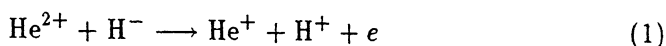


ОЖЕ-ИОНИЗАЦИЯ В СТОЛКНОВЕНИЯХ  $\text{He}^{2+}-\text{H}^-$ 

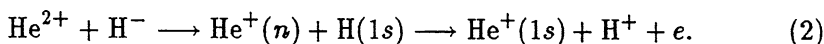
Л.М.Кишиневский, Б.Г.Краков

Институт электроники им. У.А.Арифова АН Узбекистана,  
700125, Ташкент, Узбекистан  
(Поступило в Редакцию 24 июня 1994 г.)

В работе [1] измерялось сечение реакции перезарядки с ионизацией в столкновениях ядер гелия  ${}^3\text{He}^{2+}$  с отрицательными ионами водорода  ${}^1\text{H}^-$



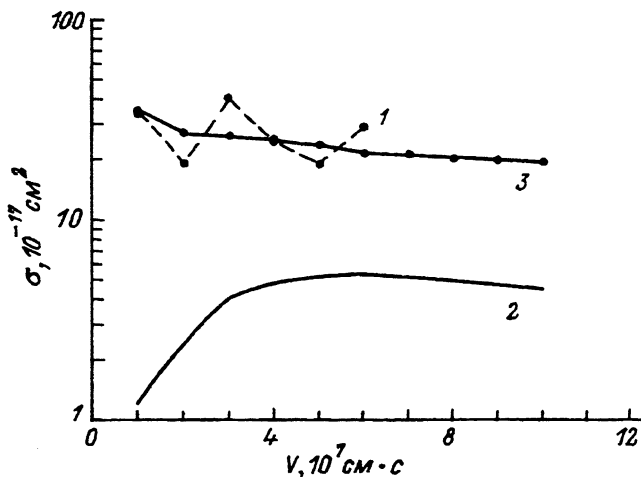
в диапазоне энергий (в системе центра масс)  $E = 0.2-1300$  эВ. Обнаружены интенсивный пик относительной скорости  $V_1$ , приблизительно равной  $3 \cdot 10^7$  см/с, и рост сечения в области скоростей  $V$  от  $5 \cdot 10^7$  см/с вплоть до верхней границы реализованной скорости столкновений. Предполагается, что реакция (1) протекает в два шага: первый шаг — одноэлектронная перезарядка иона  $\text{H}^-$  на возбужденный уровень с главным квантовым числом  $n = 3, 4, 5$  в ионе  $\text{He}^+$ ; следующий шаг — релаксация возбуждения в  $\text{He}^+$  с ионизацией атома водорода



Однако проделанный в работе [1] расчет сечения реакции (1), согласно механизму (2), дает монотонный спад сечения с ростом скорости столкновения  $V$ .

В данной работе предполагается, что наряду с механизмом (2) вклад в сечение реакции (1) вносит процесс собственно оже-ионизации [2], когда один из электронов переходит из иона  $\text{H}^-$  в основное состояние иона  $\text{He}^{2+}$ , а другой — в непрерывный спектр. Согласно [3], положения максимумов сечений собственно оже-ионизации и двухступенчатой ионизации (2) различаются по энергии на 2–2.5 порядка. Это приводит к тому, что существуют области энергий столкновения, где преобладает один из перечисленных механизмов. Это позволяет в принципе разделить эти механизмы в эксперименте.

Согласно одноэлектронным правилам корреляции [4], в квазимолекуле  $\text{HeH}^{2+}$   $1s$ -состоянию атома водорода соответствует  $2p\sigma$ -орбиталь. Следовательно, начальным состоянием в сталкивающейся системе  $\text{He}^{2+}-\text{H}^-$  является  ${}^1\Sigma^+(2p\sigma^2)$ -терм. В области больших межъядерных расстояний  $R$  он испытывает ряд квазипересечений с термами, которые соответствуют перезарядке одного или двух электронов в возбужденные состояния иона или атома He. Однако начальный терм может пройти эти квазипересечения без перезарядки и распасться согласно механизму собственно оже-ионизации.



Зависимость сечения от скорости столкновения.

1 — эксперимент  $\sigma_e$  [1], 2 — сечение собственно оже-ионизации  $\sigma$ , 3 — суммарное сечение  $\sigma$ , оже-ионизации и механизма (2).

Мы рассчитали сечение оже-ионизации начального состояния в реакции (1) по формуле [2]

$$\sigma(V) = 2\pi \int_0^{\infty} d\rho \rho P(V, \rho) W(V, \rho), \quad (3)$$

где  $P(V, \rho)$  — вероятность “выживания” начального термина  $^1\Sigma^+$  при квазипересечениях;  $W(V, \rho)$  — вероятность оже-ионизации;  $\rho$  — параметр удара.

$P(V, \rho)$  рассчитывалась в приближении Ландау-Зинера. Учитывались пересечения с возбужденными состояниями  $\text{He}^+$  для  $n = 2, 3, 4, 5$ . Вероятность ионизации  $W(V, \rho)$  можно представить в виде [5]

$$W(V, \rho) = \frac{2}{V} \int_{r_0}^{\infty} dR G(R) \left(1 - \rho^2 R^{-2} - U(R) E^{-1}\right)^{-0.5}. \quad (4)$$

Здесь  $r_0$  — расстояние наибольшего сближения при данном параметре удара  $\rho$ ,  $U(R)$  — потенциал взаимодействия частиц,  $G(R)$  — частота распада начального автоионизационного состояния в единицу времени.

Энергия и частота распада  $^1\Sigma(2\rho\sigma^2)$  автоионизационного термина в зависимости от  $R$ , необходимые для расчета  $W(V, \rho)$ , получены методом конфигурационного взаимодействия на базе квазимолекулярных функций дискретного и непрерывного спектров [6]. Результаты расчета сечения оже-ионизации по формуле (3) приведены на рисунке. Там же даны экспериментальные данные  $\sigma_e$  [1] и суммарное  $\sigma_s$  сечение для двухступенчатого механизма (2) и оже-ионизации, рассчитанное по данным [1] нашей работы. Рост  $\sigma_e$  в области  $V > 5 \cdot 10^7$  см/с согласуется с положением широкого максимума оже-ионизации в нашем

расчете. Однако суммарное сечение сечение монотонно убывает с ростом  $V$ . Это связано, по нашему мнению, с расчетом  $P(V, \rho)$  в приближении Ландау–Зинера. В области скоростей  $V > V_1$  это приводит к занижению вероятности “выживания” начального состояния и соответственно к завышению вероятности перезарядки [3]. Следовательно, более точное рассмотрение перезарядки должно привести к перераспределению вкладов механизма (2) и оже-ионизации в полное сечение. Что касается пика при скорости  $V = V_1$ , то ей соответствует скорость слабосвязанного электрона в ионе  $H^-$ . Для таких скоростей столкновений сечение захвата электрона имеет максимум [3]. Это обстоятельство, на наш взгляд, объясняет рост сечения ионизации в этой области. Преобладающим механизмом здесь будет механизм (2).

Представляет интерес измерение энергетического спектра оже-электронов в реакции (1). Это связано с тем, что для начального  $^1\Sigma^+$ -терма зависимость энергии оже-электронов от  $R$  имеет минимум при  $R = 2a_0$ . Это приводит, согласно [7], к пику в энергетическом распределении при энергии электронов  $\varepsilon = 18$  эВ. Наличие особенностей в спектре при этой энергии будет указывать на вклад оже-ионизации в реакцию (1).

#### Список литературы

- [1] Cherkani C.H., Szucs S., Hus H., Brouillard F. // J. Phys. B. 1991. Vol. 24. N 10. P. 2367–2377.
- [2] Парилис Э.С., Кишиневский Л.М., Матвеев В.И., Краков Б.Г. Оже-процессы при атомных столкновениях. Ташкент, 1989. 240 с.
- [3] Пресняков Л.П., Шевелько В.П., Янев Р.К. Элементарные процессы с участием многозарядных ионов. М., 1986. 200 с.
- [4] Комаров И.В., Пономарев Л.И., Славянов С.Ю. Сфероидальные и кулоновские сфероидальные функции. М., 1976. 319 с.
- [5] Смирнов Б.М. Возбужденные атомы. М., 1982. 232 с.
- [6] Кишиневский Л.М., Краков Б.Г., Парилис Э.С. // ЖТФ. 1983. Т. 53. Вып. 8. С. 1456–1465.
- [7] Miller W.H. // J. Chem. Phys. 1970. Vol. 52. N 9. P. 3563–3572.