

САМОФОКУСИРОВКА ИЗЛУЧЕНИЯ CO_2 -ЛАЗЕРА В РЕЗОНАНСНО ПОГЛОЩАЮЩИХ ГАЗАХ

*Н. В. Карлов, Н. А. Карпов, Ю. Н. Петров,
О. М. Стельмах*

Наблюдалась самофокусировка на волне 10,6 мк при распространении излучения импульсного CO_2 -лазера в резонансно поглощающих газах BCl_3 и SF_6 . Самофокусировка происходила при просветлении газа и интенсивном возбуждении колебательного спектра молекул газа вплоть до преддиссоционных уровней.

В этой статье сообщается о наблюдавшемся впервые эффекте самофокусировки излучения импульсного CO_2 -лазера в молекулярных газах BCl_3 и SF_6 , обладающих резонансным поглощением на волне 10,6 мк.

К настоящему времени эффект самофокусировки достаточно хорошо изучен в конденсированных средах. Самофокусировка света в плазме при лазерном испарении металлических мишеней приводит к характерной неустойчивости и играет существенную роль в формировании факела развитого испарения [1]. Самофокусировка импульсов излучения рубиновых лазеров наносекундной [2] и пикосекундной [3] длительности наблюдалась в предпробойном состоянии при исследованиях механизма развития оптического пробоя. Наблюдавшиеся эффекты объяснялись рассмотренной ранее возможностью самофокусировки на возбужденных молекулах [4, 5].

В резонансно поглощающих газах самофокусировка возможна при просветлении газа и насыщении аномальной дисперсии [6]. Однако, существенную роль в резонансной самофокусировке может играть увеличение поляризуемости молекул, находящихся в возбужденном колебательном состоянии.

Распространение интенсивной монохроматической волны в резонансно поглощающей среде связано, как правило, с интенсивным возбуж-

дением не только нижних колебательных уровней, но и всего колебательного спектра вплоть до преддиссоционных уровней [7, 8], что должно служить причиной еще большего увеличения коэффициента преломления. При этом наряду с просветлением происходит диссоциация с последующей рекомбинацией, сопровождающейся видимой люминесценцией. При больших интенсивностях света и больших давлениях газа факел люминесценции с большой точностью повторяет форму пучка инфракрасного излучения и поэтому может быть использован для его объемной визуализации, что очень удобно при изучении пространственных характеристик.

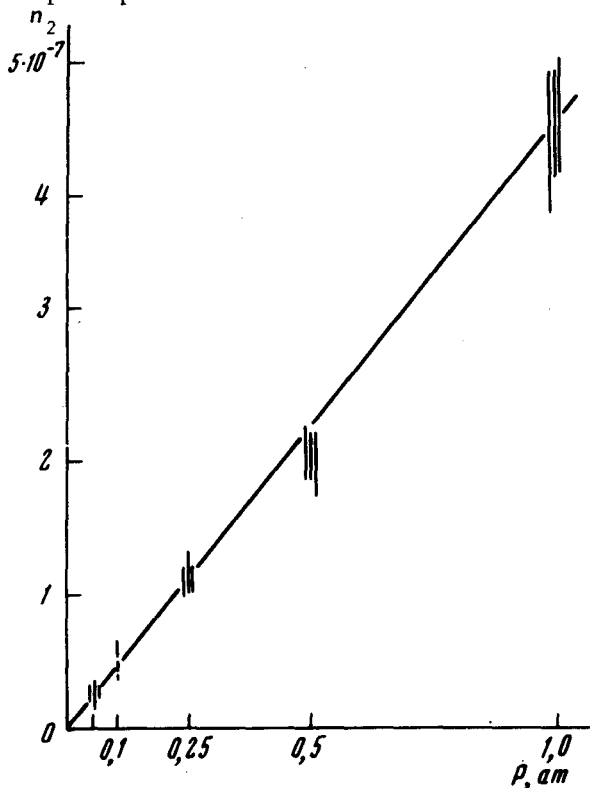


Рис. 1. Зависимость нелинейного показателя преломления в BCl_3 от давления газа

В эксперименте использовался импульсный CO_2 -лазер с мощностью 5 – 10 квт при длительности импульса 20 мксек. Излучение фокусировалось перед входным окном кюветы с тем, чтобы через исследуемый газ проходил заведомо расходящийся луч.

При облучении BCl_3 (давление 1 атм) на некотором расстоянии от окна происходит самофокусировка луча в "точку" (схлопывание луча). При увеличении мощности до максимальной возникает несколько схлопывающихся точек. С понижением давления происходит удаление точки самофокусировки и все менее полное схлопывание. При давлении ниже 0,1 атм сужение луча незаметно.

Пользуясь для оценки нелинейного коэффициента преломления n_2 известной (см., например, [9]) связью между n_2 и длиной самофокусировки, определяемой по расстоянию до точки схлопывания, можно из экспериментов, проведенных при различных давлениях BCl_3 найти зависимость n_2 от давления (рис. 1). Как видно, n_2 пропорционально

давлению газа. Большие значения n_2 , равные $(4,6 \pm 0,7) \cdot 10^{-7} P$ СГСЭ, где P измерено в атмосферах, свидетельствуют о чрезвычайной эффективности поляризации высоких колебательных уровней в процессе самофокусировки возбуждающего резонансного излучения. При плотности потока лазерного излучения $0,8 \cdot 10^6$ вт/см² и давлении 1 атм такое значение n_2 соответствует изменению показателя преломления $\Delta n = 0,003$, что на порядок ниже, чем наблюдалось при самофокусировке излучения наносекундного рубинового лазера в опытах по пробое воздуха [2].

В силу диссоциации число молекул, принимающих участие в самофокусировке, неизвестно. Однако, линейность зависимости $n_2(P)$ позволяет сделать нижнюю оценку нелинейной молекулярной восприимчивости газа $\alpha_2 \approx 10^{-27}$ СГСЭ.

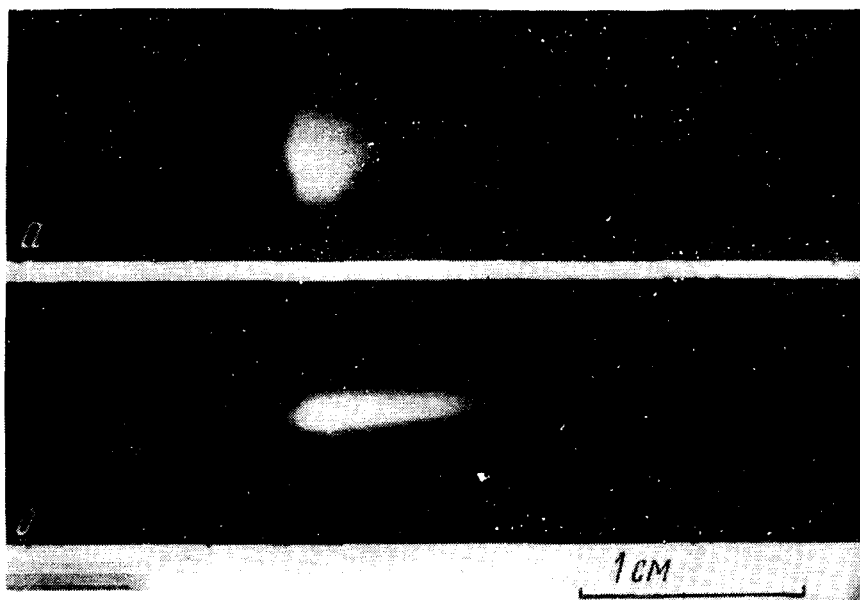


Рис. 2. Фотографии свечения BCl_3 во втором отсеке двухсекционной кюветы, когда первый отсек либо откачан (а); либо наполнен газом SF_6 (б). Лазерный луч идет слева направо

В SF_6 длина самофокусировки очень мала и не превышает длину теневой зоны факела, примыкающей к окну кюветы. При давлении 0,25 атм в SF_6 наблюдалась тонкая нить самофокусировки диаметром заведомо меньше 0,2 мм и длиной 3 – 4 см. Вопрос о том, является ли наблюдаемая нить светящимся следом движущихся фокусов [10], остается открытым в силу инерционности методики наблюдения.

Прямое наблюдение самофокусировки в SF_6 затруднено из-за относительно более слабого свечения факела диссоциации в этом газе. Поэтому мы использовали двухсекционную кювету с прозрачной для 10,6 мк излучения перегородкой. Лазерный луч проходил через первый отсек и попадал во второй. В первом отсеке помещался исследуемый газ, регистрация излучения проводилась по свечению во втором отсеке, наполненном BCl_3 при давлении, обеспечивающем точную объемную визуальную

лизацию излучения. При этом интенсивность лазерного света во втором отсеке недостаточна для самофокусировки в нем. На рис. 2 представлены фотографии свечения BCl_3 во втором отсеке, когда первый отсек либо откачан (а), либо наполнен SF_6 (б). Увеличение интенсивности и резкое изменение формы факела во втором отсеке при напуске газа в первый говорят о наличии самофокусировки. Оценка n_2 дает для SF_6 значение $5 \cdot 10^{-5}$ Р СГСЗ, что существенно выше чем для BCl_3 , может быть, в силу более высокого порога диссоциации.

Эксперименты, проведенные с двухсекционной кюветой при напуске BCl_3 в первый отсек при малом давлении, также свидетельствуют о самофокусировке. При этом в трихлориде бора сильная степень диссоциации молекул при давлениях, меньших $0,25$ атм, приводит к "выгоранию" газа на оси луча и, следовательно, уменьшению n . Высоким показателем преломления обладают периферийные участки луча, благодаря чему образуется область нелинейной рефракции, имеющая форму полой оболочки. Это наблюдалось как непосредственно, так и с помощью двухсекционной кюветы.

Таким образом, наблюдение распространения импульсов излучения CO_2 -лазера в газах BCl_3 и SF_6 позволило обнаружить самофокусировку инфракрасного излучения в резонансно поглощающих газах. Этот эффект может быть существенным в лазерной химии колебательно возбужденных молекул.

Авторы благодарны В.Н.Луговому и А.М.Прохорову за обсуждение работы и Г.П.Кузьмину, предоставившему разработанный им лазер.

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

Поступила в редакцию
9 февраля 1973 г.

Литература

- [1] В.А.Батанов, Ф.В.Бункин, А.М.Прохоров, В.Б.Федоров. Письма в ЖЭТФ, 16, 378, 1972.
- [2] V. V. Korobkin, A. J. Alcock. Phys. Rev. Lett., 21, 1433, 1968.
- [3] Ф.В.Бункин, И.К.Красюк, В.М.Марченко, П.П.Пашинин, А.М.Прохоров. ЖЭТФ, 60, 1326, 1971.
- [4] R. Y. Chiao, M. A. Johnson and others IEEE Journ of Quantum Electronics. QE-2, 467, 1966.
- [5] Г.А.Аскарьян. Письма в ЖЭТФ, 4, 400, 1966.
- [6] A. Javan, P. L. Kelley. IEEE Journ of Quantum Electronics, QE-2, 470, 1966.
- [7] Н.В.Карлов, Ю.Н.Петров, А.М.Прохоров, О.М.Стельмах. Письма в ЖЭТФ, 11, 220, 1970.
- [8] Н.В.Карлов, Н.А.Карпов, Ю.Н.Петров, О.М.Стельмах. ЖЭТФ, 64, вып. 6, 1973.
- [9] С.А.Ахманов, А.П.Сухоруков, Р.В.Хохлов. УФН, 93, 19, 1967.
- [10] А.Л.Дышко, В.Н.Луговой, А.М.Прохоров. Письма в ЖЭТФ, 6, 655, 1967.