



Розробники<sup>2</sup>: Козаченко Віктор Васильович, кандидат фіз.-мат. наук, доцент,  
доцент кафедри загальної фізики  
*(вказати авторів: ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада, кафедра)*

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(підпис)

(Боровий М.О.)  
(прізвище та ініціали)

Протокол № 12 від 21 травня 2020 р.

**Схвалено науково-методичною комісією фізичного факультету**

протокол №33 від 11 червня 2020 року

Голова науково-методичної комісії \_\_\_\_\_  
(підпис)

(Оліх О.Я.)  
(прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 року

---

<sup>2</sup> Розробляється лектором. Робоча програма навчальної дисципліни розглядається на засіданні кафедри (циклової комісії – для коледжів), науково-методичної комісії факультету/інституту (радї навчального закладу - коледжу), підписується завідувачем кафедри (головою циклової комісії), головою науково-методичної комісії факультету/інституту (головою ради) і затверджується заступником декана/директора інституту з навчальної роботи (заступником директора коледжу).

## ВСТУП

**1. Мета дисципліни** – отримання глибоких та систематизованих знань з фізики наноструктур, що включає коло питань, що становлять основу сучасних фізичних моделей, які можна застосувати для опису таких наноструктур як напівпровідникові квантові ями, квантові нитки, квантові точки, вуглецеві нанотрубки, графен і металеві наночастинки. Дати опис основних фізичних ефектів і явищ, характерних для систем зі зниженою розмірністю.

**2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:**

1. знання, отримані в рамках загального курсу фізики, курсів теоретичної механіки, електродинаміки, квантової механіки, фізики твердого тіла і фізики напівпровідників.
2. знання математичних дисциплін – математичного аналізу, лінійної алгебри, теорії функцій комплексної змінної.

**3. Анотація навчальної дисципліни / референс:**

В рамках курсу «фізика наноструктур» викладено коло питань, що становлять основу сучасних фізичних моделей, які можна застосувати для опису наноструктур, методів їх створення та дослідження. В ньому даний опис основних фізичних ефектів і явищ, характерних для систем зі зниженою розмірністю. Методи викладання: лекції, консультації. Методи оцінювання: опитування в процесі лекції, контрольні роботи після основних розділів спецкурсу, залік. Підсумкова оцінка виставляється на основі проміжних оцінок (60%) та заліку (40%).

**4. Завдання (навчальні цілі)** – ознайомлення студентів з основними фізичними ефектами і явищами, характерними для систем зі зниженою розмірністю, а також сучасними методами створення та дослідження наноструктур.

Згідно вимог проекту Стандарту вищої освіти України (другий (магістерський) рівень вищої освіти, галузь знань 10 «Фізика», спеціальність 104 «Фізика та астрономія», ОНП «Фізика наносистем») дисципліна забезпечує набуття здобувачами освіти наступних **компетентностей:**

**Інтегральних:**

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

**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.

**Фахових:**

СК05. Здатність сприймати новоздобуті знання в області фізики та астрономії та інтегрувати їх із уже наявними, а також самостійно опанувати 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.

СК10. Здатність застосовувати сучасні експериментальні методи дослідження та діагностики наносистем.

СК13. Здатність використовувати знання й уміння в галузі практичного використання комп'ютерних технологій для дослідження наносистем.

**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	Отримання знань з основ технології створення наноструктур та методів їх дослідження	<i>лекції</i>	<i>Модульна контрольна робота</i>	30
1.2	Отримання знань про основні фізичні ефекти і явища, характерні для систем зі зниженою розмірністю	<i>лекції</i>	<i>Модульна контрольна робота</i>	30

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

<b>Результати навчання дисципліни</b>	<b>1.1</b>	<b>1.2</b>
<b>Програмні результати навчання</b>		
РН01. Використовувати концептуальні та спеціалізовані знання і розуміння актуальних проблем і досягнень обраних напрямів сучасної теоретичної і експериментальної фізики для розв'язання складних задач і практичних проблем.	+	
РН02. 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.	+	
РН03. Застосовувати сучасні теорії наукового менеджменту та ділового адміністрування для організації наукових і прикладних досліджень в області фізики.	+	
РН04. Обирати і використовувати відповідні методи обробки та аналізу даних фізичних досліджень і оцінювання їх достовірності.		+
РН05. Здійснювати феноменологічний та теоретичний опис досліджуваних фізичних явищ, об'єктів і процесів.	+	
РН06. Обирати ефективні математичні методи та інформаційні технології та застосовувати їх для здійснення досліджень та інновацій в області фізики.	+	
РН07. Оцінювати новизну та достовірність наукових результатів з обраного напрямку фізики, оприлюднених у формі публікації чи усної доповіді.	+	
РН13. 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.	+	
РН18. Знати методи отримання, особливості структури та властивостей аморфно-нанокристалічних сплавів.	+	

\* заповнюється за необхідністю, наприклад для практик, лабораторних курсів тощо.

PH20. Знати механізми формування електротранспортних та магнітних властивостей нанокарбонових систем різної мірності та структурної досконалості.	+	
PH22. Вміти будувати енергетичні діаграми вільної поверхні, поверхні розділу фаз, квантово-розмірних систем.		+
PH23. Вміти розраховувати перерозподіл заряду, потенціалу і поля на поверхні і границях розділу фаз, оцінювати ступінь локалізації електронів і визначати роботу виходу електронів.		+
PH24. Вміти експериментально визначати структуру та фазовий склад нанокарбонових систем.		+
PH25. Знати методи отримання та особливості структури наносистем, а також вміти встановлювати причинно-наслідковий зв'язок між особливостями їхнього складу та властивостей.		+
PH26. Вміти створювати віртуальні прилади для інтегрування та узгодження роботи реальних приладів з відповідними інтерфейсами під час виконання фізичного експерименту.		+
PH27. Вміти визначати метод розрахунку, необхідний для розв'язку конкретної наукової проблеми в області фізики наносистем.		

## 7. Структура курсу

Курс складається з 2-х змістових модулів: «Створення наноструктур та методи їх дослідження», який включає в себе 8 лекцій та «Основні фізичні ефекти і явища, характерні для систем зі зниженою розмірністю», який складається з 7 лекцій.

## 8. Схема формування оцінки:

**8.1 Форми оцінювання студентів:** (зазначається перелік видів робіт та форм їх контролю / оцінювання із зазначенням Min. – рубіжної та Max. кількості балів чи відсотків)

- семестрове оцінювання:

1. Модульна контрольна робота 1 (15 балів-30 балів).
2. Модульна контрольна робота 2 (15 балів-30 балів).

- підсумкове оцінювання у формі заліку

### Підсумкове оцінювання у формі заліку

	ЗМ1/Частина 1 (за наявності)	ЗМ2/Частина 2 (за наявності)	залік	Підсумкова оцінка
Мінімум	<u>15</u>	<u>15</u>	<u>30</u>	<u>60</u>
Максимум	<u>30</u>	<u>30</u>	<u>40</u>	<u>100</u>

**8.2 Організація оцінювання:** (обов'язково зазначається порядок організації передбачених робочою навчальною програмою форм оцінювання із зазначенням, у тому числі, результатів навчання, опанування яких перевіряється конкретним оцінюванням).

### Шкала відповідності

<b>Відмінно</b> / Excellent	90-100
<b>Добре</b> / Good	75-89
<b>Задовільно</b> / Satisfactory	60-74
<b>Незадовільно</b> з можливістю повторного складання / Fail	35-59
<b>Незадовільно</b> з обов'язковим повторним вивченням дисципліни / Fail	0-34
<b>Зараховано</b> / Passed	60-100
<b>Не зараховано</b> / Fail	0-59

**СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**  
**ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ І ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ**

№ п/п	Назва теми	Кількість годин	
		лекції	Самостійна робота
<b>Частина 1. Основи технології створення наноструктур та методів їх дослідження</b>			
1	<b>Тема 1.</b> Вступ. Нанооб'єкти та нанотехнологія <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції.	2	4
2	<b>Тема 2.</b> Основні технології виготовлення наноструктур. Методи «згори до низу» та «знизу догори». Фізичні методи осадження тонких плівок. Хімічні методи осадження тонких плівок. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції.	2	4
3	<b>Тема 3.</b> Молекулярно променева епітаксія. Нанолітографія. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. (повторення матеріалу).	2	4
4	<b>Тема 4.</b> Синтез фулеренів, вуглецевих нанотрубок та графену. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції.	2	4
5	<b>Тема 5.</b> Синтез колоїдних наночастинок. Самоорганізація наночастинок. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції.	2	4
6	<b>Тема 6.</b> Тонкі плівки. Стадії росту тонких плівок. Механізми росту тонких плівок.	2	4
7	<b>Тема 7.</b> Методи дослідження наноструктур. Електронна мікроскопія. Скануюча зондова мікроскопія. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції.	2	4
8	<b>Тема 8.</b> Методи рентгенівського аналізу наноструктур. Методи оптичної спектроскопії наноструктур. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Підготовка до підсумкової модульної контрольної роботи.	2	4
	<i>Контрольна робота 1</i>		2
<b>Частина 2. Основні фізичні ефекти і явища, характерні для систем зі зниженою розмірністю</b>			
9	<b>Тема 9.</b> Носії заряду в наноструктурах. Принцип розмірного квантування. Квантові ями. Квантові нитки. Квантові точки. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції.	2	4
10	<b>Тема 10.</b> Коливання атомів в наноструктурах. Розмірне квантування коливальної підсистеми. Акустичні фонони. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції.	2	4
11	<b>Тема 11.</b> Електрон-електронна та електрон-фононна взаємодія. Кулонівська взаємодія і плазмони в наноструктурах. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції.	2	4
12	<b>Тема 12.</b> Двочастинкова модель енергетичних рівнів електронної підсистеми напівпровідникової квантової точки в режимі сильного конфайнменту. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції.	2	4
13	<b>Тема 13.</b> Конфігураційна взаємодія електронно-діркових пар. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції.	2	4
14	<b>Тема 14.</b> Динаміка електронних збуджень та кінетичні ефекти в наноструктурах. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції.	2	4
15	<b>Тема 15.</b> Суперструктури на основі нанокристалів. Супракристали. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції.	2	4

	Підготовка до підсумкової модульної контрольної роботи.		
	<i>Контрольна робота 2</i>		2
	<b>ВСЬОГО</b>	<b>30</b>	<b>60</b>

Примітка: слід зазначити теми, винесені на самостійне вивчення

**Загальний обсяг** 90 год.<sup>3</sup>, в тому числі:

Лекцій – **30 год.**

Семінари – **0 год.**

Практичні заняття - **0 год.**

Лабораторні заняття - **0 год.**

Тренінги - **0 год.**

Консультації - **0 год.**

Самостійна робота - **60 год.**

#### **Питання для самостійної роботи студентів**

1. Класифікація наноматеріалів.
2. Адсорбційні явища на поверхні твердих тіл.
3. Епітаксціальний ріст тонких плівок.
4. Температура плавлення частинок малих розмірів.
5. Фулереноподібні поліедричні макромолекули.
6. Супракристалічні нанотрубки та суперконденсатори і суперселеноїди на їх основі.
7. Фотонні кристали. Метаматеріали.

### **РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА<sup>4</sup>:**

#### **Основна: (Базова)**

1. Charles P. Poole, Frank J. Owens. Introduction to Nanotechnology. (John Wiley & Sons 2003).
2. Harald Ibach. Physics of Surfaces and Interfaces. (Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006).
3. А.Я. Шик, Л.Г. Бакуева, С.Ф. Мусихин, С.А. Рыков. Физика низкоразмерных систем. Наука. СПб. 2001.
4. Nanotechnology and Nanoelectronics. Edd. By W. R. Fahrner. (Springer, NY, 2005).
5. А.И. Гусев. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. Физматлит. Москва. 2005.

#### **Додаткова:**

1. Springer Handbook of Nanotechnology. Edd. by Bharat Bhushan. (Springer-Verlag, Berlin, 2007).
2. Nanotechnology for photovoltaics. Edd. By Loucas Tsakalacos. (CRC Press Taylor and Francis Group, LLC 2010).
3. Nanophotonic Materials: Photonic Crystals, Plasmonics, and Metamaterials. Edited by R. B. Wehrspohn, H.-S. Kitzerow, and K. Busch ( WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim 2008).
4. Trends in Nanophysics: Theory, Experiment and Technology. Edd. By Alexandru Aldea, Victor Bârsan. (Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010)

<sup>3</sup> Загальна кількість годин, відведених на дану дисципліну згідно навчального плану.

<sup>4</sup> В тому числі Інтернет ресурси