

- [3] В. П. Чекмарев, М. И. Куркин. ФТТ, 18, 7, 1976.  
[4] В. В. Самарцев, А. И. Сиразиев, А. С. Трайбер. ФТТ, 20, 3169, 1978.  
[5] J. D. Abella, N. A. Kuznit, S. R. Hartmann. Phys. Rev., 141, 391, 1966.  
[6] Ф. Р. Гантмахер. Теория матриц, гл. V. «Наука», М., 1967.

Поступило в Редакцию 26 февраля 1979 г.

УДК 535.34+621.373 : 535

## ПОГЛОЩЕНИЕ ПРОСТЫХ ГАЗОФАЗНЫХ СРЕД В ПОЛОСЕ ИЗЛУЧЕНИЯ НЕОДИМОВОГО ЛАЗЕРА

Б. М. Антипенко, В. А. Зонов, Т. А. Привалова, Я. М. Слободин  
и В. В. Тарасенко

Расширение спектра частот генерации с высокими энергетическими параметрами достигается как путем создания новых лазеров, так и посредством перенесения энергии лазерного излучения из одного частотного диапазона в другой с помощью разнообразных методов перестройки частоты излучения. Разработка двухступенчатых лазеров, включающих неодимовый лазер накачки и лазерный переизлучатель на основе кристалла (стекла), активированного ионами редкоземельных элементов, в значительной мере решила проблему освоения ближней ИК области спектра (1.1—3.3 мкм) [1, 2]. К сожалению, кристаллические активные среды практически непригодны для создания переизлучателей средней ИК области спектра (3.3—10 мкм) — либо из соображений прозрачности, либо из-за высокой скорости процесса многофононной релаксации, затрудняющей образование инверсии населенности. Молекулярные газофазные среды свободны от этих недостатков, однако отсутствие сведений о поглощении этих сред в полосе излучения неодимового лазера накачки и об эффективности преобразования поглощенной энергии в люминесценцию потенциального канала генерации в настоящий момент не позволяет решить вопрос о возможности их использования в качестве активных сред переизлучателей.

Цель данной работы состояла в определении значений коэффициентов поглощения  $k(\omega)$  в частотном интервале спектра излучения неодимового лазера следующих водородсодержащих молекул:  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HBr}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CH}_3\text{Cl}$ ,  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ,  $\text{CHCl}_3$ ,  $\text{CH}_3\text{Br}$ ,  $\text{CH}_2\text{Br}_2$ ,  $\text{CHBr}_3$ ,  $\text{CH}_3\text{J}$ ,  $\text{CH}_2\text{J}_2$ . Выбор этих объектов обусловлен тем обстоятельством, что в область 4 мкм попадает край  $V-R$ -полосы поглощения, отвечающей второму обертону  $R-H$ -колебаний.

Коэффициенты поглощения газофазных сред измерялись методом внутривибрационной лазерной спектроскопии. Экспериментальная установка состояла из неодимового лазера, измерительной кюветы, помещаемой внутри резонатора, и системы регистрации спектра лазерного излучения. Полукофокальный резонатор и фильтрация УФ части спектра излучения накачки, способной генерировать в стекле центры, обладающие затворным действием, обеспечили квазинепрерывный режим работы неодимового лазера. Спектральная гладкость достигалась устранением источников паразитных потерь, зависящих от частоты. Для этого поверхности окон измерительной кюветы и торцы активного элемента располагались под углом Брюстера; диэлектрические покрытия зеркал наносились на клиновидные (с углом скоса  $> 10^\circ$ ) подложки; между генератором и системой регистрации спектров помещался оптически плотный нейтральный светофильтр, препятствующий попаданию излучения, рассеянного на фокусирующей линзе и щели монохроматора обратно в резонатор генератора. Для регистрации спектров излучения генератора был использован моно-



хроматор с обратной линейной дисперсией 11.7 Å/мм и разрешением не хуже 0.3 Å (решетка 600 штр./мм, 3-й порядок). Спектр фиксировался на фотошленку И-1007, режим работы которой контролировался по экспозиции через четырехступенчатый ослабитель из нейтральных светофильтров.

Анализ спектров излучения генератора проводился с помощью выражения, полученного в работе [3], описывающего зависимость экспозиции  $I(\omega)$  от потерь  $k(\omega)$ , вносимых в резонатор:

$$I(\omega) = \frac{J_0}{k(\omega) \alpha c} [1 - \exp(-k(\omega) \alpha c T)], \quad (1)$$

где  $J_0$  — интенсивность излучения генерации в отсутствие потерь  $k(\omega)$ ,  $c$  — скорость света,  $\alpha = l/L$  — коэффициент заполнения резонатора с ба-

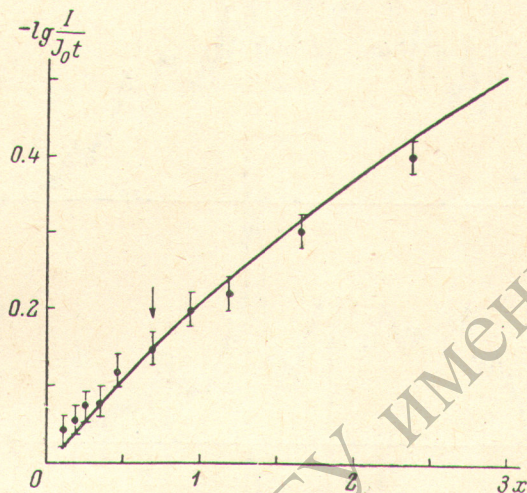


Рис. 1. Проверка применимости выражения (1) для описания глубины провалов в спектре генерации при экспозиции в течение всей длительности генерации.

Сплошная линия — теоретическая кривая, удовлетворяющая выражению (1), точки — эксперимент с аммиаком. Стрелкой указано значение давления, при котором осуществлялась привязка экспериментального значения к теоретической кривой.

зой  $L$  поглощающим слоем длины  $l$ ,  $T$  — время экспонирования, определяющее эффективную длину поглощающего слоя

$$L_{\text{эфф.}} = \alpha c T. \quad (2)$$

Применимость выражения (1) для анализа спектрограмм, полученных при экспозиции в течение всей длительности генерации, была проверена нами экспериментально с аммиаком в качестве поглощающего объекта. На рис. 1 сплошной линией представлена теоретическая зависимость

$$-\lg \frac{I}{J_0 t} = \lg X - \lg(1 - e^{-X}) \quad (3)$$

от безразмерного параметра  $X = k(\omega) L_{\text{эфф.}} = q(\omega) \sigma N L_{\text{эфф.}}$ , где  $q(\omega)$  — форма линии,  $\sigma$  — сечение поглощения в максимуме,  $N$  — концентрация поглощающих частиц в  $1 \text{ см}^3$ , а точками — экспериментальные значения  $-\lg I/J_0 t$ . Привязка к теоретической кривой [определение  $q(\omega) \sigma L_{\text{эфф.}} = X/N$ ] проводилась при давлении  $\text{NH}_3$   $P=30$  тор. Из рис. 1 следует, что если эффективная длина поглощающего слоя, соответствующая времени экспонирования, равному длительности генерации, определена с помощью объекта с известным спектром поглощения, то, зафиксировав  $J_0$  и  $T$  по формуле (1), можно определить  $k(\omega)$  для других объектов.

Для определения  $L_{\text{эфф.}}$  нами был использован ацетилен, спектр поглощения которого приведен в работе [3]. Эффективная длина в нашем случае оказалась равной  $0.8 \cdot 10^6$  см. Такое значение  $L_{\text{эфф.}}$  определило



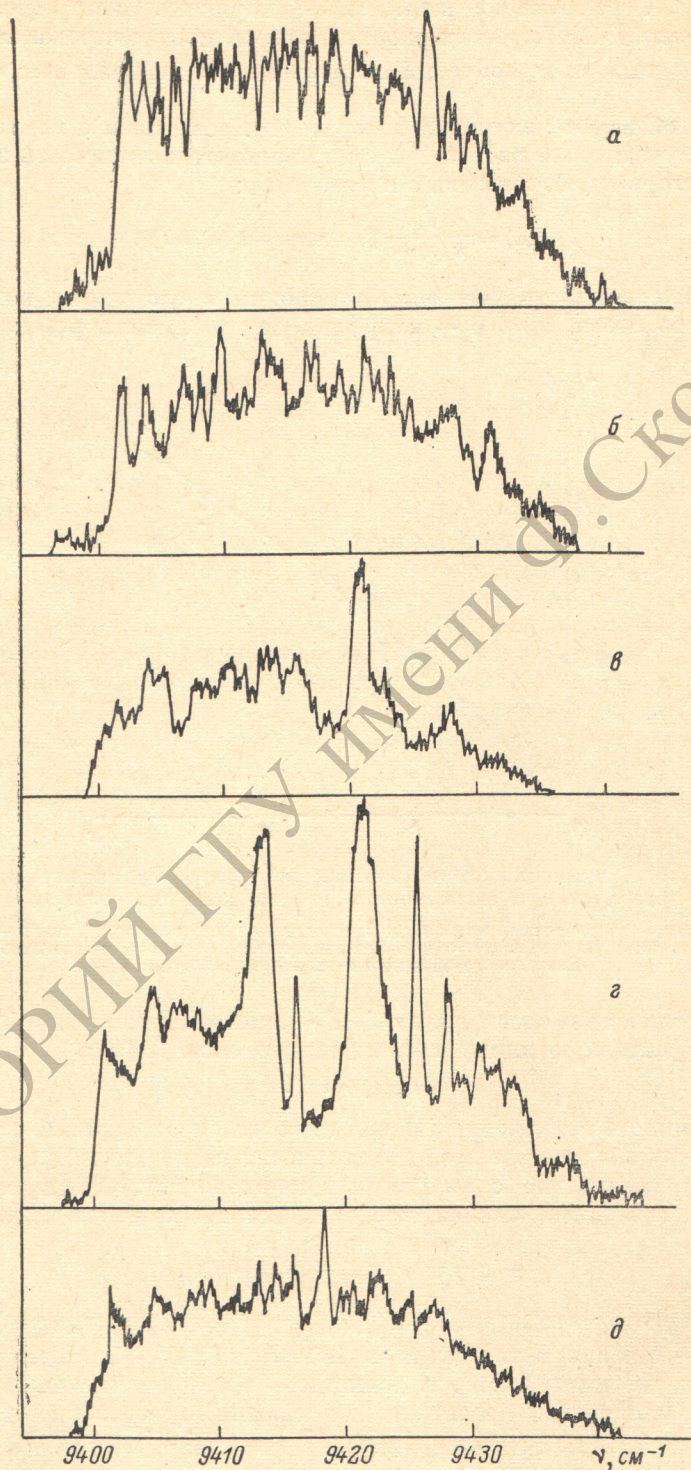


Рис. 2. Денситограммы спектров поглощения простых водородсодержащих молекул в окрестности 1.06 мкм.

*а* —  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $P=650$  тор; *б* —  $\text{CH}_4$ ,  $P=680$  тор; *в* —  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ,  $P=330$  тор; *г* —  $\text{CHCl}_3$ ,  $P=168$  тор; *д* —  $\text{CH}_3\text{Br}$ ,  $P=670$  тор; *е* —  $\text{NH}_3$ ,  $P=15$  тор; *ж* —  $\text{NH}_3$ ,  $P=500$  тор. Привязка по длинам волн осуществлялась с использованием спектра ацетилена, полученного нами и приведенного в работе [2].



верхнюю границу значений  $k(\omega) = L_{эфф.}$ , которые могут быть измерены нами без использования временной развертки спектров генерации. При  $k(\omega) > 10^{-6} \text{ см}^{-1}$  в окрестностях провалов в спектре генерации возни-



кали выбросы интенсивности (сравни спектры *e* и *ж* на рис. 2), глубина провалов становилась неопределенной, оценка  $k(\omega)$  ненадежной.

На рис. 2 приведены спектры поглощения  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ,  $\text{CHCl}_3$ ,  $\text{CH}_3\text{Br}$  и  $\text{NH}_3$ , изученные нами при условии  $k(\omega) L_{эфф.} < 1$ , которое удовлетворялось выбором концентрации газа. Значения  $k(\omega)$  для наиболее интенсивных линий, вычисленные на основании этих спектров и отнесенные к нормальному давлению, приведены в таблице.



Коэффициент поглощения [ $k(\omega)$ ,  $\text{см}^{-1}$ ] для наиболее интенсивных линий абсорбционных спектров водородсодержащих молекул в окрестности 1.06 мкм

$\text{NH}_3$	$\text{H}_2\text{S}$	$\text{CH}_4$	$\text{CH}_2\text{Cl}_2$	$\text{CHCl}_3$	$\text{CH}_3\text{Br}$
$(2.7 \pm 0.5) \times 10^{-5}$	$(1.2 \pm 0.2) \cdot 10^{-6}$	$(2.3 \pm 0.6) \cdot 10^{-6}$	$(1.1 \pm 0.3) \cdot 10^{-5}$	$(1.7 \pm 0.1) \cdot 10^{-5}$	$(1.8 \pm 0.3) \cdot 10^{-6}$

Поглощение остальных из исследованных газов менее существенно. Значение  $k(\omega) \sim 10^{-3} \text{ см}^{-1}$ , приписанное в [3] аммиаку, ошибочно. Предпринятая нами попытка зарегистрировать поглощение аммиака в однопроходовой метровой кювете, помещенной вне резонатора, была безуспешной, хотя 10%-я модуляция интенсивности в спектрах фиксируется.

В заключение отметим, что до сих пор метод внутррезонаторной лазерной спектроскопии использовался главным образом для определения значений коэффициентов поглощения слабых линий. С меньшим успехом метод ВРЛС может использоваться и для изучения ширины (формы) спектральных линий поглощения, а значит и факторов ее определяющих: ударного уширения,  $R-T$ -релаксации.

#### Литература

- [1] Б. М. Антипенко, С. П. Воронин, А. А. Мак, В. А. Письменный, В. В. Поликарпова, Ю. В. Томашевич. Квант. электрон., 4, 1121, 1977.
- [2] В. П. Гапонцев, М. Е. Жаботинский, А. А. Изыиеев, В. Б. Кравченко, Ю. П. Рудницкий. Письма ЖЭТФ, 18, 426, 1973.
- [3] Т. П. Беликова, Э. А. Свириденков, А. Ф. Сучков. Квант. электрон., 1, 830, 1974.

Поступило в Редакцию 7 марта 1979 г.

УДК 535.194+535.215].548.0

## ВЛИЯНИЕ СИЛЬНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ЛИБРАЦИОННО-ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ ПРИМЕСНОЙ МОЛЕКУЛЫ

Н. И. Павлов, А. А. Киселев и А. В. Ляцнев

При помещении молекулы в качестве примеси в кристаллическую решетку<sup>1</sup> ее вращательное движение переходит в низкочастотные колебания относительно решетки — либрации. В некоторых случаях связь с решеткой оказывается достаточно слабой, и даже при низких температурах наблюдается вращение молекулы. Примером такой вращающейся примеси может служить молекулярный ион  $\text{NO}_2^-$ , помещенный в кристаллы  $\text{KCl}$ ,  $\text{KBr}$ ,  $\text{RbCl}$ ,  $\text{CsJ}$ . Спектры этого примесного иона содержат вращательную структуру, соответствующую одномерному ротатору, даже при температуре жидкого гелия [2-5].

Воздействие внешнего электромагнитного поля приводит к возмущению состояний примесного центра; в частности, это может выразиться в установлении дополнительной связи либрационно-вращательных и внутримолекулярных степеней свободы примесной молекулы, поскольку либрационно-вращательное движение изменяет ориентацию молекулы относительно поля и тем самым взаимодействие внутримолекулярных колебаний с полем.

<sup>1</sup> Примерами таких примесей могут служить молекулы  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$  и др. в матрицах инертных газов, а также молекулярные ионы  $\text{O}_2^-$ ,  $\text{S}_2^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  и др. в щелочногалогенидных кристаллах [1].