Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Кафедра комп'ютерної фізики

"ЗАТВЕРДЖУЮ"

Директор навчально-наукового інституту комп'ютерної фізики та енергетики

_____ Ірина ГАРЯЧЕВСЬКА

«___» _____ 2024 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

СТОХАСТИЧНІ ПРОЦЕСИ В ФІЗИЦІ

рівень вищої освіти	другий (магістерський)
галузь знань	10 Природничі науки
спеціальність	105 Прикладна фізика та наноматеріали
освітня програма	«Комп'ютерна фізика»
вид дисципліни	за вибором

навчально – науковий інститут комп'ютерної фізики та енергетики

2024 / 2025 навчальний рік

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

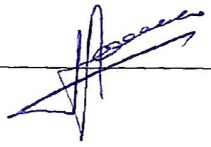
28 серпня 2024 року, протокол № 8/24

РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ:
Немченко Костянтин Едуардович, доктор фізико-математичних наук, професор

Програму схвалено на засіданні кафедри комп'ютерної фізики

Протокол від 28 серпня 2024 року № 8/24

Завідувач кафедри комп'ютерної фізики



_____ Костянтин НЄМЧЕНКО

Програму погоджено з гарантом освітньо-наукової програми «Комп'ютерна фізика»

Гарант освітньо-наукової програми «Комп'ютерна фізика»



_____ Костянтин НЄМЧЕНКО

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

Протокол від 28 серпня 2024 року № 8/24

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



_____ Денис ПРОТЕКТОР

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Стохастичні процеси в фізиці» складена відповідно до освітньо-наукової програми підготовки магістр

спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни є ознайомлення та володіння сучасними методами фізики стохастичних процесів.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни

Основними завданнями вивчення дисципліни є практичне застосування сучасних математичних методів фізики стохастичних процесів для розв'язування задач; створення математичної бази фізичних досліджень.

1.3. Кількість кредитів 4

1.4. Загальна кількість годин 120

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
За вибором	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
2-й	-й
Семестр	
3-й	-й
Лекції	
32 год.	год.
Практичні, семінарські заняття	
32 год.	год.
Лабораторні заняття	
0 год.	год.
Самостійна робота	
56 год.	год.
у тому числі індивідуальні завдання	
0 год.	

1.6. Заплановані результати навчання

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

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

Встановлювати та аргументувати нові залежності між параметрами та характеристиками фізичних систем.

В результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

знати: предметну область та розуміти особливості професійної діяльності.

вміти: вчитися і оволодівати сучасними знаннями, генерувати нові ідеї, володіти особливостями абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

Програмні результати навчання за освітньою програмою:

1. ПРН1. Використовувати знання в галузі прикладної фізики, математики, електроніки та інформаційних технологій для виконання наукових досліджень та розв'язання виробничих задач.
2. ПРН10. Мати розвинуту обгрунтовану наукову інтуїцію і вміти відображати та розробляти ефективні та особисті стратегії навчання.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Тема 1. Вступ до стохастичних процесів (1 година)
Основні поняття: випадкові величини, ймовірності, розподіли.
Стохастичні процеси: визначення, приклади, область застосування у фізиці.
Короткий огляд класичних детермінованих систем і їх відмінність від стохастичних систем.

Тема 2. Основи теорії ймовірностей та математичної статистики (1 година)
Ймовірнісні функції: функція щільності, функція розподілу. Моменти розподілів: математичне сподівання, дисперсія, кореляція. Закон великих чисел і центральна гранична теорема. Двовимірний розподіл випадкових величин.

Тема 3. Броунівський рух і рівняння Ланжевена (2 години)
Історичний контекст: відкриття Броунівського руху. Модель Ланжевена для частинки у середовищі. Виведення рівняння Ланжевена та його фізичний зміст. Спектр шуму та явище дисипації.

Тема 4. Розв'язання рівняння Ланжевена (4 години)
Приклад розв'язання рівняння Ланжевена для задачі про початковий нерівноважний стан частинок. Еволюція пучків частинок у середовищі.

Тема 5. Рівняння дифузії (2 години)
Фізичні обґрунтування рівняння дифузії. Приклад розв'язання рівняння дифузії для точкової початкової умови.

Тема 6. Рівняння Фоккера-Планка (2 години)
Зв'язок між рівнянням Ланжевена і рівнянням Фоккера-Планка.
Аналіз розподілів ймовірності для систем у стані рівноваги.
Приклади застосування в фізиці (дифузія, хімічна кінетика).

Тема 7. Розв'язання рівняння Фоккера-Планка (4 години)
Приклад розв'язання рівняння **Фоккера-Планка** для задачі про початковий нерівноважний стан частинок. Еволюція пучків частинок у середовищі.

Тема 8. Головне кінетичне рівняння для стохастичних процесів (2 години)
Стохастичні процеси. Марковські ланцюги. Основне кінетичне рівняння. Основи Марковських ланцюгів. Перехідні матриці та стаціонарний стан. Застосування: перенесення тепла, квантові системи.

Тема 9. Стохастичний підхід для фазових переходів першого роду (4 години)

Застосування методів стохастичної фізики для опису фазових переходів першого роду. Функція розподілу за розмірами зародків нової фази. Нуклеація. Явище пересичення.

Тема 10. Процеси Пуассона та випадкові потоки подій (2 години)
Визначення процесу Пуассона. Інтервали між подіями: експоненційний розподіл. Застосування у фізиці: квантова оптика, ядерна фізика.

Тема 11. Стохастичні резонанси та шум у фізичних системах (2 години)
Введення до стохастичного резонансу. Вплив шуму на нелінійні системи. Приклади з фізики: біологічні системи, сенсорні механізми.

Тема 12. Стохастичне моделювання (1 година)
Методи моделювання стохастичних процесів: Монте-Карло, алгоритм Гіллеспі. Реалізація стохастичних моделей у фізичних системах. Комп'ютерні експерименти з фізики (матеріали, плазма).

Тема 13. Теорія випадкових блуждань. Багатовимірний випадок (2 години)
Одновимірне і багатовимірне випадкове блуждання. Середнє зміщення та середньоквадратичне відхилення. Застосування: дифузія, полімери, кінетика хімічних реакцій.

Тема 14. Квантові стохастичні процеси (1 година)
Стохастичні процеси в квантовій механіці: основи. Квантові випадкові блуждання. Застосування: квантова інформація, шум у квантових системах.

Тема 15. Фрактали та мультифрактальні процеси (1 година)
Вступ до фрактальної геометрії. Стохастичні процеси у фрактальних середовищах. Застосування: турбулентність, структурні властивості матеріалів.

Тема 16. Підсумки і сучасні напрямки (1 година)
Огляд сучасних досліджень у фізиці та стохастиці. Вивчення складних систем: кліматичні моделі, нейронні мережі. Перспективи вивчення та міждисциплінарні підходи.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	лаб.	інд.	с. р.		л	п	лаб.	інд.	с. р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Тема 1	5	1	1			3						
Тема 2.	5	1	1			3						
Тема 3.	7	2	2			3						
Тема 4.	12	4	4			4						
Тема 5	8	2	2			4						
Тема 6.	8	2	2			4						
Тема 7..	12	4	4			4						
Тема 8.	8	2	2			4						
Тема 9	12	4	4			4						
Тема 10.	8	2	2			4						
Тема 11.	8	2	2			4						

Тема 12.	5	1	1			3						
Тема 13	7	2	2			3						
Тема 14.	5	1	1			3						
Тема 15.	5	1	1			3						
Тема 16.	5	1	1			3						
Усього годин	120	32	32			56						

4. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1.	Тема 1 . Вступ до стохастичних процесів. Найпростіші задачі	1
2.	Тема 2 . Двовимірний розподіл випадкових величин.	1
3.	Тема 3 . Броунівський рух і рівняння Ланжевена	2
4.	Тема 4 . Розв’язання рівняння Ланжевена	4
5.	Тема 5 . Рівняння дифузії	2
6.	Тема 6 . Рівняння Фоккера-Планка	2
7.	Тема 7 . Розв’язання рівняння Фоккера-Планка	4
8.	Тема 8 . Головне рівняння для стохастичних процесів	2
9	Тема 9 . Фазові переходи першого роду	4
10	Тема 10 . Процеси Пуассона	2
11	Тема 11 . Стохастичні резонанси та шум	2
12	Тема 12 . Стохастичне моделювання	1
13	Тема 13 . Випадкові блукання. Багатовимірний випадок	2
14	Тема 14 . Квантові стохастичні процеси	1
15	Тема 15 . Фрактали та мультифрактальні процеси	1
16	Тема 16. Підсумки і сучасні напрямки	1
	Разом	32

5. Завдання для самостійної робота

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1.	Ознайомитись з основними принципами стохастичної теорії	3
2.	Розв’язати задачі з двовимірних функцій розподілу	3
3.	Розв’язати задачі з броунівського руху	3
4.	Вивчити виведення рівняння Ланжевена	4
5.	Ознайомитись з розв’язання однорідного рівняння Ланжевена	4
6.	Навчитися виводити рівняння дифузії	4
7.	Засвоїти методи розв’язання рівняння дифузії	4
8.	Вичити головне рівняння для стохастичних процесів	4
9	Розв’язати задачу про фазові переходи першого роду	4
10	Хиослідити процеси пУассона	4
11	Ознайомитись з поняттями стохастичного резонансу й шуму	4
12	Засвоїти методи стохастичного моделювання	3
13	Ознайомитись з задачами в дослідженні багатовимірних блукань	3
14	Розв’язати задачу – приклад квантових стохастичних процесів	3
15	Вивчити поняття фракталів	3
16	Ознайомитись зі сучасними напрямками стохастичної теорії	3
	Разом	56

6. Індивідуальні завдання

Не передбачені навчальним планом

7. Методи навчання

Основними формами викладання навчального матеріалу з дисципліни «Стохастичні процеси в фізиці» є лекції, практичні заняття та самостійна робота студентів. Лекційні заняття будуть проводитись методом розповідь-бесіда. Практичні заняття будуть проводитись шляхом розв'язання окремими студентами задач перед загальною аудиторією та виконання практичних задач за комп'ютером. Основною метою практичних занять є розвиток навичок практичного застосування фізичної кінетики і закріплення теоретичного матеріалу.

8. Методи контролю

Система рейтингових балів та критерії оцінювання :

Контроль виконання 8 завдань кожна по 12 (16 балів – восьме завдання)

Критерії оцінювання:

a) Повністю правильно виконане завдання оцінюється в 12 (16) балів;
b) Завдання виконане з несуттєвими помилками оцінюється в 10 бали (незначні помилки в арифметичних розрахунках);
c) Часткове виконання завдання оцінюється в 7 бали (правильно обрана логіка рішення, але грубі помилки в розрахунках);
d) Часткове виконання завдання оцінюється в 3 бали (правильно обрана логіка рішення, зовсім відсутні розрахунки);
e) Неправильно виконане завдання оцінюється в 0 балів.

Якщо студент отримав оцінку менше 2 балів за задачу він зобов'язаний переписати цю роботу, але не більше двох разів.

9. Схема нарахування балів

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання	
T1	1
T2	1
T3	4
T4	2
T5	2
T6	2
T7	4
T8	2
T9	4
T10	2
T11	2
T12	2
T13	2
T14	1
T15	1
T16	1
Контрольна робота	26
Іспит	40
Сума	100

T1, T2 … T16 – теми розділів.

Мінімальна кількість балів для допуску студента до підсумкового іспиту становить – 15 балів.

Критерії оцінювання навчальних досягнень

Нарахування балів при поточному контролі.

1 бал – робота в аудиторії
1-2 бали – виконання самостійної роботи

Критерії оцінювання відповідей на контрольній роботі

Теоретичні питання (3 балів)

Коректність викладок, визначень	– 2 бали
Правильність відповіді	– 2 бали
Логічність викладок	– 2 бали
Послідовність викладок	– 2 бали

Розв'язання задачі (3 балів)

Коректність викладок, визначень	– 2 бали
Логічність викладок	– 2 бали
Правильність відповіді	– 2 бали
Відсутність помилок в розрахунках	– 2 бали

Критерії оцінювання відповідей на підсумковій роботі

Питання 1 – теоретичне питання (5 балів)

Відсутність помилок в теоретичній частині	– 2 бали
Коректність викладок	– 1 бал
Послідовність викладок	– 1 бал
Логічність викладок	– 1 бал

Питання 2 дослідницька задача. (15 балів)

Наявність відповіді	– 1 бал
Коректність викладок	– 2 бали
Логічність викладок	– 1 бал
Коректність визначень	– 1 бал
Повнота відповіді	– 1 бал
Правильність відповіді	– 2 бали
Наявність графічного відображення	– 2 бали
Знання цілей задачі	– 1 бал
Відсутність помилок в розрахунках	– 2 бали
Відсутність помилок в теоретичній частині	– 2 бали

Питання 3 – дослідницька (15 балів)

Наявність відповіді	– 1 бал
Коректність викладок	– 2 бали
Логічність викладок	– 1 бал
Коректність визначень	– 1 бал
Повнота відповіді	– 1 бал
Правильність відповіді	– 2 бали
Наявність графічного відображення	– 2 бали
Знання цілей задачі	– 1 бал
Відсутність помилок в розрахунках	– 2 бали
Відсутність помилок в теоретичній частині	– 2 бали

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка	
	для чотирирівневої шкали оцінювання	для дворівневої шкали оцінювання
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

10. Рекомендована література

Основна література

1. Eckert, Michael (2006). The Dawn of Fluid Dynamics: A Discipline Between Science and Technology. Wiley. p. ix. ISBN 3-527-40513-5.
2. Anderson, J. D. (2007). Fundamentals of Aerodynamics (4th ed.). London: McGraw–Hill. ISBN 978-0-07-125408-3.
3. Nangia, Nishant; Johansen, Hans; Patankar, Neelesh A.; Bhalla, Amneet Pal S. (2017). "A moving control volume approach to computing hydrodynamic forces and torques on immersed bodies". Journal of Computational Physics. 347: 437–462. arXiv:1704.00239. Bibcode:2017JCoPh.347..437N. doi:10.1016/j.jcp.2017.06.047. S2CID 37560541.
4. White, F. M. (1974). Viscous Fluid Flow. New York: McGraw–Hill. ISBN 0-07-069710-8.
5. Wilson, DI (February 2018). "What is Rheology?". Eye. 32 (2): 179–183. doi:10.1038/eye.2017.267. PMC 5811736. PMID 29271417.
6. Platzer, B. (2006-12-01). "Book Review: Cebeci, T. and Cousteix, J., Modeling and Computation of Boundary-Layer Flows". ZAMM. 86 (12): 981–982. Bibcode:2006ZaMM...86..981P. doi:10.1002/zamm.200690053. ISSN 0044-2267.
7. Shengtai Li, Hui Li "Parallel AMR Code for Compressible MHD or HD Equations" (Los Alamos National Laboratory) [1] Archived 2016-03-03 at the Wayback Machine

Допоміжна література

1. "Transient state or unsteady state? -- CFD Online Discussion Forums". www.cfd-online.com.
2. Pope, Stephen B. (2000). Turbulent Flows. Cambridge University Press. ISBN 0-521-59886-9
3. See, for example, Schlatter et al, Phys. Fluids 21, 051702 (2009); doi:10.1063/1.3139294
4. Landau, Lev Davidovich; Lifshitz, Evgenii Mikhailovich (1987). Fluid Mechanics. London: Pergamon. ISBN 0-08-033933-6.
5. Ortiz de Zarate, Jose M.; Sengers, Jan V. (2006). Hydrodynamic Fluctuations in Fluids and Fluid Mixtures. Amsterdam: Elsevier.
6. Landau, Lev Davidovich; Lifshitz, Evgenii Mikhailovich (1959). Fluid Mechanics. London: Pergamon.

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

1. Інтернет.
2. Бібліотеки ХНУ ім. Каразіна та ІПМаш НАН України