

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И СПЕКТРОСКОПИЯ ВОЗБУЖДЕННЫХ РАЗРЯДОМ КОЛЕБАТЕЛЬНО-ВРАЩАТЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ АЗОТА МЕТОДОМ КАРС

В.В. Смирнов, В.И. Фабелинский

Получены разрешенные спектры возбужденных разрядом колебательно-вращательных переходов. Измерены константы колебательно-вращательного взаимодействия в зависимости от колебательного квантового числа, колебательная и вращательная температуры.

В настоящей работе сообщается о получении полностью разрешенных спектров колебательно возбужденных состояний и измерений колебательной и вращательной температуры в газовом разряде в N_2 методом спектроскопии когерентного антистоксова рассеяния света (КАРС). Ввиду высокой яркости рассеянного излучения данный метод позволяет регистрировать спектр на фоне сильного свечения плазмы газового разряда. Принцип метода КАРС и особенности его экспериментальной реализации изложены в обзорах [1,2]. Впервые данный метод был применен к исследованию газового разряда в [3,4].

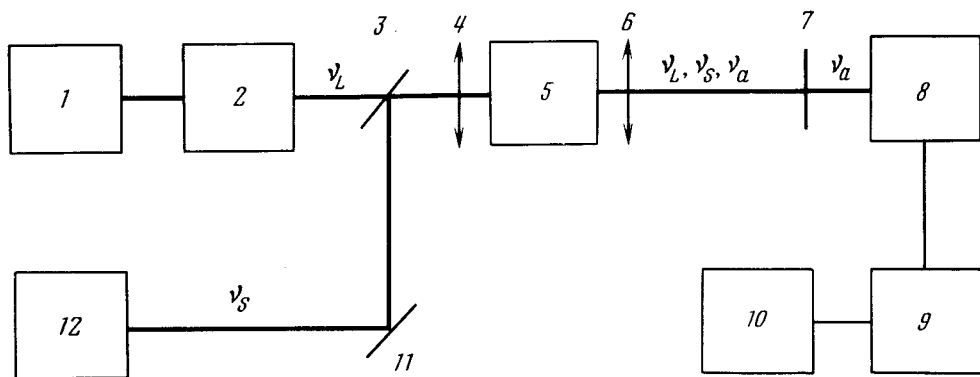


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – лазер на YAG: Nd (TEM_{00} , $P_L = 5$ Мвт, $f = 12,5$ гц, $\Delta\nu_L = 0,01$ см $^{-1}$), 2 – генератор второй гармоники (DCDA, $\eta = 30\%$) 3, 11 – зеркала, 4, 6 – линзы $f = 10$ см, 5 – разрядная кювета, 7 – фильтр, 8 – ФЭУ-79, 9 – стробируемый интегратор, 10 – самописец, 12 – лазер на красителе Родамин-6G (TEM_{00} , $P_S = 2$ квт, $f = 12,5$ гц, $\Delta\nu_S = 0,1$ см $^{-1}$)

1. Вращательная и колебательная температура могут быть определены из относительной интенсивности отдельных вращательных компонент

внутри одной (T_{rot}) и в разных (T_v) колебательных полосах:

$$\frac{I_{v, J'}}{I_{v, J}} = \frac{(2J' + 1)^2}{(2J + 1)^2} \exp \left\{ -\frac{2hc B_v}{kT_{\text{rot}}} [J'(J' + 1) - J(J + 1)] \right\}, \quad (1)$$

$$\frac{I_{v', J}}{I_{v, J}} = \frac{(v' + 1)^2}{(v + 1)^2} \exp \left\{ -\frac{2hc}{kT_v} (v_e - 2v_e x_e) \right\}, \quad (2)$$

где $I_{v, J}$ — интенсивность рассеяния в КАРС спектре для перехода ($J, v \rightarrow J', v + 1$) с частотой

$$\nu_{v, J} = \nu_e - 2\nu_e x_e - \alpha_v J(J + 1) \quad (3)$$

v и J — колебательное и вращательное квантовые числа, B_v — вращательная постоянная, а (3) записано в обозначениях [5].

Выражения (1), (2) справедливы в предположениях, что ширина линии и сечение рассеяния не зависят от J , структура Q -ветви полностью разрешена и установилось больцмановское распределение как по колебательной, так и по вращательной подсистемам.

2. Экспериментально нами были получены колебательно-вращательные спектры Q -ветви азота в тлеющем газовом разряде при $U = 10$ кВ, $I = 7$ мА, в трубке диаметром 15 мм с длиной разрядного промежутка 10 см при давлении азота 12 тор. Схема КАРС спектрометра приведена на рис. 1. На данном спектрометре были получены спектры, которые позволяют определить распределение населенностей и колебательную температуру вплоть до уровней с $v = 6$. На рис. 2 приведена spectroграмма колебательных переходов. Вводя для каждой пары уровней некую колебательную температуру T_v и используя (2), получаем для $v = 0 \rightarrow 1$ $T_v = 2850 \pm 100$ К, $v = 1 \rightarrow 2$ $T_v = 3100 \pm 100$ К, $v = 2 \rightarrow 3$ $T_v = 3400 \pm 150$ К, $v = 3 \rightarrow 4$ $T_v = 3500 \pm 200$ К, что указывает на заметное отклонение распределения населенностей верхних уровней от больцмановского.

Для определения вращательной температуры были получены разрешенные спектры Q -ветвей отдельных колебательно-вращательных переходов (см. рис. 3). Распределение интенсивностей отдельных вращательных компонент в спектрах соответствовало больцмановскому с температурой $T_{\text{rot}} = 395 \pm 15$ К.

3. При наличии стабильных молекул в разряде сильное заселение верхних колебательных состояний позволяет регистрировать спектры КАРС высокого разрешения и получать спектральную информацию о структуре молекулярных состояний с высокими колебательными квантовыми числами. В случае диссоциации молекул можно исследовать колебательно-вращательную структуру диссоциированных фрагментов.

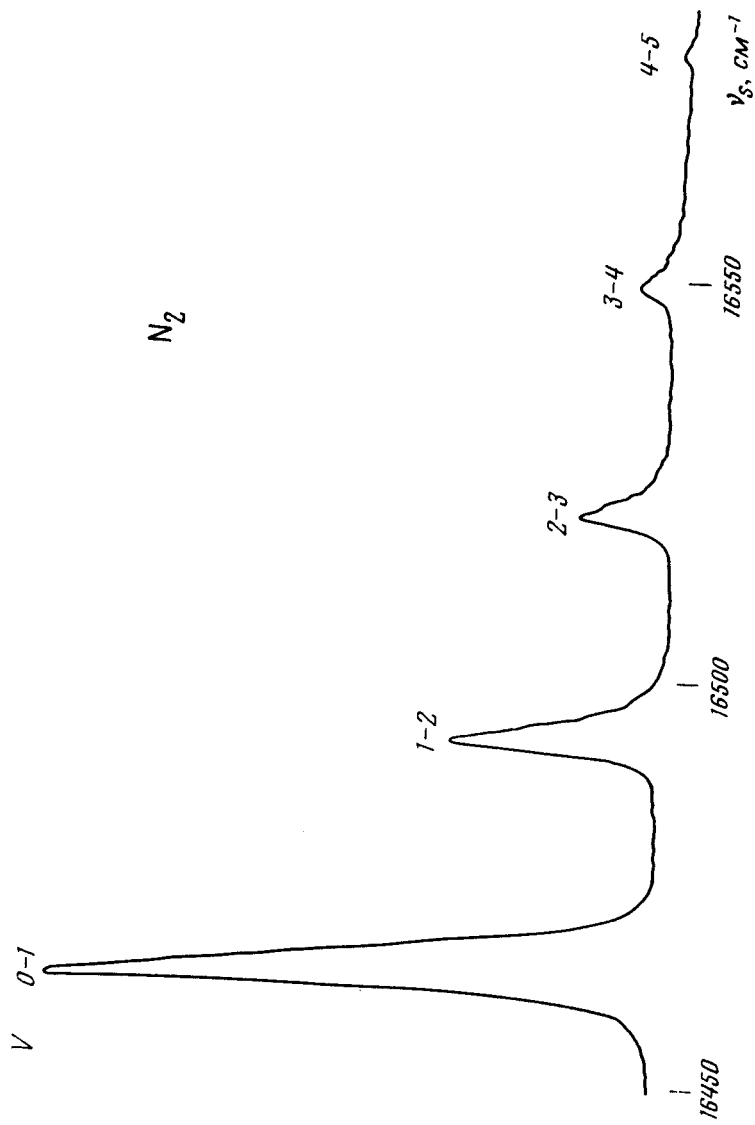


Рис. 2. Колебательный спектр КАРС азота в разряде

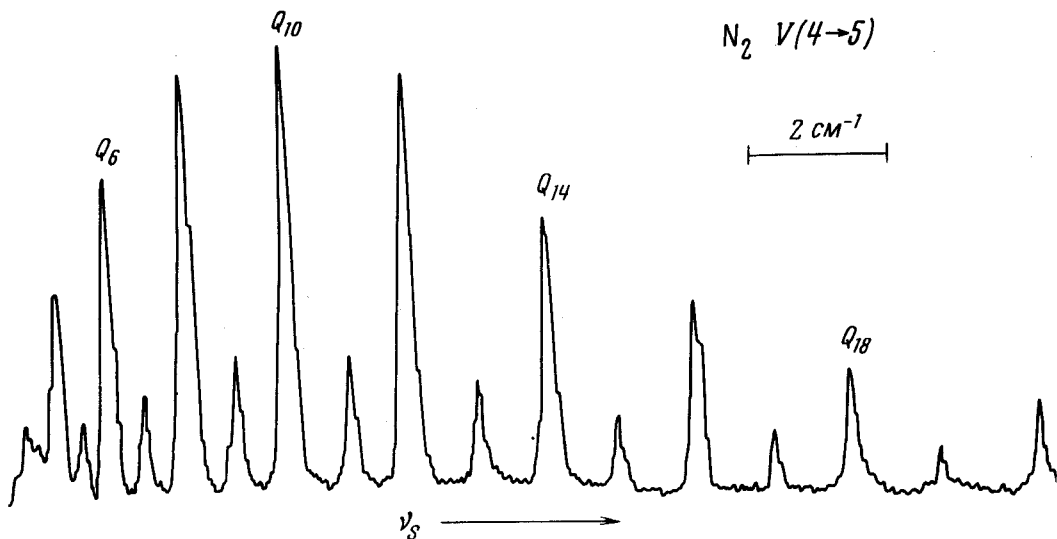


Рис. 3. Структура Q-ветви колебательного перехода $\nu = 4 \rightarrow \nu = 5$ (разрешение $0,1 \text{ см}^{-1}$)

Спектральное разрешение метода КАРС определяется ширинами линий используемых лазеров и ограничено доплеровской шириной линии. Экспериментально была исследована вращательная структура высоких колебательных состояний. Из разрешенных спектров Q-ветвей были определены константы a и γ , входящие в формулу

$$B_\nu = B_e - a(v + 1/2) + \gamma(v + 1/2)^2 + \dots$$

и, с использованием значения B_0 , измеренного в [6] было получено следующее соотношение

$$B_\nu = 1,99875 - (0,01816 \pm 0,0003)(v + 1/2) + \\ + (0,00023 \pm 0,00005)(v + 1/2)^2.$$

Авторы выражают свою благодарность П.П.Пашину за постоянное внимание и интерес к работе, В.Н.Жиганову за помощь при проведении экспериментов и Л.М.Фабелинской за помощь при обработке экспериментальных результатов.

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

Поступила в редакцию
10 августа 1978 г.

Литература

- [1] С.А.Ахманов, Н.И.Коротеев. УФН, 123, 405, 1977.
[2] W.M.Tolles, J.W.Nibler, J.R.McDonald, A.B.Harvey, Appl. Spectroscopy, 31, 253, 1977.

- [3] J.W.Nibler, J.R.Mc Donald, A.V.Harvey. Opt. Comm., 18, 371, 1976.
- [4] W.M.Shaub, J.W.Nibler, A.V.Harvey. J. of Chem. Phys., 67, 1883, 1977.
- [5] Г. Герцберг. Спектры и строение двухатомных молекул. М., ИИЛ, 1949.
- [6] B.P.Stoicheff . Can. J. of Phys., 32, 630, 1954.
-