

УТВОРЕННЯ $4s^0$ -ВАКАНСІЇ ПРИ ЗІТНЕННЯ АТОМУ KrI З ЕЛЕКТРОНАМИ

В.-Ф.З. ПАШІ

Ужгородський національний університет, 88000, Ужгород, вул. Волошина, 54.

Експериментально досліджені ефективні перерізи збудження спектральних ліній із станів $4s^1 4p^6 \ ^2S_{1/2}$ KrII і $4s^0 4p^6 \ ^1S_0$ KrIII від порогу до 450eВ. Обговорюється механізм утворення $4s^0$ -вакансії у зовнішній електронній оболонці криптону, вплив Оже-розпаду 3d-вакансії та можливість одержання відповідних парціальних ефективних перерізів іонізації.

У наукових роботах [1-3] досліджені енергетичні залежності ефективних перерізів утворення одно-, двох та багатозарядних іонів атомів інертних газів електронним ударом. Однак, вони не дають достатню інформацію про парціальний вклад в іонізацію різних підоболонки. Відомо [4-6], що при відносно невеликій ($E > 100\text{eВ}$) енергії зіткнення можливо відірвати один або більше електронів з 3d-, 4s- 4p-оболонки криптону. При цьому іон попадає у високо розташований стан, релаксація з якого проходить через Оже- або радіаційний перехід. Дослідження ефективних перерізів спектральних ліній, що випромінюються при радіаційних переходах, дає можливість вивчити роль внутрішніх підоболонки у механізмі іонізації. Таким методом у даній роботі був досліджений механізм утворення подвійної 4s-вакансії при зіткненні атому криптону з моноенергетичними електронами.

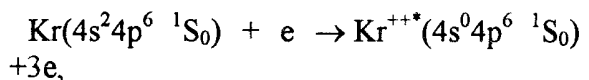
Експерименти проводились на установці, детально описаній в [7-8]. Відмітимо лише, що на відміну від наукових досліджень інших авторів, з метою отримання достатньо високої величини корисного сигналу, пучок електронів формувався у вигляді стрічки з довжиною 20мм за допомогою чотирьох електродної гармати. Енергетична неоднорідність 90% електронів не перевищувала 1—1,5eВ. Камера зіткнень відкачувалась

безмасляним сорбційним насосом до вакууму $p \leq 5 \cdot 10^{-7}$ Па. Тиск аргону в області зіткнень складав $p < 5 \cdot 10^{-7}$ Па. Функції збудження досліджувались за допомогою вакуумного монохроматора Сейя-Наміока у спектральній області $\lambda \lambda 35 \dots 200\text{нм}$. Відносна похибка вимірювань складала 2-3%. Абсолютні величини ефективних перерізів визначались методом калібровки установки в абсолютних одиницях з використанням надійно відомих із теоретичних та експериментальних досліджень ефективних перерізів відповідних ліній. Невідома величина ефективного перерізу Q_{mn}^x досліджуваної спектральної лінії λ_{mn}^x знаходилась з неточністю 25—30% згідно формули

$$Q_{mn}^x = \frac{e}{hcL} \frac{I_{mn}^{\phi x} \lambda_{mn}^x}{k(\lambda_{mn}) N_0^x i^x},$$

де $k(\lambda_{jk})$ - коефіцієнт чутливості апаратури на довжині хвилі λ_{jk} .

При величині енергії електронного променя, достатній для прямого одночасного видалення двох 4s-електронів в одному акті зіткнення в атомі криптону внаслідок реакції



появляється $4s^0$ -вакансія. Іон криптону, що знаходиться у стані $\text{Kr}^{++*}(4s^0 4p^6 \ ^1S_0)$ може віддати енергію збудження шляхом

переходу одного електрону з 4p- у 4s- підоболонку

$Kr^{++}(4s^0 4p^6 {}^1S_0) \rightarrow Kr^{++}(4s^1 4p^5 {}^1P_1) + h\nu$.
Такий перехід супроводжується випромінюванням $\lambda 90.62\text{нм}$ КгІІІ. Функція збудження цієї лінії — при відсутності інших каналів заселення рівня $Kr^{++}(4s^0 4p^6 {}^1S_0)$ — має відтворювати енергетичну залежність утворення подвійної 4s-вакансії електронним ударом. Нами проведено дослідження ефективного перерізу збудження вказаної спектральної лінії. Відмітимо, що вона є результатом радіаційного переходу між внутрішніми підоболонками. Як видно, імовірність збудження характеризується

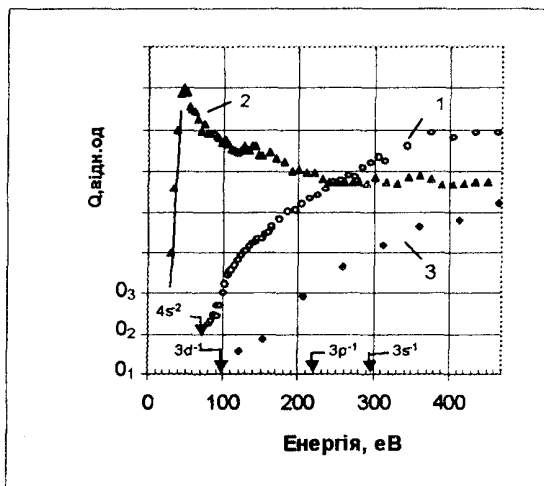
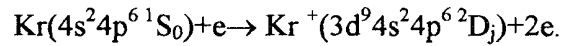


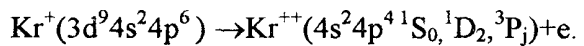
Рис.1. Функції збудження спектральної лінії: 1- $\lambda 90.62\text{ нм}$ КгІІІ ($4s^0 4p^6 {}^1S_0 \rightarrow 4s^1 4p^5 {}^1P_1$); 2- $\lambda 91.7\text{ нм}$ КгІІ; ($4s^1 4p^6 {}^2S_{1/2} \rightarrow 4s^2 4p^5 {}^2P_{3/2}$); 3 — енергетична залежність імовірності емісії Оже- електронів при $M_{4,5} - N_1 N_1$ переході[9].

плавним ростом у всій області енергії електронного променя. Крива наближається до свого максимуму лише при енергії $E \geq 450\text{eV}$ (рис. 1, крива 1). Така поведінка енергетичної залежності імовірності відриву двох 4s-електронів є зовсім іншою, ніж при відриві одного 4s-електрону (рис.1, крива 2). Для $\lambda 91.7\text{нм}$ КгІІ ($4s^1 4p^6 {}^2S_{1/2} \rightarrow 4s^2 4p^5 {}^2P_{3/2}$), що у загальних рисах відображає 4s-іонізацію криптону, спостерігається гострий максимум при енергії електронів 48eV. Для визначення причини такої поведінки

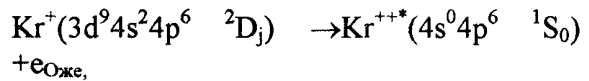
функції збудження $\lambda 90.62\text{нм}$ КгІІІ, була проаналізована можлива роль додаткових механізмів заселення $4s^0 4p^6 {}^1S_0$ Kr^{++} стану. Існування переходів радіаційного заселення вказаного стану з більш високо розташованих рівнів невідомо, тому такий механізм слід рахувати мало імовірним. Однак, аналіз наших результатів і фотоелектронних спектрів криптону[4-6] показали, що залежність імовірності збудження $\lambda 90.62\text{нм}$ КгІІІ у досліджуваній області енергій протікає, в основному, не прямим відривом двох 4s-електронів в одному акті зіткнення. При енергії електронів $E > 93,8\text{eV}$ спостерігається 3d-іонізація атому криптону



Вакансія у внутрішній 3d-підоболонці заповнюється електронами з інших оболонок, перехід яких супроводжується Оже- процесами. З них найбільш ймовірними [5,6,10] є переходи на основні стани двозарядного іону



Однак, значну імовірність має також перехід у 3d-підоболонку одного і одночасний відрив другого 4s-електрону



тобто $M_{4,5} - N_1 N_1$ Оже-перехід. Підтвердженням вказаного вище механізму утворення $4s^0$ -вакансії є подібність характеру функції збудження спектральної лінії $\lambda 90.62\text{нм}$ КгІІІ і ефективного перерізу 3d-іонізації та значення їх абсолютних величин. Енергетична залежність ймовірності емісії Оже-електронів при $M_{4,5} - N_1 N_1$ переході[9], який виникає внаслідок відриву 3d-електрону з атому криптону електронним ударом, спостерігається максимум при 1000eV і повільний спад до 1300eV. В області енергій наших досліджень (рис.1, крива 3) вона практично повністю повторює функцію збудження спектральної лінії $\lambda 90.62\text{нм}$ (крива 1). Абсолютна величина імовірності емісії Оже-

електронів при $M_{4,5} \rightarrow N_1 N_1$ переході [9] при енергії 450eV дорівнює $1,8 \cdot 10^{-19} \text{см}^2$, а ефективний переріз збудження вказаної спектральної лінії $2,1 \cdot 10^{-19} \text{см}^2$, тобто вони близькі за величиною.

Таким чином, отримати у чистому вигляді парціальний переріз відриву двох 4s-електронів в одному акті зіткнення атому кріптону з електроном неможливо.

1. E. Krishnakumar, S.K. Srivastava, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys., 1988, 21, 1055-82.
2. R.C. Wetzel, F.A. Baiocchi, T.R. Hayes, R.C. Freund, Phys. Rev. A, 1987, 35, 559-77.
3. H.B. Lebius, J. Binder, H.R. Koslovski, K. Wieseman, B.A. Huber, // J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys., 1989, 22, 83-97.
4. L. Avaldi, R.I. Hall, G. Dawber, P.M. Rutter, G.C. Kings. // J. Phys.: At. Mol. Opt. Phys., 1991. V.24. 427-438.
5. H. Aksela. // Phys. Rev. A 1992. V.46. N3. P.1345-1348.
6. B. Kammerling, V. Schmidt, W. Mehlhorn, W.B. Peatman, F. Schaefers, T. Schroeter. //

Можна допустити, що при енергії електронного променя $E > 93,8 \text{eV}$ рівень $\text{Kr}^{+++}(4s^0 4p^6 \ ^1S_0)$ заселяється переважно через одноелектронний процес відриву 3d-електрону з наступним Оже-переходом.

- J. Phys.: At. Mol. Opt. Phys. — 1992. V.25. — L5-L10.
6. В.-Ф.З. Папп, Л.Л. Шимон, М.М. Повч/ УФЖ, — 2001, N4. — 462-468.
7. В.Ф.З. Папп // Науковий Вісник Ужгородського національного університету. Серія Фізика. — 1999, вип.5. — С.99-104.
8. Y. Akagi, K. Morita, T. Takayanagi, W. Wakiya, H. Suzuki. // Abstracts of Contributed Papers of the XIII ICPEAC, 1983, p.157.
9. W.W. Mehlhorn, V. Schmitz, D. Stalhorn. // Z. Physik. — 1972, V.252. — 399-411.

FORMATION OF $4s^0$ -VACANCIES BY COLLISIONS OF KrI ATOMS AND ELECTRONS

V.-F. Z. PAPP

Uzhgorod State University, 88000, Voloshina str., 54

Effective excitation cross-section of spectral lines from $4s^1 4p^6 \ ^2S_{1/2}$ KrII and $4s^0 4p^6 \ ^1S_0$ KrIII states at an energy from threshold up to 450eV were studied experimentally. The mechanism of $4s^0$ -vacancies formation in the external shell of krypton, the influence of Auger decay on the 3d-vacancies and the possibility to receive the partial effective ionization cross-sections are discussed.