

I. Основные понятия.

1. Микромир. Атомизм и дискретность, устойчивость атома. Атомные спектры. Волновые свойства частиц. Дифракционные опыты. Проявление квантовых эффектов в микро- и макромире.
2. Волны де-Бройля. Вероятностная интерпретация Борна. *Принцип суперпозиции*. Свободное движение с заданными энергией и импульсом; плоская волна. Пакет волн. *Фазовая и групповая скорости*. Расплывание волнового пакета.
3. Средние значения координаты и импульса и их неопределенности. *Соотношение неопределенностей Гейзенберга*. Принцип дополнительности Бора.

II. Волновая функция и операторы.

1. *Операторы координаты и импульса. Координатное и импульсное представления* Средние значения динамических величин. Операторы динамических величин (наблюдаемых), их линейность и эрмитовость. Операторная алгебра: сложение и умножение операторов. Операторные функции. Коммутатор операторов.
2. Дисперсия произвольной динамической величины. Состояния с определенным значением произвольной динамической величины. Собственные функции и собственные значения операторов динамических величин. Квантование. Дискретный и непрерывный спектр. Свойства собственных функций линейных эрмитовских операторов наблюдаемых величин: ортогональность, полнота.
3. Общая теория представлений. Матричная картина Гейзенберга. Вектор квантового состояния, бра и кет вектора. *Общее представление для операторов. Оператор плотности вероятности*. Одновременная измеримость наблюдаемых величин и обобщенное соотношение неопределенностей. Чистые и смешанные квантовые состояния. Матрица плотности.

III. Квантовая динамика.

1. Принцип причинности в квантовой механике. Роль оператора Гамильтона и *уравнение Шредингера*. Стационарные состояния. Сохранение числа частиц, *плотность потока вероятности и уравнение непрерывности*.
2. Зависимость средних значений механических величин от времени. *Производная оператора по времени*. Интегралы движения. Операторные уравнения Гамильтона. Теоремы Эренфеста. *Временное и стационарное уравнения Шредингера*. Оператор эволюции.

IV. Движение в потенциальном поле.

1. Общие свойства движения в потенциальном поле, не зависящем от времени. Фinitное и инфинитное движение; дискретный и непрерывный энергетический спектр.
2. Одномерное движение. Потенциальные барьеры и ямы. Классические точки поворота. Невырожденность энергетического спектра в одномерном случае. Движение в прямоугольной потенциальной яме. Состояния с определенной четностью.
3. Одномерный гармонический осциллятор, его *энергетический спектр*. Эквидистантность спектра. Узлы волновых функций стационарных состояний и осцилляторная теорема.
4. Гармонический осциллятор в представлении чисел заполнения. Операторы рождения и уничтожения, элементарные возбуждения осциллятора. Когерентные состояния и классический предел.

V. Квазиклассическое приближение.

1. Предельный переход в уравнении Шредингера к классической механике. Связь с уравнениями Гамильтона-Якоби классической механики. Связь фазы волновой функции с классической функцией действия.
2. Приближение ВКБ для стационарных состояний, квазиклассическая волновая функция, ее вид в областях доступных и недоступных для классического движения. Поведение волновых функций вблизи классических точек поворота и сшивание квазиклассических решений.
3. Фinitное квазиклассическое движение. *Правила квантования Бора-Зоммерфельда*.
4. Прохождение через квазиклассический потенциальный барьер. Квазистационарные состояния, ширина квазистационарного состояния.

VI. Движение в центральном поле.

1. Задача двух тел. Разделение переменных движения системы как целого и относительного движения. Движение в центральном поле. Разделение переменных углового и радиального движений.
2. Оператор момента количества движения, его свойства и *перестановочные соотношения*. Состояния с определенными значениями $\vec{L}^2$ и L_z - сферические гармоники. *Четность состояний в центральном поле*.
3. Радиальное уравнение Шредингера, эквивалентная одномерная задача. Поведение радиальной волновой функции на больших и малых расстояниях.

1. Состояния и энергетический спектр движения в кулоновом поле. Атом водорода, одноэлектронные ионы, позитроний. Атомные единицы.

2. Решение радиального уравнения. Боровский спектр. Вырождение энергетических уровней. Случайное вырождение и четность состояний с заданной энергией; связь с замкнутостью классических кеплеровых орбит. Формула Бальмера. Энергетический спектр щелочных металлов.

4. Двухатомные молекулы. Колебательный и вращательный спектры. Взаимодействие молекул на больших расстояниях, силы Ван-дер-Ваальса, простая осцилляторная модель.

VIII. Спин, сложение моментов, движение в магнитном поле

1. Движение частицы в магнитном поле, опыты Штерна-Герлаха, обнаружение спина. Спиновый магнитный момент электрона. *Матрицы Паули, спиноры*. Уравнение Паули, движение спина в магнитном поле.

2. Сложение моментов, волновые функции с определенным полным моментом, вычисление коэффициентов Клебша-Жордана.

IX. Стационарная теория возмущений.

1. Общая формулировка проблемы: решение квантовой задачи при наличии близкой точно решаемой задачи. Построение общего решения при условии малости возмущения.

2. Случай невырожденного спектра точно решаемой задачи. *Поправка 1-го порядка*, 2-й порядок теории возмущений.

Теория возмущений при наличии вырождения. Пересечение термов.

3. Атом во внешнем электрическом поле, эффект Штарка.

4. Спин-орбитальное взаимодействие. *Постоянная тонкой структуры*.

5. Атом в магнитном поле, эффект Зеемана, фактор Ланде.

X. Тожественные частицы.

1. Тожественность частиц, бозоны и фермионы, *связь спина со статистикой*. Обменное взаимодействие.

X|. Нестационарная теория возмущений, излучение атомов.

1. Разложение нестационарного решения по стационарным решениям невозмущенной задачи. Решение методом теории возмущений. Возмущение, действующее конечное время. Возмущение, не исчезающее в пределе $t \rightarrow \infty$. Переходы под действием периодического возмущения. Золотое правило Ферми.

2. Квантование электромагнитного поля. Дипольное излучение атомов. Правила отбора для дипольных переходов. Спонтанное и индуцированное излучение.

XII. Теория рассеяния.

1. Рассеяние частицы на внешнем потенциале. Функция Грина задачи рассеяния. Асимптотика волновой функции задачи рассеяния; амплитуда рассеяния. Дифференциальное и полное сечение рассеяния.

2. Оптическая теорема.

2. Борновский ряд, *первое борновское приближение*; условие его справедливости. Кулоновское рассеяние, формула Резерфорда. Атомный формфактор.

Литература:

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Квантовая механика.
2. Д.И. Блохинцев. Основы квантовой механики.
3. В.Г. Левич, Ю.А. Вдовин, В.А. Мямлин. Курс теоретической физики, т.2.
4. А.С. Давыдов. Квантовая механика.
5. А.И. Базь, Я.Б. Зельдович, А.М. Переломов. Рассеяние, реакции и распады в нерелятивистской квантовой механике.
6. Фейнмановские лекции по физике, тт.8 и 9.
7. Вихман. Квантовая физика (т.4 берклевского курса).
8. Э.В. Шпольский. Атомная физика.
9. У. Фано, Л. Фано. Физика атомов и молекул.

Программу составил
доцент кафедры ЭФУ и У

О.В. Жиров