

ОСОБЛИВОСТІ ДОСЛІДЖЕНЬ НЕПРУЖНИХ ПРОЦЕСІВ ЗІТКНЕНЬ ЕЛЕКТРОНІВ З ІОНАМИ ПІДГРУПИ ЦИНКУ

А.М.Немет

Інститут електронної фізики НАН України,
вул. Університетська 21, Ужгород, 88000
e-mail: iep@iep.uzhgorod.ua

Спектроскопічним методом в умовах пучків, що перетинаються під прямим кутом, досліджено збудження окремих компонент резонансного пр²P дублету іонів Zn⁺ і Cd⁺ при їх зіткненні з повільними моноенергетичними електронами. Виявлено ряд особливостей як методичного характеру, так і стосовно механізмів збудження резонансних ліній цих іонів. На енергетичних залежностях ефективних перерізів збудження виявлено чітко виражену структуру як до порогів збудження цих ліній, так і за ними. Ця структура має резонансний характер і пов'язана з захопленням налітаючого електрона іоном та утворенням і розпадом автоіонізаційних станів атомів. Структурні особливості до порогу збудження обумовлені радіаційним розпадом автоіонізаційних станів у процесі діелектронної рекомбінації, а за порогом – у процесі резонансного збудження. Резонансний внесок в ефективний переріз збудження іона Cd⁺ суттєвіший у порівнянні з іоном Zn⁺, що пояснюється більш значним впливом кореляційних та релятивістських ефектів.

Дослідження іонів підгрупи цинку на сьогодні є особливо актуальним завданням фізики електрон-іонних зіткнень. Це обумовлено, по-перше, будовою електронної оболонки іонів Zn⁺ та Cd⁺. Вони особливі тим що, на відміну від іонів лужноземельних металів, у них субвалентною є не (n-1)p⁶, а (n-1)d¹⁰-підоболонка. При цьому на зовнішній оболонці у представників обох груп є один п-електрон. Енергії збудження валентної та субвалентної оболонки іонів Zn⁺ та Cd⁺ суттєво не відрізняються, тому в результаті ефективного збудження d¹⁰-підоболонки додатково утворюється цілий ряд станів, які значно ускладнюють спектр та механізм збудження цих іонів. Порівняння залежностей ефективних перерізів збудження від енергії налітаючих електронів лужноземельних іонів та іонів підгрупи цинку дає нам змогу виявити вплив d-підоболонки на непружні процеси, що відбуваються у валентній оболонці. Розв'язання цієї проблеми носить глибокий фундаментальний характер. По-друге, до-

слідження збудження іонів Zn⁺ та Cd⁺ має й прикладне значення (наприклад, для пояснення механізму генерування іонних переходів у лазерах на парах металів, моделювання процесів, що відбуваються в різних астрофізичних об'єктах та інші).

Наші дослідження проводилися спектроскопічним методом в умовах пучків, що перетинаються під прямим кутом. Схему основних вузлів експериментальної установки "Іон", яка детально описана в роботі [1], представлено на рис. 1. Принцип її дії полягав у наступному. Гранули досліджуваного металу нагрівалися у резервуарі. При цьому атоми, випаровуючись в іонізаційну камеру, іонізувалися під впливом низьковольтного дугового розряду, що горів між вольфрамовим спіральним катодом та вихідною щільною камери. Іони прискорювалися до енергії 600 еВ, фокусувалися іонно-оптичною системою та відокремлювалися від атомів пролітаючи між обкладинками 90°-го електростатичного селектора. Після проходження через область зіткнень вони потрапляли у колектор іонів – гли-

бокий циліндр Фарадея. Величина іонного струму становила $6 \div 7 \times 10^{-7}$ А.

Стрічковий пучок електронів у діапазоні енергій $4 \div 150$ еВ і величиною струму $1 \div 1.5 \times 10^{-4}$ А формувалася трианодною електронною гарматою і після зіткнення з іонами реєструвався колектором електронів. Моноенергетичність електронів становила $\Delta E_{1/2} = 0.3 \div 0.4$ еВ на половині висоти кривих розподілу електронів за енергією. Випромінювання, що виникало внаслідок зіткнення іонів з електронами, спектрально аналізувалося 70°-ним вакуумним монохроматором ($\Delta\lambda/\lambda = 1.7$ нм/мм), який був побудований за схемою Сейя-Наміока, і реєструвалося фотоелектронним помножувачем типу ФЭУ-142. Для виявлення корисного сигналу на фоні шумів різного походження було застосовано методику одночасної модуляції обох пучків прямокутними імпульсами напруги, зсунутими на 1/4 періоду модуляції.

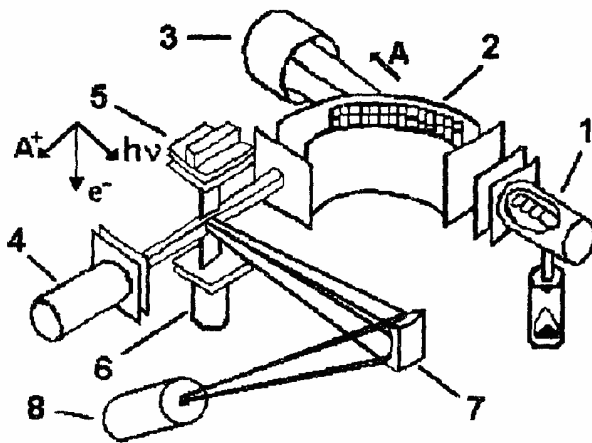


Рис. 1. Схема основних вузлів апаратури для отримання електронного й іонного пучків та реєстрації випромінювання 1 – джерело іонів, 2 – електростатичний селектор, 3 – колектор атомів, 4 – колектор іонів, 5 – електронна гармата, 6 – колектор електронів, 7 – дифракційна ґратка вакуумного монохроматора, 8 – фотодетектор.

Експерименти з такими металами, як цинк і кадмій, мають специфічні особливості. Вони пов'язані, по-перше, з тим, що атоми цих елементів дуже погано конденсуються і, потрапляючи в область зіткнень, значно збільшують рівень заважаючих фонів. Крім того, потрапляючи

на керамічні ізолятори струмопровідних деталей установки, вони значно погіршують їх ізоляційні властивості. Для зменшення цього впливу було закрито всі отвори, через які пари атомів могли б потрапити в область зіткнень, а керамічні ізолятори було захищено від прямого попадання на них парів металів.

По-друге, іони у джерелі можуть збуджуватися на довгоживучі $(n-1)d^9ns^2$ рівні з часом життя $\approx 10^3$ нс і, потрапивши в область зіткнень, суттєво підвищити фон. Щоб звести до мінімуму цей ефект, необхідно було підібрати оптимальний режим роботи джерела іонів. При цьому експериментально підбиралася відстань між катодом іонного джерела та стінкою розрядної камери, розрядна напруга зменшувалася до можливого мінімуму (< 12 В), коли розряд ще стабільно горить, але іони вже з малою ймовірністю збуджуються на довгоживучі стани, було підібрано відповідний температурний режим іонного джерела та області зіткнень.

По третє, іони при зіткненні з поверхнею різних деталей рекомбінують. Внаслідок цього в області зіткнень значно підвищується концентрація атомів, а тим самим і фон від зіткнень атомів з зарядженими частинками пучків. Такий механізм рекомбінації іонів ефективно реалізувався між обкладками електростатичного селектора у тих півперіодах модуляції, в яких іони відхиляються від вихідної щілини селектора і бомбують стінку. У зв'язку з цим виникла потреба у розробці принципово нового способу модуляції іонів. Його суть полягала у тому, що іонний пучок модулювався не змінним електростатичним полем селектора, а шляхом його запирання потенціалом прискорюючої лінзи іонно-оптичної системи безпосередньо при виході з іонізаційної камери. Щоб подати модулюючі імпульси на цю лінзу, необхідно було вдосконалити блок живлення іонно-оптичної системи. Було виявлено ще одну перевагу цього методу, яка полягала в тому, що змінне поле лінзи сприяє розпаду довгоживучих іонних станів, зменшуючи цим самим

пов'язано з сильнішим проявом релятивістських та кореляційних ефектів.

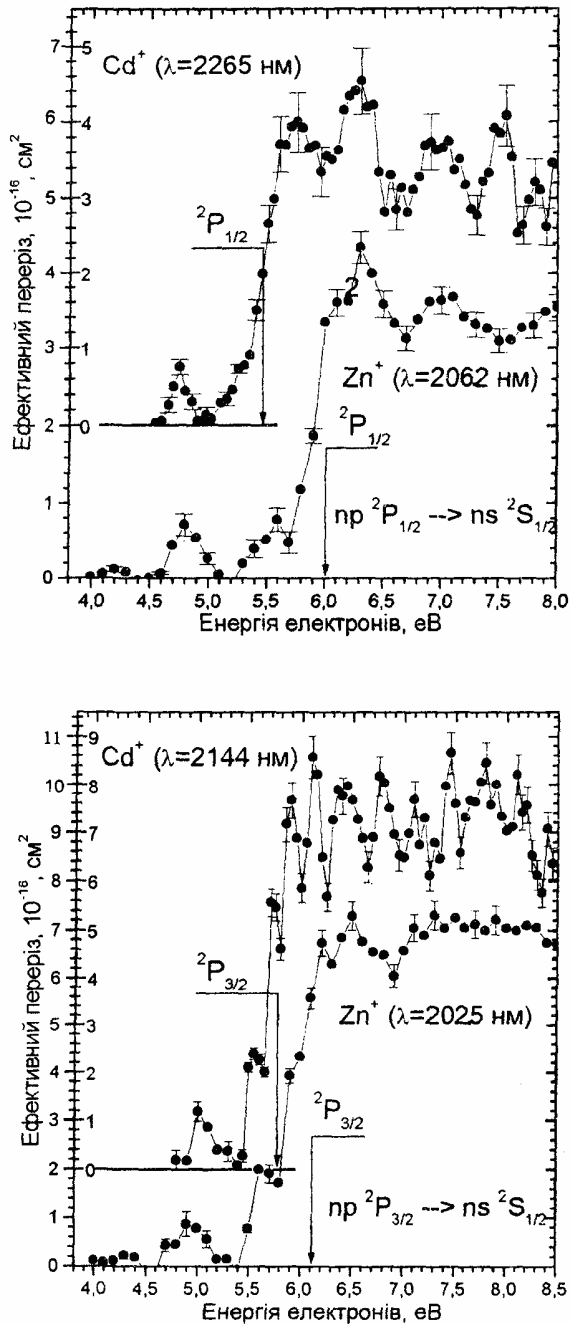


Рис. 3. Біляпорогова область ФЗ компонент резонансних ліній іонів Zn^+ та Cd^+

Для порівняння наших результатів з результатами інших експериментів та теоретичних досліджень отримані нами залежності ефективних перерізів збудження резонансних ліній було просумовано у кожній точці (див. рис. 4.). Аналіз порівняння для іонів Zn^+ показав, що по-

чинаючи з 20 еВ, спостерігається добре співпадіння наших даних з експериментальними результатами [3], а біля порогу – з результатами [4], виконаними методом енергетичних втрат в умовах сумішених пучків. Результати досліджень збудження іонів Cd^+ , виконані в роботі [5], приблизно у 5 разів перевищують наші дані. Це розходження пояснюється поганими умовами експерименту [5].

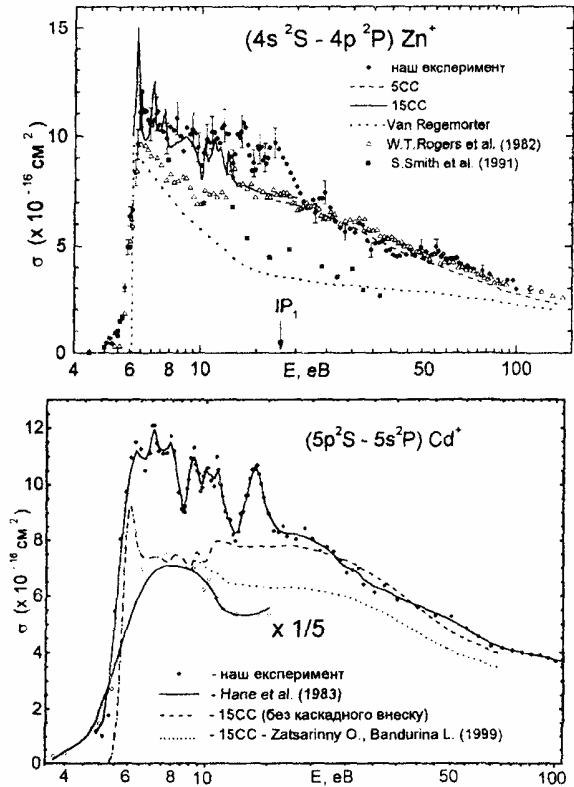


Рис. 4. Порівняння результатів збудження іонів Zn^+ та Cd^+ з результатами інших експериментів та теоретичних розрахунків

Що стосується порівняння з теоретичними розрахунками [6], які були виконані методом сильного зв'язку з урахуванням 5 та 15 станів (5CC та 15CC), та напівемпіричним розрахунком за формулою Ван-Режемортера, то для обох об'єктів спостерігається добра узгодженість з експериментом за потенціалом іонізації іонів. Поблизу порогів збудження, де резонансні ефекти домінують, спостерігається досить велика розбіжність між теорією і експериментом. Це пояснюється тим, що теорія на даний час ще не може враховувати всіх ефектів, які

мають місце у механізмах збудження таких складних багатоелектронних атомних систем.

Таким чином, при дослідженні ФЗ електронним ударом окремих компонент резонансного дублету іонів Zn^+ та Cd^+ нами вперше було виявлено чітку резонансну структуру. Вона пов'язана зі збудженням системи "електрон+іон" в АІС атомів Zn та Cd , які розпадаються як в електронному каналі у процесі резонансного збудження, так і в радіаційному – у процесі діелектронної рекомбінації. Виявлені опорозгові резонанси є

діелектронними сателітами резонансних ліній Zn^+ та Cd^+ . У порозі отриманих залежностей діелектронні сателіти спотворюють реальний хід кривої збудження. Резонансна структура ФЗ іона Cd^+ більш виражена, ніж у випадку іона Zn^+ , що пов'язано з більш сильним проявом релятивістських та кореляційних ефектів.

Автор висловлює подяку співробітникам Інституту електронної фізики НАН України Імре А.Й., Гомонай Г.М. та Вукстичу В.С. за допомогу при виконанні дослідницької роботи.

Література

1. Г.М.Гомонай, А.Й.Імре, *УФЖ* **41**, 1032 (1996).
2. А.М.Немет, В.С.Вукстич, в: *Науково-технічний збірник "Проблеми економічного та соціального розвитку регіону і практика наукового експерименту"*. Вип. 13., (Ужгород - Київ, 1997), с. 42-45.
3. W.T.Rogers, J.O.Olsen, G.H.Dunn, *Phys. Rev. A* **18**, 1353 (1978).
4. S.J.Smith, A.Chutjian, J.Mitroy et al. *Phys. Rev. A* **48**, 292 (1993).
5. K.Hane, T.Goto, S.Hattori, *J. Phys. B* **16**, 629 (1983).
6. O.Zatsarinny, L.Bandurina, *J. Phys. B* **32**, 1, (1999).

SPECIFIC FEATURES OF INVESTIGATIONS OF INELASTIC PROCESSES AT COLLISIONS OF ELECTRONS WITH ZINC-SUBGROUP IONS

A.M.Németh

Institute of Electron Physics, Ukr. Nat. Acad. Sci.,
Universytetska St. 21, Uzhhorod, 88000
e-mail: iep@iep.uzhgorod.ua

Spectroscopic studies of excitation of separate components of resonant np^2P doublet of Zn^+ and Cd^+ ions at their collisions with slow monoenergetic electrons are performed using the crossed-beam technique. A number of features both concerning technique and related to excitation mechanism of these ions are revealed. A distinct structure at the energy dependences of the effective cross-sections is revealed both below and above the excitation threshold. The structure is of resonant character and is related to the capture of the incident electron by the ion and with formation and decay of the autoionizing states of the atoms. The structural features below the excitation threshold are caused by radiative decay of autoionizing states in course of dielectronic recombination; and above the threshold in course of the resonant excitation. The resonant contribution of Cd^+ ion into the excitation cross section is more significant than that of Zn^+ ion, what is explained by the considerable influence of correlative and relativistic effects.