

ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ CO_2 -ЛАЗЕР С ИСТЕЧЕНИЕМ НАГРЕТОЙ В УДАРНОЙ ТРУБЕ РАБОЧЕЙ СМЕСИ ЧЕРЕЗ ЩЕЛЬ

А.П.Дронов, А.С.Дьяков, Е.М.Кудрявцев, Н.Н.Соболев

Нами измерено усиление и наблюдалась генерация в области 10 мкм на колебательных переходах CO_2 при истечении нагретой газовой смеси через щель в вакуум (истечение сопровождается быстрым охлаждением).

Предложение о получении генерации при адиабатическом расширении газовой смеси CO_2 и N_2 было сформулировано в заявке на изобретение [1] и в работе [2]. Общая идея о возможности получения инверсной населенности между энергетическими уровнями с разными временами релаксации при резком изменении температуры системы была высказана в [3]. Расчеты образования инверсии при охлаждении азота с углекислым газом были проведены для общего случая и случая сопла Лавала в [2, 4, 5], а в работе [6] для случая истечения через щель в вакуум. Экспериментальные исследования вопроса начались с работы [7], где использовалось истечение через щель. Затем охлаждение CO_2 и смесей на его основе на предмет получения инверсии исследовалось методом волны разрежения в [8, 9] и при истечении через щель в [10], где были получены обнадеживающие результаты. Генерация на молекулах CO_2 была получена недавно [11] с помощью сопла, при использовании тройной смеси (He , N_2 , CO_2).

В настоящей работе усиление и генерация лазерного излучения молекул CO_2 обнаружены при расширении газа через щель. В этом случае [6] достигаются большие, по сравнению с соплом, скорости охлаждения. Нами также, как в [11] использовалась тройная смесь (73% He, 19% CO_2 , 9% N_2). Нагревание смеси до температуры $1900 \pm 200^\circ\text{K}$ (и давления 25 ат) происходило в ударной трубе за отраженной ударной волной (УВ). Ударная труба (см. рис. 1) с внутренним диаметром 90 мм имела перегородку со щелью $0,7 \times 60$ мм. Щель закрывалась фольгой (толщина 10 мкм), что позволяло получать до опыта разные давления по обе стороны от щели (в форкамере и ресивере). При отражении УВ фольга разрывалась практически мгновенно и после этого происходило истечение газовой смеси, нагретой отраженной УВ из форкамеры в ресивер (давление в нем составляло 1 тор).

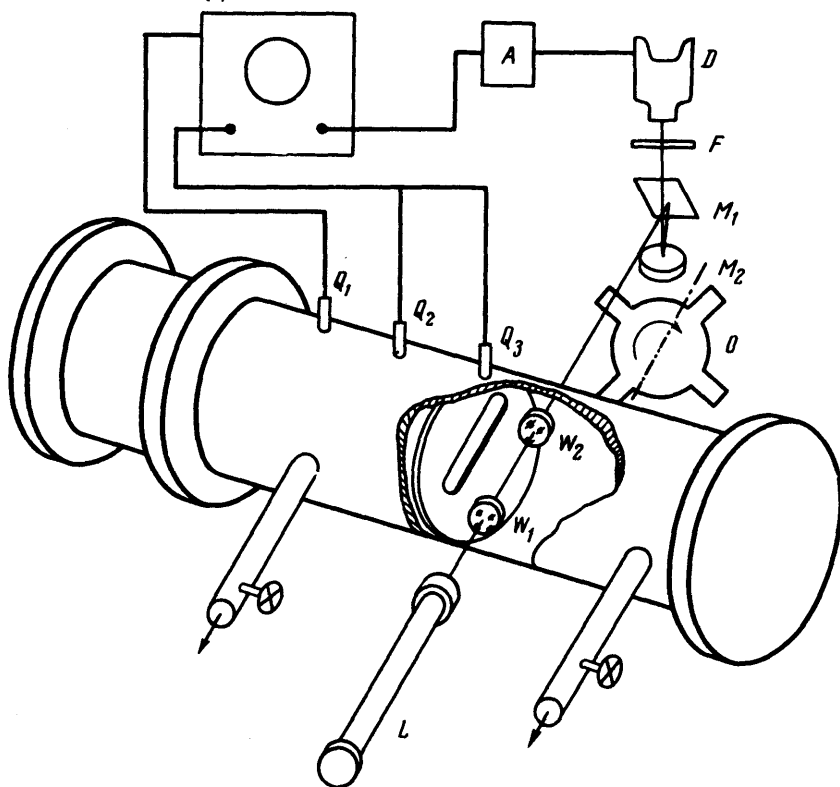


Рис. 1

Измерения усиления производились по схеме, изображенной на рис. 1. Здесь L — непрерывный CO_2 -лазер с мощностью 1 вт. W_1, W_2 — полированные окна из NaCl, O — obtюратор для прерывания луча лазера. M_1 — плоское поворотное и M_2 — сферическое зеркала для фокусировки излучения на приемник. Фильтр (из InSb) выбран так, чтобы на приемник (Ge-Au) поступало только излучение, лежащее в области от 7 до 11 мкм. Сигнал от приемника через пред-усилитель A (или без него) регистрировался на двухлучевом осциллографе C1-17 вместе с сигналами от контактных датчиков Q_2, Q_3 , служивших для измерения скорости падающей УВ. Запуск осциллографа производился с помощью контактного датчика Q_1 .

На рис. 2 (осциллограмма a) представлена типичная запись усиления лазерного излучения. На участке записи от запуска осциллографа до момента времени, отмеченного короткой вертикальной стрелкой, регистрировалось значе-

ние интенсивности падающего излучения I_0 . Указанная стрелка соответствует моменту прихода к оси наблюдения УВ, распространяющейся впереди смеси и вызывающей скачок поглощения. Далее, после непродолжительного (0,2 мсек) процесса установления истечения наблюдается довольно стабильное усиление, которое через 2,5 мсек переходит в поглощение. Во время отмеченного горизонтальной стрелкой интервала τ в конце осциллограммы, лазерный луч был перекрыт obtюратором. Это позволяло определить положение нулевой линии (пунктир) и, тем самым, величину I_0 , которая в течение опыта не менялась, и интенсивность прошедшего излучения I . Наименьшее измеримое значение коэффициента усиления (или поглощения) $k = (I - I_0) / I_0$ составляло около 2%.

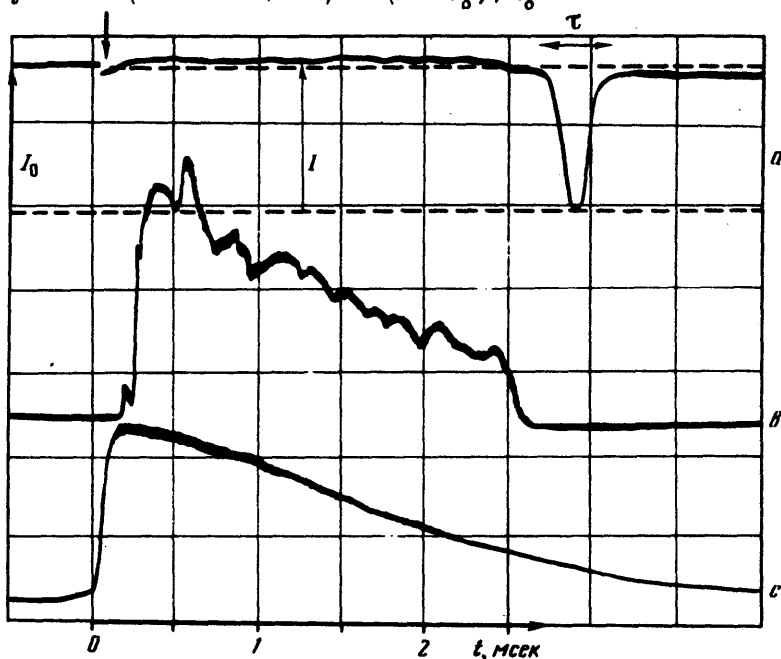


Рис. 2

Охлаждение углекислого газа при расширении струи в вакууме и уменьшение плотности приводит к тому, что в резонаторе на некотором расстоянии от щели должен наблюдаться максимум инверсии (и усиления) [6]. Это подтвердилось в наших опытах (см. рис. 3, где кривая представляет результат усреднения экспериментальных данных). Максимальное значение $k \sim 10\%$ достигалось при наших условиях на расстоянии 35 мм от щели. Показанный для каждой точки разброс значений соответствует пределу изменений величины k за время около 0,7 мсек после установления истечения. Точность измерений величины k по нашим оценкам составляет $\pm 25\%$.

В соответствии с ходом коэффициента усиления, ось резонатора в опытах по получению генерации располагалась на расстоянии 35 мм от щели. Применялись внутренние зеркала: одно — стальное зеркало $f = 500$ мм с Au-покрытием, а другое — из Ge, $f = 100$ мм, имевшее Au-покрытие (с отражением $\sim 100\%$) по всему полю, кроме центрального пятна $\phi = 1,5$ мм. Регистрация лазерного излучения, выводившегося через указанное пятно, производилась тем же приемником, придвинутым на расстояние 45 мм к зеркалу из Ge.

Осциллограмма *b* на рис. 2. — типичная запись генерации (масштаб произвольный). Осциллограммы 2, *a*, 2, *b* и 2, *c* сделаны в трех разных опытах, но

их начала совмещены на рис. 2 при помощи непоказанных записей контактных датчиков. Длительность импульса генерации совпадает с длительностью импульса усиления (осциллограмма 2, а). С другой стороны, это согласуется с

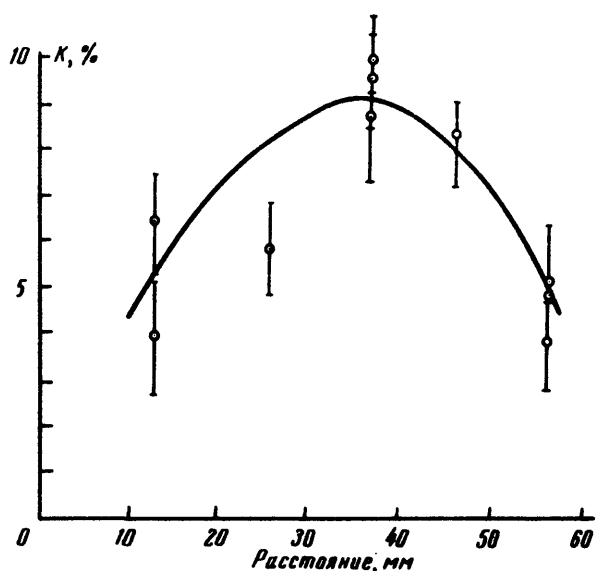


Рис. 3

картиной ИК- свечения смеси в ресивере (осциллограмма 2, с). Свечение начинается несколько раньше процессов, зарегистрированных на рис. 2, а и 2, б, а спустя 3 мсек после момента отражения, свечение смеси (и температура ее) в результате воздействия пришедших к щели волн разрежения сильно падает. Это и приводит к прекращению усиления и генерации.

Авторы благодарят Б.К.Конюхова за полезные обсуждения и советы.

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

Поступила в редакцию
17 апреля 1970 г.

Литература

- [1] В.К.Конюхов, А.М.Прохоров. Авторское свидетельство №223954 приоритет 19/II 1966, Б.И. №25, 1968.
- [2] В.К.Конюхов, А.М.Прохоров. Письма в ЖЭТФ, 3, 436, 1966.
- [3] Н.Г.Басов, А.Н.Ораевский. ЖЭТФ, 44, 1742, 1963.
- [4] Н.Г.Басов, А.Н.Ораевский, В.А.Меглов. ЖТФ, 37, 339, 1967.
- [5] Н.Г.Басов, А.Н.Ораевский, В.А.Меглов. ЖТФ, 38, 203, 1968.
- [6] А.С.Бирюков, Б.Ф.Гордиец, А.А.Шелепин. ЖЭТФ, 57, 585, 1969.
- [7] I.R.Hurle, A.Hertzberg. Phys. Fluids, 8, 1601, 1965.
- [8] А.П.Дронов, Е.В.Кудрявкин, Е.М.Кудрявцев. Препринт ФИАН №103, 1967.
- [9] E.M.Koudriavtsev. Preliminary report (edited by S.H.Bauer) Cornell University, 1968.
- [10] В.К.Конюхов, И.В.Матросов, А.М.Прохоров, Д.Т.Шалунов, Н.Н.Широков. Письма в ЖЭТФ, 10, 84, 1969.
- [11] Donald M.Kuenn, Davyl T.Monson. Appl. Phys. Lett., 16, 48, 1970.