

Міністерство освіти і науки України  
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра фізики (№ 505)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Гарант освітньої програми

  
\_\_\_\_\_ **Олег ЧУГАЙ**  
(підпис) (ім'я та прізвище)

« 30 » \_\_\_\_\_ 08 \_\_\_\_\_ 2024 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА ОБОВ'ЯЗКОВОЇ  
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**СПЕЦІАЛЬНІ ПИТАННЯ ФІЗИКИ МІКРО- ТА НАНОСТРУКТУР**

Галузі знань: 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації  
(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальність: 176 Мікро- та наносистемна техніка  
(код і найменування спеціальності)


Освітні програми: Мікро- та наносистемна техніка  
(найменування освітньої програми)

Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти: другий (магістерський)

Харків 2024 рік


Розробник: Чугай О.М., професор каф.505, д.т.н., професор  
(прізвище та ініціали, посада, науковий ступінь і вчене звання)

  
\_\_\_\_\_ (підпис)

Робочу програму розглянуто на засіданні кафедри фізики (505)  
(назва кафедри)

Протокол № 1 від « 25 » серпня 2024 р.

Завідувач кафедри д.т.н., проф.  
(науковий ступінь і вчене звання)

  
\_\_\_\_\_ (підпис)

О.М. Чугай  
(ініціали та прізвище)

## 1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показника	Галузь знань, спеціальність, освітня програма, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни (денна форма навчання)
Кількість кредитів – 4	<p><b>Галузь знань</b> 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації</p> <p><b>Спеціальність</b> 176 «Мікро- та наносистемна техніка» (код і найменування)</p> <p><b>Освітня програма</b> Мікро- та наносистемна техніка (найменування)</p> <p><b>Рівень вищої освіти:</b>  другий (магістерський)</p>	Обов'язкова
Кількість модулів – 1		<b>Навчальний рік</b>
Кількість змістовних модулів – 2		2024/2025
Індивідуальне науково-дослідне завдання		<b>Семестр</b>
Загальна кількість годин – 56/120		1-й
		<b>Лекції*</b>
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 3 самостійної роботи студента – 3,1		32 години
		<b>Практичні, семінарські*</b>
		24 години
		<b>Лабораторні*</b>
	<b>Самостійна робота</b>	
	64 годин	
	<b>Вид контролю</b>	
	Екзамен	

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить:  
– 56/64.

\*Аудиторне навантаження може бути зменшене або збільшене на одну годину залежно від розкладу занять.

## 2. Мета та завдання навчальної дисципліни

**Мета вивчення:** формування знань щодо закономірностей та особливостей фізичних та механічних процесів в організмі людини..

**Завдання:** формування у студентів розуміння особливостей застосування основних законів фізики та фізичних методів в області біології; механізмів дії фізичних факторів на живі організми; використання біофізичних параметрів та методів для діагностики стану біологічних систем.

Після опанування дисципліни здобувач набуде наступні **загальні компетентності:**

- здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу,
- здатність вчитися й оволодівати сучасними знаннями,
- здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.
- здатність генерувати нові ідеї (креативність).
- здатність приймати обґрунтовані рішення,
- здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях,
- здатність діяти на основі етичних міркувань,
- здатність працювати самостійно.

та **фахові компетентності:**

- здатність проводити необхідні математичні розрахунки (вимірювання, обчислення),
- здатність розуміти фізичні процеси, що проходять у техніці та її елементах (системах),
- здатність математично описувати і моделювати фізичні процеси в системах керування літальних апаратів,
- здатність орієнтуватися в основних фізичних та фізико-хімічних закономірностях, які лежать в основі функціонування біологічних об'єктів.
- знати фізико-хімічні, експлуатаційні та спеціальні властивості матеріалів, котрі використовуються для створення компонентів елементної бази мікро- та наноелектроніки.

**Міждисциплінарні зв'язки:** дисципліні передують курси: «Фізика», «Лінійна алгебра та аналітична геометрія».

## 3. Програма навчальної дисципліни

### Змістовний модуль 1. Будова та кванторозмірні ефекти в мікро- та наноструктурах

#### Тема 1. Вступ до дисципліни.

Поняття про мікро- та наноструктур та їхню класифікацію. Цілі й завдання курсу. Історія досліджень наноструктур.

#### ТЕМА 2. Загальна характеристика мікро- та наноструктур.

Класифікація і властивості нанооб'єктів. Класифікація наноструктур за їх мірністю. Перехід від макро- і мікросвіту до нанорозмірів.

### **ТЕМА 3. Властивості мікрочастинки як квантового об'єкта.**

Гіпотеза де Бройля. Дифракція електронів, протонів та нейтронів. Корпускулярно-хвильовий дуалізм частинок. Співвідношення невизначеностей як прояв корпускулярно-хвильового дуалізму мікросвіту. Хвильова функція та її властивості. Імовірно-статистичне тлумачення хвильової функції. Часове рівняння Шредінгера. Стаціонарний стан. Рівняння Шредінгера для стаціонарних станів. Рух вільної частинки. Частинка у одновимірній прямокутній нескінченно глибокій потенціальній ямі. Квантування енергії частинки. Тунельний ефект. Коефіцієнт прозорості потенціального бар'єру.

### **ТЕМА 4. Хвильові властивості та енергетичний спектр електронів в квантоворозмірних структурах.**

Кристал – тривимірна (3D) структура, квантова яма – двовимірна (2D) структура, квантова нитка – одновимірна (1D) структура та квантова точка – нульвимірна (0D) структура.

## **Змістовний модуль 2. Електронні процеси в напівпровідникових низькорозмірних структурах. Методи дослідження мікро- та наноструктур**

### **ТЕМА 5. Тунелювання електронів і кулонівська блокада.**

Потенціальні ями, бар'єри та тунелювання. Одноелектронне тунелювання і кулонівська блокада. Резонансне тунелювання електронів.

### **ТЕМА 6. Балістичний перенесення заряду. Квантовий ефект Холла.**

Інтерференція електронів. Опір балістичного квантового дроту. Квант провідності та квант опору. Квантовий ефект Холла. Інтегральний та дробовий квантові ефекти Холла. Рівні енергії Ландау. Локалізовані й розширені стани електронів. Межа рухливості. Вплив структурних дефектів на перенесення заряду.

### **ТЕМА 7. Огляд методів дослідження мікро- та наноструктур.**

Класифікація електронних та іонних методів дослідження. Рентгенівська фотоелектронна спектроскопія. Електронна Оже-спектроскопія. Вторинна іонна мас-спектроскопія. Дифракція низько енергетичних електронів.

### **ТЕМА 8. Електронна мікроскопія.**

Електронний мікроскоп, що просвічує. Призначення, оптична схема, будова та принцип дії мікроскопу. Умови одержання найбільшого збільшення об'єкта. Растровий електронний мікроскоп. Особливості використання, будова та принцип дії мікроскопу.

### **ТЕМА 9. Скануюча зондова мікроскопія.**

Призначення, будова та принци дії мікроскопів: скануючого тунельного, атомно-силового, магніто-силового, електросилового. Скануюча оптична мікроскопія ближнього поля.

## Модульний контроль

## 4. Структура навчальної дисципліни

Назва змістовного модуля і тем	Кількість годин				
	Усього	У тому числі			
		л	п	л.	с. р.
1	2	3	4	5	6
<b>Модуль 1</b>					
<b><u>Змістовний модуль 1. Будова та кванторозмірні ефекти в мікро- та наноструктурах</u></b>					
Тема 1. Вступ до дисципліни.	3	2			1
Тема 2. Загальна характеристика мікро- та наноструктур.	7	2	2		3
Тема 3. Властивості мікрочастинки як квантового об'єкта.	13	4	4		5
Тема 4. Хвильові властивості та енергетичний спектр електронів в квантоворозмірних структурах.	16	6	2		8
<b>Модульний контроль 1</b>					2
Разом зі змістовним модулем 1	41	14	8		19
<b><u>Змістовний модуль 2. Електронні процеси в напівпровідникових низькорозмірних структурах. Методи дослідження мікро- та наноструктур</u></b>					
Тема 5. Тунелювання електронів і кулонівська блокада.	10	4	2		4
Тема 6. Балістичний перенесення заряду. Квантовий ефект Холла.	11	4	2		5
Тема 7. Огляд методів дослідження мікро- та наноструктур.	18	4	4		10
Тема 8. Електронна мікроскопія.	14	2	2		10
Тема 9. Скануюча зондова мікроскопія.	24	4	6		14
<b>Модульний контроль 2</b>					2
Разом за змістовним модулем 2	79	18	16		45
<b>Усього годин</b>	120	32	24		64

## 5. Темі практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
Змістовний модуль 1		
1	Загальна характеристика мікро- та наноструктур.	2
2	Властивості мікрочастинки як квантового об'єкта.	4
3	Хвильові властивості та енергетичний спектр електронів в квантоворозмірних структурах.	2
Змістовний модуль 2		
4	Тунелювання електронів і кулонівська блокада.	2
5	Балістичний перенесення заряду. Квантовий ефект Холла.	2
6	Огляд методів дослідження мікро- та наноструктур.	4
7	Електронна мікроскопія.	2

8	Скануюча зондова мікроскопія.	6
	<b>Разом за семестр</b>	<b>24</b>

## 6. Теми лабораторних занять

Не передбачено.

## 7. Самостійна робота

№ п/п	Назва теми	Кількість годин
1	Вступ до дисципліни.	1
2	Загальна характеристика мікро- та наноструктур.	3
3	Властивості мікрочастинки як квантового об'єкта.	5
4	Хвильові властивості та енергетичний спектр електронів в квантоворозмірних структурах.	8
5	Тунелювання електронів і кулонівська блокада.	4
6	Балістичний перенесення заряду. Квантовий ефект Холла.	5
7	Огляд методів дослідження мікро- та наноструктур.	10
8	Електронна мікроскопія.	10
9	Скануюча зондова мікроскопія.	14
13	Підготовка до модульного контролю (Модуль 1)	2
14	Підготовка до модульного контролю (Модуль 2)	2
	<b>Разом</b>	<b>64</b>

## 8. Індивідуальні завдання

Не передбачено.

## 9. Методи навчання

Проведення аудиторних лекцій, практичних занять, індивідуальні консультації, самостійна робота студентів за матеріалами, опублікованими кафедрою (методичні посібники).

## 10. Методи контролю

1. Перевірка присутності й роботи на лекції.
2. Перевірка засвоєння теоретичного матеріалу за допомогою модульного контролю.
3. Перевірка підготовки до практичних занять.
4. Перевірка загального засвоєння матеріалу на іспиті.

## 11. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти

11.1. Розподіл балів, які отримують студенти (кількісні критерії оцінювання)

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
----------------------------	---------------------------------	----------------------------	-------------------------

<b>Змістовний модуль 1</b>			
Робота на практичних заняттях	0...3,75	3	0...11,25
Модульний контроль	30	1	30
<b>Змістовний модуль 2</b>			
Робота на практичних заняттях	0...3,75	5	0...18,75
Модульний контроль	30	1	30
Індивідуальне науково-дослідне завдання	10	1	10
<b>Усього за семестр</b>			<b>0...100</b>

Семестровий контроль (іспит) проводиться у разі відмови здобувача вищої освіти від балів поточного контролю й за наявності допуску до іспиту. Під час складання семестрового іспиту студент має можливість отримати максимум 100 балів.

Білет для іспиту складається з двох теоретичних запитань по 50 балів за кожне запитання.

### 11.2. Якісні критерії оцінювання

Необхідний обсяг знань для одержання позитивної оцінки:

- фундаментальні поняття, закони і теорії розділів фізики, що вивчались;
- застосування основних законів фізики та фізичних методів в області біології;
- механізмів дії фізичних факторів на живі організми;
- використання біофізичних параметрів та методів для діагностики стану біологічних систем;

Необхідний обсяг вмінь для одержання позитивної оцінки:

- використання теоретичних знань до виконання фізичного аналізу явищ та процесів, що спостерігаються;
- здійснення фізичного аналізу поставленої задачі;
- користування довідковою літературою.

### 11.3. Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру

**Задовільно (60-74).** Студент знайомий з основними поняттями навчального матеріалу, може самостійно відтворити значну частину навчального матеріалу та робити певні узагальнення, ознайомлений з основною літературою, рекомендованою програмою, вміє виконувати навчальні завдання, передбачені програмою.

**Добре (75-89).** Студент вільно володіє навчальним матеріалом, вміє застосовувати вивчений матеріал в стандартних ситуаціях, узагальнювати та систематизувати навчальну інформацію, самостійно виконує передбачені програмою навчальні завдання, самостійно знаходить і виправляє допущені помилки, обґрунтовано вибирає раціональний спосіб виконання навчального завдання.

**Відмінно (90-100).** Знання вміння та навички студента цілком відповідають вимогам програми. Студент володіє глибокими та міцними знаннями, самостійно визначає проміжні цілі і вміє планувати особисту навчальну діяльність, оцінювати результати власної практичної роботи, вміє знаходити додаткову інформацію та самостійно використовує її для реалізації поставлених перед ним навчальних цілей, судження його логічні і достатньо обґрунтовані, засвоїв взаємозв'язок основних понять дисципліни, їх значення для подальшої професійної діяльності, вміє вільно використовувати сучасні програмні засоби для поповнення власних знань та розв'язування задач.



### Шкала оцінювання: бальна і традиційна

Сума балів	Оцінка за традиційною шкалою	
	Іспит, диференційований залік	Залік
90 – 100	Відмінно	Зараховано
75 – 89	Добре	
60 – 74	Задовільно	
0 – 59	Незадовільно	Не зараховано

## 12. Методичне забезпечення

1. Мигаль В.П., Клименко І.А., Фомін А.С. Навчальний посібник для самостійної роботи «Коливання та хвилі» Харків: Національний аерокосмічний університет "ХАІ", 2008. – 106 с.
2. Мигаль В.П., Клименко І.А. Хвилі, кванти і атоми. Навчальний посібник. Х: Нац. аерокосм. ун-т ім. М.Є. Жуковського "Харк. авіац. ін-т", 2004. – 189 с.
3. Електрика й магнетизм Навч. посібник до лабораторного практикуму. / Воронович Д.О., Луньов І.В., Охрімівський А.М., Подшивалова О.В. // Х.: Нац. аерокосм. ун-т «Харк. авіац. ін-т». - 2011. - 140 с.
4. Чугай О. М., Мигаль В. П., Луньов І. В., Олійник С. В., Рубльова О.В. Хвильова оптика. Сучасна фізика. Навч. посіб. до лаб. практикуму. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т «Харьк. авіац. ін-т». – 2020. – 86 с.

## 13. Рекомендована література

1. Заячук, Д. М. Нанотехнології і наноструктури : навчальний посібник / Д. М. Заячук ; МОН України, НУ "Львівська політехніка". - Л. : Вид-во НУ "Львівська політехніка", 2009. - 580 с.
2. Поплавко Ю.М., Борисов О. В., Якименко Ю. І. Нанофізика, наноматеріали, наноелектроніка: навч. посібник. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 300 с
3. «Моделювання приладів мікро- і наноелектроніки»: [Електронний ресурс]: підручник для спірантів спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка», та освітньо-наукової програми «Мікро- та наносистемна техніка» / В.О. Москалюк, В.І.Тимофеев; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 22,9 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. –164 с. Режим доступу: [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/41067/1/Modeluvannia\\_pryladiiv.pd](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/41067/1/Modeluvannia_pryladiiv.pd).
4. Основи наноелектроніки. У 2 кн. Кн. 2, ч. 1. Матеріали і наноелектронні технології [Електронний ресурс] : підручник / Ю. І. Якименко, Д. М. Заячук, В. М. Співак, А. Т. Орлов [та ін.] ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 9,39 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016. – 343 с. – Назва з екрана. Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/18294>.
5. «Моделювання приладів мікро- і наноелектроніки»: [Електронний ресурс]: підручник для аспірантів спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка», та освітньо-наукової програми «Мікро- та наносистемна техніка» / В.О. Москалюк, В.І.Тимофеев; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 22,9 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. –164 с. Режим доступу: [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/41067/1/Modeluvannia\\_pryladiiv.pd](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/41067/1/Modeluvannia_pryladiiv.pd).
6. Шпак А.П., Куницький Ю.А., Коротченков О.О., Смик С.Ю. Квантові низькорозмірні системи. – Київ: Академперіодика, 2003. – 308 с.
7. Шпак А.П., Куницький Ю.А., Смик С.Ю. Діагностика наносистем. – Київ: Академперіодика, 2003. – 149 с.

**Інтернет-ресурси:**

1. <http://ipt.arc.nasa.gov>
2. <http://nanotechweb.org>
3. <https://youtu.be/BB5KhVQIX0M>
4. [https://youtu.be/AY- bnfGuPk](https://youtu.be/AY-bnfGuPk) .
5. <https://youtu.be/CujYMLfk61s> .