

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

Утверждено  
на заседании кафедры  
протокол от «4» март 2020 г. № 5  
Зав. кафедрой Вахитов Р.М.  
(Вахитов Р.М.)

Согласовано:  
Председатель УМК физико-  
технического институт Балапанов М.Х.  
(Балапанов М.Х.)

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ**

*(наименование дисциплины)*

**Б1.В.1.02.03 вариативная**

*(Цикл дисциплины и его часть (базовая, вариативная, дисциплина по выбору))*

**программа бакалавриата**

Направление подготовки (специальность)

Направления подготовки

**03.03.01 – Прикладные математика и физика**

*(наименование ООП ВПО направления подготовки или специальности с указанием кода)*

Квалификация  
**бакалавр**

Разработчик (составитель) д.ф.-м.н., проф. Вахитов Р.М. (должность, ученая степень, ученое звание)	<u>Вахитов Р.М.</u> Вахитов Р.М. (подпись, Фамилия И.О.)
--	--

Для приема: 2020 г.

Уфа 2020 г.

Составитель / составители:

Вахитов Р.М.

Заведующий кафедрой



Вахитов Р.М.

/ Ф.И.О./

### Список документов и материалов

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы	
2. Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы	

3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)	
4. Фонд оценочных средств по дисциплине	
4.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания	
4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций	
4.3. Рейтинг-план дисциплины (при необходимости)	
5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	
5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	
5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины	
6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине	

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине,  
соотнесенных с планируемыми результатами освоения  
образовательной программы**  
*(с ориентацией на карты компетенций)*

При изучении дисциплины «Квантовая теория» у обучающегося должны формироваться следующие компетенции:

ОПК-3 - способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач

ПК-1 - способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин

Для формирования указанных компетенций и освоения образовательной программы обучающийся должен показать следующие результаты обучения по дисциплине:

Результаты обучения	Формируемая компетенция (с указанием кода)	Примечание
Знания		
1. Знать систему образов, представлений и принципов, лежащих в основе квантовой теории, роль таких понятий как «волновая функция», «физическая величина», «состояние системы», «наблюдаемые и ненаблюдаемые величины» и т.д.	ОПК-3	
2. Знать особенности методов описания, объектов явлений, имеющих место в микромире, различные представления квантовых систем, область их использования и способы перехода от одного представления к другому.	ОПК-3,ПК-1	Кроме квантовой теории, эти вопросы входят в компетенцию следующих дисциплин: статистическая физика, квантовая теория твердого тела, квантовая теория магнетизма, квантовая электроника, нелинейные волны (ПК-1)
3. Знать основные уравнения квантовой теории, описывающие стационарные состояния квантовых систем и их эволюцию в нерелятивистской и релятивистской теории, приближенные методы расчета квантовых систем с учетом релятивистских поправок и границу их применимости, основные положения теории квантовых переходов и ее применение к простейшим квантовым системам, квантовые представления о вакууме, о строении атомов, молекул.	ОПК-3,ПК-1	
Умения		
1. Уметь пользоваться математическим аппаратом квантовой теории и решать квантовые задачи не только для систем, состоящих из одной частицы, но и многочастичные задачи.	ОПК-3, ПК-1	
2. Уметь анализировать квантовые процессы, квантовые переходы от одного состояния в другое, объяснять природу квантовых эффектов и явлений микромира.	ОПК-3, ПК-1	Эти вопросы входят также в компетенции квантовой электроники, квантовой теории магнетизма (ПК-1)
3. Уметь оценивать вклад квантовых эффектов в соответствующие явления макромира.	ПК-1, ОПК-3	Такие вопросы как спинорбитальное взаимодействия, теория валентности имеет важное значения для понимания и объяснения природы ферро-антиферро-ферри магнетизма (ОПК-3)

Владения (навыки / опыт деятельно сти)	1. Владеть понятийным и математическим аппаратом квантовой механики.	ОПК-3	
	2. Владеть навыками и методами решения простейших квантовомеханических задач нерелятивистской и релятивистской теории.	ОПК-3 ПК-1	Такие методы как теория вторичного квантования и теория унитарных преобразований, теория представлений также входят в компетенцию квантовой электродинамики и физики элементарных частиц.(ПК-1)
	3. Владеть навыками поиска анализа и обработки информации из различных источников (книги, журналы, интернет-ресурсы)	ОПК-3 ПК-1	

## 2. Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Квантовая теория» относится к вариативной части.

Дисциплина изучается на 3,4 курсе(ах) в 6-7 семестре(ах).

Данный курс предназначен для студентов направления 03.03.02 – Физика. Курс «Квантовая теория» является одной из центральных дисциплин специализации студентов-физиков различных специальностей. Она является базовым курсом при рассмотрении явлений атомного масштаба и требует для своего изучения привлечения знаний студентов из различных разделов общей и теоретической физики, а также математики, способствуя формированию целостного мировоззрения на микромир.

Вузовская учебная дисциплина «Квантовая теория» предусматривает системное изучение основополагающих принципов квантовой механики, освоение математического аппарата линейных самосопряженных операторов, анализа решений уравнений, определяющих состояния объектов микромира, построение моделей квантовых систем и квантовых процессов и анализ соответствующих уравнений, определяющих их состояния и эволюцию. Соответственно данная дисциплина состоит из нескольких разделов, изучение которых обуславливает привлечение знаний студентов из различных разделов математики, а также общей и теоретической физики.

Задача изучения дисциплины «Квантовая теория» заключается прежде всего в освоении новых образов, новых понятий и представлений квантовой механики, а также нового математического аппарата. Кроме того она заключается в том чтобы развивать и совершенствовать у студентов навыки их практического применения при описания объектов и явлений микромира, выработать умение сознательно и безошибочно употреблять изучаемую терминологию, разбираться в основных уравнениях квантовой теории и методах их анализа, тем самым поднимая уровень теоретического и практического владения излагаемыми вопросами, расширяя и укрепляя картину мировоззрения.

Для освоения данной дисциплины студенту необходимо освоить предварительно следующие дисциплины: общая физика: механика, электричество, магнетизм, оптика, атомная и ядерная физика; теоретическая физика: теоретическая механика, электродинамика; математика: математический анализ, аналитическая геометрия, линейная алгебра, векторный и тензорный анализ, теория функций комплексного переменного, дифференциальные уравнения, в том числе теория линейных дифференциальных операторов, теория вероятностей, интегральные уравнения и вариационное исчисление, методы математической физики.

Дисциплина «Квантовая теория» способствует овладению знаниями, умением и навыками, необходимыми для изучения дисциплин «Статистическая физика», «Квантовая теория твердого тела», «Квантовая теория магнетизма», «Квантовая электродинамика», «Нелинейные волны», «Квантовая электроника», а также при проведении научно-исследовательской работы и в частности для выполнения выпускной квалификационной работы (в том числе при численных вычислениях с использованием пакетов программ, основанных на первопринципных расчетах).

## 3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)

Содержание рабочей программы представлено в Приложении № 1.

## 2. Фонд оценочных средств по дисциплине

### 4.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Код и формулировка компетенции:

ОПК-3- способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач.

Этап (уровень освоения компетенции)	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	«Не зачтено»	«Зачтено»
Первый этап	<p>Знать систему образов, представлений и принципов, лежащих в основе квантовой теории.</p> <p>Знать основные положения теории линейных самосопряженных операторов, их спектральные свойства, алгебру данных операторов, их связь с наблюдаемыми физическими величинами.</p> <p>Знать различные представления о квантовых системах, методах их описания и способы перехода одного представления к другому, основы теории унитарных преобразований.</p> <p>Знать точные решения уравнения Шредингера для простейших квантовых систем, таких как бесконечно глубокая потенциальная яма, а также яма конечной глубины, линейный гармонический осциллятор, атом водорода.</p>	<p>Не знает основных понятий, представлений и принципов, лежащих в основе квантовой теории.</p> <p>Не знает математического аппарата, для описывания явлений и процессов в микромире.</p> <p>Не имеет никаких представлений об операторах физических величин, об их свойствах и действий над ними.</p> <p>Не знает, что такое «волновая функция», не знает её физического смысла, не знает практически ничего об уравнение Шредингера и методах его решения, а также решения уравнений Шредингера для простейших квантовых систем.</p>	<p>Знает основные понятия, представления и принципы, лежащие в основе квантовой теории.</p> <p>Знает и хорошо разбирается в математическом аппарате, для описывания явлений и процессов в микромире. Имеет представления об операторах физических величин, об их свойствах и действий над ними.</p> <p>Знает, что такое «волновая функция», знает её физический смысл, знает уравнение Шредингера и методы его решения, а также решения уравнения Шредингера для простейших квантовых систем.</p>
Второй этап	<p>Уметь пользоваться математическим аппаратом квантовой теории и решать квантовые задачи. Уметь</p>	<p>Не умеет пользоваться математическим аппаратом квантовой механики и решать квантовые задачи. Не умеет анализировать</p>	<p>Умеет пользоваться математическим аппаратом квантовой механики и решать квантовые задачи. Умеет анализировать квантовые процессы, объяснять</p>

	анализировать квантовые процессы, объяснять природу квантовых эффектов и явлений микромира.	квантовые процессы, объяснять природу квантовых эффектов и явлений микромира	природу квантовых эффектов и явлений микромира
Третий этап	Владеть математическим аппаратом квантовой теории для описания различных явлений в микромире, процессов взаимодействия частиц с внешними полями. Владеть методами решения задач на нахождение собственных функций и собственных значений линейных самосопряженных операторов, а также стационарного уравнения Шредингера. Владеть навыками поиска, анализа и обработки информации из различных источников (книги, журналы, интернет-ресурсы)	Не владеет математическим аппаратом квантовой теории для описания различных явлений в микромире, процессов взаимодействия частиц с внешними полями.. Не владеет методами решения задач на нахождение собственных функций и собственных значений линейных самосопряженных операторов, а также стационарного уравнения Шредингера. Не способен работать с различными источниками информации;	Владеет математическим аппаратом квантовой теории для описания различных явлений в микромире, процессов взаимодействия частиц с внешними полями. Владет методами решения задач на нахождение собственных функций и собственных значений линейных самосопряженных операторов, а также стационарного уравнения Шредингера. Владеет навыками работы с различными источниками информации;

ОПК-3- способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач.

Этап (уровень) освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2 («Не удовлетворительно»)	3 («Удовлетворительно»)	4 («Хорошо»)	5 («Отлично»)
Первый этап	Знать особенности методов описания, объектов, явлений, имеющих место в микромире, различные представления квантовых систем, область их использования и способы перехода от одного представления к другому. Знать основные уравнения квантовой теории, описывающие стационарные состояния квантовых систем, и их эволюцию в релятивистской теории, приближенные методы расчета	Не знает особенности методов описания, объектов, явлений, имеющих место в микромире, различные представления квантовых систем, область их использования и способы перехода от одного представления к другому. Не знает основные	Знает в целом особенности методов описания, объектов, явлений, имеющих место в микромире, различные представления квантовых систем, область их использования и способы перехода от одного представления к другому, но допускает грубые ошибки. Знает в целом основные уравнения квантовой	Знает особенности методов описания, объектов, явлений, имеющих место в микромире, различные представления квантовых систем, область их использования и способы перехода от одного представления к другому, но допускает незначительные ошибки.	Знает особенности методов описания, объектов, явлений, имеющих место в микромире, различные представления квантовых систем, область их использования и способы перехода от одного представления к другому, но допускает грубые ошибки. Знает основные уравнения квантовой теории, описывающие стационарные состояния квантовых систем,



	<p>квантовых систем с учетом релятивистских поправок, основные положения теории квантовых переходов и её применение к простейшим квантовым системам, границу их применимости, квантовые представления о вакууме, о строении атомов и молекул.</p>	<p>уравнения квантовой теории, описывающие стационарные состояния квантовых систем, и их эволюцию в релятивистской теории, приближенные методы расчета квантовых систем с учетом релятивистских поправок, основные положения теории квантовых переходов и её применение к простейшим квантовым системам, границу их применимости, квантовые представления о вакууме, о строении атомов и молекул.</p>	<p>теории, описывающие стационарные состояния квантовых систем, и их эволюцию в релятивистской теории, приближенные методы расчета квантовых систем с учетом релятивистских поправок, основные положения теории квантовых переходов и её применение к простейшим квантовым системам, границу их применимости, квантовые представления о вакууме, о строении атомов и молекул, но допускает грубые ошибки.</p>	<p>Знает основные уравнения квантовой теории, описывающие стационарные состояния квантовых систем, и их эволюцию в релятивистской теории, приближенные методы расчета квантовых систем с учетом релятивистских поправок, основные положения теории квантовых переходов и её применение к простейшим квантовым системам, границу их применимости, квантовые представления о вакууме, о строении атомов и молекул, но допускает незначительные ошибки.</p>	<p>и их эволюцию в релятивистской теории, приближенные методы расчета квантовых систем с учетом релятивистских поправок, основные положения теории квантовых переходов и её применение к простейшим квантовым системам, границу их применимости, квантовые представления о вакууме, о строении атомов и молекул.</p>
Второй этап	<p>Уметь анализировать квантовые процессы, квантовые переходы от одного состояния в другое, объяснять природу квантовых эффектов и явлений микромира. Уметь оценивать вклад квантовых эффектов в соответствующие явления макромира.</p>	<p>Не умеет анализировать квантовые процессы, квантовые переходы от одного состояния в другое, объяснять природу квантовых эффектов и явлений микромира. Не умеет оценивать вклад квантовых эффектов в соответствующие явления макромира.</p>	<p>Умеет анализировать квантовые процессы, квантовые переходы от одного состояния в другое, объяснять природу квантовых эффектов и явлений микромира, но допускает грубые ошибки. Умеет оценивать вклад квантовых эффектов в соответствующие явления макромира, но допускает грубые ошибки.</p>	<p>Умеет анализировать квантовые процессы, квантовые переходы от одного состояния в другое, объяснять природу квантовых эффектов и явлений микромира, но допускает незначительные ошибки. Умеет оценивать вклад квантовых эффектов в соответствующие явления макромира.</p>	<p>Умеет анализировать квантовые процессы, квантовые переходы от одного состояния в другое, объяснять природу квантовых эффектов и явлений микромира. Умеет оценивать вклад квантовых эффектов в соответствующие явления макромира.</p>

				явления макромира, но допускает незначительные ошибки.	
Третий этап	Владеть навыками и методами решения простейших квантовомеханических задач релятивистской теории. Владеть навыками поиска анализа и обработки информации из различных источников (книги, журналы, интернет-ресурсы)	Не владеет навыками и методами решения простейших квантовомеханических задач релятивистской теории. Не владеет навыками поиска анализа и обработки информации из различных источников (книги, журналы, интернет-ресурсы).	Владеет навыками и методами решения простейших квантовомеханических задач релятивистской теории, но допускает грубые ошибки. Владеет навыками поиска анализа и обработки информации из различных источников (книги, журналы, интернет-ресурсы), но допускает грубые ошибки.	Владеет навыками и методами решения простейших квантовомеханических задач релятивистской теории, но допускает незначительные ошибки. Владеет навыками поиска анализа и обработки информации из различных источников (книги, журналы, интернет-ресурсы), но допускает незначительные ошибки.	Владеет навыками и методами решения простейших квантовомеханических задач релятивистской теории. Владеет навыками поиска анализа и обработки информации из различных источников (книги, журналы, интернет-ресурсы)

ПК-1- способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин.

Этап (уровень освоения компетенции)	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	«Не зачтено»	«Зачтено»
Первый этап	Знать особенности методов описания объектов, явлений, имеющих место в микромире, область их использования. Знать основные уравнения квантовой механики, описывающие состояния квантовых объектов, приближенные методы расчета квантовых систем и границу их применимости, описывающих движение нерелятивистских частиц.	Не знает основных понятий квантовой теории, методов описания явлений, имеющих место в микромире, область их использования. Не знает основные уравнения квантовой механики, описывающие состояния квантовых объектов, приближенные методы расчета квантовых систем и границу их применимости, описывающих движение нерелятивистских частиц.	Знает основных понятий квантовой теории, методов описания явлений, имеющих место в микромире, область их использования. Не знает основные уравнения квантовой механики, описывающие состояния квантовых объектов, приближенные методы расчета квантовых систем и границу их применимости, описывающих движение нерелятивистских частиц.
Второй этап	Уметь оценивать вклад квантовых	Не умеет оценивать вклад квантовых эффектов в	Уверенно оценивает вклад квантовых эффектов в

	эффектов в соответствующие явления макромира.	соответствующие явления макромира.	соответствующие явления макромира.
Третий этап	Владеть навыками и методами решения простейших квантовомеханических задач, описывающих стационарные состояния для простейших квантовых систем.	Не владеет навыками и методами решения простейших квантовомеханических задач, описывающих стационарные состояния для простейших квантовых систем.	Владеет навыками и методами решения простейших квантовомеханических задач, описывающих стационарные состояния для простейших квантовых систем.

Этап (уровень) освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2 («Не удовлетворительно»)	3 («Удовлетворительно»)	4 («Хорошо»)	5 («Отлично»)
Первый этап (уровень)	Знать особенности методов описания, объектов явлений, имеющих место в микромире, различные представления квантовых систем. Знать основные уравнения квантовой теории, описывающие стационарные состояния квантовых систем и их эволюцию в нерелятивисткой и релятивисткой теории, приближенные методы расчета квантовых систем с учетом релятивистских поправок и границу их применимости, основные положения теории квантовых переходов и ее применение к простейшим квантовым системам, квантовые представления о вакууме, о строении атомов, молекул.	не знает основные уравнения квантовой механики нерелятивисткой и релятивисткой теории, приближенные методы расчета квантовых систем с учетом релятивистских поправок и границу их применимости, основные положения теории квантовых переходов.	знает в целом основные уравнения квантовой механики нерелятивисткой и релятивисткой теории, приближенные методы расчета квантовых систем с учетом релятивистских поправок и границу их применимости, основные положения теории квантовых переходов. но допускает грубые ошибки	знает основные уравнения квантовой механики нерелятивисткой и релятивисткой теории, приближенные методы расчета квантовых систем с учетом релятивистских поправок и границу их применимости, основные положения теории квантовых переходов, но допускает незначительные ошибки	знает основные уравнения квантовой механики нерелятивисткой и релятивисткой теории, приближенные методы расчета квантовых систем с учетом релятивистских поправок и границу их применимости, основные положения теории квантовых переходов.

Второй этап (уровень)	Уметь пользоваться математическим аппаратом квантовой теории и решать квантовые задачи не только для систем, состоящих из одной частицы, но и многочастичные задачи. Уметь оценивать вклад квантовых эффектов в соответствующие явления макромира.	Не умеет математическим аппаратом квантовой теории и решать квантовые задачи состоящих из одной частицы, но и многочастичные задачи. Не умеет оценивать вклад квантовых эффектов в соответствующие явления макромира.	В целом умеет пользоваться математическим аппаратом квантовой теории и решать квантовые задачи не только для систем, состоящих из одной частицы, но и многочастичные задачи. В целом умеет оценивать вклад квантовых эффектов в соответствующие явления макромира.но допускает грубые ошибки	умеет пользоваться математическим аппаратом квантовой теории и решать квантовые задачи не только для систем, состоящих из одной частицы, но и многочастичные задачи. Умеет оценивать вклад квантовых эффектов в соответствующие явления макромира., но допускает незначительные ошибки	умеет пользоваться математическим аппаратом квантовой теории и решать квантовые задачи не только для систем, состоящих из одной частицы, но и многочастичные задачи. Умеет оценивать вклад квантовых эффектов в соответствующие явления макромира.
Третий этап (уровень)	Владеть навыками и методами решения простейших квантовомеханических задач релятивистской теории. Владеть навыками поиска анализа и обработки информации из различных источников (книги, журналы, интернет-ресурсы)	не владеет навыками и методами решения простейших квантовомеханических задач релятивистской теории. Не владеет навыками поиска анализа и обработки информации из различных источников (книги, журналы, интернет-ресурсы)	В целом владеет навыками и методами решения простейших квантовомеханических задач релятивистской теории также навыками поиска анализа и обработки информации из различных источников (книги, журналы, интернет-ресурсы) но допускает грубые ошибки.	владеет владеет навыками и методами решения простейших квантовомеханических задач релятивистской теории также навыками поиска анализа и обработки информации из различных источников (книги, журналы, интернет-ресурсы) но допускает незначительные ошибки	владеет навыками и методами решения простейших квантовомеханических задач релятивистской теории также навыками поиска анализа и обработки информации из различных источников (книги, журналы, интернет-ресурсы)

Показатели сформированности компетенции:

Критериями оценивания являются баллы, которые выставляются преподавателем за виды деятельности (оценочные средства) по итогам изучения модулей (разделов дисциплины), перечисленных в рейтинг-плане дисциплины (*для экзамена*: текущий контроль – максимум 40 баллов; рубежный контроль – максимум 30 баллов, поощрительные баллы – максимум 10; *для зачета*: текущий контроль – максимум 50 баллов; рубежный контроль – максимум 50 баллов, поощрительные баллы – максимум 10).

Шкалы оценивания:

(*для экзамена*:

от 45 до 59 баллов – «удовлетворительно»;

от 60 до 79 баллов – «хорошо»;

от 80 баллов – «отлично».

для зачета:

зачтено – от 60 до 110 рейтинговых баллов (включая 10 поощрительных баллов),

не зачтено – от 0 до 59 рейтинговых баллов).

**4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

Этапы освоения	Результаты обучения	Компетенция	Оценочные средства
1-й этап Знания	1. Знать систему образов, представлений и принципов, лежащих в основе квантовой теории, роль таких понятий как «волновая функция», «физическая величина», «состояние системы», «наблюдаемые и ненаблюдаемые величины» и т.д.	ОПК-3	контрольные работы; тесты; решение задач на семинарских занятиях
	2. Знать особенности методов описания, объектов явлений, имеющих место в микромире, различные представления квантовых систем, область их использования и способы перехода от одного представления к другому.	ПК-1	
2-й этап Умения	1. Уметь пользоваться математическим аппаратом квантовой теории и решать квантовые задачи не только для систем, состоящих из одной частицы, но и многочастичные задачи.	ОПК-3	контрольные работы; тесты; решение задач семинарских занятиях
	2. Уметь анализировать квантовые процессы, квантовые переходы от одного состояния в другое, объяснять природу квантовых эффектов и явлений микромира.	ПК-1	
3-й этап	1. Владеть понятийным и	ОПК-3	контрольные работы; тесты;

Владеть навыками	математическим аппаратом квантовой механики.		решение задач
	2. Владеть навыками и методами решения простейших квантовомеханических задач нерелятивистской и релятивистской теории.	ПК-1	

### 2.3. *Рейтинг-план дисциплины (при необходимости)*

Рейтинг–план дисциплины представлен в приложении 2.

### Экзаменационные билеты

Примерные вопросы для рубежного и промежуточного контроля

1. Теория возмущений в стационарных состояниях с дискретным спектром.
2. Теория возмущений при наличии вырождения.
3. Теория квантовых переходов. Общее выражение для вероятности перехода из одного состояния в другое.
4. Адиабатическое и внезапное включение взаимодействия.
5. Вероятность переходов под влиянием возмущений, зависящих от времени.
6. Вероятность перехода в единицу времени. Переходы в случае непрерывного спектра. Переходы под действием периодического возмущения.
7. Поглощение и излучение света. Вероятность перехода.
8. Спонтанное и индуцированное излучение. Коэффициенты Эйнштейна.
9. Понятие о квантовой радиофизике. Лазеры и мазеры.
10. Принцип соответствия. Вероятность спонтанных и вынужденных переходов. Интенсивность излучения.
11. Правила отбора. Правила отбора осциллятора. Интенсивность излучения.
12. Правила отбора для оптического электрона в водородоподобном атоме.
13. Элементарные частицы в квантовой механике. Уравнение Клейна-Гордона. Релятивистские уравнения с нулевым спином.
14. Релятивистское уравнение Дирака.
15. Решение уравнения Дирака для свободной частицы.
16. Состояние с отрицательной энергией. Понятие об электрон-позитронном вакууме. Частицы и античастицы.
17. Момент количества движения электрона в теории Дирака. Спин. Полный момент количества движения.

18. Релятивистские поправки к движению электрона в электромагнитном поле. Уравнение Паули. Спиновый магнитный момент.
19. Спин-орбитальное взаимодействие.
20. Атом водорода с учетом спина электрона. Энергетические уровни. Правила отбора с учетом спина электрона. Тонкая структура атома водорода. Лэмбовский сдвиг. Сверхтонкая структура.
21. Ковариантная форма уравнения Дирака.
22. Зарядовое сопряжение. Частицы и античастицы.
23. Уравнения Дирака для частицы с нулевой массой покоя. Нейтрино. Спиральность. Инвариантность нейтрино относительно комбинированной инверсии. СРТ-инвариантность.
24. Атом во внешнем магнитном поле. Аномальный и нормальный эффекты Зеемана.
25. Эффект Пашена-Бака.
26. Эффект Штарка.
27. Квантовые системы, состоящие из одинаковых частиц. Уравнение Шредингера для системы частиц. Принцип тождественности микрочастиц. Оператор перестановок. Системы бозе-частиц и ферми частиц. Принцип Паули.
28. Волновые функции для системы частиц, ферми и бозе частиц. Симметричные и антисимметричные волновые функции. Схема Юнга.
29. Теория основного состояния атомов с двумя электронами.
30. Возбужденные состояния атома гелия. Пара и ортогелий. Обменная энергия. Обменное взаимодействие.
31. Вариационные методы. Методы Хартри-Фока.
32. Метод Томаса Ферми.
33. Заполнение электронных оболочек атома. Периодическая система Менделеева. Редкоземельные металлы. Заурановые элементы.
34. Спектральные и рентгеновские термы сложных атомов L-S-связь. J-J-связь.
35. Основные виды химической связи. Адиабатическое приближение. Гомеоплярные атомные молекулы.
36. Теория валентности.
37. Силы Ван-дер-Ваальса.
38. Энергетические уровни двухатомных молекул.
39. Теория упругого рассеяния. Амплитуда и дифференциальное сечение рассеяния. Борновское приближение и условия его применимости.
40. Борновское приближение для различных случаев рассеивающих полей, экранированное кулоновское поле, потенциал Гаусса, сферическая потенциальная яма.
41. Рассеяние быстро заряженных частиц атомами. Атомный форм-фактор.
42. Основы квантовой теории твердого тела. Электроны в периодической системе.
43. Основные понятия зонной теории.

Образец экзаменационного билета:

Приведен в приложении 3.

Перевод оценки из 100-балльной в четырехбалльную производится следующим образом:

- отлично – от 80 до 110 баллов (включая 10 поощрительных баллов);
- хорошо – от 60 до 79 баллов;
- удовлетворительно – от 45 до 59 баллов;
- неудовлетворительно – менее 45 баллов.

**Критерии оценки (в баллах):**

**(30 баллов)**

Ответ на вопрос должен показать глубокие, прочные знания студента. Ответ должен быть логичным и доказательным. Студенту необходимо знать основные понятия, термины, развернутые определения, использовать современные данные науки. Студент должен устанавливать причинно-следственные связи, применять знания в новой ситуации. Студент должен продемонстрировать умение делать аргументированные выводы.

**(20 баллов)**

Ответ студента должен показать глубокие, прочные знания. Ответ должен быть логичным и доказательным. Студенту необходимо знать основные понятия, термины, развернутые определения, использовать данные современной науки. Студенту необходимо устанавливать причинно-следственные связи, излагать материал с учетом принципов объективности и научности. В ответе допускаются отдельные несущественные неточности.

**(10 баллов)**

Ответ на вопросы должен показать знания поставленных вопросов. Необходимо знать основные понятия, термины, развернутые определения, фактический материал, использовать данные современной науки. В ответе могут допускаться существенные ошибки и неточности.

**(0 баллов)**

Ответ на поставленные вопросы показывает незнание его содержания, основных понятий, терминов. Студент не умеет устанавливать причинно-следственные связи, излагать материал с учетом принципов научности и объективности, анализировать указанные источники. Ответ студента не соответствует вопросу, а также при отсутствии ответа и при отказе от ответа.

Преподаватель может поощрить студентов за участие в научных конференциях, конкурсах, олимпиадах, за активную работу на аудиторных занятиях, за публикации статей, за работу со школьниками, выполнение заданий повышенной сложности в виде поощрительных баллов (до 10 баллов за семестр).

**Контрольная работа**

Пример варианта контрольной работы:

1. Найти коммутатор  $\hat{L}_k$ , где  $\hat{L}_k$  - компонента оператора момента импульса  $\hat{L} = [\hat{r}, \hat{p}]$ .
2. Эрмитов оператор  $\hat{f}$  удовлетворяет соотношению:  $\hat{f}^2 = a\hat{f}$ , где  $a$  - вещественное число. Каковы собственные значения такого оператора?
3.  $U(x) = \frac{m\omega^2 x^2}{2}$  (гармонический осциллятор). Найти спектр оператора Гамильтона  $\hat{H}$ .
4. Дано  $\hat{L}$  и  $\hat{L}^+$ . Найти СЗ.
5. В состоянии, описываемой волновой функцией  $\psi$ , пространственный ротатор имеет определенное значение момента и его проекции на ось  $O_z$ .  
Найти средние значения  $\hat{L}_x$  и  $\hat{L}_y$  в этой системе.

**Решение задач**

**Критерии оценки (в баллах)**



Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ и исчерпывающие верные рассуждения с прямым указанием наблюдаемых явлений и законов *1 балл*

Дан правильный ответ, и приведено объяснение, но в решении имеются один или несколько недостатков *0,5 баллов*

Нет правильного ответа *0 баллов*

### Примерные вопросы для тестирования

1. Возможна ли в релятивистской квантовой механике локализация частицы в сколь угодно малой области пространства?
  - 1) Да возможна, иначе зависимость волновой функции релятивистской частицы от координаты (координатное представление) потеряла бы смысл;
  - 2) невозможна в пространстве, линейные размеры которого меньше  $\hbar/4mc$ , т.к. в противном случае, в силу соотношений неопределенностей, частице будет сообщаться энергия  $p^2/2m > 2m_0c^2$ , которая необходима для образования пары частиц;
  - 3) да возможна, но в силу соотношения неопределенности Гейзенберга, неопределенность в импульсе частицы, будет сколь угодно велика;
  - 4) невозможна, т.к. согласно де Бройлю, частица - это есть волна, а для волны понятие локализации в определенной точке пространства отсутствует.
2. Какие конкретные соображения лежат в основе формального вывода релятивистского уравнения Дирака?
  - 1) Уравнение должно удовлетворять принципу суперпозиции, закону сохранения числа частиц и заряда;
  - 2) уравнение должно быть линейным и должно описывать состояния всех частиц, движущихся с релятивистскими скоростями
  - 3) уравнение должно описывать взаимодействие всех элементарных частиц и их взаимные превращения;
  - 4) уравнение должно быть уравнением I порядка относительно времени, релятивистски инвариантным и должно удовлетворять принципу суперпозиции;
3. Релятивистское уравнение Дирака для свободной частицы имеет вид:

$$1) \quad E = c\sqrt{p^2 + m_0c^2}; \quad 2) \quad \frac{d\hat{s}}{dt} = \frac{\partial \hat{s}}{\partial t} + \frac{1}{i\hbar}[\hat{s}, \hat{H}]; \quad 3) \quad i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = (c\hat{\alpha}\hat{p} + m_0c^2\hat{\beta})\psi.$$

$$4) \quad \frac{\hbar^2 \partial^2 \psi}{c^2 \partial t^2} = [\hbar^2 \nabla^2 - m_0c^2] \psi;$$

4. Выражение для плотности потока вероятности  $\mathbf{j}$  для релятивистской частицы с волновой функцией  $\psi$  (в рамках теории Дирака) имеет вид:  
 1)  $\mathbf{j} = c\psi^+ \hat{\mathbf{a}} \psi$ ; 2)  $\mathbf{j} = \psi^+ \hat{\mathbf{a}} \psi$ ; 3)  $\mathbf{j} = c\psi \hat{\mathbf{a}} \psi^+$ ; 4)  $\mathbf{j} = \psi^+ \hat{\mathbf{p}} \psi$ .
5. Какое из перечисленных предложений является следствием решения релятивистского уравнения Дирака для свободного движения микрочастиц?  
 1) при движении с релятивистскими скоростями существует отличная от нуля вероятность того, что частица пройдет сквозь потенциальный барьер  $U(x) > E$ .  
 2) для обоих решений две компоненты волновой функции всегда малы, а две другие – всегда большие;  
 3) наличие спин-орбитального взаимодействия;  
 4) существует два типа решений, соответствующие положительным и отрицательным значениям энергии  $E_p = c\sqrt{p^2 + m_0^2 c^2}$ ;
6. Могут ли релятивистские частицы в квантовой механике в состоянии свободного движения иметь отрицательную энергию?  
 1) Могут, т.к. частица с отрицательной энергией принципиально ничем не отличается от частицы с положительной энергией;  
 2) да могут, т.к. волновые функции состояний с положительной энергией не образуют полную систему функций;  
 3) не могут, т.к. в состоянии свободного движения частицы обладают только кинетической энергией, а она всегда положительна;  
 4) не могут, т.к. частица с отрицательной энергией могла бы служить бесконечно большим источником работы.
7. Какие из перечисленных фактов могут быть объяснены на основе представлений Дирака об электронно-позитронном вакууме?  
 1) Наличие спиральности у нейтрино;  
 2) наличие внутренней степени свободы частицы - спина;  
 3) возможность взаимопревращений протона в нейтрон и обратно с испусканием и поглощением позитронов и электронов;  
 4) возможность под действием электромагнитного поля образования пары «электрон-позитрон», если энергия фотона  $\hbar\omega$  больше, чем  $2m_0c^2$ , т.е.  $\hbar\omega > 2m_0c^2$ .
8. Чему равны собственные значения оператора проекции полного момента  $J_z$ ?  
 1)  $J_z = \hbar m$ ,  $m = m_l \pm 1/2$ ,  $m_l = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ ; 2)  $J_z = \hbar m$ ,  $m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ ;  
 3)  $J_z = \hbar j(j+1)$ ,  $j = l \pm 1/2$ ,  $l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ; 4)  $J_z = \hbar s$ ,  $s = \pm 1/2$ .
9. Как выражается оператор спинового магнитного момента  $\boldsymbol{\mu}$ ?

$$1) \hat{\mu} = \frac{e}{2m_0c} \hat{\mathbf{L}}; \quad 2) \hat{\mu} = \frac{e}{m_0c} \hat{\mathbf{s}}; \quad 3) \hat{\mu} = \frac{e}{m_0c} (\hat{\mathbf{s}} + 1/2 \hat{\mathbf{L}}); \quad 4) \hat{\mu} = \mu_0 \hat{\mathbf{s}}.$$

10. Что представляет собой оператор контактного взаимодействия?

- 1) Он определяет взаимодействие электрона с нулевыми колебаниями вакуума;
- 2) он обусловлен релятивистской зависимостью массы частицы от скорости;
- 3) он определяет дополнительную энергию взаимодействия электрона с ядром в s-состояниях;
- 4) он обусловлен взаимодействием магнитных моментов электрона и ядра.

11. Чем обусловлено спин-орбитальное взаимодействие?

- 1) Оно описывает взаимодействие спинового момента с орбитальным магнитным моментом;
- 2) оно обусловлено релятивистской зависимостью массы от скорости
- 3) оно описывает взаимодействие магнитного момента электрона с магнитным полем;
- 4) оно описывает взаимодействие магнитного момента движущейся частицы с электрическим полем;

12. К чему приводит учет релятивистских поправок порядка  $(v/c)^2$  в операторе Гамильтона для водородоподобного атома?

- 1) К полному снятию вырождения  $2n^2$  – кратного вырожденного уровня;
- 2) к частичному снятию  $2n^2$  – кратного вырожденного уровня;
- 3) к появлению сверхтонкой структуры энергетических уровней электрона;
- 4) к ориентации спина электрона относительно спинов ядер.

13. Какие энергетические уровни тонкой структуры водородоподобного атома даже при учете релятивистских поправок остаются вырожденными?

- 1) Уровни, у которых  $n$  – и  $l$  – одинаковые, а квантовые числа  $j$  и  $m_l$  – разные ;
- 2) уровни, у которых  $j, l$  и  $m_l$  – одинаковые, а  $n$  – разные;
- 3) уровни, у которых  $n$  и  $m$  – одинаковые, а  $j$  и  $l$  – разные;
- 4) уровни, у которых  $n$  и  $j$  – одинаковые.

14. Напишите правило отбора для орбитального квантового числа  $l$  в случае дипольного излучения для атома водорода с учетом релятивистских поправок.

- 1)  $\Delta l = 0, \pm 1, \pm 2$ ; 2)  $\Delta l = 0, \pm 1$ ; 3)  $\Delta l = \pm 1$ ; 4)  $\Delta l = \pm 1, \pm 2$ .

15. Вид уравнения Дирака в ковариантной форме:

$$1) (\sum_{\mu} \gamma_{\mu} \hat{p}_{\mu} - imc)\psi = 0; 2) (\sum_{\mu} \gamma_{\mu} \hat{p}_{\mu} + imc)\psi = 0; 3) \sum_{\mu} \frac{\partial j_{\mu}}{\partial x_{\mu}} = 0; 4) (\sum_{\mu} \gamma_{\mu} \hat{p}_{\mu} + imc)\psi^{+} = 0.$$

16. Возможные способы определения матриц  $\gamma_{\mu} = (\boldsymbol{\gamma}, \gamma_4)$  для записи уравнения Дирака в ковариантной форме:

- 1) Два способа:  $1 - \boldsymbol{\gamma} = -i\boldsymbol{\beta}\boldsymbol{\alpha}, \quad \gamma_4 = \beta;$   $2 - \boldsymbol{\gamma} = \boldsymbol{\alpha}, \quad \gamma_4 = \beta;$
- 2) этих матриц можно выбрать достаточно много, но они должны переходить друг в друга с помощью унитарного преобразования и удовлетворять соотношению:  $\gamma_{\mu}\gamma_{\nu} + \gamma_{\nu}\gamma_{\mu} = 2\delta_{\mu\nu};$
- 3) матрицы  $\gamma_{\mu}$  определяется единственным способом:  $\boldsymbol{\gamma} = -i\boldsymbol{\beta}\boldsymbol{\alpha}, \quad \gamma_4 = \beta;$
- 4) выбор этих матриц ограничен, т.к. они должны удовлетворять жестким требованиям: они эрмитовы, унитарны и их собственные значения должны быть положительными.

17. Что представляет собой операция зарядового сопряжения?

- 1) Меняет направление импульса частицы на противоположный с одновременным изменением знака частицы;
- 2) соответствует переходу от описания состояния частицы с проекцией спина  $S_z = 1/2$ , к описанию состояния той же частицы проекцией спина  $S_z = -1/2$ ;
- 3) соответствует переходу от описания состояния электрона к описанию состояния протона;
- 4) соответствует переходу от частицы к античастице.

18. Каким образом осуществляется переход от волновой функции  $\psi$  к зарядово сопряженной волновой функции  $\psi_c$ ?

$$1) \psi_c = S^+ \psi S; \quad 2) \psi_c = c\psi; \quad 3) \psi_c = c^{-1} \psi^*; \quad 4) \psi_c = \psi^+ \gamma_4.$$

19. Как преобразуется временная зависимость волновых функций при операции зарядового сопряжения?

- 1) Если временная зависимость состояний соответствует отрицательным решениям временного уравнения Дирака, то временная зависимость зарядово сопряженных состояний соответствует положительным решениям
- 2) волновая зависимость волновых функций не меняется;
- 3) если временная зависимость состояний соответствует отрицательным решениям, то временная зависимость сопряженных состояний соответствует положительным решениям, взятым с противоположным знаком;
- 4) если временная зависимость состояний соответствует отрицательным решениям, то временная зависимость зарядово сопряженных состояний соответствует функции, представляющей суперпозицию волновых функций, соответствующих как отрицательным, так и положительным решениям:  $\Psi = \alpha_1 \Psi_{(-)} + \alpha_2 \Psi_{(+)}$ .

20. Что называется спиральностью частицы?

- 1) Это единичный вектор, определяющий направление спина;
- 2) это собственное значение оператора ( $\sigma n$ );
- 3) это собственные значения оператора проекции спина  $S_z$ ;
- 4) это единичный вектор, показывающий направление импульса.

*Критерии оценивания*

**При правильном ответе начисляется - 0,25 баллов**

**При неправильном ответе - 0 баллов**

#### Участие в конференциях, публикация статей

##### Публикация статей – 5 баллов

Критерии	Оценка (в баллах)	
Тип работы	Реферативная работа	0,1
	Работа носит исследовательский характер	0,3
	Работа является исследованием	0,6
Использование известных данных и научных фактов	Не использует никаких данных	0
	Автор использовал известные данные	0,4
	Использованы уникальные научные данные	0,6
Полнота цитируемой литературы, ссылка на ученых	Использован учебный материал	0,1
	Использованы специализированные издания	0,3
	Использованы интернет ресурсы	0,6
Актуальность работы	Изучение вопроса не является актуальным	0
	Представленная работа привлекает интерес своей актуальностью	0,4
	Работа содержит научный характер	0,6
Степень новизны полученных результатов	Работа не содержит ничего нового	0
	В работе доказан уже установленный факт	0,4
	В работе получены новые данные	0,6

**Участие в конференции- 5 баллов**

Творческий подход к отбору и структурированию материала	-	1 балл
Новизна и самостоятельность при постановке проблемы	-	1 балл
Выступление не является простым чтением с экрана	-	1 балл
В выступлении дополняются и раскрываются ключевые моменты, представленные на слайдах	-	1 балл
Во время выступления поддерживается зрительный контакт с аудиторией, речь отличается богатством интонаций	-	1 балл

## 5 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

#### Основная литература:

1. Савельев И.В. Основы теоретической физики. Т.2. Квантовая механика. И.: Лань, 2005.- 928 с. [Электронный ресурс] [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=621](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=621)
2. Блохинцев, Д. И. Основы квантовой механики : учеб. пособие / Д. И. Блохинцев .– 7-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2004.- 672 с. [Электронный ресурс] <https://e.lanbook.com/book/619#authors>
3. Галицкий В. М. Задачи по квантовой механике : учебное пособие для физ. спец. вузов / В. М. Галицкий, Б. М. Карнаков, В. И. Коган .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Наука, 1992 .— 878 с. : [28 экз. в библ. БашГУ] или Галицкий В. М. Задачи по квантовой механике : учеб. пособие / В. М. Галицкий, Б. М. Карнаков, В. И. Коган .— М. : Наука, 1981 .— 648 с. [83 экз. в библ. БашГУ]

#### Дополнительная литература:

1. [Лавыдов, Александр Сергеевич](#). Квантовая механика : учебное пособие для ун-тов .— / Изд.2-е,испр и перераб. — М. : Наука, 1973 .— 703с. : [78 экз. в библ.БашГУ]
2. Задачи по квантовой теории [Электронный ресурс] : методические указания к проведению практических занятий для студентов 3 курса ФТИ по направлению подготовки «Физика». Ч.1 / Башкирский государственный университет; сост. Р.М. Вахитов .— Уфа : РИЦ БашГУ, 2016 .— Электрон. версия печ. публикации .— Доступ возможен через Электронную библиотеку БашГУ .— <URL:[https://elib.bashedu.ru/dl/local/Vahitov\\_sost\\_Zadachi\\_po\\_kvantovoj\\_teorii\\_1\\_mu\\_2016.pdf](https://elib.bashedu.ru/dl/local/Vahitov_sost_Zadachi_po_kvantovoj_teorii_1_mu_2016.pdf)>.
3. Задачи по квантовой теории [Электронный ресурс] : методические указания к проведению практических занятий по квантовой теории : Ч.2 / Башкирский государственный университет; сост. Р.М. Вахитов .— Уфа : РИЦ БашГУ, 2017 .— Электрон. версия печ. публикации .— Доступ возможен через Электронную библиотеку БашГУ .— <URL:[https://elib.bashedu.ru/dl/local/Vahitov\\_sost\\_Zadachi\\_po\\_kvantovoj\\_teorii\\_mu\\_Ch2\\_mu\\_2017.pdf](https://elib.bashedu.ru/dl/local/Vahitov_sost_Zadachi_po_kvantovoj_teorii_mu_Ch2_mu_2017.pdf)>.
4. Вахитов Р.М. Одномерное движение в квантовой механике. Уфа: РИЦ БашГУ, 2012, 35 с. [80 экз. в библ. БашГУ]
5. Вахитов Р.М. Движение частиц в поле сферической симметрии: Уч. пособие / Р. М. Вахитов, А.Р. Юмагузин; БашГУ.- Уфа: РИЦ БашГУ, 2011.- 77 с. [53 экз. в библ. БашГУ]

#### Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет" (далее - сеть «Интернет»), необходимых для освоения дисциплины

№	Наименование ресурса	Краткая характеристика
1	<a href="http://ru.wikipedia.org">http://ru.wikipedia.org</a>	Интернет-энциклопедия образовательных изданий, в которой собраны электронные учебники, справочники, а также статьи различной тематики. Удобный поиск по ключевым словам, отдельным темам, отраслям знания.
2	Электронный ресурс	Электронная система доставки документов.

	МАРС ( <a href="http://mars.arbicon.ru">http://mars.arbicon.ru</a> ).	Позволяет найти нужный документ и получить его по электронной почте.
3	<a href="http://e.lanbook.com">http:// e.lanbook.com</a>	Электронная библиотечная система издательства «Лань». Тематический пакет «Физика»
4	<a href="http://www.biblioclub.ru">http:// www.biblioclub.ru</a>	Электронная библиотечная система «Университетская библиотека - online»; специализируется на учебных материалах для ВУЗов по научно-гуманитарной тематике, а так же содержит материалы по точным и естественным наукам

#### 6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Для проведения лекционных занятий используется аудиторный фонд физико-технического института.

Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий	Вид занятий	Наименование оборудования, программного обеспечения
1	2	3
Большая физическая аудитория 02	Лекции	Доска, мел
<i>учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа:</i> аудитории № 322 или № 323 или № 224 (физмат корпус)	Практические занятия	Доска, мел, сборники задач, калькулятор
Читальный зал №1 (главный корпус, 1 этаж)	Самостоятельная работа	Научный и учебный фонд, научная периодика, ПК (моноблок) - 3 шт, Wi-Fi доступ для мобильных устройств, неограниченный доступ к ЭБС и БД; количество посадочных мест – 76.
Читальный зал №2 (корпус физмата, 2 этаж)	Самостоятельная работа	Научный и учебный фонд, научная периодика, Wi-Fi доступ для мобильных устройств, неограниченный доступ к ЭБС и БД; количество посадочных мест – 50.



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ**

дисциплины Квантовая теория на 6-7 семестрах  
(наименование дисциплины)  
очная

Вид работы	Объем дисциплины по семестрам	Объем дисциплины всего
Общая трудоемкость дисциплины (ЗЕТ / часов)		6/216
Учебных часов на контактную работу с преподавателем:	121,4	121,4
лекций	32 <u>6 семестр</u> 36 <u>7 семестр</u>	68
практических/ семинарских лабораторных	16 <u>6 семестр</u> 36 <u>7 семестр</u>	52
Самостоятельная работа студентов	23,8 <u>6 семестр</u> 18 <u>7 семестр</u>	41,8
ФКР	1,7 <u>7 семестр</u>	1.7
Учебных часов на подготовку к экзамену/зачету/дифференцированному зачету (Контроль)	52,8 <u>7 семестр</u>	52.8

Форма(ы) контроля:

экзамен 7 семестр

зачет 6 семестр

контрольная 7 семестр

**Лекционный и практический курс  
6 семестр**

№ п.п.	Тема и содержание	Форма изучения материалов:			Основная и дополнительная литература, рекомендуемая студентам (номера из списка)	Задания по самостоятельной работе студентов (СРС)	Форма текущего контроля успеваемости
		лекции, практические семинарские занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа и трудоемкость (в часах)	лекции, занятия, работы, самостоятельная работа и трудоемкость (в часах)	лекции, занятия, работы, самостоятельная работа и трудоемкость (в часах)			
		ЛК	ПР/СЕМ	СР			
1	2	3	4	6	7	8	9
1	<b>Модуль 1: ОСНОВЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ</b> Физические основы квантовой механики. Математический аппарат квантовой механики. Понятие о волновой функции квантово-механических систем. Принцип суперпозиции. Волновой пакет. Среднее значение функции от импульсов.	2	4	1	1. § 1 - 6, 2. § 1-14 4. § 1 5. § 1, 2  9. 1.19	11. § 1, № 1	Мониторинг решения задач  Компьютерное тестирование
2	Линейные самосопряженные операторы и изображение с их помощью физических величин. Собственные значения и собственные функции операторов и их физический смысл. Квантование.	2	4	1	1. § 7-8 2. § 18, 20, 24, 27 3. § 3, 4 5. § 15-17, 20, 23  9. 1.1-1.5	11. § 1, № 1	Мониторинг решения задач  Компьютерное тестирование
3	Основные свойства собственных функций (дискретный и непрерывный спектры). Общий метод вычисления вероятностей результатов измерений. Условия, при которых несколько физических величин могут иметь определенные значения в одном состоянии. Методы определения состояний квантовых систем.	4	4	1	1. § 9-14 2. § 75 3. § 14	11. § 2, № 2.10	Мониторинг решения задач  Компьютерное тестирование
4	<b>Модуль 2: Математический аппарат квантовой механики</b> Изменение состояний с течением времени. Волновое уравнение Шредингера. Плотность потока вероятности. Стационарные состояния. Изменение средних значений величин с течением	2	4	1	1. § 13, 16-19, 21-23 2. § 15-17, 28-33, 35-37 3. § 16, 17, 46-48	11. § 3	Модуль 2: Математический аппарат квантовой

	времени. Производная от операторов по времени. Квантовые уравнения движения. Теоремы Эренфеста. Интегралы движения. Квантовый аналог теоремы вириала. Соотношения неопределенностей для физических величин. Неравенство Гейзенберга. Принцип дополнительности Бора.				4. § 2 (а-г), 5 (а,б), 6(б) 5. § 6, 7, 24, 28, 31, 32, 34,39-41  9. 2.1,2.2, 2.3, 2.7, 2.11		механики
5	Предельный переход от квантовой механики к классической. Квазиклассическое приближение (метод ВКБ). Правила квантования Бора-Зоммерфельда. Прохождение частиц через потенциальный барьер. Туннельный эффект. Коэффициенты отражения и прохождения частиц.	3		1	1.§21–24 2.§35–37; 3. §46–48; §50; 4. §5(а,б); §5(г-ж); 5. §39–42	11. § 3 № 22-24	Компьютерное тестирование
6	Основы теории представлений. Различные представления вектора состояний и операторов. Координатное, импульсное и энергетическое (матричное) представления. Определение среднего значения и спектра величины, представляемой оператором в матричной форме.	2	2	1	1.§27-29; 2.§38-41; 3. §11 4.§7(г); 5. §44-48	11. § 2 № 11-15, 19, 20, 25	Мониторинг решения задач  Компьютерное тестирование
7	<b>Модуль 3: Движение частиц в центральном поле</b> Унитарные преобразования. Понятия о различных представлениях квантовых систем. Унитарные преобразования от одного момента времени к другому: представления Шредингера, Гейзенберга, взаимодействия.	3	2	1			Мониторинг решения задач  Компьютерное тестирование
8	Общие свойства одномерного движения. Свободная частица. Частица в потенциальной яме. Движение электрона в периодическом потенциальном поле. Зонный характер спектра. Гармонический осциллятор. Понятие о методе вторичного квантования.	2	4	1	1.§30, 31; 2.§43, 44; 3. §13 4.§7(д); 5. § 49	11. § 2 № 11	
9	Оператор момента количества движения частицы. Собственные функции и собственные значения операторов момента и квадрата момента количества движения. Вращение твердого тела. Симметричный волчок.	2	4	1	1.§26, 32; 2.§47, 48, 55; 3. §21-23 4.§7(а-в);28(а-в) 5. § 14, 48, 50	11. § 3 № 11, 5, 13	Мониторинг решения задач  Компьютерное тестирование
10	Движение в поле центральных сил. Оператор энергии в сферических координатах. Радиальные функции Шредингера.	2		1	1.§8, 34, 35; 2.§25;		Мониторинг решения задач

					3. §26-30 4. §7(а-в); 5. § 30		Компьютерное тестирование
11	Движение электрона в кулоновском поле (дискретный и непрерывный спектры). Спектр и собственные функции атома водорода. Движение электрона в одновалентных щелочных металлах.	3		1	1. §34; 2. §26,49; 3. §32; 5. §33	11. Гл.3 п.0,1,8 13. §1	Мониторинг решения задач  Компьютерное тестирование

**7 семестр  
Лекционные занятия**

Таблица 3

№ п.п.	Тема и содержание	Форма изучения материалов:		Основная и дополнительная литература, рекомендуемая студентам (номера из списка)	Задания по самостоятельной работе студентов (СРС)	Форма текущего контроля успеваемости
		лекции, практические занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа и трудоемкость (в часах)	ЛК			
1	2	3	4	5	6	7
1	<b>Модуль 1: Теория квантовых переходов</b> Теория возмущений в стационарном состоянии с дискретным спектром (в отсутствие вырождения и при его наличии).	1	1	1. §47-50; 2. §66- 70; 3. § 38,39; 4. § 8(а-д); 5. § 53,54; 6. §49	1. Повторить метод теории возмущений и условие его применимости. 7. §28-31 2. Решить задачи методом теории возмущений. 14. §5 №2,5,12(а,б)	Консультация
2	Теория квантовых переходов. Адиабатическое и внезапное включения и выключения взаимодействия. Переходы под влиянием возмущения, зависящего и не зависящего от времени, а также под действием периодического возмущения.	1	1	1. §90-93; 2. §83-85; 3. §40-43; 4. §8(ж); 5. §55, 56; 7. §33-35	Решить задачи на нестационарные возмущения. 14. §6 №1,7	Компьютерное тестирование

3	Элементарная теория взаимодействия квантовых систем с электромагнитным излучением.	1	1	1. §94; 2. §87; 7. §61-64	Ознакомиться с процессами излучения и поглощения света. 7. §64	Компьютерное тестирование
4	Вероятности спонтанных и вынужденных переходов. Коэффициенты Эйнштейна. Время жизни возбужденного состояния. Принцип соответствия. Правила отбора для осциллятора, интенсивность излучения. Правила отбора для оптического электрона в атоме водорода.	1	1	1.95,96; 2. §88-90, 4. §9(а,б,в,г,д); 5. §101-106	Изучить квантовую теорию излучения и поглощения света. 7. §65	Компьютерное тестирование
5	<b>Модуль 2: Релятивистская квантовая теория</b> Понятие о квантовой радиофизике. Лазеры и мазеры.	1	1	4. §9(е)	Ознакомиться с принципами работы лазеров.	Компьютерное тестирование
6	Элементарные частицы в квантовой механике. Релятивистское уравнение для частицы с нулевым спином (уравнение Клейна-Гордона).	1	1	1. §53,54; 4. §17(а,б); 5. §110, 111	Изучить уравнение Клейна-Гордона. 9. Гл. 16 с.205-228	Компьютерное тестирование
7	Релятивистское уравнение Дирака для электрона. Матрицы Дирака.	1	1	1. §60; 4. §18(а, б); 5. §113, 114	Решить задачи на матрицы Дирака. 11. Гл. 10 зад. №2; 14. §7 №16	Компьютерное тестирование
8	Решение уравнения Дирака для свободной частицы. Состояния с отрицательной энергией. Понятие об электронно-позитронном вакууме.	1	4	1. §61; 4. §22(а,в,г); 5. §115,116	Ознакомиться с основными понятиями идей Дирака о физическом вакууме. 9. Гл. 18, с.252-254, 270-272	Компьютерное тестирование
9	Момент количества движения электрона в теории Дирака. Спин электрона. Собственные значения и собственные функции полного момента количества движения. Шаровые спиноры. Релятивистские поправки к движению электрона в электромагнитном поле. Магнитный момент электрона. Уравнение Паули.	1	1	1. §62,63; 4. §19 (а,б,в,д); 5. §117, 118	1. Решить задачи на вычисление физических величин с использованием шаровых спиноров. 14. §7, №3, 19	Компьютерное тестирование

					2. Научиться выводить уравнения Паули. 9. Гл. 18, с.259-264	
10	Спин-орбитальное взаимодействие. Атом водорода с учетом спина электрона. Тонкая структура спектра атома водорода и правила отбора с учетом спина. Лэмбовский сдвиг. Сверхтонкая структура.	1	1	1. §64,67; 4. §20(а,б,в,г,д), §21(а,б); 5. §119	Ознакомиться с выводом тонкой и сверхтонкой структуры энергетических уровней атома водорода. 17. Гл. 10, п. 7,8	Компьютерное тестирование
11	Ковариантная форма уравнений Дирака. Зарядовое сопряжение. Р и С-четность. Частицы и античастицы.	1	1	1. §65; 4. §22(д); 5. §116	Ознакомиться со свойствами уравнений Дирака в ковариантной форме для частиц и античастиц. 9. Гл. 17, с.238-240	Компьютерное тестирование
12	Уравнение Дирака для частицы с нулевой массой покоя. Нейтрино. Комбинированная инверсия. СРТ-теорема.	1	1	1. §66; 4. §22(е,ж)	Изучение литературы по теории двухкомпонентного нейтрино. 5. §122,123	Компьютерное тестирование
13	Атом во внешнем магнитном и электрическом полях. Аномальный и нормальный эффекты Зеемана. Эффект Пашена-Бака. Эффект Штарка (линейный и квадратичный).	1	1	1. §69,70; 2. §72-74; 3. §76,77,113; 4. §13(б), §20 (е,ж)	Изучить особенности влияния внешнего магнитного и электрического полей на атомные спектры. 5. §74,75; 7. §58	Компьютерное тестирование

		1				
14	<b>Модуль 3: Приложения квантовой теории к рассмотрению атомов и молекул</b> Квантовые системы, состоящие из одинаковых частиц. Уравнение Шредингера для системы из одинаковых частиц. Симметричные и антисимметричные волновые функции. Принцип Паули. Схема Юнга.	1	1	1. §71,72; 2. §114-117; 3. §61,63; 4. §24(а,б); 5. §64-66	Решить задачи на симметризацию волновой функции, описывающей состояния системы из N одинаковых частиц. 3. §63 Зад. 14. §7 №14	Компьютерное тестирование
15	Теория атома гелия. Основное и возбужденное состояния. Обменная энергия. Пара- и орто-гелий.	1	1	1. §73,74; 2. §121-123; 4. §24(г-е); 5. §68	Ознакомиться со свойствами гелиеподобных атомов. 7. §54	Компьютерное тестирование
16	Вариационный метод. Метод самосогласованного поля Хартри-Фока. Статистический метод Тамаса-Ферми.	1	1	1. §51,75,76; 3. §20, 69,70; 4. §23(г-е); §25(ж-и); 5. §69-71; 6. §55-57	Решить задачи по расчету атомных систем приближенными методами. 3. §63. Зад. №2; 11. Гл.6, Зад. 8, 9(а)	Компьютерное тестирование
17	Заполнение электронных оболочек атомов. Периодическая таблица Менделеева. Редкоземельные металлы. Заурановые элементы.	2	1	1. §77; 2. §124; 3. §72,73; 4. §25(г,д)	Ознакомиться с основными качественными закономерностями строения атомов. 5. §72,73	Компьютерное тестирование
18	Спектральные и рентгеновские спектры, термы. L-S-связь, j-j-связь.	2	1	1. §78; 3. §74	Разобраться в спектральных и рентгеновских спектрах сложных атомов 4. §25 (б,в)	Компьютерное тестирование
19	Основные виды химической связи. Адиабатическое приближение. Гетерополярные и гомеополярные (атомные) молекулы. Обменное	2	1	1. §129-131; 2. §125, 126;	Изучить метод Гайтлера-Лондона	Компьютерное тестирование

	взаимодействие.			4. §26(а); §27(а-в); 5. §78,79	по расчету молекулы водорода. 7. §59,60; 11. Гл.15, п. 6	
20	Теория валентности. Силы Ван-дер-Ваальса. Энергетические уровни двухатомных молекул	2	1	1. §131, 133, 134; 2. §127; 3. §81, 82, 89; 4. §27(б, г-е)	Выявить сходство и различие обменных сил и сил Ван-дер-Ваальса. 5. §68,80	Компьютерное тестирование
21	Теория столкновений. Общая теория упругого рассеяния. Амплитуда и дифференциальное сечение рассеяния. Борновское приближение и условия его применимости. Метод парциальных волн в теории рассеяния. Оптическая теорема. S и T-матрицы рассеяния. Теоремы Липмана-Швингера. Понятие о простейших графиках Феймана	2	1	1. §106-109,118; 2. §77-80; 3. §123-130; 4. §14(а,в); 5. §83-86, §95-97;	1. Ознакомиться с Борновским приближением в теории упругого рассеяния. 7. §66-69, Приложение VI, VII 2. Решить задачи на рассеяние частиц. 11. Гл.9, Зад. №1-3	Компьютерное тестирование
22	Основы квантовой теории твердого тела. Движение электрона в зоне проводимости.	2	1	2. §54; 4. §28(а-ж)	Ознакомиться с основными положениями квантовой теории твердого тела. 15. §6	Компьютерное тестирование
	<b>Всего часов:</b>	<b>30</b>	<b>22</b>			Консультация



Таблица 4

Примечание [A1]: старая форма таблицы

**Практические занятия  
7 семестр**

№ п.п.	Тема и содержание	Форма изучения материалов:		Основная и дополнительная литература, рекомендуемая студентам (номера из списка)	Задания по самостоятельной работе студентов (СРС)	Форма текущего контроля успеваемости
		лекции, практические занятия, семинарские занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа и трудоемкость (в часах)	и			
1	2	3	4	5	6	7
1	<b>Модуль 1: Теория квантовых переходов</b> Теория возмущений в отсутствие вырождения	4	2	[1]. Зад. 8.2-8.4, 8.8	1. Вывести выражения для поправок к энергии и С.Ф. с точностью до 2-го порядка теории возмущения 2. Решить задачи 8.1, 8.6 из [1]	Проверка решения задач
2	Теория возмущений при наличии вырождения	4	2	[1]. Зад. 8.5, 8.9	1. Рассчитать линейный эффект Штарка для атома водорода в 2p-состоянии. 2. Решить задачи 7, 8 из [4] §5	Проверка решения задач
3	Теория квантовых переходов. Вероятность перехода в единицу времени под действием возмущения, зависящего от времени.	6	2	[1]. Зад. 8.33 (а,б), 8.34	1. Получить выражение для амплитуды	Проверка решения задач

					вероятности перехода во 2-ом порядке теории возмущений. 2. Решить задачи 5-7 из [4] §6	
4	Теория излучения. Время жизни возбужденного уровня.	4	1	[1]. Зад. 14.1, 14.2	1. Получить правила отбора для E1-переходов оптического электрона в водородоподобном атоме. 2. Решить задачи 8,9 из [4] §6	Проверка решения задач
5	Оператор спина электрона. Матрицы Паули. Уравнения Паули.	6	1	[1]. Зад. 5.1, 5.2, 5.4, 5.5	Решить задачи 5.3, 5.6 из [1], 2-5 из [2] §7	Проверка решения задач
6	Уравнение Дирака. Матрицы Дирака. Ковариантная форма уравнений Дирака.	6	1	[1]. Зад. 15.20 (1-6), 15.22, 15.23	Решить задачи 15.21, 15.24 из [1], 15,16 из [4] §7	Проверка решения задач
7	Волновая функция системы тождественных частиц. Принцип Паули. Элементы вторичного квантования.	4	1	[1]. Зад. 10.1, 10.4, 10.7	Решить задачи 1, 7-11, 14 из [4] §7	Проверка решения задач
8	Вариационные методы. Уравнения Хартри-Фока.	4	1	[1]. Зад. 11.6	Решить задачи 1-6 из [4] §8	Проверка решения задач
9	Статистический метод Томаса –Ферми.	4	1	[1]. Зад. 11.19, 11.20	Решить задачи 11.21, 11.22 из [1], 12,13 из [4] §8	Проверка решения задач
	<b>ИТОГО</b>	42	12			

Таблица 5

Приложение № 2

Рейтинг-план дисциплины

Квантовая теория

(название дисциплины согласно рабочему учебному плану)

курс 3, семестр 6

Виды учебной деятельности студентов	Балл за конкретное задание	Число заданий за семестр	Баллы	
			Минимальный	Максимальный
<b>Модуль 1.</b>				
<b>Текущий контроль</b>			<b>0</b>	<b>20</b>
1. Работа на практических занятиях	4	5	0	20
<b>Рубежный контроль</b>			<b>0</b>	<b>10</b>
1. Письменная контрольная работа №1	1	5	0	5
2. Тест №1	0,25	20		5
<b>Модуль 2.</b>				
<b>Текущий контроль</b>			<b>0</b>	<b>20</b>
1. Работа на практических занятиях	4	5	0	20
<b>Рубежный контроль</b>			<b>0</b>	<b>10</b>
1. Письменная контрольная работа № 2	?1	5	0	5
2. Тест № 2	0,25	20		5
<b>Модуль 3.</b>				
<b>Текущий контроль</b>			<b>0</b>	<b>20</b>
1. Работа на практических занятиях	4	5	0	20
<b>Рубежный контроль</b>			<b>0</b>	<b>10</b>
1. Письменная контрольная работа № 3	1	5	0	5
2. Тест № 3	0,25	20		5
<b>Поощрительные баллы</b>				<b>10</b>
1. Участие в конференциях, студенческая олимпиада			0	5
2. Публикация статей			0	5
<b>Посещаемость (баллы вычитаются из общей суммы набранных баллов)</b>				
1. Посещение лекционных занятий			<b>0</b>	<b>-6</b>
2. Посещение практических (семинарских, лабораторных занятий)			<b>0</b>	<b>-10</b>
<b>Итоговый контроль</b>				
1. Зачет			<b>0</b>	<b>60</b>

## Рейтинг-план дисциплины

### Квантовая теория

(название дисциплины согласно рабочему учебному плану)

специальность Физика

курс 4., семестр 7

Виды учебной деятельности студентов	Балл за конкретное задание	Число заданий за семестр	Баллы	
			Минимальный	Максимальный
<b>Модуль 1.</b>				
<b>Текущий контроль</b>			<b>0</b>	<b>10</b>
1. Работа на практических занятиях	3	5	0	10
<b>Рубежный контроль</b>			<b>0</b>	<b>10</b>
1. Письменная контрольная работа			0	15
2. Тестирование				5
<b>Модуль 2.</b>				
<b>Текущий контроль</b>			<b>0</b>	<b>15</b>
1. Работа на практических занятиях	3	5	0	15
<b>Рубежный контроль</b>			<b>0</b>	<b>10</b>
1. Письменная контрольная работа			0	5
2. Тестирование				5
<b>Модуль 3.</b>				
<b>Текущий контроль</b>			<b>0</b>	<b>15</b>
1. Работа на практических занятиях	4	5	0	15
<b>Рубежный контроль</b>			<b>0</b>	<b>10</b>
1. Письменная контрольная работа			0	15
2. Тестирование				5
<b>Поощрительные баллы</b>				<b>10</b>
<b>Итоговый контроль</b>				
Экзамен			0	30

**Форма экзаменационного билета**

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1  
по дисциплине Квантовая теория  
03.03.01 – Прикладные математика и физика

1. Теория возмущений в стационарных состояниях с дискретным спектром.
2. Эффект Штарка.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Вахитов Р.М.  
(подпись) (Ф.И.О.)