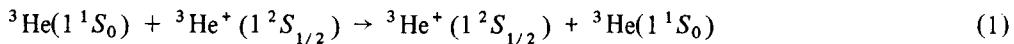


**ИЗОТОПНЫЙ ЭФФЕКТ ПРИ ПЕРЕЗАРЯДКЕ ИОНОВ He^+
НА АТОМАХ ГЕЛИЯ**

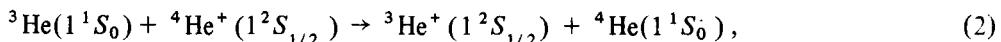
B.A. Кartoшкин

Впервые установлен изотопный эффект в величине константы скорости перезарядки иона на собственном атоме (для гелия).

Резонансная перезарядка в гелии исследовалась неоднократно как экспериментально, так и теоретически¹. Константа скорости этого процесса $C_1 = \langle \sigma v \rangle_1 = 6 \cdot 10^{-10} \text{ см}^{-3} \text{ с}^{-1}$ и у разных авторов наблюдается хорошее согласие результатов. В то же время неясно, будут ли отличаться константы скорости резонансного процесса (C_1)



и нерезонансного процесса ($C_2 = \langle \sigma v \rangle_2$)



поскольку нерезонансность в реакции (2) очень невелика: дефект резонанса $\Delta E = 4 \cdot 10^{-5}$ ат. ед.² и обязан изотопическому сдвигу уровней в атоме и ионе ${}^3\text{He}$ по отношению к уровням ${}^4\text{He}$.

В настоящей работе установлен факт различия скоростных констант реакции (1) и (2) в результате исследования переходных процессов в системе оптически ориентированных атомов гелия. В³ было показано, что продольная ядерная релаксация атомов изотопа ${}^3\text{He}$ в основном 1^1S_0 состоянии обусловлена резонансной перезарядкой ориентированных по ядерному спину атомов в 1^1S_0 состоянии и ионов ${}^3\text{He}^+$ в $1^2S_{1/2}$ состоянии. В данной работе рассматривается релаксация ядерных моментов ${}^3\text{He}$ в смеси изотопов в ${}^3\text{He} - {}^4\text{He}$ при $T = 77$ К. Нетрудно показать, используя результаты^{3, 4}, что время ядерной релаксации T_r в смеси изотопов, не связанной с обменом метастабильностью между атомами в основном и 2^3S_1 метастабильном состоянии, определяется выражением

$$\frac{1}{T_r} = \frac{1}{T_0} + \left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} \right) \frac{\frac{1}{\tau_{r_1}} + \frac{1}{2\tau_3} \frac{\epsilon}{\epsilon+1}}{\frac{1}{\tau_{r_1}} + \frac{1}{2\tau_1} + \frac{1}{2\tau_3} \frac{1+2\epsilon}{1+\epsilon}}, \quad (3)$$

где $1/T_1 = \alpha n_i C_1$, $1/T_2 = (1-\alpha)n_i C_2$, $\epsilon = \tau_2/\tau_{r_2}$, $1/\tau_1 = \alpha N C_1$, $1/\tau_2 = \alpha N C_2$, $1/\tau_3 = (1-\alpha) N C_2$, α – доля атомов изотопа ${}^3\text{He}$ в смеси изотопов гелия, n_i – концентрация ионов He^+ в камере поглощения, N – концентрация атомов в основном состоянии, τ_{r_1} и τ_{r_2} – времена электронной релаксации соответственно ионов ${}^3\text{He}^+$ и ${}^4\text{He}^+$, причем их различие обусловлено разной скоростью диффузии к стенкам камеры поглощения из-за различия массы ионов, T_0 – время релаксации ядерных моментов ${}^3\text{He}$, не связанное с наличием разряда в камере поглощения, которое может быть определено с помощью⁵.

Время ядерной релаксации T_r находилось в соответствии с методикой³ для камер поглощения с различной долей изотопа ${}^3\text{He}$ при фиксированной интенсивности разряда. При этом величина $1/\tau_{r_i}$, определяемая в основном диффузией ионов He^+ к стенкам камеры поглощения, меняется очень мало (из-за изменения приведенной массы системы двух сталкивающихся частиц), что может быть легко учтено. Тогда в соответствии с (3) получится система уравнений, из которой и определяется отношение скоростных констант C_2/C_1 . Измерения проводились при разных фиксированных (в процессе изменения α) интенсивностях разряда, т. е.

при разных концентрациях ионов He^+ , что позволило провести статистическую обработку результатов.

Окончательно было получено, что при $T = 77$ К отношение скоростных констант нерезонансного (2) и резонансного (1) процессов перезарядки ионов He^+ на собственном атоме $C_2/C_1 = 0,87 \pm 0,09$.

Эта величина согласуется с расчетным значением C_2/C_1 (расч.) = 0,8, которое получается при использовании формул⁶ и потенциалов взаимодействия в системе $\text{He} - \text{He}^+$ из⁷. Здесь следует заметить, что обнаруженный изотопный эффект не связан с различием приведенных масс сталкивающихся частиц в процессах (1) и (2), поскольку простой расчет показывает отсутствие "захвата" одной частицы другой при столкновении: средняя вероятность процесса перезарядки в течение одного пролета иона мимо атома около 0,2. Поэтому константа скорости почти не зависит от приведенной массы частиц, т. е. $C_2/C_1 \approx 1$. Таким образом изотопный эффект, связанный с нерезонансностью процесса (2), составляет около 10%.

В заключение следует сказать, что до настоящего времени единственным процессом, где небольшой дефект резонанса, близкий к дефекту энергии процесса (2), вызывал заметное различие скоростных констант резонансного и нерезонансного процессов, был обмен метастабильностью в гелии⁶.

Литература

1. Смирнов Б.М. Ионы и возбужденные атомы в плазме. М.: Атомиздат, 1974, 456 с.
2. Van Asselt N.P., F.B., Maas J.G., Los J. Chem. Phys., 1986, 16, 81.
3. Картошкин В.А., Клементьев Г.В. ЖТФ, 1986, 56, 178.
4. Pinard M., Leduc M. J. Physique, 1974, 35, 741.
5. Картошкин В.А. ЖТФ, 1986, 56, 968.
6. Демков Ю.Н. ЖЭТФ, 1963, 45, 195.
7. Moiseiwitsch B.L. Proc. Phys. Soc., 1956, 69, 653.
8. Житников Р.А., Картошкин В.А., Клементьев Г.В., Усачева Л.В. Письма в ЖЭТФ, 1975, 22, 293.