

О ЗАВИСИМОСТИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ
МОЛЕКУЛ H_2 ПРИ ЭЛЕКТРОННО-КОЛЕБАТЕЛЬНОМ ПЕРЕХОДЕ ОТ
ЭНЕРГИИ НАЛетающих ЭЛЕКТРОНОВ

Е. Иванович-Курепа^{*)}, Я. Марендич^{*)}, С. Ю. Савинов

УДК 537.525

Изучена зависимость возбуждения вращательных уровней H_2 при электронно-колебательном переходе от энергии налетающих электронов. Показано, что вращательное возбуждение наиболее эффективно при энергиях электронов вблизи порога возбуждения электронного состояния.

Исследование спектров водорода в элементарном разряде постоянного тока показало, что возможна передача значительных моментов импульса при возбуждении электронно-колебательных состояний молекул прямым электронным ударом /1-3/. В работе /4/ анализировалась вращательная структура перехода $H_2(d^3\Pi - a^3\Sigma)$ в

^{*)} Институт Физики г. Белграда, СФРЮ.

ВЧ разряде, возбужденная электронами с максимумом распределения при энергии ~ 40 эВ. Сопоставление результатов /1-3/ с данными /4/ показало, что в ВЧ разряде вращательное возбуждение молекул менее эффективно. В тлеющем разряде постоянного тока средняя энергия электронов заметно меньше порога возбуждения электронных состояний молекул и основную роль в их заселении играют электроны с энергией, близкой к пороговой. Поэтому в /1/ было предположено, что именно припороговые электроны вызывают вращательное возбуждение. В работе /5/ при исследовании возбуждения иона $\text{N}_2^+(\text{B}^2\Sigma)$ электронным пучком при низких температурах газа также получены результаты, подтверждающие это предположение. В данной работе исследуется зависимость эффективности возбуждения вращений H_2 в реакции



от энергии налетающих электронов. Анализируется распределение молекул H_2 по вращательным уровням при возбуждении электронным пучком.

Экспериментальная установка аналогична описанной в /6/. Электронная пушка позволяла формировать пучок электронов с энергией до 500 эВ и разбросом $\Delta E_e \sim 1$ эВ, ток пучка 4 - 5 мкА, диаметр - 2 мм. В зоне пучки поддерживалось разрежение 10^{-6} торр, а давление водорода в камере взаимодействия пучка с газом составляло $(5 - 9) \cdot 10^{-3}$ торр. Наблюдение велось перпендикулярно оси пучка. Дифракционный монохроматор (дисперсия 20 Å/мм) выделял отдельные вращательные линии. Регистрации спектров велась в режиме счета фотонов. Анализировался спектр (0,0) полосы перехода $\text{H}_2(\text{d}^2\Pi_u, v' = 0 \rightarrow \text{a}^3\Sigma_g^+, v'' = 0)$. Пороговая энергия E_{H} реакции (I) составляла 13,97 эВ /7/.

За меру эффективности вращательного возбуждения молекулы, как и в работе /8/, взято отношение интенсивностей линий Q(1) и Q(3) $q = I_{\text{Q}(3)} / I_{\text{Q}(1)}$. Исследовалась зависимость q от энергии возбуждающих электронов.

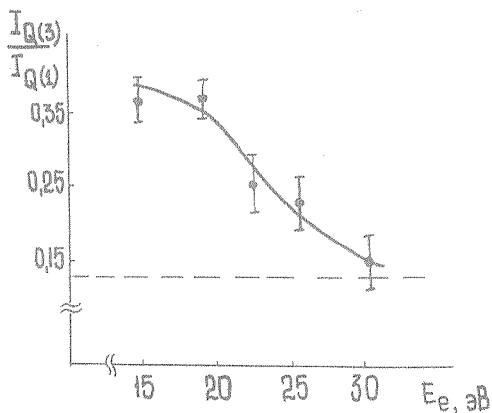
В исследуемых условиях температура в камере взаимодействия практически комнатная $T \approx 300$ К. При этом у ортоводорода $\text{H}_2(\text{X}^1\Sigma, v^0 = 0)$ заселено практически лишь 2 вращательных уровня $K^0 = 1$ и $K^0 = 3$, причем 88% молекул находится на уровне с $K^0 = 1$

Исследования проводились при $E_0 = 15 - 30$ эВ. Снизу энергия ограничена порогом реакции (I). Верхний предел связан с возбуждением вторичными электронами, образующимися при ионизации



Порог реакции (2) — $E_{II} = 15,43$ эВ. Поэтому, если первичные электроны e обладают энергией $E_0 > E_{II} + E_{II} = 29,4$ эВ, то один из вторичных электронов может также давать вклад в процесс (I). Устранить влияние вторичных электронов при $E_0 > 30$ эВ можно при давлениях газа $\sim 10^{-4}$ торр [7], что в наших условиях не было осуществлено из-за малости отношения сигнал/шум.

На рис. I представлена зависимость $q(E_0)$. Видно, что с ростом E_0 величина q уменьшается от $0,36 \pm 0,04$ при $E_0 = 15$ эВ до $0,15 \pm 0,06$ при $E_0 = 30$ эВ. Температура газа в камере взаимодействия практически постоянна и, соответственно, распределение молекул по вращательным уровням основного состояния $X^1\Sigma, v^0 = 0$ также постоянно. Причиной изменений в распределении интенсивностей в спектре может быть лишь изменение E_0 . Значение $q = (0,15 \pm 0,06)$ в пределах погрешности эксперимента соответствует заселению вращательных уровней $H_2(d^3\Pi, v' = 0)$ из основного состояния $H_2(X^1\Sigma, v^0 = 0)$ с правилом отбора по вращательному квантовому числу $\Delta K = 0; \pm 1$ (т.к. у ортосродорода в состоянии $H_2(X^1\Sigma)$ существуют лишь уровни с нечетными квантовыми числами $K^0 = 1, 3, 5 \dots$, выиснить, какое из правил $\Delta K = 0$ или $\Delta K = 0; \pm 1$ действует, из наших данных невозможно). При этом в пределах погрешности эксперимента значения относительных заселенностей вращательных уровней с $K = 1$ и $K = 3$ в основном $X^1\Sigma, v^0 = 0$ и возбужденном $d^3\Pi, v' = 0$ электронных состояниях совпадают. Значение $q = (0,36 \pm 0,04)$ отвечает случаю, когда эффективны переходы с $\Delta K > 1$. Таким образом, измерения подтверждают правильность предположения о том, что за вращательное возбуждение молекул при электролино-колебательном переходе отвечают электроны с энергией вблизи порога возбуждения электронных состояний. С ростом E_0 эффективность вращательного возбуждения уменьшается, вероятность переходов с $\Delta K > 1$ падает. Уже при $E_0 > 2E_{II}$ в процессе (I) можно использовать правило отбора $\Delta K = 0, \pm 1$.



Р и с. 1. Зависимость отношения $q = I_{Q(3)}/I_{Q(1)}$ от энергии возбуждающих электронов. Штриховая линия (расчет) соответствует условию заселения состояния $d^3\Pi$ с правилами отбора $\Delta K = 0; \pm 1$

Сопоставление результатов настоящей работы и работы /8/ приводит к некоторому противоречию. В /8/ не было обнаружено зависимости $q(E_e)$. Так, для $(0,0)$ полосы перехода $H_2(d^3\Pi - a^3\Sigma)$ при $16 \text{ эВ} < E_e < 100 \text{ эВ}$ и комнатной температуре $q = 0,34 \pm 0,07$. Трудно однозначно назвать причины этого расхождения. Возможно, в условиях /8/ заметное влияние оказывали вторичные электроны. Согласно табл. I /8/ первая экспериментальная точка соответствует $E_e = 16 \text{ эВ}$, при этом $q = 0,35 \pm 0,02$, что удовлетворительно согласуется с нашими результатами. Следующее по энергии измерение в /8/ проведено при $E_e = 35 \text{ эВ}$. Поскольку давление газа при этом было 10^{-2} торр, то вторичные электроны могли оказать ощутимое влияние. Отметим, что при давлении 10^{-2} торр и $E_e = 50 \text{ эВ}$ нами также была получена величина $q = 0,34 \pm 0,05$. Однако, как показали дополнительные исследования, излучение в этом случае связано с возбуждением состояния $d^3\Pi$ вторичными электронами. Зависимость интенсивностей $I_{Q(1)}$ и $I_{Q(3)}$ от давления газа была при этом квадратичной, тогда как при $E_e < 30 \text{ эВ}$ — линейной.

Авторы благодарят В. В. Урошевича, Н. Н. Соболева и В. Н. Очкина за полезное обсуждение результатов.

Поступила в редакцию

20 января 1983 г.

После переработки

4 апреля 1983 г.

Л и т е р а т у р а

1. Д. К. Оторбаев и др., Препринт ФИАН № 161, М., 1978 г; Письма в ЖЭТФ, 28, 424 (1978).
2. А. П. Бриковецкий и др., Препринт ФИАН № 182, М., 1979 г.
3. А. П. Бриковецкий и др., ЖЭТФ. 79. 1687 (1980).
4. P. Baltayan, O. Nedelec, J. de Phys., 36, 125 (1975).
5. В. М. De Koven et al., J. Chem. Phys., 74, 5659 (1981).
6. J. M. Kurera, M. D. Tasić, Chem. Phys., 38, 361 (1979).
7. G. R. Molnar, F. J. De Neer, Chem. Phys. Lett., 42, 240 (1976).
8. И. В. Богданова и др., Вестник ЛГУ, сер. физ. и хим., деп. ВИНТИ № 1243. 1980 г.