

Университет Дмитрия Пожарского

**Программа дисциплины**

**«Квантовая механика»**

**Аннотация**

Едва ли существует другая наука, которая бы настолько поменяла наше представление о реальности, как квантовая механика, хотя этот факт все еще не стал широко известным, поскольку эта наука в основном имеет дело с объектами и явлениями весьма далекими от повседневного опыта. Кажется вполне вероятным, однако, что в будущем область применимости квантового описания может существенно расшириться, поэтому знание основ квантовой механики представляется необходимым самому широкому кругу современных исследователей.

Данный курс предполагает, во-первых, знакомство с основными положениями и подходами квантовой теории, в объеме, примерно соответствующем стандартному курсу, читаемому студентам-физикам (впрочем, объем этот может варьироваться, в зависимости от уровня предварительной подготовки слушателей и их интересов). Без этого практически невозможно серьезно обсуждать ни интерпретации теории, ни возможные ее применения за рамками физики. Кроме этого, однако, предполагается уделить внимание как истории появления квантовой механики, так и возникающим при ее интерпретации проблемам методологического (философского) характера. История интересна, прежде всего, тем, что это поучительный пример возникновения нового научного предмета практически из ничего, из первоначатьно небольшого количества непонятных экспериментальных наблюдений. Интерпретации же квантовой механики (фактически, возможные ответы на вопрос, "что же все это означает?") остаются предметом обсуждения вплоть до наших дней, это интересная и открытая тема.

И, разумеется, нужно будет отдельно обсудить возможность использования квантовых объектов в информатике (квантовый компьютер), а также поиски квантового поведения за пределами физики микромира.

Для полноценного усвоения данного курса необходимо знание физики в объеме курсов 1–го года обучения: механики и электродинамики, а также высшей математики в объеме курсов: основы теории вероятности и прикладная математика. Планируется проведение семинаров с решением задач и заключительный экзамен, на котором будут предложены задачи, подобные тем, что прилагаются ниже.

1. **Темы лекционных и семинарских занятий**
2. Краткая история возникновения квантовой механики. Почему классической физики оказалось недостаточно? Основные проблемы доквантовой физики: проблема излучения черного тела, проблема устойчивости атома. Что такое "квант"? Нильс Бор и его "старая квантовая теория".
3. Корпускулярно-волновой дуализм. Волновые свойства электрона, волны де-Бройля, принцип дополнительности. Проблема измерительного прибора, соотношение неопределенностей Гейзенберга. Шредингеровский подход, волновая функция. Борновская вероятностная интерпретация.
4. Математический аппарат квантовой механики. Понятие о гильбертовом пространстве, состояниях, наблюдаемых и соответствующих им самосопряженных операторах. Операторы импульса и координаты, коммутационные соотношения. Гамильтониан, оператор эволюции. Матрица плотности и функция Вигнера.
5. Простейшие квантово-механические задачи. Движение свободной частицы. Волновой пакет, расплывание волнового пакета. Квантование гармонического осциллятора. Волновые функции, спектр осциллятора. Когерентные состояния. Операторы рождения и уничтожения.
6. Движение в одном пространственном измерении. Задача о прямоугольной яме, связанные состояния в мелкой яме, двухъямный потенциал. Вариационный принцип для энергии основного состояния. Туннелирование, распад метастабильного состояния. Рассеяние на внешнем потенциале, коэффициенты прохождения и отражения, надбарьерное отражение. Квазиклассическое приближение.
7. Фейнмановский подход к квантовой механике, суммирование амплитуд вероятности. Интегралы по траекториям, простейшие примеры. Квазиклассическое приближение и метод перевала в интеграле по траекториям. Представление об инстантоне.
8. Движение в сферически-симметричном внешнем поле. Момент импульса, уравнение для волновой функции радиального движения. Атом водорода, особенности его энергетического спектра.
9. Теория возмущений. Стационарная теория возмущений. Переходы между уровнями под действием внешнего возмущения. "Золотое правило" Ферми.
10. Адиабатическое приближение. Вероятность перехода между уровнями в медленно меняющемся внешнем поле. Фаза Берри. Двухатомная молекула.
11. Заряженная частица в магнитном поле. Уровни Ландау. Эффект Ааронова-Бома. Спектр частицы на кольце в поле соленоида. Поведение спектра при изменении потока сквозь кольцо. Магнитный монополь в квантовой механике.
12. Понятие о спине. Матрицы Паули, гамильтониан частицы со спином в магнитном поле. "Ферми-осциллятор" (двухуровневая система), фермиевские операторы рождения и уничтожение в задачах со спином. Суперсимметричная квантовая механика.
13. Тождественные частицы. Волновая функция системы многих частиц, симметрия относительно перестановок. Ферми и Бозе статистики. Связь спина и статистики. Идеальные Ферми и Бозе газы.
14. Представление о теории рассеяния. Амплитуда рассеяния, фаза рассеяния. Борновское приближение. Рассеяние на короткодействующем потенциале, длина рассеяния. Резонансное рассеяние.
15. Парадоксы и интерпретации квантовой механики. Кот Шредингера. Мысленный эксперимент Эйнштейна-Подольского-Розена и эксперименты Аспека. Запутанные состояния, квантовая телепортация. Неравенства Белла. Проблема перехода к классической физике. Влияние окружения на разрушение квантовой когерентности, модель Калдейры-Леггета.
16. Квантовый компьютер. Кубит, квантовые алгоритмы. Возможные физические реализации и проблемы. Квантовая теория информации.
17. Что еще может быть квантовым? Квантовая психология, социология, экономика?
18. **Примеры задач, предлагаемых на экзамене:**
19. Проверить эрмитовость операторов импульса, координаты, момента.
20. Вычислить коммутатор двух матриц Паули.
21. Найти собственную функцию и энергию основного состояния в дельта-образной яме.
22. Найти основное состояние в потенциале, имеющим вид двух дельта-образных ям.
23. Найти уровни энергии в сферически-симметричной потенциальной яме.
24. С помощью вариационного принципа оценить энергию основного состояния для простых одномерных потенциалов.
25. Найти коэффициенты прохождения и отражения для прямоугольного барьера и других барьеров различной формы.
26. С помощью теории возмущений найти поправку к энергии основного состояния гармонического осциллятора во внешнем поле V=ax.
27. Определить зависимость от расстояния энергии взаимодействия двух атомов, находящихся в основном 1s состоянии.
28. Электрон находится в состоянии с проекцией спина +1/2 на ось z. Какова вероятность различных проекций на радиальное направление **n**=**r**/r?
29. Найти в борновском приближении амплитуду рассеяния на кулоновском потенциале и на потенциале Юкавы.
30. **Список литературы**

Основная литература:

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Квантовая механика, Москва, Физматлит, 2004. – 800с.
2. Флюгге З. Задачи по квантовой механике, том 1, Москва, Мир, 1974. – 340с.
3. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М., Фейнмановские лекции по физике. Квантовая механика I и II, т. 8, 9, М.: Мир, 1966.

Дополнительная литература:

1. Фейнман Р., Хибс А. Квантовая механика и интегралы по траекториям. М.: Мир, 1968. - 384с.
2. Елютин П. В., Кривченков В. Д. Квантовая механика с задачами. ФИЗМАТЛИТ, УНЦ ДО 2001г. - 304 с. ISBN 5-9221-0077-7.
3. Джеммер М. Эволюция понятий квантовой механики. Москва, "Наука", 1985 г. – 379с.