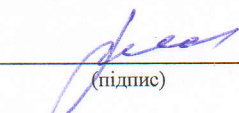


Додаток до робочої програми навчальної дисципліни  
**«Фізична кінетика (ОПП, ОНП)»**  
(назва дисципліни)

Дію робочої програми продовжено: на 2022/2023 н. р.

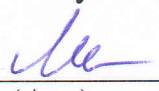
Заступник декана фізичного факультету з навчальної роботи

  
(підпис)

Рохмістров Д.В.  
(прізвище, ініціали)

«30» 08 2022 р.

Голова науково-методичної комісії \_\_\_\_\_ факультету

  
(підпис)

Макаровський М.О.  
(прізвище, ініціали)

«30» 08 2022 р.

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра теоретичної фізики імені академіка І.М.Ліфшиця

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор  
з науково-педагогічної роботи

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

фізична кінетика

(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)

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

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

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

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

2021 / 2022 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою фізичного факультету

“ 31 ” 08 2021 року, протокол № 7

РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ:

**Філь Дмитро Вячеславович, доктор фіз-мат. наук, с.н.с., професор кафедри теоретичної фізики**

Програму схвалено на засіданні кафедри

теоретичної фізики імені академіка. М. Ліфшиця

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

Протокол від “ 30 ” 06 2021 року № 11

Завідувач кафедри теоретичної фізики імені академіка І.М.Ліфшиця

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

Програму погоджено з гарантом освітньої програми

фізика (спеціальність 104 – 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) Бойко Ю.І.

\_\_\_\_\_  
(підпис) Бойко Ю.І.  
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією

фізичного факультету  
назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна

Протокол від “ 31 ” 08 2021 року № 1

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) – 104 – «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.

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.

## 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 Ланжевону.*

Стохастичне диференціальне рівняння і його формальний розв'язок. Співвідношення Ейнштейна. Перехід від рівняння Ланжевону 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 потенціалі заскочника. Уявлення при 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 Зеєбека, Пельтьє і Томсона. Виведення феноменологічних рівнянь переносу з кінетичного рівняння Больцмана.

*Тема 4. Термоелектричні явища. Розрахунок кінетичних коефіцієнтів.*

Закон Відемана-Франца. Співвідношення між коефіцієнтами Зеєбека 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 плазових 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 сприйнятливість 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         |
| <b>Розділ 1. Кінетика повільних процесів. Дифузія, броунівський рух, кінетика зростання зародків нової фази</b> |                 |              |   |      |      |           |
| 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        |
| <b>Розділ 2. Кінетичне рівняння Больцмана і його застосування для опису транспортних і високочастотних явищ</b> |                 |              |   |      |      |           |
| 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        |
| <b>Розділ 3. Кінетика квантових систем.</b>                                                                     |                 |              |   |      |      |           |
| Тема 15                                                                                                         | 5               | 2            |   |      |      | 3         |
| Тема 16                                                                                                         | 5               | 2            |   |      |      | 3         |
| Тема 17                                                                                                         | 5               | 2            |   |      |      | 3         |
| Разом за розділом 3                                                                                             | 15              | 6            |   |      |      | 9         |
| <b>Розділ 4. Вступ до синергетики.</b>                                                                          |                 |              |   |      |      |           |
| Тема 18                                                                                                         | 8               | 4            |   |      |      | 4         |
| Разом за розділом 4                                                                                             | 8               | 4            |   |      |      | 4         |
| <b>Усього годин</b>                                                                                             | <b>90</b>       | <b>32</b>    |   |      |      | <b>58</b> |

### 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               |
|       | <b>Разом</b>                                                                                                       | <b>58</b>       |

## 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. E.M.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. H. Bikkin, I. I. Lyapilin, Non-equilibrium Thermodynamics and Physical Kinetics, De Gruyter, 2021.
5. H. 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. Учбові 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_study_ukr.html)

[http://kaf-theor-phys.univer.kharkov.ua/ukrainian/for%20students\\_ref\\_ukr.html](http://kaf-theor-phys.univer.kharkov.ua/ukrainian/for%20students_ref_ukr.html)