



Комп'ютерне моделювання в фізиці.

Частина 1. Чисельні методи розв'язку диференціальних рівнянь.

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	10 «Природничі науки»
Спеціальність	104 «Фізика та астрономія»
Освітня програма	Комп'ютерне моделювання фізичних процесів
Статус дисципліни	Нормативна
Форма навчання	очна(денна)
Рік підготовки, семестр	4 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	180 годин (6 кредитів ЄКТС)
Семестровий контроль/ контрольні заходи	екзамен
Розклад занять	https://schedule.kpi.ua/ http://roz.kpi.ua/
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: доктор філософії, старший викладач Майкут Сергій Олексійович, s.maikuta@kpi.ua Лабораторні: доктор філософії, старший викладач Майкут Сергій Олексійович, s.maikuta@kpi.ua
Розміщення курсу	Посилання на дистанційний ресурс (Google classroom) https://drive.google.com/drive/folders/0B73SXHp6IYM9fIRPVmdIeXA5ZnFsMDg4VmRiVE9JYnk0Qzhxdm9Qa0IzeTJ1TkFpMWZnaDQ?resourcekey=0-05e3zJm-CRYRpEuf8-BsNw

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

В курсі «Комп'ютерне моделювання в фізиці-1: Чисельні методи розв'язку диференціальних рівнянь» розглядаються засоби для побудови фізико-математичних моделей явищ та приладів, на основі цих явищ, законів. Дисципліна відноситься до циклу ВНЗ професійної підготовки.

В наслідок вивчення курсу, студенти набувають знання про комп'ютерне моделювання та дослідження явищ, які пов'язані з декількома фізичними процесами в єдиному розрахунковому середовищі. Навчаться досліджувати будь-які фізичні процеси з використанням сучасних адаптованих до систем автоматизованого проектування програмних пакетів.

Мета:

- Дати студентам логіку побудови фізико-математичних моделей явищ та приладів;

- Навчити спрощувати розрахунок шляхом зменшення вимірності дослідження та симетрії;
- Навчити продуктивно обробляти отримані результати
- Ознайомити із типовими прикладними рішеннями.

Предмет вивчення:

- Теоретична фізика та математика;
- Прикладне програмне забезпечення;
- Вибір граничних умов та середовища розрахунку;
- Кінцево-різницька сітка;.

Навики:

- Самостійно визначати кількість вимірів області дослідження та визначати можливість її спрощення;
- Підбирати фізику та прописувати власні формули;
- Параметризувати сталі та змінні;
- Проводити параметричне дослідження, мультифізичне та оптимізацію;
- Багатогранно презентувати та обробляти результати.

Загальні компетентності:

- ЗК1 Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
- ЗК2 Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
- ЗК3 Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.
- ЗК5 Здатність приймати обґрунтовані рішення.
- ЗК9 Визначеність і наполегливість щодо поставлених завдань і взятих обов'язків.

Фахові компетентності:

- ФК5 Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв'язування фізичних та астрономічних задач і моделювання фізичних систем;
- ФК6 Здатність моделювати фізичні системи та астрономічні явища і процеси;
- ФК7 Здатність використовувати базові знання з фізики та астрономії для розуміння будови та поведінки природних і штучних об'єктів, законів існування та еволюції Всесвіту;
- ФК9 Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації;
- ФК10 Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей;
- ФК11 Розвинуте відчуття особистої відповідальності за достовірність результатів досліджень;
- ФК16 Здатність моделювати та досліджувати процеси природоохоронного призначення;
- ФК17 Здатність використовувати спеціалізоване програмне забезпечення для аналізу будь-яких фізичних процесів.

Програмні результати навчання:

- ПРН1 Знати, розуміти та вміти застосовувати на базовому рівні основні положення загальної та теоретичної фізики, зокрема, класичної, релятивістської та квантової механіки, молекулярної фізики та термодинаміки, електромагнетизму, хвильової та квантової оптики, фізики атома та атомного ядра для встановлення, аналізу, тлумачення, пояснення й класифікації суті та механізмів різноманітних фізичних явищ і процесів для розв'язування складних спеціалізованих задач та практичних проблем з фізики та/або астрономії;

- ПРН3 Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій;
- ПРН5 Знати, аналізувати і пояснювати нові наукові результати, одержані у ході проведення фізичних та астрономічних досліджень відповідно до спеціалізації;
- ПРН10 Вміти планувати дослідження, обирати оптимальні методи та засоби досягнення мети дослідження, знаходити шляхи розв'язання наукових завдань та вдосконалення застосованих методів;
- ПРН15 Вміти працювати із сучасною обчислювальною технікою, вміти використовувати стандартні пакети прикладних програм і програмувати на рівні, достатньому для реалізації чисельних методів розв'язування фізичних задач, комп'ютерного моделювання фізичних та астрономічних явищ і процесів, виконання обчислювальних експериментів.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Вивчення дисципліни базується на знанні студентами таких курсів, як «Нарисна геометрія та інженерна графіка», «Методи математичної фізики-2», «Загальна фізика. Оптика», «Теоретична фізика. Квантова механіка-1» та «Іноземна мова професійного прямування-1».

Вивчення дисципліни «Комп'ютерне моделювання в фізиці-1: чисельні методи розв'язку диференціальних рівнянь» дозволить опанувати студентам наступні дисципліни: «Комп'ютерне моделювання в фізиці-2: моделювання колективних явищ у багаточастинкових системах» та «Педагогічна практика».

3. Зміст навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин				
	Всього	у тому числі			
		Лекції	Практичні і (семінарські)	комп'ютерний практикум	СРС
1	2	3	4	5	6
Розділ 1. Моделювання процесів з диференціальними рівняннями у частинних похідних					
<i>Введення.</i>	8	2	-	2	2
<i>Тема 1. Рівняння Лапласа і Пуассона</i>	10	4	-	4	2
<i>Тема 2. Рівняння дифузії</i>	10	4	-	4	2
<i>Тема 3. Конвективно-дифузійне рівняння</i>	12	4	-	4	2
Разом за розділом 1	40	14	-	14	12
Розділ 2. Диференціальні рівняння та просторові координати					
<i>Тема 1. Трансформація координат</i>	15	5	-	2	8
<i>Тема 2. Векторні та тензорні системи рівнянь</i>	15	5	-	2	8
<i>Тема 3. Використання скалярної форми рівнянь для слабкої форми</i>	15	5	-	2	8
<i>Тема 4. Використання скалярної форми рівнянь для слабкої форми системи рівнянь</i>	15	5	-	4	6
Разом за розділом 2	60	20	-	10	30
Розділ 3. Диференціальні рівняння з використанням загальної форми та диференціальні рівняння					

Тема 1. Інтерфейс диференціальних рівнянь із загальною формою.	12	3	-	2	7
Тема 2. Інтерфейс дифро-алгебраїчних рівнянь	12	3	-	4	7
Тема 3. Функціонал зменшення кількості просторових координат.	16	4	-	4	6
Разом за розділом 3	40	10	-	10	20
Розділ 4. Інші прикладні сервіси					
Тема 1. Рівняння Гельмгольца	10	1	-	3	2
Тема 2. Використання вікна Global для введення даних у вузол Fully Coupled	10	2	-	3	2
Тема 3. Мультифізичні системи рівнянь	10	2	-	4	2
Тема 4. Додаткові налаштування вирішувачів	10	5	-	10	4
Разом за розділом 4	40	10	-	20	10
	-	-	-	-	-
Всього годин	180	54	-	54	72

4. Навчальні матеріали та ресурси

Література

Базова

1. Котовський В.Й. Цибульський Л.Ю. Комп'ютерне моделювання фізичних процесів. - К., Наукова думка, 2019. - 215 с.
2. Доля П. Г. Основи моделювання в COMSOL Multiphysics [Електронний ресурс] / Доля П. Г.; ХНУ ім. Каразіна. – Електрон. текст. дані (1 файл: 14,58 Мб). – Х.: ХНУ ім. Каразіна, 2019 р. – 529 с. – Режим доступу: http://geometry.karazin.ua/resources/documents/20191219182458_3cc8431d.pdf
3. Pertsevyi, Vitalii & Zhovtonoha, Mykola & Popova, Anastasiia. (2016). Використання програмних продуктів COMSOL MULTIPHYSICS®, MATLAB®, SIMULINK® та SIMSCAPE™ при розв'язанні задач гідрогазодинаміки та тепломасообміну.
4. Комп'ютерне моделювання у вирішенні завдань теплопровідності [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів вищої освіти спеціальності 104 «Фізика та астрономія» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В. Й Котовський, А. Кізерський. – Електронні текстові дані (1 файл: 2.5 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 98 с. – Назва з екрана.
5. Кособуцький П. С. Мікро- і наноелектромеханічні системи: базові принципи проектування явищ, матеріалів та елементів [Текст] : навч. посіб. / Петро Кособуцький, Михайло Лобур, Володимир Кар-кульовський – Л.: Вид-во Львів. політехніки, 2017. – 400 с.
6. Zimmerman, W.B.. (2006). COMSOL MULTIPHYSICS AND THE BASICS OF NUMERICAL ANALYSIS. DOI: 10.1142/9789812773302_0002.
7. Сайт компанії розроблювача пакета COMSOL Multiphysics [Електронний ресурс] / www.comsol.com. Режим доступу: <http://www.comsol.com/>, вільний

Додаткова

1. Сайт компанії розроблювача пакета MATLAB [Електронний ресурс] / www.mathworks.com. Режим доступу: <http://www.mathworks.com/>, вільний.
2. Моделювання пристроїв МСТ. Комп'ютерний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. С. М. Перегудов. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,38 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 78 с. – Назва з екрана.
3. Vakulenko, D. V., Kuchvara, O. M., Semenets, A. V., & Andrushchak, I. Y. (2019). ЗАСТОСУВАННЯ COMSOL MULTIPHYSICS ДЛЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗПАДУ ДНК У ПЛАЗМІ. Медична освіта, (3), 62–65. <https://doi.org/10.11603/me.2414-5998.2019.3.10539>.
4. Гончарук, А. В. Специфіка моделювання тензорезистивного сенсора в програмному середовищі COMSOL MULTIPHYSICS / Гончарук А. В., Савченко І. О., Адаменко Ю. Ф. // Радіотехнічні проблеми, сигнали, апарати та системи : матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції [Київ, 09-11 листопада 2021 р.]. – Київ, 2021. – С. 105-107.
5. R. Petrova, Ed., Perusal of the Finite Element Method. InTech, 2016. doi: 10.5772/62611..
6. Khelfi, Safia & Helifa, Bachir & Lefkaier, Ibn & Hachani, Lakhdar. (2020). Simulation of Electromagnetic Systems by COMSOL Multiphysics. DOI: 10.1007/978-3-030-37207-1_62.
7. J. Valdman, Ed., Applications from Engineering with MATLAB Concepts. InTech, 2016. doi: 10.5772/61386.
8. Al Tahhan, Shaymaa. (2017). FBG by Comsol Multiphysics. DOI: 10.13140/RG.2.2.35194.29120.
9. López-Vizcaíno, Rubén & Yustres, Ángel & Cabrera, Virginia & Navarro, Vicente. (2020). Development of a THMC code for bentonites in COMSOL Multiphysics. E3S Web of Conferences. 195. DOI: 10.1051/e3sconf/202019504002.
10. Hashiguchi, Masa. (2017). COMSOL Multiphysics® as Engineering Education Tool. The Proceedings of the Technology and Society Conference. 2017. 112. DOI: 10.1299/jsmetsd.2017.112.
11. Ries, C.B.. (2012). ComsolGrid: COMSOL Multiphysics und BOINC. DOI: 10.1007/978-3-642-23383-8_14.
12. COMSOL,. (2014). COMSOL Multiphysics 4.4, User 's Guide. URL: https://www.researchgate.net/profile/Rayudu_Nithin_Manohar/post/Can_any_one_please_give_me_a_link_that_would_help_me_to_understand_clearly_comsol_multiphysics/attachment/59d635aec49f478072ea380a/AS:273666233831428@1442258523089/download/COMSOLMultiphysicsUsersGuide.pdf
13. D. Baleanu, Ed., Wavelet Transform and Some of Its Real-World Applications. InTech, 2015. doi: 10.5772/59743
14. S. Salih, Ed., Fourier Transform Applications. InTech, 2012. doi: 10.5772/2658

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

ЛЕКЦІЇ

Введення

1. Предмет та мета вивчення курсу, призначення курсу, його структура, зміст та методичні вказівки для вивчення.
2. Терміни, визначення, основні поняття.

Розділ 1. Моделювання процесів з диференціальними рівняннями у частинних похідних

Тема 1.1 Рівняння Лапласа і Пуасона

1. Загальні відомості про рівняння:
 - концепція методу кінцевих елементів
 - Інтерфейс

Тема 1.2 Рівняння дифузії

1. Загальні відомості про рівняння
2. Розбивання області на кінцеві елементи

Тема 1.3 Конвективно-дифузійне рівняння

1. Загальні відомості про рівняння
2. Інтерполяція векторних величин
3. Прикладні задачі дифузії з теплообміном

Розділ 2. Диференціальні рівняння та просторові координати

Тема 2.1 Трансформація координат

1. Системи координат, що використовуються
2. Способи переходу між системами.
3. Особливості завдання параметрів.
4. Вибір різновиду процесу, який моделюється шаблоном.
5. Конструктор моделей (Model Builder).

Тема 2.2 Векторні та тензорні системи рівнянь

1. Загальні відомості про тензорне та векторне представлення рівнянь.
2. Прикладне застосування

Тема 2.3 Використання скалярної форми рівнянь для слабкої форми

1. Загальні відомості про скалярне представлення рівнянь
2. Практичне застосування.

Тема 2.4 Використання скалярної форми рівнянь для слабкої форми системи рівнянь

1. Прикладні задачі

Розділ 3. Диференціальні рівняння з використанням загальної форми та дифро-алгебраїчні рівняння

Тема 3.1. Інтерфейс диференціальних рівнянь із загальною формою

1. Опис інтерфейсу, кількість вводимих рівнянь та їх параметрів
2. Прикладні задачі

Тема 3.2 Інтерфейс дифро-алгебраїчних рівнянь

1. Порівняння запису диференціального та дифро-алгебраїчного рівняння.
2. Граничні умови першого, другого та третього роду.
3. Налаштування типів розрахунків і методів.
4. Методи чисельного моделювання.
5. Помилки розрахунків.

Тема 3.3 Функціонал зменшення кількості просторових координат

1. Практичне застосування.

Розділ 4. Інші прикладні сервіси

Тема 4.1 Рівняння Гельмгольца

1. Загальна форма запису.
2. Форма запису у інтерфейсі програми.
3. Чисельне рішення.
4. Представлення результатів моделювання.
5. Постобробка.

Тема 4.2 Використання вікна Global для введення даних у вузол Fully Coupled

1. Введення Nonzero Gradients.
2. Налаштування параметрів Solver Settings для Global Equation.
3. Прискорення Solver Convergence.
4. Використання Goal-Seeking у Global Equation.
5. Практичне використання.

Тема 4.3 Мультифізичні системи рівнянь

1. Теорія.
2. Моделювання з кількома залежними змінними.
3. Фізико-топологічна модель.
4. Джоулеве нагрівання та змінні, які представляють різну фізику.
5. Вибір одиниць, закон збереження струмів та теплопередача.
6. Обробка графічних результатів представлених результатів.

Тема 4.4 Додаткові налаштування вирішувачів

1. Типи вирішувачів.
2. Абсолютна та відносна точність розрахунку
3. Ітеративний та директивний методи.
4. Способи обрахунку задачі, їх швидкість та збіжність.
5. Параметрична розгортка в межах вирішувача.
6. Налаштування Solver Configuration.

ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

№ з/п	Назва лабораторної роботи (комп'ютерного практикуму)	Кількість ауд. годин
1	Електричні імпульси серця	6
2	Розподіл сили тяжіння від Землі до Луни	6
3	Типові задачі теплотехніки	6
4	Моделювання двофазного потоку щільної суспензії	6
5	Вакуумна сушарка	6
6	Задачі на диференціальні та дифро-алгебраїчні рівняння	6
7	Задачі на просторові диференціальні та дифро-алгебраїчні рівняння	6
8	Послідовність ємностей з рідиною із керованим зворотнім зв'язком	6
9	Електромагнітне гальмо	6
	Всього	54

6. Самостійна робота студента

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
1	Метод кінцевих елементів: концепція методу кінцевих елементів, переваги й недоліки	5
2	Розбивання області на кінцеві елементи	3
3	Інтерполяційні поліноми для дискретизованої області	3
4	Конструктор моделей (Model Builder)	2
5	Побудова розрахункової області в спеціалізованих програмах і її імпорт в COMSOL Multiphysics	1
6	Завдання властивостей матеріалів	7
7	Завдання граничних і початкових умов	4
8	Накладення декількох типів сіток на одну область	2
9	Помилки розрахунків	2
10	Аналіз результатів чисельного моделювання	3
11	Представлення результатів моделювання КдФ	10
12	Представлення результатів моделювання Шредінгера	10
13	Представлення результатів моделювання руху протоні у магнітній пастці землі	10
14	Представлення результатів моделювання MOSFET транзистора	10
	Всього	72

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Від студента(-ки) очікується:

- зацікавленість у освоєнні дисципліни;
- сумлінне виконання поставлених завдань;
- присутність на лекційних та лабораторних заняттях;
- періодичний перегляд (мінімум один раз на тиждень) корпоративної пошти чи групового чату, як засобу комунікації з викладачем
- мати творчий підхід до оформлення результатів лабораторних робіт, що вони були наочно зрозумілі, та виконавець сам міг їх пояснити;

Виконання студентами навчальних завдань реєструється викладачем в журналі і надається старостам груп по результатам атестацій і екзамену.

Питання та пропозиції студент може озвучити в час наданий викладачем, або після лекції.

Викладач зобов'язаний видалити студента з аудиторії, якщо вважає, що поведінка студента заважає проведенню заняття. Виховні дії під час лекції не доцільні і не рекомендовані методичною радою факультету.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

8.1 Розподіл навчальних годин за видами занять.

Всього годин	Аудиторних, 54 години		Самостійна робота студента , 54 години			Семестр. контр.
	Лекцій	Лабораторні роботи	Вивчення лекцій	Розрахункова робота	Підготовка лабораторних робіт	
180	54	54	36	-	36	екзамен

8.2 Система рейтингової оцінки за видами занять

№ п.п	Заняття, що підлягають рейтинговій оцінці	Загальна кількість завдань	Максимальний бал за 1 завдання	Кількість завдань на «відмінно»	Кількість балів на «відмінно»
1	Виконання і захист лабораторних робіт	9	1	9	27
2	Модульна контрольна робота	23	1	23	23
3	Екзамен	5	10	5	50
	Загальний рейтинг				100

8.3 Модульний розподіл змісту дисципліни та балів

Змістовний модуль	Лекції	лабораторні роботи	Розрахункова робота	Екзамен	Разом
1 Моделювання процесів з диференціальними рівняннями у частинних похідних	-	-	-	-	-
2. Диференціальні рівняння та просторові координати	-	10	-	-	10
3. Диференціальні рівняння з використанням загальної форми та дифро-алгебраїчні рівняння	-	10	-	-	10
4. Інші прикладні сервіси	-	6	-	-	16
			14	50	64
Бали за семестр	-	36	14	50	100

Виконання студентами навчальних завдань реєструється викладачем в журналі і надається старостам груп по результатам атестацій і екзамєну.

8.4 Участь в лекції та її оцінювання

Присутність студента не є достатньою умовою участі у лекції. Під час лекції студент повинен уважно слухати лектора.

Слухання лекції передбачає повне зосередження студента на змісті лекції, який передається словами викладача та дидактичними засобами лекції. Під час лекції неприпустимі відволікання та розмова студента. Особливо неприпустима поведінка, що пов'язана з оцінюванням будь чого що відбувається в аудиторії. Викладач може не зарахувати бали за відвідування лекції студенту, якщо вважає що той не достатньо приймав участь у ній.

Питання та пропозиції студент може озвучити в час наданий викладачем, або після лекції.

Викладач зобов'язаний видалити студента з аудиторії, якщо вважає, що поведінка студента заважає проведенню заняття. Виховні дії під час лекції не доцільні і не рекомендовані методичною радою факультету.

За рекомендацією викладача студент конспектує матеріалами, що винесені на самостійне опрацювання. Цей матеріал також є обов'язковим для вивчення. Матеріал, що винесено на самостійне опрацювання, в конспекті відображається по розділах і має містити відповіді на питання:

- метод кінцевих елементів: концепція методу кінцевих елементів, переваги й недоліки;
- типи кінцевих елементів. Розбивання області на кінцеві елементи.
- інтерполяційні поліноми. Інтерполяція векторних величин.
- Інтерполяційні поліноми для дискретизованої області;
- побудова розрахункової області засобами комп'ютерного моделювання;
- завдання глобальних постійних, виразів, функцій і рівнянь. Завдання властивостей матеріалів ;
- завдання граничних і початкових умов;
- типи розрахунків. Завдання й найпростіше використання вирішувачів. Налаштування типів розрахунків і методів. Методи чисельного моделювання. Помилки розрахунків.

Перед екзаменом студент отримує додаткове питання по кожній пропущеній лекції. При незадовільних відповідях студент до екзамену не допускається.

8.5 Лабораторні роботи та їх оцінювання

Студент має приходити на занятті підготовленим, опрацювавши теоретичні матеріали та виконавши попередні лабораторні роботи. Студент повинен знати мету та послідовність виконання завдання. Максимальний бал отримує той, хто вчасно представив вірні результати виконання лабораторної роботи.

Максимальний бал складається з двох частин:

- виконання та оформлення завдань – 2 балів;
- захист лабораторних робіт – 2 балів.

Участь в усіх передбачених навчальним планом лабораторних заняттях та захист результатів обов'язкова.

8.6 Розрахункова робота

Розрахункова робота виконується під час засвоєння кредитного модулю за тематикою наукової роботи студента. Студент виконує дослідження фізичних процесів в межах теми своєї наукової роботи, яка обирається студентом на першому тижні навчального семестру і може бути продовженням роботи минулого семестру.

8.7 Наукова робота студента складається з трьох етапів створення та дослідження комп'ютерної моделі приладу або експерименту в межах твердотільного, вакуумного та плазмового середовища. Продовжуючи роботу розпочату в попередніх семестрах студенти:

- проводять дослідження побудованої фізичної моделі структури обраного приладу в середовищі прикладного пакету COMSOL Multiphysics (10 балів);
- обробляють отримані результати (5 балів);
- готують та проводять презентації (доповідь) по науковій роботі (4 балів).

8.8 Рейтингова оцінка ефективності роботи студента протягом семестру.

Значення рейтингу з дисципліни	Оцінка ECTS та визначення	Традиційна оцінка
95...100	A - відмінно	відмінно
85...94	B – дуже добре	добре
75... 84	C - добре	
65... 74	D - задовільно	задовільно
60...64	E – достатньо (задовольняє мінімальні критерії)	
50...59	FX – незадовільно (допущені до екзамену)	незадовільно
PO<50	F – незадовільно (потрібна додаткова робота)	

8.9 Студенти, які набрали протягом семестру кількість балів (PO>50) можуть збільшити свої бали за рахунок балів отриманих під час екзамену.

8.10 Екзамен може проводитися за двома формами:

- студент готує відповідь на екзаменаційний білет, що містить 3 запитання.
- екзаменаційний білет у вигляді тесту: 9 запитань з 4 варіантами відповідей, з яких одна вірна.

Максимальна оцінка за правильну відповідь на білет – 27 балів

8.11 Після складання екзамену оцінка визначається за сумою семестрових та екзаменаційних балів відповідно до таблиці п.8.8.

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Тестові теоретичні питання.

1. Що таке моделі турбулентності, і як вони використовуються в COMSOL;
2. Як у COMSOL задаються періодичні граничні умови;
3. Що таке граничні умови Робіна, і як вони застосовуються в задачах моделювання;
4. Як в COMSOL задається часовий аналіз задач;
5. Що таке General Form PDE (узагальнена форма PDE), і як вона використовується в COMSOL;
6. Як оцінити збіжність чисельного розв'язку в COMSOL;
7. Як обирати відповідну сітку для чисельного моделювання в COMSOL;
8. Які методи розв'язання лінійних систем використовуються в COMSOL;
9. Як моделюється перенос енергії випромінюванням у COMSOL;
10. Як враховується конвекція у задачах теплопередачі;
11. Як моделюються нелінійні матеріали в COMSOL;
12. Як моделюється конвекція–дифузія з хімічною реакцією;
13. Як моделюється теплообмін між твердим тілом і рідиною в COMSOL;
14. Що таке слабо зв'язані мультифізичні задачі, і як вони реалізуються в COMSOL;
15. Що таке адаптивне уточнення сітки, і як воно реалізується в COMSOL;
16. Як враховуються мультифазні потоки в COMSOL;
17. Опишіть основи методу скінченних елементів (FEM) ;
18. Що таке рівняння Пуассона, і як воно використовується в моделюванні;
19. Як реалізуються граничні умови Діріхле та Неймана в COMSOL;
20. Чим відрізняється метод скінченних елементів від методу граничних елементів;

21. Що таке рівняння теплопровідності, і як його застосовують у моделюванні;
22. Як у COMSOL задаються параметри матеріалів для розв'язку PDE;
23. Що таке стабілізація чисельного розв'язку, і навіщо вона потрібна;
24. Як у COMSOL моделюється конвекція–дифузія;
25. Які типи PDE можна моделювати в COMSOL;
26. Як у COMSOL задаються нелінійні рівняння;
27. Як використовується рівняння Лапласа у фізичних моделях;
28. Як у COMSOL можна моделювати мультифізичні задачі;
29. Що таке граничні умови Робіна, і як вони застосовуються в моделюванні;
30. Як обчислюється точність чисельних моделей у COMSOL;
31. Що таке (Weak form) слабка форма рівнянь, і як вона використовується в COMSOL;
32. Як у COMSOL задається та аналізується залежність матеріальних параметрів від температури.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено старшим викладачем кафедри ЗФ та МФП, доктором філософії Майкутом С.О.

Ухвалено кафедрою загальної фізики та моделювання фізичних процесів (протокол № 1/06-25 від 25.06.2025р.)

Погоджено Методичною комісією Фізико-математичного факультету (протокол № 10 від 27.06.2025р.)