

НАБЛЮДЕНИЕ ИОННОЙ КОМПОНЕНТЫ В ЗАСЕЛЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЕЙ КАДМИЯ И ЦИНКА ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

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

Изучалась роль долгоживущих ионных образований в заселении различных уровней кадмия и цинка. Измерение отношения заряда к массе (e/m) для этих образований показало, что в процессах, ведущих к заселению различных уровней, принимают участие либо молекулярные ионы типа A_2^+ , либо частицы с вдвое большим значением e/m , а в заселении некоторых уровней участвуют одновременно оба сорта частиц.

В работах [1, 2] изучалось послесвечение атомарных и ионных спектральных линий кадмия и цинка при возбуждении паров этих металлов импульсным электронным пучком. В послесвечении ряда линий были обнаружены компоненты с временами большими, чем собственные времена жизни исследованных уровней. В работе [3] описана методика, позволяющая оценить роль долгоживущих ионных образований в заселении какого-либо конкретного атомарного или ионного уровня и измерить отношение заряда к массе для этих образований. Таким образом, появляется возможность в некоторых случаях судить о природе процессов, вызывающих длинное послесвечение. В частности, в [3] анализировалось излучение линий Cd I 508.6 нм ($5^3P_2-6^3S_1$), Cd II 441.6 нм ($4^2P_{3/2}-4d^95s^2D_{3/2}$), Zn I 472.2 нм ($4^3P_1-5^3S_1$) и Zn II 589.6 нм ($4^2P_{3/2}-3d^94s^2D_{3/2}$). Авторы пришли к заключению, что послесвечение на этих линиях в значительной степени обусловлено диссоциативным распадом молекулярных ионов Cd_2^+ и Zn_2^+ соответственно.

В настоящей работе методика, изложенная в [3], применена для исследования механизма заселения уровней кадмия и цинка, принадлежащих разным сериям и с разными потенциалами возбуждения.

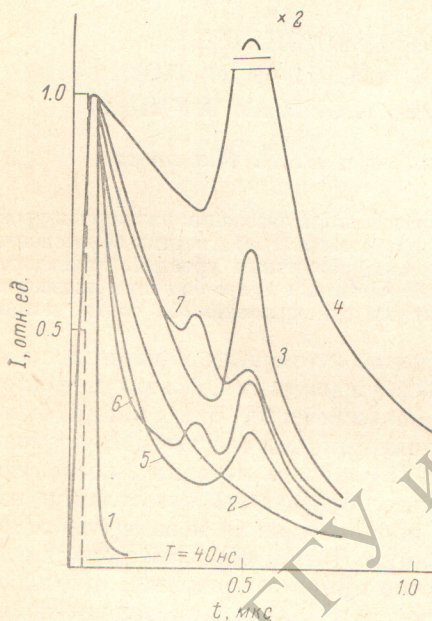
Были изучены следующие уровни: 7^1S_0 (λ 515.5 нм, $E=7.82$ эВ), 5^1D_2 (λ 643.8 нм, $E=7.34$ эВ), $5^3D_{1,2}$ (λ 346.6/346.7 нм, $E=7.37$ эВ) Cd I, $4d^95s^2D_{3/2}$ (λ 353.6 нм, $E=18.27$ эВ), $4p^4F_{7/2}$ (λ 488.3 нм, $E=22.65$ эВ) Cd II, а также высоковозбужденные уровни Cd II: $7^2D_{3/2}$ (λ 403.0 нм, $E=23.81$ эВ), $4^2F_{7/2}$ (λ 533.9 нм, $E=22.43$ эВ), $6^2G_{7/2, 9/2}$ (λ 635.6/636.0 нм, $E=24.38$ эВ) и Zn II: $4^2F_{7/2}$ (λ 491.3 нм, $E=23.92$ эВ), лежащие вблизи потенциалов образования Cd III ($E=25.895$ эВ) и Zn III ($E=27.35$ эВ) соответственно. В скобках указаны линии, на которых производились измерения и потенциалы возбуждения уровней.

Конструкция и режим работы использованной трубки возбуждения описаны в [3]. Электронный ток в импульсе не превышал 50 мкА, разброс электронов по энергиям — порядка 1 эВ.

Результаты измерений представлены на рис. 1 и 2. Здесь приведены кривые зависимости интенсивности от времени для всех исследованных в данной работе линий, а также для трех линий, изученных ранее [3]. Для большей наглядности при сопоставлении положений максимумов кривая для линии Cd I 508.6 нм приведена на всех рисунках. При построении кривые нормировались так, что интенсивность излучения в импульсе

электронного возбуждения принималась за единицу. Условия возбуждения указаны в подписях к рисункам.

Как видно из рисунков, кривые довольно разнообразны по форме. Не на всех кривых наблюдается «пик», соответствующий движущемуся в пространстве A_3-A_4 пакету частиц. Он отсутствует на кривых послесвечения спектральных линий с одиночных уровней атома кадмия (кривые 1, 2 на рис. 1). На кривых распада бейтлеровских уровней $Cd\ II\ 4d^9 5s^2 D_{3/2, 5/2}$ (кривые 3, 4 на рис. 1), атомарных триплетных 3S_1 -уровней кадмия (кривая 5 на рис. 1) и цинка (кривая 2 на рис. 2, б) имеется один «пик», соответствующий движению возбужденных молекулярных ионов Cd_2^{++} и Zn_2^{++} [3]. Как видно из рис. 1 (кривые 3, 4), движущиеся ионы Cd_2^{++}



дают разный вклад в распад подуровней $Cd\ II\ 4d^9 5s^2 D_{3/2, 5/2}$. Этот вклад значителен для уровня $^2D_{3/2}$ ($\lambda\ 441.6$ нм). Для уровня $^2D_{5/2}$ ($\lambda\ 353.6$ нм) доля этого процесса значительно меньше. На кривых, относящихся к высоковозбужденным уровням $Cd\ II$ (кривые 1—3 на рис. 2, а) и $Zn\ II$ (кривая 1 на рис. 2, б) наблюдается только один пик, но он соответствует более быстрым частицам, так как формируется раньше. Следует отметить,

Рис. 1. Кривые распада уровней атома и иона кадмия.

1 — 5^1D_2 ($\lambda\ 643.8$ нм), 2 — 7^1S_0 ($\lambda\ 515.5$ нм), 3 — $4d^9 5s^2 D_{3/2}$ ($\lambda\ 353.6$ нм), 4 — $4d^9 5s^2 D_{5/2}$ ($\lambda\ 441.6$ нм), 5 — 6^3S_1 ($\lambda\ 508.6$ нм), 6 — $5^3D_{1,2}$ ($\lambda\ 346.6/346.7$ нм), 7 — $4p^4 F_{5/2}^0$ ($\lambda\ 488.3$ нм), полученные при $V_3 = V_4 = 50$ В, $V_2 = 150$ В и давлении паров кадмия ~ 3 торр.

что при изменении давления паров кадмия в пределах одного порядка скорости движений этих быстрых возбужденных частиц остаются неизменными, так же как и скорости возбужденных молекулярных ионов (кривые 2, 5 на рис. 2, а и [3]).

На кривых послесвечения линий с триплетных $5^3D_{1,2}$ -уровней ($\lambda\ 346.6/346.7$ нм) атома кадмия и бейтлеровского уровня иона кадмия $4p^4 F_{5/2}^0$ (кривые 6, 7 на рис. 1) наблюдаются два «пика», соответствующие движению и диссоциации двух типов заряженных частиц. Один из этих «пииков» формируется одновременно с «пиком» на кривых послесвечения линий $\lambda\ 508.6$ нм $Cd\ I$ и $\lambda\ 441.6$ нм $Cd\ II$ и, по-видимому, обусловлен движением молекулярных ионов Cd_2^{++} , а другой появляется ближе к импульсу электронного возбуждения, т. е. соответствует более быстрым частицам. Он совпадает с «пиком» на кривых распада высоковозбужденных уровней иона кадмия (кривые 1—3 на рис. 2, а).

Измерения, проведенные в различных точках пучка, и расчеты, аналогичные проведенным в [3], показали, что отношение заряда к массе для этих более быстрых частиц (как в кадмии, так и в цинке) соответствует либо атомарному Cd^{++} (Zn^{++}), либо молекулярному иону Cd_2^{++} (Zn_2^{++}). Рассмотрение возможных процессов заселения с участием атомарных или молекулярных ионов удобнее провести для высоковозбужденных уровней $Cd\ II$.

Если предположить, что «пики» на кривых распада этих уровней обусловлены пролетом атомарных ионов Cd^{++} ; то это означало бы, что существуют сильно заселенные уровни ионов кадмия, имеющие большие времена жизни (~ 350 нс) [3], с которых возможны каскадные переходы на исследуемые

двумя уровнями. Однако, по данным работ [4, 5], времена жизни всех изученных высоковозбужденных уровней кадмия не превышают 60 нс. Кроме того, сечения возбуждения уровней быстро уменьшаются с ростом главного

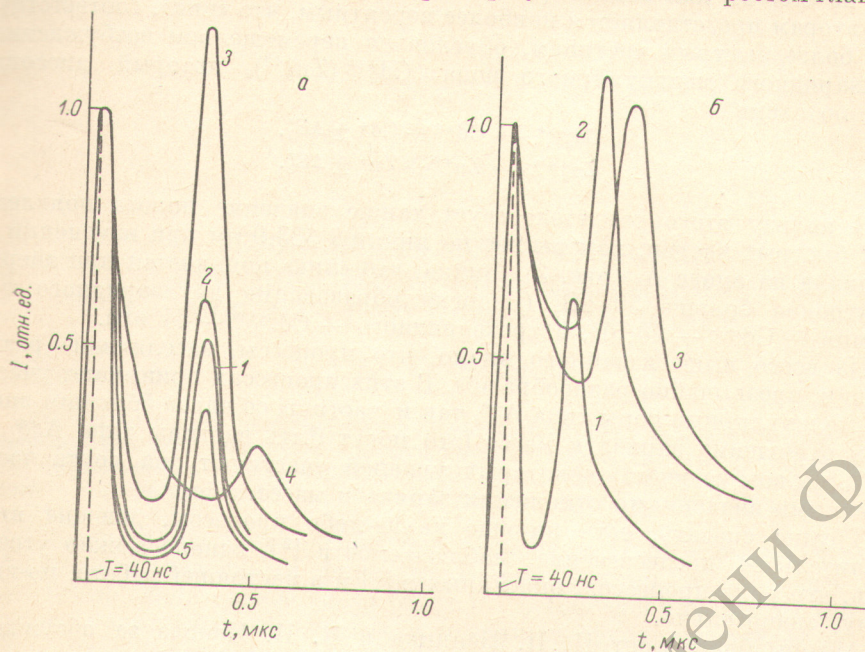


Рис. 2.

а: кривые распада высоковозбужденных уровней иона кадмия: 1 — $7^2D_{3/2}$ (λ 403.0 нм), 2 — $4^2F_{5/2}^0$ (λ 533.9 нм), 3 — $6^2G_{7/2}$ (λ 635.6/636.0 нм) и уровня атома кадмия: 4 — 6^3S_1 (λ 508.6 нм), полученные при $V_2=150$ В, $V_3=V_4=50$ В и давлении паров кадмия ~ 3 мтор. Регистрировалось излучение из участка длиной 0.51 мм на расстоянии 1.53 мм от A_3 . Кривая распада уровня иона кадмия: 5 — $4^2F_{5/2}^0$ (λ 533.9 нм), полученная при $p \sim 0.3$ мтор. б: кривые распада уровней атома и иона цинка: 1 — $4^2F_{5/2}^0$ (λ 491.3 нм), 2 — 5^3S_1 (λ 472.2 нм), полученные при $V_2=150$ В, $V_3=V_4=50$ В и давлении паров цинка ~ 8 мтор. Кривая 3 соответствует спектральной линии кадмия λ 508.6 нм ($5^3P_1-6^3S_1$). Она получена в трубке с цинком, где кадмий присутствовал в качестве незначительной примеси. Регистрировалось свечение участка длиной 0.46 мм на расстоянии 2.3 мм от A_3 .

квантового числа n [6], поэтому уровни, лежащие выше изученных, не должны дать ощутимый вклад в заселенности последних и изменить характер послесвечения соответствующих линий. Таким образом, этот процесс представляется маловероятным. Аналогичные рассуждения применимы и к цинку.

Высоковозбужденные состояния $Cd II$ и $Zn II$, по всей вероятности

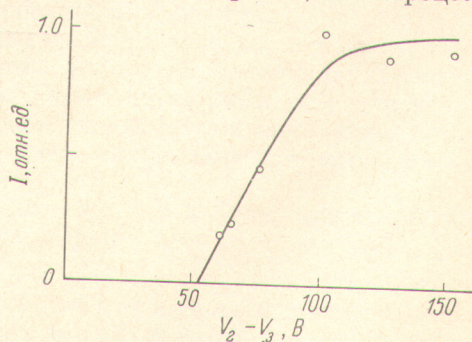
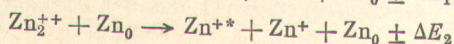
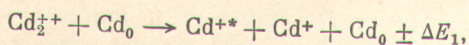


Рис. 3. Зависимость интенсивности «пика» на кривых послесвечения линии λ 533.9 нм $Cd II$ от разности потенциалов V_2-V_3 ($V_3 \sim 2B$).

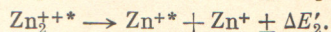
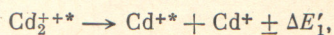
Изучалось свечение участка длиной 0.51 мм на расстоянии 1.02 мм от A_3 . Давление паров кадмия составляло ~ 3 мтор.

не могут заселяться также за счет диссоциации невозбужденного двухзарядного молекулярного иона при столкновении с нормальным атомом Cd_0 или Zn_0 . В этом случае реакция должна была бы протекать по схеме



и, таким образом, могут заселяться лишь уровни, отстоящие от потенциала двойной ионизации кадмия (цинка) на энергию атомарного иона, т. е. на 8.99 эВ для кадмия (9.39 эВ для цинка).

Авторам представляется наиболее вероятным, что «пик», соответствующий более быстрым частицам, обусловлен перемещением возбужденного двухзарядного молекулярного иона Cd_2^{++} (Zn_2^{++}), который диссоциирует по схеме



В пользу этого свидетельствует также значение порога появления этих быстрых частиц, измеренное по линии λ 533.9 нм при изменении потенциала на аноде A_2 (рис. 3). Видно, что «пик» появляется при энергии электронов больше 50 эВ. (Энергия образования двухзарядного иона кадмия — Cd^{++} — 26 эВ, а трехзарядного — Cd^{+++} — 64 эВ).

Из всего вышесказанного видно, что процессы, заселяющие разные уровни, чрезвычайно разнообразны. В этих процессах принимают участие как молекулярные ионы типа A_2^{++} , так и частицы со вдвое большим значением отношения заряда к массе (это могут быть частицы типа A^{++} или A_2^{++}). В возбуждении некоторых уровней участвуют два сорта частиц с разными значениями отношения заряда к массе.

Трудно сказать, есть ли еще какие-либо процессы, дающие вклад в длительное послесвечение, наблюдаемое в [2], однако можно утверждать, что роль процессов, описанных в [3] и в настоящей работе, по-видимому, значительна.

Авторы благодарят Н. П. Пенкина и Н. И. Ионова за обсуждение результатов работы.

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, в. 3, 1980.
- [4] Я. Ф. Веролайнен, А. Л. Ошерович. Опт. и спектр., 20, 6, 1966.
- [5] Я. Ф. Веролайнен, А. Л. Ошерович, В. И. Привалов. Опт. и спектр., 46, 1092, 1979.
- [6] В. В. Свтер, И. П. Запесочный, О. Б. Шпеник. Опт. и спектр., 36, 826, 1974.

Поступило в Редакцию 29 ноября 1979 г.