



# ФІЗИКА НЕВПОРЯДКОВАНИХ СИСТЕМ

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти

*Другий (магістерський)*

Галузь знань	10 Природничі науки
Спеціальність	105 Прикладна фізика та наноматеріали
Освітня програма	Прикладна фізика
Статус дисципліни	вибіркова
Форма навчання	очна(денна)
Рік підготовки, семестр	2 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	4 кредити, 120 годин, 36 лекції, 18 практичні, 66 СРС
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Залік, мкр, ДКР
Розклад занять	Roz.kpi.ua
Мова викладання	Українська/Англійська(підручники, робота з іноз. студентами)
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: кфмн, снс, Дімітрієв Олег Петрович, dimitr@isp.kiev.ua Практичні / Семінарські: кфмн, снс, Дімітрієв Олег Петрович, dimitr@isp.kiev.ua
Розміщення курсу	Посилання на дистанційний ресурс

### Програма навчальної дисципліни

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

Невпорядкованість у природі настільки ж звична, як і порядок. Обидва стани можуть існувати одночасно. Але неупорядкований стан навіть є більш розповсюджений і більш стійкий, ніж стан порядку. Виною цьому – її величність ентропія, і 2-й закон термодинаміки, які намагаються зробити наш світ повним хаосом.

Метою курсу «Фізика неупорядкованих систем», по-перше, є показати різноманітність неупорядкованості – від коміркового та статистичного безладу у системі атомів та молекул у неживій природі до неупорядкованості у людській культурі та мові. По-друге, якщо неупорядкований стан є більш розповсюджений і більш стійкий, ніж стан порядку, то як виникає порядок? Пошуком відповіді на це питання також займається ця дисципліна. Дисципліна складається з трьох основних розділів. Перше, це вивчення моделей безпорядку, визначення просторового та часового безпорядку та критеріїв переходу у більш впорядкований стан. Друге, це огляд широкого класу матеріалів, яким притаманна властивість бути неупорядкованими, а саме, рідин, полімерів, скла, пористих та кластерних матеріалів, та ін. Третє, більш детально розглядаються особливості функціонування електронних неупорядкованих матеріалів, зокрема, проходження струму, шумів, оптичного поглинання та ін.

Метою викладання курсу «Фізика неупорядкованих систем» є вивчення основних понять фізики неупорядкованих систем, термінів та їх визначень, основ теоретичного забезпечення досліджень, методів математичного забезпечення і засобів їх реалізації, принципів побудови фундаментальних моделей, застосованих у фізиці неупорядкованих систем, як прикладів використання новітніх досягнень науки і техніки у вивченні вказаного середовища. Вивчення курсу «Фізика неупорядкованих систем» необхідне для розвитку у студентів наукової інтуїції, ознайомлення з теоретичними та експериментальними методами досліджень будови речовини, що були розроблені на протязі останніх років.

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

Фізика неупорядкованих систем має справу з проблемами, що цілком заслуговують вивчення не тільки в спеціальних курсах, а також в загальному курсі фізики. Матеріал курсу базується на знаннях набутих студентами при вивченні інших дисциплін, зокрема, фізики твердого тіла та термодинаміки і стат. фізики. Вивчення курсу також базується на апеляції до математичних навичок, що набуваються студентами при вивченні математичного аналізу та курсу диференціальних рівнянь. При вивченні навчальної програми доцільно враховувати специфіку спеціальності, при цьому необхідним є попереднє вивчення усіх базових понять загальної фізики, зокрема, термодинаміки, фізики твердого тіла, електрики та магнетизму, а також методів інтегрального та диференціального обчислення.

В результаті вивчення навчальної дисципліни «Фізика неупорядкованих систем» студенти зможуть:

1. **знати** основні поняття фізики неупорядкованих систем, основні терміни та їх визначення, основи теоретико-фізичного та математичного забезпечення досліджень, властивості та області застосування математичних методів, принципи формулювання та властивості загальноприйнятих моделей фізики неупорядкованих систем тощо
2. **уміти** самостійно працювати з апаратурою та програмним забезпеченням автоматизації наукових досліджень, вибирати оптимальні для проведення досліджень математичні методи та засоби обчислювальної техніки на основі порівняльного аналізу та функціональних і експлуатаційних характеристик
3. **мати** уявлення про засоби глобального пошуку та розповсюдження наукової та технічної інформації, про їх функціонування та про користування ними
4. критично мислити та вирішувати повсякденні практичні задачі.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

### ***Розділ 1. МОДЕЛІ НЕВПОРЯДКОВАНOSTI***

#### ***Лекція 1.***

Тема 1.1: Визначення ідеального просторового порядку. Умови досягнення порядку. Розподіл Пуассона. Розподіл Гауса.

#### ***Лекція 2.***

Тема 1.2: Еволюція безпорядок – порядок. Мережеві структури. Принципи самоорганізації. Безпорядок у різних сферах - культура, письменність, мова, нервова діяльність.

#### ***Лекція 3.***

Тема 1.3 – Види коміркової неупорядкованості. Непорядок заміщення. Магнітна неупорядкованість. "Льодовий" непорядок. Спектральний непорядок.

#### ***Лекція 4.***

Тема 1.4 – Топологічна неупорядкованість. Невпорядкований лінійний ланцюжок. Дислокаційна неупорядкованість.

#### ***Лекція 5.***

Тема 1.5 – Ближній порядок. Дальній порядок. Розмірність і порядок

### ***Лекція 6.***

Тема 1.6 – Атомні функції розподілу.

Тема 1.7 - Модель рідини за Берналом. Невпорядкованість газового типу.

### ***Лекція 7.***

Тема 2.1 - Аномальні властивості та будова води.

Тема 2.2 – Будова води та властивості водних розчинів.

### ***Лекція 8.***

Тема 2.3 – Макромолекулярна неупорядкованість. Властивості полімерів у розчині.

Тема 2.4 - Надмолекулярна структура полімерів.

### ***Лекція 9.***

Тема 2.5 - Сучасні уявлення про будову скла.

Тема 2.6 – Основні групи та властивості склоутворюючих речовин.

### ***Лекція 10.***

Тема 2.7 – Пористі матеріали.

Тема 2.8 – Фрактальні моделі пористих матеріалів.

### ***Лекція 11.***

Тема 2.9 – Формування кластерних матеріалів.

Тема 2.10 – Основні групи та властивості кластерних речовин.

### ***Лекція 12.***

Тема 2.11 – Фулерени та ендоедральні структури.

Тема 2.12 - Вуглецеві нанотрубки.

## **Розділ 3. СПОСТЕРЕЖЕННЯ НЕВПОРЯДКОВАНOSTI**

### ***Лекція 13.***

Тема 3.1. – Дифракційні методи спостереження неупорядкованості.

Тема 3.2 – Спектральні методи спостереження неупорядкованості.

## **Розділ 4. ЕЛЕКТРОННІ ВЛАСТИВОСТІ НЕВПОРЯДКОВАНИХ МАТЕРІАЛІВ**

### ***Лекція 14.***

Тема 4.1 – Зонна структура неупорядкованих матеріалів.

Тема 4.2 - Перехід Андерсона.

### ***Лекція 15.***

Тема 4.3 - Стрибова провідність в невідпорядкованих напівпровідниках, її температурна залежність. Тема 4.4 – Провідність випадкової сітки опору. Перколяційне протікання.

### ***Лекція 16.***

Тема 4.5 – Оптичні переходи в невідпорядкованих системах. Хвіст щільності станів. Правило Урбаха. Тема 4.6 – Полярони в невідпорядкованих системах.

### ***Лекція 17.***

Тема 4.7 – Невідпорядковані полімери з електронною провідністю.

### ***Лекція 18.***

Тема 4.8. Функціональні особливості невідпорядкованих процесів в приладах. Види шумів та їхні спектральні характеристики. Фліккер - шум.

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

### **Основна література:**

1. Конспект лекцій у електронному виді.
2. Дж. Займан. Модели беспорядка. Москва, “Мир”, 1982, 591 с.
2. А.П. Шпак, Ю.А. Куницкий, В.Л. Карбовский, Кластерные и наноструктурные материалы. К., Академперіодика, 2001.
3. Н. Мотт, Э. Девис. Электронные процессы в некристаллических веществах. М. Мир, 1982.
4. М.О.Боровий, О.О. Каленик, Ю.А.Куницький, Т.Л.Цареградська, Невідпорядковані системи та квазікристали. Навчальний посібник. Київ «ІНТЕРСЕРВІС» 2014.

### **Додаткова література:**

1. M. Colombo, C. Wright, First principles in the life sciences: the free-energy principle, organicism, and mechanism. *Synthese*, 198(2021) 3463-3488.
2. K. Friston, J. Kilner, L. Harrison, A free energy principle for the brain. *J. Physiology – Paris*, 100 (2006) 70–87.
3. S. Yu, C. W. Qiu, Y. Chong, S.,Torquato, N. Park, Engineered disorder in photonics. *Nature Reviews Materials*, 6(2021), 226-243.
4. Фракталы: от удивления к рабочему инструменту : учебное пособие / В. Т. Гринченко, В. Т. Мацьпура, А. А. Снарский. – Киев : Наукова думка, 2013. – 270 с.
5. М.Х. Карапетьянц, С.И.Дракин. Строение вещества. М., Высшая школа, 1978.
6. В.В. Синюков. Вода обычная и необычная. М., Наука,1985.
7. В.П. Привалко. Молекулярное строение и свойства полимеров. Л., Химия, 1986.
8. А. Фельц. Аморфные и стеклообразные неорганические твердые тела. М., Мир, 1986.

9. И.В. Золотухин. Физические свойства аморфных металлических материалов, М., Металлургия, 1986.
10. A.P. Alivisatos, Semiconductor clusters, nanocrystals, and quantum dots. *Science* 271 (1996) 933.
11. L. Cademartiri, V. Kitaev, On the nature and importance of the transition between molecules and nanocrystals: towards a chemistry of “nanoscale perfection”. *Nanoscale* 3 (2011) 3435-3446.
12. T. Ando, The electronic properties of graphene and carbon nanotubes. *NPG Asia Mater.* 1(2009) 17-21.

## Навчальний контент

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

Студенти засвоюють матеріал з фізики неупорядкованих систем у 3 етапи. Перше, це ознайомлення з матеріалом на лекціях, в ході яких проводиться обговорення проблемних питань. Після лекції матеріал надається в електронному виді для самостійного вивчення. Після кожних 2-х лекцій проводиться практичне заняття, де студенти розв'язують практичні завдання з вивченої теми.

№ з/п	Тема	Основні завдання	
		Контрольний захід	Термін виконання
1.	Розв'язування задач по темам: Розподіл Пуассона. Розподіл Гауса. Види коміркової неупорядкованості.	Практична робота №1	2-ий тиждень
2.	Розв'язування задач по темам: Топологічна неупорядкованість. Розмірність і порядок. Будова води та властивості водних розчинів.	Практична робота №2	4-ий тиждень
3.	Розв'язування задач по темам: Макромолекулярна неупорядкованість. Фрактальні моделі пористих матеріалів.	Практична робота №3	6-ий тиждень
4.	Розв'язування задач по темам: Дифракційні та спектральні методи спостереження неупорядкованості.	Практична робота №4	8-ий тиждень
5.	Розв'язування задач по темам: – Зонна структура неупорядкованих матеріалів. Стрибова провідність в неупорядкованих напівпровідниках. Перколяційне протікання.	Практична робота №5	10-ий тиждень
6.	Реферування літератури, представлення рефератів.	Виступ за регламентом	12-ий тиждень

### 6. Самостійна робота студента

*A. Реферування літератури. Приклади статей для самостійного вивчення:*

1. J. Bicerano, D. Adler, THEORY OF THE STRUCTURES OF NON-CRYSTALLINE SOLIDS. *Pure&Appl. Chem.*, Vol. 59, No. 1, pp. 101—144, 1987.
2. Lawrence W. Hrubesh, Aerogel applications. *Journal of Non-Crystalline Solids* 225 \_1998. 335–342.
3. A. P. Alivisatos, Semiconductor Clusters, Nanocrystals, and Quantum Dots. *Science*, Vol. 271, No. 5251. (Feb. 16, 1996), pp. 933-937.
4. S. Baranovskii, O. Rubel, Charge Transport in Disordered Materials. In: Kasap S., Capper P. (eds) *Springer Handbook of Electronic and Photonic Materials*. Springer Handbooks. Springer, Cham (2017). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-48933-9\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-48933-9_9).

5. R. G. Melko, G. Carleo, J. Carrasquilla, J. I. Cirac, Restricted Boltzmann machines in quantum Physics. Nature Physics | VOL 15 | SEPTEMBER 2019 | 887–892.
6. E. J. Chaisson, Energy Flows in Low-Entropy Complex Systems. Entropy 2015, 17, 8007–8018; doi:10.3390/e17127857.

*Б. Вивід деяких формул з теми:*

1. Перехід від розподілу Пуассона до розподілу Гауса.
2. Вивід густини електронних станів для 2-х вимірною випадку.

*В. Підготовка домашньої контрольної роботи по окремим темам курсу для поглибленої роботи студентів. Перелік тем:*

1. Парадокс Кауцмана.
2. Квазіаморфний стан.
3. Пам'ять води.
4. Квазікристали у природі.
5. Взаємозв'язок морфології та властивостей нанокристалів.
6. Спінове скло.
7. Краудіон.
8. Квазіфазова діаграма.
9. Дисипативні системи.
10. Ефект Кіркендалла.
11. Кремнієві фулерени.
12. Квантова дифузія.

## Політика та контроль

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

#### • Порушення термінів виконання завдань та заохочувальні бали

Заохочувальні бали		Штрафні бали	
Критерій	Ваговий бал	Критерій	Ваговий бал
Заохочувальні бали		Штрафні бали	
Критерій	Ваговий бал	Критерій	Ваговий бал
Конспект лекційних занять <sup>1</sup>	3 бали	Порушення термінів виконання практичних робіт (за кожну таку роботу)	-3 бали
Участь у міжнародних, всеукраїнських та/або інших заходах та/або конкурсах (за тематикою навчальної дисципліни)	10 балів	Порушення академічної доброчесності при виконання практичних робіт (списування один у одного, за кожну таку роботу)	-10 балів

#### • Відвідування занять

Відвідування лекцій, практичних та лабораторних занять, а також відсутність на них, не оцінюється. Однак, студентам рекомендується відвідувати заняття, оскільки на них

<sup>1</sup>Мають бути законспектовані всі лекції власноруч, після перевірки конспекту лекційних занять конспект позначається для запобігання його передачі іншим студентам.

викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для виконання семестрового індивідуального завдання (ДКР), практичних робіт та тематичних завдань. Система оцінювання орієнтована на отримання балів за активність студента, а також виконання завдань, які здатні розвинути практичні уміння та навички.

- **Пропущені контрольні заходи**

Результат модульної контрольної роботи для студента(-ки), який не з'явився на контрольний захід, є нульовим. У такому разі, студент(-ка) має можливість написати модульну контрольну роботу, але максимальний бал за неї буде дорівнювати 50% від загальної кількості балів. Повторне написання модульної контрольної роботи не допускається. Тематичне завдання, яке подається на перевірку з порушенням терміну виконання, не оцінюється.

- **Академічна доброчесність**

Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

- **Норми етичної поведінки**

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

- **Процедура оскарження результатів контрольних заходів**

Студенти мають можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами.

Студенти мають право оскаржити результати контрольних заходів, але обов'язково аргументовано, пояснивши з яким критерієм не погоджуються відповідно до оціночного листа та/або зауважень.

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

*Вказуються всі види контролю та бали за кожен елемент контролю, наприклад:*

*Поточний контроль: експрес-опитування, опитування за темою заняття, МКР, тест тощо*

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

*Семестровий контроль: залік*

### **Система оцінювання**

№ з/п	Контрольний захід	%	Ваговий бал	Кіл-ть	Всього
1.	Семестрове індивідуальне завдання (домашня контрольна робота)	20	20	1	20
2.	Модульна контрольна робота (МКР)/ тест	40	8	5	40
3.	Опитування	40	40	1	40
	Всього				100

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
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

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

Складено доцент, к.ф.м.н., с.н.с. Дімітрієв Олег Петрович

**Ухвалено** кафедрою прикладної фізики (протокол № 6 від 14.06.2023)

**Затверджено** Методичною комісією НН ФТІ (протокол № 6 від 29.06.2023)