

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕЗАРЯДКИ He^+ , Ne^+ , Ar^+ НА БЕЙТЛЕРОВСКИЕ СОСТОЯНИЯ ИОНОВ КАДМИЯ И ЦИНКА ПРИ МАЛЫХ ЭНЕРГИЯХ

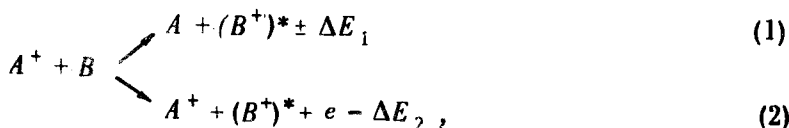
М.Т.И. Соскида, В.С. Шевера

Экспериментально исследована перезарядка He^+ , Ne^+ , Ar^+ на внутренние возбужденные состояния $4d^9 5s^2 \ ^2D_{3/2, 5/2}$ Cd II и $3d^9 4s^2 \ ^2D_{3/2}$ Zn II в интервале энергий 2 – 400 эВ. Установлено, что взаимодействующие пары частиц при значительных энергетических дефектах ~ 7 эВ характеризуются высокой эффективностью передачи энергии ($\sim 10^{-16}$ см²) и имеют качественно различный характер поведения сечений перезарядки в области малых энергий. Путем расчета показано, что перезарядка дает заметный вклад в заселенность верхних лазерных уровней для $\lambda = 4415 \text{ \AA}$ He – Cd и $\lambda = 5894 \text{ \AA}$ He – Zn ОКГ.

Исследование процессов перезарядки в области малых энергий представляет интерес для теории столкновений и имеет практическое значение для физики лазерной плазмы. На парах металлов в смеси с инертными газами работает большое количество лазеров. Для многих из них образование инверсной заселенности происходит посредством процесса перезарядки ионов благородных газов при малых энергиях и реакции Пеннинга [1 – 4].

В данной работе впервые исследована перезарядка ионов гелия, неона и аргона на внутренние, так называемые бейтлеровские состояния Cd II и Zn II. Измерения проводились пучковой методикой на установке, описанной в работе [5]. Ионы инертных газов вытягивались из плазмотронного источника и селективировались цилиндрическим конденсатором, атомы мишени Cd и Zn получались в паронаполненной ячейке.

Основные каналы возбуждения при перезарядке представляются схемой



где $A^+ - \text{He}^+, \text{Ne}^+, \text{Ar}^+$, $B - \text{Zn}, \text{Cd}$.

Реакция по каналу (1) для He^+ , $\text{Ne}^+ + \text{Zn}, \text{Cd}$ при $+\Delta E_1$ является перезарядкой экзотермического типа и для $\text{Ar}^+ + \text{Zn}, \text{Cd}$ при $-\Delta E_2$ – эндотермического типа; реакция (2) характеризует ударную ионизацию с возбуждением. Значения энергетических дефектов ΔE в лабораторной системе координат для бейтлеровских состояний при возбуждении ионами He^+ , Ne^+ и Ar^+ приведены в таблице.

$\lambda, \text{Å}$	переход	$\Delta E_1, \text{эВ}$			$\Delta E_2, \text{эВ}$		
		He ⁺	Ne ⁺	Ar ⁺	He ⁺	Ne ⁺	Ar ⁺
4415	$4d^9 5s^2 \ ^2D_{5/2} \rightarrow 5p \ ^2P_{3/2}^{\circ}$ Cd II	+7,2	+4,7	-2,5	-18,2	-20,7	-23,8
3250	$4d^9 5s^2 \ ^2D_{3/2} \rightarrow 5p \ ^2P_{1/2}^{\circ}$ Cd II	+6,5	+3,9	-3,4	-18,9	-21,5	-24,8
5894	$3d^9 4s^2 \ ^2D_{3/2} \rightarrow 4p \ ^2P_{1/2}^{\circ}$ Zn II	+7,5	+5,3	-2,8	-18,6	-22,9	-28,2

На рисунке представлены основные экспериментальные результаты по сечениям перезарядки медленных однозарядных ионов гелия, неона и аргона на атомах кадмия и цинка с возбуждением бейтлеровских состояний $4d^9 5s^2 \ ^2D_{3/2, 5/2}$ Cd II и $3d^9 4s^2 \ ^2D_{3/2}$ Zn II. Абсолютные значения сечений перезарядки определялись непосредственно в данном эксперименте по электроопному возбуждению [5]. Погрешность абсолютной калибровки $\pm 20\%$, ошибки относительных измерений – 3%.

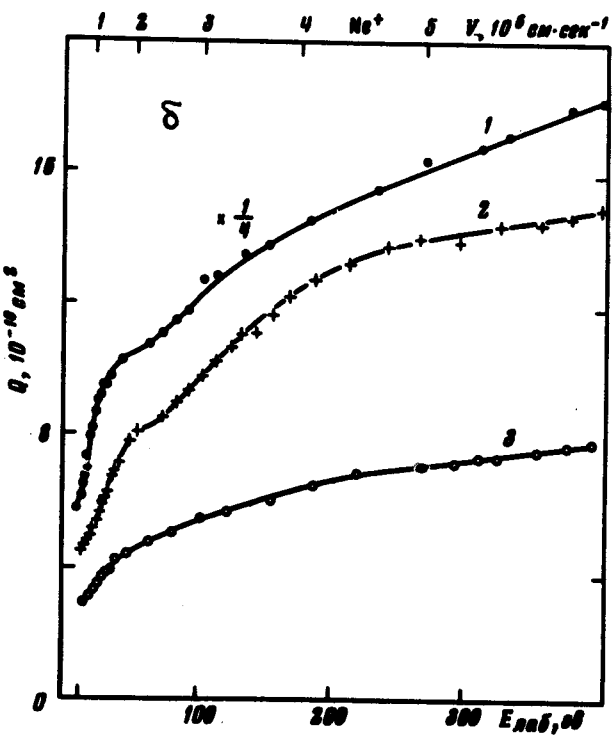
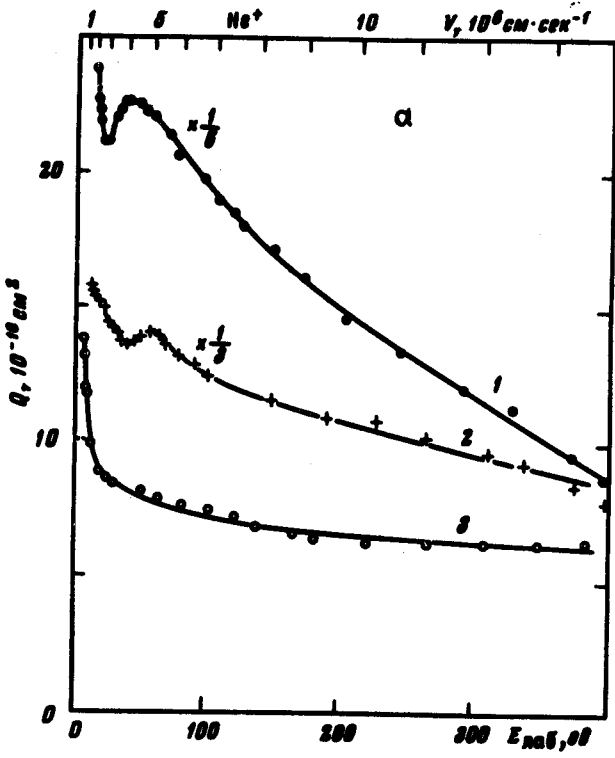
Экзотермическая перезарядка для пары He⁺ + Cd (рис. а кривые 1,2) характеризуется высокой эффективностью $\sim 10^{-16} \text{ см}^2$ у порога, несколько меньшей $\sim 10^{-17} \text{ см}^2$ для He⁺ + Zn (кривая 3); для обеих пар сечения растут в область малых энергий. Перезарядка Ne⁺ + Zn, Cd (рис. б), хотя и является также экзотермической, по характеру поведения принципиально отличается от пары He⁺ + Zn, Cd, при этом основное различие проявляется как в припороговом ходе, так и в области больших энергий.

Таким образом для экзотермической перезарядки в области малых энергий характер поведения сечений существенно определяется свойствами взаимодействующих частиц.

Перезарядка для эндотермической реакции Ar⁺ + Zn, Cd (рис. в) по поведению отличается от экзотермической. Ход кривых на рис. в в области 2 – 150 эВ может быть объяснен обменным взаимодействием, т. е. чистой перезарядкой (реакция 1), а последующий рост с 200 эВ, очевидно, связан с включением реакции 2. Сравнение эффективности перезарядки в припороговой области для кадмия (кривые 1, 2) указывает на то, что для обменного взаимодействия очень важную роль играет экранировка, вследствие чего d-электрон Cd слабее связан с ядром и легче может происходить обмен.

Наблюдаемое экспериментально поведение сечений перезарядки на бейтлеровские уровни Zn II и Cd II не описывается известными теоретическими формулами выведенными для обычных ионных состояний Zn и Cd [6].

В целом анализ показывает, что процесс перезарядки с возбуждением внутренних электронных состояний Zn II и Cd II ионами He⁺, Ne⁺ и Ar⁺ характеризуется очень разнообразным поведением сечений перезарядки и не является столь селективным как считалось ранее [7 – 10]. Это ставит вопросы, в частности, о теоретическом описании припорогового поведения сечений перезарядки и более полном раскрытия механизма обменного взаимодействия.



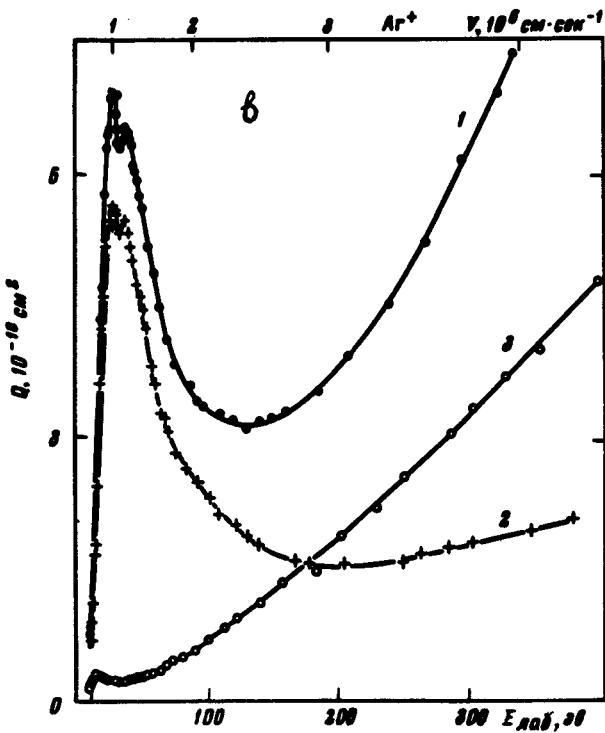


Рис. 1. Сечения перезарядки He^+ (а), Ne^+ (б) и Ar^+ (в) на атомах Cd и Zn с возбуждением бейтлеровских линий: 1. — 4415 \AA CdII , 2 — 3250 \AA CdII , 3 — 5894 \AA ZnII

Полученные в настоящей работе экспериментальные данные использовались для определения роли перезарядки в $\text{He} - \text{Cd}$ и $\text{He} - \text{Zn}$ ОКГ. На основании кинетических уравнений произведены расчеты, которые дают примерно 10% вклада перезарядки в заселенность верхних лазерных уровней для линий 4415 \AA $\text{He} - \text{Cd}$ и 5894 \AA $\text{He} - \text{Zn}$ ОКГ. Это позволяет считать перезарядку конкурирующим процессом наравне с электронным возбуждением и пеннинг-реакцией в ОКГ.

Авторы благодарят И.П.Запесочного за постоянный интерес к работе.

Ужгородский
государственный университет

Поступила в редакцию
14 октября 1975 г.

Литература

- [1] G.J.Collins, R.C.Jensen, W.R.Bennett. Appl. Phys. Lett., 19, 5, 125, 1971.
- [2] A.J.Palmer, J.W.McGowan. J. Appl. Phys., 43, 10, 4084, 1972.
- [3] В.С.Алейников, В.В.Ушаков. Оптика и спектроскопия, 33, 214, 1972.
- [4] Е.Л.Латуш, В.С.Михалевский, М.Ф.Сэм. Оптика и спектроскопия, 34, 214, 1973.

- [5] М-Т, И. Соскида, В. С. Шевера. УФЖ, 18, 1394, 1974.
- [6] В. И. Былкин. Оптика и спектроскопия, 29, 1036, 1970.
- [7] J. M. Green, C. E. Webb. J. Phys. B: Atom. Molec. Phys., 7, 13, 1698, 1974.
- [8] A. R. Turner-Smith, J. M. Green, C. E. Webb. J. Phys. B: Atom. Molec. Phys., 6, 1, 114, 1973.
- [9] C. F. Melius. J. Phys. B: Atom. Molec. Phys., 7, 3, 1692, 1974.
- [10] И. П. Богданова, В. Д. Марусин, В. Е. Яхонтова. Оптика и спектроскопия, 37, 4, 643, 1974.
-