

ЛЕКЦИОННЫЙ ПЛАН КУРСА
”КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ”
для 1-ого потока в 2015 г.

[http:// hep.phys.msu.ru](http://hep.phys.msu.ru)

I семестр

1. Комбинационный принцип и матричная механика Гейзенберга. Матрицы как линейные операторы. Физические величины как эрмитовы операторы в гильбертовом пространстве.
2. Динамическая схема квантовой механики. Ур-ния Гейзенберга. Принцип соответствия между классической и квантовой механиками. Каноническое квантование.
3. Спектр и средние значения физических величин в квантовой механике. Наблюдаемые с чисто дискретным невырожденным спектром и чистые состояния физической системы. Полный набор наблюдаемых.
4. Совокупность чистых состояний квантовой системы как гильбертово пространство, его основные свойства. Обоснование принципа суперпозиции чистых состояний. Спектральное разложение эрмитовых операторов. Квантовомеханическая интерпретация дискретного и непрерывного спектров наблюдаемой величины.
5. Вероятностная интерпретация результатов измерения некоммутирующих величин. Соотношение ”неопределенностей” для дисперсий некоммутирующих величин. Простейшие ”ЭПР-” парадоксы” и их объяснение.
6. Эквивалентность любого представления гильбертова пространства матричному. Переход от одного представления к другому как унитарное преобразование. Взаимосвязь унитарных и канонических преобразований.
7. Эволюция квантовой системы во времени. Представления Гейзенберга и Шредингера. Общий вид оператора эволюции при наличии явной зависимости гамильтониана от времени, его унитарность и групповые свойства.
8. Симметрии и интегралы движения в квантовой механике. Вырождение уровней энергии при наличии некоммутирующих интегралов движения.
9. Стационарные состояния, их основные свойства. Эволюция во времени состояний из дискретной и непрерывной частей энергетического спектра. Время жизни волнового пакета.
10. Матрицы плотности и смешанные состояния. Основные свойства матриц плотности. Средние значения физических величин в смешанном состоянии. Соотношение неопределенностей для некоммутирующих величин в смешанном состоянии.
11. Матрицы плотности подсистем. ”ЭПР-” парадоксы” измерения некоммутирующих величин в составных системах, их объяснение.
12. Координатное и импульсное представления. Волновая функция, ее вероятностная интерпретация.
13. Общие свойства ур-ния Шредингера для нерелятивистской частицы в потенциальном поле. Уравнение непрерывности, его физический смысл. Вариационный принцип для стационарного уравнения Шредингера.

14. Квантовая механика частицы в потенциальном поле для одного пространственного измерения. Основные свойства дискретного спектра. Специфика одномерной потенциальной ямы с равновысокими стенками.
15. Одномерное рассеяние на потенциале с регулярными асимптотиками $V(\pm\infty) = V_{\pm}$ в стационарной картине и через движение волновых пакетов.
16. Одномерное уравнение Шредингера с периодическим потенциалом. Теорема Флоке, функции Блоха, квазиимпульс и зоны Бриллюэна.
17. Квазиклассическое (ВКБ) приближение, условие применимости. Квазиклассические волновые функции, их продолжение через точки поворота. Правило квантования Бора-Зоммерфельда. Квазиклассическая оценка на число и плотность квантовых состояний через фазовый объем.
18. Туннельный эффект в ВКБ-приближении. Отражение от вертикальной потенциальной стенки. Волновые функции и разность энергий двух нижних уровней в потенциале вида "mexican hat". Молекула NH_3 , K_0 - и \bar{K}_0 -мезоны, вакуумные "bubbles" в сверхтекучем He^4 .
19. Частица в центрально-симметричном поле. Разделение переменных. Орбитальный момент, собственные функции и собственные значения l^2 и l_z . Природа целочисленности орбитального момента. Орбитальный момент в ВКБ-приближении. Конечный поворот как унитарное преобразование координатной волновой функции.
20. Радиальное уравнение Шредингера. Граничное условие при $r = 0$, его обоснование. Общие свойства энергетического спектра и волновых функций связанных состояний в центрально-симметричном поле. Падение на центр. Оценка Баргмана для числа связанных состояний с заданным l . ВКБ-приближение для радиального уравнения.
21. Угловой момент и конечные повороты в общем случае. Перестановочные соотношения для компонент момента. Спектр операторов J^2 , J_z . Матричные элементы компонент момента в базисе собственных векторов операторов J^2 , J_z . Операторы спина \vec{S} частицы, их матричные элементы при диагональном S_z . Спин $1/2$, основные свойства.
22. Сложение моментов. Коэффициенты векторного сложения, их основные свойства и физический смысл. Сложение двух спинов $1/2$, синглетные и триплетные спиновые волновые функции. Полный момент. Волновые функции частицы со спином $1/2$ в состоянии с орбитальным моментом l и полным моментом j .
23. Группа вращений. Конечные повороты как унитарные преобразования. Матрицы конечных вращений $D_J(\vec{\varphi})$, их основные свойства. Неприводимые тензоры (скаляр и вектор), их коммутаторы с компонентами полного углового момента системы как следствие законов преобразования при конечных поворотах. Теорема Вигнера-Эккарта для матричных элементов скаляра и вектора. Метод эквивалентных операторов.
24. Пространственная инверсия в квантовой механике. Четность орбитального состояния. Тензоры и псевдотензоры (на примере скаляра и вектора). Правила отбора по четности.
25. Toy model (Alice, Bob, ancilla) квантовой телепортации как задача об измерении в системе трех спинов $1/2$ физических величин совместно с фон Неймановской наблюдаемой (проектором на определенное состояние двух других спинов).

II семестр

26. Релятивистская квантовая механика. Уравнение Дирака. Уравнение непрерывности, его ковариантная форма. Спин частицы Дирака.
27. Заряженная частица Дирака во внешнем электромагнитном поле. Нерелятивистское приближение, уравнение Паули. Спиновый магнитный момент дираковской частицы.
28. Решения ур. Дирака для свободной частицы с определенным импульсом и спиральностью. Интерпретация состояний с отрицательной энергией. Позитроны как дырки в море Дирака. Зарядовая симметрия и C-преобразование.
29. Свободное движение волнового пакета дираковской частицы. Групповая скорость пакета для состояний с энергией определенного знака. Дрожание Шредингера для пакета общего вида, его интерпретация.
30. Квазирелятивистское разложение уравнения Дирака для электрона в центральном поле. Спин-орбитальное взаимодействие и другие релятивистские поправки, их физический смысл.
31. Релятивистский атом водорода. Точное решение для энергетического спектра, вырождение уровней. Зависимость от заряда и размеров ядра. Sparking vacuum.
32. Принцип неразличимости одинаковых по своим физическим характеристикам частиц в квантовой механике. Бозоны и фермионы. Числа заполнения. Волновая функция системы тождественных частиц, ее разложение по одночастичному базису. Возможность парастатистики в планарных системах.
33. Обменное взаимодействие. Эффективное спин-спиновое взаимодействие двух частиц со спином $1/2$ как следствие обменных эффектов. Природа (анти)ферромагнетизма. Одномерный ферромагнетик Гейзенберга. Спиновые волны (магноны).
34. Многоэлектронный атом в приближении самосогласованного поля. Оболочки, термы, обоснование 1-ого и 2-ого правил Хунда.
35. Разложение валентной оболочки на термы. Схемы Юнга. Построение волновых функций для термов через старшие вектора и определитель Слэтера.
36. Вариационные методы (Хартри и Хартри-Фока) для многоэлектронного атома (на примере ортогелия).
37. Модель Томаса-Ферми. Поправка Амальди. Связь между орбитальным моментом валентной оболочки и порядковым номером элемента в рамках модели ТФ, ее проявление в "тонкой" структуре периодической системы элементов.
38. Тонкая структура термов валентной оболочки в многоэлектронном атоме. LS- и JJ-типы связи. Обоснование 3-его правила Хунда.
39. Взаимодействие атомов на больших расстояниях. Обменные эффекты. Метод адиабатического приближения для молекулярной связи, его обоснование. Молекула водорода в приближении Гайтлера-Лондона.
40. Типы химической связи. Спаренные и валентные электроны. Химическая валентность, ее пространственная направленность. Гибридизация связей (на примере s- и p-оболочек). σ - и π -связи.
41. Общая постановка задачи для квантовых переходов. Нестационарная теория возмущений (Дирака). Поведение системы при мгновенном и адиабатическом изменении потенциала.

42. Золотое правило (Ферми) для скорости перехода в периодическом внешнем поле в первом порядке теории возмущений, область его применимости.
43. Прямые и последовательные переходы в непрерывном спектре для независимого от времени взаимодействия. Матрица реакций (Т-оператор) как сумма борновского ряда теории возмущений. Полная скорость перехода при несовпадающих начальном и конечном состояниях. Уравнение Липпмана-Швингера в операторной и векторной формах.
44. S-матричная формулировка задачи о переходах. Взаимосвязь между матричными элементами S- и T-матриц. Скорость перехода в общем случае. Оптическая теорема для переходов как следствие унитарности эволюции. Переходы в системах тождественных частиц, обменные эффекты.
45. Обращение времени в квантовой механике. Теорема взаимности и принцип детального равновесия для обращенных во времени переходов. Теорема Крамерса.
46. Эволюция состояний, принадлежащих непрерывному энергетическому спектру. Закон распада и время жизни квазистационарного состояния. Форма и интенсивность линии. Соотношение между шириной лоренцева распределения по энергии и временем жизни.
47. Потенциальное упругое рассеяние. Амплитуда и дифференциальное сечение рассеяния, их выражение через T-матрицу. Уравнение Липпмана-Швингера и оптическая теорема для упругого рассеяния. Борновское приближение, область его применимости.
48. Парциальное разложение амплитуды и полного сечения упругого рассеяния для сферически-симметричного потенциала. Парциальные амплитуды и фазы рассеяния, методы их вычисления.
49. Поведение парциальных фаз и сечений при низкоэнергетическом рассеянии на потенциале конечного радиуса действия. Резонансное низкоэнергетическое рассеяние на неглубоком дискретном уровне, формула Бете-Пайерлса.
50. Парциальная амплитуда рассеяния как функция комплексного волнового числа (энергии). Дискретные, виртуальные и метастабильные уровни как нули функции Йоста в комплексной плоскости, их связь с резонансами.
51. Резонансное рассеяние на метастабильном состоянии. Связь между положением полюса амплитуды и характеристиками резонанса, формула Брейта-Вигнера.
52. Упругое потенциальное рассеяние при высоких энергиях. Приближение эйконала.
53. Квантование электромагнитного поля (в кулоновской калибровке). Фотоны, их энергия-импульс, спин и спиральность. Когерентные состояния и классические э-м поля. Эффект Казимира.
54. Взаимодействие электронов с фотонами. Теория возмущений. Э-м переходы в атомах. Однофотонные и многофотонные переходы. Угловая интенсивность однофотонного перехода в первом порядке теории возмущений. E1, M1 и E2 переходы. Скорость перехода в дипольном приближении.