

## ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу Роман Вікторії Іванівни

«Автоіонізаційні та резонансні явища при електронному збудженні атома рубідію», представленої на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.04 – фізична електроніка

Дисертаційна робота Роман Вікторії Іванівни присвячена вивченню автоіонізаційних та резонансних явищ при електронному збудженні атома рубідію, структури енергетичних спектрів, ідентифікації ліній в енергетичних спектрах розсіяних та ежектованих електронів атома рубідію, функцій електронного збудження автоіонізаційних станів, ефекту взаємодії після зіткнення в атомі рубідію, дослідженню перерізу автоіонізації.

Актуальність теми дисертації зумовлена великим фундаментальним значенням досліджень автоіонізації, яка є процесом електронного розпаду стану атома зі збудженими двома і більше електронами валентної оболонки або одного електрона субвалентної оболонки, що енергетично розташовані вище першого потенціалу іонізації. Хоча процес відкритий майже сто років тому, може мати місце при іонізації атомів майже для всіх елементів, але дуже мало досліджений.

Як непрямий процес іонізації, автоіонізація може впливати на перебіг, енергетичний баланс та зарядовий розподіл складових компонент у різних типах плазмових середовищ, що визначає важливе прикладне значення досліджень автоіонізації. Для кількісного опису параметрів цих середовищ необхідні дані з перерізів збудження та каналів розпаду автоіонізаційних станів.

Враховуючи все вищесказане, актуальність теми дисертаційної роботи не викликає ніяких сумнівів.

Структурно дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, та списку використаних літературних джерел.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та задачі досліджень, відображено наукову новизну, практичне значення роботи та одержаних результатів, визначено особистий внесок здобувача, представлені відомості про апробацію результатів дисертації та публікації.

У першому розділі наведено огляд літератури з основних експериментальних методів дослідження явища автоіонізації. Описано методичні аспекти вивчення явища автоіонізації та представлена загальна характеристика складної сучасної установки Електронного спектрометра, на якій були проведені експериментальні дослідження автоіонізації атомів рубідію в широкому діапазоні енергії зіткнень електронів (15÷600 eV).

Другий розділ присвячено аналізу результатів дослідження енергетичних спектрів розсіяних та ежектованих електронів атома рубідію, які виявили 82 лінії із порогами збудження від 15.31 до 20.67 eV. З аналізу

динаміки збудження ліній у спектрах ежектованих електронів визначено характер збудження відповідних автоіонізаційних станів (АІС) та виявлено наявність резонансних процесів збудження АІС у припороговій області енергій зіткнень. На базі теоретичних розрахунків, встановлено спектроскопічну класифікацію для 76 із 82 атомних АІС, а також визначено схему енергетичного розташування і каналів розпаду цих станів. Встановлено, що за кількістю та ефективністю збудження домінують АІС конфігурацій  $5s5p$  та  $4d5s$ . Показано, що за ефективністю розпаду домінуючим є електронний канал розпаду

У третьому розділі наводяться як літературні дані з функцій збудження автоіонізаційних станів, так і оригінальні результати дослідження ефективних перерізів збудження (ЕПЗ) автоіонізаційних станів атома рубідію. З аналізу енергетичної залежності абсолютних перерізів збудження 11 дублетних та 5 кватетних АІС атома рубідію, встановлено, що максимальні абсолютні значення ЕПЗ мають порядок величини  $10^{-18}$ - $10^{-17}$  см<sup>2</sup> для атомних АІС. Виявлено, що електронне збудження всіх досліджених АІС у припороговій області енергій має виключно резонансний характер, пов'язаний з утворенням станів негативних іонів. На базі теоретичних розрахунків, показано, що резонансна структура на перерізах збудження для найнижчих  $(4p^5 5s^2)^2P_{3/2,1/2}$  АІС є результатом суперпозиції перерізів збудження кількох станів негативного іона рубідію. На основі аналізу парціальної структури перерізів збудження станів  $(4p^5 5s^2)^2P_{3/2,1/2}$  встановлено енергії, спектроскопічну класифікацію та канали розпаду станів негативних іонів, що формують цю структуру.

У четвертому розділі представлені літературні дані з методів досліджень та оригінальні результати досліджень припорогового явища – ефекту взаємодії після зіткнення (ВПЗ) у спектрах ежектованих електронів атома рубідію. Виявлено, що максимальних значень ВПЗ-зсув ліній набуває саме у порозі збудження  $(4p^5 5s^2)^2P_{3/2,1/2}$  станів і складає 70 меВ і 130 меВ, відповідно. Встановлено загальні закономірності і відмінності перебігу енергетичної залежності ВПЗ-зсуву ліній в атомі рубідію та інших лужних металах (натрію, калію, цезію), зокрема зв'язок ефекту ВПЗ та резонансного збудження АІС у припороговій області енергій зіткнень.

У п'ятому розділі представлено результати теоретичних розрахунків перерізів іонізації  $5s$ ,  $4p^6$ ,  $4s^2$ ,  $3d^{10}$  оболонок. Визначено роль кожної з цих оболонок у формуванні повного перерізу однократної іонізації атома рубідію. Шляхом порівняння теоретичних даних між собою, а також при порівнянні їх із експериментальними даними, здійснено аналіз дієвості найбільш поширених теоретичних наближень, а також ролі врахування кореляційних та релятивістських поправок при розрахунках перерізів автоіонізації та однократної іонізації атома рубідію. Встановлено, що наближення бінарних зіткнень є найбільш дієвим методом розрахунку перерізу прямої іонізації  $5s$ ,  $4p^6$  та  $4s^2$  оболонок, а необхідною умовою задовільного описання процесу автоіонізації для важкого атома рубідію є врахування релятивістських та кореляційних поправок.

У висновках чітко сформульовано головні результати дисертаційної роботи. Вони впливають з результатів експериментальних і теоретичних досліджень із залученням сучасних методів електронної спектроскопії, а отже, їх можна вважати достовірними і в достатній мірі аргументованими. Також, достовірність отриманих результатів була забезпечена сучасним рівнем техніки експерименту, правильним вибором розробленої методики досліджень, контрольними вимірюваннями, ретельністю та багатократністю вимірів, відтворюваністю результатів і їх підтвердженням теоретичними розрахунками та узгодженням із результатами, отриманими іншими авторами, які наведені в літературі.

Новизна основних положень дисертаційної роботи полягає в тому, що в ній вперше:

1. Досліджено динаміку збудження спектрів ежектованих електронів у діапазоні енергій зіткнень від порогу збудження  $4p^6$  оболонки до 600 еВ, що дозволило провести значну спектроскопічну ідентифікацію ліній, спостережуваних в енергетичних спектрах електронів атома рубідію.
2. Визначено абсолютні значення ефективних перерізів електронного збудження автоіонізаційних станів, які становлять  $\sim 10^{-17} \text{ см}^2$ , та встановлено домінуючу роль станів негативного іона  $\text{Rb}^-$  при електронному припороговому збудженні автоіонізаційних станів. Визначено енергії, перерізи збудження, канали розпаду станів негативних іонів  $\text{Rb}^-$  та здійснено їх спектроскопічну ідентифікацію.
3. Виявлено ефект взаємодії після зіткнення в енергетичних спектрах ежектованих електронів атома рубідію та встановлено прямий зв'язок цього ефекту з резонансним збудженням автоіонізаційних станів.
4. На базі проведених теоретичних розрахунків парціальних перерізів іонізації  $5s$ ,  $4p^6$ ,  $4s^2$ ,  $3d^{10}$  оболонок та перерізів збудження  $4p^6$ ,  $4s^2$  оболонок визначено роль кожної з них у формуванні повного перерізу однократної іонізації атома рубідію.

Матеріали дисертації з достатньою повнотою опубліковані у 9-ти статтях, зазначених в дисертації. Науковці, що працюють у цій галузі, в повній мірі могли ознайомитися з ними на 12-ти міжнародних та вітчизняних наукових конференціях.

В авторефераті повністю розкрито основні результати й положення, що виносяться на захист, та вірно відображено зміст дисертаційної роботи.

Разом із цікавими фізичними результатами робота має і деякі недоліки, а саме:

1. Неповний список використаних скорочень.
2. Необґрунтованість вибору енергії зіткнень для залежностей на рис. 2.1-2.3.
3. Твердження на стор.61 (Аналіз спектроскопічної ідентифікації АІС вказує на домінуючу роль квартетних станів у формуванні енергетичних спектрів розсіяних та ежектованих електронів атома рубідію при малих енергіях

зіткнень.) не враховує існування ліній з резонансним характером збудження в припороговій області.

4. Відсутнє пояснення в відмінностях при співставленні експериментальних та розрахованих даних на рис. 3.6 для енергетичних залежностей перерізів збудження AIC  $(4p55s2)2P_{3/2}$  та  $(4p55s2)2P_{1/2}$ .

5. Ідентифікація лінії з порогом збудження  $(15.4 \pm 0.1)$  еВ як таку, що відповідає електронному розпаду автоіонізаційного стану  $C_x$  молекули  $Rb_2$  є недостатньо обґрунтованою.

Зроблені зауваження не ставлять під сумнів правильність, цінність та новизну основних положень та висновків дисертаційної роботи.

Аналіз виконаної Роман В. І. дисертаційної роботи вказує, що вона є самостійним завершеним науковим дослідженням, в якому отримано нові актуальні, оригінальні та ретельно обґрунтовані теоретично експериментальні дані в області фізичної електроніки.

Вважаю, що дисертаційна робота Роман Вікторії Іванівни "Автоіонізаційні та резонансні явища при електронному збудженні атома рубідію" повністю відповідає вимогам "Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника", які висуваються до кандидатських дисертацій, а її автор – безперечно заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.04 – фізична електроніка.

Офіційний опонент,  
професор кафедри фізичної електроніки  
факультету радіофізики, електроніки  
та комп'ютерних систем  
Київського національного університету  
імені Тараса Шевченка,  
доктор фізико-математичних наук, професор



В.Я. Черняк

Підпис офіційного опонента Черняка В.Я. засвідчую

ПІДПИС ЗАСВІДЧУЮ  
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР НДЧ  
КАРАУЛЬНА Н.В.  
14.01.2016р.

