

Львівський національний університет імені Івана Франка

Кафедра теоретичної фізики

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Декан
фізичного факультету

_____ Якібчук П. М.

“ _____ ” _____ 20__ р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

КВАНТОВА МЕХАНІКА І ЕЛЕМЕНТИ КВАНТОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ

галузь знань **0402 Фізико-математичні науки**
напрямок підготовки **6.040204 Прикладна фізика**
фізичний факультет

2017–2018 навчальний рік

Робоча програма навчальної дисципліни «**Квантова механіка і елементи квантової інформації**» для студентів за галуззю знань **0402** Фізико-математичні науки напрямів підготовки **6.040204** Прикладна фізика, 2017 року. — 9 с.

Розробник:

Гнатенко Х. П., к. фіз.-мат. наук, доцент кафедри теоретичної фізики

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри теоретичної фізики

Протокол № 16 від “26” червня 2017 р.

В.о. завідувача кафедри теоретичної фізики

_____ (Ткачук В. М.)

“ _____ ” _____ 2017 р

Схвалено Вченою радою фізичного факультету

Протокол від “ 27” червня 2017 р. № 5

“ _____ ” _____ 2017 р. Голова _____ (Якібчук П. М.)

© Львівський національний
університет імені Івана Франка, 2017

© Гнатенко Х. П., 2017

1. Опис навчальної дисципліни

(Витяг з робочої програми навчальної дисципліни
 “Квантова механіка і елементи квантової інформації”)

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни	
		<i>денна форма навчання</i>	
Кількість кредитів – 7	галузь знань 0402 Фізико-математичні науки	Нормативна	
Модулів – 2	Напрями підготовки 6.040204 Прикладна фізика	<i>Рік підготовки:</i> 3-й	<i>Рік підготовки:</i> 4-й
Змістових модулів – 4	Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр	<i>Семестр</i> 6-й	<i>Семестр</i> 7-й
Загальна кількість годин - 180		<i>Лекції</i> 32 год.	<i>Лекції</i> 24 год.
Тижневих годин для денної форми навчання: <i>Аудиторних:</i> VI семестр – 4 VII семестр – 4 <i>Самостійної роботи студента:</i> VI семестр – 2 VII семестр – 3,5		<i>Практичні</i> 32 год.	<i>Практичні</i> 24 год.
		<i>Лабораторні</i> год.	
		<i>Самостійна робота</i> 26 год.	<i>Самостійна робота</i> 42 год.
		<i>Вид контролю:</i> залік	<i>Вид контролю:</i> іспит

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. Хвильовий пакет. Хвильова функція вільної частинки.
3. Середні значення координати та імпульсу. Оператор імпульсу.

Тема 2. Математичний апарат квантової механіки

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

Тема 3. Рівняння Шредінгера

8. Хвильове рівняння Шредінгера.
9. Рівняння неперервності. Закон збереження густини ймовірності.
10. Зміна середніх значень фізичних величин з часом. Квантові дужки Пуасона.
11. Стаціонарні стани. Представлення Шредінгера і представлення Гайзенберга.

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

Тема 4. Найпростіші задачі квантової механіки

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

Тема 5. Зв'язок квантової механіки з класичною

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

Тема 6. Момент кількості руху

19. Оператор повороту і орбітальний момент кількості руху.
20. Власні значення і власні функції операторів квадрата та проекцій моменту кількості руху.
21. Власні функції операторів квадрата та проекцій орбітального моменту кількості руху.
22. 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 центральномсиметричному полі

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

Тема 8. Теорія збурень

25. Стаціонарна теорія збурень. Невироджений випадок.
26. Теорія збурень при наявності виродження. Дворівнева система. Ефект Штарка для атома водню.
27. Варіаційний метод.

Тема 9. Взаємодія атома з електромагнітним полем

28. Квантування вільного електромагнітного поля. Фотони.
29. Ефект Казимира.
30. Теорія випромінювання та поглинання світла. Формула Планка.

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

Тема 10. Релятивістська квантова механіка

31. Рівняння Кляйна-Гордона-Фока.
32. Рівняння Дірака. Матриці Дірака. Рівняння неперервності.
33. Момент кількості руху в теорії Дірака. Спін.

Тема 11. Квантова механіка системи багатьох частинок

34. Принцип тотожності частинок в квантовій механіці. Симетричні та антисиметричні хвильові функції. Бозони, ферміони.
35. Метод Хартрі-Фока.
36. Теорія молекул. Адіабатичне наближення. Молекула водню.

Тема 12. Теорія розсіяння

37. Амплітуда розсіяння.
38. Борнівське наближення для амплітуди розсіяння.

Тема 13. Квантова інформація

39. Сплутані EPR-пари.
40. Спінові стани системи частинок.
41. Квантовий комп'ютер.
42. Квантова криптографія.

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
МОДУЛЬ 1						
Змістовий модуль 1. Вступ до квантової механіки						
Тема 1. Основні принципи квантової механіки	12	4	4			4
Тема 2. Математичний апарат квантової механіки	16	6	6			4
Тема 3. Рівняння Шредінгера	17	6	6			5
Разом – зм. модуль 1	45	16	16			13
Змістовий модуль 2. Найпростіші задачі квантової механіки та момент кількості руху						
Тема 4. Найпростіші задачі квантової механіки	17	6	6			5
Тема 5. Зв'язок квантової механіки з класичною	12	4	4			4
Тема 6. Момент кількості руху	16	6	6			4
Разом – зм. модуль 2	45	16	16			13
Усього годин за VI семестр	90	32	32			26
МОДУЛЬ 2						
Змістовий модуль 3. Рух частинки в центральньо-симетричному полі та теорія збурень						
Тема 7. Рух частинки в центральносиметричному полі	14	4	4			8
Тема 8. Теорія збурень	16	4	8			8
Тема 9. Взаємодія атома з електромагнітним полем	18	4	4			4
Разом – зм. модуль 3	48	12	16			20
Змістовий модуль 4. Релятивістська квантова механіка. Квантова механіка системи багатьох частинок. Теорія розсіяння. Квантова інформація.						
Тема 10. Релятивістська квантова механіка	9	3	2			4
Тема 11. Квантова механіка системи багатьох частинок	13	3	4			6
Тема 12. Теорія розсіяння	10	3	2			5
Тема 13. Квантова інформація	10	3	0			7
Разом – зм. модуль 4	42	12	8			22
Усього годин за VII семестр	90	24	24			42
Усього годин	180	56	56			68

6. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Основні принципи квантової механіки. Співвідношення невизначеностей Гайзенберга.	2
2	Зведення операторів до нормального вигляду. Комутатор.	2
3	Оператор інверсії. Оператор трансляції.	2
4	Спрощення операторних виразів.	2
5	Власні значення, власні функції оператора.	2
6	Різні зображення станів та операторів.	2
7	Рівняння Шредінгера.	2
8	Частинка в потенціальних ямах різної форми.	4
9	Гармонічний осцилятор.	4
10	Метод операторів породження-знищення.	2
11	Зв'язок квантової механіки з класичною. Правило квантування Бора–Зоммерфельда	4
12	Оператор моменту кількості руху.	4
13	Рух у центрально-симетричному полі.	4
14	Теорія збурень для невиродженого випадку.	4
15	Теорія збурень при наявності виродження.	2
16	Варіаційний метод.	2
17	Взаємодія атома з електромагнітним полем.	4
18	Рівняння Дірака. Властивості матриць Дірака	4
19	Квантова механіка систем багатьох частинок.	2
20	Теорія розсіяння.	2
	Разом	56

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
VI семестр		
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	6
5	Холодна емісія електронів з металу.	4
6	Теорія Гамова α -розпаду важких ядер.	4
	Разом за VI семестр	26

VII семестр		
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)	4
2	Ефективна маса домішок в конденсованих тілах.	4
3	Модель з неаналітичною залежністю енергії від константи взаємодії: надпровідник Бардіна-Купера-Шріффера.	4
4	Енергетичні рівні електрона в кристалі. π -електронна теорія органічних молекул.	4
5	Варіаційний метод. (Ангармонічний осцилятор).	6
6	Дифракція нейтронів в рідинах та твердих тілах	4
7	Електричні квадрупольні та магнітні дипольні переходи. Правила відбору.	4
8	Кеплерівська проблема в теорії Кляйна-Гордона-Фока.	4
9	Спінові функції. Сферичний спінор	4
10	Від'ємний іон водню H^-	4
	Разом за VII семестр	42
	Разом	68

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. Юхновський І. Р. Квантова механіка. К., 1995.
2. Глауберман А. Ю. Квантова механіка. Львів, 1962.
3. В. М. Ткачук, Фундаментальні проблеми квантової механіки. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2011. 144 стор.
4. Соколов А. А., Тернов І. М., Жуковский В. І. Квантовая механика. М., 1979.
5. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. М., 1989.
6. Дирак П. А. М. Принципы квантовой механики. М., 1960.
7. Блохинцев Д. И. Основы квантовой механики. М., 1983.
8. Давыдов А. С. Квантовая механика. М., 1973.

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>