

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

напряму підготовки 6.040203 фізика

загальний курс

фізичного факультету

Кредитно-модульна система
організації навчального процесу

Розробники: Ямпольський Валерій Олександрович, член-кор. НАН України д. фіз-мат. наук, професор, Єзерська Олена Володимирівна, 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 7	Напрямок підготовки 6.040203 - фізика	денна форма навчання
Модулів – 2 в 6-му семестрі 3 в 7-му семестрі		Цикл дисциплін професійної та практичної підготовки
Загальна кількість годин 252		Роки підготовки: III–й, IV–й Семестри 6–й, 7–й
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 3 в 6-му семестрі, 4 в 7-му семестрі самостійної роботи студента – 3,35 в 6-му семестрі, 4 в 7-му семестрі		Лекції 88 год. (34 год. у 6-му семестрі, 54 год. у 7-му семестрі)
		Практичні 35 год. (17 год. у 6-му семестрі, 18 год. 7-му семестрі)
	Самостійна робота 129 год.(57 год. у 6-му семестрі, 72 год. у 7-му семестрі)	
	Вид контролю: контрольні роботи, індивідуальне розрахункове завдання, залік, екзамен	

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.

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. 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.

Модуль 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. Вігнеровська функція розподілу.

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

Тема 15. Диференціювання операторів за часом. Інтеграли 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

Модуль 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 нестаціонарних збурень. Перехід систем в новий стаціонарний стан завдяки збуренням.

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

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.

Модуль 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-Бом та Казіміра.

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.

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				2
Тема 2	3	1				2
Тема 3	3	1				2
Тема 4	3	1				2
Тема 5	8	2	2			4
Тема 6	10	2	3			5
Тема 7	10	2	2			6
Разом за модулем 1	40	10	7			23
Модуль 2						
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	6	2	1			3
Тема 14	6	2	1			3
Тема 15	5	2				3
Тема 16	5	2				3
Тема 17	7	2	2			3
Тема 18	5	2	1			2
Тема 19	3	1				2
Тема 20	3	1				2
Разом за модулем 2	68	24	10			34
Разом за 6-й семестр	108	34	17			57
Залік						
7 семестр						
Модуль 3						
Тема 21	6	2	2			2
Тема 22	6	2	2			2
Тема 23	6	2	2			2
Тема 24	7	2	2			3
Тема 25	7	2	2			3
Разом за модулем 3	32	10	10			12
Модуль 4						
Тема 26	4	1	1			2
Тема 27	4	1	1			2
Тема 28	3	1				2

1	2	3	4	5	6	7
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	2				2
Тема 40	4	2				2
Тема 41	4	2				2
Разом за модулем 4	60	24	4			32
Модуль 5						
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 модулем 5	52	20	4			28
Разом за 7-й семестр	144	54	18			72
Екзамен						
Усього годин	252	88	35			129

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

1	2	3
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.	4
10.	Стаціонарна теорія збурень для невироджених рівнів.	2
11.	Стаціонарна 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

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 макро-частинок.	2
Тема 2. Принцип додатковості. Хвильова функція. Статистична інтерпретація хвильової функції.	2
Тема 3 Принцип суперпозиції. Розклад хвильової функції по плоским хвилям. Хвильовий пакет.	2
Тема 4. Співвідношення невизначеності. Принцип відповідності. Принцип причинності у квантовій механіці.	2
Тема 5. Стаціонарне рівняння Шредінгера для модельних задач. Обчислення середніх значень оператора координати для модельних задач.	4
Тема 6. Знаходження енергетичного спектру у різних системах з фінітним рухом у координатному представленні.	5

1	2
Тема 7. Розв'язок задач про відбиття та проходження частинок крізь одновимірні потенційні бар'єри різної форми.	6
Тема 8. Приклади лінійних операторів. Знаходження власних векторів та власних значень операторів. Приклади ермітових операторів.	2
Тема 9. Квантово-механічні величини та оператори. Гільбертів простір хвильових функцій.	2
Тема 10. Хвильова функція та ймовірність результатів вимірювання. Обчислення середніх значень фізичних величин.	3
Тема 11. Обчислення комутаторів операторів.	3
Тема 12. Оператори та власні функції координати та імпульсу. Оператор Гамільтона. Стаціонарні стани.	3
Тема 13. Бра- та кет-вектори. Теорія представлень. Знаходження рішень стаціонарного рівняння Шредінгера в імпульсному представленні.	3
Тема 14. Комутаційні співвідношення для операторів координати, імпульсу, механічного моменту та квадрату моменту.	3
Тема 15. Диференціювання операторів за часом. Інтеграли руху. Приклади повних наборів фізичних величин.	3
Тема 16. Співвідношення невизначеності для часу та енергії.	3
Тема 17. Хвильова функція частинки у центральній-симетричному полі. Рішення задач із застосуванням розділення змінних у рівнянні Шредінгера.	3
Тема 18. Рух у кулоновому полі. Знаходження середніх моментів в атомі водню.	2
Тема 19. Власні функції та власні значення операторів, що задані у матричній формі. Знаходження спектру гармонічного осцилятора матричним методом.	2
Тема 20. Представлення Шредінгера та Гейзенберга.	2
Тема 21. Квазікласичне наближення Хвильова функція у квазікласичному наближенні. Граничний перехід до класичної механіки.	2
Тема 22. Рух у потенційній ямі у квазікласичному наближенні. Знаходження квазікласичного енергетичного спектру із застосуванням правил квантування Бора-Зомерфельда у різних одновимірних системах.	2
Тема 23. Розрахунок току при польовій емісії та альфа-розпаду у квазікласичному наближенні.	2
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.	3
Тема 25. Теорія нестаціонарних збурень. Перехід систем в новий стаціонарний стан завдяки збуренням.	3
Тема 26. Спін елементарних частинок. Оператори спіну. Власні функції та власні значення операторів спіну.	2
Тема 27. Повний механічний момент. Додавання моментів.	2
Тема 28. Рівняння Паулі. Спіновий магнітний момент.	2
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.	2
Тема 30 Хвильова функція двохчастинкової системи. Обмінна взаємодія.	2
Тема 31. Хвильова функція багатоелектронного атома. Метод Хартрі-Фока.	2

1	2
Тема 32. Статистична модель атома.	2
Тема 33. Тонка структура атомів. Правила Хунда. Атомні терми.	2
Тема 34. Хімічні властивості атомів. Періодична система елементів.	2
Тема 35. Нормальний та аномальний ефекти Зеємана та ефект Пашена-Бака у сильних магнітних полях. Діа- та парамагнетизм атомів (теорії Ландау та Паулі).	2
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.	2
Тема 40. Границі застосування борнівського наближення у теорії розсіяння. 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.	2
Тема 43. Вторинне квантування систем бозонів та ферміонів. Комутаційні співвідношення для бозонних та ферміонних операторів народження та знищення.	2
Тема 44. Квантування поля випромінювання. Поняття про фотони.	2
Тема 45. Когерентні та стислі стани електромагнітного поля.	3
Тема 46. Взаємодія випромінювання з електроном. Поглинання та випромінювання світла. .	2
Тема 47. Спонтанне та вимушене випромінювання. Дипольні переходи в атомних системах. Правила відбору	3
Тема 48. Когерентне та комбінаційне розсіювання світла атомами.	3
Тема 49. Ефекти Ааронова-Бома та Казимира.	3
Тема 50. Хвильове релятивістське рівняння Клейна-Гордона-Фока.	2
Тема 51. Рівняння Дірака. Розв'язок рівняння Дірака для вільної частинки. Уявлення про позитрон.	3
Тема 52. Спін частинки у теорії Дірака. Перехід до напівкласичного рівняння Паулі.	3

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, залік за результатами поточного контролю, екзамен.

9. Розподіл балів, які отримують студенти

Залік (6-семестр)

Поточне тестування та самостійна робота		Сума
Модуль 1	Модуль 2	
Теми 1-7	Теми 8-20	100
Дві контрольні роботи – 2x15=30	Дві контрольні роботи – 2x10=20 Індивідуальне завдання - 10	
Домашні завдання – 20	Домашні завдання – 20	

Для зарахування модуля треба виконати контрольні роботи, індивідуальне розрахункове завдання та домашні завдання і набрати у підсумку не менше 25 балів

Екзамен (7-семестр)

Поточне тестування та самостійна робота			Підсумковий семестровий контроль (екзамен)	Сума
Модуль 1	Модуль 2	Модуль 3	40	100
Теми 21-25	Теми 26-41	Теми 42-52		
Дві контр. роботи – 5x2=10 Дом. завд. – 10 Разом за модуль- 20	Контрольна робота (ректорський контроль) - 10 Дом. завд. – 10 Разом за модуль- 20	Інд. розрахункове завдання - 15 Дом. завд. – 5 Разом за модуль- 20		

Для зарахування модулів 1-2 треба виконати контрольні роботи 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	задовільно
50-59	E	
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. – 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

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.