

ЭФФЕКТИВНЫЕ СЕЧЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ВОЗБУЖДЕННЫХ ИОНОВ ЦИНКА ПРИ ИОНИЗАЦИИ АТОМОВ ЦИНКА ЭЛЕКТРОННЫМ УДАРОМ

Н. П. Пенкин, А. А. Митюрева и Е. Р. Жежерина

Определены абсолютные величины эффективных сечений образования возбужденных ионов цинка при ионизации атомов цинка электронным ударом и функции возбуждения спектральных линий и уровней иона цинка, относящихся к обычной и бейтлеровской системам термов. Сечения резонансных уровней ${}^2P_{1/2, 3/2}$ и нижних бейтлеровских ${}^2D_{3/2, 5/2}$ -уровней составляет несколько единиц на 10^{-18} см². Более высокие уровни ${}^2S_{1/2}$ и ${}^2D_{3/2, 5/2}$ обычной системы возбуждаются в несколько раз слабее резонансных уровней.

В работах [1-3] нами были определены эффективные сечения возбуждения ионов ртути и кадмия. Настоящая работа посвящена нахождению эффективных сечений ионов цинка. Схема энергетических уровней иона цинка представлена на рис. 1. Слева указаны уровни, относящиеся к обычной дублетной системе термов (возбужден внешний электрон, электронная конфигурация состояний $3d^{10} nx$); справа — бейтлеровские термы, возникающие при возбуждении d -электрона (электронная конфигурация $3d^9 4s nx$).

Методика эксперимента описана в работах [1-3]. Возбуждение производилось моноэнергетическим электронным пучком в трубке, аналогичной прибору Танле, заполненной разреженными парами цинка. Измерение абсолютной интенсивности спектральных линий, испускаемых из рассматриваемого возбужденного состояния, концентраций возбуждающих электронов и нормальных атомов позволяет определить абсолютные эффективные сечения спектральных линий $q(V)$, которые связаны с сечениями прямого возбуждения уровня $Q_{ok}(V)$ соотношением

$$Q_{ok}(V) = \sum_{r=0}^{k-1} q_{kr}(V) - \sum_{l=k+1}^{\infty} q_{lk}(V).$$

Здесь первое слагаемое учитывает переходы с уровня k на нижележащие уровни r , второе слагаемое — каскадные переходы с уровней l на исследуемый уровень k .

Абсолютные значения интенсивности линий, расположенных в видимой части спектра, определялись по сравнению с излучением стандартного источника (лампа накаливания СИ-10-300), а ультрафиолетовых линий — с излучением водородной лампы ВСФУ-3 с известным распределением энергии по спектру.

Концентрация нормальных атомов цинка определялась методом поглощения «линии линией», а также по уравнению упругости [4]. В первом случае концентрация N_0 находилась по поглощению излучения резонансной линии 3076 Å. В качестве просвечивающего источника использовалась кварцевая лампа безэлектродного кольцевого высокочастотного разряда,

Интересно сравнить полученные нами данные с некоторыми результатами работ [6, 7]. В работе Лархе [6], выполненной в 30-х годах, приводятся функции возбуждения трех линий иона $Zn II$ (5894, 2558, 2502 Å), вид которых хорошо совпадает с нашими результатами, за исключением небольшого спада на $f(V)$ линии 5894 Å при энергиях, больших 100 эв. В недавно опубликованной работе [7] приводятся функции возбуждения трех бейтлеровских линий. Здесь также общая закономерность в ходе $f(V)$ не противоречит нашей. Однако приводимые в [7] $f(V)$ линий, начинающихся с одного и того же уровня, имеют несколько различный вид: $f(V)$ одной из них сохраняет постоянное значение от 100 до 150 эв, а $f(V)$ другой имеет спад к 150 эв, в то время как функции возбуждения линий, идущих с одного уровня, должны быть одинаковы. Кроме того, измеренные в этой работе абсолютные величины сечений бейтлеровских линий превышают значения, полученные нами, в несколько раз. Расхождение,

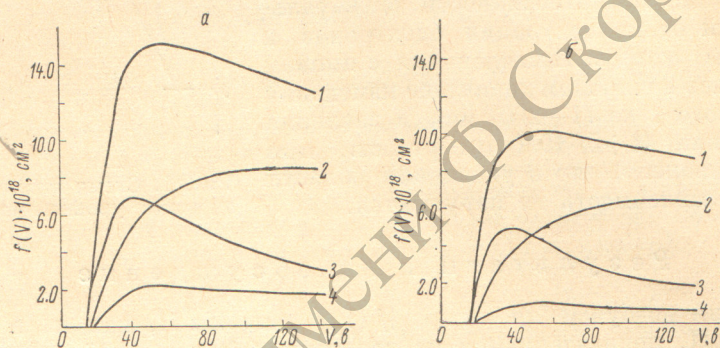


Рис. 3. Функции возбуждения резонансных линий и уровней $Zn II$. а — λ 2026 Å и уровень $4^2P_{3/2}$, б — 2062 Å и уровень $4^2P_{1/2}$; 1 — $f(V)$ резонансной линии, 2 — $f(V)$ каскадных переходов с бейтлеровских уровней $2^2D_{5/2, 3/2}$, 3 — функция возбуждения уровня 4^2P , 4 — $f(V)$ каскадных переходов с уровнем обычной системы.

по-видимому, следует отнести за счет того, что в [7] градуировка велась по излучению гелиевого разряда, а не по стандартному источнику.

Абсолютные значения эффективных сечений линий и уровней, представлены в табл. 1. Величины $q(V)$ линий приведены при энергии возбуждающих электронов 60 эв, а $Q(V)$ уровней даны в максимуме функции возбуждения (при 40, 50 эв для уровней обычной системы и 120 эв — для бейтлеровских). При определении каскадного заселения уровней $4^2P_{1/2, 3/2}$ сечения линий 2133 и 2064 Å оценивались по правилу интенсивностей, поскольку установка не позволяла выделить эти линии на фоне близких интенсивных линий 2139 Å (атомная резонансная) и 2062 Å (ионная резонансная). Возможная неточность оценки не скажется на результатах, так как вклад от этих переходов составляет не больше 5%.

Для линий 2558 и 2502 Å ($4^2P_{1/2, 3/2}$ — $5^2S_{1/2}$) мы проверили выполнение правила интенсивностей. По результатам наших измерений $I_{2502}/I_{2558} \approx 0.49$, а теоретическое отношение интенсивностей составляющих дублета равно 0.53, т. е. правило интенсивностей для этих переходов хорошо выполняется.

Как видно из табл. 1, сечения бейтлеровских уровней имеют большие значения (что наблюдалось и в случае ртути и кадмия [1, 3]), близкие по величине к сечениям уровней $2^2P_{3/2, 1/2}$. Уровни обычной системы, расположенные выше резонансных, возбуждаются значительно слабее. Точность нахождения абсолютных величин сечений уровней $Zn II$ определяется фактором 2.

В заключение приводим таблицу эффективных сечений нижних уровней ионов группы Zn, Cd, Hg (табл. 2).

Таблица 1

Абсолютные сечения возбуждения прямым электронным ударом спектральных линий $q(V)$ и уровней $Q(V)$ иона цинка

Переход	Длина волны Å	$qki \cdot 10^{18}$, см ²	Уровень	$Q_{0k} \cdot 10^{18}$, см ²
$4^2S_{1/2} - 4^2P_{3/2}$	2026	15	$4^2P_{3/2}$	6.8
$4^2S_{1/2} - 4^2P_{1/2}$	2062	10	$4^2P_{1/2}$	4.7
$4^2P_{3/2} - 5^2S_{1/2}$	2558	0.7	$5^2S_{1/2}$	1.1
$4^2P_{1/2} - 5^2S_{1/2}$	2502	0.4	$4^2D_{5/2}$	1.2
$4^2P_{3/2} - 4^2D_{5/2}$	2100	1.2	—	—
$4^2P_{1/2} - 2D_{3/2}$	5894	5.0	$2D_{3/2}$	7.0
$4^2P_{3/2} - 2D_{3/2}$	6215	0.8	$2D_{5/2}$	7.5
$4^2P_{3/2} - 2D_{5/2}$	7479	6.2	—	—

Таблица 2

Абсолютные эффективные сечения аналогичных уровней группы ионов Hg, Cd, Zn (Q_{0k} , в 10^{-18} см² в максимуме функции возбуждения)

	Символ состояния	Hg [1]*	Cd [3]	Zn
Обычная система	$2P_{3/2}$	—	11.0	6.8
	$2P_{1/2}$	7.9	10.0	4.7
	$2S_{1/2}$	1.4	2.0	1.1
	$2D_{5/2}$	1.2	1.8	1.2
Бейтлеровская система	$2D_{3/2}$	—	17.0	7.0
	$2D_{5/2}$	—	30.0	7.5

* Значения сечений для Hg уточнены.

Литература

- [1] С. П. Варшавский, А. А. Митюрева, Н. П. Пенкин. Опт. и спектр., 28, 26, 1970.
- [2] С. П. Варшавский, А. А. Митюрева. Опт. и спектр., 26, 471, 1969.
- [3] С. П. Варшавский, А. А. Митюрева, Н. П. Пенкин. Опт. и спектр., 29, 637, 1970.
- [4] А. Н. Несмеянов. Давление пара химических элементов. Изд. АН СССР, М., 1961.
- [5] G. Hatelly, T. Littlefield. J. Opt. Soc. Am., 48, 851, 1958.
- [6] K. La Che. Zs. Phys., 67, 440, 1931.
- [7] В. С. Алейников, В. В. Ушаков. Опт. и спектр., 29, 211, 1970.

Поступило в Редакцию 9 июля 1974 г.