

ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Утверждено:  
на заседании кафедры  
теоретической физики  
протокол №4 от «12» января 2022 г.  
Зав. кафедрой Вахитов / Вахитов Р.М.

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

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

дисциплина КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ  
(наименование дисциплины)

Б1.О.19.03 обязательная

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

**программа бакалавриата**

Направление подготовки (специальность)  
03.03.01 Прикладные математика и физика

(указывается код и наименование направления подготовки (специальности))

Направленность (профиль) подготовки

Моделирование физических процессов и технологий

Квалификация

Бакалавр

(указывается квалификация)

Разработчик (составитель)  
профессор, д.ф.-м.н., профессор  
(должность, ученая степень, ученое звание)

Вахитов / Вахитов Р.М.  
(подпись/ Ф.И.О.)

Для приема: 2022г.  
Уфа 2022г.

Составитель / составители: д.ф.-м.н., профессор Вахитов Р.М

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры теоретической физики  
протокол от «12» января 2022 г. №5

Заведующий кафедрой  Вахитов Р.М.

## Список документов и материалов

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с установленными в образовательной программе индикаторами достижения компетенций
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 и индикаторов достижения компетенций с указанием соотнесенных с ними запланированных результатов обучения по дисциплине. Описание критериев и шкал оценивания результатов обучения по дисциплине.
  - 4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценивания результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с установленными в образовательной программе индикаторами достижения компетенций. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине.
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, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы
6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

# 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с установленными в образовательной программе индикаторами достижения компетенций

По итогам освоения дисциплины обучающийся должен достичь следующих результатов обучения:

Категория (группа) компетенций	Формируемая компетенция (с указанием кода)	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине
Системное и критическое мышление	ОПК-1. Способен составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты);	ОПК-1.1. Знает как составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты);	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-1.2. Умеет составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты);	Уметь пользоваться математическим аппаратом квантовой теории и решать квантовые задачи не только для систем, состоящих из одной частицы, но и много частичные задачи.
		ОПК-1.3. Владет способами составления и оформления научных и (или) технических (технологических, инновационных) отчетов (публикации, проекты);	Владеть понятийным и математическим аппаратом квантовой механики.
	ПК-1. способностью планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1. Знает как планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования;	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.
		ПК-1.2. Умеет планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования;	Уметь пользоваться математическим аппаратом квантовой теории и решать квантовые задачи не только для систем, состоящих из одной частицы, но и много частичные задачи.
		ПК-1.3. Владет способностью планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования;	Владеть понятийным и математическим аппаратом квантовой механики.

## 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).

Курс «Квантовая теория» является одной из центральных дисциплин специализации студентов- физиков различных специальностей. Она является базовым курсом при рассмотрении явлений атомного масштаба и тре-

бует для своего изучения привлечения знаний студентов из различных разделов общей и теоретической физики, а также математики, способствуя формированию целостного мировоззрения на микромир.

Цель изучения дисциплины «Квантовая теория» - 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 студентом 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.

#### 4. Фонд оценочных средств по дисциплине

##### 4.1. Перечень компетенций и индикаторов достижения компетенций с указанием соответствующих с ними запланированных результатов обучения по дисциплине. Описание критериев и шкал оценивания результатов обучения по дисциплине.

Код и формулировка компетенции:

Зачет

Планируемые результаты обучения (Индикаторы достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения	
	«Не зачтено»	«Зачтено»
ОПК-1.1. Знает как составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты);	Практически не знает	Знает
ОПК-1.2. Умеет составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты);	Практически не знает	Знает
ОПК-1.3. Владеет способами составления и оформления научных и (или) технических (технологических, инновационных) отчетов (публи-	Практически не знает	Знает

кации, проекты);		
------------------	--	--

### Экзамен

Планируемые результаты обучения (Индикаторы достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
	2 («Не удовлетворительно»)	3 («Удовлетворительно»)	4 («Хорошо»)	5 («Отлично»)
ОПК-1.1. Знает как составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты);	Практически не знает	Имеет значительные пробелы в знаниях	Знает почти всё	Знает всё
ОПК-1.2. Умеет составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты);	Практически не умеет	Не умеет по значительной части материала дисциплины	Умеет почти всё	Умеет всё
ОПК-1.3. Владеет способами составления и оформления научных и (или) технических (технологических, инновационных) отчетов (публикации, проекты);	Практически не владеет	Не владеет по значительной части материала дисциплины	По существу, владеет	Владеет

### Зачет

Планируемые результаты обучения (Индикаторы достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения	
	«Не зачтено»	«Зачтено»
ПК-1.1. Знает как планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования;	Практически не знает	Знает
ПК-1.2. Умеет планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования;	Практически не знает	Знает
ПК-1.3. Владеет способностью планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования;	Практически не знает	Знает

### Экзамен

Планируемые результаты обучения (Индикаторы достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
	2 («Не удовлетворительно»)	3 («Удовлетворительно»)	4 («Хорошо»)	5 («Отлично»)
ПК-1.1. Знает как планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования;	Практически не знает	Имеет значительные пробелы в знаниях	Знает почти всё	Знает всё
ПК-1.2.	Практически	Не умеет по значи-	Умеет почти	Умеет всё

Умеет планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования;	не умеет	тельной части материала дисциплины	всё	
ПК-1.3. Владеет способностью планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования;	Практически не владеет	Не владеет по значительной части материала дисциплины	По существу, владеет	Владеет

### Показатели сфорсированности компетенции:

Критериями оценивания при *модульно-рейтинговой системе* 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 оценивания результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с установленными в образовательной программе индикаторами достижения компетенций. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине.

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине	Оценочные средства
ОПК-1. Знает как составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты);	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.	Приём домашних работ. Контрольная работа Тесты Решение задач на семинарских занятиях
ОПК-1. Умеет составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты);	Уметь пользоваться математическим аппаратом квантовой теории и решать квантовые задачи не только для систем, состоящих из одной частицы, но и многочастичные задачи.	
ОПК-1. Владеет способами составления и оформления научных и (или) технических (технологических, инновационных) отчетов (публикации, проекты);	Владеть понятийным и математическим аппаратом квантовой механики.	
ПК-1. Знает как планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования;	Знать особенности методов описания, объектов явлений, имеющих место в микромире, различные представления квантовых систем, область их использования и способы перехода от одного представ-	Приём домашних работ. Контрольная работа Тесты Решение задач на семинарских занятиях

	ления к другому.	
ПК-1. Умеет планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования;	Уметь анализировать квантовые процессы, квантовые переходы от одного состояния в другое, объяснять природу квантовых эффектов и явлений микромира.	
ПК-1. Владет способностью планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования;	Владеть навыками и методами решения простейших квантовомеханических задач нерелятивистской и релятивистской теории.	

Для контроля освоения компетенций при изучении дисциплины применяется балльно-рейтинговая система.

### 4.3 Рейтинг-план дисциплины приведен в приложении №2.

Ниже описаны предусмотренные рейтинг-планом оценочные средства, виды и процедуры контроля.

В рамках использования модульно-рейтинговой системы обучения и оценки успеваемости студентов итоговая оценка знаний студента по дисциплине производится по сумме баллов, полученных в рамках текущего и рубежного контроля знаний, умений и навыков в течение семестра.

За работу в семестре студент получает до 100 баллов за выполнение заданий в рамках текущего и рубежного контроля и дополнительно до 10 баллов за индивидуальные задания.

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

- отлично – от 80 до 110 баллов (включая 10 поощрительных баллов);
- хорошо – от 70 до 79 баллов;
- удовлетворительно – от 60 до 69 баллов;
- неудовлетворительно – менее 60 баллов.

### 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. Гомеополярные 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:**

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).

### Зачетная контрольная работа.

Учебным планом по дисциплине «Квантовая теория» для проверки уровня усвоения необходимых компетенций предусмотрена контрольная работа в 6-м семестре и контрольная работа в 7-м семестре, которые имеют статус итоговой, зачетной контрольной работы по практическим занятиям (решение задач). Выполнение этой контрольной работы является обязательным условием допуска к экзамену. Контрольная работа содержит 5 задач, время выполнения 90 минут. Решение одной задачи оценивается в 20 баллов.

#### Пример варианта зачетной контрольной работы

- 1) Найти  $\tilde{A}^T, \tilde{A}^*, \tilde{A}^+$  для  $\tilde{A}$  равного  $\tilde{L}_z$ , где  $L = [r \times p]$ .
- 2) Найти результат действия операторов  $\frac{d^2}{dx^2} x$ ,  $\left(\frac{d}{dx} \sqrt{x}\right)^2$  на функцию  $f(x) = e^{\alpha x}$  и сравнить их.
- 3) Вычислить перестановочное соотношение  $[x^2, \hat{p}_x f(x) \hat{p}_x]$ .
- 4) Найти коммутатор вида  $[(r, \hat{p}), \hat{H}]$ , где  $\hat{H}$  – оператор Гамильтона частицы, находящейся в потенциальном поле  $U(r)$ .
- 5) Операторы  $\tilde{A}$  и  $\tilde{B}$  удовлетворяют коммутативному соотношению  $[\tilde{A}, \tilde{B}] = 1$ . Найти  $[\tilde{A}, \tilde{B}^n]$ .

#### Критерии оценивания задач зачетной контрольной работы:

16-20 баллов выставляется студенту, если представлено полное решение задачи, которое может содержать мелкие неточности или недостаточную аргументацию шагов решения;

11-15 баллов выставляется студенту, если при верном решении в общем виде допущена ошибка в числовых расчетах или при правильном ответе опущены некоторые промежуточные этапы решения или допущена принципиальная ошибка в исходных уравнениях;

6-10 баллов выставляется студенту, если отсутствует одно из необходимых исходных уравнений или допущена принципиальная ошибка в исходных уравнениях, но присутствуют правильные рассуждения и действия, направленные на получение ответа

1-5 баллов выставляется студенту, если, верно, записана только часть необходимых исходных уравнений, при этом отсутствуют какие-либо математические преобразования, направленные на получение ответа, или они ошибочны.

0 баллов ставится при отсутствии ответа или при полностью неверном ответе или когда решение не соответствует условию задачи

Критериями оценивания освоения компетенций служат баллы, полученные за выполнение зачетной контрольной работы. Каждое из пяти заданий оценивается в 20 баллов, максимальная суммарная оценка за контрольную работу -100 баллов.

Шкала перевода суммарного балла в двухуровневую оценку:

0-59 баллов – «не зачтено»

60-100 баллов – «зачтено».

#### Описание контрольной работы

##### Пример варианта контрольной работы:

- 1) Найти  $\tilde{A}^T, \tilde{A}^*, \tilde{A}^+$  для  $\tilde{A}$  равного:  $\frac{1}{x} \frac{d}{dx}$ .
- 2) Найти результат действия операторов  $\frac{d^2}{dx^2} (1+x)^2$ ,  $\left(\frac{d}{dx} (1+x)\right)^2$  на функцию  $f(x) = \sin kx$  и сравнить их.
- 3) Вычислить перестановочное соотношение  $[x^2, \hat{p}_x^2 f(x) \hat{p}_x]$ .

- 4) Найти коммутатор вида  $[\hat{H}, \hat{L}_z]$ , где  $\hat{H}$  – оператор Гамильтона частицы, находящейся в потенциальном поле  $U(\mathbf{r})$ ,  $\hat{L}_z = z$  – компонента оператора момента импульса  $\hat{L}$ .
- 5) Показать, что собственные значения оператора Лапласа отрицательны.

### 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. Свойства матрицы плотности  $\rho$ , определяющей смешанное состояние системы.**

- а) Матрица  $\rho$  не эрмитова и  $Sp\rho = 1$ ;  
 б) Матрица  $\rho$  эрмитова и  $Sp\rho = 1$ ;  
 в) Матрица  $\rho$  эрмитова и  $Sp\rho = 0$ ;  
 г) Матрица  $\rho$  эрмитова и  $Det\rho = 1$ ;

Где  $Sp\rho$  – след матрицы  $\rho$ ,  $Det\rho$  – определитель матрицы  $\rho$ .

**2. Как изменяются элементы матрицы плотности  $\rho$  с течением времени, если оператор Гамильтона явно не зависит от времени?**

- а)  $\rho_{n'n}(t) = \rho_{n'n}(0) \exp < i(E_n - E_{n'}) \frac{t}{\hbar} >$ ; б)  $\rho_{n'n}(t) = 0$ ; в) Постоянны; г)  $\rho_{n'n}(t) = \rho_{n'n}(0) \exp < iE_n \frac{t}{\hbar} >$

**3. Может ли частица в квантовой механике пройти сквозь потенциальный барьер, если энергия частицы  $E$  меньше, чем высота барьера  $U_{\max}$ , т.е.  $E < U_{\max}$ ?**

- а) может;  
 б) нет, не может;  
 в) может при определенных условиях;  
 г) зависит от типа частицы.

**4. Как определяется коэффициент прохождения  $D$ ?**

- а)  $D = \frac{J_{\text{над}}}{J_{\text{прои}}}$ ; б)  $D = \frac{J_{\text{отр}}}{J_{\text{прои}}}$ ; в)  $D = \frac{J_{\text{прои}}}{J_{\text{над}}}$ ; г)  $D = \frac{J_{\text{над}}}{J_{\text{отр}}}$ ;

где  $J_{\text{над}}$  – количество падающих частиц,  $J_{\text{прои}}$  – количество прошедших частиц,  $J_{\text{отр}}$  – количество отраженных частиц.

**5. Чему равен следующий коммутатор:  $[\hat{L}^2, \hat{L}_z]$ , где  $\hat{L}^2$  и  $\hat{L}_z$  – оператор квадрата момента количества движения и оператор проекции момента количества движения на ось  $z$ ?**

- а) 1; б)  $\hat{L}_x$ ; в)  $\hat{L}_y$ ; г) 0.

**6. Физический смысл магнитного квантового числа  $m$ .**

- а) Определяет энергетический уровень электрона, удалённость энергетического уровня от ядра и размер электронного облака;  
 б) Определяет форму электронного облака и подуровень энергетического уровня, задаваемого главным (радиальным) квантовым числом  $n$ ;  
 в) Характеризует ориентацию в пространстве орбитального момента импульса электрона или пространственное расположение атомной орбитали;  
 г) Характеризует собственный момент импульса элементарных частиц, имеющий квантовую природу и не связанный с перемещением частицы как целого.

**7. В каком случае проекции момента количества движения на разные оси  $x, y, z$  одновременно имеют определенное значение?**

- а) Только в классической механике;  
 б) Ни в каком случае;  
 в) В случае шарового волчка;

г) В случае сферического волчка.

**8. Чем определяется четность шаровой функции  $Y_l^m(\theta, \varphi)$  ?**

- а) независимо от значений  $l$  и  $m$ , шаровая функция является четной;
- б) одновременно двумя квантовыми числами  $l$  и  $m$ ;
- в) орбитальным квантовым числом  $l$ : в.ф. с четным  $l$  – четные, в.ф. с нечетным  $l$  – нечетные;
- г) магнитным квантовым числом  $m$ : в.ф. с четным  $m$  – четные, в.ф. с нечетным  $m$  – нечетные.

**9. Чему равен коммутатор:  $[\hat{H}, \hat{L}_z]$ , где  $\hat{L}_z$  и  $\hat{H}$  – проекция момента количества движения на ось  $z$  и оператор Гамильтона, описывающий движение частицы в центрально-симметричном поле, соответственно?**

- а)  $\hat{L}_y$ ; б)  $\hat{L}_x$ ; в)  $\hat{p}$ , где  $\hat{p}$  – оператор импульса; г) 0.

**10. От каких квантовых чисел зависит радиальная часть волновой функции, описывающей стационарные состояния частицы, движущейся в центрально-симметричном поле?**

- а) От главного квантового числа  $n$ ;
- б) От орбитального квантового числа  $l$  и магнитного квантового числа  $m$ ;
- в) От орбитального квантового числа  $m$ ;
- г) Не зависит от квантовых чисел.

**11. Какие атомы называют водородоподобными?**

- а) это атомы переходных металлов;
- б) это атом (ион), содержащий в электронной оболочке один и только один электрон;
- в) это атом (ион), содержащий в электронной оболочке более двух электронов;
- г) это атомы инертных газов.

**12. Может ли частица в классической механике пройти сквозь потенциальный барьер, если энергия частицы  $E$  меньше, чем высота барьера  $U_{\max}$ , т.е.  $E < U_{\max}$  ?**

- а) Может, если на ширине барьера укладывается целое число  $\bar{\lambda}/2$ , то есть  $a = n\bar{\lambda}/2$ , где  $\bar{\lambda}$  – среднее значение длины волны де Бройля;
- б) Может, если на ширине барьера укладывается полуцелое число  $\bar{\lambda}/2$ , то есть  $a = (2n+1)\bar{\lambda}/2$ , где  $\bar{\lambda}$  – среднее значение длины волны де Бройля;
- в) Не может никогда;
- г) Зависит от заряда частицы.

**13. Чему равна кратность вырождения энергии стационарных состояний электрона в атоме водорода в случае непрерывного спектра?**

- а) 1;
- б) 2;
- в) 0;
- г)  $n+1$ .

**14. По какой формуле вычисляются частоты серии Лаймана?**

- а)  $\nu = R\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2}\right), n = 2, 3, \dots$ ;
- б)  $\nu = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right), n = 3, 4, \dots$ ;
- в)  $\nu = R\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2}\right), n = 4, 5, \dots$ ;
- г)  $\nu = R\left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2}\right), n = 5, 6, \dots$

**15. Физический смысл параметра  $a$  (радиус первой борховской орбиты электрона) в случае состояния электрона в атоме водорода с  $n = 1$ .**

- а) Наиболее удаленное положение электрона;
- б) Радиус ближайшей к ядру орбиты электрона атома водорода;
- в) Радиус сферы, внутри которой с наибольшей вероятностью находится частица;
- г) Радиус сферы, внутри которой с наименьшей вероятностью находится частица.

**16. Каким свойством обладает распределение по углам электрона, движущегося в атоме водорода?**

- а) Сферически симметрично;

- б) Зависит от угла  $\varphi$  ;  
 в) Зависит от угла  $\varphi$  по гармоническому закону:  $\cos \varphi$  ;  
 г) Обладает симметрией тела вращения около той оси, на которую фиксирована проекция момента импульса.

**17. Чему равен оператор момента количества движения  $\hat{L}$  ?**

- а)  $\hat{L} = -i\hbar[\hat{r} \times \hat{V}]$  ;  
 б)  $\hat{L} = -i\hbar[\hat{r} \times \hat{\Delta}]$  ;  
 в)  $\hat{L} = -i\hbar[\hat{r} \times \hat{p}]$  ;  
 г)  $\hat{L} = [\hat{p} \times \hat{r}]$ .

**18. Какое твердое тело называют симметричным волчком?**

- а) Твердое тело с одной осью симметрии более чем второго порядка, которое имеет два одинаковых момента инерции;  
 б) Твердое тело с одной осью симметрии более чем второго порядка, у которого все три момента инерции различны;  
 в) Твердое тело с одной осью симметрии первого порядка, которое имеет два одинаковых момента инерции;  
 г) Любое твердое тело.

**19. Какие операторы, описывающие вращательные степени свободы симметричного волчка, коммутируют между собой?**

- а)  $[\hat{L}^2, \hat{H}]$  ;  
 б)  $[\hat{L}^2, \hat{J}]$  ;  
 в)  $[\hat{L}_x, \hat{r}]$  ;  
 г)  $[\hat{J}, \hat{H}]$ .

$\hat{L}^2$  – оператор квадрата момента количества движения,  $\hat{H}$  – оператор Гамильтона.

**20. Свойства собственных значений и собственных функций, отвечающие состояниям дискретного спектра в случае одномерного движения частицы.**

- а) Все энергетические уровни не вырождены;  
 б) Все энергетические уровни вырождены;  
 в) Собственные функции подчиняются осцилляционной теореме;  
 г) Собственные функции не подчиняются осцилляционной теореме.

### 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	-	<i>1 балл</i>
Новизна и самостоятельность при постановке проблемы	-	<i>1 балл</i>
Выступление не является простым чтением с экрана	-	<i>1 балл</i>
В выступлении дополняются и раскрываются ключевые моменты, представленные на слайдах		<i>1 балл</i>
Во время выступления поддерживается зрительный контакт с аудиторией, речь отличается богатством интонаций		<i>1 балл</i>

## 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?p11\\_cid=25&p11\\_id=621](http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_cid=25&p11_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 библиот. 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 библиот. БашГУ].

#### Дополнительная литература:

- 1 Давыдов, Александр Сергеевич. Квантовая механика : учебное пособие для ун- тов .— / Изд.2-е,испр и перераб. — М. : Наука, 1973 .— 703с. : [78 экз. в библиот.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 библиот. БашГУ] 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 библиот. БашГУ].

### 5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. Электронная библиотечная система. ЭБ БашГУ. — Собственная электронная библиотека учебных и научных электронных изданий, которая включает издания преподавателей БашГУ. Авторизованный доступ по паролю из любой точки сети Интернет. Регистрация в Библиотеке БашГУ, дальнейший доступ из любой точки сети Интернет. — <https://elib.bashedu.ru/>
2. Электронная библиотечная система . Университетская библиотека онлайн. — Полнотекстовая БД учебных и научных электронных изданий. Авторизованный доступ по паролю из любой точки сети Интернет. Регистрация в Библиотеке БашГУ, дальнейший доступ из любой точки сети Интернет. — <https://biblioclub.ru/>
3. Электронная библиотечная система издательств. Лань. — Полнотекстовая БД учебных и научных электронных изданий. Авторизованный доступ по паролю из любой точки сети Интернет. Регистрация в Библиотеке БашГУ, дальнейший доступ из любой точки сети Интернет. — <https://e.lanbook.com/>
4. Электронный каталог Библиотеки БашГУ — Справочно-поисковый аппарат библиотеки. Включает в себя систему каталогов и картотек, справочно- библиографический фонд. — <http://www.bashlib.ru/catalogi/>
5. Интернет-энциклопедия образовательных изданий «Википедия», в которой собраны электронные учебники,

справочники, а также статьи различной тематики. Удобный поиск по ключевым словам, отдельным темам, отраслям знания. <http://ru.wikipedia.org>



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

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине приведена в таблице:

<b>Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий</b>	<b>Вид занятий</b>	<b>Наименование оборудования, программного обеспечения</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Большая физическая аудитория 02	Лекции	Доска, мел
<b>учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа:</b> 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, 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, 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

очная

форма обучения

<b>Вид работы</b>	<b>Объем дисциплины</b>	
Общая трудоемкость дисциплины (ЗЕТ / часов)	2/72 5/180	
Учебных часов на контактную работу с преподавателем:	48,5	6 семестр
	73,2	7 семестр
Аудиторные занятия	32	6 семестр
	36	7 семестр
лекций	32	6 семестр
	36	7 семестр
практических/ семинарских лабораторных	52	6 семестр
	88	7 семестр
Самостоятельная работа студентов	-	
	23,5	6 семестр
	52,8	7 семестр
ФКР	0,5	6 семестр
	3,8	7 семестр
Учебных часов на подготовку к экзамену/зачету/дифференцированному зачету (Контроль)	54	7 семестр

Форма (ы) контроля:

Контрольная работа 6 семестр,

Экзамен 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 и
		лекции,	занятия,	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	2	2	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.	4	2	2	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	2	2	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 времени. Производная от операторов по времени. Квантовые уравнения движения. Теоремы Эренфеста. Интегралы движения. Квантовый аналог теоремы вириала. Соотношения	2	2	3,5	1. § 13, 16-19, 21-23 2. § 15-17,28-33, 35-37 3. § 16,17, 46-48 4. § 2 (а-г), 5 (а,б), 6(б) 5. § 6, 7, 24, 28, 31,	11. § 3	Модуль 2: Математический аппарат квантовой механики

	неопределенностей для физических величин. Неравенство Гейзенберга. Принцип дополнительности Бора.				32, 34,39-41 9. 2.1,2.2, 2.3, 2.7, 2.11		
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.	4	1	2	1.§21–24 2.§35–37; 3. §46–48; §50; 4.§5(а,б); §5(г-ж); 5. §39–42	<b>11.</b> § 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	1	2	1.§27-29; 2.§38-41; 3. §11 4.§7(г); 5. §44-48	<b>11.</b> § 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.	4	1	2			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	2	2	1.§30, 31; 2.§43, 44; 3. §13 4.§7(д); 5. § 49	<b>11.</b> § 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	2	2	1.§26, 32; 2.§47, 48, 55; 3. §21-23 4.§7(а-в);28(а-в) 5. § 14, 48, 50	<b>11.</b> § 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	2	1.§8, 34, 35; 2.§25; 3. §26-30 4.§7(а-в); 5. § 30		Мониторинг решения задач Компьютерное тестирование

11	Движение электрона в кулоновском поле (дискретный и непрерывный спектры). Спектр и собственные функции атома водорода. Движение электрона в одновалентных щелочных металлах.	4		2	1.§34; 2.§26,49; 3.§32; 5.§33	11. Гл.3 п.0,1,8 13. §1	Мониторинг решения задач  Компьютерное тестирование
ИТОГО за 6-й семестр		32	16	23.5			

### 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 и
		лекции, практические занятия, семинарские 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	2	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	2	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	2	1.§94; 2.§87; 7. §61-64	Ознакомиться с процессами излучения и поглощения	Компьютерное тестирование

					света. 7. §64	
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	2	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.		2	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).	2	2	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	2	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	2	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	2	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 2. Научиться выводить уравнения Паули. 9. Гл. 18, с.259-264	Компьютерное тестирование
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	2	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.	2	2	1. §65; 4. §22(д);	Ознакомиться со	Компьютерное

	Зарядовое сопряжение. P и C-четность. Частицы и античастицы.			5. §116	свойствами уравнений Дирака в ковариантной форме для частиц и античастиц. 9. Гл. 17, с.238-240	тестирование
12	Уравнение Дирака для частицы с нулевой массой покоя. Нейтрино. Комбинированная инверсия. СРТ-теорема.	1	2	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	2	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
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.	2	2	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.	3	2	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.	2	2	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	2	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	2	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 взаимодействие.	2	2	1.§129-131; 2.§125, 126; 4.§26(а);§27(а-в); 5. §78,79	Изучить метод Гайтлера-Лондона по расчету молекулы водорода. 7. §59,60; 11. Гл.15, п. 6	Компьютерное тестирование
20	Теория валентности. Силы Ван-дер-Ваальса. Энергетические уровни двухатомных молекул	2	2	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	2	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	2	2.§54; 4.§28(а-ж)	Ознакомиться с основными положениями квантовой теории твердого тела. 15. §6	Компьютерное тестирование
	<b>Всего часов:</b>	<b>36</b>	<b>44</b>			Консультация



## Практические занятия 7 семестр

Таблица 4

№ п.п.	Тема и содержание	Форма изучения материалов: лекции, практические занятия, семинарские занятия, лабора- торные работы, самостоятель- ная работа и трудоемкость (в часах)		Основная и дополнительная лите- ратура, рекомендуемая студентам (номера из списка)	Задания по самостоятельной работе студентов (СРС)	Форма теку- щего контроля успеваемости и
		ПР/СЕМ	СР			
1	2	3	4	5	6	7
1	<b>Модуль 1: Теория квантовых переходов</b> Теория возмущений в отсутствие вырождения	4	3	[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 возмущений 2. Решить задачи 8.1, 8.6 из [1]	Проверка решения задач
2	Теория возмущений при наличии вырождения	4	3	[1]. Зад. 8.5, 8.9	1. Рассчитать линейный эффект Штарка для атома водорода в 2р- 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.	4	3	[1]. Зад. 8.33 (а,б), 8.34	1. Получить выражение для амплитуды вероятности перехода во 2-ом порядке теории возмущений. 2. Решить задачи 5-7 из [4] §6	Проверка решения задач
4	Теория излучения. Время жизни возбужденного уровня.	4	3	[1]. Зад. 14.1, 14.2	1. Получить правила отбора для E1- переходов оптич. электрона в водородоподобном атоме. 2. Решить задачи 8,9 из [4] §6	Проверка решения задач
5	Оператор спина электрона.	4	3	[1]. Зад. 5.1, 5.2,	Решить задачи 5.3, 5.6 из [1], 2-5 из [2]	Проверка

	Матрицы Паули. Уравнения Паули.			5.4, 5.5	§7	решения задач
6	Уравнение Дирака. Матрицы Дирака. Ковариантная форма уравнений Дирака.	4	3	[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	3	[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	3	[1]. Зад. 11.6	Решить задачи 1-6 из [4] §8	Проверка решения задач
9	Статистический метод Томаса – Ферми.	4	2.3	[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>	36	26.3			

*Примечание.* Часы на самостоятельную работу в таблице включают в себя часы на подготовку к экзамену (контроль), распределенные между лекционными и практическими занятиями.

## Рейтинг-план дисциплины

## Квантовая теория

Направление подготовки (специальность)

03.03.01 Прикладные математика и физика

Направленность (профиль) подготовки / Специализация

Моделирование физических процессов и технологий

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>15</b>
1. Работа на практических занятиях		4	5	0	15
<b>Рубежный контроль</b>				<b>0</b>	<b>20</b>
1. Письменная контрольная работа №1		1	10	0	10
2. Тест №1		0,5	20		10
<b>Модуль 2.</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>15</b>
1. Письменная контрольная работа № 2		1	5	0	5
2. Тест № 2		0,5	20		10
<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>15</b>
1. Письменная контрольная работа № 3		1	5	0	5
2. Тест № 3		0,5	20		10
<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					

**Рейтинг-план дисциплины**

**Квантовая теория**

Направление подготовки (специальность)  
**03.03.01 Прикладные математика и физика**

Направленность (профиль) подготовки / Специализация  
**Моделирование физических процессов и технологий**

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	1	5	0	5
2. Тестирование	0,25	20		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	1	5	0	5
2. Тестирование	0,25	20		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	1	5	0	15
2. Тестирование	0,25	20		5
<b>Поощрительные баллы</b>				<b>10</b>
<b>Итоговый контроль</b>				
<b>Экзамен</b>			0	<b>30</b>

**Форма экзаменационного билета**

ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ФИЗИКО – ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1  
по дисциплине  
Квантовая теория  
Направление подготовки (специальность)  
**03.03.01 Прикладные математика и физика**

Направленность (профиль) подготовки / Специализация  
**Моделирование физических процессов и технологий**

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

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