

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

02

Журнал технической физики, т. 62, в. 7, 1992

© 1992 г.

О ФУНКЦИЯХ ВОЗБУЖДЕНИЯ МЕТАСТАБИЛЬНЫХ  
УРОВНЕЙ АТОМОВ КАДМИЯ И ЦИНКА

А.И.Коротков

1. Абсолютные значения эффективных сечений в максимуме ( $q'_{\max}$ ) функций возбуждения (ФВ) метастабильных уровней  $\text{Cd}(5^3P_{0,2})$   $\text{Zn}(4^3P_{0,2})$  и их энергетические зависимости  $q_m(U_1)$  до настоящего времени не исследованы [1]. В работе [2] была предпринята попытка измерять пучковым методом ФВ метастабильного уровня  $\text{Cd}(5^3P_0)$  в интервале энергий бомбардирующих электронов от 17 до 48 эВ. Для энергии бомбардирующих электронов  $U_1 = 17$  эВ получено значение  $q_m = 1.8 \cdot 10^{-16}$  см<sup>2</sup>. Если сопоставить измеренный участок ФВ метастабильного уровня  $\text{Cd}(5^3P_0)$  в работе [2] с данными квантово-механических расчетов [3], то здесь наблюдается значительное расхождение, так как теоретические кривые уже при энергии бомбардирующих электронов  $U_1 \geq 10$  эВ асимптотически стремятся к нулю. В [4] в условиях газоразрядной плазмы для метастабильных уровней  $\text{Cd}(5^3P_{0,2})$  и  $\text{Zn}(4^3P_{0,2})$  получены соответственно следующие максимальные значения эффективных сечений  $q'_{\max}$ :  $(1.2 \pm \pm 0.8)$ ;  $(1.8 \pm 1.2)$ ;  $(0.5 \pm 0.2)$  и  $(1.5 \pm 0.3)$  в единицах  $10^{-16}$  см<sup>2</sup>. Для нижних метастабильных уровней  $^3P_0$  атомов  $\text{Cd}$  и  $\text{Zn}$  результаты измерений в плазме газового разряда [4] находятся в удовлетворительном согласии с квантово-механическими расчетами [3]. Что касается верхних метастабильных уровней  $^3P_2$ , то здесь результаты исследований в плазме превышены в сравнении с квантовой теорией [3]. Целью настоящей работы было прямое экспериментальное измерение ФВ для каждого метастабильного уровня атомов  $\text{Cd}$  и  $\text{Zn}$  в условиях пучкового эксперимента и определение абсолютных значений  $q'_{\max}$  для отдельных уровней.

2. Для исследования ФВ метастабильных уровней  $n(^3P_{0,2})$  атомов  $\text{Cd}$  и  $\text{Zn}$  использованы две модификации электрического метода. Выбор электрического метода обусловлен тем, что он в ряде случаев дает меньшую ошибку по сравнению с оптическим методом при исследовании метастабильных уровней. Измерения проводились на установке, детальное описание которой приведено в работе [5]. В отличие от [5] вся система изготовлена из металла, а ФВ измерялись с помощью двух электронных пушек,

расположенных антипараллельно, и металлического детектора. В качестве детектора выбраны поверхности BaSrO и W/Th. Между пушками и детектором располагался конденсатор, предназначенный для фильтрации заряженных частиц. Первая пушка использовалась для генерации метастабильных атомов. С помощью второй пушки исследовались сверхупругие процессы. Детектор применялся для регистрации вторичных электронов, испускаемых с его поверхности под действием метастабильных атомов. Электронные пушки, конденсатор и детектор располагались внутри ячейки паронакопления, к которой подсоединялся отросток, содержащий металлический кадмий или цинк. Отросток и ячейка имели отдельные печи, с помощью которых задавалась концентрация атомов Cd или Zn в основном состоянии. Все устройство располагалось внутри цельнометаллической вакуумной камеры. В системе применялась непрерывная откачка с помощью диффузионных насосов. Конденсация паров металлов на выходе системы осуществлялась с помощью азотных ловушек.

Регистрация исследуемых сигналов проводилась по двум каналам: тока  $i_{as}$ , обусловленного столкновениями медленных электронов с атомами, находящимися в возбужденных состояниях, и тока ( $i_{\gamma_s}$ ) вторичных электронов, эмиттируемых с поверхности детекторов под действием метастабильных атомов при их релаксации на поверхности твердых тел. В первом случае  $i_{as}$ , как показано в работе [6], зависит от концентрации возбужденных атомов и эффективных сечений девозбуждения каждого метастабильного уровня в отдельности; во втором ток ( $i_{\gamma_s}$ ) дает связь эффективных сечений возбуждения каждого метастабильного уровня и их концентрации [6,7]. Ход зависимости  $i_{\gamma_s}$  от энергии бомбардирующих электронов  $U_1$  в первой пушке описывает суммарную функцию возбуждения обоих метастабильных уровней [7]. Зависимость  $i_{as}$  от энергии медленных электронов  $U$  во второй пушке дает информацию о суммарной функции девозбуждения этих уровней [6].

Обработка результатов экспериментальных исследований токовых сигналов  $i_{as}$  и  $i_{\gamma_s}$  осуществлялась путем решения системы уравнений, включающих в себя зависимость  $i_{\gamma_s}$  от  $q_m(U_1)$  для обоих уровней, связь между  $i_{as}$  и сечениями сверхупругих процессов, а также концентрациями метастабильных атомов на каждом в отдельности уровне; уравнения баланса для каждого уровня и соответственно соотношения Клейна и Росселанда. Информация о коэффициентах вторичной эмиссии электронов  $\gamma_m$ , испускаемых под действием метастабильных атомов Cd и Zn при их релаксации на поверхностях BaSrO и W/Th, получена на основании фор-

Таблица.

Состояние атома	Энергия возбуждения уровня $U_a$ , эВ	Поверхности		$q'_{\max}$ , $10^{-16}$ см <sup>2</sup>
		BaSrO $\varphi_a = 1.0$ эВ	W/Th $\varphi_a = 2.6$ эВ	
Zn( $4^3 P_0$ )	4.01	0.195	0.0016	0.4
Zn( $4^3 P_2$ )	4.08	0.203	0.0022	1.4
Cd( $5^3 P_0$ )	3.73	0.163	0.00093	1.2
Cd( $5^3 P_2$ )	3.95	0.188	0.0012	2.6

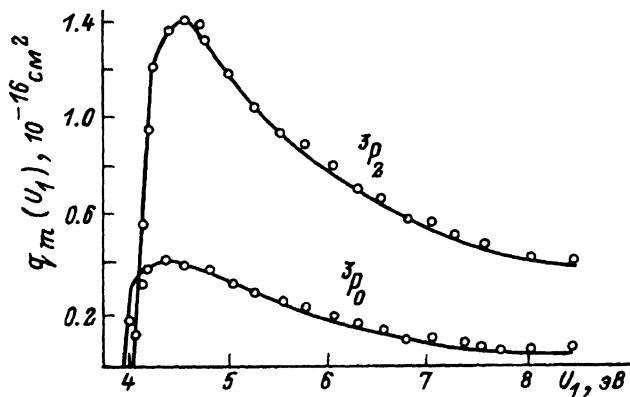


Рис. 1. Функции возбуждения метастабильных уровней  $Zn(4^3P_{0,2})$ .

мулы, приводимой в работе [8]. При этом работа выхода электронов с указанных поверхностей при релаксации метастабильных атомов Cd и Zn в состояниях  $n^3P_{0,2}$  определялась экспериментально в соответствии с общепринятой методикой.

3. Функциональные зависимости  $i_{\gamma s} = f(U_1)$  и  $i_{as} = f(U)$  были использованы для нахождения абсолютных значений  $q'_{\max}$  и энергетических зависимостей  $q_m(U_1)$  для каждого метастабильного уровня атомов Cd и Zn при их одновременном возбуждении. В таблице приведены основные параметры, с помощью которых на основании формул из [6,7] осуществлялись расчеты  $q'_{\max}$ . Плотность тока бомбардирующих электронов в первой пушке варьировалась в интервале  $j_1 = (1-5) \cdot 10^{-3} \text{ А} \cdot \text{см}^{-2}$ , во второй  $j_2 = 2 \cdot 10^{-3} - 9 \cdot 10^{-4} \text{ А} \cdot \text{см}^{-2}$ . В обеих пушках пучки электронов формировались по методу Ганле. Полуширина разброса электронов по энергиям не превышала 1 эВ. Давление паров металлов для Zn и Cd соответственно изменялось в пределах  $(2-6) \cdot 10^{-3}$  и  $(1-4) \cdot 10^{-3}$  мм рт.ст.

На рис. 1 и 2 приведены результаты измерений возбуждения каждого метастабильного уровня  $n^3P_{0,2}$  атомов Zn и Cd. В соответствии с [9] для таких переходов ФВ должен носить идентичный характер, что и подтверждено в эксперименте.

Проведем некоторое относительное сравнение для  $q'_{\max}$ , полученных в данной работе, с другими экспериментальными и расчетными данными. В случае цинка отношения сечений в максимуме по расчетам в работе [3] для уровней  $n^3P_{0,2}$  равны 1:5. Отношение средних значений эффективных сечений для данных уровней, полученных в условиях газоразрядной плазмы [4], составляет 1:3. Проведенные нами исследования для метастабильных уровней дают следующие соотношения: 1:3.5. Аналогичное сопоставление для атомов кадмия 1:4, 1:1.5. Результаты наших измерений  $q'_{\max}$  для метастабильных уровней атома кадмия относятся как 1:2.1. Таким образом, отношения для метастабильных уровней Zn и Cd, полученные в настоящей работе, близки по своему значению к данным, приводимым в [4]. В случае LS-связи борновские сечения, включая резонансный уровень  $n^3P_1$ , в идеале должны относиться как их термини-

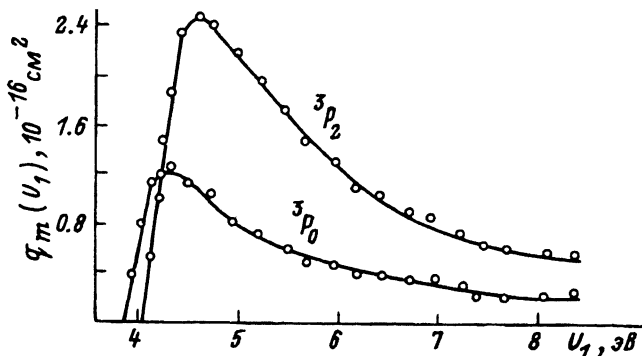


Рис. 2. Функции возбуждения метастабильных уровней  $\text{Cd}(5^3P_{0,2})$ .

намические вероятности, т.е. 1:3:5. На самом деле, несмотря на внешнее сходство в структуре атомов  $\text{Zn}$  и  $\text{Cd}$ , их волновые функции в одинаковых квантовых состояниях отличаются друг от друга, что и подтверждается экспериментом. Максимумы на ФВ метастабильных уровней  $\text{Zn}$  и  $\text{Cd}$  (рис. 1,2) отстоят на 0.5–0.9 эВ от порога возбуждения. Такой характер энергетических зависимостей связан с обменным взаимодействием и интеркомбинационными переходами.

#### Список литературы

- [1] *Fabrikant I.I., Shpenik O.B., Snegursky A.V., Zaviolupo A.N.* // Phys. Rep. A. Rev. Sect. Phys. Lett. 1988. Vol. 159. N 1-2. P. 3–97.
- [2] *Мазинг М.А., Раховский В.И., Стоцкий Г.И., Шустряков Г.М.* // Опт. и спектр. 1974. Т. 37. Вып. 4. С. 810–811.
- [3] *Савченко В.Н.* // Опт. и спектр. 1971. Т. 30. Вып. 1. С. 12–18.
- [4] *Пенкин Н.П., Редько Т.П.* // Опт. и спектр. 1967. Т. 23. Вып. 3. С. 474–476. Там же. 1971. Т. 30. Вып. 2. С. 359–361.
- [5] *Коротков А.И.* // Изв. вузов СССР. Физика. 1977. № 12. С. 61–65.
- [6] *Коротков А.И.* // Метастабильные состояния атомов и молекул и методы их исследования. Чебоксары, 1980. Вып. 3. С. 158–188.
- [7] *Коротков А.И., Митрюхин Л.К., Петров Н.И., Сорокин Г.М.* // Опт. и спектр. 1988. Т. 64. Вып. 2. С. 294–299.
- [8] *Коротков А.И., Митрюхин Л.К., Никитин С.А.* // Матер. VII Всесоюз. конф. „Взаимодействие атомных частиц с твердым телом“. М., 1987. Т. 3. С. 76–78.
- [9] *Мессе Г., Бархон Е.* Электронные и ионные столкновения. М., 1958. 604 с.

Чувашский университет им.И.Н.Ульянова  
Чебоксары

Поступило в Редакцию  
23 апреля 1990 г.  
В окончательной редакции  
11 декабря 1991 г.