

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

Фізичний факультет
(назва факультету)

Кафедра фізики металів



**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ
ДИСЦИПЛІНИ**

Physics of nanocomposite materials / Фізика нанокompозитних матеріалів
(повна назва навчальної дисципліни)

для студентів

галузь знань	<u>Е Природничі науки, математика та статистика</u> (шифр і назва)
спеціальність	<u>Е5 Фізика та астрономія</u> (шифр і назва спеціальності)
освітня програма	<u>Фізика наносистем</u> (назва освітньої програми)
освітній рівень	<u>магістр</u> (молодший бакалавр, бакалавр, магістр)
вид дисципліни	<u>обов'язкова</u>

Форма навчання	<u>денна</u>
Навчальний рік	<u>2025/2026</u>
Семестр	<u>2</u>
Кількість кредитів ECTS	<u>3</u>
Мова викладання, навчання та оцінювання	<u>англійська</u>
Форма заключного контролю	<u>залік</u>

Викладачі: доцент Плющай Інна Вячеславівна

(Науково-педагогічні працівники, які забезпечують викладання даної дисципліни у відповідному навчальному році)

Пролонговано: на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__» 20__ р.
(підпис, ПІБ, дата)

на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__» 20__ р.
(підпис, ПІБ, дата)

на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__» 20__ р.
(підпис, ПІБ, дата)

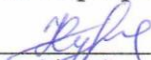
КИЇВ – 2025

Розробники: Плющай Інна Вячеславівна, кандидат фіз.-мат. наук, доцент кафедри фізики металів

(вказати авторів: ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада, кафедра)

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри фізики металів


(підпис)

(Курилюк В.В.)
(прізвище та ініціали)

Протокол № 12 від «22» травня 2025 р.

Схвалено науково-методичною комісією фізичного факультету

Протокол від «23» травня 2025 року № 10

Голова науково-методичної комісії


(підпис)

(Оліх О.Я.)
(прізвище та ініціали)

INTRODUCTION

1. Academic discipline purpose – to teach students about the peculiarities of physics, physico-chemical, and mechanical characteristics of nanostructured composite materials; the basic approaches to their manufacturing and testing; the general fields of their applications.

1. Мета дисципліни – ознайомлення студента з особливостями фізичних, фізико-хімічних та механічних характеристик наноструктурованих композиційних матеріалів, способами їх одержання, дослідження та можливостями використання.

2. Preliminary requirements for the discipline selection:

Successful learning of the following courses: “Molecular Physics”, “Electrics and Magnetism”, “Solid State Physics”, “Nanostructured Ceramic Materials”.

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:

Успішне опанування курсів загальної фізики таких як “Молекулярна фізика і термодинаміка”, “Електрика і магнетизм” та спецкурсів “Фізика твердого тіла”, “Наноструктурні керамічні матеріали”.

3. Abstract:

The course “Physics of nanocomposite materials” improves the knowledge in the field of Condensed State Physics with the focus on the approaches of creation and investigation of compound materials with the essential content of nanostructured objects and the influence of such objects on the material properties. The discipline purpose is to teach students about the peculiarities of physics, physico-chemical, and mechanical characteristics of nanostructured hetero-phase materials based on metals, ceramics and polymers; the basic approaches to their manufacturing and testing; the general fields of their applications. Fundamental laws and concepts of the discipline have a broad application in science, particularly in Condensed State Physics and Chemistry.

Teaching methods: lectures, independent work. Assessment methods: mid-semester tests, final test.

The overall score bases on mid-term evaluations (60%) and the final test (40%).

3. Анотація навчальної дисципліни / референс:

В рамках курсу «Фізика нанокompозитних матеріалів» розширюються знання студентів в напрямку фізики конденсованого стану. Основна увага приділяється особливостям методів створення та дослідження композицій, що містять істотну кількість нанорозмірних об'єктів певної структури та впливу цих об'єктів на характеристики матеріалів в цілому. Навчальна задача дисципліни – ознайомлення студентів з особливостями фізичних, фізико-хімічних та механічних характеристик наноструктурованих гетерофазних матеріалів на основі металів, керамік та полімерів, способами їх одержання, дослідження та можливостями використання. Фундаментальні закони та поняття, отримані під час вивчення цієї дисципліни, широко використовуються у фізиці, зокрема у фізиці конденсованого стану.

Методи викладання: лекції. Методи оцінювання: контрольні роботи після основних розділів спецкурсу, залік. Підсумкова оцінка виставляється на основі проміжних оцінок (60%) та заліку (40%).

4. Teaching purposes – mastering of manufacturing approaches as well as the methods experimental and theoretical investigations of structure and properties of nanocomposite materials, the understanding of the physical mechanism of positive and negative influence of nanostructured constituents on physico-mechanical characteristics of such materials.

4 Завдання (навчальні цілі) – освоєння студентами методів отримання, експериментального дослідження та теоретичного опису будови та властивостей нанокompозитних матеріалів, розуміння фізики позитивного та негативного впливу нанорозмірних складових на фізико-механічні характеристики композитів.

According to Ukrainian High Education Standard demands, the second (Master's) level of the Higher education, area of knowledge E "Natural Sciences, mathematics and statistics", specialty E5 "Physics and Astronomy" provides the achievement of the following **competences**:

Згідно вимог Стандарту вищої освіти України (другий (магістерський) рівень вищої освіти, галузь знань Е «Природничі науки, математика та статистика», спеціальність Е5 «Фізика та астрономія», ОНП «Фізика наносистем» дисципліна забезпечує набуття здобувачами освіти наступних **компетентностей**:

Integral:

The capability to solve complex innovative and research problems in the field of physics and astronomy.

Інтегральних:

Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми дослідницького та інноваційного характеру у фізиці та астрономії.

General:

- ЗК01. Capability of the knowledge application.
- ЗК02. Understanding of substantive base and professional activity of the field.
- ЗК03. Capability to find, process and analyze scientific information from different sources.
- ЗК04. Capability of modern knowledge independent learning.
- ЗК05. Capability to use the modern communication and information technologies.
- ЗК06. Capability to identify and solve problems.
- ЗК07. Capability to perform high grade research.

Загальних:

- ЗК01. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
- ЗК02. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.
- ЗК03. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.
- ЗК04. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.
- ЗК05. Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології.
- ЗК06. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми.
- ЗК07. Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.

Professional:

- ФК05. The capability to comprehend and integrate the obtained knowledge in physics and astronomy, as well as the capability to obtain the new knowledge in physics, astronomy and interdisciplinary sciences, required for complex problem solution.
- ФК10. The capability to apply methods for obtaining nanosized nanocomposite materials.

Фахових:

- ФК05. Здатність сприймати новоздобуті знання в області фізики та 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 астрономії й дотичних до них міждисциплінарних областях.
- ФК10. Здатність застосовувати методи отримання нанорозмірних нанокompозитних матеріалів.

5. Discipline outcomes:

<i>The discipline learning outcome</i> (1. To know; 2. To be able to; 3. Communication; 4. Autonomy and responsibility)		<i>Teaching methods</i>	<i>Assessment methods</i>	<i>Percentage of the total rating</i>
Code	The learning outcome			

1.1	To know the basic characteristics of nanocomposite materials, their connections to the composite structure and nanoparticles content	Lectures, independent work	Interrogation during lectures, modular test	30
2.1	To be able to choose the type of material according to its application, propose its composition, structure, and possible ways of manufacturing	Lectures, independent work	Interrogation during lectures, modular test	30

5. Результати навчання за дисципліною: (описуються з детальною достовірністю для розробки заходів оцінювання)

<i>Результат навчання</i> (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація*; 4. автономність та відповідальність*)		<i>Методи викладання і навчання</i>	<i>Методи оцінювання</i>	<i>Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни</i>
Код	Результат навчання			
1.1	Знати основні фізико-механічні характеристики нанокompозитних матеріалів, їх зв'язок із структурою та вмістом нанорозмірної складової	Лекції, самостійна робота	Опитування в процесі лекцій, модульна контрольна робота	30
2.1	Вміти обирати тип матеріалу відповідно до його призначення, надавати рекомендації щодо оптимального складу та структури, а також можливих шляхів виготовлення	Лекції, самостійна робота	Опитування в процесі лекцій, модульна контрольна робота	30

6. The relation of the discipline outcomes with the program outcomes

Program outcomes	Discipline outcomes	
	1.1	2.1
PPH02. To carry out experimental and theoretical investigations in physics and astronomy, analyze collected results in the context of the existing theories, make reasonable conclusions (including error estimations) and proposals for further investigations.	+	
PPH04. Choose and use appropriate methods of physics experimental data processing and credibility analysis		+
PPH07. To value the novelty and credibility of the scientific results in chosen field of physics, proclaimed in the oral or written form.		+
PPH09. To analyze and generalize the scientific results in the chosen field of physics, track new achievements from communications with colleagues.	+	
PPH10. To find information and data required for complex physics problem solution by means of scientific journals, databases, etc.; to value and analyze the obtained information.	+	
PPH11. To use theories, principals, and methods of physics to solve complex interdisciplinary and applied problems.		+
PPH14. To be able to identify the calculation method required to solve the specific scientific problem in physics of nanosystems.		+
PPH23. Be able to calculate the redistribution of charge, potential, and field on the surface and phase boundaries, estimate the degree of electron localization, and determine the work function of electrons.		+
PPH25. To know manufacturing methods and structure features of nanosystems; to be able to determine the composition-property relations.	+	+

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання (необов'язково для вибіркових дисциплін)

Результати навчання дисципліни	1.1	2.1
Програмні результати навчання		
ПРН02. Проводити експериментальні та теоретичні дослідження з фізики та астрономії, аналізувати отримані результати в контексті існуючих теорій, робити аргументовані висновки (включаючи оцінювання ступеня невизначеності) та пропозиції щодо подальших досліджень.	+	
ПРН04. Обирати і використовувати відповідні методи обробки та аналізу даних фізичних досліджень і оцінювання їх достовірності.		+
ПРН07. Оцінювати новизну та достовірність наукових результатів з обраного напрямку фізики, оприлюднених у формі публікації чи усної доповіді.		+
ПРН09. Аналізувати та узагальнювати наукові результати з обраного напрямку фізики, відслідковувати найновіші досягнення в цьому напрямі, взаємодіючи спілкуючись із колегами.	+	
ПРН10. Відшукувати інформацію і дані, необхідні для розв'язання складних задач фізики, використовуючи різні джерела, зокрема, наукові видання, наукові бази даних тощо, оцінювати та критично аналізувати отримані інформацію та дані.	+	
ПРН11. Застосовувати теорії, принципи і методи фізики для розв'язання складних міждисциплінарних наукових і прикладних задач.		+
ПРН14. Вміти визначати метод розрахунку, необхідний для розв'язку конкретної наукової проблеми в області фізики наносистем.		+
ПРН23. Вміти розраховувати перерозподіл заряду, потенціалу і поля на поверхні і границях розділу фаз, оцінювати ступінь локалізації електронів і визначати роботу виходу електронів.		+
ПРН25. Знати методи отримання та особливості структури наносистем, а також вміти встановлювати причинно-наслідковий зв'язок між особливостями їхнього складу та властивостей.	+	+

7. The assessment schedule:

7.1 Forms of student assessment:

- semester assessment:

1. Module test 1 - 25 points/ 15 points
2. Module test 2 - 25 points/ 15 points
3. Interrogation during lectures - 10 points/6 points

- Final assessment in the form of test.

The student having the semester score less than 36 points is not allowed for the test.

7. Схема формування оцінки:

7.1 Форми оцінювання студентів:

- семестрове оцінювання:

1. Модульна контрольна робота 1 – 25 балів (min 15 балів).
2. Модульна контрольна робота 2 – 25 балів (min 15 балів).
3. Опитування в процесі лекцій – 10 балів (min 6 балів).

- підсумкове оцінювання у формі заліку.

Студент не допускається до заліку, якщо під час семестру набрав менше 36 балів.

7.2 The assessment relevance:

Passed	60-100
Fail	0-59

Шкала відповідності

Зараховано / Passed	60-100
Не зараховано / Fail	0-59

8. The discipline structure

№	Lecture title	Number of hours			
		lectures	Seminars	Laboratory work	Independent work
Module 1. Peculiarities of physico-mechanical characteristics and research methods of nanocomposite materials/ Розділ 1. Особливості фізико-механічних характеристик та методів дослідження нанокompозиційних матеріалів					
1	Topic 1. Lecture 1. Introduction. Peculiarities of mechanical characteristics of nanocomposite materials. I.w. Lecture studying. Abnormal Hall-Petch relations for nano-sized systems Тема 1. Лекція 1. Вступ. Особливості механічних характеристик нанокompозиційних матеріалів. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Обернений ефект Хола-Петча для нанорозмірних систем.	2			4
2	Topic 1. Lecture 2. Physics of impact of the structure on metal, polymer and ceramic mechanical characteristics. I.w. Lecture studying. Connections between hardness, toughness, and strength of metals, ceramics, and polymers. Тема 1. Лекція 2. Фізика впливу структури на механічні характеристики металів, кераміки та полімерів. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Зв'язок між міцністю, тріщиностійкістю та твердістю металів, кераміки та полімерів.	2			4
3	Topic 2. Lecture 3. The influence of nano-sized components on the composite electrical characteristics. I.w. Lecture studying. The influence of intergrain boundaries on the material electrical conductivity. Тема 2. Лекція 3. Вплив нанорозмірної складової на електричні характеристики матеріалів. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Вплив міжзеренних границь на електроопір матеріалів.	2			4
4	Topic 3. Lecture 4. Nanocomposite thermal stability. I.w. Lecture studying. Стійкість наноматеріалів при термоударі. Тема 3. Лекція 4. Термічна стабільність нанокompозитів. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Стійкість наноматеріалів при термоударі.	2			4
5	Topic 3. Lecture 5. Nanograins influence on the material heat resistance. I.w. Lecture studying. Peculiarities of ceramic refractories. Тема 3. Лекція 5. Вплив нанозерен на жаростійкість матеріалу. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Особливості жаростійкості керамічних нанокompозитів.	2			4
6	Topic 4. Lecture 6. Methods of nanocomposite system research. Nanoindentation. I.w. Lecture studying. Підготовка до модульної контрольної роботи. Тема 4. Лекція 6. Методи дослідження нанокompозиційних систем. Наноіндентування. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Підготовка до модульної контрольної роботи.	2			6
7	Topic 4. Lecture 7. Basic approaches to nanocomposite manufacturing. Modular test 1 I.w. Lecture studying. Тема 4. Лекція 7. Основні методи синтезу нанокompозитів. Модульна контрольна робота 1	2			2

	с.р.с. Вивчення матеріалу лекції.				
Module 2. Chosen classes of functional nanocomposites/ Розділ 2. Деякі класи функціональних нанокompозитів					
8	Topic 5. Lecture 8. General classes of thermoelectric materials. I.w. Lecture studying. Necessary conditions of thermoelectric efficiency. Тема 5. Лекція 8. Основні класи термоелектричних матеріалів. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Необхідні умови енергоефективності термоелектриків.	2			4
9	Topic 5. Lecture 9. Nanocomposite formation as an approach to thermoelectric efficiency improvement. I.w. Lecture studying. Ceramic thermoelectrics. Тема 5. Лекція 9. Створення нанокompозиту як метод підвищення показника якості термоелектричного матеріалу. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Керамічні термоелектрики.	2			4
10	Topic 6. Lecture 10. Radiation stability of nanomaterials. I.w. Lecture studying. Elements with the low neutron capture section. Тема 6. Лекція 10. Особливості радіаційної стійкості нанопоруватих матеріалів. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Елементи з низьким перерізом захвату нейтронів.	2			4
11	Topic 6. Lecture 11. Reaction sintering of materials with nanovoids. I.w. Lecture studying. Nanoporous boron carbide toughness degradation. Тема 6. Лекція 11. Реакційний синтез матеріалів із нанопорожнинами. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Розрахунок деградації тріщиностійкості нанопоруватого карбиду бору	2			4
12	Topic 7. Lecture 12. MAX-phases as functional nanocomposites. I.w. Lecture studying. MAX-phases radiation stability. Тема 7. Лекція 12. МАХ-фази як окремий клас нанокompозиційних матеріалів функціонального призначення. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Фізика підвищеної стійкості МАХ-фаз до іонізуючого опромінення.	2			4
13	Topic 8. Lecture 13. Physics of MAX-phase structure formation. I.w. Lecture studying. Max-phase synthesis and sintering methods Тема 8. Лекція 13. Фізичні особливості формування наношаруватої структури МАХ-фаз. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Методи синтезу МАХ-фаз. Підготовка до модульної контрольної роботи	2			4
14	Topic 9. Lecture 14. High entropy and multiphase nanocomposites. Modular test 2 I.w. Lecture studying. Тема 9 Лекція 14. Високоентропійні та мультифазні нанокompозити. Модульна контрольна робота 2	3			9

	с.р.с. Вивчення матеріалу лекції.				
	Total	29			61

Total 90 h.:

Lectures – 29 h.

Seminars – 0 h.

Laboratories – 0 h.

Independent work – 61 h.

9. Recommended literature:

Basic:

1. Mousumi Sen, **Nanocomposite Materials**, Open access peer-reviewed chapter, DOI: [10.5772/intechopen.93047](https://doi.org/10.5772/intechopen.93047).
2. Michel W. Barsoum. MAX Phases: Properties of Machinable Ternary Carbides and Nitrides. John Wiley & Sons, Inc., 2013. – 436p.
3. Subramanian M.A., Tritt T.M. Thermoelectric Materials, Phenomena, and Applications: A Bird's Eye View // MRS Bulletin, Vol. 31, March 2006. pp. 188-230.
4. О.Б. Стародумова, О.В. Тархно, Д.Ю. Олійник, Я.М. Гончаренко, І.В. Шуба. Керамічні композиційні матеріали і вогнестійкі покриття на основі гібридних гелів. Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2017. – 104с.
5. Р. В. Вовк, Е. С. Геворкян, В. П. Нерубацький та ін. Нові керамічні композиційні матеріали інструментального призначення. Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2018. – 200 с.

Additional:

1. M. W. Barsoum, Fundamentals of Ceramics, Taylor and Francis, London, 2003.
2. O. Popov, V. Vishnyakov, S. Chornobuk, I. Totsky, I. Plyushchay. Mechanisms of TiB₂ and graphite nucleation during TiC-B₄C high temperature interaction // Ceramics International Vol. 45, #14 (2019) 16740-16747.
3. O. Popov, J. Vleugels, A. Huseynov, V. Vishnyakov. Reactive sintering of TiB₂-SiC-CNT ceramics // Ceramics International. Volume 45, Issue 17, Part B, 2019, Pages 22769-22774.
4. Jing-Feng L., Wei-Shu L., Li-Dong Z., Min Z. High-performance nanostructured thermoelectric materials // NPG Asia Mater., Vol. 2, No. 4, 2010. pp. 152–158.