

В классич. трёхуровневой системе (рис. 1) получения инверсии населённости квантовых уровней энергии в процессе Н. эл.-магн. волна насыщает квантовый переход между нижним (\mathcal{E}_1) и верхним (\mathcal{E}_3) уровнями. Насыщение заключается в выравнивании населённости этих уровней. В условиях насыщения перехода $\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_3$ населённость уровня \mathcal{E}_2 может быть или больше, или меньше населённости уровней \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_3 . В результате возникает

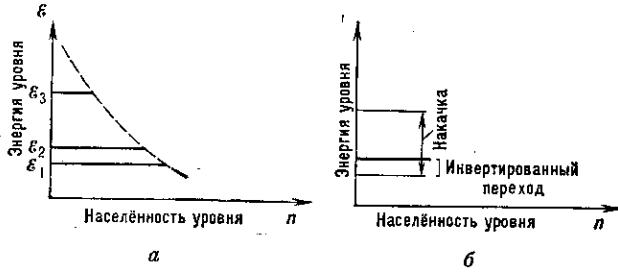


Рис. 1. Накачка трёхуровневой системы: распределение населённости уровней равновесное (а) и в условиях накачки перехода $\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_3$ (б).

инверсия населённости на одном из переходов $\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2$ или $\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_3$. Интенсивность эл.-магн. поля Н. должна быть такой, чтобы индуциров. квантовые переходы происходили значительно чаще, чем релаксац. переходы с уровня \mathcal{E}_3 на уровни \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 . Трёхуровневая схема накачки применяется в квантовых усилителях радиодиапазона (мазерах) и в оптич. квантовых генераторах (лазерах) на рубине. В последнем случае возможна работа только в импульсном режиме, т. к. для насыщения оптич. квантового перехода в твёрдом теле требуются очень большие плотности энергии Н., вызывающие при длит. воздействии сильный разогрев и разрушение рубинового стержня (см. *Твердотельный лазер*).

Возможны более сложные схемы Н. квантовых систем, напр. четырёхуровневая схема Н. лазера на ионах неодима. Осуществить насыщение квантовых переходов в оптич. диапазоне с помощью нелазерных тепловых источников Н. очень трудно. С др. стороны, в условиях теплового равновесия при обычных темп-рах практически все квантовые частицы находятся на самом ниж. уровне. Выбрав вещество с четырьмя уровнями энергии, при благоприятных соотношениях скоростей релаксац. переходов между уровнями можно получить инверсию разности населённости уровней \mathcal{E}_2 и \mathcal{E}_3 (рис. 2) и

где накапливаются. В то же время уровень \mathcal{E}_2 остаётся практически пустым, поскольку все частицы, попадающие на него, быстро переходят на уровень \mathcal{E}_1 .

Н. газовых лазеров осуществляется постоянным или импульсным током. Энергия Н. передаётся свободным электронам, к-рые сталкиваются с атомами или молекулами, ионизируют или возбуждают их. Одноврем. идёт обратный процесс рекомбинации электронов и ионов с образованием возбуждённых частиц. Возбуждённые частицы сталкиваются между собой и с невозбуждёнными частицами, обмениваются энергией возбуждения и переходят на др. уровни энергии. В результате в газоразрядной плазме наблюдается широкий спектр возбуждений и возможны инверсные состояния разл. квантовых переходов в диапазоне волн от долей миллиметра до долей микрометра.

В результате хим. и фотохим. реакций в газах также образуются ионы, атомы или молекулы в возбуждённом состоянии. Последующие хим. превращения и релаксац. процессы часто приводят к инверсии населённости или непосредств. продуктов реакции, или специально введённых примесей с подходящей структурой энергетич. уровней. Газоразрядные лазеры и хим. лазеры могут иметь очень большой (до 50%) коэф. преобразования мощности Н. в мощность лазерного излучения.

Н. гетеролазеров осуществляется постоянным (или импульсным) током. Под действием сильного прямого тока через $p - n$ -переход происходит диффузия носителей заряда в зону $p - n$ -перехода и повышается их концентрация до такой степени, что плотность занятых уровней вблизи два зоны проводимости становится больше плотности занятых уровней вблизи потолка валентной зоны. Т. о. создаётся инверсия разности населённости уровней в узкой зоне вблизи $p - n$ -перехода. Гетеролазеры также отличаются большим кпд (до 50%). Др. высококоэфф. способом Н. полупроводникового лазера является облучение кристалла электронным пучком с энергией $10^3 - 10^6$ эВ. Электронный пучок пронизывает значит. толщину кристалла и производит в его объёме ионизацию с образованием электрон-дырочных пар с достаточной для лазерной генерации концентрацией. Кпд лазера с электронно-пучковой Н. может достигать 30% при мощности излучения до 1 МВт.

В параметрич. устройствах радиодиапазона Н. осуществляет периодич. изменение величины ёмкости или индуктивности колебат. контура или резонатора. Если ёмкость конденсатора уменьшается в те моменты, когда заряд на нём максимален, и вновь увеличивается, когда заряд отсутствует, то энергия, накопленная в контуре, периодически увеличивается за счёт Н. В рассмотренном простейшем случае частота воздействия Н. вдвое превышает собств. частоту контура, на к-рой происходит усиление или генерация. Этот эффект наз. параметрич. усилением и используется в усилителях и генераторах радиодиапазона (см. *Параметрическая генерация и усиление электромагнитных колебаний*).

Аналогичные явления можно наблюдать и в оптич. диапазоне при воздействии на нелинейную оптич. среду мощной волны Н., возбуждающей бегущую волну изменяющегося показателя преломления. Эта волна при благоприятных условиях порождает вторичную эл.-магн. волну на частоте, отличной от частоты Н. Условиями возникновения вторичной волны являются превышение плотности энергии волны Н. над определённым пороговым значением, фазовый синхронизм вторичной волны и волны изменений показателя преломления. Последнее условие может быть реализовано только в авизотропных средах (кристаллах) или в средах с аномальной дисперсией.

Н. наз. также оптич. волну, порождающую нелинейные оптич. эффекты, связанные с изучением вторичных когерентных волн, в т. ч. вынужденное комбинац. рассеяние и вынужденное рассеяние Мандельштама — Бриллюэна.



Рис. 2. Накачка четырёхуровневой системы: распределение населённости уровней равновесное (а) и в условиях накачки перехода $\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_4$ (б).

без насыщения переходов $\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_4$ или $\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_3$. Накачивая переход $\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_4$, можно получить инверсию на переходе $\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_3$, если скорость релаксац. процессов между уровнями $\mathcal{E}_3 - \mathcal{E}_2$ и $\mathcal{E}_3 - \mathcal{E}_1$ значительно меньше скорости релаксации между уровнями \mathcal{E}_2 и \mathcal{E}_1 . Под действием Н. частицы переходят с уровня \mathcal{E}_4 на уровень \mathcal{E}_1 и затем в результате релаксац. процесса попадают на уровень \mathcal{E}_3 ,