

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) 6.040204 – «прикладна фізика» (радіофізика і електроніка)

спеціалізація _____

факультет _____ радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем

2017 / 2018 навчальний рік

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

“ _____ ” _____ 2017 року, протокол № ____

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

**Єрмолаєв Олександр Михайлович, член-кор. НАН України д. фіз.-мат. наук,
професор, Єзерська Олена Володимирівна, канд. фіз.-мат. наук, доц.,
Апостолов Станіслав Сергійович канд. фіз.-мат. наук, доц.**

Програму схвалено на засіданні кафедри

_____ теоретичної фізики імені академіка. М. Ліфшиця _____

Протокол від “ 28 ” серпня 2017 року протокол № 9

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 “ _____ ” _____ 2017 року № ____

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

напряму (спеціальності) 6. 040204 – прикладна фізика (радіофізика і електроніка) 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, обрати адекватні методи вирішення задач квантової механіки.

1.3. Кількість кредитів 4.

1.4. Загальна кількість годин 120.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни
денна форма навчання
Нормативна
Рік підготовки
3-й
Семестри
5-й
Лекції
32 год.
Практичні, семінарські
32 год.
Лабораторні
немає
Самостійна робота
56 год.
Індивідуальні завдання:
Під час самот. роботи

1.6. 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.

3. Виклад змісту навчальної дисципліни

2. тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ КВАНТОВОЇ МЕХАНІКИ. РІВНЯННЯ ШРЕДІНГЕРА

Тема 1. Фізичні основи квантової механіки. Хвильові властивості частинок. Гіпотеза Де-Бройля. Корпускулярно-хвильовий дуалізм.

Тема 2. Хвильова функція. Принцип суперпозиції. Розклад хвильової функції по плоским хвилям.

Тема 3. Хвильові пакети. Співвідношення невизначеності. Принцип причинності в квантовій механіці.

Тема 4. Хвильове рівняння. Вектор густини потоку ймовірності.

Тема 5. Рішення рівняння Шредінгера в простих випадках: частинка в одновимірній прямокутній потенціальній ямі, лінійний осцилятор. Осциляційна теорема.

Тема 6. Відбиття та проходження через потенціальний бар'єр. Прямокутна сходинка та прямокутний бар'єр.

Розділ 2. МАТЕМАТИЧНИЙ АПАРАТ КВАНТОВОЇ МЕХАНІКИ.

Тема 7. Лінійні оператори. Власні значення та власні функції ермітових операторів. Ортонорміровка та повнота власних функцій ермітових операторів.

Тема 8. Квантовомеханічні величини і оператори. Елементи теорії зображень.

Тема 9. Хвильова функція та ймовірність результатів вимірювань. Середні значення фізичних величин.

Тема 10. Оператори і власні функції операторів координати та імпульсу в координатному та імпульсному представленні.

Тема 11. Оператор Гамільтона. Стаціонарні стани.

Тема 12. Рівняння Шредінгера в імпульсному представленні. Рішення рівняння Шредінгера для δ -ями в імпульсному представленні.

Тема 13. Комутація операторів. Дужки Пуассона в квантовій механіці. Нерівності Гейзенберга.

Тема 14. Оператори проекції і квадрата кутового моменту.

Тема 15. Диференціювання операторів за часовою змінною. Інтеграли руху. Закон збереження парності. Повний набір фізичних величин.

Тема 16. Співвідношення невизначеності для енергії та часу.

Розділ 3. ЧАСТИНКА У ЗОВНІШНЬОМУ ПОЛІ

Тема 17. Задача двох тіл в квантовій механіці.

Тема 18. Частинка в центральному полі. Розділ змінних в рівнянні Шредінгера. Вільний рух частинки з заданим моментом імпульсу. Сферичні хвилі.

Тема 19. Рух в кулоновому полі. Випадкове виродження.

Тема 20. Рух частинки в полі одновимірного періодичного потенціалу («гребінка» Дірака)

Тема 21. Гармонічний осцилятор. Рішення рівняння Шредінгера методом факторизації.

Оператори народження та знищення.

Тема 22. Електрон у магнітному полі. Рівні та стани Ландау.

Розділ 4. НАБЛИЖЕНІ МЕТОДИ У КВАНТОВІЙ МЕХАНІЦІ

Тема 23. Стаціонарна теорія збурень для невироджених рівнів.

Тема 24. Стаціонарна теорія збурень для вироджених рівнів. Секулярне рівняння.

Тема 25. Теорія нестационарних збурень. Квантові переходи.

Тема 26. Квазікласичне наближення. Граничний перехід до класичної механіки. Рішення рівняння Шредінгера у квазікласичному наближенні.

Тема 27. Рух частинки в потенціальній ямі у квазікласичному наближенні. Правила квантування Бора-Зоммерфельда.

Тема 28. Проходження через потенціальний бар'єр у квазікласичному наближенні. Квазікласичний коефіцієнт прозорості бар'єру. Тунельний ефект. Теорія α -розпаду.

Розділ 5. СПІН. ТОТОЖНІ ЧАСТИНКИ. АТОМИ І МОЛЕКУЛИ. КВАНТОВА ТЕОРІЯ ВИПРОМІНЮВАННЯ. ТЕОРІЯ РОЗСІЯННЯ

Тема 29. Спін елементарних частинок. Оператори спіна. Власні функції та власні значення операторів спіна $1/2$.

Тема 30. Принцип тотожності однакових частинок. Хвильові функції системи бозонів та ферміонів. Принцип Паулі.

Тема 31. Молекула водню. Обмінна взаємодія.

Тема 32. Представлення чисел заповнення.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви модулів і тем	Кількість годин					
	Денна форма					
	Усього	у тому числі				
л		п	лаб	інд	с.р	
1	2	3	4	5	6	7
Розділ 1. ОСНОВИ КВАНТОВОЇ МЕХАНІКИ. РІВНЯННЯ ШРЕДІНГЕРА						
Тема 1	2	1				1
Тема 2	2	1				1
Тема 3	2	1				1
Тема 4	2	1				1
Тема 5	6	1	4			1
Тема 6	6	1	4			1
Разом за розділом 1	20	6	8			6
Розділ 2. МАТЕМАТИЧНИЙ АПАРАТ КВАНТОВОЇ МЕХАНІКИ						
Тема 7	2	1				1
Тема 8	3	1	1			1
Тема 9	3	1	1			1
Тема 10	3	1	1			1
Тема 11	4	1	1			2
Тема 12	4	1	1			2
Тема 13	4	1	1			2
Тема 14	4	1	1			2
Тема 15	4	1	1			2
Тема 16	4	1	1			2
Разом за розділом 1	35	10	9			16
Розділ 3. ЧАСТИНКА В ЗОВНІШНЬОМУ ПОЛІ						
Тема 17	4	1	1			2
Тема 18	4	1	1			2
Тема 19	5	1	2			2
Тема 20	4	1	1			2
Тема 21	5	1	2			2
Тема 22	3	1				2
Разом за розділом 3	25	6	7			12
Розділ 4 НАБЛИЖЕНІ МЕТОДИ У КВАНТОВІЙ МЕХАНІЦІ						
Тема 23	4	1	1			2
Тема 24	5	1	2			2
Тема 25	5	1	2			2
Тема 26	4	1	1			2
Тема 27	4	1	1			2
Тема 28	4	1	1			2
Разом за розділом 4	26	6	8			12
Розділ 5. СПІН. ТОТОЖНІ ЧАСТИНКИ. АТОМИ І МОЛЕКУЛИ. КВАНТОВА ТЕОРІЯ ВИПРОМІНЮВАННЯ. ТЕОРІЯ РОЗСІЯННЯ						
Тема 29	3	1				2
Тема 30	3	1				2

Тема 31	3	1			3
Тема 32	3	1			3
Разом за розділом 5	14	4			10
Разом за семестр	120	32	32		56

4. Темы 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
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.	2
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.)	2
5.	Одновимірний рух. Проходження через потенціальний бар'єр. Знаходження коефіцієнтів проходження та відбиття для різних бар'єрів.	3
6.	Застосування методу трансфер-матриці для знаходження рішень рівняння Шредінгера для одновимірних потенціалів з локальними особливостями.	3
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 відроджених 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.	1
2	Принцип додатковості. Хвильова функція. Статистична інтерпретація хвильової функції.	1
3	Принцип суперпозиції. Розклад хвильової функції по плоским хвилям. Хвильовий пакет.	1
4	Співвідношення невизначеності. Принцип відповідності. Принцип причинності у квантовій механіці.	1
5	Стационарне рівняння Шредингера для модельних задач. Обчислення середніх значень оператора координати для модельних задач.	1
6	Знаходження енергетичного спектру у різних системах з фінітним рухом у координатному представленні.	1
7	Розв'язок задач про відбиття та проходження частинок крізь одновимірні потенційні бар'єри різної форми.	1
8	Приклади лінійних операторів. Знаходження власних векторів та власних значень операторів. Приклади ермітових операторів.	1
9	Квантово-механічні величини та оператори. Гільбертів простір хвильових функцій.	1
10	Хвильова функція та ймовірність результатів вимірювання. Обчислення середніх значень фізичних величин.	1
11	Обчислення комутаторів операторів.	2
12	Оператори та власні функції координати та імпульсу. Оператор Гамільтона. Стационарні стани.	2
13	Бра- та кет-вектори. Теорія представлень. Знаходження рішень стационарного рівняння Шредингера в імпульсному представленні.	2
14	Комутиційні співвідношення для операторів координати, імпульсу, механічного моменту та квадрату моменту.	2
15	Диференціювання операторів за часом. Інтеграли руху. Приклади повних наборів фізичних величин.	2
16	Співвідношення невизначеності для часу та енергії.	2
17	Хвильова функція частинки у центрально-симетричному полі. Рішення задач із застосуванням розділення змінних у рівнянні Шредингера.	2
18	Рух у кулоновому полі. Знаходження середніх моментів в атомі водню.	2
19	Власні функції та власні значення операторів, що задані у матричній формі. Знаходження спектру гармонічного осцилятора матричним методом.	2
20	Представлення Шредингера та Гейзенберга.	2

21	Квазікласичне наближення Хвильова функція у квазікласичному наближенні. Граничний перехід до класичної механіки.	2
22	Рух у потенційній ямі у квазікласичному наближенні. Знаходження квазікласичного енергетичного спектру із застосуванням правил квантування Бора-Зомерфельда у різних одновимірних системах.	1
23	Розрахунок току при польовій емісії та альфа-розпаду у квазікласичному наближенні.	2
24	Теорія збурень, що не залежать від часу. Застосування теорія збурень у системах з невиродженим та виродженим спектром: заряджений осцилятор, плоский ротатор в електричному полі, дворівневі системи.	1
25	Теорія нестационарних збурень. Перехід систем в новий стаціонарний стан завдяки збуренням.	2
26	Спін елементарних частинок. Оператори спіну. Власні функції та власні значення операторів спіну.	2
27	Повний механічний момент.	2
28	Додавання моментів.	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	Нормальний та аномальний ефекти Зеємана та ефект Пашена-Бака у сильних магнітних полях. Діа- та парамагнетизм атомів (теорії Ландау та Паулі).	2
32	Застосування стаціонарної теорії збурень для аналізу ефекта Штарка. Лінійний ефект Штарка у водні.	1
33	Енергетичний спектр та хвильова функція електрона у постійному однорідному магнітному полі. Рівні Ландау. Квантові осциляції кінетичних та термодинамічних коефіцієнтів у чистих металах.	1
34	Границі застосування борнівського наближення у теорії розсіяння. Методи зшивки хвильових функцій.	1
35	Розсіювання у кулонівському полі. Виведення формули Резерфорда у квазікласичному наближенні та у результаті розв'язування точного рівняння Шредінгера.	1
36	Застосування методу факторизації для розв'язку рівняння Шредінгера. Оператори народження та знищення.	1
37	Вторинне квантування систем бозонів та ферміонів. Комутаційні співвідношення для бозонних та ферміонних операторів народження та знищення.	1
	Разом	56

6. Індивідуальні завдання

Індивідуальне розрахункове завдання.

7. Методи контролю

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

8. Схема нарахування балів

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання						Екзамен	Сума
Розділи 1-2	Розділи 3-4	Розділ 5	Контрольна робота, передбачена навчальним планом	Індивідуальне завдання	Разом		
T1-T16	T17-T28	T29-T32	(1 контрольна робота)				
10	10	10	20	10	60	40	100

Для зарахування розділів 1-2 та 3-4 треба виконати контрольну роботу та домашні завдання і набрати у підсумку не менше 10 балів. Для зарахування розділу 5 треба виконати та захистити індивідуальне розрахункове завдання і набрати у підсумку не менше 10 балів.

Для допуску до підсумкового семестрового контролю студент повинен здати 5 розділів і 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>