

СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ УТВОРЕННЯ НЕГАТИВНИХ ІОНІВ СТРОНЦЮ ТА ЇХ РОЗПАДУ В ОПТИЧНОМУ КАНАЛІ

В.І. Марушка, Т.А. Снігурська, І.І. Шафраньош

Ужгородський національний університет, 294000, Ужгород, вул.Волошина, 54

При взаємодії електронів з метастабільними атомами стронцію в області енергій, менших 2 еВ, зареєстровані негативні іони. Обговорюється радіаційний механізм їх розпаду. Приведені енергетичні залежності перерізів утворення і розпаду негативних іонів стронцію.

В роботах [1-5] приводяться дані, які чітко показують резонансні особливості на перерізах збудження атомів з метастабільних станів та в повних перерізах розсіяння електронів на атомах. Виявлену структуру автори [1-5] пов'язують з процесом утворення та розпаду негативних іонів. Разом з тим припускалося, що пряме детектування негативних іонів ускладнене внаслідок їх малого часу життя.

У цьому повідомленні вперше викладено постановку досліджень з прямої реєстрації негативних іонів стронцію та вказаний ймовірний механізм їх розпаду.

Експерименти проводилися в умовах електронного і атомного пучків, що перетинаються. Експериментальна установка приведена на рис. 1. Пучок електронів генерувався трохіодним електронним монохроматором (ТЕМом), який був створений раніше [6] на основі піонерської роботи [7]. Початок (нуль) енергетичної шкали налітаючих електронів визначався за енергетичним положенням резонансного піка утворення іонів SF_6^- [8]. З цією метою камера зіткнень наповнювалася SF_6 до тиску $1.3 \cdot 10^{-3}$ Па. Точність калібрування була ± 0.05 еВ. Ширина резонансу на його піввисоті визначала енергетичну неоднорідність пучка електронів $\Delta E_{1/2}$, яка становила 0.1 еВ. Сила струму пучка електронів складала $8 \cdot 10^{-8}$ А в області енергій до 2 еВ.

Пучок метастабільних атомів отримували шляхом пропускання атомів, що знаходилися в основному стані, через

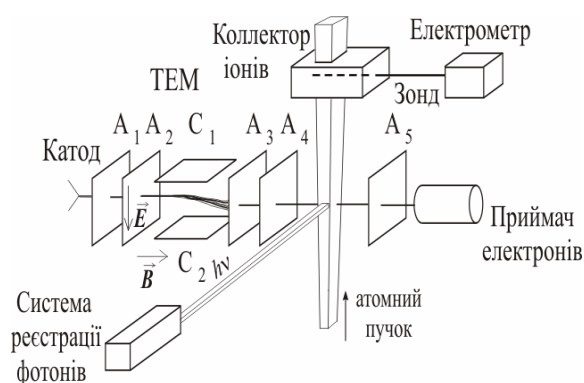


Рис. 1. Схема експерименту: A_1 - A_4 – електроди трохіодного електронного монохроматора; C_1 , C_2 – відхиляючі пластини монохроматора; A_5 , приймач електронів – електронний колектор; E і B – вектори напруженостей електричного й індукції магнітного полів.

розрядну камеру. Детально спосіб одержання пучка метастабільних атомів та вимірювання їх концентрацій, яке проводилося за самопоглинанням спектральних ліній, описані в роботах [3, 9]. В умовах проведених досліджень концентрації складових атомного пучка в області взаємодії його з пучком електронів відповідно становили $5 \cdot 10^9$ cm^{-3} для атомів у метастабільних $5s5p^3P_{0,2}$ станах, $\sim 10^8$ cm^{-3} для атомів у стані $5s4d^1D_2$ і $6 \cdot 10^{10}$ cm^{-3} для атомів в основному $5s^2^1S_0$ стані.

Іони, утворені в області перетину електронного та атомного пучків, рухаючись з тепловими швидкостями, потрапляли в прохідний колектор, який був розташований на шляху атомного пучка. Колектор являв собою паралелепіпед з центральним осевим електродом (зондом). Відстань

між зондом і областю перетину електронного і атомного пучків складала 9 мм. На зонд подавався додатний потенціал величиною 25 В, що забезпечувало збір утворених негативних іонів. Магнітне поле індукцією 150 Гс унеможливило попадання на зонд розсіяних електронів. Струм негативних іонів реєструвався електрометричним підсилювачем, вихідний сигнал з якого поступав на вхід "Y" двокоординатного самописця ("X-Y"). На вхід "X" цього ж самописця подавався прискорюючий (лінійно зростаючий) потенціал електронного пучка. Паралельно, на другому "X-Y" самописці записувалась вольт-амперна характеристика електронного пучка. За умови подачі на зонд колектора іонів від'ємного потенціалу з'являлася можливість виміряти струм утворених позитивних іонів, як це було зроблено в [9]. Такий методичний прийом дозволив провести контрольні дослідження, в яких були виміряні функції іонізації атомів стронцію з основного та з метастабільних станів.

Крім безпосереднього детектування утворених негативних іонів нами досліджувалося також і випромінювання, стимульоване електронами в області перетину пучків, з метою встановлення можливого механізму радіаційного розпаду збуджених станів утворених негативних іонів.

Випромінювання з області взаємодії електрон-атомної взаємодії виводилося із вакуумної камери через кварцове віконце. Система реєстрації випромінювання працювала в режимі реверсивного рахунку окремих фотонів з модуляцією електронного пучка, і складалася з монохроматора електронів, детектора, системи підсилення електричного сигналу детектора та реверсивного лічильника. Випромінювання за допомогою кварцової лінзи проектувалося на вхідну щілину монохроматора МДР-23 і детектувалося фотоелектронним помножувачем (ФЕП) типу ВЭУ-106. Вихідні імпульси з ФЕП підсилювалися попереднім та широкосмуговим підсилювачами,

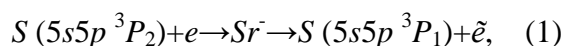
проходили через каскади формування і комутації і поступали на вхід реверсивного лічильника Ф5007. Вакуум у камері зіткнень $\sim 5 \cdot 10^{-8}$ Тор. Відносні похибки при вимірюванні струму іонів та відносної інтенсивності випромінювання спектральної лінії не перевищують 12% та 15% відповідно.

У процесі експериментальних досліджень при взаємодії електронів з метастабільними атомами стронцію для енергій, менших 2 еВ, були зареєстровані як негативні іони стронцію, так і випромінювання спектральної лінії на довжині хвилі $\lambda = 689.3$ нм (перехід $5s^2 \ ^1S_0 \rightarrow 5s5p \ ^3P_1$).

На рис. 2а показана енергетична залежність перерізу утворення негативних іонів Q^- (у відносних одиницях), яка визначалася як відношення струму утворених іонів до струму пучка електронів в залежності від величини прискорюючого потенціалу. Як впливає з рис. 2а, отримана залежність має вид вузького резонансу при енергії 0.4 еВ, що є характерним для процесів утворення негативних іонів при електрон-атомних зіткненнях. Складний немонотонний характер $Q^-(E)$ може бути проявом утворення іонів у різних збуджених станах. На рис. 2б також показана енергетична залежність перерізу збудження Q^{ex} спектральної лінії з довжиною хвилі $\lambda = 689.3$ нм (у відносних одиницях), яка визначалася як відношення інтенсивності випромінювання до струму пучка електронів в залежності від величини прискорюючого потенціалу.

Порівняння кривих 2а та 2б чітко вказує на існування особливостей в області $\sim 0.35-0.4$ еВ, які співпадають між собою за енергетичним положенням у межах похибки калібрування енергетичної шкали. На нашу думку, таке співпадіння свідчить про єдину природу походження вказаних особливостей, а його пояснення полягає в наступному.

Утворення та розпад негативних іонів стронцію (Sr^-) відбуваються за схемою:



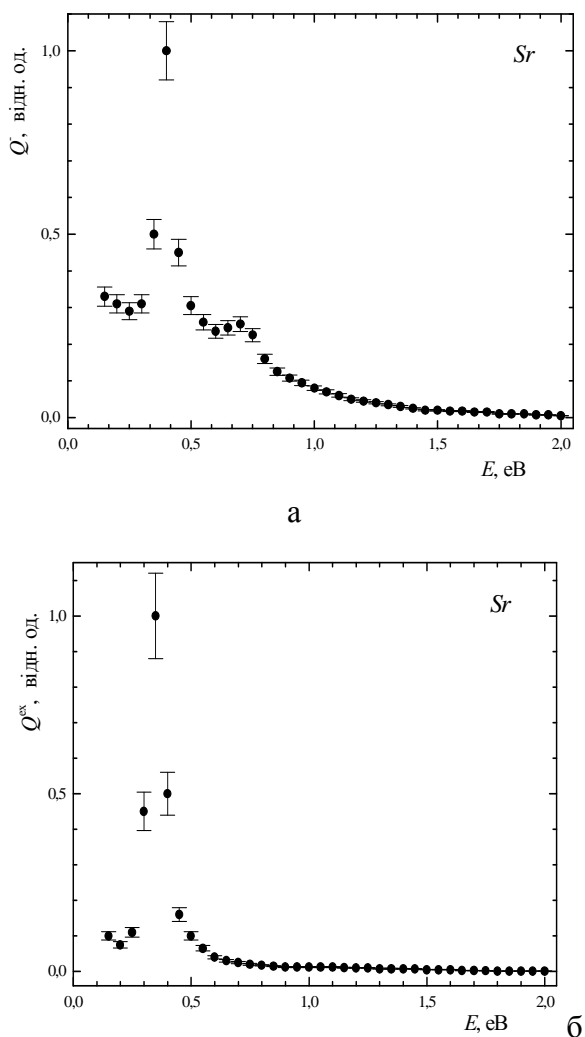


Рис. 2. Енергетичні залежності перерізів:
 а – утворення негативних іонів Sr^- ;
 б – збудження спектральної лінії $\lambda = 689.3$ нм (перехід $5s^2\ ^1S_0 - 5s5p\ ^3P_1$).

де e і \bar{e} – відповідно налітаючий та ежектований електрони.

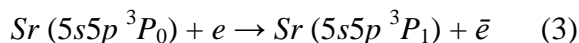
У свою чергу стан $5s5p\ ^3P_1$ розпадається у радіаційному каналі (перехід $5s^2\ ^1S_0 - 5s5p\ ^3P_1$, $\lambda = 689.3$ нм). Абсолютну величину перерізу Q^{ex} утворення стану $5s5p\ ^3P_1$ за реакцією (1) визначено шляхом нормування на переріз збудження цього ж спектрального переходу з основного стану атома Q_0 за формулою:

$$\frac{Q^{ex}}{Q_0} = \frac{I^m}{I^0} \frac{i}{i^m} \frac{N_0}{N_m}, \quad (2)$$

де I^m та I^0 – відповідно інтенсивність спектральної лінії ($\lambda = 689.3$ нм) при взаємодії електронів з атомами у метастабільному та в основному станах; i^m та i – відповідно струм електронів при вимірюванні I^m та I^0 ; N_0 і N_m – відповідно концентрації атомів у пучку в основному $5s^2\ ^1S_0$ і в метастабільному $5s5p\ ^3P_2$ станах.

Вимірювання величин I^m та I^0 проводилися при енергіях електронів 0.5 еВ та 3.2 еВ, які відповідають максимальним значенням величин Q^{ex} та Q_0 (Q_0 бралось з роботи [10]). В результаті для Q^{ex} при енергії електронів 0.35 еВ була отримана величина $8 \cdot 10^{-14}$ см². Похибка у визначенні абсолютної величини перерізу складала $\sim 60\%$.

Слід зауважити, що певна частина атомів у станах $5s5p\ ^3P_1$ може утворюватися також і в результаті реакції:



де e та \bar{e} – відповідно налітаючий і розсіяний електрони.

Однак ми вважаємо, що кількість атомів у станах $3\ ^3P_1$, утворених в результаті реакції (3) буде суттєво меншою, ніж в результаті реакції (1). Підставою для такого припущення служить наступне: 1) концентрація атомів у станах $5s5p\ ^3P_0$ у 5 разів менша, ніж концентрація атомів у станах $5s5p\ ^3P_2$; 2) переріз реакції (3), принаймні, на порядок менший перерізу реакції (1). Останнє впливає з того факту, що перерізи збудження $nsnp\ ^3P_j$ -рівнів із метастабільних станів [2, 11] близькі до перерізів збудження цих же рівнів з основних станів [10], які для атома стронцію у максимумі досягають величини $\sim 1 \cdot 10^{-15}$ см². У той же час, як було показано вище, експериментально визначена величина перерізу утворення станів $5s5p\ ^3P_1$ складає $8 \cdot 10^{-14}$ см².

Можливий процес утворення іонів Sr^- в реакції $Sr(5s4d\ ^1D_2) + e \rightarrow Sr^-$ ми не аналізуємо з причини суттєво менших концентрацій синглетного метастабільного стану

$5s4d^1D_2$ у пучку в порівнянні із концентрацією триплетних станів $5s5p^3P_{0,2}$.

Таким чином, подібність кривих на рис. 2 (у частині співпадіння їх максимумів) має закономірний характер й обидві вони відображають процес утворення й розпаду негативного іону стронцію.

ЛІТЕРАТУРА

1. Снегурская Т.А., Шафраньош И.И., Небесный Ф.И., Алексахин И.С. // Опт. и спектр. 1988. Т.65. №1. С. 235.
2. Шафраньош И.И., Снегурская Т.А., Алексахин И.С. // Опт. и спектр. 1994. Т.76. №1. С. 23.
3. Shafranyosh I.I., Snegurskaya T.A., Margitich N.A., Bogacheva S.P., Lengyel V.I. and Zatsarinny O.I. // J. Phys. B. 1997. V.30. №9. P. 2261.
4. Burrow P.D., Michejda J.A., Comer J. // J. Phys. B. 1976. V.9. №18. P. 3225.
5. Романюк Н.И., Шпеник О.Б., Жуков А.И., Запесочный И.П. // Письма в ЖТФ. 1980. Т.6. №14. С. 877.
6. Шпеник О.Б., Совтер В.В., Завилопуло А.Н., Запесочный И.П., Контрош Е.Э. // ЖЭТФ. 1975. Т.69. №1(7). С.48.
7. Стаматович А., Шульц Г.Дж. // ПНИ. 1970. №3. С.115.
8. Бучельникова Н.С. // ЖЭТФ. 1958. Т. 35. №5. С. 1119.
9. Маргітич М. О., Шафраньош І. І. // Укр. фіз. журн. 2000. Т. 45. №1. С. 31.
10. Алексахин И. С., Гарга И. И., Запесочный И. П., Стародуб В. П. // Опт. и спектр. 1974. Т. 37. №1. С. 20.
11. Gedeon V., Lengyel V., Zatsarinny O., Kocher C.A. // Phys. Rev. A. 1999. V.59. №3. P. 2016

OBSERVATION OF NEGATIVE STRONTIUM ION FORMATION AND DECAY IN THE OPTICAL CHANNEL

V.I. Marushka, T.A. Snegurskaya, I.I. Shafranyosh

Uzhgorod National University, 46 Pidhirna str., Uzhgorod 88 000, Ukraine

Negative ions due to electron interaction with metastable strontium atoms at the energies below 2 eV were detected. The radiative mechanism of their decay is discussed. The energy dependences of negative strontium ion production and decay cross sections are presented.