



# ТЕОРІЯ СКЛАДНИХ МЕРЕЖ

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>10 Природничі науки</i>
Спеціальність	<i>104 Фізика та астрономія</i>
Освітня програма	<i>Комп'ютерне моделювання фізичних процесів</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>5 кредитів</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен / МКР</i>
Розклад зайняти	<i>Час і місце проведення аудиторних зайняти викладені на сайті <a href="http://rozklad.kpi.ua/">http://rozklad.kpi.ua/</a></i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i><b>Лектор:</b> д.ф.-м.н., проф. Снарський Андрій Олександрович, <a href="mailto:asnarskii@gmail.com">asnarskii@gmail.com</a> 0676982636 <b>Практичні заняття:</b> д.ф.-м.н., проф. Снарський Андрій Олександрович, <a href="mailto:asnarskii@gmail.com">asnarskii@gmail.com</a> 0676982636</i>
Розміщення курсу	<i>Електронний кампус КПІ ім. Ігоря Сікорського, платформа Сікорський (код курсу Google Classroom: ikeutqt)</i>

### Програма навчальної дисципліни

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

*Мета навчальної дисципліни – формування та закріплення у здобувачів компетентностей, навичок та вмінь щодо використання апарату теорії складних мереж дослідженнях.*

*Предмет навчальні дисципліни – закони, методи та засоби теорії складних мереж як складові процесу фізичних досліджень.*

*1. Дисципліна «теорія складних мереж» належить до циклу дисциплін професійної підготовки та вивчається студентами у 2-му семестрі навчання в магістратурі за спеціальністю 104 Фізика та астрономія. Ця дисципліна спрямована на формування у студентів базових знань та навичок щодо процесів, явищ та законів відповідної галузі фізики. Зокрема,*

#### 2. Цілі:

- Розуміння основних концепцій та теоретичних моделей, пов'язаних із комплексними мережами.*
- Розвиток уміння аналізу та моделювання різних видів складних мереж.*
- Застосування знань про складні мережі до вирішення практичних завдань у різних галузях, таких як фізика, біологія, соціологія, інформатика та інші.*

### 3. Предмет вивчення:

- Структура складних мереж: Аналіз топології, зв'язків та характеристик мережевих елементів.
- Моделювання складних мереж: створення математичних моделей, що описують взаємодії між елементами мережі.
- Аналіз мереж: Розробка методів аналізу мереж, включаючи виявлення ключових вузлів, виявлення угруповань, оцінку масштабних властивостей та інші.
- Прикладні аспекти: Застосування теорії складних мереж для вирішення конкретних завдань у різних галузях, таких як вивчення соціальних мереж, моделювання біологічних систем, аналіз даних та інші.

### 4. Результати навчання:

- Розуміння ключових понять та теорій, пов'язаних із теорією складних мереж.
- Здатність аналізувати та моделювати складні системи у вигляді мереж.
- Навички у застосуванні методів аналізу мереж до реальних даних та завдань.
- Здатність розглядати та вирішувати проблеми, використовуючи інструменти теорії складних мереж.
- Вміння узагальнювати та застосовувати отримані знання у різних галузях, включаючи фізику, біологію, інформатику та соціологію.

### ЗДАТНІСТЬ:

- опанувати основні положення теорії;
- аналізувати структуру та поведінку складних мереж, включаючи соціальні мережі, біологічні мережі, мережі взаємодії у фізиці та інші
- методи моделювання та аналізу динаміки на мережах
- навички роботи з даними, включаючи збирання, обробку, візуалізацію та аналіз великих мережевих даних
- дізнатися у тому, як складні мережі можуть виявляти емерджентні властивості, які можна пояснити вивченням окремих компонентів. Це важливе розуміння аналізу складних фізичних систем.
- моделювання взаємодії частинок, поширення сигналів у фізичних мережах або аналіз соціофізичних систем
- 

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі результати навчання:

#### ЗНАННЯ:

- концептуальних підходів теорії складних мереж до вивчення фізичних та інших явищ;
- розуміти основні поняття у галузі теорії складних мереж, такі як вершини, ребра, графи, ступінь вершини, центральність, кластеризація;
- Знання математичних методів, що використовуються в аналізі складних мереж, включаючи теорію графів, лінійну алгебру та імовірнісні методи;
- Навички аналізу мереж, включаючи обчислення центральностей вершин, виявлення угруповань, аналіз розподілів ступенів основ формалізму теорії складних систем;
- Знання того, як теорія складних мереж застосовується в різних галузях, включаючи фізику, біологію, соціологію, економіку та інформатику, та здатність адаптувати отримані знання до конкретних наукових чи прикладних завдань у цих галузях;
- методика розв'язання задач з теорії складних мереж;

## УМІННЯ:

- аналізувати навчальну та навчально-методичну літературу, використовувати її у навчальному процесі;
- складати математичні моделі задач теорії складних мереж;
- вміти проводити аналіз структури мереж, визначати ключові вершини та ребра, аналізувати структурні метрики та розуміти їх значення у контексті дослідження;
- Вміння візуалізувати мережі та їх характеристики з використанням графічних інструментів та програмних бібліотек для наочного представлення результатів аналізу;
- Вміння використовувати програмні інструменти та бібліотеки, такі як NetworkX, Gephi, igraph, для роботи з мережами та проведення аналізу;
- Вміння використання теорії складних мереж для вирішення практичних завдань, таких як аналіз соціальних мереж, мереж транспортних систем, мереж взаємодії білків та інших;
- аналізувати та інтерпретувати отримані результати розв'язання завдань;
- знаходити зв'язки та робити граничні переходи від отриманих результатів до відомих даних, отриманих з більш простих моделей;
- викладати матеріал логічно та послідовно.

## Програмні результати навчання.

### Компетентності:

ЗК01. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК04. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК06. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми.

ФК01. Здатність використовувати закони та принципи фізики та/або астрономії у поєднанні із потрібними математичними інструментами для опису природних явищ.

ФК02 Здатність формулювати, аналізувати та синтезувати рішення наукових проблем в області фізики та/або астрономії.

ФК05. Здатність сприймати новоздобуті знання в області фізики та/або астрономії та інтегрувати їх із уже наявними, а також самостійно опановувати знання і навички, необхідні для розв'язання складних задач і проблем у нових для себе деталізованих предметних областях фізики та/або астрономії й дотичних до них міждисциплінарних областях.

ПРН 01. Вміти використовувати концептуальні та спеціалізовані знання і розуміння актуальних проблем і досягнень обраних напрямів сучасної теоретичної і експериментальної фізики та/або астрономії для розв'язання складних задач і практичних проблем.

ПРН02. Вміти проводити експериментальні та/або теоретичні дослідження з фізики та/або астрономії, аналізувати отримані результати в контексті існуючих теорій, робити аргументовані висновки (включаючи оцінювання ступеня невизначеності) та пропозиції щодо подальших досліджень.

ПРН05. Здійснювати феноменологічний та теоретичний опис досліджуваних фізичних та/або астрономічних явищ, об'єктів і процесів.

ПРН06. Вміти обирати ефективні математичні методи та інформаційні технології та застосовувати їх для здійснення досліджень та/або інновацій в області фізики та/або астрономії.

ПРН11. Уміти застосовувати теорії, принципи і методи фізики та/або астрономії для розв'язання складних міждисциплінарних наукових і прикладних задач.

ПРН13. Створювати фізичні, математичні і комп'ютерні моделі природних об'єктів та явищ, перевіряти їх адекватність, досліджувати їх для отримання нових висновків та поглиблення розуміння природи, аналізувати обмеження.

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

Вивчення цього кредитного модуля потребує базових знань дисциплін бакалаврського рівня, таких як «Теоретична фізика. Класична механіка», «Теоретична фізика. Квантова механіка», «Математичний аналіз», «Основи векторного та тензорного аналізу», «Аналітична геометрія та лінійна алгебра», «Диференціальні та інтегральні рівняння». Знання, здобуті студентами з курсу теорії складних мереж, розширюють спроможності студентів використовувати знання з фізики при виконанні міждисциплінарних досліджень.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

Дисципліна структурно розділена на 6 розділів:

### **Розділ 1. Складні мережі.**

Тема 1.1. Параметри вузлів мережі, найкоротший шлях між вузлами, коефіцієнт глобальної ефективності, коефіцієнт кластеризації, посередництво.

Тема 1.2. Модулярність, еластичність мережі, феномени мереж, слабкі зв'язки, Small World, феномен клубу багатих.

### **Розділ 2. Моделі артефактних мереж.**

Тема 2.1. Імовірнісні розподіли, мережа Ердеша-Реньї, модель мережі Барабаші-Альберта

Тема 2.2. Мережа малого світу Ваттса – Строгатца, мережа  $(u, v)$  – квіток та дерев, перколяційні мережі

### **Розділ 3. Пошук у мережах.**

Тема 3.1. Векторно-просторова модель пошуку, моделі пошуку в пірінгових мережах, алгоритм пошуку ресурсів за ключами.

Тема 3.2. Метод широкого первинного пошуку, метод випадкового широкого первинного пошуку, Інтелектуальний пошуковий механізм.

Тема 3.3. Методи "більшості результатів з минулої евристики", метод "випадкових блукань", рангові характеристики, алгоритм HITS, алгоритм PageRank.

### **Розділ 4. Мережі різного типу.**

Тема 4.1. Мережа Ердеша-Реньї, мережа Барабаші-Альберта..

Тема 4.2. Семантичні мережі, мережі мови.

### **Розділ 5. Графи видимості.**

Тема 5.1. Перетворення часових рядів на складні мережі (різні варіанти).

Тема 5.2. Графи горизонтальної видимості як засіб витягу визначальних слів тексту.

### **Розділ 6. Перколяція.**

Тема 6.1. Геометрія перколяційних кластерів, поріг протікання, ґратові «звірі», демон Кастеляйна-Фортуїна.

Тема 6.2. Теорія середнього поля, геометричний фазовий перехід, критичні індекси.

Тема 6.3. Універсальність, ренорм-груповий метод обчислення критичних індексів.

Тема 6.4. Фізичні процеси у перколяційних мережах.

Тема 6.5. Мережа Мюллера-Абрахамса. Високотемпературна стрибкова провідність.

#### 4. Навчальні матеріали та ресурси

##### Базова література:

1. Грінченко В. Т., Маципура В. Т., Снарський А. О. Крок до таємниць нелінійного світу: Хаос і фрактали : навчальний посібник. – К. : ВПЦ "Київський університет", 2024. – 390 с./
2. Снарський О.О., Ланде Д.В., Субач І.Ю., Моделювання, аналіз та візуалізація складних мереж, Київ: Інжиніринг, 2023. - 206 с.
3. Ю. Головач, О. Олемський, К. фон Фербер, Т. Головач, О. Мриглод, І. Олемський, В. Пальчиков, Складні мережі, Журнал фізичних досліджень, 10, 247, 2006.
4. Eric Ma та Mridul Seth. Network Analysis Made Simple An introduction to network analysis and applied graph theory using Python and NetworkX. Leanpub, 2021. - 191 p
5. Dietrich Stauffer, Amnon Aharony. Introduction To Percolation Theory. CRC Press, 2018. - 192p.

##### Додаткова література:

1. Barabási A.L., Albert R. Emergence of scaling in random networks. Science, 1999. – Vol. 286 (5439): 509–512.
2. Watts DJ, Strogatz SH (June 1998). "Collective dynamics of 'small-world' networks". Nature. 393 (6684): 440–2.
3. Erdős P., Rényi A. On the evolution of random graphs. Publ. Math. Inst. Hungar. Acad. Sci., 1960. – № 5. – pp. 17-61.
4. Newman, M. E. J. & Watts, D. J. Renormalization group analysis of the small-world network model. Physics Letters A 263, 341 (1999).
5. M. E. J. Newman, C. Moore and D. J. Watts. Mean-field solution of the small-world network model (2000). Phys. Rev. Lett. 84, 3201–3204.
6. Brin S., Page L. The Anatomy of a Large-Scale Hypertextual Web Search Engine. WWW7, 1998.
7. Strogatz S.H. Exploring Complex Networks. Nature, 2001. – 410. – pp. 268-276.
8. Albert R., Barabasi A.-L. Statistical mechanics of complex networks. Reviews of Modern Physics, 2002. – 74. – P. 47.
9. Головач Ю., Пальчиков В. Лис Микита і мережі мови. Журнал фізичних досліджень. – Т. 11, №. 1, 2007. – С. 22-33.
10. Bezsudnov I.V., Snarskii A.A. From the time series to the complex networks: The parametric natural visibility graph, Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 414, 53-60.

Всі наведені джерела можна завантажити з Електронного кампусу КПІ ім. Ігоря Сікорського або з папки курсу на платформі Сікорський.

##### Інформаційні ресурси:

1. Електронний кампус КПІ ім. Ігоря Сікорського, методичне забезпечення кредитного модуля «Теорія складних мереж».
2. Платформа "Сікорський", дистанційний курс "Теорія складних мереж", код курсу t563lp3.

## 5. Методика опанування навчальної дисципліни

Навчальна частина дисципліни складена з лекційного матеріалу, практичних занять та контрольних заходів у вигляді МКР та екзамену. При викладанні дисципліни рекомендується побудувати ознайомлення студентів з предметом таким чином, щоб вони не тільки отримували ту чи іншу інформацію щодо курсу, який вивчається, а й відчували зв'язок між різними темами кредитного модуля, а також місце модуля серед інших фізичних дисциплін. Загальний методичний підхід до викладання навчальної дисципліни визначається як комунікативно-когнітивний та професійно-орієнтований, згідно з яким у центрі освітнього процесу знаходиться студент – суб'єкт навчання та майбутній фахівець.

### Лекційні заняття:

№	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1.	Розділ 1, тема 1.1. Лекція 1. Параметри вузли мережі, найкоротший шлях між вузлами, коефіцієнт глобальної ефективності, коефіцієнт кластеризації, посередництво. [1,2], Розділ 1., 1.1-1.6
2.	Розділ 1, тема 1.2. Лекція 2. Модулярність, еластичність мережі, феномени мереж, слабкі зв'язки, Small World, феномен клубу багатих. [1,2], Розділ 1., 1.7-1.9
3.	Розділ 2, теми 2.1-2.2. Лекція 3. Моделі артефактних мереж. Імовірнісні розподіли, мережа Ердеша-Реньї, модель мережі Барабаші-Альберта [1], Розділи 1,2.
4.	Розділ 2, тема 2.2-2.3. Лекція 4. Мережа малого світу Ваттса – Строгатца, мережа $(u, v)$ – квіток та дерев, [1,2], Розділ 2.
5.	Розділ 2, теми 2.4-2.5. Лекція 5. Перколяційні мережі, обчислення характеристик мереж [1], Розділ 2.
6.	Розділ 3, тема 3.1. Лекція 6 Векторно-просторова модель пошуку, моделі пошуку в пірінгових мережах, алгоритм пошуку ресурсів за ключами. [1], Розділ 3.
7.	Розділ 3, тема 3.2. Лекція 7. Векторно-просторова модель пошуку, моделі пошуку в пірінгових мережах, алгоритм пошуку ресурсів за ключами. [1], Розділ 3.
8.	Розділ 3, тема 3.3.

	<i>Лекція 8. Методи "більшості результатів з минулої евристики", метод "випадкових блукань", рангові характеристики, алгоритм HITS, алгоритм PageRank. [1], Розділ 3.</i>
9.	<i>Розділ 4, тема 4.1. Лекція 9. Мережа Ердеша-Реньї, мережа Барабаші-Альберта. [1], Розділ 3.</i>
10.	<i>Розділ 4, тема 4.2. Лекція 10. Семантичні мережі, мережі мови. [1], Розділ 3.</i>
11.	<i>Розділ 5, тема 5.1. Лекція 11 Перетворення часових рядів на складні мережі. NVG, HVG,PVG, PenVG,3DVG [1], § 1.1.</i>
12.	<i>Розділ 6. Лекція 12. Графи горизонтальної видимості як засіб витягу визначальних слів тексту. [1], 6</i>
13.	<i>Розділ 6, тема 6.1. Лекція 13. Геометрія перколяційних кластерів, поріг протікання, ґратові «звірі», демон Кастеляйна-Фортуїна. [1], 8.</i>
14.	<i>Розділ 6 , тема 6.2. Лекція 14. Теорія середнього поля, геометричний фазовий перехід, критичні індекси. [1], 8</i>
15.	<i>Розділ 6 , тема 6.3. Лекція 15. Універсальність, ренорм-груповий метод обчислення критичних індексів [1], 8.</i>
16.	<i>Розділ 6, тема 6.4. Лекція 16. Фізичні процеси у перколяційних мережах. частина 1 [1], 8.</i>
17.	<i>Розділ 6, тема 6.4. Лекція 16. Фізичні процеси у перколяційних мережах. частина 2 [1], 8.</i>
18.	<i>Розділ 6, тема 6.5. Лекція 17. Мережа Мюллера-Абрахамса. Високотемпературна стрибкова провідність [1], Розділ 8.</i>

## **6. Самостійна робота студента**

*Самостійна робота студента є основним засобом засвоєння навчального матеріалу у вільний від навчальних зайняти годину і включає:*

<i>№ з/п</i>	<i>Вид самостійної роботи</i>	<i>Кількість годин СРС</i>
<i>1</i>	<i>Підготовка до аудиторних зайняти</i>	<i>60</i>
<i>2</i>	<i>Підготовка до МКР</i>	<i>6</i>

3	Підготовка до заліку	30
---	----------------------	----

## Політика та контроль

### 7. Політика навчальної дисципліни

*Система вимог, які викладач ставить перед студентом:*

- *правила відвідування зайняти: відповідно до Наказу 1-273 від 14.09.2020р. заборонено оцінювати присутність або відсутність здобувача на аудиторному занятті, в тому числі нараховувати заохочувальні або штрафні бали. Відповідно до PCO даної дисципліни бали нараховують за відповідні види навчальної активності на практичних заняттях.*
- *правила поведінки на заняттях: студент має слушно виконувати вказівки викладача щодо роботи на занятті, поводитися стримано та не заважати іншим студентам та викладачу. Використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-дискі викладача, в інтернеті, в дистанційному курсі на платформі Сікорський здійснюється за умови вказівки викладача;*
- *політика дедлайнів та перескладань: якщо студент не проходив або не з'явився на контрольну роботу (без поважної причини), його результат оцінюється у 0 балів. Успішним вважається виконання контрольної роботи, якщо студент отримав за неї не менше ніж 50% від максимальної кількості балів. У разі пропуску контрольної роботи без поважної причини або неуспішної здачі контрольної роботи перескладання контрольної роботи здійснюється за погодженням з викладачем, при цьому максимальна оцінка, яку студент може отримати за контрольну роботу, зменшується на 2 бали по відношенню до вчасної здачі контрольної роботи;*
- *політика щодо академічної доброчесності: Кодекс честі Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" <https://kpi.ua/files/honorcode.pdf> що працюють і навчаються в університеті, якими вони мають керуватись у своїй діяльності, у тому числі при вивченні та складанні контрольних заходів з дисципліни «Фізика твердого тіла»;*
- *при використанні цифрових засобів зв'язку з викладачем (мобільний зв'язок, електронна пошта, листування на форумах та в соцмережах тощо) необхідно дотримуватись загальноприйнятих етичних норм, зокрема бути ввічливим та обмежувати спілкування робочим часом викладача.*

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

*Види контролю:*

***Поточний контроль:*** МКР.

***Календарний контроль:*** проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

***Семестровий контроль:*** екзамен.

***Умови допуску до семестрового контролю:*** успішне виконання всіх контрольних робіт, семестровий рейтинг не менше 36 балів.

*На першому занятті студенти ознайомлюються з рейтинговою системою оцінювання (PCO) дисципліни, яка побудована на основі «Положення про систему оцінювання результатів навчання», [https://document.kpi.ua/files/2020\\_1-273.pdf](https://document.kpi.ua/files/2020_1-273.pdf).*



Рейтингова система оцінювання результатів навчання

1. Рейтинг студента з кредитного модуля розраховується зі 100 балів, з них 60 балів складає стартова шкала. Рейтинг студента складається з балів, що студент отримує за:

- 1) Три контрольних роботи (МКР поділяється на 3 контрольних робіт тривалістю по 0,66 акад. годин);
  - 2) відповідь на екзамені.
2. Критерії нарахування балів.

Виконання контрольних робіт:

Ваговий бал –20 балів. Максимальна кількість балів за всі контрольні роботи дорівнює 20 балів x 3 = 60 балів. Критерії оцінювання:

творча робота	-17 –20 балів,
роботу виконано з незначними недоліками	15 –17 балів,
роботу виконано з певними помилками	-10 – 15 балів,
роботу не зараховано (завдання не виконане або є грубі помилки)	- 0 балів.

3. Умовою першої атестації є отримання не менше 8 балів та успішне виконання всіх контрольних робіт на час атестації. Умовою другої атестації – отримання не менше 20 балів, виконання всіх контрольних робіт на час атестації.

4. Умовою допуску до екзамену є успішне виконання всіх контрольних робіт, а також стартовий рейтинг не менше 30 балів.

5. На екзамені студенти готують короткі письмові розрахунки та дають усну відповідь. Кожне завдання містить два теоретичних запитання. Кожне запитання в білеті оцінюється у 20 балів за такими критеріями:

- «відмінно», повна відповідь, не менше 90% потрібної інформації (повне, безпомилкове розв'язування завдання) – 20-17 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь, не менше 75% потрібної інформації або незначні неточності (повне розв'язування завдання з незначними неточностями) – 16-13 балів;
- «задовільно», неповна відповідь, не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками) – 12-8 балів;
- «незадовільно», відповідь не відповідає умовам до «задовільно» – 0 балів.

Для об'єктивної оцінки знань студента викладач має право ставити додаткові запитання з програми курсу, які не містяться в білеті.

6. Сума отриманих балів переводиться до залікової оцінки згідно з таблицею:

Кількість балів	Оцінка
100 ... 95	Відмінно
94...85	Дуже добре
84...75	Добре
74...65	Задоволено
64...60	Достатньо
Менше 60	Невдоволено
Є незараховані контрольні роботи	Не допущено

## **9. Додаткова інформація з дисципліни**

- *Перелік запитань наведено у Електронному кампусі КПІ ім. Ігоря Сікорського та у папці курсу на платформі «Сікорський».*
- *Сертифікати проходження дистанційних чи онлайн-курсів за відповідною тематикою можуть бути зараховані за умови виконання вимог, наведених у НАКАЗІ № 7-177 ВІД 01.10.2020 р. «Про затвердження положення про визнання у КПІ ім. Ігоря Сікорського результатів навчання, набутих у неформальній/інформальній освіті».*

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

**Склав**, д.ф.-м.н., проф. Снарський А.О.

**Прийнято** кафедрою загальної фізики (протокол № 8 від 18.06.2024 р.).

**Погоджено** Методичною комісією ФМФ (протокол № 10 від 25.06.2024 р.).