

На рис. 2 представлены зависимости отношения интенсивностей двух исследуемых линий от давления инертных газов, из которых были найдены параметры гипербол  $a$  и  $b$  и вычислены соответствующие эффективные сечения  $\sigma_{\text{эф}}$ , которые представлены в таблице ( $\sigma_4 \approx 0$ ).

Авторы выражают благодарность А. Н. Разумовскому и Е. Н. Ритынь за помощь в работе.

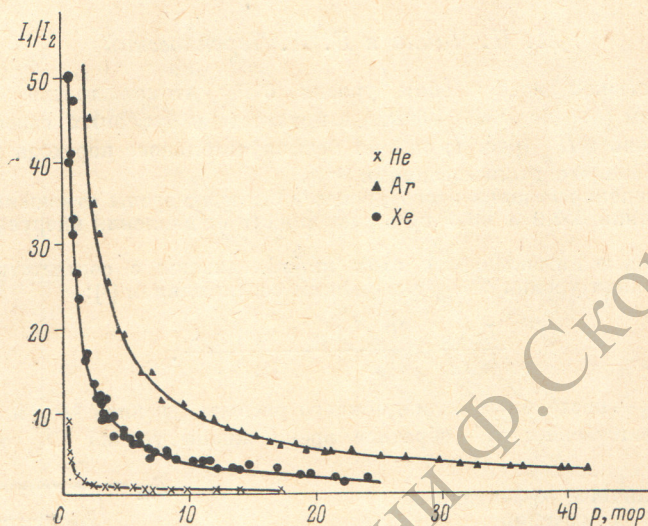


Рис. 2. Отношение интенсивностей линий в присутствии газов.

#### Литература

- [1] Е. Ритынь, М. Чайка, В. Черенковский. Опт. и спектр., 28, 636, 1970.
- [2] С. Теплова, М. Чайка, В. Черенковский. Опт. и спектр., 25, 17, 1968.
- [3] И. П. Богданова. Вестн. ЛГУ, 22, 41, 1956.

Поступило в Редакцию 9 июля 1971 г.

УДК 539.186.1

## О ВОЗБУЖДЕНИИ $6s$ -ЭЛЕКТРОНА В АТОМЕ ТАЛЛИЯ

Л. Л. Шимон, Э. И. Непилов, Н. А. Гацюк и И. П. Запесочный

Как известно [1], у таллия наряду с термами, которые возникают при возбуждении внешнего  $6p$ -электрона, имеются смещенные термы, возникающие при переводе одного из двух  $6s$ -электронов в более высокие состояния. Энергетические уровни таких состояний лежат выше потенциала ионизации, за исключением одного  $6s6p^2 4P_{1/2}$ -состояния, потенциал возбуждения которого расположен ниже потенциала ионизации на 0.5 в [2]. При изучении возбуждения атомов таллия электронным ударом нами не зафиксированы спектральные линии, соответствующие переходам со смещенных уровней, лежащих выше потенциала ионизации. В то же время с уровня  $6s6p^2 4P_{1/2}$  наблюдаются довольно интенсивные линии  $2212 \text{ \AA}$  ( $6s^2 6p^2 P_{1/2}^0 - 6s6p^2 4P_{1/2}$ ) и  $2672 \text{ \AA}$  ( $6s^2 6p^2 P_{3/2} - 6s6p^2 4P_{1/2}$ ). В связи с этим возник интерес к изучению эффективных сечений и функций возбуждения этих линий.

В наших опытах возбуждение спектральных линий осуществлялось в паронаполненной ячейке при помощи управляемого электронного пучка в условиях отсутствия искажающего влияния плотности электронного тока и давления паров таллия на вид функций возбуждения. Интервал неоднородности для 90% электронов пучка составлял  $\Delta E_s = 1.5$  эв в пределах энергий электронов от 3 до 30 эв. Плотность тока  $j$  и давление паров  $P$  выбирались в пределах  $j = (2.5 \div 6) \cdot 10^{-3}$  а/см<sup>2</sup> и  $P = 7 \cdot 10^{-6} \div 5 \cdot 10^{-4}$  тор. Абсолютные измерения проводились при минимальном давлении (когда поглощение

линии 2212 Å было малым) методом сравнения интенсивностей спектральных линий с соответствующим излучением водородной лампы ВСФУ-3. Для последней распределение энергии излучения по спектру в свою очередь определялось путем калибровки относительной спектральной яркости [3] при помощи градуированной вольфрамовой лампы СИ-8-200. Сравнение интенсивностей водородной и вольфрамовой лампы производилось в области 3200 ÷ 3600 Å. Погрешность метода абсолютных измерений составляла около 50%.

Результаты измерений представлены на рис. 1. Как видим, наблюдаемые линии характеризуются большими сечениями возбуждения в максимуме:  $Q_{2212}(E_{\max}) = 1.59 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$  и  $Q_{2672}(E_{\max}) = 2.43 \cdot 10^{-18} \text{ см}^2$ . Хотя интенсивности линий отличаются в 65 раз, функции возбуждения обеих компонент

возбуждения наступает через 1.5 эв, после которого интенсивность линий настолько резко падает, что эффективной областью возбуждения является интервал энергии в 3 ÷ 4 эв за порогом возбуждения. Учитывая степень не-

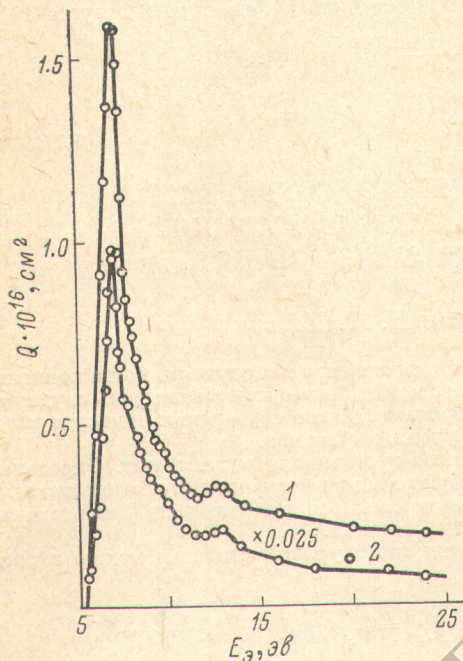


Рис. 1. Абсолютные функции возбуждения спектральных линий таллия.

1 — 2212 Å ( $6s^2 6p^2 P_{1/2}^0 - 6s 6p^2 {}^4 P_{1/2}$ ) и 2 — 2672 Å ( $6s^2 6p^2 P_{3/2}^0 - 6s 6p^2 {}^4 P_{1/2}$ ).

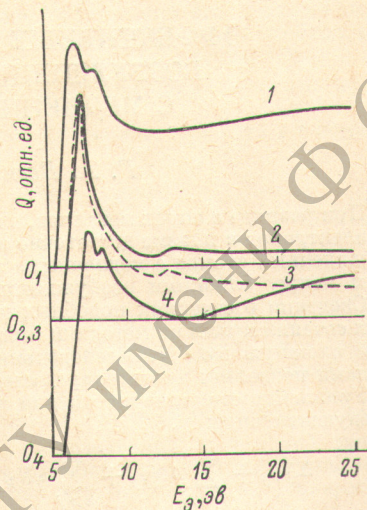


Рис. 2. Относительные функции возбуждения спектральных линий таллия.

1 — 2826 Å ( $6^2 P_{1/2}^0 - 9^2 S_{1/2}$ ), 2 — 2666 Å ( $6^2 P_{3/2}^0 - 10^2 S_{1/2}$ ), 3 — 2672 Å ( $6s^2 6p^2 P_{3/2}^0 - 6s 6p^2 {}^4 P_{1/2}$ ), 4 — 2586 Å ( $6^2 P_{3/2}^0 - 11^2 S_{1/2}$ ).

однородности возбуждающих электронов по энергиям, можно полагать, что возбуждение 6s-электрона носит резонансный характер. Такая картина не наблюдается ни в одном случае при возбуждении внешнего 6p электрона таллия.

Для сравнения на рис. 2 представлены функции возбуждения некоторых линий резкой серии. Именно линии этой серии в отличие от линий других серий обычно характеризуются функциями возбуждения с наиболее выраженными максимумами.<sup>1</sup> Как показали наши исследования, типичными для линий резкой серии являются кривые 1 и 4, отличия которых от кривых рис. 1 очевидны. Исключение лишь составляет четвертый член резкой серии 2666 и 2208 Å ( $6^2 P_{1/2, 3/2}^0 - 10^2 S_{1/2}$ ), функции возбуждения компонент которого хорошо воспроизводят функции возбуждения линий 2672 и 2212 Å, соответствующих возбуждению 6s-электрона.

Это можно объяснить наличием смешивания двух состояний  $6s^2 10s^2 S_{1/2}$  и  $6s 6p^2 {}^4 P_{1/2}$ , соответствующих возбуждению дублетов 2666 ÷ 2208 и 2672 ÷ 2212 Å. Дело в том, что потенциалы возбуждения указанных состояний близки и отличаются всего на 0.01 в, а условия симметрии по отношению к процессу их смешивания также выполняются [4]. Кроме того, непосредственные измерения показывают, что эффективность возбуждения уровня  $6s 6p^2 {}^4 P_{1/2}$  в несколько раз превышает эффективность возбуждения  $6s^2 10s^2 S_{1/2}$ -уровня. Поэтому подобие функций возбуждения (кривые 2 и 3 на рис. 2) говорит о том, что возбуждение  $6s^2 10s^2 S_{1/2}$ -уровня главным образом связано с возбуждением  $6s 6p^2 {}^4 P_{1/2}$ -уровня, т. е. возбуждению 6s-электрона.

<sup>1</sup> Для удобства сравнения все кривые в максимуме нормированы к одной величине.

В заключение авторы выражают благодарность И. С. Алексахину за участие в о-суждении результатов измерений.

### Литература

- [1] С. Э. Фриш. Оптические спектры атомов. Госиздат, физ.-мат. лит., 1963.
- [2] С. Е. Мооге. Atomic Energy Levels, Nat. Bur. Stand., Circ. № 467, vol. III, 1958.
- [3] М. Н. Смолкин, Н. Б. Бердников. Опт. и спектр., 14, 414, 1963.
- [4] М. А. Ельяшевич. Атомная и молекулярная спектроскопия. Госиздат, физ.-мат. лит., 1962.

Поступило в Редакцию 9 августа 1971 г.

УДК 539.186

## ЭФФЕКТИВНЫЕ СЕЧЕНИЯ СОУДАРЕНИЙ ВОЗБУЖДЕННЫХ АТОМОВ КАДМИЯ С МЕДЛЕННЫМИ ЭЛЕКТРОНАМИ

Г. А. Весничева и Н. П. Пенжин

При разряде в парах металлов, в газах и их смесях в тех случаях, когда концентрации электронов в плазме достаточно велики, может быть существенна роль соударений возбужденных атомов с медленными электронами. Такие соударения приводят к переходам между близкими возбужденными уровнями атомов.

Сведения о сечениях подобных процессов практически отсутствуют. Определение таких сечений прямыми методами (при возбуждении в электронном пучке) представляет собой сложную задачу. Исследование же плазмы различными экспериментальными методами позволяет иногда определить такие сечения.

Уравнение стационарности для возбужденного уровня в плазме можно записать в следующем виде:

$$\Delta N_{0j} + \sum_{i < j} \Delta N_{ij} + \sum_{k > j} \Delta N_{kj} + \Delta N_{jat} = N_j (\beta_{\text{диф.}} + \beta_{\text{изл.}} + \beta_e + \beta_a). \quad (1)$$

Здесь члены слева определяют различные процессы заселения уровня  $j$  (прямое, ступенчатое электронное возбуждение, каскадные переходы и возбуждение при соударениях с атомами). Члены справа соответственно представляют собой разрушение уровня за счет диффузии, излучения и соударений с электронами и атомами.

Проведенное нами исследование кадмиевой плазмы дало возможность определить эффективные сечения перераспределения атомов между уровнями  $5^3P_{0,1,2}$  кадмия при соударениях с электронами.

Измерения проводились в плазме в смеси паров кадмия с инертными газами. При добавлении инертного газа в кадмиевую плазму изменяются основные электрокинетические характеристики плазмы — концентрация электронов и функция распределения электронов по энергиям. Концентрация электронов возрастает, причем добавление газа в количестве 1 мм рт. ст. приводит к увеличению концентрации электронов почти на порядок. Функция распределения меняется так, что увеличивается доля медленных электронов, а средняя энергия электронов уменьшается.

Кроме того, в случае разряда в смеси уменьшается вероятность гибели возбужденных атомов на стенках разрядной трубки и увеличивается роль объемных процессов. Все это приводит к тому, что в случае разряда в смеси роль переходов между возбужденными подуровнями  $5^3P_{012}$  CdI при соударениях с электронами возрастает.

В плазме в смесях Cd + Kr и Cd + Xe были проведены измерения следующих величин.

1. Методом второй производной были измерены концентрации электронов ( $N_e$ ) и функции распределения их по энергиям ( $F(v)$ ) при различных давлениях и различных разрядных токах [1].

2. Концентрации нормальных ( $N_0$ ) и возбужденных ( $N_j$ ) атомов кадмия были измерены методом крюков Рождественского [1].

3. По сладу излучения резонансной линии 3261 Å в послесвечении плазмы определена величина эффективного времени жизни уровня  $5^3P_1$  ( $\tau_{\text{эф.}}$ ).

Полученные результаты показали следующее:

- 1) концентрации возбужденных атомов изменяются немонотонно при изменении давления газа;

- 2) с ростом величины разрядного тока концентрации атомов на метастабильных уровнях  $5^3P_0$  и  $5^3P_2$  достигают насыщения значительно раньше, чем на излучающем уровне  $5^3P_1$ ;