

ОБРАЗОВАНИЕ МЕЗОМОЛЕКУЛ ПРИ РАССЕЯНИИ МЕТАСТАБИЛЬНОГО МЕЗОВОДОРОДА В ГЕЛИИ

А.В.Кравцов, А.И.Михайлов, Н.П.Попов

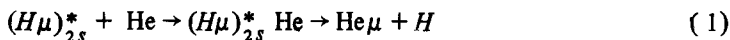
Рассчитаны скорости образования мезомолекул при рассеянии мезоатомов изотопов водорода в метастабильном $2s$ -состоянии на ядрах гелия с учетом электронной оболочки атомов мишени. Показано, что эффект электронного экранирования в этом процессе невелик.

Перезарядка возбужденных мезоатомов изотопов водорода на ядрах более тяжелых изотопов водорода и на ядрах других элементов влияет на кинетику процессов, происходящих в водородосодержащих смесях. В работах ¹⁻³ показано, что процессы квазирезонансной перезарядки возбужденного мезодейтерия на ядрах трития существенны при рассмотрении кинетики мюонного катализа в смеси $D_2 + T_2$. В этой смеси накапливается также гелий как от реакции синтеза ядер изотопов водорода в мезомолекуле, так и от распада трития. Причем, если перехват с возбужденного мезодейтерия мюона ядрами трития увеличивает число циклов мезокатализа, приходящихся на один мюон, то перезарядка мезоатомов изотопов водорода на ядрах гелия их уменьшает.

В работе ⁴ была рассмотрена перезарядка мезоводорода в метастабильном $2s$ -состоянии на ядрах гелия. Показано, что скорость перезарядки может достигать 10^9 с^{-1} , то есть оказывается сравнимой со скоростью девозбуждения этого состояния в соударениях за счет "виртуального" при комнатной температуре штарковского смешивания $2s$ - и $2p$ -состояний.

При расчете скоростей перезарядки в работе ⁴ не учитывалась экранировка ядер гелия атомными электронами. В данной работе этот эффект учитывается. В случае квазирезонансной перезарядки мезодейтерия на ядрах трития влияние атомной оболочки на скорости перезарядки велико ¹⁻³, что является следствием значительных межъядерных расстояний R , ответственных за перехват, возрастающих с увеличением главного квантового числа мезоводорода n .

Перехват мюона с мезоводорода в $2s$ -состоянии на гелий вследствие отсутствия пересечения молекулярных термов, отвечающих начальному и конечному состояниям реакции, возможен лишь за счет молекулярного механизма перезарядки



($H = p, d, t$) при характерных $R \sim 20 a_\mu^4$ (a_μ – борковский радиус мезоводорода).

Энергии связи мезомолекул и волновые функции начального и конечного состояний в реакции (1) находятся численно в рамках эффективного одноканального приближения. При этом взаимодействие с электронной оболочкой атома гелия учитывается в первом порядке теории возмущений ⁵, так что эффективный потенциал взаимодействия при $R \sim 20 a_\mu$ определяется $5g\sigma$ – термом ⁴, а при $R \gg a_\mu$ имеет вид $V(R) = d_n \epsilon(R)$, где $d_n = 3n \Delta / 2m_\mu$ – дипольный момент возбужденного мезоводорода (в единицах $e = \hbar = m_e = 1$), $\Delta = n_1 - n_2$, n_1, n_2 – параболические квантовые числа мезоатома ($n=2, \Delta = -1$), m_μ – масса мюона, $\epsilon(R)$ – напряженность электрического поля атома гелия. Используя, как и в ⁵, выражение для атомного потенциала из работы ⁶, получим

$$\epsilon(R) = - \frac{d}{dR} V_a(R) = \frac{z}{R^2} \sum_{i=1}^p \gamma_i \left(1 + \lambda_i \frac{R}{a_e}\right) \exp(-\lambda_i R/a_e) \quad (2)$$

(a_e – боровский радиус), где параметры γ_i и λ_i для $z=2$ даны в работе ⁶. Как показано в работе ⁴, перезарядка мезоводорода в метастабильном $2s$ -состоянии возможна как за счет нерезонансного механизма образования мезомолекул (3), так и вследствие резонансной реакции (4):

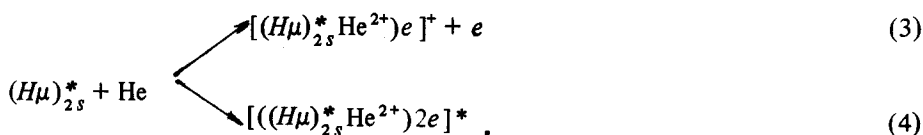


Таблица 1.

Значения $\tilde{\lambda}_m^{nres}$ (10^8 c^{-1}), рассчитанные без учета экранирования.

| $T(K)$ | $(p\mu)_{2s}^* + {}^3He$ | $(p\mu)_{2s}^* + {}^4He$ | $(d\mu)_{2s}^* + {}^3He$ | $(d\mu)_{2s}^* + {}^4He$ | $(t\mu)_{2s}^* + {}^3He$ | $(t\mu)_{2s}^* + {}^4He$ |
|--------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 20 | 10,0 | 5,47 | 13,3 | 6,32 | 8,29 | 3,58 |
| 50 | 7,33 | 4,07 | 9,75 | 4,62 | 6,08 | 2,62 |
| 100 | 5,47 | 3,07 | 7,29 | 3,45 | 4,54 | 1,96 |
| 400 | 2,85 | 1,61 | 3,80 | 1,80 | 2,37 | 1,02 |
| 800 | 2,03 | 1,15 | 2,70 | 1,28 | 1,68 | 0,73 |
| 1000 | 1,82 | 1,03 | 2,41 | 1,15 | 1,51 | 0,65 |

Рассчитанные нами скорости нерезонансного образования мезомолекул $\tilde{\lambda}_m^{nres}$, усредненные по максвелловскому распределению мезоатомов по скоростям при температуре $T(K)$, даны в таблице 1 без учета экранирования и в таблице 2 с учетом экранирования. Что касается резонансного образования мезомолекул, то в таблице 3 приведены данные для максимальных значений λ_m^{res} , полученные с учетом и без учета экранирования. Из данных таблиц 1–3 следует, что влияние экранирования на скорости перезарядки мезоводорода в метастабильном $2s$ -состоянии в гелии невелико.

Следует заметить, что при изучении перезарядки мезоводорода в возбужденном состоянии весьма важной ожидается прямая перезарядка из высоковозбужденных состояний с $n > 2$, о чем свидетельствуют данные эксперимента по перехвату мюона с мезопротива ядрами 4He ⁷.

Таблица 2.

Значения λ_m^{res} (10^8 c^{-1}), рассчитанные с учетом экранирования.

| $T(\text{K})$ | $(p\mu)_{2s}^* + {}^3\text{He}$ | $(p\mu)_{2s}^* + {}^4\text{He}$ | $(d\mu)_{2s}^* + {}^3\text{He}$ | $(d\mu)_{2s}^* + {}^4\text{He}$ | $(t\mu)_{2s}^* + {}^3\text{He}$ | $(t\mu)_{2s}^* + {}^4\text{He}$ |
|---------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 20 | 9,32 | 2,70 | 14,0 | 5,28 | 6,50 | 4,59 |
| 50 | 7,12 | 2,42 | 10,2 | 4,02 | 5,24 | 3,19 |
| 100 | 5,42 | 2,12 | 7,49 | 3,09 | 4,17 | 2,28 |
| 400 | 2,82 | 1,38 | 3,73 | 1,68 | 2,35 | 1,11 |
| 800 | 1,98 | 1,05 | 2,61 | 1,22 | 1,70 | 0,77 |
| 1000 | 1,77 | 0,95 | 2,35 | 1,09 | 1,53 | 0,68 |

Таблица 3.

Максимальные значения λ_m^{res} (10^8 c^{-1}), рассчитанные как без учета, так и с учетом экранирования.

| | $(p\mu)_{2s}^* + {}^3\text{He}$ | $(p\mu)_{2s}^* + {}^4\text{He}$ | $(d\mu)_{2s}^* + {}^3\text{He}$ | $(d\mu)_{2s}^* + {}^4\text{He}$ | $(t\mu)_{2s}^* + {}^3\text{He}$ | $(t\mu)_{2s}^* + {}^4\text{He}$ |
|------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| без экран. | 3,06 | 0,148 | 0,083 | 0,107 | 1,15 | 3,40 |
| с экранир. | 2,53 | 0,142 | 0,081 | 0,102 | 1,04 | 2,57 |

Литература

1. *Меньшиков Л.И., Пономарев Л.И.* Письма в ЖЭТФ, 1984, 39, 542.
2. *Menshikov L.I., Ponomarev L.I.* Z.Phys.D – Atoms, Molecules and Clusters, 1986, 2, 1.
3. *Kravtsov A.V., Mayorov A.Yu., Mikhailov A.I. et al.* Preprint LNPI-1315, L., 1987.
4. *Kravtsov A.V., Popov N.P.* Z.Phys.D – Atoms, Molecules and Clusters, 1987, 6, 61.
5. *Kravtsov A.V., Mikhailov A.I., Popov N.P.* J.Phys.B: At.Mol.Phys., 1986, 19, 1323.
6. *Cox H.L.Jr., Bonham R.A.* J.Chem.Phys., 1967, 47, 2599.
7. *Быстрицкий В.М., Желепов В.П., Петрухин В.И. и др.* ЖЭТФ, 1983, 84, 1257, *Vubak M., Bystritsky V.M.* Preprint JINR E1-86-107, Dubna, 1986.