

**Одеський національний університет імені І. І. Мечникова**  
**Факультет математики, фізики та інформаційних технологій**  
**Кафедра фізики та астрономії**

**Силабус курсу**

**Фізична кінетика**

Обсяг	7 кредитів, 210 годин
Семестр, рік	Семестр 7,8; Рік 4.
Дні, час, місце	Згідно розкладу занять
Викладач	Кулінський Володимир Леонідович, д.ф.м.н., професор
E-mail	kulinskij@onu.edu.ua
Робоче місце	Кафедра фізики та астрономії
Консультації	Очні консультації: четвер, 14.30-17.00, вул Пастера 42, ауд. 31

**КОМУНІКАЦІЯ**

Комунікація зі студентами: E-mail: kulinskij@onu.edu.ua; Google-Class (хто має акаунт в onu.edu.ua)

**АНОТАЦІЯ КУРСУ**

**Метою** викладання навчальної дисципліни є: підготовка фахівців, які володіють основами кількісного опису, моделювання та симуляції кінетичних явищ та нерівноважних процесів на основі підходів та базових математичних методів сучасної фізики, здатних розв'язувати базові задачі і практичні проблеми, пов'язані описом нерівноважних станів.

**Завдання:** сформувати розуміння, уміння та навички кількісного аналізу не лише природних, а також економічних явищ та процесів, з використанням математичних методів та моделей сучасної фізики, здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми з різних галузей професійної діяльності, що характеризуються комплексністю та невизначеністю умов, із застосуванням певних моделей і математичних методів фізики

**ОПИС КУРСУ**

Курс буде викладений у формі лекцій (60 год.) та практичних (44 год.) / занять, організації самостійної роботи студентів (106 год.).

**Змістовий модуль 1. Випадкові процеси та кінетичні рівняння**

**Тема 1** Функція та густина розподілу. Характеристична функція та її властивості **Тема 2** Випадкове блукання на ґратках. Випадковий процес. Теорема Колмогорова. **Тема 3** Характеристичний функціонал процесу. Основні типи процесів.

**Тема 4** Марковські процеси. Рівняння Чепмена-Колмогорова.

**Тема 5** Теорема Дуба. Процес Орнштейна-Уленбека.

**Тема 6** Кінетичне рівняння. Рівняння Фокера-Планка Рівняння Ланжевена. Зв'язок з рівнянням ФП. Співвідношення Айнштейна-Смолуховського. ФДТ

### **Змістовий модуль 2. Нерівноважні стани та стохастичний аналіз**

**Тема 7** Теорія лінійної реакції Кубо (класичний випадок).

Співвідношення взаємності Онзагера.

**Тема 8** Теорія лінійної реакції Кубо (квантовий випадок).

**Тема 9** Функції Гріна та їх спектральний розклад. Теорема Келена-Вельтона. ФДТ та правила сум.

**Тема 10** Стохастичність динамічних систем (модель Фейгенбаума, стохастичне прискорення Улама-Фермі). Методи стохастичної оптимізації.

**Тема 11** Стохастичні диференціальні рівняння та інтерпретації (Іто, Стратонович). Застосування стохастичних моделей у фінансах.

**Тема 12** Основи континуального інтегрування. Міра Вінера.

### **Завдання для самостійної роботи**

<b>№</b>	<b>Назва теми</b>	<b>Кількість годин</b>
1	Неперервні та дискретні розподілу. Моменти та кумулянти	8
2	Центральна гранична теорема	8
3	Закони випадкового блукання	8
4	Кінетичні рівняння для однокрокових процесів	8
5	Побудова рівняння Фоккера-Планка для фізичних систем	8
6	Зв'язок ФК і рівняння Ланжевена	8
7	ФДТ для рівняння Ланжевена	8
8	Еволюція середніх в теорії лінійної реакції Кубо	8
9	Моделі динамічного хаосу	8
10	Стохастичні похідні. Формули Іто та Стратоновича	8
11	Розв'язок рівняння Black-Scholes	8
12	Обчислення континуального інтегралу	8
<b>Разом</b>		<b>106</b>

## **Методи навчання**

При викладанні дисципліни використовуються інтерактивні методи навчання, наочні методи навчання. Базовим методом навчання є поєднання лекції та практичних занять. Під час проведення лекцій використовуються наступні методи навчання: пояснювально-ілюстративний метод; метод проблемного викладу; частково-пошуковий, або евристичний метод.

Під час самостійної роботи використовуються наступні методи навчання: дослідницький метод.

## **Форми контролю та методи оцінювання**

При оцінюванні в балах рівня засвоєння матеріалу використовуються загальні критерії оцінювання навчальних досягнень здобувачів вищої освіти. Поточний контроль здійснюється за результатами виконання самостійних контрольних робіт студентів.

### **Критерії оцінювання виконання самостійної роботи**

Критеріями оцінювання є: повнота виконання завдання, структура і якість відповідей та на додаткові запитання викладача.

### **Критерії оцінювання контрольних робіт**

Критеріями оцінювання є правильність та повнота відповіді на тестові питання, обґрунтування правильних та виправлення помилок в результаті особистого захисту роботи. Кількість балів визначається за сумою правильних відповідей з урахуванням логічних зв'язків між завданнями при комп'ютерній обробці результатів тесту. Оцінюється також активність студента в процесі занять: усне опитування, виконання самостійних та практичних робіт; розв'язання задач. Підсумковий семестровий контроль (залік) проводиться у формі тесту.

При оцінюванні в балах рівня засвоєння матеріалу використовуються загальні критерії оцінювання навчальних досягнень здобувачів вищої освіти згідно положення ОНУ ім І.І. Мечникова. Кінцева оцінка виставляється за сумою балів поточного та підсумкового контролю за шкалою, що наведена нижче.

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка за національною шкалою		
	Оцінка ЄКТС	для для екзамену, курсового проекту (роботу), практики	для заліку
90 – 100	A	відмінно	зараховано
85-89	B	добре	
75-84	C		
70-74	D	задовільно	
60-69	E		
35-59	FX	незадовільно	не зараховано
1-34	F		

#### Питання для поточного та підсумкового контролю.

1. Виведіть рівняння дифузії з дискретної моделі блукання на гратці.
2. Оцініть залежність ймовірності неповернення до початку при випадковому блуканні у  $d$ -вимірному просторі від розмірності простора. Вказівка: розглянути блукання на кубічній гратці.
3. Дайте означення марковського процесу. Виведіть рівняння Чепмена- Колмогорова для густини розподілу ймовірності переходу.
4. Наведіть приклади процесів переносу у газах, рідинах, твердих тілах.
5. Поясніть різницю між дифузією та термодифузією.
6. Оцініть коефіцієнт дифузії для газів (напр. кисень чи азот) при нормальних умовах. Як залежить коефіцієнт дифузії від тиску?
7. Запишіть рівняння Ланжевена для частинки у середовищі з тепловим шумом. Отримайте вираз для коефіцієнта дифузії через автокореляційну функцію швидкості.
8. Відмінність механізмів дифузії у твердих тілах, рідинах та газах.
9. Сформулюйте принцип взаємності Онзагера для кінетичних коефіцієнтів.
10. Електрокінетичні явища та їх взаємозв'язок.
11. Вивести формулу Гріна-Кубо для класичного випадка.
12. Сформулюйте теорему Келлена-Велтона. Сформулюйте ФДТ для частотних сприйнятливостей.

## Рекомендована література

### Основна

1. N.G. Van Kampen, Stochastic Processes in Physics and Chemistry , NH 2007 (<https://www.sciencedirect.com/book/9780444529657/stochastic-processes-in-physics-and-chemistry>)
2. C. Gardiner, Stochastic Methods. A Handbook for the Natural and Social Sciences, Springer 2009 <https://d-nb.info/948236752/04>
3. S. De Groot and P. Mazur, Nonequilibrium thermodynamics, Dover 2011 [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4020-9330-2\\_1](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4020-9330-2_1)
4. H. Bikkın, I. I. Lyapilin, Non-equilibrium Thermodynamics and Physical Kinetics, De Gruyter 2021 [https://www.researchgate.net/publication/264910158\\_Non-equilibrium\\_thermodynamics\\_and\\_physical\\_kinetics](https://www.researchgate.net/publication/264910158_Non-equilibrium_thermodynamics_and_physical_kinetics)
5. Landau L.D., Lifshiz E.M. Physical Kinetics, Pergamon Press, 1981, <https://archive.org/details/10PhysicalKineticsLandauLifshitz>

### Додаткова

1. Скороход А. В. Лекції з теорії випадкових процесів. — К.: Либідь, 1990.
2. Методичні матеріали G-class  
<https://classroom.google.com/c/NTQ1OTY3MjE0MjMw?cjc=3fjho2x>

## Електронні інформаційні ресурси

1. <http://theorphys.onu.edu.ua/uk/textbooks>
2. [phys.onu.edu.ua](http://phys.onu.edu.ua)
3. [lib.onu.edu.ua](http://lib.onu.edu.ua)

## ПОЛІТИКА КУРСУ

Визначається нормативними документами/Положеннями, які є чинними в ОНУ імені І.І.Мечникова (<https://onu.edu.ua/uk/geninfo/official-documents>).

Дедлайн виконання завдань з курсу визначає викладач. В разі поважних причин, перенесення терміну виконання завдань дозволяє викладач. Перескладання заборгованостей – з дозволу деканату.

Кожен студент повинен пам'ятати про академічну доброчесність що забезпечується самостійним виконанням навчальних завдань, завдань поточного та підсумкового контролю, належним посиланням на джерела інформації у разі виконання творчих робіт, дотриманням норм законодавства про авторське право і суміжні права, наданням достовірної інформації про результати власної наукової діяльності.

За порушення академічної доброчесності здобувачі освіти можуть бути притягнуті до академічної відповідальності згідно Положенню про академічну доброчесність в ОНУ імені І.І.Мечникова. (<https://onu.edu.ua/pub/bank/userfiles/files/documents/acad-dobrochesnost.pdf>).

Відвідування занять для студентів є обов'язковим, як і своєчасний прихід на заняття.