

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
Фізичний факультет
Кафедра прикладної фізики



Декан фізичного факультету
/Лазур В.Ю./
« 12 » березня 2023 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

**КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ З
ВИКОРИСТАННЯМ СЕРЕДОВИЩА MARLE**

Рівень вищої освіти
Галузь знань
Спеціальність
Освітня програма
Статус дисципліни
Мова навчання

другий (магістерський)
10 природничі науки
105 Прикладна фізика та наноматеріали
Освітньо – професійна програма
вибіркова
українська

Ужгород 2023 рік

Робоча програма навчальної дисципліни «Комп'ютерне моделювання фізичних процесів з використанням середовища Maple.» для здобувачів вищої освіти галузі знань **10 природничі науки** спеціальності **105 Прикладна фізика та наноматеріали** **Освітньо – професійна програма**

Розробник: Небола І.І. професор, доктор фізико-математичних наук

Робочу програму розглянуто та затверджено на засіданні кафедри прикладної фізики

Протокол № 8 від «23» 02 2023 року

Завідувач кафедри прикладної фізики  (Небола І.І.)

Схвалено науково-методичною комісією фізичного факультету

Протокол № 7 від «02» 03 2023 року

Голова науково-методичної комісії  (Карбованець М.І.)

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Найменування показників	Розподіл годин за навчальним планом	
	денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів - 4	Рік підготовки	
Загальна кількість годин – 120	1- й	
Кількість модулів – 2	Семестр	
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 2 самостійної роботи студентів – 4	1- й	
	Лекції	
	22 год.	
	Практичні (семінарські)	
	-	
Вид підсумкового контролю: залік	Лабораторні	
	20 год.	
Форма підсумкового контролю: усна	Самостійна робота	
	78 год	

Примітка.

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної індивідуальної роботи становить:

для денної форми навчання – 42 / 78

для заочної форми навчання – відсутня

2. МЕТА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою вивчення даної дисципліни є набуття знань, необхідних для моделювання фізичних процесів, дослідження на сучасному рівні процесів класичної і квантової фізики та моделювання явищ і процесів у фізиці конденсованого стану. Формування цілісної системи знань та навиків в області комп'ютерного моделювання конденсованого стану та деяких процесів класичної та квантової фізики»; розгляд деяких реалізацій енергетичної структури одночастинкових збуджень та їх особливостей. Засвоєння можливостей середовища Maple в реалізації комп'ютерного моделювання, шляхом побудови моделей, створення програмного забезпечення та реалізації розрахунку та аналізу.

Основні завдання навчальної дисципліни «Комп'ютерне моделювання фізичних процесів з використанням середовища Maple» дати опис та розуміння сучасного комп'ютерного моделювання та розрахунків для вивчення аспектів і їх ролі при дослідженні фізичних процесів класичної і квантової фізики, розрахунку енергетичної структури та її специфічних особливостей, при використанні методів комп'ютерного моделювання та областей їх застосування, продемонструвати їх особливості в залежності від застосованих комп'ютерного моделювання. Основний акцент при цьому надається вивченню методів комп'ютерного моделювання і використанню програмних засобів для побудови і аналізу структури фізичних систем. Важливим завданням при цьому залишається засвоїти використання сучасної обчислювальної техніки при теоретичному моделюванні фізичних явищ і процесів, яке дає можливість отримання чисельних результатів в реальному масштабі часу, їх графічне оформлення, представлення результатів в динаміці.

Відповідно до освітньої-наукової програми, вивчення дисципліни «Комп'ютерне моделювання фізичних процесів з використанням середовища Maple» сприяє формуванню у здобувачів вищої освіти таких компетентностей:

Відповідно до освітньої програми, вивчення дисципліни сприяє формуванню у здобувачів вищої освіти таких компетентностей:

- загальні компетенції (ЗК):

- здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях (ЗК1);
- знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності (ЗК2);
- здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово (ЗК3);
- навички використання інформаційних і комунікаційних технологій (ЗК5);
- здатність до проведення досліджень на відповідному рівні (ЗК6);
- здатність працювати в команді (ЗК8);
- навички міжособистісної взаємодії (ЗК9)
- здатність працювати автономно (ЗК10);

- фахові компетенції (ФК):

- здатність виконувати аналіз спеціальної літератури, формулювати постановку наукової або науково-технічної задачі, обирати методи та методики, складати програми наукових досліджень та науково-технічних розробок у галузі прикладної фізики та наноматеріалів (ФК1);

- здатність аналізувати отримані результати, презентувати їх фахівцям у даній галузі, оформлювати наукові статті та науково-технічні звіти (ФК3);

.- здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної фізики, інженерії та комп'ютерних технологій (ФК8);

.- здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем (ФК9);

- здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання в професійній діяльності (ФК10).

3. ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Передумовами вивчення навчальної дисципліни «Специфіка та безпека нанотехнологій» є опанування таких навчальних дисциплін: «Механіка», «Молекулярна фізика», «Електрика і магнетизм», «Оптика», «Атомна фізика», «Ядерна фізика», «Хімія».

4. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

Відповідно до освітньої програми, вивчення навчальної дисципліни «Комп'ютерне моделювання фізичних процесів з використанням середовища Maple» повинно забезпечити досягнення здобувачами вищої освіти таких програмних результатів навчання (ПРН):

Програмні результати навчання	Шифр ПРН
Використовувати знання в галузі прикладної фізики, математики, електроніки та інформаційних технологій для виконання наукових досліджень та розв'язання виробничих задач.	ПРН01.
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.	ПРН02.
Класифікувати, аналізувати та інтерпретувати науково-технічну інформацію в галузі прикладної фізики	ПРН03
Встановлювати та аргументувати нові залежності між параметрами та характеристиками фізичних систем.	ПРН05
Застосовувати сучасні математичні методи для побудови й аналізу математичних моделей фізичних процесів.	ПРН08
Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів і наукоємних технологій.	ПРН10
Розуміти закономірності розвитку прикладної фізики, її місце в розвитку техніки, технологій і суспільства, у тому числі в розв'язанні екологічних проблем.	ПРН14

Очікувані результати навчання, які повинні бути досягнуті здобувачами освіти після опанування навчальної дисципліни «Комп'ютерне моделювання фізичних процесів з використанням середовища Maple»

Очікувані результати навчання з дисципліни	Шифр ПРН
Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики.	ПРН01
Знати сучасні передові концептуальні та методологічні знання в галузі симетрії, її фундаментальні та прикладні аспекти в сучасній фізиці та суміжних галузях знань.	ПРН01
Знати сучасні математичні методи для побудови й аналізу математичних моделей фізичних процесів.	ПРН08
Знати основну термінологію в області теорії твердого тіла та комп'ютерного моделювання фізичних властивостей.	ПРН02
Знати мікроскопічні моделі дослідження енергетичних одночастинкових спектрів у твердих тілах і наноматеріалах.	ПРН08

Знати фізичні принципи основних методів дослідження і розрахунку фізичних процесів.	ПРН10
Вміти встановлювати та аргументувати нові залежності між параметрами та характеристиками фізичних систем	ПРН05
Вміти планувати проведення розрахункових робіт по дослідженню різних типів фізичних властивостей твердих тіл.	ПРН03
Вміти розраховувати параметри різних фізичних властивостей твердих тіл, проводити їх аналіз і порівняння з експериментальними вимірюваннями.	ПРН10
Вміти застосовувати методи побудови моделей, що описують фізичні властивості в твердому тілі.	ПРН10
Вміти генерувати нові ідеї при вирішенні дослідницьких і практичних задач в комп'ютерному моделюванні.	ПРН14
Вміти застосовувати фізичні теорії для опису та проведення розрахунків та моделювання в різних твердо-тілих матеріалах.	ПРН08
Вміти аналізувати наукову літературу по методах розрахунку властивостей твердих тіл та їх моделюванню;	ПРН03

5. ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

Засоби оцінювання та методи демонстрування результатів навчання

Засобами оцінювання та методами демонстрування результатів навчання з навчальної дисципліни є:

- поточний контроль успішності,
- проміжний модульний контроль,
- підсумковий семестровий контроль.

Форми контролю та критерії оцінювання результатів навчання

Форми поточного контролю:

- вибіркове усне опитування перед початком занять;
- фронтальне стандартизоване усне та/або письмове опитування за основними питаннями теми заняття;
- експрес-опитування;
- тестування;
- реферативні повідомлення та їх обговорення;
- перевірка якості виконання завдань для самостійної роботи, зокрема за конспектами матеріалів;
- оцінювання якості та повноти виконання завдань модульної контрольної роботи.

Форма модульного контролю: виконання модульної контрольної роботи, результати якої оцінюються за 100-бальною шкалою за кожний модуль.

Форма підсумкового семестрового контролю: залік. До заліку допускаються студенти, які відпрацювали пропущені заняття і виконали модульні контрольні роботи.

Оцінювання знань студентів здійснюється на основі результатів:

- поточного контролю знань;
- проміжного модульного контролю знань ;
- підсумкового семестрового контролю знань – залік.

Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти (модуль 1)

Поточне оцінювання та самостійна робота									Модульна контрольна робота	Сума
T1	T2	T3	T4						70	100
5	10	10	5							

T1, T2 T3,T4 – теми

Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти (модуль 2)

Поточне оцінювання та самостійна робота									Модульна контрольна робота	Сума
T1	T2	T3	T4						70	100
10	10	5	5							

T1, T2, T3, T4 – теми

Оцінювання окремих видів навчальної роботи з дисципліни

Вид діяльності здобувача вищої освіти	Модуль 1		Модуль 2	
	Кількість	Максимальна кількість балів (сумарна)	Кількість	Максимальна кількість балів (сумарна)
Практичні (семінарські) заняття	-	-	-	-
Лабораторні заняття (допуск, виконання та захист)	4	20	8	20
Комп'ютерне тестування при тематичному оцінюванні	-	-	-	-
Письмове тестування при тематичному оцінюванні	1	10	1	10
Презентація		-		
Реферат		-		
Есе		-		
...		-		
Модульна контрольна робота	2	70	2	70
Разом	7	100	11	100

Критерії оцінювання модульної контрольної роботи

Модульна контрольна робота здійснюється у письмовій формі шляхом відповідей на питання тестових завдань. Кожна правильна відповідь оцінюється певною кількістю балів. Максимальна кількість балів за кожний модуль становить 100 балів. Мінімальна кількість балів, за якої робота вважається виконаною, становить 60 балів.

Критерії оцінювання підсумкового семестрового контролю

Підсумковий семестровий контроль з дисципліни «Комп'ютерне моделювання фізичних процесів з використанням середовища Maple» здійснюється через залік. Залік проводиться в усній формі шляхом співбесіди. Результати заліку оцінюються за двобальною шкалою: „зараховано, „незараховано”.

Підсумкова оцінка «зараховано»/«не зараховано» визначається наступними критеріями:

- оцінка «зараховано» виставляється в тому разі, коли студент бездоганно оволодів всіма розділами програми, дав глибокі, чіткі і вичерпні відповіді на всі основні і додаткові запитання, виявив розуміння фізичної суті програмового матеріалу, демонструє вільне володіння фактичним матеріалом та відповідним математичним апаратом, демонструє здатність до мислення, кваліфіковано використовує набуті знання для розв'язання конкретних практичних задач.

- оцінка «незараховано» виставляється тоді, коли студент не оволодів матеріалом даного курсу, виявив суттєві прогалини в знаннях основного програмового матеріалу, коли він під час відповіді на запитання виявив нерозуміння фізичної сутності основних понять та термінів дисципліни, допускає плутанину, слабо володіє математичним апаратом, не може застосовувати набуті знання для розв'язування конкретних практичних задач, тобто виявив відсутність мінімально необхідної кількості знань з даного курсу.

За бажанням студента результуюча підсумкова оцінка може бути визначена як інтегрована оцінка засвоєння всіх тем дисципліни і кількісно дорівнює середньому арифметичному балів, отриманих за кожний модуль.

Переведення результатів, отриманих за 100-бальною шкалою оцінювання в національну 4-х бальну та шкалу за системою ECTS здійснюється за наступною схемою:

Оцінка за шкалою балів	Залік	ECTS	
		Оцінка	Характеристика
90 та вище	зараховано	A	відмінно
80-89 65-79	зараховано	B	добре
	зараховано	C	добре
55-64 50-54	зараховано	D	задовільно
	зараховано	E	задовільно
35-49	незараховано	FX	незадовільно з можливістю перескладання
1-34	незараховано	F	незадовільно з обов'язковим повторним навчанням

Студент, який отримав за результатами підсумкового контролю оцінку «незараховано» (1-34 балів, F), зобов'язаний пройти повторний курс вивчення дисципліни (під час додаткового семестру) і скласти залік.

Результати підсумкового контролю знань із навчальних дисциплін, з яких передбачено залік, заносяться до залікової відомості.

6. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ.

6.1. Зміст навчальної дисципліни

Модуль 1. Основні сучасні методи розрахунку та моделювання фізичних властивостей

Тема 1. Роль комп'ютерів у фізиці.

Області застосування комп'ютерів у фізиці: комп'ютерне моделювання (експеримент), чисельний аналіз, автоматизація фізичного експерименту аналітичні обчислення і інші застосування комп'ютерів (бази даних, Інтернет та ін.).

Стохастичні й детерміновані методи моделювання. Основні методи комп'ютерного розрахунку і моделювання: метод молекулярної динаміки (МД), метод Монте-Карло (МК) або статистичних випробувань, кінетичний метод (КМ).

Коротка історія розвитку комп'ютерного моделювання.

Тема 2. Метод Монте-Карло для моделювання багаточастинкових систем

Застосування методу Монте-Карло для чисельного інтегрування. Рівномірний і нерівномірний розподіл випадкового числа. Випадкове блукання. Алгоритми отримання заданого розподілу. Метод Метрополі, отримання заданого розподілу.

Статистичні ансамблі. Метод МК для канонічного ансамблю. Моделювання одновимірної і двовимірної моделей Ізінга.

Метод МК для канонічного ансамблю. Моделювання одновимірної, двовимірної і тривимірної моделей Ізінга.

Метод МК для канонічного ансамблю. Моделювання одновимірної, двовимірної і тривимірної моделей Ізінга. Реалізація алгоритму Метрополі. Критичні індекси. Вплив розмірів системи, що моделюється на критичні властивості. Метод МК для ансамблю з постійними температурою і тиском.

Тема 3. Метод класичної молекулярної динаміки (МД).

Рівняння руху в методі МД. Сили і потенціали міжатомної взаємодії. Парні потенціали: Леннарда-Джонса, Морзе та ін. Багаточастинкові потенціали: модель зануреного атома, потенціали Обрізання потенціалу.

Граничні умови. Завдання початкових положень і швидкостей частинок. Інтегрування рівнянь руху. Розрахунок термодинамічних величин. Чисельні алгоритми методу МД і його комп'ютерна реалізація.

Тема 4. Метод першопринципної МД.

Чисельні алгоритми і комп'ютерні програми, що реалізують розрахункові методи зонної і кластерної моделі в тому числі для розрахунку композитів.

Модуль 2. Комп'ютерне моделювання властивостей наноструктур та композитів

Тема 1. Комп'ютерне моделювання електронної структури твердих тіл.

Зонна і кластерна модель електронної структури. теорія функціоналу щільності. Методи розрахунку електронної структури. Метод першопринципної МД. Чисельні алгоритми і комп'ютерні програми, що реалізують розрахункові методи зонної і кластерної моделі.

Тема 2. Застосування методів комп'ютерного експерименту до моделювання.

Моделювання між вузельних атомів і вакансій в твердих тілах методами класичної і першопринципної МД. Моделювання домішок в твердих тілах: домішки впровадження, домішки заміщення, комплекси домішок і вакансій, комплекси домішкових і між вузлових атомів.

Тема 3. Моделювання дифузійних процесів в твердих тілах.

Застосування методів МД і МК для моделювання дифузії в твердих тілах. Чисельні алгоритми і комп'ютерні програми для моделювання дифузії. Моделювання структури

фулероноподібних частинок. Побудова атомних моделей фулеренів. Застосування методів комп'ютерного розрахунку для оптимізації структури фулероноподібних частинок.

Тема 4. Моделювання структури та властивостей низько розмірних систем та композитів.

Побудова атомних моделей нанотрубок (НТ). Застосування методів комп'ютерного моделювання для оптимізації структури НТ. Моделювання механічних властивостей НТ методами МД і квантової хімії. Моделювання електронної структури НТ. Моделювання структури та властивостей двовимірних структур. Застосування методів комп'ютерного моделювання для дослідження властивостей квазидвохмірних структур. Моделювання структури фулероноподібних частинок. Побудова атомних моделей фулеренів. Застосування методів комп'ютерного моделювання для оптимізації структури фулероноподібних частинок та композитів.

6.2. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин - 120					
	Форма навчання: денна					
	у тому числі					
	Усього 120	Лекції 22	практичні (семінарські)	Лабораторні 20	індивідуальна робота	самостійна робота 78
1-й семестр						
Модуль 1. Основні сучасні методи розрахунку та моделювання фізичних властивостей						
Тема 1. Роль комп'ютерів у фізиці.	12	2				10
Тема 2. Метод Монте-Карло для моделювання багаточасткових систем.	14	2		4		8
Тема 3. Метод класичної молекулярної динаміки (МД).	12	2				10
Тема 4. Метод першопринципної МД.	16	2		4		10
Модульна контрольна робота	2	2				
Разом за модуль	56	10		8		38
Модуль 2. Комп'ютерне моделювання у фізиці твердого тіла						
Тема 1. Комп'ютерне моделювання електронної структури твердих тіл.	18	4		4		10
Тема 2. Застосування методів комп'ютерного експерименту до моделювання	16	2		4		10
Тема 3. Моделювання дифузійних процесів в твердих тілах.	14	2		2		10
Тема 4. Моделювання структури та властивостей низько розмірних систем та композитів.	14	2		2		10
Модульна контрольна робота	2	2				
Разом за модуль	64	12		12		40

6.3. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна	заочна
1.	Моделювання і аналіз кристалічної структури складних сполук з використанням оболочки CaRine.	2	
2.	Знаходження позицій атомів, орбіт і їх виродження з використанням оболочки CaRine.	2	
3.	Розрахунок коефіцієнта проходження крізь потенціальний бар'єр прозорого і квазікласичного бар'єра.	2	
4.	Дослідження розсіювання на кристалічній ґратці в стаціонарній квантовій механіці. Формалізм трансфер-матриці.	2	
5.	Розрахунок дисперсії фононного спектру в середовищі MAPLE.	2	
6.	Моделювання двовимірного електронного газу у схрещених електричному і магнітному полях.	2	
7.	Розрахунок електронного спектру в наближенні пустої ґратки.	2	
8.	Розрахунок енергетичної структури германію в методі електронної щільності. Моделювання псевдо потенціалів.	2	
9.	Розрахунок мілких домішкових станів в гетеро структурах та композитах.	2	
10.	Моделювання резонансних та тунельних явищ у квантово-розмірних системах та композитах.	2	
Разом		20	

6.4. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна	заочна
1.	Моделювання і аналіз кристалічної структури з використанням оболочки CaRine.	4	
2.	Знаходження позицій атомів, орбіт і їх виродження об'єкту дисертаційного дослідження з використанням оболочки CaRine.	4	
3.	Одновимірні потенціальні ями. Стани з дискретним спектром.	4	
4.	Стани з неперервним спектром. Віртуальні рівні енергії.	4	
5.	Експериментальні та розрахункові методи дослідження розупорядкованих систем.	4	
6.	Моделювання класичних і квантово розмірних ефектів у кристалах.	4	
7.	Розрахунок дисперсії фононного спектру складних кристалів в середовищі MAPLE.	6	
8.	Моделювання двовимірного електронного газу у схрещених електричному і магнітному полях.	4	
9.	Розрахунок електронного спектру в наближенні пустої ґратки.	4	
10.	Розв'язок стаціонарного рівняння Шредінгера за допомогою детермінанта Слетера.	4	
11.	Розрахунок енергетичної структури германію в методі електронної щільності.	6	
12.	Моделювання псевдо потенціалів.	4	

13.	Розрахунок мілких домішкових станів в гетеро структурах.	4	
14.	Моделювання резонансних явищ у квантово-розмірних системах.	4	
15.	Моделювання тунельних явищ у квантово-розмірних системах та композитах.	4	
16.	Модель Шоклі-Андерсона. Розрахунок і аналіз поодиноких гетеропереходів.	4	
17.	Розрахунок енергетичної структури гетеропереходів в електричному полі.	6	
18.	Розрахунок електронного спектра наночастинок та композитів в методі «конфігурації».	4	
Разом		78	

7. ІНСТРУМЕНТИ, ОБЛАДНАННЯ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ВИКОРИСТАННЯ ЯКИХ ПЕРЕДБАЧАЄ НАВЧАЛЬНА ДИСЦИПЛІНА

Технічні засоби: Мультимедійний проєктор.

Обладнання: персональні комп'ютери, ноутбуки.

Програмне забезпечення Windows 10, Microsoft Power Point.

8. РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

Основна література

1. Станжицький О.М., Таран Є.Ю., Гординський Л.Д. Основи математичного моделювання : Навчальний посібник. – К.: Видавничо-поліграфічний центр “Київський університет”, 2006. – 96 с.
2. Павленко П.М. Основи математичного моделювання систем і процесів: Навчальний посібник. – К.: Книжкове вид-во НАУ, 2010.– 198 с.
3. Маценко В.Г. Математичне моделювання: навчальний посібник– Чернівці: Чернівецький національний університет, 2014.–519 с.
4. Маценко В.Г. Математичне моделювання: навч. посібник. – Чернівці: Чернівецький національний ун-т, 2013. – 519 с.
5. Бахрушин В.Є. Математичне моделювання : Навчальний посібник / В.Є. Бахрушин. – Запоріжжя : ГУ "ЗІДМУ", 2004. – 140 с.
6. Чабан В. Чисельні методи / В. Чабан. – Львів: Вид. Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2001. – 186 с.
7. Верлань А.Ф. Моделювання систем керування в середовищі MATLAB / А.Ф. Верлань, І.О. Горошко, Д.Е. Контрерас, В.А. Федорчук. — К.: ЦКІС АПНУ, 2002. — 68 с.
8. Федорчук В. А. Комп'ютерне моделювання динамічних систем: навчальний посібник / В. А. Федорчук. – Кам'янець-Подільський : Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2015. – 108 с.
9. Іванюк В.А. Математичні пакети прикладних програм: навчальний посібник / В. А. Іванюк – Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2015. – 144 с.
10. Фельдман Л. П. Чисельні методи в інформатиці: Підручник/ За ред. М. З. Згуровського, Л. П. Фельдман, А. І. Петренко, О. А. Дмитрієва – К.: Вид. група ВHV, 2006. – 480 с.
11. Федорчук В. А. Інтегральні рівняння в задачах математичного моделювання: навчальний посібник / В. А. Федорчук, В. А. Іванюк, Д. А. Верлань. – Кам'янець-

- Подільський : Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2014. – 144 с.
12. Ляшенко М. Я., Головань М.С. Чисельні методи: підручник. – К. : Либідь, 1996. – 288 с
13. Теплицький І. О. Елементи комп'ютерного моделювання : навчальний посібник.. – Видання друге, виправлене і доповнене. – Кривий Ріг: КДПУ, 2010. – 264 с.,
14. Теплицький І.О. Елементи комп'ютерного моделювання: Навч. посібник. – Кривий Ріг: КДПУ, 2005. – 208 с.
15. Венгер, Є.Ф. Збірник задач з квантової механіки./Є.Ф.Венгер, В.М.Грибань, О.В.Мельник. – К.: Вища школа, 2003. – 230 с.
16. Möller K. D. Optics. Learning by Computing, with Examples Using Maple, MathCad, Matlab, Mathematica, and Maple//Springer-Verlag New York 2007. – 455 p.
17. Parlar M. Interactive Operations Research with Maple//Springer Science+Business Media New York 2000. – 468 p.

Допоміжна література

1. Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології: Наук. зб. Вип. 12 / Гол. ред. Я. Бурак. — Л. : Центр мат. моделювання Ін-ту приклад. проблем механіки і мат. ім. Я. Підстригача НАН України, 2010. — 215 с.
2. Velten K. Mathematical Modeling and Simulation: Introduction for Scientists and Engineers. Weinheim: Wiley-VCH-Verl., 2010. 348 p
3. Комп'ютерне моделювання систем та процесів. Методи обчислень. Частина 1: навчальний посібник / Кветний Р. Н., Богач І. В., Бойко О. Р., Софіна О.Ю., Шушура О.М.; за заг. ред. Р.Н. Кветного. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 193 с.
4. Кветний Р. Н. Інтервальні моделі перетворень сигналів в інформаційно-вимірювальних системах / Р. Н. Кветний, О. Р. Бойко. – Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2009. – 88с.
5. Ковальов Ю. М., Каніліченко В. В. Навчально-методичний комплекс дисципліни «Основи тривимірного комп'ютерного моделювання» : Навч. посібник / Ю. М. Ковальов, В. В. Каніліченко – Київ, 2018. – 205 с.
6. Gonzales R. C. Digital Image Processing Using MATLAB /R. C. Gonzales, R. E. Woods, S. Eddins. – Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2004. – 492 p.
7. 3. Image Processing Toolbox For Use with Matlab, User's Guide. Version 3.– The Math Works Inc., 2004. – 775 p.
8. Kvyetnyy R. Basics of Modelling and Computational Methods /R. Kvyetnyy. – Вінниця : ВДТУ, 2007. – 147 с.
9. Tobochnik J., Gould H., Christian W. An Introduction to Computer Simulation Methods. Applications to Physical Systems//CreateSpace Independent Publishing Platform, 2017. – 814 p.
10. Steinhauser M. O. Computer Simulation in Physics and Engineering// Walter De Gruyter Incorporated, 2012. – 509 p.