

968.

in-

УДК 539.186:546.47

**ВОЗБУЖДЕНИЕ УРОВНЕЙ  $4D_j$  ЦИНКА АТОМАМИ РТУТИ  
В СОСТОЯНИИ  $7^3S_1$  В ПОСЛЕСВЕЧЕНИИ РАЗРЯДА  
В СМЕСИ Zn—Hg—Kr**

*О. П. Бочкова и Е. А. Багрянцева*

Исследовалась зависимость эффективности передачи возбуждения от атомов ртути в состоянии  $7^3S_1$  атомам цинка в состоянии  $4^1D_j$  и  $4^3D_j$ . С ростом упругости паров цинка и с ростом давления криптона возрастает эффективность заселения триплетных уровней по сравнению с одиночными. Это обусловлено влиянием столкновений с нормальными атомами, приводящими к установлению статистического равновесия в заселении уровней с одинаковым  $n$ . Сделаны оценки эффективных сечений возбуждения уровней  $4^1D_2$  и  $4^3D_j$ . Для уровня  $4^1D_2$  величина сечения  $\sim (1.6-1.8) \cdot 10^{-14} \text{ см}^2$ , для уровня  $4^3D_3$  сечение не больше, чем  $0.4 \cdot 10^{-14} \text{ см}^2$ , суммарное сечение возбуждения уровней  $4^3D_2$  и  $4^3D_1$  не больше  $0.3 \cdot 10^{-14} \text{ см}^2$ . Сечения перемешивания уровней  $4D$  одного порядка с сечениями ударов 2-го рода.

Процессы взаимодействия возбужденных атомов ртути с нормальными атомами цинка, приводящие к возбуждению последних, исследовались в ряде работ по сенсibilизированной флуоресценции [1, 2]. Возбуждение ртути в этих работах осуществлялось оптически. При облучении смеси паров Zn и Hg резонансной линией ртути 253.7 нм заселяется уровень ртути  $6^3P_1$ . Однако в результате вторичных процессов возможно образование метастабильных молекул ртути в состоянии  $A^3O^-$ . Эти возбужденные частицы (атомы и молекулы) обладают энергией, достаточной лишь для возбуждения атомов цинка до первых возбужденных состояний  $4^3P_j$ . Более высокие уровни цинка, соответствующие конфигурации  $3d^{10}4s$  ( $^3S$ )  $4^1D_2$  и  $4^3D_j$ , с энергией возбуждения 7.70—7.74 эв, находятся в резонансе с уровнем ртути  $7^3S_1$  с энергией возбуждения 7.69 эв (табл. 1). Получить большую заселенность этого уровня оптически довольно трудно.

В разряде же сравнительно легко можно получить заселенности уровня ртути  $7^3S_1$  порядка  $10^8$  ат./см<sup>3</sup>. Но в смеси паров цинка и ртути трудно получить преимущественное заселение уровня ртути  $7^3S_1$  по сравнению с уровнями цинка  $4^3D_j$ , так как эффективные сечения электронного возбуждения этих уровней одного порядка, времена жизни также мало отличаются друг от друга, а различие в форме функций возбуждения должно способствовать более эффективному заселению уровней цинка.

Поэтому в настоящей работе исследование столкновений возбужденных атомов ртути в состоянии  $7^3S_1$  с нормальными атомами цинка проводилось в послесвечении разряда. Для создания преимущественной заселенности уровня ртути  $7^3S_1$  по сравнению с уровнями цинка ис-

Таблица 1

Уровни		$\Delta E, \text{ см}^{-1}$
Zn	Hg	
$4^1D_2$	$7^3S_1$	-108.014
$4^3D_1$	$7^3S_1$	-418.294
$4^3D_2$	$7^3S_1$	-421.544
$4^3D_3$	$7^3S_1$	-426.500

пользовался механизм заселения этого уровня за счет каскадных переходов. Как нами было установлено ранее [3], в смеси Hg—Kг в послесвечении разряда уровень ртути  $7^3S_1$  в основном заселяется каскадно с уровней  $9^1P_1$ ,  $9^3P_j$ ,  $10^3P_j$  и др., которые в свою очередь заселяются ударами 2-го рода с метастабильных уровней криптона. Времена жизни метастабильных атомов криптона в зависимости от условий могут достигать 100 мк сек. и более.

На рис. 1 приведена схема возбуждения уровней цинка в послесвечении разряда. Для исследований использовалась установка, описание которой приведено нами ранее в работах [3, 4]. Разряд возбуждался в кварцевой трубке длиной 15 см и диаметром 3 см с накалимым катодом.

Трубка имела два отростка (один с цинком, другой с ртутью) и помещалась в печь. Оба отростка также помещались в печи. Концентрация нормальных атомов цинка в смеси цинк—ртуть не соответствует

Таблица 2

$N_0(\text{Zn}) \cdot 10^{14}$ , см <sup>-3</sup>	$p$ , кг · мм рт. ст.	$\frac{\bar{Q}}{\bar{Q}_m}$
0.2—0.3	0.53	1.0
0.6—3.2	1.2	1.3—0.34
6.4	1.38	0.31
0.2—0.7	5.0	0.2

концентрации нормальных атомов для данной температуры, определенной по упругости паров для чистых паров цинка. Поэтому в расчетах мы пользовались данными о концентрации нормальных атомов цинка, полученными для смеси паров цинка и ртути в работе Краулин и Арман [2].

Эффективные сечения возбуждения уровней цинка определялись по относительной яркости линий цинка и линии ртути 546.1 нм из соотношения

$$\bar{Q} = \frac{I_{\text{Zn}} \lambda_{\text{Zn}} A_{ik}(\text{Hg}) \sum A_{ik}(\text{Zn})}{I_{\text{Hg}} \lambda_{\text{Hg}} A_{ik}(\text{Zn}) \bar{v} N_0(\text{Zn}) \alpha},$$

где  $\frac{I_{\text{Zn}}}{I_{\text{Hg}}}$  — относительная яркость линий цинка и линии ртути 546.1 нм, определяемая с учетом чувствительности приемника излучения;  $\lambda_{\text{Zn}}$ ,  $\lambda_{\text{Hg}}$  — соответствующие длины волн;  $N_0(\text{Zn})$  — концентрация нормальных атомов цинка;  $\bar{v}$  — скорость относительного движения атомов;  $\alpha = \left(1 + \frac{\Delta E}{kT}\right) \times \exp\left(-\frac{\Delta E}{kT}\right)$ .

Результаты эксперимента по определению сечения возбуждения уровней цинка  $4^1D_2$  и  $4^3D_j$  представлены на рис. 2, по оси ординат отложена определяемая величина сечения ударов 2-го рода, по оси абсцисс — концентрация нормальных атомов цинка. Для уровня  $4^1D_2$  данные получены по яркости линии цинка 636.2 нм при токе в разрядной трубке  $i = 60$  ма и давлении криптона от 2 до 5 мм рт. ст. Непостоянство давления криптона обуславливает большой разброс точек на кривой 1. Для уровней  $4^3D_j$  измерялись яркости линий 330.256 и 334.5 нм при токе  $i = 45$  ма и давлении криптона  $p = 1.7$  мм рт. ст. Линии 330.256 и 330.291 нм, а также линии 334.551, 334.491, 334.596 нм не разрешались нашим прибором, поэтому яркость линии 330.2 нм характеризует суммарную заселенность уровней  $4^3D_2$  и  $4^3D_3$ , а яркость линии 334.5 нм — суммарную заселенность уровней  $4^3D_3$ ,  $4^3D_2$ ,  $4^3D_1$ . Как видно из рис. 2, величина эффективного сечения для одиночного уровня падает, а для триплетных уровней растет с ростом концентрации нормальных атомов цинка. Аналогичная зависимость наблюдается и при возрастании концентрации нормальных атомов криптона. Относительное изменение сечения возбуждения уровня цинка  $4^2D_2$  с ростом давления Kг приведено в табл. 2.

Таким образом, в послесвечении разряда в смеси Zn—Hg—Kr при малых упругостях паров цинка и низких давлениях криптона заселение уровня цинка  $4^1D_2$  происходит с большей эффективностью, чем заселение триплетных уровней цинка  $4^3D_j$ . Этот результат согласуется с наблюдаемой зависимостью эффективного сечения ударов 2-го рода от разности энергии  $\Delta E$  между взаимодействующими уровнями. Уровень  $4^1D_2$  расположен на  $108 \text{ см}^{-1}$ , а уровни  $4^3D_j$  на  $418\text{--}426 \text{ см}^{-1}$  выше уровня ртути  $7^3S_1$  (табл. 1).

С увеличением упругости паров цинка и давления криптона наблюдается уменьшение заселенности одиночного уровня и увеличение заселенности триплетных уровней. На основании полученных результатов можно сделать вывод о существовании вторичных процессов, которые

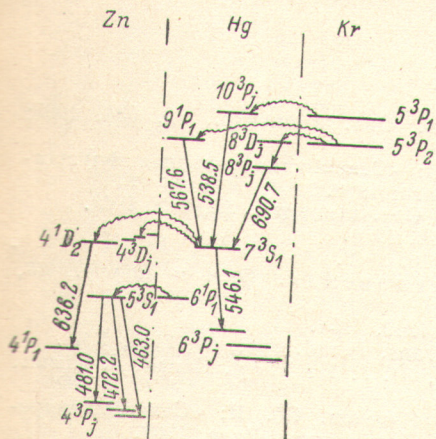


Рис. 1. Схема возбуждения уровней цинка в смеси.

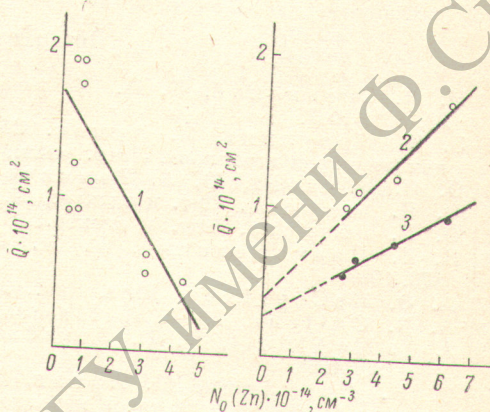


Рис. 2. Эффективные сечения возбуждения уровней цинка  $4^1D_2$  и  $4^3D_j$ .

1 — уровень  $4^1D_2$ , 2 — уровни  $4^3D_2 + 4^3D_3 + 4^3D_1$ , 3 — уровни  $4^3D_3 + 4^3D_2$ .

приводят к установлению равновесной концентрации среди уровней с одинаковым главным квантовым числом. Аналогичные результаты были получены нами ранее для уровней ртути  $10^3P_j$  [5] и согласуются с результатами работ Подмошенского [6]. Было показано, что эти процессы могут быть вызваны как столкновениями с нормальными атомами, так и столкновениями с электронами, и имеют сечения порядка  $10^{-14} \text{ см}^2$ .

Для возбуждения уровней цинка  $4^1D_2$  и  $4^3D_j$  атомами ртути в состоянии  $7^3S_1$  можно указать верхнюю границу сечений:  $1.6\text{--}1.8 \cdot 10^{-14} \text{ см}^2$  для уровня  $4^1D_2$ , для уровней  $4^3D_2 + 4^3D_1 - 3 \cdot 10^{-14} \text{ см}^2$ ,  $4^3D_3 + 4^3D_2 + 4^3D_1 - 4 \cdot 10^{-14} \text{ см}^2$ .

В работе [4] приведена нижняя граница сечения возбуждения уровня  $4^1D_2$ , определяемая вторичными процессами.

С целью обнаружить возможный процесс возбуждения уровней  $4^3P_j$  цинка атомами ртути в состояниях  $6^3P_j$  исследовалось послесвечение линии цинка  $307.5 \text{ нм}$  и изменение заселенности уровней ртути  $6^3P_j$ . Однако из-за длительного послесвечения линии  $307.5 \text{ нм}$ , обусловленного пленением излучения и малой эффективности процесса, передача возбуждения не была обнаружена.

Сравнение числа квант с уровня цинка  $4^3P_1$ , испущенных линией  $307.5 \text{ нм}$ , с числом квант, приходящих на этот уровень за счет каскадных переходов сверху, показывает, что в импульсе тока и первые  $40 \text{ мкс}$  послесвечения разряда число квант, испущенных резонансной линией цинка, меньше числа квант в каскаде, даже при частичной оценке кас-

када только по испусканию линий 472.2 и 334.5 нм. Можно предположить, что безызлучательное разрушение уровня цинка вызвано следующими причинами: 1) в результате столкновений с атомами или электронами  $4^3P_1$ -атомы переводятся в одно из метастабильных состояний, которое или гибнет на стенках, или при последующих столкновениях с нормальными атомами цинка связывается в молекулу; 2) так как собственное время жизни уровня  $4^3P_1$  цинка велико ( $\tau_{\text{род.}} \sim 10^{-5}$  сек.,  $\tau_{\text{эфф.}} \sim 10^{-4}$  сек.), столкновения с нормальными атомами цинка в присутствии криптона могут привести к образованию молекулы  $Zn_2^*$  непосредственно из этого состояния. Аналогичные процессы наблюдались в смесях паров ртути с инертными газами и азотом в работах [7-10].

Авторы благодарят С. Э. Фриша за неизменный интерес к работе и обсуждение результатов.

#### Литература

- [1] М. Л. Сосинский, Е. Н. Морозов. Опт. и спектр., 19, 634, 1965; 23, 868, 1967.
- [2] Э. К. Крауля, М. Арман. Сб. I: «Сенсибилизированная флуоресценция паров металлов». Латв. унив., Рига, 1968.
- [3] О. П. Бочкова, Ю. А. Толмачев. Опт. и спектр., 25, 342, 1968.
- [4] О. П. Бочкова. Опт. и спектр., 25, 972, 1968.
- [5] О. П. Бочкова. Опт. и спектр., 25, 816, 1968.
- [6] И. В. Подмошенский, Е. Н. Павловская. Опт. и спектр., 23, 873, 1967.
- [7] A. O. McCooybreu. Phys. Rev., 93, 1249, 1954.
- [8] A. B. Callear, J. G. Williams. Trans. Farad. Soc., 60, 2158, 1964.
- [9] J. E. McAldult, D. D. Drysdale, D. J. Le Roy. Canad. J. Chem., 46, 199, 1968.
- [10] Э. К. Крауля, М. Арман, М. Янсон. Сб. II: «Сенсибилизированная флуоресценция паров металлов». Латв. унив., Рига, 1969.

Поступило в Редакцию  
2 июля 1969 г.