

## Лекция № 15.

### Некоторые лазеры, их принципы работы и схемы.

#### 1. Накачка и КПД лазера.

На рис.15.1 показан цикл «накачка-генерация» некоторого гипотетического лазера. Под действием накачки атомы переходят в некоторое возбужденное состояние 3 из которого они релаксируют на верхний лазерный уровень 2. Лазерный переход происходит между уровнями 2 и 1, и приводит к излучению фотонов с частотой  $\nu_{21}$ .

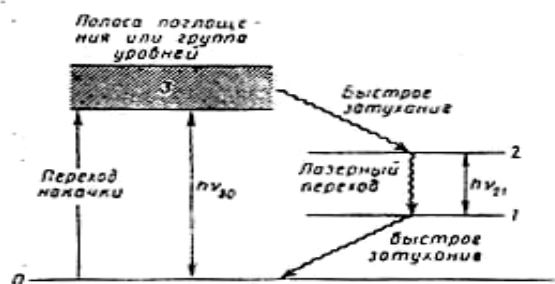


Рис 15.1 Цикл накачка – генерация типичного лазера.

Из рисунка ясно видно, что минимальная поглощаемая энергия необходимая для излучения одного фотона равна  $h\nu_{30}$ , так что КПД лазерного перехода не может превышать значение атомной квантовой эффективности

$$\eta_{ат} = \frac{\nu_{21}}{\nu_{30}} \quad (15.1)$$

Полный КПД лазера зависит от той частоты общей энергии накачки, которая переводит атомы на уровень 3. И от квантовой эффективности накачки (коэффициента, показывающая, какая часть атомов переходит с уровня 3 на уровень 2). Произведение двух последних коэффициентов определяет верхнюю границу КПД лазеров с оптической накачкой. Он меняется от 1%, для твердых лазеров (таких как на неодимовом стекле), и при алюминиевом прокате до 30% в  $\text{CO}_2$  и примерно до 100% в гамма-арсенидном полупроводниковом лазере GaAs. Эти коэффициенты мы рассмотрим, когда перейдем к некоторым конкретным лазерным системам. Однако можно отметить, что согласно (15.1), для того чтобы, эффективность лазерной системы была высока, частоты  $\nu_{21}$  и  $\nu_{30}$  должны быть близки.

#### 2. Рубиновый лазер.

Впервые лазерное излучение было получены на рубине ( $\lambda=694,3$  км). До сих пор

это один из наиболее часто используемых лазерных материалов. Активными лазерными частицами в нем являются ионы  $\text{Cr}^{3+}$  присутствующие как примеси в кристалле  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Типичные концентрации иона  $\text{Cr}^{3+}$  составляют примерно 0.05% (по весу). Соответствующая диаграмма энергетических уровней показана на рис. (15.2).

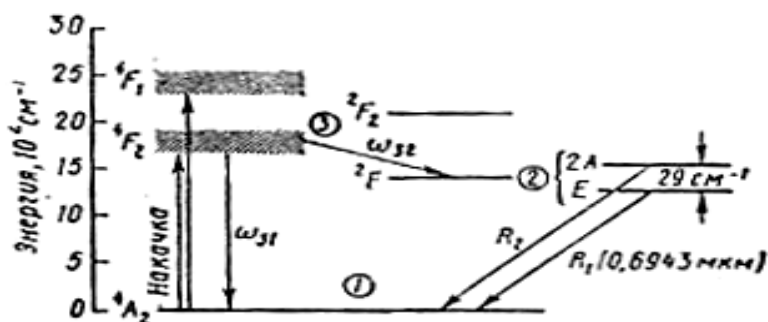


Рис 15.2 Энергетические уровни, соответствующие работе рубинового лазера [2].

Накачка рубина обычно осуществляется светом от мощных импульсных ламп, (подобно тому как это делается в фотографии). Частота света которая соответствует по частоте двум полосам поглощения  ${}^4F_2$  и  ${}^4F_1$  поглощается в кристалле заставляя ионы  $3+$  переходить на уровни  ${}^4F_2$ ,  ${}^4F_1$ . Затем ионы за среднее время  $\sim 5 \cdot 10^{-8}$  сек. переходят на верхний лазерный уровень  ${}^2E$ . Уровень  ${}^2E$  состоит из 2-х отдельных уровней  $\bar{2A}$  и  $\bar{E}$ , разделенных по длине волны интервалом  $29 \text{ см}^{-1}$ . Более низкий из них  $\bar{E}$  - это верхний лазерный уровень. Нижний лазерный уровень - основное состояние. Таким образом, рубин - трех уровневая лазерная система.

Время жизни атомов на верхнем лазерном уровне  $\bar{E}$  составляет  $t_2 \approx 3 \cdot 10^{-3}$  сек. Каждый акт распада приводит к спонтанной эмиссии фотона так, что  $t_2 \approx t_{\text{сп}}$ . Спектр поглощая типичного рубина с 2-мя ориентациями оптического поля относительно оси «с», показан на диаграмме его спектров. Два главных пика соответствуют поглощению в полюсы  ${}^4F_2$  и  ${}^4F_1$ , от которых зависит характерный «рубиновый» цвет кристалла.

На примере рубина, можно рассмотреть устройство твердотельных лазеров с оптической накачкой. Ниже на рис. 15.3 показано типичное устройство оптически накачиваемого лазера. Спирально импульсная лампа окружает рубиновый стержень. Лампа включается при замыкании на нее батареи конденсатора. Обычная вспышка лампы представляет собой импульс света продолжительностью  $t_{\text{л}} = 5 \cdot 10^{-4}$  сек. Для простоты примем, что мощность импульса вспышки постоянна и имеет продолжительность  $t_{\text{л}}$  во времени. Оптический поток на поверхности кристаллов на частоте  $\nu$  составляет  $S(\nu)$ . Если  $\alpha(\nu)$  - коэффициент поглощения кристалла, то плотность поглощения кристаллом будет:

$$t_L \cdot \int_0^\infty S(\nu) \cdot \alpha(\nu) d\nu$$

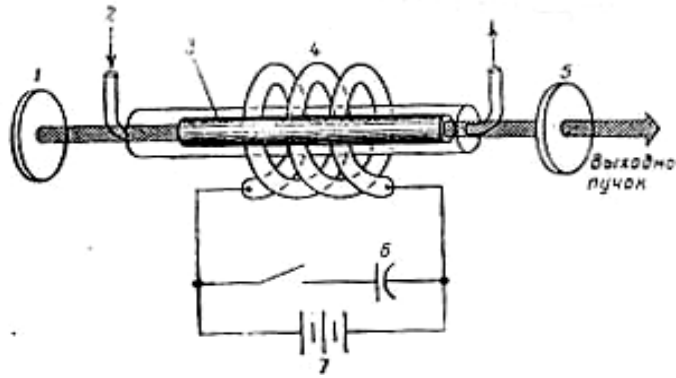


Рис 15.3 Типичная установка импульсного рубинового лазера, использующего накачку от импульсной лампы и внешние зеркала.

Если  $\eta(\nu)$  – эффективность квантового поглощения вероятность того, что поглощение фотона накачки на частоте  $\nu$  приведет к переходу одного атома на верхний лазерный уровень, то плотность атомов накачиваемых на уровне 2 равняется:

$$N_2 = t_L \int_0^\infty \frac{S(\nu) \cdot \alpha(\nu)}{h\nu} d\nu \quad (15.2)$$

Так как время жизни атомов на уровне 2 ( $t_2=3 \cdot 10^{-3}$  сек) значительно больше чем длительность вспышки ( $\sim 5 \cdot 10^{-4}$  с), спонтанным затуханием уровня 2 во время импульса вспышки можно пренебречь, поэтому  $n_2$  – населенность уровня 2 после вспышки.

### 3. Лазер на кристалле граната с неодимом.

Одной из распространенных лазерных систем является система использующая ионы неодима  $Nd^{3+}$ , которые присутствуют в иттрий алюминиевом гранате. При комнатной температуре лазерная генерация происходит при длине волны  $\lambda_0=1,0041$  мкм. Соответствующие уровни энергии показаны на рисунке 15.4.

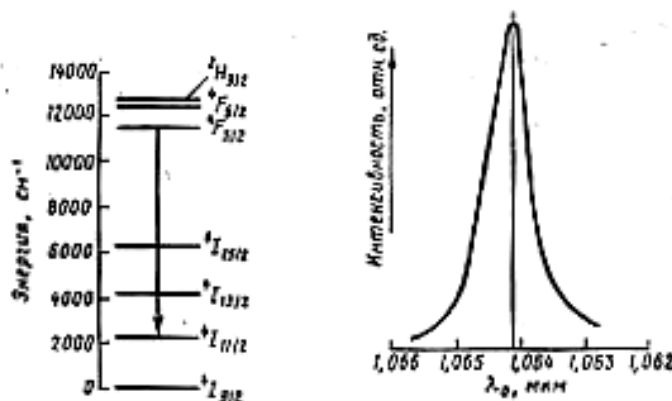


Рис 15.4 Диаграмма энергетических уровней  $Nd^{3+}$  в ЦАГ [6].

Нижний лазерный уровень расположен выше основного состояния  $E_2=21.11 \text{ см}^{-1}$ , поэтому населенность его в  $e^{-10}$  меньше населенности основного состояния им не можно пренебречь. Таким образом система на иттрий алюминиевом гранате соответствует определенно 4-х уровневому лазера. Ширина линии усиления при комнатной температуре  $\Delta\nu=6 \text{ см}^{-1}$ . Спонтанное время жизни для лазерного перехода равно  $t_{\text{сп}}=5.5*10^{-4}$  сек. При комнатной температуре сечение лазерного перехода составляет центре линии усиления  $\sigma=9*10^{-19} \text{ см}^2$ . Коэффициент оптического усиления в кристалле необходимо примерно в 75 раз больше, чем в рубине, поэтому пары генерации здесь значительно ниже. Этим же объясняется легкость получения непрерывного режима работы такого лазера по сравнению с рубином. Типичная схема используемая в твердотельных лазерах непрерывного режима работы показана ниже на рис. 15.5.

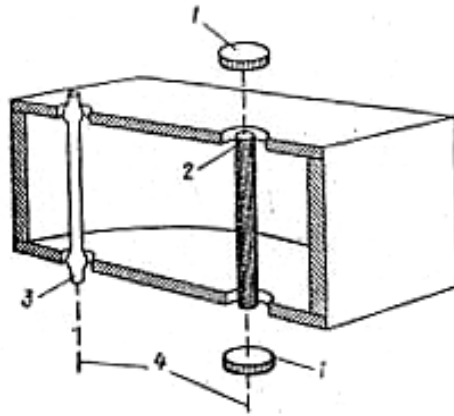


Рис 15.5 Типичная конструкция твердотельного лазера, в которой используется эллиптический цилиндрический отражатель для концентрации света лампы в лазер.

Эта схема используется и в рассматриваемых лазерах на кристалле граната. Тщательно отполированный эллиптический цилиндр используется для концентрации света от лампы расположенной вдоль из одной фокальных осей в лазерный стержень, который размещен по другой оси. При такой конфигурации большая часть света испускаемая лампой накачки 3 проходит через лазерный стержень. Отражающие зеркала 1 образуют оптический резонатор  $r$  как обычно расположены по торцам активного элемента. Рассматриваемый лазер применяют чаще всего в технологических системах для испарения тонких пленок., прошивки отверстий, обработки полупроводниковых кристаллов.