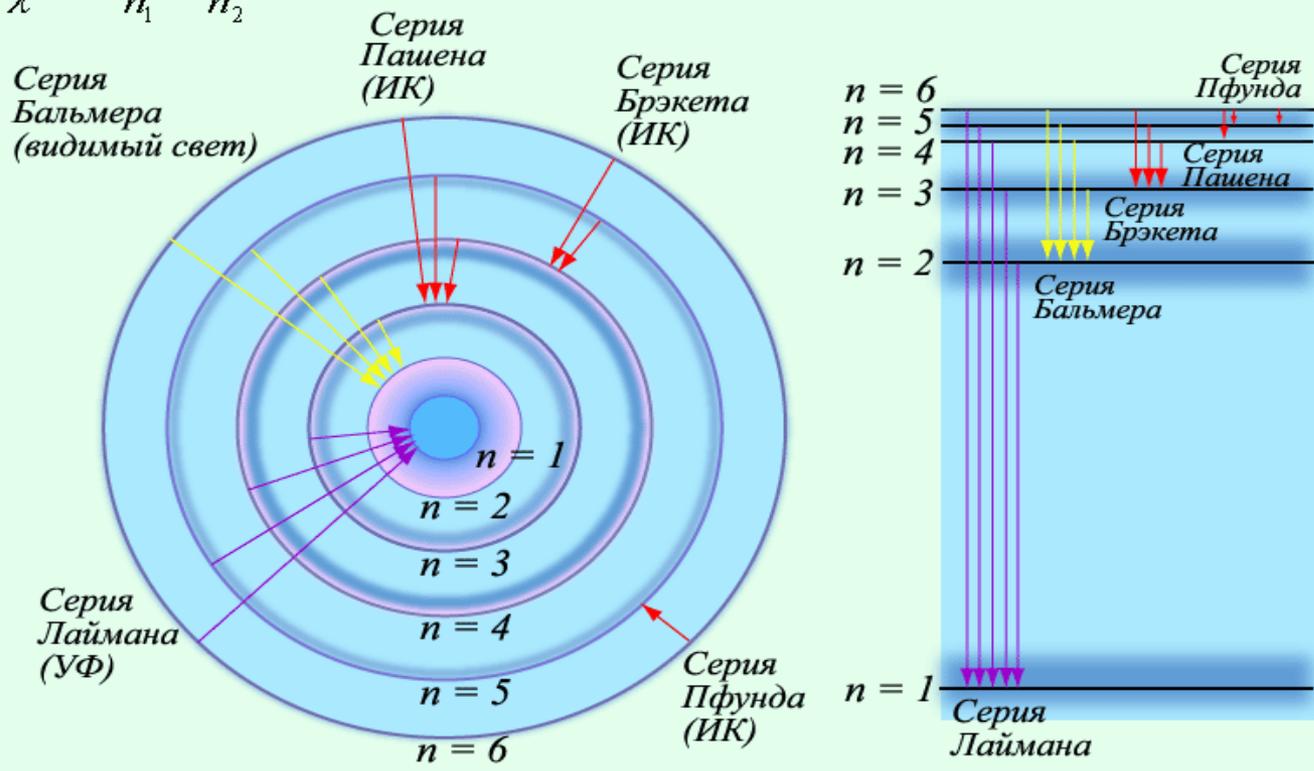
– это расстояние, которое ионизирующая частица проходит в веществе без столкновения. R

Постулаты Бора

- Внутренняя энергия атома квантована, она может принимать только определенные значения ($h\nu$). Если электрон находится на разрешенных орбитах, атом **не** излучает и **не** поглощает энергию. Такое состояние атома называется **стационарным**.

Атом Бора

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right), \text{ формула Бальмера. } R = 1.097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1} - \text{постоянная Ридберга}$$



Постулаты Бора

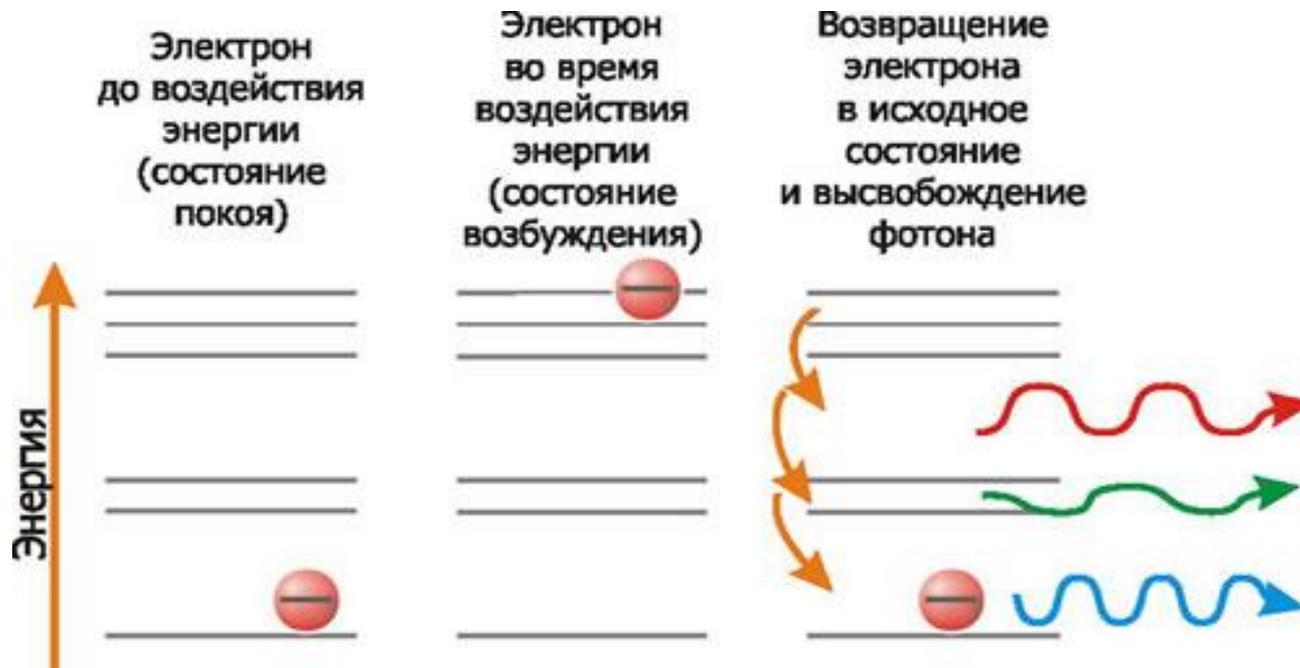
- При переходе с одной разрешенной орбиты на другую атом излучает (поглощает) энергию, причем энергия кванта равна разности энергий разрешенных уровней:

$$h\nu = E_1 - E_2$$

Постулаты Бора

Время жизни атома в основном состоянии не ограничено.

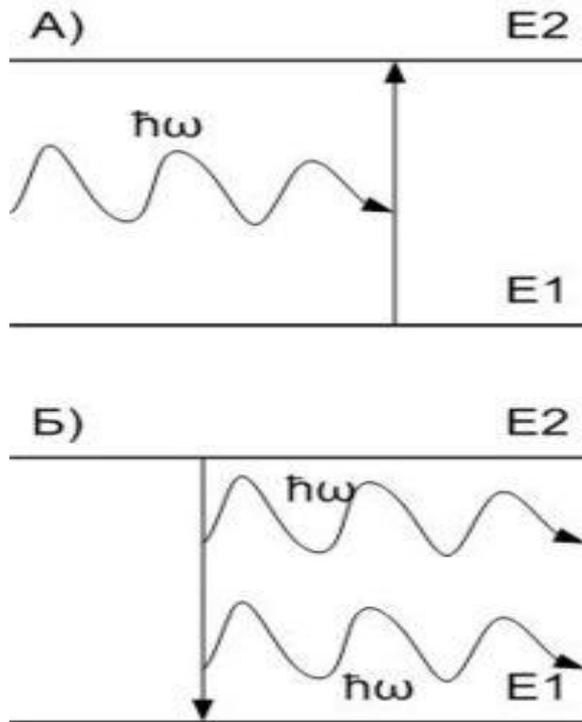
Время жизни атома в возбужденном состоянии $10^{-8} c$.



Спонтанное излучение

- Из возбужденного состояния атом может **спонтанно** (самопроизвольно) перейти в состояние с меньшей энергией, испуская при этом фотон с энергией равной разности энергий этих состояний.
- Если на атом, находящийся в возбужденном состоянии, действует внешнее излучение с энергией, равной разности энергии атома в основном и возбужденном состоянии, возникает **вынужденный** (индуцированный) переход в основное состояние с излучением фотона той же энергии

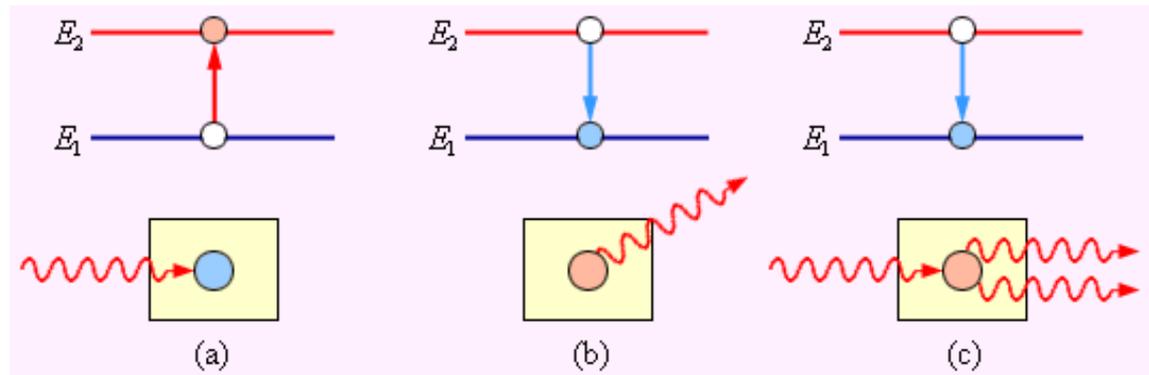
Вынужденное излучение



Схематическое изображение двух процессов:
А) поглощение
Б) вынужденное испускание

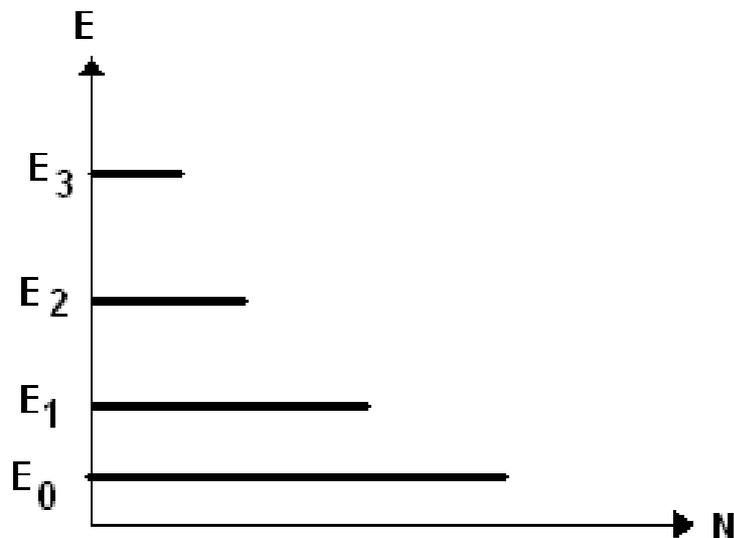
Вторичные фотоны неотличимы от первичных фотонов.
Они имеют такие же:

- частоту
- фазу
- поляризацию
- направление распространения.



Распределение электронов по энергетическим уровням

- В состоянии термодинамического равновесия определяется распределением Больцмана:



$$N_i = N_0 e^{-\frac{E_i}{kT}}$$

$E_{0, 1, 2, 3}$ - энергия атомов на соответствующем уровне.

Оптический квантовый генератор

Лазер

(аббревиатура от английского названия **Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation** — усиление света с помощью вынужденного излучения).

(создан Мейманом в **1960г.**)

Инверсная населенность

такое состояние среды, при котором число атомов на одном из **верхних** уровней **больше**, чем на **нижнем**.

Состояние с инверсной населенностью можно создать, используя разные методы накачки.

- *Активная среда* — среда, приведенная в состояние с инверсной населенностью.

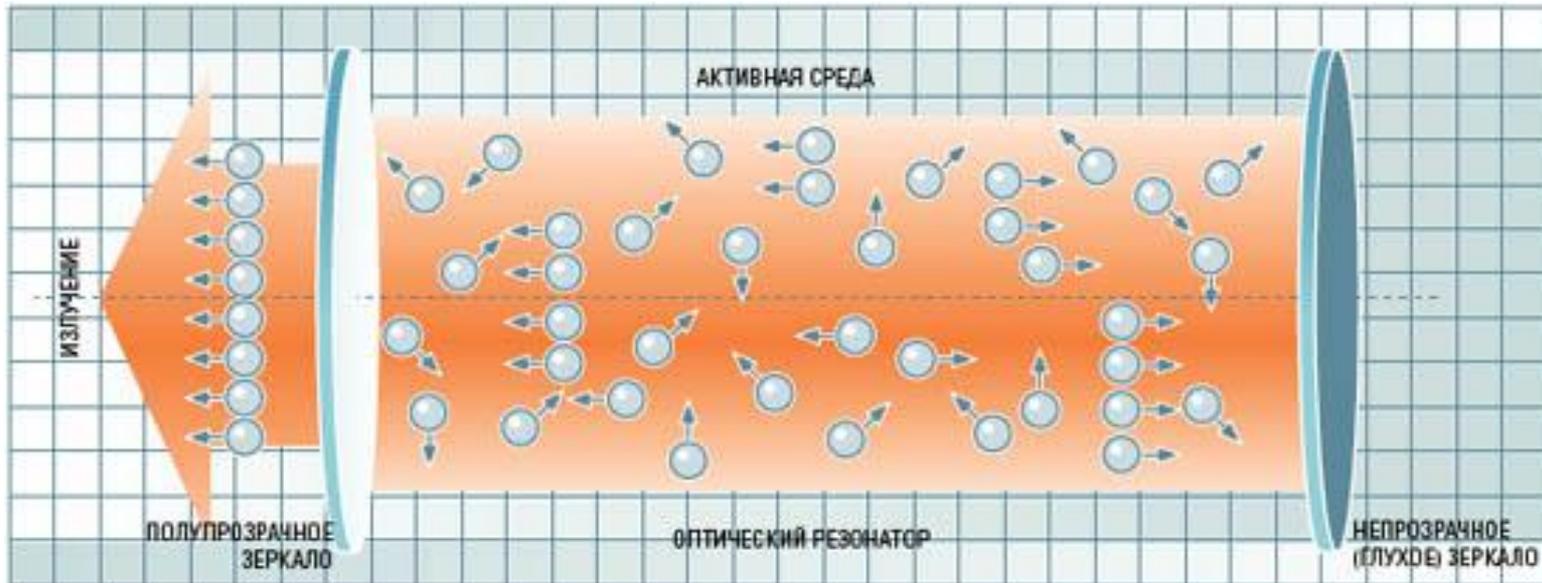
Система накачки

Процесс создания состояния с инверсной населенностью называется **накачкой**.

Накачка может быть **непрерывной** или **импульсной**.

1. **Оптическая** накачка прозрачных активных сред использует импульсы света от внешнего источника.
2. **Электроразрядная** накачка – возбуждение газовой среды электрическим разрядом.
3. **Инжекционная** накачка полупроводниковых активных сред использует электрический ток
4. **Химическая** накачка активной среды из смеси газов использует энергию химической реакции между компонентами смеси.

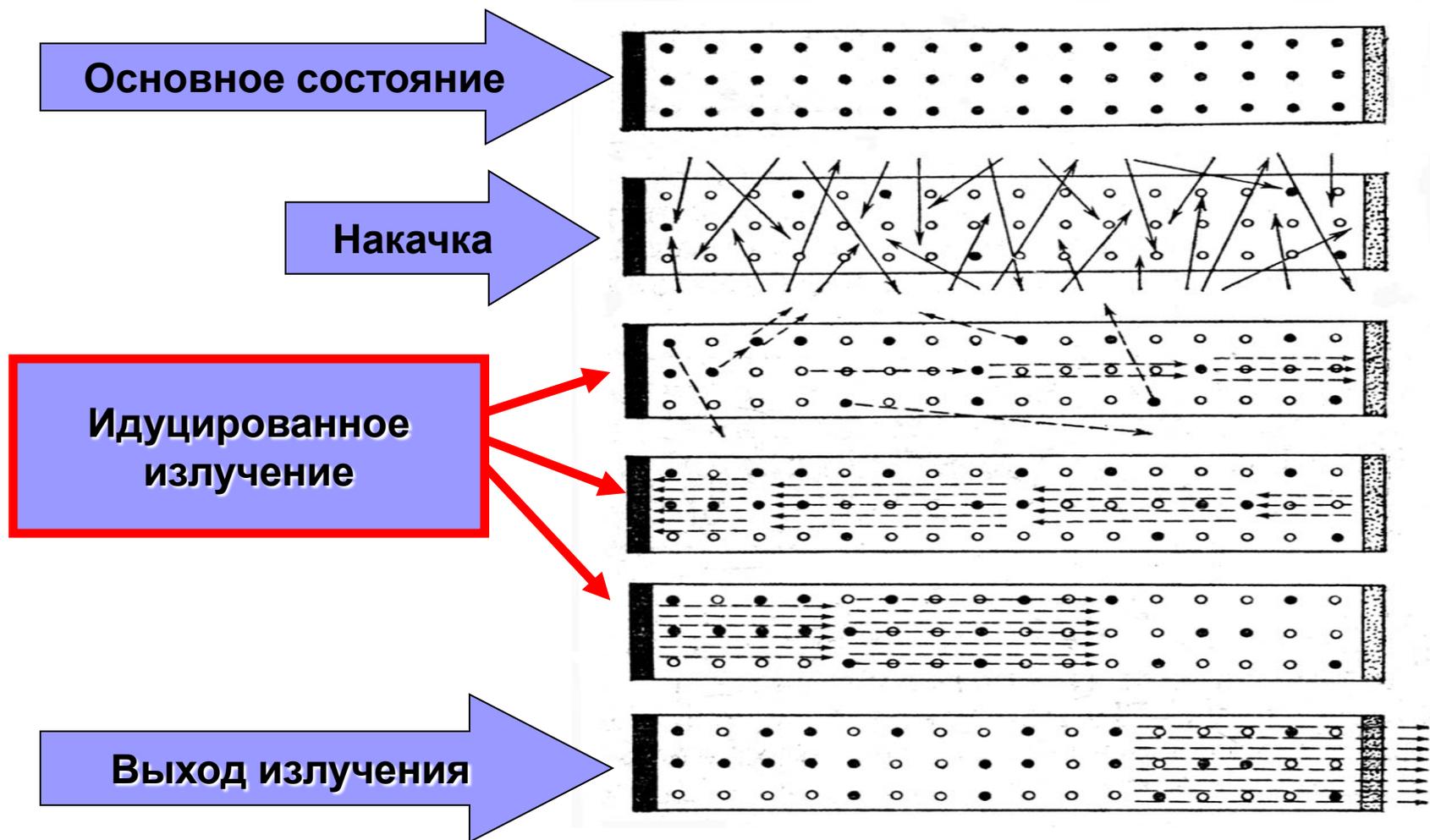
Принципиальная схема лазера

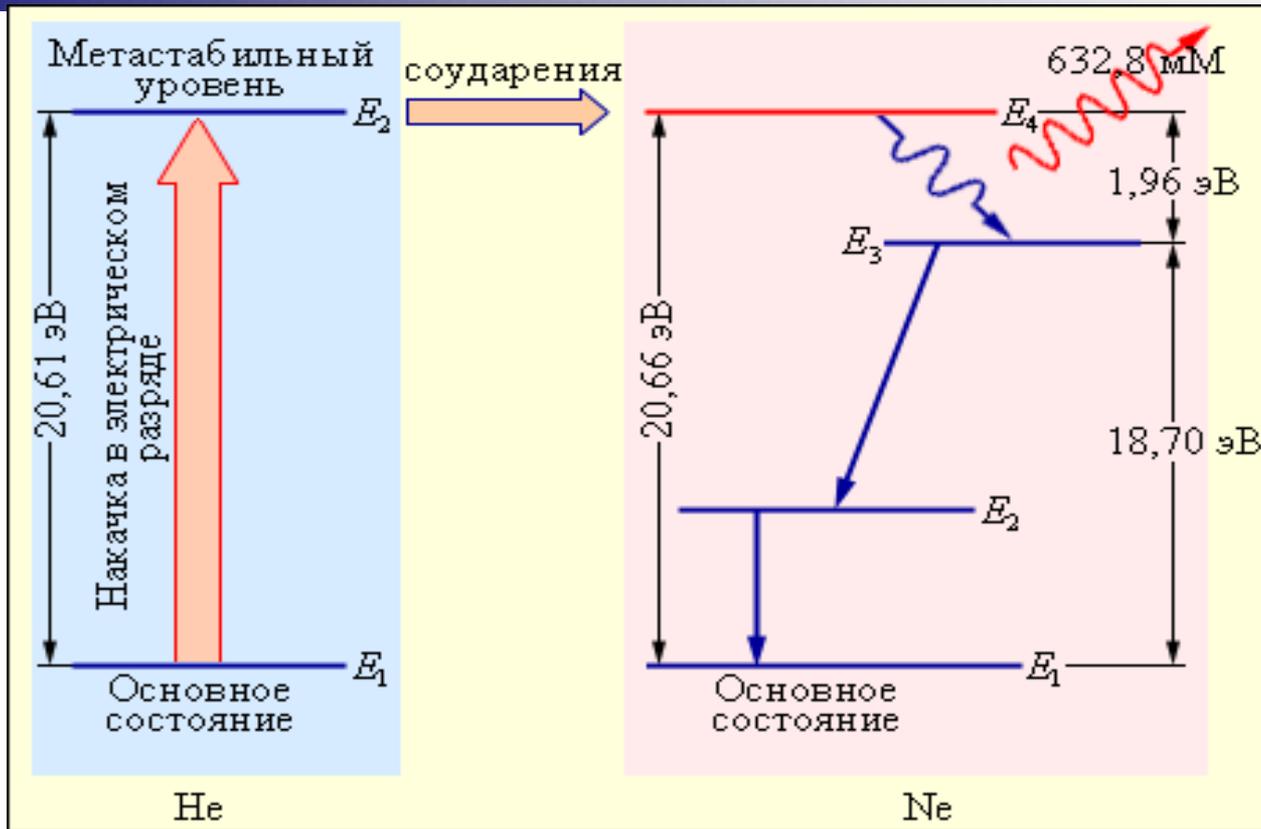


Основные компоненты лазера:

- 1. активная среда**
- 2. система накачки**
- 3. оптический резонатор**

Этапы процесса генерации излучения в лазерах

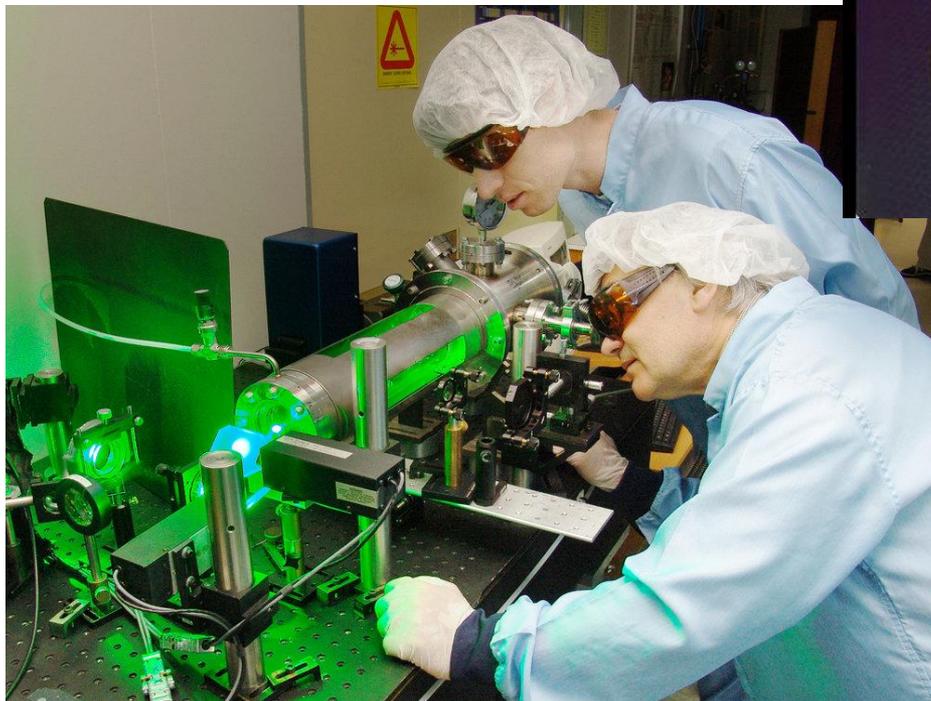
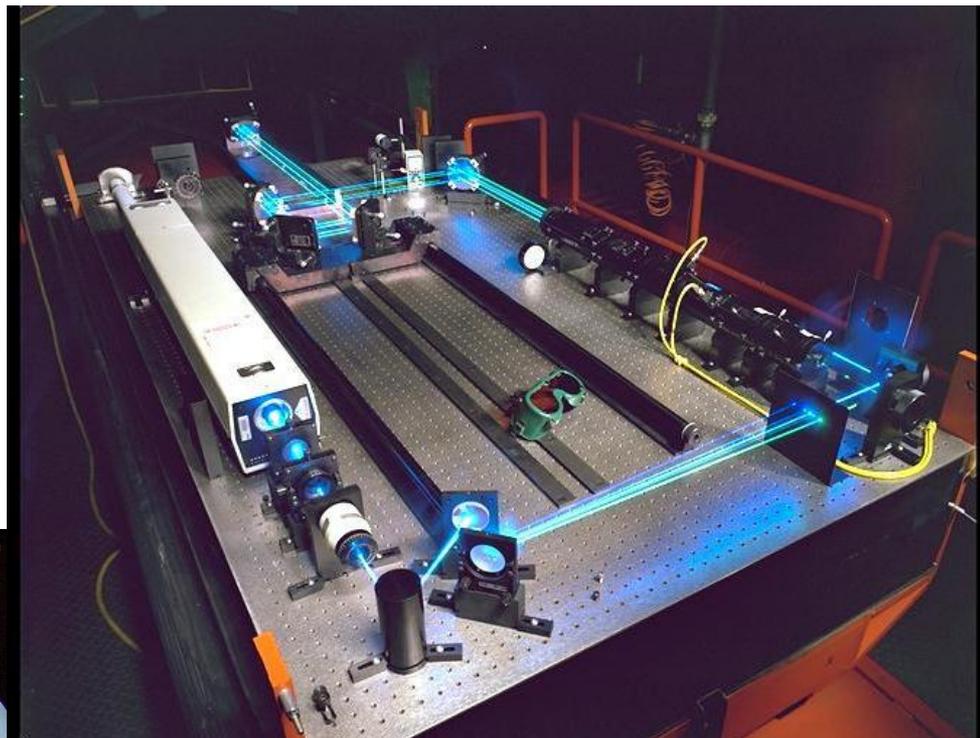




Система накачки переводит частицы с **основного** уровня E_1 на **поглощательный** уровень E_3 , откуда они безызлучательно переходят на **метастабильный уровень** E_2 , создавая его инверсную населенность. После этого начинаются спонтанные излучательные переходы $E_2 \rightarrow E_1$ с испусканием монохроматических фотонов.

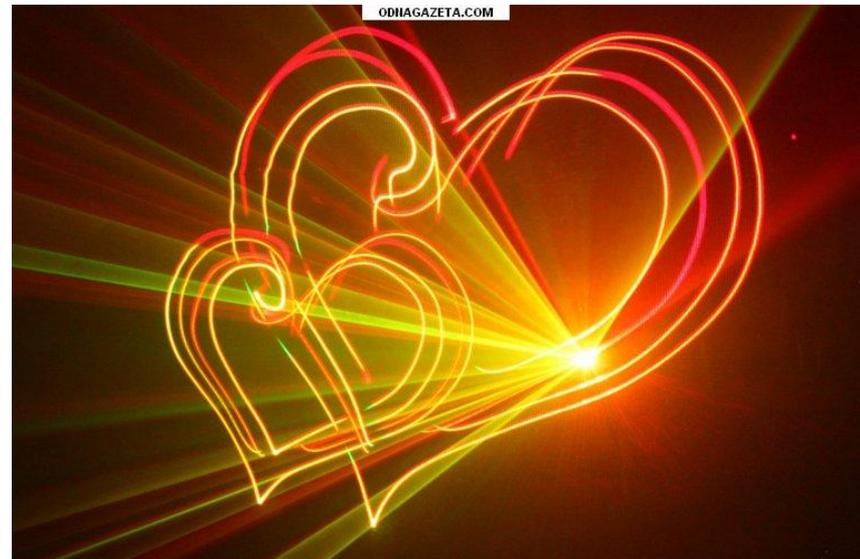
Типы лазеров

- Газовые
- Твердотельные
- Жидкостные
- Полупроводниковые



Особенности лазерного излучения

- Высококогерентность
- Монохроматичность
- Высокая интенсивность
 $10^{14}-10^{16}$ Вт/см²
- Высокая яркость
 10^{15} кд/м²
яркость Солнца 10^9 кд/м²
- Давление
- Коллимированность (1')
- Поляризованность



Характеристики лазерного излучения, применяемого в медицине

- Длины волн излучения медицинских лазеров лежат в диапазоне **0,2 – 10 мкм.**
- Мощность излучения варьируется в широких пределах, определяемых целями применения.
У лазеров с непрерывной накачкой **0,01–100 Вт.**
Для хирургических лазеров **$10^3–10^8$ Вт,** а длительность импульса **$10^{-9}–10^{-3}$ с.**
- Энергия излучения в импульсе для хирургических лазеров **0,1-10 Дж.**
- Частота следования импульсов для терапевтических лазеров **10-3000 Гц,** для хирургических **1-100 Гц.**

Взаимодействие лазерного излучения с биообъектами

- **невозмущающее воздействие** (не оказывающее заметного действия на биообъект)
- **фотохимическое действие** (возбужденная лазером частица либо сама принимает участие в соответствующих химических реакциях, либо передает свое возбуждение другой частице, участвующей в химической реакции)
- **фоторазрушение** (за счет выделения тепла или ударных волн).

Использование лазерного излучения в медицине

Диагностика:

- интерферометрия дает информацию о поверхности биообъекта
- голография позволяет получать объемные изображения внутренних полостей желудка, глаза и т.д.
- метод нефелометрии позволяет определять размеры частиц среды (от 0,02 до 300 мкм) и степень их деформации
- эффект Доплера позволяет измерить скорость кровотока в сосудах, подвижность бактерий и т.д.

Использование лазерного излучения в медицине

- **Терапия:**

- терапия с помощью красного света.

Излучение He-Ne лазера с длиной волны 632,8 нм используется с противовоспалительной целью для лечения ран, язв, ишемической болезни сердца.

- терапия с помощью синего света.

Лазерное излучение с длиной волны в синей области видимого света используется, например, для лечения желтухи новорожденных.

- лазерофизиотерапия – использование лазерного излучения при сочетании с различными методами электрофизиотерапии.

Использование лазерного излучения в медицине

Фотодинамическая терапия опухолей (длина волны 600-850нм)

- Разрушение опухолей при ФДТ основано на трех эффектах:
прямое фотохимическое уничтожение клеток опухоли
- повреждение кровеносных сосудов опухоли, приводящее к ишемии и гибели опухоли
- возникновение воспалительной реакции, мобилизирующей противоопухолевую иммунную защиту тканей организма.

Фотодинамическая терапия применяется при лечении опухолей кожи, внутренних органов: легких, пищевода. К внутренним органам излучение доставляется с помощью световодов.

Использование лазерного излучения в медицине

Хирургия:

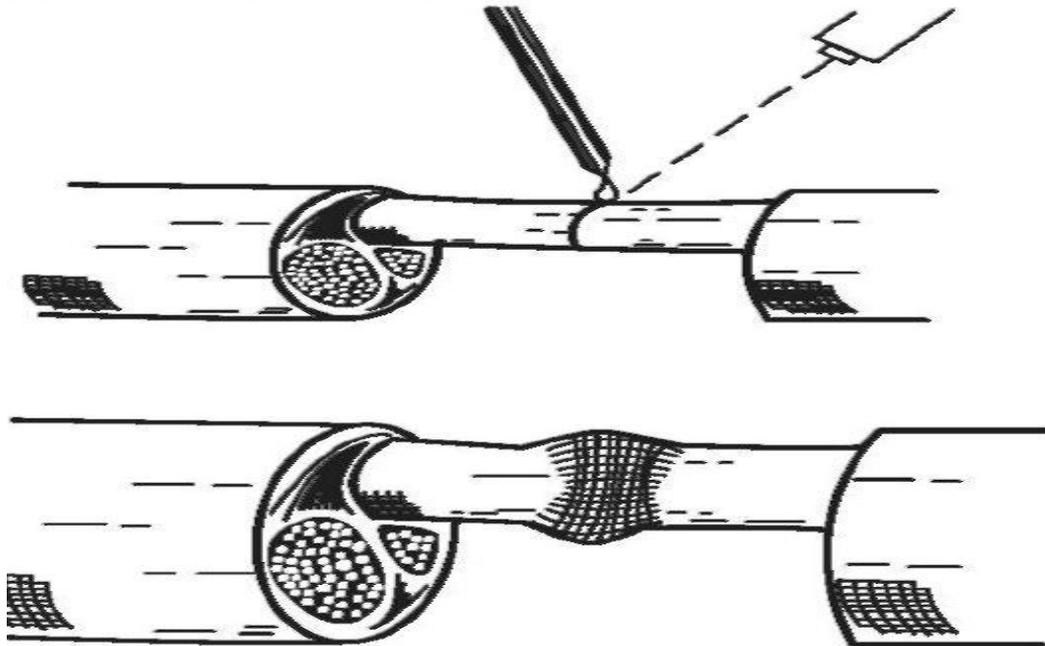
Лазеры используются для рассечения тканей, удаления патологических участков, остановки кровотечения, сваривания биотканей.

Преимущества лазерной хирургии:

- избирательное и контролируемое воздействие
- бесконтактность, дающая абсолютную стерильность
- селективность, позволяющую дозированно разрушать патологические ткани, не затрагивая здоровые ткани
- бескровность (за счет коагуляции белков)
- возможность микрохирургических воздействий, благодаря высокой степени фокусировки луча.

Использование лазерного излучения в медицине

- Лазерная сварка тканей.



Использование лазерного излучения в медицине

■ Разрушение пигментированных участков.

Лазеры, работающие в импульсном режиме, используются для разрушения пигментированных участков для лечения ангиом, татуировок, склеротических бляшек в кровеносных сосудах и т.п.

■ Лазерная эндоскопия.

Для исключения открытых операций, лазерное излучение доставляется к месту воздействия с помощью волоконно-оптических световодов, позволяющих подводить лазерное излучение к внутренним полым органам.

При этом значительно снижается риск инфицирования и возникновения послеоперационных осложнений.

Использование лазерного излучения в медицине

Офтальмология:

Возможность выполнять бескровные оперативные вмешательства без нарушения целостности глазного яблока.

Операции на стекловидном теле, приваривание отслоившейся сетчатки, лечение глаукомы путем «прокалывания» лазерным лучом отверстий для оттока внутриглазной жидкости. Послойная абляция тканей роговицы применяется при коррекции зрения.

Лазерный пробой.

Короткоимпульсные лазеры в сочетании со световодами применяют для удаления бляшек в сосудах, камней в желчном пузыре и почках.

Заключение:

В лекции рассмотрены:

- понятие рентгеновского излучения и способы его получения
- взаимодействие рентгеновского излучения с веществом
- лазеры и их применение в медицине



Тест-контроль

Рентгеновское излучение – это:

1. электромагнитная волна
2. поток электронов
3. поток протонов

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Обязательная:

- Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика: учебник. -М.: ГЭОТАР-Медиа, 2012..-

Дополнительная:

- Федорова В.Н., Е. В. Фаустов. Краткий курс медицинской и биологической физики с элементами реабилитологии: учебное пособие. -М.:ГЭОТАР-Медиа,2010 .-
- Антонов В.Ф., А. М. Черныш, Е. К. Козлова [и др.] Физика и биофизика. Курс лекций: учебное пособие.-М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008.-
- Ремизов А.Н., Максина А.Г. Сборник задач по медицинской и биологической физике: учеб. пособие для вузов. М. : Дрофа, 2010.
- Руководство к лабораторным работам по медицинской и биологической физике для самост. работы студентов /сост. О.Д. Барцева и др. Красноярск: Литера-принт, 2009.-
- Сборник задач по медицинской и биологической физике: учебное пособие для самост. работы студентов / сост. О.П.Квашнина и др. -Красноярск: тип.КрасГМА, 2007.-
- Физика. Физические методы исследования в биологии и медицине: метод. указания к внеаудит. работе студентов по спец. – педиатрия / сост. О.П.Квашнина и др. -Красноярск: тип.КрасГМУ, 2009.-

Электронные ресурсы:

- ЭБС КрасГМУ
- Ресурсы интернет
- Эдельман Е.Д. Физика с элементами биофизики. [Электронный ресурс] : учебник. - Режим доступа: <http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970425244.h>



Красноярский
Государственный
Медицинский
Университет
им. проф.
В.Ф.Войно-Ясенецкого



**БЛАГОДАРЮ
ЗА ВНИМАНИЕ**