

## Лекция 16.

### Неодимовый и газовые лазеры.

#### 1. Лазер на неодимовом стекле.

Одна из наиболее часто используемых систем лазера – система в которой ион  $\text{Nd}^{3+}$  является примесным атомом в стекле. Ниже на рис. 16.1 показаны энергетические уровни, ответственные за лазерный переход в типичном стеклянном лазере. Длина волны излучения составляет  $\lambda = 1,059$  мкм и нижний лазерный уровень находится примерно на  $1950 \text{ см}^{-1}$  над основным состоянием. Как и в рассмотренном выше лазере на кристаллах граната, это тоже четырех уровневый лазер, поскольку тепловая населенность нижнего лазерного уровня здесь не значительна. Спектр флуоресценции различных стекол показан на рис. 16.2. Ширина линии флуоресценции для указанных стекол колеблется в пределах примерно около  $300 \text{ см}^{-1}$ , что приблизительно в 50 раз больше чем в лазере на кристаллах граната. Это обусловлено аморфной структурой стекла при которой ионы  $\text{Nd}^{3+}$  видят различные атомы окружающей среды, что приводит к незначительному уширению и сдвигу их энергетических уровней. Разные ионы, следовательно излучают на слегка отличающихся частотах, вызывая уширение спектра – спонтанные эмиссии. В настоящее время созданы лазеры на неодимовом стекле, обеспечивающие генерацию излучения в ближней инфракрасной области.

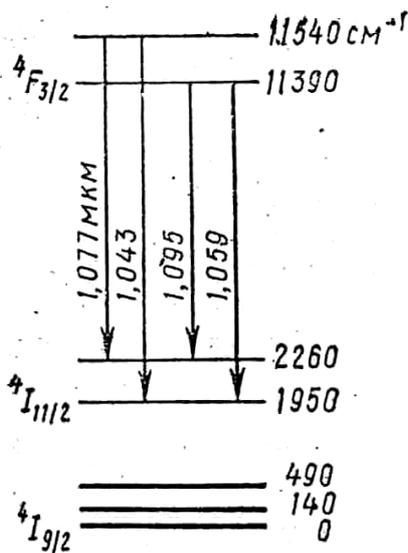


Рис 16.1 Диаграмма энергетических уровней для основного состояния и состояний, приводящих к лазерной эмиссии на 1,059 мкм для  $\text{Nd}^{3+}$ , в рубий-калий-барий-силикатном стекле [8].

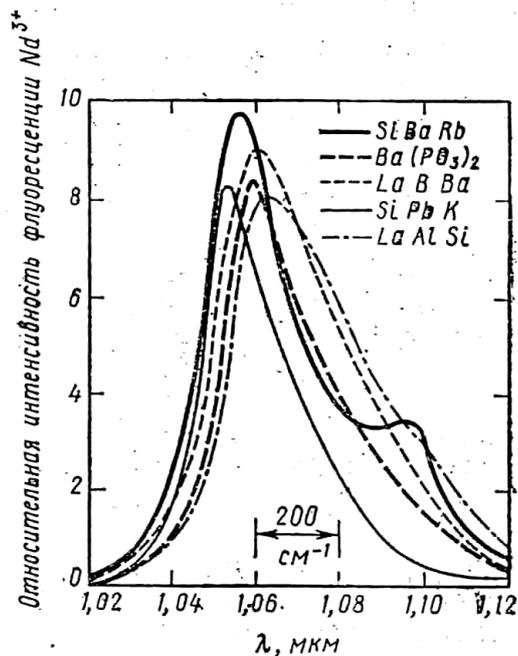


Рис. 16.2. Линия флуоресцентного излучения  $\text{Nd}^{3+}$  на 1,06 мкм при 300 К в различных стеклах [8].

## 2. Гелий-неоновый лазер.

Лазер на смеси гелия с неоном был первым лазером непрерывного действия в котором длина волны  $\lambda=1,15$  мкм возникает в результате переходов между уровнями  $2s$  и  $2p$  в атомах неона. Позднее для полученных лазеров генерации на длинах волн  $\lambda=0,6328$  мкм и до  $\lambda=3,39$  мкм использовались другие линии. Действие этого лазера можно объяснить с помощью рис. 16.3.

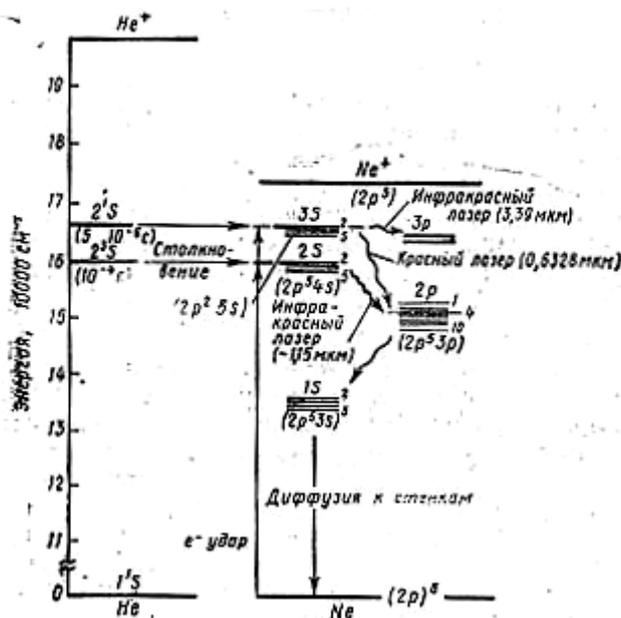


Рис 16.3 Энергетические уровни He-Ne. Показаны преобладающие пути возбуждения для красных и инфракрасных лазерно-мазерных переходов [11].

В смеси газа содержащего обычно гелий ( $1$  мм рт. ст.) и неон ( $0,1$  мм рт. ст.) создается разряд постоянного тока или высокочастотные разряды. Электроны, ускоренные электронным полем, переводят атомы гелия в различные возбужденные состояния. При нормальной каскадной релаксации атомов при основном состоянии живут на уровнях  $2^3s$  и  $2^1s$ , время жизни которых составляет  $10^{-4}$  и  $5 \cdot 10^{-6}$  сек. соответственно. Так как эти метостабильные уровни почти совпадают по энергии с уровнями  $2s$  и  $3s$  в неоне, они могут передавать возбуждения атомам неона. Это происходит в результате столкновений возбужденных атомов гелия с атомами неона, находящимися в основном состоянии и обмена с ними энергией. Таков основной механизм накачки в гелий-неоновом лазере.

Типичная схема газового лазера показана на рис. 16.4.

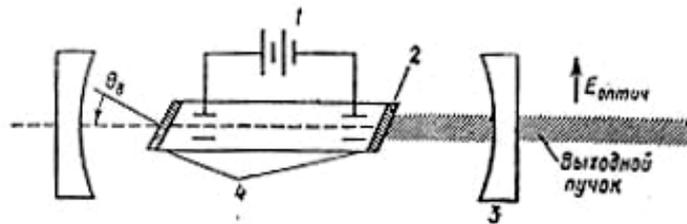


Рис 16.4. Типичный газовый лазер.

Окошки газовой кюветы наклонены по углом Брюстера  $\Theta_B$ , по этому излучение с вектором напряжения электрического поля, лежащего в плоскости чертежа не испытывает потерь на испытываемых окнах. Выходное излучение поляризовано так, что ортогонально-поляризованная составляющая напряжения электрического поля (вектор  $\vec{E}$ ) при отражении испытывает потери на ионах и, следовательно, имеет более высокий порог.

### 3. Лазер на двуокиси углерода.

Работа лазеров описанных ранее зависит от электронных переходов между состояниями в которых электронные орбиты (то есть распределение зарядов вокруг атомного ядра) различны.

Лазер на двуокиси углерода типичный представитель так называемых *молекулярных лазеров* в которых энергетические уровни обусловлены колебательными уровнями молекул то есть относительное движение составляют атомы, а атомные электроны остаются на своих самых низких энергетических состояниях и не возбуждаются.

Спектр молекулы  $\text{CO}_2$  имеет сложную структуру. В трех атомной молекуле возможны 3 основные внутренние типа колебания, так называемые нормальные моды. Они показаны энергетической диаграммой на рис. 16.5.

Верхний показатель уровней (001) – это уровень соответствующий только асимметрично растягивающей моде и имеет энергию равную энергии одного кванта  $h\nu_3$ . лазерный переход на длине волны генерации  $\lambda=10,6 \text{ мкм}$  происходит между (001) и (100) уровнями  $\text{CO}_2$  как показано на рис. 16.5. Возбуждение  $\text{CO}_2$  лазера обеспечивается в лазерном разряде за счет атомов  $\text{N}_2$  и  $\text{He}$ .  $\text{CO}_2$  лазер обладает высокой КПД – порядка 30%. Такая высокая эффективность обусловлена тремя факторами:

- все лазерные уровни находятся близко к основному состоянию, по этому квантовая эффективность  $\nu_{21}/\nu_{30}$  составляет 45%;

- большая часть молекул  $\text{CO}_2$  возбуждается за счет ударов электронов и каскадными переходами с первоначального уровня стремится собраться на долгоживущем (001) уровне;

- значительная часть молекул  $\text{N}_2$  которые возбуждаются разрядом, стремится собраться на уровне  $V=1$ . столкновение молекул  $\text{CO}_2$  основного состояния приводит их к возбуждению в состояние (001).

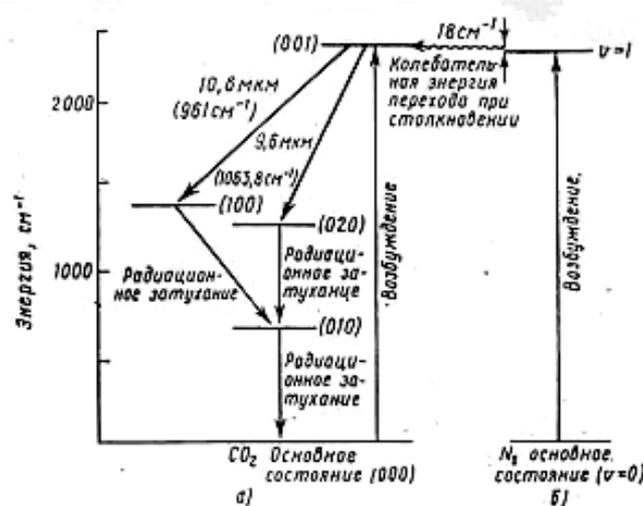


Рис 16.5 (а) Некоторые из низколежащих колебательных уровней молекулы  $\text{CO}_2$ , включая верхний и нижний уровни для 10,6 мкм и 9,6 мкм лазерных переходов.  
(б) Основное состояние ( $v=0$ ) и первое возбужденное состояние ( $v=1$ ) молекулы азота, которые играют важную роль при селективном возбуждении уровня (001) в  $\text{CO}_2$ .

Лазеры на  $\text{CO}_2$  не только эффективны, но могут излучать большое количество энергии. Такие лазеры в лабораторном исполнении с длиной газоразрядной трубки несколько метров могут давать излучение в несколько киловатт. Это обусловлено не только избирательным возбуждением низко лежащего лазерного уровня, но так же тем, молекула, испустив фотон, быстро возвращается в основное состояние где ее можно использовать снова. В основное состояние она возвращается при столкновении с другими молекулами, например молекулами гелия.

#### 4. Ионный аргоновый лазер.

Для получения на нескольких видимых (или близких к видимым) длинах волн (между 0,35 и 0,56 мкм) могут быть использованы переходы между высоко возбужденными состояниями однократно ионизированного атома аргона. Такой лазер один из самых эффективных широко используемых лазеров в настоящее время. Соответственная схема энергетический уровней активной среды лазера показана на рис. 16.6.

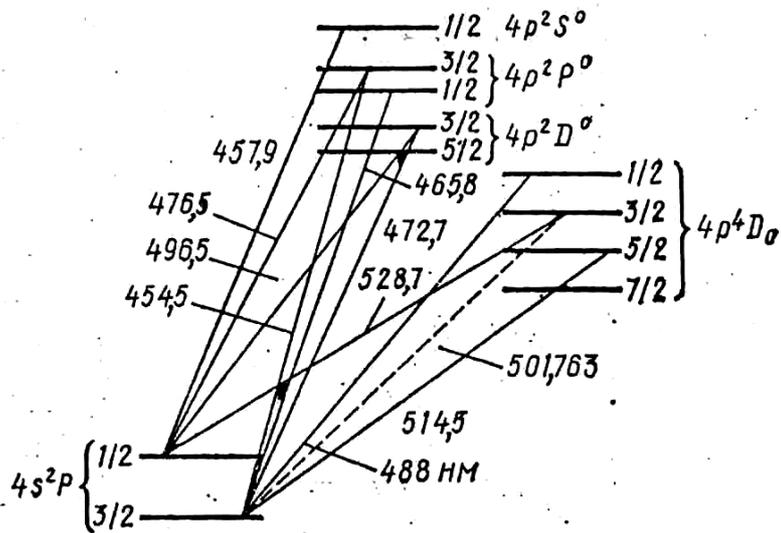


Рис 16.6 Энергетические уровни  $Ag^+$  и 9 лазерных переходов [15].

В такой активной среде наиболее важный энергетический переход 488нм. Аргонный лазер может работать на разряде в чистом аргоне не содержащем других газов. Механизм возбуждение-столкновение ионов с электронами (обладающих энергией 4-5 эВ). Поскольку средняя энергия электронов мала, по сравнению со средней энергией верхнего лазерного уровня (~ на 20 эВ выше основного состояния ионов), возбуждение происходит в результате многократных столкновений ионов аргона с электронами в каскадных переходах. Детали столкновения и каскадные процессы в настоящее время изучаются физиками и используются для усовершенствования схем таких атомов. Современные аргонные лазеры генерируют излучения в непрерывном режиме, обладают незначительной выходной мощностью, больше используются для построения специальных измерительных систем, а так же для скрайбирования поверхности полупроводниковых кристаллов, испарения пленок и других целей.