

## ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ РАЗРУШЕНИЯ НИЖНЕГО ЛАЗЕРНОГО УРОВНЯ НА МОЩНОСТЬ ОКГ НА $\text{CO}_2$

*Н.Н.Соболев, В.В.Соколов*

В предыдущей заметке авторов [1] было высказано предположение, что доминирующим среди процессов, приводящих к инверсной заселенности лазерных уровней ОКГ на  $\text{CO}_2$ , является непосредственное электронное возбуждение колебательных уровней молекул  $\text{CO}$  или  $\text{N}_2$ , находящихся в газоразрядной трубке вместе с  $\text{CO}_2$ , и последующая резонансная передача их колебательных квантов молекулами  $\text{CO}_2$ . Простые расчеты показывают, что указанный механизм обеспечивает скорость заселения верхнего лазерного уровня, равную  $10^{18} \text{ см}^{-3} \text{ сек}^{-1}$ , что находится в соответствии с экспериментально наблюдаемыми плотностями генерируемой мощности [2]. Ясно, что в стационарном режиме через нижний лазерный уровень должно проходить также  $10^{18} \text{ квант/сек}$ , и, значит, время релаксации этого уровня при давлении  $\text{CO}_2$ , равном одному тору, должно быть не больше  $10^{-4} - 10^{-3} \text{ сек}$ . Согласно недавним измерениям Бриджеса [3], например, оно составляет  $10^{-5} \text{ сек}$ . Отметим, однако, что в его опытах использовалась смесь  $\text{CO}_2 - \text{N}_2$ ; парциальные давления компонент были одинаковы и равны четырем торам. Приведение же к давлению 1 тор дает время релаксации равное  $\approx 10^{-4} \text{ сек}$ .

Ниже будет рассмотрено влияние скорости релаксации нижнего лазерного уровня на величину инверсной заселенности и, тем самым, на мощность генерации.

Известно, что селективное разрушение нижнего уровня само по себе может привести к инверсной заселенности [4]. В случае ОКГ на  $\text{CO}_2$ , когда верхний лазерный уровень накачивается благодаря указанной выше резонансной передаче колебательной энергии, для поддержания инверсии должно также осуществляться быстрое разрушение нижнего лазерного уровня. Действительно, согласно расчетам Герцфельда [5], при комнатной температуре нужно только  $\approx 5 \cdot 10^2$  столкновений для перехода молекулы  $\text{CO}_2$  из состояния  $10^0 0$  в состояние  $01^1 0$ . При давлении  $\text{CO}_2$ , равном одному тору, этому соответствует время релаксации  $4,3 \cdot 10^{-5} \text{ сек}$ , согласующееся с большими значениями наблюдаемых удельных мощностей генерации.

Ясно, однако, что если нижний деформационный уровень ( $01^1 0$ ) не будет достаточно эффективно опустошаться, то это приведет не только к увеличению его заселенности, но и к возрастанию числа обратных процессов заселения нижнего лазерного уровня, т.е. к уменьшению инверсии. Поэтому для поддержания инверсной заселенности необходимо, чтобы время релаксации уровня  $01^1 0$  было, по крайней мере, не больше времени релаксации нижнего лазерного уровня.

Времена релаксации первого уровня деформационного колебания молекулы  $\text{CO}_2$  хорошо изучены как в чистом  $\text{CO}_2$ , так и в его смесях с раз-

личными газами (см. [6-9]). В таблице эти времена приведены для температуры 300°K и давления 1 тор. Из таблицы видно, что при давлении 1 тор  $\text{CO}_2$  разрушение уровня  $01^{10}$  будет происходить значительно медленнее, чем разрушение уровня  $10^0$ , и, следовательно, будет происходить накопление молекул  $\text{CO}_2$  на уровне  $01^{10}$ . Существенно иная ситуация возникает при наличии примесей. Если не учитывать обмен деформационными квантами между компонентами, то время релаксации  $\tau$ -уровня  $01^{10}$  в смеси при полном давлении  $p$  можно определить из соотношения (см., например, [9],  $1/\tau = \sum (p_i/\tau_{\text{CO}_2,i})$ ), где  $p_i$  - парциальные давления компонент,  $\tau_{\text{CO}_2,i}$  - время релаксаций молекул  $\text{CO}_2$  в газе  $i$  при давлении 1 тор.

Т а б л и ц а

Времена релаксации  $\tau$  уровня  $01^{10}$  молекул  $\text{CO}_2$   
в различных газах [7,8] (давление 1 тор, температура 300°K)

Газ	Среднее число газокинетических столкновений, приводящих к потере колебательного кванта	$\tau^*$ (сек)
$\text{CO}_2$	51300	$4,4 \cdot 10^{-3}$
$\text{N}_2$	1200	$1,04 \cdot 10^{-4}$
CO	230	$2,0 \cdot 10^{-5}$
NO	260	$2,26 \cdot 10^{-5}$
$\text{H}_2$	300	$2,6 \cdot 10^{-5}$
$\text{H}_2\text{O}$	60	$5,2 \cdot 10^{-6}$
He	2600	$2,26 \cdot 10^{-4}$
Ar	47000	$4,1 \cdot 10^{-3}$

\* Число газокинетических столкновений взято общим для всех газов и равным  $1,15 \cdot 10^7 \text{ сек}^{-1}$ .

Воспользовавшись этим соотношением, легко убедиться в том, что добавление к  $\text{CO}_2$  азота при давлении 1 тор приводит к времени релаксации уровня  $01^{10}$ , равному  $\approx 10^{-4} \text{ сек}$ . В ОКГ азот обычно используется при больших давлениях, что должно еще значительно уменьшать  $\tau$ . Следует иметь в виду, что в ОКГ на  $\text{CO}_2$  в результате диссоциации основных молекул всегда присутствуют молекулы CO, а в ОКГ на  $\text{CO}_2 + \text{N}_2$  - моле-

кулы CO и NO, наличие которых даже в небольших количествах также значительно уменьшает  $\tau$  (см. таблицу). Укажем, например, что наличие в лазерной трубке даже 0,1 *тора* CO приводит к времени релаксации уровня  $01^10$  CO<sub>2</sub>, равному  $2 \cdot 10^{-4}$  сек. Из таблицы видно также, что самое значительное уменьшение  $\tau$  ( $01^10$ ) дают пары воды. Витtemanом [10] высказано предположение, что молекулы H<sub>2</sub>O, вследствие почти резонансного совпадения уровней, могут и непосредственно разрушать нижний лазерный уровень CO<sub>2</sub>. Оба эти механизма значительно увеличивают скорость релаксации нижнего лазерного уровня, что и находит свое выражение в увеличении мощности генерации.

При объяснении влияния гелия на мощности ОКГ на CO<sub>2</sub> [1] было отмечено, что He не только увеличивает заселенность верхнего лазерного уровня, но и уменьшает заселенность нижнего [11]. Последнее обстоятельство связано, конечно, с тем, что He уменьшает время релаксации нижнего уровня CO<sub>2</sub> (см. таблицу). Отметим, в этой связи, что релаксационный механизм в какой-то мере объясняет отсутствие положительного эффекта при замене гелия другими благородными газами в работе [12]. Из таблицы видно, что, например, аргон почти не изменяет время релаксации уровня  $01^10$  CO<sub>2</sub>.

Таким образом, можно сделать вывод, что абсолютно чистый не диссоциированный CO<sub>2</sub> не мог бы обеспечить получение значительной мощности генерации, так как в этом случае мощность ограничивается медленной скоростью разрушения нижнего лазерного уровня. Обычно в ОКГ используются недостаточно чистые технические сорта CO<sub>2</sub>. Присутствие же некоторых примесей оказывается не только не вредным, но, наоборот, благоприятным. Для получения же очень больших мощностей примеси в CO<sub>2</sub> должны содержаться обязательно, т.е. должны быть либо внесены в лазерную трубку, либо возникнуть в ней в результате диссоциации CO<sub>2</sub>.

Физический институт  
им. П.Н.Лебедева  
Академии наук СССР

Поступило в редакцию  
30 ноября 1966 г.

### Литература

- [1] Н.Н.Соболев, В.В.Соковиков. Письма ЖЭТФ, 4, 303, 1966.
- [2] Н.Н.Соболев, В.В.Соковиков. УФН (в печати).
- [3] T.J.Bridges. Appl. Phys. Lett., 9, 174, 1966.
- [4] В.А.Фабрикант. Труды ВЭИ, 41, 1940.
- [5] K.F.Herzfeld. Disc. Faraday Soc., № 33, 22, 1962.
- [6] K.F.Herzfeld. T.A.Litovitz. Absorption and Dispersion of Ultrasonic Waves, Acad. Press, 1959.
- [7] В.Н.Кондратьев. Кинетика химических газовых реакций. Изд-во АН СССР, М., 1958.
- [8] T.L.Cottrell, J.C.McCoubrey. Molecular Energy Transfer in Gases, London, 1961.
- [9] Е.В.Ступоченко, С.А.Лосев, А.И.Осипов. Релаксационные процессы в ударных волнах. Изд-во "Наука", М., 1965.

- [10] W.J. Wiffeman. Phys. Lett., 18, 125, 1965. Philips Res. Rep., 21, 73, 1966. J. Appl. Phys., 37, 2919, 1966.
- [11] T.F. Deutsch, M.I. Weber. IEEE, QE-2, 24, 1966.
- [12] C.K.N. Patel et al. Appl. Phys. Lett., 7, 290, 1965.

---

\* Интерпретация результатов Бриджеса не однозначна. Обсуждение этого вопроса содержится в работе авторов [2].