

Голові разової спеціалізованої вченої  
ради Інституту ядерних досліджень  
НАН України  
д.ф.-м.н., завідувачу відділу фізики  
важких іонів,  
Олегу ПОНКРАТЕНКО

## ВІДГУК

доктора фізико-математичних наук, професора, завідувача відділу фотоядерних процесів, Інституту електронної фізики НАН України Маслюка Володимира Трохимовича на дисертаційну роботу Мизнікова Дмитра Євгеновича «**Нерадіохімічні методи реєстрації радіонуклідів  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{59,63}\text{Ni}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  із відходів АЕС**», поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії у галузі знань “10 Природничі науки” за спеціальністю “104 Фізика та астрономія”

### **1. Актуальність теми дисертаційної роботи**

Дисертаційна робота Мизнікова Дмитра Євгеновича присвячена розробленню нових методів реєстрації довгоіснуючих радіонуклідів, що утворюються в конструкційних і радіоактивних матеріалах АЕС. Під час реєстрації активності радіонуклідів у таких матеріалах особливі складнощі викликають радіонукліди, що розпадаються без випускання гамма-квантів. Для реєстрації цих радіонуклідів необхідна попередня радіохімічна підготовка, що значно ускладнює реєстрацію цих радіонуклідів і практично не дає змоги проводити масові вимірювання їхньої концентрації через великі фінансові та трудові витрати. У світлі вищевикладеного актуальність представленої роботи не викликає сумніву. Також хотілося б відзначити й те, що для розроблення методів з використанням фотоактиваційного аналізу здобувачем були виконані роботи з дослідження виходів (g, rxn)-реакцій на легких і середніх ядрах. Експериментальні дані про виходи цих реакцій на легких ядрах досить нечисленні, і тому отримані результати становлять значний фундаментальний інтерес для ядерної фізики.

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

Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів (огляд літератури, три розділи з результатами власних досліджень, їх обговоренням та узагальненням результатів), висновків, списку використаних джерел, що містить 86 джерел, та одного додатку. Дисертаційну роботу викладено на 120 сторінках, в ній представлено 28 рисунків та 11 таблиць.

У першому розділі «*Огляд літератури*» здобувач обговорює основні методи реєстрації довгоживучих радіонуклідів у конструкційних і радіоактивних матеріалах АЕС, зокрема обговорює радіохімічні методи реєстрації  $^{59,63}\text{Ni}$  і  $^{90}\text{Sr}$ , атомно-абсорбційну спектрометрію і флуориметричний метод реєстрації  $^{10}\text{Be}$ ,

кореляційний метод реєстрації  $^{59,63}\text{Ni}$ . З наведеного аналізу добре видно, що подібні методи важко використовувати для характеристики великої кількості опромінених конструкційних матеріалів або для різноманітних за фізико-хімічними формами та радіонуклідним складом радіоактивних відходів АЕС.

У другому розділі «*Фотоактиваційний метод визначення довгоіснуючих ізотопів радіоізотопів в конструкційних матеріалах АЕС*» описано фотоактиваційний метод реєстрації  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{55}\text{Fe}$  і  $^{59,63}\text{Ni}$ . Для реалізації цього методу здобувачем вперше виконано вимірювання виходу  $^7\text{Be}$  на ядрах  $^9\text{Be}$  і  $^{10}\text{B}$  і показано, що в області енергій гальмівного випромінювання 30-40 МеВ вихід  $^7\text{Be}$  в межах похибки приблизно однаковий, що дає можливість розробити метод реєстрації  $^{10}\text{Be}$  незалежно від каналів, за якими він утворюється. Здобувачем було досліджено виходи активності під час опромінення зразків із другого енергоблоку ЧАЕС і визначено елементний склад цих матеріалів. З урахуванням отриманих даних, визначено активності  $^{10}\text{Be}$  і  $^{94}\text{Nb}$  фотоактиваційним методом, а активність  $^{94}\text{Nb}$  також було виміряно за виходом гамма-квантів. Отримані результати показують високу чутливість запропонованого методу (1-2 Бк/г). Дослідження концентрації активності  $^{59,63}\text{Ni}$  проводили запропонованим фотоактиваційним методом, використовуючи як монітор вихід активності  $^{60}\text{Co}$ . Цей підхід дозволив здобувачеві прибрати залежність виходу активності  $^{59,63}\text{Ni}$  і  $^{55}\text{Fe}$  від енергії нейтронів і неоднорідності потоку нейтронів. Здобувачем було визначено активності  $^{59,63}\text{Ni}$  і  $^{55}\text{Fe}$  розробленим методом у зразках другого енергоблоку ЧАЕС і проведено радіохімічні дослідження активності цих зразків. Отримані результати перебувають у добрій згоді, що вказує на достовірність запропонованого підходу.

У третьому розділі «*Спектроскопічний метод визначення активності  $^{90}\text{Sr}$* » обговорюється спектроскопічний метод реєстрації  $^{90}\text{Sr}$  за спектром електронів у радіоактивних матеріалах АЕС. Запропонований метод заснований на вписуванні калібрувальних спектрів фантомів  $^{40}\text{K}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  в експериментальний спектр електронів зразків. Запропонований метод дуже чутливий до густини досліджуваних зразків, тому здобувачем були проведені дослідження впливу густини зразків ґрунтів на точність розробленого методу, а також розмірів і геометрії досліджуваних зразків, зокрема для прижиттєвих вимірів мишоподібних гризунів і дрібних птахів. Були проведені спектроскопічні та радіохімічні вимірювання активності  $^{90}\text{Sr}$  у різних зразках і були отримані аналітичні вирази, що ґрунтуються на вимірюванні положення піку конверсійних електронів  $^{137}\text{Cs}$  та вимірюванню активності  $^{137}\text{Cs}$  за виходом характеристичного випромінювання  $^{137}\text{Ba}$  та гамма-випромінювання з енергією 661 кеВ. Було проведено верифікацію запропонованого методу з урахуванням поправок у порівнянні з радіохімічними вимірюваннями. Спостерігається збіг отриманих результатів у межах 10-15%, що переконливо свідчить про достовірність даних, отриманих запропонованим методом.

У четвертому розділі «*Апробація розроблених методів*» представлено результати дослідження концентрації активності радіонуклідів після встановлення нового конфайнмента на території 30-кілометрової зони ЧАЕС і за її межами, використовуючи запропоновані методи. Виокремлено активності  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{94}\text{Nb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{241}\text{Am}$  і показано значні зміни у співвідношенні радіонуклідів у зразках ґрунтів. Появу активності  $^{94}\text{Nb}$  у ґрунтах зони відчуження

ЧАЕС після встановлення нового конфайнмента пропонується використовувати як контрольний репер нових випадіннь.

Загалом видно, що здобувачем пророблено великий обсяг експериментальної роботи, отримано нові результати, важливі як для фундаментальної ядерної фізики, так і для розв'язання прикладних задач. Тут хотілося б також відзначити, що здобувач не тільки отримав нові експериментальні дані про виходи ядерних реакцій, а й провів теоретичні розрахунки в рамках статистичної моделі ядра з використанням програмного коду TALYS1.96 і показав, що експериментальні дані для ядер хлору, заліза, нікелю і кобальту перебувають у хорошій згоді з теоретичними розрахунками, що також вказує на достовірність отриманих результатів.

Публікації в міжнародних рецензованих журналах з високими наукометричними показниками підтверджують достовірність результатів роботи, володіння здобувачем методологією наукової діяльності та високий рівень наукового дослідження. Дисертант апробував матеріали дисертації на наукових конференціях, де доповідав результати своєї роботи. За матеріалами, використаними в дисертаційному дослідженні, здобувачем опубліковано 11 наукових статей: 7 статей у журналах, що індексуються в наукометричній базі даних SCOPUS, 1 стаття в українському науковому журналі та 3 тези доповідей у матеріалах наукових конференцій. Також їм отримано 2 патенти на корисну модель. Дисертаційне дослідження було проведено в рамках наступних 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**

В дисертаційній роботі вперше отримано дані про середньозважені за потоком гальмівного випромінювання виходи фотоядерних реакцій на атомах  ${}^9\text{Be}$  і  ${}^{10}\text{B}$  в області енергій до 20-55 MeV. З отриманих експериментальних даних розроблено фотоактиваційний метод розрахунку активності  ${}^{10}\text{Be}$  у конструкційних і радіоактивних матеріалах АЕС з використанням активності  ${}^{94}\text{Nb}$  як монітора. Розроблено фотоактиваційний метод розрахунку активності ізотопів  ${}^{59,63}\text{Ni}$ ,  ${}^{36}\text{Cl}$  і  ${}^{55}\text{Fe}$  у конструкційних і радіоактивних матеріалах АЕС з використанням активності  ${}^{59}\text{Co}$  як монітора. Запропоновано спектроскопічний метод реєстрації  ${}^{90}\text{Sr}$  за спектром електронів у радіоактивних матеріалах АЕС та отримані аналітичні вирази для корекції впливу розмірів, геометрії та густини досліджуваних зразків на точність розробленого методу. Досліджено зміни

концентрації радіонуклідів у ґрунтах, відібраних у ближній зоні ЧАЕС та за її межами після встановлення другого конфайнмента.

#### **4. Теоретичне та практичне значення одержаних результатів.**

Розроблені фотоактиваційні методи визначення активності ізотопів  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{59,63}\text{Ni}$ ,  $^{36}\text{Cl}$  і  $^{55}\text{Fe}$  були використані для вивчення активності в конструкційних і радіоактивних матеріалах 2-го енергоблока ЧАЕС і радіоактивних відходів з інших працюючих АЕС України. Ці методи дають змогу розв'язувати завдання зняття з експлуатації АЕС з вичерпаним терміном експлуатації та забезпечення безаварійної роботи діючих атомних електростанцій.

Спектроскопічний метод реєстрації  $^{90}\text{Sr}$  за спектром електронів у радіоактивних матеріалах АЕС та отримані аналітичні вирази для корекції впливу розмірів, геометрії та густини досліджуваних зразків на точність розробленого методу підвищують достовірність визначення активності  $^{90}\text{Sr}$  у зразках довкілля та радіоактивних матеріалах АЕС.

#### **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  $^{59}\text{Ni}$  and  $^{55}\text{Fe}$  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  $^{63}\text{Ni}$  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  $^{10}\text{Be}$  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  $^7\text{Be}$  population in reactions on nuclei of beryllium and boron with bremsstrahlung  $\gamma$ -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. Р. 82–87.

9. Куліч Н.В., Желтоножська М.В., **Мизніков Д.Є.** Спосіб розрахунку активності  $^{241}\text{Am}$  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.**, Сліченко В.І. Фотоактиваційний спосіб визначення активності  $^{10}\text{Be}$ . Патент на корисну модель №142159. Заявка U201907143 від 27.06.2019.

Публікації прямо пов'язані з темою дисертації і розкривають її зміст. *Статті 1 та 2* містять описи методів реєстрації довгоіснуючих ізотопів  $^{59}\text{Ni}$  та  $^{55}\text{Fe}$ , а також  $^{63}\text{Ni}$  з використанням в якості монітору активності  $^{60}\text{Co}$  у конструкційних та радіоактивних матеріалах АЕС. *Стаття 3* стосується результатів дослідження міграції техногенних радіонуклідів на прилеглих до 30-кілометрової зони відчуження ЧАЕС територіях. *Стаття 4* містить опис фотоактиваційного метода визначення активності довгоіснуючого  $^{10}\text{Be}$  в конструкційних та радіоактивних матеріалах АЕС. *Стаття 5* присвячена дослідженню заселеності  $^7\text{Be}$  в реакціях на ядрах берилію та бору з гальмівними  $\gamma$ -променями в широкому діапазоні енергій. *Стаття 6* містить результати дослідження концентрації активності радіонуклідів після встановлення нового конфайнмента на території 30-кілометрової зони ЧАЕС. *Статті 7 та 8* стосуються неруйнівних методів вимірювання  $^{90}\text{Sr}$  та методів корекції бета-спектроскопічних досліджень у польових умовах. Один патент на корисну модель надає опис фотоактиваційного способу визначення активності  $^{10}\text{Be}$ . Другий патент стосується способу розрахунку активності  $^{241}\text{Am}$  в об'ємних слабоактивних пробах ґрунту.

Сформульовані в дисертації положення і висновки ґрунтуються на особистих дослідженнях автора і відображені в основних публікаціях здобувача. Здобувачем зроблено значний внесок у розробку та впровадження методів визначення активності довгоіснуючих радіонуклідів, що розпадаються за відсутності гамма-випромінювання, в конструкційних та радіоактивних матеріалах атомних електростанцій.

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. Таким чином, кількість наукових публікацій перевищує зазначені у Постанові № 44 Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. вимоги.

## 6. Дискусійні положення та зауваження до дисертаційної роботи.

Дисертація містить невелику кількість граматичних помилок та незначну недбалість в оформленні рисунків, але це зауваження не впливає на результати і загальну позитивну оцінку роботи.

## 7. Відповідність дисертації встановленим вимогам.

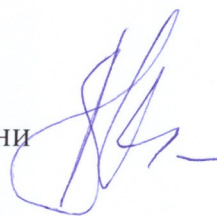
Структура та оформлення дисертації відповідає вимогам затвердженими наказом Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 р. № 40. Дисертаційна робота є самостійним дослідженням здобувача з дотриманням у ній академічної доброчесності.

## 8. Загальний висновок.

Загалом можна відзначити, що здобувачем пророблено великий обсяг експериментальної роботи, отримано нові результати, важливі як для фундаментальної ядерної фізики, так і для розв'язання прикладних задач. Отримані дані про середньозважені за потоком гальмівного випромінювання виходи фотоядерних реакцій на легких ядрах важливі для отримання нової інформації про структуру цих ядер та уточнення наявних моделей ядра. Розроблені нові неруйнівні методи реєстрації довгоіснуючих радіонуклідів  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{59,63}\text{Ni}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{55}\text{Fe}$  та  $^{90}\text{Sr}$  у конструкційних і радіоактивних матеріалах АЕС мають велике практичне значення для України, бо дають змогу розв'язувати завдання зняття з експлуатації АЕС з вичерпаним терміном експлуатації (ЧАЕС) та забезпечення безаварійної роботи діючих атомних електростанцій. 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:

докт. фіз.-мат. наук, професор,  
завідувач відділу фотоядерних процесів  
Інституту електронної фізики НАН України



Володимир МАСЛЮК

Підпис докт. фіз.-мат. наук,  
професора Маслюка В.Т. засвідчую  
Вчений секретар, к.х.н.



Людмила РОМАНОВА