

УДК 539.17.02, 546.48

Р.О. Федорко, Т.А.Снігурська, М.О.Маргітич,
В.В.Стецович, І.І. Шафраньош

Ужгородський національний університет, 88000, м. Ужгород, вул. Волошина, 45
e-mail: fedork@front.ru

ЕФЕКТИВНИЙ ПЕРЕРІЗ ІОНІЗАЦІЇ МЕТАСТАБІЛЬНИХ АТОМІВ КАДМІЮ ЕЛЕКТРОНАМИ

В даній роботі приводяться результати експериментальних досліджень іонізації атомів кадмію з метастабільних станів електронним ударом. Отримано абсолютну величину перерізу іонізації ($\sim 3.6 \cdot 10^{-15} \text{ см}^2$ при енергії електронів 25 еВ), енергетичну залежність перерізу іонізації. Пояснюються деякі механізми взаємодії електронів з метастабільними атомами.

Ключові слова: електронний удар, іонізації атомів кадмію, взаємодія електронів.

Вступ

В даному повідомленні вперше наводяться експериментальні результати з іонізації атомів кадмію з метастабільних станів електронами. Ця робота є продовженням циклу робіт з вивчення процесів іонізації збуджених атомів металів електронами, які виконані в нашій лабораторії [1–4].

На сьогоднішній день експериментальні дані з іонізації метастабільних атомів відомі лише для обмеженого числа атомних систем, а для атомів кадмію вони відсутні взагалі. Мала кількість робіт зумовлена труднощами при постановці експериментів, що пов'язані, в першу чергу, зі складнощами одержання пучків метастабільних атомів достатніх концентрацій, вимірюванні цих концентрацій та реєстрацією малої кількості іонів на великому фоні супутніх процесів. Незначна кількість робіт присвячена взаємодії електронів з атомами кадмію в основному стані, наприклад [5, 6]. Такий стан експериментальних досліджень не дає поштовху для розвитку теоретичних розрахунків і побудові адекватних моделей електрон-атомних взаємодій.

Експериментальна установка та методика досліджень

Експериментальні дослідження іонізації метастабільних атомів кадмію прово-

дилися в умовах атомного та електронного пучків, що перетинаються (див. рис. 1). В даному повідомленні ми коротко зупинимось на особливостях проведення експериментів з атомами кадмію. Детальний опис експерименту і методики вимірювань наведено в роботі [1].

Пучок метастабільних атомів кадмію був отриманий розрядним способом. Параметри розряду: струм – 200 мА, напруга – 90 В. Ступінь конвертації атомів у метастабільні стани сягав $\sim 10\%$. В якості джерела пучка електронів використовувалася п'ятиелектродна електронна гармата. Сила струму пучка електронів була 1–2 мкА при енергетичній неоднорідності $\Delta E_{1/2} \approx 0.3$ еВ (на половині висоти розподілу). Калібрування енергетичної шкали електронів здійснювалося за положенням порогу іонізації атомів Cd з основного стану з точністю ± 0.15 еВ. Система реєстрації іонів працювала в аналоговому режимі. Абсолютна величина перерізу іонізації визначалась за величиною струму утворених іонів на основі співвідношення:

$$i_i^m = i_e n^m \sigma_i^m l, \quad (1)$$

де i_i^m – струм іонів; i_e – струм пучка електронів; n^m – концентрація метастабільних атомів; σ_i^m – переріз іонізації

метастабільних атомів; l – шлях електронів в атомному пучку.

Концентрація метастабільних атомів визначалась абсорбційним методом [1] за величиною самопоглинання спектральних ліній $\lambda=467,8\text{ нм}$; $\lambda=480,6\text{ нм}$; $\lambda=508,6\text{ нм}$ (перехід $5^3P_J-5^3S_1$). Виміряна таким чином концентрація атомів Cd у метастабільних $5s5p^3P_{0,2}$ станах складала $\sim 5 \cdot 10^9\text{ см}^{-3}$. Всі інші величини, які входять у формулу (1), вимірювались безпосередньо в експерименті.

Похибка при визначенні абсолютного перерізу іонізації не перевищувала 60 %, а при вимірюванні відносного ходу енергетичної залежності – 12 %.

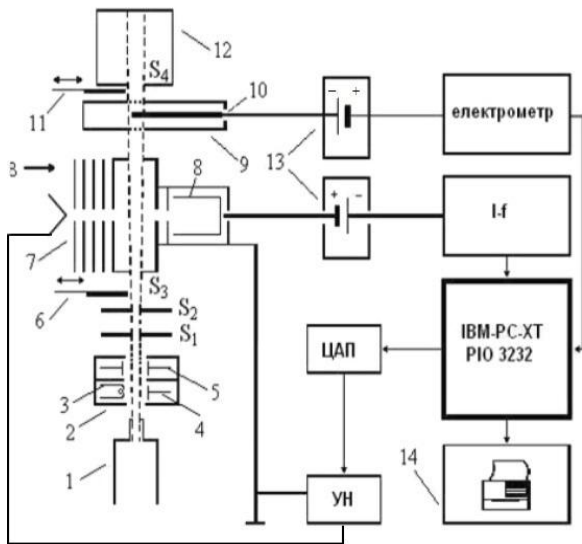


Рис. 1. Блок-схема експериментальної установки:
1 – тигель; 2 – розрядна камера; 3, 4 – катод і анод розрядної камери; 5 – очищувальний конденсатор; $S_1 - S_4$ – колімуючі щілини; 6, 11 – засувки атомного пучка; 7 – електронна гармата; 8 – колектор електронів; 9 – колектор іонів; 10 – зонд; 12 – колектор атомів; 13 – гальванічні джерела потенціалів; 14 – друкуючий пристрій; І-І – перетворювач «струм – частота»; ЦАП – цифро – аналоговий перетворювач; УН – підсилювач напруги.

Результати досліджень та їх обговорення

Спрощена діаграма рівнів атома кадмію представлена на рис. 2. Основний стан атома кадмію – $4d^{10}5s^2$, йому відповідає терм 5^1S_0 (див. рис. 2.). Спектр характеризується наявністю синглетних і триплетних серій. Найбільш глибокими збудженими є метастабільні стани $5s5p^3P_{0,2}$, (енергії 3,73 еВ і 3,94 еВ,

відповідно). У спектрі кадмію спостерігаються інтеркомбінаційні переходи між синглетними і триплетними рівнями. При одночасному збудженні двох електронів виникають так звані "зміщені" рівні, частина яких попадає в область континууму, так звані атомні автоіонізаційні стани (АІС). Крім цього, з помітною ефективністю відбувається процес збудження електронів внутрішньої $4d^{10}$ оболонки. При цьому також виникають АІС, найбільш глибокі з яких наведені на рис. 2. Потенціал іонізації атома кадмію рівний 8,992 еВ.

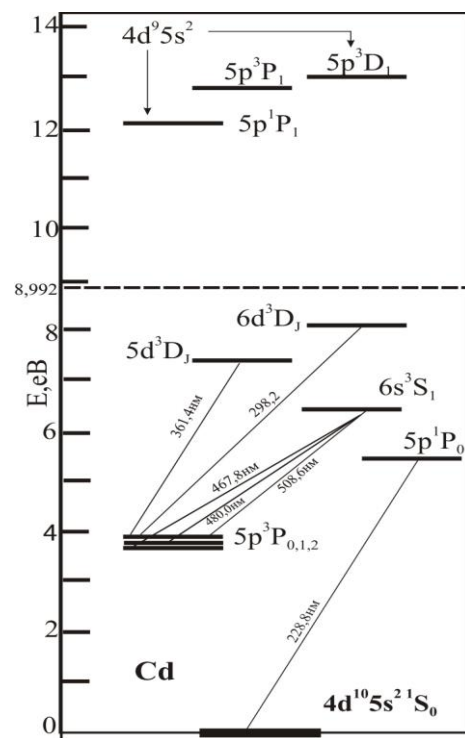


Рис. 2. Спрощена діаграма рівнів атома кадмію.

В результаті експериментальних досліджень були отримані абсолютний переріз іонізації метастабільних атомів кадмію, а також енергетична залежність перерізу в діапазоні енергій налітаючих електронів від порогу процесу до 35 еВ. На рис. 3 представлена енергетична залежність перерізу іонізації атомів Cd з метастабільних станів.

Як видно з рисунка, функція іонізації атомів кадмію з метастабільних станів характеризується певними закономірностями:

– енергетичний поріг іонізації атомів з метастабільних станів становить

~5,3 еВ, що відповідає процесу іонізації із триплетних метастабільних станів $5s5p\ ^3P_{0,2}$ (див. рис. 2.);

– максимум функції іонізації атомів з метастабільних станів знаходиться в області ~ 25 еВ.

– на функції іонізації метастабільних атомів спостерігаються особливості у вигляді максимумів і зламів при енергіях 8,3 – 9,3; 12,5; 18,5 еВ. Для пояснення природи цих особливостей на функції іонізації розглянемо механізм утворення іонів кадмію з основного та метастабільного станів електронним ударом. Так, утворення однозарядного іона кадмію з основного стану атома відбувається внаслідок одноелектронного або двоелектронного переходу за схемою (2, 3).

У результаті одноелектронного переходу атомний s-електрон переводиться у континуум і утворюється однозарядний іон (2).

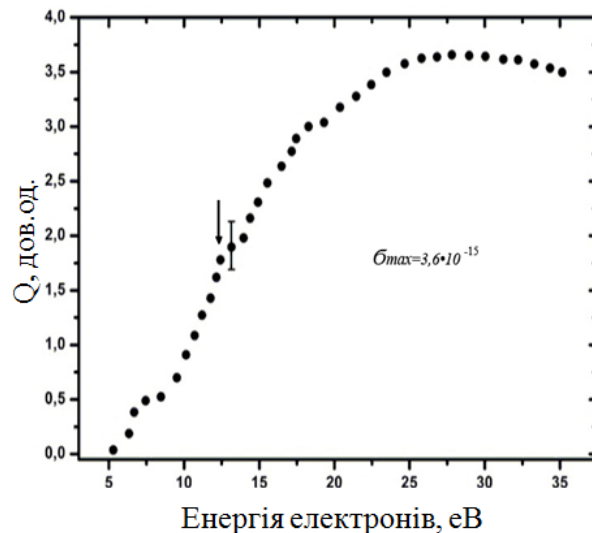
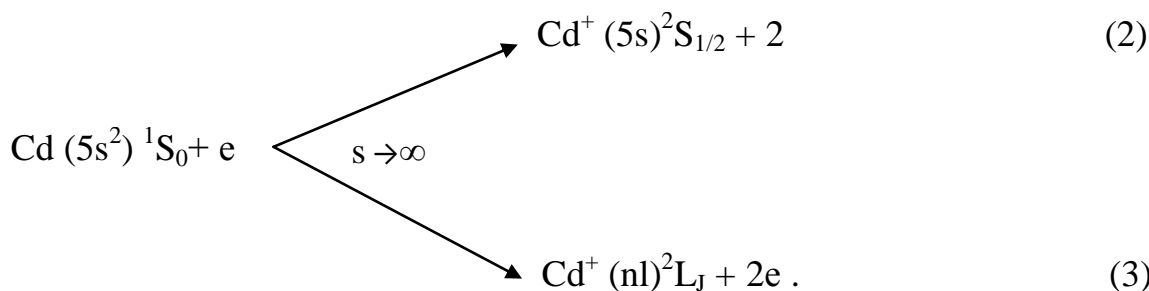


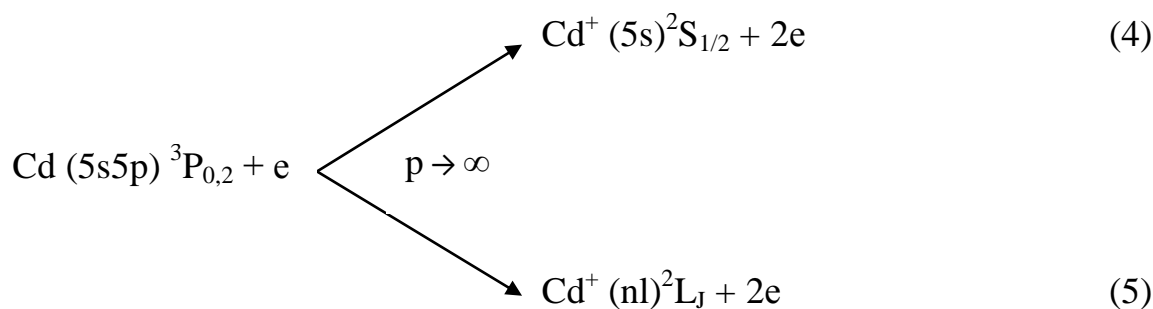
Рис. 3. Енергетична залежність перерізу іонізації атомів Cd з метастабільних $5s5p\ ^3P_{0,2}$ станів.



При двоелектронному переході один із зовнішніх $5s^2$ -електронів переводиться в континуум, а другий – на один з дискретних рівнів однозарядного іона Cd (тут n та l – відповідно головне та орбітальне квантові числа електронної

конфігурації іона, 2L_J – терм збудженого стану іона) (3).

Механізм утворення однозарядних іонів Cd з метастабільних атомних станів є більш різноманітний. Тут можливі наступні процеси:



(в континуум переводиться атомний p-електрон); _____

у 1,7 разів [7], в той же час відомо, що відношення перерізів іонізації з метастабільного і основного станів, отримане експериментально, для деяких атомів, наприклад, Mg, Ca [2, 4] значно більше. Наведене вище породжує сумнів у придатності даного методу для розрахунків процесу іонізації атомів із метастабільних станів.

Висновки

В результаті експериментальних досліджень іонізації метастабільних атомів кадмію електронами отримано абсолютну величину перерізу іонізації та його енергетичну залежність. Зроблено аналіз процесів, що можуть приводити до появи особливостей, які спостерігаються на функції іонізації. Запропоновані деякі механізми взаємодії електронів з метастабільними атомами кадмію.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Марушка В.І., Федорко Р.О., Маргітич М.О., Шафраньош І.І. Іонізація метастабільних атомів талію // Науковий Вісник Ужгородського університету. Серія Фізика. – 2007. – № 20. – С. 50–54.
2. Shafranyosh I.I., Margitich N.A. Electron-impact ionization of the metastable Mg (...2p⁶3s3p ³P_{0,2}) atoms // Z.Phys.D. – 1996. – №2. – V. 37. – P. 97–101.
3. Маргітич М.О., Шафраньош І.І. Переріз іонізації метастабільних атомів стронцію електронним ударом // УФЖ. – 2000. – Т.45. – №1. – С. 31–34.
4. Shafranyosh I.I., Margitich M.O. Electron-impact ionization cross section for metastable Ca (...4s4p ³P_{0,2}) atoms // J. Phys. B. – 2000. – V.33. – №5. – P. 905–910.
5. Hashizume A., Wasada N. Electron impact ionization efficiency curve of cadmium // J. Phys. B: Atom. Molec. Phys. – 1980. – V.13. – P. 4865–4875.
6. Kontros J.E., Szoter L., Chernyshova I.V., Shpenik O.B. Cross sections of slow electron scattering by cadmium atoms. // J.Phys.B., – 2002. – V.35. – P.2195–2203.
7. Deutsch H., Becker K., Matt S. and Mark T.D. Calculated cross sections for the electron – impact ionization of metastable atoms // J.Phys.B. – 1999.– V.32. – P.4249 – 4259.

Стаття надійшла до редакції 29.05.2011

R.O. Fedorko, T.A. Snegurskaya, M.O. Margitych,
V.V. Stetsovych ,I.I. Shafranyosh
Uzhhorod National University, 88000, Uzhhorod, Voloshyn Str., 54

EFFECTIVE IONIZATION CROSS SECTION OF METASTABLE CADMIUM ATOMS BY ELECTRONS

In this paper, we present the results of experimental studies on electron-impact ionization of cadmium atoms from the metastable states. The absolute value of ionization cross section was obtained ($\sim 3.6 \cdot 10^{-15} \text{ cm}^2$ at the 25 eV incident electron energy) together with the energy dependence of ionization cross section. Some mechanisms of electron interaction with metastable atoms were analyzed.

Key words: electron-impact, ionization of cadmium atoms, electron interaction.

Р.О. Федорко, Т.А. Снегурская, М.О.Маргитич,

В. В. Стецович, И.И. Шафраньош

Ужгородский национальный университет, 88000, Ужгород, ул. Волошина, 54

ЭФФЕКТИВНОЕ СЕЧЕНИЕ ИОНИЗАЦИЯ МЕТАСТАБИЛЬНЫХ АТОМОВ КАДМИЯ ЭЛЕКТРОНАМИ

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований ионизации атомов кадмия из метастабильных состояний электронным ударом. Получены абсолютное значение сечения ионизации ($\sim 3.6 \cdot 10^{-15} \text{ см}^2$ при энергии электронов 25 эВ), энергетическая зависимость сечения ионизации. Приводятся некоторые механизмы взаимодействия электронов с метастабильными атомами.

Ключевые слова: электронный удар, ионизации атомов кадмия, взаимодействия электронов.