



# ФІЗИКА СУЦІЛЬНИХ СЕРЕДОВИЦЬ

## 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>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>5 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>3,5 кр ЄКТС /105год Лекцій-36год; практичних-18год: СРС-51год</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік/Модульна контрольна робота, домашня контрольна робота</i>
Розклад занять	
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: <i>д.ф.-м. н., доц. Куліш Володимир Вікторович, тел. +38(044)204-82-48 (роб.)</i> Практичні / Семінарські: <i>д.ф.-м. н., доц. Куліш Володимир Вікторович, тел. +38(044)204-82-48 (роб.)</i>
Розміщення курсу	Система "Електронний кампус КПІ" <a href="https://campus.kpi.ua/">https://campus.kpi.ua/</a> Кредитний модуль "Фізика суцільних середовищ"

### Програма навчальної дисципліни

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

Пропоновані в рамках дисципліни «Фізика суцільних середовищ» знання можуть використовуватись у майбутніх наукових дослідженнях студентів. При цьому моделі, що вивчаються студентами, можуть бути використані за межами досліджених в курсі типів задач. Методи теорії розмірності, що викладаються в рамках даного курсу, можуть використовуватись для наближеного розв'язку задач широкого кола тематик.

##### **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 суцільних середовищах та описуються у рамках гідродинамічного наближення,
- використовувати для розв'язку фізичних (зокрема, гідро- та газодинамічних) задач метод розмірностей та принципи моделювання фізичних явищ, 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).

### **Програмні результати навчання.**

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі результати навчання:

#### **ЗНАННЯ:**

- базових понять гідродинаміки (поняття рідини, течії тощо);
- основних рівнянь динаміки ідеальної рідини (рівняння неперервності, рівняння Ейлера, інтеграл Коші, Бернуллі та Бернуллі-Ейлера);
- двох основних типів змінних гідродинаміки (змінні Лагранжа, змінні Ейлера) та відповідні їм формалізми опису течії рідини;
- основних властивостей та характеристик безвихрового та вихрового руху ідеальної рідини;
- поняття тензору напружень;
- основ комплексного формалізму для опису двовимірного руху ідеальної рідини;
- пі-теореми з доповненням Хантлі, принципів моделювання фізичних явищ;
- основних принципів опису руху в'язкої рідини (рівняння Нав'є-Стокса, число Рейнольдса та його фізичний сенс тощо), поняття ламінарної та турбулентної течії, основ теорії пограничного шару;
- основних понять та рівнянь газодинаміки (особливості газодинамічного наближення, рівняння руху в газодинамічному наближенні, розриви у течії, специфіка дозвукової та надзвукової течії тощо).

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

Пропонований в рамках дисципліни «Фізика суцільних середовищ» матеріал спирається на знання, засвоєні студентами попередньо в рамках циклів загальної фізики та теоретичної фізики (переважно механіки). Отримані в рамках дисципліни «Фізика суцільних середовищ» знання безпосередньо забезпечують основу для розуміння дисципліни «Фізика плазми». Крім того, використання гідро- та газодинамічних моделей, а також методу розмірностей можливе у різних розділах фізики – як дисциплін магістерського рівня спеціальності «Прикладна фізика», так і у наукових дослідженнях.

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

#### **Розділ 1. Вступ до гідро- та газодинаміки.**

Шкала характерних часів системи багатьох частинок. Етапи еволюції системи багатьох часинок. Гідродинамічний етап еволюції.

Поняття рідини. Поняття течії. В'язка та ідеальна рідина. Основна задача гідродинаміки.

Коваріантні та контраваріантні вектори і тензори. Фізичні компоненти векторів.

Змінні Лагранжа та Ейлера.

Рівняння неперервності.

#### **Розділ 2. Гідродинаміка ідеальної рідини.**

Основні припущення гідродинаміки ідеальної рідини. Рівняння Ейлера. Повна система рівнянь динаміки ідеальної рідини. Інтеграл руху для ідеальної рідини: інтеграл Бернуллі, інтеграл Коші, інтеграл Бернуллі-Ейлера. Теореми Бернуллі, поверхні Ламба. Наслідки з інтегралів руху.

#### **Розділ 3. Тензор напружень у рідині**

Масові та поверхневі сили. Тензор напружень у рідині. Теорема взаємності дотичних напружень.

#### **Розділ 4. Основи гідростатичного наближення.**

Гідростатичне наближення. Рівняння рівноваги. Сила Архімеда.

#### **Розділ 5. Вихровий та безвихровий рух рідини**

Вихровий рух, вектор завихореності, вихрове поле та їх властивості. Вихрові лінії, трубки та нитки. Рівняння для вихрового руху. Теорема Томпсона та теорема Лагранжа. Вихровий рух рідини, що покоїться на безмежності; вихор Хілла. Загальні властивості безвихрового руху нестисливої рідини.

#### **Розділ 6. Опис плоского руху ідеальної рідини у комплексному формалізмі.**

Плоский рух рідини. Плоский рух ідеальної рідини. Потенціал швидкості. Функція струму та її властивості. Комплексний формалізм в описі плоскої течії нестисливої рідини. Комплексна швидкість та комплексний потенціал. Аналіз течії по заданому комплексному потенціалу, приклади. Джерела та стоки. Дублети.

#### **Розділ 7. Пі-теорема, моделювання фізичних явищ.**

Основне припущення методу розмірностей. Розмірність та однорідність по розмірності. Формулювання пі-теорема. Доповнення Хантлі. Моделювання фізичних явищ.

#### **Розділ 8. Гідродинаміка в'язкої рідини.**

Гідродинамічні коефіцієнти в'язкості. Основні припущення гідродинаміки в'язкої рідини. Рівняння Нав'є-Стокса. Безрозмірні комбінації для течії в'язкої рідини.

Рух в'язкої рідини при різних числах Рейнольда; ламінарний та турбулентний рух. Основи теорії пограничного шару. Система рівнянь Прандтля.

#### **Розділ 9. Основи газодинаміки.**

Типові газодинамічні задачі та газодинамічне наближення. Дозвукова та надзвукова течія газу. Розриви в течії газу. Рівняння руху газу в інтегральному вигляді. Опис стаціонарного потоку газу.

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

#### **Рекомендована література**

##### *Основна*

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т.6. Гидродинамика – М., Наука, 1986 г.
2. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе И.В. Теоретическая гидромеханика. В 2-х т. – М., Государственное издательство физико-математической литературы, 1963 г.
3. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М., Дрофа, 2003 г.
4. Серрин Дж. Математические основы классической механики жидкости. – М., Издательство иностранной литературы, 1963 г.
5. Биркгоф Г. Гидродинамика. – М., Издательство иностранной литературы, 1963 г.
6. Бэтчелор Дж. Введение в динамику жидкости. – М., Мир, 1973 г.
7. Прандтль Л. Гидроаэромеханика. – Москва-Ижевск, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2002 г.

##### *Допоміжна*

1. Ламб Г. Гидродинамика – М., ОГИЗ, 1947 г.
2. Милн-Томсон Л.М. Теоретическая гидродинамика. – М., Мир, 1964 г.
3. Рауз Х. Механика жидкости. – М., Издательство литературы по строительству, 1967 г.

### **● 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 домашньої контрольної роботи, підготовка до заліку, разом 51 година.

## 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 - запізнення зі здачею розрахункових робіт;
- політика дедлайнів та перескладань: за запізнення зі здачею домашніх контрольних робіт нараховуються штрафні бали, можливість повторного захисту контрольної студенту за необхідності може бути надана на повторному колоквіумі; перескладання заліку - 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): 20 балів

Відвідування практичних занять (контроль присутності на практичних заняттях) та робота на них: 10 балів

Модульна контрольна робота: 20 балів

Домашня контрольна робота: 10 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

Семестровий контроль: залік, 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 залік з курсу «Фізика суцільних середовищ»**

- 1. Поняття рідини. Поняття течії. В'язка та ідеальна рідина. Основна задача гідродинаміки.
- 2. Коваріантні та контраваріантні вектори і тензори. Фізичні компоненти векторів.
- 3. Змінні Лагранжа та Ейлера.
- 4. Рівняння неперервності. Рівняння Ейлера. Повна система рівнянь динаміки ідеальної рідини.
- 5. Інтеграл руху для течії, що встановилась, та для безвихрової течії. Інтеграл Бернуллі. Наслідки з інтегралів руху.

- 6. *Інтеграл руху для течії, що встановилась, та для безвихрової течії. Інтеграл Коші. Інтеграл Бернуллі-Ейлера.*
- 7. *Інтеграл руху для течії, що встановилась, та для безвихрової течії. Теорема Бернуллі, поверхні Ламба. Наслідки з інтегралів руху.*
- 8. *Масові та поверхневі сили. Тензор напружень у рідині.*
- 9. *Гідростатичне наближення. Вихровий рух рідини, що покоїться на безмежності; вихор Хілла.*
- 10. *Вихровий рух, вихрове поле та їх властивості. Рівняння для вихрового руху.*
- 11. *Теорема Томпсона та теорема Лагранжа.*
- 12. *Загальні властивості безвихрового руху нестисливої рідини.*
- 13. *Плоский рух рідини. Функція струму.*
- 14. *Комплексний формалізм в описі плоскої течії нестисливої рідини. Комплексна швидкість та комплексний потенціал.*
- 15. *Аналіз плоскої течії по заданому комплексному потенціалу. Джерела та стоки. Дублети.*
- 16. *Метод розмірностей та пі-теорема. Розмірності фізичних величин. Формулювання пі-теорема.*
- 17. *Пі-теорема. Доповнення Хантлі. Моделювання фізичних явищ.*
- 18. *Рух в'язкої рідини. Коефіцієнти в'язкості. Безрозмірні комбінації для течії в'язкої рідини.*
- 19. *Рух в'язкої рідини. Рівняння Нав'є-Стокса. Вивід рівняння Нав'є-Стокса через другий закон Ньютона.*
- 20. *Рух в'язкої рідини. Рівняння Нав'є-Стокса. Вивід рівняння Нав'є-Стокса через тензор густини потоку імпульсу.*
- 21. *Рух рідини за різних чисел Рейнольда. Ламінарна та турбулентна течія.*
- 22. *Основи теорії пограничного шару. Система рівнянь Прандтля.*
- 23. *Динаміка течії газу. Особливості газодинамічного наближення. Дозвукова та надзвукова течія. Рівняння руху газу в інтегральному вигляді.*
- 24. *Розриви неперервності в течії газу. Поверхні розриву.*

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

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

**Ухвалено** кафедрою прикладної фізики (протокол № 2/2020-2021 від 04.09.2020 р.)

**Затверджено** Вченою Радою ФТІ (протокол № 7/1 від 07.09.2020 р.)