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__» ____серпня____ 2024 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

МОДЕЛЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ПОЛІВ

рівень вищої освіти	перший (бакалаврський)
галузь знань	10 Природничі науки
спеціальність	105 Прикладна фізика та нанометаріали
освітня програма	«Комп’ютерна фізика»
вид дисципліни	вибіркова
ННІ	комп’ютерної фізики та енергетики

2024 / 2025 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження вченою радою навчально-наукового інституту комп'ютерної фізики та енергетики

28 серпня 2024 року, протокол №8/24

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:
Бакуменко Олександр Вікторович, старший викладач
Єрмаков Олег Євгенович, асистент

Програму схвалено на засіданні кафедри комп'ютерної фізики

Протокол від 28 серпня 2024 року № 8/24

Завідувач кафедри комп'ютерної фізики

_____ Костянтин НЄМЧЕНКО

Програму погоджено з гарантом освітньо – професійної програми комп'ютерна фізика

Гарант освітньо-професійної програми прикладна фізика енергетичних систем

_____ Світлана РОГОВА

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

Протокол від 28 серпня 2024 року № 8/24

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

_____ Денис ПРОТЕКТОР

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Моделювання фізичних полів» складена відповідно до освітньо-професійних програм «Комп'ютерна фізика» підготовки першого (бакалаврського) рівня освіти

спеціальність: 105 Прикладна фізика та наноматеріали

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни «Моделювання фізичних полів» є побудова математичних моделей фізичних полів у криволінійних ортогональних та неортогональних координатах за допомогою апарата тензорного аналізу, а також дослідження процесів гідродинаміки та теплообміну в скручених каналах та каналах з гвинтовими вставками.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни

Основними завданнями вивчення *дисципліни «Моделювання фізичних полів»* є побудова метричного тензора, основних векторних співвідношень і диференціальних інваріантів в ортогональних та неортогональних системах координат; складання програм мовою RL системи ПОЛЕ; проведення обчислювальних експериментів.

Загальні компетентності (ЗК)

1. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності. (ЗК-2)
2. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово. (ЗК-3)
3. Здатність проведення досліджень на відповідному рівні. (ЗК-6)
4. Здатність працювати в команді. (ЗК-9)
5. Навички міжособистісної взаємодії.(ЗК-11)

Спеціальні компетентності (СК)

1. Здатність брати участь у плануванні методики проведення та матеріального забезпечення експериментів та лабораторних досліджень. (СК-2)
2. Здатність брати участь у проведенні експериментальних досліджень властивостей фізичної системи, фізичних явищ і процесів. (СК-3)
3. Здатність до постійного поглиблення знань в галузі прикладної фізики, інженерії та комп'ютерних технологій. (СК-9)
4. Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання для опису фізичних об'єктів, пристроїв та процесів. (СК-11)
5. Здатність використовувати знання про фізичну природу об'єктів у роботах по створенню нових приладів, апаратури, обладнання, матеріалів та речовин. (СК-12)

1.3. Кількість кредитів — 9

1.4. Загальна кількість годин — 270

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
Нормативна / за вибором	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
4-й	-й
Семестр	
7-й, 8-й	-й
Лекції	
42 год.	год.
Практичні, семінарські заняття	

22 год.	год.
Лабораторні заняття	
30 год.	год.
Самостійна робота	
176 год.	год.
Індивідуальні завдання	
год.	

1.6. Заплановані результати навчання

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

знати :

основні відмінності різних систем координат в залежності від вигляду метричного тензора, умови зведення просторових крайових задач до двовимірних, варіаційні методи для розв'язання рівнянь еліптичного типу зі змінними коефіцієнтами.

вміти :

застосовувати отримані знання на практиці при переході від однієї системи координат до іншої; проводити обчислювальні експерименти, а саме, в гвинтовій системі координат при змінюванні параметру закрутки; встановлювати закономірності змінювання фізичного поля в залежності від значення параметра закрутки.

Програмні результати навчання:

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

ПРН2. Знаходити та аналізувати наукову та науково-технічну інформацію в галузі прикладної фізики та наноматеріалів із вітчизняних та зарубіжних джерел, в тому числі з використанням сучасних пошукових систем.

ПРН6. У коректній формі формулювати професійні висновки, апробувати їх та доносити до аудиторії різного фахового рівня, використовуючи сучасні методики наукової та технічної комунікації українською та іноземними мовами.

ПРН7. Фундаментально розуміти та знати принципів наукової роботи та наукового методу, включаючи етичні та суспільні обмеження та можливості.

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. Математичне моделювання в криволінійних координатах.

Тема 1. Вступ.

Задачі математичного моделювання.

Тема 2. Математичне моделювання в криволінійних ортогональних і неортогональних системах координат.

Математичне моделювання в криволінійних ортогональних і неортогональних системах координат. Особливості.

Тема 3. Основні положення тензорного аналізу.

Основні положення тензорного аналізу. Метричний тензор, символи Кристоффеля, обчислення коваріантних і контраваріантних похідних.

Розділ 2. Обробка інформаційних потоків і побудова основних векторних співвідношень і диференціальних операторів.

Тема 4. Основні векторні співвідношення і диференціальні інваріанти в криволінійних ортогональних і неортогональних координатах.

Основні векторні співвідношення і диференціальні інваріанти в криволінійних ортогональних і неортогональних координатах, в тому числі для задач з гвинтовим типом симетрії.

Тема 5. Математичні моделі скалярних полів в гвинтовій системі координат.
Математичні моделі скалярних полів в гвинтовій системі координат. Розподіл електростатичного поля у скрученому провіднику.
Тема 6. Математична модель утримання плазми з током у рівноважному стані в реакторі типу ТОКАМАК.
Математична модель утримання плазми з током у рівноважному стані в реакторі типу ТОКАМАК.

Розділ 3. Умови зведення тривимірних крайових задач до двовимірних за наявності відповідної геометричної та фізичної симетрії.
Тема 7. Теорема про зведення просторових скалярних крайових задач для об'єктів з гвинтовим типом симетрії до двовимірних.
Теорема про зведення просторових скалярних крайових задач для об'єктів з гвинтовим типом симетрії до двовимірних (формулювання, доведення, приклади).

Розділ 4. Варіаційні методи для рівнянь еліптичного типу зі змінними коефіцієнтами.
Тема 8. Рівняння еліптичного типу зі змінними коефіцієнтами.
Рівняння еліптичного типу зі змінними коефіцієнтами. Додатна визначеність операторів.
Тема 9. Методи Ритца і найменших квадратів.
Методи Ритца і найменших квадратів для рівнянь зі змінними коефіцієнтами.

Розділ 5. Математичне моделювання в неортогональних координатах.
Тема 10. Математичне моделювання скалярних задач в гвинтовій системі координат.
Математичне моделювання задач електростатики, теплофізики та інших скалярних задач в гвинтовій системі координат.
Тема 11. Математична модель течії нестисливої в'язкої рідини по скручених трубах.
Математична модель течії нестисливої в'язкої рідини по скручених трубах в гвинтовій системі координат.
Тема 12. Комп'ютерне моделювання скалярних і векторних задач для скручених циліндрів методом R-функцій.
Комп'ютерне моделювання задач електростатики, теплофізики, а також течії рідини для скручених циліндрів методом R-функцій.

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
1-й семестр												
Розділ 1. Математичне моделювання в криволінійних координатах.												
Тема 1. Вступ.	19	2	1	2		14						
Тема 2. Математичне моделювання в криволінійних ортогональних і неортогональних системах координат.	19	2	1	2		14						
Тема 3. Основні положення тензорного аналізу.	20	2	2	2		14						
Разом за розділом 1	58	6	4	6		42						
Розділ 2. Обробка інформаційних потоків і побудова основних векторних співвідношень і диференціальних операторів.												

Тема 4. Основні векторні співвідношення і диференціальні інваріанти в криволінійних ортогональних і неортогональних координатах.	22	4	2	2		14						
Тема 5. Математичні моделі скалярних полів в гвинтовій системі координат.	22	4	2	2		14						
Тема 6. Математична модель утримання плазми з током у рівноважному стані в реакторі типу ТОКАМАК.	24	4	2	4		14						
Разом за розділом 2	68	12	6	8		42						
Розділ 3. Умови зведення тривимірних крайових задач до двовимірних за наявності відповідної геометричної та фізичної симетрії.												
Тема 7. Теорема про зведення просторових скалярних крайових задач для об'єктів з гвинтовим типом симетрії до двовимірних.	24	4	2	2		16						
Разом за розділом 3	24	4	2	2		16						
Усього годин 1-й сем.	152	22	14	16		100						
2-й семестр												
Розділ 4. Варіаційні методи для рівнянь еліптичного типу зі змінними коефіцієнтами.												
Тема 8. Рівняння еліптичного типу зі змінними коефіцієнтами.	20	2	2	2		14						
Тема 9. Методи Ритца і найменших квадратів.	22	4	2	2		14						
Разом за розділом 4	42	6	4	4		28						
Розділ 5. Математичне моделювання в неортогональних координатах.												
Тема 10. Математичне моделювання скалярних задач в гвинтовій системі координат.	22	4	2	2		14						
Тема 11. Математична модель течії нестисливої в'язкої рідини по скручених трубах.	24	4	2	4		14						
Тема 12. Комп'ютерне моделювання скалярних і векторних задач для скручених циліндрів методом R-функцій.	26	4	2	4		16						

Разом за розділом 5	72	12	6	10		44						
Усього годин 2-й сем.	114	18	10	14		72						
Усього годин	270	42	22	30		176						

4. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Моделювання рівноваги тороїдальної плазми за допомогою методу R-функцій.	2
2	Моделювання скалярних полів за вибором в гвинтовій системі координат.	4
3	Моделювання розподілу електричного потенціалу в скрученому провіднику.	4
4	Моделювання течії нестисливої в'язкої рідини по скручених трубах.	6
5	Моделювання розподілу температури під час течії нестисливої в'язкої рідини по скручених трубах.	6
Разом		22

5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Побудова метричних тензорів у криволінійних ортогональних і неортогональних системах координат за вибором. *Побудувати коваріантні та контраваріантні компоненти метричних тензорів. Виходячи з вигляду метричного тензора, зробити висновок про ортогональність чи неортогональність досліджуваної системи координат.* *Завдання: Борисенко А.И., Тарапов И.Е. Векторный анализ и начала тензорного исчисления.—Харьков, Вища школа, 1978. — Розділи 2.1-2.9, 3.5 (с. 45-81, 88-89). Задачі 1-9 розділу 2 (с. 81-82).* *(див. також К.В.Максименко-Шейко, Т.І.Шейко. Математичне моделювання фізичних полів у криволінійних ортогональних і неортогональних координатах. Методичні вказівки для студентів IV-V курсів фізико-енергетичного факультету. — Харків, ХНУ, 2007. — 52 с.; R-функции в математическом моделировании геометрических объектов и физических полей / К.В.Максименко-Шейко // Харьков: ИПМаш НАН Украины, 2009. — 306 с.).*	44
2	Побудова основних диференціальних інваріантів у криволінійних ортогональних і неортогональних системах координат за вибором. *Побудувати основні диференціальні інваріанти: градієнт, дивергенція, ротор, лапласіан. Перевірити наявність змінних коефіцієнтів.* *Завдання: Борисенко А.И., Тарапов И.Е. Векторный анализ и начала тензорного исчисления.—Харьков, Вища школа, 1978. — Розділи 4.1-4.7 (с. 114-159), приклади 1-23 розділу 4 (с. 192-203). Задачі 1-7 (с. 207-208).* *(див. також К.В.Максименко-Шейко, Т.І.Шейко. Математичне моделювання фізичних полів у криволінійних ортогональних і неортогональних координатах. Методичні вказівки для студентів IV-V курсів фізико-енергетичного факультету. — Харків, ХНУ, 2007. — 52 с.; R-функции в математическом моделировании геометрических объектов и физических полей / К.В.Максименко-Шейко // Харьков: ИПМаш НАН Украины, 2009. — 306 с.).*	44
3	Моделювання течії в'язкої нестисливої рідини по каналах з центральними та пристінковими гвинтовими вставками.	44

	Базуючись на вивченому матеріалі стосовно течії нестисливої в'язкої рідини по скручених трубах, провести моделювання течії нестисливої в'язкої рідини по каналах з гвинтовими вставками. Дослідити вплив довжини крила вставок на характер течії. Перерізи каналів взяти з R-функции в математическом моделировании геометрических объектов и физических полей / К.В.Максименко-Шейко // Харьков: ИПМаш НАН Украины, 2009. — С. 285-290, рис. 5.19, 5.27 (за вибором). *(див. також Конструктивні засоби математичного моделювання та їхні застосування. Частина 1. Метод R-функцій в математичному і комп'ютерному моделюванні фізичних полів. Методичні вказівки для студентів III-IV курсів фізико-енергетичного факультету / Т.І.Шейко, К.В.Максименко-Шейко // Харків: ХНУ ім. В.Н.Каразіна, 2007. — 52 с.; К.В.Максименко-Шейко, Т.І.Шейко. Математичне моделювання фізичних полів у криволінійних ортогональних і неортогональних координатах. Методичні вказівки для студентів IV-V курсів фізико-енергетичного факультету. — Харків, ХНУ, 2007. — 52 с.).*	
4	Крутіння скручених стрижнів. *Ознайомитись з математичними моделями крутіння стрижнів. Дослідити математичну модель у гвинтовій системі координат. Розв'язати відповідну задачу за допомогою системи ПОЛЕ. Перевірити вплив кута закрутки на жорсткість при крутінні. Перерізи стрижнів взяти з К.В.Максименко-Шейко, Т.І.Шейко. Математичне моделювання фізичних полів у криволінійних ортогональних і неортогональних координатах. Методичні вказівки для студентів IV-V курсів фізико-енергетичного факультету. — Харків, ХНУ, 2007. — С. 49-50, завдання 1-2 (за вибором).* *(див. також Конструктивні засоби математичного моделювання та їхні застосування. Частина 1. Метод R-функцій в математичному і комп'ютерному моделюванні фізичних полів. Методичні вказівки для студентів III-IV курсів фізико-енергетичного факультету / Т.І.Шейко, К.В.Максименко-Шейко // Харків: ХНУ ім. В.Н.Каразіна, 2007. — 52 с.; R-функции в математическом моделировании геометрических объектов и физических полей / К.В.Максименко-Шейко // Харьков: ИПМаш НАН Украины, 2009. — 306 с.; Уфлянд Я.С. Биполярные координаты в теории упругости.—М.-Л., Гостехиздат, 1950.—232 с. та ін.).*	44
Разом		176

6. Індивідуальні завдання

Навчальним планом у другому семестрі передбачена 1 розрахунково-графічна робота.

7. Методи навчання

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

8. Методи контролю

На заняттях – опитування. По закінченні розділу – усний контроль. Протягом семестру — 1 контрольна робота на перший семестр, 1 РГР на другий семестр. Форма підсумкового контролю знань: у першому семестрі – залік, у другому семестрі – екзамен. Мінімальна кількість балів для допуску до заліку/екзамену становить 20 балів.

9. Схема нарахування балів

<table>
<tr><td colspan="11">Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання</td><td rowspan="2">Екзамен</td><td rowspan="2">Залік</td><td rowspan="2">Сума</td></tr>
<tr><td colspan="3">Розділ 1</td><td colspan="3">Розділ 2</td><td colspan="3">Розділ 3</td><td>Контрольна робота</td><td>РГР</td><td>Разом</td></tr>
<tr><td colspan="14">1-й семестр</td></tr>
<tr><td>Т1</td><td>Т2</td><td>Т3</td><td>Т4</td><td>Т5</td><td>Т6</td><td>Т7</td><td>Т8</td><td>Т9</td><td rowspan="2">20</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2">60</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2">40</td><td rowspan="2">100</td></tr>
<tr><td>8</td><td>8</td><td>8</td><td>8</td><td>8</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="14">2-й семестр</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td colspan="2"></td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td></td><td>20</td><td>60</td><td>40</td><td></td><td>100</td></tr>
</table>

Т1, Т2 ... – теми розділів.

Критерії оцінювання навчальних досягнень

1. **Поточне оцінювання.**

Робота в аудиторії та самостійна робота:

Відсутність помилок в розрахунках	1 бали
Правильність відповіді	3 бали
Знання цілей задачі	1 бали

2. **Заключне оцінювання – 40 балів за залік**

Типовий білет

1. Основні положення тензорного аналізу. Метричний тензор, символи Кристоффеля, обчислення коваріантних і контраваріантних похідних (20 балів).
2. Теорема про зведення просторових скалярних крайових задач для об’єктів з гвинтовим типом симетрії до двовимірних (20 балів).

Питання 1 (20 балів)

Відсутність помилок в теоретичній частині	– 5 балів
Коректність викладок	– 3 бали
Послідовність викладок	– 3 бали
Логічність викладок	– 3 бали
Наявність практичних прикладів	- 6 балів

Питання 2 (20 балів)

Наявність відповіді	– 5 балів
Правильність відповіді	– 3 бали
Відсутність помилок в розрахунках	– 3 бали
Логічність викладок	– 3 бали
Наявність практичних прикладів	- 6 балів

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. Boudreau, J. F., & Swanson, E. S. (2017). Applied computational physics. Oxford University Press.
2. Scherer, P. O. (2010). Computational Physics. Springer Berlin Heidelberg.2. Борисенко А.І., Тарапов І.Є. Векторний аналіз та початки тензорного обчислення.-Харків, Вища школа, 1978. - 216 с.
3. Максименко-Шейко К.В. R-функції в математичному моделюванні геометричних об'єктів та фізичних полів. - Харків, ІПМаш НАН України, 2009. - 306 с.

Допоміжна література

1. Roache Patrick J. Computational fluid dynamics. — Hermosa publishers, Albuquerque, 1976.
2. Hager, G., & Wellein, G. (2010). Introduction to high performance computing for scientists and engineers. CRC Press.

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

1. К.В.Максименко-Шейко, Т.І.Шейко. Математичне моделювання фізичних полів у криволінійних ортогональних і неортогональних координатах. Методичні вказівки для студентів IV-V курсів фізико-енергетичного факультету. — Харків, ХНУ, 2007. — 52 с.