

Температурная зависимость относительных коэффициентов ударного уширения линии R22 перехода $10^0 0-00^0 1$ молекулы CO_2 буферными газами N_2 и He

К.И. Аршинов*, М.К. Аршинов*, В.В. Невдах**

**Институт технической акустики НАН Беларуси,*

***Учреждение образования «Белорусский национальный технический университет»*

Цель настоящей работы – определить температурные зависимости относительных коэффициентов ударного уширения линии поглощения R22 перехода $10^0 0-00^0 1$ молекулы CO_2 из экспериментально измеренных с помощью стабилизированного по частоте перестраиваемого CO_2 -лазера величин КП в чистом CO_2 и в смесях с буферными газами N_2 и He при давлении, обеспечивающем лоренцевский контур линии поглощения. Выбор линии R22 обусловлен тем, что вкладом в КП на ее центральной частоте, который дают линии поглощения других, вышележащих переходов молекулы CO_2 , при рассматриваемых в работе давлениях и температурах, можно пренебречь.

Использование оптических методов диагностики атмосферы промышленных зон и нагретых газообразных продуктов сжигания топлив с целью определения концентрации молекул CO_2 и их температуры, а также расчет характеристик CO_2 -лазеров требует знания значений спектроскопических параметров для соответствующих линий молекулы CO_2 и их температурных зависимостей (см., например, [1–5]). Для расчета столкновительных или ударных ширин линий поглощения молекулы CO_2 $\Delta\nu_L$ в газовой смеси $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}$ при давлении P_Σ и температуре T обычно используют формулу [5, 6]

$$\Delta\nu_L = \gamma_{\text{CO}_2-\text{CO}_2} (\xi_{\text{CO}_2} + b_{\text{N}_2} \xi_{\text{N}_2} + b_{\text{He}} \xi_{\text{He}}) P_\Sigma \sqrt{300/T}, \quad (1)$$

где $\gamma_{\text{CO}_2-\text{CO}_2}$ – ударная ширина линии за счет столкновений молекул CO_2 между собой при давлении 1 Торр и температуре 300К или коэффициент ударного самоуширения для молекулы CO_2 ; $\gamma_{\text{CO}_2-\text{N}_2}$ – ударная ширина линии за счет столкновений молекул CO_2 с молекулами N_2 при давлении 1 Торр и температуре 300К; $\gamma_{\text{CO}_2-\text{He}}$ – ударная ширина линии за счет столкновений молекул CO_2 с атомами He при давлении 1 Торр и температуре 300К; ξ_{CO_2} , ξ_{N_2} , ξ_{He} – доли CO_2 , N_2 и He в смеси, $b_{\text{N}_2} = \gamma_{\text{CO}_2-\text{N}_2} / \gamma_{\text{CO}_2-\text{CO}_2} = 0.73$, $b_{\text{He}} = \gamma_{\text{CO}_2-\text{He}} / \gamma_{\text{CO}_2-\text{CO}_2} = 0.64$ – относительные коэффициенты ударного уширения линий молекул CO_2 молекулами и атомами буферных газов N_2 и He , соответственно. Отсутствие температурных зависимостей у используемых в (1) коэффициентов b_{N_2} и b_{He} противоречит существующим представлениям о механизмах ударного уширения спектральных линий [2, 7].

Величину $\Delta\nu_L$ определяют или непосредственно, измеряя форму контура линии поглощения с помощью перестраиваемого источника излучения, или, измеряя ненасыщенный коэффициент поглощения (КП) на одной, например, центральной частоте линии поглощения при давлении, обеспечивающем столкновительно-уширенный контур. Измерение всего контура спектральной линии молекулы CO_2 с высокой точностью является более сложной экспериментальной задачей, чем измерение КП на одной частоте. Для линий переходов $[10^0 0, 02^0 0]_{\text{I,II}}-00^0 1$ задача облегчается тем, что в качестве зондирующего излучения можно использовать резонансное излучение стабилизированного по частоте CO_2 -лазера, перестраиваемого по линиям этих же переходов.

Результаты и их обсуждение. Значения относительных коэффициентов столкновительного уширения линии b_M буферными газами N_2 и He b_{N_2} и b_{He} в настоящей работе определялись по результатам измерений КП в чистом CO_2 α_{CO_2} и в бинарных смесях $\text{CO}_2:\text{N}_2$, $\text{CO}_2:\text{He}$ $\alpha_{\text{CO}_2:M}$ с соотношениями компонент $P_{\text{CO}_2}:P_M = 1:Y$ при давлениях $P_C = P_\Sigma = 100$ Торр, обеспечивающих лоренцевский контур линий поглощения, из выражения

$$\alpha_{\text{CO}_2} / \alpha_{\text{CO}_2-M} = 1 + Y b_M. \quad (2)$$

Экспериментальная установка для измерения КП в газах организована по двухлучевой компенсационной схеме на линиях генерации стабилизированного по частоте CO_2 -лазера, перестраиваемого по линиям основных лазерных переходов $00^0_1-[10^0_0, 02^0_0]_{i,ii}$ [8, 9]. Долговременная нестабильность частоты генерации лазера не превышала величины ± 0.5 МГц относительно центральной частоты линии генерации, позволяя при реализуемых экспериментально ширинах линий поглощения (более 50 МГц) с достаточной точностью считать, что измерения КП проводились на центральных частотах линий поглощения. Температура газа в измерительной кювете поддерживалась с точностью $\Delta T = \pm 0.4^\circ$ (диапазон $293\text{K} \leq T \leq 420\text{K}$) и $\Delta T = \pm 0.9^\circ$ (диапазон $470\text{K} \leq T \leq 700\text{K}$).

На рис. 1 представлены результаты измерений КП α_L при давлении $P_c = 100$ Торр в диапазоне температур от 296 до 700 К.

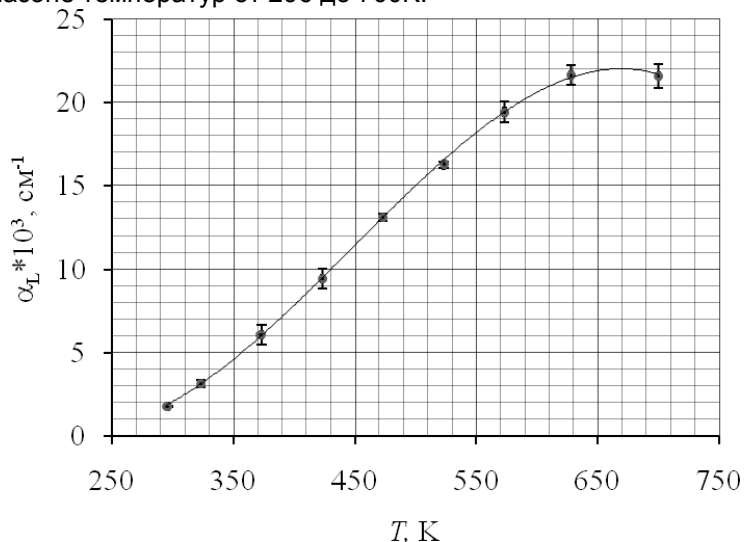
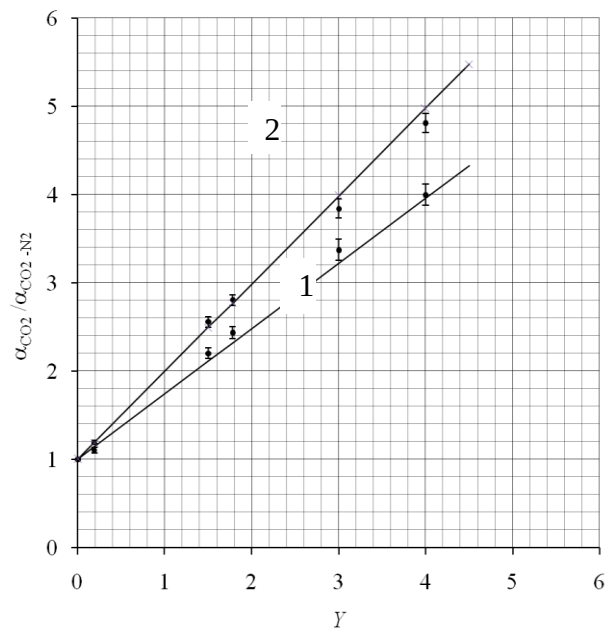
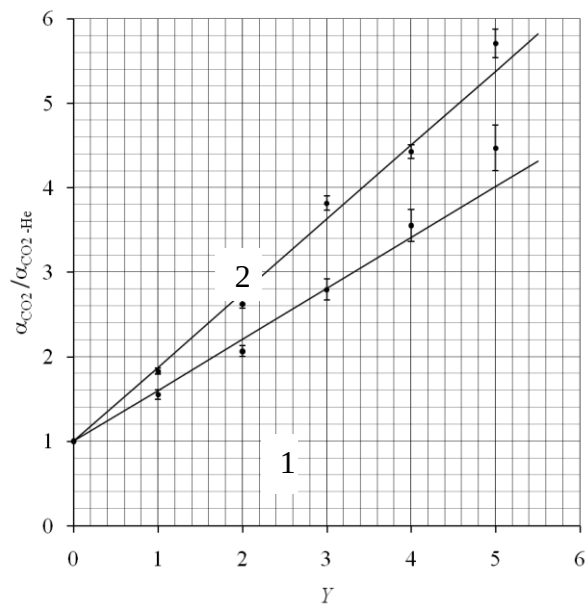


Рис. 1. Температурная зависимость коэффициента поглощения в чистом CO_2 на линии R22 перехода $10^0_0-00^0_1$ при давлении 100 Торр.



а)



б)

Рис. 2. Зависимость отношения коэффициентов поглощения $\alpha_{CO_2}/\alpha_{CO_2-N_2}$ чистого CO_2 и смеси $CO_2:N_2$ (а) и $\alpha_{CO_2}/\alpha_{CO_2-He}$ чистого CO_2 и смеси $CO_2:He$ (б) от состава смеси при температурах 320К (1) и 700К (2).

Также были измерены КП в бинарных смесях $CO_2:N_2$, $CO_2:He$ $\alpha_{CO_2:M}$ с различными соотношениями компонент $P_{CO_2}:P_M=1:Y$ в температурном диапазоне 296–700К при давлении смеси $P_{\Sigma}=100$ Торр. Для каждой температуры строилась зависимость отношения КП $\alpha_{CO_2}/\alpha_{CO_2-M}$ от величины Y в соответствии с формулой (2) и по наклону прямых определялись коэффициенты b_{N_2} и b_{He} .

На рис. 2а и 2б представлены примеры таких зависимостей для смесей $CO_2:N_2$ и $CO_2:He$ при двух температурах 320 и 700 К. Из этих рисунков видно, что в исследованном диапазоне температур отношения КП $\alpha_{CO_2}/\alpha_{CO_2-N_2}$ и $\alpha_{CO_2}/\alpha_{CO_2-He}$, следовательно, и коэффициенты b_{N_2} и b_{He} увеличиваются с ростом температуры. Получено, что при $T=320K$ $b_{N_2}=0.74\pm0.03$ и $b_{He}=0.603\pm0.04$, а при $T=700K$ $b_{N_2}=0.995\pm0.03$ и $b_{He}=0.876\pm0.03$.

Характер изменения коэффициентов b_{N_2} и b_{He} с изменением температуры иллюстрирует рисунок 3. Видно, что до температуры $\sim 550\text{K}$ коэффициент b_{N_2} остается практически постоянным, что согласуется с результатами работы [10], но для коэффициента b_{He} , тем не менее, небольшая зависимость наблюдается. При дальнейшем увеличении температуры газа наши измерения однозначно показывают зависимость обоих коэффициентов b_{N_2} и b_{He} от температуры. Это означает, что широко используемая формула (1) при таких температурах оказывается некорректной.

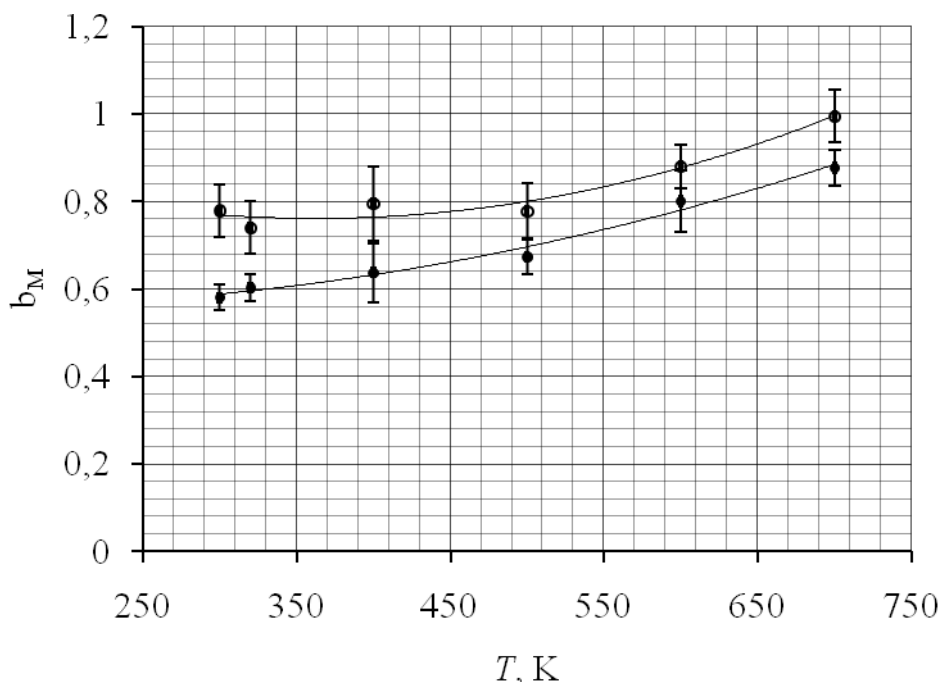


Рис. 3. Зависимости относительных коэффициентов столкновительного уширения b_{N_2} (1) и b_{He} (2) от температуры.

Заключение. С помощью стабилизированного по частоте перестраиваемого CO_2 -лазера измерены ненасыщенные КП в чистом углекислом газе и в бинарных смесях $\text{CO}_2\text{:N}_2$ и $\text{CO}_2\text{:He}$ при давлении 100 Торр в диапазоне температур 296–700K. Для линии поглощения $R22$ перехода $10^0_0-00^0_1$ молекулы CO_2 определены относительные коэффициенты ударного уширения b_{N_2} и b_{He} буферными газами N_2 и He и их температурные зависимости. Установлено, что коэффициенты b_{N_2} и b_{He} являются функциями температуры газа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ачасов, О.В. Диагностика неравновесных состояний в молекулярных лазерах / О.В. Ачасов [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1985. – 208 с.
2. Стариков, В.И. Столкновительное уширение спектральных линий поглощения молекул атмосферных газов / В.И. Стариков, Н.Н. Лаврентьева; под общ. ред. К.М. Фирсова. – Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН, 2006. – 308 с.
3. Артемьев, В.В. Диагностика колебательно равновесной CO_2 -содержащей газовой смеси при атмосферном давлении / В.В. Артемьев [и др.] // Опт. и спектр. – 2004. – Т. 96, № 6. – С. 1004.
4. Аршинов К.И., Аршинов М.К., Невдах В.В., Перен М., Софьяни А., Яснов В.В. // ЖПС. – 2007. – Т. 74, № 6. – С. 810.
5. Витteman, В. CO_2 -лазер: пер. с англ. / В. Витteman. – М.: Мир, 1990. – 360 с.
6. Abrams R.L. // Appl. Phys. Lett. – 1974. – Vol. 25, № 10. – P. 609.
7. Чен, Ш., Такео М. // УФН. – 1958. – Т. 66. – В. 3. – С. 391.
8. Аршинов, К.И. Установка для абсорбционной диагностики нагретых газов / К.И. Аршинов, Н.Г. Каблуков, Ф.В. Тихонов // ПТЭ. – 1996. – № 1. – С. 103.
9. Аршинов, К.И. Перестраиваемый стабилизированный по частоте CO_2 -лазер «Сатурн-В» / К.И. Аршинов, Н.Г. Каблуков, Н.С. Лешенюк // ПТЭ. – 1991. – № 1. – С. 237.
10. Robinson, A.M. Absorption at 10microm in $\text{CO}_2\text{-He}$ $\text{CO}_2\text{-N}_2$ mixtures at elevated temperatures / A.M. Robinson, J.S. Weiss // Can. J. Phys. – 1982. – Vol. 60. – P. 1656.

The temperature dependences of the relative optical broadening coefficients in CO₂ due to the presence of foreign gases N₂ and He b_{N_2} and b_{He} were experimentally checked. The measurements showed that the relative optical broadening coefficients b_{N_2} and b_{He} raise with the temperature increase.

Поступила в редакцию 6.08.2009