

Квантовая механика
(направление радиоп физика)
Вопросы к экзамену

Часть 1

1. Экспериментальные основания квантовой механики. Мысленные опыты: измерение координаты с помощью микроскопа, с помощью щели, измерение импульса по рассеянию рентгеновских лучей, эксперимент с полупрозрачным зеркалом. Соотношения неопределенностей. Абстракции классической физики и их ограниченная применимость к микромиру. Прибор. Понятия вероятности, плотности вероятности, потенциальной возможности. Понятие состояния в квантовой механике.
2. Математический аппарат квантовой механики. Гильбертово пространство. Норма, сходимость последовательности, ортонормированные системы, бесконечные ряды, подпространство, проекция вектора. Реализации Гильбертова пространства. Операторы в Гильбертовом пространстве и соотношения между ними (равенство, сумма, произведение, коммутатор, антикоммутатор). Обратный оператор. Линейный, эрмитовский, антиэрмитовский, унитарный, положительно определенный, ограниченный операторы.
3. Линейный оператор. Самосопряженный (эрмитовский) оператор. Антиэрмитовский оператор. Унитарный оператор. Свойства конкретных операторов: оператор умножения на независимую переменную, оператор дифференцирования, интегральный оператор, оператор проектирования.
4. Спектр линейного самосопряженного оператора. Регулярная точка и точка спектра. Собственные числа. Вырождение. Вещественность собственных чисел и ортогональность собственных векторов. Виды спектров.
5. Спектр оператора проектирования, оператора импульса, оператора координаты. Дельта-функция Дирака. Дельтаобразные последовательности. Нормировка функций сплошного спектра.
6. Собственные функции линейного эрмитовского оператора и разложение по базису. Дискретный и сплошной спектр. Условие полноты и замкнутости. Функция от оператора. Две теоремы о коммутирующих операторах. Преобразования подобия.
7. Физические величины и операторы. Классические и квантовые скобки Пуассона. Коммутатор операторов импульса и координаты. Оператор кинетической энергии.
8. Состояния квантовой системы и вектора в Гильбертовом пространстве. Второе положение квантовой механики. Обозначения Дирака. Чистое состояние. Состояние, в котором физическая величина имеет определенное значение. Измеримость физической величины. Одновременная измеримость двух физических величин. Вывод соотношения неопределенностей по Гейзенбергу.
9. Волновая функция, случай дискретного и сплошного спектров. Теория представлений. Преставление волновой функции и оператора. Переход от одного представления к другому. Унитарность. Координатное и импульсное представления. Операторы координаты и импульса в импульсном представлении.

10. Чистые и смешанные состояния. Статистический оператор и его спектр. Матрица плотности. Матрица плотности подсистемы квантовой системы.
11. Измерение физической величины и редукция волнового пакета. Развитие состояния системы во времени. Уравнение Шредингера. Квантовое уравнение Лиувилля.
12. Оператор эволюции. Представления Шредингера и Гейзенберга.
13. Уравнение неразрывности для уравнения Шредингера. Стационарные состояния.
14. Простейшие модели в квантовой механике: прямоугольная потенциальная яма. Симметрия оператора и классификация волновых функций. Непрерывность волновой функции и ее производной. Отсутствие решения в случае энергии, расположенной ниже дна потенциальной ямы.
15. Простейшие модели в квантовой механике: прямоугольная потенциальная яма. Состояния дискретного спектра. Уровни энергии и волновые функции. Сравнение движения классической и квантовой частиц. Плотность вероятности найти классическую частицу в определенной точке пространства.
16. Простейшие модели в квантовой механике: прямоугольная потенциальная яма. Состояния сплошного спектра. Физическая интерпретация. Коэффициенты отражения и прохождения. Сравнение движения квантовой и классической частиц. Резонансы.
17. Простейшие модели в квантовой механике: прямоугольный потенциальный барьер. Коэффициент отражения и прохождения. Туннельный эффект. Надбарьерное отражение. Резонансы. Сравнение движения квантовой и классической частиц.
18. Простейшие модели в квантовой механике: Гармонический осциллятор. Операторы рождения и уничтожения, их коммутатор. Оператор числа частиц и его спектр. Энергетический спектр гармонического осциллятора.
19. Простейшие модели в квантовой механике: Гармонический осциллятор. Операторы рождения и уничтожения. Энергетический спектр гармонического осциллятора (без вывода). Волновые функции. Среднее значение координаты, импульса, кинетической и потенциальной энергий. Соотношение неопределенностей. Сравнение классического и квантового осцилляторов.
20. Связь квантовой механики с классической механикой. Теоремы Эренфеста. Минимизирующий пакет и его расплывание.
21. Квазиклассическое приближение. Квазиклассические условия квантования.

Часть 2

20. Момент количества движения. Коммутационные соотношения. Собственные числа операторов квадрата и z-проекции момента количества движения. Сложение моментов.
21. Орбитальный момент количества движения. Полярные диаграммы. Спиновый момент

количества движения. Матрицы Паули.

22. Центральное поле. Движение в центральном поле. Энергетический спектр. Орбитали.

23. Движение в кулоновском поле. Дискретный спектр. Волновые функции. Сплошной спектр.

24. Уравнение Дирака для свободной частицы. Матрицы Дирака и их свойства.

25. Уравнение неразрывности. Стационарные состояния свободной частицы.

26. Спин. Собственные функции операторов квадрата спина и его z-проекции. Зарядовое сопряжение уравнения Дирака.

27. Нерелятивистский предел уравнения Дирака. Уравнение Паули.

28. Стационарная теория возмущений. Невырожденный случай.

29. Стационарная теория возмущений. Случай близких уровней. Случай вырождения.

30. Эффект Зеемана. Эффект Зеемана для бесспиновой частицы.

31. Эффект Зеемана. Аномальный эффект Зеемана.

32. Эффект Зеемана. Эффект Пашена-Бака.

33. Эффект Штарка (линейный и квадратичный).

34. Нестационарная теория возмущений. Включение постоянного возмущения.

35. Нестационарная теория возмущений. Возмущение, периодически зависящее от времени. Вероятность перехода в единицу времени.

36. Квантовая теория рассеяния: постановка задачи. Дифференциальное эффективное сечение рассеяния. Асимптотика решения уравнение Шредингера для стационарного состояния. Амплитуда рассеяния, её связь с сечением рассеяния.

37. Функция Грина свободной частицы. Интегральное уравнение для волновой функции. Асимптотика. Выражение амплитуды рассеяния через волновую функцию. Борновское приближение.

38. Борновское приближение (формулировка). Амплитуда рассеяния в борновском приближении для сферически-симметричного потенциала.

39. Борновское приближение (формулировка). Экранированный кулоновский потенциал. Формула Резерфорда. Рассеяние на атоме. Форм-фактор.

40. Метод парциальных волн в теории рассеяния. Фазовые сдвиги. Связь дифференциального сечения рассеяния с фазовыми сдвигами.

41. Оптическая теорема. Физический смысл оптической теоремы.

42. Оператор рассеяния (S-матрица). Выражение амплитуды рассеяния через матричные элементы T-оператора. S-матрица, ее связь с фазовыми сдвигами.
43. Свойства S-матрицы в комплексной плоскости.
44. Полюса S- матрицы, стационарные, квазистационарные состояния. Квазистационарные состояния и резонансы.
45. Закон распада квазистационарного состояния, теорема Фока-Крылова. Примеры распада суперпозиции состояний дискретного спектра и суперпозиции состояний непрерывного спектра. Период полураспада.
46. Рассеяние на сферически симметричной яме. Рассеяние медленных частиц. Эффект Рамзауэра.
47. Система квантовых различимых частиц. Выделение движения центра инерции на примере системы двух частиц. Приведённая масса. Атом водорода, спектр энергии, волновая функция.
48. Система тождественных частиц. Понятие тождественности частиц. Принципиальная неразличимость тождественных квантовых частиц. Симметрия волновой функции системы тождественных частиц: оператор транспозиции, его спектр, одинаковость симметрии для всех пар частиц, сохранение симметрии во времени, принцип Паули.
49. Система тождественных невзаимодействующих частиц: операторы симметризации и антисимметризации, симметричные и антисимметричные функции. Принцип Паули в виде принципа исключения. Фермионы и бозоны.
50. Теория молекул: оператор Гамильтона и волновая функция. Разделение движения тяжелых и легких частиц в адиабатическом приближении. Электронные, колебательные и вращательные спектры.
51. Двухатомная молекула: молекула водорода. Синглетные и триплетные состояния.
52. Теория многоэлектронных систем. Пространственные и спиновые переменные. Спин многоэлектронной системы и симметрия волновой функции. Базис детерминантных функций.
53. Редуцированные матрицы плотности первого и второго порядка. Матрицы плотности в однодетерминантном случае. Вариационный принцип. Уравнение Хартри-Фока (без вывода).
55. Вариационный принцип (без вывода). Однодетерминантный метод Хартри-Фока. Уравнение Хартри-Фока.
56. Уравнение Хартри-Фока (без вывода). Эрмитовость оператора Фока. Теорема Купманса.