

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Физико-технический факультет  
Кафедра теоретической физики и компьютерных технологий

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе,  
качеству образования – первый  
проректор

\_\_\_\_\_ А.Г. Иванов  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2011г.

**Рабочая учебная программа по дисциплине**

**Б3.Б.4 «КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ»**

Для направления 011800.62 Радиофизика

Профиль: Радиофизические методы по областям применения (экология, медицина, биофизика, геофизика и др.)

Квалификация (степень) выпускника – Бакалавр

Форма обучения очная

Краснодар 2011

Рабочая программа разработана в соответствии с ФГОС ВПО по направлению подготовки 011800.62 Радиофизика, утвержденным приказом Минобрнауки России от 18.01.20110 № 51, и примерной ООП.

Рецензенты:

А. И. Миков, заведующий кафедрой вычислительных технологий КубГУ, профессор, доктор физ.-мат. наук,

А. В. Павлова, доцент кафедры математического моделирования КубГУ, доктор физ.-мат. наук

Составитель:

профессор кафедры теоретической физики и компьютерных технологий Чижиков В.И.

Рабочая программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры теоретической физики и компьютерных технологий

«29» августа 2011г. протокол № 1

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ доктор физико-математических наук, профессор Чижиков В.И.

Рабочая программа одобрена на заседании учебно-методической комиссии физико-технического факультета «5» сентября 2011г. протокол № 1

Председатель УМК ФТФ

\_\_\_\_\_ Заведующий кафедрой физики и информационных систем, доктор физико-математических наук, профессор Богатов Н.М.

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью дисциплины является изучение закономерностей микромира как для нерелятивистского так и для релятивистского случаев.

Задачи учебного курса:

- познакомить студентов с фундаментальными положениями квантовой теории;
- в рамках нерелятивистской теории познакомить студентов с математическим аппаратом теории и уравнением Шредингера;
- познакомить студентов с элементарной теорией представлений квантовой теории;
- познакомить студентов с принципом соответствия и предельным переходом к классической механике;
- познакомить студентов с проблематикой релятивистской теории и решении ее в рамках теории Дирака;
- продемонстрировать применение рассмотренных методов к решению конкретных задач квантовой теории.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВПО

Дисциплина «Квантовая теория» – это дисциплина базовой части БЗ профессионального цикла дисциплин. Для ее успешного изучения необходимы знания и умения, приобретенные (или приобретаемые параллельно) в результате освоения предшествующих дисциплин: курсов модуля математика: «Математический анализ», «Аналитическая геометрия», «Линейная алгебра», «Векторный и тензорный анализ», «Дифференциальные уравнения», «Интегральные уравнения и вариационное исчисление», «Методы математической физики», а также курсов «Механика» и «Теоретическая механика».

Освоение дисциплины «Квантовая теория» необходимо при последующем изучении дисциплин «Физика конденсированного состояния», «Статистическая физика», а также для подготовки и написания выпускной квалификационной работы.

## 3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

• Знать:

- основные понятия квантовой теории;
- основные законы квантовой механики, эволюцию квантовых состояний с течением времени;
- связь квантовой теории с классической механикой;
- элементарную теорию представлений;
- основы квазирелятивистской теории движения частицы во внешнем поле;
- квантовую теорию систем тождественных частиц.

• Уметь:

- применять основные понятия и законы теории при решении задач;
- исследовать полученные результаты на приближенных моделях;
- применять методы теории возмущений;
- применять квазиклассический метод решения задач квантовой механики;
- применять вариационный метод при решении задач.

• Владеть:

- навыками работы в рамках изучаемых методов;
- математическим аппаратом квантовой теории.

В процессе освоения дисциплины у студента формируются следующие компетенции: способность использовать базовые теоретические знания (в том числе по дисциплинам профилизации) для решения профессиональных задач (ПК-1);

способность применять на практике базовые профессиональные навыки (ПК-2);

## 4. СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1 Содержание разделов дисциплины Структура дисциплины

#### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ПО РАЗДЕЛАМ И ВИДАМ ЗАНЯТИЙ

Раздел дисциплины	Лекции	Практические работы	Самост. работа студента	КСР	Экзамен	Всего
1	10	10	10	-		
2	8	8	9	1		
3	8	8	9	1		
4	8	8	9	1		
5	10	10	9	1		
6	8	8	9	1		
7	8	8	9	1		
8	8	8	9	1		
Итого	68	68	73	7	36	252

#### 4.2 Распределение видов учебной работы и их трудоемкости по разделам дисциплины

Раздел 1. Основные понятия квантовой теории. Физические основы квантовой теории. Ограниченность классической теории и необходимость перехода к квантовым понятиям. Гипотезы Планка, Эйнштейна, Бора, де Бройля. Корпускулярно-волновой дуализм. Основные понятия квантовой теории. Состояние квантово-механической системы. Волновая функция. Условие нормировки. Вероятностный смысл волновой функции. Принцип суперпозиции. Гильбертово пространство состояний. Операторы физических величин (наблюдаемых). Свойство собственных значений и собственных векторов линейных самосопряженных операторов. Дискретные и непрерывные спектры собственных значений и их физическая интерпретация. Разложение векторов состояний по системе собственных векторов наблюдаемой, физический смысл коэффициентов разложения. Нормировка собственных векторов в случаях дискретного и непрерывного спектров. Измерение физических величин, понятие идеального измерения. Средние значения физических величин. Полный набор наблюдаемых, одновременная измеримость физических величин. Соотношение неопределенности для некоммутирующих наблюдаемых.

Раздел 2. Изменение квантовых состояний с течением времени, Простейшие задачи квантовой механики. Изменение векторов состояний со временем. Представление Шредингера. Основное уравнение квантовой нерелятивистской теории – уравнение Шредингера. Уравнение непрерывности. Стационарные состояния и их свойства. Теоремы Эренфеста о переходе к классической теории. Изменение со временем средних значений. Интегралы движения и связь их с симметрией систем. Представление Гейзенберга. Уравнение Гейзенберга. Представление взаимодействия. Уравнение для волновой функции и наблюдаемых в представлении взаимодействия. Одномерные задачи квантовой теории. Линейный гармонический осциллятор в координатном, импульсном, матричном представлениях и в представлении чисел заполнения.

Раздел 3. Элементы теории представлений. Теория моментов. Элементы теории представлений. Обозначения Дирака. Различные представления векторов состояний и наблюдаемых. Переход от одного представления к другому как результат унитарного преобразования, свойства унитарных преобразований. Общая теория моментов. Собственные значения и собственные векторы операторов моментов. Матричные элементы моментов. Момент импульса частицы. Сферические функции. Операторы спина. Спин

электрона как пример системы с полуцелым моментом, матрицы Паули. Векторное сложение моментов, коэффициенты Клебша-Гордана.

Раздел 4. Движение частицы в центральном поле. Движение в центральном поле. Общая теория движения в центральном поле. Радиальное уравнение Шредингера и разложение по полиномам Лаггера. Теория водородоподобного атома.

Раздел 5. Приближенные методы квантовой теории. Приближенные методы квантовой теории. Переход к классической теории, квазиклассическое приближение, метод ВКБ. Туннельный эффект в квазиклассическом приближении. Условие квантования Бор-Зоммерфельда. Теория возмущений для стационарных задач с дискретным спектром при отсутствии и наличии вырождения, первое и второе приближения. Эффект Штарка. Вариационный метод. Нестационарная теория возмущений. Квантовые переходы под действием нестационарного возмущения. Адиабатическое и внезапное включение возмущения. Принцип детального равновесия.

Раздел 6. Квантовая теория рассеяния.

Упругое рассеяние частиц. Интегральное уравнение теории рассеяния. Амплитуда рассеяния, дифференциальное и полное сечения рассеяния. Борновское приближение, условие его применимости. Формула Резерфорда. Метод парциальных волн в теории рассеяния. Оптическая теорема.

Раздел 7. Основы релятивистской теории.

Основы релятивистской квантовой теории. Уравнение Клейна-Гордона-Фока (КГФ) и его применимость к описанию частиц с нулевым спином. Положительно- и отрицательно-частотные решения. Уравнение КГФ в электромагнитном поле. Уравнение Дирака и его применимость к описанию частиц со спином половина. Решение уравнения Дирака для свободных частиц. Частицы и античастицы. Уравнение Дирака в электромагнитном поле. Уравнение непрерывности. Первое квазирелятивистское приближение уравнения Дирака в электромагнитном поле. Уравнение Паули. Второе квазирелятивистское приближение. Смысл поправок. Тонкая и сверхтонкая структура водородоподобного атома. Понятие о лэмбовском сдвиге. Нормальный и аномальный эффекты Зеемана.

Раздел 8. Квантовая теория тождественных частиц. Тождественные частицы. Принцип неразличимости тождественных частиц. Симметричные и антисимметричные волновые функции. Бозоны и фермионы. Теория двухэлектронных атомов, пара- и орто- состояния, вклад обменных эффектов. Многоэлектронные атомы, метод Хартри-Фока. Статистический метод Томаса-Ферми. Теория простейших молекул.

### **4.3 Лабораторные работы**

Лабораторные работы не предусмотрены

### **4.4 Практические занятия**

Раздел 1. Линейные операторы. Волновая функция (4 часа).

Раздел 2. Уравнение Шредингера. Свободная частица (4 часа).

Раздел 3. Одномерное движение. Теория моментов (4 часа).

Раздел 4. Движение частицы в центральном поле (4 часа).

Раздел 5. Квазиклассическое приближение. Теория возмущений (4 часа).

Раздел 6. Квантовая теория рассеяния. Борновское приближение (4 часа).

Раздел 7. Уравнение Дирака. Частицы и античастицы (6 часов).

Раздел 8. Тождественные частицы. Атом гелия (6 часов).

### **4.5 Самостоятельное изучение разделов дисциплины**

Раздел 1. Линейные операторы. Волновая функция (4 часа).

Раздел 2. Уравнение Шредингера. Свободная частица (4 часа).

Раздел 3. Одномерное движение. Теория моментов (4 часа).

Раздел 4. Движение частицы в центральном поле (4 часа).

Раздел 5. Квазиклассическое приближение. Теория возмущений (4 часа).

Раздел 6. Квантовая теория рассеяния. Борновское приближение (4 часа).

Раздел 7. Уравнение Дирака. Частицы и античастицы (6 часов).

Раздел 8. Тожественные частицы. Атом гелия (6 часов).

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В соответствии с требованиями ФГОС при реализации различных видов учебной работы в процессе изучения дисциплины «Квантовая теория» предусматривается использование в учебном процессе следующих активных и интерактивных форм проведения занятий:

- лекции;
- практические занятия;
- работа в малых группах.

## 6. ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ИНТЕРАКТИВНЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Главный акцент сделан на решении практических задач и обсуждении результатов.

## 7. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Примерные задания для контрольной работы

1. Найти уровни энергии в симметричной одномерной потенциальной яме: при ; при .
2. Найти вероятность отражения частицы при прохождении над одномерным потенциальным барьером при ; при (энергия частицы больше высоты барьера).
3. Найти уровни энергии и вектора состояния одномерного гармонического осциллятора в постоянном внешнем поле. Сравнить точный ответ с первой поправкой к осцилляторным уровням энергии, если внешнее поле рассматривается как возмущение.
4. Найти дифференциальное сочетание упругого рассеяния - частицы на частице (в системе центра масс).
5. В ВКБ – приближении найти уровни энергии частицы массы в потенциальном поле вида при ; при .
6. В ВКБ – приближении найти зависимость тока холодной эмиссии электронов с поверхности металла от приложенного электрического поля.
7. Найти – уровни энергии в сферически – симметричной яме: при ; при .
8. Найти – уровни энергии в сферической оболочке .
9. Найти вероятность пребывания электрона в классически запрещенной области для водородоподобного атома в основном состоянии.
10. Найти расщепление уровней энергии атома водорода в однородном магнитном поле
11. Рассчитать расщепление уровня атома водорода с в слабом однородном электрическом поле.
12. Пусть гамильтониан зависит от как от параметра и . Показать, что для нормированных на единицу векторов имеет место соотношение .
13. Определить соотношение интенсивности пятен на экране в опыте Штерна-Герлаха, если магнитное поле ориентировано по оси , а спины электронов падающего пучка ориентированы под углом к оси .
14. Показать, что если оператор  $A$  – скаляр, то его матричные элементы диагональны по и не зависят от .
15. Две частицы со спином  $1/2$ ; находятся в следующем состоянии: спин первой направлен вдоль оси , а спин второй направлен вдоль оси, составляющий угол с осью . Найти

вероятности обнаружить частицы в синглетном и триплетном состояниях по полному спину.

16. Двух уровневая система с состояниями  $\psi_1$ , энергии которых есть  $E_1$ , подвергается действию не зависящего от времени возмущения  $W$ . Вычислить вероятность обнаружить то или иное состояние в момент времени  $t$ , если в момент времени система находилась в основном состоянии.

17. Нейтральная частица со спином  $1/2$  и магнитным моментом находится в однородном магнитном поле, изменяющимся во времени по закону  $H = H_0 \cos \omega t$ . В момент времени проекция спина на направление поля была равна  $+\hbar/2$ . Определить вероятность перехода частицы к моменту времени  $t$  в состояние, в котором проекция спина на направление магнитного поля равна  $-\hbar/2$ .

18. Найти вероятность перехода атома трития из  $1s$  состояния в  $1s$  состояние иона при распаде одного из нейтронов ядра.

19. В борновском приближении вычислить дифференциальное и полное сечение рассеяния на потенциале Юкавы.

20. В борновском приближении найти амплитуду и дифференциальное сечение упругого рассеяния заряженной бесспиновой частицы на сферически – симметричном локализованном распределении заряда.

21. Вычислить амплитуду упругого рассеяния медленной частицы на потенциальной яме.

22. Определить полное сечение упругого рассеяния непроницаемой сферой радиуса  $R$  для медленных частиц, де-бройлевская длина волны которых  $\lambda \gg R$ .

23. Найти дифференциальное сечение упругого рассеяния частицы на частице (в системе центра масс).

24. Указать, между какими уровнями заряженного сферического гармонического осциллятора возможны электромагнитные переходы в дипольном приближении. Вычислить время жизни первого возбужденного состояния осциллятора в этом приближении.

### Перечень вопросов, которые выносятся на экзамен

1. Исходные посыпки квантовой механики
2. Волновая функция и ее свойства
3. Волновая функция свободного движения частицы
4. Свободное движение частицы в ограниченном пространстве
5. Средние значения физических величин
6. Операторы физических величин
7. Собственные значения и собственные функции операторов
8. Свойства дискретного спектра
9. Свойства непрерывного спектра
10. Одновременное измерение двух физических величин в одном и том же состоянии
11. Соотношение неопределенностей Гейзенберга для физических величин
12. Уравнение Шредингера
13. Стационарные состояния
14. Квантово-механическое уравнение непрерывности
15. Изменение физических величин с течением времени
16. Симметрия времени и пространства (Интегралы движения)
17. Предельный переход от квантовой механики к классической
18. Квазиклассическое приближение
19. Движение частицы над прямоугольным потенциальным барьером
20. Прохождение частицы через прямоугольный потенциальный барьер
21. Гармонический осциллятор
22. Общие особенности движения частицы в сферическом поле
23. Свободное движение частицы с определенным значением орбитального момента

24. Движение в сферически симметричной потенциальной яме
25. Движение в кулоновском поле. Дискретный спектр
26. Движение в кулоновском поле. Непрерывный спектр
27. Оператор углового момента
28. Векторное сложение угловых моментов

### Билеты к экзамену

#### БИЛЕТ №1

1. Исходные посылки квантовой механики
2. Релятивистское уравнение Дирака

#### БИЛЕТ №2

1. Волновая функция и ее свойства
2. Уравнение Клейна-Гордона-Фока

#### БИЛЕТ №3

1. Волновая функция свободного движения частицы
2. Элементарные частицы в квантовой механике

#### БИЛЕТ №4

1. Свободное движение частицы в ограниченном пространстве
2. Элементы теории возмущений

#### БИЛЕТ №5

1. Средние значения физических величин
2. Векторное сложение угловых моментов

#### БИЛЕТ №6

1. Операторы физических величин
2. Оператор углового момента

#### БИЛЕТ №7

1. Собственные значения и собственные функции операторов
2. Движение в кулоновском поле. Непрерывный спектр

#### БИЛЕТ №8

1. Свойства дискретного спектра
2. Движение в кулоновском поле. Дискретный спектр

#### БИЛЕТ №9

1. Свойства непрерывного спектра
2. Движение в сферически симметричной потенциальной яме

#### БИЛЕТ №10

1. Одновременное измерение двух физических величин в одном и том же состоянии
2. Свободное движение частицы с определенным значением орбитального момента

#### БИЛЕТ №11

1. Соотношение неопределенностей Гейзенберга для физических величин
2. Общие особенности движения частицы в сферическом поле

#### БИЛЕТ №12

1. Уравнение Шредингера
2. Релятивистское уравнение Дирака

#### БИЛЕТ №13

1. Стационарные состояния
2. Свободное движение частиц в теории Дирака

#### БИЛЕТ №14

1. Квантово-механическое уравнение непрерывности
2. Уравнение Паули

#### БИЛЕТ №15

1. Изменение физических величин с течением времени



2. Спин-орбитальное взаимодействие

БИЛЕТ №16

1. Симметрия времени и пространства (Интегралы движения)
2. Уравнение Шредингера для системы тождественных частиц

БИЛЕТ №17

1. Предельный переход от квантовой механики к классической
2. Симметричные и антисимметричные волновые функции

БИЛЕТ №18

1. Квазиклассическое приближение
2. Основное состояние атома гелия

БИЛЕТ №19

1. Движение частицы над прямоугольным потенциальным барьером
2. Возбужденные состояния атома гелия

БИЛЕТ №20

1. Прохождение частицы через прямоугольный потенциальный барьер
2. Метод самосогласованного поля Хартри-Фока

БИЛЕТ №21

1. Гармонический осциллятор
2. Периодическая система Менделеева

## **8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **8.1 Основная литература**

1. Давыдов А.С. Квантовая механика. М.: Наука, 1973, 704 с.
2. Задачи по теоретической физике. Квантовая механика. Термодинамика статистическая физика. Краснодар, КубГУ, 2011, 92 с.

### **8.2. Дополнительная литература**

3. Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики. М.:Наука, 1983, 664 с.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. М.: Наука, 1974, 752 с.
5. Левич В.Г., Вдовин Ю.А., Мямлин В.А. Курс теоретической физики, т.2. М.: Наука, 1971, 936 с.
6. Фок В.А. Начала квантовой механики. М.: Наука, 1976, 376 с.
7. Гречко Л.Г. и др. Сборник задач по теоретической физике. М.:Высшая школа, 1984, 319 с.

## **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Компьютерные классы, лаб. 213С, 214С. Классы оснащены компьютерами, объединенными в локальную сеть.