

## 1. Опис навчальної дисципліни

(Витяг з робочої програми навчальної дисципліни  
“Квантова механіка”)

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни	
		<i>денна форма навчання</i>	
Кількість кредитів – 7	галузь знань <b>0402 Фізико-математичні науки</b>	Нормативна	
Модулів – 2	Напрями підготовки <b>6.040203 Фізика, 6.040206 Астрономія</b>	<i>Рік підготовки:</i> <b>3-й</b>	<i>Рік підготовки:</i> <b>4-й</b>
Змістових модулів – 4	Освітньо-кваліфікаційний рівень: <b>бакалавр</b>	<i>Семестр</i> <b>6-й</b>	<i>Семестр</i> <b>7-й</b>
Загальна кількість годин - <b>210</b>		<i>Лекції</i> <b>48 год.</b>	<i>Лекції</i> <b>32 год.</b>
Тижневих годин для денної форми навчання: <i>Аудиторних:</i> VI семестр – 5 VII семестр – 4 <i>Самостійної роботи студента:</i> VI семестр – 5 VII семестр – 4		<i>Практичні</i> <b>32 год.</b>	<i>Практичні</i> <b>32 год.</b>
		<i>Лабораторні</i> год.	
		<i>Самостійна робота</i> <b>40 год.</b>	<i>Самостійна робота</i> <b>26 год.</b>
		<i>Вид контролю:</i> <b>залік</b>	<i>Вид контролю:</i> <b>іспит</b>

## **2. Мета та завдання навчальної дисципліни**

Курс квантова механіка є фундаментальним розділом основного курсу теоретичної фізики.

**Мета:** формування в майбутнього фізика цілісної картини фізичних явищ, пов'язаних із мікросвітом.

**Завдання:** навчити студентів самостійно виконувати розрахунки, необхідні для розв'язування задач квантової механіки.

В результаті вивчення даного курсу студент повинен

**знати** основні поняття та рівняння предмету викладені у програмі курсу

**вміти:** застосовувати знання квантової механіки для розв'язування задач квантової механіки, володіти апаратом квантової механіки та розв'язувати відповідні рівняння

Для вивчення дисципліни необхідні знання з таких розділів математики і фізики: математичний аналіз, векторний аналіз, диференціальні рівняння, механіка, атомна фізика.

## **3. Програма навчальної дисципліни**

### **МОДУЛЬ 1**

#### **Змістовий модуль 1. Вступ до квантової механіки**

##### **Вступ**

Основні етапи розвитку квантової теорії. Гіпотеза Планка і «стара» квантова механіка. Хвильова і матрична механіка.

##### **Тема 1. Основні принципи квантової механіки**

1. Опис стану в квантовій механіці. Хвильова функція.
2. Принцип суперпозиції.
3. Хвильовий пакет.
4. Хвильова функція вільної частинки. Властивості плоских хвиль.
5. Середні значення координати та імпульсу. Оператор імпульсу.

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

6. Оператори фізичних величин. Дії над операторами. Приклади операторів фізичних величин.
7. Власні функції і власні значення операторів.
8. Властивості власних значень і власних функцій ермітових операторів.
9. Співвідношення невизначеностей для фізичних величин, що представляються некомутованими операторами.
10. Різні представлення хвильових функцій. Бра- і Кет- вектори.
11. Різні представлення операторів. Матриці операторів.

##### **Тема 3. Рівняння Шредінгера**

12. Хвильове рівняння Шредінгера.
13. Рівняння неперервності. Закон збереження густини ймовірності.
14. Зміна середніх значень фізичних величин з часом. Квантові дужки Пуасона.
15. Стаціонарні стани.
16. Представлення Шредінгера і представлення Гайзенберга. Представлення взаємодії.

## **Змістовий модуль 2. Найпростіші задачі квантової механіки та момент кількості руху**

### **Тема 4. Найпростіші задачі квантової механіки**

17. Частинка в потенціальній ямі з безмежно високими стінками.
18. Гармонічний осцилятор. Хвильовий та матричний підходи. Оператори народження і знищення.
19. Проходження частинки через потенціальний бар'єр.

### **Тема 5. Зв'язок квантової механіки з класичною**

20. Перехід від квантових рівнянь руху до класичних. Розпливання хвильових пакетів з часом.
21. Хвильова функція в квазікласичному наближенні. Метод Вентцеля-Крамерса-Бріллюена.
22. Правило квантування Бора-Зоммерфельда.
23. Квантова механіка і інтеграли по траєкторіях.

### **Тема 6. Момент кількості руху**

24. Оператор повороту і орбітальний момент кількості руху.
25. Власні значення і власні функції операторів квадрата та проекцій моменту кількості руху.
26. Власні функції операторів квадрата та проекцій орбітального моменту кількості руху.
27. Оператор моменту кількості руху для  $j = 1/2$ .

## **МОДУЛЬ 2**

## **Змістовий модуль 3. Рух частинки в центральном-симетричному полі та теорія збурень**

### **Тема 7. Рух частинки в центральносиметричному полі**

28. Рух в полі центральної сили. Радіальне рівняння Шредінгера.
29. Рух в кулонівському полі. Атом водню.

### **Тема 8. Теорія збурень**

30. Стаціонарна теорія збурень. Невироджений випадок.
31. Теорія збурень при наявності виродження. Дворівнева система. Ефект Штарка для атома водню.
32. Варіаційний метод.
33. Теорія збурень, залежних від часу.
34. Ймовірність квантового переходу за одиницю часу. Золоте правило Фермі.

### **Тема 9. Взаємодія атома з електромагнітним полем**

35. Квантування вільного електромагнітного поля. Фотони.
36. Теорія випромінювання та поглинання світла. Формула Планка.
37. Електричне дипольне випромінювання. Правила відбору.
38. Час життя збуджених станів атомів. Природна ширина спектральних ліній.
39. Квантова теорія дисперсії світла.

## **Змістовий модуль 4. Релятивістська квантова механіка. Квантова механіка системи багатьох частинок. Теорія розсіяння.**

### **Тема 10. Релятивістська квантова механіка**

40. Рівняння Кляйна-Гордона-Фока.
41. Рівняння Дірака. Матриці Дірака. Рівняння неперервності.
42. Момент кількості руху в теорії Дірака. Спін.

43. Вільний рух релятивістської частинки. Проблема від'ємних енергій. Позитрони.  
 44. Квазірелятивістське наближення рівняння Дірака. Рівняння Паулі. Спін-орбітальна взаємодія.  
 45. Атом в магнітній полі.

#### Тема 11. Квантова механіка системи багатьох частинок

46. Принцип тотожності частинок в квантовій механіці. Симетричні та антисиметричні хвильові функції. Бозони, ферміони.  
 47. Теорія атома гелію. Пара- та ортогелій.  
 48. Метод Хартрі-Фока.  
 49. Теорія молекул. Адіабатичне наближення. Молекула водню.  
 50. Хімічний зв'язок. Типи хімічного зв'язку. Властивості ковалентного зв'язку. *s-p*-гібридизація.

#### Тема 12. Теорія розсіяння

51. Амплітуда розсіяння.  
 52. Борнівське наближення для амплітуди розсіяння.

### 3. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	Денна форма					
	Усього	у тому числі				
л		п	лаб	інд	ср	
1	2	3	4	5	6	7
<b>МОДУЛЬ 1</b>						
<b>Змістовий модуль 1. Вступ до квантової механіки</b>						
Тема 1. Основні принципи квантової механіки	19	8	4			7
Тема 2. Математичний апарат квантової механіки	21	8	6			7
Тема 3. Рівняння Шредінгера	20	8	6			6
<i>Разом – зм. модуль 1</i>	<i>60</i>	<i>24</i>	<i>16</i>			<i>20</i>
<b>Змістовий модуль 2. Найпростіші задачі квантової механіки та момент кількості руху</b>						
Тема 4. Найпростіші задачі квантової механіки	22	10	6			6
Тема 5. Зв'язок квантової механіки з класичною	21	8	6			7
Тема 6. Момент кількості руху	17	6	4			7
<i>Разом – зм. модуль 2</i>	<i>60</i>	<i>24</i>	<i>16</i>			<i>20</i>
<b>Усього годин за VI семестр</b>	<b>120</b>	<b>48</b>	<b>32</b>			<b>40</b>

<b>МОДУЛЬ 2</b>						
<b>Змістовий модуль 3. Рух частинки в центральньо-симетричному полі та теорія збурень</b>						
Тема 7. Рух частинки в центральносиметричному полі	14	5	5			4
Тема 8. Теорія збурень	14	5	5			4
Тема 9. Взаємодія атома з електромагнітним полем	17	6	6			5
<i>Разом – зм. модуль 3</i>	<i>45</i>	<i>16</i>	<i>16</i>			<i>13</i>
<b>Змістовий модуль 4. Релятивістська квантова механіка. Квантова механіка системи багатьох частинок. Теорія розсіяння.</b>						
Тема 10. Релятивістська квантова механіка	16	6	6			8
Тема 11. Квантова механіка системи багатьох частинок	13	4	6			7
Тема 12. Теорія розсіяння	116	6	6			7
<i>Разом – зм. модуль 4</i>	<i>45</i>	<i>16</i>	<i>16</i>			<i>22</i>
<b>Усього годин за VII семестр</b>	<b>90</b>	<b>32</b>	<b>32</b>			<b>42</b>
<b>Усього годин</b>	<b>210</b>	<b>80</b>	<b>64</b>			<b>66</b>

### **6. Темі практичних занять**

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Основні принципи квантової механіки. Хвиля де Бройля.	2
2	Співвідношення невизначеностей Гайзенберга.	2
3	Зведення операторів до нормального вигляду.	2
4	Комутатор.	2
5	Оператор інверсії. Оператор трансляції.	2
6	Спрощення операторних виразів.	2
7	Власні значення, власні функції оператора.	3
8	Різні зображення станів та операторів.	2
9	Рівняння Шредінгера.	2
10	Зміна квантових станів та середніх величин з часом.	2
11	Частинка в потенціальних ямах різної форми.	2
12	Гармонічний осцилятор.	3
13	Метод операторів породження-знищення.	2
14	Зв'язок квантової механіки з класичною. Правило квантування Бора–Зоммерфельда	2
15	Оператор моменту кількості руху.	4
16	Рух у центральньо-симетричному полі.	3
17	Теорія збурень для невиродженого випадку.	4
18	Теорія збурень при наявності виродження.	3
19	Варіаційний метод.	3
20	Теорія збурень, залежних від часу.	4
21	Взаємодія атома з електромагнітним полем.	3
23	Рівняння Дірака. Властивості матриць Дірака	2
24	Квантова механіка систем багатьох частинок.	4
25	Теорія розсіяння.	3
	<b>Разом</b>	<b>64</b>

## 8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
<b>VI семестр</b>		
1	Принцип суперпозиції (приклади з теорії ядерних сил, квантової хімії, фізики твердого тіла, Кіт Шредінгера).	4
2	Співвідношення невизначеностей Гайзенберга. Мінімізуючий хвильовий пакет. (Приклади: розміри атомного ядра, рідкий гелій, енергія основного стану атома).	4
3	Когерентні стани.	4
4	Гармонічний осцилятор. Хвильовий та матричний підходи	4
5	Холодна емісія електронів з металу.	4
6	Теорія Гамова $\alpha$ -розпаду важких ядер.	4
7	Правило квантування Бора-Зоммерфельда. Приклад гармонічного осцилятора.	4
8	Оператор моменту кількості руху для $j = 1/2$ . Розпад $\Lambda^0$ -частинки.	4
9	Ядерний квадрупольний резонанс.	4
10	Атом водню. Інтеграл руху Лапласа-Рунге-Ленца (метод В. Паулі).	4
<b>Разом за VI семестр</b>		<b>40</b>
<b>VII семестр</b>		
1	Стационарна теорія збурень. Невироджений випадок. (Ангармонічні осцилятори $x^2 + x^4$ та $x^4$ . Моделі з малими параметрами створеними «з нічого» $1/N$ -розклади)	3
2	Ефективна маса домішок в конденсованих тілах.	2
3	Модель з неаналітичною залежністю енергії від константи взаємодії: надпровідник Бардіна-Купера-Шріффера.	3
4	Енергетичні рівні електрона в кристалі. $\pi$ -електронна теорія органічних молекул.	2
5	Варіаційний метод. (Ангармонічний осцилятор).	3
6	Дифракція нейтронів в рідинах та твердих тілах	2
7	Електричні квадрупольні та магнітні дипольні переходи. Правила відбору.	2
8	Кеплерівська проблема в теорії Кляйна-Гордона-Фока.	3
9	Спінкові функції. Сферичний спінор	3
10	Від'ємний іон водню $H^-$ . Молекулярний йон водню $H_2^+$ .	3
<b>Разом за VII семестр</b>		<b>26</b>
<b>Разом</b>		<b>66</b>

## 10. Методи навчання

Під час вивчення навчальної дисципліни «Квантова механіка» застосовують такі методи навчання:

- *Наочні*: виведення на дошці основних співвідношень на лекціях і практичних заняттях;
- *Практичні*: задачі для практичних занять.

## **11. Методи контролю**

Контроль засвоєння матеріалу включає поточний контроль (контрольні роботи за чотирма змістовими модулями (по два в кожному семестрі),  $2 \times 20 = 40$  балів), оцінку відповідей та роботи на практичних заняттях (10 балів) — разом за семестр 50 балів (VI, VII семестри); іспит — 50 балів (VII семестр). Заліковий бал у VI семестрі дорівнює семестровій оцінці, помноженій на 2. Сумарна оцінка за кожен семестр, таким чином, виставляється за 100-бальною шкалою.

## **12. Розподіл балів, що присвоюється студентам**

*Приклад розподілу балів, які отримують студенти (для заліку) I семестр*

Поточне тестування та самостійна робота						Робота на практичних	Сума
Змістовий модуль 1			Змістовий модуль 2				
T1	T2	T3	T4	T5	T6		
7	7	6	7	7	6	10	$50 \times 2 = 100$

*Приклад розподілу балів, які отримують студенти (для екзамену) II семестр*

Поточне тестування та самостійна робота						Робота на практичних	Підсумковий тест (екзамен)	Сума
Змістовий модуль 1			Змістовий модуль 2					
T1	T2	T3	T4	T5	T6			
7	7	6	7	6	7	10	50	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	A	<i>Відмінно</i>	<i>Відмінно</i>	<i>Зараховано</i>
81-89	B	<i>Дуже добре</i>	<i>Добре</i>	
71-80	C	<i>Добре</i>		
61-70	D	<i>Задовільно</i>	<i>Задовільно</i>	
51-60	E	<i>Достатньо</i>		

## **13. Методичне забезпечення**

1. Вакарчук І. О. Квантова механіка. Львів, 2012.
2. І. О. Вакарчук, Т. В. Кулій, О. В. Кнігініцький, В. М. Ткачук. Збірник задач з квантової механіки. Львів, 1996.

## ***14. Рекомендована література***

### **Базова**

1. *Блохинцев Д. И.* Основы квантовой механики. М., 1983.
2. *Давыдов А. С.* Квантовая механика. М., 1973.
3. *Юхновський І. Р.* Квантова механіка. К., 1995.
4. *Глауберман А. Ю.* Квантова механіка. Львів, 1962.
5. *Соколов А. А., Тернов И. М., Жуковский В. И.* Квантовая механика. М., 1979.
6. *Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.* Квантовая механика. Нерелятивистская теория. М., 1989.
7. *Дирак П. А. М.* Принципы квантовой механики. М., 1960.

### **Допоміжна**

1. *Фок В. А.* Начала квантовой механики. М., 1976.
2. *Ферми Е.* Квантовая механика: Конспект лекций. М., 1968.
3. *Шифф Л.* Квантовая механика. М., 1959.
4. *Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.* Фейнмановские лекции по физике. Т. 8,9. М., 1966.
5. *Фейнман Р., Хибс А.* Квантовая механика и интегралы по траекториям. М., 1968.
6. *Зоммерфельд А.* Строение атома и спектра. Т.2. М., 1956.
7. *Мессиа А.* Квантовая механика. Т. 1,2. М., 1979.

## ***15. Інформаційні ресурси***

1. Wikipedia. <http://www.wikipedia.org>