

## ИЗМЕРЕНИЕ СЕЧЕНИЯ ПОСТУПАТЕЛЬНОЙ РЕЛАКСАЦИИ ПО СУЖЕНИЮ ДИКЕ В КАРС СПЕКТРАХ МОЛЕКУЛЫ $D_2$

*М.Р.Маликов, А.Д.Савельев, В.В.Смирнов*

Приводятся результаты исследования с разрешением  $0,001 \text{ см}^{-1}$  зависимости ширины линий  $Q_0$  и  $Q_2$  молекулы  $D_2$  от плотности в диапазоне от 0,01 до 40 амага. Выделен вклад в ширину линий обусловленный поступательной релаксацией и измерено сечение этого процесса.

Одним из интересных спектральных проявлений столкновительных молекулярных процессов, исследованных в последнее время, является эффект сужения контура спектральной линии в условиях увеличивающейся плотности газа. (Сужение доплеровского контура — "сужение Дике", впервые рассмотренное в работе <sup>1</sup> и сужение контура изотропной  $Q$ -ветви, впервые объясненное в работе <sup>2</sup>). Их важность обусловлена той дополнительной информацией, которая извлекается из наличия и вида сужающейся с плотностью ширины линии при выделении вкладов в форму контура различных столкновительных процессов и определение из сечений.

Основной целью настоящей работы является измерение сечения поступательной релаксации молекулы  $D_2$ , проведенное на основе детального изучения уширения с плотностью линий  $Q_0$  и  $Q_2$  колебательно-вращательных переходов в области "сужения Дике". Теоретическое рассмотрение формы, ширины и сдвига контура линии при переходе от доплеровского уширения к однородному столкновительному с учетом сужения Дике было проведено в работах <sup>1, 3-6</sup>. Экспериментально, в спектрах КР этот эффект наблюдался лишь для молекул  $H_2$  и  $D_2$  <sup>7, 8</sup>. Детальные экспериментальные исследования контуров отдельных вращательных линий в газах низкой плотности в спектрах КР были ранее затруднены в виду ограниченности спектрального разрешения и чувствительности спектроскопии спонтанного КР. Однако, развитие метода когерентного антистоксового рассеяния света (КАРС) существенно изменило ситуацию и дало возможность проводить исследование контура линий с аппаратным разрешением  $0,001 \text{ см}^{-1}$  в диапазоне плотностей  $10^2 - 10^4$  амага <sup>9-11</sup>. Применение метода КАРС позволило нам проследить форму контура в динамическом диапазоне  $10^3 - 10^4$ , что соответствует отстройкам от центра линии в сотни полуширин. Фрагменты экспериментальных спектров для линии  $Q_2$  представлен на рис. 1. Измеренные на основе подобных спектров зависимости ширины линий  $Q_0$  и  $Q_2$  от плотности в ди-

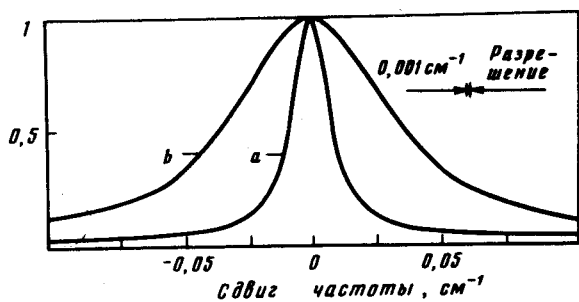


Рис. 1. Форма контура линии  $Q(2)$  КАРС спектра дейтерия полученная при плотностях:  $a - 0,1$  амага,  $b - 15$  амага

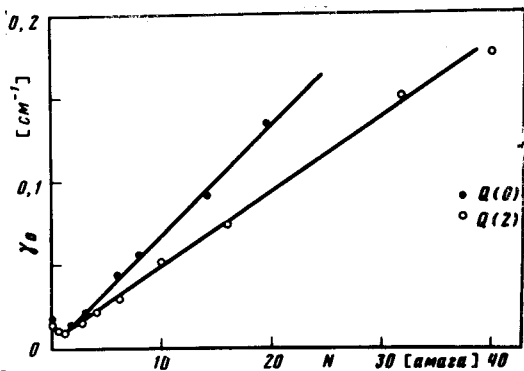


Рис. 2. Зависимость ширины линий  $Q(0)$  и  $Q(2)$  дейтерия от плотности

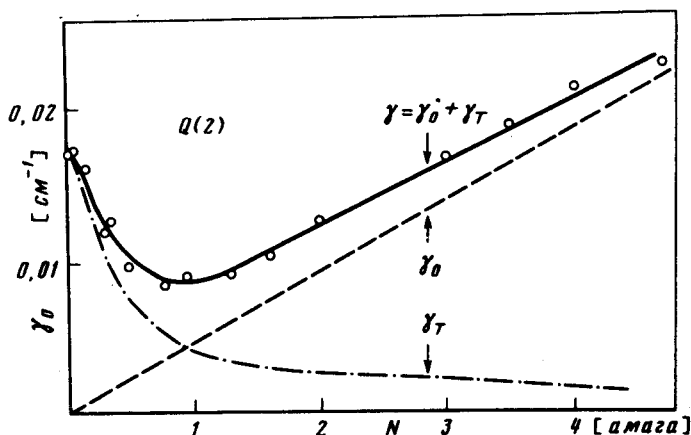


Рис. 3. Зависимость ширины  $\gamma$ ,  $\gamma_0$  и  $\gamma_T$  для линии  $Q(2)$  дейтерия в области сужения Дике

апазоне от 0,01 до 40 амага приведены на рис. 2. Контурсы линий при плотностях от 0,01 до 0,1 амага с хорошей точностью описываются гауссовым профилем (см. рис. 1,  $a$ ) с шириной  $\gamma = (18 \pm 1,5) \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$ , что указывает на чисто доплеровский механизм уширения линии в этой области плотностей. При этом однородная ширина  $\gamma$ , скрытая доплеровским контуром, обусловлена вращательно-неупругими столкновениями (происходящими с сечениями  $\sigma_r$ ) и упругими столкновениями, изменяющими вектор скорости (с сечениями  $\sigma_v$ ) и фазу колебательного движения (с сечениями  $\sigma_\nu$ ). По мере увеличения плотности, когда частота столкновений становится сравнимой с доплеровской шириной контура, дальнейшее ее увеличение приводит к сужению доплеровского контура. При этом вклад в ширину контура, обусловленный поступательной релаксацией уменьшается и контур линии становится однородно уширенным лишь за счет вращательно-неупругих столкновений и столкновений, возмущающих фазу колебательного движения. Эта область соответствует экспериментальным плотностям от 10 амага и выше. Контур линии в этой области, как видно из рис. 1,  $b$  имеет форму, близкую к лоренцевой. При дальнейшем увеличении плотности ширина контура возрастает линейно с плотностью (см. рис. 2). По наклону этой зависимости были измерены коэффициенты уширения  $d\gamma_0/dN$  линий  $Q_0$  и  $Q_2$  значения которых составляют

$$\frac{d\gamma_0}{dN}(Q_0) = (6,7 \pm 0,1) \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}/\text{амага} \text{ и } \frac{d\gamma_0}{dN}(Q_2) = (4,6 \pm 0,1) \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}/\text{амага}.$$

$$\text{Суммарное сечение рассчитанное из соотношения } \gamma_0 = \frac{N(\sigma_r + \sigma_\nu) \langle v \rangle}{2\pi c}, \text{ где } \langle v \rangle = \sqrt{\frac{16kT}{\pi m}}$$

$m$  — масса молекулы,  $N$  — плотность составляет  $\sigma_{r+v}(Q_0) = (1,37 \pm 0,03) \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$  и

$\sigma_{\gamma+v}(Q_2) = (0,94 \pm 0,02) \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$ . В области промежуточных значений плотностей от 0,1 до 10 амага (см. рис. 2 и рис. 3) для линий  $Q_0$  и  $Q_2$  наблюдается сужение Дике с минимальными значениями ширины  $\gamma(Q_0) = (10 \pm 1,5) \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$  и  $\gamma(Q_2) = (9 \pm 1,5) \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$ , достигаемыми соответственно при 0,75 и 0,9 амага. Следует отметить, что форма контура в этой области в пределах экспериментальной точности остается симметричной. Путем экстраполяции линейной зависимости  $\gamma_0$  к нулевой плотности из общей ширины  $\gamma$  (см. рис. 3) была выделена доля уменьшающегося с плотностью вклада в ширину  $\gamma_T = \gamma - \gamma_0$ . Используя соотношение  $\gamma_T = 4\pi \langle v \rangle \nu_0^2 / 3c^3 N \sigma_T^{3,5}$ , где  $\nu_0 = 2986 \text{ см}^{-1}$  — частота колебательного перехода молекулы  $D_2$ , нами было рассчитано сечение поступательной релаксации величина которой составляет  $\sigma_T(Q_0) = (20,7 \pm 0,5) \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$  и  $\sigma_T(Q_2) = (21,1 \pm 0,5) \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$ . Для сравнения приводим значение сечения  $\sigma_T = 20,2$ , полученное на основе соотношения:  $\eta = \langle v \rangle m / 3\sigma_T \sqrt{2}$  из экспериментов по измерению коэффициента вязкости  $\eta$ <sup>12</sup>.

#### Литература

1. Dicke R.H. ' Phys. Rev., 1953, 89, 472.
2. Алексеев В.А., Собельман И.И. ЖЭТФ, 1968, 55, 1973.
3. Раутиан С.Г., Собельман И.И. УФН, 1966, 90, 209.
4. Galatry L. Phys. Rev. 1961, 122, 1218.
5. Gersten J.I., Foley H.M. JOSA, 1968, 58, 933.
6. Алексеев В.А., Малюгин В.А. ЖЭТФ, 1981, 80, 897.
7. Murray J.R., Javan A. J. Mol. Spectroscopy, 1972, 42, 1.
8. Lallemand P., Simova P. J. Mol. Spectroscopy, 1968, 26, 262.
9. De Martini F., Ghillani G.P., Santamato E. Opt. Comm., 1972, 5, 126.
10. Henesian M.A., Kulevskii L., Byer R., Herbst R.L. Opt. Comm., 1976, 18, 225.
11. Krynetsky B.B., Kulevskii L.A., Mishin V.A., Prokhorov A.M., Savel'ev A.D., Smirnov V.V. Opt. Comm., 1977, 21, 225.
12. Менабе Н.Е. АЭ, 1965, 19, 453.