

ПРОГРАМА
КУРСУ КВАНТОВОЇ МЕХАНІКИ

(3-й - 4-й курси фізичного факультету ХНУ)

I. Основи квантової механіки

- 1.1. Явища, які вимагають квантово-механічного опису.
- 1.2. Хвильові властивості частинок. Гіпотеза де-Бройля. Принцип доповнюваності.
- 1.3. Хвильова функція. Статистична інтерпретація хвильової функції.
- 1.4. Принцип суперпозиції. Розкладання хвильової функції по плоских хвилях.
- 1.5. Співвідношення невизначеностей. Принцип відповідності.
- 1.6. Принцип причинності у квантовій механіці.

II. Рівняння Шредингера

- 2.1. Хвильове рівняння Шредингера.
- 2.2. Щільність потоку ймовірності.
- 2.3. Частинка в одновимірній прямокутній потенціальній ямі.
- 2.4. Одновимірний осцилятор.
- 2.5. Відбиття та проходження через потенціальний бар'єр.
- 2.6. Сингулярні потенціали. Діраковська гребінка (модель Кроніга-Пенні).

III. Математичний апарат квантової механіки

- 3.1. Лінійні оператори. Власні вектори та власні значення операторів.
- 3.2. Ермитові оператори. Ортогональність та нормировка власних векторів ермитових операторів.
- 3.3. Квантово-механічні величини та оператори. Гільбертово простір хвильових функцій.
- 3.4. Бра- та кет-вектори. Теорія зображень.
- 3.5. Перехід в імпульсне зображення. Рівноприскорений рух.
- 3.6. Вігнерівська функція розподілу.
- 3.7. Хвильова функція та ймовірність результатів вимірів. Середні значення фізичних величин.
- 3.8. Комутація операторів. Нерівність Гейзенберга. Дужки Пуассона у квантовій механіці.
- 3.9. Оператори та власні функції координати та імпульсу.
- 3.10. Оператор Гамільтона. Стаціонарні стани.
- 3.11. Оператори, власні значення та власні функції механічного моменту та квадрата моменту.
- 3.12. Парність станів.
- 3.13. Диференціювання операторів за часом. Інтеграл руху. Повний набір фізичних величин.
- 3.14. Співвідношення невизначеності для часу та енергії.

IV. Рух у центрально-симетричному полі

- 4.1. Хвильова функція частинки в центрально-симетричному полі. Поділ змінних у рівнянні Шредингера.
- 4.2. Рух у кулоновському полі. Випадкове виродження.

V. Квазікласичне наближення

- 5.1. Граничний перехід до класичної механіки.
- 5.2. Рух у потенціальній ямі у квазікласичному наближенні. Правила квантування Бор – Зомерфельда.
- 5.3. Проходження через потенціальний бар'єр. Тунельний ефект.
- 5.4. Застосування квантового тунелювання. Польова емісія, α -розпад важких ядер, синтез легких ядер.

VI. Матрична форма квантової механіки

- 6.1. Власні функції й власні значення оператора, заданого в матричній формі.
- 6.2. Вистави Шредингера та Гейзенберга.
- 6.3. Одержання спектра гармонічного осцилятора матричним методом.

VII. Теорія збурень

- 7.1. Теорія збурень, що не залежать від часу.
- 7.2. Теорія збурень при наявності виродження.
- 7.3. Теорія нестационарних збурень. Перехід системи в новий стаціонарний стан під впливом збурення.

VIII. Спин і тотожність часток

- 8.1. Спин елементарних часток. Оператори спина.
- 8.2. Власні функції й власні значення операторів спина.
- 8.3. Повний механічний момент. Додавання моментів.
- 8.4. Рівняння Паулі. Спіновий магнітний момент.
- 8.5. Принцип тотожності часток. Симетричні та антисиметричні стани.
- 8.6. Хвильові функції систем бозонів та ферміонів. Принцип Паулі.
- 8.7. Невзаємодіючі електрони в тривимірній ямі. Електронний внесок у теплоємність металів.
- 8.8. Наслідки принципу Паулі: атомне ядро; білі карлики й нейтронні зірки.
- 8.9. Хвильова функція двохчастинкової системи ферміонів. Обмінна взаємодія.

IX. Електронна структура атомів

- 9.1. Хвильова функція багатоелектронного атома. Метод Хартрі-Фока.
- 9.2. Статистична модель атома.
- 9.3. Квантові числа, які характеризують стани електронів в атомі. Атомні терми.
- 9.4. Періодична система елементів.

9.5. Ефекти Зеємана та Пашена – Бака. Діамагнетизм атомів.

9.6. Ефект Штарка.

X. Рух в однорідному магнітному полі

10.1. Енергетичний спектр та хвильова функція електрона в постійному й однорідному магнітному полі. Рівні Ландау.

XI. Теорія пружного розсіювання

11.1. Амплітуда та перетин розсіювання.

11.2. Функція Гріна завдання розсіювання.

11.3. Борнівське наближення.

11.4. Розсіювання в кулоновському полі. Формула Резерфорда.

XII. Метод вторинного квантування. Взаємодія світла з речовиною

12.1. Метод факторизації для розв'язку рівняння Шредингера. Оператори народження та знищення.

12.2. Вторинне квантування для систем бозонів та ферміонів.

12.3. Квантування поля випромінювання.

12.4. Когерентні стани електромагнітного поля.

12.5. Взаємодія електрона з випромінюванням. Поглинання й випромінювання світла.

12.6. Дипольні переходи в атомних системах. Правила відбору.

12.7. Розсіювання світла атомами.

XIII. Квантовомеханические ефекти

13.1. Ефект Ааронова-Бома

13.2. Квантовий ефект Холу.

XIV. Релятивістська квантова механіка

13.1. Хвильове релятивістське рівняння для частки з нульовим спіном.

13.2. Рівняння Дірака.

13.3. Розв'язок рівняння Дірака для вільної частинки.

13.4. Поняття про позитрон.

13.5. Спин частинки в теорії Дірака. Перехід до напівкласичного рівняння Паулі.

XV.

XVI. Заплутані (entangled) стану

15.1. Заплутані стани. Парадокс Ейнштейна – Подільського – Розена.

15.2. Нерівності Белла.

15.3. Квантова криптографія. Квантова теорема про неможливість клонування.

15.4. Квантові комп'ютери. Алгоритм Шора.

Література

1. Landau L.D. Quantum Mechanics. Non-Relativistic Theory. Course of Theoretical Physics. V.3 / L.D.Landau, E.M.Lifshitz. Pergamon Press, 1991. – 674 p.
2. J.-L. Basdevant, J. Dalibard. Quantum Mechanics. – Springer-Verlag, Berlin, 2002. – 512 p.
3. Вакарчук І.О. Квантова механіка: Підручник.— 2-ге вид., доп.— Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2004.— 784с.
4. Гречко Л.Г., Єжов С.М., Сугаков В.О. Збірник задач із теоретичної фізики. Квантова механіка: К.: Видавничо-поліграфічний центр “Київський університет”, 2013. – 215 с.
5. Вакарчук І. О., Кулій Т. В., Кнігінський О. В., Ткачук В. М. Збірник задач з квантової механіки. Львів, Львівський університет, 1997.
6. Апостолов С.С. Основи квантової механіки. Теорія та практичні завдання : навч.-метод. посіб. / С.С. Апостолов, О.В. Єзерська. – Харків : ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2021. – 140 с.

Допоміжна література

7. Flugge S. Practical Quantum mechanics / S.Flugge. – – Springer-Verlag, Berlin, 1994. – 648 p.