

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Генеральний директор ІНЦ «ХФТ»

Микола ШУЛЬГА

« 31 » 10 2023 р.



РОБОЧА ПРОГРАМА
навчальної дисципліни
Прискорювачі в радіаційній фізиці
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»

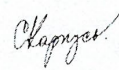
2023 / 2024 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження
Науково-технічною радою ННЦ ХФТІ

Від “” 20. 10 2023 року, протокол № 9

РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ:

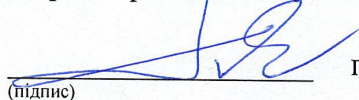
Старший науковий співробітник Інституту високих енергій
та ядерної фізики ННЦ ХФТІ НАН України, к.ф.-м.н.



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



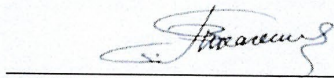
(підпис)

проф. 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 «Прискорювачі в радіаційній фізиці» є частиною професійної підготовки аспірантів за вибором ННЦ ХФТІ за напрямом 10 Природничі науки, за спеціальністю – 104 фізика і астрономія, яка викладається протягом третього року навчання. В курсі вивчаються основні положення фізики пучків заряджених частинок та застосування прискорювачів заряджених частинок в радіаційних технологіях.

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою дисципліни «Прискорювачі в радіаційній фізиці» є ознайомлення аспірантів із основними напрямками розвитку радіаційних технологій, будовою та особливостями експериментальних установок на базі прискорювачів заряджених частинок, а також методологією їх використання в радіаційних технологіях; із застосуванням методів фізики пучків заряджених частинок, а саме їх отримання, вимірювання параметрів, використання в радіаційних технологіях з метою отримання передбачених та контрольованих характеристик об'єктів та матеріалів під час та після радіаційної обробки.

1.1. Основні завдання вивчення дисципліни: надати аспірантам уявлення про застосування контрольованих різнотипних потоків іонізуючого випромінювання, що створюють прискорювачі заряджених частинок, з метою реалізації умов та завдань експериментів з опромінення як важливого інструменту в радіаційній фізиці та супутніх фундаментально-прикладних дисциплін.

В результаті вивчення курсу аспірант(студент) повинен знати ядерно - фізичні методи фізики пучків заряджених частинок, прогнозувати вплив різнотипного іонізуючого випромінювання на об'єкти та матеріали, а саме:

- типи іонізуючого випромінювання та їх основні властивості;
- основні фізичні механізми взаємодії іонізуючого випромінювання з речовиною, а саме: електронів, гамма-квантів, нейтронів протонів, тощо, в залежності від параметрів їх потоків та способів їх отримання.
- основи організації фізичного експерименту та виконання технологічних його елементів в радіаційній обробці з метою отримання контрольованого та прогнозованого ефекту її дії.
- будову та принципи дії експериментального устаткування та обладнання, що використовується в радіаційних технологіях на базі прискорювачів заряджених частинок.

Вміти розробити, спланувати хід та виконання ядерно-фізичних експериментів з використанням пучків прискорених заряджених частинок 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 речовиною;
- вирішувати фізичні проблеми при створенні та використанні сучасного високотехнологічного прискорювального обладнання, що використовується для керованої генерації, реєстрації та використання іонізуючого випромінювання для вирішення задач в радіаційних технологіях;
- вирішувати фізико-математичні проблеми при створенні та використанні комплексних систем радіаційної обробки матеріалів;
- оцінити можливості кожного з типів прискорювачів заряджених частинок в області радіаційної фізики;
- вибрати потрібний режим опромінення досліджуваних об'єктів та оцінити чи передбачити можливий ефект від обробки зразків;
- розрахувати дозу опромінення, оцінити температурний ефект та можливу активацію матеріалу;
- конструювати допоміжні пристрої, необхідні для забезпечення потрібного режиму опромінення.

1.2. Формування наступних загальних та спеціальних (фахових) 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.

СК02. Здатність відстежувати тенденції розвитку фізики та/або астрономії, їх прикладних застосувань, критично переосмислювати наявні знання та методи фундаментальних та прикладних наукових 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.

СК14. Компетентність у сфері радіаційного матеріалознавства.

СК16. Компетентність у сфері матеріалознавства модифікованої поверхні.

СК20. Компетенція у сфері фізики пучків заряджених частинок.

СК22. Компетенція у сфері біологічних ефектів радіації.

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

СК24. Компетенція у сфері радіаційних пошкоджень в речовині.

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

А також, **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 фізики взаємодії частинок високих енергій із речовиною. Компетенція у сфері радіаційного матеріалознавства, Компетенція у сфері фізики пучків заряджених частинок. Компетенція у сфері біологічних ефектів радіації. 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 «Прискорювачі в радіаційній фізиці»

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:

- особливості використання прискорювачів заряджених частинок в радіаційній фізиці з метою отримання контрольованого впливу іонізуючого випромінювання на матеріали та об'єкти.

Вміти:

- оцінювати дію іонізуючого випромінювання, на основі оцінок вміти розробити методичні основи експериментальних ядерно-фізичних досліджень з радіаційної обробки матеріалів, вільно спілкуватися з питань, що стосуються сфери наукових та експертних знань, з колегами, широкою науковою спільнотою, суспільством у цілому.

А також:

РН 05. Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження з фізики (астрономії) та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних інструментів, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми.

РН23. Уміти розраховувати кількісні характеристики ядерних реакцій; визначати параметри транспорту частинок та випромінювання крізь речовину.

РН24. Уміти оцінювати характеристики пошкоджень, розраховувати характерні довжини проникнення, та параметри вторинного випромінювання.

РН25. Уміти розпізнавати і оцінювати впливи радіації на біологічні об'єкти, устаткування та методики визначення впливу радіації на біологічні об'єкти.

РН26. Уміти виконувати розрахунки поля випромінювання та дозиметричних величин для різних видів випромінювання.

РН28. Уміти визначати активність ізотопів та їх сумішей; визначати інтенсивності ядерних випромінювань

РН30. Уміти використовувати сучасні комп'ютерні коди для моделювання ядерно-фізичних процесів.

РН32. Уміти обирати види прискорювачів для дослідження властивостей матеріалів під випромінюванням, визначати характеристики опромінення.

Місце дисципліни (в структурно-логічній схемі підготовки фахівців відповідного напрямку). Вибіркова навчальна дисципліна «**Прискорювачі в радіаційній фізиці**» 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 медицині.

Зв'язок з іншими дисциплінами. При вивченні дисципліни **«Прискорювачі в радіаційній фізиці»** 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

Зміст навчальної дисципліни

Проведення лекційних занять націлено на донесення загальних знань з будови та використання прискорювачів заряджених частинок для потреб радіаційної фізики, а саме в радіаційних технологіях та фундаментально-прикладних досліджень.

Заняття 1. Тема 1. Вступ. Історичний огляд розвитку радіаційних технологій.

План: Від простих джерел іонізуючого випромінювання до гігантських прискорювальних комплексів. Короткий опис розвитку прискорювальної техніки в ННЦ ХФТІ. Фізичні основи розробки прискорювачів заряджених частинок. Параметри пучка прискорених частинок. Вимоги до пучків прискорених частинок для потреб радіаційних технологій. Сутність енергетичного діапазону випромінювання для радіаційних технологій. Основні параметри прискорювальних комплексів та вимоги до них при використанні в радіаційних технологіях обробки матеріалів та об'єктів.

Заняття 2. Тема 2. Лінійні прискорювачі заряджених частинок.

План: Основні типи лінійних прискорювачів. Основи будови та конструкційні особливості лінійних прискорювачів заряджених частинок. Системи прискорення та транспортування пучків заряджених частинок. Особливості використання лінійних прискорювачів в радіаційних технологіях. Високовольтний прискорювач прямої дії, лінійний індукційний прискорювач, лінійний резонансний прискорювач.

Заняття 3. Тема 3. Циклічні прискорювачі заряджених частинок.

План: Основні типи циклічних прискорювачів. Основи будови та конструкційні особливості циклічних прискорювачів заряджених частинок. Системи прискорення та транспортування пучків заряджених частинок. Бетатрон. Циклотрон. Мікротрон. Фазатрон. Сінхрофазатрон. Сінхротрон. Прискорювач-рекупітатор. Особливості використання циклічних прискорювачів в радіаційних технологіях, порівняння з лінійними: переваги та недоліки для радіаційної технології.

Заняття 4. Тема 4. Взаємодія іонізуючого випромінювання з речовиною.

План: Фізичні процеси, що протікають під час взаємодії електронів, позитронів, гамма-квантів, нейтронів, ізотопів водню, гелію та важких позитивно та негативно заряджених іонів з речовиною. Поглинання

випромінювання. Іонізаційні втрати та розсіювання. Шкала радіаційних пошкоджень в залежності від типу випромінювання та її фізичний зміст. Фізичні основи вимірювання іонізуючого випромінювання та основні типи детекторів

Заняття 5. Тема 5. Отримання потоків нейтронів та гамма-квантів на пучках прискорених частинок.

План: Фізичні процеси генерації нейтронів та потоків гамма-квантів при взаємодії пучків прискорених частинок з речовиною. Основні вимоги до мішеней опромінення. Прискорювачі легких іонів. Високоенергетичні гальмівні фотонейтронні та фото-емісійні прискорювальні системи. Високоенергетичні прискорювачі (spallation). Експериментальні устаткування для реалізації фундаментально-прикладних досліджень при використанні потоків нейтронів та гамма-квантів. Методики отримання змішаного, пригніченого гамма чи нейтронного потоків, визначення їх параметрів та використання в радіаційних технологіях.

Заняття 6. Тема 6. Фізичні основи радіаційних технологій.

План: Взаємодія високоенергетичних частинок з речовиною. Іонізація середовища. Радіаційні ефекти. Зміщення на атом. Модифікація фізичних властивостей матеріалів опроміненням. Основні вимоги до пучків прискорених та утворених потоків нейтральних частинок в радіаційних технологіях. Флюенс. Сутність поняття дози опромінення: поглинена, експозиційна та еквівалентна, потужність дози. Особливості систем опромінення та контролю його режимів.

Заняття 7. Тема 7. Прискорювачі заряджених частинок для ядерно-фізичних досліджень.

План: Сутність методів ядерно-фізичних досліджень на пучках прискорених та нейтральних потоків частинок та їх використання для фундаментально-прикладних досліджень в суміжних науках. Дослідження шляхів накопичення радіоактивних ізотопів.

Заняття 8. Тема 8. Використання пучків прискорених частинок в радіаційній обробці матеріалів.

План: Сутність радіаційного знезараження. Наукові дослідження. Стерилізація харчових продуктів, продуктів, медичного призначення, виробництво напівпровідникових пристроїв. Модифікація та контрольована зміна характеристик матеріалів під опроміненням. Використання технології опромінення в радіаційному матеріалознавстві. Ядерна медицина та прискорювачі заряджених частинок. Радіаційна дефектоскопія. Радіаційне зшивання полімерів. Радіаційна обробка стічних вод та їх осадів. Нестандартні рішення використання пучкових технологій в суміжних науках.

3. ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ДИСЦИПЛІНИ

№	Назва теми	Кількість годин				
		Всього	Лекцій	Практичних занять	Самостійна та індивідуальна робота	Консультації
1	Вступ. Історичний огляд розвитку радіаційних технологій.	8	2		4	
2	Лінійні прискорювачі заряджених частинок.	6	2		4	
3	Циклічні прискорювачі заряджених частинок.	6	2		4	
4	Взаємодія іонізуючого випромінювання з речовиною.	8	2		4	
5	Отримання потоків нейтронів та гамма-квантів на пучках прискорених частинок.	6	2		4	
6	Фізичні основи радіаційних технологій.	8	2		4	
7	Прискорювачі заряджених частинок для ядерно-фізичних досліджень.	8	2	4	5	1
8	Використання пучків прискорених частинок в радіаційній обробці матеріалів.	8	2	4	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.

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

№	Назва теми	Кількість годин
1.	Моделювання взаємодії високоенергетичних іонів з речовиною.	2
2	Використання прискорювачів заряджених частинок в ядерній медицині	2
3	Використання прискорювачів заряджених частинок в фундаментально-прикладних дослідженнях з визначення елементного складу речовини.	4

5. 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 студентів, 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.

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. Визначення дози опромінення на пучках прискорених іонів.
2. Визначення дози опромінення на пучках та потоках нейтральних частинок (нейтрони, гамма-кванти).
3. Визначення виходу активації зразків опромінення в залежності від виду іонізуючого випромінювання.

Запитання до заліку

1. Фізичні основи лінійних прискорювачів.
2. Фізичні основи роботи циклічних прискорювачів.
3. Особливості взаємодії нейтронів та гамма-квантів з речовиною.
4. Особливості взаємодії електронів, протонів та важких заряджених частинок з речовиною.
5. Основні параметри потоків та пучків заряджених та нейтральних частинок в радіаційних технологіях. Одиниці радіоактивності.
6. Чим відрізняється доза опромінення від флюенса?
7. Spallation neutron source та джерела нейтронів, керовані прискорювачами заряджених частинок.
8. Синхротронне випромінювання, отримання, експериментальне застосування.

9. Ядерно-фізичні та атомно-фізичні методи дослідження елементного складу речовин.

10. Приклади прискорювальних установок для проведення змішаного опромінення.

11. Активаційні виходи при взаємодії різних видів іонізуючого випромінювання з речовиною. Період напіврозпаду.

12. Прискорювачі заряджених частинок в ядерній медицині.

13. Використання прискорювачів в технології обробки стічних вод та їх осадів.

6. Методи контролю

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

7. Схема нарахування балів. Мета і форми підсумкового контролю знань.

Підсумковий контроль знань здійснюється після проходження навчання за навчальною програмою «**Прискорювачі в радіаційній фізиці**» 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 іспиту 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
------	--------------

8. Критерії оцінювання питань екзаменаційного/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	20	Кожна виконана практична робота – 10 балів. Всього за семестр – 20 балів
Відвідування лекцій	14	Кожна відвідана лекція – 2 бал. Всього за семестр – 14 балів
Відвідування практичних робіт	4	Кожна відвідувана практична робота – 2 бал. Всього за семестр – 4 бали
Сукупний рейтинг		60 балів

9. Рекомендована література

1. Nastasi M., Mayer J.W., Wang Y. Ion beam analysis: fundamentals and applications. CRC Press, 2014. 472 P.
2. Electrostatic accelerators: Fundamentals and Application / Ed. R. Hellborg. Springer, 2005. P.192-221.
3. Handbook of Radioactivity Analysis. Vol.1: Radiation Physics and Detectors. Vol.2: Radioanalytical Applications. Fourth Edition. Edited by Michael F. L'Annunziata. Academia Press. Elsevier. 2020.
4. Reiser M. Theory and design of charged particle beams. – John Wiley & Sons, 2008.