Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Кафедра комп'ютерної фізики

"ЗАТВЕРДЖУЮ"

Директор навчально-наукового інституту комп'ютерної фізики та енергетики

_____ Ірина ГАРЯЧЕВСЬКА

"_28_" _____ 2023 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ЗАДАЧАХ ПРИКЛАДНОЇ ФІЗИКИ

рівень вищої освіти	другий (магістерський)
галузь знань	10 Природничі науки
спеціальність	105 Прикладна фізика та наноматеріали
освітня програма	Комп'ютерна фізика
вид дисципліни	за вибором
ННІ	Комп'ютерної фізики та енергетики

2023 / 2024 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження вченою радою інституту

28 серпня 2023 року, протокол № 8/23

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:
Овчаренко Антон Ігорович, асистент кафедри комп'ютерної фізики

Програму схвалено на засіданні кафедри комп'ютерної фізики

Протокол від 28 серпня 2023 року № 8/23

Завідувач кафедри комп'ютерної фізики

_____ Костянтин НЄМЧЕНКО

Програму погоджено з гарантом освітньо-наукової програми «Комп'ютерна фізика»

Гарант освітньо-наукової програми «Комп'ютерна фізика»

_____ Костянтин НЄМЧЕНКО

Програму погоджено науково-методичною комісією
навчально-наукового інституту комп'ютерної фізики та енергетики

Протокол від 28 серпня 2023 року № 8/23

Голова науково-методичної комісії
навчально-наукового інституту комп'ютерної фізики та енергетики

_____ Денис ПРОТЕКТОР

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Математичне моделювання в задачах прикладної фізики» складена відповідно до освітньо-наукової програми підготовки

другого (магістерського) рівня вищої освіти.

спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни «Математичне моделювання в задачах прикладної фізики» є отримання практичних навичок моделювання полів за допомогою відповідних математичних моделей з використанням сучасних пакетів програмного забезпечення.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни

Основними завданнями вивчення дисципліни «Математичне моделювання в задачах прикладної фізики» є практична реалізація можливостей математичного моделювання та обчислювального експерименту, що істотно підвищує ефективність наукових досліджень інженерних розробок.

Загальні компетентності (ЗК):

1. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій (ЗК4).
2. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями (ЗК5).
3. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел (ЗК6).
4. Здатність працювати автономно (ЗК9).
5. Навики здійснення безпечної діяльності (ЗК10).
6. Здатність генерувати нові ідеї (креативність) (ЗК12).
7. Здатність проведення досліджень на відповідному рівні (ЗК13).
8. Розуміння обмеження чисельних методів, включаючи помилки наближення, помилки округлення та обмеження щодо застосування конкретних алгоритмів (ЗК16).

Спеціальні (фахові) компетентності (СК):

1. Здатність аналізувати отримані результати, презентувати їх фахівцям у даній галузі, оформлювати наукові статті та науково-технічні звіти, в тому числі із суміжних галузей, для розв’язання виробничих задач. (СК3)
2. Здатність забезпечувати впровадження результатів наукових досліджень шляхом створення нових матеріалів, пристроїв, технологій та іншого. (СК5)
3. Вміння аналізувати та візуально відображати результати обчислень та оцінювати їх відповідність стосовно основних проблем та / або гіпотез. (СК7)
1. Вміння програмувати на мовах високого рівня, компілювати мови та ефективно використовувати комп'ютерну систему алгебри. (СК9)

1.3. Кількість кредитів – 5

1.4. Загальна кількість годин – 150

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
За вибором	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання

Рік підготовки	
1-й	-й
Семестр	
1-й	-й
Лекції	
32 год.	год.
Практичні, семінарські заняття	
32 год.	год.
Лабораторні заняття	
год.	год.
Самостійна робота	
86 год.	год.
у тому числі індивідуальні завдання	
год.	

1.6. Заплановані результати навчання

Згідно з вимогами освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми студенти повинні досягти таких результатів навчання:

знати:

основні математичні моделі електродинаміки, метод кінцевих різниць, метод RCWA, модель ідеально поглинаючого шару, метод матриць переходу та матриці розсіювання

вміти:

застосовувати отримані знання на практиці для проведення багатоваріантних обчислювальних експериментів з ціллю вивчення закономірностей розподілу фізичних полів в деяких об’єктах енергетики.

Програмні результати навчання:

ПРН1. Використовувати знання в галузі прикладної фізики, математики, електроніки та інформаційних технологій для виконання наукових досліджень та розв’язання виробничих задач.

ПРН4. Встановлювати та аргументувати нові залежності між параметрами та характеристиками фізичних систем.

ПРН8. Вміти розроблювати гіпотези та запропоновувати способи їх перевірки за допомогою відповідних аналітичних, експериментальних та чисельних інструментів.

ПРН12. Критично розуміти наукові методи, мати краще розуміння наукового процесу як такого, а також розуміти перспективи майбутньої роботи.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Спеціальні розділи математичного моделювання фізичних полів.

Тема 1. Математичне і комп'ютерне моделювання фізичних полів.

Принципи математичного і комп'ютерного моделювання фізичних полів: фізичні

закони, математичний базис, методи числового і наближеного розв’язання, алгоритми, доступні пакети програмного забезпечення і середи розробки.

Тема 2. Автодиференціювання для задач математичного моделювання полів.

Математичне формулювання теорії автодиференціювання, її принципи, переваги, зауваження щодо застовування.

Тема 3. Метод суміжного моделювання для задач оптимізації.

Суміжне поле та градієнт на його основі для оптимізації дизайну розсіювача електромагнітної хвилі.

Розділ 2. Сучасні програмні пакети для математичного моделювання полів.

Тема 4. Сучасні програмні пакети для знаходження мод хвильоводу.

Математичні моделі мод хвильоводу. Реалізація та застосування в доступних програмних рішеннях.

Тема 5. Сучасні програмні пакети для моделювання методом кінцевих різниць.

Кінцеві різниці в фізиці. Реалізація та застосування в доступних програмних рішеннях. Моделювання середи з одновимірною неоднорідністю. Моделювання пласких розсіювачів (двовимірна задача). Моделювання тривимірного об’ємного резонатора.

Тема 6. Сучасні програмні пакети для моделювання методом аналізу зв’язаних хвиль для задач розсіювання у періодичній середі.

Строгий аналіз пов’язаних хвиль (RCWA). Перетворення Фур’є. Періодичні граничні умови.

Моделювання пласкої середи, що періодична у одному, або двох вимірах. Моделювання багатошарових структур.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	лаб.	інд.	с. р.		л	п	лаб.	інд.	с. р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Розділ 1. Спеціальні розділи математичного моделювання фізичних полів.												
Тема 1. Математичне і комп'ютерне моделювання фізичних полів.	18	4	4			10						
Тема 2. Автодиференціювання для задач математичного моделювання полів.	14	2	2			10						

Тема 3. Метод суміжного моделювання для задач оптимізації.	18	4	4			10						
Разом за розділом 1	50	10	10			30						
Розділ 2. Сучасні програмні пакети для математичного моделювання полів.												
Тема 4. Сучасні програмні пакети для знаходження мод хвильоводу.	28	6	6			16						
Тема 5. Сучасні програмні пакети для моделювання методом кінцевих різниць.	36	8	8			20						
Тема 6. Сучасні програмні пакети для моделювання методом аналізу зв’язаних хвиль для задач розсіювання у періодичній середі.	36	8	8			20						
Разом за розділом 2	100	22	22			56						
Усього годин	150	32	32			86						

4. Теми семінарських (практичних, лабораторних) занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Математичне і комп'ютерне моделювання фізичних полів.	4
2	Автодиференціювання для задач математичного моделювання полів.	2
3	Метод суміжного моделювання для задач оптимізації.	4
4	Сучасні програмні пакети для знаходження мод хвильоводу.	6
5	Сучасні програмні пакети для моделювання методом кінцевих різниць.	8
6	Сучасні програмні пакети для моделювання методом аналізу зв’язаних хвиль для задач розсіювання у періодичній середі.	8
	Разом	32

5. Завдання для самостійної робота

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Розробити програмний код на основі прикладів з лекційних матеріалів для точного чисельного обчислення похідної довільної функції, що складається з попередньо створених елементарних функцій.	14
2	Розробити програмний код для знаходження мод хвильоводу використовуючи відповідну чисельну бібліотеку на мові Python.	20
3	Розробити програмний код для математичного моделювання розсіювання діелектричної сфери з використанням відповідної бібліотеки на мові Python для вирішення електромагнітної задачі.	26
4	Розробити програмний код для математичного моделювання дифракції хвилі на двовимірних періодичних структурах з використанням відповідної бібліотеки на мові Python для вирішення електромагнітної задачі.	26
	Разом	86

6. Індивідуальні завдання

Не передбачено навчальним планом

7. Методи навчання

Пояснювально-ілюстративний; репродуктивний; дослідницький; частково-пошуковий.

8. Методи контролю

На заняттях – опитування. По закінченні розділу – перевірка результатів самостійної роботи. Протягом семестру – контрольні роботи. Форма підсумкового контролю знань – екзамен.

9. Схема нарахування балів

Приклад для підсумкового семестрового контролю в формі заліку без виконання залікової роботи

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання											Сума
Розділ 1		Розділ 2		Розділ 3		Контрольні роботи, передбачені навчальним планом		Індивідуальне завдання	Разом	Екзамен	
Т1	Т2	Т1	Т2	Т1	Т2						
8	8	8	8	8	8	6	6		60	40	100

Критерії оцінювання навчальних досягнень

1. **Поточне оцінювання – кількість балів за тему згідно списку. Усього за 6 тем – 48 балів**

Робота в аудиторії та самостійна робота:

Тема 1:

Правильність відповіді	5 балів
Знання цілей задачі	3 бали

Теми 2-6:

Відсутність помилок в розрахунках	3 бали
Правильність відповіді	3 бали
Знання цілей задачі	2 бали

1. **Контрольна робота – 6 балів**

Типовий варіант контрольної роботи

1. Математичні моделі електромагнітних полів. Задачі електростатики з граничними умовами типу Діріхле (3 бали).
1. Розподіл електричного поля періодичної структури при падінні плоскої хвилі (3 бали).

1. **Заключне оцінювання – 40 балів за іспит**

Типовий білет

1. Математичні принципи числового знаходження похідної на комп'ютері. (10 балів)
2. Фізичне тлумачення задачі на власні моди плоского хвильовода. (10 балів)
3. З яких частин складається вікно моделювання FDFD (при умови застосування техніки TFSF)? Які їх ролі? (10 балів)
4. Написати приклад програми, що обраховує хвильове рівняння на тривимірній сітці. (10 балів)

Питання 1 (10 балів)

Відсутність помилок в теоретичній частині	– 5 балів
Повнота викладок	– 5 балів

Питання 2 (10 балів)

Відсутність помилок в теоретичній частині	– 4 балів
Повнота викладок	– 4 балів
Наявність прикладів	– 2 бали

Питання 3 (10 балів)

Відсутність помилок в теоретичній частині	– 5 балів
Повнота викладок	– 5 балів

Питання 4 (10 балів)

Наявність відповіді	– 1 бал

Правильність відповіді – 3 бали
Відсутність помилок в розрахунках – 3 бали
Логічність викладок – 3 бали

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка	
	для чотирирівневої шкали оцінювання	для дворівневої шкали оцінювання
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

10. Рекомендована література

Основна література

1. Rumpf, Raymond C. Electromagnetic and Photonic Simulation for the Beginner: Finite-Difference Frequency-Domain in MATLAB®. Artech House, 2022.

Допоміжна література

1. Taflove, A., & Hagness, S. C. (2005). Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method (3rd ed.). Artech House.
2. Moharam, M. G., & Gaylord, T. K. (1981). Rigorous coupled-wave analysis of planar-grating diffraction. Journal of the Optical Society of America, 71(7), 811-818.
3. Yee, K. S. (1966). Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 14(3), 302-307.
4. Jin, J. M. (2014). The Finite Element Method in Electromagnetics (3rd ed.). Wiley.
5. Johnson, S. G., & Joannopoulos, J. D. (2001). Block-iterative frequency-domain methods for Maxwell's equations in a planewave basis. Optics Express, 8(3), 173-190.

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