

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра теоретичної фізики імені академіка І.М.Ліфшиця

**“ЗАТВЕРДЖУЮ”**

**Проректор  
з науково-педагогічної роботи**

\_\_\_\_\_ р.  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_

Робоча програма навчальної дисципліни

**Стохастичні методи у фізиці**

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ магістр \_\_\_\_\_

галузь знань \_\_\_\_\_ 10 Природничі науки \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)

спеціальність \_\_\_\_\_ 104 – Фізика та астрономія \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)

освітня програма \_\_\_\_\_ Освітньо-наукова програма “Фізика” \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)

спеціалізація \_\_\_\_\_ “Фізика” \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)

вид дисципліни \_\_\_\_\_ за вибором \_\_\_\_\_  
(обов’язкова / за вибором)

факультет \_\_\_\_\_ фізичний \_\_\_\_\_

20\_20\_ / 20\_21\_ навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою фізичного факультету .

“28” серпня 2020 року, протокол № 10

**РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:**

**Шкловський Валерій Олександрович , докт. фіз.-мат. наук, професор**

Програму схвалено на засіданні кафедри теоретичної фізики імені академіка І.М.Ліфшиця

Протокол від “ 24 ” 06 2020 року № 10

Завідувач кафедри теоретичної фізики імені академіка І.М.Ліфшиця

\_\_\_\_\_

(підпис)

Рашба Г.І.  
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією

фізичного факультету

назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна

Протокол від “ 25 ” 06 2020 року № 10

Голова методичної комісії фізичного факультету

\_\_\_\_\_

(підпис)

Макаровський М.О.  
(прізвище та ініціали)

## ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «**Стохастичні методи у фізиці**» складена відповідно до освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми підготовки другого рівню вищої освіти – магістр

спеціальності (напрямку) – 104 – «фізика та астрономія»  
освітньо-наукова програма – фізика

### 1. Опис навчальної дисципліни

#### 1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни «**Стохастичні методи у фізиці**» є формування уявлень студентів про теорію стохастичних процесів у фізиці, зокрема про марковські, дифузійні, стаціонарні та гаусові процеси, основне кінетичне рівняння, різні форми рівняння Фоккера-Планка, Ланжевена, конroversію Іто-Стратоновича

#### 1.2. Основні завдання вивчення дисципліни “ **Стохастичні методи у фізиці** ” навчити студентів

- основам теорії стохастичних процесів,
- знаходженню точних та наближених рішень основного кінетичного рівняння,
- теорії стохастичних диференціальних рівнянь із врахуванням конroversії Іто-Стратоновича,
- користуючись навчальною та довідковою літературою, обирати адекватні методи вирішення задач стохастичної фізики.

#### 1.3. Кількість кредитів 5

#### 1.4. Загальна кількість годин 150

1.5. Характеристика навчальної дисципліни
За вибором
Денна форма навчання
Рік підготовки
1-й
Семестр
2-й
Лекції
24 год.
Практичні, семінарські заняття
12 год.
Не передбачені навчальним планом
Лабораторні заняття
Не передбачені навчальним планом
Індивідуальні завдання
Курсова робота під час самостійної роботи – 20 год. з 114 год.

1.6. Згідно з вимогами освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми студенти повинні досягти таких результатів навчання:

**знати:** наближені та точні методи дослідження стохастичних систем.

**вміти:** досліджувати дифузійні стохастичні процеси у нелінійних середовищах.

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра теоретичної фізики імені академіка І.М.Ліфшиця

**“ЗАТВЕРДЖУЮ”**

**Проректор  
з науково-педагогічної роботи**

\_\_\_\_\_ р.  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_

Робоча програма навчальної дисципліни

**Стохастичні методи у фізиці**

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ магістр \_\_\_\_\_

галузь знань \_\_\_\_\_ 10 Природничі науки \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)

спеціальність \_\_\_\_\_ 104 – Фізика та астрономія \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)

освітня програма \_\_\_\_\_ Освітньо-професійна програма “Фізика” \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)

спеціалізація \_\_\_\_\_ “Фізика” \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)

вид дисципліни \_\_\_\_\_ за вибором \_\_\_\_\_  
(обов’язкова / за вибором)

факультет \_\_\_\_\_ фізичний \_\_\_\_\_

20\_20\_ / 20\_21\_ навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою фізичного факультету .

“28” серпня 2020 року, протокол № 10

**РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:**

**Шкловський Валерій Олександрович , докт. фіз.-мат. наук, професор**

Програму схвалено на засіданні кафедри теоретичної фізики імені академіка І.М.Ліфшиця

Протокол від “ 24 ” 06 2020 року № 10

Завідувач кафедри теоретичної фізики імені академіка І.М.Ліфшиця

\_\_\_\_\_ Рашба Г.І.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією

фізичного факультету

назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна

Протокол від “ 25 ” 06 2020 року № 10

Голова методичної комісії фізичного факультету

\_\_\_\_\_ Макаровський М.О.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «**Стохастичні методи у фізиці**» складена відповідно до освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми підготовки другого рівню вищої освіти – магістр

спеціальності (напрямку) – 104 – «фізика та астрономія»  
освітньо-професійна програма – фізика

### 1. Опис навчальної дисципліни

#### 1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни «**Стохастичні методи у фізиці**» є формування уявлень студентів про теорію стохастичних процесів у фізиці, зокрема про марковські, дифузійні, стаціонарні та гаусові процеси, основне кінетичне рівняння, різні форми рівняння Фоккера-Планка, Ланжевена, конroversію Іто-Стратоновича

#### 1.2. Основні завдання вивчення дисципліни “ **Стохастичні методи у фізиці** ” навчити студентів

- основам теорії стохастичних процесів,
- знаходженню точних та наближених рішень основного кінетичного рівняння,
- теорії стохастичних диференціальних рівнянь із врахуванням конroversії Іто-Стратоновича,
- користуючись навчальною та довідковою літературою, обирати адекватні методи вирішення задач стохастичної фізики.

#### 1.3. Кількість кредитів 5

#### 1.4. Загальна кількість годин 150

1.5. Характеристика навчальної дисципліни
За вибором
Денна форма навчання
Рік підготовки
1-й
Семестр
2-й
Лекції
24 год.
Практичні, семінарські заняття
12 год.
Не передбачені навчальним планом
Лабораторні заняття
Не передбачені навчальним планом
Самостійна робота
114 год. (в тому числі 20 год. на виконання курсової роботи та 10 год. на підготовку до двох контрольних робіт)
Індивідуальні завдання
Курсова робота під час самостійної роботи – 20 год. з 114 год.

1.6. Згідно з вимогами освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми студенти повинні досягти таких результатів навчання:

**знати:** наближені та точні методи дослідження стохастичних систем.

**вміти:** досліджувати дифузійні стохастичні процеси у нелінійних середовищах.

## 2. Тематичний план навчальної дисципліни

### Розділ 1. ОСНОВНІ МЕТОДИ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ СТОХАСТИЧНОЇ ФІЗИКИ

- Тема 1. Вступ до рівнянь Фоккера-Планка
- Тема 2. Детерміновані диференціальні рівняння
- Тема 3. Стохастичні диференціальні рівняння
- Тема 4. Рівняння руху для функції розподілу
- Тема 5. Рівняння Фоккера-Планка однієї змінної
- Тема 6. Рівняння Фоккера-Планка для N змінних
- Тема 7. Як з'являється рівняння Фоккера-Планка та його цілі.
- Тема 8. Вирішення рівняння Фоккера-Планка.
- Тема 9. Рівняння Крамерса та Смолуховського
- Тема 10. Узагальнювання рівняння Фоккера-Планка
- Тема 11. Рівняння Больцмана
- Тема 12. Управляюче рівняння ( master equation)
- Тема 13. Броунівський рух по А.Ейнштейну
- Тема 14. Рівняння Ланжевена

### Розділ 2. СТОХАСТИЧНІ ПРОЦЕСИ

- Тема 15. Стохастичні змінні – одновимірний випадок
- Тема 16. Функція розподілу, середні, моменти
- Тема 17. Характеристична функція, кумулянти та їх властивості
- Тема 18. Чотири важливих стохастичних змінних
- Тема 19. Багатовимірні розподіли імовірностей
- Тема 20. Часткові розподіли, умовні змінні та правило Байєса
- Тема 21. Характеристична функція, моменти і кумулянти
- Тема 22. Матриця коваріації
- Тема 23. Три критерію статистичної незалежності
- Тема 24. Гаусів розподіл
- Тема 25. Перетворення змінних
- Тема 26. Підсумовування стохастичних змінних
- Тема 27. Центральна гранична теорема та її доведення
- Тема 28. Стохастичні процеси – їх означення та основні властивості
- Тема 29. Стохастичні процеси – підхід через реалізації
- Тема 30. Ієрархія функцій розподілу
- Тема 31. Гаусові процеси
- Тема 32. Стохастичні процеси – умовні вірогідності
- Тема 33. Марківські процеси
- Тема 34. Рівняння Чепмена -- Колмогорова
- Тема 35. Приклади марківських процесів
- Тема 36. Стохастичний процес Вінера -- Леві
- Тема 37. Стохастичний процес Орнштейна – Уленбека
- Тема 38. Управляюче рівняння як рівняння балансу
- Тема 39. Управляюче рівняння із рівняння Чепмена -- Колмогорова
- Тема 40. Розкладення Крамерса – Мойала управляючого рівняння
- Тема 41. Рівняння Фоккера – Планка із рівняння Крамерса – Мойала
- Тема 42. Обчислення моментів переходів
- Тема 43. Приклади рівняння Фоккера – Планка

- Тема 44. Рівняння дифузії для координати частинки  
 Тема 45. Рівняння дифузії у фазовому просторі  
 Тема 46. Рівняння Ланжевена із мультішумом  
 Тема 47. Теорема Новікова -- Фуруцу  
 Тема 48. Виведення рівняння Фоккера – Планка із рівняння Ланжевена  
 Тема 49. Приклади рівнянь Ланжевена  
 Тема 50. Рівняння Клейна -- Крамерса  
 Тема 51. Рівняння Смолуховського

### 3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів	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
<b>Розділ 1. ОСНОВНІ МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ СТОХАСТИЧНОЇ ФІЗИКИ</b>												
Разом за розділом 1	20	8				12						
<b>Розділ 2. Розділ 2. СТОХАСТИЧНІ ПРОЦЕСИ</b>												
Разом за розділом 2	52	20				32						
<b>Усього годин</b>	<b>72</b>	<b>28</b>				<b>44</b>						

### 4. Теми семінарських (практичних, лабораторних) занять

Навчальним планом не передбачені.

### 5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
	Разом	

### 6. Індивідуальні завдання

Навчальним планом не передбачені.

### 7. Методи контролю

Поточне опитування, контрольна робота за основними розділами, перевірка домашніх завдань, екзамен.



## 8. Схема нарахування балів

Приклад для підсумкового семестрового контролю в формі заліку без виконання залікової роботи

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання				Сума
Розділ 1	Розділ 2	Контрольна робота, передбачена навчальним планом	Індивідуальне завдання	
T1-T14	T15-T51	1 контрольна робота	-	100
30	30	40	-	

T1, T2 ... – теми розділів.

## Шкала оцінювання

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

## 9. Рекомендована література

### Основна література

1. Н.Г. Ван Кампен. Стохастические процессы в физике и химии – М. Высшая школа, 1990—376 с.
2. К.В. Гардинер. Стохастические методы в естественных науках. -- М. Мир, 1986 – 526 с.
3. Р. Балеску. Равновесная и неравновесная статистическая механика, том 2 – М. Мир, 1978 – 399 с.
4. С.М. Рытов. Введение в статистическую радиофизику, часть 1-- Случайные процессы – М. Наука, 1976 – 496с.
5. С.М. Рытов, Ю.А. Кравцов, В.И. Татарский. Введение в статистическую радиофизику, часть 2-- Случайные поля – М. Наука, 1978 – 464с.
6. В. Эбелинг. Образование структур при необратимых процессах. М. Мир, 1979 – 279с.
7. В. Хорстхемке, Р. Лефевр. Индуцированные шумом переходы. М. Мир, 1987 – 397с.
8. Р.Л. Стратонович. Избранные вопросы теории флуктуаций в радиотехнике. М. Советское радио, 1961 – 558с.

### Допоміжна література

1. H. Risken. The Fokker-Planck Equation. Methods of Solution and Applications. Springer, 198 – 472 p.
2. W.T. Coffey, Yu.P. Kalmykov. The Langevin Equation. With Applications to Stochastic Problems in Physics, Chemistry and Electrical Engineering. 3rd Edition .World Scientific, 2012 -- 852p.
3. D.T. Gillespie. Markov Processes. An Introduction for Physical Scientists. Academic Press, Inc, 1992 –558p.
4. R. Mannella and P.V.E. McClintock. Ito Versus Stratonovich: 30 Years Later. Fluctuation and Noise Letters 11N1(2012) 1240010.
5. А.И. Олемской. Теория стохастических систем с сингулярным мультипликативным шумом. Успехи Физических Наук 168(3)287-321(1998)

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