

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Генеральний директор

Микола ШУЛЬГА

« 30 »

2022 р.



РОБОЧА ПРОГРАМА
навчальної дисципліни

Ядерні взаємодії.

Проходження частинок та випромінювання крізь речовину

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	обов'язкова
Інститут	фізики високих енергій і ядерної фізики ННЦ ХФТІ

2022 / 2023 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження
Науково-технічною радою ННЦ ХФТІ

Від “ 29 ” 11 2022 року, протокол № 6

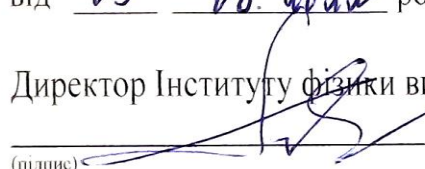
РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

к.ф.-м.н., с.н.с. Є.В.Рудичев

Програму схвалено на засіданні Науково-технічної ради Інституту
фізики високих енергій і ядерної фізики

від “ 03 ” 08. 2022 року, протокол № 3

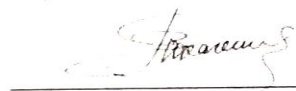
Директор Інституту фізики високих енергій і ядерної фізики

 Григорій КОВАЛЕНКО
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

назва освітньої програми

Гарант освітньо-професійної програми «Фізика та астрономія»

 Віктор ТКАЧЕНКО
(підпис) (прізвище та ініціали)

Вступ

Дисципліна «Ядерні взаємодії. Проходження частинок та випромінювання крізь речовину» є частиною професійної підготовки аспірантів за вибором ННЦ ХФТІ за напрямом 10 Природничі науки, за спеціальністю – 104 фізика і астрономія, яка викладається протягом другого року навчання.

ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Курс є дисципліною профілю і є систематичним вивченням основ ядерних взаємодій, розглянуто їх механізми та надано приклади різних видів ядерних реакцій, а також основних електромагнітних взаємодій частинок та фотонів з речовиною. Детально розглядаються електромагнітні явища, пов'язані з проходженням часток різної природи та різних енергій через однорідні середовища, у тому числі детектори. Розглядаються основні процеси взаємодії нейтронів із речовиною. Проводиться огляд ефектів, що виникають у шаруватих середовищах та кристалічних речовинах. Розглядаються методи ідентифікації частинок у детекторах. **Мета курсу** – отримати уявлення про основи ядерних взаємодій та про основні процеси, що відбуваються під час проходження часток різної природи та випромінювань широкого діапазону енергій через речовину.

1.1 Вимоги до рівня освоєння змісту дисципліни. Вивчення дисципліни передбачає освоєння аспірантами фундаментальних основ ядерних взаємодій знати основні процеси, що супроводжують проходження через речовину частинок та електромагнітного випромінювання широкого діапазону енергій

1.2.1. Формування інтегральних компетентностей

Здатність продукувати нові ідеї, розв'язувати комплексні проблеми науково-дослідницької та інноваційної діяльності у сфері фізики, застосовувати методологію науково-дослідницької та педагогічної діяльності, а також проводити власне наукове дослідження, результати якого мають наукову новизну, теоретичне та практичне значення і застосування.

1.2.2 Формування наступних загальних компетентностей

ЗК01. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).

ЗК02. Здатність працювати в міжнародному контексті.

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

1.2.3. Формування наступних спеціальних (фахових) компетентностей:

СК01. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру в сфері фізики ядерних взаємодій та проходження

частинок і опромінення крізь речовину, інтегрувати знання з різних галузей, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.

СК02. Здатність відстежувати тенденції розвитку фізики ядерних взаємодій та проходження частинок і опромінення крізь речовину, їх прикладних застосувань, критично переосмислювати наявні знання та методи фундаментальних та прикладних наукових досліджень.

СК03. Здатність представляти та обговорювати результати своєї науково-дослідницької роботи державною мовою, а також англійською мовою чи одною з офіційних мов Європейсько Союзу, в усній та у письмовій формі,

опрацьовувати наукову літературу з фізики плазми та керованого термоядерного синтезу і ефективно використовувати нову інформацію з різних джерел.

СК04. Здатність організовувати та здійснювати науково-педагогічну діяльність у сфері фізики ядерних взаємодій та проходження частинок і опромінення крізь речовину.

СК05. Здатність ініціювати, розробляти та реалізовувати науково-дослідницькі, розробницькі та інноваційні проекти у сфері фізики ядерних взаємодій та проходження частинок і опромінення крізь речовину, планувати й організовувати роботу науково-дослідницьких, розробницьких та інноваційних колективів.

СК06. Здатність застосовувати сучасні методи, методики, технології, інструменти та обладнання для проведення прикладних та фундаментальних наукових досліджень у галузі фізики ядерних взаємодій та проходження частинок і опромінення крізь речовину.

1.3. Кількість кредитів – 4.

1.4. Загальна кількість годин – 120.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни:

Опис навчальної дисципліни «Ядерні взаємодії. Проходження частинок та випромінювання крізь речовину»

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	Вибір ННЦ ХФТІ
Загальна кількість годин	120
Кількість кредитів ECTS	4

Кількість змістових модулів	5		
Форма контролю	іспит		
Показники навчальної дисципліни			
Рік підготовки	II		
Обсяг дисципліни та види навчальної роботи			
Вид навчальної роботи	Всього годин		
Загальна трудомісткість дисципліни	120		
Аудиторні заняття	50		
Лекції (Л)	24		
Практичні заняття (ПЗ)	24		
Семінари (С)	-		
Самостійна робота	70		
Консультація	2		
Реферат	-		
та (або) інші види самостійної роботи	-		
Вид підсумкового контролю (залік, іспит)	іспит		

1.6. Заплановані результати навчання

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми здобувачі повинні:

РН01. Мати сучасні концептуальні та методологічні знання з фізики ядерних взаємодій та проходження частинок і опромінення крізь речовину та дотичних до них міждисциплінарних напрямів, а також необхідні навички, достатні для проведення фундаментальних і прикладних наукових досліджень з метою отримання нових знань та/або здійснення розробок та інновацій.

РН02. Аналізувати та оцінювати стан і перспективи розвитку фізики ядерних взаємодій та проходження частинок і опромінення крізь речовину, а також дотичних міждисциплінарних напрямів.

РН03. Вільно презентувати та обговорювати державною мовою, а також англійською мовою чи одною з офіційних мов Європейського Союзу, результати наукових досліджень, фундаментальні та прикладні проблеми фізики ядерних взаємодій та проходження частинок і опромінення крізь речовину, публікувати результати наукових досліджень у наукових виданнях, що індексуються у базах Scopus та WoS Core Collection.

РН04. Формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичних і експериментальних досліджень, математичного моделювання, комп'ютерного експерименту, а також наявні літературні дані.

РН05. Розробляти моделі процесів і систем у фізиці ядерних взаємодій та проходження частинок і опромінення крізь речовину та дотичних міждисциплінарних напрямках, використовувати їх у науково- дослідницькій діяльності для отримання нових знань та/або створення розробок та інноваційних продуктів.

РН06. Планувати і виконувати прикладні та/або фундаментальні дослідження з фізики ядерних взаємодій та проходження частинок і опромінення крізь речовину та дотичних міждисциплінарних напрямків з використанням сучасних методів, методик, технологій, інструментів та обладнання, з дотриманням норм академічної етики, критично аналізувати результати наукових досліджень у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми; готувати проєктні пропозиції щодо фінансування наукових досліджень та/або розробницьких і інноваційних проєктів.

РН07. 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.

РН08. Розробляти та реалізовувати наукові та/або інноваційні інженерні проєкти, які дають можливість переосмислити наявне та створити нове цілісне знання та/або професійну практику і розв'язувати значущі наукові та технологічні проблеми фізики плазми та керованого термоядерного синтезу з врахуванням соціальних, економічних, екологічних та правових аспектів; управляти науковими проєктами.

РН09. Глибоко розуміти загальні принципи та методи природничих наук, а також методологію наукових досліджень, місце фізики в системі наукових знань як методологічної основи природничих, інженерних наук та технологій; застосовувати їх у власних дослідженнях у сфері фізики ядерних взаємодій та проходження частинок і опромінення крізь речовину та у викладацькій діяльності.

РН10. Організовувати освітній процес і проводити педагогічну діяльність у сфері фізики ядерних взаємодій та проходження частинок і опромінення крізь речовину, забезпечувати відповідне наукове, навчально-методичне та нормативне забезпечення.

Після вивчення курсу здобувач повинен знати:

- фундаментальні основи ядерних взаємодій;
- основні процеси, що супроводжують проходження через речовину частинок та електромагнітного випромінювання широкого діапазону енергій

В результаті вивчення дисципліни аспірант повинен вміти:

- вибирати ту чи іншу теоретичну модель для опису фізичних процесів ядерних взаємодій;

- застосовувати потрібні теоретичні методи для розв'язування рівнянь в межах обраної моделі;
- аналізувати фізичний сенс отриманих розв'язків та давати фізичну інтерпретацію досліджуваних явищ;
- самостійно опановувати та використовувати літературу з фізики ядерних взаємодій та проходження частинок і опромінення крізь речовину;
-вміти написати статтю до журналу та доповідь на конференцію за результатами досліджень.

Контроль знань аспіранта здійснюється за модульно-рейтинговою системою. Змістовий модуль 1 включає теми 1–4, змістовий модуль 2 – теми 5–9.

2. ЗМІСТ ТА СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

2.1. Модулі дисципліни та види занять .

№ п /п	Розділ дисципліни	Лекції	Практичні заняття
1	Ядерні взаємодії	6	-
2	Взаємодія заряджених частинок із речовиною.	6	-
3	Взаємодія електромагнітного випромінювання з речовиною	6	-
4	Електромагнітні каскадні процеси	3	
5	Взаємодія нейтронів із речовиною	3	

2.2. Зміст розділів дисципліни

Вступ. Цілі та завдання дисципліни.

Модуль 1. Ядерні взаємодії.

1.1 Ядерні взаємодії. ядерні сили.

1.1.2 Класифікація ядерних реакцій.

1.2 Закони збереження в ядерних реакціях Баріонний заряд

1.2.1. Розпад ядер одного ізотопу. Статистичний характер розпаду. Розпад суміші радіонуклідів .

1.2.2 Енергія та імпульс.

1.2.3 Закон збереження імпульсу

1.3 Радіоактивний розпад та іонізуючі випромінювання.

1.3.1. Класифікація радіоактивного розпаду. Загальні закономірності.

1.3.2 Ізомерний перехід.

1.3.3 Спонтанний поділ.

1.4. Кінетика радіоактивного розпаду.

- 1.4.1 Альфа-розпад закон Гейгера- Неттолла
- 1.4.2 Електронний захоплення
- 1.4.3 Бета – розпад
- 1.4.3.1 Електронний β -розпад
- 1.4.3.2 Позитронний β -розпад
- 1.5 Ланцюгова реакція поділу важких ядер. Критична маса

Модуль 2. Взаємодія заряджених частинок із речовиною.

- 2.1. Взаємодія важких заряджених частинок із середовищем.
 - 2.1.1. Іонізаційні втрати енергії важких заряджених частинок
- 2.2. Взаємодія легких заряджених частинок (електронів) із середовищем
 - 2.2.1 Іонізаційні втрати енергії легких заряджених частинок.
 - 2.2.2 Пробіги частинок у речовині, стретглінг
 - 2.2.3. Утворення δ - електронів, метод визначення заряду частки.
 - 2.2.4 Кутовий розподіл δ - електронів, метод оцінки енергії частки.
 - 2.2.5 Флуктуації іонізаційних втрат. Імовірні та середні іонізаційні втрати, крива Ландау
 - 2.2.6 Поняття про орієнтаційні явища при проходженні заряджених частинок через кристали. Ідентифікація частинок з треків в олівіах.
 - 2.2.7 Відхилення пучків заряджених частинок зігнутим кристалом.
- 2.3. Кулонівська взаємодія заряджених частинок із ядрами речовини. Ефект екранування.
 - 2.3.1. Метод зворотного резерфордівського розсіювання. Багаторазове розсіювання. Пружне розсіювання заряджених частинок на атомах.
 - 2.3.2. Основи теорії Мольєра. Методи вимірювання середньоквадратичного кута багаторазового розсіювання, методи ідентифікації частинок за допомогою ядерних емульсій.
- 2.4. Поняття про дефектоутворення. Неіонізуючі втрати. Іонна імплантація.
- 2.5. Тормозне випромінювання. Екранування. Спектр гальмівних фотонів. Порівняння втрат енергії на іонізацію та гальмівне випромінювання.
- 2.6. Критична енергія. Оцінка радіаційної ситуації
 - 2.6.1. Випромінювання Вавилова-Черенкова. Порогові ефекти. Детектори частинок на основі реєстрації Черенківського випромінювання
- 2.7. Перехідне випромінювання. Детектори частинок з урахуванням реєстрації перехідного випромінювання.
- 2.8. Поняття про різні типи когерентного випромінювання в орієнтованих радіаторах, каналізоване випромінювання та ін. Розсіювання заряджених частинок в орієнтованих кристалах.

Модуль 3. Взаємодія електромагнітного випромінювання з речовиною

- 3.1 Загальні поняття та механізми взаємодії гамма-випромінювання з речовиною. Фотоефект, основні закономірності, залежність перетину енергії фотонів. Ядерний фотоефект

3.2. спектр електромагнітного випромінювання. Крива поглинання фотонів у речовині

Розсіювання фотонів (Релєєвське , Томсонівське). Розсіяння гамма-квантів на кристалах. Закон Брегга. Спектрометр Брегга

3.2.1. Ефект Комптон. Перетин комптонівського розсіювання.

3.2.2. Спектр та кутовий розподіл розсіяних фотонів та електронів віддачі. Зворотний ефект комптону. Приклади модельних спектрів астрофізичних об'єктів.

3.3. Народження електрон-позитронних пар гамма-квантами . Екранування. Радіаційна одиниця довжини.

3.3.1.Залежність перерізу народження пар від енергії гамма-квантів . Електрон-позитронна анігіляція.

Модуль 4. Електромагнітні каскадні процеси

4.1 . Повне переріз взаємодії e^-/m випромінювання з речовиною. Поняття про електронно-фотонну зливу. Розсіювання електронів. Мольтерівська одиниця.

4.2. Основні рівняння каскадної теорії. Каскадна теорія у наближенні А.

4.2.1. Вік зливи. Число частинок у максимумі каскаду. Каскадна теорія у наближенні Б.

4.2.2. Каскадна теорія у наближенні В. Іонізаційний калориметр.

4.3. Осьове наближення каскадної теорії. Флуктуації e^-/f злив. Ефект Ландау- Померанчука - Мігдала

Модуль 5. Взаємодія нейтронів із речовиною

5.1. Класифікація нейтронів. Повний переріз взаємодії нейтронів із ядрами атомів. Джерела нейтронів.

5.2. Уповільнення нейтронів. Уповільнювальна здатність речовини. Довжина пробігу нейтрону. Дифузія та альbedo нейтронів.

5.3. Вимірювання спектрів швидких нейтронів з ідентифікацією нейтронів формою імпульсу, дискримінація нейтрон-гама.

2.3. План проведення лекційних занять

Кількість годин лекцій	Зміст розділів дисципліни
	1 семестр
2	Вступ. Цілі та завдання дисципліни.
4	Ядерні взаємодії. 1.1 Ядерні взаємодії. Ядерні сили . 1.1.2 Класифікація ядерних реакцій. 1.2 Закони збереження в ядерних реакціях Баріонний заряд
2	1.2.1.Розпад ядер одного ізотопу. Статистичний характер розпаду. Розпад суміші радіонуклідів
4	1.2.2 Енергія та імпульс. 1.2.3 Закон збереження імпульсу 1.3 Радіоактивний розпад та іонізуючі випромінювання. 1.3.1. Класифікація радіоактивного розпаду.

	Загальні закономірності.
2	1.3.2 Ізмерний перехід. 1.3.3 Спонтанний поділ. 1.4. Кінетика радіоактивного розпаду.
4	1.4.1 Альфа-розпад закон Гейгера- Нетолла 1.4.2 Електронний захоплення
2	1.4.3 Бета – розпад 1.4.3.1 Електронний β -розпад
2	1.4.3.2 Позитронний β -розпад
4	1.5 Ланцюгова реакція поділу важких ядер. Критична маса
2	2.Взаємодія важких заряджених частинок із середовищем.
2	2.1.Іонізаційні втрати енергії важких заряджених частинок
4	2.2. Взаємодія легких заряджених частинок (електронів) із середовищем
2	2.2.1 Іонізаційні втрати енергії легких заряджених частинок.
2	2.2.2 Пробіги частинок у речовині, стретглінг
2	2.2.3. Утворення - електронів , метод визначення заряду частинки.
2	2.2.4 Кутовий розподіл - електронів , метод оцінки енергії частки.
2	2.2.5 Флуктуації іонізаційних втрат. Імовірні та середні іонізаційні втрати, крива Ландау
4	2.2.6 Поняття про орієнтаційні явища під час проходження заряджених частинок через кристали. Ідентифікація частинок з треків в олівіах.
2	2.2.7 Відхилення пучків заряджених частинок зігнутим кристалом
	2 семестр
4	2.3. Кулонівська взаємодія заряджених частинок із ядрами речовини. Ефект екранування. 2.3.1. Метод зворотного резерфордівського розсіювання. Багаторазове розсіювання. Пружне розсіювання заряджених частинок на атомах.
2	2.3.2. Основи теорії Мольєру. Методи вимірювання середньоквадратичного кута багаторазового розсіювання, методи ідентифікації частинок за допомогою ядерних емульсій.
4	2.4. Поняття про дефектоутворення. Неіонізуючі втрати. Іонна імплантація.
2	2.5. Гальмівне випромінювання. Екранування. Спектр гальмівних фотонів. Порівняння втрат енергії на іонізацію та гальмівне випромінювання.
2	2.6. Критична енергія. Оцінка радіаційної ситуації
2	2.6.1. Випромінювання Вавилова-Черенкова. Порогові ефекти. Детектори частинок на основі реєстрації Черенківського випромінювання
2	2.7. Перехідне випромінювання. Детектори частинок з урахуванням реєстрації перехідного випромінювання.
4	2.8. Поняття про різні типи когерентного випромінювання в орієнтованих радіаторах, каналізоване випромінювання та ін. Розсіювання заряджених частинок

	в орієнтованих кристалах.
2	3.1 Загальні поняття та механізми взаємодії гамма-випромінювання з речовиною. Фотоефект, основні закономірності, залежність перетину енергії фотонів. Ядерний фотоефект
2	3.2. спектр електромагнітного випромінювання. Крива поглинання фотонів у речовині
4	3.2. Розсіювання фотонів (Релєєвське , Томсонівське). Розсіюння гамма-квантів на кристалах. Закон Брегга. Спектрометр Брегга
2	3.2.1. Ефект Комптон. Перетин комптонівського розсіювання.
2	3.2.2. Спектр та кутовий розподіл розсіяних фотонів та електронів віддачі.
2	Зворотний ефект комптону. Приклади модельних спектрів астрофізичних об'єктів.
2	3.3. Народження електрон-позитронних пар гамма-квантами . Екранування. Радіаційна одиниця довжини.
2	3.3.1.Залежність перерізу народження пар від енергії гамма-квантів . Електрон-позитронна анігіляція.
2	4.1. Повний переріз взаємодії електромагнітного випромінювання з речовиною
2	Поняття про електронно-фотонну зливу. Розсіювання електронів. Мольєрівська одиниця
4	4.2. Основні рівняння каскадної теорії. Каскадна теорія у наближенні А.
2	4.2.1. Вік зливи. Число частинок у максимумі каскаду.
2	Каскадна теорія у наближенні Б.
4	4.2.2. Каскадна теорія у наближенні В. Іонізаційний калориметр.
2	4.3. Осьове наближення каскадної теорії.
2	Флуктуації е/ф злив. Ефект Ландау- Померанчука - Мігдала
2	5.1. Класифікація нейтронів. Повний переріз взаємодії нейтронів із ядрами атомів. Джерела нейтронів
4	5.2. Уповільнення нейтронів. Уповільнювальна здатність речовини. Довжина пробігу нейтрону.
2	Дифузія та альbedo нейтронів.
2	5.3. Вимірювання спектрів швидких нейтронів з ідентифікацією нейтронів формою імпульсу, дискримінація нейтрон-гама.

Запитання до екзамену

1. Ядерні взаємодії. ядерні сили.
2. Взаємодія важких заряджених частинок із середовищем
- 3 Класифікація ядерних реакцій. Закони збереження в ядерних реакціях
Баріонний заряд
4. Кулонівська взаємодія заряджених частинок з ядрами речовини. Ефект екранування.
- 5.Розпад ядер одного ізотопу. Розпад суміші радіонуклідів
- 6.Метод зворотного Резерфордського розсіювання. Багаторазове розсіювання.
7. Енергія та імпульс .Закон збереження імпульсу
- 8.Поняття про електронно-фотонну зливу. Розсіювання електронів.
- 9.Ізмерний перехід. Спонтанний поділ.
10. Основні рівняння каскадної теорії. Каскадна теорія наближенні А.
11. Пружне розсіювання заряджених частинок на атомах.
12. Загальні поняття та механізми взаємодії гамма-випромінювання з речовиною.
13. Альфа-розпад закону Гейгера-Неттолла. Електронне захоплення
14. Поняття про дефектоутворення. Неіонізуючі втрати. Іонна імплантація.
- 15.Бета – розпад. Електронний β -розпад. Позитронний β -розпад
16. Вимірювання спектрів швидких нейтронів з ідентифікацією нейтронів формою імпульсу, дискримінація нейтрон-гама.
17. Ланцюгова реакція поділу важких ядер. Критична маса
18. Уповільнення нейтронів. Уповільнювальна здатність речовини. Довжина пробігу нейтрону. Дифузія та альbedo нейтронів.
- 19.Взаємодія легких заряджених частинок (електронів) із середовищем.
20. Поняття про електронно-фотонну зливу. Розсіювання електронів.
21. Пробіги частинок у речовині, стретглінг
22. Перехідне випромінювання. Детектори частинок з урахуванням реєстрації перехідного випромінювання.
- 23.Освіта δ - електронів, метод визначення заряду частки.
24. Вік зливи. Число частинок у максимумі каскаду.
- 25.Кутовий розподіл δ - електронів, метод оцінки енергії частки.
- 26.Класифікація нейтронів. Повний переріз взаємодії нейтронів із ядрами атомів.
27. Флуктуації іонізаційних втрат. Імовірні та середні іонізаційні втрати, крива Ландау
- 28.Джерела нейтронів Уповільнення нейтронів. Уповільнювальна здатність речовини. Довжина пробігу нейтрону.
29. Поняття про орієнтаційні явища при проходженні заряджених частинок через кристали.
30. Каскадна теорія наближенні У. Іонізаційний калориметр.
31. Розсіювання заряджених частинок в орієнтованих кристалах.
32. Іонізаційні втрати енергії важких заряджених частинок

33. Залежність перерізу народження пар від енергії гамма-квантів. Електрон-позитронна анігіляція.
34. Восьове наближення каскадної теорії. Флуктуації ϵ/ϕ злив. Ефект Ландау-Померанчука-Мігдала
35. Основи теорії Мольєра. Методи вимірювання середньоквадратичного кута багаторазового розсіювання, методи ідентифікації частинок за допомогою ядерних емульсій.
36. Критична енергія. Оцінка радіаційної ситуації
37. Кулонівська взаємодія заряджених частинок із ядрами речовини. Ефект екранування
38. Випромінювання Вавилова-Черенкова. Порогові ефекти. Детектори частинок на основі реєстрації Черенковського випромінювання

6. Методи контролю

Складання колоквиумів за темами модулів, Залік, письмовий екзамен.

7. Схема нарахування балів

Матеріал курсу " Ядерні взаємодії. Проходження частинок та випромінювання крізь речовину" згідно навчальної програми містить 5 модулів. Оцінка роботи здобувачів проводиться за модульно-рейтинговою системою і включає такі види роботи над курсом: практичні роботи, засвоєння теоретичного матеріалу та домашні завдання.

Модулі за курсом					Залік	Екзамен	Разом
M1	M2	M3	M4	M5			
13	23	10	9	5	20	20	100

M1, M2 ... - номери модулів.

Оцінка за модуль складається з оцінки за практикум, поточний контроль, виконання домашніх письмових завдань. Здобувачі повинні виконати та оформити всі практичні роботи.

Здобувачі пишуть відповідно до кожного модуля письмові контрольні роботи, кожна з яких оцінюється балами від 5 до 23 відповідно до обсягу модуля.

Для допуску до підсумкового семестрового контролю здобувач в сумі за практикум, поточний контроль, виконання домашніх письмових завдань має набрати не менше 30-ти балів з 60-ти можливих, тобто не менше 50% від максимально можливого.

На заліку та екзамені здобувач може одержати від 10 до 20 балів. Між 0 та 10 балами оцінка не виставляється, залік або екзамен вважається не зданим. Бали, одержані на екзамені від 10 до 20 додаються до балів, одержаних у семестрі (30-60 балів). За цією сумою згідно таблиці шкали оцінювання виставляється підсумкова оцінка до залікової книжки.

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

Критерії оцінювання

питань екзаменаційного білету (контрольної роботи)

Екзаменаційний білет (контрольна робота) містить кілька завдань (теоретичні питання або задачі). Кожне завдання має свій ваговий бал (вказується у дужках біля питання) та оцінюється окремо. Сумарно за всі відповіді на екзаменаційні питання можна отримати максимально 20 балів. Сумарний бал за контрольну роботу вказується в тексті відповідної роботи.

	Характеристика відповіді на кожне з питань екзаменаційного білету (контрольної роботи)	% від max балу за відповідь на питання
	Повна та вірна відповідь на питання або у повному обсязі правильно вирішена практична задача білету	100 %
	Повна відповідь з незначними помилками (або незначні помилки у розрахунках практичних завдань за наявності вірної розрахункової формули);	80-95 %
	Неповна, але вірна відповідь (або значні помилки у розрахунках практичних завдань за наявності вірної розрахункової формули для розв'язання практичних завдань);	50-80 %
.	Відповідь повна, але містить грубі помилки (або вирішення практичних завдань білету містить грубі помилки, розрахункові формули для розв'язання практичних завдань містять помилки)	30-50 %
	Неповна відповідь з суттєвими помилками	5-30 %
	Невірна відповідь	0-5 %
	Відсутня відповідь на теоретичне питання (або відсутнє вирішення практичних завдань білету)	0 %

9. Рекомендована література

Основна література

1. О.Г. Ситенко, В.К. Тартаковський. Теорія ядра: Навч. посібник.- Київ.: Либідь, 2000.- 608 с.
2. Ніцук Ю.А. Ядерна фізика: Навч. посібник.- Одеса.: Видавництво ОДУ, 2008.- 168 с.
3. Вакарчук І.О. Квантова механіка: Підручник.- Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2007.- 784 с.
4. Кучерук І.М., Горбачук І.Т. Загальний курс фізики. Т.3. Оптика. Квантова фізика. К.: Техніка, 1999.- 520 с.
5. А.К. Вальтер, І.І. Залюбовський. Ядерна фізика.- Харків: Видавництво Харківського ун-ту, 1991.- 480 с.
6. Л.А. Булавін, В.К. Тартаковський. Ядерна фізика.- Київ, 2005.-480 с.

Допоміжна література

1. W. Heitler The Quantum Theory of Radiation / W. Heitler // Oxford University Press (1957)
2. L. D. Landau. Course of Theoretical Physics / L. D. Landau, E. M. Lifshitz // Pergamon Press
3. Theoretical Nuclear Physics by J. M. Blatt, V. F. Weisskopf 864 Pages, Published 2012 by Springer Science & Business Media ISBN-13: 978-1-4612-9959-2, ISBN: 1-4612-9959-4

Розробник програми к.ф.-м.н.,
с.н.с ІФВЕЯФ ННЦ ХФТІ



Єгор РУДИЧЕВ