

Общие принципы работы лазеров

Общая схема оптического квантового генератора (лазера) приведена на рис.

Необходимыми элементами любого лазера являются:

- рабочее вещество, в котором может быть осуществлена инверсия (активная среда);
- устройство, позволяющее осуществить инверсию населенности (система накачки);
- элемент осуществляющий интенсивное взаимодействие излучения с веществом (оптический резонатор);
- устройство, обеспечивающее вывод энергии;
- дополнительные элементы, зависящие от цели лазера. (Приборы управления лучом, модуляторы и т. д.)

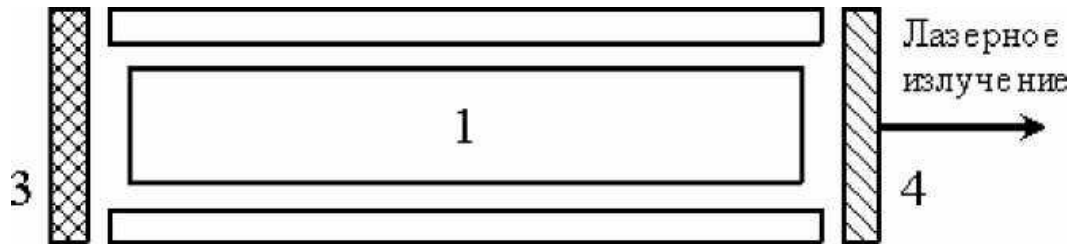


Рис. Принципиальная схема лазера:

- 1 - активный элемент;
- 2 - устройство накачки;
- 3 - зеркало со стопроцентным отражением;
- 4 - полупрозрачное зеркало

Активная среда лазера может быть различна по агрегатному состоянию. Именно по этому признаку различают лазеры на твердом теле, газовые лазеры, жидкостные

Накачка

Оптическая накачка. Это достаточно универсальный и широко используемый метод накачки твердотельных и жидкостных лазеров, иногда он применяется и для накачки полупроводниковых и газовых лазеров.

Сущность метода заключается в облучении активной среды излучением, которое поглощается активным веществом и переводит активные центры из основного в возбужденное состояние.

В качестве источника излучения могут быть использованы разнообразные источники света, в том числе ксеноновые лампы-вспышки низкого давления (около 100 мм рт. ст.), вольфрам-иодные, криптоновые и ртутные капиллярные лампы высокого давления, обычные лампы накаливания, лазеры.

В настоящее время для накачки используются тлеющий и дуговой разряды на постоянном токе, высоких и сверхвысоких частотах.

Возбуждение электронным пучком. Этот метод накачки используется для полупроводниковых и газовых лазеров.

Инжекция неосновных носителей заряда через n-p переход - это самый распространенный способ накачки полупроводниковых лазеров, который позволяет непосредственно, без промежуточных стадий, преобразовывать электрическую энергию в лазерное излучение.

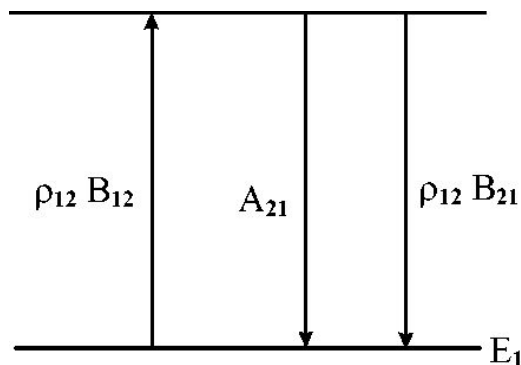
Химическая накачка применяется главным образом в газовых лазерах и использует химические реакции, сопровождающиеся образованием возбужденных продуктов.

Газодинамическая накачка. Этот метод применяется в газовых лазерах и заключается в резком охлаждении рабочего газа, в результате чего может быть достигнута инверсная населенность.

Двухуровневая система инверсии

Условия получения инверсной населенности уровней можно получить из анализа балансных уравнений кинетики заселения и тушения конкретных энергетических уровней в активной среде при наличии накачки.

Рассмотрим простейшую двухуровневую систему, в которой активная среда имеет уровень E_1 - основное состояние и уровень E_2 - возможное возбужденное состояние (рис.).



В стационарном состоянии скорости населения и расселения уровня E_1 равны и уравнение баланса можно записать следующим образом:

$$\rho \cdot e_{12} N_1 = (\rho \cdot e_{21} + A_{21}) N_2 .$$

Обозначив общее количество частиц в системе $N = N_1 + N_2$, получим:

$$N_2 = \frac{\rho \cdot e_{21}}{A_{21} + 2\rho \cdot e_{21}} N ,$$

$$N_1 = \frac{A_{21} + \rho \cdot e_{21}}{A_{21} + \rho \cdot e_{21}} N ,$$

где ρ_n – плотность излучения накачки. При отсутствии возбуждения все частицы находятся на энергетическом уровне E_1 . С увеличением плотности накачки населенность уровня E_1 уменьшается, а E_2 растет. В предельном случае, при бесконечно большой плотности накачки, населенности обоих уровней выравниваются:

$$\lim N_1 = \lim N_2 = N/2$$

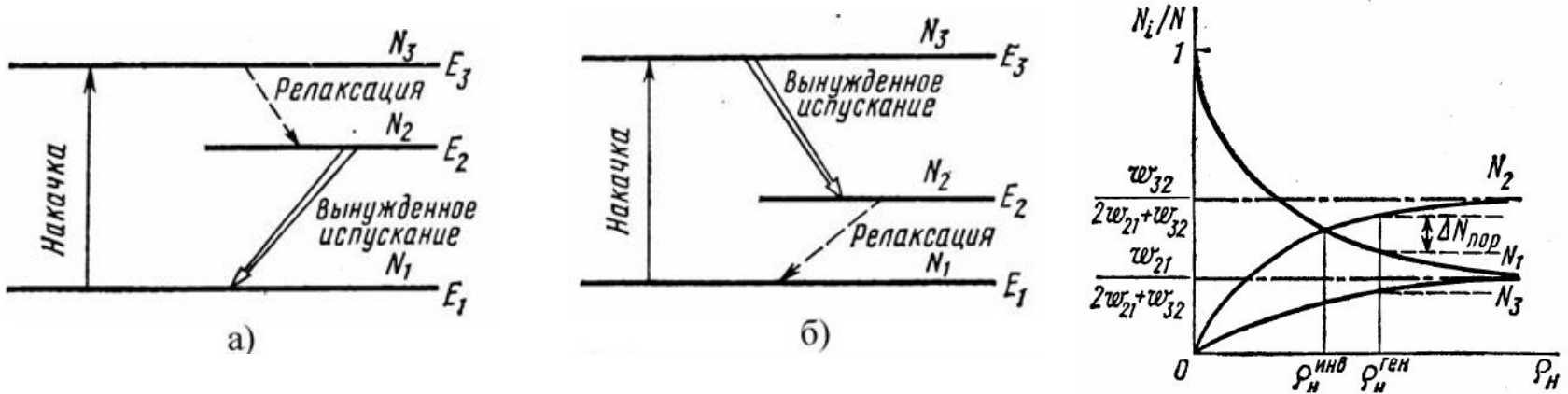
Ни при каких условиях, используя оптическую накачку, в двухуровневой системе нельзя достичь инверсии, а следовательно, и усиления.

Трехуровневые системы

На рис. приведены два варианта трехуровневых систем.

В первом из них рабочий переход заканчивается в основном состоянии, а во втором - на возбужденном.

Накачка в обоих случаях осуществляется по возможности селективно на уровень E_3 .



При некотором значении плотности накачки, называемым пороговым, возникает инверсия населенности между уровнями E_2 и E_1 ($N_2 > N_1$). С увеличением плотности накачки выше порогового значения инверсия увеличивается. Отметим, что порог накачки по инверсии обычно меньше порога накачки по генерации. Приравнивая выражения для концентраций N_1 и N_2 , получим выражение для пороговой плотности накачки по инверсии:

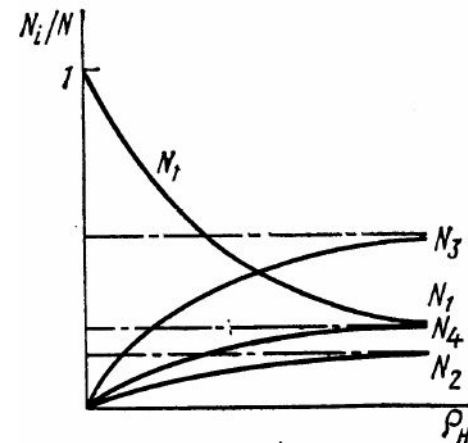
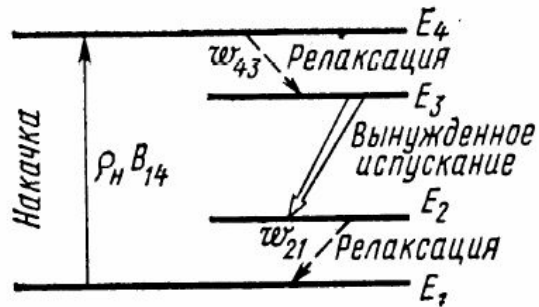
$$\rho_{н.инв.} = \frac{S_{21}(S_{32} + A_{31})}{B_{31}(S_{32} - S_{21})}.$$

Для создания максимального уровня инверсии наиболее выгодны системы, в которых переход $3 - 2$ должен быть быстрым, уровень E_2 – долгоживущим, а коэффициент Эйнштейна для перехода $1 - 3$ – большим.

В режиме генерации происходит изменение населенностей рабочих уровней, сопровождающееся насыщением инверсии и коэффициента усиления.

Четырехуровневая система

В четырехуровневой системе каналы накачки и генерации полностью разделены, что позволяет получать инверсию населенностей при минимальных уровнях накачки. Механизм создания инверсии между рабочими лазерными уровнями E_3 и E_2 показаны на рис.. Так же, как и в трехуровневой системе, накачка переводит атомы из основного E_1 в верхнее возбужденное состояние E_4 . Инверсия достигается между уровнями E_3 и E_2 . Для этого необходимо, чтобы процессы $E_4 - E_3$ и $E_2 - E_1$ были быстрыми. Возможные переходы $4 - 1$, $4 - 2$, $3 - 1$, $1 - 2$, $3 - 4$ приводят к уменьшению инверсии.



Из рис. следует, что пороговая плотность накачки по инверсии в четырехуровневой системе мала даже при учете потерь в активном веществе.

В режиме генерации за счет интенсивных вынужденных переходов происходит насыщение уровня инверсии и коэффициента усиления.