

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Інституту ядерних досліджень НАН України
доктору фізико-математичних наук,
професору, виконувачу обов'язків головного
наукового співробітника відділу фізики
лептонів Інституту ядерних досліджень
НАН України
Даневичу Федору Анатолійовичу

РЕЦЕНЗІЯ

кандидата фізико-математичних наук, старшого дослідника,
старшого наукового співробітника відділу фізики важких іонів
Інституту ядерних досліджень НАН України
Улещенка Володимира Васильовича
на дисертацію Рамазанова Дмитра Миколайовича
на тему: «Фізико-технічні основи просторово фракціонованої радіаційної
терапії» подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії
у галузі знань “10 Природничі науки”
за спеціальністю “104 Фізика та астрономія”

1. Актуальність обраної теми дисертаційної роботи

В останні десятиліття онкологічні захворювання є досить масовими і спричиняють досить тяжкі наслідки як в усьому світі так і в Україні. Спостерігається і помітний прогрес у методах лікування таких захворювань, важливу роль у чому грає радіаційне опромінення пухлин. При цьому, незважаючи на досягнення останніх десятиліть, деякі типи радіорезистентних пухлин, залишаються складними для ефективного лікування. Тому розширення можливостей радіаційної терапії є надзвичайно актуальним науковим завданням. Перспективним напрямком тут є метод просторово-фракціонованої променевої терапії, який дозволяє підвищити дози отримані патологічними клітинами з одночасним зменшенням ураження сусідніх здорових тканин. В Україні розвиток таких методик перебуває на початковій стадії.

Дисертаційна робота Рамазанова Д.М. «Фізико-технічні основи просторово фракціонованої радіаційної терапії» присвячена вивченню взаємодії пучків іонізуючого випромінювання з речовиною, розробці нових рішень для формування та моніторингу таких пучків для використання перш за все у галузі променевої терапії злоякісних пухлин на основі методу просторово-фракціонованої радіаційної терапії.

Тобто тематика дисертаційної роботи є безперечно актуальною та своєчасною. Крім цього варто відзначити, що вплив на речовину пучками високоенергетичних частинок належить до передових технологій. Тому нові вдалі рішення для формування та моніторингу таких пучків можуть знайти своє застосування в промисловості чи в наукових дослідженнях.

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

Представлена дисертаційна робота має 132 сторінки друкованого тексту, містить структурно оформлені анотацію (українською та англійською мовами), вступ, три розділи, висновки, список використаних джерел із 103 найменувань, а також один додаток з вказаними окремо публікаціями, що показують публікацію та апробацію основних результатів, представлених у дисертації. В дисертації є 87 рисунків та 2 таблиці, котрі детально ілюструють хід виконання досліджень та отримані на всіх етапах результати.

У вступі належним чином обґрунтовано актуальність обраної теми, сформульовано мету і завдання роботи, визначено об'єкт, предмет та методи дослідження, розкрито наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

Перший розділ містить детальний огляд літературних даних з проблематики дослідження. Наведено ґрунтовний аналіз епідеміологічних даних щодо захворюваності на злоякісні пухлини та обґрунтовано необхідність розробки нових ефективних методів променевої терапії. Описано фізичні та біологічні основи традиційної променевої терапії. Розглянуто історію розвитку теорії та методів просторово фракціонованої радіаційної терапії.

У другому розділі описано розробку та тестування багатоканальних детекторних систем на основі поєднання металевих мікростріпових детекторів (ММД) та електроніки Sens-Tech XDAS для моніторингу параметрів фракціонованих пучків іонізуючого випромінювання.

Третій розділ присвячено дослідженню процесів фракціонування пучків випромінювання за допомогою металевих коліматорів на основі фізичного експерименту та моделювання методом Монте-Карло. У роботі використано сучасні пакети моделювання GEANT4 та FLUKA для чисельного дослідження процесів взаємодії іонізуючого випромінювання з речовиною та параметрів фракціонованих пучків. Підтверджено адекватність розроблених комп'ютерних моделей шляхом порівняння з даними фізичного експерименту на медичному прискорювачі Varian Clinac iX.

Зміст дисертації відповідає поставленим меті і завданням дослідження.

Достовірність та обґрунтованість наукових положень і висновків дисертації забезпечується поєднанням сучасних теоретичних та експериментальних методів досліджень, зокрема належною верифікацією результатів моделювання.

Представлена дисертаційна робота була частиною наукових проєктів, що виконувались в Інституті ядерних досліджень НАН України: Тема 0116U002883 «Розробка фізико-технічних принципів просторово фракціонованої адронної терапії», № Ф31-2021 «Розробка детекторних систем для експериментів на прискорювачах та технологій для фізики прискорювачів» Етап 1: «Радіаційно стійка мікро-детекторна система для вимірювання просторових та часових характеристик пучків заряджених частинок та фотонів», № Ф31- 2022 «Розробка детекторних систем для експериментів на прискорювачах та технологій для фізики прискорювачів» Етап 2: «Система колімації та моніторингу високоінтенсивних пучків для просторово фракціонованої радіаційної терапії».

Результати дисертації пройшли апробацію на 10 українських та міжнародних конференціях, що відображено у 10 тезах доповідей на цих конференціях.

3. Наукова новизна одержаних результатів

Ознаки наукової новизни присутні у таких результатах, представлених у дисертації:

- Вперше розраховано граничні умови коректної роботи металевих мікροстріпових детекторів (ММД) в залежності від флюенсів та енергій частинок для пучків протонів та електронів в широкому діапазоні енергій від 1 МеВ до 1 ТеВ. Показано можливість їх використання як у радіотерапевтичних задачах так і в фундаментальних дослідженнях експериментальної фізики.
- Вперше експериментально реалізовано багатоканальну систему моніторингу просторового розподілу інтенсивності пучка іонізуючого випромінювання у режимі реального часу на основі металевих мікροстріпових детекторів і сучасної електроніки Sens-Tech XDAS із роздільною здатністю 100 мк та товщиною робочої зони детектора 1 мк.
- Виконано комплексне моделювання процесів фракціонування медичних пучків гамма-квантів 25 МеВ і електронів 18 МеВ за допомогою металевих матричних коліматорів. Визначено оптимальні конструктивні параметри та матеріал таких коліматорів для просторового фракціонування вказаних медичних пучків у міліметровому масштабі. Показано, що товщина коліматора має бути не менш ніж у два рази

більшою за товщину повного поглинання пучка, а також, що вольфрам є оптимальним матеріалом для виготовлення таких коліматорів.

- Запропоновано нові технічні рішення у вигляді модульних металевих коліматорів для просторово-фракціонованої променевої терапії, що дозволять налаштовувати їх для різних задач опромінення у різних умовах.
- Досліджено еволюцію фракціонованих міні пучків по мірі проникнення у фантом. Встановлено вагомий роль вторинних електронів у розмитті структури фракціонованого дозового поля. Показано обмеженість глибини поширення фракціонованих міні пучків через інтенсивне розсіювання вже на глибині 1см для гамма квантів та 5 мм для електронів.

4. Теоретичне та практичне значення одержаних результатів.

Представлені результати дисертаційної роботи істотно покращують наше розуміння процесів взаємодії випромінювання з речовиною, формування профілю пучка при його проходженні через щільний коліматор складної геометрії, формування поля поглиненої дози в речовині в умовах просторово-фракціонованого опромінення, роботи вимірювальної та зчитувальної апаратури в умовах інтенсивного радіаційного впливу.

Такі знання допомагають оптимізувати конструкцію та режими роботи детекторів та коліматорів у різноманітних умовах медичних, науково-фізичних, а також, можливо, і промислових задач.

Зокрема, отриманий теоретичний опис температурного режиму металевих мікростріпових детекторів дозволяє конструювати такі детектори для моніторингу пучків в дуже різних умовах: від медичних рентгенівських установок до експериментів фізики високих енергій.

Розроблені автором модульні коліматори дають надію на покращення протоколів фракціонованого опромінення радіорезистентних пухлин та, відповідно, отримання кращих результатів лікування.

Використана в роботі методика комп'ютерного моделювання є хорошим прикладом дослідження параметрів систем променевої терапії без проведення дорогих натурних експериментів.

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

Основні положення досліджень, виконаних в рамках дисертаційної

роботи, викладені у 4 статтях у фахових наукових виданнях України, в кожній з яких Рамазанов Д.М. є одним з двох авторів. Ці публікації присвячені завданням, що відповідають проблематиці дисертаційної роботи, і досить повно та всебічно висвітлюють наукові результати, покладені в основу дисертації та методику їх отримання.

Зокрема, у статтях ідеться про розробку багатоканальної детекторної системи на основі металевих мікростріпових детекторів та сучасної багатоканальної електроніки Sens-Tekh XDAS, комп'ютерне моделювання процесів фракціонування пучків, дослідження параметрів металевих коліматорів, аналіз впливу вторинних електронів на розподіл поглиненої дози в опромінену зразку та створення модульних технічних рішень для просторово-фракціонованої терапії.

Наукові публікації відповідають вимогам пп. 8-9 “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. з наступними змінами.

6. Дискусійні положення та зауваження до дисертаційної роботи.

1. Тестування детекторної системи на основі металевих мікростріпових детекторів та сучасної багатоканальної електроніки Sens-Tekh XDAS тільки одним альфа-джерелом виглядає не достатнім, особливо враховуючи той факт, що розроблялась вона перш за все для моніторингу пучків електронів та гама-квантів. Корисним було б також тестування у вакуумі, яке б зокрема дозволило перевірити адекватність модельного висновку про вторинні електрони як основне джерело сигналу. Також важливо було б експериментально перевірити теоретичні розрахунки про температурні режими роботи ММД в умовах екстремальних флюенсів чи енергій частинок.
2. У результатах тестування детекторної системи не відображений рівень шуму базової лінії.
3. Запропоновані технічні рішення на основі модульних коліматорів варто було б детально порівняти з вже існуючими конструкціями, краще висвітлити переваги і можливі обмеження.
4. Результати роботи опубліковані у виданнях, що входять до категорії «Б» переліку фахових видань України хоча є достатньо значущими для публікації у високорейтингових міжнародних виданнях.
5. Не позбавлена робота недоліків у оформленні. Зокрема:

- a) наявні граматичні помилки, навіть у назвах підзаголовків, наприклад «Модель профіломета» у розділі 2.12,
- b) зустрічаються невдало сформульовані і важкі для зрозуміння речення, наприклад на початку другого абзацу на стор. 32,
- c) зустрічаються невдалі терміни, наприклад «хадрони» (с. 15) при загальноновизнаному «адрони»,
- d) зустрічаються написи на рисунках російською (напр. Рис. 3.35) та англійською (напр. Рис. 3.9) мовами.

Вказані зауваження не є критичними і не змінюють загальну позитивну оцінку роботи.

7. Відповідність дисертації встановленим вимогам.

Дисертація оформлена відповідно до вимог, затверджених наказом Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 р. № 40, містить всі необхідні структурні елементи, написана державною мовою, усі використані матеріали, результати і висновки мають відповідні літературні посилання. Ознаки порушення автором вимог академічної доброчесності не спостерігаються.

8. Загальний висновок.

Представлена дисертація є самостійною, цілісною і завершеною науковою працею з чіткою постановкою задачі, описом методів досліджень та викладенням отриманих результатів. Робота відзначається належним науковим рівнем, а сформульовані в ній положення є обґрунтованими і достовірними. Зміст дисертації відповідає поставленим меті і завданням дослідження. Отримані результати достатньо значущі, відносяться до актуальної тематики, пройшли необхідну апробацію та опубліковані належним чином.

Вважаю, що дисертаційна робота Рамазанова Дмитра Миколайовича на тему «Фізико-технічні основи просторово фракціонованої радіаційної терапії» відповідає спеціальності 104 «Фізика та астрономія» та вимогам Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у вищих навчальних закладах (наукових установах) затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 року № 261 з наступними змінами; пп. 6, 7, 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 Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44 з

наступними змінами, а її автор – Рамазанов Дмитро Миколайович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

Рецензент:

Кандидат фізико-математичних наук,
старший дослідник,
старший науковий співробітник
відділу фізики важких іонів
Інституту ядерних досліджень
НАН України

Володимир УЛЕЩЕНКО

Підпис В.В. Улещенка
затверджую
Вчений секретар
Інституту ядерних досліджень
НАН України

Н.Л. Даровко

