

## ИНВЕРСИЯ НАСЕЛЕННОСТЕЙ В ЗАКИСИ АЗОТА ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ И ТЕМПЕРАТУРАХ

*А. И. Демин, Е. М. Кудрявцев, Ю. А. Кулагин,  
Н. Н. Соболев*

Абсолютная инверсия населенностей для ряда линий перехода  $00^01 - 10^00$  молекулы  $N_2O$  получена за счет резонансной передачи энергии от колебательно-возбужденного азота, образующегося в ходе реакции распада части молекул  $N_2O$ . Инверсия достигала величины  $10^{17} \text{ см}^{-3}$  при полном давлении 28 атм и газовой температуре 2000°К.

О перспективности использования экзотермических реакций распада многоатомных молекул для создания инверсной населенности указывалось в работах [1, 2]. Там же предлагался способ создания инверсии между колебательно-вращательными уровнями исходной, распадающейся молекулы за счет того, что колебательно-возбужденный продукт ее распада имеет частоту колебаний, близкую к одной из основных частот колебаний диссоциирующей молекулы, и это может приводить к селективной накачке на колебательные уровни соответствующего типа колебаний.

Такая ситуация реализуется при распаде молекулы закиси азота,  $N_2O$ , если быстро нагреть ее до температур выше  $1600^\circ K$ . При экзотермическом распаде  $N_2O$  значительная доля энергии может выделяться в виде колебательной энергии молекул азота, основная частота колебаний которого  $\nu = 2359 \text{ см}^{-1}$  близка к частоте антисимметричного колебания  $N_2O$ ,  $\nu_3 = 2224 \text{ см}^{-1}$  (схема уровней  $N_2O$  подобна широкоизвестной схеме уровней  $CO_2$ ). При достаточной скорости заселения уровня  $(00^01)$   $N_2O$  за счет столкновений с возбужденными молекулами азота, между этим уровнем и группой уровней  $(10^00)$  и  $(02^00)$  может возникнуть инверсия.

Для возникновения инверсии необходимо, чтобы скорость выделения энергии, определяемая скоростью химической реакции  $v_{\text{ХИМ}}$ , была больше или равна скорости колебательно-колебательного обмена между различными типами колебаний  $v_{\text{ВВ}}$  и значительно превышала скорость колебательно-поступательной релаксации  $v_{\text{VT}}$  уровня  $(00^01)$  молекулы  $N_2O$ .

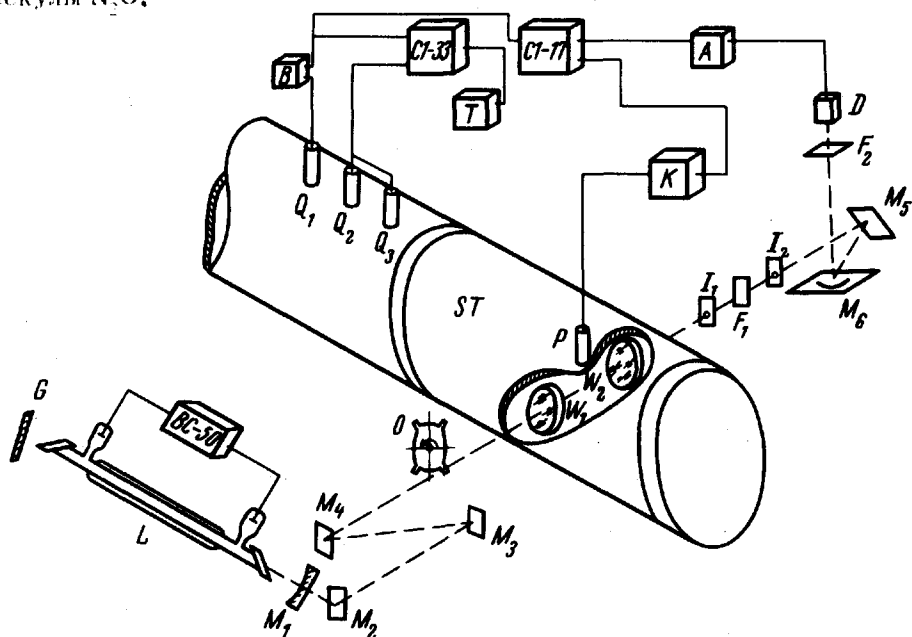


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:  $ST$  — ударная труба,  $L$  — пробный лазер с питанием типа  $BC-50-50$ ,  $G$  — дифракционная решетка ( $100 \text{ штрих/мм}$ ),  $M_1$  — зеркало лазера,  $M_2-M_6$  — поворотные зеркала,  $O$  — обтюратор,  $W_1$  и  $W_2$  — окна отсека наблюдения ударной трубы (материал  $Ge$ ),  $I_1$  и  $I_2$  — диафрагмы  $\phi 5 \text{ мм}$ ,  $F_1$  и  $F_2$  — фильтры из тефлона и  $InSb$  соответственно,  $D_1$  и  $D_2$  — фотосопротивления  $Ge-Au$ ,  $A_1$  и  $A_2$  — усилители,  $P$  — датчик давления тип  $LX-601$ ,  $K$  — катодный повторитель,  $Q_1$  — контактный датчик, запускающий через блок задержки  $B$  осциллографы  $C1-33$  и  $C1-17$ ,  $Q_2$  и  $Q_3$  — контактные датчики для измерения скорости ударной волны,  $T$  — кварцевый генератор

В настоящей работе экспериментально установлено существование инверсии между колебательно-вращательными уровнями молекул  $N_2O$ , которая обусловлена химической энергией, выделившейся при распаде части этих молекул.

Эксперименты проводились с помощью ударной трубы. Использовалась методика усиления луча малоомощного электроразрядного  $N_2O$ -лазера. Схема установки показана на рис. 1. В опытах использовались смеси  $N_2O$  с аргон, гелием и азотом. Поступательная температура  $T$  в инверсной среде составляла  $1600 - 2000^\circ K$ , давление  $P$   $9 - 28$  атм. Типичная осциллограмма, полученная для смеси  $N_2O : N_2$  ( $1 : 4$ ), показана на рис. 2. С момента запуска осциллографа и вплоть до прихода падающей волны (точка  $A$ ) сигнал лазера и датчика давления не меняется. Приход падающей волны характеризуется скачкообразным увеличением давления, а также началом заметного поглощения лазерного луча (точка  $A$ ). Приходу отраженной волны (точка  $B$ ) также соответствует быстрое изменение сигнала датчика давления и резкий минимум лазерного сигнала, соответствующий отклонению луча из-за градиента плотности во фронте отраженной волны. Вслед за этим минимумом начинается пик усиления. Длительность импульса усиления ( $C$ ) обычно составляла величину  $20 - 30$  мксек. В последующие моменты времени наблюдалось монотонное ослабление интенсивности зондирующего луча лазера.

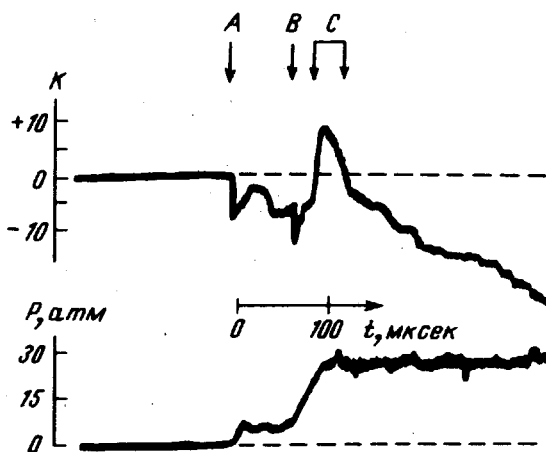


Рис. 2. Типичная осциллограмма опыта для смеси  $N_2O : N_2$  ( $1 : 4$ ):  $T = 1950^\circ K$ ,  $p = 28$  атм, I — сигнал датчика давления, II — сигнал пробного лазера, A — приход падающей ударной волны, B — приход отраженной ударной волны, C — зона существования инверсии

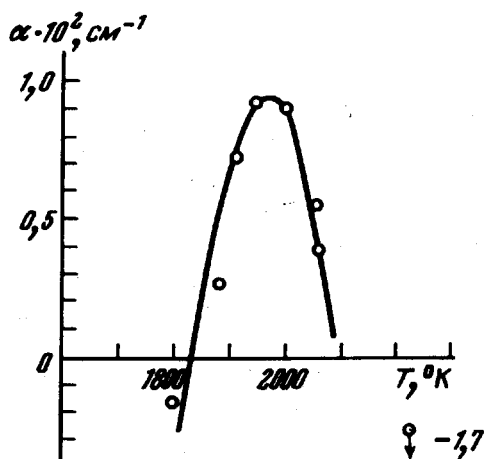


Рис. 3. Зависимость показателя усиления  $\alpha$  от температуры для смеси  $N_2O : N_2$  ( $1 : 4$ ) при давлении около 28 атм

## Условия и результаты экспериментов

№ серии опытов	Состав смеси, отн. ед. <sup>1</sup>				$\alpha_{\text{макс}} \cdot 10^2$ <i>см</i> <sup>-1</sup>	$T_{\text{макс}}$ °К	$P_{\text{макс}}$ <i>атм</i>
	N <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub>	Ar	He			
1	1	—	4	—	0,49	1710	8
2	1	—	9	—	0,28	1680	6
3	1	—	—	4	0,05	2100	11
4	1	4	—	4	0,23	2080	13
5	1	4	—	—	0,33	2300	12
6	1	4	—	—	0,77	2050	19
7	1	4	—	—	0,92	1950	28

$\alpha_{\text{макс}}$  — максимальный для данной смеси показатель усиления,  $T_{\text{макс}}$  — температура, соответствующая  $\alpha_{\text{макс}}$ ,  $P_{\text{макс}}$  — давление, соответствующее  $\alpha_{\text{макс}}$ .

Основные результаты экспериментов представлены в таблице. В первых наших опытах мы стремились повторить режимы работы [1] со смесью N<sub>2</sub>O : Ar. В условиях, в которых в работе [1] наблюдалась колебательная неравновесность (строка 1 таблицы) у нас было зарегистрировано усиление. Однако, максимальный показатель усиления  $9,2 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$  был получен со смесью N<sub>2</sub>O : N<sub>2</sub> (1 : 4), строка 6 таблицы. Такой величины показателя усиления  $\alpha$  достаточно для реализации режима генерации в этой смеси, однако мы пока не смогли наблюдать генерацию, по-видимому, из-за технических трудностей.

Зависимость  $\alpha$  от температуры для той же оптимальной смеси показано на рис. 3. Виден экстремальный характер этой зависимости. Это означает, что условие  $v_{\text{хим}} > v_{\text{т}}$  выполняется только в ограниченном диапазоне температур. Из сравнения данных, приведенных в строках 5, 6, 7 таблицы видно, что с увеличением давления максимальный показатель усиления возрастает.

Нами была также исследована зависимость показателя усиления от спектрального состава зондирующего излучения. Усиление получено как на  $P$ -, так и на  $R$ -ветвях перехода ( $00^01 - 10^00$ ). Отсюда следует, что инверсия в нашем случае была полной, а не частичной.

По предварительным оценкам для условий, не оптимизированных по важнейшим параметрам, в условиях описанных экспериментов величина инверсии может достигать  $10^{17} \text{ см}^{-3}$ ; а удельная энергия генерации  $\sim 5 \text{ Дж/л}$ .

Авторы благодарят А.М.Прохорова, И.С.Заслонко и Б.Ф.Гордийца за полезные обсуждения и советы.

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

Поступила в редакцию  
12 июля 1973 г.

## Литература

- [ 1 ] И.С.Заслонко, С.М.Когарко, Е.В.Мозжухин, А.И.Демин. ДАН СССР, 202, 1121, 1972.
  - [ 2 ] И.С.Заслонко, С.М.Когарко, Е.В.Мозжухин, А.И.Демин. Горение и взрыв. Материалы III всесоюзного симпозиума по горению и взрыву, 5 - 10 июля 1971 г., Ленинград, М., изд. Наука, 1972, стр. 685.
-