Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра фізики твердого тіла

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

В. о. Декана фізичного факультету

ХНУ імені В. Н. Каразіна

_____ Дмитро РОХМІСТРОВ

“ *27* ” *серпня* 2026 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

«Комп’ютерне моделювання фізичних процесів і явищ у фізиці твердого тіла»

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти ***другий (магістерський)***

галузь знань ***10 Природничі науки***
(шифр і назва)

спеціальність ***Е5 Фізика та астрономія***
(шифр і назва)

освітня програма ***освітньо-наукова програма – “Фізика”***
(шифр і назва)

спеціалізація _____
(шифр і назва)

вид дисципліни ***за вибором***
(обов’язкова / за вибором)

факультет ***фізичний***

2026 / 2027 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою факультету

“ 27 ” серпня 2026 року, протокол № 10

РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ:

Шурінов Роман Володимирович – кандидат фіз.-мат. наук, доцент, доцент закладу вищої освіти кафедри фізики твердого тіла

Програму схвалено на засіданні кафедри фізики твердого тіла

Протокол № 6 від 26 серпня 2026 року

В.о. завідувача кафедри _____ Золтан ЗИМАН

(підпис) (ім’я та призвіще)

Програму погоджено з гарантом освітньої (професійної/наукової) програми (керівником проектної групи) Фізика

назва освітньої програми

Гарант освітньої (професійної/наукової) програми

(керівник проектної групи) _____ Дмитро РОХМІСТРОВ

(підпис) (ім’я та призвіще)

Програму погоджено методичною комісією фізичного факультету

Протокол № 9 від 26 серпня 2026 року

Голова методичної комісії _____ Олег ЛАЗОРЕНКО

(підпис) (ім’я та призвіще)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Комп'ютерне моделювання фізичних процесів і явищ у фізиці твердого тіла» складена відповідно до освітньо-наукової програми підготовки

магістра

(назва рівня вищої освіти)

спеціальності (напряму) *Е5 Фізика та астрономія*

освітня програма *освітньо-наукова програма «Фізика»*

спеціалізації

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни:

Мета курсу: формування у студентів системного уявлення про комп'ютерне моделювання як один із основних методів наукового пізнання, а також ознайомлення з базовими принципами побудови моделей фізичних процесів і явищ із використанням сучасних комп'ютерних технологій. Курс спрямований на розвиток навичок використання персонального комп'ютера як інструмента моделювання і наукових досліджень.Основні завдання вивчення дисципліни.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни:

Основними завданнями вивчення дисципліни є засвоєння теоретичних основ і методів комп'ютерного моделювання фізичних процесів та явищ у фізиці твердого тіла, формування навичок використання сучасних програмних засобів для побудови моделей і проведення обчислювальних експериментів. Важливим завданням є вивчення методів чисельного розв'язання фізичних задач, моделювання структурних, механічних, теплових та електрофізичних властивостей твердих тіл, а також аналіз і візуалізація отриманих результатів. Дисципліна спрямована на розвиток умінь застосовувати комп'ютерне моделювання для дослідження фізичних закономірностей, перевірки теоретичних моделей і прогнозування поведінки матеріалів за різних умов. Особлива увага приділяється формуванню навичок самостійного розв'язання науково-дослідницьких завдань із використанням сучасних інформаційних технологій.

1.3. Кількість кредитів *6*

1.4. Загальна кількість годин *180*

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
Нормативна / за вибором	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма
Рік підготовки	
2-й	-й
Семестр	
4-й	-й
Лекції	
33 год.	год.
Практичні, семінарські заняття	
44 год.	год.
Лабораторні заняття	
0 год.	год.
Самостійна робота, у тому числі	
103 год.	год.
Індивідуальні	
0 год.	

1.6. Перелік компетентностей, що формує дана дисципліна

Інтегральна компетентність (ІК)

Здатність розв’язувати складні задачі і проблеми дослідницького та/або інноваційного характеру у галузі фізики твердого тіла із застосуванням методів комп’ютерного та математичного моделювання.

Загальні компетентності (ЗК)

ЗК 1. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях під час проведення комп’ютерного експерименту та наукових досліджень.

ЗК 2. Знання та розуміння предметної області та професійної діяльності у сфері фізики конденсованого стану.

ЗК 3. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел, зокрема наукових баз даних та фахової літератури.

ЗК 4. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями та обчислювальними технологіями.

ЗК 5. Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології для моделювання, обчислень і візуалізації фізичних процесів.

ЗК 6. Здатність виявляти, ставити та вирішувати складні фізичні та обчислювальні проблеми.

ЗК 7. Здатність до проведення наукових досліджень на відповідному рівні кваліфікації.

Спеціальні (фахові, предметні) компетентності (СК / ФК)

ФК 1. Здатність використовувати закони та принципи фізики твердого тіла у поєднанні з математичними інструментами та чисельними алгоритмами для опису фізичних явищ.

ФК 2. Здатність формулювати, аналізувати та синтезувати рішення наукових проблем у фізиці твердого тіла шляхом розробки та застосування обчислювальних моделей.

ФК 3. Здатність критично аналізувати та оцінювати адекватність, межі застосовності, стійкість і точність розроблених чисельних методів і комп’ютерних моделей.

ФК 4. Здатність планувати й здійснювати теоретичні та комп’ютерно-модельні дослідження фізичних об’єктів і процесів у твердих тілах на основі спеціалізованих знань та інформаційних технологій.

ФК 5. Здатність встановлювати зв’язок між експериментальними даними та результатами комп’ютерного моделювання, здійснювати феноменологічний і теоретичний опис процесів у твердому тілі.

ФК 6. Здатність формулювати нові гіпотези та наукові задачі у фізиці конденсованого стану й обирати оптимальні методи обчислювального експерименту для їх розв’язання.

1.7. Перелік результатів навчання, що формує дана дисципліна

Знання:

Знати фундаментальні теоретичні засади та методи комп’ютерного моделювання фізичних процесів у твердих тілах (зокрема методи молекулярної динаміки, Монте-Карло, теорії функціоналу плотності, скінченних елементів).

Розуміти принципи побудови чисельних алгоритмів для розв’язання рівнянь, що описують кристалічну структуру, електронні, фононні та транспортні властивості твердих тіл.

Уміння та навички:

Розробляти та застосовувати ефективні алгоритми і спеціалізоване програмне забезпечення для дослідження моделей фізичних об’єктів і процесів у фізиці твердого тіла.

Створювати фізичні, математичні та комп’ютерні моделі природних і штучних твердотільних структур, перевіряти їх адекватність та аналізувати обмеження моделей.

Обирати й застосовувати відповідні методи обробки, аналізу та візуалізації даних обчислювального експерименту, оцінювати їх достовірність і ступінь невизначеності.

Здійснювати феноменологічний та теоретичний опис одержаних результатів моделювання, пов’язуючи їх із сучасними фізичними теоріями та висунутими гіпотезами.

Презентувати результати комп’ютерного моделювання у формі наукових звітів, доповідей чи публікацій відповідно до вимог наукової спільноти.

Програмні результати навчання:

ПРН 1. Застосовувати концептуальні та спеціалізовані знання з фізики твердого тіла для розв'язання складних наукових задач і практичних проблем у моделюванні фізичних процесів.
ПРН 2. Проводити теоретичні та комп'ютерні дослідження фізичних процесів у твердих тілах, критично аналізувати отримані результати в контексті сучасних теорій, робити аргументовані висновки та оцінювати ступінь невизначеності результатів.
ПРН 4. Обирати й застосовувати відповідні методи статистичної обробки, візуалізації та аналізу даних комп'ютерного експерименту з оцінюванням їх достовірності.
ПРН 5. Здійснювати феноменологічний, математичний та комп'ютерний опис фізичних явищ, фазових переходів і процесів переносу в твердих тілах.
ПРН 6. Обирати ефективні математичні методи, чисельні схеми та інформаційні технології для здійснення досліджень у галузі фізики твердого тіла.
ПРН 12. Розробляти, модифікувати та застосовувати ефективні обчислювальні алгоритми та спеціалізовані програмні комплекси для дослідження моделей об'єктів і процесів у конденсованому стані.
ПРН 13. Створювати адекватні фізичні та комп'ютерні моделі конденсованих систем, перевіряти їх коректність, аналізувати межі застосовності моделей та отримувати нові наукові дані про фізичні властивості матеріалів.

1.8. Пререквізити: вказати перелік дисциплін, що передують вивченню даної дисципліни.

Для успішного засвоєння теоретичного матеріалу, виконання комп'ютерних практичних робіт та побудови алгоритмів симуляції здобувачі вищої освіти повинні попередньо опанувати такі навчальні дисципліни: Основи фізики конденсованого стану / Фізика твердого тіла; Статистична фізика та термодинаміка ; Кристалографія та кристалофізика; Математичні та комп'ютерно-обчислювальні дисципліни; Методи математичної фізики та диференціальні рівняння; Обробка результатів фізичних досліджень.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА ЧИСЕЛЬНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Тема 1. Моделювання як метод наукового пізнання.

Комп'ютерні моделі та їхні види. Поняття моделі. Цілі моделювання. Комп'ютерне моделювання: методи, процеси та сфери застосування. Моделювання і системний підхід. Якісні та кількісні моделі.

Тема 2. Формати представлення даних у пам'яті комп'ютера.

Типи та характеристики пам'яті комп'ютера. Регістровий файл процесора. Пам'ять з асоціативним доступом. Основна пам'ять. Оперативний запам'ятовуючий пристрій. Постійний запам'ятовуючий пристрій. Зовнішня пам'ять. Оптична пам'ять. Магнітні стрічки.

Тема 3. Числові дискретні моделі.

Позиційні системи числення. Двійкові, вісімкові та шістнадцяткові числа. Переведення чисел із системи числення з основою к у десяткову систему. Переведення чисел із десяткової системи у систему числення з основою. Представлення чисел зі знаком. Прямий код. Обернений код. Доповняльний код. Формати даних. Способи представлення чисел. Числа з фіксованою комою. Числа із рухомою комою.

Тема 4. Аналіз похибок розрахунків для методів обчислень: два види похибок.

Процедура вимірювання та вимірювальні операції. Метрологічне забезпечення вимірювань. Класифікація вимірювань. Основні характеристики вимірювань. Похибка вимірювання. Принципи, засоби та методи вимірювання. Збіжність вимірювань. Відтворюваність вимірювань. Статистична обробка результатів вимірювань. Прямі вимірювання. Непрямі вимірювання.

Тема 5. Огляд основних математичних задач, що виникають в процесі моделювання фізичних процесів.

Розрахунок статичних та динамічних властивостей у методі молекулярної динаміки. Автокореляційна функція швидкостей. Середньоквадратичні зміщення. Розрахунки дифузії та в'язкості за допомогою формул Гріна-Кубо.

Тема 6. Статистичні методи і моделювання фізичних процесів.

Алгоритм методу Монте-Карло. Застосування методу Монте-Карло для дослідження критичних явищ. Ізотермічний та ізобаричні ансамблі у методі Монте-Карло.

РОЗДІЛ 2. ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ, ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ У МОДЕЛЮВАННІ ФІЗИКИ ТВЕРДОГО ТІЛА

Тема 1. Комп'ютерні моделі та їх види. Класифікація математичних моделей.

Комп'ютерне моделювання. Принципи комп'ютерного моделювання. зв'язок с іншими методами пізнання. Види комп'ютерних моделей. Класифікація комп'ютерних моделей по типу математичної схеми. Області застосування комп'ютерних моделей.

Тема 2. Реалізація методів обчислень у середовищі MS Excel.

Проведення обчислень в електронних таблицях. Використання формул і вбудованих функцій. Структурування даних і використання засобу «Подбор параметра» для проведення обчислень. Обчислення функціональних залежностей та побудова їх графіків.

Тема 3. Дослідження лінійної моделі у середовищі Maple.

Елементи роботи. Елементи мови MATLAB. Загальні відомості. Двовимірна графіка. Оформлення графіків в середовищі MATLAB. Тривимірна графіка.

Тема 4. Реалізація методів обчислень у середовищі Mathcad.

Проведення простих обчислень та обчислень з дискретними змінними. Знаходження коренів поліномів. Розв'язування систем лінійних і нелінійних рівнянь. Пошук екстремумів функції однієї і декількох змінних. Чисельні методи диференціювання та інтегрування.

Тема 5. Основні засоби графічного відображення інформації.

Основні типи двовимірних графіків Основні типи двовимірних графіків. Побудова тривимірних графіків. Поняття про графічні структури та операції з ними.

Тема 6. Використання штучного інтелекту (AI) для обробки та моделювання фізичних процесів.

Тема присвячена вивченню та практичному застосуванню методів штучного інтелекту (AI) та машинного навчання (ML) у фізиці конденсованого стану та матеріалознавстві. Розглядаються сучасні підходи до заміна мікроскопічних розрахунків сурогатними нейромережевими моделями, використання Physics-Informed Neural Networks (PINN) для розв'язання рівнянь математичної фізики, а також алгоритми машинного навчання для аналізу спектральних, дифракційних та електронно-мікроскопічних даних. Окрему увагу приділено генеративному дизайну нових матеріалів із заданими фізичними властивостями та створенню ML-потенціалів міжатомної взаємодії для прискорення молекулярно-динамічних симуляцій.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів	Кількість годин					
	денна форма					
	усього	у тому числі				
		л	п	лаб.	інд.	с. р.
1	2	3	4	5	6	7
Розділ 1. Теоретичні основи комп'ютерного моделювання та чисельні методи дослідження фізичних процесів						
Разом за розділом 1	75	15	20			40
Розділ 2. Програмні засоби, обчислювальні технології та штучний інтелект у моделюванні фізики твердого тіла						
Разом за розділом 2	105	18	24			63
Усього годин	180	33	44			103

4. Теми курсових робіт.

Не передбачено навчальним планом

5. Завдання для самостійної роботи.

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Опрацювання поняття моделі, цілей і методів моделювання. Вивчення класифікації комп'ютерних моделей та їх застосування у фізиці твердого тіла.	8
2	Вивчення типів пам'яті комп'ютера, форматів представлення даних і принципів зберігання числової інформації.	6
3	Опрацювання позиційних систем числення, способів представлення чисел зі знаком, форматів із фіксованою та рухомою комою. Виконання розрахункових завдань.	8
4	Вивчення методів оцінювання похибок обчислень і вимірювань. Опрацювання абсолютної та відносної похибок, збіжності й відтворюваності результатів.	8
5	Ознайомлення з основними математичними задачами комп'ютерного моделювання фізичних процесів. Вивчення автокореляційної функції швидкостей, середньоквадратичного зміщення та формул Гріна – Кубо.	10
6	Опрацювання статистичних методів моделювання. Вивчення алгоритму Монте-Карло та його застосування для дослідження фізичних систем і критичних явищ.	8
7	Вивчення принципів побудови математичних і комп'ютерних моделей, їх класифікації та особливостей застосування у фізиці твердого тіла.	7
8	Самостійне опрацювання методів проведення обчислень у MS Excel. Використання формул, вбудованих функцій, підбору параметрів і побудови графіків функціональних залежностей.	8
9	Ознайомлення із середовищами Maple та MATLAB. Вивчення основних команд, виконання математичних обчислень і побудова двовимірних та тривимірних графіків.	10
10	Опрацювання можливостей Mathcad для розв'язування систем рівнянь, знаходження коренів поліномів, визначення екстремумів функцій, чисельного диференціювання та інтегрування.	10
11	Вивчення методів графічного представлення результатів комп'ютерного моделювання. Побудова та аналіз двовимірних і тривимірних графіків фізичних залежностей.	6
12	Ознайомлення з методами штучного інтелекту та машинного навчання у фізиці твердого тіла. Вивчення принципів роботи нейромережевих моделей і Physics-Informed Neural Networks (PINN).	7
13	Опрацювання застосування машинного навчання для аналізу фізичних даних, моделювання міжатомних взаємодій і прогнозування властивостей матеріалів. Підготовка короткого огляду сучасних наукових застосувань.	7
	Разом	103

6. Індивідуальні завдання

Не передбачені навчальним планом.

7. Методи навчання

Під час викладання навчальної дисципліни використовуються такі методи навчання: лекції, консультації та підсумковий контроль у формі заліку відповідно до робочої програми дисципліни.

В умовах дії воєнного стану в Україні проведення навчальних занять відповідно до наказів університету може здійснюватися в дистанційному або змішаному форматі. У такому

разі застосовуються такі форми організації освітнього процесу:

- Лекції та практичні роботи проводяться в онлайн-режимі з використанням платформи Zoom.
- Консультації проводяться в аудиторному або дистанційному форматі з використанням платформ Zoom чи Google Meet.
- Підсумковий контроль (залік) здійснюється в аудиторному або дистанційному форматі з використанням платформи Zoom та системи управління навчанням LMS Moodle.
- Навчально-методичне забезпечення дисципліни розміщується до початку занять на офіційному вебсайті факультету або в системі LMS Moodle, що забезпечує здобувачам освіти доступ до необхідних навчальних матеріалів.

8. Методи контролю

У процесі вивчення дисципліни передбачено поточний контроль успішності та семестровий підсумковий контроль. Поточний контроль здійснюється шляхом перевірки виконання практичних завдань за відповідними розділами навчальної програми. Семестровий підсумковий контроль проводиться у формі заліку під час залікової сесії наприкінці семестру.

9. Схема нарахування балів

Підсумковий семестровий контроль в формі заліку з виконанням залікової роботи

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання			Залікова робота	Сума балів
Поточний контроль		Активна участь на заняттях		
Розділ 1 Т1 –Т6 Практичні завдання	Розділ 2 Т1-Т6 Практичні завдання			
20	30	10	60	100

Для допуску до складання підсумкового контролю (заліку, або екзамену) здобувач вищої освіти повинен набрати не менше 10 балів з навчальної дисципліни під час поточного контролю, самостійної роботи, індивідуального завдання.

Критерії оцінювання навчальних досягнень

Протягом семестру студент може отримати максимум 60 балів за виконання практичних робіт і активну участь на заняттях (семестрова оцінка (S)). Практичні роботи передбачають перевірку засвоєння теоретичних основ комп'ютерного моделювання фізичних процесів і явищ у фізиці твердого тіла, розуміння математичних моделей, чисельних методів та алгоритмів моделювання, а також уміння використовувати сучасне програмне забезпечення для розрахунків, аналізу та візуалізації результатів моделювання.

За кожну практичну роботу студент отримує оцінку, яка враховує правильність і повноту виконання завдання, коректність побудови моделі, правильність застосування чисельних методів, якість аналізу отриманих результатів, оформлення звіту та обґрунтованість зроблених висновків.

Оцінювання практичних робіт здійснюється за десятибальною шкалою з кроком 1 бал. Кожна оцінка визначається відповідно до ступеня виконання поставленого завдання. Робота вважається виконаною належним чином, якщо студент самостійно реалізував модель фізичного процесу, правильно застосував відповідні методи чисельного моделювання, виконав аналіз отриманих результатів і продемонстрував розуміння фізичного змісту проведених розрахунків. У разі виявлення академічної недоброчесності оцінювання здійснюється відповідно до чинних нормативних документів університету.

Семестрова оцінка (S), виражена в балах за стобальною шкалою, визначається за результатами виконання практичних робіт і становить максимум 60 балів. Порядок її обчислення встановлюється відповідно до кількості практичних робіт та прийнятої системи оцінювання.

Підсумковий контроль із навчальної дисципліни «Комп'ютерне моделювання фізичних процесів і явищ у фізиці твердого тіла» проводиться у формі заліку. За результатами виконання залікової роботи студент може отримати максимум 40 балів (оцінка (E)). Залікові завдання передбачають перевірку теоретичних знань із методів комп'ютерного моделювання, розуміння фізичних процесів у твердому тілі, уміння обирати адекватні математичні моделі, застосовувати чисельні методи для розв'язання задач і аналізувати результати комп'ютерних розрахунків. Під час оцінювання враховуються правильність і повнота відповідей, рівень засвоєння теоретичного матеріалу, здатність застосовувати набуті знання для розв'язання практичних завдань та обґрунтовувати результати моделювання.

Підсумкова оцінка (P) з навчальної дисципліни «Комп'ютерне моделювання фізичних процесів і явищ у фізиці твердого тіла» визначається як сума семестрової оцінки (S) та оцінки за екзамен (E): **P = S + E**.

Максимальна підсумкова оцінка становить 100 балів. Отримана оцінка переводиться в оцінку за національною шкалою та шкалою ЄКТС відповідно до затвердженої в університеті таблиці переведення балів.

У межах дисципліни застосовуються такі моделі використання ШІ:

1. Модель «ШІ заборонено».

Використання технологій штучного інтелекту не допускається під час виконання контрольних заходів, спрямованих на перевірку індивідуальних знань і сформованості компетентностей здобувача освіти, зокрема: усного опитування, модульних контрольних робіт, екзамену (заліку), якщо інше не визначено викладачем, інших видів оцінювання, для яких викладачем встановлено обмеження щодо використання ШІ.

2. Модель «ШІ як асистент».

Під час підготовки до практичних занять, виконання індивідуальних завдань, рефератів, аналітичних оглядів та інших письмових робіт дозволяється використання ШІ для: пошуку та систематизації інформації, добору та первинного аналізу наукових джерел, пояснення складних понять, удосконалення структури тексту, перевірки граматики, стилю та оформлення, генерації ідей, плану роботи або прикладів.

Фінальний текст роботи, висновки, аналіз, інтерпретація результатів та прийняті рішення повинні бути самостійно підготовлені здобувачем освіти.

3. Модель «ШІ як інструмент».

Для окремих лабораторних, практичних, проєктних або дослідницьких робіт використання технологій штучного інтелекту може бути обов'язковою складовою виконання завдання. У таких випадках здобувачі освіти можуть використовувати генеративні моделі ШІ для: аналізу та підготовки даних, генерації, аналізу й оптимізації програмного коду, порівняння результатів роботи різних моделей ШІ, створення візуалізацій, схем або зображень, аналізу великих масивів даних. проведення експериментів із застосуванням сучасних інструментів штучного інтелекту.

Усі результати, отримані за допомогою ШІ, підлягають критичному аналізу, перевірці та доопрацюванню здобувачем освіти.

Декларування використання ШІ.

У разі використання технологій штучного інтелекту здобувач освіти зобов'язаний зазначити: назву сервісу або моделі ШІ; дату використання; характер допомоги (генерація ідей, пошук інформації, аналіз даних, генерація коду, редагування тексту тощо).

За вимогою викладача здобувач освіти повинен надати використані запити (prompts) або пояснити спосіб використання інструментів ШІ.

Недекларованe використання технологій штучного інтелекту або подання згенерованого

ШІ матеріалу як власного результату навчальної діяльності розглядається як порушення принципів академічної доброчесності відповідно до внутрішніх нормативних документів Університету.

У випадку наявності неформальної освіти вказати платформи, назви курсів та кількість балів, що буде зарахована здобувачеві після успішного проходження відповідних курсів та надання відповідного документа (сертифікат, свідоцтво, тощо).

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

1. Використання системи комп'ютерного моделювання в умовах дистанційного навчання: збірник матеріалів / за заг. ред. С. Г. Литвинової., О.М. Соколюк. Київ: ФОП Ямчинський О.В., 2020. 195 с.
2. Поліщук О. П. GlowScript – Хмарний засіб навчання комп'ютерного моделювання фізичних процесів / О. П. Поліщук, І. О. Теплицький, С. О. Семеріков // Хмарні технології в освіті: матеріали Всеукраїнського науково-методичного Інтернет-семінару (Кривий Ріг – Київ – Черкаси – Харків, 21 грудня 2012 р.). – Кривий Ріг: Видавничий відділ КМІ, 2012. – С. 142.
3. Johnson, M., Skarphol, M. The effects of digital portfolios and flipgrid on student engagement and communication in a connected learning secondary visual arts classroom. Retrieved from Sophia, the St. Catherine University repository. 2018. URL: https://sophia.stkate.edu/maed/270
4. Online Tools for Teaching & Learning. Designed by students in EDUC 595A at the University of Massachusetts Amherst. https://blogs.umass.edu/onlinetools/communitycentered-tools/flipgrid/
5. Giordano N. J. Computational Physics. New Jersey: PrenticeHall, 1997. – 419 p.
6. Phillipson P. E., Schuster P. Modeling by Nonlinear DifferentialEquations: Dissipative and Conservative Processes. – WorldScientific Publishing, 2009. – 225 p.
7. Буряк Ю. В. Проблема оптимізації застосування комп'ютерних технологій у фізичному експерименті / Ю. В. Буряк // Наукові записки Рівненського державного гуманітарного університету. – 2009. – №9. – С. 17-19.
8. H. Gould, J.Tobochnik, W. Christian, Introduction to Computer Simulation Methods: Applications to Physical Systems, third edition, Pearson Addison Wesley, 2006, – 720 pp.
9. K. Binder, D. W. Heerman, Monte Carlo Simulation in Statistical Physics, 5th edition, Springer-Verlag, 2010, – 216 pp.
10. А. Свідзинський. Математичні методи теоретичної фізики, Київ 2009, видавництво Інституту теоретичної фізики ім. Боголюбова, том 2., 394 с.

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

1. **Платформа CPVR (Rust-based simulations)** – практичний посібник, що фокусується саме на Computational Solid State Physics. Містить коди та алгоритми для обчислення електронної структури, фононного розсіювання, дефектів та магнітних явищ за допомогою мови Rust. https://cpvr.rantai.dev/docs/part-8-main/
2. **«Комп'ютерне моделювання матеріалів»** – україномовна відеолекція від КНУ ім. Тараса Шевченка на YouTube, яка чудово вводить у проблематику сучасного матеріалознавства. https://www.youtube.com/watch?v=tJVIwiy_jy0
3. **David Tong: Solid State Physics (University of Cambridge)** – конспекти світового рівня, які детально розглядають кристалічні ґратки, теорію сильного зв'язку (tight-binding) та фононні спектри, що є фундаментом для чисельного моделювання. https://davidtong.org/teaching/solid-state-physics/
4. **Introduction to Solid State Physics.** Розгорнутий англомовний курс лекцій на YouTube, що детально розбирає фізику напівпровідників, магнетизм та надпровідність, які є базою для побудови моделей**:** https://www.youtube.com/playlist?list=PLtTPtV8SRcxi91n9Mni2xcQX4KhjX91xp
5. **MIT OpenCourseWare: Physics for Solid-State Applications.** Класичний курс від Массачусетського технологічного інституту, що містить повний набір лекцій, які поєднують квантову механіку кристалів із транспортними моделями в напівпровідникових приладах. https://ocw.mit.edu/courses/6-730-physics-for-solid-state-applications-spring-2003/
6. **Introduction to Computational Physics (Richard Fitzpatrick)** – повнотекстовий підручник з обчислювальної фізики, який містить готові алгоритми розв'язання диференціальних рівнянь та методів Монте-Карло.Quantum ESPRESSO – Tutorials and Lectures**.** https://farside.ph.utexas.edu/teaching/329/329.pdf
7. Навчальні курси, відеолекції та методичні матеріали з розрахунку електронної структури кристалів, зонної структури, густини електронних станів і фізичних властивостей твердих тіл на основі теорії функціонала густини. URL: https://www.quantum-espresso.org/learn/
8. **Computational Materials Physics.** Відкритий навчальний курс із комп'ютерного моделювання матеріалів, що містить відеолекції, навчальні тексти та завдання з розрахунків властивостей матеріалів із перших принципів. URL: https://www.compmatphys.org/
9. **MIT 18.337J: Physics-Informed Machine Learning** – відкриті лекції та матеріали Массачусетського технологічного інституту, присвячені диференційованому програмуванню та інтеграції фізичних законів у ШІ. https://computationalthinking.mit.edu/Fall24/
10. **NumPy.** Навчальні матеріали з чисельних обчислень, матричних операцій, обробки масивів даних і реалізації математичних моделей фізичних систем. URL: https://numpy.org/learn/
11. **Matplotlib.** Навчальні матеріали з побудови графіків, візуалізації результатів комп'ютерного моделювання, аналізу залежностей фізичних величин і представлення результатів обчислювальних експериментів. URL: https://matplotlib.org/stable/
12. **LAMMPS – Molecular Dynamics Simulator.** Програмний комплекс і навчальні посібники для моделювання атомної та молекулярної динаміки, дослідження теплового руху атомів, дефектів кристалічної ґратки, механічних властивостей і структурних перетворень у твердих тілах. URL: https://www.lammps.org/
13. **Інше навчально-методичне забезпечення:** конспект лекцій; електронні презентації; методичні рекомендації до виконання практичних робіт; індивідуальні завдання з комп'ютерного моделювання фізичних процесів; приклади програмного коду; вихідні дані для обчислювальних експериментів; інструкції з використання програмних комплексів; відеозаписи демонстрацій моделювання; завдання для самостійної роботи та контрольні запитання для перевірки засвоєння навчального матеріалу.