

Голові разової спеціалізованої вченої ради Інституту ядерних досліджень НАН України
доктору фізико-математичних наук,
провідному науковому співробітнику
відділу структури ядра
Андрію САВРАСОВУ

ВІДГУК

Офіційного опонента, доктора фізико-математичних наук, професора, завідувача відділу фотоядерних процесів, Інституту електронної фізики НАН України Маслюка Володимира Трохимовича на дисертаційну роботу Сокура Назара Володимировича на тему: **“Альфа-розпад ^{212}Po та пошук надважкого елемента сиборгію”**, поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії у галузі знань “10 Природничі науки” за спеціальністю “104 Фізика та астрономія”.

1. Актуальність обраної теми дисертаційної роботи

Дисертація Сокура Н.В. присвячена вивченню альфа-розпаду та його проявів у задачах пошуку надважких елементів, де він проявляється як конкуруючий процес спонтанного розпаду та дослідженнях подвійного бета-розпаду. Альфа-розпад, як один з найбільш поширених типів радіоактивного розпаду, є гарним інструментом вивчення стійкості атомних ядер. Зокрема це стосується й перевірки теорії в крайніх умовах, наприклад — дуже швидких розпадах або дуже повільних. Вивчення швидких розпадів потребує швидкої електроніки, а значить сприяє її розвитку. Ізотоп ^{212}Po є членом радіоактивного ряду ^{232}Th і має найменший період напіврозпаду серед відомих природних радіонуклідів. Його точне позиціонування є важливим для задач ядерного датування та задач радіоекології довкілля, оскільки це важливо для формування структури наземної радіоактивності. З іншого боку, альфа-розпад ^{212}Po часто міститься у фоні в багатьох дослідженнях як складова BiPo -ланцюжка, детальне вивчення якого призведе до підвищення ефективності відбору цих ланцюжків як у задачах ядерного датування, радіоекології довкілля, так і в процесах радіоактивних перетворень синтезованих важких та надважких ядер.

Так, пошук рідкісних ядерних процесів пов'язаних із існуванням природних надважких елементів, слідових ізотопів як продуктів їх

перетворень є важливими для тестування наших представлень про стійкість ядерної матерії. Це дає шлях пошуку острівців стабільності і нових магічних чисел, що їх обумовлюють, а отже перевірки сучасних уявлень про атомне ядро.

Подвійний бета-розпад як приклад іншого рідкісного ядерного процесу -знаходиться також на передових позиціях сучасної науки. Зокрема, - фізики елементарних частинок, а його дослідження наближає нас до розуміння цілісної картини функціонування Всесвіту, оскільки може допомогти відкрити таємницю природи нейтрино. Експеримент щодо вивчення подвійного бета-розпаду є дуже мало ймовірним порівняно з іншими типами ядерних перетворень і потребує високих вимог до фонових умов. Зокрема, врахування альфа-фону детекторів, спричиненого поверхневою і внутрішньою забрудненістю, аналіз якої допомагає спрогнозувати й планувати дослідження на шляху до отримання бажаного результату. Таким чином, тема досліджень Сокура Н.В. стосується фундаментальних задач сучасної фізики, ядерної астрофізики, має застосування для ядерного датування та радіоекології і є безперечно актуальною.

2. Оцінка структури дисертації, її наукового рівня та обґрунтованості/достовірності положень, що в ній сформульовані

Структура дисертації послідовно відображає етапи досліджень та логічний виклад отриманих результатів.

Основна частина дисертації складається із 4 розділів (один оглядовий та три про проведені дослідження), вступу та висновків, які, разом з іншими частинами (титульна сторінка, анотація, перелік умовних скорочень, подяки, список літератури та додатки), складають 138 сторінок. В тексті міститься 42 рисунки, 11 таблиць, 264 посилання. В кінці дисертації наведено додаток зі списком публікацій здобувача за темою дисертації: статті в реферованих виданнях — 3, тези конференцій — 8, додаткові праці, в яких висвітлено результати за темою дисертації — 2 (разом 13 робіт).

В першому розділі описано сучасні теоретичні уявлення та експериментальні дослідження альфа-розпаду та подвійного бета-розпаду. На достатньо гарному рівні викладено теоретичну основу досліджуваних процесів, розвиток та сучасний стан досліджень, їх значення у фізиці. *Другий розділ* стосується досліджень з визначення періоду напіврозпаду ^{212}Po . Чітко висловлено суть дослідження, обґрунтовано вибір використаного обладнання, пояснено його переваги перед іншими дослідженнями, в межах яких також визначали період напіврозпаду ^{212}Po . Докладно викладено про чинники, які могли вплинути на кінцевий результат, наприклад, великий

перелік систематичних факторів, таких як температура, внутрішня робота обладнання тощо.

Третій розділ присвячено задачі пошуку надважкого елементу сиборгію. Описано сучасний стан досліджень з пошуку надважких елементів, причини пошуку сиборгію зазначеним методом та його переваги перед іншими методами. Підкреслено, що дослідження передбачає залежність результату від моделі розпаду сиборгію. Дослідження проведено з використанням сучасних методів низькофонової спектроскопії. Достовірність результату забезпечено використанням поширених методів аналізу даних включно з моделюванням методами Монте Карло, ефективність яких підтверджено величезною кількістю проведених у фізиці досліджень.

У четвертому розділі викладено про дослідження подвійного бета-розпаду ядра ^{100}Mo . Науковий рівень дослідження загалом є високим. Описано поточний стан дослідження, плани на майбутнє і які необхідно зробити кроки для досягнення кінцевої мети. В усіх пунктах розділу вичерпно розписано методи, з якими отримано результати. Проведена робота встановлює чинне положення дослідження; зазначено, що отриманий результат (який виражається у рівні фону в досліджуваній області енергетичного спектру) мусить бути покращений на наступній стадії дослідження.

Роботи проводилися в рамках 3-ох національних договорів/грантів, серед яких «Гранти НАН України дослідницьким лабораторіям/групам молодих вчених НАН України», «Національний фонд досліджень України» та «Цільова програма наукових досліджень НАН України».

Результати дисертації було широко висвітлено як на національних, так і міжнародних конференціях, школа-семінарах, нарадах, про що описано у вступі дисертації.

3. Наукова новизна одержаних результатів

Результати досліджень Сокура Н.В. суттєво покращили значення періоду напіврозпаду ^{212}Po . Отримано найточніше значення $T_{1/2} (^{212}\text{Po}) = 295,1(4)$ нс. Точність розробленого алгоритму аналізу ланцюжків сигналів можна використовувати в інших дослідженнях, що містять аналогічні процеси.

Встановлено нове краще обмеження на поширеність природного надважкого елементу сиборгію відносно вольфраму як $5,1 \times 10^{-15}$ атомів(Sg)/атомів(W) з 90% довірчою ймовірністю. Серед будь-яких методик

пошуку цього надважкого елементу, наразі це є найсильнішим обмеженням в моделі, в межах якої дане обмеження обчислювалося.

Вивчено поверхневу та внутрішню забрудненість кристалів молібдатів кальцію у дослідженні АМоRE з пошуку безнейтринного подвійного бета-розпаду ^{100}Mo . Без такого аналізу неможливо уявити наскільки ефективним буде подальше дослідження. Визначений середній рівень фону склав $(2,22 \pm 0,03) \times 10^{-2}$ відліків на $(\text{keV} \times \text{кг} \times \text{рік})$. Змодельовані спектри добре узгоджуються з виміряними спектрами детекторів. Одержаний результат безпосередньо впливає на визначення обмеження на безнейтринний подвійний бета-розпад ^{100}Mo .

4. Теоретичне та практичне значення одержаних результатів.

Пошук надважкого елементу сиборгію та визначення періоду напіврозпаду ядра ^{212}Po є перевіркою теоретичних моделей ядерної матерії. У проведеному дослідженні з полонієм досягнуто основної мети, визначено найточніше значення його періоду напіврозпаду, та розвинуто методики аналізу сигналів, практичне застосування яких може бути корисним у будь-якому дослідженні з подібною технікою детектування частинок. Спостережено певні ефекти, що можуть бути помітними лише на дуже малих проміжках часу (десятки-сотні наносекунд) і які варто враховувати на таких часових масштабах. Проте, навіть такі незначні часові масштаби є суттєвими для задач ядерного датування, формування структури наземної радіоактивності, а отже радіоекології та задач ядерної астрофізики.

Теоретичне значення дослідження з пошуку сиборгію свідчить, що або варто підвищувати ефективність реєстрації його слідових ізотопів як продуктів ядерних перетворень, або ж проводити пошуки в іншій області з іншою моделлю розпаду сиборгію. Надважкі елементи є наслідком феномену магічних чисел та острівця стабільності, тому дане дослідження вкладає додаткову інформацію в загальну скарбницю знань про ці явища.

Робота з вивчення альфа-фону в дослідженні Advanced Molybdenum-based Rare process Experiment (АМоRE) є невід'ємною необхідною частиною на шляху до основної мети — пошуку безнейтринного подвійного бета-розпаду ^{100}Mo . Фон в низькофонових дослідженнях є показником успішності дослідження, тому аналізу фону приділяють велику увагу. Одержаний результат постановив, що необхідно проводити подальші кроки зі зниження фону. Зокрема, виявлено, що основний вклад має поверхнева забрудненість кристалів, якої можна позбутися різними методами очищення.

5. Повнота викладення наукових положень, висновків і результатів в опублікованих працях.

Здобувач має 3 наукові праці в міжнародних журналах першого квартилю, а саме: “The European Physical Journal A”, “The European Physical Journal C” та “Physica Scripta”. Статті підготовлено на належному науковому рівні й повністю розкривають зміст досліджень. Усі статті безпосередньо присвячені темам, які викладені у розділах дисертації. Дисертант зазначив його власну участь у проведених дослідженнях. Особисті напрацювання автора склали вагомий роль в отриманні кінцевого результату. Вимоги до “Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії”, затвердженого Постановою № 44 Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. не порушено.

6. Дискусійні положення та зауваження до дисертаційної роботи.

Дисертаційну роботу оформлено в зрозумілому стилі, що легко читається. Структура тексту продумана й логічно зв'язана. Результати сформульовано чітко без лишньої зайвої інформації. За текстом висловлюю наступні питання й зауваження:

1. Проведене дослідження з ^{212}Po відбувалося з швидкісною електронікою. Питання про шляхи можливого подальшого покращення її швидкодії та як методика аналізу сигналів з такою електронікою буде корисною для інших досліджень із більшою тривалістю сигналів?
2. Новизна отриманого результату пошуку надважкого елементу сиборгію полягає в кращому обмеженні на його поширеність відносно ізотопів вольфраму, ніж пропонують існуючі методи в рамках вибраної моделі. Як щодо інших моделей розпаду сиборгію, які експериментальні дослідження могли б бути більш чутливими до їх підтвердження?
3. Розділ про вивчення альфа-фону в дослідженні AMoRE добре оповідає про власне суть проведеної роботи, однак, оскільки мета дослідження полягає не просто у вивченні фону, а є необхідною складовою на шляху до вивчення подвійного бета-розпаду. Не зайвим було б окремим невеликим пунктом представити як проведена робота позначилася на кінцевому результаті цієї стадії дослідження.

Вищевказані питання й зауваження не впливають на загальне позитивне враження від роботи Сокура Н.В., оцінку особистого внеску та високого рівня проведених досліджень.

7. Відповідність дисертації встановленим вимогам.

Оформлення дисертації за структурою, стилем та мовою не порушує вимог оформлення дисертацій, затвердженим наказом Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 р. № 40.

Дисертаційна робота є самостійним дослідженням здобувача. Порушень академічної доброчесності ні в дисертації, ні в наукових працях не виявлено.

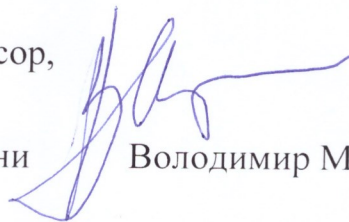
8. Загальний висновок.

Дисертація дисертанта Назара Володимировича Сокура на тему «Альфа-розпад ^{212}Po та пошук надважкого елемента сиборгію» є самостійним завершеним дослідженням, що узгоджується зі спеціальністю «104 Фізика та астрономія». Вимоги «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 дотримано.

Тема робіт є актуальною для сучасної ядерної фізики, фізики елементарних частинок, що підтверджується публікаціями в міжнародних журналах першого квартилю. Дисертант отримав вагомі результати, що узгоджуються з поставленими завданнями. Особистий внесок здобувача, його рівень володіння використаними методиками, практичне та теоретичне значення результатів беззаперечно надають автору дисертації право на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю «104 Фізика та астрономія».

Офіційний опонент:

доктор фізико-математичних наук, професор,
завідувач відділу фотоядерних процесів
Інституту електронної фізики НАН України



Володимир МАСЛЮК

Підпис Маслюка В. Т. ЗАСВІДЧУЮ:

Вчений секретар Інституту електронної
фізики НАН України



Людмила РОМАНОВА