

НАДПРУЖНЕ РОЗСІЯННЯ ЕЛЕКТРОНІВ НА МЕТАСТАБІЛЬНИХ АТОМАХ БАРІЮ

В.І. Марушка, С.Ю. Угрин, І.І. Шафраньoš

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

Дана робота започатковує вивчення процесу надпружного розсіяння електронів на збуджених атомах барію. Дослідження проводилося за допомогою методу електронної спектроскопії з використанням електростатичного аналізатора розсіяних електронів. Експерименти з надпружного розсіяння електронів на метастабільних атомах барію проведені в умовах електронного й атомного пучків, що перетинаються. Вперше на спектрі енергетичних втрат при енергії налітаючих електронів 13 eV виявлено надпружне розсіяння електронів на синглетному $6s5d\ ^1D_2$ та триплетних $6s5d\ ^3D_{1,2,3}$ метастабільних станах атома барію.

Вступ

Процеси зіткнень за участю електронів та атомів, зважаючи на їх фундаментальний характер, детально почали досліджуватися ще в першій половині нашого століття. Ці дослідження включали в себе вивчення пружних та непружних взаємодій електронів з нормальними атомами. Процеси зіткнень електронів із збудженими атомами до теперішнього часу детально не вивчалися. Тому на сьогодні майже відсутні дані, що стосуються процесів зіткнень електронів за участю збуджених, зокрема, метастабільних частинок. До цієї групи маловивчених явищ відноситься і явище надпружного розсіяння електронів на збуджених атомах, в результаті якого відбувається безвипромінювальний перехід атома у нижчий енергетичний стан, а кінетична енергія налітаючого електрона при цьому збільшується. Однак, незважаючи на розгорнуті дослідження в останні роки, надпружний процес поки що залишається невивченим.

При вивченні процесу надпружного розсіяння електронів використовують два основні експериментальні підходи:

дослідження в умовах газорозрядної плазми, коли отримуються лише дані про коефіцієнти швидкостей реакції [1-4] та дослідження в умовах електронного й атомного пучків, що перетинаються, коли можна безпосередньо спостерігати та реєструвати продукти реакції, а відповідно й визначати ефективні перерізи цього процесу [5-7]. В залежності від використаного підходу, є певні обмеження по класу досліджуваних елементів. Так, в умовах газового розряду вивчають надпружний процес на атомах ртуті [1-2] та інертних газів (гелію [3], криптону [4]), а в умовах пучків - на лужних (літію [5], натрію [6]) та лужноземельних (барію [7]) елементах. Дослідження в умовах електронного й атомного пучків є на сьогодні найбільш перспективним способом вивчення надпружного процесу. Однак і при цьому постановка експерименту супроводжується цілою низкою проблем, що виникають під час підготовки та проведення досліджень. Серед них можна виділити три найважливіші: перша - це створення в області взаємодій достатньої концентрації метастабільних атомів, друга

це одержання необхідної густини потоку пучка електронів при його допустимій енергетичній неоднорідності в області малих енергій, і, накінець, третя - це реєстрація надпружно розсіяних електронів на великому фоні електронів від супутніх процесів.

Експеримент

Дослідження процесу надпружного розсіяння електронів на метастабільних атомах проводилося в умовах електронного й атомного пучків, що перетинаються.

Блок-схема експериментальної установки приведена на рис. 1. Її основними частинами є: джерела електронного та атомного пучків, електронний аналізатор, камера зіткнень та вакуумна система її відкачки.

Пучок електронів формувався п'ятиелектродною електронною гарматою. Енергія електронів пучка складала 10-15 еВ, а його сила струму дорівнювала 25 мкА при енергетичній неоднорідності пучка $\Delta E_{1/2} \approx 0.35-0.40$ еВ.

Для одержання інтенсивного пучка метастабільних атомів барію був використаний розрядний спосіб збудження. Його суть полягає в тому, що пучок нормальних атомів, одержаний термічним способом, пропускають через розрядну камеру, де під дією електронів розряду атоми конвертуються з основного у збуджені стани. Короткоживучі збуджені стани радіаційно розпадаються на місці їх утворення, а очищений електричним полем конденсатора від заряджених частинок атомний пучок, який містить атоми барію в основному та метастабільних станах, через колімуючу щілину потрапляє в область зіткнень. Суттєвою характеристикою даного методу одержання пучка метастабільних атомів є стабільність його інтенсивності під час вимірювань. Більш детально методика одержання інтенсивного пучка метастабільних атомів барію та

вимірювання їх концентрації описані в роботі [8].

Електрони, розсіяні на атомах барію, спостерігалися під прямим кутом до електронного й атомного пучків. Енергетичний спектр розсіяних електронів вивчався за допомогою електронного аналізатора, створеного на базі 127° -циліндричного конденсатора.

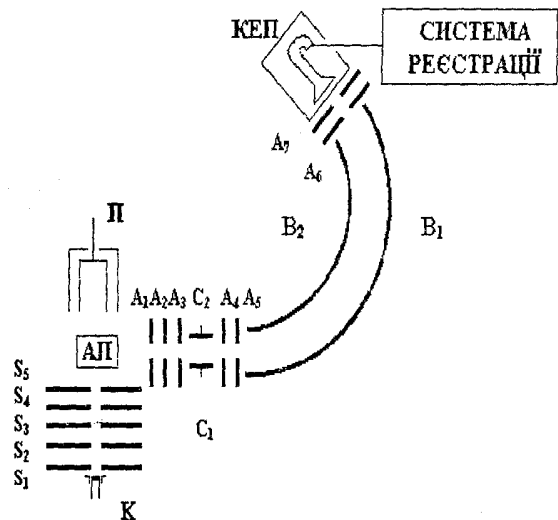


Рис. 1. Блок-схема вимірювань спектрів втрат енергії: К - катод; S₁-S₅ - електроди електронної гармати; П - приймач електронів; A₁-A₇ - діафрагми електронного аналізатора; C₁, C₂ - конденсатори; B₁, B₂ - обкладинки 127° -циліндричного конденсатора; АП - область взаємодії електронів з атомним пучком; КЕП - каналний електронний помножувач.

Основними частинами електронного аналізатора є вхідна одиночна електростатична лінза, побудована з трьох ніхромових плоских електродів з прямокутними щілинами, коректуючий конденсатор, 127° -циліндричний конденсатор з вхідною та вихідною щілинами, детектор електронів. Електростатичний 127° - конденсатор утворюється двома циліндричними молібденовими електродами з радіусами 32.7 мм та 37.5 мм.

Детектором електронів служив вторинний електронний помножувач каналного типу ВЕП-6 з коефіцієнтом підсилення 10^6 , який працював у режимі рахунку одиночних імпульсів. Він монтувався безпосередньо за вихідною щілиною аналізатора.

Джерела електронного та атомного пучків, електронний аналізатор знаходилися всередині камери зіткнень, зробленої з немагнітної нержавіючої сталі. Підготовка до вимірювань включала в себе тривале прогрівання і очищення в умовах високого вакууму поверхонь електродів електронної гармати та електронного аналізатора. Робочий вакуум створювався вакуумною системою відкачки, яка включала в себе форвакуумний, масляний та магніторозрядний насоси. Експеримент проводився при вакуумі $\sim 5 \cdot 10^{-8}$ Торр.

В експерименті був використаний режим запису спектрів втрат енергій. У цьому режимі фіксується енергія налітаючих електронів, а аналізатор настроюється на послідовне пропускання пружно, непружно та надпружно розсіяних електронів з різними енергіями. Сканування енергії електронів відбувалося в результаті лінійної зміни потенціалу вхідної щілини аналізатора. Роздільна здатність аналізатора у проведених дослідженнях дорівнювала 0.1 еВ.

Результати

Атом барію має синглетний та триплетні метастабільні стани. Енергії збудження цих станів складають (див. рис. 2): синглетного $6s5d \ ^1D_2$ - 1.41 еВ, триплетних $6s5d \ ^3D_1$, $6s5d \ ^3D_2$ і $6s5d \ ^3D_3$ станів - відповідно 1.12 еВ, 1.14 еВ і 1.19 еВ. В умовах здійснених досліджень кількісний склад атомного пучка в області його перетину з електронним пучком був таким: концентрація метастабільних атомів у синглетному стані $6s5d \ ^1D_2$ складала $\approx 6 \cdot 10^8 \text{ см}^{-3}$, концентрація ж

метастабільних атомів у триплетних $6s5d \ ^3D_{1,2,3}$ була $\approx 8 \cdot 10^9 \text{ см}^{-3}$, а концентрація нормальних атомів у станах $6s^2 \ ^1S_0$ складала $\approx 7 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$. Кут розходження атомного пучка становив $\sim 5^\circ$.

У проведених експериментах були записані спектри енергій розсіяних електронів на атомах барію в основному та метастабільних станах. Калібровка енергетичної шкали розсіяних електронів велася по положенню лінії піка пружно розсіяних електронів з відносною похибкою 10%.

Електронні спектри при енергії пучка електронів, рівній 13 еВ приведені на рис. 3. По осі абсцис відкладені втрати енергії електронів, які зазнали зіткнень з атомами барію, а по осі ординат – їх інтенсивність у довільних одиницях.

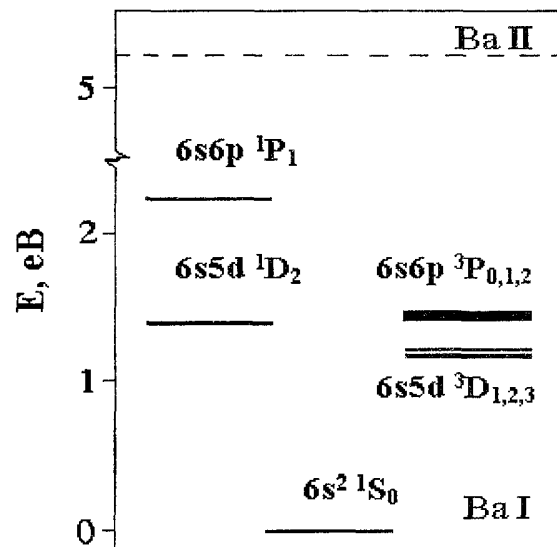


Рис. 2. Діаграма рівнів енергії атома барію.

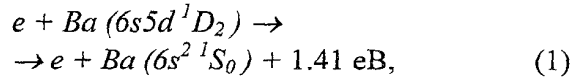
Записи велися як для випадку, коли в атомному пучку була наявна лише нормальна компонента - стан $6s^2 \ ^1S_0$ (спектр 1), так і для випадку, коли в пучку були і атоми у метастабільних - $6s5d \ ^1D_2$ та $6s5d \ ^3D_{1,2,3}$ - станах (спектр 2).

Розгляд електронних спектрів 1 і 2 вказує на чітку відмінність між ними.

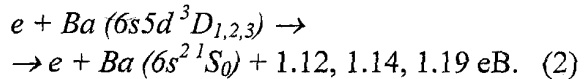
Проаналізуємо спочатку спектр 1. Домінуючий пік при нульовій втраті енергії характеризує процес пружного розсіяння. В області додатніх втрат енергій, а саме - в інтервалі їх значень 1-2.5 еВ - видно серію з двох піків. Розширений пік в області енергій 1-2 еВ слід віднести за рахунок процесів збудження нижніх енергетичних рівнів атома барію (див. рис. 2). Оскільки рівень фонового сигналу під час вимірювань був значний, то нам не вдалося розділити піки, що відповідають збудженню рівнів $6s5d\ ^3D_{1,2,3}$ і $6s6p\ ^3P_{0,1,2}$, хоч збудження групи цих станів, а також стану $6s6d\ ^1D_2$ чітко фіксується на електронних спектрах. Також на спектрі 1 виділяється пік, що відповідає збудженню $6s6p\ ^1P_1$. В області ж від'ємних втрат енергій спостерігаються лише фонові коливання сигналу.

Зовсім іншу картину бачимо при аналізі спектру 2. Хоч в області нульових та додатніх втрат енергій електронів спостерігається майже аналогічна до спектру 1 картина, в області від'ємних втрат при енергії 1-1.5 еВ помітно виділяються два піки, що не мають

аналогів на спектрі 1. Ці піки відповідають процесу надпружного розсіяння електронів на метастабільних атомах барію. Більший з них при енергії 1.4 еВ характеризує процес



а другий, менш інтенсивний, відноситься до процесу



Така сама картина спостерігається і при енергії електронного пучка, рівній 10 еВ, 11 еВ та 12 еВ.

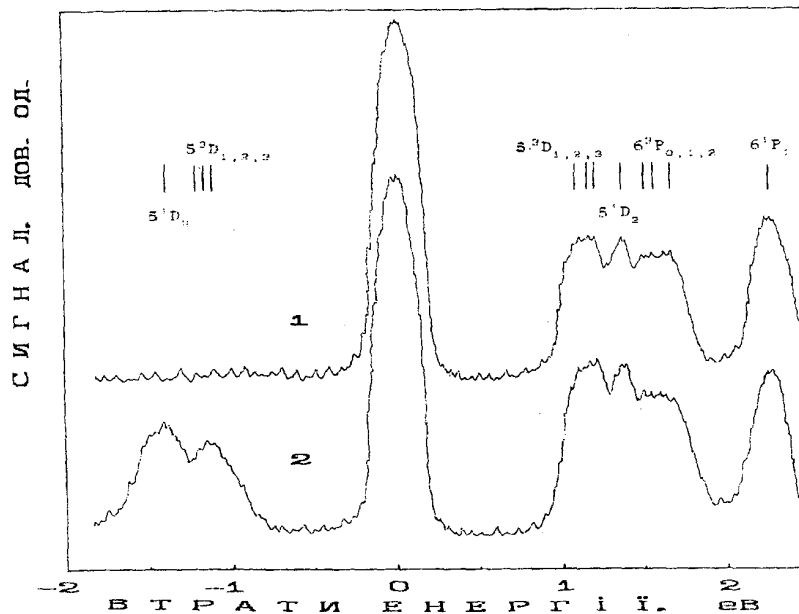


Рис. 3. Спектри енергетичних втрат електронів при енергії 13 еВ:

- 1 – метастабільна компонента відсутня в атомному пучку;
- 2 – метастабільна компонента наявна в атомному пучку.

Висновки

Проведені нами дослідження прямо показали на ефективний перебіг процесу надпружного розсіяння електронів на метастабільних атомах барію. На спектрі втрат енергій помітно спостерігаються піки, поява яких зумовлена дією надпружних електронів, утворених за

рахунок процесів (1) і (2). На даний час розробляється методика визначення енергетичної залежності ефективного перерізу надпружного процесу та знаходження його абсолютної величини.

1. Blagoev A., Kovachev S., Petrov G., Popov Ts., J. Phys. B. 25, 1599 (1992).
2. Казаков С.М., Коротков А.И., Прилежаева Н.А., Изв. вузов. Физ. 110 (1980).
3. Благоев А.Б., Каган Ю.М., Колоколов Н.Б., Лягушенко Р. И., ЖТФ. 44, 333 (1974), 339 (1974).
4. Агафонова Г. А., Колоколов Н. Б.,Торонов О. Г., Опт. и спектр. 53, 196 (1982).
5. Karaganov V., Bray I., Teubner P. J. O., Phys. Rev. A. 54, R9 (1996).
6. Jiang T.Y., Zuo M., Vušković L., Bederson B., Phys. Rev. Lett. 68, 915 (1992).
7. Cubaynes D., Bizau J.M., Gérard P., Wuilleumier F., Carré B., Picqué J.L., Ann. Phys. (Fr). 11, 197 (1986).
8. Шафраньош І.І., Шимон Л.Л., Маргітич М.О., УФЖ. 40, 532 (1995).

SUPERELASTIC ELECTRON SCATTERING ON THE METASTABLE BARIUM ATOMS

V.I. Marushka, S.Y. Ugrin, I.I. Shafranyosh

Uzhgorod State University, 294000, Uzhgorod, Voloshina str, 54

The present work begins the the study of the processes of the superelastic electron scattering on the excited Ba atoms. Investigations of the superelastic process were developed using the method of electronic spectroscopy with the help of the electronical analyzer of scattered electrons. Research of the superelastic electron scattering on the metastable Ba atoms were carried out under the conditions of the crossed electron and atomic beams. For the first time, it was discovered the superelastic electron scattering on the singlet $6s5d\ ^1D_2$ and triplet $6s5d\ ^3D_{1,2,3}$ metastable Ba atoms at the energetic loss spectra at the 13 eV electron energy.