

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Кафедра теоретичної фізики імені академіка І.М.Ліфшиця

“ЗАТВЕРДЖУЮ”Декан факультету (директор
навчально-наукового інституту)Фізичний факультет

(вказати назву структурного підрозділу)

ВОВК Руслан Володимирович

* (вказати П.І.Б керівника)

“ 30 ” 09 2025р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Фізична кінетика

(шифр і назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти другий (магістерський)галузь знань Е – Природничі науки, математика та статистика
(шифр і назва)спеціальність Е5 – Фізика та астрономія
(шифр і назва)освітня програма освітньо-наукова програма
«Фізика», «Астрономія та космічна інформатика»
освітньо-професійна програма “Фізика”спеціалізація _____
(шифр і назва)вид дисципліни обов'язкова
(обов'язкова / за вибором)факультет фізичний

2025/2026 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою фізичного факультету

“ 29 ” 08 2025 року, протокол № 10

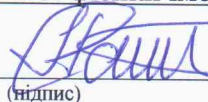
РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

Філь Дмитро Вячеславович, доктор фіз-мат. наук, с.н.с., професор кафедри теоретичної фізики імені академіка І.М. Ліфшиця

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

Протокол від “ 27 ” 08 2025 року № 18

Завідувач кафедри теоретичної фізики імені академіка І.М.Ліфшиця


(підпис)

Рашба Г.І.
(прізвище та ініціали)

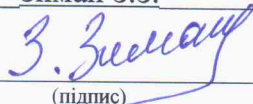
Програму погоджено з гарантом освітньої програми

фізика (спеціальність Е5 – фізика та астрономія)

назва освітньої програми

Гарант освітньої-професійної програми

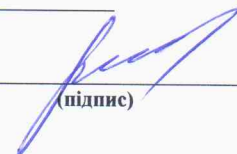
(керівник проектної групи) Зиман З.З.


(підпис)

Зиман З.З.
(прізвище та ініціали)

Гарант освітньої-наукової програми

(керівник проектної групи)


(підпис)

Каримов Ф.К.
(прізвище та ініціали)

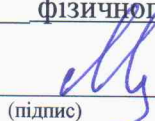
Програму погоджено методичною комісією

фізичного факультету

назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна

Протокол від “ 28 ” 08 2025 року № 5

Голова методичної комісії фізичного факультету


(підпис)

Макаровський М.О.
(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни “**Фізична кінетика**” складена відповідно до освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми підготовки другого рівню вищої освіти – магістр спеціальності (напряму) – Е5 – «фізика та астрономія»

освітньо-наукова програма - фізика

освітньо-професійна програма – фізика

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни «Фізична кінетика» є надання студентам уявлень про принципи і методи опису нерівноважних систем і основні підходи до феноменологічного і мікроскопічного аналізу кінетичних явищ в таких системах.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни «Фізична кінетика»

- навчити студентів вмінню орієнтуватись в основних підходах опису кінетичних явищ в фізичних системах,
- навчити студентів використанню основних методів феноменологічного і мікроскопічного аналізу кінетичних явищ,
- надати студентам уявлення про сучасні "гарячі точки" і сучасну проблематику фізики нерівноважних систем.

Компетентності, що забезпечуються дисципліною:

- Здатність розв’язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми з фізики та/або астрономії у професійній діяльності або у процесі подальшого навчання, що передбачає застосування певних теорій і методів фізики та/або астрономії і характеризується складністю та невизначеністю умов (ІК).
- Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу (ЗК-1).
- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях (ЗК-2).
- Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій (ЗК-3).
- Здатність бути критичним і самокритичним (ЗК-4).
- Здатність приймати обґрунтовані рішення (ЗК-5).
- Навички міжособистісної взаємодії (ЗК-6).
- Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт (ЗК-8).
- Визначеність і наполегливість щодо поставлених завдань і взятих обов’язків (ЗК-9).
- Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово (ЗК-12).
- Здатність спілкуватися іноземною мовою (ЗК-13).
- Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії (ФК-1).
- Здатність працювати із науковим обладнанням та вимірювальними приладами, обробляти та аналізувати результати досліджень (ФК-4).
- Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв’язування фізичних та астрономічних задач і моделювання фізичних систем (ФК-5).
- Здатність моделювати фізичні системи та астрономічні явища і процеси (ФК-6).
- Здатність використовувати базові знання з фізики та астрономії для розуміння будови та поведінки природних і штучних об’єктів, законів існування та еволюції Всесвіту (ФК-7).
- Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації (ФК-9).
- Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей (ФК-10).
- Усвідомлення професійних етичних аспектів фізичних та астрономічних досліджень (ФК-12).

- Орієнтація на найвищі наукові стандарти - обізнаність щодо фундаментальних відкриттів та теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики, астрономії та інших природничих наук. (ФК-13).
- Здатність здобувати додаткові компетентності через вибіркові складові освітньої програми, самоосвіту, неформальну та інформальну освіту (ФК-14).

1.3. Кількість кредитів – 3.

1.4. Загальна кількість годин – 90.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни
Нормативна
Денна форма навчання
Рік підготовки
1-й
Семестр
1-й
Лекції
32 год.
Практичні, семінарські заняття
Не передбачені навчальним планом
Лабораторні заняття
Не передбачені навчальним планом
Самостійна робота
58 год.
Індивідуальні завдання
Не передбачені навчальним планом

1.6. Заплановані результати навчання

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

Знати, розуміти та бути здатним застосовувати на професійному рівні принципи і підходи до опису кінетичних явищ в нерівноважних фізичних системах для встановлення, аналізу, тлумачення, пояснення і класифікації суті та механізмів різноманітних фізичних явищ і процесів, які відбуваються у макроскопічних системах, з метою розв'язування типових фізичних задач, володіти понятійним апаратом фізичної кінетики.

Бути здатним застосовувати математичні знання з теорії ймовірностей та математичної статистики з метою отримання фізичних характеристик макросистем таким чином, щоб на основі відомих властивостей окремих частинок та їх взаємодії, вміти розраховувати кінетичні характеристики нерівноважних систем.

Програмні результати навчання, що забезпечуються дисципліною:

- Знати, розуміти та вміти застосовувати на базовому рівні основні положення загальної та теоретичної фізики, зокрема, класичної, релятивістської та квантової механіки, молекулярної фізики та термодинаміки, електромагнетизму, хвильової та квантової оптики, фізики атома та атомного ядра для встановлення, аналізу, тлумачення, пояснення й класифікації суті та механізмів різноманітних фізичних явищ і процесів для розв'язування складних спеціалізованих задач та практичних проблем з фізики та/або астрономії (ПРН-1).

- Знати і розуміти фізичні основи астрономічних явищ: аналізувати, тлумачити, пояснювати і класифікувати будову та еволюцію астрономічних об'єктів Всесвіту (планет, зір, планетних систем, галактик тощо), а також основні фізичні процеси, які відбуваються в них (ПРН-2).

- Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій (ПРН-3).

- Знати основні актуальні проблеми сучасної фізики та астрономії (ПРН-5).

- Оцінювати вплив новітніх відкриттів на розвиток сучасної фізики та астрономії (ПРН-6).

- Розуміти, аналізувати і пояснювати нові наукові результати, одержані у ході проведення фізичних та астрономічних досліджень відповідно до спеціалізації (ПРН-7).

- Мати базові навички самостійного навчання: вміти відшуковувати потрібну інформацію в друкованих та електронних джерелах, аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань (ПРН-8).

- Вміти упорядковувати, тлумачити та узагальнювати одержані наукові та практичні результати, робити висновки (ПРН-11).

- Розуміти зв'язок фізики та/або астрономії з іншими природничими та інженерними науками, бути обізнаним з окремими (відповідно до спеціалізації) основними поняттями прикладної фізики, матеріалознавства, інженерії, хімії, біології тощо, а також з окремими об'єктами (технологічними процесами) та природними явищами, що є предметом дослідження інших наук і, водночас, можуть бути предметами фізичних або астрономічних досліджень (ПРН-13).

- Знати і розуміти роль і місце фізики, астрономії та інших природничих наук у загальній системі знань про природу та суспільство, у розвитку техніки й технологій та у формуванні сучасного наукового світогляду (ПРН-17).

- Розуміти значення фізичних досліджень для забезпечення сталого розвитку суспільства (ПРН- 22).

- Розуміти історію та закономірності розвитку фізики та астрономії (ПРН-23).

- Розуміти місце фізики та астрономії у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій (ПРН-24).

- Мати навички самостійного прийняття рішень стосовно своїх освітньої траєкторії та професійного розвитку (ПРН-25).

2. тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Кінетика повільних процесів. Дифузія, броунівський рух, кінетика зростання зародків нової фази.

Тема 1. Дифузія. Феноменологічний підхід і модель випадкових блукань.

Закон Фіка. Фундаментальний розв'язок рівняння дифузії. Середнє квадратична відстань і коефіцієнт дифузії в моделі випадкових блукань. Уявлення про субдифузію і супердифузію

Тема 2. Броунівський рух. Рівняння Ланжевена.

Стохастичне диференціальне рівняння і його формальний розв'язок. Співвідношення Ейнштейна. Перехід від рівняння Ланжевена до рівняння дифузії і рівняння Фоккера-Планка.

Тема 3. Використання рівняння Фоккера-Планка для опису дифузії броунівських частинок.

Дифузія в гармонійному потенціалі. Дифузія над потенційним бар'єром. Дифузія в потенціалізаскочника. Уявлення про броунівський мотор.

Тема 4. Кінетика зростання зародків нової фази. Початкова стадія.

Виведення рівняння Фоккера-Планка з основного кінетичного рівняння. Застосування рівняння Фоккера-Планка в задачі про зростання зародків нової фази. Критичний розмір зародків. Стаціонарний потік зародків в просторі розмірів.

Тема 5. Кінетика зростання зародків нової фази. Стадія коалесценції: теорія Ліфшиця-Сльозова.

Фізична причина коалесценції. Еволюція критичного розміру зародків. Функція розподілу зародків по розмірам.

Розділ 2. Кінетичне рівняння Больцмана і його застосування для опису транспортних і високочастотних явищ.

Тема 1. Кінетичне рівняння Больцмана і його основні властивості.

Рівняння Ліувілля для багаточастинкової функції розподілу і рівняння Больцмана для одночастинкової функції розподілу. Інтеграл зіткнень і його властивості. Н-теорема Больцмана.

Тема 2. Наближення часу релаксації. Залишковий опір.

Інтеграл зіткнень з домішками. Транспортний час релаксації. Формула Друде для статичної провідності.

Тема 3. Термоелектричні явища. Феноменологічний і кінетичний підходи.

Ефекти Зеебека, Пельтьє і Томсона. Виведення феноменологічних рівнянь переносу з кінетичного рівняння Больцмана.

Тема 4. Термоелектричні явища. Розрахунок кінетичних коефіцієнтів.

Закон Відемана-Франца. Співвідношення між коефіцієнтами Зеебека і Пельтьє.

Тема 5. Принцип симетрії кінетичних коефіцієнтів Онзагера.

Формулювання і доказ принципу симетрії Онзагера в термінах термодинамічних сил і термодинамічних потоків. Застосування принципу симетрії для опису термоелектричних явищ в провідниках і термодифузії в бінарних сумішах.

Тема 6. Високочастотна провідність і високочастотна діелектрична проникність. Плазмонні хвилі і плазмонні резонанси в наноструктурах.

Виведення формули Друде для високочастотної діелектричної проникності електронного газу. Застосування формули Друде для опису діелектричної проникності металів. Резонансна поляризуємість металічної наночастинки.

Тема 7. Рівняння Власова. Високочастотна діелектрична проникність класичної плазми. Загасання Ландау.

Система рівнянь Власова з самоузгодженими полями. Розрахунок діелектричної проникності класичної плазми. Загасання Ландау і його фізичний зміст. Спектр плазмових коливань класичної плазми.

Тема 8. Перехід від рівняння Больцмана до гідродинамічних рівнянь.

Інваріанти інтегралу зіткнень. Виведення рівнянь гідродинаміки з рівняння Больцмана. Квазірівноважна функція розподілу.

Тема 9. Теплопровідність і в'язкість розрідженого газу.

Виведення рівнянь ідеальної гідродинаміки. Число Кнудсена. Розрахунок коефіцієнтів теплопровідності і в'язкості в наближенні часу релаксації

Розділ 3. Кінетика квантових систем.

Тема 1. Матриця густини. Рівняння фон Неймана.

Матриця густини чистого і змішаного станів. Еволюція матриці густини в часі. Рівняння фон Неймана.

Тема 2. Лінійний відгук квантових систем з неперервним спектром.

Розв'язок рівняння фон Неймана по теорії збурень. Діелектрична проникність виродженого електронного газу. Порівняння з класичним випадком.

Тема 3. Кінетика дискретних квантових систем.

Оптична сприйнятливості дискретних квантових систем. Відкриті квантові системи.

Розділ 4. Вступ до синергетики

Тема 1. Автоколивання, дисипативні структури і хаос в сильно нерівноважних системах.

Прості динамічні моделі автоколивань. Самоорганізація в сильно нерівноважних системах. Біфуркації і перехід до хаосу.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин					
	денна форма					
	усього	у тому числі				
		л	п	лаб.	інд.	с. р.
1	2	3	4	5	6	7

Розділ 1. Кінетика повільних процесів. Дифузія, броунівський рух, кінетика зростання зародків нової фази						
Тема 1.	4	1				4
Тема 2.	4	1				4
Тема 3.	4	2				4
Тема 4.	4	2				4
Тема 5..	4	2				4
Разом за розділом 1	28	8				20
Розділ 2. Кінетичне рівняння Больцмана і його застосування для опису транспортних і високочастотних явищ						
Тема 6	5	2				3
Тема 7.	4	2				2
Тема 8.	4	2				2
Тема 9	4	1				3
Тема 10	4	1				3
Тема 11	4	1				3
Тема 12	4	1				3
Тема 13	5	2				3
Тема 14	5	2				3
Разом за розділом 2	39	10				29
Розділ 3. Кінетика квантових систем.						
Тема 15	5	2				3
Тема 16	5	2				3
Тема 17	5	2				3
Разом за розділом 3	15	6				9
Розділ 4. Вступ до синергетики.						
Тема 18	8	4				4
Разом за розділом 4	8	4				4
Усього годин	90	32				58

4. Теми семінарських (практичних, лабораторних) занять

Не передбачені навчальним планом.

5. Завдання для самостійної роботи

Пояснення щодо того, що повинен зробити студент під час самостійної роботи.

1. По всім нижче вказаним темам 1-18 опрацювати конспекти лекцій.
2. Прочитати відповідні параграфи в підручниках [1–5].

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	2	3
1	Рівняння параболічного типу, розв'язок за допомогою перетворення Лапласа.	4
2	Гаусова функція розподілу. Центральна гранична теорема.	4
3	Дифузія в зовнішньому полі	4
4	Дифузія в просторі імпульсів	4
5	Асимптотична поведінка на стадії коалесценції	4

6	Одночастинкові і багаточастинкові функції розподілу. Ланцюжок Боголюбова.	3
7	Побудова інтегралів зіткнень для класичних і квантових функцій розподілу.	2
8	Наближення часу релаксації при наявності декількох механізмів зіткнень.	2
9	Ефект Зеебека для виродженого і невиродженого електронного газу.	3
10	Тензор провідності електронного газу в магнітному полі. Розрахунок з використанням кінетичного рівняння Больцмана.	3
11	Застосування формули Друде для знаходження спектру поверхневих плазмонних хвиль.	3
12	Спектр повздовжніх і поперечних електромагнітних хвиль в плазмі.	3
13	Діелектрична проникність двокомпонентної плазми	3
14	Властивості рівнянь ідеальної гідродинаміки.	3
15	Матриця густини вільної частинки. Вігнерівська функція розподілу.	3
16	Загасання Ландау в квантовій системі.	3
17	Поглинання енергії поля дискретною квантовою системою	3
18	Біфуркації і хаос в відображеннях	4
	Разом	58

6. Індивідуальні завдання

Не передбачені навчальним планом.

7. Методи контролю

Поточне опитування, письмовий екзамен.

8. Схема нарахування балів

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання						Екзамен	Сума
Розділ 1	Розділ 2	Розділи 3-4	Контрольна робота, передбачена навчальним планом	Індивідуальне завдання	Разом		
T1-T5	T6-T14	T15-T18					
10	15	15	-	-	40	60	100

Для зарахування розділу 1 треба набрати у підсумку не менше 5 балів за результатами поточного опитування. Для зарахування розділу 2 та розділів 3-4 набрати у підсумку не менше 7,5 балів за результатами поточного опитування. Для допуску до письмового екзамену треба набрати у підсумку не менше 20 балів. За екзаменаційну письмову роботу студент повинен набрати не менше 30 балів та загалом не менше 50 балів.

Критерії оцінювання письмової екзаменаційної роботи

Екзаменаційний білет складається з трьох теоретичних питань. Кожне питання оцінюється в 20 балів. У відповіді на теоретичні питання студент повинен продемонструвати знання теорії навчальної дисципліни «Фізична кінетика» та її понятійно-категоріального апарату, термінології, понять і принципів предметної області дисципліни.

Максимальні бали виставляються в разі чіткої, логічної, послідовної відповіді на поставлене питання, з виводами основних формул, формулюванням фізичних законів

У процесі оцінювання теоретичних завдань екзаменаційного білету враховуються:

- повнота розкриття питання (4 бали);
- уміння чітко формулювати визначення фізичних понять, термінів та пояснювати їх (4 бали);
- здатність аргументувати отриману відповідь (4 бали);
- здатність робити аналітичні міркування, порівняння, формулювання висновків (4 бали);
- логічна послідовність викладення матеріалу у відповіді на завдання (4 бали).

Відповідь має бути обґрунтованою, з посиланням на відповідні фізичні закони та рівняння, з послідовними розрахунками всіх основних формул, доведеними до кінцевого результату з чіткою відповіддю на поставлене питання. За рішення задачі (практичного завдання) нараховуються такі бали:

1. Повна та послідовно обґрунтована відповідь отримує оцінку 20 балів у випадку, коли студент отримав правильну відповідь і продемонстрував метод і спосіб її отримання.
2. Оцінка 12-19 балів виставляється за відповідь, в якій є несуттєві похибки в логіці викладу,
3. Відповідь на питання отримує оцінку 7-11 балів, коли студент не отримав правильну відповідь або написав тільки кінцеву формулу без пояснень та виводу.
4. Відповідь на питання отримує оцінку 0-10 балів, коли студент не отримав правильну відповідь, причому метод і спосіб розв'язання завдання були не вірними.

Екзамен зданий, якщо сумарна оцінка за письмову екзаменаційну роботу не менше 30 балів, а сумарний підсумковий бал не менше 50 балів.

Шкала оцінювання

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

9. Рекомендована література

Основна література

1. Е.М.Lifshitz, L.P.Pitaevskii, Course of Theoretical Physics: Physical Kinetics [Volume 10], Pergamon Press, 1981.
2. L.D.Landau, E.M.Lifshitz, Course of Theoretical Physics: Statistical Physics, Part.1 [Volume 5], Pergamon Press, 1969.
3. S.R. de Groot, P. Masur, Non-equilibrium thermodynamics, Dover Publisation 1984

4. Н. Bikkin, I. I. Lyapilin, Non-equilibrium Thermodynamics and Physical Kinetics, De Gruyter, 2021.
5. Н. Risken, The Fokker-Planck Equation: Methods of Solution and Applications, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1989.

Допоміжна література

1. Mayer S.A. Plasmonics. Fundamentals and applications. Springer - 2007.
2. Boyd R. W. Nonlinear optics. Elsevier Science. Academic Press. 2003.

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

1. Учні матеріали на сайті кафедри теоретичної фізики

http://kaf-theor-phys.univer.kharkov.ua/ukrainian/for%20students_study_ukr.html

http://kaf-theor-phys.univer.kharkov.ua/ukrainian/for%20students_ref_ukr.html