

# ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДОМ ДОПЛЕРІВСЬКОЇ ТОМОГРАФІЇ ВТОРИННОЇ ЕМІСІЇ ЗБУДЖЕНИХ АТОМІВ Na ПРИ ОПРОМІНЕННІ ІОНАМИ $K^+$ ПОВЕРХОНЬ NaCl ТА Na-Sn

**В.В.Кузьма, О.М.Конопльов, А.С.Бобровник, В.О.Мастюгін, Г.Ю.Подгорецька, В.Г.Дробнич**

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

Найбільш інформативні диференціальні характеристики емісії збуджених атомів Na з поверхонь NaCl та Na-Sn досліджено методом доплерівської томографії. Виявлено, що ці характеристики для лужно-галоїдного кристалу та металічного сплаву є подібними. Зроблено висновок, що електронно-обмінний механізм збудження атомів Na є головним для обох випадків.

Для отримання вичерпної інформації про потік відлітаючих від поверхні атомних частинок, збуджених в той чи інший стан "і", використовується метод доплерівської томографії (ДТ) [1-3]. Він дозволяє отримувати трьохвимірний розподіл  $F_i(\mathbf{v})$  цих частинок за швидкостями.

Методом ДТ достатньо детально вивчена іонно-фотонна емісія простих металів [4] і зроблено висновок, що збуджені стани вторинних атомів металу формуються через відомий електронно-обмінний механізм.

В роботі [5] методом ДТ виконано експериментальні дослідження іонно-фотонної емісії лужно-галоїдного кристалу (ЛГК) NaCl. Отримані дані дозволили припустити, що і в цьому випадку основним механізмом збудження вторинних атомів є електронно-обмінний.

Метою даної роботи є перевірка цієї гіпотези шляхом дослідження методом ДТ у однакових експериментальних умовах розподілу за швидкостями  $F_i(\mathbf{v})$  збуджених атомів Na, розпорошених з поверхні металу та ЛГК.

Для розв'язання поставленої задачі вдосконалено техніку, методику, а також математичне і програмне забезпечення ДТ. Зокрема, 1) створено оптимально пристосовану до реалізації методу автоматизовану систему аналізу, реєстрації та накопичення первинних експериментальних

даних. Використання цієї системи дозволило суттєво збільшити об'єми експериментальних даних і, відповідно, практично виключити похибки, пов'язано з їх інтер- і екстраполяцією. 2) Розроблені і програмно реалізовані нові алгоритми відновлення розподілів  $F_i(\mathbf{v})$  із первинних даних. Ці алгоритми, на відміну від відомих, враховують всю наявну апіорну інформацію про описані вище розподіли, тобто забезпечують максимальну точність відновлення.

В якості об'єктів досліджень вибрано лужно-галоїдний кристал NaCl і металічний сплав Na-Sn. Мішень Na-Sn представляє собою сплав чистих металів Na та Sn, взятих в рівних атомних пропорціях. Вона виготовлена в вакуумних умовах і має температуру плавлення біля  $200^\circ\text{C}$ . Спектри випромінювання цих об'єктів, отримані при бомбардуванні мішені іонами  $K^+$  під кутом  $45^\circ$  від нормалі до поверхні і таким самим кутом збору випромінювання, представлено на рис.1 та рис.2. Вони одержані на установці "Доплерівський томограф", що працювала в режимі іонно-фотонного спектрометра. Із наведених спектрів видно, що резонансна лінія NaI 589.0 нм відокремлена від інших характеристичних ліній, які могли б вплинути на форму її доплерівського контуру. Цей факт є суттєвим, оскільки всі подальші виміри пов'язані саме з вимірюванням до-

додаткових контурів резонансної лінії NaI 589.0 нм збуджених атомів Na, розпорошених з поверхонь ЛПК та сплаву.

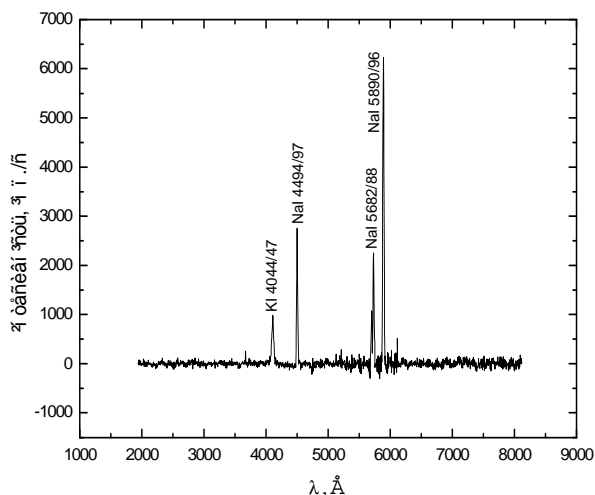


Рис. 1. Спектр іонно-фотонної емісії NaCl

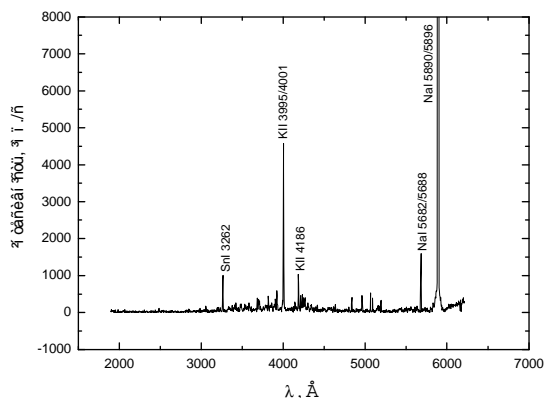


Рис. 2. Спектр іонно-фотонної емісії Na-Sn

Всі дослідження проводились при нормальному падінні на поверхню полікристалу NaCl та сплаву Na-Sn іонів  $K^+$  з енергією 6.4 кеВ у вакуумі  $10^{-8}$  Тор.

Схема експерименту приведена на рис. 3. Свічення, що випромінюється збудженими атомами Na у вибраному напрямі  $I$ , за допомогою дзеркал 2, 3 і лінзи 4 фокусували на вхідну щілину монохроматора 5. Випромінювання на довжині хвилі резонансної лінії NaI 589.0 нм, що пройшло через монохроматор, за допомогою лінзи 6 формували у паралельний пучок променів, фільтрували скануючим інтерферометром Фабрі-Перо 7 і фокусували лінзою 8 на площину діафрагми 9. Інтенсивність  $\Delta I_i$  центральної частини інтерференційної ка-

ртини, що приходиться на отвір діафрагми, реєстрували фотоелектронним помножувачем 10. Скануючи інтерферометром довжину хвилі, що відповідає центру інтерференційної картини, вимірювали контур  $\Delta I_i(v_1)$  резонансної лінії NaI 589.0 нм. Апаратну функцію  $a(v)$  інтерферометра Фабрі-Перо отримували використовуючи лінію NaI 589.0 нм еталонної лампи зі змінним порожнистим катодом 11 [6].

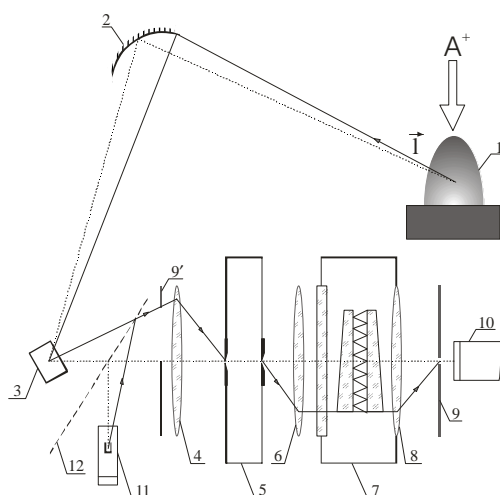


Рис. 3. Схема експерименту:

1 - мішень і ореол, що світиться; 2 - сферичне дзеркало; 3 - плоске дзеркало; 4, 6, 8 - лінзи; 5 - монохроматор; 7 - барокамера з інтерферометром Фабрі-Перо; 9, 9' - діафрагми; 10 - ФЕП; 11 - лампа з порожнистим катодом; 12 - дзеркало, що знімається.

Конттури  $\Delta I_i(v_1)$  було виміряно для 13 напрямів  $I$  спостереження випромінювання, що складали з нормаллю до поверхні мішені кути  $\alpha = 7, 11, 15, 19, 24, 30, 39, 47, 56, 66, 72, 75$  і  $90$  градусів. Азимутальна орієнтація векторів  $I$  не варіювалась, оскільки конттури  $\Delta I_i(v_1)$  від неї не залежать (внаслідок аксіальної симетрії потоку атомів Na).

За допомогою згаданого вище математичного і програмного забезпечення методу доплерівської томографії набори виміряних контурів  $\Delta I_i(v_1)$  трансформувались у розподіли  $F_i(v)$  і, в подальшому, у розподіли  $F_i(E, \theta)$  збуджених атомів Na за кінетичними енергіями  $E$  і полярними кутами вильоту частинок  $\theta$ , що відраховуються від нормалі до поверхні.

На рис.4, 5 представлено розподіли  $F_i(E, \theta)$ , отримані для випадків бомбардування поверхонь NaCl та Na-Sn.

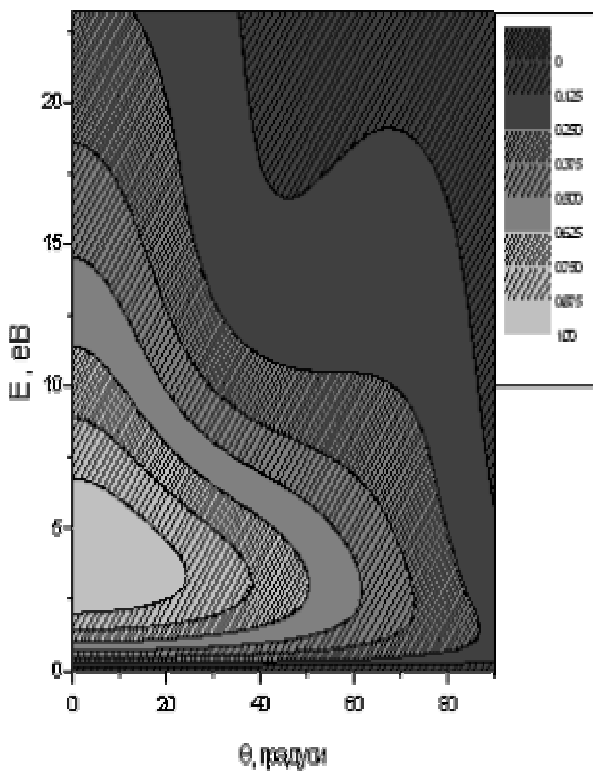


Рис. 4. Розподіл  $F_i(E, \theta)$  вторинних збуджених атомів Na за кінетичними енергіями та полярними кутами вильоту з поверхні NaCl.

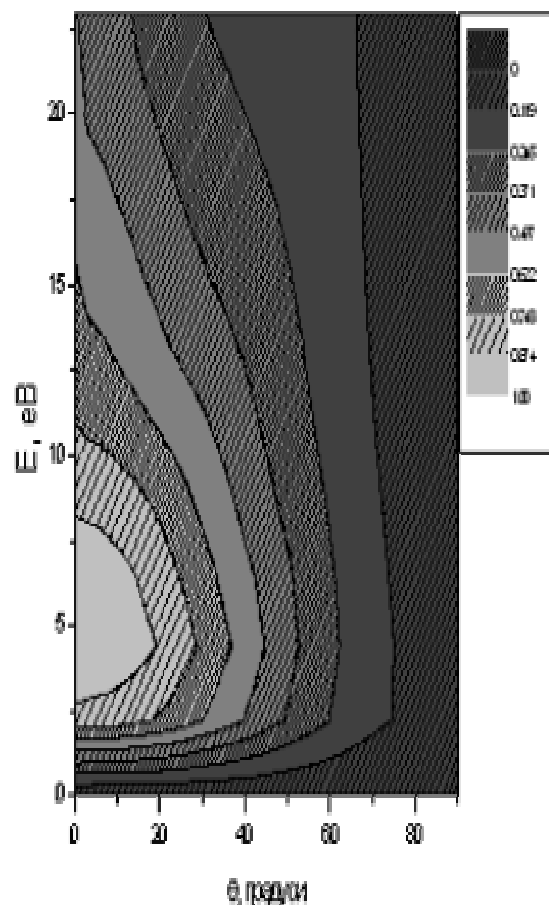


Рис. 5. Розподіл  $F_i(E, \theta)$  вторинних збуджених атомів Na за кінетичними енергіями та полярними кутами вильоту з поверхні Na-Sn.

Порівняння цих функцій показує, що вторинна емісія збуджених атомів Na із мішеней NaCl та Na-Sn описуються близькими розподілами. Це дозволяє ідентифікувати електронно-обмінний механізм,

як загальний для металів і лужно-галоїдних кристалів. Однак є деякі особливості його реалізації. У випадку Na-Sn кутовий розподіл більш витягнутий вздовж нормалі до поверхні.

### ЛІТЕРАТУРА

1. V.G.Drobnich, V.A.Mastyugin, S.S.Pop. Nucl.Instr.&Meth. B58.3,4 (1991) 443.
2. В.Г.Дробнич, С.С.Поп, В.А.Есаулов. Доплеровская томография потока атомных частиц, Ужгород, Закарпаття, 1998.
3. В.Г.Дробнич. Изв. РАН. Сер.физ. 62 (1998) 1382.
4. В.Г.Дробнич. Дис.д-ра физ.-мат. наук: 01.04.04. Ужгород, 1999.
5. В.Г.Дробнич, А.Н.Коноплев, В.В.Кузьма, В.А.Мастюгин, А.С.Бобровник. Мат.XVII

- международной конференции «ВИП». Москва.Т.1 (2005) 542.
6. О.М.Конопльов, В.В.Кузьма, В.О.Мастюгин, Г.Ю.Подгорецька, В.Г.Дробнич. Науковий вісник Ужгородського університету. Сер. фіз. 16 (2004) 57.
7. В.В.Кузьма, А.С.Бобровник, А.Н.Коноплев, В.А.Мастюгин, Г.Ю.Подгорецька, В.Г.Дробнич. (Буде опубліковано в Мат.XVIII міжн. конф. «ВИП-2007» Москва).

# **RESEARCHES BY DOPPLER TOMOGRAPHY METHOD OF SECONDARY EXCITED NA ATOMS EMISSION UNDER IRRADIATION BY IONS $K^+$ TO SURFACES NaCl AND Na-Sn**

**V.V.Kuzma, A.N.Konoplyov, A.S.Bobrovnik,  
V.A.Mastyugin, G.Y.Podgoretskaya, V.G.Drobnich**

Uzhgorod National University, 88000 Uzhgorod, Voloshina St. 54

Most informative differential characteristics of emission of excited Na atoms from the surfaces of NaCl and NaSn were investigated by Doppler Tomography method. It was revealed that these characteristics for alkali-halide crystal and for metal alloy appeared to be similar. We came to conclusion that electron exchange mechanism of excitation of Na atoms is major one for both cases.