

*Письма в ЖЭТФ, том 10, стр. 84 – 88*

*20 июля 1969г.*

**КОЛЕБАТЕЛЬНАЯ РЕЛАКСАЦИЯ МОЛЕКУЛ  $\text{CO}_2$  И  $\text{N}_2$   
В РАСШИРЯЮЩЕЙСЯ СВЕРХЗВУКОВОЙ СТРУЕ ГАЗА**

*В.К.Конюхов, И.В.Матросов, А.М.Прозоров,  
Д.Т.Шалунов, Н.Н.Широков*

Изучение колебательной релаксации молекул  $\text{CO}_2$  в быстро расширяющейся сверхзвуковой струе газа предпринято для создания газодинами-

ческого квантового генератора (ГКГ) на смеси углекислого газа и азота [1,2]. Общая идея такого рода устройств была высказана Герлом и Гертцбергом [3,4], модельные расчеты течений смеси углекислого газа и азота проведены в [2,5-7]. Основная идея ГКГ состоит в том, что течение газа за соплом Лавала колебательно неравновесно. Если время жизни молекулы  $\text{CO}_2$  на верхнем лазерном уровне больше чем на нижнем, то колебательная релаксация к температуре текущего газа может привести к временному возникновению инверсной населенности, а следовательно, к усилению инфракрасного (ИК) излучения в сверхзвуковом потоке газа.

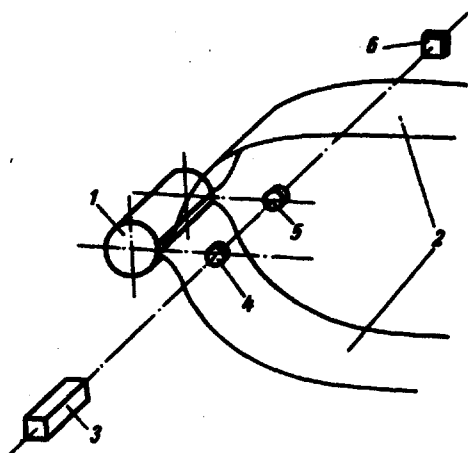


Рис. 1. Схема установки: 1 – форкамера со щелью, 2 – плоская сверхзвуковая струя, 3 –  $\text{CO}_2$ -лазер, 4,5 – вакуумные окошки в рабочей камере, 6 – приемник лазерного излучения

В работе исследуется поглощение ИК-излучения  $\text{CO}_2$ -лазера в сверхзвуковой струе газа, которая образуется при истечении предварительно подогретого газа из щели в вакуум. Температура торможения смеси азота и углекислого газа  $T_0 = 1000^\circ \text{K}$ , давление торможения  $P_0 = 4,2 \text{ атм}$ , размеры щели  $0,5 \times 100 \text{ мк}$ , координата наблюдения, где луч лазера пересекает струю, отстоит от плоскости щели на  $1,6 \text{ см}$  (см. рис. 1). Пересчет от коэффициента поглощения для вращательной компоненты  $P(20)$  перехода  $(10^00) \rightarrow (00^01)$  к населенности колебательных уровней производился с учетом 1) температуры газа в струе и концентрации углекислого газа в смеси, 2) распределения молекул по вращательным уровням (вращательная температура полагалась равной температуре газа в струе), 3) совместного действия доплеровского и ударного уширения линии [8], 4) различия в сечениях оптического уширения линии при соударениях с молекулами  $\text{CO}_2$  и  $\text{N}_2$  [9]. Результаты измерений для четырех концентраций углекислого газа в смеси представлены на рис. 2. По оси ординат отложена разность относительной населенности (РОН) уровней  $(10^00)$

и ( $00^{\circ}1$ ), по оси абсцисс – концентрация углекислого газа. Сплошной линией в нижней части графика нанесено равновесное значение РОН для тех же уровней, которое соответствует температуре текущего газа в том месте струи, где измеряется коэффициент поглощения.

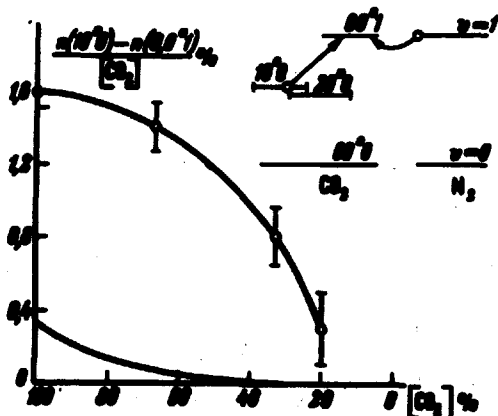


Рис. 2. Разность относительной населенности уровней ( $10^{\circ}0$ ) и ( $00^{\circ}1$ ) молекулы  $\text{CO}_2$  в газовой струе в зависимости от концентрации углекислого газа в смеси

Из сравнения наблюдаемых значений РОН с равновесными следует, что течение газа в сильной степени колебательно неравновесно причем степень неравновесности увеличивается с увеличением содержания азота в смеси, что объясняется возрастанием скорости охлаждения газовой струи (показатель адиабаты увеличивается от 1,17 до 1,30). Из значения РОН для чистого углекислого газа, используя профиль температуры и плотности газа вдоль струи, можно оценить время релаксации молекул  $\text{CO}_2$  в струе. Оказывается, что время релаксации примерно в 10 раз короче, чем при релаксации газа за фронтом ударной волны [12]. Сокращение времени колебательной релаксации в расширяющемся газе, наблюдалось при течении в соплах азота и окиси углерода [13,14]. Существенное уменьшение РОН для смесей с большим содержанием азота объясняется увеличением концентрации молекул  $\text{CO}_2$  на верхнем лазерном уровне ( $00^{\circ}1$ ) за счет селективной передачи колебательного возбуждения [10,11] от молекул  $\text{N}_2$  к молекулам  $\text{CO}_2$ , поскольку молекулы азота, обладающие существенно большим временем релаксации, дольше сохраняются в струе в возбужденном состоянии. Другое возможное объяснение,

которое связано с обеднением нижнего лазерного уровня ( $10^0$ ) за счет ускорения релаксации молекул  $\text{CO}_2$  в смесях с большим содержанием азота, не будет правильным, поскольку, как показали специально проведенные опыты, время жизни молекулы  $\text{CO}_2$  на нижнем уровне в смесях с большим содержанием азота несколько увеличивается по сравнению с временем жизни в чистом углекислом газе. Если продолжить разбавление смеси азотом больше 80%, то инверсия населенности при выбранных конкретных условиях течения газа может не возникнуть, поскольку температура "замораживания" населенности колебательных уровней молекул  $\text{CO}_2$  в струе  $\sim 500^\circ \text{K}$  близка к предельной температуре  $T_{\text{пр}}$  охлаждения, выше которой вообще невозможно появление инверсии при исчезающе малом содержании углекислого газа в смеси и мгновенном охлаждении газа. Как следует из [1,2]

$$T_{\text{пр}}/T_0 = E_1/E_2 = 0,59,$$

где  $E_1, E_2$  — энергия нижнего и верхнего лазерных уровней.

Проведенное исследование экспериментально подтверждает правильность основных физических предпосылок, лежащих в основе действия ГКГ на смеси углекислого газа и азота.

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

Поступила в редакцию  
16 июня 1969г.

### Литература

- [1] В.К.Конюхов, А.М.Прохоров. Авторское свидетельство №223954 приоритет 19. 11. 1966, Б.И. №25, 1968.
- [2] В.К.Конюхов, А.М.Прохоров. Письма в ЖЭТФ, 3, 436, 1966.
- [3] A.Hertzberg, I.R.Hurle. Bull. Am. Phys. Soc., 9, 582, 1964.
- [4] I.R.Hurle, A.Hertzberg. Phys. Fluids, 8, 1601, 1965.
- [5] Н.Г.Басов, А.Н.Ораевский, В.А.Шеглов. ЖТФ, 37, 339, 1967.
- [6] Н.Г.Басов, А.Н.Ораевский, В.А.Шеглов. ЖТФ, 38, 2031, 1968.
- [7] А.С.Бирюков, Б.Ф.Гордиец, Л.А.Шелепин. Препринт ФИАН №41, 1969.
- [8] И.И.Собельман. Введение в теорию атомных спектров. Физматгиз 1963.
- [9] E.T.Gerry, D.A.Leonard. Appl. Phys. Lett., 8, 227, 1966.
- [10] C.K.N.Patel. Phys. Rev. Lett., 13, 617, 1964.
- [11] R.D.Sharma, C.A.Bran. Phys. Rev. Lett., 19, 1273, 1967.

- [12] N.H. Johannesen, H.K. Zienkiewicz, P.A. Blythe, J.H. Gerrard. *J. Fluid Mech.*, 13, 213, 1962.
- [13] I.R. Hurle, A.L. Russo, J.G. Hall. *J. Chem. Phys.*, 40, 2076, 1964.
- [14] A.L. Russo. *J. Chem. Phys.*, 47, 5201, 1967.
-