

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ  
СІКОРСЬКОГО”**

**КАФЕДРА ЗАГАЛЬНОЇ ФІЗИКИ**

**ФІЗИЧНІ ПРОЦЕСИ В НЕУПОРЯДКОВАНИХ СЕРЕДОВИЩАХ**

**РОБОЧА НАВЧАЛЬНА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ (Силабус)**

**Реквізити навчальної дисципліни**

Рівень вищої освіти	третій
Галузь знань	10 Природничі науки
Спеціальність	104 Фізика та астрономія
Освітня програма	Фізика
Статус дисципліни	вибіркова
Форма навчання	очна/денна
Рік підготовки, семестр	2 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	3 кредити
Семестровий контроль/ Контрольні заходи	Залік/МКР
Розклад занять	час і місце проведення аудиторних викладені на сайті <a href="http://rozklad.kpi.ua/">http://rozklad.kpi.ua/</a>
Мова викладання	українська
Інформація про керівника курсу	д.ф.-м.н., проф. Снарський Андрій Олександрович <a href="mailto:asnarskii@gmail.com">asnarskii@gmail.com</a> 0676982636
Розміщення курсу	CAMPUS

**Програма навчальної дисципліни**

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

Програму навчальної дисципліни «Фізичні процеси в неупорядкованих середовищах» складено відповідно до освітньої програми «Фізика» підготовки доктора філософії спеціальності 104 – Фізика та астрономія.

*Мета* навчальної дисципліни – формування у аспірантів компетентностей в області фізики конденсованого стану, фазових перетворень, явищ та нелінійних процесів в неупорядкованих середовищах, перколяційної поведінки композитів.

*Предмет* навчальної дисципліни – кінетичні явища в макроскопічно неоднорідних середовищах, критичні явища, що їх супроводжують.

### **Програмні результати навчання:**

*Компетентності:* (ФК01) здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання в фізиці конденсованого стану та дотичних до неї міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з фізики конденсованого стану та суміжних галузей.

*Знання:* (ПРН01) передові концептуальні та методологічні знання з фізики кінетичних явищ в макроскопічно неоднорідних середовищах та критичних явищ і на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень з відповідного напрямку, отримання нових знань та/або здійснення інновацій.

*Уміння:* (ПРН05) планувати і виконувати дослідження з фізики кінетичних явищ в макроскопічно неоднорідних середовищах та дотичних міждисциплінарних напрямків з використанням сучасних інструментів, критично аналізувати результати у контексті усього комплексу сучасних знань з фізики кінетичних явищ в макроскопічно неоднорідних середовищах.

Після засвоєння матеріалу дисципліни аспіранти отримають знання з фізики кінетичних явищ в макроскопічно неоднорідних середовищах та критичних явищ, принципів та методів фізики конденсованого стану, теорії опису кінетичних явищ в макроскопічно неоднорідних середовищах; набудуть уміння застосовувати здобуті фундаментальні знання теорії кінетичних явищ в макроскопічно неоднорідних середовищах при розробці нових наукових методик та в новітніх промислових технологіях, в зразках нових матеріалів, для пояснення отриманих даних і передбачення нових наукових результатів, класифікувати та описувати кінетичні явища в макроскопічно неоднорідних середовищах, знаходити критичні точки та критичні індекси у перколяційних системах, складати математичні моделі опису кінетичних явищ в макроскопічно неоднорідних середовищах; отримають досвід практичного застосування методів опису кінетичних явищ в макроскопічно неоднорідних середовищах та критичних явищ, проведення досліджень і узагальнення їх результатів в області кінетичних явищ і процесів в макроскопічно неоднорідних середовищах, самостійної роботи з навчальною, науковою та довідковою літературою у області кінетичних явищ в макроскопічно неоднорідних середовищах українською та іноземними мовами.

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

Для успішного засвоєння дисципліни студент повинен володіти знаннями та компетентностями, отриманими при вивченні дисциплін загальної та теоретичної фізики, а також математичного аналізу та диференціальних рівнянь на першому та другому рівнях вищої освіти. Компетентності, знання, уміння та досвід, одержані в процесі вивчення кредитного модуля є необхідними для проведення наукових досліджень та їх представлення, а також для якісного виконання наукових досліджень за темою дисертації.

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

Дисципліну структурно розділено на 6 розділів:

Розділ 1. Термодинамічна теорія фазових переходів.

Розділ 2. Моделі фазових переходів.

Розділ 3. Метод середнього поля в описі кінетичних явищ в макроскопічно неоднорідних середовищах.

Розділ 4. Квантові процеси в кінетичних явищ в макроскопічно неоднорідних середовищах.

Розділ 5. Фазові переходи в перколяційних системах.

Розділ 6. Критична поведінка магнітоеластомерів.

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

*Базова література:*

1. Snarskii, A.; Bezsudnov, I.V.; Sevryukov, V.A.; Mozovski, A.; Malinsky, J. Transport Processes in Macroscopically Disordered Media. From Mean Field Theory to Percolation, Springer Verlag: New York, USA, 2016.
2. Torquato, S. Random Heterogeneous Materials. Microstructure and Macroscopic Properties, Springer Verlag: New York, USA, 2002.
3. Milton, G.W. The Theory of Composites, Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2002.
4. Stauffer, D.; Aharoni, A. Introduction to Percolation Theory, Taylor & Francis: London, UK, 1994.
5. Landauer, R. The electrical resistance of binary metallic mixtures. J. Appl. Phys. 1952, 23, 779-784.
6. 20. Gibiansky, L.V.; Torquato, S. Rigorous link between the conductivity and elastic moduli of fibre-reinforced composite materials. Phil. Trans. Royal Soc. London. Ser. A: Phys. Eng. Sci. 1995, 353, 243-278.
7. Bergman, D.J.; Kantor, Y. Critical properties of an elastic fractal. Phys. Rev. Lett., 1984, 53, 511-514.
8. Dykhne, A.M. Conductivity of a two-dimensional two-phase system. Sov. Phys. JETP 1971, 32, 63-65.

9. L. D. Landau, E. M. Lifshitz (1980). Statistical Physics. Vol. 5 (3rd ed.). Butterworth-Heinemann. ISBN 978-0-7506-3372-7.
10. L. D. Landau, E. M. Lifshitz, L.P. Pitaevskii (1984). Electrodynamics of Continuous Media. Vol. 8 (2nd ed.). Butterworth-Heinemann. ISBN 978-0-7506-2634-7.
11. H. Eugene Stanley, (1971). Introduction to Phase Transitions and Critical Phenomena. Claredon Press. Oxford, ISBN-10: 0195053168.

*Допоміжна література:*

1. Snarskii, A. A., Kalita, V. M., Shamonin, M. (2018). Renormalization of the critical exponent for the shear modulus of magnetoactive elastomers. Scientific reports, 8(1), 1-8.
2. Kalita, V. M., Lozenko, A. F., Ryabchenko, and all, (2009). Critical behavior of a La<sub>0.7</sub>Sr<sub>0.3</sub>MnO<sub>3</sub> crystal in the vicinity of its transition to ferromagnetic state. Ukr. J. Phys., 54, 157-164.
3. Shklovskii, B.I.; Efros, A.L. Electronic properties of doped semiconductors, Springer Science & Business Media, Berlin, Germany, 1984.
4. Balagurov, B.Y. Percolation Thresholds and Phase Transitions in Binary Composites. J. Exp. Theor. Phys. 2018, 126, 417-421.
5. Landau, L.D.; Kosevich, A.M.; Pitaevskii, L.P.; Lifshitz, E.M. Theory of elasticity, Butterworth-Heinemann, Oxford, UK, 1986, pp. 1-195.
6. 54. V. M. Kalita, A. F. Lozenko, and S. M. Ryabchenko, Low Temp. Phys. 26, 489 (2000).
7. 55. V. M. Kalita, A. F. Lozenko, S. M. Ryabchenko, and P. A. Trotsenko, Low Temp. Phys. 31, 794 (2005).
8. V. M. Kalita, I. Ivanova, and V. M. Loktev, Phys. Rev. B 78, 104415 (2008).
9. V.M. Kalita, A.A. Snarskii, D. Zorinets, and M. Shamonin, Phys. Rev. E 93, 062503 (2016).
10. V.M. Kalita, A.A. Snarskii, M. Shamonin, and D. Zorinets, Phys. Rev. E 95, 032503 (2017).
11. A. Zubarev, Phys. A Stat. Mech. Appl. 392, 4824 (2013).
12. A. Zubarev and D. Yu. Borin. J. Magn. Magn. Mater. 377, 373 (2015).
13. G. Diguët, E. Beaunon, and J. Y. Cavallé, J. Magn. Magn. Mater. 321, 396 (2009).
14. O. V. Stolbov, Y. L. Raikher, and M. Balasoiu, Soft Matter 7, 8484 (2011).
15. Y. Han, A. Mohla, X. Huang, W. Hong, and L. E. Faidley, Int. J. Appl. Mech. 07, 1550001 (2015).
16. A. Boczkowska, S. Awietjan, Microstructure and properties of magnetorheological elastomers. In Advanced Elastomers-Technology, Properties and Applications, 147-180, (2012).

### Інформаційні ресурси

1. Науковий журнал «Український фізичний журнал», який входить до наукометричної бази Scopus: <https://ujp.bitp.kiev.ua/index.php/ujp>
2. Науковий журнал «Журнал фізичних досліджень», який входить до наукометричної бази Scopus: [https://physics.lnu.edu.ua/jps/index\\_ua.html](https://physics.lnu.edu.ua/jps/index_ua.html)
3. Науковий журнал «Condensed Matter Physics», який входить до наукометричної бази Scopus: <http://www.icmp.lviv.ua/journal/>
4. Національна бібліотека України імені В.І.Вернадського: <http://www.nbuv.gov.ua/>
5. <https://arxiv.org/>
6. <https://scholar.google.com/citations?user=qtow3igAAAAJ&hl=en>
7. <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004327204>

### Навчальний контент

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

Загальний методичний підхід до викладання навчальної дисципліни визначається як комунікативно-когнітивний та професійно орієнтований, згідно з яким у центрі освітнього процесу знаходиться аспірант – суб'єкт навчання і майбутній науковець. Лекційна частина забезпечується інформаційно-рецептивним методом, надаючи базу для використання репродуктивного методу та методу проблемного викладу на практичних заняттях.

#### Лекційні заняття

№ з / п	Назва теми лекції та перелік основних питань
1	<b>Розділ 1.</b> Види макроскопічно неоднорідних середовищ Класифікація фізичних властивостей. Фізичні аналоги. Методи опису макроскопічно неупорядкованих середовищ. Ефективні кінетичні коефіцієнти, або що ми вимірюємо. Кореляційний довжина і самоусереднення. Плоскошаруваті середовища. Два термодинамічних потоку і дві термодинамічні сили. Похибка, що вноситься в ЕКК кінцівкою середовища для плоскошаруватих середовищ.

2	<p><b>Розділ 2.</b> Елементи геометричної теорії протікання</p> <p>Завдання перколяції. Основні поняття геометричної теорії перколяції. Моделі перколяційні середовища Скал-Шкловського, аналогічна їй модель де Женна, модель фрактала Гівена-Мандельброта, модель Аркангеліса-Реднера-Коніл, модель крапель і зв'язків Стенлі-Конільо, крапельна модель Виноградова-Саричева, Лук'янця-Снарського.</p>
3	<p><b>Розділ 3.</b> Ефективна провідність перколяційних середовищ</p> <p>Аналогія з феноменологічної теорією фазових переходів 2-го роду. Скейлінг. Критичні індекси. Демон Кастеляйна-Фортуїна. Ефективна провідність як параметр порядку. Феноменологічний опис. Обчислення критичних індексів. Ренормалізаційна група. Ієрархічна модель перколяційні структури.</p> <p>Містки та прошарку. Вище, нижче порога протікання і в області розмазки.</p>
4	<p><b>Розділ 4.</b> Самодуальні середовища.</p> <p>Середовища Дихне. Ітераційна модель (перемішування) середовища Дихне. Локально анізотропні середовища. Струмові пастки Дихне-Дрейзена. Спіральна модель пастки.</p>
5	<p><b>Розділ 5</b> Ефективні пружні властивості композитів.</p> <p>Основні поняття теорії пружності композитів. Теорія середнього поля Будянського. Пружний терм Саричева-Виноградова, Снарського, Шамонін. Ефективна пружність двовимірної самоузгодженого середовища (аналог Дихне). Ефективні пружні модулі поблизу порогу протікання. Середовища типу Swiss-Cheese.</p>
6	<p>Магнітні властивості магнітоеластомерів</p>
7	<p>Ефективні пружні властивості композитів. Термоелектричні властивості самодуальних середовищ. Рішення дині і Балагурова.</p>
	<p><b>Додатковий розділ</b> (лекції на вибір)</p> <p>Гальваномагнітні властивості макроскопически-непорядкованих середовищ.</p> <p>Мерехтіння шум в неоднорідних середовищах.</p> <p>Нелінійні властивості композитів.</p>

	<p>Ефективні властивості феромагнітних композитів. Нелінійність і гістерезис в феромагнетиках.</p> <p>Нестійкість і хаос в макроскопічно неоднорідних середовищах з малою дисипацією.</p> <p>Перколяційно-подібний опис пінінгу вихорів Абрикосова.</p> <p>Локалізація Андерсона в перколяційній структурі.</p>
--	---

### *Практичні заняття*

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань
1	Теорія Ландау фазових переходів
2	Теорія середнього поля, наближення Бруггема-Ландауера та Будянського
3	Обчислення критичних індексів кореляційної та питомої провідності методом ренормалізаційної групи.
4	Модульна контрольна робота
5	Терм Саричева-Виноградова, критичні індекси в модифікованому наближенні середнього поля.
6	Метод рухомого порогу протікання в задачі про ефективну магнітну проникність магнітоактивного еластомера.
7	Ієрархічна модель перколяційної структури та її використання до задачі про флікер-шум.

### **6. Самостійна робота аспіранта**

Самостійна робота здобувача наукового ступеня доктора філософії є основним засобом засвоєння навчального матеріалу у вільний від навчальних занять час і включає:

№ з/п	Вид самостійної роботи	Кількість годин СРС
1	Підготовка до аудиторних занять	48
2	Підготовка до МКР	6
3	Підготовка до заліку	10

### **Політика та контроль**

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

Система вимог, які викладач ставить перед аспірантом:

- правила відвідування занять: відповідно до Наказу 1-273 від 14.09.2020 р. заборонено оцінювати присутність або відсутність здобувача на аудиторному занятті, в тому числі нараховувати заохочувальні або штрафні бали. Відповідно до РСО даної дисципліни бали нараховують за відповідні види навчальної активності на лекційних та практичних заняттях.

- правила поведінки на заняттях: студент має можливість отримувати бали за відповідні види навчальної активності на лекційних заняттях, передбачені РСО дисципліни. Використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску викладача, в інтернеті, в дистанційному курсі на платформі Сікорський здійснюється за умови вказівки викладача;

- політика дедлайнів та перескладань: якщо аспірант не проходив або не з'явився на МКР (без поважної причини), його результат оцінюється у 0 балів. Перескладання результатів МКР відбувається за узгодженням з викладачем;

- політика щодо академічної доброчесності: Кодекс честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» <https://kpi.ua/files/honorcode.pdf> встановлює загальні моральні принципи, правила етичної поведінки осіб та передбачає політику академічної доброчесності для осіб, що працюють і навчаються в університеті, якими вони мають керуватись у своїй діяльності, в тому числі при вивченні та складанні контрольних заходів з дисципліни «Фізичні процеси в неупорядкованих середовищах»;

- при використанні цифрових засобів зв'язку з викладачем (мобільний зв'язок, електронна пошта, переписка на форумах та у 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 (РСО)**

Поточний контроль: опитування за темою заняття, МКР.

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

Семестровий контроль: залік.

Умови допуску до семестрового контролю: відсутні.

На першому занятті аспіранти ознайомлюються із рейтинговою системою оцінювання (РСО) 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)



Рейтинг аспіранта з дисципліни складається з балів, які він отримує:

- 1) на практичних заняттях;
- 2) за модульну контрольну роботу (МКР);

Система рейтингових балів

1) Практичні заняття. Ваговий коефіцієнт дорівнює 10. Максимальна кількість балів, які може отримати аспірант на практичних заняттях становить  $6 \times 10 = 60$  бали. Нарахування балів на одному практичному занятті:

- відмінні відповіді 9,10 балів;
- дуже добрі, добрі відповіді 7,8 балів;
- задовільні, достатні відповіді 5,6 бали.

2) Модульна контрольна робота (МКР). Ваговий коефіцієнт дорівнює 40. Максимальна кількість балів за контрольну роботу становить  $1 \times 40 = 40$  балів. Нарахування балів за контрольну роботу:

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90 % потрібної інформації) 36-40 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75 % потрібної інформації або незначні неточності) 30-35 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60 % потрібної інформації та деякі помилки) 24-29 балів;
- «незадовільно», незадовільна відповідь (менше 60 % потрібної інформації) 0.

Якщо аспірант протягом семестру набрав не менше 60 балів, він отримує залік автоматом.

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

Якщо ж аспірант протягом семестру набрав менше 60 балів, він має скласти залікову контрольну роботу, ваговий коефіцієнт якої складає 100 балів. При цьому, стартовий рейтинг не враховується. Кількість набраних на заліковій контрольній роботі балів переводиться в оцінку за тою ж шкалою. Якщо аспірант

набрав протягом семестру 60 балів і більше, але хоче підвищити свою рейтингову оцінку, він може це зробити у співбесіді з викладачем.

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

Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль:

- Види макроскопічно невпорядкованих середовищ. Класифікація фізичних властивостей. Фізичні аналоги.
- Ефективні кінетичні коефіцієнти, або що ми вимірюємо. Кореляційний довжина і самоусерднення.
- Двосторонні оцінки ефективних кінетичних коефіцієнтів. Наближення Максвелла, Гарнета, Бругемана. Періодично розташовані включення. Плоскошаруваті середовища.
- Завдання перколяції. Основні поняття геометричної теорії перколяції.
- Аналогія з феноменологічної теорією фазових переходів 2-го роду. Скейлінг. Критичні індекси. Ефективна провідність як параметр порядку. Феноменологічний опис. Обчислення критичних індексів. Ієрархічна модель перколяційної структури.
- Самодуальні середовища. Локально ізотропні середовища. Локально анізотропні середовища.
- Типи континуальних перколяційних завдань. Середовища типу Swiss-Chees
- Постановка завдання і наближене обчислення ефективної провідності в середовищах з експоненціальним спектром локальних властивостей. Кореляційний довжина і предекспоненціальний множник.
- Ефективна провідність в квазістаціонарному випадку. ЕМТ-наближення. Метод теорії протікання
- Фліккер-шум в неоднорідних середовищах. Мерехтіння шум у неоднорідних середовищах - ЕМТ-наближення. Мерехтіння шум у перколяційних системах. Аномально високий зріст мерехтіння шуму в самодуальних середовищах. Мерехтіння шум в системах з експоненціально широким спектром опорів.

- Термоелектричні властивості композитів. ЕМТ-наближення. Термоелектричні властивості самодуальних середовищ. Критична область концентрацій
- Поведінка поблизу порогу протікання. Ізоморфізм.
- Основні поняття теорії пружності. Ефективні пружні модулі поблизу порогу протікання.
- Нелінійні властивості композитів. Види нелінійності. Випадок слабкою нелінійності. Випадок сильної нелінійності.

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 в КПІ ім. Ігоря Сікорського результатів навчання, набутих у неформальній/інформальній освіті».

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

**Склав** професор кафедри загальної та теоретичної фізики, д.ф.-м.н., проф. Снарський А.О..

**Ухвалено** кафедрою загальної та експериментальної фізики та кафедрою загальної та теоретичної фізики (протокол спільного засідання кафедр № 1 від 22.06.2021 р.), реорганізованими з 01.07.2021 р. у кафедру загальної фізики.

**Погоджено** Методичною комісією фізико-математичного факультету (протокол № 11 від 23.06.2021 р.)