ЛЕКЦИЯ №13

ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ, ЛАЗЕРЫ, РАДИОСПЕКТРОСКОПИЯ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В МЕДИЦИНЕ

ПОНЯТИЕ ПРО ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЮ

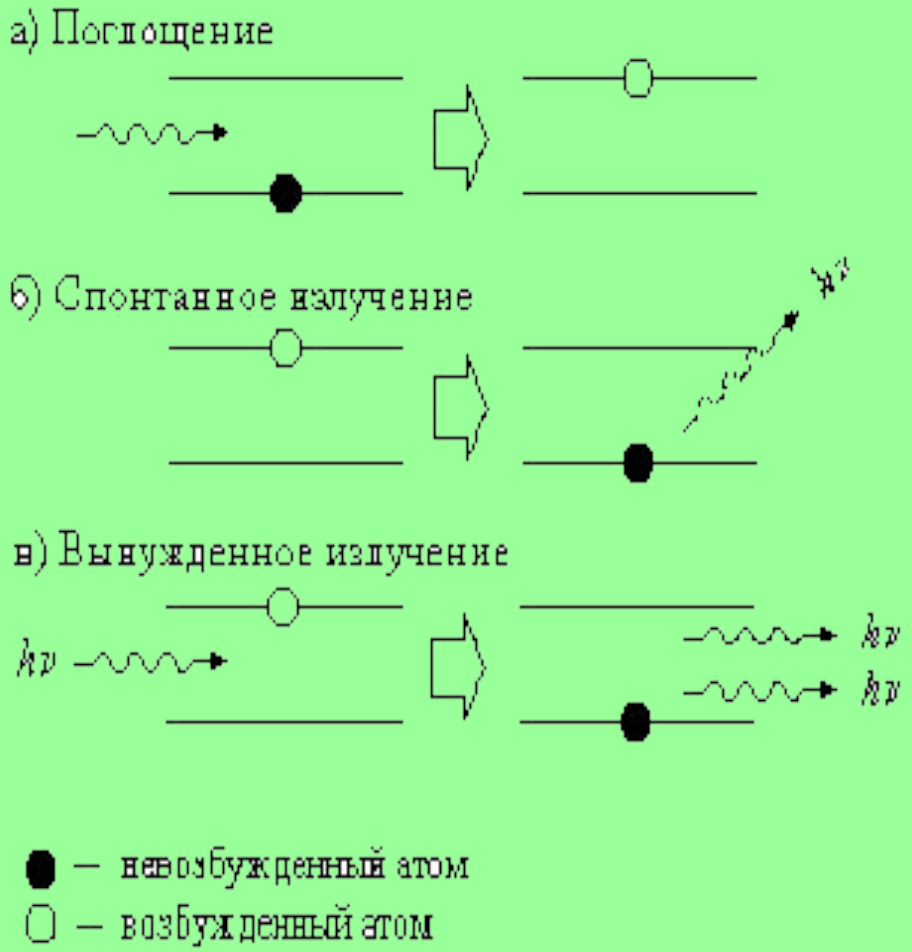
Люминесценция – это спонтанное электромагнитное излучение в видимом диапазоне длин волн (400-700нм), избыточное при данной температуре над тепловым излучением тела, длительность которого превышает период световых волн. Люминесценция – холодное свечение.

Возникает, как и свет (и тепловое излучение) при переходах электронов между энергетическими уровнями.

НО, в отличие от теплового излучения и видимого света, которые осуществляются за счёт внутренней энергии тела, для возникновения люминесценции необходимы внешние источники энергии.

Несмотря на это люминесценция - спонтанное излучение вследствие того, что переход из возбуждённого состояния в основное электрон осуществляет самопроизвольно.

Вещества, способные люминесцировать, называют **люминофорами.**



ВИДЫ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ

По механизму возникновения (природе внешнего воздействия, вызывающего переход электронов из основного состояние в возбуждённое):

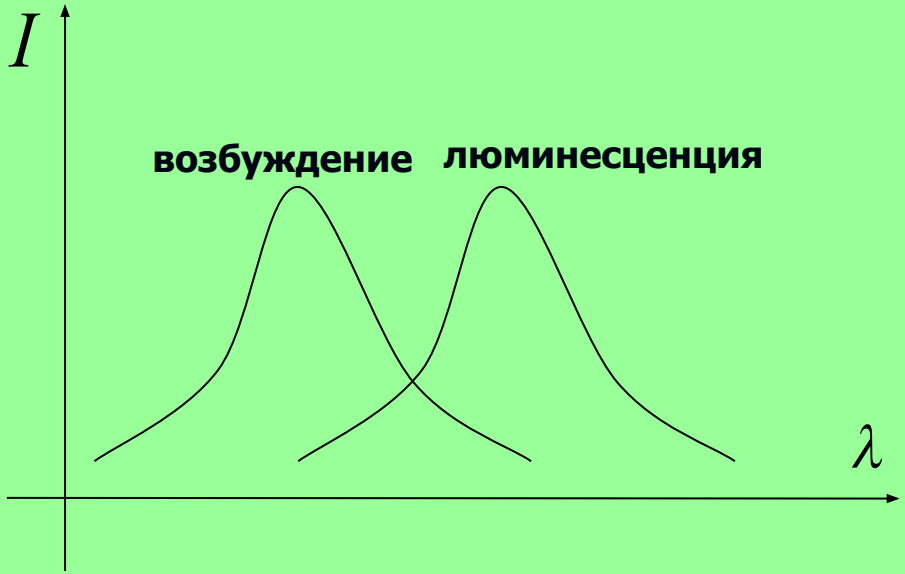
1. **Фотолюминесценция** возникает под действием видимого света или ультрафиолетового излучения
2. **Рентгенолюминесценция** – под действием рентгеновского излучения
3. **Радиолюминесценция** – под действием радиоактивных частиц или излучений
4. **Хемилюминесценция** – под действием энергии экзотермических химических реакций (биолюминесценция относится к этому виду)
5. **Катодолюминесценция** – под действием электронов, испускаемых катодом
6. **Электролюминесценция** – под действием электрического поля
7. **Триболюминесценция** – под влиянием механических воздействий

По длительности:

- **Флюоресценция** – кратковременное свечение
- **Фосфоресценция** – длительное свечение

ЗАКОНЫ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ

Закон Стокса: длина волны люминесцентного излучения больше, чем длина волны света, вызвавшего люминесценцию

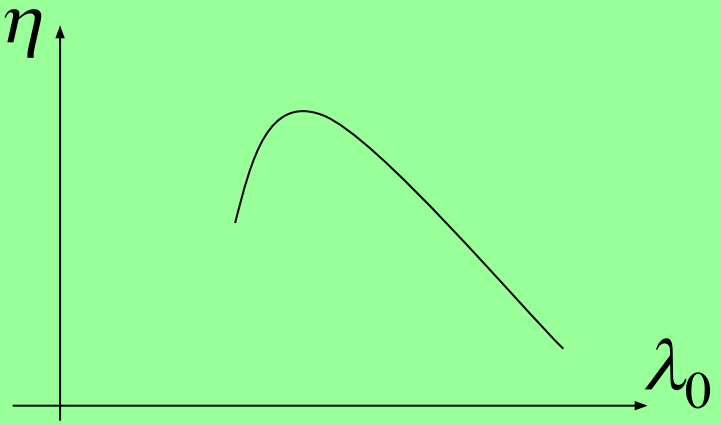


Исключение – антистоксовская люминесценция, которая наблюдается, если квант света поглощён уже возбуждённым атомом. В таком случае в кванте люминесценции будет больше энергии, чем в поглощённом кванте, а длина волны соответственно меньше.

Закон Вавилова: энергетический выход люминесценции сначала возрастает по мере увеличения длины волны света, вызывающего люминесценцию, а потом резко падает до 0.

Энергетический выход – это отношение энергии, которая излучается в процессе люминесценции к энергии, которую люминофор поглощает:

$$\eta = \frac{E}{E_0}$$



ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ В МЕДИЦИНЕ

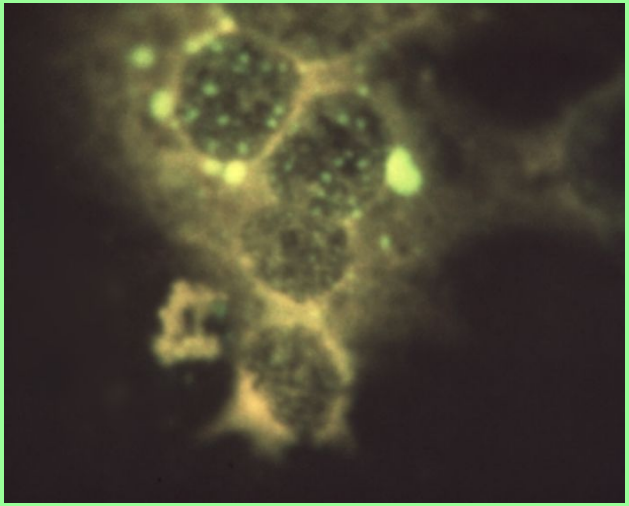
1. Благодаря тому, что невидимые факторы среды могут вызывать люминесценцию, её применяют для их визуализации в различных медицинских приборах.

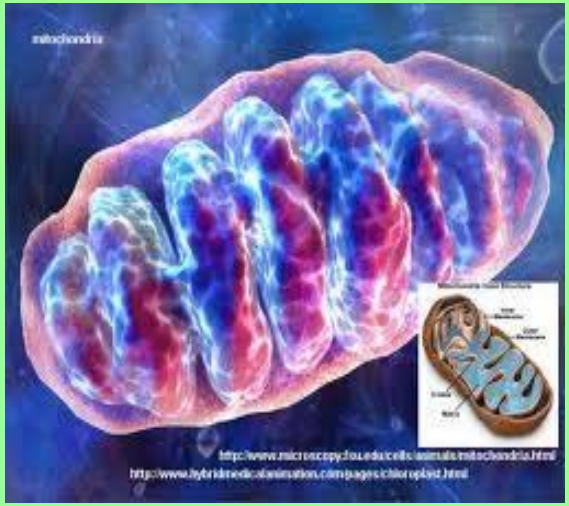
2. Создание осветительной аппаратуры (лампы дневного света).

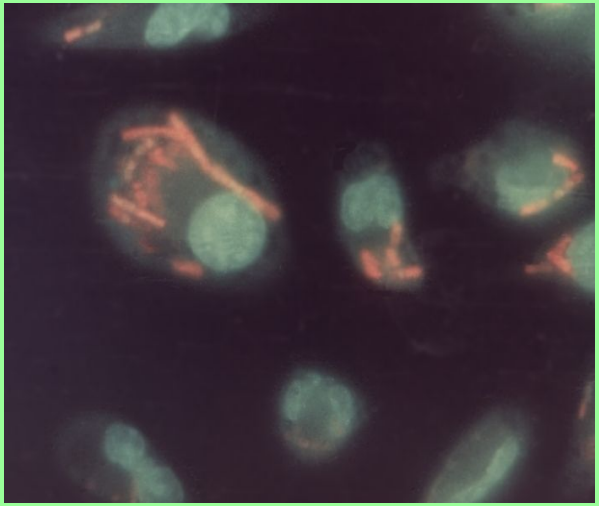
3. Люминесцентный анализ:

-Макроанализ – вводят в организм люминофоры (красители) с известными различием распределения в разных тканях (например, в опухолевой и здоровой). Освещают область тела лазерным пучком света и неинвазивно определяют степень развития патологического процесса или результат лечения.

-Микроанализ – с помощью микроскопа наблюдают свечение введённых красителей в микрообъектах или с помощью люминесцентного микроскопа обнаруживают вещества или организмы, способные к люминесценции.



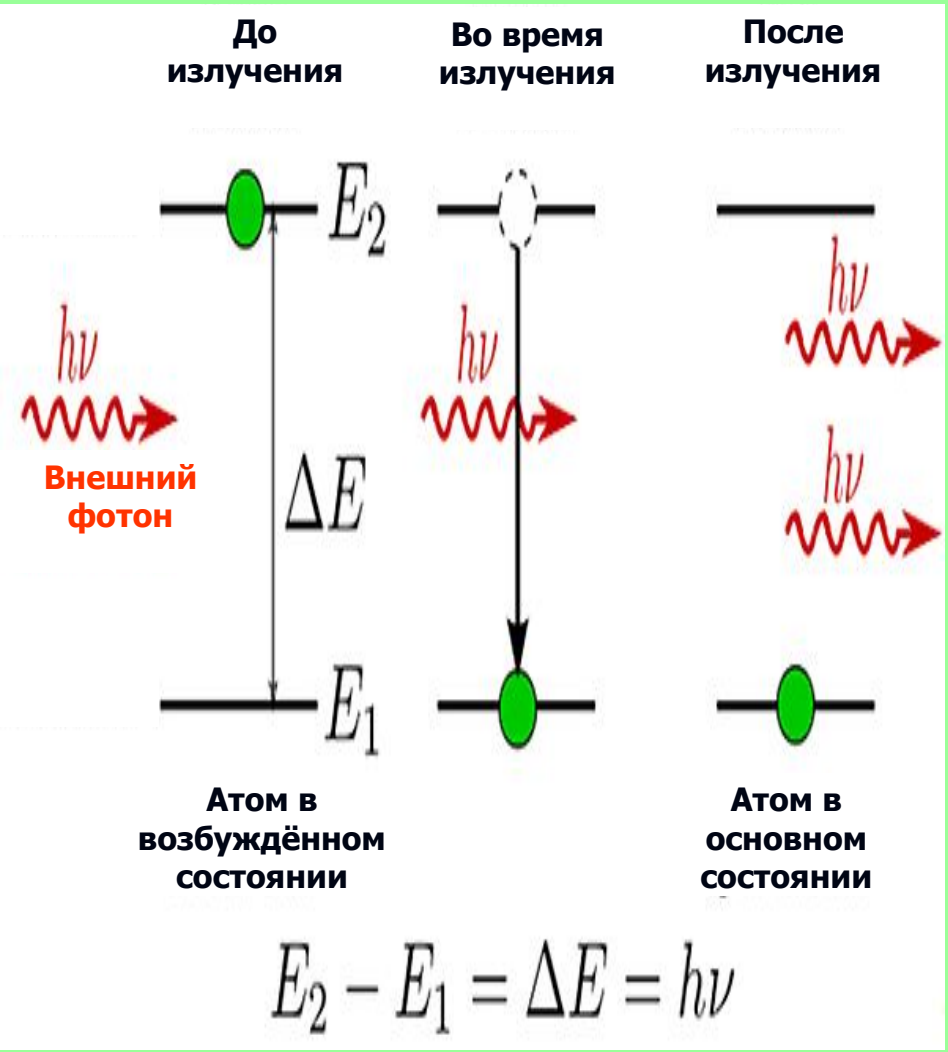




ИНДУЦИРОВАННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

- это излучение, возникающее при вынужденном переходе электрона из возбуждённого состояния в основное.

Получение индуцированного излучения является основой работы ЛАЗЕРА – прибора для получения мощного пучка света путём индуцированных переходов в активном веществе.

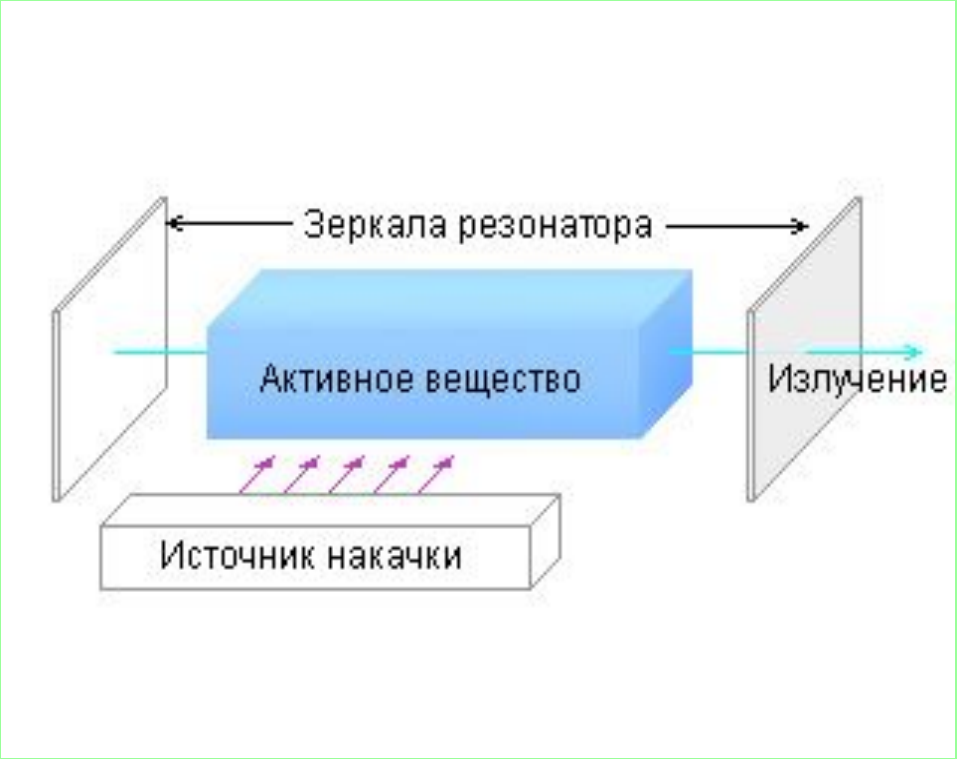


Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (усиление света путём его вынужденного излучения)

Механизм образования индуцированного излучения отдельным атомом:

- Атом уже максимально возбуждён и не может поглотить внешний фотон.
- Энергия внешнего фотона равна разности энергий возбуждённого и основного уровней электрона.
- Внешний фотон вызывает вынужденный переход электрона в основное состояние.
- В итоге получаются два фотона, являющиеся точными копиями друг друга, т.е. они когерентны.

ПРИНЦИП ПОЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ



1. **Активное вещество** – это квантовая система, в атомах которой создаётся инверсная заселённость энергетических уровней электронов. (Нормальная заселённость – число невозбуждённых атомов>чем возбуждённых. Инверсия – число возбуждённых атомов> чем невозбуждённых). Для этой цели применяют специальные вещества – их электроны имеют метастабильные уровни, на которых они могут накапливаться, прежде чем перейти в основное состояние.

2. **Система накачки** – это источник энергии, с помощью которой создаётся инверсная заселённость активного вещества (например, в рубиновом лазере – свет мощной ксеноновой лампы, в гелий-неоновом – электрическим разряд и т.д.)

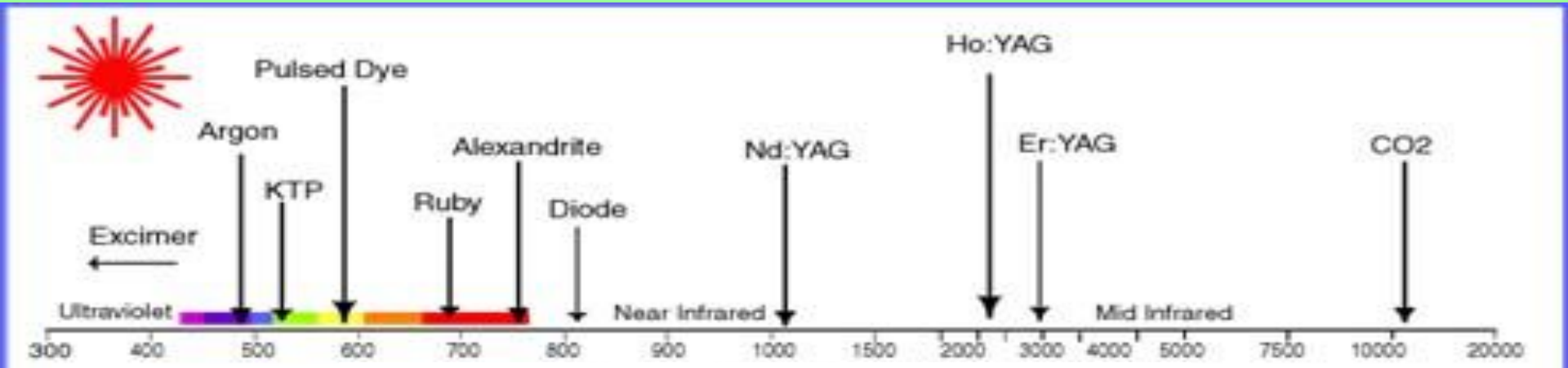
3. **Оптический резонатор** – система из двух зеркал, которая отражает вновь образованные кванты различных генераций (поколений), способствуя их многократному прохождению через активную среду и накоплению, т.е. усилению и фокусировке лазерного пучка света.

ВИДЫ ЛАЗЕРОВ

Прототип первого лазера был создан в 1954 году советскими физиками А. Прохоровым и Н. Басовым и американским учёным Ч. Таунсом, за что в 1964 году они были удостоены Нобелевской премии. Активное вещество - аммиак. Чуть позже были созданы наиболее известные – рубиновый и гелий-неоновый лазер.

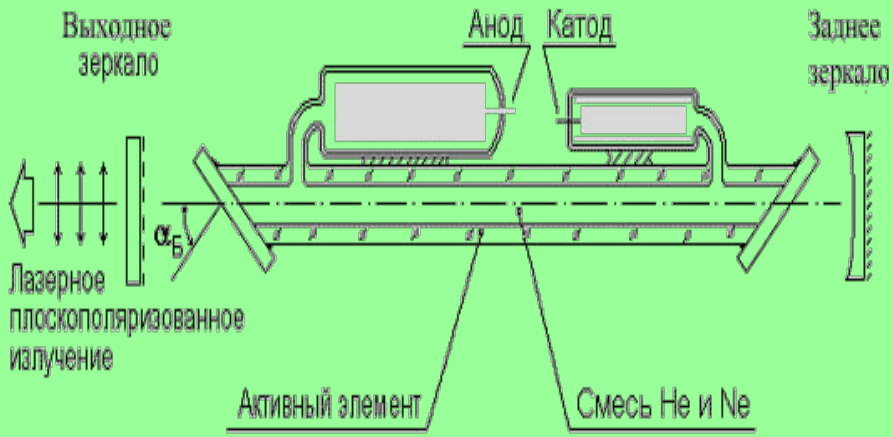
В настоящее время разработаны и применяются в зависимости от задач множество лазеров, излучающих свет преимущественно одной частоты (монохроматический), когерентный, поляризованный в световом и инфракрасном диапазоне длин волн.

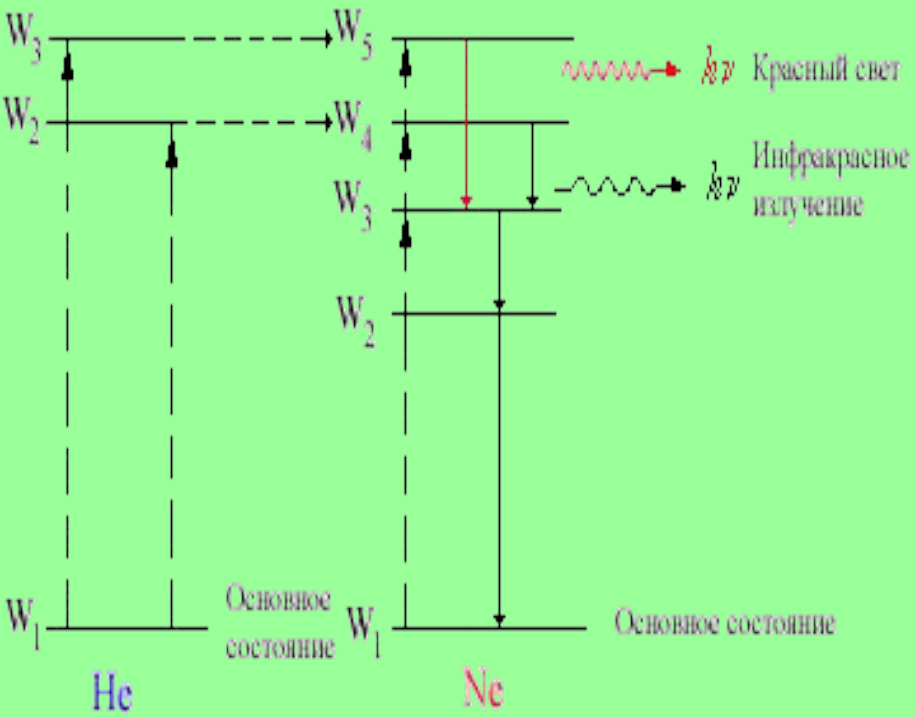
Лазеры бывают: 1. в зависимости от активной среды: рубиновый, гелий-неоновый, углекислотный, неодимовый, аргоновый и т.д. 2. в зависимости от агрегатного состояния активной среды: твердотельные, газовые, жидкостные лазеры, а также полупроводниковые. 3. в зависимости от режима работы: непрерывного действия, импульсные, работающие в режиме гигантских импульсов.



Длины волн излучения различных лазеров

ПРИНЦИП РАБОТЫ ГЕЛИЙ-НЕОНОВОГО ЛАЗЕРА





1. **Основа – кварцевая газоразрядная трубка диаметром 7мм, в которой под давлением 1гПа находятся газы.**
2. **В трубку впаяны анод и катод для создания в ней газового разряда.**
3. **На концах трубки – зеркала, расположенные так, чтобы излучение было поляризованным.**

- **Гелий** вспомогательный газ**, неон** – излучающий. Возбуждённые энергетические уровни гелия (2 и 3) близки к возбуждённым энергетическим уровням неона (4 и 5). Гелий способен передавать энергию атомам неона в процессе резонансной передачи возбуждения (сам он безизлучательно переходит в основное состояние).

- Гелия в 10 раз больше (это дополнительно способствует накоплению возбуждённых электронов в неоне).

- **Неон излучает**, в основном, красный свет при переходе с 5 на 3 энергетический уровень, а также инфракрасное излучение (с 4 го на 3).

СВОЙСТВА ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

1. **когерентность** (благодаря ей распространяется узкими пучками на большие расстояния и хорошо фокусируется);
2. **монохроматичность** (можно использовать очень избирательно в зависимости от задач);
3. **поляризованность** (предполагают, что имеет значение для стимулирующего действия низкоинтенсиного лазера в терапии вследствие хиральности биологических молекул).
4. **регулируемая интенсивность,** которая может составлять от 10 мВатт (гелий-неоновый лазер, работающий в непрерывном режиме) до 10^{10}–10^{11} Ватт (неодимовый лазер в импульсном режиме).

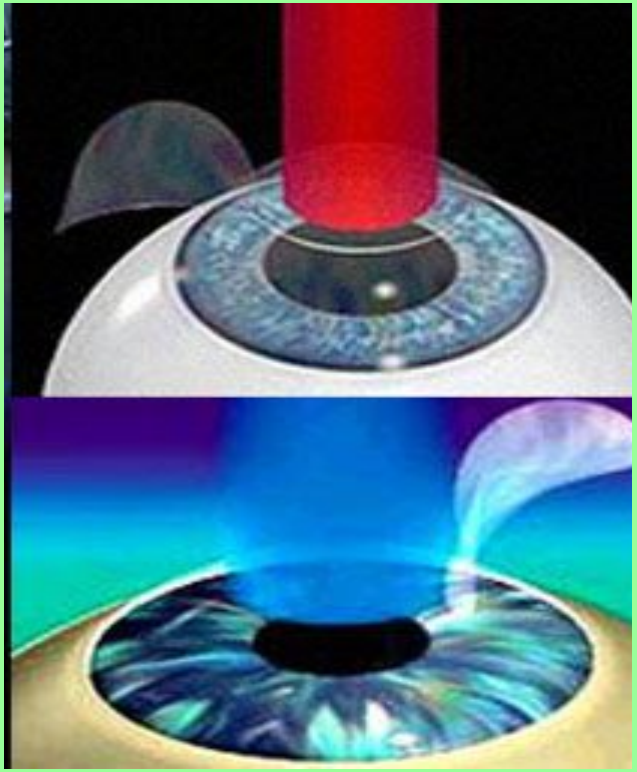
ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРОВ В МЕДИЦИНЕ

1. **Низкоинтенсивное лазерное излучение** (до 10 Вт/см^2, чаще всего - 0,1 Вт/см^2) не оказывает разрушающего действия на ткань. Лазеры, генерирующие такое излучение, являются обычными источниками света, которые обеспечивают локальное и дозированное воздействие на ткань. Низкоинтенсивное лазерное излучение оказывает биостимулирующий эффект, активирует процессы жизнедеятельности в организме (увеличивает активность ферментов, усиливает энергетический обмен в клетках, увеличивает биосинтетическую активность, стимулирует деление клеток и регенерацию тканей и т.д.) .

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРОВ В МЕДИЦИНЕ

2. **Среднеинтенсивное лазерное излучение (вызывает нагревание тканей выше 60 градусов, но ниже 100 градусов), что обуславливает денатурацию белков, коагуляцию тканей и их некроз. Такое излучение используют в дерматологии и косметологии (выведение бородавок, сосудистых дефектов, родимых пятен), онкологии (удаление некоторых видов опухолей).**

3. **Высокоинтенсивное лазерное излучение (вызывают локальное нагревание тканей свыше 150-300 градусов), что обуславливает обезвоживание, обугливание и фотоиспарение тканей. Используется в хирургии как скальпель, который: 1. надёжен в работе (не сломается), 2. абсолютно стерилен (луч света+локальное нагревание до высоких температур), 3. обеспечивает бескровный разрез вследствие коагуляции сосудов.**

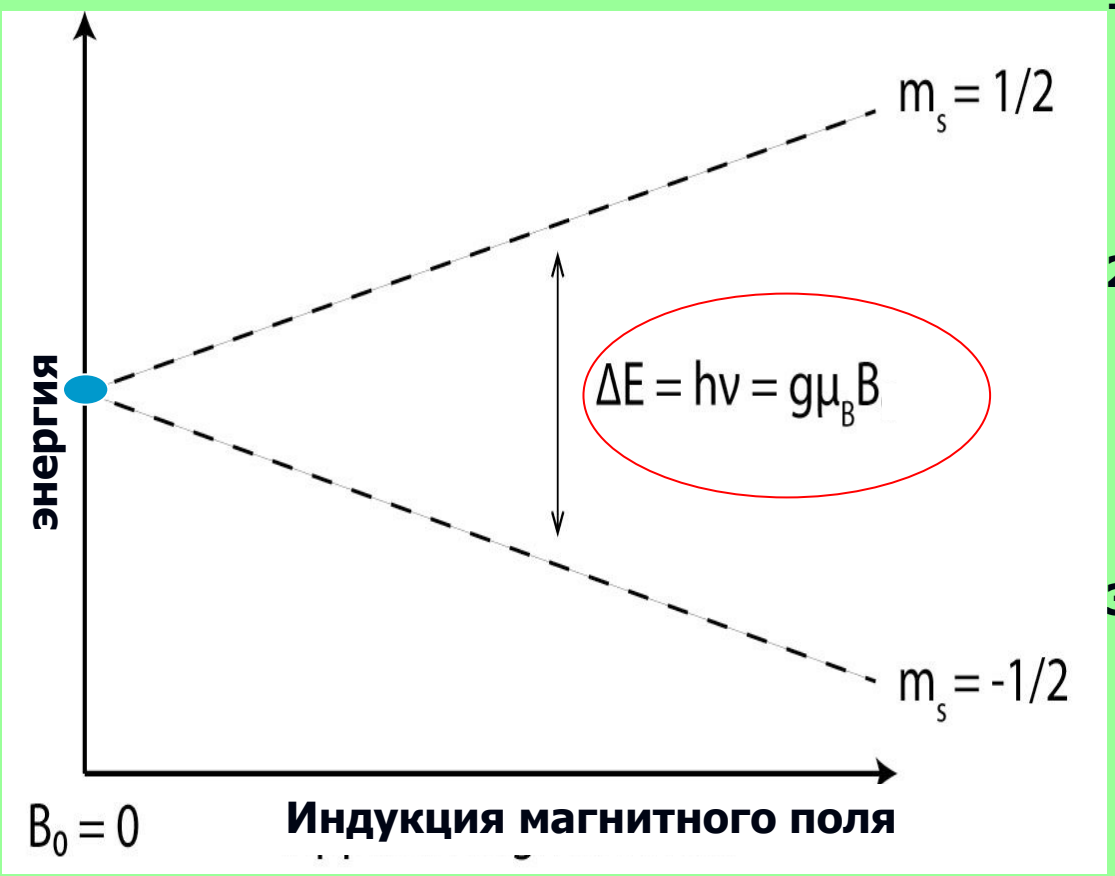


Особенно широко используется в офтальмологии (лечение глаукомы, отслоения сетчатки, исправление дальнозоркости и близорукости), в нейрохирургии, в оперативном лечении болезней сердечно-сосудистой системы, лёгких, и т.д.)

МЕТОДЫ РАДИОСПЕКТРОСКОПИИ

также основаны на явлениях перехода атомов из одного энергетического состояния в другое. Однако эти переходы осуществляются не между энергетическими уровнями электронов, а также ядер атомов, а между их энергетическими подуровнями.

Эффект Зеемана – расщепление энергетических уровней электронов атомов-парамагнетиков на энергетические подуровни при помещении их в постоянное магнитное поле.



1. **При индукции магнитного поля B=0, электрон находится на определённом энергетическом уровне (отмечен на оси ординат).**
2. **При помещении в магнитное поле происходит расщепление этого уровня на подуровни из-за наличия собственного магнитного момента неспаренного электрона.**
3. **Чем больше магнитная индукция поля, в который поместили парамагнетик, тем больше разница между энергетическими подуровнями электрона.**

4. Разность энергий между подуровнями для каждого вида парамагнитных атомов индивидуальна + зависит от его окружения и агрегатного состояния вещества.

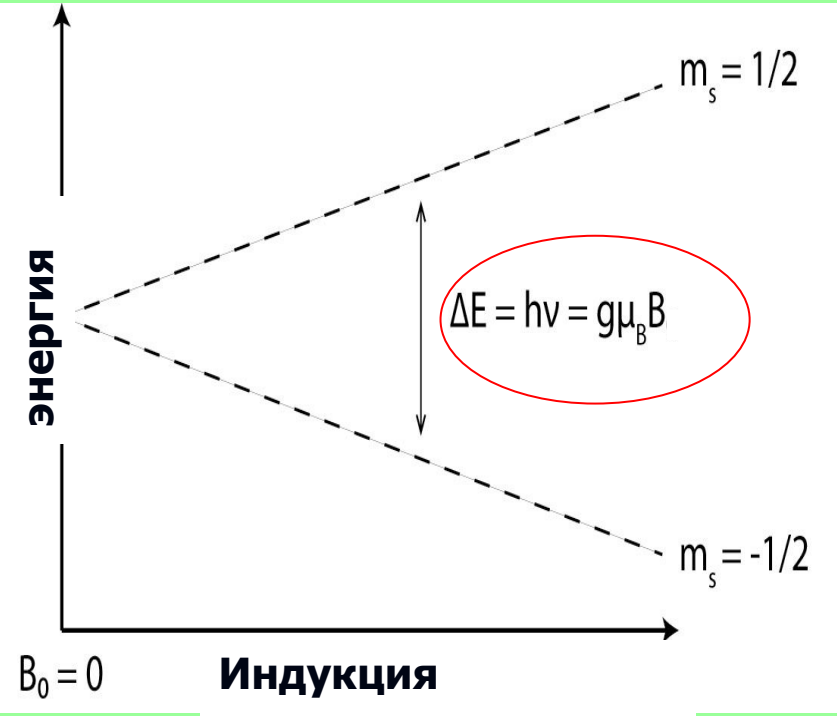
5. Без всяких дополнительных воздействий неспаренный электрон парамагнетика находится на низшем энергетическом подуровне.

6. Перевести его на высший подуровень можно, если подействовать на атом электромагнитным излучением. Условием перехода будет равенство энергии кванта этого излучения разности энергий двух подуровней электрона.

Эта частота будет разной для различных атомов парамагнетиков (так как разность подуровней неодинакова), по находится в пределах радиодиапазона. Для каждого атома есть резонансная частота, а явление получило название электронный парамагнитный резонанс (ЭПР).

ЭПР- явление избирательного (резонансного) поглощения атомами веществ-парамагнетиков, помещёнными в постоянное магнитное поле, энергии электромагнитных волн радиодиапазона.

Метод исследования веществ, основанный на ЭПР, называется ЭПР-радиоспектроскопией.

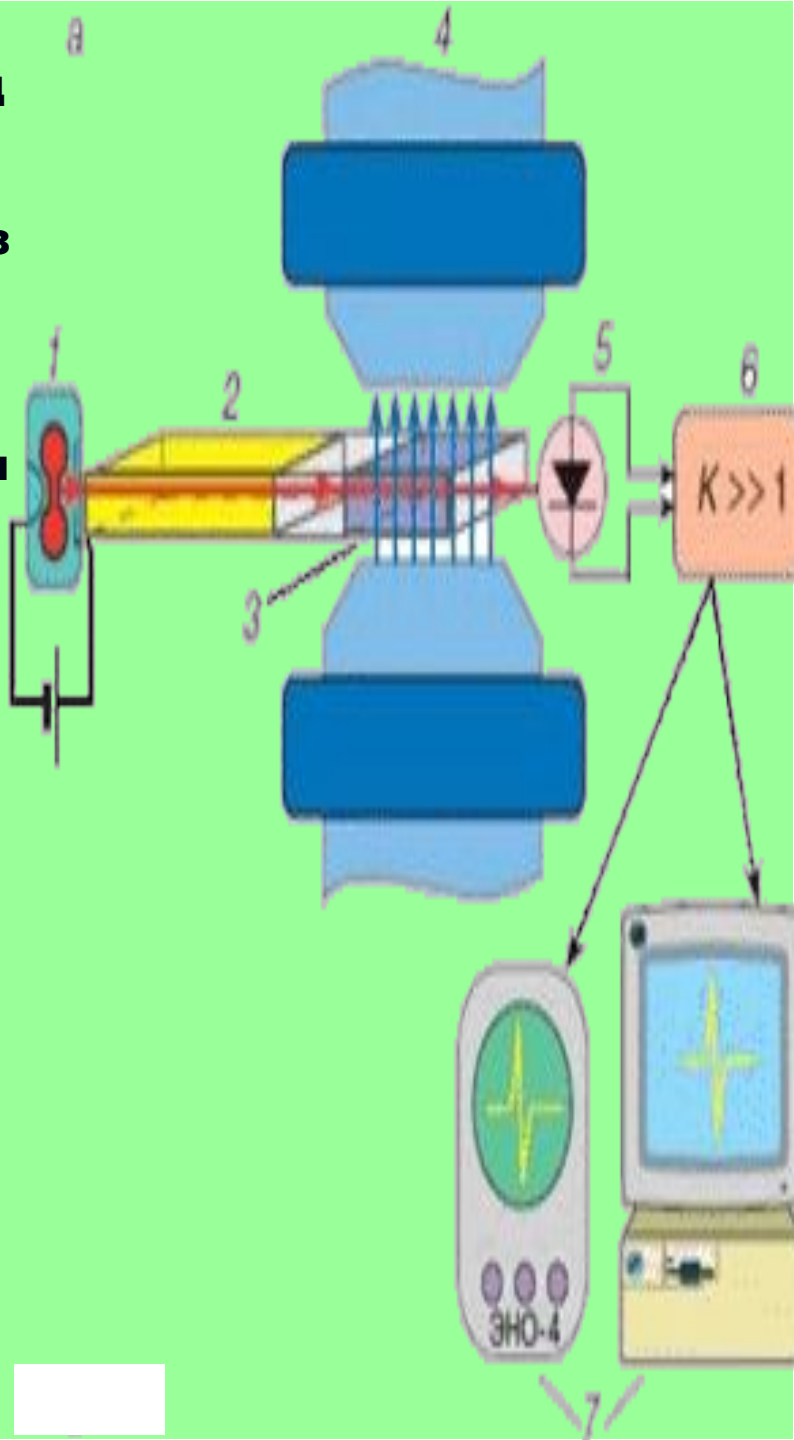


В ЭПР-спектрографах обычно подают электромагнитные волны одной частоты 10 ГГц (их источник 1), через волновод (2) к парамагнетику (3), размещённому между полюсами магнита (4). После прохождения через электронную схему, обеспечивающую запись прошедшего через образец сигнала (5-6), он регистрируется в виде спектра (7).

Меняют напряжённость магнитного поля (для резонансного поглощения электромагнитных волн важно только соблюдение равенства энергии их квантов разности энергий двух подуровней электрона, которая зависит от напряжённости поля).

Обычно поглощение происходит в определённом диапазоне напряжённостей магнитного поля. Поэтому регистрируется не отдельная линия, а спектр поглощения.

Метод ЭПР применяется для исследования парамагнитных частиц – в организме это свободные радикалы, образующиеся при воздействии радиации, а также в процессе получения клеткой энергии. Путём введения в мембраны парамагнитных частиц (зондов) методом ЭПР впервые было установлено её жидкое состояние.



ЯДЕРНЫЙ МАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС (ЯМР)

- явление избирательного (резонансного) поглощения атомами веществ, ядра которых обладают собственным магнитным моментом и помещённых в постоянное магнитное поле, энергии электромагнитных волн радиодиапазона.

Собственным магнитным моментом обладают ядра: с нечётным числом протонов, нечётным числом нейтронов, нечётным числом протонов и нейтронов (т.е. многие атомы). Поэтому метод более универсален в изучение химического строения веществ, чем метод ЭПР.

Условие резонансного поглощения для свободных ядер: $h \cdot \nu = g_я \cdot \mu_я \cdot B$

В цельном атоме и, тем более, в молекуле на ядра влияют магнитные поля электронов. Поэтому происходит «химический сдвиг» резонансных частот поглощения электромагнитных волн. Этот сдвиг зависит от природы химической связи данного вида атома с другими атомами в молекулах, концентрации вещества, температуры и т.д. Поэтому анализ ЯМР –спектров широко используется в химическом анализе молекул, в том числе биологически важных – белков, ДНК, РНК.

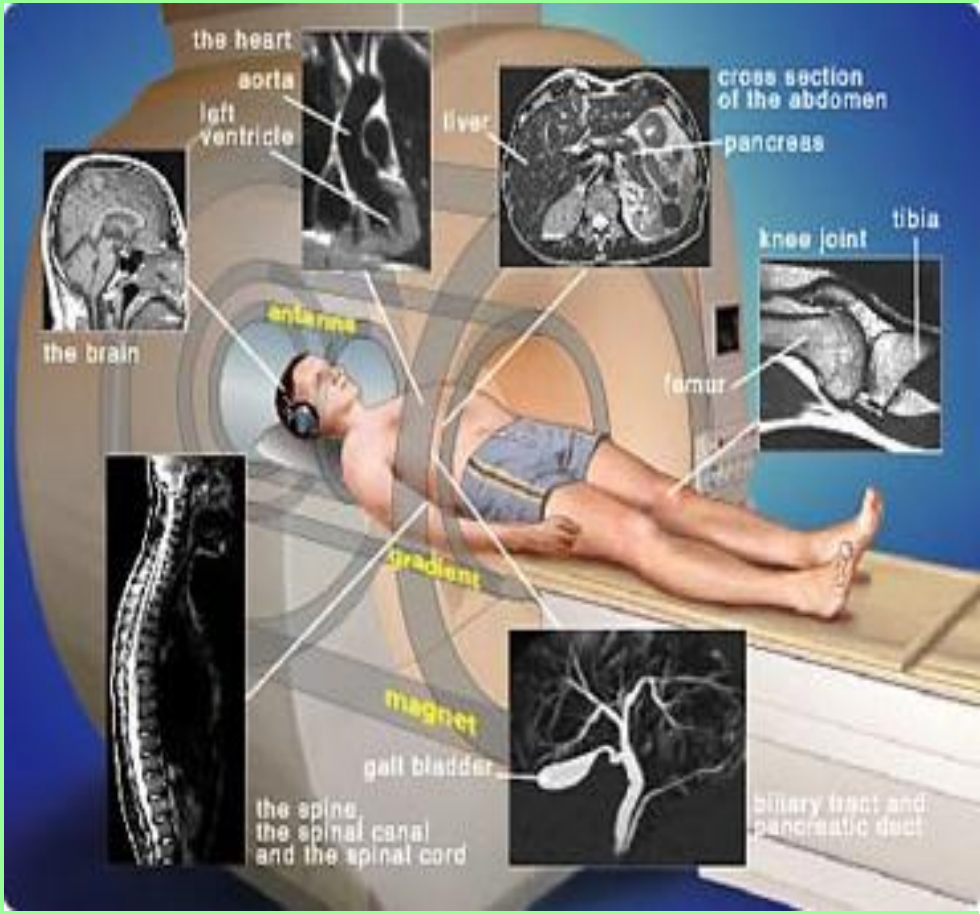
ЯМР-спектры твёрдых тел – широкие, жидких – узкие. Поэтому по спектру можно судить о вязкости вещества.

Принцип метода ЯМР-радиоспектроскопии такой же, как и ЭПР-спектроскопии. Частота применяемых радиоволн меньше, так как разность между энергетическими подуровнями частиц ядра меньше, чем у электрона.

МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ (МРТ)

— метод исследования внутренних органов и тканей, основанный на явлении ядерного магнитного резонанса. Чаще всего используют измерение электромагнитного резонанса ядер атомов водорода в составе воды при воздействии на них определённой комбинацией электромагнитных волн в постоянном магнитном поле высокой напряжённости.

1. Человека помещают в магнитное поле индукцией до 7 Тл.
2. Воздействуют на тело электромагнитными волнами радиодиапазона, переводя ядра водорода на высшие энергетические уровни.
3. Меняют направление магнитного поля на противоположное, в результате чего происходит синхронное излучение поглощённой электромагнитной энергии, которое регистрируется специальными датчиками.
4. Интенсивность сигнала от каждого участка тела зависит от содержания в нём воды.
5. Исследование проводят послойно.



+ неинвазивный, высокая разрешающая способность, нет радиоактивного облучения (возможны повторные исследования, безопасно для детей и беременных).

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!!!