

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ПУШКИ ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ ПРИРОДЫ УДАРОВ ВТОРОГО РОДА В СМЕСИ РТУТЬ—ГЕЛИЙ

В. С. Алейников

Для определения природы ударов второго рода исследовались функции возбуждения некоторых линий иона ртути в смеси ртуть—гелий. Установлено, что в смеси этих газов протекает реакция перезарядки ионов гелия с тепловой энергией на атомах ртути, приводящая к образованию возбужденных ионов ртути.

Аномальное усиление искровой линии ртути 6150 Å в смеси паров ртути с гелием впервые наблюдалось Пашеном [1]. В связи с тем что на переходах $7^2P_{3/2, 1/2} - 7^2S_{1/2}$ Hg II была получена оптическая генерация [2, 3], предпринимались попытки объяснить механизм возбуждения этой линии в смеси паров ртути с гелием [4, 5]. Привлекаемые с этой целью объяснения основаны на предположении об ударах второго рода атомов ртути с возбужденными или ионизованными атомами гелия



Однако ввиду малой разности энергии возбуждающих частиц (≈ 5 эв) и широкого энергетического распределения электронов в плазме анализ данных, полученных из спектральных наблюдений излучения разряда в смеси ртуть—гелий, не может дать строго определенного ответа в пользу какого-либо механизма ударов второго рода, населяющих уровень $7^2P_{3/2}$ (рис. 1). Точное определение конкретного вида реакции в смеси газов возможно путем установления порога и формы функции возбуждения линии, возбуждаемой ударами второго рода.

Ниже приводятся результаты экспериментального исследования возбуждения монокинетическим пучком электронов ионных линий ртути, связанных прямо или каскадно с состоянием $7^2P_{3/2}$ в смеси гелия и ртути.

Использованная конструкция электронной пушки и методика исследования были в значительной степени подобны тем, которые применяются при изучении функций возбуждения спектральных линий. Все эксперименты были выполнены при давлении паров ртути $2 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст. Наличие ударов второго рода при добавлении в электронную пушку гелия наблюдалось по изменению относительных интенсивностей и формы функции возбуждения линий Hg^+ . На рис. 2 показана зависимость относительной интенсивности линий ртути от давления гелия в электронной пушке. Относительная интенсивность Hg^+ , принадлежащих каскаду $7^2P_{3/2} - 7^2S_{1/2} - 6^2P_{3/2} - 6s^2 2D_{3/2}$, линейно растет с увеличением давления гелия и при давлениях 0.1—0.2 мм рт. ст. увеличивается на два порядка. Увеличение интенсивности этих искровых линий ртути становится заметным уже при очень малых добавках гелия к парам ртути ($\approx 5 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст.). При добавлении в электронную пушку неона или аргона ($10^{-3} - 10^{-2}$ мм рт. ст.) существенных изменений в относительной интенсивности линий Hg и Hg^+ не наблюдалось.

При давлениях гелия выше $1 \div 1.5 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст. интенсивность линий 6150 и 2847 Å полностью определяется возбуждением путем ударов второго рода. В то же время при этих давлениях монокинетичность пучка электронов достаточно высока и возможно корректное измерение функции образования частиц, передающих энергию состоянию $7^2P_{3/2}$. Контрольные измерения функции возбуждения ряда линий гелия и ртути в условиях, при которых были сняты функции возбуждения линии каскада $7^2P_{3/2} - 7^2S_{1/2} - 6^2P_{3/2} - 6s^2 \ ^2D_{3/2}$ в спектре Hg^+ , показывают, что монокинетичность электронного пучка заметно не ухудшается при добавке гелия порядка $2 \div 5 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст. Так например, для функций

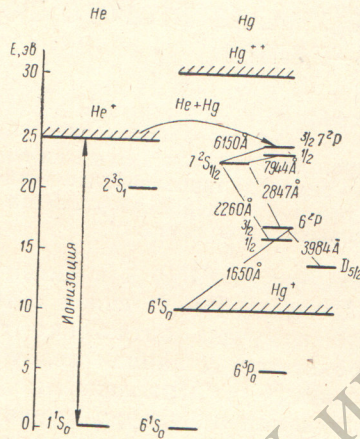


Рис. 1. Схема энергетических уровней и ударов второго рода в смеси ртуть—гелий.

возбуждения дуговых линий ртути при указанных выше давлениях гелия еще наблюдается тонкая структура.

Порог возбуждения линии 6150 Å в смеси ртуть—гелий, определенный путем сравнения с порогом возбуждения гелиевых линий [6], лежит вблизи 24.5 эв (рис. 3), а функции возбуждения практически совпадают с зависимостью эффективного сечения ионизации гелия от энергии электронов (рис. 4). Подобную же форму функций возбуждения в смесях ртуть—гелий имеют линии 2847 и 3983 Å, верхние уровни которых заселяются в этом случае каскадными переходами.

Изменение формы функции возбуждения линии 2847 Å при добавлении к парам ртути гелия хорошо видно на рис. 5, где приведены функции возбуждения этой линии в парах ртути и смеси ртути и гелия. Некоторое отличие формы функции возбуждения линии 2847 Å в чистых парах ртути от приведенной в работе [9] может быть связано с низкой интенсивностью линии 2847 Å в чистых парах ртути.

Единственным объяснением увеличения интенсивности линии каскада $7^2P_{3/2} - 6s^2 \ ^2D_{3/2}$ иона ртути и изменение их функции возбуждения при добавлении к парам ртути гелия является протекание реакции перезарядки ионов гелия на атомах ртути с образованием возбужденных ионов ртути по схеме (1). Если бы образование возбужденных ионов ртути шло за счет реакции (2), функция возбуждения линий каскада $7^2P_{3/2} - 6s^2 \ ^2D_{3/2}$ должна была описываться произведением функции образования метастабильных атомов гелия в состоянии 2^3S и атомов ртути в состоянии 6^3P_0 . Произведение функций возбуждения этих состояний должно резко

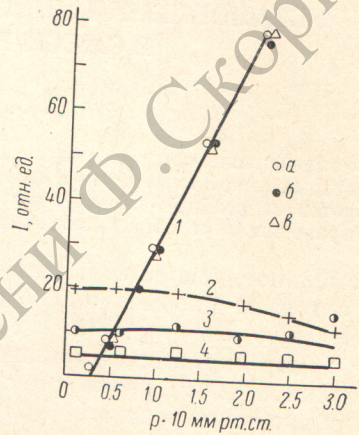


Рис. 2. Зависимость интенсивности линий ртути от давления гелия.

Давление паров ртути $2 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст. Плотность тока в пучке 0.3 ма/см². Ускоряющее напряжение 100 эв. 1 — интенсивность ионных линий ртути: а — 6150, б — 2847, в — 3984 Å; 2 — интенсивность линии 4797 Å HgIII; 3 — интенсивность линии 5461 Å HgI; 4 — интенсивность линии 5790 Å HgI.

спадать после достижения электронами энергии по крайней мере 30—40 эв (максимум функции образования состояний 2^3S), что не наблюдается в эксперименте.

Поскольку в реакции (2) участвуют две возбужденные частицы, можно было ожидать, что зависимость этих линий от тока должна иметь квадратичный характер. Между тем интенсивность линий каскада $7^2P_{3/2} - 6s^2 \ 2D_{3/2}$ растет строго линейно в широком диапазоне токов электронного пучка (20 ÷ 500 мка).

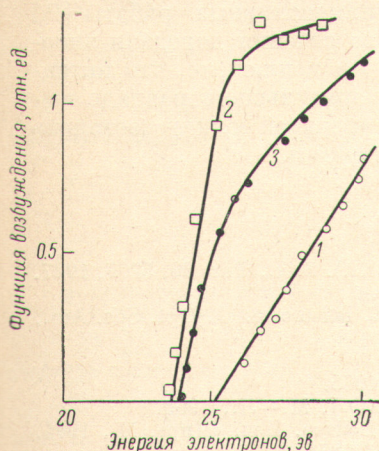


Рис. 3. Порог возбуждения некоторых линий гелия и линии 6150 Å.

Давление гелия $5 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст., давление паров ртути $2 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст. 1 — интенсивность линии 6150 Å HgII, 2 — интенсивность линии 5876 Å HeI, 3 — интенсивность линии 5015 Å HeI,

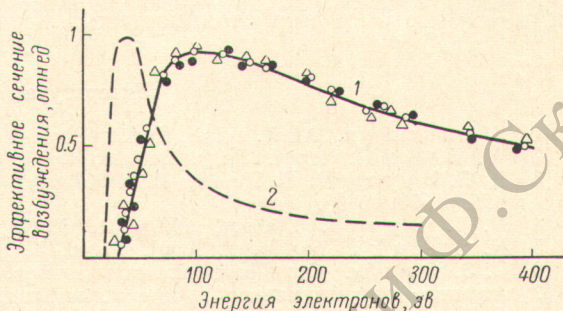


Рис. 4. Функция возбуждения линий каскада $7^2P_{3/2} - 7^2S_{1/2} - 6^2P_{3/2} - 6s^2 \ 2D_{3/2}$ в ртутно-гелиевой смеси, функция ионизации гелия и функция образования метастабильных состояний гелия 2^3S .

1 — функция ионизации гелия (сплошная линия), взятая из работы [7]; 2 — функция образования метастабильных состояний гелия 2^3S , взятая из работы [8]. Значками указаны экспериментальные точки, полученные при определении функций возбуждения линий 6150, 2847 и 3984 Å HgII в ртутно-гелиевой смеси.

Функция возбуждения линий Hg^+ , принадлежащих каскаду $7^2P_{3/2} \rightarrow 6s^2 \ 2D_{3/2}$, не сильно деформируется и при давлениях гелия порядка 0.1—0.2 мм рт. ст., когда свободный пробег электронов становится меньше, чем расстояние между ускоряющей сеткой и коллектором. Небольшая величина искажений формы функций возбуждения этих линий при больших давлениях гелия связана как с особенностями формы функции ионизации гелия, имеющей максимум при относительно высоких энергиях электронов, так и с тем обстоятельством, что эффективное сечение ионизации гелия составляет большую часть от общего сечения неупругих столкновений электронов в смеси ртуть—гелий в этих условиях.

Реакция перезарядки ионов гелия на атомах ртути (1) с образованием возбужденных состояний $7^2P_{3/2}$ подчиняется правилу Вигнера и может иметь большую вероятность. Оценка эффективного сечения реакции (1) дает величину порядка 10^{-14} см² [4], что близко к газокинетическому сечению атома ртути.

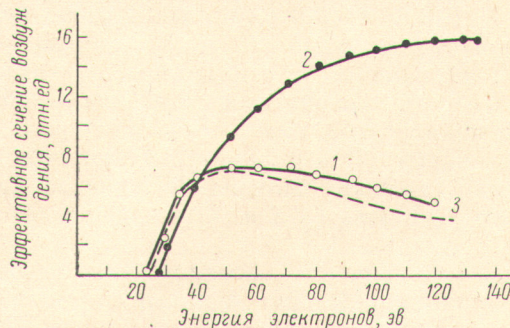


Рис. 5. Функция возбуждения линии 2847 Å HgII.

1 — функция возбуждения в парах ртути (давление паров ртути $2 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст.); 2 — функция возбуждения в смеси паров ртути с гелием (давление паров ртути $2 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст., давление гелия $2 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст.); 3 — функция возбуждения, полученная в работе [9].

Аномальное усиление интенсивности в спектре ртутно-гелиевого разряда показывает и линия 7944 \AA Hg II ($7^2P_{1/2} - 7^2S_{1/2}$) [3], для которой «дефект резонанса» при реакции (1) оказывается довольно большим (≈ 0.7 эв).

Хотя теоретические оценки эффективного сечения перезарядки в условиях «случайного резонанса» [10] и экспериментальные работы [11] подтверждают слабую зависимость эффективного сечения передачи энергии от величины дефекта «резонанса», однако не исключено, что интенсивное образование ионов в состоянии $7^2P_{1/2}$ в импульсном разряде высокой плотности является результатом обмена энергией между состояниями $7^2P_{3/2}$ и $7^2P_{1/2}$ при столкновениях с электронами.

Литература

- [1] F. Paschen. Akad. Wiss., Berlin (Phys.-Math. Kl.). Sitz., Part 29, 5207, 1927.
- [2] W. E. Bell. Appl. Phys. Letters, 4, 34, 1964.
- [3] R. L. Byer, W. E. Bell, E. Hodges, A. L. Bloom. J. Opt. Soc. Am., 55, 1598, 1965.
- [4] D. I. Dyson. Nature, 207, 361, 1965.
- [5] N. Suzuki. Japan. J. Appl. Phys., 4, 452, 1965.
- [6] С. Э. Фриш. Оптические спектры атомов. ГИМФЛ, М.—Л., 1963.
- [7] Атомные и молекулярные процессы, под ред. Д. Бейтса. Изд. «Мир», М., 1964.
- [8] E. Wonderberg, N. Milatz. Physica, 8, 871, 1941.
- [9] W. Schaffernicht. Zs. Phys., 62, 106, 1930.
- [10] Дж. Хастед. Физика атомных столкновений. Изд. «Мир», М., 1965.
- [11] O. S. Duffendack, W. H. Gran. Phys. Rev., 51, 804, 1937.

Поступило в Редакцию 14 апреля 1969 г.