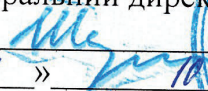


НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР
«ХАРКІВСЬКИЙ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Генеральний директор


« 31 » 2023р.



РОБОЧА ПРОГРАМА
навчальної дисципліни
Математичне моделювання в ядерній 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	
вид дисципліни	вільний вибір аспіранта
Інститут	фізики високих енергій і ядерної фізики ІНЦ ХФТІ

2023 / 2024 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження
Науково-технічною радою ННЦ ХФТІ

Від “ 20 ” 10 2023 року, протокол № 9

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 “ 11 ” 05 2023 року, протокол № 7

Директор Інституту фізики високих енергій і ядерної фізики

(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 «Математичне моделювання в ядерній фізиці» 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.

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Мета: ознайомити аспірантів з основними поняттями і законами комп'ютерного моделювання фізичних процесів та їх застосуванням.

1.1. Основні завдання вивчення дисципліни: навчити аспіранта застосовувати закони комп'ютерного моделювання фізичних процесів до природних систем. Дати аспірантам первісне уявлення про цілі та методи теорії моделювання, та про можливість застосування цієї теорії до вирішення різноманітних прикладних завдань.

Курс відноситься до циклу дисциплін вільного вибору аспірантів.

Для освоєння дисципліни «Математичне моделювання в ядерній фізиці» аспіранти використовують знання, вміння та навички, способи діяльності та установки, отримані та сформовані під час вивчення дисциплін «Інформатика», «Програмування», «Чисельні методи», «Комп'ютерні технології в інноваційній педагогічній діяльності», «Прикладні програмні пакети» і т.д.

Знання, отримані в результаті вивчення цієї дисципліни, забезпечують успішне вивчення таких дисциплін як «Інформаційні системи», «Теорія та методика навчання інформатики».

Дисципліна «Математичне моделювання в ядерній фізиці» пов'язує аналіз фізичних процесів з інструментарієм сучасних інформаційних технологій, і тому грає інтегруючу роль, сприяючи розвитку навичок використання обчислювальних систем на вирішення професійних завдань. Зокрема компетенції, сформовані щодо дисципліни «Математичне моделювання в ядерній фізиці», необхідні організації самостійної роботи аспірантів, оформлення ними доповідей, повідомлень, наукових робіт.

1.2. Формування наступних загальних та спеціальних (фахових) компетентностей:

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

Фундаментальна підготовка в галузі фізиці та комп'ютерних наук, готовність до використання отриманих знань у професійній діяльності. Значні навички самостійної роботи з комп'ютером, програмування, використання методів обробки інформації та чисельних методів вирішення базових завдань,

здатність до аналізу та синтезу інформації, отриманої з будь-яких джерел і забезпечує такі ЗК згідно з ОНП:

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:

Вивчення дисципліни забезпечує володіння методами математичного та алгоритмічного моделювання при аналізі та вирішенні прикладних та інженерно-технічних завдань, володіння проблемно-задачною формою подання математичних природничо-наукових знань, вміння самостійно математично та фізично коректно ставити природничо і інженерно-фізичні завдання та організовувати їх рішення у межах невеликих колективів і забезпечує такі СК згідно з ОНП:

СК01. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру в сфері математичного моделювання в ядерній фізиці, інтегрувати знання з різних галузей, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.

СК02. Здатність відстежувати тенденції розвитку математичного моделювання в ядерній фізиці, 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 математичного моделювання в ядерній фізиці і ефективно використовувати нову інформацію з різних джерел.

СК04. Здатність організовувати та здійснювати науково-педагогічну діяльність у сфері математичного моделювання в ядерній фізиці.

СК05. Здатність ініціювати, розробляти та реалізовувати науково-дослідницькі, розробницькі та інноваційні проекти у сфері математичного моделювання в ядерній фізиці, 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 математичного моделювання в ядерній фізиці.

СК29. Компетенція у сфері моделювання та числових методів у фізиці конденсованого стану.

СК34. Здатність використовувати методи аналітичної обробки результатів дослідження та математичного моделювання.

СК36. Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв'язування фізичних задач і моделювання фізичних систем.

1.3. Кількість кредитів – 4.

1.4. Загальна кількість годин – 120.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни:

Опис навчальної дисципліни «Математичне моделювання в ядерній 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		Вибір ННЦ ХФТІ	
Загальна кількість годин		120	
Кількість кредитів ECTS		4	
Кількість змістових модулів		3	
Форма контролю		залік	
Показники навчальної дисципліни			
Рік підготовки		III	
Обсяг дисципліни та види навчальної роботи			
Вид навчальної роботи	Всього годин	Семестр	Семестр
Загальна трудомісткість дисципліни	120	43	77
Аудиторні заняття	-	-	-
Лекції (Л)	16	8	8
Практичні заняття (ПЗ)	12	4	8
Семінари (С)	-	-	-
Самостійна робота	90	30	60
Курсовий проект (робота)	-	-	-
Консультації	2	1	1
та (або) інші види самостійної роботи	-	-	-
Вид підсумкового контролю (залік, іспит)		Залік	Залік

1.6. Заплановані результати навчання

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми здобувачі повинні:

РН01. Мати сучасні концептуальні та методологічні знання з математичного моделювання в ядерній фізиці 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. Вільно презентувати та обговорювати державною мовою, а також англійською мовою чи одною з офіційних мов Європейського Союзу, результати наукових досліджень, фундаментальні та прикладні проблеми математичного моделювання в ядерній фізиці, публікувати результати наукових досліджень у наукових виданнях, що індексуються у базах Scopus та WoS Core Collection.

РН04. Розробляти та досліджувати концептуальні, математичні і комп'ютерні моделі процесів і систем, ефективно використовувати їх для отримання нових знань та/або створення інноваційних продуктів у галузі математичного моделювання, комп'ютерного експерименту, а також наявні літературні дані.

РН06. 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.

РН07. Розробляти та реалізовувати наукові та/або інноваційні інженерні проекти, які дають можливість переосмислити наявне та створити нове цілісне знання та/або професійну практику і розв'язувати значущі наукові та технологічні проблеми математичного моделювання в ядерній фізиці з врахуванням соціальних, економічних, екологічних та правових аспектів; управляти науковими проектами.

РН08. 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 математичного моделювання в ядерній фізиці та у викладацькій діяльності.

РН11. Організовувати освітній процес і проводити педагогічну діяльність у сфері математичного моделювання в ядерній фізиці, забезпечувати відповідне наукове, навчально- методичне та нормативне забезпечення.

Після вивчення курсу здобувач повинен знати:

- про основні класифікації математичних моделей, про принципи моделювання, про основні етапи, технології побудови моделі, про можливості програмних реалізацій за допомогою інструментальних засобів, про особливості проведення обчислювальних експериментів.

В результаті вивчення дисципліни аспірант повинен вміти:

- використовувати набуті знання для розрахунку характеристики процесів і явищ, враховувати їх особливості; розуміти фізичні принципи явищ; враховувати симетрію властивостей і ефектів, розраховувати та аналізувати, виходячи як з основних положень комп'ютерного моделювання, так і з

емпіричних експериментальних даних; використовуючи для цього сучасне програмне забезпечення;

- 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. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	усього	у тому числі				
		л	п	лаб	кон.	с.р.
1	2	3	4	5	6	7
Змістовий модуль 1. Чисельне моделювання						
Тема 1. Значення комп'ютера у фізиці, природа чисельного моделювання.	2	2				
Тема 2. Методи чисельного розв'язування ньютонівських рівнянь руху.	14	2	2			10
Тема 3. Лінійні і нелінійні коливальні системи.	14	2	2			10
Тема 4. Динаміка системи багатьох частинок.	12	2				10
Разом за змістовим модулем 1	43	8	4		1	30
Змістовий модуль 2. Методи Монте-Карло та МД						
Тема 5. Комп'ютерний експеримент та його основні складові.	19	2	2			15
Тема 6. Отримання випадкових чи псевдовипадкових чисел. Методи генерації псевдовипадкових чисел.	19	2	2			15
Тема 7. Математична модель проходження частинок крізь речовину.	19	2	2			15
Тема 8. Алгоритми для вирішення задачі перенесення частинок в речовині.	19	2	2			15
Разом за змістовим модулем 2	77	8	8		1	60
Усього годин	120	16	12		2	90

2.2. Зміст розділів дисципліни.

Змістовий модуль 1. Чисельне моделювання

Тема 1. Значення комп'ютера у фізиці, природа чисельного моделювання.

Використання комп'ютерів. Основні поняття програмування. Графічні засоби. Основні методи чисельного розв'язування звичайних диференціальних

рівнянь. Точність і стійкість методу дотичних Ейлера. Розв'язування диференціального рівняння на прикладі задачі про зміну температури тіла згідно закону тепловіддачі Ньютона методом Ейлера.

Тема 2. *Методи чисельного розв'язування ньютонівських рівнянь руху.*

Моделювання руху матеріальної точки в однорідному і неоднорідному полі сили тяжіння враховуючи вплив опору середовища. Розрахунок двовимірної траєкторії руху. Балістичні задачі. Двовимірні траєкторії, зв'язаний рух. Метод Ейлера - Крамера розв'язування рівнянь руху. Рух у центральній - симетричному полі. Перевірка законів Кеплера. Рівняння руху планет. Астрономічні одиниці. Моделювання орбіти. Розрахунок впливу лобового опору на орбіту супутника. Вплив збурень на орбіту планет. Моделювання руху двох взаємодіючих планет у полі зорі. Вплив збурень на орбіту супутників.

Тема 3. *Лінійні і нелінійні коливальні системи.*

Розрахунок руху гармонічного осцилятора під дією сили тертя і зовнішньої періодичної сили, фазова площина. Принцип суперпозиції. Математичний маятник. Великі коливання математичного маятника. Закон збереження енергії. Моделювання руху нелінійного осцилятора з гармонічною зовнішньою силою і лінійною силою тертя. Відгук на зовнішню силу. Зв'язані осцилятори. Фур'є аналіз. Перехід до хвильового рівняння. Хвильовий рух. Суперпозиція хвиль.

Тема 4. *Динаміка системи багатьох частинок.*

Програма молекулярної динаміки. Наближення до рівноваги розрідженого газу. Потенціал міжмолекулярної взаємодії. Чисельний алгоритм. Краєві умови. Прості властивості переносу. Коефіцієнт дифузії. Твердий стан і плавлення.

Змістовий модуль 2. Методи Монте-Карло та МД

Тема 5. *Комп'ютерний експеримент та його основні складові.*

Класифікація моделей. Класифікація математичних моделей. Етапи та цілі побудови моделі. Структурні моделі. Моделювання в умовах невизначеності. Імітаційне моделювання. Планування модельних експериментів. Обробка та аналіз результатів моделювання

Тема 6. *Отримання випадкових чи псевдовипадкових чисел. Методи генерації псевдовипадкових чисел.*

Допоміжні теореми з математичної статистики та теорії ймовірностей. Частота та ймовірність появи випадкової величини. Інтегральний закон розподілу ймовірностей. Діфференціальний закон розподілу ймовірностей. Математичне очікування. Дисперсія. Центральна гранична теорема. Моделювання випадкових величин. Розіграш дискретної випадкової величини. Розіграш безперервної випадкової величини. Метод Батлера. Моделювання спеціальних розподілів.

Тема 7. *Математична модель проходження частинок крізь речовину.*

Математична модель. Кінетичні рівняння перенесення. Система рівнянь задачі перенесення частинок у середовищі на атомарному рівні. Розв'язання кінетичних рівнянь. Вирішення фізичних завдань методом Монте-Карло. Походження методу Монте-Карло. Загальна схема методу Монте-Карло.

Завдання, які вирішуються методом Монте-Карло. Особливості методу Монте-Карло. Схема використання МД у задачі перенесення. Ефективність МД.

Тема 8. *Алгоритми для вирішення задачі перенесення частинок в речовині.*

Моделювання пробігу фотонів. Моделювання пробігу електронів та позитронів. Моделювання утворення радіаційних дефектів гамма-квантами. Комптонівське розсіювання. Утворення пар. Фотоелектричний ефект. Число зміщених атомів під впливом електронів та позитронів.

Диференціальний перетин ПВА. Функція радіаційних ушкоджень. Моделювання утворення радіаційних дефектів нейтронами. Число зміщених атомів під впливом нейтронів. Функція радіаційних ушкоджень. Пакети моделювання.

Методи навчання.

Лекційні заняття, практичні заняття, самостійна робота.

Online-навчання – застосовано під час карантину та військового стану з застосуванням електронних засобів зв'язку.

Offline-навчання – аудиторне навчання за всіма традиційними формами.

Асинхронне навчання – при консультуванні через електронну пошту.

6. Методи контролю

Складання колоквіумів за темами модулів, письмовий залік.

7. Схема нарахування балів

Матеріал курсу «Математичне моделювання в ядерній фізиці» згідно навчальної програми містить 2 модулі. 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	Залік	Разом
M1	M2			
22	38	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 22 або 38 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 11-ти балів з 22-ох можливих у першому семестрі та не менше 19-ти балів з 38-ми можливих у другому семестрі, 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 (11-22 та 19-38 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 чи заліковий 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
1	Повна та вірна відповідь на питання або у повному обсязі правильно вирішена практична задача білету	100%
2	Повна відповідь з незначними помилками (або незначні помилки у розрахунках практичних завдань за наявності вірної розрахункової формули);	80-95%
3	Неповна, але вірна відповідь (або значні помилки у розрахунках практичних завдань за наявності вірної розрахункової формули для розв'язання практичних завдань);	50-80%
4	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%
5	Неповна відповідь з суттєвими помилками	5-30%
6	Невірна відповідь	0-5%
7	Відсутня відповідь на теоретичне питання (або відсутнє вирішення практичних завдань білету)	0%

8. Рекомендована література

Базова

1. Математичне моделювання у фізиці: Підручник для студентів вищих навчальних закладів / А.В. Дегтярьов, М.Г. Кокодій, В.О. Маслов, В.А.Свіч. – Х.: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2010. – 388с.
2. Harvey Gould, Jan Tobochnik An Introduction to Computer Simulation Methods: Applications to Physical Systems (in 2 parts). – Addison-Wesley, USA, 1988.
3. Математичне моделювання та експеримент / Г.Я. Любарський, Р.П. Слабоспицький, М.А. Хажмурадов, Р.І. Адушкіна. – Київ: Наукова думка, 1987. - 160с.
4. Dieter W. Heermann. Computer Simulation Methods in Theoretical Physics – Springer Berlin, Heidelberg, ISBN978-3-540-52210-2 Published: 25 April 1990.

Додаткова література

1. Кокодій Н.Г., Свіч В.А. Математичне моделювання в фізиці. – Харків: Вид-во ХНУ, 2006. – 324 с.
2. J.G Andrews, R.R. McLone Mathematical Modelling– Butterworth-Heinemann Ltd, Oxford, UK, 1976. – 277 p.
3. Cleve B. Moler. Numerical Computing with Matlab. – SIAM, 2004, ISBN:978-0-89871-660-3
4. Руденко О.Г., Бодянський Є.В. Штучні нейронні мережі: Навчальний посібник. – Харків: ТОВ “Компанія СМІТ”, 2006. – 404 с.
5. Martin O. Steinhauser Computer Simulation in Physics and Engineering – De Gruyter, Berlin, ISBN: 9783110255904, 2012, DOI: 10.1515/9783110256062

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



Сгор РУДИЧЕВ