

Р.М. Акименко, В.Н. Арефьев, Ю.И. Баранов, А.М. Серегин,  
Н.И. Сизов, Н.В. Чебуркин

## ПОГЛОЩЕНИЕ ВОДЯНЫМ ПАРОМ ИЗЛУЧЕНИЯ $\text{CO}_2$ -ЛАЗЕРОВ НА ИЗОТОПАХ $^{13}\text{C}^{16}\text{O}_2$ И $^{12}\text{C}^{18}\text{O}_2$

С помощью оптической многоходовой кюветы измерены пропускания водяным паром излучения лазеров на 29 линиях двух изотопов углекислого газа. Результаты согласуются с моделью континуума водяного пара, предложенной ранее по данным измерений с лазером на основном изотопе. При наличии селективного поглощения экспериментальные данные отличаются от расчетных.

Проведен сопоставительный анализ роли молекулярного поглощения атмосферных газов для наиболее интенсивных лазерных линий трех изотопов  $\text{CO}_2$ .

В последние годы возрос интерес к лазерам на изотопах углекислого газа, применение которых позволяет расширить диапазон длин волн и для некоторых линий генерации уменьшить поглощение по сравнению с лазером на основном изотопе  $^{12}\text{C}^{16}\text{O}_2$ . Экспериментальные данные по поглощению водяным паром излучения  $^{12}\text{C}^{13}\text{O}_2$ -лазера в литературе отсутствуют, а для линий  $^{13}\text{C}^{16}\text{O}_2$ -лазера, опубликованные всего в одной работе [1], ненадежны. Ниже представлены результаты измерений пропускания водяным паром линий  $^{12}\text{C}^{18}\text{O}_2$ - и  $^{13}\text{C}^{16}\text{O}_2$ -лазеров в сопоставлении с данными для  $^{12}\text{C}^{16}\text{O}_2$ -лазера.

Лабораторные эксперименты выполнялись с помощью многоходовой оптической кюветы на трассе длиной 3,16 км при комнатной температуре, давлениях  $2 \cdot 10^{-3}$ –1 атм и влажности среды 2–20 г/м<sup>3</sup>. В работе использован универсальный перестраиваемый  $\text{CO}_2$ -лазер. В зависимости от состава газовой смеси, параметров разряда и охлаждения лазера в его спектре наблюдаются линии генерации на 24–38 переходах в двух колебательно-вращательных полосах. Измерения пропускания излучения проводились по двухлучевой схеме с откачанной и затем заполненной газовой смесью кюветой. Для исследований использовано два типа линий: первый тип – длины волны генерации совпадают с «микроокнами» прозрачности, где основную роль в поглощении играет непрерывное поглощение, и второй тип – заметна роль селективного поглощения водяного пара.

На рис. 1 показаны примеры результатов измерений пропускания лазерного излучения чистым водяным паром. Аналогичные результаты получены для всех 23 исследованных линий лазеров  $^{13}\text{C}^{16}\text{O}_2$  и  $^{12}\text{C}^{18}\text{O}_2$ , для которых можно пренебречь селективным поглощением, в том числе в случаях измерений пропускания излучения изотопных лазеров смесью  $\text{H}_2\text{O}$ – $\text{N}_2$ . На рис. 2 представлены экспериментальные значения отношений поглощения на данной длине волны к поглощению на длине волны 10,6 мкм. Сплошная кривая – характеризующая спектральную зависимость непрерывного поглощения водяного пара – расчет по модели [2]. Из рис. 1 и 2 следует, что поглощение излучения линий  $^{13}\text{C}^{16}\text{O}_2$  и  $^{12}\text{C}^{18}\text{O}_2$ -лазеров водяным паром не имеет физических отличий от поглощения излучения лазера на основном изотопе  $\text{CO}_2$  и хорошо описывается предложенной в [2] моделью континуума водяного пара.

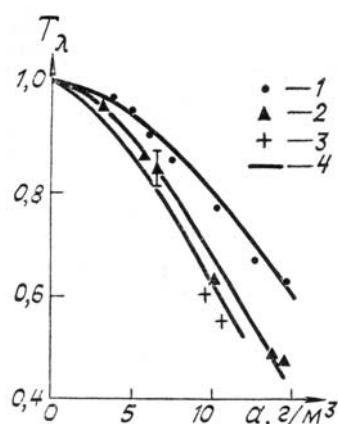


Рис. 1. Пропускание излучения  $\text{CO}_2$ -лазеров континуумом водяного пара: 1– $\text{H}_2\text{O}$ ; P20 (9,35 мкм)  $^{12}\text{C}^{18}\text{O}_2$ ; 2– $\text{H}_2\text{O}$ ; P20 (11,15 мкм)  $^{13}\text{C}^{16}\text{O}_2$ ; 3– $\text{H}_2\text{O}+\text{N}_2$ ; P20 (11,15 мкм)  $^{13}\text{C}^{16}\text{O}_2$ ; 4–расчет по [2]

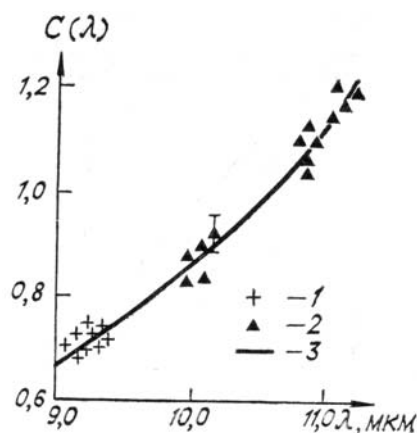


Рис. 2. Зависимость континуального поглощения излучения  $\text{CO}_2$ -лазеров от длины волны: 1– $^{12}\text{C}^{18}$ ; 2– $^{13}\text{C}^{16}\text{O}_2$ ; 3 – расчет по [2]

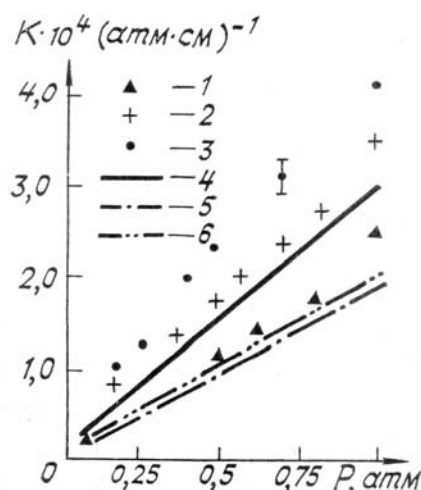


Рис. 3. Зависимость коэффициента селективного поглощения водяного пара от давления для линий  $^{12}\text{C}^{18}\text{O}_2$ -лазера: 1, 6 – R28(1101,701  $\text{cm}^{-1}$ ); 2, 5 – R24(1099,465  $\text{cm}^{-1}$ ); 1, 4 – R10(1091,024  $\text{cm}^{-1}$ )

На рис. 3 приведены результаты измерений, когда помимо непрерывного заметное влияние оказывает селективное поглощение водяного пара. Сплошные кривые – расчеты с использованием лорентцевского контура и параметров линий [3]. Наблюдается заметное расхождение расчетов и экспериментов. Особенно велико различие, когда расстояние между лазерной линией и линией поглощения водяного пара составляет три-четыре полуширины линии поглощения. Чаще экспериментальные коэффициенты поглощения оказывались больше расчетных. Таким образом, при практическом использовании того или иного  $\text{CO}_2$ -лазера следует с осторожностью относиться к величинам селективного поглощения, рассчитанным с использованием параметров компиляции [3]. Экспериментальные данные о коэффициентах селективного поглощения водяным паром для ряда линий  $^{13}\text{C}^{16}\text{O}_2$  и  $^{12}\text{C}^{18}\text{O}_2$ -лазеров при температуре 294 К, влажности 10  $\text{г}/\text{м}^3$  и давлении 1 атм представлены в табл. 1.

Таблица 1

Коэффициенты селективного поглощения водяного пара для некоторых линий  $^{12}\text{C}^{18}\text{O}_2$ - и  $^{13}\text{C}^{16}\text{O}_2$ -лазеров

Лазер	Линия	Частота, $\text{cm}^{-1}$	$K \cdot 10^2$ , $\text{km}^{-1}$
$^{12}\text{C}^{18}\text{O}_2$	P24	1065,756	24
	R10	1091,025	52
	R24	1099,465	45
	R28	1101,701	28
$^{13}\text{C}^{16}\text{O}_2$	R10	921,675	8
	P22	998,788	27

Поскольку в [2] приведены результаты измерений для перестраиваемого  $\text{CO}_2$ -лазера на основном изотопе, а в настоящей работе – для двух других, поэтому представляется целесообразным провести сопоставительный анализ вклада различных газовых компонент атмосферы в поглощение наиболее интенсивных линий этих лазеров. Такой анализ может представить интерес при решении многих практических задач. В табл. 2 помещены коэффициенты молекулярного поглощения, рассчитанные при следующих условиях: общее давление 1 атм, температура 294 К, влажность 10  $\text{г}/\text{м}^3$ , объемная концентрация  $\text{CO}_2$  –  $340 \cdot 10^{-6}$ ;  $\text{O}_3$  –  $17,6 \cdot 10^{-9}$ ;  $\text{NH}_3$  –  $2 \cdot 10^{-8}$ ,  $\text{SO}_2$  –  $10^{-6}$ . Как следует из данных табл. 2, для всех рассматриваемых лазерных линий основным поглотителем является водяной пар, в первую очередь его континуум. Селективное поглощение водяного пара преобладает для линий R20  $^{12}\text{C}^{16}\text{O}_2$  (975,931  $\text{cm}^{-1}$ ) и P22  $^{13}\text{C}^{16}\text{O}_2$  (998,788), весьма существенно для R22  $^{12}\text{C}^{16}\text{O}_2$  (977,214), P18  $^{12}\text{C}^{18}\text{O}_2$  (953,436), R20  $^{13}\text{C}^{16}\text{O}_2$  (928,657) и заметно для R20  $^{13}\text{C}^{16}\text{O}_2$  (1032,394), R20  $^{13}\text{C}^{16}\text{O}_2$  (1000,647), R18  $^{12}\text{C}^{18}\text{O}_2$  (978,893). Для линий основного изотопа до 30–40% вклада в поглощение принадлежит углекислому газу. У изотопных  $\text{CO}_2$ -лазеров поглощение углекислого газа заметно только для линий P20 и P18  $^{12}\text{C}^{18}\text{O}_2$ -лазера (1068,942 и 1070,507  $\text{cm}^{-1}$ ). Вклад  $\text{NH}_3$ ,  $\text{SO}_2$  и  $\text{O}_3$  в поглощение некоторых рассматриваемых линий может достигать 10–15%, только на R18  $^{13}\text{C}^{16}\text{O}_2$

(927,300) аммиак поглощает около 30%. В целом для изотопных CO<sub>2</sub>-лазеров пропускание воздухом несколько выше из-за отсутствия резонансного поглощения углекислого газа.

Таблица 2

Коэффициенты поглощения CO<sub>2</sub>-лазеров воздухом ( $K \cdot 10^3 \text{ км}^{-1}$ )

Линия	$\nu, \text{ см}^{-1}$	$K_{\text{H}_2\text{O}}$	$K_{\text{CO}_2}$	$K_{\text{O}_3}$	$K_{\text{SO}_2}$	$K_{\text{NH}_3}$	$K_{\kappa}$	$K$
<sup>12</sup> C <sup>16</sup> O <sub>2</sub> -лазер								
P22	942,383	1	77	—	—	—	126	204
P20	944,194	6	84	—	—	—	125	215
P18	945,980	3	85	—	—	—	124	212
R18	974,622	6	93	—	—	—	113	212
R20	975,930	793	89	—	—	—	114	996
R22	977,214	56	84	—	—	—	113	253
P22	1045,022	—	105	3	—	1	95	204
P20	1046,854	1	109	7	—	5	95	217
P18	1048,661	10	112	11	—	—	94	227
R18	1077,302	2	124	—	5	—	89	220
R20	1078,591	3	118	—	6	—	89	216
P22	1079,852	1	112	—	6	—	89	208
<sup>13</sup> C <sup>16</sup> O <sub>2</sub> -лазер								
P22	895,151	1	1	—	—	—	151	153
P20	896,909	1	2	—	—	—	150	153
P18	898,649	1	2	—	—	—	149	152
R18	927,300	2	3	—	—	61	133	199
R20	928,657	77	3	—	—	22	132	234
R22	929,993	3	2	—	—	27	132	164
P22	998,788	270	1	2	—	—	106	379
P20	1000,647	15	1	3	—	—	105	124
P18	1002,478	2	1	3	—	—	104	110
R18	1031,129	5	2	11	—	1	98	117
R20	1032,394	18	2	15	—	4	98	137
R22	1033,631	1	9	7	—	4	97	120
<sup>12</sup> C <sup>18</sup> O <sub>2</sub> -лазер								
P22	950,140	2	2	—	—	—	123	127
P20	951,801	1	2	—	—	22	122	147
P18	953,436	153	2	—	—	—	121	276
R18	978,893	13	3	—	—	—	112	128
R20	980,009	1	4	—	—	—	112	117
R22	981,099	4	8	—	—	—	111	123
P22	1067,359	13	9	2	2	1	91	118
P20	1068,942	5	41	1	2	—	91	140
P18	1070,507	2	69	1	3	6	90	171
R18	1095,964	2	—	—	22	2	88	114
R20	1097,151	3	—	—	15	1	87	106
R22	1098,317	8	—	—	16	1	86	111

1. Ryan J. S., Hubert M. H., Orange R. A. // Appl. Optics. 1983. V. 20. № 5. P. 711—717; Appl. Optics. 1984. V. 23. P. 1302—1303.

2. Арефьев В. Н., Погадаев Б. Н., Сизов Н. И. // Квантовая электроника. 1983. Т. 10. № 3. С. 496—502.

3. Rothman L. S. et al. // Appl. Optics. 1983. V. 22. № 11. P. 1616—1637.

Научно-производственное объединение «Тайфун»,  
г. Обнинск

Поступило в редакцию  
11 августа 1988 г.

P. M. Akimenko, V. N. Aref'ev, Yu. I. Baranov, A. M. Seregin, N. I. Sizov,  
N. V. Cheburkin. **Water Vapor Absorption of the  $^{13}\text{C}^{16}\text{O}_2$  and  $^{12}\text{C}^{18}\text{O}_2$  Laser Radiation.**

Water vapor transmittance at laser wavelength on twenty nine lines of two  $\text{CO}_2$  isotopes was measured by means of an optical multipass cell. The results obtained agree with our earlier water vapor continuum model relying on the  $^{12}\text{C}^{16}\text{O}_2$  laser measurements. In the presence of the selective absorption the experimental evidence is found to be at variance with the calculated data.

A comparative analysis of the atmospheric gases absorption for the most intense laser lines of three  $\text{CO}_2$  isotopes was carried out.