Сумський державний педагогічний університет
імені А.С. Макаренка

Фізико-математичний факультет

Кафедра математики, фізики та методик їх навчання

ЗАТВЕРДЖУЮ
Декан фізико-математичного факультету
_____ Каленик М.В.
(підпис) (ініціали та прізвище)
«31» серпня 2023 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Квантова механіка
(назва навчальної дисципліни)

галузь знань 01 Освіта/ Педагогіка
(шифр і назва галузі знань)

спеціальність 014 Середня освіта (Фізика)
(шифр і назва)

освітня-програма/програми Середня освіта (Фізика. Математика) першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
(назва)

мова навчання українська

Погоджено науково-методичною комісією
фізико-математичного факультету
«31» серпня 2023 р.

Голова _____ Одінцова О.О.,
канд. фіз.-мат. наук, доцент
(ПІБ, науковий ступінь, вч. звання)

Суми - 2023

Розробник:

Салтикова А.І., канд. фіз.-мат. наук, доцент, доцент кафедри математики, фізики та методик їх навчання

Робоча програма розглянута і схвалена на засіданні кафедри математики, фізики та методик їх навчання
Протокол № 1 від «31» серпня 2023 р.

Завідувач кафедри,
доктор педагогічних наук, професор _____ Чашечникова О.С.

Опис навчальної дисципліни

<table>
<tr><td rowspan="2">Найменування показників</td><td rowspan="2">Освітній ступінь</td><td colspan="2">Характеристика навчальної дисципліни</td></tr>
<tr><td>денна форма навчання</td><td>заочна форма навчання</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Кількість кредитів – 5</td><td rowspan="14">Бакалавр</td><td colspan="2">Обов’язкова</td></tr>
<tr><td colspan="2">Рік підготовки:</td></tr>
<tr><td>4-й</td><td>-й</td></tr>
<tr><td colspan="2">Семестр</td></tr>
<tr><td rowspan="10">Загальна кількість годин - 150</td><td>1-й</td><td>-й</td></tr>
<tr><td colspan="2">Лекції</td></tr>
<tr><td>28 год.</td><td>год.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Практичні, семінарські</td></tr>
<tr><td>30 год.</td><td>год.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Лабораторні</td></tr>
<tr><td>-</td><td>год.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Самостійна робота</td></tr>
<tr><td>90 год.</td><td>год.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Консультації:</td></tr>
<tr><td>2 год.</td><td>год.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Вид контролю: екзамен</td></tr>
</table>

1. Мета вивчення навчальної дисципліни

Метою та завданням навчального курсу «КВАНТОВА МЕХАНІКА» є: вивчення фізичних основ і математичного апарату квантової механіки та її застосувань у різних задачах атомної фізики, формування у студентів наукового світогляду в області фізики квантових явищ та фізичної картини світу; забезпечення студентів знаннями з квантової механіки необхідними для викладання фізики, включаючи спецкурси та факультативи, в усіх типах середніх навчальних закладів

Завданнями курсу є формування знань про фізичні основи квантової теорії; основи математичного апарату квантової механіки; застосування квантової механіки при розв'язанні задачах з атомної фізики та вмінь аналізувати літературу з проблем квантової фізики; розв'язувати задачі на застосування законів квантової механіки; пояснювати основні закони, явища, процеси, моделі, застосування квантової механіки.

2. Передумови для вивчення дисципліни

Вивчення курсу ґрунтується на знаннях студентів здобутих при вивченні математичних дисциплін, курсів загальної фізики (в першу чергу оптики та атомної фізики), історії фізики, а також попередніх розділів теоретичної фізики (в першу чергу класичної механіки).

3. Результати навчання за дисципліною

Знання	**ПРЗ 1**	Демонструє знання та розуміння основ загальної та теоретичної фізики та математики.
Уміння	**ПРУ 3**	Розв'язує задачі різних рівнів складності шкільного курсу фізики та математики.
	ПРУ 4	Користується математичним апаратом фізики, використовує математичні та числові методи, які часто застосовуються у фізиці.
	ПРУ 8	Самостійно вивчає нові питання фізики, математики та методики їх навчання за різноманітними інформаційними джерелами та вміє критично їх оцінювати.

Комунікація	**ПРК 4.**	Ефективна взаємодія в команді, у професійному колективі та з представниками інших професійних груп.

4. Критерії оцінювання результатів навчання

Шкала ЄКТС	Критерії оцінювання навчальних досягнень студента
A	Повно та ґрунтовно засвоїв всі теми навчальної програми, вміє вільно та самостійно викласти зміст всіх питань програми навчальної дисципліни, розуміє її значення для своєї професійної підготовки, повністю виконав усі завдання кожної теми та поточного і підсумкового контролю в цілому.
B	Недостатньо повно та ґрунтовно засвоїв окремі питання робочої програми. Вміє самостійно викласти зміст основних питань програми навчальної дисципліни, виконав усі завдання кожної теми та поточного і підсумкового контролю в цілому.
C	Недостатньо повно та ґрунтовно засвоїв деякі теми робочої програми, не вміє самостійно викласти зміст деяких питань програми навчальної дисципліни. Окремі завдання кожної теми та поточного і підсумкового контролю в цілому виконав не повністю.
D	Засвоїв лише окремі теми робочої програми. Не вміє вільно самостійно викласти зміст основних питань навчальної дисципліни. Окремі завдання кожної теми та поточного і підсумкового контролю не виконав.
E	Засвоїв лише окремі питання навчальної програми. Не вміє достатньо самостійно викласти зміст більшості питань програми навчальної дисципліни. Виконав лише окремі завдання кожної теми та поточного і підсумкового контролю в цілому.

FX	Не засвоїв більшості тем навчальної програми не вміє викласти зміст більшості основних питань навчальної дисципліни. Не виконав більшості завдань кожної теми та поточного і підсумкового контролю в цілому.
F	Не засвоїв навчальної програми, не вміє викласти зміст кожної теми навчальної дисципліни, не виконав завдань поточного і підсумкового контролю.

Розподіл балів

<table>
<tr><td colspan="6">Поточний контроль</td><td rowspan="2">Сам. робота</td><td rowspan="2">Сума</td><td rowspan="2">Підсум ковий (екз.)</td><td rowspan="2">Загальна сума</td></tr>
<tr><td>РОЗДІЛ 1</td><td>РОЗДІЛ 2</td><td>РОЗДІЛ 3</td><td>РОЗДІЛ 4</td><td>РОЗДІЛ 5</td><td>РОЗДІЛ 6</td></tr>
<tr><td colspan="6">Поточний контроль</td><td rowspan="3">15</td><td rowspan="3">75</td><td rowspan="3">25</td><td rowspan="3">100</td></tr>
<tr><td>12</td><td>12</td><td>12</td><td>12</td><td>6</td><td>6</td></tr>
<tr><td colspan="6">Контроль самостійної роботи</td></tr>
<tr><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td colspan="4"></td></tr>
</table>

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою
		для екзамену, заліку, курсового проекту (роботи), практики
90 – 100	**A**	**відмінно**
82 - 89	**B**	**добре**
74 - 81	**C**	
64 - 73	**D**	**задовільно**
60 - 63	**E**	
35-59	**FX**	**незадовільно з можливістю повторного складання**
1 - 34	**F**	**незадовільно з обов’язковим повторним вивченням дисципліни**

5. Засоби діагностики результатів навчання

Засобами оцінювання та методами демонстрування результатів навчання є:

- усне опитування під час проведення практичних занять;
- проведення поточних письмових самостійних робіт;
- виконання студентами індивідуальних розрахункових завдань;
- проведення екзамену.

6. Програма навчальної дисципліни

6.1. Інформаційний зміст навчальної дисципліни

РОЗДІЛ 1. ВСТУП. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ОСНОВИ КВАНТОВОЇ МЕХАНІКИ

Тема 1.1. Предмет і місце квантової механіки в сучасній фізиці. Коротка історія створення квантової теорії.

Тема 1.2. Теплове випромінювання. Формула Планка.

Тема 1.3. Явище фотоефекту. Рівняння Ейнштейна.

Тема 1.4. Ефект Комптона.

Тема 1.5. Досліди Резерфорда. Ядерна модель атома. Випромінювання атома водню. Атом водню по Бору.

Тема 1.6. Дифракція електронів. Принцип невизначеностей Гейзенберга.

Тема 1.7. Гіпотеза де Бройля. Хвилі де Бройля. Фазова та групова швидкість хвиль де Бройля.

Тема 1.8. Хвильова функція. Умова нормування. Принцип суперпозиції станів.

РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНИЙ АПАРАТ КВАНТОВОЇ МЕХАНІКИ

Тема 2.1. Власні значення і спектр фізичної величини. Власні функції. Повна система функцій. Середнє значення.

Тема 2.2. Ермітові оператори і їх властивості. Додавання і добуток операторів. Комутатори.

Тема 2.3. Основні квантово-механічні оператори (координати, імпульсу, моменту імпульсу, енергії).

Тема 2.4. Оператор Гамільтона. Умови одночасного вимірювання фізичних величин.

Тема 2.5. Рівняння Шредінгера. Хвильове рівняння.

Тема 2.6. Диференціювання операторів за часом.

Тема 2.7. Закони збереження фізичних величин.

РОЗДІЛ 3. НАЙПРОСТІШІ ЗАДАЧІ КВАНТОВОЇ МЕХАНІКИ

Тема 3.1. Одномірний рух вільної частинки. Загальні властивості одновимірного руху.

Тема 3.2. Частинка у прямокутній потенціальній ямі. Енергетичні рівні. Виродження енергетичних станів. Хвильові функції і рівні енергії частинки у прямокутній потенціальній ямі

Тема 3.3. Лінійний осцилятор. Хвильові функції і енергетичні рівні гармонічного осцилятора. Нульові коливання.

Тема 3.4. Проходження частинки через потенціальний бар'єр. Коефіцієнт проходження. Коефіцієнти відбиття. Прямокутний бар'єр. Особливості руху частинки за наявності потенціального бар'єра.

РОЗДІЛ 4. РУХ ЧАСТИНКИ В ЦЕНТРАЛЬНО-СИМЕТРИЧНОМУ ПОЛІ. ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ ЗБУРЕНЬ

Тема 4.1. Особливості руху частинки в центрально-симетричному полі. Рух в кулоновому полі. Хвильові функції і енергетичні рівні частинки в кулоновому полі.

Тема 4.2. Елементи теорії збурень. Збурення, що не залежать від часу. Поправки першого і другого порядків до енергії і хвильової функції. Теорія збурень для вироджених станів. Секулярне рівняння. Збурення, що залежать від часу. Переходи під впливом збурення.

РОЗДІЛ 5. ЕЛЕМЕНТИ РЕЛЯТИВІСТСЬКОЇ КВАНТОВОЇ МЕХАНІКИ

Тема 5.1. Спін. Оператор спіну. Матриці Паулі. Спінові функції.

Тема 5.2. Системи тотожніх частинок. Принцип Паулі.

РОЗДІЛ 6. ОСНОВИ ТЕОРІЇ БАГАТЬОХ ЧАСТИНОК

Тема 6.1. Атомні рівні енергії. Стани електронів у атомі.

Тема 6.2. Молекула водню.

6.2. Структура та обсяг навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин											
	Денна форма						Заочна форма					
	Усього	у тому числі					Усього	у тому числі				
		Лекції	Практ.	Лабор.	Конс.	Самост.р		Лекції	Практ.	Лабор.	Конс.	Самост. робота
РОЗДІЛ 1. ВСТУП. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ОСНОВИ КВАНТОВОЇ МЕХАНІКИ												
Тема 1.1. Предмет і місце квантової механіки в сучасній фізиці. Коротка історія створення квантової теорії.	3	1				2						
Тема 1.2. Теплове випромінювання. Формула Планка.	9	1	2			6						
Тема 1.3. Явище фотоефекту. Рівняння Ейнштейна.	5	1	2			2						
Тема 1.4. Ефект Комптона.	5	1	2			2						
Тема 1.5. Досліди Резерфорда. Ядерна модель атома. Випромінювання атома водню. Атом водню по Бору.	8	2	4			2						
Тема 1.6. Дифракція електронів. Принцип невизначеностей Гейзенберга.	6	2	2			2						
Тема 1.7. Гіпотеза де Бройля. Хвилі де Бройля. Фазова та групова швидкість хвиль де Бройля.	5	1	2			2						
Тема 1.8. Хвильова функція. Умова нормування. Принцип суперпозиції станів.	3	1				2						
РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНИЙ АПАРАТ КВАНТОВОЇ МЕХАНІКИ												
Тема 2.1. Власні значення і спектр фізичної величини. Власні функції. Повна система функцій. Середнє значення.	3	1				2						
Тема 2.2. Ермітові оператори і їх властивості. Додавання і добуток операторів. Комутатори.	5	1	2			2						
Тема 2.3. Основні квантово-механічні оператори (координати,	8	2				6						

імпульсу, моменту імпульсу, енергії).												
Тема 2.4. Оператор Гамільтона. Умови одночасного вимірювання фізичних величин.	8	2				6						
Тема 2.5. Рівняння Шредінгера. Хвильове рівняння.	4	2	2									
Тема 2.6. Диференціювання операторів за часом.	1	1										
Тема 2.7. Закони збереження фізичних величин.	1	1										
РОЗДІЛ 3. НАЙПРОСТІШІ ЗАДАЧІ КВАНТОВОЇ МЕХАНІКИ												
Тема 3.1. Одномірний рух вільної частинки. Загальні властивості одновимірного руху.	3	1	2									
Тема 3.2. Частинка у прямокутній потенціальній ямі. Енергетичні рівні. Виродження енергетичних станів. Хвильові функції і рівні енергії частинки у прямокутній потенціальній ямі.	3	1	2									
Тема 3.3. Лінійний осцилятор. Хвильові функції і енергетичні рівні гармонічного осцилятора. Нульові коливання.	3	1	2									
Тема 3.4. Проходження частинки через потенціальний бар'єр. Коефіцієнт проходження. Коефіцієнти відбиття. Прямокутний бар'єр. Особливості руху частинки за наявності потенціального бар'єра.	3	1	2									
РОЗДІЛ 4. РУХ ЧАСТИНКИ В ЦЕНТРАЛЬНО СИМЕТРИЧНОМУ ПОЛІ. ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ ЗБУРЕНЬ												
Тема 4.1. Особливості руху частинки в центрально-симетричному полі. Рух в кулоновому полі. Хвильові функції і енергетичні рівні частинки в кулоновому полі.	9		1			8						
Тема 4.2. Елементи теорії збурень. Збурення, що не залежать від часу. Поправки першого і другого порядків до енергії і хвильової функції. Теорія збурень для вироджених станів. Секулярне рівняння. Збурення, що залежать від часу. Переходи під впливом збурення.	7		1			**6**						
РОЗДІЛ 5. ЕЛЕМЕНТИ РЕЛЯТИВІСТСЬКОЇ КВАНТОВОЇ МЕХАНІКИ												
Тема 5.1. Спін. Оператор спіну.	8	1	1			6						

Матриці Паулі. Спінові функції.												
Тема 5.2. Системи тотожніх частинок. Принцип Паулі.	8	1	1			6						
РОЗДІЛ 6. ОСНОВИ ТЕОРІЇ БАГАТЬОХ ЧАСТИНОК												
Тема 6.1. Атомні рівні енергії. Стани електронів у атомі.	11	1				10						
Тема 6.2. Молекула водню.	21	1			2	18						
Усього годин	**150**	**28**	**30**		**2**	**90**						

Теми лекційних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		Денна форма	Заочна форма
1.	Предмет і місце квантової механіки в сучасній фізиці. Історія створення квантової теорії. Теплове випромінювання. Формула Планка.	2	
2.	Явище фотоефекту. Рівняння Ейнштейна. Ефект Комптона. Досліди Резерфорда. Ядерна модель атома. Випромінювання атома водню. Атом водню по Бору.	2	
3.	Дифракція електронів. Принцип невизначеностей Гейзенберга.	2	
4.	Гіпотеза де Бройля. Хвилі де Бройля. Фазова та групова швидкість хвиль де Бройля. Хвильова функція. Умова нормування. Принцип суперпозиції станів.	2	
5.	Власні значення і спектр фізичної величини. Власні функції. Повна система функцій. Середнє значення. Ермітові оператори і їх властивості.	2	
6.	Основні квантово-механічні оператори (координати, імпульсу, моменту імпульсу, енергії. Умови одночасного вимірювання фізичних величин. Рівняння Шредінгера. Хвильове рівняння.	2	
7.	Диференціювання операторів за часом. Закони збереження фізичних величин.	2	
8.	Одномірний рух вільної частинки. Частинка у прямокутній потенціальній ямі.	2	
9.	Лінійний осцилятор. Проходження частинки через потенціальний бар’єр	2	

10.	Рух частинки в в центрально-симетричному полі. Елементи теорії збурень.	2	
11.	Спін. Оператор спіну. Матриці Паулі. Спінові функції.	2	
12.	Принцип тотожності частинок.	2	
13.	Атомні рівні енергії. Стани електронів у атомі .	2	
14.	Молекула водню.	2	
Разом		28	

Теми практичних (семінарських) занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		Денна форма	Заочна форма
1	Експериментальні основи квантової механіки.	8	
2	Контрольна робота.	2	
3	Математичний апарат квантової механіки.	6	
4	Найпростіші задачі квантової механіки.	6	
5	Момент імпульсу.	2	
6	Рух у центральному полі.	1	
7	Елементи теорії збурень.	1	
8	Елементи релятивістської квантової механіки.	2	
9	Контрольна робота.	2	
Разом		30	

7. Рекомендовані джерела інформації

1. Вакарчук І.О. Квантова механіка: Підруч. для студ. вузів. – Львів: ЛНУ ім. І.Франка. 2004. – 784 с.
2. Иродов И.Е. Задачи по квантовой физике: Учеб. пособие для физ. спец. вузов. – М.: Высш. шк., 1991. – 175 с.
3. Ландау Л.Д. Квантовая механика. Нерелятивистская теория: Учебн. по-собие для студ. физ. спец. ун-тов – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 1974. – 368 с.
4. Юхновський І.Р. Основи квантової механіки: Навч. пос. для студ. фі-зичн. спец. вищ. навч. закл. – К.: Либідь. 2002. – 390 с.
5. Л.Г.Гречко, С.М.Єжов та В.О.Сугаков. Збірник задач із теоретичної фізики. Квантова механіка. Вид. Київського національного університета ім. Тараса Шевченка, 2013.
6. Теоретична фізика. Квантова механіка [Електронний ресурс] : навч. посіб. Для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія» / О. М. Бродин. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 233 с.

7. Апостолов С. С., Єзерська О. В. Основи квантової механіки. Теорія та практичні завдання : навч.-метод. посіб. – Харків : ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2021. – 140 с.
8. Висоцький В. І., Максюта М. В., Ястремський І. О. Збірник задач із квантової механіки : навч. посіб. – Київ : ВПЦ "Київський університет", 2019. – 287 с.