

План лекций по курсу «Квантовая механика»

Часть 1

Глава 1. Волновая функция и уравнение Шредингера

1. Корпускулярно-волновой дуализм.
2. Волновая функция и уравнение Шредингера. Оператор Гамильтона.
3. Уравнение неразрывности. Плотность потока вероятности.
4. Стационарное уравнение Шредингера. Дискретный и непрерывный спектры энергии.
5. Свободное движение частицы. Нормировка волновых функций.
6. Принцип соответствия. Линейные операторы. Импульсное представление.
7. Средние значения физических величин.

Глава 2. Основные задачи квантовой механики

8. Одномерная прямоугольная потенциальная яма. Граничные условия. Квантовые ямы с бесконечно высокими и конечными барьерами. Четность состояний в симметричных ямах. Количество связанных состояний в яме с конечными барьерами. Пределы глубокой и мелкой ямы.
9. Линейный гармонический осциллятор. Спектр энергии и волновые функции. Полиномы Эрмита. Производящая функция для полиномов Эрмита, нормировка волновых функций. Расчет матричных элементов координаты и импульса.
10. Одномерный прямоугольный потенциальный барьер. Туннелирование частиц. Коэффициенты прохождения и отражения. Зависимость коэффициента прохождения от энергии частицы. Осцилляции коэффициента прохождения при надбарьерном прохождении. Почти прозрачный и слабо проницаемый барьеры.
11. Метод матриц переноса.
12. Применение метода матриц переноса для расчета коэффициента прохождения частицы через барьер и уровней размерного квантования в потенциальной яме.
13. Движение частицы в одномерном периодическом потенциале. Зоны Бриллюэна. Теорема Блоха.
14. Периодический потенциал «дираковская гребенка». Разрешенные и запрещенные зоны энергии.
15. Движение в центрально-симметричном поле. Оператор момента импульса. Сферические функции.
16. Свободное движение частицы. Сферические волны. Нормировка волновых функций.
17. Атом водорода. Спектр энергии и волновые функции связанных состояний. Полиномы Лагерра, вырожденная гипергеометрическая функция. Волновые функции состояний непрерывного спектра.

Глава 3. Основные принципы квантовой механики

18. Матричная формулировка квантовой механики.
19. Эрмитово сопряжение операторов. Эрмитовы операторы.
20. Гармонический осциллятор в операторном виде.
21. Коммутаторы операторов. Одновременная измеримость физических величин. Соотношения неопределенности Гейзенберга.
22. Дифференцирование операторов по времени.
23. Основы теории представлений. Импульсное представление, операторы координаты и импульса в импульсном представлении. Представления Шредингера и Гейзенберга.
24. Матрица плотности. Принцип квантовых биений.

Глава 4. Теория возмущений

25. Возмущения, не зависящие от времени. Теория возмущений для невырожденного уровня.
26. Вычисление энергии основного состояния атома гелия по теории возмущений.
27. Вариационный метод расчета основного состояния. Вычисление энергии основного состояния атома гелия вариационным методом.
28. Теория возмущений для вырожденных уровней. Секулярное уравнение.
29. Расщепление уровней в электрическом поле (эффект Штарка) в атоме водорода.
30. Основы теории молекул. Адиабатическое приближение.
31. Теория возмущений, зависящих от времени. Общий формализм. Оператор хронологизации. Метод Дайсона суммирования всех порядков теории возмущений.
32. Медленные (адиабатические) возмущения. Геометрическая фаза (фаза Берри).
33. Внезапные возмущения. Вероятности переходов между состояниями.

34. Переходы между дискретными состояниями под влиянием гармонического возмущения. Осцилляции Раби.
35. Переходы в состояния непрерывного спектра под влиянием гармонического возмущения. Золотое правило квантовой механики.

Глава 5. Рассеяние частиц

36. Рассеяние частиц в квантовой механике. Амплитуда рассеяния, сечение рассеяния.
37. Сечение рассеяния в борновском приближении.
38. Рассеяние на кулоновском центре. Формула Резерфорда.
39. Оптическая теорема.

Глава 6. Квазиклассическое приближение

40. Волновая функция в квазиклассическом приближении.
41. Граничные условия для квазиклассической волновой функции.
42. Правило квантования в квазиклассическом случае (правило Бора-Зоммерфельда).
43. Туннелирование частиц через потенциальный барьер. Квазиклассическое приближение.

Часть 2

Глава 7. Угловой момент и спин

44. Закон сохранения момента импульса в системе частиц. Оператор поворота на малый угол.
45. Оператор момента. Собственные значения момента.
46. Сложение моментов. Коэффициенты Клебша-Гордана.
47. Спин частицы. Волновая функция частицы со спином.
48. Частица со спином $1/2$. Спиноры. Оператор спина. Матрицы Паули.
49. Спиновые состояния двух частиц со спином $1/2$.
50. Неравенства Белла. Корреляция проекций спинов двух частиц.
51. Спиновая матрица плотности электронов. Частичная поляризация частиц по спину.
52. Уравнение Паули.
53. Движение электрона в постоянном однородном магнитном поле. Уровни Ландау.

Глава 8. Системы тождественных частиц

54. Принцип неразличимости одинаковых частиц. Симметрия волновой функции по отношению к перестановкам частиц. Бозоны и фермионы. Принцип Паули.
55. Вторичное квантование системы бозонов.
56. Колебания кристаллической решетки.
57. Квантование колебаний решетки. Фононы.
58. Квантование электромагнитного поля. Фотоны.
59. Обменное взаимодействие в системе двух электронов.
60. Молекула водорода.
61. Приближения Хартри и Хартри-Фока для многоэлектронных систем.
62. Вторичное квантование системы фермионов.

Глава 9. Релятивистское описание

63. Квантовое релятивистское описание бесспиновой частицы. Уравнение Клейна-Гордона.
64. Свободное релятивистское движение бесспиновой частицы. Волновые функции и спектр. Переход к нерелятивистскому пределу.
65. Движение бесспиновой частицы в электромагнитном поле. Тонкая структура p -мезонного атома.
66. Квантовое релятивистское описание частицы со спином $1/2$. Уравнение Дирака.
67. Движение частицы со спином $1/2$ в электромагнитном поле. Переход к нерелятивистскому пределу. Уравнение Паули.
68. Угловой момент в теории Дирака.
69. Свободное релятивистское движение электрона. Спиральность.

- 70. Эффект дрожащего движения.
- 71. Уравнение Дирака в ковариантной форме.
- 72. Преобразование волновых функций при переходе к другой системе отсчета.
- 73. Теория дырок. Электроны и позитроны. Зарядовое сопряжение функций.
- 74. Модель Кейна. Зонная структура полупроводников в модели Кейна.
- 75. Нейтрино. Квантовое описание безмассовой частицы со спином $1/2$. Линейный спектр электронов в твёрдых телах на примере графена, полуметаллов Вейля и поверхностных состояний в топологических изоляторах.
- 76. Разложение уравнения Дирака по степеням $1/c$. Релятивистские поправки к уравнению Шредингера.

Глава 10. Структура атомных уровней

- 77. Тонкая структура уровней атома водорода.
- 78. Сверхтонкое расщепление основного состояния атома водорода.
- 79. Многоэлектронные атомы. Приближение центрально-симметричного поля. Схема LS связи. Спектральные термы.
- 80. Атом в магнитном поле. Эффект Зеемана.

Глава 11. Электрон-фотонное взаимодействие

- 81. Электрон-фотонное взаимодействие. Вероятности поглощения и испускания фотонов.
- 82. Электрон-фотонное взаимодействие. Электрическое дипольное приближение. Правила отбора.
- 83. Радиационное время жизни возбужденных состояний.