

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Кафедра прикладної фізики та вищої математики

ЗАТВЕРДЖУЮ



Ігор ПАНАСЮК

06. 2024 року

РОБОЧА ПРОГРАМА

навчальної дисципліни Елементи квантової механіки

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальності: 105 Прикладна фізика та наноматеріали

Освітні програми: Нано- та мікротехнології в дизайні

Інститут інженерії та інформаційних технологій

Київ 2024 рік

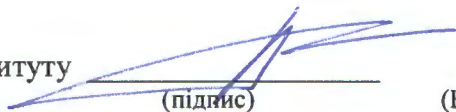
РОЗРОБЛЕНО: Київський національний університет технологій та дизайну

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ: Олейнікова І.В., канд.фіз.-мат. наук, доцент

Схвалено Вченою Радою інституту інженерії та інформаційних технологій

Протокол від « 28 » 06 2024 року № 10 -

Директор інституту

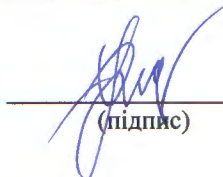
  
(підпис)

Ігор ПАНАСЮК  
(Власне ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Обговорено та рекомендовано на засіданні кафедри прикладної фізики та вищої математики

Протокол від « 19 » 06 2024 року № 11 (повна назва кафедри)

Завідувач кафедри

  
(підпис)

Оксана ЛАГОДА  
(Власне ім'я ПРІЗВИЩЕ)

## 1 ОПИС ДИСЦИПЛІНИ

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, спеціалізація, рівень вищої освіти	Характеристика дисципліни
		денна форма здобуття вищої освіти
Кількість кредитів – 4	Галузі знань: 10 Природничі науки. Спеціальності: 105 Прикладна фізика та наноматеріали. Освітні програми: Нано- та мікротехнології в дизайні Рівень вищої освіти __бакалавр__	Обов'язкова
<b>Змістових модулів – 1</b>		<b>Рік підготовки:</b>
Індивідуальне науково-дослідне завдання		2-й
_____		<b>Семестр</b>
(назва)		4 -й
Загальна кількість годин - 120		<b>Лекції</b>
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 4 семестр – 5 год. самостійної роботи студента – 5 год.		4 сем. – 24 год.
		<b>Лабораторні</b>
		4 сем. – 24 год.
		<b>Практичні</b>
	4 сем. – 12 год.	
	<b>Самостійна робота</b>	
	4 сем - 60 год.	
	<b>Індивідуальне науково-дослідне завдання: _год.</b>	
	<b>Вид контролю:</b> екзамен ( <i>семестр_4</i> )	

\* - при необхідності змістовий модуль може ділитись на розділи.

## 2 АНОТАЦІЯ ДИСЦИПЛІНИ

Робоча програма навчальної дисципліни складається з одного змістового модулів:

**Змістовий модуль** Елементи квантової механіки

**Мета курсу:** набуття компетентностей зрозуміти зв'язок абстрактних фізичних понять з практично важливими властивостями матеріалів, а також з вирішенням прикладних задач; набуття здатності застосувати знання у практичних ситуаціях та здатності використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем, розширити розуміння професійної діяльності, розвиток здатності до проведення досліджень на

відповідному рівні, набуття здатності використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання в професійній діяльності.

**Результати навчання:**

*знати:* сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики, сучасні тенденції розвитку комп'ютерних технологій з використанням квантових обчислень;

*вміти:* обирати і застосовувати придатні типові аналітичні, розрахункові та експериментальні методи; правильно інтерпретувати результати таких досліджень, застосовувати знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності для вирішення актуальних питань;

*здатен:* використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем, аналізувати сучасну інформацію про тенденції розвитку квантової фізики, застосовувати здатність аналізувати можливості використання наноструктурних матеріалів для забезпечення функціональних властивостей об'єктів дизайну;

*володіти навичками:* розробляти математичні моделі поведінки квантових частинок в різних фізичних задачах, визначати різницю класичного та квантового підходу до аналізу використання певних технологій і в дизайні, зокрема, застосування основ квантової фізики для опису властивостей наночастинок в різних матеріалах.

**Програмні результати навчання:** ПРН 1, ПРН 2, ПРН 7, ПРН 9, ПРН 12, ПРН 16, ПРН 25.

**Необхідні навчальні компоненти (пререквізити, кореквізити і пост реквізити):** фізика, концепції використання наноматеріалів в дизайні, лазерні технології, основи спектрального аналізу.

**Види навчальних занять:** лекція, практичне, лабораторне, консультація.

**Методи навчання:** словесний, пояснювально-демонстраційний, дослідницький.

**Методи контролю:** усний (усне опитування), письмовий (індивідуальні завдання, задачі, звіти по лабораторних роботах), тестовий.

**Форми підсумкового контролю:** екзамен (семестр 4).

**Засоби діагностики успішності навчання:** індивідуальні завдання для розрахункових робіт, перелік питань для модульного, підсумкового контролю та захисту лабораторних робіт, комплекти тестових завдань для захисту лабораторних робіт, до модульного та підсумкового контролю.

**Мова навчання:** українська

### 3 ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ СЕМЕСТР 4

Змістовий модуль 1 Елементи квантової механіки

**Тема 1. Вступ до курсу квантової механіки. Корпускулярно-хвильовий дуалізм світла та квантових частинок.**

Квантова природа світла (повторення) та хвильові властивості частинок. Гіпотеза де Бройля. Експериментальне підтвердження хвильової природи частинок. Дослід Томсона. Корпускулярно- хвильовий дуалізм. Принцип додатковості. Співвідношення невизначеностей.

**Тема 2. Математичний апарат квантової механіки.**

Математичний апарат квантової механіки. Постулати квантової механіки та теорія операторів. Власні функції і власні значення операторів їх фізична інтерпретація. Властивості власних функцій і власних значень ермітових операторів. Власні функції і власні значення операторів їх фізична інтерпретація. Властивості власних функцій і власних значень ермітових операторів.

**Тема 3. Хвильова функція. Стаціонарне та нестаціонарне рівняння Шредінгера та приклади його застосування.**

Ймовірнісна інтерпретація хвильової функції. Стационарне та нестационарне рівняння Шредінгера. Приклади розв'язання рівняння Шредінгера для фізичних систем. Атом водню в квантовій механіці. Частинка в потенційному ящику з нескінченно високими стінками. Зичних систем. Тунельний ефект. Квантовий гармонічний осцилятор.

**Тема 4. Основні поняття квантової статистики. Особливості квантової статистики для ферміонів та бозонів.**

Розподіл Фермі – Дірака. Розподіл Бозе – Ейнштейна. Розподіл Больцмана. Енергія Фермі.

**Тема 5. Елементи зонної теорії кристалів.**

Елементи зонної теорії кристалів: метали, діелектрики, напівпровідники. Розташування зон та класифікація матеріалів.

**Тема 6. Квантові явища в наноматеріалах та наноб'єктах.**

Приклади квантових явищ в практичних використаннях наноматеріалів. Взаємодія наноб'єктів зі світлом. Квантові комп'ютери та обчислення.

**4 СТРУКТУРА ДИСЦИПЛІНИ**

Назви змістових модулів (розділів) і тем	Кількість годин						
	Денна форма						
	усього	у тому числі:					
л		пр	лаб		інд	СРС	
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Освітній компонент</b>							
<b>Семестр 4 Змістовий модуль 1. Елементи квантової механіки</b>							
Тема 1. Вступ до курсу квантової механіки. Корпускулярно-хвильовий дуалізм світла та квантових частинок.	30	6	2	8			14
Тема 2. Математичний апарат квантової механіки.	14	2	2				10
Тема 3. Хвильова функція. Стационарне та нестационарне рівняння Шредінгера та приклади його застосування.	20	6	2	6			6
Тема 4. Основні поняття квантової статистики. Особливості квантової статистики для ферміонів та бозонів.	16	6	4	4			2
Тема 5. Елементи зонної теорії кристалів.	20	2		6			12
Тема 6. Квантові явища в наноматеріалах та наноб'єктах.	20	2	2			12	4
Разом за змістовим модулем 1	120	24	12	24		12	48
<b>Усього годин</b>	120	24	12	24		12	48

**5 ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ**

№ з/п	Назва теми практичного заняття	Кількість годин
<b>4 семестр</b>		
1	Хвильові властивості частинок	2
2	Оператори у квантовій механіці	2

3	Розв'язання рівняння шредінгера для різних фізичних задач	2
4	Атом водню у квантовій механіці	2
5	Багатоелектронні атоми. Ефект Зеємана. ЕПР.	2
6	Квантові явища в сучасних нанотехнологіях	2
	Разом за 4 семестр	12
	Всього	12

#### Лабораторні заняття

№ з/п	Назва теми лабораторної роботи	Кількість годин
<b>4 семестр</b>		
1	Дослідження дискретності енергетичних рівнів атомів за допомогою ефекту Франка і Герца	4
2	Експериментальна перевірка співвідношення невизначеностей Гейзенберга для фотонів	4
3	Дослідження квантового тунелювання електронів через потенціальний бар'єр)	4
4	Дослідження принципу Паулі.(віртуальна робота)	4
5	Дослідження молекулярних спектрів поглинання і визначення сталої Планка.	4
6	Визначення ширини забороненої зони напівпровідників з температурної залежності їх провідності.	4
	Разом за 4 семестр	24
	Всього	24

#### 6 САМОСТІЙНА РОБОТА

№ з/п	Види робіт	Кількість годин
1	Підготовка практичних робіт	14
2	Опрацювання тем, які не викладаються на лекціях	14
3	Підготовка до всіх видів контролю	12
4	Індивідуальні завдання	20
	Всього	60

#### 8 РОЗПОДІЛ БАЛІВ, ЯКІ ОТРИМУЮТЬ СТУДЕНТИ

Поточне оцінювання та самостійна робота						Екзамен	Сума
T1	T2	T3	ПК	T4	T5		
23	5	20	10	10	12	10	100

#### Розподіл балів з дисципліни

Види робіт, що оцінюються в балах	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Усього
Виконання і захист лабораторних робіт	18		15	10	10	0	53
Оцінювання практичних робіт	5	5	5	-	2	-	17
Індивідуальні завдання (презентація)				-	-	10	10
Поточний контроль (тестовий) (ПК)		10			-		10
Екзамен				10			10
				10			
				<b>Всього з дисципліни</b>			<b>100</b>

### **Критерії оцінювання розрахункових індивідуальних робіт**

Кількість балів пропорційне кількості правильно виконаних задач.

### **Критерії оцінювання лабораторних робіт**

Максимальна кількість балів за кожну лабораторну роботу переводиться відповідно до кількості лабораторних робіт в даній темі. Наприклад, якщо тема 2 включає 2 лабораторні роботи, то максимальний бал за кожну буде по 5 балів. Критерії оцінювання кожної лабораторної роботи наведені в таблиці.

Оцінка (%)	Критерії оцінювання виконання та захисту лабораторних робіт
90-100	оцінюється лабораторна робота здобувача вищої освіти, якщо він виконав в повному обсязі всі необхідні вимірювання та розрахунки та зміг правильно інтерпретувати отримані результати та зробити висновки. Під час захисту лабораторних робіт демонструє повне володіння навчальним матеріалом, вільно користується спеціальною термінологією, вміє аргументувати кожну відповідь. Швидко аналізує та знаходить відповіді на нестандартні питання, не допускаючи при цьому помилок.
75-89	оцінюється лабораторна робота здобувача вищої освіти, якщо він виконав всі необхідні вимірювання, правильно порахував потрібні величини та похибки, зміг пояснити отримані результати та зробити висновки. Під час захисту лабораторних робіт демонструє повне володіння навчальним матеріалом, користується фізичною термінологією, розкриває основний зміст процесів та явищ. Але при висвітленні деяких питань не вистачає достатньої глибини та аргументації, допускаються незначні помилки при відповідях на поставлені питання.
61-74	оцінюється лабораторна робота здобувача вищої освіти, якщо він виконав всі необхідні вимірювання, правильно порахував потрібні величини та похибки, зміг пояснити отримані результати та зробити висновки. Під час захисту лабораторних робіт висвітлює лише основний зміст фізичних процесів та явищ, демонструє елементарні знання окремих положень, проте не здатний швидко орієнтуватися в термінології, допускає істотні неточності та помилки при відповідях на поставлені питання, володіє лише обов'язковим мінімумом фізичних знань.
50-60	оцінюється лабораторна робота здобувача вищої освіти, якщо він виконав всі необхідні вимірювання, правильно порахував потрібні величини та похибки, але не зміг інтерпретувати результати розрахунків. При захисті теоретичного матеріалу демонструє досить поверхневі знання, не може своєчасно знайти відповідь на поставлене питання, не володіє термінологією.
1-49	оцінюється лабораторна робота здобувача вищої освіти, якщо він виконав лабораторні вимірювання, але не зміг правильно порахувати результати та похибки вимірювань, не надав правильні відповіді на контрольні питання, отже володіє навчальним матеріалом не у достатньому обсязі, а лише фрагментарно, а в окремих випадках – не розуміє матеріалу поточної теми.

### **Критерії оцінювання модульного контролю**

Оцінювання модульного контролю здійснюється за 10-бальною шкалою у вигляді тесту у Модульному середовищі освітнього процесу КНУТД (МСОП КНУТД). Кількість балів за кожну правильну відповідь залежить від складності питань і вказується при проходженні тесту

### **Критерії оцінювання екзамену**

Екзамен включає в себе теоретичні питання та розрахункові задачі: 5 питань по 2 бали за кожне. Мінімальна оцінка на екзамені не може бути меншою за 6 балів.

### Відповідність шкал оцінок якості засвоєння навчального матеріалу

Оцінка за національною шкалою для екзамену, КП, КР /заліку/	Оцінка в балах	Оцінка за шкалою ECTS	Пояснення
<b>Відмінно/ зараховано</b>	90-100	<b>A</b>	<b>Відмінно</b> (відмінне виконання лише з незначною кількістю помилок)
<b>Добре/ зараховано</b>	82-89	<b>B</b>	<b>Дуже добре</b> (вище середнього рівня з кількома помилками)
	74-81	<b>C</b>	<b>Добре</b> (в загальному вірне виконання з певною кількістю суттєвих помилок)
<b>Задовільно/ зараховано</b>	64-73	<b>D</b>	<b>Задовільно</b> (непогано, але зі значною кількістю недоліків)
	60-63	<b>E</b>	<b>Достатньо</b> (виконання відповідає мінімальним критеріям)
<b>Незадовільно/ незараховано</b>	35-59	<b>FX</b>	<b>Незадовільно</b> (з можливістю повторного складання)
	0-34	<b>F</b>	<b>Незадовільно</b> (з обов'язковим повторним вивченням дисципліни)

### 9. ПОЛІТИКА КУРСУ:

- 9.1. Відвідування занять є обов'язковим, як важлива складова освітнього процесу.
- 9.2. Пропущені заняття (з поважних причин / без поважних причин) мають бути відпрацьованими в позааудиторний час.
- 9.3. За кожну виконану контрольну, індивідуальну роботу, поточний (теоретичний) контроль, тест і активність на занятті отримується кількість балів, відповідно до таблиці розподілу балів. Для отримання позитивної оцінки необхідно отримати не менше 60 відсотків від максимальної кількості балів для кожного виду робіт.
- 9.4. Списування під час контрольних робіт та екзаменів заборонено (в т. ч. із використанням мобільних пристроїв).
- 9.5. Мобільні пристрої дозволяється використовувати лише під час виконання розрахунків практичних завдань.
- 9.6. При виявленні плагіату робота не оцінюється, а виконується повторно зі зміною завдань.
- 9.7. Усі завдання, передбачені програмою, мають бути виконаними у встановлений термін. В разі несвоєчасного виконання роботи без поважних причин, бали будуть пониженими пропорційно часу запізнення..
- 9.8. Перенесення терміну здачі роботи/перездача з поважних причин (лікарняний, академічна мобільність тощо) не впливатиме на оцінку.
- 9.9. Незадовільні оцінки, отримані студентом протягом семестру мають бути перескладеними за тиждень до складання підсумкового контролю.
- 9.10. Студент має можливість зарахувати оцінку підсумкового контролю і не складати екзамен або підвищити підсумкові бали за семестр на екзамені.
- 9.11. За наукову роботу та участь в олімпіадах студенти отримують додаткові бали.
- 9.12. Допускається визнання результатів навчання, отриманих у неформальній освіті.
- 9.13. Обов'язковим є дотримання академічної доброчесності студентами, а саме:
  - самостійне виконання всіх видів робіт, завдань, форм контролю, передбачених робочою програмою навчальної дисципліни «Елементи квантової механіки»;
  - посилання на джерела інформації у разі використання ідей, розробок, тверджень, відомостей;
  - дотримання норм законодавства про авторське право і суміжні права;



- надання достовірної інформації про результати власної навчальної (наукової) діяльності, використанні методики досліджень і джерела інформації.

9.14. Будь-які конфліктні ситуації між студентом та викладачем (академічна недоброчесність, упереджене ставлення, сексуальне домагання, тощо) вирішуються на засіданні комісії, яка складається з викладача, завідувача кафедри, представника студентського самоврядування та куратора.

### 10 МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

1. Олейнікова І.В.. Елементи квантової механіки. Методичні вказівки до лабораторних робіт [Електронний ресурс] – Київ, КНУТД, МСОП, ННШТ, кафедра прикладної фізики та вищої математики, 2024. – 24 с.

2 Олейнікова І.В.. Елементи квантової механіки. Конспект лекцій [Електронний ресурс] – Київ, КНУТД, МСОП, ННШТ, кафедра прикладної фізики та вищої математики, 2024. –85 с.

3 Олейнікова І.В.. Елементи квантової механіки. Методичні вказівки до практичних робіт [Електронний ресурс] – Київ, КНУТД, МСОП, ННШТ, кафедра прикладної фізики та вищої математики, 2024. –52 с.

### 11 РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

#### Основна

1. Кобушкін О.П. Квантова механіка. Навчальний посібник – Київ, 2016, -253 с.

2. Крохмальський Т.С. Вступ до квантових обчислень: Навчальний посібник. - Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2018. - 204 с.

3. Вакарчук І. О. Квантова механіка : підручник / І. О. Вакарчук. — 4-те вид., доп. — Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2012. — 872 с.

4. Висоцький, В.І. Квантова механіка та її використання у прикладній фізиці: підручник / В.І. Висоцький. - К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2008. - 367 с.

5. Кобушкін, О. П. Збірник задач з квантової механіки [[Електронний ресурс](#)] : навчальний посібник / О. П. Кобушкін, Я. Д. Кривенко-Еметов ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 110 с.

6. Висоцький В. І., Максюта М. В., Ястремський І. О. Збірник задач з квантової механіки. — К. 2019. — 287 с.

#### Додаткова

1. Kathryn D. de Ridder-Vignone Public Engagement and the Art of Nanotechnology Leonardo 2012; 45 (5): 433–438.

2. Боровий М.О., Оліх О.Я. Фізичні основи квантової механіки. Для студентів природничих факультетів. Частина 1. – К.:2011, -121 с.

3. Про затвердження Державної цільової науково-технічної програми "Нанотехнології та наноматеріали" на 2010-2014 роки Постанова Кабінета Міністрів України, Редакція від 21.08.2013

### 12 ІНТЕРНЕТ-РЕСУРСИ

1. Фізика; <https://www.fizykaua.com/>

2. Віртуальні лабораторні роботи [https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?f=atom\\_franckhertz&l=ua](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?f=atom_franckhertz&l=ua)

3. <https://www.bbc.com/ukrainian/articles/c03d2jwzx0wo>

4. Час науки: <https://chasnauki.com/novosti/kvantovaya-mekhanika-osnovnye-principy-teoriya-i-poluprovodniki.html>

ПЕРЕЗАТВЕРДЖЕНО

Протокол засідання кафедри від “ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_

Завідувачка кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

ПЕРЕЗАТВЕРДЖЕНО

Протокол засідання кафедри від “ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_

Завідувачка кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)