

Львівський національний університет імені Івана Франка

**Кафедра теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука**

**“ЗАТВЕРДЖУЮ”**

В. о. декана  
фізичного факультету

\_\_\_\_\_ Чорнодольський Я. М.

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

## **КВАНТОВА МЕХАНІКА**

Галузь знань **01 Освіта**  
Спеціальність **014.08 Середня освіта (Фізика)**  
фізичного факультету

**2021–2022 навчальний рік**

Робоча програма навчальної дисципліни «**Квантова механіка**» для студентів за галуззю **01 Освіта** спеціальності **014.08 Середня освіта (Фізика)** фізичного факультету, 2021 року. — 8 с.

**Розробник:**

*Ткачук Володимир Михайлович*, докт. фіз.-мат. наук, професор, завідувач кафедри теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука

Протокол № 10 від “04” червня 2021 р.

Завідувач кафедри теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука

\_\_\_\_\_ (Ткачук В. М.)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2021 р

Схвалено Вченою радою фізичного факультету

Протокол від “ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2021 р. № \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2021 р. Голова \_\_\_\_\_ (Якібчук П. М.)

## 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 – 5	галузь знань <b>01 Освіта</b>	Нормативна
Модулів – 1	Спеціальність <b>014.08 Середня освіта (Фізика)</b>	<i>Рік підготовки:</i> <b>4-й</b>
Змістових модулів – 4	Освітньо-кваліфікаційний рівень: <b>бакалавр</b>	<i>Семестр</i> <b>7-й</b>
Загальна кількість годин - <b>150</b>		<i>Лекції</i> <b>48 год.</b>
Тижневих годин для денної форми навчання: <i>Аудиторних:</i> VII семестр – <b>5</b> <i>Самостійної роботи студента:</i> VII семестр – <b>4,375</b>		<i>Практичні</i> <b>32 год.</b>
		<i>Лабораторні</i> год.
		<i>Самостійна робота</i> <b>70 год.</b>
		<i>Вид контролю: іспит</i>

## **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. Координатне та імпульсне представлення.

##### **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 некомутуючими 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.

#### **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. Момент кількості руху**

20. Оператор повороту і орбітальний момент кількості руху.
21. Власні значення і власні функції операторів квадрата та проекцій моменту кількості руху.
22. Власні функції операторів квадрата та проекцій орбітального моменту кількості руху.
23. Оператор моменту кількості руху для  $j = 1/2$ .

### **Змістовий модуль 2. Одно- та багаточастинкові системи. Релятивістська квантова механіка**

#### **Тема 6. Рух частинки в центральносиметричному полі**

24. Рух в полі центральної сили. Радіальне рівняння Шредінгера.
25. Рух в кулонівському полі. Атом водню.

#### **Тема 7. Теорія збурень**

26. Стаціонарна теорія збурень. Невироджений випадок.
27. Теорія збурень при наявності виродження. Дворівнева система. Ефект Штарка для атома водню.
28. Варіаційний метод.
29. Теорія збурень, залежних від часу.
30. Ймовірність квантового переходу за одиницю часу.
31. Випромінювання поглинання фотонів.

#### **Тема 8. Релятивістська квантова механіка**

32. Рівняння Кляйна-Гордона-Фока.
33. Рівняння Дірака. Матриці Дірака. Рівняння неперервності.
34. Момент кількості руху в теорії Дірака. Спін.
35. Вільний рух релятивістської частинки. Проблема від'ємних енергій. Позитрони.
36. Квазірелятивістське наближення рівняння Дірака. Рівняння Паулі. Спін-орбітальна взаємодія.
37. Атом в магнітному полі.

#### **Тема 9. Квантова механіка системи багатьох частинок**

38. Принцип тотожності частинок в квантовій механіці. Симетричні та антисиметричні хвильові функції. Бозони, ферміони.
39. Теорія атома гелію. Пара- та ортогелій.
40. Метод Хартрі-Фока.
41. Теорія молекул. Адіабатичне наближення. Молекула водню.
42. Хімічний зв'язок. Типи хімічного зв'язку. Властивості ковалентного зв'язку.  $s$ - $p$ -гібридизація.

### 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>Змістовий модуль 1. Вступ до квантової механіки</b>						
Тема 1. Основні принципи квантової механіки	12	4	2			6
Тема 2. Математичний апарат квантової механіки	20	8	4			8
Тема 3. Рівняння Шредінгера	14	4	2			8
Тема 4. Найпростіші задачі квантової механіки	16	4	4			8
Тема 5. Момент кількості руху	16	4	4			8
<i>Разом – зміст. модуль 1</i>	78	24	16			38
<b>Змістовий модуль 2. Одно- та багаточастинкові системи. Релятивістська квантова механіка</b>						
Тема 6. Рух частинки в центральносиметричному полі	18	6	4			8
Тема 7. Теорія збурень	18	6	4			8
Тема 8. Релятивістська квантова механіка	18	6	4			8
Тема 9. Квантова механіка системи багатьох частинок	18	6	4			8
<i>Разом – зміст. модуль 2</i>	72	24	16			32
<b>Усього годин</b>	<b>150</b>	<b>48</b>	<b>32</b>			<b>70</b>

### 6. Темі практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Основні принципи квантової механіки. Хвиля де Бройля.	2
2	Комутатор. Зведення операторів до нормального вигляду.	2
3	Спрощення операторних виразів.	2
4	Власні значення, власні функції оператора.	2
5	Різні зображення станів та операторів.	2
6	Рівняння Шредінгера.	2
7	Зміна квантових станів та середніх величин з часом.	2
8	Частинка в потенціальних ямах різної форми.	2
9	Гармонічний осцилятор. Метод операторів породження-знищення.	2
10	Оператор моменту кількості руху.	2
11	Рух у центрально-симетричному полі.	2
12	Теорія збурень для невивродженого та вивродженого випадків випадку.	2
13	Варіаційний метод.	2
14	Теорія збурень, залежних від часу.	2
15	Рівняння Дірака. Властивості матриць Дірака	2
16	Квантова механіка систем багатьох частинок.	2
	<b>Разом</b>	<b>32</b>

## 8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Принцип суперпозиції (приклади з теорії ядерних сил, квантової хімії, фізики твердого тіла, Кіт Шредінгера).	5
2	Мінімізуючий хвильовий пакет. (Приклади: розміри атомного ядра, рідкий гелій, енергія основного стану атома).	5
3	Когерентні стани.	5
4	Гармонічний осцилятор. Хвильовий та матричний підходи	5
5	Холодна емісія електронів з металу.	5
6	Теорія Гамова $\alpha$ -розпаду важких ядер.	5
7	Атом водню. Інтеграл руху Лапласа-Рунге-Ленца (метод В. Паулі).	5
8	Енергетичні рівні електрона в кристалі. $\pi$ -електронна теорія органічних молекул.	5
9	Варіаційний метод. (Ангармонічний осцилятор).	5
10	Дифракція нейтронів в рідинах та твердих тілах	5
11	Електричні квадрупольні та магнітні дипольні переходи. Правила відбору.	5
12	Кеплерівська проблема в теорії Кляйна-Гордона-Фока.	5
13	Спінкові функції. Сферичний спінор	5
14	Від'ємний іон водню $H^-$ . Молекулярний йон водню $H_2^+$ .	5
	<b>Разом</b>	<b>70</b>

## 10. Методи навчання

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

- *словесні* – лекція, пояснення, бесіда;
- *наочні* – ілюстрування лекційного матеріалу схемами та графіками;
- *практичні* – виконання практичних робіт, що передбачає організацію навчальної роботи для отримання нових знань, перевірки певних наукових гіпотез на рівні досліджень, узагальнень та аналізу та формування вмінь і навичок інтерпретації результатів досліджень різноманітних об'єктів.

## 11. Методи контролю

Контроль засвоєння матеріалу включає поточний контроль (контрольні роботи за двома змістовими модулями,  $2 \times 20 = 40$  балів), оцінку відповідей та роботи на практичних заняттях (10 балів) — разом за семестр 50 балів; іспит — 50 балів. Сумарна оцінка за семестр, таким чином, виставляється за 100-бальною шкалою.

## 12. Розподіл балів, що присвоюється студентам

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

Поточне тестування та самостійна робота		Робота на практичних	Підсумковий тест (екзамен)	Сума
Змістовий модуль 1	Змістовий модуль 2			
20	20	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. Книгіницький, 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 І. 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.
8. Ткачук В. М. Фундаментальні проблеми квантової механіки. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2011.

### **15. Інформаційні ресурси**

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