

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра теоретичної фізики імені академіка І.М.Ліфшиця_

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Перший проректор

“ _____ ” _____ 20__ р.

Робоча програма навчальної дисципліни

Квантова механіка
(назва навчальної дисципліни)

спеціальність (напрямок) _____ 6.040203 - фізика _____

спеціалізація _____

факультет _____ фізичний _____

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою факультету (інституту, центру)

“ 29 ” _____ серпня 2016 року, протокол № 9

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

**Ямпольський Валерій Олександрович, член-кор. НАН України д. фіз.-мат. наук,
професор, Єзерська Олена Володимирівна, канд. фіз.-мат. наук, доц.**

Програму схвалено на засіданні кафедри

_____ теоретичної фізики імені академіка. М. Ліфшиця _____

Протокол від “ 2 ” _____ липня 2016 року протокол № 7

Завідувач _____ кафедри теоретичної фізики академіка. М. Ліфшиця _____

_____ (Рашба Г.І.)
(підпис) (прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією

_____ фізичного факультету _____

назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна

Протокол від “ 29 ” _____ серпня 2016 року № 6

Голова методичної комісії _____

_____ Макаровський М.О.
(підпис)

(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни “**Квантова механіка**” складена відповідно до освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми підготовки першого рівню вищої освіти – бакалавр,

спеціальності (напряму) 6.040203 - фізика

спеціалізації

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни «Квантова механіка» є надання студентам уявлень про принципи і методи нерелятивістської квантової теорії, точні та наближені методи розв’язання рівняння Шредінгера.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни «Квантова механіка»

навчити студентів

- досліджувати енергетичні спектри простих квантових систем, як за допомогою точного вирішення рівняння Шредінгера, так і наближеними методами,
- досліджувати еволюцію квантово-механічних систем за допомогою вирішення нестационарного хвильового рівняння,
- аналізувати динаміку спінових систем в магнітному полі,
- обчислювати атомні терми,
- володіти технікою вторинного квантування,
- використовувати квантові правила відбору для знаходження спектрів випромінювання та поглинання атомних систем,
- користуючись навчальною та довідковою літературою, обирати адекватні методи вирішення задач квантової механіки.

1.3. Кількість кредитів 7.

1.4. Загальна кількість годин 252.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
денна форма навчання	
Нормативна	
Рік підготовки	
3-й	4-й
Семестри	
6-й	7-й
Лекції	
32 год.	48 год.
Практичні, семінарські	
16 год.	16 год.
Лабораторні	
немає	
Самостійна робота	
60 год.	80 год.
Індивідуальні завдання:	
Під час самост. роботи	

1.6. Заплановані результати навчання

Згідно з вимогами освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми студенти повинні досягти таких результатів навчання:

знати: методи нерелятивістської квантової теорії.

вміти: розв'язувати рівняння Шредінгера, володіти методами квантової теорії, вільно користуватись ними при розрахунках характеристик мікросистем.

2. тематичний план навчальної дисципліни 6-й семестр

Розділ 1. ОСНОВИ КВАНТОВОЇ МЕХАНІКИ. РІВНЯННЯ ШРЕДІНГЕРА.

Тема 1. Явища, що вимагають квантово-механічний опис. Хвильові властивості частинок. Гіпотеза Де-Бройля.

Тема 2. Принцип додатковості. Хвильова функція. Статистична інтерпретація хвильової функції.

Тема 3. Принцип суперпозиції. Розклад хвильової функції по плоским хвилям.

Тема 4. Співвідношення невизначеності. Принцип відповідності. Принцип причинності у квантовій механіці.

Тема 5. Хвильове рівняння Шредінгера. Густина потоку ймовірності.

Тема 6. Частинка у одновимірній прямокутній потенціальній ямі. Одновимірний осцилятор. Сингулярні потенціали.

Тема 7. Відбиття та проходження крізь потенційний бар'єр.

Розділ 2. МАТЕМАТИЧНИЙ АПАРАТ КВАНТОВОЇ МЕХАНІКИ. РУХ У ЦЕНТРАЛЬНО-СИМЕТРИЧНОМУ ПОЛІ.

Тема 8. Лінійні оператори. Власні вектори та власні значення операторів. Ермітові оператори. Ортогональність та нормування власних векторів ермітових операторів.

Тема 9. Квантово-механічні величини та оператори. Гільбертів простір хвильових функцій.

Тема 10. Хвильова функція та ймовірність результатів вимірювання. Середні значення фізичних величин.

Тема 11. Комутація операторів. Нерівність Гейзенберга. Дужки Пуасона у квантовій механіці.

Тема 12. Оператори та власні функції координати та імпульсу. Оператор Гамільтона. Стаціонарні стани.

Тема 13. Бра- та кет-вектори. Теорія представлень. Перехід до імпульсного представлення. Рівноприскорений рух. Вігнерівська функція розподілу.

Тема 14. Оператори, власні значення та власні функції механічного моменту та квадрату моменту. Парність станів.

Тема 15. Диференціювання операторів за часом. Інтеграл руху. Повний набір фізичних величин.

Тема 16. Співвідношення невизначеності для часу та енергії.

Тема 17. Хвильова функція частинки у центрально-симетричному полі. Розділення змінних у рівнянні Шредінгера.

Тема 18. Рух у кулоновому полі. Випадкове виродження.

Тема 19. Матрична форма квантової механіки. Власні функції та власні значення операторів, що задані у матричній формі. Знаходження спектру гармонічного осцилятора матричним методом.

Тема 20. Представлення Шредінгера та Гейзенберга.

7-й семестр

Розділ 3. НАБЛИЖЕНІ МЕТОДИ У КВАНТОВІЙ МЕХАНІЦІ.

Тема 21. Квазікласичне наближення. Граничний перехід до класичної механіки.

Тема 22. Рух у потенційній ямі у квазікласичному наближенні. Правила квантування Бора-Зомерфельда.

Тема 23. Проходження крізь потенційний бар'єр. Тунельний ефект. Польова емісія. Альфа-розпад. Синтез легких ядер.

Тема 24. Теорія збурень, що не залежать від часу. Теорія збурень у системах з виродженням.

Тема 25. Теорія нестационарних збурень. Перехід систем в новий стаціонарний стан завдяки збуренням.

Розділ 4. СПІН ТА ТОТОЖНІСТЬ ЧАСТИНОК. ЕЛЕКТРОННА СТРУКТУРА АТОМІВ. РУХ В ОДНОРІДНОМУ МАГНІТНОМУ ПОЛІ. ТЕОРІЯ ПРУЖНОГО РОЗСПІВАННЯ.

Тема 26. Спін елементарних частинок. Оператори спіну. Власні функції та власні значення операторів спіну.

Тема 27. Повний механічний момент. Додавання моментів.

Тема 28. Рівняння Паулі. Спіновий магнітний момент.

Тема 29. Принцип тотожності частинок. Симетричні та антисиметричні стани. Хвильові функції систем бозонів та ферміонів. Принцип Паулі. Наслідки принципу Паулі: вироджений електронний газ, атомне ядро, білі карлики, нейтронні зірки.

Тема 30. Хвильова функція двохчастинкової системи. Обмінна взаємодія.

Тема 31. Хвильова функція багато електронного атома. Метод Хартрі-Фока.

Тема 32. Статистична модель атома.

Тема 33. Тонка структура атомів. Атомні терми.

Тема 34. Періодична система елементів.

Тема 35. Ефекти Зеємана та Пашена-Бака. Діа- та парамагнетизм атомів.

Тема 36. Ефект Штарка.

Тема 37. Енергетичний спектр та хвильова функція електрона у постійному однорідному магнітному полі. Рівні Ландау.

Тема 38. Двовимірний електронний газ. Графени. Квантовий ефект Холла.

Тема 39. Амплітуда та переріз розсіювання. Функція Гріна задачі розсіювання.

Тема 40. Борнівське наближення.

Тема 41. Розсіювання у кулонівському полі. Формула Резерфорда.

Розділ 5. МЕТОД ВТОРИННОГО КВАНТУВАННЯ. ВЗАЄМОДІЯ СВІТЛА З РЕЧОВИНОЮ. РЕЛЯТИВІСТСЬКА КВАНТОВА МЕХАНІКА.

Тема 42. Метод факторизації. Оператори народження та знищення.

Тема 43. Вторинне квантування систем бозонів та ферміонів.

Тема 44. Квантування поля випромінювання.

Тема 45. Когерентні стани електромагнітного поля.

Тема 46. Взаємодія випромінювання з електроном.

Тема 47. Поглинання та випромінювання світла. Дипольні переходи в атомних системах. Правила відбору.

Тема 48. Розсіювання світла атомами.

Тема 49. Ефекти Ааронова-Бома та Казиміра.

Тема 50. Хвильове релятивістське рівняння Клейна-Гордона-Фока.

Тема 51. Рівняння Дірака. Розв'язок рівняння Дірака для вільної частинки. Уявлення про позитрон.

Тема 52. Спін частинки у теорії Дірака. Перехід до напівкласичного рівняння Паулі.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин					
	Денна форма					
	Усього	у тому числі				
л		п	лаб	інд	с.р	
1	2	3	4	5	6	7
6 семестр						
Розділ 1. ОСНОВИ КВАНТОВОЇ МЕХАНІКИ. РІВНЯННЯ ШРЕДІНГЕРА						
Тема 1	3	1				2
Тема 2	3	1				2
Тема 3	3	1				2
Тема 4	3	1				2
Тема 5	8	2	2			4
Тема 6	9	2	2			5
Тема 7	10	2	2			6
Разом за розділом 1	39	10	6			23
Розділ 2. МАТЕМАТИЧНИЙ АПАРАТ КВАНТОВОЇ МЕХАНІКИ. РУХ У ЦЕНТРАЛЬНО-СИМЕТРИЧНОМУ ПОЛІ						
Тема 8	5	2	1			2
Тема 9	5	2	1			2
Тема 10	6	2	1			3
Тема 11	6	2	1			3
Тема 12	6	2	1			3
Тема 13	5	1	1			3
Тема 14	5	1	1			3
Тема 15	5	2				3
Тема 16	5	2				3
Тема 17	7	2	2			3
Тема 18	6	2	1			3
Тема 19	4	1				3
Тема 20	4	1				3
Разом за розділом 2	69	22	10			37
Разом за 6-й семестр	108	32	16			60
Залік						
7 семестр						
Розділ 3. НАБЛИЖЕНІ МЕТОДИ У КВАНТОВІЙ МЕХАНІЦІ						
Тема 21	6	1	2			3
Тема 22	6	1	1			4
Тема 23	6	2	1			3
Тема 24	7	1	2			4
Тема 25	7	2	2			3
Разом за розділом 3	32	7	8			17

Розділ 4 СПІН ТА ТОТОЖНІСТЬ ЧАСТИНОК. ЕЛЕКТРОННА СТРУКТУРА АТОМІВ. РУХ В ОДНОРІДНОМУ МАГНІТНОМУ ПОЛІ. ТЕОРІЯ ПРУЖНОГО РОЗСИЮВАННЯ						
1	2	3	4	5	6	7
Тема 26	4	1	1			2
Тема 27	4	1	1			2
Тема 28	3	1				2
Тема 29	5	2	1			2
Тема 30	4	1	1			2
Тема 31	4	2				2
Тема 32	3	1				2
Тема 33	3	1				2
Тема 34	3	1				2
Тема 35	4	2				2
Тема 36	4	2				2
Тема 37	3	1				2
Тема 38	4	2				2
Тема 39	4	1				3
Тема 40	4	1				3
Тема 41	4	1				3
Разом за розділом 4	60	21	4			35
Розділ 5. МЕТОД ВТОРИННОГО КВАНТУВАННЯ. ВЗАЄМОДІЯ СВІТЛА З РЕЧОВИНОЮ. РЕЛЯТИВІСТСЬКА КВАНТОВА МЕХАНІКА						
Тема 42	4	1	1			2
Тема 43	5	2	1			2
Тема 44	4	2				2
Тема 45	4	1				3
Тема 46	4	2				2
Тема 47	5	2				3
Тема 48	5	2				3
Тема 49	5	2				3
Тема 50	5	2	1			2
Тема 51	6	2	1			3
Тема 52	5	2				3
Разом за розділом 5	52	20	4			28
Разом за 7-й семестр	144	48	16			80
Екзамен						
Усього годин	252	80	32			140

4. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	2	3
1.	Математичний апарат квантової механіки. Лінійний простір. Приклади лінійних просторів. Лінійні оператори. Властивості лінійних операторів.	2

1	2	3
2.	Ермітові оператори, унітарні оператори. Властивості власних функцій та власних значень ермітових операторів. Унітарне перетворення. Розв'язання рівняння на власні функції та власні значення для типових операторів квантової механіки. Комутатори.	3
3.	Функції від операторів. Елементи теорії представлень. Перехід від координатного до імпульсного представлення. Властивості матриць Паулі.	2
4.	Одновимірний рух. Стани дискретного спектру. Розв'язання рівняння Шредінгера для потенціалів з локальними особливостями (прямокутна нескінченно глибока яма, прямокутна яма кінцевої глибини, дельта-яма та ін.)	3
5.	Одновимірний рух. Проходження через потенціальний бар'єр. Знаходження коефіцієнтів проходження та відбиття для різних бар'єрів.	2
6.	Застосування методу трансфер-матриці для знаходження рішень рівняння Шредінгера для одновимірних потенціалів з локальними особливостями.	2
7.	Матрична форма квантової механіки. Властивості матричних елементів ермітових і унітарних операторів. Знаходження власних функцій і власних значень операторів, що задані в матричній формі. Матричні елементи операторів координати та імпульсу для одновимірного гармонічного осцилятора. Спектр осцилятора.	2
8.	Оператор механічного моменту. «Сходінкові» оператори. Комутаційні співвідношення, власні функції та власні значення \hat{L}_z , \hat{L}^2 . Обчислення середніх і середніх квадратичних значень проєкцій механічного моменту для станів з певним значенням магнітного квантового числа та для станів з певними значеннями орбітального та магнітного квантового числа.	2
9.	Рух в центральному полі. Плоский та просторовий ротатори. Сферична прямокутна яма кінцевої глибини. Водородоподібний атом.	2
10.	Стационарна теорія збурень для невідроджених рівнів.	2
11.	Стационарна теорія збурень для вироджених станів.	2
12.	Нестационарна теорія збурень. Ймовірність переходу в новий стан.	2
13.	Квазікласичне наближення. Правила квантування Бора-Зомерфельда. Знаходження рівнів енергії в квазікласичному наближенні.	2
14.	Квазікласичне наближення. Знаходження коефіцієнта проходження через потенціальний бар'єр в квазікласичному наближенні.	2
15.	Властивості оператора спіну $s = 1/2$.	2
	Разом	32

5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	2	3
1	Знайти у літературі опис явищ, що вимагають квантово-механічний опис. Оцінка довжин де-Бройля для мікро- та макро-частинок.	2
2	Принцип додатковості. Хвильова функція. Статистична	2

	інтерпретація хвильової функції.	
1	2	3
3	Принцип суперпозиції. Розклад хвильової функції по плоским хвилям. Хвильовий пакет.	2
4	Співвідношення невизначеності. Принцип відповідності. Принцип причинності у квантовій механіці.	2
5	Стаціонарне рівняння Шредингера для модельних задач. Обчислення середніх значень оператора координати для модельних задач.	4
6	Знаходження енергетичного спектру у різних системах з фінітним рухом у координатному представленні.	5
7	Розв'язок задач про відбиття та проходження частинок крізь одновимірні потенційні бар'єри різної форми.	6
8	Приклади лінійних операторів. Знаходження власних векторів та власних значень операторів. Приклади ермітових операторів.	2
9	Квантово-механічні величини та оператори. Гільбертів простір хвильових функцій.	2
10	Хвильова функція та ймовірність результатів вимірювання. Обчислення середніх значень фізичних величин.	3
11	Обчислення комутаторів операторів.	3
12	Оператори та власні функції координати та імпульсу. Оператор Гамільтона. Стаціонарні стани.	3
13	Бра- та кет-вектори. Теорія представлень. Знаходження рішень стаціонарного рівняння Шредингера в імпульсному представленні.	3
14	Комутаційні співвідношення для операторів координати, імпульсу, механічного моменту та квадрату моменту.	3
15	Диференціювання операторів за часом. Інтеграли руху. Приклади повних наборів фізичних величин.	3
16	Співвідношення невизначеності для часу та енергії.	3
17	Хвильова функція частинки у центрально-симетричному полі. Рішення задач із застосуванням розділення змінних у рівнянні Шредингера.	3
18	Рух у кулоновому полі. Знаходження середніх моментів в атомі водню.	3
19	Власні функції та власні значення операторів, що задані у матричній формі. Знаходження спектру гармонічного осцилятора матричним методом.	3
20	Представлення Шредингера та Гейзенберга.	3
21	Квазікласичне наближення Хвильова функція у квазікласичному наближенні. Граничний перехід до класичної механіки.	3
22	Рух у потенційній ямі у квазікласичному наближенні. Знаходження квазікласичного енергетичного спектру із застосуванням правил квантування Бора-Зомерфельда у різних одновимірних системах.	4
23	Розрахунок току при польовій емісії та альфа-розпаду у квазікласичному наближенні.	3
1	2	3
24	Теорія збурень, що не залежать від часу. Застосування теорія збурень у системах з невиродженим та виродженим спектром:	4

	заряджений осцилятор, плоский ротатор в електричному полі, дворівневі системи.	
25	Теорія нестационарних збурень. Перехід систем в новий стаціонарний стан завдяки збуренням.	3
26	Спін елементарних частинок. Оператори спіну. Власні функції та власні значення операторів спіну.	2
27	Повний механічний момент. Додавання моментів.	2
28	Рівняння Паулі. Спіновий магнітний момент.	2
29	Принцип тотожності частинок. Симетричні та антисиметричні стани. Хвильові функції систем бозонів та ферміонів. Принцип Паулі. Наслідки принципу Паулі: вироджений електронний газ, атомне ядро, білі карлики, нейтронні зірки.	2
30	Хвильова функція двохчастинкової системи. Обмінна взаємодія.	2
31	Хвильова функція багатоелектронного атома. Метод Хартрі-Фока.	2
32	Статистична модель атома.	2
33	Тонка структура атомів. Правила Хунда. Атомні терми.	2
34	Хімічні властивості атомів. Періодична система елементів.	2
35	Нормальний та аномальний ефекти Зеємана та ефект Пашена-Бака у сильних магнітних полях. Діа- та парамагнетизм атомів (теорії Ландау та Паулі).	2
36	Застосування стаціонарної теорії збурень для аналізу ефекта Штарка. Лінійний ефект Штарка у водні.	2
37	Енергетичний спектр та хвильова функція електрона у постійному однорідному магнітному полі. Рівні Ландау. Квантові осциляції кінетичних та термодинамічних коефіцієнтів у чистих металах.	2
38	Двовимірний електронний газ. Гетероструктури. Графени. Квантовий ефект Хола.	2
39	Амплітуда та переріз розсіювання. Функція Гріна задачі розсіювання.	3
40	Границі застосування борнівського наближення у теорії розсіювання. Методи зшивки хвильових функцій.	3
41	Розсіювання у кулонівському полі. Вивід формули Резерфорда у квазікласичному наближенні та у результаті розв'язування точного рівняння Шредінгера.	3
42	Застосування методу факторизації для розв'язку рівняння Шредінгера. Оператори народження та знищення.	2
43	Вторинне квантування систем бозонів та ферміонів. Комутаційні співвідношення для бозонних та ферміонних операторів народження та знищення.	2
44	Квантування поля випромінювання. Поняття про фотони.	2
45	Когерентні та стислі стани електромагнітного поля.	3
1	2	3
46	Взаємодія випромінювання з електроном. Поглинання та випромінювання світла. .	2
47	Спонтанне та вимушене випромінювання. Дипольні переходи в атомних системах. Правила відбору	3
48	Когерентне та комбінаційне розсіювання світла атомами.	3
49	Ефекти Ааронова-Бома та Казиміра.	3

50	Хвильове релятивістське рівняння Клейна-Гордона-Фока.	2
51	Рівняння Дірака. Розв'язок рівняння Дірака для вільної частинки. Уявлення про позитрон.	3
52	Спін частинки у теорії Дірака. Перехід до напівкласичного рівняння Паулі.	3
Разом		140

6. Індивідуальні завдання

Індивідуальне розрахункове завдання в 7-му семестрі.

7. Методи контролю

Рішення задач на практичних заняттях, опитування, контрольні роботи за основними розділами, перевірка домашніх завдань, залік за результатами поточного контролю та залікової роботи, екзамен.

8. Схема нарахування балів

Залік (6-семестр)

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання				Разом	Залікова робота	Сума
Розділ 1	Розділ 2	Контрольна робота, передбачена навчальним планом				
T1-T7	T8-T20	(2 контрольні роботи)				
10	10	20 + 20		60	40	100

Для зарахування розділу треба виконати контрольну роботу, домашні завдання та набрати в сумі не менше 15 балів, для зарахування індивідуальної залікової роботи треба набрати не менше 20 балів. Разом – не менше 50 балів.

Екзамен (7-семестр)

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання						Екзамен	Сума
Розділ 3	Розділ 4	Розділ 5	Контрольна робота, передбачена навчальним планом	Індивідуальне завдання	Разом		
T21-T25	T26-T41	T42-T52	(2 контрольні роботи)				
10	10	10	10 + 10 = 20	10	60	40	100

Для зарахування розділів 3-4 треба написати контрольну роботу та виконати домашні завдання і набрати у підсумку не менше 10 балів. Для зарахування розділу 5 треба виконати та захистити індивідуальне розрахункове завдання, виконати домашні завдання і набрати у підсумку не менше 10 балів.

Для допуску до підсумкового семестрового контролю студент повинен за 3 розділи набрати у підсумку не менше 30 балів.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка за національною шкалою	
	для екзамену	для заліку
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

9. Рекомендована література

Основна література

1. Левич В.Г., Вдовин Ю.А., Мямлин В.А. Курс теоретической физики. Т. 2. - М.: Физматгиз, 1971. - 936 с.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика.-М.: Наука, 1989.-768 с.
3. Елютин П.В., Кривченков В.Д. Квантовая механика. - М.: Наука, 1976. – 336с.
4. J.-L. Basdevant, J. Dalibard. Quantum Mechanics. – Springer-Verlag, Berlin, 2002. – 512 p.
5. Галицкий Е.М., Карнаков Б.М., Коган В.И. Задачи по квантовой механике. - М.:Наука, 1981. – 648с.
6. Гречко Л.Г., Сугаков В.И., Томасевич О.Ф., Федорченко А.М. Сборник задач по теоретической физике. – М.:Высшая школа, 1984. – 319с.

Допоміжна література

1. Давыдов А.С. Квантовая механика. - М.: Наука, 1973. - 704 с.
2. Мессия А. Квантовая механика. В 2-х т. – М.: Наука, 1979. – Т.1. – 478с, Т.2. – 583с.
3. Бете Г. Квантовая механика. - М.: Мир, 1965. - 333 с.
4. Фейнман Р., Хиббс А. Квантовая механика и интегралы по траекториям. - М.: Мир, 1968. - 382 с.
5. Вакарчук І.О. Квантова механіка: Підручник. – Львів: ЛДУ ім. І. Франка, 1998. – 616с.
6. Ульянов В.В. Задачи по квантовой механике и квантовой статистике. - Харьков: Вища школа, 1980. - 216 с.
7. Ульянов В.В. Методы квантовой кинетики. - Харьков: Вища школа, 1987. - 144 с.
8. Гольдман И.И., Кривченков В.Д. Сборник задач по квантовой механике. – М.: Гос.изд-во технико-теоретической литературы, 1957. – 275с.
9. Флюгге З. Задачи по квантовой механике. В 2-х т.- М.: Мир, 1974. – Т. 1. - 341с., Т. .2. -315с.

10. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

1. Учбові матеріали на сайті кафедри теоретичної фізики

http://kaf-theor-phys.univer.kharkov.ua/ukrainian/for%20students_study_ukr.html

http://kaf-theor-phys.univer.kharkov.ua/ukrainian/for%20students_ref_ukr.html

2. Відеолекції та відкриті освітні матеріали МФТІ

<http://lectoriy.mipt.ru/course/viewall/>

3. Курс лекцій з квантової механіки (англійською мовою) проф. Дж.Бінні, Оксфордський університет:

http://rss.oucs.ox.ac.uk/oxitems/generatersstwo2.php?channel_name=mpls/quantum_mechanics-video або <http://mediapub.it.ox.ac.uk/feeds/129115/video.xml> (Обидва посилання відкриває

Internet Explorer)

4. Відкриті матеріали Массачусетського технологічного інституту, США (MIT USA)

<http://ocw.mit.edu/courses/physics/8-04-quantum-physics-i-spring-2013/>

<http://ocw.mit.edu/courses/physics/8-05-quantum-physics-ii-fall-2013/>

<http://ocw.mit.edu/courses/physics/8-06-quantum-physics-iii-spring-2005/>

<http://ocw.mit.edu/courses/physics/8-321-quantum-theory-i-fall-2002/>

<http://ocw.mit.edu/courses/physics/8-322-quantum-theory-ii-spring-2003/>

5. Частина, які стосується квантової механіки з відеокурсу проф. Р.Шанкара Йельський університет (R.Shankar, Yale University) «Основи фізики II»

<http://oyc.yale.edu/physics/phys-201>