Національний технічний університет України
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Кафедра загальної фізики та моделювання фізичних процесів

ВИБРАНІ МЕТОДИ КОМП'ЮТЕРНОГО АНАЛІЗУ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	***Третій (освітньо-науковий)***
Галузь знань	*Е Природничі науки, математика та статистика*
Спеціальність	*Е5 Фізика та астрономія*
Освітня програма	*Фізика*
Статус дисципліни	*Нормативна*
Форма навчання	*Очна (денна)*
Рік підготовки, семестр	*2 курс, весняний семестр*
Обсяг дисципліни	*5 кредитів ECTS*
Семестровий контроль/ контрольні заходи	*Екзамен, модульна контрольна робота*
Розклад занять	*http://rozklad.kpi.ua/*
Мова викладання	*Українська*
Інформація про керівника курсу / викладачів	*Лектор : д.ф.-м.н., с.н.с. Саріков Андрій Вікторович, andrey.sarikov@gmail.com Лабораторні: : д.ф.-м.н., с.н.с. Саріков Андрій Вікторович, andrey.sarikov@gmail.com*
Розміщення курсу	*campus.kpi.ua*

Програма навчальної дисципліни

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

Навчальна дисципліна «Вибрані методи комп'ютерного аналізу» належить до циклу професійної підготовки фахівців фізичних спеціальностей.

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів здатностей проводити комп'ютерне моделювання фізичних процесів на різних рівнях – макроскопічному, мікроскопічному та атомарному.

Предметом дисципліни є навчання і підготовка фахівця з напряму підготовки Е5 «Фізика та астрономія», який зможе користуватись методами чисельного моделювання та Монте-Карло в процесі вирішення фізичних задач.

Завданнями даної дисципліни є формування у студентів знань стосовно принципів, що лежать в основі методів чисельного моделювання та Монте-Карло, можливостей, характеристик та особливостей застосування цих методів для моделювання фізичних процесів й інтерпретації отриманих результатів.

Навчальна дисципліна формує у студентів наступні *загальні* та *фахові компетентності*:

Загальні компетентності:

ЗК01. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях

ЗК02. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ЗК04. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК06. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми.

Фахові компетентності:

ФК01. Здатність використовувати закони та принципи фізики та/або астрономії у поєднанні із потрібними математичними інструментами для опису природних явищ.
ФК02. Здатність формулювати, аналізувати та синтезувати рішення наукових проблем в області фізики та/або астрономії.
ФК05. Здатність сприймати новоздобуті знання в області фізики та/або астрономії та інтегрувати їх із уже наявними, а також самостійно опановувати знання і навички, необхідні для розв'язання складних задач і проблем у нових для себе деталізованих предметних областях фізики та/або астрономії й дотичних до них міждисциплінарних областях.

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі ***програмні результати навчання***:

ПРН01 Вміти використовувати концептуальні та спеціалізовані знання і розуміння актуальних проблем і досягнень обраних напрямів сучасної теоретичної і експериментальної фізики та/або астрономії для розв'язання складних задач і практичних проблем.
ПРН02 Вміти проводити експериментальні та/або теоретичні дослідження з фізики та/або астрономії, аналізувати отримані результати в контексті існуючих теорій, робити аргументовані висновки (включаючи оцінювання ступеня невизначеності) та пропозиції щодо подальших досліджень.
ПРН04 Обирати і використовувати відповідні методи обробки та аналізу даних фізичних та/або астрономічних досліджень і оцінювання їх достовірності.
ПРН05 Здійснювати феноменологічний та теоретичний опис досліджуваних фізичних та/або астрономічних явищ, об'єктів і процесів.
ПРН06 Вміти обирати ефективні математичні методи та інформаційні технології та застосовувати їх для здійснення досліджень та/або інновацій в області фізики та/або астрономії.
ПРН11 Уміти застосовувати теорії, принципи і методи фізики та/або астрономії для розв'язання складних міждисциплінарних наукових і прикладних задач.
ПРН12 Розробляти та застосовувати ефективні алгоритми та спеціалізоване програмне забезпечення для дослідження моделей фізичних та/або астрономічних об'єктів і процесів, обробки результатів експериментів і спостережень.
ПРН13 Створювати фізичні, математичні і комп'ютерні моделі природних об'єктів та явищ, перевіряти їх адекватність, досліджувати їх для отримання нових висновків та поглиблення розуміння природи, аналізувати обмеження.

Отримані практичні навички та засвоєні теоретичні знання під час вивчення навчальної дисципліни «Вибрані методи комп'ютерного аналізу» можна використовувати в подальшому для виконання прикладних та фундаментальних наукових досліджень, що формують нові природничо-наукові знання.

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

Вивчення даної дисципліни базується на дисциплінах «Фізика твердого тіла», «Термодинаміка і статистична фізика», «Квантова механіка». Необхідні також знання вищої математики та досвід математичного моделювання і програмування, який аспіранти отримують підчас навчання на 1 – 4 курсах та в магістратурі. Необхідним також є базовий рівень володіння англійською мовою для читання посібників та оригінальних наукових статей в англомовних журналах.

Знання, отримані аспірантами з дисципліни «Вибрані методи комп'ютерного аналізу», використовуються при підготовці аспірантами наукових доповідей та наукових статей, а також при захисті дисертації.

3. Зміст навчальної дисципліни

На вивчення навчальної дисципліни відводиться 150 годин / 5 кредитів ECTS.

Рекомендований розподіл навчального часу

Форма навчання	Всього		Розподіл навчального часу за видами занять					Семестрова атестація
	кредитів	годин	Лекції	Лабораторні заняття	СРС			
					Пшдготовка до екзамену	МКР	Підготовка до занять	
Денна	5	150	18	36	30	18	48	**екзамен**

Дисципліна “Вибрані методи комп’ютерного аналізу” включає наступні теми:

Тема 1. Вступна лекція
Тема 2. Вступ до чисельних методів моделювання
Тема 3. Звичайні диференціальні рівняння
Тема 4. Задача Коші для звичайних диференціальних рівнянь
Тема 5. Моделювання фізичних процесів з використанням диференціальних рівнянь з частинними похідними I
Тема 6. Моделювання фізичних процесів з використанням диференціальних рівнянь з частинними похідними II
Тема 7. Вступ до методів Монте-Карло
Тема 8. Кінетичні методи Монте-Карло
Тема 9. Моделювання термодинамічних ансамблів методом Монте-Карло

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література:

1. В. М. Задачин, І. Г. Конюшенко, Чисельні методи, Харків: Вид. ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2014, 180 с.М.
2. Hjorth-Jensen, Computational Physics, University of Oslo, 2006, 375 p.
3. Monte Carlo simulations lecture course by Kai Nordlund, http://beam.helsinki.fi/~knordlun/mc/.
4. Philipp O. J. Scherer, Computational Physics. Simulation of Classical and Quantum Systems, Springer, 2010, 336 p.

Додаткова література:

1. Г. Корн, Т. Корн, Справочник по математике для научных работников и инженеров, М.: Наука, 1973, 832 с.
2. Monte Carlo simulation, https://web.northeastern.edu/afeiguin/phys5870/phys5870/node78.html.
3. D. Landau and K. Binder, A guide to Monte Carlo simulations in statistical physics, New York: Cambridge University Press, 2009, 471 p.
4. D. Frenkel and B. Smit, Understanding molecular simulation, San Diego, San Francisco, New York, Boston, London, Sydney, Tolyo: Academic Press, 2002, 638 p.
5. I. Dimov, Monte Carlo methods for applied scientists, World Scientific, 2015, 308 p.
6. Л. О. Волонтир, Л. В. Зелінскьа, Н. А. Потапова, І. А. Чіков, Чисельні методи. Навчальний посібник, ВНАУб 2020, 322 с.
7. A. Sarikov, V. Litovchenko, I. Lisovskyy, I. Maidanchuk, S. Zlobin, Role of oxygen migration in the kinetics of the phase separation of nonstoichiometric silicon oxide films during high-temperature annealing, Appl. Phys. Lett. **91**, 133109 (2007).
8. A. Sarikov, J. Schneider, J. Berghold, M. Muske, I. Sieber, S. Gall, W. Fuhs, A kinetic simulation study of the mechanisms of aluminum induced layer exchange process, J. Appl. Phys. **107**, 114318 (2010).

9. A. Sarikov, M. Semenenko, S. Shahan, Percolation threshold in annealed ultrathin SiO_x films by 2D Monte Carlo simulations, CrystEngComm **26**, 2836 (2024).
10. Т. П. Гой, М. І. Копач, І. В. Федак, Наближені методи розв'язування диференціальних рівнянь, Івано-Франківськ: Видавничо-дизайнерський відділ Центру інформаційних технологій Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, 2008, 157 с.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

В рамках дисципліни заплановано проведення лекційних, лабораторних занять та самостійної роботи студентів. Теми дисципліни взаємозв'язані, матеріал вивчається в логічній послідовності. На лекційних заняттях розкриваються найбільш суттєві теоретичні питання, які дозволяють забезпечити студентам можливість глибокого самостійного вивчення всього програмного матеріалу. Теми та порядок виконання лабораторних занять сформовано в логічній послідовності і повністю узгоджуються з метою дисципліни. Лекційні та лабораторні знання поглиблюються шляхом самостійної роботи з використанням рекомендованої літератури та глобальної мережі Internet. Заняття проводяться у комп'ютерній лабораторії (у разі очного режиму навчання) та із застосуванням програми віддаленого доступу до ПК у лабораторії через Anydesk (у разі дистанційного режиму навчання). Лекції проводяться у вигляді презентації теоретичного матеріалу з використанням мультимедіа-проектора. Лабораторні заняття з відповідної теми проводяться з використанням ПК. Модульна контрольна робота проводиться на атестаційних тижнях у комп'ютерній лабораторії. Велика частина методичних матеріалів міститься у вищевказаній методичній літературі.

Лекційні заняття

№ з/п	**Назва теми та перелік основних питань** *(перелік дидактичних засобів з посиланням на літературу)*
1	**Вступна лекція** *Мета та структура курсу. Моделі та моделювання. Використання моделювання при розв'язанні наукових задач. Методи моделювання на різних масштабах: з перших принципів, молекулярної динаміки, Монте-Карло, чисельного моделювання. Задачі, що розв'язують з використанням методів моделювання на різних масштабах. Обмеження зазначених методів за модельованим часом, розміром модельованої системи, надійностю отриманих результатів та використанням обчислювальних ресурсів. Взаємне використання результатів, отриманих різними методами.*
2	**Вступ до чисельних методів моделювання** *Основні поняття теорії різницевих схем. Формули чисельного диференціювання функцій, особливості їх застосування. Чисельне інтегрування функцій. Диференціальні та інтегро-диференціальні рівняння, що описують протікання фізичних процесів. Рівняння у нормованих координатах.*
3	**Звичайні диференціальні рівняння** *Звичайні диференціальні рівняння. Фізичні процеси і явища, що моделюються звичайними диференціальними рівняннями. Принципи складання диференціальних рівнянь, що описують протікання (квазі)хімічних реакцій різних порядків та типів: перетворення, синтезу, послідовних та паралельних реакцій. Принцип детальної рівноваги. Диференціальні рівняння у нормованих змінних.*
4	**Задача Коші для звичайних диференціальних рівнянь**

	Що таке звичайні диференціальні рівняння. Задачі, що описуються звичайними диференціальними рівняннями. Постановка задачі Коші. Сіткові методи інтегрування звичайних диференціальних рівнянь. Явний та неявний методи Ейлера, їхні модифікації. Методи Рунге-Кутта. Багатокрокові методи розв'язання звичайних диференціальних рівнянь. Системи звичайних диференціальних рівнянь. Жорсткі задачі Коші та методи їх розв'язання.
5	**Моделювання фізичних процесів з використанням диференціальних рівнянь з частинними похідними I** *Фізичні процеси, що моделюються диференціальними рівняннями з частинними похідними. Рівняння дифузії та теплопровідності. Явний та неявний методи розв'язання рівняння дифузії. Схема Кранка-Нікольсон. Застосування методу прогонки для розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь. Чисельні методи розв'язання рівняння переносу, їхні особливості. Чисельне моделювання складних процесів, що описуються різними типами диференціальних рівнянь.*
6	**Моделювання фізичних процесів з використанням диференціальних рівнянь з частинними похідними II** *Методи розв'язання хвильового рівняння. Крайові задачі для одновимірних диференціальних рівнянь другого порядку. Методи стрільби та скінченних різниць. Стаціонарна дифузія та теплопровідність у двовимірній області. Рівняння Пуассона і Лапласа. Методи розв'язання рівнянь Пуассона і Лапласа: метод сіток, ітераційний метод Лібмана, метод Монте-Карло.*
7	**Вступ до методів Монте-Карло** *Що таке методи Монте-Карло? Прості задачі, що можуть бути розв'язані методами Монте-Карло. Генерація випадкових чисел. Обчислення інтегралів методом Монте-Карло. Оцінка точності отриманих результатів. Закон великих чисел. Центральна гранична теорема. Випадкова вибірка та вибірка за значимістю. Марківські процеси.*
8	**Кінетичні методи Монте-Карло** *Що таке кінетичні методи Монте-Карло. Кінетичні методи Монте-Карло на ґратці та об'єктний. Випадкові блукання. Константи швидкості. Час очікування події. Алгоритми кінетичних методів Монте-Карло. Принцип детальної рівноваги. Приклади моделювання процесів кінетичним методом Монте-Карло.*
9	**Моделювання термодинамічних ансамблів методом Монте-Карло** *Види термодинамічних ансамблів. Канонічний ансамбль. Алгоритм Метрополіса. Мікроканонічний, ізобарно-ізотермічний та великий канонічний ансамблі. Розрахунок термодинамічних характеристик модельованої системи. Модель Ізінга. Симуляція відпалу.*

Практичні заняття

№ з/п	**Назва теми** *(перелік завдань, які виконуються під керівництвом викладача)*
1	*Скласти систему еволюційних рівнянь для моделювання кінетики протікання ряду послідовних та паралельних хімічних реакцій. Визначити можливість зменшення до мінімуму кількості рівнянь, обов'язкових для розв'язання із використанням чисельних методів.*
2-3-4	*Скласти систему еволюційних рівнянь для субстрат-ферментного процесу. Написати програмний код для чисельного моделювання цього процесу з використанням одно- та багатокрокових схем. Написати програмний код для розрахунку часової залежності концентрації продукту p з використанням методів чисельного інтегрування – з*

	інтерполяцією функції та в квадратурах. Модифікувати алгоритми моделювання еволюції системи для випадків значної відмінності між швидкостями протікання різних процесів.
5-6	*Написати програмний код та промоделювати з використанням схеми Кранка-Нікольсон еволюцію гаусового розподілу концентрації речовини внаслідок одновимірної дифузії. Результати чисельного моделювання порівняти з точними розв'язками рівняння дифузії.*
7-8-9	*Написати програмний код та провести моделювання еволюції функції розподілу наночастинок при фазовому розділенні нестехіометричного оксиду кремнію, що описується рівнянням Фоккера-Планка. Отримати залежність функції розподілу від часу термічного відпалу.*
10-11	*Отримати наближені значення визначених інтегралів від функцій, використовуючи методи інтегрування в квадратурах та Монте-Карло. Порівняти отримані значення інтегралів з відповідними точними значеннями. Оцінити точність інтегрування чисельними методами та методами Монте-Карло, а також порівняти трудомісткість різних методів інтегрування.*
12	*Отримати розподіли положень частинки, що дифундує на прямій, методом випадкових блукань для різних значень кількості стрибків. Апроксимувати отримані розподіли гаусовими функціями. Визначити напівширини апроксимованих розподілів та порівняти з теоретичними значеннями для випадкових блукань.*
13-14-15-16	*Написати програмний код та провести моделювання кінетики росту плівки на поверхні підкладинки методом Монте-Карло (алгоритм Борца-Карлоса-Лебовіца). Дослідити залежність морфології плівки від параметрів взаємодії між сусідніми атомами на поверхні.* *Або* *Написати програмний код та провести моделювання кінетики фазового розділення нестехіометричного оксиду кремнію методом Монте-Карло у двовимірному наближенні. Дослідити кінетику еволюції різних станів окиснення структурних одиниць оксиду кремнію та морфологію плівки залежно від початкового хімічного складу оксиду.*
17-18	*Промоделювати еволюцію системи, що складається з N^2 частинок, у двовимірній моделі Ізінга з періодичними граничними умовами при від'ємному значенні коефіцієнта взаємодії між сусідніми частинками з використанням алгоритму Метрополіса. У вихідному стані спіни всіх частинок мають значення +1. Дослідити залежність енергії системи від числа кроків.*

6. Самостійна робота студента/аспіранта

Самостійна робота здобувача наукового ступеня доктора філософії є основним засобом засвоєння навчального матеріалу у вільний від навчальних занять час і включає:

№ з/п	**Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання** *(завдання на СРС)*	Кількість годин СРС
1	**Підготовка до аудиторних занять**	48
2	**Підготовка до МКР**	18
3	**Підготовка до екзамену**	30

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед аспірантом:

• - правила відвідування занять: відповідно до Наказу 1-273 від 14.09.2020 р. заборонено оцінювати присутність або відсутність здобувача на аудиторному занятті, в тому числі нараховувати заохочувальні або штрафні бали. Відповідно до РСО даної дисципліни бали нараховують за відповідні види навчальної активності на лекційних та практичних заняттях.
• - правила поведінки на заняттях: студент має можливість отримувати бали за відповідні види навчальної активності на лекційних заняттях, передбачені РСО дисципліни. Використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску викладача, в інтернеті, в дистанційному курсі на платформі Сікорський здійснюється за умови вказівки викладача;
• - політика дедлайнів та перескладань: якщо аспірант не проходив або не з'явився на МКР (без поважної причини), його результат оцінюється у 0 балів. Перескладання результатів МКР не передбачено;
• - політика щодо академічної доброчесності: Кодекс честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» https://kpi.ua/files/honorcode.pdf встановлює загальні моральні принципи, правила етичної поведінки осіб та передбачає політику академічної доброчесності для осіб, що працюють і навчаються в університеті, якими вони мають керуватись у своїй діяльності, в тому числі при вивченні та складанні контрольних заходів з дисципліни «Вибрані методи комп'ютерного аналізу»;
• політика використання штучного інтелекту для академічної діяльності в КПІ ім. Ігоря Сікорського https://osvita.kpi.ua/sites/default/files/downloads/polityka-vykorystannia-shtuchnogo-intelektu_2023.pdf. В університеті визнається академічно нечесним такі способи використання моделей ШІ, які порушують принципи доброчесності та етики досліджень, наприклад:
– Видання тексту, згенерованого ШІ або перефразованого ШІ вмісту інших джерел, за власну роботу. Використання ШІ для автоматичної генерації текстів або перефразування наявного контенту без належного вказання джерел порушує принципи авторства та вважається плагіатом.
– Переопрацювання ШІ власної статті автора з метою повторного видання як нової статті. Використання ШІ для перетворення вже опублікованої роботи автора з метою створення вигляду нової публікації порушує Кодекс честі університету та самоідентифікацію в науковій роботі.
– Створення неправдивих даних і представлення їх як підтвердження власних досліджень (фабрикація даних). Генерація ШІ неправдивих даних та їх використання як підстави для наукових висновків є серйозним порушенням академічної доброчесності та може викликати негативні наслідки для якості досліджень та репутації дослідника.
• - при використанні цифрових засобів зв'язку з викладачем (мобільний зв'язок, електронна пошта, переписка на форумах та у соцмережах тощо) необхідно дотримуватись загальноприйнятих етичних норм, зокрема бути ввічливим та обмежувати спілкування робочим часом викладача.

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

Поточний контроль: опитування за темою заняття та за результатами самостійної роботи, МКР.

Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестровий контроль: екзамен.

Умови допуску до семестрового контролю: відсутні.

На першому занятті аспіранти ознайомлюються із рейтинговою системою оцінювання (РСО) дисципліни, яка побудована на основі «Положення про систему оцінювання результатів навчання», https://document.kpi.ua/files/2020_1-273.pdf

Рейтинг аспіранта з дисципліни складається з балів, які він отримує:

на лабораторних заняттях;

за модульну контрольну роботу (МКР);

Система рейтингових балів

1. Лабораторні заняття. Ваговий коефіцієнт дорівнює 4. Максимальна кількість балів, які може

отримати аспірант на лабораторних заняттях, становить 4 х 8 = 32 бали. Нарахування балів за один програмний код:
- відмінні відповіді з глубоким розуміння фізичного ефекту, що вивчається - 4 бали;
- дуже добрі, добрі відповіді — 3 бали;
- задовільні, достатні відповіді — 2 бали.

2. Модульна контрольна робота (МКР). Ваговий коефіцієнт дорівнює 8. Максимальна кількість балів за контрольну роботу становить 1 х 8 = 8 балів. Нарахування балів за контрольну роботу:
- «відмінно», повна відповідь (не менше 90 % потрібної інформації) 7-8 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75 % потрібної інформації або незначні неточності) 5-6 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60 % потрібної інформації та деякі помилки) 3-4 бали;
- «незадовільно», незадовільна відповідь (менше 60 % потрібної інформації) 0.

Необхідною умовою допуску до кезамену є стартовий рейтинг не менше 60 % від Rc, тобто 24 бали.

3. Екзамен. Завдання містить два теоретичні питання, кожне з яких оцінюються у 30 балів. Всього 2 х 30 = 60 балів. Нарахування балів за екзаменаційну відповідь:
- повна відповідь (не менше 90 % потрібної інформації) 54-60 балів;
- достатньо повна відповідь (не менше 75 % потрібної інформації) 45-53 бали;
- неповна відповідь (не менше 60 % потрібної інформації) 36-44 бали;
- незадовільна відповідь (менше 60 % потрібної інформації) 0.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	*Оцінка*
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

Якщо аспірант у підсумку набрав 60 балів і більше, але хоче підвищити свою рейтингову оцінку, то він може це зробити у співбесіді з викладачем.

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Типові питання, які виносяться на екзамен.

1. Моделі та моделювання. Математичне моделювання
2. Методи моделювання на різних масштабах. Багатомасштабне моделювання
3. Основні поняття теорії різницевих схем
4. Методи чисельного інтегрування функцій
5. Основні типи диференціальних рівнянь, які застосовують для моделювання фізичних процесів
6. Алгоритм моделювання із чисельним розв’язанням диференціальних рівнянь
7. Принцип детальної рівноваги та його застосування для визначення констант швидкості (квазі)хімічних реакцій
8. Задача Коші для звичайних диференціальних рівнянь першого порядку
9. Явні та неявні, одно- та багатокрокові методи чисельного моделювання кінетики процесів
10. Методи чисельного моделювання дифузійного процесу

11. Особливості чисельного розв’язання задач на рівняння переносу
12. Крайові задачі та задачі Коші для звичайних диференціальних рівнянь. Методи чисельного розв’язання крайових задач.
13. Методи Монте-Карло. Алгоритм моделювання методами Монте-Карло
14. Випадкові числа. Генерація випадкових чисел при моделюванні методами Монте-Карло
15. Інтегрування функцій із застосуванням методів Монте-Карло
16. Основна ідея кінетичних методів Монте-Карло. Кінетичні методи Монте-Карло на ґратці та об’єктний
17. Випадкові блукання
18. Константи швидкості та час очікування події при моделюванні кінетичними методами Монте-Карло
19. Алгоритм Борца-Карлоса-Лебовіца
20. Моделювання термодинамічних ансамблів
21. Види термодинамічних ансамблів
22. Алгоритм Метрополіса
23. Модель Ізінга
24. Симуляція відпалу

Сертифікати проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою можуть бути зараховані за умови виконання вимог, наведених у НАКАЗІ № 7-177 ВІД 01.10.2020 Р. «Про затвердження положення про визнання в КПІ ім. Ігоря Сікорського результатів навчання, набутих у неформальній/інформальній освіті».

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцентом, д.ф.-м.н. **Саріковим Андрієм Вікторовичем**

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

Погоджено Методичною комісією фізико-математичного факультету (протокол № 10 від 27.06.2025)