

## ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВОЗБУЖДЕНИЯ УРОВНЕЙ ЦИНКА МЕДЛЕННЫМИ ЭЛЕКТРОНАМИ

И. П. Богданова, С. В. Рязанцева и В. Е. Яхонтова

Проведены измерения зависимости кажущихся эффективных сечений возбуждения и функций возбуждения от давления для некоторых атомарных и ионных линий цинка. Получены кривые послесвечения этих линий при импульсном возбуждении электронным пучком.

Настоящая работа является продолжением работ [1-3], посвященных исследованию особенностей возбуждения уровней кадмия и цинка электронным ударом.

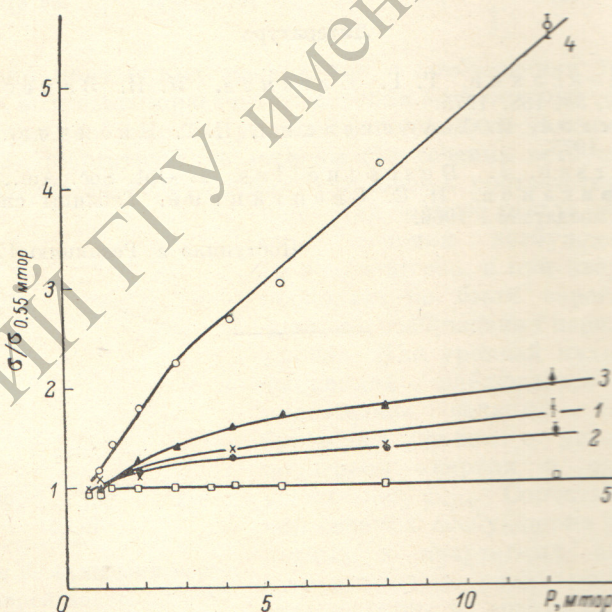


Рис. 1. Зависимость кажущихся эффективных сечений возбуждения от давления при  $E=100$  эВ.

1 -  $\lambda = 518.2$  нм, ( $6^1S_0$ ); 2 -  $\lambda = 636.2$  нм ( $4^1D_2$ ); 3 -  $\lambda = 492.5, 491.3$  нм ( $4^3F_{4,2}^o, 3^1P_1$ ); 4 -  $\lambda = 468.0, 481.1, 472.2$  нм ( $5^3S_1$ ); 5 -  $589.6, 621.6, 748.1$  нм ( $3d^24s^2 \ ^2D_{3/2, 5/2}$ ).

Проведены измерения зависимости кажущихся эффективных сечений возбуждения и функций возбуждения от давления для некоторых атомарных и ионных линий цинка, а также получены кривые зависимости интенсивности послесвечения этих линий от времени при импульсном возбуждении при давлении цинка  $\sim 3$  мтор.

Все измерения проведены в отпаянной трубке возбуждения с электронной пушкой. Установка и схема регистрации подробно описаны в [1-4].

Все имевшиеся у нас образцы цинка содержали примесь кадмия, поэтому, чтобы получить чистый цинк, нами была произведена разгонка металлов внутри отпаянной трубки возбуждения, в результате которой в одном из отростков трубки образовался налет цинка, практически свободного от примеси кадмия.

Зависимость сечений от давления измерена для энергии возбуждающих электронов 100 эВ в диапазоне давлений 0.55–12.2 мтор (рис. 1). Как видно из рис. 1, сечения возбуждения линий  $\lambda = 518.2$  нм ( $4^1P_1 - 6^1S_0$ ),  $\lambda = 636.2$  нм ( $4^1P_1 - 4^1D_2$ ) ZnI и  $\lambda = 492.5, 491.3$  нм ( $4^2D_{3/2, 5/2} - 4^2F_{7/2, 9/2}$ )

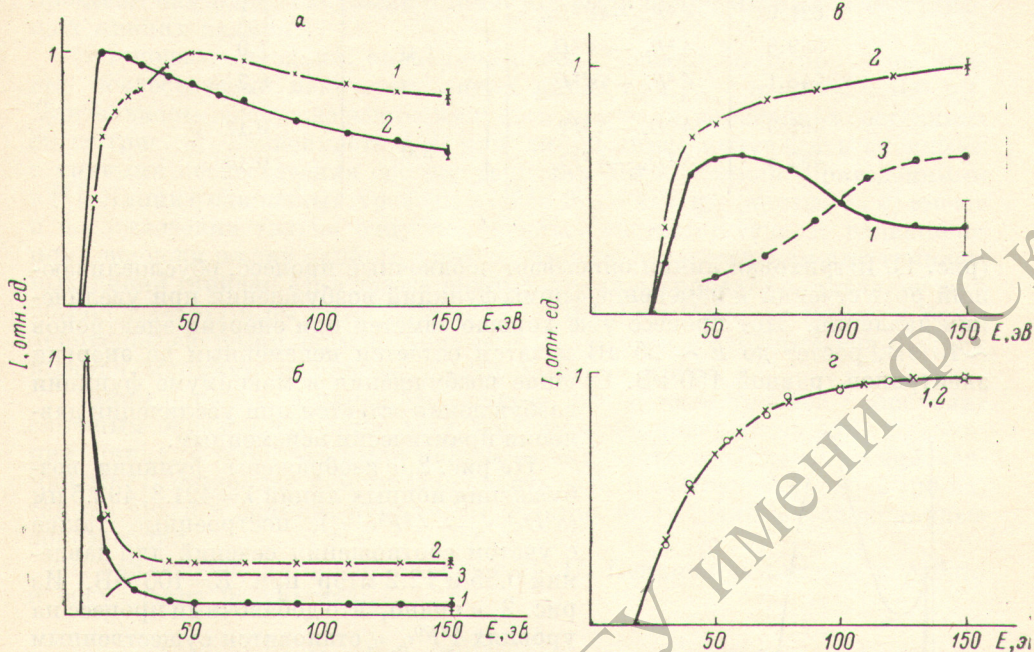


Рис. 2. Функции возбуждения линий.

а:  $p = 0.85$  мтор, 1 —  $\lambda = 518.2$  нм ( $6^1S_0$ ), 2 —  $\lambda = 636.2$  нм ( $4^1D_2$ ); б:  $\lambda = 468.0, 472.2, 481.1$  нм ( $5^3S_1$ ), 1 —  $p = 0.85$  мтор, 2 —  $p = 12.2$  мтор, 3 — добавочный процесс; в:  $\lambda = 492.5, 491.3$  нм ( $4^2F_{7/2, 9/2}$ ), 1 —  $p = 0.85$ , 2 —  $p = 12.2$  мтор, 3 — добавочный процесс; г:  $\lambda = 589.6, 621.6, 748.1$  нм ( $3d^9 4s^2 \ ^2D_{3/2, 5/2}$ ), 1 —  $p = 0.85$ , 2 —  $p = 12.2$  мтор.

Zn II растут до  $p \sim 5$  мтор и затем достигают насыщения, далее они почти не изменяются вплоть до  $p \sim 12$  мтор. Сечения возбуждения линий видимого триплета  $\lambda = 468.0, 472.2, 481.1$  нм ( $4^3P_{0,1,2} - 5^3S_1$ ) растут линейно до  $p \sim 2$  мтор, затем переходят на линейную зависимость с меньшим наклоном. В указанном диапазоне давлений сечения линий с уровня  $5^3S_1$  возрастают в 5.5 раз, сечения возбуждения других линий увеличиваются менее чем в два раза. Сечения возбуждения бейтлеровских линий  $\lambda = 589.6, 621.6, 748.1$  нм ( $5^2P_{1/2, 3/2} - 3d^9 4s^2 \ ^2D_{3/2, 5/2}$ ), как и сечения соответствующих линий в кадмии [1], остаются неизменными. Все измерения проводились при различных токах в электронном пучке, но всегда в пределах линейной зависимости интенсивности спектральных линий от тока. Получены функции возбуждения этих линий при разных давлениях цинка (рис. 2, а, б, в, г). Разброс возбуждающих электронов по скоростям при этих измерениях не превышал 1 эВ. На рис. 2, а представлены функции возбуждения линий  $\lambda = 518.2$  нм ( $4^1P_1 - 6^1S_0$ ) и  $\lambda = 636.2$  нм ( $4^1P_1 - 4^1D_2$ ) ZnI, полученные при  $p = 0.85$  мтор. При увеличении давления функции возбуждения этих линий остаются практически неизменными. На рис. 2, б приведены функции возбуждения для триплетных линий (верхний уровень  $5^3S_1$ ) для давлений 0.85 и 12.2 мтор. Они построены с учетом соотношения сечений для  $E = 100$  эВ при этих давлениях, взятого из зависимости  $\sigma(p)$

$\lambda$ , нм	Переход	$\sigma_{p=12.2 \text{ мтор}}$	$\sigma_{p=0.85 \text{ мтор}} \times$
		$\sigma_{p=0.85 \text{ мтор}}$	$\times 10^{18}, \text{ см}^2$ ( $E = 100 \text{ эВ}$ )
518.2	$4^1P_1 - 6^1S_0$	1.7	1.8
636.2	$4^1P_1 - 4^1D_2$	1.4	27.4
468.0	$4^3P_0 - 5^3S_1$	} 4.8	0.14
472.2	$4^3P_1 - 5^3S_1$		0.38
481.1	$4^3P_2 - 5^3S_1$		0.64
621.6	$4^2P_{3/2} - 4s'^2D_{3/2}$	} 1.0	1.1
589.6	$4^2P_{1/2} - 4s'^2D_{3/2}$		7.0
748.1	$4^2P_{3/2} - 4s'^2D_{5/2}$		8.7
491.3	$4^2D_{3/2} - 4^2F_{7/2}^0$	} 2.0	0.12
492.5	$4^2D_{5/2} - 4^2F_{7/2}^0$		0.16

(рис. 1). Штриховая линия описывает добавочный процесс, обуславливающий рост сечений и изменение формы функций возбуждения при увеличении давления. Этот процесс уже хорошо заметен при энергии электронов  $\sim 15$  эВ, растет до  $E \sim 25$  эВ и затем остается неизменным до энергии электронов, равной 150 эВ. Сечение возбуждения в максимуме функции возбуждения остается при увеличении давления практически неизменным.

На рис. 2, в изображены функции возбуждения ионных линий  $\lambda = 491.3, 492.5$  нм ( $4^2D_{3/2, 5/2} - 4^2F_{5/2, 7/2}^0$ ), построенные также с учетом соотношения сечений для давлений 0.85 и 12.2 мтор при  $E = 100$  эВ. Из рис. 2, в видно, что добавочный процесс на уровнях  $4^2F_{5/2, 7/2}^0$  становится существенным лишь с энергии электронов выше 40—50 эВ и далее растет вплоть до  $E = 150$  эВ.

Функции возбуждения бейтлеровских линий оказались одинаковыми

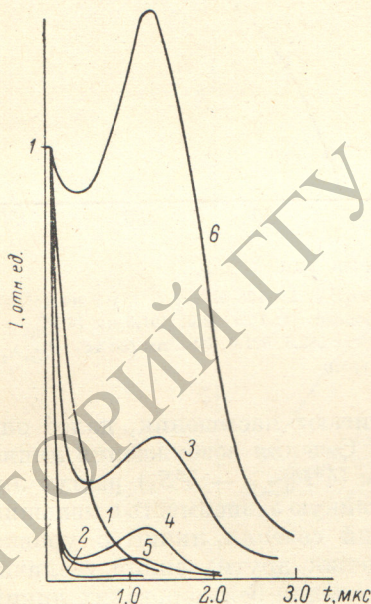


Рис. 3. Кривые послесвечения линий цинка, полученные при  $p = 3$  мтор, энергии возбуждающих электронов 100 эВ и длительности импульса 0.08 мкс.

1 —  $\lambda = 518.2$  нм ( $6^1S_0$ ), 2 —  $\lambda = 636.2$  нм ( $4^1D_2$ ), 3 —  $\lambda = 468.0, 472.2, 481.1$  нм ( $5^3S_1$ ), 4 —  $\lambda = 491.3, 492.5$  нм ( $4^2F_{5/2, 7/2}^0$ ), 5 —  $\lambda = 611.3, 610.4$  нм ( $5^2D_{3/2, 5/2}$ ), 6 —  $\lambda = 589.6, 621.6, 748.1$  нм ( $3d^24s^2D_{3/2, 5/2}$ ).

для всех трех линий, их форма при  $p = 0.85$  и 12.2 мтор показана на рис. 2, г. Они соответствуют данным, полученным в [5]. Функции возбуждения этих линий, растущие от порога возбуждения до  $E = 150$  эВ, особенностей не имеют и остаются неизменными при изменении давления в указанных пределах.

В работе [6] были измерены функции возбуждения атомарных линий цинка при изменении энергии электронов от порога возбуждения до 20 эВ и абсолютные сечения возбуждения этих линий в главном максимуме функции возбуждения при  $p = 1$  мтор. Наши измерения проведены при энергиях электронов от порога до 150 эВ. На основании наших относительных измерений и по данным абсолютных измерений, приведенным в [5, 6], нами

были вычислены абсолютные сечения возбуждения исследованных линий при  $E=100$  эВ и  $p=0.85$  мтор. Они приведены в таблице.

В третьем столбце таблицы указано, во сколько раз увеличилось сечение возбуждения соответствующей линии при изменении давления от 0.85 до 12.2 мтор (для энергии электронов 100 эВ).

Таким образом, в цинке, так же как в кадмии [1] и других элементах, например, в инертных газах [7], при увеличении давления наблюдается рост кажущихся эффективных сечений возбуждения и изменение формы функций возбуждения большинства линий. Следует отметить, что все эти процессы оказались сходными с теми, что были получены на соответствующих линиях кадмия.

С помощью методики, описанной ранее [2], нами были получены кривые послесвечения некоторых линий цинка при  $p=3$  мтор и  $E=100$  эВ. Длительность возбуждающего импульса при этих измерениях составляла 80 нс (рис. 3). Зависимости  $I(t)$  для линий цинка получились сходными с кривыми послесвечения соответствующих линий кадмия, приведенными в [2]. Линии с одиночных уровней  $\lambda=518.2$  и  $636.2$  нм (кривые 1, 2) имеют в послесвечении только одну компоненту, соответствующую радиационному времени жизни данного уровня. Кривые послесвечения для триплетных линий (кривая 3), а также ионных линий с уровней, принадлежащих обычной  $\lambda=611.6$  нм ( $5^2P_{3/2} - 5^2D_{3/2}$ ),  $\lambda=491.3$  нм ( $4^2D_{3/2} - 4^2F^0_{3/2}$ ) и бейтлеровской системам термов (кривые 4, 5, 6), имеют сложный вид, на них имеется минимум и максимум, образующие «горб».

Таким образом, в цинке заселение и разрушение уровней происходит сложным образом. Сходство всех зависимостей, измеренных нами для линий цинка, с теми, что были получены для соответствующих линий кадмия [1, 2], позволяет нам предположить, что в заселении уровней цинка, так же как и в кадмии, принимают участие возбужденные молекулярные образования.

В заключение авторы благодарят Н. П. Пенкина за интерес к работе и обсуждение результатов.

#### Литература

- [1] И. П. Богданова, С. В. Рязанцева, В. Е. Яхонтова. Опт. и спектр., 45, 651, 1978.
- [2] И. П. Богданова, В. Д. Марусин, С. В. Рязанцева, А. Б. Цыганов, В. Е. Яхонтова. Опт. и спектр., 46, 17, 1979.
- [3] И. П. Богданова, С. В. Рязанцева, В. Е. Яхонтова. Опт. и спектр., 49, 478, 1980.
- [4] И. П. Богданова, В. Д. Марусин. Опт. и спектр., 20, 209, 1966.
- [5] Н. П. Пенкин, А. А. Митюрева, Е. Р. Жежерина. Опт. и спектр., 33, 1028, 1972.
- [6] И. П. Запесочный. Автореф. докт. дисс., Ужгород, 1967.
- [7] И. П. Богданова, В. Д. Марусин, В. Е. Яхонтова. Опт. и спектр., 44, 631, 1973.

Поступило в Редакцию 10 июля 1979 г.  
В окончательной редакции 22 февраля 1981 г.