

Лекция 8

# **ОСНОВЫ КВАНТОВОЙ ФИЗИКИ**

## План:

1. Люминесценция.
2. Классификация люминесценции по способу возбуждения и длительности.
3. Фотолюминесценция. Объяснение фотолюминесценции с точки зрения теории Бора.
4. Закон Стокса. Антистоксовое излучение.
5. Количественные оценки люминесценции.
6. Применение люминесценции в биологии и медицине.

# Люминесценция

- холодное свечение, представляет собой избыток над тепловым излучением при данной температуре. Люминесценция по длительности определяется так: длительность люминесценции значительно больше, чем период излучаемых световых волн, т. е.

$$t_L > T_{CB} \cong 10^{-15}$$

Люминесценция не является равновесным процессом, она прекращается только тогда, когда будет израсходована вся энергия того процесса, которым люминесценция вызвана.

## **Классификация люминесценции:**

1. В зависимости от причины, вызвавшей свечение:

- **фотолюминесценция** - возникает при возбуждении атомов светом (ультрафиолетовые лучи и коротковолновая часть видимого света);



- *рентгенолюминесценция* - возникает при возбуждении атомов рентгеновским и  $\gamma$ -излучением

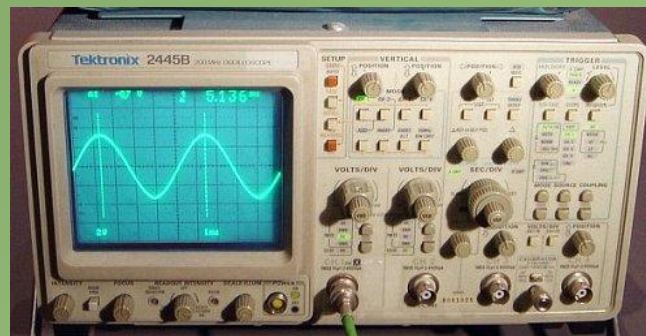




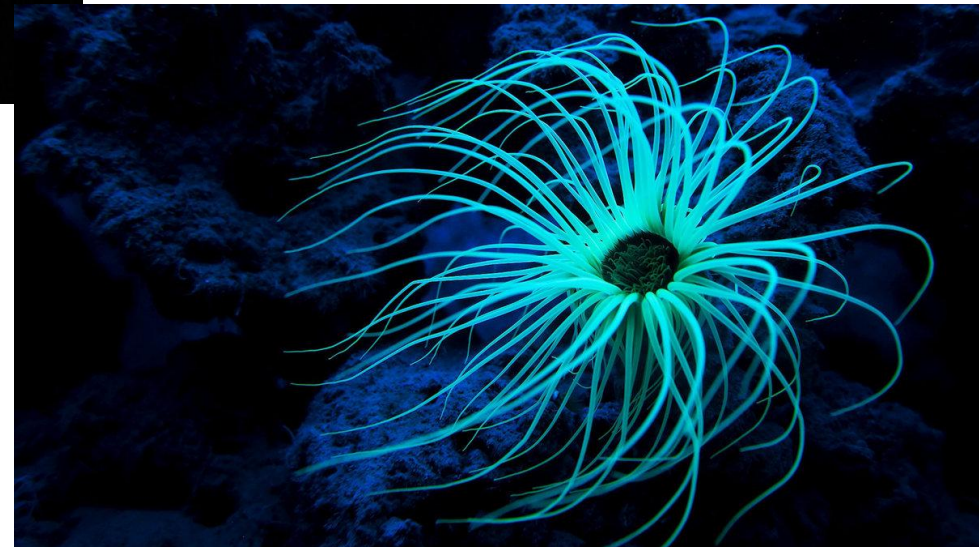
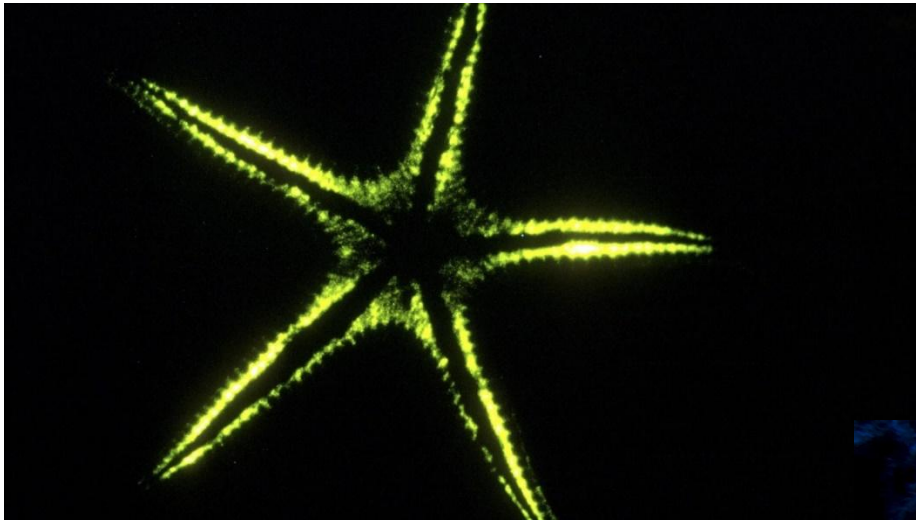
- **катодолюминесценция** - возникает при возбуждении атомов электронами



Осциллограф — прибор, предназначенный для исследования электрических сигналов во временной области путем визуального наблюдения графика сигнала на экране, а также для измерения амплитудных и временных параметров сигнала по форме графика.



Билюминесценция – наблюдается  
в живых организмах





**Электролюминесценция** — люминесценция, возбуждаемая электрическим током.

Наблюдается в веществах- полупроводниках и кристаллофосфорах, атомы (или молекулы) которых переходят в возбуждённое состояние под воздействием пропущенного электрического тока или приложенного электрического поля.

Хемилюминесценция — люминесценция (свечение) тел, вызванная химическим воздействием, или при протекании химической реакции.



2. По длительности свечения люминесценцию можно разделить на:

- флюоресценцию – это свечение гасится практически сразу же при прекращении возбуждения;
- фосфоресценцию – свечение, которое продолжается несколько минут или часов даже после прекращения возбуждения.

# Фотолюминесценция

Люминесценцию объясняет квантовая механика, но приближенно её можно объяснить с помощью теории Бора, постулаты которого Вы изучали в школе:

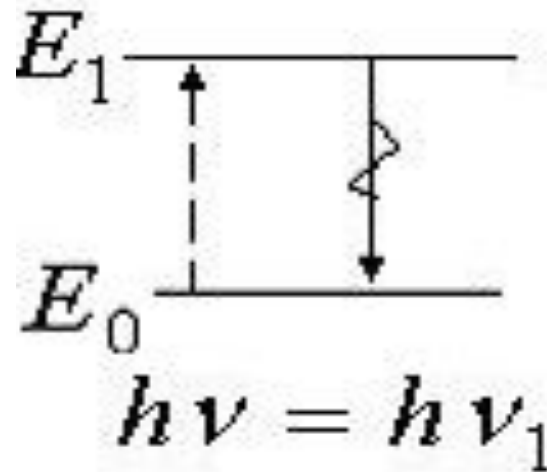
1. Атомная система может находиться только в особых стационарных или квантовых состояниях, каждому из которых соответствует определенная энергия ; в стационарном состоянии атом не излучает.

2. При переходе атома из одного состояния в другое испускается или поглощается квант электромагнитного излучения, Энергия фотона равна разности энергий атома в двух состояниях:

$$h \nu = E_2 - E_1$$

В атомных системах при фотолюминесценции  
возможны следующие процессы:

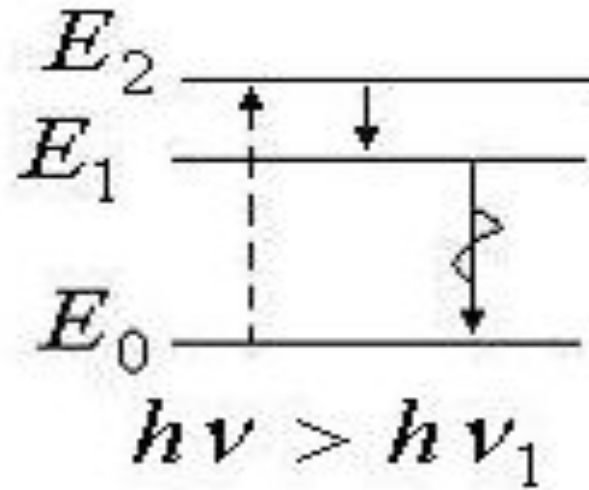
1. Резонансная флюоресценция  
(одноатомные пары и газы)



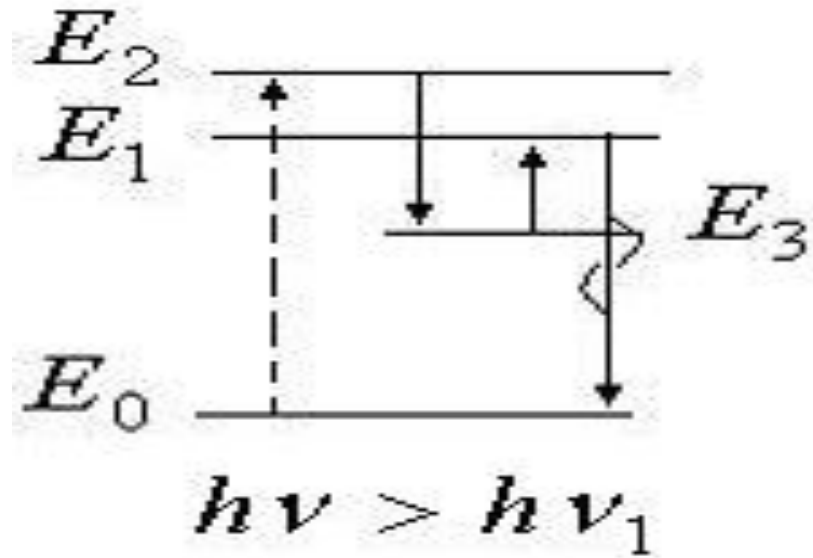
Время послесвечения  $\cong 10^{-8}$  с.



2. В более общих случаях процесс происходит следующим образом:



### 3. В сложных органических молекулах



## Закон Стокса

Из рассмотренных схем переходов видно

$$h \nu_1 \leq h \nu$$

или

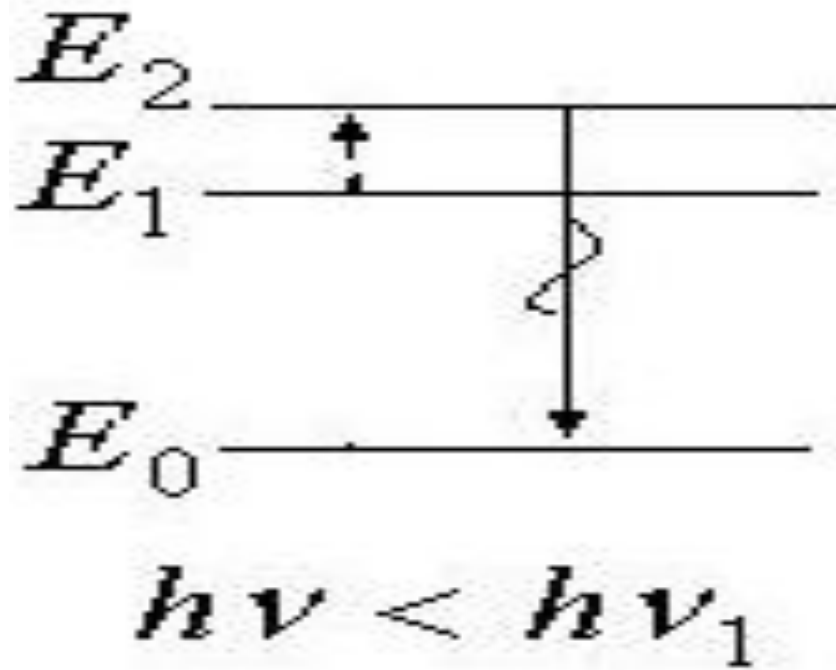
$$\lambda_1 \geq \lambda \quad \left( \lambda = \frac{c}{\nu} \right)$$

- испускается более длинноволновое вторичное излучение.

**Закон Стокса: спектр люминесценции сдвинут в сторону длинных волн относительно спектра, вызвавшего эту фотолюминесценцию.**

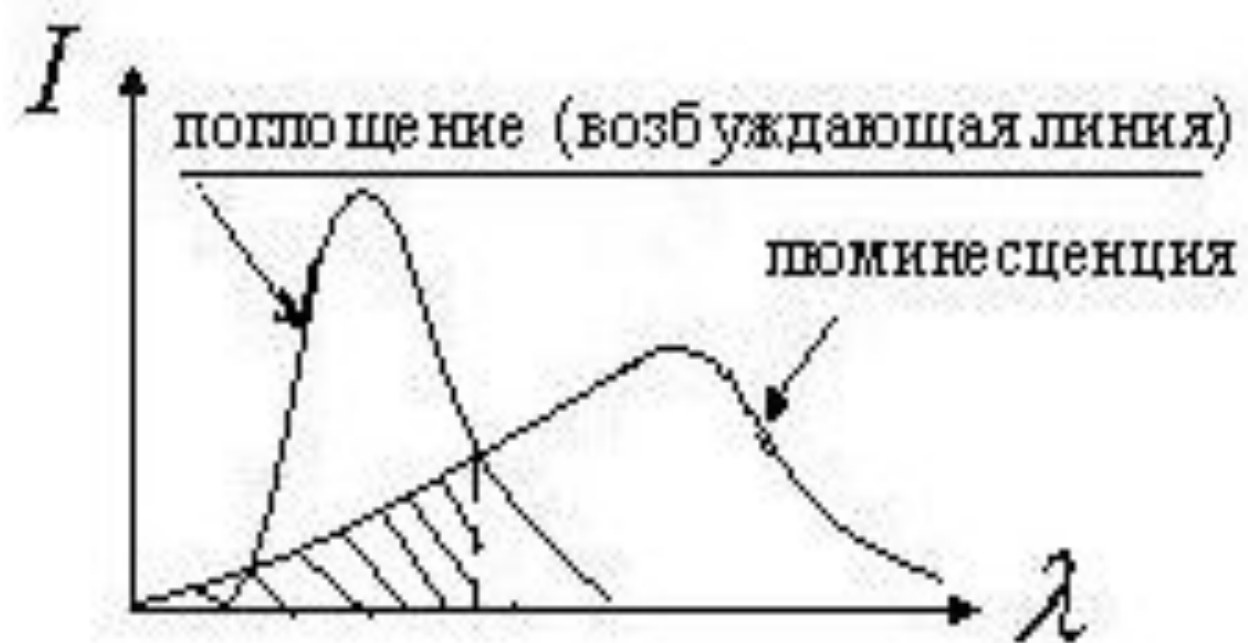


Имеются отклонения от закона Стокса.



Это вторичное излучение называется антистоксовым.





## Количественные оценки люминесценции

Не все поглощенные фотоны вызывают вторичное свечение, часть их расходуется на другие внутримолекулярные процессы (на тепловой эффект).

Квантовый выход:

$$\eta_{KB} = \frac{N_{ИС}}{N_{ПОГ}} \cdot 100\%$$

число испускаемых фотонов

число поглощенных фотонов

# Энергетический выход

$$\eta = \frac{W_{ИС}}{W_{ПОГ}} = \frac{N_{ИС} h \nu_1}{N_{ПОГ} h \nu} = \eta_{KB} \frac{\nu_1}{\nu} = \eta_{KB} \frac{\lambda}{\lambda_1}$$

энергия вторичного люминесцентного излучения

энергия поглощенного излучения

# Применение люминесценции в медицине

По спектру люминесценции можно определить состав и природу вещества - люминесцентный анализ.

По спектру люминесценции можно провести проверку качества продуктов, фармацевтических средств, растительных волокон, кожи и др., как и всякое органическое соединение, под действием УФ – излучения дают характерное люминесцентное излучение.

По характеру люминесцентного излучения можно судить о норме и патологии многих тканей организма: ногтей, зубов, волос, хрусталика глаза, роговой оболочки.

Можно отделить злокачественную опухоль от доброкачественной, также имеющих различный характер свечения.

Люминесценция применяется для диагностики кожных заболеваний (грибок, лишай) – они также дают характерное свечение.

В качестве оптических источников для люминесценции в медицине применяют ртутно-кварцевую лампу.



# Лазеры

## План:

1. Индуцированное излучение. Инверсная заселенность. Метастабильный уровень.
2. Рубиновый лазер. Устройство и принцип действия.
3. Гелий-неоновый лазер. Устройство и принцип действия.
4. Свойства лазерного излучения.
5. Применение лазерного излучения в медицине.

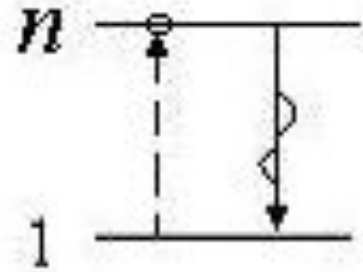
# Индуцированное излучение

В 1917 г. А. Эйнштейн предсказал возможность вынужденных переходов, которые должны сопровождаться индуцированным излучением.

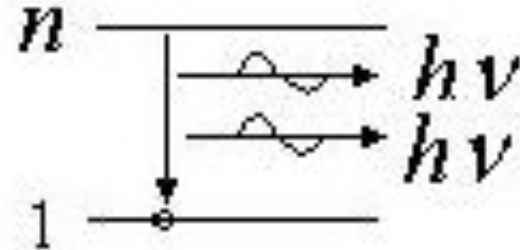
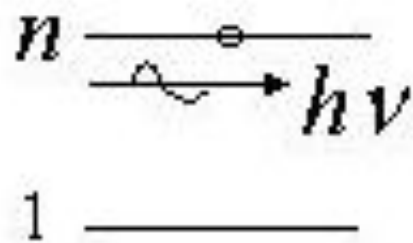
Под индуцированным излучением он понимал излучение возбужденных атомов под действием падающего на них света.

!!!Световая волна индуцированного излучения не отличается от волны, падающей на атом ни частотой, ни фазой, ни поляризацией.

С квантовой точки зрения это означает, что из высшего энергетического состояния атом переходит в низшее вынужденно, под действием внешней световой волны.

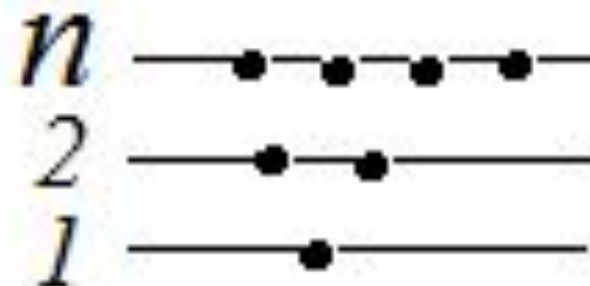
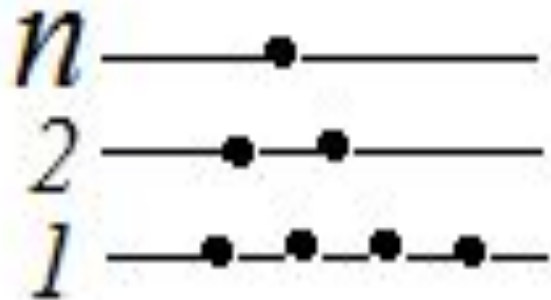


иначе:



Если в энергетическом состоянии  $n$  собрать большое количество атомов, а затем одновременно перевести их в состояние  $1$ , то можно получить мощное усиление падающего излучения.

Обычная населенность    Инверсная населенность



Процесс создания инверсной населенности называется **накачкой**. Среда, приведенная в состояние с инверсной населенностью, называется **активной**.

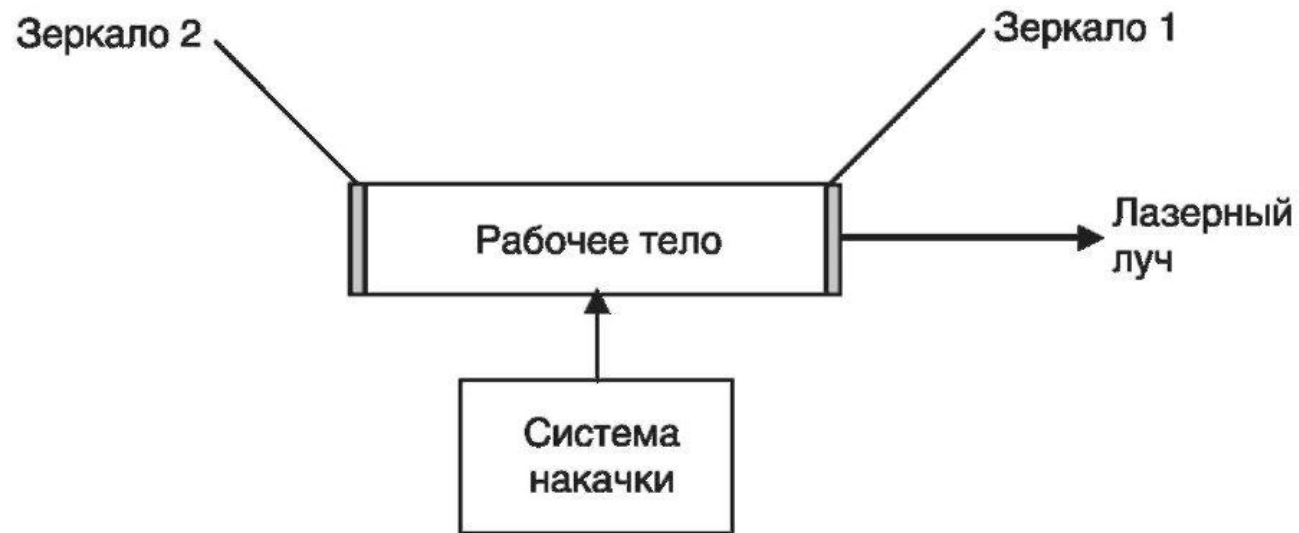


Энергетически наиболее выгодной схемой создания инверсной заселенности является трехуровневая система, содержащая **метастабильный уровень** – уровень, на котором время жизни атома составляет до 0,001с.



# Схема лазера

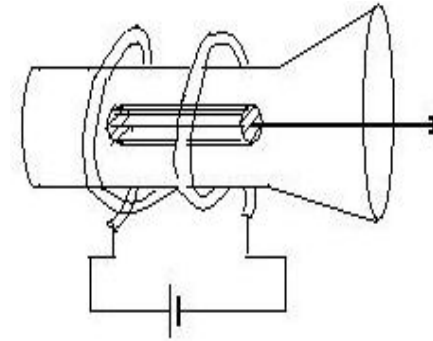
Рабочее тело (активная среда) представляет собой длинный узкий цилиндр, торцы которого строго параллельны, закрыты двумя зеркалами. Одно из зеркал (1) полупрозрачно. Такая система называется оптическим резонатором.



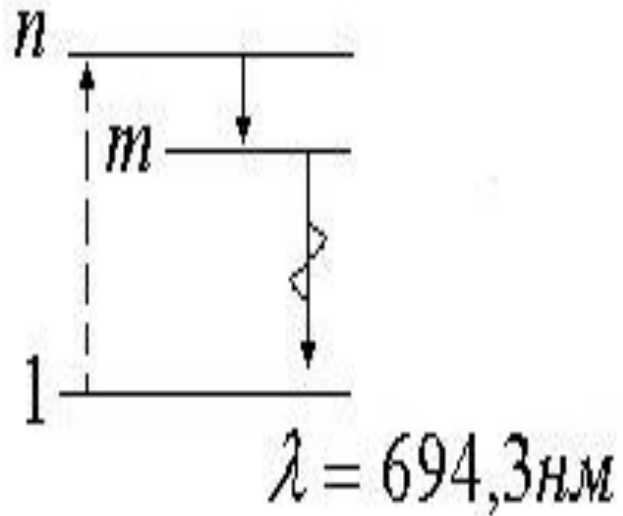
Каскад фотонов, которые получаются при переходе из  $m$  в  $l$ , многократно отражаются от торцов и на своем пути вызывают вынужденное излучение все большего числа возбужденных частиц, т.е. происходит усиление света. Многократно усиленный поток фотонов выходит через полупрозрачное зеркало.

# Рубиновый лазер

Первый генератор оптического излучения – лазер был создан на розовом рубине,  $Al_2O_3 : Cr_2O_3$ , в котором некоторые атомы Al замещены ионами  $Cr^{+++}$ .



Накачка осуществляется с помощью мощной импульсной ксеноновой лампы. При достаточной мощности накачки число ионов  $Cr^{+++}$  на метастабильном уровне становится больше, чем на невозбужденном уровне, т.е. происходит инверсия.

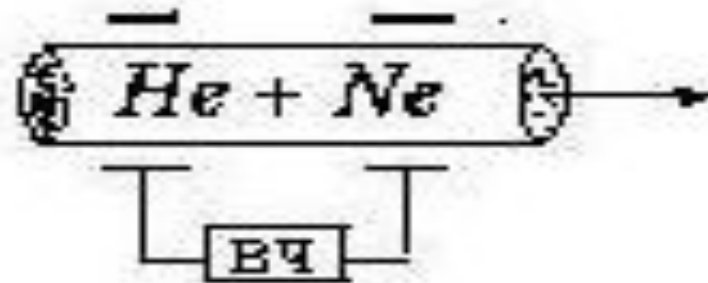


С метастабильного уровня некоторые ионы хрома могут спонтанно перейти в состояние 1, излучая фотоны света. Под действием этих фотонов происходит каскад вынужденных переходов соседних атомов на уровень 1, сопровождающихся индуцированным излучением (усиление света).

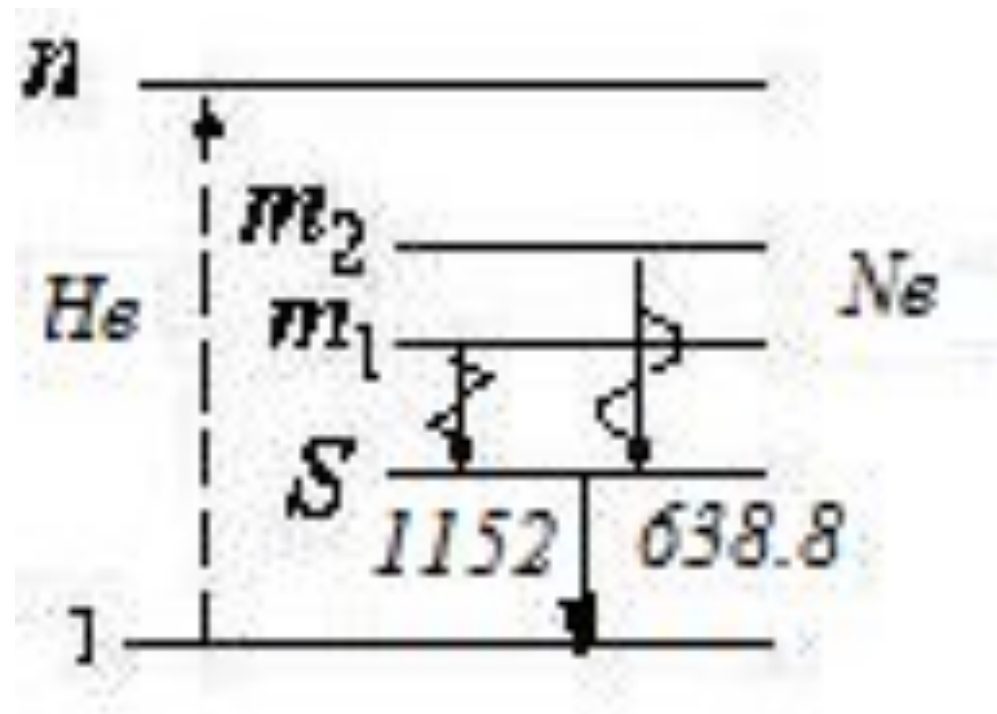
# Гелий - Неоновый лазер

- лазер непрерывного действия.

Рабочим телом в гелий – неоновом лазере является смесь благородных газов *He* и *Ne*, помещенная в стеклянный баллон.



Накачка производится с помощью высокочастотного электрического поля, вызывающего в газе тлеющий разряд.



Мощность -He-Ne лазера невелика.

## Свойства лазерного излучения:

1. Лазерный луч очень узок.
2. Лазерное излучение монохроматично.
3. Излучение полностью поляризовано.
4. Излучение когерентно.
5. Плотность потока излучения (мощность) очень высокая

$$10^{14} \frac{Вт}{м^2}.$$



## **Применение лазеров в медицине**

Лазерный луч применяют в хирургии в качестве бескровного ножа, который не нуждается в стерилизации.

Лазерное излучение применяют для безоперационного лечения сетчатки глаза (лазерный офтакоагулятор). При лечении глаукомы с помощью лазерного луча прокалывается отверстие размером 50-100мкм для оттока внутриглазной жидкости.

В стоматологии лазерный луч применяют для разрушения дентина при лечении зубов.

С помощью лазеров с использованием волоконной оптики разработаны гастроскопы, которые позволяют формировать объемное голографическое изображение полых органов (желудок и др.).

**Спасибо за внимание!!!**