

Оптоэлектронные и квантовые приборы и устройства

Лекция 8:

Газовые лазеры

В.М. Шандаров

Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники

Laser

Генераторы электромагнитного излучения оптического диапазона, использующие эффект индуцированного излучения, называются лазерами.

Слово **LASER** – это аббревиатура словосочетания:

Light

Amplification by

Stimulated

Emission of

Radiation.

Газовые лазеры

В газовых лазерах активной средой является газ, смесь нескольких газов, или смесь газов с парами металла.

Особенности характеристик излучения газовых лазеров:

- Рабочие уровни в газе – это уровни почти изолированных частиц. Взаимодействие частиц в газе значительно слабее, чем в твердых телах и жидкостях, поэтому линии рабочих переходов могут быть очень узкими.
- Газ оптически более однороден, чем другие среды, поэтому потери на рассеяние в таких средах минимальны.
- Вследствие низкой концентрации активных частиц коэффициент усиления газовых сред мал. Для получения генерации нужны существенные размеры (от сантиметров до сотни метров).

Газовые лазеры

Область длин волн излучения газовых лазеров:

Они генерируют оптическое излучение в диапазоне от ультрафиолетового (~ 0,2 мкм) до далекого инфракрасного (более 400 мкм).

Коэффициент полезного действия (КПД) газовых лазеров во многих случаях невысок, однако для отдельных типов лазеров он достигает больших величин, например – до 30% для лазера на CO₂.

Газовые лазеры

Газовые лазеры делят на атомарные, ионные и молекулярные.

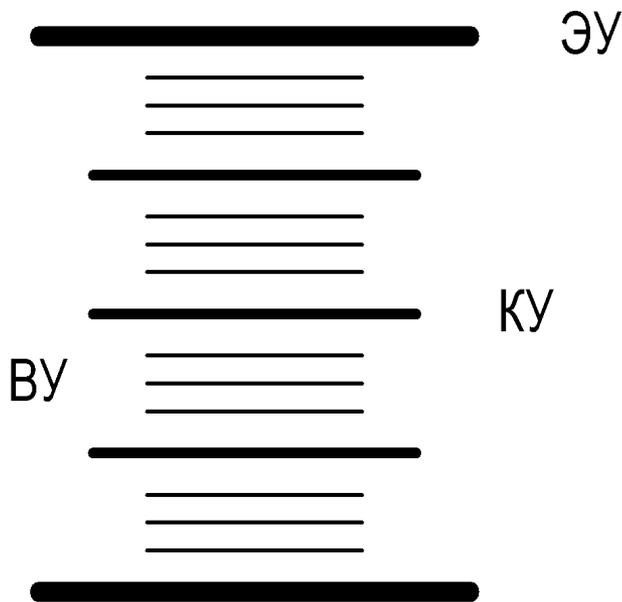
Рабочие области спектра для данных лазеров составляют:

для атомарных – как правило, от видимого до инфракрасного диапазона (до 25 мкм);

для ионных – в основном, они лежат в видимом и ультрафиолетовом диапазонах;

молекулярные лазеры работают, обычно, на длинах волн более 5 мкм.

Энергетические уровни



Основой системы являются электронные уровни, которые отстоят друг от друга на 1 – 10 эВ. Между электронными уровнями (ЭУ) располагаются колебательные уровни атомов (КУ) с расстоянием $\sim 0,1$ эВ. Между колебательными уровнями находятся вращательные уровни (ВУ) с расстоянием между ними 10–3 эВ и менее.

Достижение инверсии населенностей

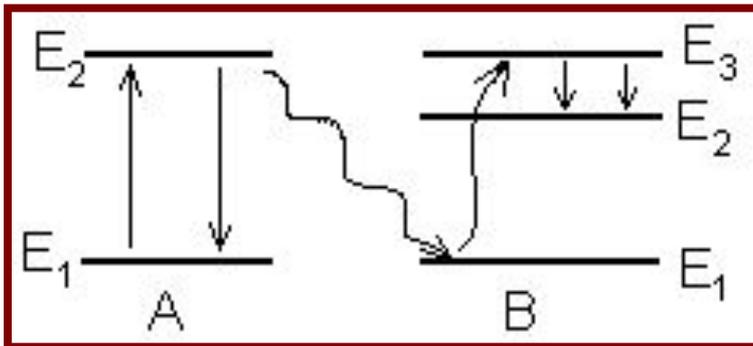
Наиболее часто для получения инверсии населенностей используется электрический разряд в газе.

Возбуждение осуществляется за счет столкновений атомов с электронами, а также столкновений между возбужденными и невозбужденными атомами.

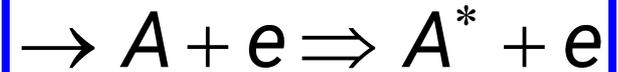
Инверсия населенностей может быть получена в химических реакциях, при которых образуются атомы или радикалы в возбужденных состояниях, а также при диссоциации молекул с образованием атомов в возбужденных состояниях.

Лазер на смеси гелия и неона (He – Ne лазер)

Это первый газовый лазер, он создан в конце 1960 года. Для получения инверсии населенностей в He – Ne лазерах используется механизм столкновений второго рода. Это процесс, реализуемый в смеси двух газов.



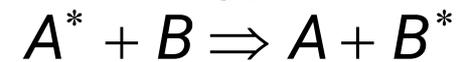
Атомы одного (А) в разряде переходят в возбужденное состояние за счет столкновений первого рода (неупругие столкновения между электронами газового разряда и атомами, находящимися в невозбужденном состоянии).



Лазер на смеси гелия и неона (He – Ne лазер)

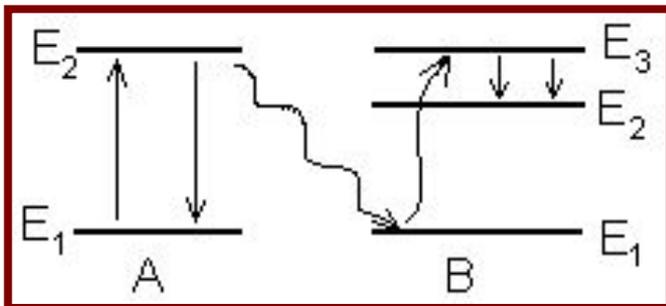
Возбужденное состояние является метастабильным, т.е. атомы газа могут в этом состоянии находиться долго. Энергия возбужденного состояния атома **A** должна быть близка к энергии верхнего возбужденного уровня атома другого газа.

При неупругих столкновениях атома A^* с атомом **B** (в основном состоянии) происходит эффективная резонансная передача энергии от A^* к **B**. В результате атом **B** переходит на уровень 3, а атом **A** переходит в основное состояние:



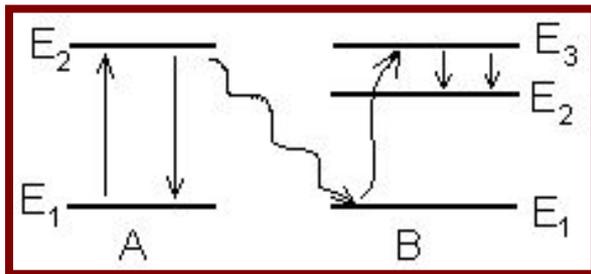
Вероятность такого перехода велика, если

$$\omega_{12A} = \omega_{13B}$$

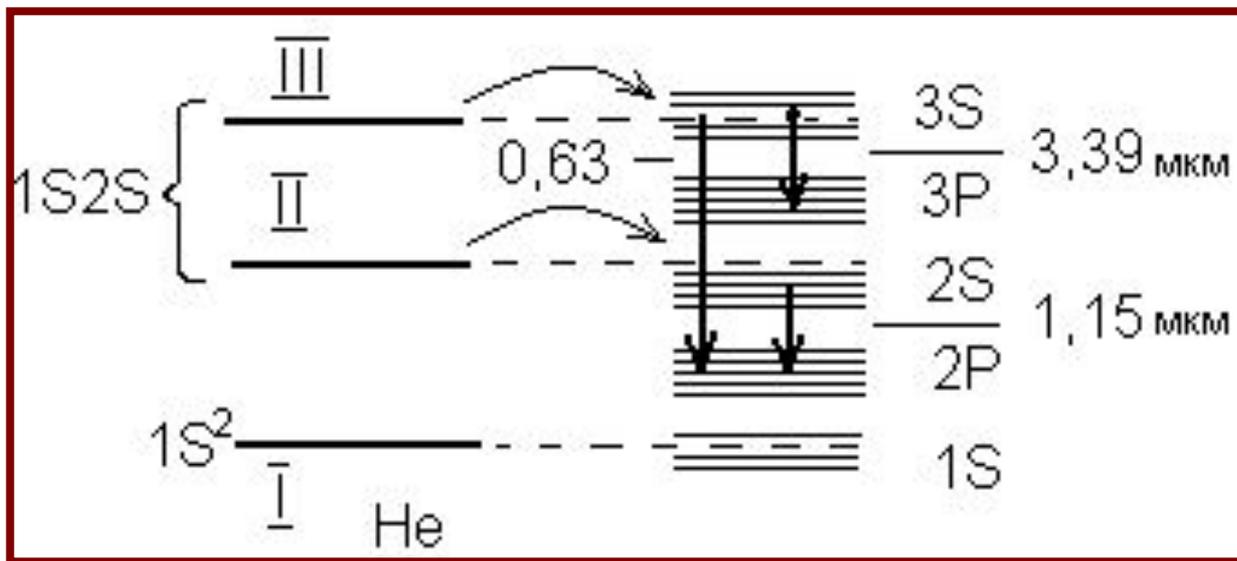


Лазер на смеси гелия и неона (He – Ne лазер)

В результате в системе может быть получена инверсия населенностей для уровней 3 – 2. В такой ситуации газ **A** - вспомогательный, а **B** - основной (рабочий). В **He – Ne** лазере в качестве рабочего газа выступает **Ne**, а вспомогательным является **He**. Диаграмма энергетических уровней смеси **He** и **Ne** схематично изображены на рисунке.



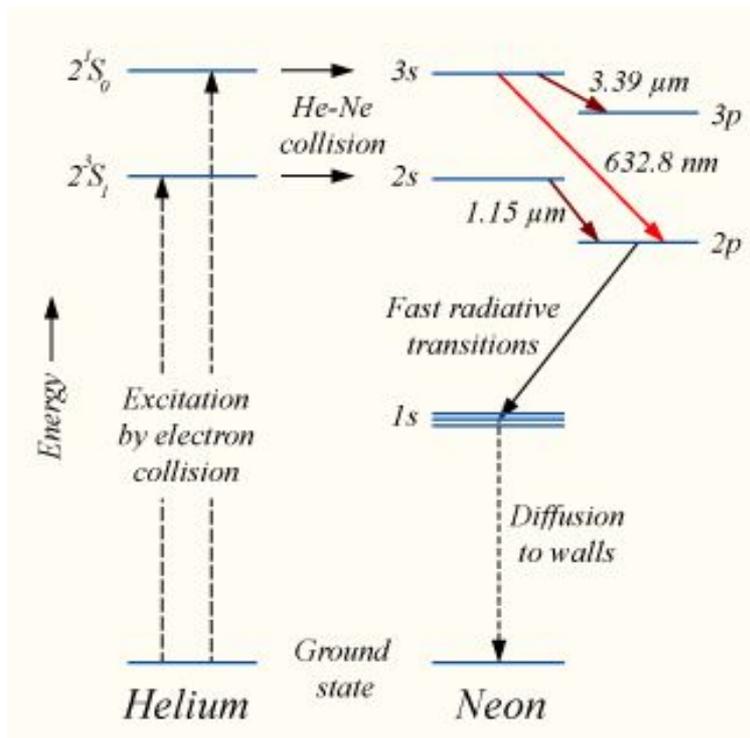
Лазер на смеси гелия и неона (He – Ne лазер)



3S – 3P	–
3,39мкм	
2S – 2P	–
1,15мкм	
3S – 2P	–
0,6328мкм	

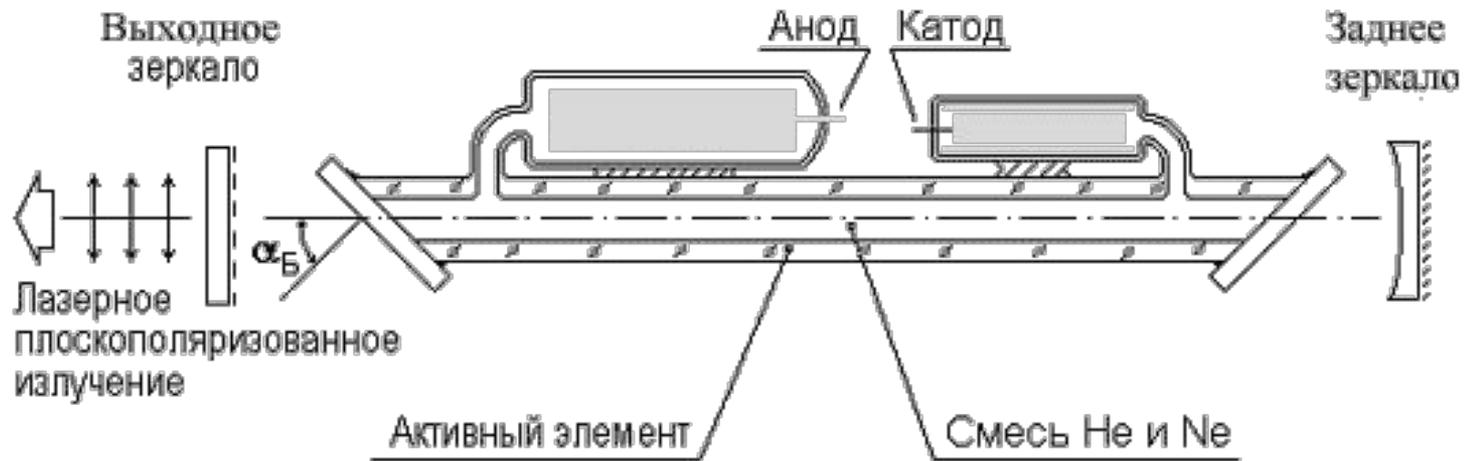
Ne

Лазер на смеси гелия и неона (He – Ne лазер)



В результате неупругих соударений атомов **He** и **Ne** населенности уровней **2S** и **3S** возрастают, а уровней **2P** и **3P** остаются малыми. Время жизни уровней **2S** и **3S** у **Ne** больше, чем уровней **2P** и **3P**. Поэтому при некотором токе разряда возникает инверсия населенностей в переходах **3S – 3P**, **2S – 2P** и **3S – 2P**.

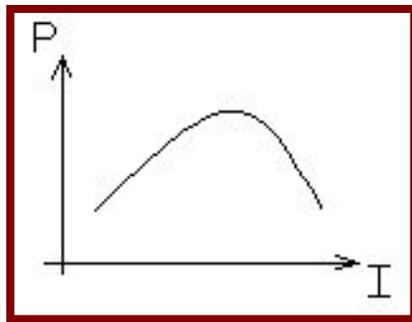
Схема конструкции He-Ne лазера



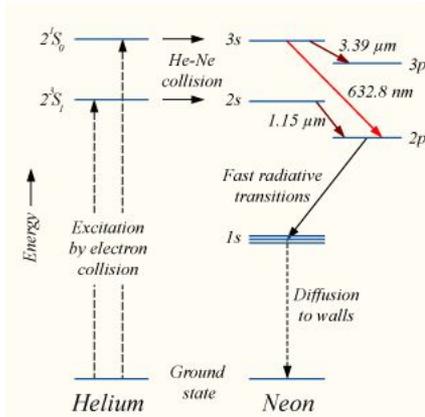
Устройство излучателя гелий-неонового лазера

Основные характеристики

Выходная мощность лазера зависит от тока разряда, общего давления газовой смеси в трубке, соотношения парциальных давлений газов, диаметра трубки



Зависимость $P(I_{\text{разряда}})$ имеет максимум. Сначала при росте тока разряда мощность излучения возрастает. Но при некоторой величине тока начинает проявляться электронное возбуждение уровней $2P$ и $3P$ Ne с метастабильного уровня $1S$. Вследствие этого населенности нижних рабочих уровней возрастают, а инверсия и выходная мощность падают вплоть до полного срыва генерации.



Основные характеристики

Увеличение общего давления в смеси повышает концентрацию активных атомов *He* и *Ne*, поэтому населенность возбужденных уровней и мощность излучения сначала возрастают.

Однако при слишком высоком давлении уменьшается длина свободного пробега электронов и, соответственно, их энергия в ускоряющем электрическом поле на этом пути. Это приводит к снижению энергии, передаваемой атомам *He* и к уменьшению выходной мощности.

Оптимальная величина давления составляет ~100 Па.

Выходная мощность – до 100 мВт (633 нм).

Ионный аргоновый лазер

В газовых ионных лазерах рабочими переходами являются переходы между энергетическими уровнями ионов.

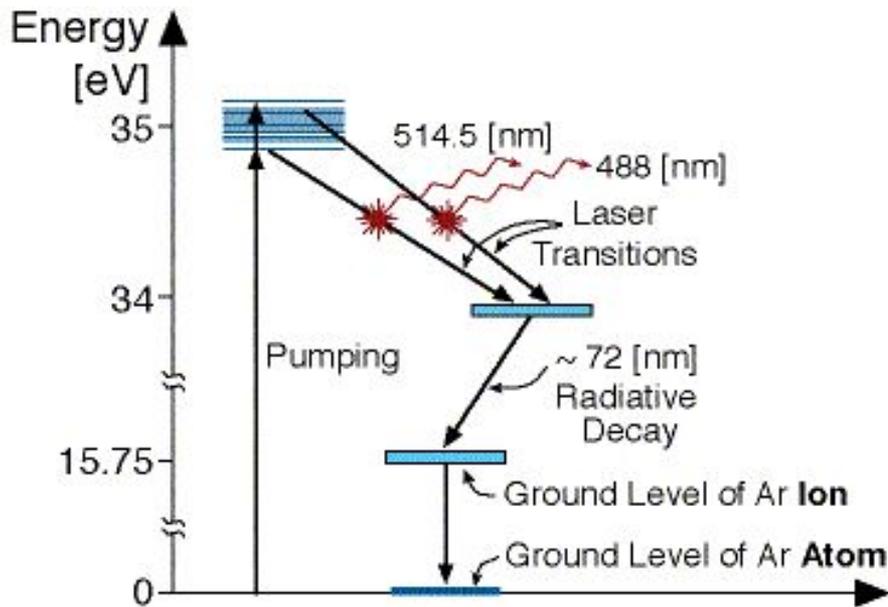
Отличия активной среды в этом случае:

- а) Расстояние между рабочими уровнями ионов больше, чем у нейтральных атомов, поэтому длина волны излучения этих лазеров соответствует видимому и ближнему ультрафиолетовому диапазонам.
- б) Вероятность переходов между рабочими уровнями ионов больше, чем у нейтральных атомов.

Рабочие среды ионных лазеров:

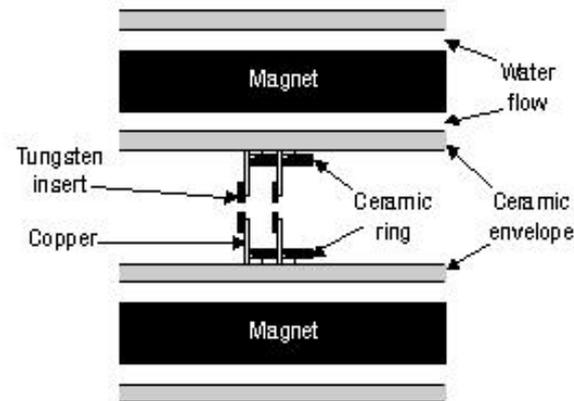
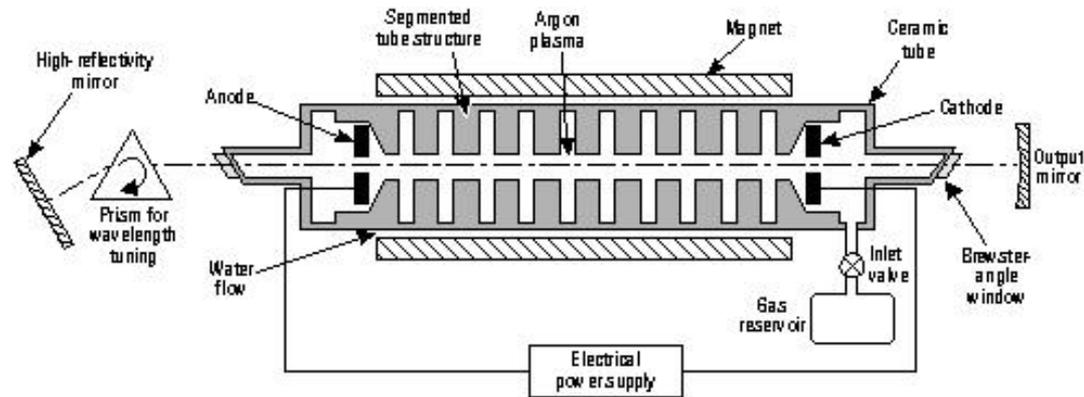
- чистые инертные газы: аргон (Ar), криптон (Kr), ксенон (Xe), Ne ;
- ионизированные пары различных химических элементов (Se , Zn , I , Cd).

Ионный аргоновый лазер



Для эффективной работы лазера плазма газового разряда должна быть высокоионизированной, а кинетическая энергия электронов должна быть существенно выше, чем в случае тлеющего разряда. Поэтому в таких лазерах применяется дуговой разряд с плотностью тока от 100 A/cm^2 в непрерывном режиме до 1000 A/cm^2 в импульсном режиме.

Ионный аргонный лазер



Ионный аргоновый лазер

Квантовые переходы соответствуют длинам волн от 0,45 до 0,51 мкм (сине – зеленая область). Вследствие высокой плотности тока все *Ar* лазеры имеют водяное охлаждение. Газоразрядные трубки изготавливаются для повышения термической прочности из бериллиевой керамики. Для предотвращения бомбардировки стенок трубки ионами и электронами используется продольное магнитное поле, создаваемое соленоидом. Оно удерживает заряженные частицы вблизи оси трубки. Использование магнитного поля позволяет повысить выходную мощность в несколько раз (за счет повышения плотности тока). КПД таких лазеров также низок и достигает лишь 0,01..0,1%. Мощность излучения в непрерывном режиме достигает 175 Вт.

Молекулярные газовые лазеры

Для атомарных и ионных лазеров характерен низкий к.п.д. Это связано с тем, что верхний рабочий уровень лежит высоко над основным уровнем. Поскольку инверсия населенностей создается при электронном возбуждении из основного состояния, то только небольшая часть электронов (с высокой кинетической энергией) участвует в процессе возбуждения. Для He – Ne лазеров оценка числа таких электронов дает 5÷6%.

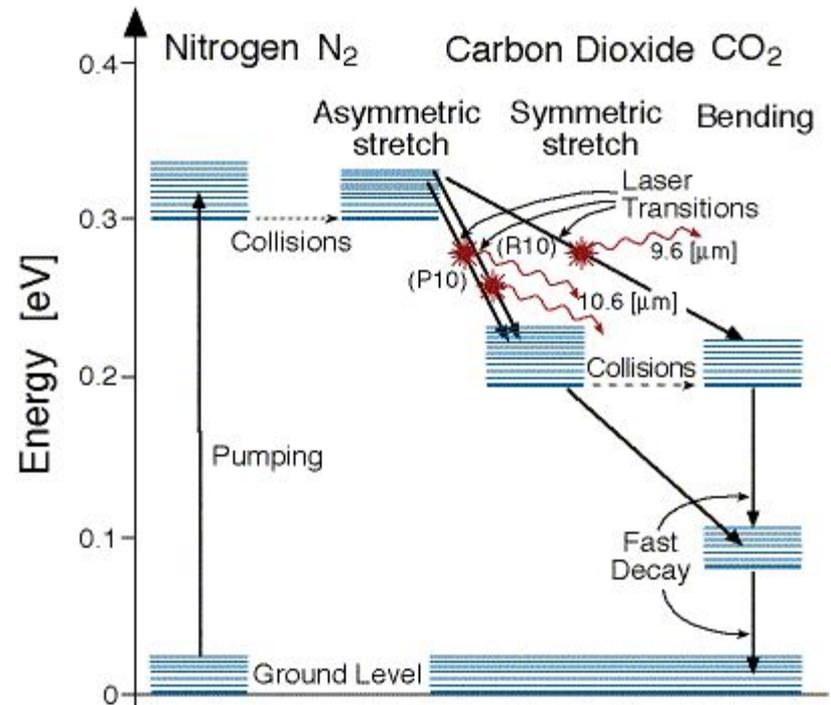
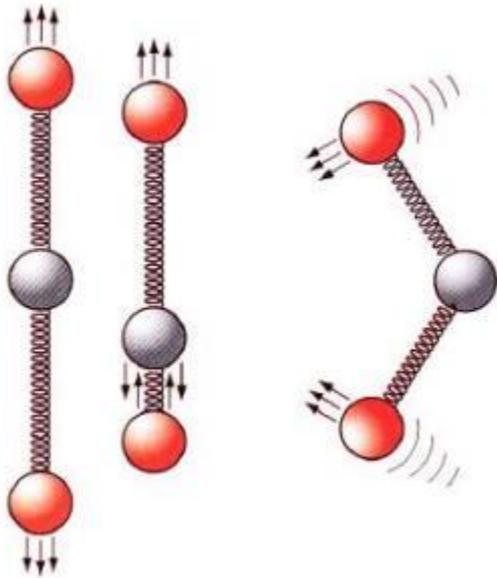
Молекулярные газовые лазеры

К.П.Д. лазеров можно увеличить, используя в качестве рабочих энергетические уровни, находящиеся вблизи основного. Например, колебательные уровни молекул.

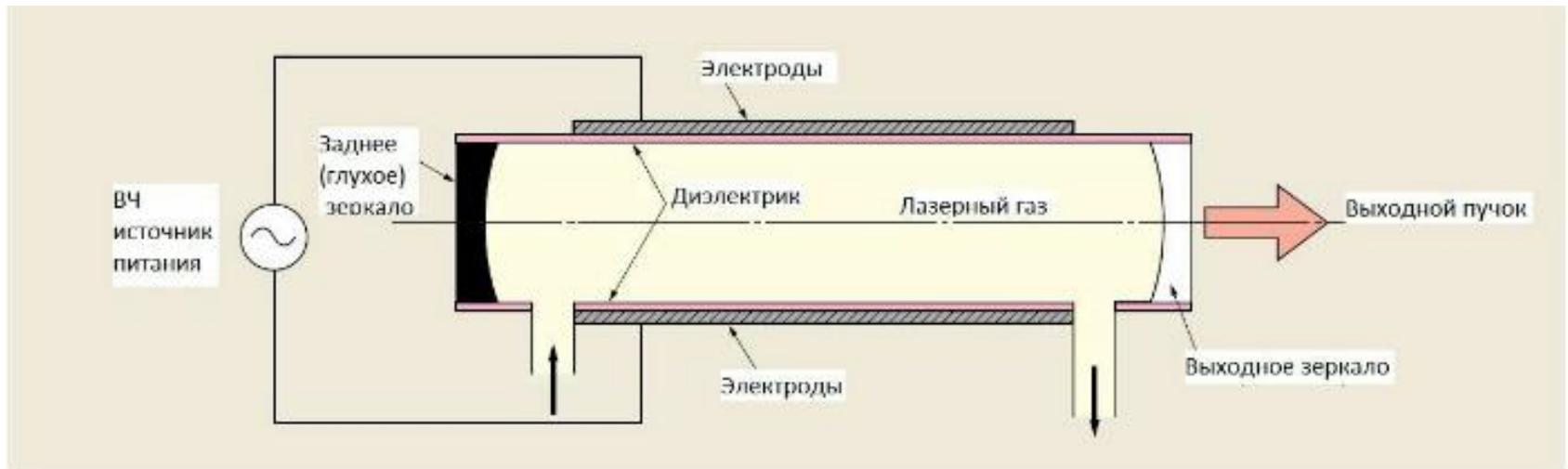
Такие лазеры излучают в инфракрасном диапазоне. Для возбуждения молекул используют, например, электрический разряд, химические реакции, оптическую и тепловую накачку. Наиболее распространен лазер на молекулах двуокиси углерода (CO_2 – лазер).

Здесь используется смесь рабочих газов: CO_2 , N_2 . Для увеличения теплопроводности смеси и отвода тепла к стенкам газоразрядной трубки в нее добавляют также *He*.

Лазер на CO₂



Одна из конструкций



Лазер на CO_2

Типичные характеристики излучения CO_2 – лазеров:

$\lambda = 10,6$ мкм (есть и другие линии, например $\lambda = 9,6$ мкм);

$P_{\text{вых}} = 9$ кВт (непрерывный);

К.П.Д. – до 30%;

$P_{\text{имп. max}} = 100$ МВт.

**Спасибо за
внимание!**