

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ФИЗИКО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Утверждено:  
на заседании кафедры общей физики  
протокол № 3 от «19» января 2021 г.

Зав. кафедрой  /Балапанов М.Х.

Согласовано:  
Председатель УМК ФТИ



\_\_\_\_\_/Балапанов М.Х.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

Основы квантовой физики

Б1.О.11.04

**Программа специалитета**

Направление подготовки (специальность)  
**21.05.03 Технология геологической разведки**  
Направленность (профиль) подготовки  
**«Геофизические методы исследования скважин»**

Форма обучения  
очная

Квалификация  
**Специалист**

Разработчики (составители):

Доцент., к.ф.-м.н.  
(должность, ученая степень, ученое звание)



/\_Юлаева Ю.Х.

Для приема: 2021 г.

Уфа - 2021

## Список документов и материалов (оглавление)

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с установленными в образовательной программе индикаторами достижения компетенций	3
2. Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы	4
3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся) - (Приложение №1)	4 (21)
4. Фонд оценочных средств по дисциплине	5
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.	5
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.	6
<i>Рейтинг-план дисциплины (Приложение №2)</i>	30
5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	21
5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	21
5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины	21
6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине	22

# 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:

Формируемая компетенция (с указанием кода)	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине
<p><b>ОПК-3</b> Способен применять основные положения фундаментальных естественных наук и научных теорий при проведении научно-исследовательских работ по изучению и воспроизводству минерально-сырьевой базы.</p>	<p><b>ОПК-3.1.</b></p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основы квантовой теории, квантовые уравнения движения микрочастиц, квантовые статистические распределения; границы применимости классических и квантовых моделей физических явлений; строение электронной оболочки атома, квантовые числа электрона и атома, их физический смысл, роль электронной оболочки во взаимодействии атомов с внешними полями; знать основные экспериментальные факты: фотоэффект, опыты Франка и Герца, опыт Резерфорда, планетарную модель атома, закономерности в спектрах атомов, дифракцию микрочастиц, опыт Штерна и Герлаха, явление сверхпроводимости и сверхтекучести; знать роль внутреннего строения вещества (электронной оболочки атома) в формировании его физических и химических свойств; вклад квантовой теории в развитие научно-технического прогресса;</li> <li>- основные методики подготовки и проведения лабораторного эксперимента в области атомной физики</li> </ul>
	<p><b>ОПК-3.2.</b></p>	<p>Уметь: - применять современный математический аппарат при построении количественных моделей физических явлений и процессов, уметь решать задачи по основным темам курса</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Проводить физические измерения, обрабатывать и представлять экспериментальные данные, составлять и оформлять отчеты по проведенным экспериментам</li> </ul>
	<p><b>ОПК-3.3.</b></p>	<p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками применения квантовых представлений для объяснения основных экспериментальных фактов и физических явлений;</li> <li>- навыками проведения физического эксперимента, навыками решения задач по основным темам курса, навыками составления и оформления отчетов по выполненным экспериментам.</li> </ul>

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

Дисциплина «Основы квантовой физики» относится к *обязательной* части рабочего учебного плана.

Дисциплина изучается на 2 курсе в 4 семестре.

Целью учебной дисциплины является формирование у студентов научного физического мировоззрения на базе изучения строения электронных оболочек атомов и процессов, происходящих в них, для того, чтобы использовать полученные знания в своей профессиональной деятельности.

Раздел «Основы квантовой физики» заканчивает цикл дисциплин «Физика», в которых рассматриваются, в основном, классические представления физики, и начинает ознакомление с результатами физических экспериментов и теоретическими представлениями в области квантовой теории о свойствах микрообъектов и материи в целом.

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, предварительно сформированные в рамках изучения следующих дисциплин: механика, молекулярная физика, электричество и магнетизм, оптика, физический практикум, теоретическая механика, математический анализ, дифференциальные уравнения, тензорный анализ и векторная алгебра.

Чтобы приступить к изучению раздела физики «Основы квантовой физики» студент должен знать основные понятия и законы перечисленных выше дисциплин, уметь находить производные функций и их пределы, уметь пользоваться разложением функций в ряд, уметь решать дифференциальные уравнения с применением граничных и начальных условий, иметь навыки нахождения неопределенных и определенных интегралов функций. Студент должен иметь представления об основных средствах измерений в лабораторном физическом практикуме, уметь пользоваться измерительными приборами в рамках лабораторного физического практикума, иметь навыки расчетов погрешностей прямых и косвенных измерений.

Освоение данного раздела физики является обязательным этапом подготовки к изучению разделов специальных дисциплин.

## **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 соотношенных с ними запланированных результатов обучения по дисциплине. Описание критериев и шкал оценивания результатов обучения по дисциплине.

Код и формулировка компетенции

**ОПК-3** Способен применять основные положения фундаментальных естественных наук и научных теорий при проведении научно-исследовательских работ по изучению и воспроизводству минерально-сырьевой базы.

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине	Критерии оценивания результатов обучения			
		2 «Не удовлетворительно»	3 «Удовлетворительно»	4 «Хорошо»	5 «Отлично»
<b>ОПК-3.1.</b>	Знать: основы квантовой теории, квантовые уравнения движения микрочастиц, квантовые статистические распределения; границы применимости классических и квантовых моделей физических явлений; строение электронной оболочки атома, квантовые числа электрона и атома, их физический смысл, роль электронной оболочки во взаимодействии атомов с внешними полями; знать основные экспериментальные факты: фотоэффект, опыты Франка и Герца, опыт Резерфорда, планетарную модель атома, закономерности в спектрах атомов, дифракцию микрочастиц, опыт Штерна и Герлаха, явление сверхпроводимости и сверхтекучести; знать роль внутреннего строения вещества (электронной оболочки атома) в формировании его физических и химических свойств; вклад квантовой теории в развитие научно-технического прогресса, основные методики подготовки и проведения лабораторного эксперимента в области атомной физики	Показывает полное незнание материала или имеет фрагментарные знания небольшой части материала, допускает грубые ошибки	Имеет значительные пробелы в знаниях, допускает существенные ошибки в ответах	Знает почти всё, допускает незначительные ошибки в ответах	Знает всё
<b>ОПК-3.2.</b>	Уметь: - применять современный математический аппарат при построении количественных моделей физических явлений и процессов, уметь решать задачи по основным темам курса - проводить физические измерения, обрабатывать и представлять экспериментальные данные, составлять и оформлять отчеты по проведенным экспериментам	Не умеет	Умеет, но допускает значительные ошибки	Умеет, допускает незначительные ошибки	Умеет в совершенстве

<b>ОПК-3.3.</b>	Владеть: - навыками применения квантовых представлений для объяснения основных экспериментальных фактов и физических явлений - навыками проведения физического эксперимента, навыками решения задач по основным темам курса, навыками составления и оформления отчетов по выполненным экспериментам	Практически не владеет	Владеет слабо, допускает значительные ошибки	Владеет, допускает незначительные ошибки	Владеет в совершенстве
-----------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------	----------------------------------------------	------------------------------------------	------------------------

Критериями оценивания являются баллы, которые выставляются преподавателем за виды деятельности (оценочные средства) по итогам изучения модулей (разделов дисциплины), перечисленных в рейтинг-плане дисциплины (текущий контроль – максимум 40 баллов; рубежный контроль – максимум 30 баллов, поощрительные баллы – максимум 10 баллов) и за ответы обучаемого на экзамене – максимум 30 баллов.

Шкала перевода баллов рейтинга в пятибалльную шкалу итоговой оценки по дисциплине:  
от 0 до 44 баллов – «неудовлетворительно»  
от 45 до 59 баллов – «удовлетворительно»;  
от 60 до 79 баллов – «хорошо»;  
от 80 до 110 баллов – «отлично».

#### **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
<b>ОПК-3.1.</b>	Знать: - основы квантовой теории, квантовые уравнения движения микрочастиц, квантовые статистические распределения; границы применимости классических и квантовых моделей физических явлений; строение электронной оболочки атома, квантовые числа электрона и атома, их физический смысл, роль электронной оболочки во взаимодействии атомов с внешними полями; знать основные экспериментальные факты: фотоэффект, опыты Франка и Герца, опыт Резерфорда, планетарную модель атома, закономерности в спектрах атомов, дифракцию микрочастиц, опыт Штерна и Герлаха, явление сверхпроводимости и сверхтекучести; знать роль внутреннего строения вещества (электронной оболочки атома) в формировании его физических и химических свойств; вклад квантовой теории в развитие научно-технического прогресса - основные методики подготовки и проведения лабораторного эксперимента в области атомной физики	Письменная контрольная работа Тест Лабораторная работа
<b>ОПК-3.2.</b>	Уметь: - применять современный математический аппарат при построении количественных моделей физических явлений и процессов, уметь решать задачи по основным темам курса	Письменная контрольная работа Тест Лабораторная работа

	- проводить физические измерения, обрабатывать и представлять экспериментальные данные, составлять и оформлять отчеты по проведенным экспериментам	
<b>ОПК-3.3.</b>	Владеть: - навыками применения квантовых представлений для объяснения основных экспериментальных фактов и физических явлений - навыками проведения физического эксперимента, навыками решения задач по основным темам курса, навыками составления и оформления отчетов по выполненным экспериментам.	Лабораторная работа

### 4.3 Рейтинг-план дисциплины

Рейтинг–план дисциплины представлен в приложении 2.

#### Экзаменационные билеты

Структура экзаменационного билета:

*Билет состоит из двух теоретических вопросов.*

#### **Примерные вопросы для экзамена:**

1. Корпускулярные свойства электромагнитного излучения. Фотоэффект. Эффект Комптона.
2. Волновые свойства частиц. Гипотеза де Бройля. Опыт Девиссона и Джермера. Дифракция нейтронов.
3. Волновые свойства микро- и макрочастиц. Свойства волн де Бройля (волновая функция, физический смысл волновой функции).
4. Принцип неопределенности Гейзенберга.
5. Средние значения физических величин в квантовой механике (координата, импульс). Понятие оператора.
6. Операторы координаты, импульса. Общее правило нахождения операторов в квантовой механике. Оператор полной энергии.
7. Собственные состояния и функции. Уравнение Шредингера для стационарных состояний.
8. Частица в потенциальной яме. Собственные значения энергии частицы.
9. Частица в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Собственные функции.
10. Потенциальный барьер. Туннельный эффект.
11. Холодная эмиссия электронов из металла. Контактная разность потенциалов.
12. Гармонический осциллятор. Правило отбора. Нулевая энергия.
13. Закономерности атомных спектров на примере атома водорода. Обобщенная формула Бальмера. Комбинационный принцип Ритца.
14. Опыт Резерфорда по рассеянию альфа-частиц. Ядерная модель атома. Формула Резерфорда.
15. Постулаты Бора. Опыты Франка и Герца.
16. Правило квантования круговых орбит.
17. Элементарная боровская теория водородоподобного атома.
18. Квантовая теория водородоподобного атома. Собственные функции и значения энергии. Квантовые числа, их физ.смысл. Вырожденные состояния.

19. Классификация состояний электрона по моменту импульса. Схема энергетических уровней атома водорода и спектр излучения. Правила отбора по орб. кв. числу  $l$ .
20. Распределение плотности в электронном облаке (на примере атома водорода).
21. Учет конечности массы ядра в формуле энергии атома водорода.
22. Изотопический сдвиг. Опыт Юри.
23. Атомы щелочных металлов. Уровни энергии и спектр излучения атома натрия.
24. Спин электрона. Спин-орбитальное взаимодействие. Понятие тонкой структуры уровней.
25. Объяснение дублетной структуры спектров атомов щелочных металлов на примере атома натрия (главная, резкая, диффузная и фундаментальные серии).
26. Орбитальный магнитный момент электрона по классической теории. Гиромагнитное отношение. Ларморова прецессия.
27. Опыты Штерна и Герлаха. Понятие пространственного квантования.
28. Полный механический и магнитный моменты электрона. Вывод фактора Ланде с помощью векторной модели.
29. Результирующий (полный) механический момент электронной оболочки многоэлектронного атома. Типы связей электронов в атомах.
30. L-S связь. Квантовое число  $J$  полного механического момента атома. Термы атомов. Мультиплетность терма. Количество подуровней тонкой структуры уровня.
31. Результирующий (полный) магнитный момент атома. Вывод фактора Ланде.
32. Магнитомеханические эффекты. Опыт Эйнштейна и де Хааса.
33. Эффект Барнетта.
34. Расщепление уровней энергии атома в слабом магнитном поле.
35. Сложный эффект Зеемана. Расщепление линий излучения.
36. Простой эффект Зеемана. Эффект Пашена-Бака.
37. Принцип Паули. Симметричные и антисимметричные волновые функции. Бозоны и фермионы.
38. Правила Хунда. Примеры применения правила Хунда.
39. Электронные конфигурации. Идеальная схема заполнения электронных оболочек.
40. Периодичность химических свойств элементов. Периодическая система элементов. Заполнение электронных состояний в первых трех периодах.
41. Периодическая система Д.И.Менделеева. Отклонения от идеальной схемы заполнения оболочек (3d- и 4d- переходные металлы, лантаноиды и актиноиды).
42. Рентгеновские спектры. Закон Мозли.
43. Сверхпроводимость.
44. Сверхтекучесть гелия.



**Пример экзаменационного билета:**

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет»

Физико-технический институт

Кафедра общей физики

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 11**  
по дисциплине «Основы квантовой физики»

Направление **21.05.03** Технология геологической разведки

Профиль «**Геофизические методы исследования скважин**»

1. Постулаты Бора. опыты Франка и Герца.
2. Сложный эффект Зеемана. Расщепление уровней энергии.

«Утверждаю»

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Балапанов М.Х.  
(подпись) (Ф.И.О.)

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, и баллов, полученных на экзамене.

За работу в семестре студент получает до 70 баллов за выполнение заданий в рамках текущего и рубежного контроля и дополнительно до 10 баллов за результаты участия в олимпиаде студентов по общей физике. Для допуска к экзамену студент должен набрать в семестре не менее 35 баллов и получить зачет по физическому практикуму.

Максимальное количество баллов, получаемое студентом на экзамене, составляет 30 баллов.

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 оценивания ответа на экзамене:**

Максимальная оценка – 30 баллов складывается из оценки за ответ на теоретические вопросы билета (два вопроса оцениваются максимально по 9 баллов каждый), из оценки за решение задачи (6 баллов) и оценок за ответы на дополнительные вопросы (два вопроса, оцениваемых каждый в 3 балла максимально).

#### **За ответы на вопросы билета выставляется**

- **15-18 баллов**, если студент дал полные, развернутые ответы на все теоретические вопросы билета, продемонстрировал знание формул, терминологии, понимание физической сути явлений и экспериментов, умение последовательно и логично отвечать на вопросы билета в объеме рекомендованной литературы.

Студент без затруднений ответил на уточняющие вопросы преподавателя по материалам билета.

- **10-14 баллов** выставляется студенту, если студент раскрыл без серьезных ошибок оба теоретических вопроса, однако показал пробелы в знаниях 20-25 % объема билета. Не на все уточняющие вопросы были даны корректные ответы.

- **5-9 баллов** выставляется студенту, если даны ответы на оба теоретических вопроса в объеме 35-50 % от полного ответа. Студентом допущено несколько существенных ошибок в толковании основных понятий, законов и формул, описании основных экспериментов. Студент не дает удовлетворительных ответов на уточняющие вопросы по билету.

- **1-4 балла** выставляется студенту, если ответ на теоретические вопросы свидетельствует о непонимании и крайне неполном знании основных понятий, законов и экспериментов, или полностью отсутствует ответ на один вопрос и допущены серьезные ошибки и пробелы при ответе на второй вопрос. На уточняющие вопросы по билету не получены ответы или ответы на них в корне ошибочны.

### **Примеры задач к экзамену:**

1. Для прекращения фотоэффекта, вызванного облучением ультрафиолетовым светом платиновой пластинки, нужно приложить задерживающую разность потенциалов 3,7 В. Если платиновую пластинку заменить другой пластинкой, то задерживающую разность потенциалов придется увеличить до 6 В. Определить работу выхода электронов с поверхности этой пластинки.
2. На какую кинетическую энергию ускоряемых протонов должен быть рассчитан ускоритель, чтобы исследовать пространственные структуры размером  $\sim 1$  фм ( $10^{-13}$  см).
3. Оценить с помощью принципа неопределенностей минимальную кинетическую энергию электрона, локализованного в области размером  $l = 0,2$  нм.
4. Будут ли испытывать дифракцию на кристаллической решетке нейтроны, имеющие кинетическую энергию 1 МэВ? Считать, что период кристаллической решетки имеет порядок  $1 \text{ \AA}$ . Ответ обосновать расчетами.
5. Найти длину волны де Бройля электронов, испытывающих дифракцию на грани монокристалла, если второй максимум зеркального отражения наблюдается под углом  $\Theta$  к поверхности, равным  $30^\circ$ . Расстояние  $d$  между соседними атомными плоскостями, параллельными поверхности монокристалла равно  $1,60 \text{ \AA}$ .
6. Свободно движущаяся нерелятивистская частица имеет относительную неопределенность кинетической энергии порядка  $1,6 \cdot 10^{-4}$ . Оценить, во сколько раз неопределенность координаты такой частицы больше ее дебройлевской длины волны.
7. Оценить неопределенность скорости электрона в атоме водорода, полагая размер атома порядка  $10^{-8}$  см. Сравнить полученное значение со скоростью электрона на первой боровской орбите.
8. Найти энергию связи электрона в основном состоянии водородоподобных ионов, в спектре которых длина волны первой линии серии Бальмера равна  $164,2$  нм.

9. На сколько надо увеличить внутреннюю энергию атома водорода, находящегося в основном состоянии, чтобы он мог испустить фотон, соответствующий головной линии серии Пашена?
10. Какую минимальную энергию должен получить ион гелия, находящийся в основном состоянии, чтобы он мог испустить фотон, соответствующий головной серии Бальмера?
11. Потенциал ионизации атома щелочного металла цезия равен 3.89 эВ. Определить квантовый дефект основного состояния.
12. Найдите длину волны коротковолновой границы резкой серии атома лития, если ридберговская поправка к R-термам атома лития  $p = -0,04$ .
13. Напишите электронную конфигурацию атома бора. Воспользовавшись правилами Хунда, определите его основной терм.
14. Укажите квантовые переходы, образующие тонкую структуру головной линии серии Бальмера в спектре атома водорода.
15. Вычислить в единицах постоянной Планка возможные значения модуля полного механического момента атома  $|M_j|$  для атома, имеющего спектральный терм  $3D$ .
16. Определить возможные значения магнитного момента атома в состоянии  $4P$ .
17. Найти в магнетонах Бора полный магнитный момент атома, имеющего спектральный терм  $3P_1$ .
18. Найти полный магнитный момент атомов в состояниях  $4D_{1/2}$ .
19. Найти спиновый механический момент атомов в состояниях  $4F_{3/2}$ .
20. Найти орбитальный механический момент атомов в состояниях  $3D_1$ .
21. Определить, на сколько подуровней расщепится в слабом магнитном поле энергетический уровень, соответствующий терму  $2P_{3/2}$ ?
22. Нарисовать схему расщепления и возможные переходы между уровнями термов  $2P$  и  $2S$  в слабом магнитном поле.
23. Используя правило Хунда, определить полный механический момент атома, единственная незаполненная оболочка которого содержит два  $p$ -электрона.
24. Сколько спектральных линий, разрешенных правилами отбора, возникает при переходе атомов лития в основное состояние из состояния  $4S$ .
25. На сколько компонент расщепится пучок атомов углерода, находящихся в основном состоянии, в эксперименте Штерна и Герлаха? Для нахождения основного терма атома использовать правило Хунда.

**За решение задачи на экзамене выставляется:**

- 6 баллов, если задача решена полностью и без замечаний;
- 5 баллов, если задача решена полностью, но есть небольшие недочеты или несущественная ошибка в численных расчетах или преобразованиях;
- 4 балла, если все исходные положения теории и логические выводы записаны верно, но преобразования не закончены или в преобразованиях допущена ошибка;
- 3 балла, если в исходных уравнениях или в идее решения допущена серьезная ошибка, что привело к неверному результату или отсутствует одно из необходимых исходных уравнений, однако выполнены преобразования, направленные на получение ответа;
- 2 балла, если отсутствует два исходных уравнения из трех или четырех необходимых, или допущена грубая ошибка, свидетельствующая о непонимании условия задачи, однако присутствуют верные логические рассуждения, идея решения, частично правильные действия, направленные на получение ответа;
- 1 балл, если есть правильно записанное одно или два исходных положения теории или идея решения, но не сделано никаких действий для получения ответа;
- 0 баллов – решение отсутствует или полностью ошибочно.

Задача не входит в экзаменационный билет и выдается студенту отдельно, после ответа на теоретические вопросы билеты.

**Примеры дополнительных вопросов на экзамене:**

1. Сформулируйте постулаты Бора.
2. Что было впервые обнаружено в опыте Франка и Герца?
3. Напишите обобщенную формулу Бальмера для серий излучения атома водорода.
4. Сформулируйте гипотезу де Бройля.
5. Что впервые доказал опыт Девиссона и Джермера?
6. В чем заключается физический смысл волновой функции.
7. Сформулируйте принцип неопределенности Гейзенберга.
8. Напишите формулы для операторов координаты и импульса.
9. Напишите формулу уравнения Шредингера для стационарных состояний.
10. Опишите модель атома Резерфорда.
11. Напишите формулу для энергии атома водорода.
12. Назовите квантовые числа электрона.
13. Приведите классификацию состояний электрона по моменту импульса.
14. Чему равно спиновое число электрона?
15. Что впервые было обнаружено в опыте Штерна и Герлаха?
16. Какое квантовое число определяет возможные значения проекции магнитного момента атома?
17. В чем заключается физический смысл квантового числа полного механического момента атома?
18. Сформулируйте принцип Паули.
19. Опишите идеальную схему заполнения электронных оболочек атома.
20. В чем причина периодичности химических свойств элементов с увеличением их порядкового номера?

**За ответ на дополнительный вопрос на экзамене выставляется:**

- 3 балла, если студент дал исчерпывающе полный и правильный ответ;
- 2 балла, если ответ верен, но дан не в полном объеме учебной программы, или содержит незначительные ошибки;
- 1 балл, если ответ на вопрос дан, но содержит серьезные ошибки или большие пробелы в изложении;
- 0 баллов, если студент не ответил или ответил в корне неверно.

Дополнительные вопросы задаются студенту после ответа на вопросы билета.

## **Физический практикум**

В состав дисциплины включен физический практикум, по которому предусмотрен отдельный зачет.

### **Список выполняемых лабораторных работ.**

1. Лабораторная работа № 1 «Законы фотоэффекта»;
2. Лабораторная работа № 2 «Определение потенциалов возбуждения атомов аргона (опыт Франка и Герца)»;
3. Лабораторная работа № 4 «Изучение спектра излучения атома водорода и определение постоянной Ридберга»;
4. Лабораторная работа № 6 "Изучение гелий-неонового лазера";
5. Лабораторная работа № 7 «Изучение простого эффекта Зеемана»;
6. Лабораторная работа № 9 «Изучение дифракции электронов и определение межплоскостных расстояний поликристалла»;
7. Лабораторная работа № 10 «Изучение тонкой структуры атома натрия»;

8. Лабораторная работа № 12 «Эмиссионный спектральный анализ сплавов на стилоскопе СЛ-13»;

9. Лабораторная работа № 16 "Изучение структуры спектра двухатомной молекулы».

### Задания для оценивания выполнения и защиты лабораторных работ

За допуск, выполнение измерений, оформление отчета по лабораторной работе студент может получить 6 баллов. За защиту отчета по лабораторной работе ставится до 5 баллов. Максимальный балл за выполнение и защиту лабораторной работы составляет 11 баллов. Всего выполняется 8 работ. После выполнения всех работ сдается тест на владение экспериментальными навыками, оцениваемый в 12 баллов. Для получения зачета студент должен выполнить все 8 работ, получив не менее 60 баллов.

Лабораторные работы, выполняемые в курсе изучения дисциплины, описаны в методических указаниях, доступных в лаборатории и в электронной сети БашГУ:

### Список методических указаний к лабораторным работам по атомной физике:

№ п/п	Наименование	Кол-во стр.	Авторы	Год издания
1	Методические указания для выполнения лабораторной работы № 1 по атомной физике "Изучение основных законов фотоэффекта"	12	Балапанов М.Х.	2016
2	Методические указания для выполнения лабораторной работы № 2 по атомной физике «Определение потенциалов возбуждения атомов аргона (опыт Франка и Герца)»	12	Балапанов М.Х.	2016
3	Методические указания для выполнения лабораторной работы № 4 по атомной физике «Изучение спектра излучения атома водорода и определение постоянной Ридберга»	20	Балапанов М.Х. Юлаева Ю.Х.	2018
4	Методические указания для выполнения лабораторной работы № 6 по атомной физике "Изучение гелий-неонового лазера"	18	Балапанов М.Х. Юлаева Ю.Х.	2017
5	Методические указания для выполнения лабораторной работы № 9 по атомной физике «Изучение дифракции электронов и определение межплоскостных расстояний поликристалла»	18	Балапанов М.Х.	2016
6	Методические указания для выполнения лабораторной работы № 10 по атомной физике «Изучение тонкой структуры атома натрия»	32	Балапанов М.Х. Ишембетов Р.Х.	2016
7	Методические указания для выполнения лабораторной работы № 12 по атомной физике «Эмиссионный спектральный анализ сплавов на стилоскопе СЛ-13»	22	Балапанов М.Х. Ишембетов Р.Х.	2017
8	Методические указания для выполнения лабораторной работы № 16 по атомной физике "Изучение структуры спектра двухатомной молекулы»	24	Балапанов М.Х.	2016

## Примеры контрольных вопросов к лабораторным работам:

Контрольные вопросы к защите лабораторной работы № 10  
по атомной физике «Изучение тонкой структуры спектра атома»:

1. В чем состоит принципиальное отличие энергетических уровней щелочных элементов от уровней атома водорода?
2. Чем обусловлен квантовый дефект?
3. Дайте качественное объяснение зависимости квантового дефекта от орбитального числа
4. Запишите спектральные серии щелочных элементов.
5. Чем объяснить дублетную структуру спектров щелочных элементов?
6. Каким взаимодействием обусловлено тонкое расщепление энергетических спектров атомов?
7. Расшифруйте запись состояний атома  ${}^2P_{1/2}$ ,  ${}^3P_2$ ,  ${}^2D_{5/2}$ ,  ${}^1F_3$ .
8. Объясните резкость и размытость линий резкой и диффузной серий соответственно.
9. Определите разность энергий состояний  $3^2P_{3/2}$  и  $3^2P_{1/2}$  атома натрия.
10. Постройте схему допустимых по правилам отбора квантовых переходов атома натрия из состояния  $5F$  в основное состояние.

Контрольные вопросы к защите лабораторной работы № 4 по атомной физике  
«Изучение спектра излучения атома водорода и  
определение постоянной Ридберга»:

1. Что называется спектральной серией?
2. Что называется границей серии?
3. Напишите обобщенную формулу Бальмера для водородоподобного атома.
4. Чему равен предел серии Лаймана? предел серии Бальмера?
5. Что называется спектральным термом?
6. Сформулируйте комбинационный принцип Ритца. Какая связь существует между теорией Бора и комбинационным принципом Ритца?
7. Сформулируйте правило частот Бора.
8. Выведите формулу условия квантования электронных орбит (второй постулат Бора).
9. Что называется изотопическим сдвигом? Чем отличается спектр легкого водорода от спектра дейтерия и трития (тяжелого водорода)?
10. Какие квантовые числа описывают состояние электрона в атоме водорода? В чем их физический смысл?
11. Какие состояния называют вырожденными? Чему равна степень вырождения n-ого уровня в атоме водорода?
12. Как классифицируются состояния электрона по орбитальному квантовому числу?
13. Чему равен в единицах  $\hbar$  модуль орбитального момента d - электрона?
14. Определите в единицах  $\hbar$  возможные значения проекции орбитального момента импульса f-электрона.
15. Что Вы знаете о правилах отбора?
16. Что такое спин? Чему равно спиновое квантовое число электрона?
17. Дайте определение тонкой структуры уровней.
18. Что такое спин-орбитальное взаимодействие?
19. Начертите схему энергетических уровней атома водорода с учетом спин-орбитального взаимодействия.

## Описание критериев оценивания выполнения и защиты лабораторных работ:

2 балла получает студент, если им сдан допуск к лабораторной работе (знание физической сути изучаемого явления, целей и задач работы, методов измерений и устройства экспериментальной установки);

- 2 балла получает студент, если им полностью выполнены все измерения по лабораторной работе, заполнена таблица измерений и выполнен предварительный расчет результата;
- 2 балла получает студент, если им полностью оформлен отчет по лабораторной работе с расчетом погрешностей, анализом результатов и сделаны выводы по работе;
- 5 баллов получает студент, если он дал полные и правильные ответы на все заданные вопросы по теории к данной работе, методике эксперимента и экспериментальной установке.
- 2 балла получает студент при контроле экспериментальных умений, если он владеет правилами пользования электроизмерительными приборами, правильно производит настройку установки, правильно производит измерения физических величин.

В установленных рамках студенту ставится конкретный балл (от нуля до максимального) с учетом объема и качества выполненной работы или полноты и правильности ответа.

За работу в семестре студент получает при выполнении физического практикума до 100 баллов за выполнение заданий в рамках текущего и рубежного контроля и дополнительно до 10 баллов за результаты участия в олимпиаде студентов по общей физике. Для зачета по физическому практикуму студент должен набрать в семестре не менее 60 баллов.

### **Примеры дополнительных вопросов:**

21. Сформулируйте постулаты Бора.
22. Что было впервые обнаружено в опыте Франка и Герца?
23. Напишите обобщенную формулу Бальмера для серий излучения атома водорода.
24. Сформулируйте гипотезу де Бройля.
25. Что впервые доказал опыт Девиссона и Джермера?
26. В чем заключается физический смысл волновой функции.
27. Сформулируйте принцип неопределенности Гейзенберга.
28. Напишите формулы для операторов координаты и импульса.
29. Напишите формулу уравнения Шредингера для стационарных состояний.
30. Опишите модель атома Резерфорда.
31. Напишите формулу для энергии атома водорода.
32. Назовите квантовые числа электрона.
33. Приведите классификацию состояний электрона по моменту импульса.
34. Чему равно спиновое число электрона?
35. Что впервые было обнаружено в опыте Штерна и Герлаха?
36. Какое квантовое число определяет возможные значения проекции магнитного момента атома?
37. В чем заключается физический смысл квантового числа полного механического момента атома?
38. Сформулируйте принцип Паули.
39. Опишите идеальную схему заполнения электронных оболочек атома.
40. В чем причина периодичности химических свойств элементов с увеличением их порядкового номера?

## Рейтинг – план физического практикума

Виды учебной деятельности студентов	Балл за конкретное задание	Число заданий за семестр	Баллы	
			Минимальный	Максимальный
<b>Модуль 1 «Экспериментальные основы квантовой теории»</b>				
<b>Текущий контроль</b>				<b>20</b>
1. Допуск к работе	0-2	3	0	6
2. Выполнение измерений.	0-2	3	0	6
3. Оформление отчета.	0-2	3	0	6
4. Контроль экспериментальных умений	0-2	1	0	2
<b>Рубежный контроль</b>				<b>15</b>
1. Защита лабораторной работы.	0-5	3	0	15
<b>ВСЕГО ПО МОДУЛЮ 1</b>			<b>0</b>	<b>35</b>
<b>Модуль 2 «Квантовая теория атомов и молекул»</b>				
<b>Текущий контроль</b>				<b>30</b>
1. Допуск к работе	0-2	5	0	10
2. Выполнение измерений.	0-2	5	0	10
3. Оформление отчета.	0-2	5	0	10
<b>Рубежный контроль</b>				<b>35</b>
1. Защита лабораторной работы.	5	5	0	25
3. Тест	0-2	5	0	10
<b>ВСЕГО ПО МОДУЛЮ 2</b>			<b>0</b>	<b>65</b>
<b>Посещаемость (баллы вычитаются из общей суммы набранных баллов)</b>				
1. Посещение практических занятий			<b>0</b>	<b>-10</b>
<b>Итоговый контроль - зачет</b>			<b>60</b>	<b>110</b>

### Зачетная контрольная работа.

Учебным планом по дисциплине «Основы квантовой физики» для проверки уровня усвоения необходимых компетенций предусмотрена контрольная работа, которая имеет 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.

- Для прекращения фотоэффекта, вызванного облучением ультрафиолетовым светом платиновой пластинки, нужно приложить задерживающую разность потенциалов 3,7 В. Если платиновую пластинку заменить другой пластинкой, то задерживающую разность потенциалов придется увеличить до 6 В. Определить работу выхода электронов с поверхности этой пластинки.
- Будут ли испытывать дифракцию на кристаллической решетке нейтроны, имеющие кинетическую энергию 1 МэВ? Считать, что период кристаллической решетки имеет порядок  $1 \text{ \AA}$ . Ответ обосновать расчетами.



3. На сколько надо увеличить внутреннюю энергию атома водорода, находящегося в основном состоянии, чтобы он мог испустить фотон, соответствующий головной линии серии Пашена?
4. Рассчитайте и нарисуйте схему расщепления в слабом магнитном поле энергетического уровня, которому соответствует терм состояния  $^2D_{3/2}$ .
5. В единственной незаполненной d-подоболочке атома находится 2 электрона. На сколько компонент расщепится пучок таких атомов, находящихся в основном состоянии, в эксперименте Штерна и Герлаха? Для нахождения основного терма атома использовать правило Хунда.

#### 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 непринципиальная 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.

#### Критерии оценивания освоения компетенций по зачетной контрольной работе

Этапы освоения	Результаты обучения	Критерии оценивания	
		«не зачтено»	«зачтено»
<b>ОПК-3.1.</b>	Знать: основы квантовой теории, квантовые уравнения движения микрочастиц, квантовые статистические распределения; границы применимости классических и квантовых моделей физических явлений; строение электронной оболочки атома, квантовые числа электрона и атома, их физический смысл, роль электронной оболочки во взаимодействии атомов с внешними полями; знать основные экспериментальные факты: фотоэффект, опыты Франка и Герца, опыт Резерфорда, планетарную модель атома, закономерности в спектрах атомов, дифракцию микрочастиц, опыт Штерна и Герлаха, явление сверхпроводимости и сверхтекучести; знать роль внутреннего строения вещества (электронной оболочки атома) в формировании его физических и химических свойств; вклад квантовой теории в развитие научно-технического прогресса, основные методики подготовки и проведения лабораторного эксперимента в области атомной физики	Не знает	знает
<b>ОПК-3.2.</b>	Уметь: Проводить физические измерения, применять современный математический аппарат при построении количественных моделей физических явлений и процессов, для решения задач по основным темам курса	Не умеет	Умеет

<b>ОПК-3.3.</b>	Владеть: навыками проведения физического эксперимента, решения задач по основным темам курса, навыками применения квантовых представлений для объяснения основных экспериментальных фактов и физических явлений	Не умеет	Умеет
-----------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------	-------

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».

### **Задания для контрольных работ**

Кроме итоговой зачетной контрольной работы в качестве оценочных средств освоения компетенций применяются также контрольные работы по отдельным модулям и темам программы.

#### **Описание контрольной работы №1**

Контрольная работа состоит из пяти задач. Время выполнения – 90 минут.

Каждая задача оценивается в 3 балла.

#### ***Пример варианта контрольной работы №1:***

##### **Вариант № 1.**

1. Найти работу выхода с поверхности некоторого металла, если при поочередном освещении его электромагнитным излучением с длинами волн  $\lambda_1=0,35$  мкм и  $\lambda_2=0,54$  мкм максимальные скорости фотоэлектронов отличаются в  $\eta=2$  раза.
2. Фотон с энергией  $\hbar\omega$  рассеялся под углом  $\alpha$  на покоящемся свободном электроне. Определить угол  $\varphi$ , под которым вылетел электрон отдачи (по отношению к направлению налетевшего фотона).
3. Узкий пучок моноэнергетических электронов падает под углом скольжения  $\beta=30^\circ$  на естественную работавенную грань монокристалла алюминия. Расстояние между соседними кристаллическими плоскостями, параллельными этой грани монокристалла,  $d=0,2$  нм. При некотором ускоряющем напряжении  $U_0$  наблюдали максимум зеркального отражения. Найти  $U_0$ , если известно, что следующий максимум зеркального отражения возникал при увеличении ускоряющего напряжения  $U_0$  в  $m=2,25$  раза.
4. Оценить неопределенность скорости электрона в атоме водорода, полагая размер атома порядка  $1\text{ \AA}$ . Сравнить полученное значение со скоростью электрона на первой боровской орбите.
5. Частица массой  $m$  движется по круговой орбите в центрально-симметричном потенциальном поле  $U=\chi r^2/2$ . Найти с помощью боровского условия квантования разрешенные радиусы орбит и уровни энергии частицы.

#### ***Критерии оценивания задач контрольной работы №1***

- 3 балла выставляется студенту, если задача решена абсолютно верно;
- 2 балла выставляется студенту, если в решении допущены принципиальные ошибки, приводящие к неверному ответу;

-1 балл - 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 ответ не соответствует условию задачи.

## Описание контрольной работы № 2:

Контрольная работа состоит из трех задач, время выполнения – 90 минут.

Каждая задача оценивается в 5 баллов.

### *Пример варианта контрольной работы № 2:*

Вариант № 2.

1. Вычислить среднее значение квадрата момента импульса в состоянии  $\psi(v, \varphi) = A \sin v \cos \varphi$ .
2. Найти с помощью уравнения Шрёдингера энергию гармонического осциллятора с частотой  $\omega$  в стационарном состоянии  $\psi(x) = Bx \exp(-a^2 x^2)$ , где  $B$  и  $a$  – постоянные.
3. Найти с помощью формулы для нахождения коэффициента прозрачности потенциального барьера вероятность прохождения частицы массой  $m$  и энергией  $E$  сквозь потенциальный барьер  $U(x) = U_0(1 - x^2/L^2)$ .

### *Критерии оценивания задач контрольных работ:*

- 5 баллов выставляется студенту, если задача решена абсолютно верно;

- 4 балла 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;

- 3 балла 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 (задача решена наполовину);

- 1-2 балла 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 ответ не соответствует условию задачи.

## Задания для проведения письменных работ

### Письменная работа № 1.

Содержит задания для рубежного контроля усвоения материала первых 8 лекций (модуль 1).

Письменная работа рассчитана на 45 минут, состоит из 4 заданий. Каждое задание оценивается в 4 балла.

### *Пример варианта письменной работы № 1.*

ВАРИАНТ № 1

1. Получите выражение для кинетической энергии электрона в рамках теории Бора для атома водорода.
2. Выпишите все возможные значения магнитного квантового числа для f-электрона.

3. Что произойдет с вольтамперной характеристикой ртутной лампы, если в опыте Франка и Герца установить задерживающую разность потенциалов 5 В между сеткой и анодом ?
4. Перечислите серии излучения атомов щелочных металлов.

### ***Критерии оценивания заданий письменной работы №1.***

- 4 балла выставляется студенту за полностью выполненное задание, не содержащее ошибок;
- 3 балла выставляется студенту, если задание выполнено с небольшими ошибками или недочетами;
- 2 балла выставляется студенту, если задание выполнено наполовину или при верных расчетах и рассуждениях имеются серьезные ошибки;
- 1 балл выставляется студенту, если верно выполнена небольшая часть задания или имеются отдельные верно записанные формулы или положения теории, необходимые для выполнения задания;
- 0 баллов ставится при отсутствии ответа или при полностью неверном ответе или когда ответ не соответствует условию задачи.

### **Письменная работа № 2.**

Содержит задания для текущего контроля усвоения материала второй половины лекционного курса (модуль 2). Письменная работа рассчитан на 45 минут, состоит из 3 заданий. Каждое задание оценивается в 5 баллов.

#### ***Пример варианта письменной работы № 2:***

##### **Вариант № 1 ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА №2 ПО АТОМНОЙ ФИЗИКЕ**

1. Выпишите возможные значения квантового числа  $J$  полного механического момента атома в состоянии с квантовыми числами орбитального и спинного момента  $L=2$  и  $S=3/2$ .
2. На сколько компонент расщепится в неоднородном магнитном поле пучок атомов в состоянии  $^5F_2$ ?
3. Запишите электронную конфигурацию (распределение электронов по оболочкам и орбиталям) для атома, имеющего 15 электронов.

### ***Критерии оценивания заданий письменной работы №2.***

- 5 баллов выставляется студенту за полностью выполненное задание, не содержащее ошибок и недочетов;
- 4 балла выставляется студенту, если задание выполнено с небольшими ошибками или недочетами;
- 3 балла выставляется студенту, если задание доведено до верного ответа, но не содержит необходимой аргументации или промежуточных преобразований, решение или рассуждения содержат существенную ошибку;
- 2 балла выставляется студенту, если он приводит все необходимые положения теории, но не пользуется ими для выполнения практической части задания или для необходимых логических рассуждений;
- 1 балл выставляется студенту, если верно выполнена небольшая часть задания или имеются отдельные верно записанные формулы или положения теории, необходимые для выполнения задания;
- 0 баллов ставится при отсутствии ответа или при полностью неверном ответе или когда ответ не соответствует условию задачи.

## 5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

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

#### Основная литература:

1. Шпольский Э.В.. Атомная физика : учебное пособие / Э. В. Шпольский .— М. : Лань, 2010 . Т. 1 : Введение в атомную физику / Э. В. Шпольский .— 8-е, стер. — 560 с. [В библ. БашГУ имеется **25 экз.**]  
или [Шпольский Э.В.](#) . Атомная физика [Электронный ресурс] : учебник : [в 2 т.] / Э.В. Шпольский .— СПб. [и др.] : Лань, 2010 . Т. 1: Введение в атомную физику .— Изд. 8-е, стер. — 557 с. Доступ к тексту электронного издания возможен через Электронно-библиотечную систему издательства "Лань" .— <URL:[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=442](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=442)>.
2. Шпольский Э.В.. Атомная физика : учебное пособие / Э. В. Шпольский .— М. : Лань, 2010. Т. 2: Основы квантовой механики и строение электронной оболочки атома .— 6-е, стер. — 448 с. [В библ. БашГУ имеется **25 экз.**]  
или [Шпольский Э.В.](#).. Атомная физика [Электронный ресурс] : учебник : [в 2 т.]— СПб.: Лань, 2010 .— Т. 2: Основы квантовой механики и строение электронной оболочки атома .— Изд. 8-е, стер. — 557 с.— Доступ к тексту электронного издания возможен через Электронно-библиотечную систему издательства "Лань" <URL:[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=443](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=443)>.
3. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Атомная и ядерная физика. Ч.1, Атомная физика. М. Физматлит-МФТИ, 2005 г. [В библ. БашГУ имеется **81 экз.**]
4. Иродов И.Е. Задачи по квантовой физике : учеб. пособие для вузов. 2-изд., испр. — М. : Физматлит, 2001 .— 215 с. [В библ. БашГУ имеется **50 экз.** изд. 2001 г.+ **21 экз.** изд. 1991 г. ]
5. Савельев И.В. Курс общей физики. Изд. 6-е, стер. — СПб. : Лань, 2006 . - Т.3: Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц .— 320 с. [В библ. БашГУ имеется **30 экз.+6** (2007. АСТРЕЛЬ)+**33** (КНОРУС-2009)]  
или [Савельев И.В.](#).. Курс общей физики [Электронный ресурс] : в 5-ти тт. / И. В. Савельев .— СПб. : Лань, 2011- .— Т. 5: Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц .— 5-е изд. — 2011 .— 384 с. Доступ к тексту электронного издания возможен через Электронно-библиотечную систему издательства "Лань".— <URL:[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=708](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=708)>.
6. Иродов И. Е. Задачи по общей физике [Электронный ресурс] : — Изд. 14-е, стер. — Санкт-

Петербург : Лань, 2016 .— 416 с. .— Доступ к тексту электронного издания возможен через Электронно-библиотечную систему издательства "Лань" <URL:[https://e.lanbook.com/book/71750#book\\_name](https://e.lanbook.com/book/71750#book_name)>.

#### Дополнительная литература:

1. Матвеев А.Н. Атомная физика. М. Высшая школа, 1989 г. [В библ. БашГУ имеется 29 экз.]
2. Иродов И.Е.. Квантовая физика. Основные законы. 3-е изд. М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010 .— 256 с. 25 экз
3. В. П. Корявов. Методы решения задач в общем курсе физики. Атомная и ядерная физика : учеб. пособие. Москва : Студент, 2012 . 327 с. [В библ. БашГУ имеется 25 экз.]

## 5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины

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 издательства .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/>

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

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

Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий	Вид занятий	Наименование оборудования, программного обеспечения
1	2	3
Большая физическая аудитория 02	Лекции	Доска, компьютер, мультимедийный проектор, экран Программное обеспечение: 1. Windows 8 Russian. Windows Professional 8 Russian Upgrade. Лицензия OLP NL Academic Edition, бессрочная. Договор № 104 от 17.06.2013 г. 2. Microsoft Office Standard 2013 Russian. Лицензия OLP NL Academic Edition, бессрочная. Договор № 114 от 12.11.2014 г.
<i>учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа:</i> аудитории № 322 или № 324 или № 318 (физмат корпус)	Практические занятия	Доска, мел, сборники задач, калькулятор
Учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа: Аудитория № 212 Лаборатория атомной физики. (физмат корпус)	Лабораторные занятия, текущий контроль и промежуточная аттестация	Оборудование: Учебная мебель, доска. Установка для изучения основных законов фотоэффекта Устройство измерительное для изучения внешнего фотоэффекта ФПК-10, фотоэлемент сменный. Установка для изучения опыта Франка и Герца: тиратрон ТГ-0.1-0.3 с аргоновым наполнителем, регулируемый источник питания, амперметр на 0,1 А инв. ИХ6348, вольтметр на 3 В, вольтметр на 30 В, микроамперметр, панель управления. Осциллограф двухканальный С1-220, Установка для определения резонансного потенциала методом Франка и Герца ФПК-02 (Устройство измерительное № 714, объект исследования № 714). Установка для изучения спектра излучения атома водорода и определение постоянной Ридберга: Монохроматор МУМ к установке ФПК 09 Установка для изучения спектра атома водорода ФПК 09 Установка для изучения гелий-неонового лазера: 1) Источник лазерного излучения ИЛ-1 № 0028 01.98 оптическая скамья; 3) поляриод; 4) дифракционная решетка; 5) экран. Рабочее место студента для изучения дифракции электронов и определения межплоскостных расстояний поликристалла: набор дифрактограмм, микроскоп измерительный МИР-12 № 230510. Установка для изучения тонкой структуры спектра атома натрия: трехпризмный стеклянный спектрограф ИСП-51 № 570096, натриевая

		<p>спектральная лампа, ртутная спектральная лампа, линза(F=94), измерительный микроскоп, вентилятор, пусковое устройство (дроссель) № 630246 инв. 354516.</p> <p>Установка для эмиссионного спектрального анализа сплавов: стилоскоп СЛ-13 № 908048 инв. 013/1-0003909, исследуемые образцы.</p> <p>Установка для изучения структуры спектра двухатомной молекулы: трехпризменный стеклянный спектрограф ИСП-51 с автоколлимационной камерой УФ-90 №600330, линза(F=94). Монохроматор универсальный УМ-2</p> <p>Установка для изучения спектра атома водорода.</p> <p>Определение постоянной Ридберга (Планка по спектру атома водорода ФКЛ-01.</p> <p>Установка для изучения спектра атома водорода с помощью дифракционной решетки. Определение постоянной Ридберга Планка по спектру атома водорода ФКЛ-01 (М).</p> <p>Учебная лабораторная "Лабораторная установка" Атом в магнитном поле. Эффект Зеемана ФКЛ-02 М-1 К.</p> <p>Установка учебная "Изучение внешнего фотоэффекта и определение постоянной Планка» ФКЛ-11М.</p> <p>Опыт Франка и Герца ФКЛ-06.</p> <p>Установка учебная лабораторная "Изучение спектров щелочных металлов на примере спектра атома натрия ФКЛ-02.</p>
<p>Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования: Аудитория № 605 г.</p>	<p>хранение и профилактическое обслуживание учебного оборудования</p>	<p>Оборудование:</p> <p>Станок токарный ТВ-16;</p> <p>Станок сверлильный НС-Ш;</p> <p>Осциллограф С1-67;</p> <p>Весы аналитические Labof;</p> <p>Шкаф с набором вспомогательного материала (резисторов, конденсаторов, предохранителей и т.д.).</p>
<p>Помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой, с возможностью подключения к сети Интернет и доступом в электронную информационно-образовательную среду организации: Читальный зал № 2. (корпус физмата, 2 этаж)</p>	<p>Самостоятельная работа</p>	<p>Научный и учебный фонд, научная периодика, ПК (моноблок) -10 шт., неограниченный доступ к электронным БД и ЭБС; количество посадочных мест-50.</p>



МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ФИЗИКО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

дисциплины «Основы квантовой физики», на 4 семестр  
(наименование дисциплины)

очная

форма обучения

Вид работы	Объем дисциплины
Общая трудоемкость дисциплины (ЗЕТ / часов)	4/144
Учебных часов на контактную работу с преподавателем:	97,2
Лекций	32
практических/ семинарских	32
лабораторных	32
других (групповая, индивидуальная консультация и иные виды учебной деятельности, предусматривающие работу обучающихся с преподавателем) (ФКР)	1,2
Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СР)	19.8
Учебных часов на подготовку к экзамену/зачету/дифференцированному зачету (Контроль)	27

Формы контроля:

экзамен                        4   семестр

№ п.п.	Тема и содержание	Форма изучения материалов: лекции, занятия, семинарские занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа и трудоемкость (в часах)				Основная и дополнительная литература, рекомендуемая студентам (номера из списка)	Задания по самостоятельной работе студентов (СРС)	Форма текущего контроля успеваемости
		ЛК	ПР/СЕМ	ЛР	СР			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	<b>Модуль 1. Экспериментальные основы квантовой теории.</b> Микромир. Невозможность описания явлений в микромире в рамках классической теории. Волны и кванты. Законы теплового излучения. Гипотеза Планка. Кванты излучения. Формула Планка.	2	2	4	10	1 (§12), 2 (§117,118), 3 (§8,10), 5(§1)	2(§119,120), 4(5.292, 293, 296, 305).	ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА, ЛР
2	Частицы и волны. Гипотеза де-Бройля. Волновые свойства частиц. Волны де-Бройля. опыты Девиссона и Джермера, опыт Томсона и Тартаковского. опыты с нейтронами и молекулярными пучками. опыты по дифракции при очень слабых потоках частиц.	2	2	4	10	1(§6,8,9), 3(§11), 5(§2,3)	1(§3), 4(49,50, 62,63)	Письменная работа ЛР
3	Элементы квантовой механики. Свойства волн де Бройля. Волновая функция. Физический смысл волновой функции. Соотношения неопределенностей Гейзенберга. Волновые свойства микро- и микрочастиц.	4	2		10	1(§16,17), 3(§13-15), 5(§3-8).	4(§67,72,75, 77)	ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА, КР
4	Средние значения физических величин. Плотность вероятности. Операторы. Операторы импульса, кинетической	4	2		10	1(§16,17), 3(§13-15), 5(§3-8).	4(§67,72,75, 77)	ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА,

	энергии, потенциальной энергии. Связь между операторами физических величин. Собственные состояния. Собственные функции. Спектр физической величины. Уравнение Шредингера для стационарных состояний. Гамильтониан.							
5	Простейшие случаи движения микрочастиц. Свободное движение частицы. Частица в потенциальной яме. Собственные значения энергии, собственные функции. Потенциальный барьер. Туннельный эффект. Потенциальный барьер произвольной формы. Холодная полевая эмиссия. Контактная разность потенциалов. Туннельный микроскоп. Гармонический осциллятор. Нулевая энергия. Правила отбора.	7	4		10	1 (26,27,29), 3(§17-20), 5(9-11).	6(§23), 4(§6.80,81,84,85)	Письменная работа ЛР
6	Основные экспериментальные данные о строении атома. Опыты Резерфорда. Планетарная модель атома и проблема устойчивости атома. Сериальные закономерности в спектре атома водорода. Обобщенная формула Бальмера. Комбинационный принцип.	2	2	4	5	1(§10,11), 2(§2), 5(§27).		ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА, КР ЛР
7	Постулаты Бора. Экспериментальное доказательство дискретной структуры атомных уровней. Опыты Франка и Герца. Квантование момента импульса. Теория Бора атома водорода.	3	4	4	10	1(§12,13), 2(§3,4), 5(§28).	1(§14), 3(§21). 5(§13),	ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА, ЛР
8	<b>Модуль 2. Квантовая теория атомов и молекул.</b> Одноэлектронный атом. Квантовомеханическая теория атома водорода. Уровни энергии и волновые функции стационарных состояний. Квантовые числа, их физический смысл. Вырождение состояний, кратность вырождения. Электромагнитные переходы в атомах. Правила отбора.	3	2	4	10	1 (§30,31), 3 (§21,22), 5 (§12, 15, 20)	4(6.122,124)	ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА, ЛР
9	Спектры атомов щелочных металлов.	4	2	4	10	3(§21,23),	4 (6.105, 107,	ПИСЬМЕН

	Основные серии спектра. Дублетная структура спектров и спин электрона. Спин-орбитальное взаимодействие. Полный механический момент электрона, квантовое число $j$ . Термы атомов щелочных металлов.					5(§21,27), 1(§33,34)	111)	НАЯ РАБОТА, ЛР
10	Многэлектронные атомы. Типы связей электронов в атомах. $J$ - $j$ – связь. Приближение L-S связи. Спин-орбитальное взаимодействие. Тонкая структура уровней. Термы атомов. Мультиплетность. Результирующий механический и магнитный моменты многэлектронного атома. Фактор Ланде. Опыт Эйнштейна и де Хааса.	4	2	4	10	1(§37,39), 5(§25,30)	4(6.154, 156,160)	Письменная работа ЛР
11	Атом в магнитном и электрическом полях. Слабое и сильное поле. Эффект Зеемана и Пашена-Бака. Эффект Штарка.	4	2	4	10	3(§25), 1(§45,46)	6(§43)	КР ЛР
12	Опыт Штерна и Герлаха. Электронный парамагнитный резонанс.	2	2		5	1(§15,35), 3(§24), 5(§22-24, 26);	3(§26), 5(§37), 6(§42)	письменная работа
13	Принцип Паули. Статистические распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Энергия Ферми. Электронные конфигурации. Правило Хунда. Идеальная схема заполнения электронных оболочек. Объяснение периодической системы Менделеева.	4	2		10	1(§52, 54,55), 3(§27), 5(§31,32) 3(§34),	1(§56), 4(6.126, 127, 130)	КР, письменная работа
14	Рентгеновские спектры. Правило Мозли.	1	2		10	1(§57), 3(§30)	4(6.141, 145,146)	КР
15	Релятивистские эффекты в атомной физике. Уравнение Клейна-Гордона. Уравнение Дирака. Тонкая структура уровней энергии атома водорода. Состояния с отрицательной энергией. Опыты Лэмба и Резерфорда. Физические свойства вакуума.	3			10	1(§71,72)	6(§44,45)	письменная работа
16	Молекула. Адиабатическое приближение. Молекулярный ион водорода. Молекула водорода. Химическая связь атомов в молекулах. Вращательная и колебательная энергии молекул. Молекулярные	3	2	4	10	1(§58,63), 3(§28,29) 5(§19)	1(§64), 4(6.180,182)	письменная работа ЛР

	спектры. Вращательные спектры. Вращательно-колебательные спектры. Электронные спектры молекул.							
17	Макроскопические квантовые явления. Сверхпроводимость и сверхтекучесть и их квантовая природа.	2	2		10.1	3(§37,41),	3(§36), 3(зад. на с. 196)	письменная работа
	<b>Всего часов:</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>19.8</b>			

**Примечание 1.** Сокращение в таблице: КР – контрольная работа, ЛР – лабораторная работа.

**Примечание 2.** Часы на самостоятельную работу включают также время на подготовку к экзамену (контроль).

**Примечание 3.** В таблицу не включены запланированные 1.2 часа ФКР (групповая, индивидуальная консультация и иные виды учебной деятельности во время семестра, подразумевающие контактную работу обучающихся с преподавателем) .

## Рейтинг – план дисциплины

«ОСНОВЫ КВАНТОВОЙ ФИЗИКИ»

(название дисциплины согласно рабочему учебному плану)

направление **21.05.03** Технология геологической разведкикурс 2, семестр 4

Виды учебной деятельности студентов	Балл за конкретное задание	Число заданий за семестр	Баллы	
			Минимальный	Максимальный
<b>Модуль 1 «Экспериментальные основы квантовой теории»</b>				
<b>Текущий контроль</b>				
Письменная работа № 1	4	5	0	20
<b>Рубежный контроль</b>				
1. Контрольная работа №1	5	3	0	15
ВСЕГО ПО МОДУЛЮ 1			<b>0</b>	<b>35</b>
<b>Модуль 2 «Квантовая теория атомов и молекул»</b>				
<b>Текущий контроль</b>				
3. Контрольная работа №2	5	4	0	20
<b>Рубежный контроль</b>				
1. Письменная работа № 2	3	5	0	15
ВСЕГО ПО МОДУЛЮ 2			<b>0</b>	<b>35</b>
<b>Поощрительные баллы</b>				
Участие в олимпиадах по общей физике			0	<b>10</b>
<b>Итого поощрительных баллов</b>			<b>0</b>	<b>10</b>
<b>Посещаемость (баллы вычитаются из общей суммы набранных баллов)</b>				
1. Посещение лекционных занятий			<b>0</b>	<b>-6</b>
2. Посещение практических занятий			<b>0</b>	<b>-10</b>
<b>Итоговый контроль</b>				
<b>Экзамен</b>	9 (вопрос билета)	2 вопроса	Макс. 18 б.	<b>30</b>
	3 (доп. вопрос)	2	Макс. 6 б.	
	6 (задача)	1	Макс. 6 б.	