ИНСТИТУТ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК И ЭКОЛОГИИ

ПРОГРАММА по курсу:

КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА. I.

для студентов 3 курса (V семестр)

Авторы: академик Беляев Спартак Тимофеевич,
доцент Толоконников Сергей Владимирович

1. *Введение.* Общая структура классической физики; два принципиально различных объекта с различным описанием: координаты, импульс, движение по траектории для частиц; амплитуды и фазы с возможностью интерференции для электромагнитных волн. Эксперименты, размывающие границы: фотоэффект, эффект Комптона; кванты света, постоянная Планка как коэффициент пропорциональности между частотой и энергией кванта; дифракция электронов.

   Принципиальные вопросы, необъясняемые классической физикой: излучение черного тела; планетарная модель атома (почему атомы идентичны и устойчивы, линии в их спектрах излучения).

   Пути сближения в описании волн и частиц; геометрическая оптика - движение волновых пакетов в неоднородной среде с фазой, зависящей от координат и времени, групповая скорость, соотношение неопределенности. Уравнения Гамильтона-Якоби, аналогия действия с фазой в геометрической оптике.

   Необходимость волнового описания в квантовой механике (де Бройль). Уравнение Шредингера для свободного движения (из волнового уравнения с заменой скорости света на фазовую скорость для частицы).

2. *Математический аппарат квантовой механики.* Пространство состояний (Гильбертово), его размерность. Вектора состояний (в формализме Дирака). Базис. Операторы, их собственные вектора и собственные значения, дискретный и непрерывный спектры. Унитарные преобразования. Принципы физического описания (амплитуда, плотность, поток вероятности). Средние значения физических величин. Стационарные состояния. Соотношение неопределенности для некоммутирующих динамических переменных. Уравнения Гайзенберга для операторов.

3. *Уравнение Шредингера и его свойства.* Требования к решениям. Ток и уравнение непрерывности. Стационарные состояния, дискретный и непрерывный спектр энергий. Интегралы движения и симметрии. Простые одномерные задачи. Прямоугольная яма. Прохождение через барьер. Дельта-функционный потенциал. Общие свойства спектра (дискретность, непрерывность, наличие связанного состояния) для одномерного движения. Уравнение Шредингера в импульсном представлении. Приложения: когда есть уровень в мелкой яме (зависимость от размерности пространства); решение в однородном поле, асимптотика по обе стороны от точки поворота.

4. *Линейный гармонический осциллятор.* Решение дифференциального уравнения. Связь с классическим описанием для высоких состояний. Введение операторов рождения и уничтожения "квантов"и нахождение векторов состояний в формализме чисел заполнения. Когерентные состояния осциллятора.

5. *Связь с классической механикой и квазиклассическое приближение.* Уравнения Эренфеста. Вид волновой функции в квазиклассике, нарушение условий ее применимости вблизи точек поворота. Граничные условия (аналитическое продолжение через комплексную плоскость). Финитное движение и правило квантования Бора. Плотность квантовых состояний в фазовом пространстве. Инфинитное движение и прохождение через потенциальный барьер.

6. *Оператор момента.* Коммутационные соотношения для компонент орбитального момента. Общие следствия коммутационных соотношений. Собственные векторы и собственные значения операторов момента. Орбитальный момент в координитном представлении. Сферические

функции и их свойства. Связь с гармоническими полиномами. Групповые свойства. Приводимые и неприводимые представления (на примере гармонических полиномов и сферических функций). Сложение моментов, коэффициенты Клебша-Гордона.

7. *Спин электрона.* Оператор спина. Матрицы Паули и их свойства. Спиновая волновая функция. Спиновая матрица плотности. Оператор магнитного момента электрона. Уравнение Шредингера во внешнем электромагнитном поле (уравнение Паули). Градиентная инвариантность. Движение электронов в однородном магнитном поле. Уровни Ландау. Спин в переменном магнитном поле. Плотность тока в магнитном поле.

8. *Движение в центрально-симметричном поле.* Свободное движение. Разложение плоской волны по сферическим функциям. Разделение переменных в задаче двух тел. Радиальное уравнение, асимптотика и нули волновой функции. Сферическая яма, случай одного мелкого уровня, модель дейтона. Пространственно-изотропный осциллятор.

9. *Водородоподобный атом* Энергетический спектр, волновые функции, случайное вырождение. Зависимость результатов от величины заряда и масс. Импульсное представление. Позитроний, мезоатомы.

10. *Стационарная теория возмущений.* Дискретный спектр (метод с проекционными операторами). Энергия основного состояния атома гелия. Случай вырождения. Эффект Штарка в водороде. Случай двух близких уровней.

11. *Нестационарная теория возмущений.* Переходы в дискретном спектре под действием ограниченного по времени возмущения. Внезапные и адиабатические возмущения. Периодические по времени возмущения. Случай близкий к резонансу. Переходы в непрерывный спектр.

12. *Переходы в непрерывном спектре под действием постоянного возмущения.* Сечение рассеяния. Функция Грина для одночастичного уравнения Шредингера, выбор полюсов для задачи рассеяния. Связь амплитуды рассеяния с точной волновой функцией. Амплитуда в Борновском приближении, критерий применимости для медленных и быстрых частиц. Рассеяние электрона на атоме, предел медленных и быстрых частиц.

13. *Системы тождественных частиц.* Неразличимость одинаковых частиц в квантовой механике. Следствия для симметрии волновых функций. Статистика Бозе и Ферми. Принцип Паули. Волновые функции в представлении чисел заполнения. Операторы рождения и уничтожения. Их правила коммутации для Бозе и Ферми частиц. Роль спиновой части волновых функций.

ЛИТЕРАТУРА

ОСНОВНАЯ:

1. Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. Квантовая механика. Москва, "Наука 1989.
2. А. С. Давыдов. Квантовая механика. Москва, "Наука 1973.
3. П. А. Дирак. Принципы квантовой механики. Москва, "Наука 1979.
4. В. М. Галицкий, Б. М. Карнаков, В. И. Коган. Задачи по квантовой механике. Москва, "Наука 1981.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ:

1. А. Мессиа. Квантовая механика. Том 1. Москва, "Наука 1978. Том 2. Москва, "Наука 1979.
2. Д. И. Блохинцев. Основы квантовой механики. Москва, "Наука 1976.
3. Л. Шифф. Квантовая механика. Москва, ИЛ, 1967.
4. З. Флюгге. Задачи по квантовой механике. Том 1, Москва, "Мир 1974. Том 2, Москва, "Мир 1975.