

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное учреждение  
высшего профессионального образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт физики



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной деятельности КФУ

Проф. Таюрский Д.А.

\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

подписано электронно-цифровой подписью

**Программа дисциплины**  
Квантовая механика Б3.Б.4

Направление подготовки: 011800.62 - Радиофизика

Профиль подготовки: Телекоммуникационные системы и информационные технологии

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очно-заочное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Байбеков Э.И. , Соловьев О.В.

**Рецензент(ы):**

Малкин Б.З.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Прошин Ю. Н.

Протокол заседания кафедры No \_\_\_\_ от "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Учебно-методическая комиссия Института физики:

Протокол заседания УМК No \_\_\_\_ от "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Регистрационный No 669017

Казань  
2017

## **Содержание**

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) доцент, к.н. Байбеков Э.И. Кафедра теоретической физики Отделение физики , 1Edward.Baibekov@kpfu.ru ; доцент, к.н. Соловьев О.В. Кафедра теоретической физики Отделение физики , Oleg.Solovyev@kpfu.ru

## 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины "Квантовая теория" являются:

изучение основных методов описания эволюции и стационарных состояний систем микрочастиц;

знание основ математического аппарата квантовой теории;

овладение основами теории электронного строения атомов, молекул и конденсированных сред, необходимыми для дальнейшего изучения базовых дисциплин (физика сплошных сред Б8, квантовая радиофизика Б14) и дисциплин по выбору (основ и методов оптической и магнитной спектроскопии и современных средств информатики ДВ 2, ДВ5, ДВ10).

## 2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел " Б3.Б.4 Профессиональный" основной образовательной программы 011800.62 Радиофизика и относится к базовой (общепрофессиональной) части. Осваивается на 4 курсе, 7 семестр.

Дисциплина "Квантовая теория" входит в число базовых курсов теоретической физики (Б4), составляющих основу современного физического мировоззрения. Для освоения дисциплины обучающиеся должны владеть аппаратом дифференциального и интегрального исчисления, методами решения дифференциальных уравнений (в том числе, в частных производных), знать основы теории вероятностей, владеть методами классической аналитической механики, владеть Лагранжевым и Гамильтоновым формализмами.

Освоение Квантовой теории необходимо для последующего изучения Статистической физики, твердотельной электроники, Квантовой радиофизики

## 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-4	способность критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности
ОК-6	способность работать самостоятельно и в коллективе, способность к культуре социальных отношений
ОК-11 (общекультурные компетенции)	способностью собирать, обобщать и интерпретировать с использованием современных информационных технологий информацию, необходимую для формирования суждений по соответствующим специальным, научным, социальным и этическим проблемам
ОК-12 (общекультурные компетенции)	способностью к правильному использованию общенаучной и специальной терминологии
ПК-1 (профессиональные компетенции)	способностью использовать базовые теоретические знания для решения профессиональных задач

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-2 (профессиональные компетенции)	способностью применять на практике базовые профессиональные навыки

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

способы квантово-механического описания состояний физических систем;

2. должен уметь:

решать уравнения движения квантовой механики для волновых функций и операторов физических величин;

3. должен владеть:

навыками решения простейших задач о нахождении энергетического спектра и волновых функций микросистем.

4. должен продемонстрировать способность и готовность:

к дальнейшему обучению

#### 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных(ые) единиц(ы) 108 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины экзамен в 7 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

#### 4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

##### Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Основные понятия, постулаты и математический аппарат кантовой механики	7	1-6	12	6	0	Письменное домашнее задание

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
2.	Тема 2. Простейшие квантово-механические системы	7	7-9	6	2	0	Письменное домашнее задание
3.	Тема 3. Контрольная работа по темам 1-2	7	9	0	2	0	
4.	Тема 4. Спин	7	10-12	6	2	0	Письменное домашнее задание
5.	Тема 5. Теория возмущений	7	13-15	6	2	0	Письменное домашнее задание
6.	Тема 6. Многочастичные квантово-механические системы	7	16-18	6	2	0	Письменное домашнее задание
7.	Тема 7. Контрольная работа по темам 4-6	7	18	0	2	0	
	Тема . Итоговая форма контроля	7		0	0	0	Экзамен
	Итого			36	18	0	

## 4.2 Содержание дисциплины

### Тема 1. Основные понятия, постулаты и математический аппарат квантовой механики

#### **лекционное занятие (12 часа(ов)):**

Волновая функция, гильбертово пространство. Операторы, операции над операторами, коммутаторы. Собственные функции и собственные значения операторов: дискретный спектр, непрерывный спектр. Постулаты квантовой механики. Средние значения и вероятности различных значений физических величин. Одновременно измеримые физические величины. Соотношение неопределенностей Гейзенберга. Матричный подход в квантовой механике. Гамильтониан. Волновое уравнение. Стационарные состояния квантово-механической системы. Уравнение Шредингера. Плотность потока вероятности

#### **практическое занятие (6 часа(ов)):**

Решение задач по теме раздела

### Тема 2. Простейшие квантово-механические системы

#### **лекционное занятие (6 часа(ов)):**

Одномерное движение частицы в потенциальном поле, коэффициенты отражения и прохождения, туннельный эффект. Линейный гармонический осциллятор. Плоский ротатор. Пространственный ротатор. Атом водорода.

#### **практическое занятие (2 часа(ов)):**

Решение задач по теме раздела

### Тема 3. Контрольная работа по темам 1-2

#### **практическое занятие (2 часа(ов)):**

Решение задач контрольной работы

### Тема 4. Спин

**лекционное занятие (6 часа(ов)):**

Элементарная теория спина. Свойства частицы со спином 1/2.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Решение задач по теме раздела

**Тема 5. Теория возмущений**

**лекционное занятие (6 часа(ов)):**

Теория возмущений, не зависящих от времени: дискретный спектр (невырожденный и вырожденный случаи), непрерывный спектр. Нестационарная теория возмущений.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Решение задач по теме раздела

**Тема 6. Многочастичные квантово-механические системы**

**лекционное занятие (6 часа(ов)):**

Системы тождественных частиц. Представление вторичного квантования. Бозоны. Фермионы. Метод центрального поля в теории атомов. Молекула водорода.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Решение задач по теме раздела

**Тема 7. Контрольная работа по темам 4-6**

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Решение задач контрольной работы

**4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)**

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
1.	Тема 1. Основные понятия, постулаты и математический аппарат кантовой механики	7	1-6	подготовка домашнего задания	18	домашнее задание
2.	Тема 2. Простейшие квантово-механические системы	7	7-9	подготовка домашнего задания	9	домашнее задание
4.	Тема 4. Спин	7	10-12	подготовка домашнего задания	9	домашнее задание
5.	Тема 5. Теория возмущений	7	13-15	подготовка домашнего задания	9	домашнее задание
6.	Тема 6. Многочастичные квантово-механические системы	7	16-18	подготовка домашнего задания	9	домашнее задание
	Итого				54	

**5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения**

Курс лекций и практические занятия в группах

## **6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

### **Тема 1. Основные понятия, постулаты и математический аппарат квантовой механики**

домашнее задание , примерные вопросы:

Задачи по теме раздела

### **Тема 2. Простейшие квантово-механические системы**

домашнее задание , примерные вопросы:

Задачи по теме раздела

### **Тема 3. Контрольная работа по темам 1-2**

### **Тема 4. Спин**

домашнее задание , примерные вопросы:

Задачи по теме раздела

### **Тема 5. Теория возмущений**

домашнее задание , примерные вопросы:

Задачи по теме раздела

### **Тема 6. Многочастичные квантово-механические системы**

домашнее задание , примерные вопросы:

Задачи по теме раздела

### **Тема 7. Контрольная работа по темам 4-6**

### **Тема . Итоговая форма контроля**

Примерные вопросы к экзамену:

Регламент БРС

1 Контрольная работа ♦1 25

1 Контрольная работа ♦1 25

3 Экзамен 50

Примерные билеты на экзамен.

Билет 1.

Постулат 1. Волновая функция, ее физический смысл. Неопределенность фазы волновой функции. Вектор состояния в гильбертовом пространстве. Скалярное произведение векторов состояния в виде интеграла от произведения волновых функций. Нормировка векторов состояния (волновых функций). Постулат 2. Операторы: определение и связь с физическими величинами. Линейность оператора. Комплексно-сопряженный оператор. Транспонированный оператор. Эрмитово сопряженный оператор. Эрмитов оператор.

Билет 2.

Сумма и произведение (композиция) операторов. Эрмитово сопряженный оператор к произведению операторов. Оператор координаты. Оператор импульса. Обратный оператор. Обратный оператор к произведению операторов. Функция от оператора. Унитарный оператор. Коммутатор операторов. Свойства коммутатора. Вычисление коммутатора от операторов радиус-вектора и импульса.

Билет 3.

Операторы проекции момента импульса на декартовы оси в декартовых координатах. Операторы проекции момента импульса на декартовы оси в сферических координатах - принцип вывода, конечные выражения. Дельта-функция Дирака: определение и основные свойства, Фурье-образ. Плотность точечной массы через дельта-функцию Дирака.

Билет 4.



Собственные функции и собственные значения операторов. Вырожденные и невырожденные собственные значения. Вещественность собственных значений эрмитова оператора (физический смысл этого обстоятельства). Ортогональность собственных функций эрмитова оператора, соответствующих разным собственным значениям эрмитова оператора. Полнота системы собственных функций эрмитова оператора.

Билет 5.

Дискретный спектр эрмитова оператора: скалярное произведение собственных функций эрмитова оператора, коэффициенты разложения произвольной функции по базису из собственных функций эрмитова оператора. Те же вопросы для непрерывного спектра эрмитова оператора. Постулат 3 для дискретного спектра. Измерение физической величины: как связаны возможные результаты измерения с собственными значениями оператора, чему равна вероятность получить на эксперименте то или иное значение физической величины. Среднее значение физической величины в данном состоянии квантово-механической системы.

Билет 6.

Собственные функции оператора  $L_z$ . Постулат 3 для непрерывного спектра. Плотность вероятности получить на эксперименте данное значение физической величины. Собственные функции оператора  $P_x$ . Собственные функции оператора  $x$ .

Билет 7.

Одновременно измеримые физические величины. Связь одновременной измеримости и равенства нулю коммутатора операторов. Полный набор совместных наблюдаемых.

Билет 8.

Собственные функции оператора квадрата момента импульса, сферические функции. Разложение произвольной функции сферических углов по сферическим функциям. Вероятность определенного значения квадрата момента импульса через коэффициенты этого разложения. Вероятность определенного значения проекции момента импульса на ось  $z$  через коэффициенты этого разложения.

Билет 9.

Соотношение неопределенностей Гейзенберга: доказательство для произвольных наблюдаемых (не измеримых одновременно). Соотношение неопределенностей Гейзенберга для координаты и импульса.

Билет 10.

Матрица оператора физической величины. Физический смысл диагонального матричного элемента. Произведение матриц. Представление вектора состояния в виде столбца из коэффициентов разложения по базису. Действие оператора на вектор состояния в матричном виде. Переход к новому базису: как преобразуются столбцы векторов и матрицы операторов. Матрица эрмитова оператора в базисе из собственных функций.

Билет 11.

Постулат 4. Гамильтониан. Стационарные состояния квантово-механической системы. Свойства стационарных состояний. Волновое уравнение. Уравнение Шредингера.

Билет 12.

Стационарные состояния свободной частицы (одномерное движение). Оператор производной физической величины по времени. Сохраняющиеся величины.

Билет 13.

Плотность потока вероятности. Одномерное движение частицы в потенциальном поле. Задача первого типа. Пример - частица в бесконечно глубокой потенциальной яме: уровни энергии, волновые функции стационарных состояний.

Билет 14.

Одномерное движение частицы в потенциальном поле. Задача второго типа. Коэффициенты отражения и прохождения. Пример - прямоугольный потенциальный барьер, бесконечный в одну сторону; рассмотрение разных случаев соотношения энергии частицы и высоты барьера.



Билет 15.

Линейный гармонический осциллятор: гамильтониан, уровни энергии, волновые функции стационарных состояний. Матричные элементы операторов координаты и импульса в базисе стационарных состояний.

Билет 16.

Плоский ротатор. Пространственный ротатор. Атом водорода: гамильтониан, уровни энергии, волновые функции стационарных состояний.

Билет 17.

Теория возмущений, не зависящих от времени: дискретный спектр, невырожденный случай. Поправки к энергии 1-го и 2-го порядка. Поправки к волновым функциям 1-го порядка.

Билет 18.

Теория возмущений, не зависящих от времени: дискретный спектр, вырожденный случай. Диагонализация матрицы оператора возмущения. Поправки к энергии 1-го порядка. Правильные линейные комбинации. Двумерный (плоский) гармонический осциллятор: гамильтониан, уровни энергии, волновые функции стационарных состояний.

Билет 19.

Внутренний момент частицы (спин): сходства и отличия от момента импульса. Частица со спином  $\frac{1}{2}$ : матрицы операторов  $S_x$ ,  $S_y$ ,  $S_z$  в  $z$ -представлении, собственные вектора оператора  $S_y$  в  $z$ -представлении, матрицы операторов  $S_x$ ,  $S_y$ ,  $S_z$  в  $y$ -представлении и в  $x$ -представлении.

Билет 20.

Нестационарная теория возмущений. Квантовые переходы. Рассмотрение возмущения, стремящегося к конечному пределу.

Билет 21.

Системы тождественных частиц. Представление вторичного квантования. Бозоны. Фермионы.

Билет 22.

Метод центрального поля в теории атомов. Молекула водорода.

### 7.1. Основная литература:

1. Кочелаев Б.И. Квантовая теория: конспект лекций / Б. И. Кочелаев; Казан. федер. ун-т, Ин-т физики, Каф теорет. физики. - [2-е изд., перераб., доп. и испр.]. - Казань: [Казанский университет], 2013. - 222 с.
2. Давыдов А.С. Квантовая механика: учебное пособие. [Электронный ресурс] - СПб: БХВ Петербург, 2011. - 704 с. Режим доступа: - <http://znanium.com/bookread.php?book=351130>
3. Физика. Волновая оптика. Квантовая природа излучения. Элементы атомной и ядерной физики: Учеб. пос. / С.И.Кузнецов, А.М.Лидер - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Вузов. учеб.: НИЦ ИНФРА-М, 2015 - 212 с.: 60x90 1/16.(п) ISBN 978-5-9558-0350-0, 500 экз. <http://znanium.com/bookread.php?book=438135>

### 7.2. Дополнительная литература:

1. Соловьев О.В. Задачи по квантовой механике: волновые функции и операторы (уч.-метод. пособие). [Электронный ресурс] - 2013. - Казань. - КПФУ. Режим доступа: [http://kpfu.ru/docs/F1064181181/Zadachi\\_po\\_kvantovoi\\_mehanike.Volnovie\\_funkcii\\_i\\_operatori.pdf](http://kpfu.ru/docs/F1064181181/Zadachi_po_kvantovoi_mehanike.Volnovie_funkcii_i_operatori.pdf)
2. Борисёнок С.В., Кондратьев А.С. Квантовая статистическая механика. М.: Физматлит, 2011. - 136 с. <http://e.lanbook.com/view/book/2672/>

### 7.3. Интернет-ресурсы:

Lecture notes in Quantum Mechanics, 2012, by Doron Cohen - <http://arxiv.org/abs/quant-ph/0605180>  
сайт кафедры теоретической физики КПФУ - <http://old.kpfu.ru/f6/k2/index.php>  
сайт Научной библиотеки им. Н. И. Лобачевского - [http://www.kpfu.ru/main\\_page?p\\_sub=5056](http://www.kpfu.ru/main_page?p_sub=5056)  
сайт образовательного проекта А.Н. Варгина - <http://www.ph4s.ru>  
Электронная библиотека механико-математического факультета МГУ - <http://lib.mexmat.ru/>

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)**

Освоение дисциплины "Квантовая механика" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Учебные аудитории для проведения лекционных и практических занятий.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО с учетом рекомендаций и ПрООП ВПО по направлению и профилю подготовки бакалавров-радиофизиков.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 011800.62 "Радиофизика" и профилю подготовки Телекоммуникационные системы и информационные технологии .

Автор(ы):

Байбеков Э.И. \_\_\_\_\_

Соловьев О.В. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Малкин Б.З. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.