

ВІДГУК

офіційного опонента – кандидата фізико-математичних наук, доцента кафедри ядерної фізики фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка **Безшыйка Олега Анатолієвича** - на дисертаційну роботу **Поп Оксани Михайлівни** "СТАНДАРТНІ МНОЖИНИ НУКЛІДІВ ПРИРОДНИХ РЯДІВ Th, U ДЛЯ ЗАДАЧ ЯДЕРНОГО ДАТУВАННЯ: МЕТОД СТАТИСТИЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ", що подана на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.16 – фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій

Дисертаційна робота Оксани Михайлівни Поп стосується теоретичної та експериментальної ядерної фізики, зокрема, радіоактивних перетворень атомних ядер. Такі дослідження особливо важливі для фізики утворення та розпаду радіонуклідів обмеженого числа природних рядів, які формують склад радіоактивності на поверхні Землі і верхніх шарах земної кори. Важливими також є практичні завдання дослідження вмісту цих ізотопів, їх співвідношень у природних об'єктах. Так, вивчення цих питань для ізотопів природних рядів ^{232}Th , $^{235,238}\text{U}$ допомагає встановити кількісні показники у таких галузях як радіоекологія, геологія, тощо, а також є важливим у задачах ядерного датування зразків. Це вказує на актуальність розробки стандартизованих підходів для вивчення перетворень вказаних природних рядів, які можуть бути еталонами при систематизації радіаційних характеристик реальних фізичних об'єктів, що формуються їх дочірніми нуклідами.

Основною метою даної дисертаційної роботи було отримання стандартних множин нуклідів (СМН) природних рядів ^{232}Th , $^{235,238}\text{U}$, дослідження їх повноти; створення експериментальних умов або стенду для низькофонових гамма-спектрометричних досліджень зразків; застосування новітніх статистичних методик обробки експериментальних множин активностей нуклідів для врахування точності / достовірності ядерного експерименту. Згідно роботи, це вимагало вирішення непростієї задачі лінеаризації структури радіоактивних перетворень.

Дослідження, що представлені в дисертаційній роботі, виконані в рамках науково-дослідницьких тем відділу фотоядерних процесів Інституту електронної фізики НАН України, в яких автор була виконавцем, а саме: "Дослідження впливу оболонкових ефектів для середньоважких ядер у реакціях (γf) (γn) на мікротроні М-30" (№0109U001502, 2009 – 2013 рр.); "Дослідження каналів збудження та дезінтеграції станів гігантського дипольного резонансу середніх і важких ядер" (№0113U004476, 2013 – 2018 рр.).

Враховуючи, що ядерне датування є важливим джерелом отримання даних про вік природних та штучних об'єктів довкілля, а самі методики

доступні лише обмеженому числу ядерних лабораторій, – пропозиція та обґрунтування нових підходів у цьому напрямку є безперечно актуальними.

Наукова новизна. Згідно матеріалу дисертації, автором прораховано та систематизовано часові залежності активностей нуклідів природних рядів ^{232}Th , ^{235}U , ^{238}U для часового інтервалу $[0 - 10^{12}$ років]. Дані отримано для ансамблю дочірніх нуклідів, що утворилися із 1 моля первинних кількостей материнських ядер природних рядів Th та U. Паралельно, дисертанткою був запропонований алгоритм уточнення їх ядерно-фізичних констант розпаду. Для отримання експериментальних даних Поп О.М. розроблено методику стабілізації та покращення низькофонової умов по встановленню реальних нуклідних спектрів досліджуваних зразків. Нею також запропоновано методику визначення відкритості / закритості системи нуклідів досліджуваних зразків через відхилення реальних нуклідних спектрів від теоретичних, які встановлюються через СМН. Показана перспективність використання статистичних випробувань для переходу від фіксованого (точкового) до ймовірнісного способу ядерного датування зразків, що дає нові можливості для ядерного датування. І, нарешті, в роботі приведено базу даних тривалостей часу подій об'єктів довкілля та артефактів, що важливо для геохімічних досліджень формування гірської системи Карпат.

Практичне значення одержаних результатів полягає у створенні комп'ютерних програм Decay Calculations для уточнення ядерно-фізичних констант та Nuclear Dating для задач ядерного датування. Запропонована Поп О.М. методика стабілізації та покращення низькофонової умов дозволила вирішити прикладні завдання по створенню радіаційного стенду із покращеними можливостями для таких вимірювань. Це має важливе значення при дослідженні зразків природного та штучного походження, встановленні інструментальні коефіцієнти ефективності захисту напівпровідникового детектору. Практичне значення мають приведені в дисертації патенти та елементи бази даних часів подій об'єктів довкілля (скальних порід, ґрунтів) та артефактів Закарпаття для заданої точності та достовірності ядерного експерименту.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із анотації українською та англійською мовами, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (162 найменування). Загальний об'єм роботи складає 214 сторінок.

Не зупиняючись на розгляді змісту кожного розділу, зазначу, що дисертантка розглядає актуальність теми дослідження, мету, об'єкт, предмет та методи досліджень. Аналізується сучасний стан досліджень перетворень нуклідів природних рядів ^{232}Th , $^{235,238}\text{U}$, та баз ядерно-фізичних констант, що формують часові залежності активностей продуктів розпаду цих рядів.

Показана важливість врахування розгалужень схем радіоактивного розпаду природних рядів для теоретичної оцінки нуклідних спектрів через розв'язок системи лінійних диференціальних рівнянь Бейтмана. Детально поданий огляд методів ядерного датування, що базуються на дослідженні співвідношень кількостей вибраних пар нуклідів природних рядів, які орієнтовані на отримання фіксованих оцінок віку подій. Аналізуються можливості теоретичного моделювання СМН для природних рядів розпаду ^{232}Th , $^{235,238}\text{U}$. Показано, що розв'язок системи диференціальних рівнянь Бейтмана залежить від всієї сукупності значень констант розпаду λ , значення яких можуть бути уточненими в рамках запропонованої програми Decay Calculation. Обговорюються також поняття нестандартних множин нуклідів, терміни «стандартність / нестандартність» експериментальних нуклідних спектрів активностей ізотопів рядів ^{232}Th , $^{235,238}\text{U}$. Наведено детальний опис умов низькофонової гамма-спектроскопічних вимірів для отримання експериментальних нуклідних спектрів досліджуваних зразків. Приведено можливості практичного використання СМН для задач ядерного датування та створено базу даних ядерного датування зразків гірських порід, промислових зразків та різноманітних зразків кераміки.

Роботу завершують висновки, список літературних джерел та додатки. Дисертаційна робота оформлена на належному рівні з використанням сучасних засобів оформлення. Її основні результати викладено у 53 публікаціях, серед яких 7 – у фахових наукових виданнях України, 3 – в зарубіжних наукових журналах, що входять до міжнародних наукометричних баз Scopus та Google Scholar. Результати роботи апробовано на міжнародних наукових конференціях.

Автореферат повністю розкриває основні положення представленої дисертаційної роботи.

Разом з тим вважаю за потрібне зробити деякі зауваження:

1. При встановленні коефіцієнтів щодо поправок на геометричні розміри та густину досліджуваної речовини для даних умов експериментів по ядерному датуванню був використаний еталонний об'єкт циліндричної форми, який може відрізнятися від реальних форм досліджуваних зразків. Чи проводилося дослідження наскільки вказані коефіцієнти адекватно забезпечують умови експерименту?
2. Дисертант не достатньо аргументував доцільність переходу від інтервальної до ймовірнісної інтерпретації часу події досліджуваних об'єктів при використанні методу СМН. Адже лише інтервальний метод є прямим наслідком експериментів по ядерному датуванню і може адекватно відтворити умови дослідження. У порівнянні із ним метод статистичних випробувань виглядає дещо штучно.
3. Практично явно не розглядаються методи ядерної криміналістики включно з методиками датування і хронометрії (Nuclear forensics, Chronometry...),

які за цілями і задачами перетинаються з тематикою дисертації в області коротких часів датування і частково довготривалих хронометричних методів.

4. При великій кількості публікацій і апробацій (що є дуже позитивною рисою) обмеженість кількості публікацій в основних спеціалізованих журналах і доповідей на спеціалізованих конференціях по тематиці дисертації.
5. Не розглядаються конкурентні методи (наприклад мас-спектрометричний) для цілого ряду ізотопів, наприклад радіовуглецевий (ізотопно-вуглецевий) метод для ^{14}C (46-47 стор.).
6. 39 стор. - неузгодженість рівнянь 1.7 і 1.8.
7. 28-29 стор. – і для об'єкта дослідження і для предмета дослідження - стандартні та експериментальні множини радіонуклідів природних рядів ^{232}Th , $^{235,238}\text{U}$ (множини активностей нуклідів рядів ^{232}Th , $^{235,238}\text{U}$).

У дисертаційній роботі зустрічається описки та друкарські помилки, наприклад:

- a. 3 стор. – «що впливає достовірність результатів»
- b. 14 стор. – в списку публікацій здобувача (розділ «Додаткові», 11 публікація – відсутнє прізвище здобувача).
- c. 33 стор. – «пов'язують із фізико-теоретиком Г.А. Гамовим»
- d. 38 стор. – «оскільки вік Землі оцінюється у $4,54 \cdot 10^6$ років [4]»
- e. 39 стор. – «як показано у табл. 1.1. (Додаток А).» (номер таблиці відсутній – на 204 стор.).
- f. 39 стор. – «не задовольняє вираження (1.7)»
- g. 40 стор. – «може перевищувати значення енергії хімічної зв'язку»
- h. 40 стор. – «порушення радіоактивне рівновага в торієвому та урановому рядах».
- i. 42 стор. – «періоди напіврозпаду яких порівняна із процесами»

Однак в цілому вищенаведені зауваження не знижують загальної позитивної оцінки результатів, що отримані в дисертації Поп О.М. Автором дисертації проведені цікаві і оригінальні теоретичні дослідження. Значний об'єм експериментальних досліджень, а також одержані важливі результати, які пройшли належну апробацію на конференціях, дозволяють вважати розглянуту дисертаційну роботу закінченим науковим дослідженням.

Вважаю, що за актуальністю, обсягом проведених досліджень, рівнем та новизною отриманих результатів дисертаційна робота «Стандартні множини нуклідів природних рядів Th, U для задач ядерного датування: метод статистичних випробувань» цілком відповідає «Порядку присудження

наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. №567, що ставляться перед кандидатськими дисертаціями, а її автор, Поп Оксана Михайлівна, безумовно заслуговує присудження їй вченого ступеня кандидата фізико-математичних наук (доктора філософії) за спеціальністю 01.04.16 – фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій.

Офіційний опонент:

Доцент кафедри ядерної фізики
фізичного факультету
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка

О.А. Безшийко

Підпис Безшийка О.А. засвідчую: