

ВРАЩАТЕЛЬНАЯ КОНКУРЕНЦИЯ В CO_2 - ЛАЗЕРЕ ПРИ ДВОЙНОЙ МОДУЛЯЦИИ

Н. В. Карлов, Ю. Б. Колев, Г. П. Кузьмин,
В. А. Мишин, Р. П. Петров

Большое влияние на характер излучения CO_2 - лазеров оказывает вращательная релаксация внутри колебательных состояний молекулы CO_2 ^{1,2,3}. Время вращательной релаксации много меньше, чем время установления равновесного распределения по колебательным состояниям. Характерные времена вращательной релаксации при давлении 1 тор CO_2 и температуре газа 300°K составляют $\sim 10^{-7} + 10^{-8}$ сек, а скорость релаксации колебательных уровней, включенных в лазерное действие, составляет $\sim 10^{-3}$ сек. С другой стороны, скорость обмена квантами в каждом типе колебаний характеризуется временами порядка $10^{-6} + 10^{-7}$ сек, что позволяет ввести общую колебательную температуру для каждого типа нормального колебания⁴.

Таким образом, в случае импульсного режима работы CO_2 - лазера при длительности импульса питания $\sim 0,5$ мсек можно считать, что только изменение вращательной температуры практически без задержки следует за изменением температуры газа. Следовательно, плотность частиц на каждом колебательном уровне соответствует колебательной температуре в данный момент, а распределение по вращательным уровням соответствует газовой температуре.

В результате конкуренции излучение CO_2 - лазера происходит только на одном или небольшом количест-

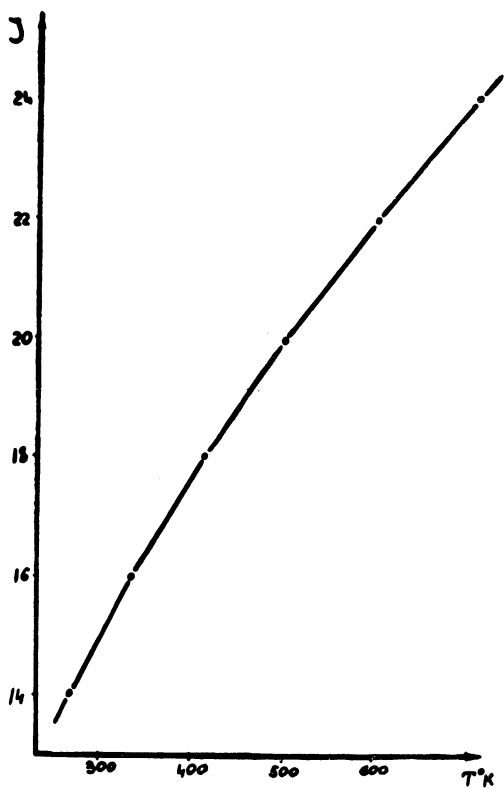
ве вращательных переходов. По значению числа перехода J при известной инверсии можно судить о температуре газа. Для P - ветви при температуре газа T_r коэффициент усиления α пропорционален следующему выражению³:

$$\alpha_{J, J+1} \sim (J + 1) \exp \left[- \frac{hc}{kT_r} B_2 (J + 1)(J + 2) \right] \times \\ \times \left\{ \frac{N_1 B_1}{N_2 B_2} \left[\exp \frac{hc}{kT_r} B_1 (2J + 2) \right] - 1 \right\},$$

где N_1 и N_2 - соответственно плотности населенности уровней 00^{01} и 10^{00} молекулы CO_2 ; B_1 , B_2 - вращательные постоянные для этих уровней; h - постоянная Планка, c - скорость света; k - постоянная Больцмана.

Из анализа этого выражения видно, что при постоянной температуре с увеличением инверсии происходит сдвиг максимума усиления в зависимости от J в сторону меньших номеров J . Этот сдвиг существен при малой инверсии. При инверсии $\frac{N_1}{N_2} > 10$, что имеет место при двойной модуляции CO_2 - лазера⁵, сдвига максимума усиления в зависимости от инверсии практически нет. При постоянной инверсии в случае увеличения температуры газа происходит смещение максимума усиления в сторону больших номеров J . На рис. 1 показана кривая перемещения максимума усиления при изменении температуры газа для инверсии $\frac{N_1}{N_2} > 10$.

В нашей работе наблюдалось изменение спектрального состава излучения при перемещении импульса модулированной добротности по импульсу питания. Установка состоит из CO_2 - лазера с модулированной добротностью и аналогична установке, описанной в⁵. Диаметр газоразрядной трубки равен 20 мм. Модуляция добротности осуществляется вращением плоского зеркала с частотой 50 гц. Вывод мощности производится



Р и с. 1. Зависимость наиболее вероятного для генерации числа J перехода $00^{\circ}1 - 10^{\circ}0$ для Р-ветви от температуры рабочей смеси в случае $N_1/N_2 > 10$

через германиевое зеркало. К импульсу модулированной добротности привязаны с задержкой импульсы питания от модулятора, способного вырабатывать прямоугольные импульсы тока до 1 а длительностью ~ 1 мсек. Максимальная мощность при длительности импульса модулированной добротности 1,5 мксек достигает 5 квт.

Длина лазера равна 3 м, что принципиально, т.к. при этом линии резонатора отстоят друг от друга на 50 Мгц. При наших давлениях ширина вращательной линии составляет ~ 150 мгц⁶, так что в пределах одной вращательной линии имеется несколько линий резонатора, и поэтому изменение показателя преломления плазмы в процессе пробоя газа не должно влиять на процессы вращательной конкуренции.

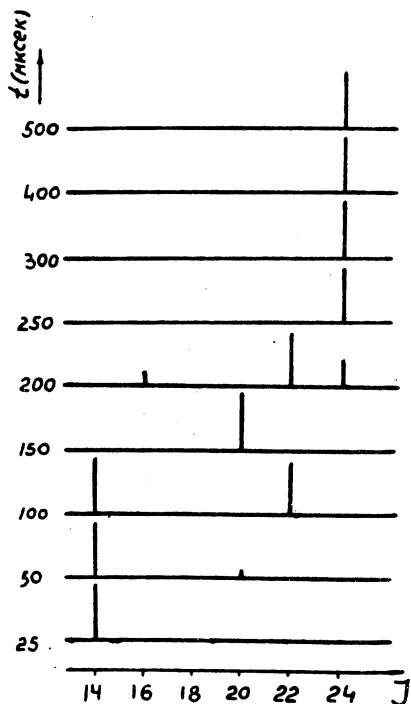
Спектр излучения записывался с помощью спектрометра ИКС-21.

На рис. 2 показан пример развития спектра излучения в различные моменты импульса питания. Длительность импульса питания равна 500 мксек, а длительность импульса модулированной добротности 1,5 мксек. Рабочая смесь имела парциальный состав $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He}$, равный 1 : 1 : 3. Из рисунка видно, что существует заметная перестройка лазера по частоте при перемещении импульса модулированной добротности по импульсу питания. Явно, что при увеличении мощности накачки степень перестройки увеличивается. При общем давлении 13 тор и токе 1 а перестройка происходит от $J = 14$ до $J = 24$ за 200 мсек.

Малое запаздывание разогрева газа относительно момента включения тока свидетельствует о том, что существует довольно хорошая возможность быстрого перехода энергии накачки в поступательное движение молекул путем электронного возбуждения симметричного и деформационного типов колебаний молекулы CO_2 . Вероятность релаксации с деформационного типа колебаний в кинетическую энергию молекул по данным, приведенным в⁴, при давлении 1 тор He в рабочей

смеси равна $\sim 7 \cdot 10^3 \text{ сек}^{-1}$, что хорошо укладывается в наши результаты.

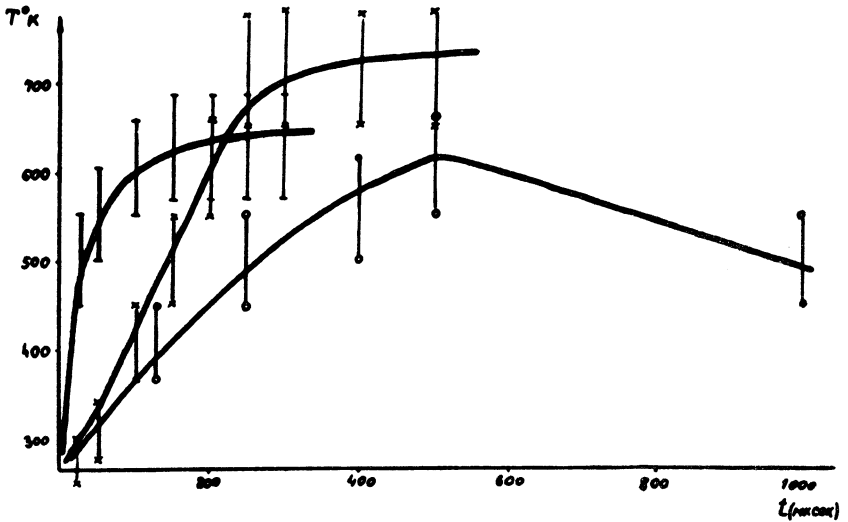
После перестройки лазера до некоторого предельного номера перехода начинается участок токового



Р и с. 2. Изменение спектра излучения при перемещении импульса модулированной добротности относительно импульса питания. Вертикальные линии соответствуют спектральным линиям излучения CO_2 - лазера. Изменение абсолютных интенсивностей спектральных линий на рисунке не отражено.

импульса, за время которого перестройка не происходит. Эта область соответствует, видимо, уже установившемуся тепловому режиму для данного канала подвода тепла. Этого разогрева уже достаточно, чтобы

инверсия начала быстро убывать. При токе 1 а полное исчезновение инверсии наступает задолго до полного разогрева газа за счет тока в импульсе. Следует отметить, что по оценкам в предположениях работы⁷ средний разогрев газа при данной скважности практически отсутствует.



Р и с. 3. Нагрев рабочей смеси вследствие токового импульса.

- ┃ - давление 6 тор, ток 1 а;
- х - давление 13 тор, ток 1 а;
- - давление 6 тор, ток 400 ма.

Изменение температуры в течение импульса питания оказывается довольно значительным. Данные по изменениям спектра генерации позволяют получить зависимости температуры газа от времени, приведенные на рис. 3 для трех случаев.

Результаты эксперимента показывают, что при импульсном возбуждении CO_2 - лазеров происходит значительное и быстрое повышение газовой температуры, и подтверждают, что при наших условиях имеется серьезный вклад электронного удара в возбуждение симметричного и деформационного типов колебаний молекулы CO_2 . Быстрый разогрев газа вследствие вращательной конкуренции приводит к перестройке лазера.

Поступила в редакцию
8 апреля 1970 г.

Л и т е р а т у р а

1. Witteman W. J. Philips Research Rep. 21, 73 (1966).
2. Witteman W. J. J. Quantum Electronics, QE-2, 375 (1966).
3. Patel C. K. N. Phys. Rev. Letters, 12, 588 (1964).
4. Гордиец Б. Ф., Соболев Н. Н., Шелепин Л. А., ЖЭТФ, 53, 1822 (1967).
5. Карлов Н. В., Кузьмин Г. П., Прохоров А. А., Шемякин В. И. ЖЭТФ, 54, 1317 (1968).
6. Bridges T. J., Hans N. A., Hoff P. W. J. Quantum Electronics, QE-4, 777 (1968).
7. Карлов Н. В., Конев Ю. Б., Кузьмин Г. П., Прохоров А. М., РиЭ № 2, 320 (1969).