

## **Квантова механіка**

### **ПРОГРАМОВІ ВИМОГИ ДО ІСПИТУ**

**1. Вступ.** Обмеженість класичної теорії і необхідність переходу до квантових понять. Гіпотези Планка. Ейнштейна, Бора, де Бройля; корпускулярно-хвильовий дуалізм. Хвильова функція і принцип суперпозиції. Ймовірнісна інтерпретація хвильової функції, принцип причинності.

**2. Основні положення квантової теорії і нерелятивістське наближення.** Поняття станів в квантовій теорії. Кет- і бра-вектори станів, простір Гільберта. Умова нормування. Розклад векторів станів за базисними векторами, фізичний зміст коефіцієнтів розкладу. Принцип суперпозиції.

**3. Динамічні змінні в квантовій теорії.** Оператори як спостережувальні та їх властивості. Власні значення і власні функції (вектори) спостережувальних. Дискретний і неперервний спектри власних значень, їх фізична інтерпретація. Властивості власних векторів, їх повнота і розклад векторів станів за системою векторів спостережувальної, фізичний зміст коефіцієнтів розкладу: нормування власних векторів у випадках дискретного і неперервного спектрів. Поняття проповний набір спостережувальних. Середні значення фізичних величин. Співвідношення невизначеності для некомутуючих спостережувальних. Вимірювання фізичних величин. Поняття ідеального вимірювання.

**4. Елементи теорії представлень.** Координатне, імпульсне і матричне представлення векторів станів і спостережувальних. Квантова дужка Пуассона, оператори координат, імпульсів і моментів імпульсу, власні значення і власні функції. Перехід від одного представлення до іншого як результат унітарного перетворення. Канонічні перетворення, властивості унітарних перетворень (унітарні інваріанти).

**5. Зміна векторів стану з часом.** Оператор Гамільтона. Основні рівняння квантової теорії. Нерелятивістське наближення, рівняння Шредінгера. Стаціонарні стани та їх властивості. Рівняння неперервності. нормування векторів станів у випадку дискретного і неперервного спектрів. Представлення Шредінгера. Гейзенберга і взаємодії. 8-матричне формулювання квантової теорії: імовірність переходу системи з початкового у заданий кінцевий стан. Закони зміни і збереження фізичних величин; зв'язок інтегралів руху із симетрією системи.

**6. Чисті і змішані стани.** Поняття чистого стану і ансамблю. Вимірювання і редукція вихідного стану. Змішані стани і ансамблі. Поняття про матрицю густини (статистичний оператор). Основне рівняння для

статистичного оператора. Співвідношення класичної і квантової теорій. Теореми Еренфеста.

**7. Деякі застосування квантової теорії.** Лінійний гармонічний осцилятор в координатному, імпульсному і матричному представленнях. Лінійний гармонічний осцилятор у представленні чисел заповнення, поняття про когерентні стани. Загальна теорія руху у центральній-симетричному полі; власні значення і власні функції кутового моменту. Теорія воднеподібного атому з урахуванням руху ядра. Енергетичний спектр і власні функції атома водню.

**8. Загальна теорія моментів.** Власні значення і власні функції моментів. Спін електрона, власні вектори оператора спіну. Властивості матриць Паулі. Рівняння Паулі. Векторне додавання моментів, коефіцієнти Клейма-Гордана. Кульові спінори.

**9. Наближені методи квантових теорій.** Квазікласичне наближення, метод ВКБ. Граничні умови, правила квантування Бора-Зоммерфельда. Тунельний ефект. Теорія збурень для стаціонарних задач з дискретним спектром при відсутності і наявності виродження, а також близьких власних значень. Перше і друге наближення. Ефект Штарка. Варіаційний принцип квантової механіки, варіаційний метод Рітца. Нестационарна теорія збурень, квантові переходи. Густина числа кінцевих станів та ймовірність переходу в одиницю часу під дією періодичного збурення. Принцип детальної рівноваги. Адіабатичні і раптові збурення.

**10. Пружне розсіяння частинок.** Переріз розсіяння у першому борнівському наближенні, умови його застосування. Формула Резерфорда. Метод парціальних хвиль в теорії розсіяння. Оптична теорема. Фазовий аналіз. Перехід до першого борнівського наближення.  $S$ -матриця розсіяння.

**11. Теорія випромінювання.** Квантування вільного електромагнітного поля. Фотони. Інтенсивність вимушеного і спонтанного випромінювання у дипольному наближенні. Правила відбору. Поняття про випромінювання вищих мультипольностей. Квантова теорія дисперсії.

**Основи релятивістської квантової теорії.**

**12. Обмеженість нерелятивістської квантової теорії, необхідність врахування релятивістських ефектів.** Рівняння Клейна-Фока-Гордона та його застосовність до опису частинок з нульовим спіном. Густина заряду і струму. Частинки і античастинки. Рівняння КФГ в електромагнітному полі, двозначність густини заряду.

**13. Рівняння Дірака.** Рівняння Дірака у гамільтоновій і коваріантній формах, його застосовність до опису частинок із спіном  $\frac{1}{2}$ . Матриці Дірака та їх властивості. Рівняння неперервності і нормування хвильової функції.

Коваріантність рівняння Дірака відноснопросторово-часових обертань. P - . T- і C -перетворень. СРТ-теорема. Рівняння Дірака для вільних частинок, передбачені існування позитронів; поняття про електрон-позитроний вакуум. Кутовий власний і повний механічний момент в теорії Дірака. Одночастинкове наближення дрижання Шредінгера. Перетворення Фолді-Вусайзена. Квазірелятивістське наближення рівняння Дірака в зовнішньому електромагнітному полі. Перехід до рівняння Паулі. Спін-орбітальна, контактна і релятивістська поправки. Тонка структура енергетичних рівнів атома водню. Надтонка структура. Лембівський зсув рівнів (за Вельтоном). Нормальний і аномальний ефекти Заємана. ефект Пашена-Баха.

### **Основи теорії багатьох частинок.**

**14. Тотожні частинки.** Основне рівняння для системи частинок, рівняння неперервності. Наближення невзаємодіючих частинок. Принцип тотожності (нерозрішованості) однакових частинок. Принцип Паулі. Хвильові функції системи невзаємодіючих однакових частин. Ферміони і бозони, зв'язок спіну із статистикою. Обмінні ефекти припозіянні частинок із спіном 0, Уг. Теорія двоелектронних атомів, пара- і орто- стани гелію, внесок обмінних ефектів. Багатоелектронні атоми, метод Хартрі-Фока. Будова складних атомів, система елементів Д. І. Менделєєва. Статистичний метод Томаса-Фермі.

**15. Теорія найпростіших молекул.** Г етеро- і гомеоплярні молекули. Адіабатичне наближення в теорії молекул. Теорія молекули водню. Природа хімічного зв'язку. Ион молекули водню.

**16. Вторинне квантування.** Вторинне квантування у випадку бозонів. Вторинне квантування у випадку ферміонів. Оператор Гамільтона у представленні вторинного квантування, незбереження числа частинок у заданому стані при включенні взаємодії.