

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Генеральний директор

Микола ШУЛЬГА
« 30 » 2022 р.



РОБОЧА ПРОГРАМА
навчальної дисципліни
Фізика поділу ядер та радіоактивність
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	
вид дисципліни	Дисципліна за вільним вибором аспіранта
Інститут	Інститут теоретичної фізики ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут»

2022 / 2023 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження
Науково-технічною радою ННЦ ХФТІ

Від “ 29 ” 11 2022 року, протокол № 6

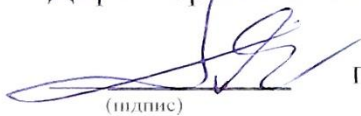
РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

Афанасьєв Сергій Миколайович кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник ННЦ ХФТІ

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

від “ 03 ” 08 2022 року, протокол № 3

Директор ІФВЕЯФ ННЦ ХФТІ



(підпис)

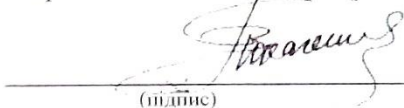
професор Григорій КОВАЛЕНКО

(прізвище та ініціали)

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

назва освітньої програми

Гарант освітньо-професійної програми «Фізика та астрономія»



(підпис)

професор Віктор ТКАЧЕНКО

(прізвище та ініціали)

Вступ

Програму навчальної дисципліни «Фізика поділу ядер та радіоактивність» складено відповідно до третього освітньо-наукового рівня (PhD).

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни є надання аспірантам сучасних уявлень про механізми поділу ядер на основі квантової механіки, основні методи розв'язання задач за цими розділами та методи їх експериментального дослідження. Ядерна фізика є базовою природничою дисципліною в професійній освіті фахівця у нових галузях фізики, без знання якої є неможливим свідоме, якісне засвоєння знань із теоретико-фізичних та спеціальних дисциплін, які становлять основу освіти майбутнього спеціаліста у галузі медичної фізики, нанофізики, ядерної фізики, фізики плазми, фізичного матеріалознавства та наукоємних фізичних технологій. Дисципліна «Фізика поділу ядер та радіоактивність» є необхідною складовою підготовки фахівців в галузі природничих наук, вона містить матеріал, засвоєння якого є умовою для подальшого науково-технічного розвитку спеціалістів в широкому діапазоні фізичних дисциплін. Особливістю курсу є детальне і систематичне вивчення особливого класу ядерних реакцій – фоторозщеплення легких ядер.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни

Основними завданнями дисципліни «Фізика поділу ядер та радіоактивність» є забезпечення успішного засвоєння аспірантами теоретичних основ структури та властивостей ядер та елементарних частинок на основі класичної фізики, доповненої елементами квантової фізики; оволодіння методами розв'язування задач зі знаходження характеристик указаних частинок та дослідження процесів, що протікають при взаємодії гама-квіантів з різними ядрами; засвоєння методів експериментального дослідження характеристик ядер і набуття відповідних експериментальних навичок; формування загальної та предметної компетентності в галузі ядерної фізики; формування у аспірантів здатності самостійно засвоювати наукові знання; надати аспірантам базові знання з фізики ядер, які необхідні для розуміння, дослідження, пояснення та передбачення в галузі сучасної фізики. На прикладі конкретних фотореакцій наводяться принципи і алгоритми отримання фізичної інформації.

Загальні компетентності, які мають бути засвоєні в результаті вивчення дисципліни «Фізика поділу ядер та радіоактивність»:

- здатність генерувати нові ідеї (ЗК01),
- здатність розв'язувати комплексні наукові проблеми на основі системного наукового світогляду та загального культурного кругозору із дотриманням професійної етики та академічної доброчесності (ЗК03).

Спеціальні (фахові) компетентності, які мають бути засвоєні в результаті вивчення дисципліни «Фізика поділу ядер та радіоактивність»:

- 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 (СК01),
- здатність відстежувати тенденції розвитку фізики та/або астрономії, їх прикладних застосувань, критично переосмислювати наявні знання та методи фундаментальних та прикладних наукових досліджень (СК02),
- здатність застосовувати сучасні методи, методики, технології, інструменти та обладнання для проведення прикладних та фундаментальних наукових досліджень у галузі фізики та/або астрономії (СК06).

1.3. Кількість кредитів - 2 кредити ECTS.

1.4. Загальна кількість годин – 60.

Лекції - 24 години, самостійна робота - 34 години, індивідуальні завдання – 2 години.

1.5. Заплановані результати навчання

Заплановані результати навчання полягають у тому, що внаслідок опанування курсу «Фізика поділу ядер та радіоактивність» аспіранти мають засвоїти: принципові теоретичні основи структури ядер в рамках класичної фізики, доповненої елементами квантової фізики, необхідними для розуміння їх структури та використання цих знань в практичних цілях; основні методи розв'язування задач з основ структури ядер з використанням диференціального та інтегрального числення, теорії диференціальних рівнянь, лінійної алгебри, векторного та тензорного аналізу; основні методи експериментального дослідження характеристик ядер; загальні та предметні компетентності у галузі фізики ядер та ядерних реакцій.

Згідно з освітньо-професійною програмою «Фізика та астрономія» зі спеціальність 104 Фізика та астрономія аспіранти мають досягти таких результатів навчання:

- 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 (РН 5),
- Застосовувати сучасні інструменти і технології пошуку, оброблення та аналізу інформації, зокрема, статистичні методи аналізу даних великого обсягу та/або складної структури, спеціалізовані бази даних та інформаційні системи (РН 6),
- 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 (РН 28).

1.6. Характеристика навчальної дисципліни:

Опис навчальної дисципліни «Фізика поділу ядер та радіоактивність»

Галузь знань, напрям підготовки, спеціальність, освітньо-кваліфікаційний рівень	
Галузь знань	10 – Природничі науки
напрямок підготовки	
спеціальність	104 – фізика та астрономія
освітньо-кваліфікаційний рівень	Доктор філософії
Мова навчання	Українська
Характеристика навчальної дисципліни	
Вид	Дисципліна за вибором аспіранта
Загальна кількість годин	120
Кількість кредитів ECTS	4
Кількість змістових модулів	1
Форма контролю	залік
Показники навчальної дисципліни	
Рік підготовки	II
Лекційні заняття	16
Практичні заняття	12

Самостійна робота	90
Консультації	2

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Структура та властивості ядер. Експериментальні методи в ядерній фізиці. Використання ядерних методів в медицині, новітній техніці та астрофізиці. Протонно-нейтронна модель ядра. Закони збереження енергії, імпульсу і парності.

2. Ядерні реакції за типом взаємодії: прямі ядерні взаємодії та реакції, які включають компаунд-ядро. Класифікації ядерних реакцій за типом падаючих частинок: нейтронів, заряджених частинок, гама-квантів. Ядерні реакції за характером ядерних перетворень: реакції з вильотом нейтронів, заряджених частинок, гама-квантів.

3. Фотоядерні реакції на ядрах s- і р-оболонки. Розвиток механізму взаємодії фотона з ядром: від прямого вибивання нуклонів і квазідейтронної моделі до більш складної альфа-кластерної моделі і моделі нуклонних асоціацій. Багаточастинкові кінцеві стани.

4. Дифузійна камера в магнітному полі як приклад трекового 4π-детектора. Механізм утворення треків і методи отримання фільмової інформації. Методика реконструкції треків і відновлення інформації про події фотоядерних реакцій.

5. Мова програмування Python як найкращий сучасний спосіб обробки наукового матеріалу. Створення графічних додатків для аналізу експериментальних даних. Короткий огляд модулів Numpy, Scipy, Pandas і Matplotlib з практичними прикладами.

6. Кінематичний розрахунок багаточастинкових фотореакцій в припущенні утворення проміжного збудженого ядра. Парціальні канали різних рівнів збуджених ядер, їх відносний вихід і вплив на загальні результати.

7. Фізичний аналіз на прикладі реакцій (γ, N) - і (γ, np) - реакцій на ядрах s- і р-оболонки.

8. Фізичний аналіз на прикладі реакцій $^{12}\text{C}(\gamma, 3\alpha)$ і $^{16}\text{O}(\gamma, 4\alpha)$. Повні, диференційні і парціальні перерізи реакцій. Отримання інформації про механізм взаємодії гама-квантів з ядрами і етапів розпаду ядер.

9. Радіоактивний розпад ядер і перетворення ядер з випромінюванням частинок. Енергетична спроможність радіоактивного розпаду та його закон.

10. Альфа-розпад, схема та енергетика альфа-розпаду. Бета-розпад. Три типи бета-розпаду, схеми та енергетика β-розпаду. Гама-випромінювання ядер. Імовірність гама-переходів, її залежність від характеристик ядер в початковому і кінцевому стані.

11. Сучасні методи отримання інформації про елементний і ізотопний склади матеріалу. Рентгенофлюоресцентний аналіз, мас-спектрометрія і гама-спектрометри.

12. Практичні приклади обробки гама-спектрів. Локалізація піків повного поглинання, знаходження їх площ та енергій відповідних гама-ліній для подальшої ідентифікації та розрахунку активностей радіонуклідів.

3. Структура навчальної дисципліни

Назва лекції			
	Лекції	Практичні/семінарські заняття	Самостійна робота
Тема 1. Структура та властивості ядер. Експериментальні методи в ядерній фізиці. Використання ядерних методів в медицині, новітній техніці та астрофізиці. Протонно-нейтронна модель	2	-	12

ядра. Закони збереження енергії, імпульсу і парності.			
Тема 2. Ядерні реакції за типом взаємодії: прямі ядерні взаємодії та реакції, які включають компаунд-ядро. Класифікації ядерних реакцій за типом падаючих частинок: нейтронів, заряджених частинок, гама-квантів. Ядерні реакції за характером ядерних перетворень: реакції з вильотом нейтронів, заряджених частинок, гама-квантів.	2	-	12
Тема 3. Фотоядерні реакції на ядрах s- і p-оболонки. Розвиток механізму взаємодії фотона з ядром: від прямого вибивання нуклонів і квазідейтронної моделі до більш складної альфа-кластерної моделі і моделі нуклонних асоціацій. Багаточастинкові кінцеві стани.	2	2	12
Тема 4. Дифузійна камера в магнітному полі як приклад трекового 4π-детектора. Механізм утворення треків і методи отримання фільмової інформації. Методика реконструкції треків і відновлення інформації про події фотоядерних реакцій.	2	2	12
Тема 5. Мова програмування Python як найкращий сучасний спосіб обробки наукового матеріалу. Створення графічних додатків для аналізу експериментальних даних. Короткий огляд модулів Numpy, Scipy, Pandas і Matplotlib з практичними прикладами.	2	2	12
Тема 6. 1. Дифузійна камера в магнітному полі як приклад трекового 4π-детектора. Механізм утворення треків і методи отримання фільмової	2	2	12

інформації. Методика реконструкції треків і відновлення інформації про події фотоядерних реакцій. 2. Кінематичний розрахунок багаточастинкових фотореакцій в припущенні утворення проміжного збудженого ядра. Парціальні канали різних рівнів збуджених ядер, їх відносний вихід і вплив на загальні результати.			
Тема 7. 1. Фізичний аналіз на прикладі реакцій (γ, N) - і (γ, np) - реакцій на ядрах s- і p-оболонки. 2. Фізичний аналіз на прикладі реакцій $^{12}\text{C}(\gamma, 3\alpha)$ і $^{16}\text{O}(\gamma, 4\alpha)$. Повні, диференційні і парціальні перерізи реакцій. Отримання інформації про механізм взаємодії гама-квантів з ядрами і етапів розпаду ядер.	2	2	12
Тема 8. 1. Радіоактивний розпад ядер і перетворення ядер з випромінюванням частинок. Енергетична спроможність радіоактивного розпаду та його закон. 2. Альфа-розпад, схема та енергетика альфа-розпаду. Бета-розпад. Три типи бета-розпаду, схеми та енергетика β -розпаду. Гама-випромінювання ядер. Імовірність гама-переходів, її залежність від характеристик ядер в початковому і кінцевому стані. 3. Сучасні методи отримання інформації про елементний і ізотопний склади матеріалу. Рентгенофлюоресцентний аналіз, мас-спектрометрія і гама-спектрометри. 4. Практичні приклади обробки гама-спектрів. Локалізація піків повного поглинання, знаходження їх площ та енергій відповідних гама-ліній для подальшої ідентифікації та	2	2	6

розрахунку активностей радіонуклідів.			
Всього	16	12	90

Загальний обсяг: 120 год., зокрема: лекцій – 16 год.; практичних/семінарів – 12 год., самостійної роботи – 90 год., консультацій – 2 год.

4. Тематичний план практичних та семінарських занять

№ з/п	Тема	Години
1	Мова програмування Python як найкращий сучасний спосіб обробки наукового матеріалу. Створення графічних додатків для аналізу експериментальних даних. Короткий огляд модулів прикладами.	4
2	Кінематичний розрахунок багаточастинкових фотореакцій в припущенні утворення проміжного збудженого ядра.	4
3	Практичні приклади обробки гама-спектрів.	4
	Всього	12

3.1. Лекції – 16 години

3.2. Самостійної робота - розрахунково-графічна робота на одну з тем.

3.3. Індивідуальна робота – доповідь і обговорення матеріалу розрахунково-графічної роботи.

4. Методи навчання

При викладанні дисципліни використовуються словесні методи навчання, наочні методи навчання, практичні методи навчання. Головним словесним методом навчання є лекція. Під час проведення лекцій використовуються наступні методи навчання: пояснювально-ілюстративний метод або інформаційно-рецептивний; репродуктивний метод (репродукція - відтворення); метод проблемного викладу; частково-пошуковий, або евристичний метод. Під час самостійної роботи використовуються наступні методи навчання: дослідницький метод.

5. Методи контролю

Оцінка підсумкового контролю виставляється за дворівневою шкалою оцінювання – оцінки «зараховано», «не зараховано».

Основна література

1. Ігор Білинський. Теорія ядра та процеси в ньому. Фізика атомного ядра: Навчальний посібник. – Дрогобич : Видавничий відділ ДДПУ ім. І. Франка. 2021. – 75 с.
2. Об'єктно-орієнтоване програмування мовою PYTHON: Конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка» освітньої програми «Мікро- та нанoeлектроніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Д. Д. Татарчук, Ю. В. Діденко. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,3 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2021. – 129 с.
3. Каденко І. М., Плюйко В.А. Фізика атомного ядра та частинок : підручник. 2-ге вид., переробл. і доповн. Електронна версія. Київ. – 2019. – 467 с.

4. Ніцук Ю.А. Ядерна фізика: Навч. посібник.- Одеса: Видавництво ОДУ, 2008.- 168 с.
5. Вакарчук І.О. Квантова механіка: Підручник. - Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2007. – 784 с.
6. Булавін Л.А., Тартаковський В.К. Ядерна фізика. – Київ: Знання. 2005. - 480 с.
7. Ахієзер О.Л. Бережной Ю.А. Теорія ядерних реакцій – Харків: Основа, 2001.
8. Ситенко О.Г., Тартаковський В.К. Теорія ядра: Навч. посібник – Київ: Либідь, 2000 –
9. Ахієзер О.І. , Бережной Ю.А. Теорія ядра. Київ: Вища школа, 1995. 255с.

Додаткова література

1. Плужко В.А. Основи теорії ядра та ядерних процесів. Ядерні процеси: Навч. посібник. – Київ: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2003. – 160 с.
2. Бушок Г. Ф. Курс фізики. Книга 3: Оптика. Фізика атома та атомного ядра. – Київ: Вища школа. – 2003. – 311 с.
3. Лукіянець Б.А., Понеділок Г.В., Рудавський Ю.К. Основи квантової фізики: Навч. посібник. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка». 2009. - 420 с.

Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

1. <https://sites.google.com/site/fizikaelepid/atomna-i-aderna-fizika>
2. <https://www.accessscience.com/content/article/a569000>
3. <http://www.lbl.gov/abc/Contents.html#experiment>
4. <http://scienceworld.wolfram.com/physics>
5. <https://www.webelements.com/>