

Письма в ЖЭТФ, том 11, стр. 189 – 191

5 февраля 1970 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗОНАНСНОЙ ПЕРЕЗАРЯДКИ В СИСТЕМЕ $\text{He}^+ - \text{He}$

З.З.Латыпов, Н.В.Федоренко, И.П.Флакс, А.А.Лапоренко

1. Эффективное сечение резонансной перезарядки в приближении двух состояний выражается формулой

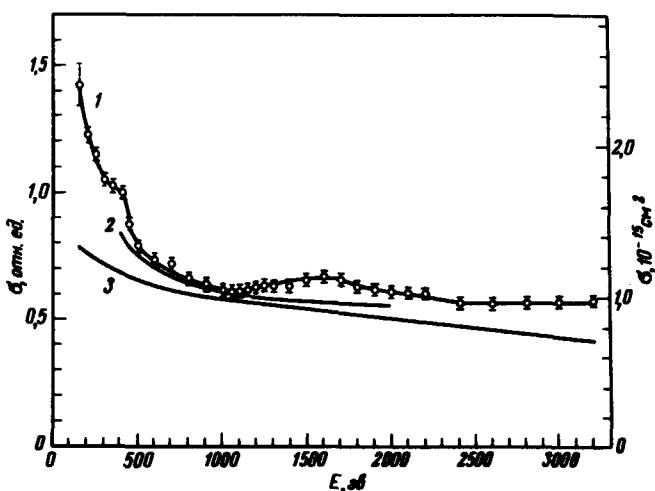
$$\delta = 2\pi \int_0^\infty b \sin^2(\eta_g - \eta_u) db, \quad (1)$$

где b – параметр удара, $\eta_g - \eta_u$ – разность фаз четного и нечетного состояний. В работах Смита [1] показано, что если разность фаз $\eta_g - \eta_u$ стационарна в некотором интервале b , то функция $\delta(v)$ (v – скорость относительного движения) будет иметь осциллирующий характер. Одной из причин стационарности фаз является наличие максимума разности $V_g - V_u$ термов четного (V_g) и нечетного (V_u) состояний в зависимости от межъядерного расстояния R . Этим, в частности, объясняется осцилляция полных сечений перезарядки ионов и атомов щелочных металлов, обнаруженная в работах Перела и сотрудниками [2]. Другой причиной стационарности $\eta_g - \eta_u$ является рассеяние налетающей частицы на остове атома [1]. Чтобы убедиться в справедливости этой теории можно экспериментально изучить зависимость $\delta(v)$ для системы, в которой разность $V_g - V_u$ не имеет максимума. Удобным для такого рода исследования является процесс резонансной перезарядки для системы



которая многократно изучалась и для которой известны данные о термах квазимолекулы He_2^+ [3]. Кроме того, для этой системы теория [1] предсказывает появление заметного эффекта.

2. Измерения сечений процесса (2) проводилось в настоящей работе на приборе, описанном в [4]. Ионы He^+ получались в источнике с ионизацией He электронами с энергией 60 эВ, поэтому пучок содержал только невозбужденные ионы He^+ . Для получения достаточно точной зависимости $\delta = f(E)$ производилась автоматическая запись интенсивности тока вторичных ионов в [2] при двух значениях энергии E и E_0 (E – кинетическая энергия ионов He^+ в лабораторной системе координат). Затем вычисленное значение δ при энергии E нормировалось на значение сечения, измеренное в опорной точке E_0 , в качестве которой выбиралась $E_0 = 400$ эВ. Сечение δ измерялось в интервале энергий $150 \leq E \leq 3200$ эВ. При этом окончательные результаты находились как средние арифметические ряда измерений. Ошибки в определении относительных величин сечений определялись как средние арифметические из отклонений результатов отдельных измерений от средних. Величины абсолютных сечений были определены путем сравнения их с величиной $\delta = 1,05 \cdot 10^{-15} \text{ см}^2$ измеренной при $E = 400$ эВ в работе [5]. Точность абсолютных величин сечений, полученных таким образом, составляет $\pm 25\%$.



Сечения перезарядки ионов He^+ с атомами He .
Кривая 1 – данные настоящей работы, кривая 2 –
данные из работы [5], кривая 3 – данные, полу-
ченные исходя из теории Фирсова [7]

3. На рисунке 1 в виде точек с усами нанесены результаты наших измерений. Через эти точки проведена плавная кривая 1. Усы указывают на ошибку измерений относительных величин сечений. В литературе имеется ряд экспериментальных и теоретических данных о сечениях процесса (2) [6]. Здесь для сопоставления приводятся результаты измерения сечений, полученных в одной из последних работ [5] (кривая 2) и сечения, рассчитанные по Фирсову [7] (кривая 3). В измеренные сечения могут вносить вклад также процессы ионизации $\text{He}^+ + \text{He} \rightarrow \text{He}^+ + \text{He}^+ + e^-$,

однако этим вкладом можно пренебречь, так как сечения их в интервале энергий 150–3 200 эВ малы и изменяются от $2 \cdot 10^{-17}$ до $3,8 \cdot 10^{-17} \text{ см}^2$ [8].

4. Сечения процесса (2), измеренные во многих работах, в том числе и в работе [5], характеризуются монотонной зависимостью от энергии ионов. Это согласуется с зависимостью, предсказываемой приближением Фирсова, в котором при вычислении интеграла (1) величина $\sin^2(\eta_g - \eta_u)$ заменяется ее средним значением в некоторой области параметра b . Как видно из рисунка полученная нами кривая 1 немонотонна и величина немонотонности превосходит величину ошибок в определении относительных сечений. По-видимому, эти результаты указывают на осциллирующий характер зависимости $\delta = f(E)$ для процесса (2).

Исходя из величин энергий электронов основных уровней He_2^+ [3], можно заключить, что разность $V_g - V_u$ не имеет максимума, поэтому для объяснения осцилляций сечения процесса (2) следует предположить, что имеет место эффект рассеяния налетающей частицы на остове атома мишени. Расчеты (1) интеграла [1] для системы $\text{H}^+ - \text{H}$ обнаруживают слабую осцилляцию сечения. Что касается системы $\text{He}^+ - \text{He}$, то точных расчетов интеграла (1) для нее нет, однако из теории [1] следует, что с ростом атомного номера частиц системы осцилляция сечения должна усиливаться.

В случае $\text{He}^+ - \text{He}$ резонансная перезарядка связана с переходом между нечетным и диабатическим четным термами. Возможна также резонансная перезарядка с переходом между нечетным и адиабатическим четным термами. В обоих случаях возможна осцилляция сечения, обусловленная рассеянием на остове, однако в последнем случае условия для осцилляции более благоприятны из-за малости $V_g - V_u$ при $R=0$ и медленном спаде этой разности с ростом R . Согласно Смиту [1], осциллирующая компонента сечения перезарядки может быть представлена приближенно в виде $A v^{1/4} \cos(\beta v^{-1} + \delta)$, (где β – частота, а δ – фаза осцилляции), поэтому расстояние между экстремумами в зависимости $\delta = f(v^{-1})$ должно быть постоянным. В нашем эксперименте отсутствует возможность проследить эту зависимость в широком интервале энергий.

Физико-технический институт
им. А.Ф.Иоффе
Академия наук СССР

Поступило в редакцию
8 января 1970 г.

Литература

- [1] F.J.Smith. *Phys. Rev. Lett.*, 20, 271, 1966; *Plant Space Sci.*, 11, 1126,
V ICPEAC, Leningrad, 1968, p.177; VI ICPEAC, Cambridge, 1969, p.1068
- [2] J.Perel, A.Y.Yahiku. V ICPEAC, Leningrad, 1967, p.400;
J. Perel, H.L.Daley. VI ICPEAC, Cambridge, 1969, p.1065
- [3] W.Lichten. *Phys. Rev.*, 131, 229, 1963.
- [4] З.З.Латыпов, Н.В.Федоренко, И.П.Флакс, А.А.Шапоренко. ЖЭТФ, 55,
847, 1968.

- [5] S. V. Nagy, W. J. Salova, E. Polack. *Phys. Rev.*, 177, 71, 1969.
- [6] И. Мак-Даниель. Процессы столкновений в ионизованных газах. М., Изд. Мир, 1967.
- [7] О. Б. Фирсов. ЖЭТФ, 21, 1001, 1951.
- [8] H. B. Gilbody, J. B. Hasted. *Proc. Roy. Soc. A* 240, 382, 1957.