

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра теоретичної фізики імені академіка І.М.Ліфшиця

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Квантова механіка

напрямку підготовки прикладна фізика 6.040204

загальний курс

радіофізичного факультету

Кредитно-модульна система
організації навчального процесу

Розробники: Єрмолаєв Олександр Михайлович, д. фіз.-мат. наук, професор, Єзерська Олена Володимирівна, канд. фіз.-мат. наук, доц., Апостолов Станіслав Сергійович канд. фіз.-мат. наук, доц.

Харків – 2012

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни
Кількість кредитів – 4	Напрямок підготовки прикладна фізика 6.040204	денна форма навчання
Модулів –3		Рік підготовки: III–й
Загальна кількість годин – 144 год.		Семестр 6–й
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 5		Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр
		Практичні - 34 год.
		Самостійна робота – 59 год.
		Вид контролю: контрольні роботи, індивідуальне розрахункове завдання, екзамен

Примітка.

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить:

для денної форми навчання – 1:2

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета: сформувати квантові уявлення студентів про властивості мікрочастинок, викласти основні положення квантової механіки та принципи її застосування до опису мікросистем. При вивченні матеріалу значну увагу приділити прикладам використання методів квантової механіки, які будуть корисні майбутнім фахівцям-радіофізикам.

У результаті вивчення даного курсу студент повинен

знати: методи нерелятивістської квантової теорії.

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

3. Програма навчальної дисципліни

6-й семестр

Модуль 1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ КВАНТОВОЇ МЕХАНІКИ. РІВНЯННЯ ШРЕДІНГЕРА. МАТЕМАТИЧНИЙ АПАРАТ КВАНТОВОЇ МЕХАНІКИ.

- Тема 1. Досліди з класичними корпускулами, хвилями і електронами. Хвильові властивості частинок. Корпускулярно-хвильовий дуалізм.
- Тема 2. Стан квантової системи. Хвильова функція. Принцип суперпозиції.
- Тема 3. Співвідношення невизначеності. Принцип доповнення. Принцип причинності.
- Тема 4. Процес вимірювання в квантовій механіці.
- Тема 5. Хвильове рівняння. Вектор густини потоку ймовірності.
- Тема 6. Потенційні ями і бар'єри. Сингулярні потенціали.
- Тема 7. Лінійні оператори. Власні значення і власні функції ермітових операторів.
Ортонорміровка і повнота власних функцій ермітових операторів.
- Тема 8. Квантовомеханічні величини і оператори.
- Тема 9. Теорія представлень.
- Тема 10. Хвильова функція та імовірність результатів вимірювань. Середні значення фізичних величин.
- Тема 11. Комутація операторів. Дужки Пуассона в квантовій механіці. Нерівність Гейзенберга.
- Тема 12. Оператори і власні функції координати та імпульсу.
- Тема 13. Оператор Гамільтона. Стаціонарні стани.
- Тема 14. Оператори проекції і квадрата кутового моменту.
- Тема 15. Парність станів.
- Тема 16. Диференціювання операторів за часовою змінною. Інтеграли руху. Повний набір фізичних величин.
- Тема 17. Співвідношення невизначеності для енергії і часу.

Модуль 2. ЧАСТИНКА У ЗОВНІШНЬОМУ ПОЛІ. КВАЗІКЛАСИЧНЕ НАБЛИЖЕННЯ. МАТРИЧНА КВАНТОВА МЕХАНІКА. ТЕОРІЯ ЗБУРЕНЬ.

- Тема 18. Частинка в центральному полі.
- Тема 19. Задача двох тіл.
- Тема 20. Атом водню.
- Тема 21. Квантовий осцилятор.
- Тема 22. Електрон у магнітному полі. Рівні та стани Ландау.
- Тема 23. Граничний перехід до класичної механіки. Граничні умови в точці повороту.
Правила квантування Бора-Зоммерфельда.
- Тема 24. Проходження через потенціальний бар'єр. Тунельний ефект.
- Тема 25. Представлення хвильових функцій і операторів в матричній формі.
- Тема 26. Формалізм Дірака.
- Тема 27. Унітарні перетворення.
- Тема 28. Лінійний осцилятор (матричне представлення). Оператори породження та знищення частинок.
- Тема 29. Матричні елементи оператора моменту. Додавання моментів.
- Тема 30. Стаціонарна теорія збурень. Випадок двох близьких рівнів. Секулярне рівняння.
- Тема 31. Теорія нестационарних збурень. Квантові переходи.
- Тема 32. Дворівнева система.
- Тема 33. Аміачний мазер. Молекула аміаку в електричному полі.

Модуль 3. СПІН. ТОТОЖНІ ЧАСТИНКИ. АТОМИ І МОЛЕКУЛИ. КВАНТОВА ТЕОРІЯ ВИПРОМІНЮВАННЯ. ТЕОРІЯ РОЗСІЯННЯ.

- Тема 34. Дослід Штерна і Герлаха. Хвильова функція частинки зі спіном.
 Тема 35. Оператори спина. Власні функції та власні значення операторів спина.
 Тема 36. Спін електрона в магнітному полі. ЕПР і ЯМР.
 Тема 37. Принцип тотожності однакових частинок. Хвильові функції системи однакових частинок. Принцип Паулі.
 Тема 38. Пара-і ортосостояння двох електронів.
 Тема 39. Обмінна взаємодія.
 Тема 40. Представлення чисел заповнення.
 Тема 41. Атомні терми. Атом гелію.
 Тема 42. Ефекти Зеемана, Пашена-Бака, Штарка.
 Тема 43. Молекула водню.
 Тема 44. Квантова теорія випромінювання
 Тема 45. Квантування електромагнітного поля.
 Тема 46. Взаємодія електрона з випромінюванням.
 Тема 47. Поглинання та випромінювання світла атомами.
 Тема 48. Мультипольні переходи. Правила відбору.
 Тема 49. Розсіяння світла атомами. Теорія природної ширини спектральної лінії.
 Тема 50. Амплітуда і переріз розсіяння. Функція Гріна задачі розсіяння. Борнівське наближення.
 Тема 51. Метод парціальних хвиль. Формула Резерфорда. Потенціальне та резонансне розсіяння. Непружне розсіяння.

4. Структура навчальної дисципліни

Назви модулів і тем	Кількість годин					
	Денна форма					
	Усього	у тому числі				
		л	п	лаб	інд	ср
1	2	3	4	5	6	7
6 семестр						
Модуль 1						
Тема 1.	3	1	1			1
Тема 2.	2	1				1
Тема 3.	3	1	1			1
Тема 4.	3	1	1			1
Тема 5.	2	1				1
Тема 6.	3	1	1			1
Тема 7.	3	1	1			1
Тема 8.	2	1				1
Тема 9.	3	1	1			1
Тема 10.	3	1	1			1
Тема 11.	2	1				1
Тема 12.	2	1				1
Тема 13.	3	1	1			1
Тема 14.	2	1				1
Тема 15.	3	1	1			1
Тема 16.	2	1				1

Тема 17.	3	1	1			1
Разом за модулем 1	44	17	10			17
Модуль 2						
Тема 18.	3	1	1			1
Тема 19.	2	1				1
Тема 20.	3	1	1			1
Тема 21.	2	1				1
Тема 22.	3	1	1			1
Тема 23.	3	1	1			1
Тема 24.	2	1				1
Тема 25.	3	1	1			1
Тема 26.	3	1	1			1
Тема 27.	2	1				1
Тема 28.	3	1	1			1
Тема 29.	3	1	1			1
Тема 30.	3	1	1			1
Тема 31.	3	1	1			1
Тема 32.	3	1	1			1
Тема 33.	3	1	1			1
Разом за модулем 2	44	16	12			16
Модуль 3						
Тема 34.	3	1	1			1
Тема 35.	3	1	1			1
Тема 36.	3	1	1			1
Тема 37.	4	1	1			2
Тема 38.	2	1				1
Тема 39.	3	1				2
Тема 40.	3	1	1			1
Тема 41.	3	1				2
Тема 42.	4	1	1			2
Тема 43.	2	1				1
Тема 44.	4	1	1			2
Тема 45.	3	1	1			1
Тема 46.	3	1	1			1
Тема 47.	4	1	1			2
Тема 48.	2	1				1
Тема 49.	4	1	1			2
Тема 50.	2	1				1
Тема 51.	4	1	1			2
Разом за модулем 3	56	18	12			26
Разом за семестр	144	51	34			59
Екзамен						
Усього годин	144	51	34			59

5. 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
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.	3
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 проекцій 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.	3
10.	Стаціонарна теорія збурень для невинроджених рівнів.	2
11.	Стаціонарна теорія збурень для винроджених 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

6. Самостійна робота

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

Тема 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
Тема 25. Теорія нестаціонарних збурень. Перехід систем в новий стаціонарний стан завдяки збуренням.	1
Тема 26. Спін елементарних частинок. Оператори спіну. Власні функції та власні значення операторів спіну.	1
Тема 27. Повний механічний момент. Додавання моментів.	1
Тема 28. Рівняння Паулі. Спіновий магнітний момент.	1
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.	1
Тема 30. Хвильова функція двохчастинкової системи. Обмінна взаємодія.	1
Тема 31. Хвильова функція багатоелектронного атома. Метод Хартрі-Фока.	1
Тема 32. Статистична модель атома.	1
Тема 33. Тонка структура атомів. Правила Хунда. Атомні терми.	1
Тема 34. Хімічні властивості атомів. Періодична система елементів.	1
Тема 35. Нормальний та аномальний ефекти Зеємана та ефект Пашена-Бака у сильних магнітних полях. Діа- та парамагнетизм атомів (теорії Ландау та Паулі).	1
Тема 36. Застосування стаціонарної теорії збурень для аналізу ефекта Штарка. Лінійний ефект Штарка у водні.	2
Тема 37. Енергетичний спектр та хвильова функція електрона у постійному однорідному магнітному полі. Рівні Ландау. Квантові осциляції кінетичних та термодинамічних коефіцієнтів у чистих металах.	2
Тема 38. Двовимірний електронний газ. Гетероструктури. Графени. Квантовий ефект Хола.	2
Тема 39. Амплітуда та переріз розсіювання. Функція Гріна задачі розсіювання.	1
Тема 40. Границі застосування борнівського наближення у теорії розсіювання. Методи зшивки хвильових функцій.	2
Тема 41. Розсіювання у кулонівському полі. Вивід формули Резерфорда у квазікласичному наближенні та у результаті розв'язування точного рівняння Шредінгера.	2
Тема 42. Застосування методу факторизації для розв'язку рівняння Шредінгера. Оператори народження та знищення.	1
Тема 43. Вторинне квантування систем бозонів та ферміонів. Комутаційні співвідношення для бозонних та ферміонних операторів народження та знищення.	1
Тема 44. Квантування поля випромінювання. Поняття про фотони.	1
Тема 45. Когерентні та стислі стани електромагнітного поля.	1
Тема 46. Взаємодія випромінювання з електроном. Поглинання та випромінювання світла. .	2
Тема 47. Спонтанне та вимушене випромінювання. Дипольні переходи в атомних системах. Правила відбору	1
Тема 48. Когерентне та комбінаційне розсіювання світла атомами.	1
Тема 49. Ефекти Ааронова-Бома та Казіміра.	2
Тема 50. Хвильове релятивістське рівняння Клейна-Гордона-Фока.	1
Тема 51. Рівняння Дірака. Розв'язок рівняння Дірака для вільної частинки.	2

Уявлення про позитрон.	
------------------------	--

7. Методи навчання

Лекції, виконання практичних робіт, самостійна робота.

8. Методи контролю

Рішення задач на практичних заняттях, контрольні роботи за модулями, домашні завдання, індивідуальне розрахункове завдання, екзамен.

9. Розподіл балів, які отримують студенти

Екзамен

Поточне тестування та самостійна робота			Підсумковий семестровий контроль (екзамен)	Сума
Модуль 1	Модуль 2	Модуль 3	40	100
Теми 1-17	Теми 18-33	Теми 34-51		
Контр. робота - 10 Дом. завд. – 10 Разом за модуль- 20	Контр. робота - 10 Дом. завд. – 10 Разом за модуль- 20	Інд.завдання - 15 Дом. завд. – 5 Разом за модуль- 20		

Для зарахування модулів 1-2 треба виконати контрольну роботу та домашні завдання і набрати у підсумку не менше 10 балів. Для зарахування модуля 3 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 здати 3 модулі і набрати у підсумку не менше 30 балів.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою
90 – 100	A	відмінно
80-89	B	добре
70-79	C	
60-69	D	
50-59	E	задовільно
1-49	FX	незадовільно

10. Методичне забезпечення

1. Робоча програма навчальної дисципліни.
2. Навчальні посібники, монографії, наукові статті.

11. Рекомендована література

Базова

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. - 336 с.
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. - 648 с.
6. Гречко Л.Г., Сугаков В.И., Томасевич О.Ф., Федорченко А.М. Сборник задач по теоретической физике. – М.: Высшая школа, 1984. – 319 с.

Допоміжна

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. – 478 с, Т.2. – 583 с.
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. – 616 с.
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. – 275 с.
9. Флюгге З. Задачи по квантовой механике. В 2-х т.- М.: Мир, 1974. – Т. 1. - 341 с., Т. 2. - 315 с.