

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор Інституту ядерних досліджень

НАН України

академік НАН України

В. І. Улещенко

Ідентифікаційний код 23724640

М. Київ

ІНСТИТУТ ЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НАН УКРАЇНИ

_____ 2023 р.

ВИСНОВОК

Інституту ядерних досліджень НАН України

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації

Рамазанова Дмитра М. на тему:

«Фізико-технічні основи просторово фракціонованої радіаційної терапії»,

поданої на здобуття ступеня доктора філософії

з галузі знань «10 Природничі науки» за спеціальністю «104 Фізика та астрономія»

Витяг

з протоколу № 16 засідання розширеного наукового семінару відділу фізики високих енергій від 21 грудня 2023 року.

Присутні: Голова засідання – Заступник директора з наукової роботи (виконуючий обов'язки) д.ф.-м.н., с.н.с. В.В. Давидовський (ВТЯП ІЯД), зав. ВФВЕ ІЯД НАН України д.ф.-м.н., проф. Пугач В.М, зав. ВФЛ ІЯД НАН України к.ф.-м.н., ст. досл. В.В. Кобичев; д.ф.-м.н., с.н.с. О.А. Понкратенко (ВФВІ ІЯД); к.ф.-м.н., ст. досл. В.В. Улещенко (ВФВІ ІЯД), к.ф.-м.н., с.н.с. Обіход, пров. інж. Петренко, в.о. н.с. Охріменко, м.н.с. Добішук, пров. інж. Чернищенко, заст. Зав. ВФВЕ Кива, н.с. Омельченко (ВТЯП ІЯД)

Серед присутніх 3 доктори наук, 3 кандидатів наук

Порядок денний:

Обговорення дисертаційного дослідження Д.М. Рамазанова на тему «Фізико-технічні основи просторово фракціонованої радіаційної терапії», поданого на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 Природничі науки за спеціальністю 104 Фізика та астрономія.

Науковий керівник – д.ф.-м.н., зав. ВФВЕ Інституту ядерних досліджень НАН України Пугач Валерій Михайлович.

Дисертацію виконано у відділі фізики високих енергій Інституту ядерних досліджень НАН України. Тему дисертації затверджено на засіданні вченої ради Інституту ядерних досліджень НАН України (протокол № 1 від 28.01.2020 року).

Здобувач надав повний комплект документів: текст дисертації, академ. довідку (наукова та освітня програми навчання в аспірантурі ІЯД виконані повністю), довідку щодо оригінальності (плагіату в тексті дисертації не виявлено), позитивний висновок наукового керівника.

Здобувач Д. М. Рамазанов представив доповідь за основними положеннями дисертації «Фізико-технічні основи просторово фракціонованої радіаційної терапії», поданої на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 Фізика та астрономія:

Після закінчення презентації присутніми на захисті фахівцями було поставлено наступні запитання:

Д.ф.-м.н., с.н.с. В.В. Давидовський: Охарактеризуйте ваш особистий внесок у проведенні дослідження.

Д.М. Рамазанов: мною в роботі з розроблена детектрона система на основі металевих мікростріпових детекторів та системи зчитування Sens-Tech XDAS, виконані тестування цієї системи, розроблені Монте-Карло моделі для дослідження фракціонування пучків, виконані експериментальні виміри на медичному прискорювачі в київському інституті раку, а також розроблені креслення коліматорів на основі аналізу симуляцій та експериментів.

Д.ф.-м.н., с.н.с. В.В. Давидовський: Проведені роботи були основною метою досліджень чи другорядними?

Д.М. Рамазанов: основною метою, основна мета це створити систему колімації пучка на міні пучки яка б був ефективною та мала PVDR більше 8 а також створити систему моніторингу фракціонованого пучка для подальших досліджень, мета роботи була досягнута.

Після відповідей на запитання виступили **рецензенти** дисертаційної роботи В.В. Улещенко і В.В. Кобичев, які наголосили на позитивних аспектах дослідження та висловили свої побажання та зауваження.

К.ф.-м.н., ст. досл. В.В. Улещенко: Дисертаційна робота Д.М. Рамазанова є вагомим внеском у розв'язанню важливої науково-прикладної проблеми у галузі медичної фізики - розробці фізико-технічних засад просторово фракціонованої радіаційної терапії (ПФРТ). Цей перспективний метод ґрунтується на використанні вузьких міні-пучків іонізуючого випромінювання з високою інтенсивністю для селективного пошкодження ракових клітин при збереженні життєздатності навколишніх здорових тканин.

У роботі поставлено конкретну мету - розробити фізико-технічні методи колімації та фракціонування випромінювання медичних прискорювачів, а також створити відповідну детекторну систему моніторингу фракціонованих пучків.

Для досягнення цієї конкретної мети було вирішено комплекс завдань щодо моделювання процесів фракціонування, розробки оптимізованих конструкцій коліматорів, а також створення багатоканальної детекторної системи на основі мікростріпових детекторів.

У результаті проведених досліджень отримано низку нових результатів фундаментального та прикладного значення:

розроблено 128-канальну детекторну систему для моніторингу фракціонованих пучків у ПФРТ;

встановлено оптимальні параметри вольфрамівих коліматорів для ефективного фракціонування медичних пучків гамма-квантів та електронів;

продемонстровано можливість створення високофракціонованих міні-пучків для опромінення неглибоких пухлин фотонами та електронами;

Запропоновано 3 версії конструкцій модульних коліматорів, що забезпечують гнучке налаштування під різні умови ПФРТ.

результати досліджень опубліковані у 4 статтях та 10 тезах доповідей і повною мірою розкривають зміст наукову новизну та практичне значення здобутих результатів.

Дисертаційна робота є завершеним самостійним дослідженням, виконаним на належному науково-методичному рівні. За актуальністю, науковою новизною та обґрунтованістю наукових положень і висновків робота повністю відповідає встановленим вимогам.

На цій підставі вважаю, що здобувач Рамазанов Д.М. заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 – фізика та астрономія.

К.ф.-м.н. В.В. Кобичев: Дисертаційна робота Д.М. Рамазанова присвячена актуальній тематиці дослідження фізико-технічних основ просторово фракціонованої радіаційної терапії. Загалом у роботі представлено низку цікавих теоретичних та експериментальних результатів у цій галузі.

У першому розділі дисертантом проведено ґрунтовний аналіз літературних джерел, на основі якого чітко сформульовано мету і завдання дослідження. Коректно визначено об'єкт, предмет та методи дослідження.

У другому розділі описано розробку оригінальних багатоканальних детекторних систем на основі поєднання металевих мікростріпових детекторів та електроніки зчитування XDAS. Автором теоретично обґрунтовано граничні умови застосування створених систем за критеріями максимально допустимих флюенсів протонних та електронних пучків у широкому діапазоні енергій. Експериментально продемонстровано ефективність роботи детекторних комплексів шляхом реєстрації параметрів випромінювання радіоактивного ізотопу плутонію-239.

У третьому розділі наведено результати експериментального дослідження можливості фракціонування пучків гамма-квантів та електронів за допомогою фізичних зразків латунного і свинцевого коліматорів на базі медичного прискорювача Varian Clinac iX. Експериментальні дані верифіковано результатами Монте-Карло моделювання у пакетах GEANT4 та FLUKA.

За допомогою комп'ютерного моделювання детально досліджено вплив матеріалу, геометрії і товщини вольфрамових коліматорів на ефективність фракціонування пучків гамма-квантів та електронів різних енергій. Встановлено оптимальні параметри коліматорів для забезпечення високих показників фракціонування з PVDR понад 10.

Крім того, проаналізовано просторово-енергетичний розподіл та динаміку еволюції характеристик фракціонованих міні-пучків у речовині залежно від глибини. Показано ключову роль вторинних електронів у формуванні профілю дози від гамма-пучків, що істотно обмежує глибину проникнення.

На підставі отриманих даних автором запропоновано три версії конструкцій модульних вольфрамових коліматорів для просторово фракціонованої терапії, що забезпечують гнучке налаштування геометрії під різні умови опромінення.

Загальний висновок: дисертаційне дослідження пана Рамазанова є завершеною науково-дослідною роботою, що має певну новизну і практичну цінність. Автор

заслугове на присудження наукового ступеня доктора філософії у галузі природничих наук за спеціальністю 104 – фізика та астрономія. Роботу можна рекомендувати до захисту з урахуванням вищенаведених зауважень.

Оцінка змісту дисертації та її завершеність

Дисертаційна робота складається зі вступу, 3 розділів, висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг становить 132 сторінок, з яких основний текст – 102 сторінки. Робота містить 87 рисунків та 2 таблиці. Список використаних джерел налічує 103 найменування.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, показано зв'язок з науковими програмами та темами, сформульовано мету й основні задачі, описано використані методики, викладено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі наведено огляд літератури за тематикою дослідження та аналіз сучасного стану проблеми.

У другому розділі описано розробку багатоканальної детекторної системи на основі металевих мікростріпових детекторів та її експериментальні випробування.

Третій розділ присвячено питанням моделювання та експериментальних досліджень процесів фракціонування випромінювання за допомогою коліматорів.

У висновках узагальнено результати проведених досліджень та окреслено перспективи подальших розробок.

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій отримано обґрунтовані та достовірні результати фундаментального і прикладного значення.

Повнота викладення результатів в опублікованих працях

Основні положення та результати дисертації опубліковано у 14 наукових працях, серед яких 4 статті у фахових виданнях України та 10 тез конференцій. Ці публікації повною мірою розкривають зміст проведених досліджень та отримані нові наукові та практичні результати.

Загальна оцінка дисертаційної роботи

Дисертаційне дослідження Д.М. Рамазанова є завершеною, цілісною науково-дослідною роботою, в якій на основі комплексних теоретичних та експериментальних досліджень отримано нові результати фундаментального та прикладного значення у галузі фізики та астрономії.

За актуальністю, науково-практичною значущістю, обґрунтованістю наукових положень та висновків робота повністю відповідає вимогам п.10 «Порядку присудження наукових ступенів».

На основі викладеного вище, вважаю, що дисертаційна робота «Фізико-технічні основи просторово фракціонованої радіаційної терапії» є самостійним завершеним науковим дослідженням, а її автор Рамазанов Дмитро Миколайович заслугове на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 – фізика та астрономія.

Після виступів рецензентів виступив **науковий керівник** — д.ф.-м.н., член кореспондент НАН України. Пугач Валерій Михайлович.

Науковий керівник: Дисертаційна робота Дмитра Рамазанова присвячена актуальній проблемі розробки фізико-технічних засад просторово фракціонованої радіаційної терапії - перспективного методу лікування злоякісних пухлин з високим терапевтичним індексом.

Перед здобувачем було поставлено комплекс наукових завдань у цій галузі:

- Створення радіаційно стійкої багатоканальної детекторної системи для точного моніторингу параметрів фракціонованих променевих пучків.
- Дослідження можливості ефективного фракціонування пучків іонізуючого випромінювання різних типів за допомогою спеціальних коліматорів за допомогою Монте-Карло симуляцій.
- Розробка оптимізованих конструкцій таких коліматорів з гнучким налаштуванням під різні умови опромінення.

З усіма цими завданнями Дмитро Рамазанов успішно впорався, продемонструвавши високу наукову кваліфікацію та здатність до самостійних досліджень.

Результати його роботи лягли в основу створення 128-канальної детекторної системи на базі поєднання металевих мікростріпових детекторів та сучасної електронної схеми зчитування Sens-Tech XDAS. Експериментально підтверджено ефективну роботу цієї системи - досягнуто контроль просторового розподілу та інтенсивності іонізуючого випромінювання у режимі реального часу.

За результатами проведеного комп'ютерного моделювання методом Монте-Карло встановлено оптимальні матеріали та параметри металевих коліматорів для фракціонування пучків гамма-квантів та електронів різних енергій. Показана принципова можливість створення високофракціонованих міні-пучків для опромінення неглибоких пухлин як фотонними, так і електронними пучками. Виявлено швидке розмивання фракціонування з глибиною через інтенсивне розсіювання.

Запропоновано конструкції модульних вольфрамових коліматорів з гнучким регулюванням параметрів під різні сценарії застосування у просторово фракціонованій променевій терапії.

Робота Д. М. Рамазанова становить суттєвий внесок у розвиток радіаційного матеріалознавства та створення науково-технічних засад нового покоління променевої терапії на основі фракціонованих високоінтенсивних пучків випромінювання.

Отримані здобувачем результати заклали підґрунтя для подальших фундаментальних та прикладних досліджень у цій галузі. Вони будуть використані для удосконалення методів просторово фракціонованої радіаційної терапії злоякісних новоутворень з метою підвищення їх ефективності та безпечності.

Дмитро є самостійним дослідником, брав активну участь у наукових конференціях, та має 4 публікації у фахових виданнях за темою дисертаційної роботи. Вважаю, що дисертація та наукові здобутки здобувача повністю відповідають встановленим вимогам, а сам Дмитро Рамазанов заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 – фізика та астрономія.

В обговоренні дисертаційного дослідження взяли участь:

Д.ф.-м.н., проф. В.М. Пугач: Дмитро дуже відповідально ставиться до роботи, а його уважність до деталей не залишає сумнівів у якості виконання поставлених завдань. Дмитро має гарні знання з різних областей фізики, математики, програмування, знає англійську мову, без чого важко уявити наукове життя. Вважаю проведену роботу достойною статусу доктора філософії.

К.ф.-м.н., с.н.с. В. В. Кобичев: Прискіпливість Дмитра є корисною рисою як фізика. Використання знань з інших галузей допомагає широко дивитися на дослідження й

пропонувати незвичні способи досягнення цілей. Дмитро брав участь у різних міжнародних та українських конференціях, де представляв свої наукові результати. Загалом позитивно оцінюю проведену роботу.

К.ф.-м.н., ст.досл. В.В. Улещенко: Маю позитивне враження від проведених Дмитром досліджень. Зауваження, що треба чіткіше формулювати висновки на основі отриманих результатів.

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Рамазанова Дмитра М. на тему «Фізико-технічні основи просторово фракціонованої радіаційної терапії», поданої на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 Фізика та астрономія

Обґрунтування вибору теми дослідження. Дисертаційна робота присвячена фізико-технічним основам просторово фракціонованої радіаційної терапії - перспективного методу лікування злоякісних пухлин.

Ця тема є надзвичайно актуальною, оскільки рак залишається однією з основних причин смертності в усьому світі. На жаль, результати лікування деяких пухлин, зокрема гліобластом головного мозку, є незадовільними. П'ятирічна виживаність хворих на гліобластоми становить лише близько 5%. Це визначає гостру потребу в розробці нових підходів променевої терапії для розширення "терапевтичного вікна".

Саме тому велику увагу приділяють вивченню нових методів променевого лікування, зокрема просторово фракціонованої радіаційної терапії. Дослідження свідчать, що даний метод дозволяє підвищити ефективність боротьби з радіорезистентними пухлинами при зменшенні ушкодження здорових тканин.

Проте на сьогодні залишається низка невирішених питань щодо оптимальних схем фракціонування, глибини проникнення міні-пучків, конструкцій коліматорів тощо.

Тому дослідження фізико-технічних засад просторово фракціонованої радіаційної терапії є вкрай актуальною науково-прикладною задачею. Її вирішення дозволить удосконалити методи боротьби із злоякісними пухлинами та врятувати життя онкохворих.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами. Дослідження проводилися в рамках наступних договорів:

1. Тема 0116U002883 «Розробка фізико-технічних принципів просторово фракціонованої адронної терапії» при інституті ядерних досліджень НАНУ, № 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» при інституті ядерних досліджень НАН України;
2. № 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» при інституті ядерних досліджень НАН України;
3. № 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» при інституті ядерних досліджень НАН України;

Мета і завдання дослідження.

Мета дослідження полягає у розробці ефективного методу колімації та фракціонування радіаційного випромінювання від медичних прискорювачів. Окрім цього, планується створення детекторної системи для моніторингу профілю фракціонованого пучка, яка буде відмінно стійкою до радіації, не впливатиме на сам пучок і зможе надавати результати в режимі онлайн.

Досягнення поставленої мети потребує виконання наступних завдань:

Розробити методики визначення оптимальних режимів роботи металевих мікростріпових детекторів ММД 128 при моніторингу високоінтенсивних пучків іонізуючого випромінювання з урахуванням розрахованих граничних умов за флюенсами.

Створити експериментальні зразки багатоканальних детекторних комплексів на основі металевих мікростріпових детекторів ММД128 з оптимізованими параметрами для реєстрації профілів фракціонованих міні-пучків випромінювання в широкому діапазоні медичних енергій.

Експериментально дослідити процеси генерації та реєстрації фракціонованих міні-пучків гамма та електронного випромінювання за допомогою виготовлених коліматорів.

Вивчити вплив матеріалу та геометрії коліматорів на ефективність генерації високофракціонованих міні-пучків гамма та електронного випромінювання.

Експериментально дослідити особливості просторово-енергетичного розподілу та динаміку еволюції фракціонованих міні-пучків гамма та електронного випромінювання у речовині залежно від глибини.

Розробити адаптивні матричні коліматори для індивідуалізації параметрів фракціонованих пучків і режимів опромінення з урахуванням даних про конкретну мішень.

Об'єктом дослідження є можливість роботи металевих мікростріпових детекторів та системи считування Sens-Tech XDAS а також ефективність фракціонування гамма квантів та електронів за допомогою металевих коліматорів.

Предметом дослідження є відгуки від джерела іонізуючого випромінювання виготовлених прототипів детекторів, результати монте карло симуляцій проходження іонізаційного випромінювання крізь коліматор та фантом (двухмірний розподіл флюенсу, поглиненої енергії, дози, спектр енергій).

Методи дослідження. Монте – Карло симуляції які реалізовані у програмах GEANT4 та Fluka flair. Autodesk Autocad для створення креслень коліматорів та детекторних модулів, Altium designer для розробки перехідних плат детекторів, джерела іонізуючого випромінювання для дослідження роботи детекторів, медичний прискорювач Varian Clinac iX київського інституту раку, детектор TimePix, виготовлені прототипи детекторів та коліматорів.

Наукова новизна дослідження:

- Вперше теоретично розраховано граничні умови застосування металевих мікростріпових детекторів в екстремальних умовах високих флюенсів протонних та електронних пучків в широкому діапазоні енергій;

- Вперше експериментально продемонстровано можливість моніторингу просторового розподілу та інтенсивності іонізуючого випромінювання в режимі реального часу з використанням розроблених багатоканальних детекторних систем на основі поєднання металевих мікростріпових детекторів та сучасної електроніки зчитування Sens-Tech XDAS;

- Вперше встановлено оптимальні товщини та параметри вольфрамових коліматорів для ефективного фракціонування медичних пучків гамма-квантів та електронів різних енергій в умовах просторово фракціонованої променевої терапії для міні пучків;

- Запропоновано нові технічні рішення у вигляді модульних вольфрамових коліматорів для просторово фракціонованої променевої терапії, що забезпечують гнучке налаштування під різні умови опромінення.

Теоретичне значення.

У роботі детально досліджено процеси фракціонування та формування вузьких міні-пучків іонізуючого випромінювання за допомогою спеціальних коліматорів. Встановлено закономірності та оптимальні параметри цих процесів для медичних пучків гамма-квантів і електронів.

Вивчено особливості подальшої взаємодії фракціонованих міні-пучків фотонного та електронного випромінювання з речовиною біологічних тканин. Показана визначальна роль вторинних електронів у формуванні просторового розподілу дози для гамма-квантів.

Теоретично розраховано граничні умови застосування радіаційно-стійких металевих мікростріпових детекторів при високих флюенсах заряджених частинок та фотонного випромінювання.

Отримані результати розширюють фізичні уявлення про процеси взаємодії іонізуючих випромінювань з конденсованими середовищами та матеріалами детекторів. Вони є цінним внеском у розвиток медичної радіаційної фізики.

Практичне значення отриманих результатів.

Рак залишається однією з головних причин смертності в усьому світі. На жаль, попри певні успіхи в діагностиці та лікуванні, для деяких видів пухлин, зокрема гліобластом головного мозку, результати терапії досі є незадовільними. Тому існує нагальна потреба у вдосконаленні методів боротьби зі злоякісними новоутвореннями.

Одним з найбільш перспективних напрямів вважається розвиток та впровадження нових підходів променевої терапії раку. Зокрема, просторово фракціонована радіаційна терапія демонструє значний потенціал для лікування радіорезистентних пухлин, забезпечуючи вищу ефективність при меншій токсичності для здорових тканин.

Незважаючи на певні здобутки, на сьогодні лишається багато невирішених питань стосовно оптимальних параметрів та схем фракціонування, особливостей взаємодії фракціонованого випромінювання з речовиною, конструкцій відповідного обладнання тощо.

Отже, розробка фізико-технічних основ просторово фракціонованої радіаційної терапії є надзвичайно важливим та актуальним науковим завданням. Його вирішення дозволить істотно просунутися вперед у боротьбі з онкологічними захворюваннями та врятувати життя багатьох пацієнтів.

Особистий внесок здобувача. Дисертантом було виконано такі роботи:

Розроблено та виготовлено 128-канальну детекторну систему на основі поєднання металевих мікростріпових детекторів із новітньою електронікою зчитування XDas компанії Sens-Tech. Ця система призначена для точного моніторингу складнопрофільованих фракціонованих пучків іонізуючого випромінювання у режимі реального часу. Експериментально підтверджено її ефективну.

За допомогою розроблених моделей методом Монте-Карло досліджено процеси фракціонування медичних пучків гамма-квантів та електронів за допомогою спеціальних вольфрамових коліматорів. Визначено оптимальні конструктивні параметри таких коліматорів. Показана можливість досягнення високих показників фракціонування для опромінення неглибоких пухлин.

На базі Національного інституту раку проведено експериментальні дослідження процесів фракціонування мегавольтних пучків гамма-квантів та електронів за допомогою прототипів латунних і свинцевих коліматорів на медичному прискорювачі Varian Clinac iX. Результати підтвердили працездатність розробленої фізичної моделі та адекватність комп'ютерного моделювання.

На основі результатів моделювання та експериментів розроблено конструкторську документацію для трьох версій модульних вольфрамових коліматорів. Запропоновані технічні рішення забезпечують гнучке налаштування параметрів фракціонування під різні клінічні умови.

Апробація результатів дослідження. Результати, викладені у дисертації, доповідалися на наступних конференціях, що засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

1. Medical physics – the current status, problems, the way of development. Innovation technologies. September 28 – 29, 2017, Kyiv, Taras Shevchenko National University of Kyiv, 2017;
2. XXV щорічна наукова конференція Інституту ядерних досліджень НАН України (Київ, 16 - 20 квітня 2018 року). Київ : Ін-т ядерних дослідж., 2018;
3. Medical physics – the current status, problems, the way of development. Innovation technologies. Kyiv, Taras Shevchenko National University of Kyiv, 2018;
4. XXVI щорічна наукова конференція Інституту ядерних досліджень НАН України (Київ, 8 - 12 квітня 2019 року). Київ : Ін-т ядерних дослідж;
5. Medical physics – the current status, problems, the way of development. Innovation technologies, September 26 – 27, 2019, Kyiv, Taras Shevchenko National University of Kyiv, 2019;
6. XXVII щорічна наукова конференція Інституту ядерних досліджень НАН України. До 50-річчя ІЯД НАН України (Київ, 21 - 25 вересня 2020 року). Київ : Ін-т ядерних дослідж., 2020;
7. 9th International Beam Instrumentation Conference (online) 2020 14–18 September 2020, Campinas, Brazil;
8. XXVIII щорічна наукова конференція Інституту ядерних досліджень НАН України (Київ, 27 вересня - 1 жовтня 2021 року). Київ : Ін-т ядерних дослідж., 2022;
9. X International Conference «Medical Physics – the Current Status, Problems, the Way of Development. Innovation Technologies». Kyiv, 2021;

10. XXX щорічна наукова конференція Інституту ядерних досліджень НАН України (Київ, 25 - 29 вересня 2023 року). Київ : Ін-т ядерних дослідж., 2023;

Публікації. За результатами дослідження опубліковано 4 наукові праці у фахових виданнях України.

Список опублікованих праць за темою дисертації.

1. Рамазанов Д. М., Анохін І. Є. (2023). Монте-Карло симуляції вольфрамівих матричних коліматорів для просторово фракціонованої радіаційної терапії. Scientific Bulletin of UNFU, 33(5), 70–76.
2. Рамазанов Д. М., Пугач В. М. (2023). Розробка та тестування детекторної системи іонізуючого випромінювання на основі металевих мікростріпових детекторів та електроніки Sens-Tech XDAS. Nauka i Tehnika S'ogodni, 13(27), 883–896.
3. Рамазанов Д. М., Анохін І. Є. (2023). Розробка вольфрамового матричного коліматора для електронної просторово фракціонованої терапії. Nauka i Tehnika S'ogodni, 12(26), 626–636.
4. Рамазанов, Д. М., Анохін, І. Є. (2023). Matrix metal collimators studies for the spatially fractionated radiation therapy. Komp'ûterno-İntegrovani Tehnologii: Osvita, Nauka, Virobnictvo, 53, 5–8.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 102 посиланнями, 87 рисунків, 2 таблиць. Загальний обсяг дисертації становить 126 сторінок (з них основного тексту 113 сторінки).

Характеристика особистості здобувача. Дисертант має високу кваліфікацію в галузі фізики, математики, застосуванні програмних методів, на гарному рівні знає англійську мову.

Оцінка мови та стилю дисертації. Дисертацію виконано фаховою українською мовою. Текстове подання матеріялу відповідає стилю науково-дослідної літератури.

Рецензенти рекомендують: відповідно до п.15 «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, *пропонується такий склад разової ради:*

Голова ради:

Даневич Федір Анатолійович, доктор фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.16 – Фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій), головний науковий співробітник (виконуючий обов'язки) відділу фізики лептонів;

Рецензенти:

Улещенко Володимир Васильович, кандидат фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.16 – Фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій), старший дослідник, старший науковий співробітник відділу фізики важких іонів ІЯД;

Кобичев Владислав Валерійович кандидат фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.16 – Фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій), Завідувач (в.о.) відділу фізики лептонів ІЯД.

Офіційні опоненти:

Парлаг Олег Олександрович, кандидат фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.16 – Фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій), старший науковий співробітник відділу фотоядерних процесів Інституту електронної фізики НАН України (Ужгород);

Каденко Ігор Миколайович, доктор фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.16 – Фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій), професор, завідувач кафедри ядерної фізики фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

У результаті попередньої експертизи дисертації Рамазанова Дмитра і повноти публікації основних результатів дослідження

УХВАЛЕНО:

1. Затвердити висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Дмитра Рамазанова на тему: *«Фізико-технічні основи просторово фракціонованої радіаційної терапії»*.

2. Констатувати, що за актуальністю, ступенем наукової новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною цінністю здобутих результатів дисертація Д.М. Размазанова відповідає спеціальності 104 Фізика та астрономія та вимогам **«Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у закладах вищої освіти (наукових установах)»**, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 р. № 261, 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 р. № 44.

3. Рекомендувати дисертацію Д.М. Рамазанова на тему: *«Фізико-технічні основи просторово фракціонованої радіаційної терапії»* до захисту на здобуття ступеня доктора філософії у разовій спеціалізованій вчентій раді за спеціальністю 104 Фізика та астрономія.

4. Рекомендувати вчентій раді Інституту ядерних досліджень затвердити склад разової спеціалізованої вченої ради:

Голова ради:

Даневич Федір Анатолійович, доктор фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.16 – Фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій), головний науковий співробітник (виконуючий обов'язки) відділу фізики лептонів;

Рецензенти:

Улещенко Володимир Васильович, кандидат фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.16 – Фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій), старший дослідник, старший науковий співробітник відділу фізики важких іонів ІЯД;

Кобичев Владислав Валерійович кандидат фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.16 – Фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій), Завідувач (в.о.) відділу фізики лептонів ІЯД.

Офіційні опоненти:

Парлаг Олег Олександрович, кандидат фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.16 – Фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій), старший науковий співробітник відділу фотоядерних процесів Інституту електронної фізики НАН України (Ужгород);

Каденко Ігор Миколайович, доктор фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.16 – Фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій), професор, завідувач кафедри ядерної фізики фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Результати голосування щодо рекомендацій до захисту дисертації Д.М. Рамазанова:

«За» – 13;

«Проти» – немає;

«Утримались» – немає.

Презентація Рамазанова Дмитра на 35 стор. додається.

Голова семінару

Заступник директора з наукової роботи(виконуючий обов'язки) ІЯД НАН України д.ф.-м.н., с.н.с. ВТЯП ІЯД

В.В. Давидовський

Секретар семінару

Пров. інж.

С.Б. Чернищенко

Учений секретар

ІЯД НАН України



Н. Л. Дорошко