

Голові разової
спеціалізованої вченої ради
Інституту ядерних досліджень
НАН України
д.ф.-м.н., зав. відділу фізики
важких іонів О.А. Понкратенку

РЕЦЕНЗІЯ

к.ф.-м.н., с.н.с. відділу структури ядра
Інституту ядерних досліджень НАН України
Хоменкова Володимира Петровича
на дисертацію Мизнікова Дмитра Євгеновича
на тему: “Нерадіохімічні методи реєстрації радіонуклідів ^{10}Be , ^{36}Cl , $^{59,63}\text{Ni}$,
 ^{90}Sr із відходів АЕС”,
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

Актуальність представленої теми дисертації визначається наступними ключовими аспектами:

1 Дослідження фотоядерних реакцій на легких і середніх ядрах. Процеси фотоядерних реакцій на легких і середніх ядрах описуються приблизно рівноймовірно статистичними і нестатистичними процесами, тому представляє великий науковий інтерес отримання нової експериментальної інформації.

2. Розробка нових методів реєстрації радіонуклідів у конструкційних і радіоактивних матеріалах АЕС. Останніми роками значна кількість АЕС виводиться з експлуатації, тому контроль за концентрацією довгоживучих радіонуклідів у цих матеріалах є однією з важливих проблем, особливо актуальною для визначення активності довгоживучих радіонуклідів, що розпадаються без випромінювання гамма-променів. Розв'язання цих завдань має також і практичне значення для України у зв'язку з виведенням з експлуатації ЧАЕС.

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

Загальний обсяг дисертації становить 120 сторінки. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, 28 рисунків, 11 таблиць, 1 додатку, списку використаних джерел із 86 найменувань.

Розділ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ. Перший розділ містить огляд літератури, в якому проаналізовано наявні методи реєстрації радіоактивних ізотопів берилію та нікелю. Показано трудомісткість і складність реєстрації ^{10}Be та $^{59,63}\text{Ni}$ у зразках конструкційних і радіоактивних матеріалів АЕС. У цьому ж

розділі розглядається радіологічне значення ^{90}Sr та сучасні методи його визначення у зразках різного складу. Детально описано процедури радіохімічного виділення ^{90}Sr . Проведений аналіз показує актуальність розроблення методів реєстрації активності ^{10}Be , ^{36}Cl та $^{59,63}\text{Ni}$ при проведенні масових вимірювань зразків конструкційних і радіоактивних матеріалів АЕС.

Розділ 2. ФОТОАКТИВАЦІЙНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ДОВГОЖИВУЧИХ ІЗОТОПІВ РАДІОІЗОТОПІВ В КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛАХ АЕС. У другому розділі описано метод реєстрації ^{10}Be в конструкційних матеріалах АЕС. Для розв'язання поставленого завдання вперше в широкому діапазоні енергій виміряно виходи ^7Be на атомах бору та берилію. На підставі проведених досліджень автором продемонстровано, що в ділянці енергій гальмівного випромінювання 30-40 МеВ вихід (g, 2n)-реакції на ^9Be та (g, p2n)-реакції на ^{10}B у межах похибки вимірювань набувають одного й того самого значення. З урахуванням того, що переріз (n, g)-реакції на ^9Be і (n, p)-реакції на ^{10}B приблизно однакові, запропоновано метод вимірювань ^{10}Be в опромінених конструкційних матеріалах за допомогою фотоактиваційного аналізу. Також у цьому розділі розглянуті методи реєстрації довгоживучих ізотопів $^{59,63}\text{Ni}$, ^{55}Fe та ^{36}Cl з використанням як монітора потоку нейтронів активності ^{60}Co . Для цього були експериментально вивчені середньозважені за потоком гальмівного випромінювання виходи фотоядерних реакцій на ядрах ^{58}Ni , ^{35}Cl , ^{56}Fe і ^{59}Co . Розроблені методи було випробувано на зразках опромінених конструкційних матеріалах з 2-го енергоблоку ЧАЕС.

Розділ 3. СПЕКТРОМЕТРИЧНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ АКТИВНОСТІ ^{90}Sr . У третьому розділі обговорено спектрометричний спосіб вимірювання активності ^{90}Sr , одного із радіобіологічно небезпечніших радіонуклідів. Автором проведено дослідження урахування самопоглинання електронів і розроблено метод врахування зміни густини зразків за конверсійним піком електронів, які супроводжують розпад ^{137}Cs . Однією з переваг розробленого методу визначення активності ^{90}Sr є можливість прижиттєвих вимірювань його активності в живих об'єктах.

Розділ 4. АПРОБАЦІЯ РОЗРОБЛЕНИХ МЕТОДІВ. Четвертий розділ присвячений присвячено науковим дослідженням міграції антропогенних радіонуклідів як на території зони відчуження ЧАЕС, так і за її межами з використанням розроблених методів. Застосовуючи розроблені методи було оцінено внесок нових надходжень радіонуклідів у верхні шари ґрунтів 30-км зони ЧАЕС через установку другого конфайнмента і показано значну зміну концентрації радіонуклідів ^{60}Co , ^{94}Nb і ^{241}Am поблизу об'єкта "Укриття". Автором сформульовано вираз для визначення активності ^{241}Am з урахуванням співвідношення активностей ^{137}Cs , визначених за виходами характеристичного випромінювання барію з енергією 36 кеВ і за виходом гамма-випромінювання з енергією 661 кеВ.

Достовірність одержаних результатів у роботі, оволодіння здобувачем методології наукової діяльності та високий рівень наукових досліджень підтверджуються публікаціями у міжнародних реферованих журналах, що мають високі наукометричні показники.

Ці розділи узагальнюють ключові результати та внесок автора у розробку неруйнівних методів визначення активності довгоживучих радіонуклідів, що розпадаються без випускання гамма-квантів, дозволяючи зрозуміти важливість та актуальність цих досліджень у контексті ядерної фізики.

Автор дисертації провів апробацію матеріалів дисертації, приймав участь у наукових конференціях де доповідав про результати своєї роботи. Його внесок для галузі ядерної фізики є помітними та важливими для її розвитку. За матеріалами дисертаційного дослідження автором було опубліковано 11 наукових праць: 7 статей у виданнях, які індексуються в наукометричній базі даних SCOPUS, 1 стаття в українському науковому журналі та 3 тез доповідей у матеріалах наукових конференцій. Отримано 2 патенти на корисну модель.

Дисертаційне дослідження, результати яких представлені в дисертації, було проведено в рамках кількох наукових тем/контрактів/грантів:

1. Науково-технічна робота «Нові нерадіохімічні методи реєстрації радіонуклідів в радіоактивних матеріалах АЕС для їх наступної переробки» (Державний реєстраційний номер 0122U000852). Місце виконання: Інститут ядерних досліджень Національної академії наук України.

2. Науково-технічна робота «Дослідження фотоядерних реакцій з вильотом заряджених частинок та гамма-квантів в області деформованих ядер» (Державний реєстраційний номер: 0120U100635). Місце виконання: Інститут ядерних досліджень Національної академії наук України.

3. Науково-технічна робота «Розробка нових методів реєстрації радіологічно значимих нуклідів в радіоактивних відходах АЕС» (Державний реєстраційний номер 0118U002256). Місце виконання: Інститут ядерних досліджень Національної академії наук України.

3. Наукова новизна одержаних результатів

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що в роботі вперше отримано дані про виходи фотоядерних реакцій на атомах ${}^9\text{Be}$ і ${}^{10}\text{B}$ в області енергій до 55 МеВ. Розроблено метод розрахунку активності ${}^{10}\text{Be}$ на підставі даних про перерізи (n,g)-, (n,p)- і фотоядерних реакцій на атомах ${}^9\text{Be}$ і ${}^{10}\text{B}$. Розроблено метод розрахунку активності ізотопів ${}^{59,63}\text{Ni}$, ${}^{36}\text{Cl}$ і ${}^{55}\text{Fe}$ на підставі експериментальних і розрахункових даних про перерізи (n, g)-, (n,p)- і фотоядерних реакцій на атомах ${}^{58}\text{Ni}$, ${}^{35}\text{Cl}$, ${}^{56}\text{Fe}$ і ${}^{59}\text{Co}$. Вивчено вплив неоднорідностей у досліджуваних зразках на розрахунки активності радіонуклідів та отримано напівемпіричні формули їх врахування. Досліджено зміни концентрації радіонуклідів у ґрунтах, відібраних у ближній зоні ЧАЕС після встановлення другого конфайнмента. Досліджено концентрації радіонуклідів у ґрунтах, поблизу 30-км зони ЧАЕС після встановлення другого конфайнмента. Отримані результати мають важливе значення для наукового співтовариства.

4. Теоретичне та практичне значення одержаних результатів.

Розроблені методи визначення активності ізотопів ${}^{10}\text{Be}$, ${}^{59,63}\text{Ni}$, ${}^{36}\text{Cl}$ і ${}^{55}\text{Fe}$ у конструкційних матеріалах АЕС були використані для вивчення активності в

конструкційних матеріалах знятого з експлуатації 2-го енергоблока ЧАЕС і радіоактивних відходів з інших працюючих АЕС України. Ці методи дадуть змогу розв'язувати завдання з виведення атомних станцій з експлуатації та забезпечувати безаварійну роботу діючих АЕС.

Напівемпіричні формули врахування впливу неоднорідностей у досліджуваних зразках на розрахунки активності радіонуклідів підвищать достовірність визначення активності у зразках довкілля.

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

Дисертаційна робота ґрунтується на наступних публікаціях здобувача:

1. Zheltonozhsky V.O., **Myznikov D.E.**, Savrasov A.M., Slisenko V.I. Determination of ^{59}Ni and ^{55}Fe contents in NPP structural elements Q3 (2023) Ukrainian Journal of Physics. 67(10). pp. 707-714. DOI: 10.15407/ujpe67.10.707 (Наукометричний показник: Q3).

2. Zheltonozhsky V.O., **Myznikov D.E.**, Savrasov A.M., Slisenko V.I. Determination of ^{63}Ni activity in NPP construction materials (2022) Nuclear Physics and Atomic Energy, 23, pp. 207-211. DOI: 10.15407/jnpae2022.02.207 (Наукометричний показник: Q4)

3. Zheltonozhskiy V.A., Zheltonozhskaya M.V., **Myznikov D.E.**, Bondarkov M.D., Farfán E.B. Investigation of radionuclide migration at sites adjacent to the 30-km exclusion zone of the chernobyl nuclear power plant (2022) Health Physics, 122(4), pp. 502–507. DOI: 10.1097/hp.0000000000001529 (Наукометричний показник: Q2)

4. Zheltonozhsky V.A., **Myznikov D.E.**, Slisenko V.I., et al. Determination of the long-lived ^{10}Be in construction materials of nuclear power plants using photoactivation method (2021) Journal of Environmental Radioactivity, 227, 106509. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2020.106509. (Наукометричний показник: Q2)

5. Zheltonozhsky V.O., **Myznikov D.E.**, Savrasov A.M., Slisenko V.I. Investigation of ^7Be population in reactions on nuclei of beryllium and boron with bremsstrahlung γ -rays in wide energy range (2020) Nuclear Physics and Atomic Energy, 21 (4), pp. 302-307. DOI: 10.15407/jnpae2020.04.302 (Наукометричний показник: Q3)

6. Zheltonozhskaya M.V., Kulich N.V., **Myznikov D.E.**, Slisenko V.I. Study of the Chernobyl fallout in 30-km zone after construction of the confinement (2019) Nuclear Physics and Atomic Energy, 20 (3), pp. 258-264. DOI: 10.15407/jnpae2019.03.258 (Наукометричний показник: Q3)

7. Bondarkov D.M., Kulich N.V., **Myznikov D.E.** et al. Non-destructive methods of Sr-90 measurement (2018) Radiation and Applications. Vol. 3, no. 1. P. 41–46. DOI: 10.21175/RadJ.2018.01.008

8. Бондарьков Д.М., Бондарьков М.Д., Желтоножська М.В., Желтоножський В.А., **Мизніков Д.Є.** Методи корекції бета-спектроскопічних досліджень у польових умовах (2019) Проблеми Чорнобильської зони відчуження. № 20. P. 82–87.

9. Куліч Н.В., Желтоножська М.В., **Мизніков Д.Є.** Спосіб розрахунку активності ^{241}Am в об'ємних слабоактивних пробах ґрунту. Патент на корисну модель №133830. Заявка U201811024 від 08.11.2018.

10. Желтоножський В.О., Желтоножська М.В., Куліч Н.В., **Мизніков Д.Є.**, Слісенко В.І. Фотоактиваційний спосіб визначення активності ^{10}Be . Патент на корисну модель №142159. Заявка U201907143 від 27.06.2019.

Якість публікацій здобувача характеризується високими наукометричними показниками міжнародних журналів, достатнім рівнем цитування статей у наукових публікаціях, вичерпним описом методології досліджень, чіткою та аргументованою подачею інформації, а також актуальністю теми дослідження.

Публікації прямо пов'язані з темою дисертації і розкривають її зміст. Перша стаття стосується метода реєстрації довгоживучих ізотопів ^{59}Ni та ^{55}Fe відносно активності ^{60}Co у конструкційних матеріалах АЕС. Друга стаття присвячена методу реєстрації ізотопу ^{63}Ni у конструкційних матеріалах АЕС. Третя стаття містить результати дослідження міграції радіонуклідів на ділянках, прилеглих до 30-кілометрової зони відчуження Чорнобильської АЕС. Четверта стаття стосується фотоактиваційного метода визначення активності довгоживучого ^{10}Be в конструкційних матеріалах АЕС. П'ята стаття присвячена дослідженню заселеності ^7Be в реакціях на ядрах берилію та бору з гальмівними γ -променями в широкому діапазоні енергій. Шоста стаття містить результати вивчення чорнобильських радіоактивних випадінь у 30-кілометровій зоні ЧАЕС після будівництва другого конфайнменту. Сьома стаття присвячена неруйнівним методам вимірювання ^{90}Sr . Восьма стаття містить опис методів корекції бета-спектроскопічних досліджень у польових умовах. Два патенти на корисну модель стосуються: 1) фотоактиваційного способу визначення активності ^{10}Be та 2) способу розрахунку активності ^{241}Am в об'ємних слабоактивних пробах ґрунту.

Сформульовані в дисертації положення та висновки ґрунтуються на основі особистих досліджень автора і відображаються в основних публікаціях здобувача. Здобувач зробив вагомий внесок у розробку та реалізацію методів визначення активності довгоживучих радіонуклідів, що розпадаються без випромінювання гамма-променів у конструкційних і радіоактивних матеріалах АЕС.

Згідно з вимогою п. 8 “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. наукові результати дисертації повинні бути висвітлені не менше ніж у трьох наукових публікаціях. Наукові видання *Ukrainian Journal of Physics* та *Nuclear Physics and Atomic Energy* включено на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України та проіндексовано в у базах даних *Web of Science Core Collection* та/або *Scopus*. Журнали *Health Physics* та *Journal of Environmental Radioactivity* на момент публікації є виданнями, що відносяться до другого квартилю (Q2) відповідно до класифікації

SCImago Journal and Country Rank. Отже, кількість наукових публікацій перевищує вищевказані вимоги.

6. Дискусійні положення та зауваження до дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота містить невелику кількість граматичних та друкарських помилок, однак це зауваження не впливає на результати і загальну позитивну оцінку роботи.

7. Відповідність дисертації встановленим вимогам.

Структура та оформлення дисертації відповідає вимогам затвердженими наказом Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 р. № 40. Дисертаційна робота є самостійним дослідженням здобувача з дотриманням у ній академічної доброчесності.

8. Загальний висновок.

Робота проведена дисертантом є цінним внеском у експериментальне вивчення фотоядерних реакцій на легких і середніх ядрах. Отримані дані про виходи фотоядерних реакцій можуть бути корисними у майбутніх експериментальних та теоретичних дослідженнях у ядерній фізиці. Розроблені нові неруйнівні методи реєстрації довгоживучих радіонуклідів ^{10}Be , $^{59,63}\text{Ni}$, ^{36}Cl , ^{55}Fe та ^{90}Sr у конструкційних і радіоактивних матеріалах АЕС мають велике практичне значення для України у зв'язку з виведенням з експлуатації ЧАЕС. Дисертація відповідає спеціальності “104 Фізика та астрономія” та вимогам “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. Надана робота заслуговує на позитивну оцінку. Мизніков Дмитро Євгенович гідний присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю “104 Фізика та астрономія”

Рецензент:

к.ф.-м.н., с.н.с. відділу структури ядра
Інституту ядерних досліджень
НАН України



В.П.Хоменков

Підпис В.П. Хоменкова засвідчую:

Вчений секретар
Інституту ядерних досліджень
НАН України



Н.Л. Дорошко