

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР
«ХАРКІВСЬКИЙ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Генеральний директор ІНЦ «ХФТ»

Микола ШУЛЬГА

« 31 » _____ 2023 р.



РОБОЧА ПРОГРАМА
навчальної дисципліни

Методи розрахунку захисту від іонізуючих випромінювань

Назва навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Доктор філософії
галузь знань	10 Природничі науки
спеціальність	104 фізика та астрономія
освітня програма	освітньо-професійна програма «Фізика та астрономія»
спеціалізація	«Радіаційна фізика та ядерна безпека»; «Фізика твердого тіла»; «Теоретична фізика»; «Фізика плазми»; «Фізика пучків заряджених частинок»
вид дисципліни	Дисципліна за вільним вибором аспіранта
Інститут	Національний Науковий Центр «Харківський Фізико-Технічний Інститут»

2023 / 2024 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження
Науково-технічною радою ННЦ ХФТІ

Від “20” 10 2023 року, протокол № 9

РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ:

Начальник науково-дослідної лабораторії радіаційних
досліджень і охорони навколишнього середовища ННЦ
ХФТІ НАН України, к.ф.-м.н.

Олексій МАЗІЛОВ

Старший науковий співробітник Інституту фізики
високих енергій та ядерної фізики ННЦ ХФТІ НАН
України, к.ф.-м.н., с.д.

Степан КАРПУСЬ

Програму схвалено на засіданні Науково-технічної ради Інституту
високих енергій та ядерної фізики ННЦ ХФТІ

Від “11” 05 2023 року, протокол № 7

Директор ІФВЕЯФ ННЦ ХФТІ

(підпис)

Григорій КОВАЛЕНКО
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньо-професійної програми
«Фізика та астрономія»

назва освітньої програми

Гарант освітньо-професійної програми «Фізика та астрономія»

(підпис)

Віктор ТКАЧЕНКО
(прізвище та ініціали)

Вступ

Дисципліна «Методи розрахунку захисту від іонізуючих випромінювань» є частиною професійної підготовки за вільним вибором здобувачів освіти ННЦ ХФТІ за напрямом 10 Природничі науки, за спеціальністю – 104 фізика і астрономія, яка викладається протягом третього року навчання. У курсі вивчаються основні положення експериментальної ядерної фізики на яких ґрунтується застосування методів розрахунку захисту від іонізуючого випромінювання (в залежності від його походження, типу випромінювання та його характеристик).

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою дисципліни «Методи розрахунку захисту від іонізуючих випромінювань» є ознайомлення аспірантів з процесами взаємодії іонізуючого випромінювання з речовиною, особливостями його реєстрації, методами числового розрахунку біологічного захисту в залежності від типу випромінювання, його походження та фізичних характеристик; способами та методами безпечного поводження з джерелами іонізуючого випромінювання; обґрунтуванням контролю та дотриманням радіаційних норм, встановлених законодавством України.

1.1. Основні завданням курсу «Методи розрахунку захисту від іонізуючих випромінювань» є: надати аспірантам уявлення про процеси взаємодії іонізуючого випромінювання з речовиною та його біологічний вплив, ознайомити з методами розрахунку систем захисту від його впливу.

Курс відноситься до циклу дисциплін вільного вибору аспірантів.

В результаті вивчення курсу аспірант(студент) повинен знати:

- основні типи іонізуючого випромінювання природного та антропогенного походження;
- основні фізичні механізми взаємодії іонізуючого випромінювання з речовиною;
- вплив іонізуючого випромінювання на організм людини;
- методи реєстрації іонізуючого випромінювання;
- характеристики та властивості матеріалів, що використовуються для в системах радіаційного захисту;
- методи розрахунку поглиненої дози іонізуючого випромінювання;
- фізичні принципи та методи організації радіаційного захисту населення та персоналу від іонізуючого випромінювання.

Вміти розробити, спланувати хід та безпечно виконувати ядерно-фізичні експерименти з використанням пучків прискорених заряджених та потоків нейтральних частинок виходячи з поставлених завдань фундаментально-прикладних досліджень взаємодії іонізуючого випромінювання з речовиною:

- здійснювати розрахунки величин потоку та доз іонізуючого випромінювання та аналізувати особливості взаємодії іонізуючого випромінювання з речовиною;
- вирішувати фізичні проблеми при створенні та використанні сучасного високотехнологічного обладнання, що використовується для безпечної та

керованої генерації, реєстрації та використання іонізуючого випромінювання для вирішення задач науково-дослідної діяльності.

- вирішувати фізико-математичні задачі при створенні та використанні елементів та систем радіаційного захисту та його контролю;
- оцінити можливості ослаблення кожного з видів іонізуючого випромінювання;
- розрахувати дозу опромінення; оцінити можливу активацію зразків опромінення в залежності від типу опромінення;
- використовувати допоміжні пристрої, необхідні для забезпечення оптимального режиму систем захисту.

1.2. Формування наступних загальних та спеціальних компетентностей

ЗК03. Здатність розв'язувати комплексні наукові проблеми на основі системного наукового світогляду та загального культурного кругозору із дотриманням професійної етики та академічної доброчесності.

СК01. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру в сфері фізики та/або астрономії, інтегрувати знання з різних галузей, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.

СК06. Здатність застосовувати сучасні методи, методики, технології, інструменти та обладнання для проведення прикладних та фундаментальних наукових досліджень у галузі фізики та/або астрономії.

СК10. Компетентність у сфері фізики взаємодії частинок високих енергій із речовиною.

СК22. Компетенція у сфері біологічних ефектів радіації.

СК23. Компетенція у сфері дозиметрії випромінювань, основах ядерної безпеки та джерел іонізуючого випромінювання.

СК25. Компетенція у сфері ядерних взаємодій, проходження частинок та випромінювань крізь речовину.

Знати: основні характеристики захисту від іонізуючого випромінювання; інженерні методи розрахунку захисту від заряджених частинок, фотонів та нейтронів.

Вміти: розраховувати параметри поля випромінювання; розраховувати захист від заряджених частинок, фотонів та нейтронів.

Знання методів наукових досліджень та вміння їх використовувати на належному рівні; вміння розшукувати, опрацьовувати, аналізувати та синтезувати отриману інформацію (наукові статті, науково-аналітичні матеріали, бази даних тощо).

Уміння здійснювати моніторинг наукових джерел інформації відносно досліджуваної проблеми. Компетенція у сфері дозиметрії випромінювань, основах ядерної безпеки та джерел іонізуючого випромінювання. Компетенція у сфері радіаційних пошкоджень в речовині. Компетенція у сфері ядерних взаємодій, проходження частинок та випромінювань крізь речовину.

1.3. Кількість кредитів – 2.

1.4. Загальна кількість годин – 60.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни:

Опис навчальної дисципліни «**Методи розрахунку захисту від іонізуючих випромінювань**»

Галузь знань, напрям підготовки, спеціальність, освітньо-кваліфікаційний рівень	
Галузь знань	10 – Природничі науки
напрямок підготовки	104 – фізика та астрономія
спеціальність	
освітньо-кваліфікаційний рівень	Доктор філософії
Характеристика навчальної дисципліни	
Вид	Дисципліни за вільним вибором аспіранта
Загальна кількість годин	60
Кількість кредитів ECTS	2
Кількість змістових модулів	1
Форма контролю	залік
Показники навчальної дисципліни	
Рік підготовки	III
Лекційні заняття	16
Практичні заняття	8
Самостійна робота	34
Консультації	2

1.6. Заплановані результати навчання

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми здобувачі повинні:

Знати: основні характеристики захисту від іонізуючого випромінювання; інженерні методи розрахунку захисту від заряджених частинок, фотонів та нейтронів.

Вміти: розраховувати параметри поля випромінювання; розраховувати захист від заряджених частинок, фотонів та нейтронів.

Відповідати наступним програмним результатам навчання:

РН24 Знати види радіаційних пошкоджень речовини, залежність виду пошкоджень від енергії та типу частинок. Уміти оцінювати характеристики пошкоджень, розраховувати характерні довжини проникнення та параметри вторинного випромінювання.

РН25 Знати характеристики дії радіації на біологічні об'єкти, цикл Кребса, вплив радіації на дихально-окислюючі властивості клітини, радіоактивні ізотопи в навколишньому середовищі. Уміти розпізнавати і

оцінювати впливи радіації на біологічні об'єкти, устаткування та методики визначення впливу радіації на біологічні об'єкти.

РН26 Знати основні поняття про поле випромінювання та його характеристики; фізичні основи й методи дозиметрії; величини для контролю радіаційної безпеки; методи контролю радіаційної безпеки; основні положення норм радіаційної безпеки. Уміти виконувати розрахунки поля випромінювання та дозиметричних величин для різних видів випромінювання.

РН28 Знати основні експериментальні дані з поділу ядер; знати основні теоретичні моделі для опису процесу поділу та процесів радіоактивного розпаду ядер. Уміти визначати активність ізотопів та їх сумішей; визначати інтенсивності ядерних випромінювань.

РН33 Знати основні характеристики захисту від іонізуючого випромінювання; інженерні методи розрахунку захисту від заряджених частинок, фотонів та нейтронів. Уміти розраховувати параметри поля випромінювання; розраховувати захист від заряджених частинок, фотонів та нейтронів.

Місце дисципліни (в структурно-логічній схемі підготовки фахівців відповідного напрямку). Вибіркова навчальна дисципліна «**Методи розрахунку захисту від іонізуючих випромінювань**» є складовою циклу професійної підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «доктор філософії». Система знань, отримана при виконанні всіх умов проходження курсу дисципліни є необхідним для розширення можливостей аспірантів для практичного використання методів та знань з ядерної фізики у суміжних галузях науки, а саме радіаційного захисту.

Зв'язок з іншими дисциплінами. При вивченні дисципліни «**Методи розрахунку захисту від іонізуючих випромінювань**» аспіранти мають використовувати знання та набуті навички експериментально-дослідної роботи під час вивчення курсів, ядерної фізики, радіаційних та ядерних технологій виробництва, фізики прискорювачів заряджених частинок, ядерних реакторів та їх використання для фундаментально-прикладних досліджень, експериментальні методи ядерної та радіаційної фізики.

2. ЗМІСТ ТА СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

2.1. Зміст розділів дисципліни.

Проведення лекційних занять націлено на донесення загальних знань з використання ядерної фізики в медицині та сприяння розвитку у аспірантів аналітично-пошукової діяльності.

Заняття 1. Тема 1. Вступ. Актуальність проблеми.

План: Опис дисципліни. Історія розвитку ядерних технологій та систем радіаційного захисту. Сучасна модель атому. Ядерно-фізичні основи дозиметрії іонізуючого випромінювання.

Заняття 2. Тема 2. Джерела іонізуючого випромінювання.

План: Явище радіоактивності. Види радіоактивного розпаду. Ядерні реакції. Природні та антропогенні джерела та їх основні параметри.

Заняття 3. Тема 3. Види іонізуючого випромінювання.

План: Основні види та властивості іонізуючих випромінювань. Альфа-випромінювання. Бета-випромінювання. Гама-випромінювання. Нейтронне випромінювання. Довжина вільного пробігу частинок.

Заняття 4. Тема 4. Біологічна дія іонізуючого випромінювання.

План: Поняття дози випромінювання. Особливості впливу іонізуючого випромінювання на організм людини. Стохастичні та детерміновані ефекти опромінення. Ретроспективна дозиметрія. Радіопротектори.

Заняття 5. Тема 5. Взаємодія іонізуючого випромінювання з речовиною.

План: Поглинання частинок. Іонізація. Вторинне випромінювання. Уповільнення нейтронів. Взаємодія гама-випромінювання з речовиною: фотоефект, Комптон-ефект, утворення електрон-позитронних пар.

Заняття 6. Тема 6. Розрахунок захисту від іонізуючих випромінювань.

План: Ослаблення потоку частинок. Вузький та широкий пучок. Фактор накопичення. Фізичні характеристики полів та потоків частинок. Матеріали і методика розрахунку систем захисту. Приклади використання систем захисту та їх конструкційні особливості. Комп'ютерні програми для моделювання проходження заряджених частинок та гамма-квантів через речовину.

Заняття 7. Тема 7. Дозиметрія іонізуючого випромінювання.

План: Детектори іонізуючого випромінювання: газонаповнені, сцинтиляційні, термолюмінесцентні, напівпровідникові, плівкові. Особливості гамма-, бета- та нейтронної дозиметрії.

Заняття 8. Тема 8. Організація комплексного захисту від іонізуючого випромінювання.

План: Узагальнення вимог до систем радіаційного захисту. Активація та дезактивація матеріалів та елементів захисних систем. Радіаційний контроль на підприємстві. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України (ОСПЗРБУ-2005).

2.2. Тематичний план дисципліни

№	Тема лекції	Кількість годин				
		Всього	Лекцій	Практичних занять	Самостійна робота	Консультації
1	Вступ. Актуальність проблеми.	6	2	-	4	-
2	Джерела іонізуючого випромінювання.	6	2	-	4	-
3	Види іонізуючого випромінювання.	6	2	-	4	-
4	Біологічна дія іонізуючого випромінювання.	6	2	-	4	-

5	Взаємодія іонізуючого випромінювання з речовиною.	8	2	2	4	-
6	Розрахунок захисту від іонізуючих випромінювань.	8	2	2	4	-
7	Дозиметрія іонізуючого випромінювання.	10	2	2	5	1
8	Організація комплексного захисту від іонізуючого випромінювання.	10	2	2	5	1
	Всього	60	16	8	34	2

Загальний обсяг: 60 год., зокрема: лекцій – 16 год.; практичних/семінарів – 8 год., самостійної роботи – 34 год., консультацій – 2 год.

3. Тематичний план практичних та семінарських занять (8 год)

№ з/п	Тема	Години
1.	Повторення базових понять ядерної фізики, особливості використання радіаційних технологій для потреб суспільства.	2
2	Особливості та характеристики різнотипного іонізуючого випромінювання, їх комбінації та удосконалення та оптимізація систем захисту.	2
3	Дослідження корпускулярного іонізуючого випромінювання при використанні пакету SRIM та моделювання накопичення радіоізотопів за допомогою Medical Isotope Browser IAEA.	2
4	Використанні програмного пакету Geant для комп'ютерного моделювання проходження заряджених часток та гамма-квантів через речовину	2
	Всього	8

4. Методичні вказівки щодо виконання самостійної роботи.

Мета: проведення самостійної роботи полягає у необхідності більш широкого та глибшого огляду тематики дисципліни з використанням матеріалів підручників, періодичних видань, навчально-методичної бази ННЦ ХФТІ.

Основою особливості організації самостійної роботи є навмисно представлений обмежений перелік літературних джерел без поділу та основну

та рекомендовану. Даній підхід спонукає активізації пошукової діяльності студенті, розвивати навички комплексної роботи з літературними джерелами, проводити аналіз літературних джерел, систематизації отриманих знань та формування нових обґрунтованих пошукових запитів, метою яких є доповнення та розширення отриманих знань та понять.

Завдання: закріплення знань теоретичного курсу та набуття навичок опрацювання наукової літератури й нормативно правових актів (включно з on-line інформацією) тощо, відповідно до напрямку наукових досліджень.

5. Самостійна робота

№ з/п	Тема	Години
1.	Підготовка до навчальних занять	32
2.	Індивідуальні консультації з викладачем	2
	Всього	34

Завдання та вправи для самостійної роботи

1. Аналіз процесів взаємодії іонізуючого випромінювання з речовиною.
2. Аналіз систем радіаційного захисту від нейтронних, рентгенівських та гамма- полів, їх характеристики.
3. Радіоактивні аерозолі на ядерних об'єктах.
4. Особливості радіаційного захисту ядерно-фізичних установок.

Запитання до заліку

1. Природні та штучні джерела іонізуючого випромінювання.
2. Радіоактивний розпад та ядерні реакції.
3. Вплив іонізуючого випромінювання на живі організми.
4. Особливості взаємодії гамма-випромінювання з речовиною.
5. Особливості взаємодії нейтронів з речовиною.
6. Особливості взаємодії бета-частинок з речовиною.
7. Варіанти змішаних полів іонізуючого випромінювання та приклади захисту.
8. Поняття дози при різних типах іонізуючого випромінювання.
9. Радіоактивні аерозолі, утворення, накопичення, захист.
10. Аналіз ланцюжка перетворення радону.
11. Залежності ослаблення нейтронного, рентгенівського та гамма-випромінювання без урахування активаційного ефекту для простих елементів конструкцій систем захисту.
12. Внутрішнє опромінення персоналу.
13. Індивідуальний дозиметричний контроль на підприємстві.
14. Детектори іонізуючого випромінювання, які використовуються у дозиметрії.
15. Поняття радіаційного фону. Дати роз'яснення з прикладами.
16. Розрахунок поглиненої дози при паралельному потоці випромінювання.

17. Розрахунок поглиненої дози від крапкового джерела.
18. Інженерні методи розрахунку радіаційного захисту.
19. Особливості матеріалів, що використовуються в системах захисту від нейтронних полів.
20. Особливості матеріалів, що використовуються в системах захисту від гамма-полів.
21. Активація та дезактивація матеріалів та елементів систем захисту.
22. Особливості систем захисту змішаного іонізуючого випромінювання.
23. Приклади систем радіаційного захисту персоналу в різних галузях господарства.
24. Роль геометричних параметрів конструктивних елементів та систем радіаційного захисту.
25. Радіаційний контроль на підприємстві.

5. Методи контролю

Передбачається проведення поточного контролю оцінювання знань та умінь здобувачів, шляхом контролю відвідування, опитування і нарахування відповідних балів, сума яких разом з отриманими балами на заліку як підсумкового контролю знань являє загальний результат оцінювання.

6. Схема нарахування балів

Мета і форми підсумкового контролю знань.

Підсумковий контроль знань здійснюється після проходження навчання за навчальною програмою «**Методи розрахунку захисту від іонізуючих випромінювань**» шляхом проведення заліку.

Кожне завдання для проведення заліку має бути однакової складності. Зміст питань та завдань має бути розрахований на письмову підготовку аспіранта протягом двох академічних годин. Максимальна кількість балів на проведення підсумкового контролю – 40. Критерії оцінки підсумкових знань при складанні заліку наведені в таблиці.

Критерії складання заліку

Характеристика відповіді по варіанту	Максимальна кількість балів
Зміст 2-х теоретичних питань розкрито повністю і в розгорнутому вигляді	30
Вірні відповіді на питання / додаткові питання	10
ВСЬОГО	40

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка
	за чотирирівневою шкалою оцінювання
90-100	відмінно

70-89	добре
50-69	задовільно
1-49	незадовільно

7. Критерії оцінювання питань залікового білету (контрольної роботи)

Критерії оцінювання знань та вмінь аспірантів, умови визначення навчального рейтингу.

Рівень поточних знань студентів оцінюється відповідно до методики рейтингової оцінки. Сутність методики полягає у визначенні поточного рейтингу студента, що розраховується як сума балів за всіма видами практичних завдань та результатами самостійної роботи і накопичується протягом семестру.

Вид роботи	Обсяг за семестр	Максимальна кількість балів за виконану роботу
Теоретичне питання (просте)	10	Кожна правильна і змістовна відповідь - 2 бал. Всього за семестр – 10 бали.
Теоретичне питання (ускладнене)	12	Кожна правильна і змістовна відповідь - 4 бали. Всього за семестр – 12 балів
Проведення практичних робіт	14	Кожна виконана практична робота – 7 балів. Всього за семестр – 14 балів
Відвідування лекцій	16	Кожна відвідана лекція – 2 бал. Всього за семестр – 16 балів
Відвідування практичних робіт	8	Кожна відвідувана практична робота – 2 бал. Всього за семестр – 8 бали
Сукупний рейтинг		60 балів

8. Рекомендована література

1. J. Kenneth Shultis and Richard E. Faw. Radiation Shielding American Nuclear Society, 2000, 537 p.
2. J. Kenneth Shultis, Richard E. Faw. Radiation Shielding and Radiological Protection // Department of Mechanical and Nuclear Engineering, Kansas State University, USA (<https://www.mne.k-state.edu/~jks/books/Ch11fulltext.pdf>)
3. Чернявський І.Ю., Марущенко В.В., Мартинюк І.М. Військова дозиметрія // Харків, 2011.
(https://shron1.chtyvo.org.ua/Cherniavskiy_Ihor/Viiskova_dozymetriia.pdf?PHPS_ESSID=cemncm03357v0hqknsb5m10bv3)

4. Ключников О.О., Носовський А.В. Основи дозиметрії іонізуючих випромінювань // Навчальний посібник, Київ, 2007, 253 с.
(https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/40/004/40004142.pdf)
5. Jacob Shapiro. Radiation Protection: A Guide for Scientists and Physicians.
6. "Principles of Radiation Shielding" by Kenneth R. Kase and Michael Stabin
7. Radiation Protection and Dose Optimization A Technologist's Guide Editors Rep, Sebastijan (Ljubljana) Santos, Andrea (Lisbon) Testanera, Giorgio (Milan), 2016, 123 p. DOI: <https://doi.org/10.52717/CIGE6278>
(https://www.eanm.org/content-eanm/uploads/2016/12/EANM_2016-TG_RadiationProtection_lowres.pdf)
8. Носовський А.В., Бондарь Б.М. «Дозиметрія та захист від іонізуючого випромінювання» // Київ, 2020, 408 с.
9. <https://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/tab4.html>
10. <http://nucleardata.nuclear.lu.se/toi/perchart.htm>