

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**Драпея Сергія Станіславовича**

**«Дослідження проникнення й струшування електронів**

**у процесі внутрішньої конверсії гамма-променів»,**

подану на здобуття наукового ступеня

кандидата фізико-математичних наук за

спеціальністю 01.04.16 – фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій

**Актуальність обраної теми.** Робота присвячена дослідженню ефектів вищих порядків в процесі внутрішньої конверсії  $\gamma$ —променів. Досліджувані ефекти, обумовлені взаємодією ядра з електронами атомної оболонки, відкривають нові канали розпаду збуджених станів ядер та впливають на їх ймовірність. Їхнє вивчення дозволяє одержати багато нової, а в окремих випадках і унікальної інформації про властивості ядер. Необхідно відзначити, що експериментальна інформація про такі процеси отримана в одиничних роботах. У той же час результати теоретичних розрахунків із застосуванням різних підходів відрізняються на кілька порядків. Це вказує на важливість саме експериментального дослідження таких процесів. Саме в даній роботі проведені експериментальні дослідження та отримані відповідні данні, тому актуальність проведених досліджень не викликає ніяких сумнівів.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій.**

Група Інституту ядерних досліджень НАН України, у якій виконувалася дисертаційна робота, займається подібними експериментальними дослідженнями протягом кількох десятиліть.

Наукові результати, що виносяться на захист, отримані на основі експериментальних досліджень, проведених у Інституту ядерних досліджень НАН України. Достовірність отриманих результатів забезпечено завдяки використанню новітніх методик експериментальних досліджень, збору, обробки та інтерпретації даних. Усі отримані результати пройшли апробацію на конференціях в Україні й за кордоном та опубліковані у вітчизняних і

міжнародних наукових виданнях, що індексуються міжнародними наукометричними базами.

**Наукова новизна наукових положень, висновків і рекомендацій дисертаційної роботи** полягає у наступних отриманих експериментальних результатах:

За допомогою розроблених методик вперше виміряні КВК на К-оболонці в М1-переходах  $^{115}\text{In}$  та  $^{44}\text{Sc}$ .

З високою точністю було виміряно КВК в М4-переходах  $^{117}\text{Sn}$  і  $^{125}\text{Te}$ , показано, що узгодження теоретичних та експериментальних даних досягається з врахуванням ефектів проникнення.

З високою точністю виміряні відносні інтенсивності гамма-переходів і  $K_{\alpha}$ -випромінення з розпаду  $^{120}\text{Sb}$ . З отриманих даних визначені повні КВК і КВК на К-оболонці загальмованих  $E1$ - та  $E2$ -переходів.

Вперше виявлений вклад ефектів проникнення у загальмованому  $E1$ -переході з фактором заборони  $F_W = 18000$ , уточнений вклад ефектів проникнення в загальмований  $E2$ -перехід. Вперше був визначений вклад спінових токів для  $E1$ -переходу.

Вперше була виміряна ймовірність автоіонізації в процесі внутрішньої конверсії в  $^{109}\text{Ag}$ .

Вперше були отримані значення ймовірності виникнення процесу струшування електрону з оболонки атома при розпаді  $^{123m}\text{Te}$ .

Були отримані експериментальні данні щодо ймовірності автоіонізації в процесі внутрішньої конверсії  $\gamma 81$  кеВ на К-оболонці ядра  $^{133}\text{Cs}$ , з вильотом електронів з кінетичною енергією менше 5 кеВ.

Вперше виміряні збудження атому при електронному захопленні з випроміненням кінетичних електронів з граничною енергією 8,4 кеВ і показано що процес описується за рахунок миттєвої зміни кулонівського поля.

Досліджено вплив кореляційних ефектів на процес внутрішньої конверсії  $\gamma$ -променів. Було продемонстровано значний вплив кореляційних процесів на внутрішню конверсію в  $^{234}\text{Pa}$ .

**Практичне значення отриманих результатів.** У низці проведених експериментів, що стосувалися даної роботи, були розроблені нові методики й створені установки для вимірювання багатомірних  $\gamma\gamma$ -збігів, вимірювання збігів методом піків сумувань.

Були створені нові модулі програм та адаптовані існуючі, що дозволило керувати вимірами, та з високою точністю обробляти складні спектри з рентгенівськими та  $\gamma$ -лініями, проводити калібрування спектрометра за енергією та ефективністю, визначати ізотопний склад спектра.

Отримані нові дані про ефекти проникнення та струшування, що відкрило нові можливості щодо вдосконалення деяких теоретичних підходів в даній області досліджень.

**Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях.** Результати дисертаційної роботи у повному обсязі викладено у 15 наукових публікаціях, серед яких 7 статей - у реферованих наукових журналах, 8 статей опубліковано в матеріалах конференцій. Результати роботи апробовано на 5 Міжнародних нарадах з ядерної спектроскопії та структури атомного ядра, на 3 Міжнародних конференціях «Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy», щорічних конференціях ІЯД НАН України 2005–2017 років, у більшості випадків дисертант був доповідачем.

**Загальна характеристика змісту дисертації.** Дисертація складається з переліку умовних скорочень, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та двох додатків.

У **вступі** дисертаційної роботи висвітлено актуальність тематики дослідження, мета та задачі, наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, зв'язок роботи з науковими програмами та темами, зазначено особистий внесок здобувача.

У **першому розділі** розкрито сучасний стан досліджень внутрішньої конверсії при розрядці збуджених атомних ядер та аномалії що мають місце в експериментальних дослідженнях цих процесів, наведені бібліографічні посилання на основні теоретичні та експериментальні роботи.

**Другий розділ** описує методики й устаткування, що використовувались в цій роботі для дослідження атомно-ядерних процесів за допомогою напівпровідникової  $\gamma$ -спектроскопії.

Описано програмне забезпечення з представленням математичного апарату й моделей, які використовувались програмними пакетами. Представлено унікальні конфігурації спектрометричних установок, які створювались під конкретний експеримент з детальним описом і характеристиками детекторів.

У **третьому розділі описано** дослідження ефектів проникнення в M1-переходах ядра  $^{115}\text{In}$  та  $^{44}\text{Sc}$ , що обумовлено великим фактором загальмованості переходів. Для  $^{44}\text{Sc}$  досліджувався також E1 перехід, для якого отримане значення  $\alpha_K$  збігалось з табличним. Це знаходиться в істотному протиріччі з раніше отриманими даними. В той же час величина  $\alpha_K$  (M1)-переходу значно відрізняється від  $\alpha_K^T$ , причому в меншу сторону. На основі цього в роботі зроблений висновок про значний внесок ефектів проникнення в процес внутрішньої конверсії M1-переходу і про їх відсутність в E1-переході.

Також з високою точністю визначено КВК на K-оболонці для M4-переходів в  $^{117m}\text{Sn}$  і  $^{125m}\text{Te}$ .

Описано дослідження розпаду  $^{120}\text{Sb}$ , що представляє рідку можливість дослідження ефектів проникнення в E1- та E2-переходах, тому що, в цьому розпаді заселяються збуджені стани  $^{120}\text{Sn}$ , які розпадаються загальмованими E1- та E2-переходами.

Для E1-переходу вперше були виявлені аномалії в КВК та визначенні параметри проникнення.

У **четвертому розділі** описані результати дослідження збудження атомів в процесі внутрішньої конверсії  $\gamma$ -променів та електронному захопленні.

Продемонстровані вперше отримані експериментальні дані про іонізацію атомів  $^{109m}\text{Ag}$ ,  $^{123m}\text{Te}$  та  $^{133}\text{Cs}$  в процесі внутрішньої конверсії  $\gamma$ -променів і обґрунтовано доведено, що збудження атомів відбувається при прямій взаємодії конверсійного електрону з електроном атомів. Вперше отримані експериментальні дані про збудження атомів при електронному захопленні електронів з малою кінетичною енергією. Показано, що цей процес обумовлений,

в основному, зміною кулонівського потенціалу. В роботі також представлено експериментальні данні про кореляційні процеси в процесі внутрішньої конверсії  $\gamma$ -променів при ультра низьких кінетичних енергіях конверсійних електронів. Для цього отримані з високою точністю коефіцієнти внутрішньої конверсії  $\gamma$ -променів і виконані унікальні вимірювання енергій  $\gamma$ -променів з точність 2eV. Ці дослідження продемонстрували значний вплив кореляційних процесів на зміну величин коефіцієнтів внутрішньої конверсії  $\gamma$ -переходів (на десятки процентів).

**Висновки** відображають основні наукові та практичні результати дисертації.

Загалом, дисертація є завершеною науковою роботою, що містить нові дані з актуальних питань експериментальних досліджень подвійного бета-розпаду та розробки низькофонових експериментальних технологій. Текст дисертації написаний зрозумілою науковою мовою, з використанням якісних ілюстрацій, усі скорочення, позначення та терміни пояснені у тексті.

Проте є і деякі зауваження.

1. На мою думку схеми рівнів можна було доповнити і даними про інтенсивності досліджуваних переходів (див. рис 3.1, 3.2, 3.9,3.10)
2. Деякі експериментально отримані фрагменти спектрів занадто насичені інформацією, надлишок якої іноді не дозволяє однозначно виділити ефект.
3. В деяких місцях роботи прослідковуються професійні сленгові вирази які можна трактувати як наукову вульгарщину, наприклад: струшування непотрібно виділяти лапками ст.110, фраза- внутрішня калібровка за ефективністю тощо.
4. Також не можу не відзначити присутність у тексті описок, що я думаю пов'язано чисто з механічними помилками.

Проте вищенаведені зауваження не є принциповими і не применшують головних результатів дисертаційної роботи. Наукові результати Драпея С.С. є оригінальними, а зроблені висновки є достатньо обгрунтованими, їх достовірність не викликає сумніву.

Автореферат відображає основний зміст виконаних досліджень та отриманих результатів, відповідає за змістом дисертаційній роботі та оформлений згідно з вимогами МОН України.

З матеріалів, представлених у дисертаційній роботі, можна зробити висновок, що Драпей С.С. є кваліфікованим науковцем, який вільно володіє сучасними аналітичними та чисельними методами у ядерній фізиці,  $\gamma$ -спектрометрії, обробці та інтерпретації експериментальних даних.

Вважаю, що за актуальністю обраного напрямку, рівнем визначених завдань, методами їх виконання, обсягом обробленого експериментального матеріалу, новизною, науковим та практичним значеннями здобутих результатів дисертація повністю відповідає вимогам МОН України, які висуваються до кандидатських дисертацій, а її автор, Драпей Сергій Станіславович, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.16 – фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій.

Офіційний опонент,  
доцент кафедри атомних електростанцій  
і інженерної теплофізики,  
теплоенергетичного факультету  
Національного технічного університету України  
"Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського"  
кандидат фіз.-мат. наук, доцент

Б.Ю. Лещенко

Підпис Лещенка Б.Ю. засвідчую  
Декан теплоенергетичного факультету  
Національного технічного університету України  
"Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського"  
доктор технічних наук, професор



Є.М. Письменний