

Міністерство освіти і науки України  
Львівський національний університет імені Івана Франка

**Кафедра фізики металів**

**“ЗАТВЕРДЖУЮ”**

В.о.декана фізичного факультету

\_\_\_\_\_ Чорнодольський Я.М.

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2021 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**ФІЗИКА КЛАСТЕРНИХ І НАНОСТРУКТУРНИХ МАТЕРІАЛІВ**

галузі знань **10 Природничі науки**  
спеціальність **104 Фізика та астрономія**

фізичного факультету

**Львів – 2021**

ФІЗИКА КЛАСТЕРНИХ І НАНОСТРУКТУРНИХ МАТЕРІАЛІВ. Робоча програма навчальної дисципліни для студентів галузі знань **10 Природничі науки**, спеціальності **104 Фізика та астрономія** фізичного факультету. — Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2021. — 9 с.

**Розробник:**

*Мудрий С.І.*, доктор фіз.-мат. наук, професор кафедри фізики металів

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри фізики металів

Протокол № \_\_\_\_ від “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2021 р.

Завідувача кафедри фізики металів, проф. \_\_\_\_\_ (Мудрий С.І.)

Схвалено Вченою радою фізичного факультету

Протокол № \_\_\_\_ від “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2021 р.

Голова Вченої ради фізичного факультету

\_\_\_\_\_ (Якібчук П.М.)

## 1. Опис навчальної дисципліни

(Витяг з робочої програми навчальної дисципліни

“ ФІЗИКА КЛАСТЕРНИХ І НАНОСТРУКТУРНИХ МАТЕРІАЛІВ ”)

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни
		<i>денна форма навчання</i>
Кількість кредитів — <b>3,0</b>	Галузь знань <b>10</b> <b>Природничі науки</b>	Нормативна
Модулів — <b>1</b>	Спеціальність <b>104 Фізика та астрономія</b>	<i>Рік підготовки:</i> <b>4-й</b>
Змістових модулів — <b>2</b>		<i>Семестр</i> <b>7-й</b>
Загальна кількість годин — <b>90</b>		<i>Лекції</i> <b>16 год.</b>
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних — <b>3</b> самостійної роботи студента — <b>2,6</b>	Освітньо-кваліфікаційний рівень: <b>бакалавр</b>	<i>Практичні, семінарські</i> <b>0 год.</b>
		<i>Лабораторні</i> <b>32 год.</b>
		<i>Самостійна робота</i> <b>42 год.</b>
		<i>Вид контролю:</i> <b>залік</b>

## 2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Курс “Фізика кластерних і наноструктурних матеріалів” відноситься до загальних профілюючих дисциплін і сформувався протягом останніх десяти років. Він охоплює результати фундаментальних і прикладних досліджень наноматеріалів та фізичні основи нанотехнологій. Враховуючи те, що в останні роки нанонауки стали визначальними у розвитку багатьох наук—фізики, хімії, матеріалознавства, біології, то стало необхідним дати студентам — фізикам ґрунтовні знання з цієї важливої дисципліни. Необхідність таких знань також мотивується широким розвитком нанотехнологій у різних галузях, включаючи і медицину. Даний курс опирається на знання з курсів загальної фізики, хімії, термодинаміки, матеріалознавства, а також фундаментальних математичних дисциплін.

Для кращого засвоєння теоретичного матеріалу і формування вмінь зв'язувати набуті знання на практиці передбачено лабораторні заняття. Вони закладають основи, які дадуть змогу студентам володіти сучасними методами дослідження наноматеріалів, їхнього тестування, а також технологій отримання таких матеріалів і пристроїв на їх основі.

**Мета:** формування у майбутнього фізика системи знань з будови та фізико-хімічних властивостей різного типу наносистем. Це передбачає виклад закономірностей будови кластерів та наночастинок та їх взаємозв'язку з властивостями, які визначають практичне застосування. цілісної картини фізичних явищ, електричними та магнітними властивостями речовин та електромагнітного поля. Предмет навчальної дисципліни включає основні поняття фізики кластерів та наносистем, закономірності поведінки наноречовин з врахуванням розмірного та квантово розмірного ефектів.

**Завдання:** навчити студентів самостійно досліджувати та аналізувати різного типу кластерні та наноструктурні системи, моделювати процеси їх утворення та поведінку залежно від зміни термодинамічних та кінетичних умов їх існування..

В результаті вивчення даного курсу студент повинен

### знати:

1. основні поняття та закони, які описують поведінку наносистем у різних термодинамічних умовах.
2. особливості будови кластерів, наночастинок та нанокластерних систем та вплив розмірного фактора на ці особливості..
3. основні механічні, електричні, магнітні та оптичні властивості наноматеріалів
4. методи дослідження та способи отримання наноматеріалів різного типу
5. квантові явища та фізичні процеси у низько розмірних структурах
6. практичне застосування наночастинок і фізико-хімічні основи нанотехнологій

### вміти:

1. застосовувати фундаментальні знання з фізики кластерних і наноструктурних систем для аналізу закономірностей формування структур малих розмірів у нерівноважних умовах. і
2. проводити експериментальні дослідження структури і властивостей наносистем і аналізувати отримані результати.
3. моделювати процеси структуроутворення в наносистемах і застосовувати їх до реальних наноматеріалів
4. вибирати наноматеріали для конкретних практичних потреб і синтезувати з них гетероструктури різного функціонального призначення.

Для вивчення дисципліни необхідні знання з таких вищої математики і загальної фізики, термодинаміки, хімії, статистичної фізики та квантової механіки.

У програмі використовуються приклади з найновіших досягнень науки і техніки, включаючи нанотехнології. Розгляд структури і властивостей наноматеріалів ілюструється зображеннями, отриманими з допомогою сучасних атомно- силових та електронних мікроскопів та реальними зразками наноматеріалів, синтезованих найновішими способами. Лекційний курс передбачає використання демонстраційного експерименту, технічних засобів навчання, комп'ютерних проекторів.

### 3. Програма навчальної дисципліни

## МОДУЛЬ 1

### *Змістовий модуль 1. Кластери та наночастинки.*

#### **Тема 1. Кластери, їхня структура та властивості.**

Кластери. Структура та властивості кластерів. Магічні числа. Структурні та електронні магічні числа. Класифікація кластерів. Молекулярні кластери. Лігандні та безлігандні кластери. Кластери інертних газів. Металічні кластери і кулонівський вибух. Магнітні кластери і вуглецеві кластери. Кластерна структура води.

Термодинамічні та кінетичні умови утворення нанокластерів.

Метод дослідження структури кластерів.

**Тема 2.       Метод малокутової дифракції і визначення розмірів кластера.** Метод Гінґе в інтерпретації рентгенограм малокутового розсіяння.

#### **Тема 3 . Наночастинки. Найпростіші кластерні системи.**

Наночастинки. Фулерени, їх структура та властивості. Фулерени заміщення та ендоедральні фулерени. Екзодральні фулерени. Механізм утворення фулеренів. Утворення фулеренів і самоорганізація. Експериментальні методи отримання фулеренів. Фулерити і фулериди.

Фазові переходи в фулеридах.

Кластерні системи. Фрактальні структури і фракали. Фрактальна розмірність і методи визначення фрактальної розмірності. Кінетика утворення фракталів.

#### **Тема 4. Вуглецеві нанотрубки.**

Вуглецеві нанотрубки. Типи нанотрубок. Структура нанотрубок. Механізм утворення нанотрубок. Фізичні властивості нанотрубок. Одношарові та багатошарові нанотрубки.

#### **Тема 5. Синтез нанотрубок та їх застосування.**

Методи отримання нанотрубок. Електродуговий метод, лазерне оплавлення і хімічний каталіз. Капілярні явища в нанотрубках. Розкриття нанотрубок та їх заповнення іншими елементами.

Практичне застосування нанотрубок.

### *Змістовий модуль 2. Наноструктурні системи.*

#### **Тема 6. Магнітні властивості наносистем. Магнітоопір в наносистемах.**

Магнітні властивості наночастинок. Квантове магнітне тунелювання. Суперпарамагнетизм. Гігантський магнітоопір в наносистемах. Типи наноструктур з гігантським магнітоопором. Механізм виникнення гігантського магнітоопору в наносистемах.

#### **Тема 7. Оптичні властивості наносистем.**

Оптичні властивості наносистем. Наносистеми з магнітними кластерами. Плазмони. Оптичні властивості наносистем з напівпровідниковими кластерами. Екситони.

#### **Тема 8. Квантово-розмірний ефект.**

Квантово-розмірний ефект. Квантові точки, потенціальні ями і квантові дроти. Делокалізація і локалізація електронів у квантово-розмірних системах.

#### 4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	Денна форма					
	Усього	у тому числі				
л		п	лаб	інд	ср	
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	-	<b>2</b>		<b>5</b>
<b>МОДУЛЬ 1</b>						
<b>Змістовий модуль 1. Кластери та наночастинки.</b>						
<b>Тема 1.</b> Кластери, їхня структура та властивості. Термодинаміка кластерів.		2		4		5
<b>Тема 2.</b> Метод малокутової дифракції і визначення розмірів кластера. Метод Гінье в інтерпретації рентгенограм малокутового розсіяння.		2		4		5
<b>Тема 3.</b> Наночастинки. Найпростіші кластерні системи.		2		4		5
<b>Тема 4.</b> Вуглецеві нанотрубки		2		4		5
<b>Тема 5.</b> Методи отримання нанотрубок		2		4		6
<b>Разом – зм. модуль 1</b>		<b>10</b>		<b>20</b>		<b>26</b>
<b>Змістовий модуль 2. Наноструктурні системи.</b>						
<b>Тема 6.</b> Магнітні властивості наночастинок.		2		4		5
<b>Тема 7.</b> Оптичні властивості наносистем.		2		4		5
<b>Тема 8.</b> Квантово-розмірний ефект.		2		4		6
<b>Разом – зм. модуль 2</b>		<b>6</b>		<b>12</b>		<b>16</b>
<b>Усього годин</b>		<b>16</b>		<b>32</b>		<b>42</b>

## 6. Теми практичних занять

-

## 7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	К-сть годин
1	Методи отримання наночастинок	4
2	Отримання вугільно-платинових реплік	4
3	Отримання тонких наноструктурних плівок	4
4	Рентгеноструктурний аналіз наносистем	6
5	Визначення нанооб'єктів методом мало кутової дифракції рентгенівських променів	6
6	Електронно-мікроскопічне дослідження нанооб'єктів	4
7	Моделювання процесу плавлення металевих наночастинок і кластерів	4
	<b>Всього за семестр</b>	<b>32</b>

## 8. Самостійна робота

лекції

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Основи фрактальної геометрії	2
2	Моделювання процесів агрегації при формуванні фрактальних структур	2
3	Застосування термодинаміки необоротних процесів до вивчення фрактальних структур	3
4	Кластерна структура льоду і води	2
5	Методи отримання карбонових волокон	2
6	Мало кутова дифракція порушених структур	2
7	Методи отримання цеолітів	2
8	Практичне застосування графену	3
9	Методи синтезу фероколоїдних наносистем	2
10	Розрахунок термодинамічних параметрів наноколоїдних систем	2
11	Теоретичні наближення для оцінки плазмонного розсіяння в наносистемах	2
12	Гігантський магнітоопір в наносистемах	2
13	Перколяційні кластери	2
14	Основи кристалографії нанотрубок	2
15	Капілярні явища в нанотрубках	2
16	Гетеро структури та надгратки	2
17	Термоелектронна емісія в нанотрубках	2
18	Функціональні особливості атомних силових мікроскопів	2
19	Наномеханічні системи	2
20	Механічні наносистеми	2
	<b>Всього за семестр</b>	<b>42</b>

## 10. Методи контролю

Контроль засвоєння матеріалу включає:

- 1) поточний контроль ( 2 колоквиуми за двома змістовими модулями,  $2 \times 15 = 30$  балів), оцінку відповідей на лабораторних заняттях (70 балів)— разом за семестр 100 балів.
- 2) контроль за виконанням лабораторних робіт шляхом тестового допуску до лабораторної роботи (2 бали), захист лабораторних робіт (8 балів).

Сумарна оцінка, таким чином, виставляється за 100-бальною шкалою;

## 11. Розподіл балів, що присвоюється студентам

Розподіл балів, які отримують студенти (для заліку)

Поточне тестування та самостійна робота									Сума
Змістовий модуль 1				Змістовий модуль 2					
робота на лаборант.			Колоквиум 1	робота на лаборант.			Колоквиум 2		
10	10	10	15	10	10	10	10	15	100

### Шкала оцінювання: Університету , національна та ECTS

Оцінка в балах	Оцінка ECTS	Визначення	За національною шкалою	
			Екзаменаційна оцінка, оцінка з диференційованого заліку	Залік
90–100	<b>A</b>	<i>Відмінно</i>	<i>Відмінно</i>	<i>Зараховано</i>
81-89	<b>B</b>	<i>Дуже добре</i>	<i>Добре</i>	
71-80	<b>C</b>	<i>Добре</i>		
61-70	<b>D</b>	<i>Задовільно</i>	<i>Задовільно</i>	
51-60	<b>E</b>	<i>Достатньо</i>		

## 12. Методичне забезпечення

1. С.І. Мудрий. Фізика кластерів та наносистем. Навч. посібн.– Львів: ЛНУ, 2010. – 450 с.

## 13. Рекомендована література

### Базова

1. Шпак А.П.(Шпак А.П. Куницький Ю.А., Карбовський В.Л.) Кластерные и наноструктурные материалы –Киев : Академперіодика, 2001. Т 1. –588 с.
2. Шпак А.П., Куницький Ю.А., Коротченков О.О., Смик С.Ю. Квантові низькорозмірні системи. К.: Академперіодика, 2003. – 310с.
3. Суздаев И.П.. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. – М.: КомКнига, 2006. –592с.
4. Пул Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнологии. –М.: Техносфера, 2004. –328с.
5. Ковальчук Є.П. Решетняк О.В. Фізична хімія. –Львів.: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007. –800с.



6. Шпак А.П., Черемской П.Г., Куницкий Ю.А., Соболев О.В. Кластерные и наноструктурные материалы. Т.3. Пористость как особое состояние структуры в твердотельных наноматериалах. – Киев.: Академперіодика, 2005. – 516с.
7. Харрис П. Углеродные нанотрубки и родственные структуры. Новые материалы XXI века. – М.: Техносфера, 2003 – 336с.

#### **Допоміжна**

1. Шпак А.П., Лисов В.І., Куницький Ю.А., Цареградська Т.Л.. Кристалізація і аморфізація металевих систем. – К. Академперіодика, 2002. – 208с.
2. Шпак А.П., Куницький Ю.А., Захаренко М.І., Волощенко А.С.. Магнетизм аморфних та нанокристалічних систем. – К.: Академперіодика, 2003. – 207с.
3. Строщко М., Дутта М., Фононы в наноструктурах / Пер. с англ. под ред. Г.Н. Жижина. – М.: Физматлит, 2006. – 320с.
4. Золотухин И.В. Физические свойства аморфных металлических материалов.–М.: Металлургия, 1986. – 176с.
5. Булавін Л.А., Кармазіна т.В., Клепка В.В., Слісенко В.І. Нейтронна спектроскопія конденсованих середовищ –К.: Академперіодика, 2005. – 640с.
6. Андо Т., Фаулер А., Стерн Ф. Электронные свойства двумерных систем – М.: Мир. 1985, – 416с.
7. Балицький О., Миколайчук О. Дифракція електронів для дослідження структури матеріалів – Л. Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2008. – 63с.

### ***14. Інформаційні ресурси***

1. <http://www.nbuv.gov.ua/> – Національна бібліотека України імені В.І. Вернадського.
2. <http://www.lsl.lviv.ua/> - Львівська національна наукова Бібліотека України імені В. Стефаника
3. <https://lnulibrary.lviv.ua/> - Наукова бібліотека Львівського національного університету імені Івана Франка