



# ФІЗИЧНА КІНЕТИКА

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>10 Природничі науки</i>
Спеціальність	<i>105 Прикладна фізика та наноматеріали</i>
Освітня програма	<i>Прикладна фізика</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>5 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>5 кредитів ЄКТС</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Іспит/Модульна контрольна робота, розрахункова робота</i>
Розклад занять	<i>Понеділок, 4 та 5 пари</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: д.ф.-м. н., доц. Куліш Володимир Вікторович, тел. +38(044)204-82-48 (роб.) Практичні / Семінарські: д.ф.-м. н., доц. Куліш Володимир Вікторович, тел. +38(044)204-82-48 (роб.)
Розміщення курсу	Платформа дистанційного навчання "Сікорський" <a href="https://do.ipi.kpi.ua/enrol/index.php?id=3357">https://do.ipi.kpi.ua/enrol/index.php?id=3357</a>

### Програма навчальної дисципліни

#### 1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Отримані в рамках дисципліни «Фізична кінетика» знання можуть використовуватись у майбутніх наукових дослідженнях студентів. При цьому моделі, що вивчаються студентами, можуть бути використані за межами досліджених в курсі типів задач (так, апарат кінетичної теорії газів може бути застосований для опису газу вільних електронів в металі).

#### **Мета навчальної дисципліни.**

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів компетентностей:

#### **ЗДАТНІСТЬ:**

- вільно орієнтуватися на якісному й кількісному рівні в основних фізичних закономірностях, що виникають у системах багатьох частинок на кінетичному та гідродинамічному етапах еволюції та описуються в рамках формалізмів фізичної кінетики та нерівноважної термодинаміки;
- використовувати зазначені вище закономірності для розв'язку фізичних задач задач опису систем багатьох частинок на кінетичному та гідродинамічному етапах еволюції, а також виробити навички
- практичного використання засвоєних знань, методів і підходів у подальшому навчанні та професійній діяльності.

#### **Предмет навчальної дисципліни.**

Предметом вивчення у навчальному курсі є системи багатьох частинок, що знаходяться на гідродинамічному (нерівноважна термодинаміка) або кінетичному (фізична кінетика) етапах еволюції.

### **Програмні результати навчання.**

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі результати навчання:

#### **ЗНАННЯ:**

- основних концепцій формалізму нерівноважної термоодинаміки (метод локальної рівноваги, матеріальний та просторовий опис еволюції системи тощо);
- рівнянь балансу та законів збереження;
- принципів Онзагера та Кюрі;
- варіаційних принципів нерівноважної термодинаміки;
- основних принципів нелінійної нерівноважної термодинаміки;
- основ кінетичної теорії броунівського руху та відповідних законів (рівняння Ланжевена, формула Ейнштейна, рівняння Смолуховського тощо);
- основ кінетичної теорії газів (принципу детальної рівноваги, кінетичних рівнянь тощо);
- основ кінетичної теорії флуктуацій;
- основ кінетичної теорії фазових переходів.

### **2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

Пропонований матеріал спирається на знання, засвоєні студентами попередньо в рамках циклів загальної фізики та теоретичної фізики, переважно термодинаміки та молекулярної фізики, фізики суцільних середовищ та статистичної фізики. Отримані в рамках дисципліни «Фізична кінетика» знання можуть використовуватись у майбутніх наукових дослідженнях студентів.

### **3. Зміст навчальної дисципліни**

#### **Розділ 1. Вступ до нерівноважної термодинаміки та фізичної кінетики.**

Шкала характерних часів системи багатьох частинок. Етапи еволюції системи багатьох частинок. Гідродинамічний та кінетичний етапи еволюції.

Предмет вивчення нерівноважної термодинаміки та фізичної кінетики.

Феноменологічний та кінетичний підхід до вивчення нерівноважних систем багатьох частинок.

Схема розв'язку кінетичних задач.

#### **Розділ 2. Основи нерівноважної термодинаміки.**

Предмет та методи нерівноважної термодинаміки. Принцип локальної рівноваги.

Рівняння балансу та закони збереження. Матеріальний та просторовий опис еволюції нерівноважної системи багатьох частинок. Локальне та субстанціальне рівняння балансу.

Рівняння балансу ентропії, виробництво ентропії. Співвідношення Гіббса для нерівноважних систем.

#### **Розділ 3. Лінійна нерівноважна термодинаміка Онзагера.**

Узагальнені сили та потоки. Лінійна нерівноважна термодинаміка. Принцип симетрії Онзагера.

*Доведення принципу симетрії Онзагера для ізольованої системи за умов лінійної нерівноважної термодинаміки.*

*Принцип Кюрі.*

*Варіаційні принципи нерівноважної термодинаміки. Варіаційний принцип Онзагера. Варіаційний принцип Пригожина.*

#### **Розділ 4. Основи нелінійної нерівноважної термодинаміки.**

*Особливості нелінійної нерівноважної термодинаміки.*

*Критерій еволюції Гленсдорфа-Пригожина.*

*Дисипативні структури.*

#### **Розділ 5. Кінетична теорія броунівського руху.**

*Модель броунівського руху в фізичній кінетиці, її постулати.*

*Рівняння Ланжевена, дисперсія імпульсу.*

*Формула Ейнштейна. Моменти імпульсу вищих порядків.*

*Рівняння Смолуховського.*

#### **Розділ 6. Кінетична теорія газів.**

*Основні модельні припущення кінетичної теорії газів.*

*Принцип детальної рівноваги та співвідношення унітарності.*

*Кінетичні рівняння. Кінетичне рівняння Больцмана.*

*Ланцюжок рівнянь Боголюбова для нерівноважних функцій розподілу класичних систем.*

*Часткові розв'язки ланцюжка рівнянь Боголюбова (з використанням малого параметру). Приклад такого розв'язку.*

*Етапи еволюції систем багатьох частинок та відповідні часові масштаби. Кінетичний опис системи на різних етапах.*

#### **Розділ 7. Основи теорії флуктуацій.**

*Фізична природа флуктуацій. Класичний опис флуктуацій. Квантовий опис флуктуацій.*

#### **Розділ 8. Кінетика фазових переходів.**

*Фаза та фазовий перехід. Термодинамічний потенціал двохфазної системи. Фазові переходи першого та другого роду. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса.*

### **4. Навчальні матеріали та ресурси**

#### **Рекомендована література**

*Основна*

1.Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика в 10-ти томах. Т.10: Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П.. Физическая кинетика. М.: Наука, 1979.

2.Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Т.3: Теория неравновесных систем. – М.: Едиториал УРСС, 2003.

3.Румер Ю.Б., Рывкин М.Ш. Термодинамика, статистическая физика и кинетика. – М.: Наука, 1977.

4.Базаров И.П., Геворкян Э.В., Николаев П.Н. Неравновесная термодинамика и физическая кинетика. М.: Изд-во МГУ, 1989.

5.Дьярмати И. Неравновесная термодинамика. – М.: Мир, 1974.

## Допоміжна

1. Леонтович М.А. Введение в термодинамику. Статистическая физика. – М.: Наука, 1983.
2. Валл А.Н., Наумов А.В., Растегин А.Э., Физическая кинетика. – Иркутск, 2001.

## Навчальний контент

### 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Надається інформація (за розділами, темами) про всі навчальні заняття (лекції, практичні, семінарські, лабораторні) та надаються рекомендації щодо їх засвоєння (наприклад, у формі календарного плану чи деталізованого опису кожного заняття та запланованої роботи).

### 6. Самостійна робота студента/аспіранта

Підготовка до аудиторних занять, виконання розрахункової роботи, підготовка до іспиту, разом 78 годин.

## Політика та контроль

### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Зазначається система вимог, які викладач ставить перед студентом:

- правила відвідування занять (як лекцій, так і практичних): відвідування занять є обов'язковим. Документи, що звільняють від відвідування занять (медичні довідки, завірені уповноваженим заступником декана звільнення) студент має пред'являти викладачу;
- правила поведінки на заняттях: на заняттях студент не має відволікати інших студентів;
- правила захисту розрахункових робіт: автоматичний захист при достатній активності на практичних заняттях, інакше - опитування, що тестує розуміння студентом його розв'язків задач розрахункової роботи;
- правила призначення заохочувальних та штрафних балів: заохочувальні - відповіді на запитання викладача на лекціях, активна (вище встановленої норми) робота на практичних заняттях; штрафні бали - запізнання зі здачею розрахункових робіт;
- політика дедлайнів та перескладань: за запізнання зі здачею розрахункових робіт нараховуються штрафні бали, можливість повторного захисту розрахункової студенту за необхідності може бути надана на повторному колоквіумі; перескладання іспиту - згідно Правилам проведення підсумкового контролю;
- політика щодо академічної доброчесності: при використанні на модульній контрольній або іспиті зовнішніх джерел інформації студент видаляється з відповідного заходу, отримуючи оцінку 0 балів.

### 8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Відвідування лекцій (контроль присутності на лекційних заняттях): 15 балів

Відвідування практичних занять (контроль присутності на лекційних заняттях) та робота на них: 15 балів

Модульна контрольна робота: 15 балів

Розрахункова робота: 15 балів

Заохочувальні бали за відповіді на лекційні питання та активну (вище встановленої норми) роботу на практичних заняттях: сумарний семестровий рейтинг не має перевищувати 60 семестрових +5 екзаменаційних балів

Семестровий контроль: екзамен, 40 балів

Умови допуску до семестрового контролю: *семестровий рейтинг не менше 30 балів.*

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

## 9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

### *Список питань, що виносяться на іспит з курсу «Фізична кінетика»*

- 1. Предмет вивчення нерівноважної термодинаміки та фізичної кінетики, шкала характерних часів для систем багатьох частинок. Схема розв'язку кінетичних задач.
- 2. Шкала характерних часів для систем багатьох частинок. Феноменологічний та кінетичний підхід до вивчення нерівноважних систем багатьох частинок.
- 3. Предмет та методи нерівноважної термодинаміки. Принцип локальної рівноваги.
- 4. Рівняння балансу та закони збереження. Матеріальний та просторовий опис еволюції нерівноважної системи багатьох частинок. Локальне та субстанціальне рівняння балансу.
- 5. Рівняння балансу ентропії, виробництво ентропії. Співвідношення Гіббса для нерівноважних систем.
- 6. Узагальнені сили та потоки. Лінійна нерівноважна термодинаміка. Принцип симетрії Онзагера.
- 7. Доведення принципу симетрії Онзагера для ізольованої системи за умов лінійної нерівноважної термодинаміки.
- 8. Узагальнені сили та потоки. Лінійна нерівноважна термодинаміка. Принцип Кюрі.
- 9. Варіаційні принципи нерівноважної термодинаміки. Варіаційний принцип Онзагера.
- 10. Варіаційні принципи нерівноважної термодинаміки. Варіаційний принцип Пригожина.
- 11. Нелінійна нерівноважна термодинаміка. Критерій еволюції Гленсдорфа-Пригожина.
- 12. Нелінійна нерівноважна термодинаміка. Дисипативні структури.
- 13. Кінетична теорія броунівського руху. Модель броунівського руху в фізичній кінетиці, її постулати.
- 14. Кінетична теорія броунівського руху. Рівняння Ланжевена, дисперсія імпульсу. Формула Ейнштейна.
- 15. Кінетична теорія броунівського руху. Моменти імпульсу вищих порядків.
- 16. Рівняння Смолуховського.
- 17. Випадкові величини та процеси. Марківські процеси. Рівняння Фоккера-Планка.
- 18. Кінетична теорія газів. Принцип детальної рівноваги та співвідношення унітарності.
- 19. Кінетичні рівняння. Кінетичне рівняння Больцмана.
- 20. Ланцюжок рівнянь Боголюбова для нерівноважних функцій розподілу класичних систем.

- 21. Етапи еволюції систем багатьох частинок та відповідні часові масштаби. Кінетичний опис системи на різних етапах.
- 22. Часткові розв'язки ланцюжка рівнянь Боголюбова (з використанням малого параметру). Приклад такого розв'язку.
- 23. Теорія флуктуацій.

**Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Складено** доцентом кафедри ПФ, доктором фіз.-мат. наук, доцентом Кулішом Володимиром Вікторовичем

**Ухвалено** кафедрою прикладної фізики (протокол № \_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ 2020 р.)

**Погоджено** Методичною комісією факультету<sup>1</sup> (протокол № \_\_\_\_ від \_\_\_\_ 2020 р.)

---

<sup>1</sup> Методичною радою університету – для загальноуніверситетських дисциплін.