

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Нижегородский государственный технический университет  
им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ)

---

---

Образовательно-научный институт физико-химических технологий  
и материаловедения (ИФХТиМ)

УТВЕРЖДАЮ:  
Директор института:

\_\_\_\_\_ Мацулевич Ж.В.

“23” июня 2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б 1.В.Од.3 Квантовая механика и статистическая физика**

для подготовки бакалавров

Направление подготовки: 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Направленность: Нанотехнологии в электронике

Форма обучения: очная

Год начала подготовки: 2022

Выпускающая кафедра: НБ

Кафедра-разработчик: ФТОС

Объем дисциплины: 108 час./3 з.е.  
часов/з.е

Промежуточная аттестация: зачет

Разработчик (и): Кожевникова Т.В., к.т.н., доцент

Нижний Новгород  
2023

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО 3++) по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, утвержденным приказом МИНОБРНАУКИ РОССИИ от 19.09.2017 г. № 927, на основании учебного плана, принятого УМС НГТУ, протокол от 13.04.23 № 17.

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры: протокол №35 от 01.06.2023 г.  
Зав. кафедрой, д.ф.-м.н., Раевский А.С. \_\_\_\_\_

подпись

Программа рекомендована к утверждению ученым советом института ИФХТиМ, протокол от 23.06.2023 г. № 9.

Рабочая программа зарегистрирована в УМУ, регистрационный № 11.03.03-Н-24.  
Начальник МО \_\_\_\_\_

Заведующая отделом комплектования НТБ \_\_\_\_\_ Н.И. Кабанина  
(подпись)

## Оглавление

ОГЛАВЛЕНИЕ .....	3
<b>1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>4</b>
1.1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....	4
1.2. ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) .....	4
<b>2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b>	<b>4</b>
<b>3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>5</b>
<b>4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>7</b>
4.1. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОЁМКОСТИ ДИСЦИПЛИНЫ ПО ВИДАМ РАБОТ ПО СЕМЕСТРАМ .....	7
4.2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ, СТРУКТУРИРОВАННОЕ ПО ТЕМАМ .....	8
<b>5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>14</b>
<b>6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>16</b>
6.1. УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА, ПЕЧАТНЫЕ ИЗДАНИЯ БИБЛИОТЕЧНОГО ФОНДА .....	16
6.2. СПРАВОЧНО-БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА .....	16
6.3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ, РЕКОМЕНДАЦИИ И ДРУГИЕ МАТЕРИАЛЫ К ЗАНЯТИЯМ .....	16
<b>7. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>16</b>
7.1. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ», НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) .....	17
7.2. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ .....	17
<b>8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОВЗ .....</b>	<b>18</b>
<b>9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>	<b>18</b>
<b>10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>18</b>
10.1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ, ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ .....	18
10.2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ЗАНЯТИЙ ЛЕКЦИОННОГО ТИПА .....	19
10.3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ НА ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЯХ .....	20
10.4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ ОБУЧАЮЩИХСЯ .....	20
<b>11. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>20</b>
11.1. ТИПОВЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ В ФОРМЕ ЗАЧЕТА .....	20
11.2. ТИПОВЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ .....	22

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1. Целями освоения дисциплины являются:** формирование у студентов научного мировоззрения и современного физического мышления, изучение основных физических явлений и идей; овладение фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики, формирование умений выделить конкретное физическое содержание в прикладных задачах будущей специальности, отыскать необходимую информацию в современной специальной литературе.

### 1.2. Задачи освоения дисциплины (модуля)

Данная дисциплина готовит к решению следующих задач:

- анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования;
- участие в планировании и проведении экспериментов по заданной методике, обработка результатов с применением современных информационных технологий и технических средств;
- формирование навыков по применению положений квантовой механики и статистической физики к грамотному научному анализу ситуаций, с которыми инженеру приходится сталкиваться при создании новой техники и новых технологий;
- подготовка и составление отчетов, обзоров, рефератов и докладов на научных конференциях и семинарах.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Учебная дисциплина «Квантовая механика и статистическая физика» включена в перечень дисциплин вариативной части (формируемой участниками образовательных отношений), определяющий направленность ОП. Дисциплина реализуется в соответствии с требованиями ФГОС, ОП ВО и УП.

Дисциплина базируется на следующих дисциплинах: «Физика», «Физическая химия», «Органическая химия», «Квантовые основы органической химии», «Методы математической физики», «Квантовая и оптическая электроника».

Дисциплина «Квантовая механика и статистическая физика» является основополагающей для изучения следующих дисциплин: «Наноэлектроника», «Компоненты наноэлектроники», «Специальные вопросы физической химии».

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Процесс изучения дисциплины (модуля) направлен на формирование элементов следующей профессиональной компетенции в соответствии с ОПОП ВО по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника:

ПКС-1. Способен решать типовые задачи в технологических процессах производства электронной техники.

Формирование указанных компетенций показано в таблице 1.

Таблица 1 – Формирование компетенции ПКС-1 дисциплинами

Код компе-тенции	Названия учебных дисциплин	Курсы/семестры обучения							
		1 курс		2 курс		3 курс		4 курс	
		1 сем.	2 сем.	3 сем.	4 сем.	5 сем.	6 сем.	7 сем.	8 сем.
ПКС-1	Органическая химия								
	Квантовые основы органической химии								
	Метрология, стандартизация и технические измерения								
	Физическая химия								
	Методы математической физики								
	Квантовая и оптическая электроника								
	Нанотехнологии в электронике								
	Гетероструктуры в наноэлектронике								
	Теория поля								
	<b>Квантовая механика и статистическая физика</b>							<b>Красный</b>	
	Наноэлектроника								
	Компоненты наноэлектроники								
	Специальные вопросы физической химии								
	Физическая химия материалов и структур наноэлектроники								
	Ознакомительная практика								
	Преддипломная практика								
	Выполнение и защита ВКР								

### 3.2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОП

Таблица 2 – Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине			Оценочные средства	
		Знать:	Уметь:	Владеть:	Текущего контроля	Промежуточной аттестации
ПКС-1 Способен решать типовые задачи в технологических процессах производства электронной техники	ИПКС-1.2. Применяет законы и постулаты физики для решения задач в области производства электроники	Знать: фундаментальные законы природы, в том числе основные понятия, законы и модели квантовой механики и статистической физики, современное состояние исследований в указанных областях знаний;	Уметь: - находить в периодической литературе и обновляемых интернет-ресурсах материалы по новым теоретическим и практическим исследованиям в области квантовой механики и техники, в том числе, в области микро- и наноэлектроники.	Владеть: - алгоритмами самостоятельного решения стандартных физических задач квантовой механики и статистической физики; - навыками логичного и последовательного изложения сущности физических процессов и явлений природы, алгоритмами статистической обработки результатов физического эксперимента.	Контрольные работы	Вопросы для устного собеседования: билеты

## 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1. Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы (108 часов), распределение часов по видам работ и семестрам представлено в таблице 3.

Таблица 3–Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Вид учебной работы	Грудоёмкость в час	
	Всего час.	В т.ч. по семестрам
<b>Формат изучения дисциплины</b>		очная
<b>Общая трудоёмкость</b> дисциплины по учебному плану	<b>108</b>	<b>108</b>
<b>1. Контактная работа:</b>	<b>55</b>	<b>55</b>
<b>1.1.Аудиторная работа, в том числе:</b>	<b>51</b>	<b>51</b>
занятия лекционного типа (Л)	34	34
занятия семинарского типа (ПЗ-семинары, практ. занятия и др)	17	17
лабораторные работы (ЛР)	-	-
<b>1.2.Внеаудиторная, в том числе</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
курсовая работа (проект) (КР/КП) (консультация, защита)	.	
текущий контроль, консультации по дисциплине	4	4
контактная работа на промежуточном контроле (КРА)		
<b>2. Самостоятельная работа (СРС)</b>	<b>53</b>	<b>53</b>
реферат/эссе (подготовка)		
расчёто-графическая работа (РГР) (подготовка)		
контрольная работа		
курсовая работа/проект (КР/КП) (подготовка)		
самостоятельное изучение разделов, самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям, коллоквиум и т.д.)	53	53
Подготовка к зачету		

## 4.2. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Таблица 4 – Содержание дисциплины, структурированное по темам

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы (час)				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)			
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (час)						
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия							
<b>6 семестр</b>											
ПКС-1 ИПКС-1.2	<b>Раздел 1. Введение в квантовую механику</b>						1. Диагностический безоценочный контроль, лучше взаимоконтроль; 2. Разноуровневые качественные, расчетные, графические задания; 3. Физический диктант, блиц-опрос; 4. Работа с систематизирующими, обобщающими таблицами, логическими схемами.  При изучении нового материала-слайд показ. Совместно с натурным экспериментом создают единую активную познавательную среду, в которой преподаватель серией умело подобранных во-	Конспект лекций			
	Тема 1.1. Внешний фотоэффект и тормозное рентгеновское излучение	2,0			2,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.4]					
	Практическое занятие 1. Внешний фотоэффект и тормозное рентгеновское излучение			1,0		Подготовка к практическим занятиям [6.1.2], [6.1.3]					
	Тема 1.2. Эффект Комптона	1,0			2,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.4]					
	Практическое занятие 2. Эффект Комптона			1,0		Подготовка к практическим занятиям [6.1.2], [6.1.3]					
	Тема 1.3 Боровская модель атома водорода	2,0			4,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.4]					
	Практическое занятие 3. Боровская модель атома водорода			1,0		Подготовка к практическим занятиям [6.1.2], [6.1.3]					
	Тема 1.4. Гипотеза де Броиля. Электронография	2,0			4,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.4]					
	Практическое занятие 4. Гипотеза де Броиля. Электронография			1,0		Подготовка к практическим занятиям [6.1.2],					

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы (час)				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Самостоятельная работа студентов (час)			
ПКС-1 ИПКС-1.2	фия					[6.1.3]	просов и заданий возбуждает и направляет мысль обучающихся к новым теоретическим выводам. Далее в ходе закрепления уточняет, корректирует понимание учащимися нового знания, формирует первоначальные умения.	
	<b>Самостоятельная работа по освоению 1 раздела:</b>				12,0			
	реферат, эссе (тема)							
	расчёто-графическая работа (РГР)							
	контрольная работа							
	<b>Итого по 1 разделу</b>	<b>7,0</b>		<b>4,0</b>	<b>12,0</b>			
ПКС-1 ИПКС-1.2	<b>Раздел 2. Уравнение Шредингера. Операторы физических величин</b>						В ходе объяснения и закрепления нового материала кадры должны быть разнообразными, чтобы охватить все моменты познания: алгоритм поиска решения поставленной проблемы, оценивание альтернатив, обнаружение следствий и их значимости в теории и т.д.	
	<b>Тема 2.1. Волновая функция. Уравнение Шредингера. Электрон в свободном пространстве</b>	2,0			2,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.4]		
	<b>Практическое занятие 5. Волновая функция. Уравнение Шредингера. Электрон в свободном пространстве</b>			1,0		Подготовка к практическим занятиям [6.1.2], [6.1.3]		
	<b>Тема 2.2. Электрон в прямоугольной потенциальной яме. Потенциальные барьеры. Туннельный эффект. Контактная разность потенциалов. Холодная эмиссия. Вырожденные состояния. Кратность вырождения</b>	6,0			5,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.4]		
	<b>Практическое занятие 6. Элек-</b>			1,0		Подготовка к практиче-		

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы (час)				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Самостоятельная работа студентов (час)			
	tron в прямоугольной потенциальной яме. Потенциальные барьеры. Туннельный эффект. Контактная разность потенциалов. Холодная эмиссия. Вырожденные состояния. Кратность вырождения					ским занятиям [6.1.2], [6.1.3]		
	<b>Тема 2.3. Собственные функции и собственные значения физических величин. Соизмеримость физических величин. Принцип суперпозиции</b>	1,0			3,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.4]		
	<b>Практическое занятие 7. Собственные функции и собственные значения физических величин. Соизмеримость физических величин. Принцип суперпозиции</b>			1,0		Подготовка к практическим занятиям [6.1.2], [6.1.3]		
	<b>Тема 2.4. Гармонический осциллятор. Энергия нулевых колебаний</b>	2,0			3,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.4]		
	<b>Практическое занятие 8. Гармонический осциллятор. Энергия нулевых колебаний</b>			2,0		Подготовка к практическим занятиям [6.1.2], [6.1.3]		
	<b>Тема 2.5. Собственные функции и собственные значения операторов квадрата орбитального момента и его проекции. Плоский ротатор.</b>	2,0			2,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.4]		
	<b>Практическое занятие 9. Собственные функции и собственные значения операторов квад-</b>			2,0		Подготовка к практическим занятиям [6.1.2], [6.1.3]		

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы (час)				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Самостоятельная работа студентов (час)			
	рата орбитального момента и его проекции. Плоский ротатор							
	<b>Самостоятельная работа по освоению 2 раздела:</b> реферат, эссе (тема)				15,0			
	расчёто-графическая работа (РГР)							
	контрольная работа							
	<b>Итого по 2 разделу</b>	<b>13,00</b>		<b>7,00</b>	<b>15,00</b>			
ПКС-1 ИПКС-1.2	<b>Раздел 3. Физика атомов</b>							
	<b>Тема 3.1. Опыт Штерна – Герлаха. Спин электрона. Полный механический момент. Правило сложения моментов. Мультиплетность.</b>	2,0			4,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.4]		
	<b>Практическое занятие 10. Спин электрона. Полный механический момент. Правило сложения моментов. Мультиплетность Метод суперпозиции</b>			2,0		Подготовка к практическим занятиям [6.1.2], [6.1.3]		
	<b>Тема 3.2. Собственные функции и собственные значения энергии электрона в атоме водорода.</b>	2,0			3,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.4]		
	<b>Практическое занятие 11. Собственные функции и собственные значения энергии электрона в атоме водорода.</b>			2,0		Подготовка к практическим занятиям [6.1.2], [6.1.3]		

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы (час)				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Самостоятельная работа студентов (час)			
ПКС-1 ИПКС-1.2	Тема 3.3. Спин-орбитальное взаимодействие. Тонкая структура энергетических уровней и спектральных линий.	1,0			3,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.4]		
	Тема 3.4. Электро- и магнитооптические эффекты. Эффекты Штарка, Покельса, Керра, Зеемана	3,0			4,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.4]		
	Практическое занятие 12. Электро- и магнитооптические эффекты. Эффекты Штарка, Покельса, Керра, Зеемана			2,0		Подготовка к практическим занятиям [6.1.2], [6.1.3]		
	Самостоятельная работа по освоению 3 раздела: реферат, эссе (тема)				14,0			
	расчёто-графическая работа (РГР)							
	контрольная работа							
	Итого по 3 разделу	8,0		6,0	14,0			
ПКС-1 ИПКС-1.2	Раздел 4. Системы тождественных частиц							
	Тема 4.1. Ферми-частицы и Бозе-частицы. Принцип запрета Паули для Ферми-частиц. Периодическая таблица элементов Д.И. Менделеева. Статистика Ферми-Дирака.	2,0			4,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.4], [6.1.5]		
	Тема 4.2. Элементы зонной теории. Энергетические зоны. Эффективные массы электро-	2,0			4,0	Подготовка к лекциям [6.2.2], [6.1.4], [6.2.3]		

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы (час)				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Самостоятельная работа студентов (час)			
	<b>нов и дырок в полупроводниках</b>							
	<b>Тема 4.3. Статистика Бозе - Эйнштейна для частиц с целым спином. Бозе - конденсация. Сверхтекучесть жидкого гелия. Сверхпроводимость.</b>	2,0			4,0	Подготовка к лекциям [6.1.4], [6.1.5]		
	<b>Самостоятельная работа по освоению 4 раздела:</b>				12,0			
	<b>реферат, эссе (тема)</b>							
	<b>расчёто-графическая работа (РГР)</b>							
	<b>контрольная работа</b>							
	<b>Итого по 4 разделу</b>	<b>6,0</b>			<b>12,00</b>			
	<b>ИТОГО ЗА СЕМЕСТР</b>	<b>34,0</b>		<b>17,0</b>	<b>53,0</b>			
	<b>ИТОГО по дисциплине</b>	<b>34,0</b>		<b>17,0</b>	<b>53,0</b>			

## **5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.**

Для осуществления текущего контроля знаний обучающихся сформулированы теоретические вопросы по темам лекций и примеры заданий для контрольных работ.

Также сформирован перечень вопросов, выносимых на промежуточную аттестацию в форме зачета в 6 семестре.

Указанный комплект оценочных средств является неотъемлемой частью фонда оценочных средств и хранится на кафедре «Физика и техника оптической связи».

Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания при текущем контроле (контрольные недели) приведено в таблице 5.

Таблица 5 – Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания при текущем контроле (контрольные недели)

Шкала оценивания	Контрольная неделя	Зачет
$40 < R \leq 50$	Отлично	зачет
$30 < R \leq 40$	Хорошо	
$20 < R \leq 30$	Удовлетворительно	
$0 < R \leq 20$	Неудовлетворительно	

При промежуточном контроле успеваемость студентов оценивается как «зачет» или «незачет».

Таблица 6 – Критерии оценивания результата обучения по дисциплине и шкала оценивания

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Критерии оценивания результатов обучения			
		Оценка «неудовлетворительно» / «не зачтено» 0-59% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «удовлетворительно» / «зачтено» 60-74% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «хорошо» / «зачтено» 75-89% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «отлично» / «зачтено» 90-100% от max рейтинговой оценки контроля
ПКС-1 Способен решать типовые задачи в технологических процессах производства электронной техники	ИПКС-1.2. Применяет законы и постулаты физики для решения задач в области производства электроники	Не знает фундаментальные законы природы, в том числе основные физические законы квантовой и статистической физики. Не имеет понятия о современном состоянии исследований в указанных областях знаний. Не умеет применять физические законы для постановки конкретных задач теоретического и прикладного характера; создавать математическую модель на основе физической модели. Не владеет алгоритмами самостоятельного решения стандартных физических задач; навыками решения уравнений математической модели; навыками анализа и представления полученных результатов.	Может сформулировать основные физические законы в области квантовой механики и статистической физики, допуская ошибки. Слабо знаком с современным состоянием исследований в указанных областях знаний. Может применять физические законы для постановки конкретных задач теоретического и прикладного характера; создавать математическую модель на основе физической модели в неполном объеме. Владеет алгоритмами самостоятельного решения стандартных физических задач; навыками решения уравнений математической модели; навыками анализа и представления полученных результатов в ограниченном объеме.	Может сформулировать основные физические законы в области квантовой механики и статистической физики, допуская небольшие неточности. Хорошо знаком с современным состоянием исследований в указанных областях знаний. Умеет применять физические законы для постановки конкретных задач теоретического и прикладного характера; создавать математическую модель на основе физической модели; иногда испытывая небольшие затруднения	Твердо знает основные физические законы в области квантовой механики и статистической физики. Отлично знаком с современным состоянием исследований в указанных областях знаний. Умеет применять физические законы для постановки конкретных задач теоретического и прикладного характера; создавать математическую модель на основе физической модели. Владеет алгоритмами самостоятельного решения стандартных физических задач; навыками решения уравнений математической модели; навыками анализа и представления полученных результатов в полном объеме

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

### **6.1. Учебная литература, печатные издания библиотечного фонда**

Библиотечный фонд укомплектован печатными изданиями из расчета не менее 0,25 экземпляра каждого из изданий, указанных ниже на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих соответствующую дисциплину (модуль).

**6.1.1 Иродов И. Е.** Квантовая физика. Основные законы [Электронный ресурс]: учебное пособие / И. Е. Иродов. — 6-е изд. (эл.). — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. — 256 с. : ил.

**6.1.2 Иродов И. Е.** Задачи по квантовой физике [Электронный ресурс] /И. Е. Иродов.—5-е изд. (эл.): 220 с.—М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015.

**6.1.3 Иродов И.Е.** Задачи по общей физике: Учебное пособие для вузов /И.Е.Иродов – СПБ: Лань, 2007.

**6.1.4 Сивухин Д.В.** Общий курс физики: Учебное пособие для вузов. Т.В. Атомная и ядерная физика/ Д.В. Сивухин – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011 – 783с.

**6.1.5 Ландау Л.Д.** Теоретическая физика: Учебное пособие для вузов в 10 томах. Том V, Статистическая физика, Ч.1 /Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц – М: ФИЗМАТЛИТ, 2010год, 615с.

### **6.2. Справочно-библиографическая литература**

**6.2.1 Ландау Л.Д.** Теоретическая физика: Учебное пособие для вузов в 10 томах. Том III, Квантовая механика (нерелятивистская теория) /Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц – М: ФИЗМАТЛИТ, 2011год, 799с.

**6.2.2 Шалимова К.В.** Физика полупроводников: Учебник для вузов./ К.В. Шалимова – М.: Лань, 2010, 400с.

**6.2.3 Кондратьев А.С.** Физика: Учебное пособие для вузов в трёх книгах. Книга 3. Строение и свойства вещества. /А.С. Кондратьев, В.М.Уздин, Е.И.Бутиков – М. ФИЗМАТЛИТ, 2010, 336с.

### **6.3. Методические указания, рекомендации и другие материалы к занятиям**

Методические указания и рекомендации по проведению конкретных видов учебных занятий по дисциплине «Квантовая механика и статистическая физика» находятся на кафедре «ФТОС».

**6.3.1** Методические рекомендации по организации аудиторной работы по дисциплине «Квантовая механика и статистическая физика».

**6.3.2** Методические рекомендации по организации и планированию практических занятий по дисциплине «Квантовая механика и статистическая физика».

**6.3.3** Методические рекомендации по организации и планированию самостоятельной работы по дисциплине «Квантовая механика и статистическая физика».

## **7. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Учебный процесс по дисциплине обеспечен необходимым комплектом лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественно-го производства (состав по дисциплине определен в настоящей РПД и подлежит обновле-нию при необходимости).

## **7.1. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

1. Научная электронная библиотека E-LIBRARY.ru. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/defaultx.asp>
2. Электронная библиотечная система Поволжского государственного университета сервиса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elib.tolgas.ru/> - Загл. с экрана.
3. Электронно-библиотечная система Znaniум.com [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://znanium.com/>. – Загл. с экрана.
4. Открытое образование [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://openedu.ru/>. - Загл с экрана.
5. Polpred.com. Обзор СМИ. Полнотекстовая, многоотраслевая база данных (БД) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://polpred.com/>. – Загл. с экрана.
6. Базы данных Всероссийского института научной и технической информации (ВИНИТИ РАН) по естественным, точным и техническим наукам Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.viniti.ru>. – Загл. с экрана.
7. Университетская информационная система Россия [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://uisrussia.msu.ru/>. – Загл. с экрана.

## **7.2. Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

Таблица 7 – Перечень электронных библиотечных систем

<b>№</b>	<b>Наименование ЭБС</b>	<b>Ссылка, по которой осуществляется доступ к ЭБС</b>
1	Консультант студента	<a href="http://www.studentlibrary.ru/">http://www.studentlibrary.ru/</a>
2	Лань	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
3	Юрайт	<a href="https://biblio-online.ru/">https://biblio-online.ru/</a>

В таблице 8 указан перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем, к которым обеспечен доступ (удаленный доступ). Данный перечень подлежит обновлению в соответствии с требованиями ФГОС ВО.

Таблица 8 - Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

<b>№</b>	<b>Наименование профессиональной базы данных, информационно-справочной системы</b>	<b>Доступ к ресурсу (удаленный доступ с указанием ссылки/доступ из локальной сети университета)</b>
1	2	3
1	База данных стандартов и регламентов РОС-СТАНДАРТ	<a href="https://www.gost.ru/portal/gost//home/standarts">https://www.gost.ru/portal/gost//home/standarts</a>
2	Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем	<a href="https://cyberpedia.su/21x47c0.html">https://cyberpedia.su/21x47c0.html</a>

## **8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОВЗ**

В таблице 9 указан перечень образовательных ресурсов, имеющих формы, адаптированные к ограничениям их здоровья, а также сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования. При заполнении таблицы может быть использована информация, размещенная в подразделе «Доступная среда» специализированного раздела сайта НГТУ «Сведения об образовательной организации» <https://www.nntu.ru/sveden/accenv/>

Таблица 9 - Образовательные ресурсы для инвалидов и лиц с ОВЗ

№	Перечень образовательных ресурсов, приспособленных для использования инвалидами и лицами с ОВЗ	Сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования
1	ЭБС «Консультант студента»	озвучка книг и увеличение шрифта
2	ЭБС «Лань»	специальное мобильное приложение - синтезатор речи, который воспроизводит тексты книг и меню навигации
3	ЭБС «Юрайт»	версия для слабовидящих

## **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Для контактной и самостоятельной работы обучающихся выделены помещения, оснащённые компьютерной техникой с подключением к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации:

- зал электронно-информационных ресурсов (ауд. 2210 – 11 компьютеров, ауд. 6119 – 9 компьютеров);
- читальный зал открытого доступа (ауд. 6162 – 2 компьютера);
- ауд. 2303, 2202, оборудованные Wi-Fi.

## **10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **10.1. Общие методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины, образовательные технологии**

Дисциплина реализуется посредством проведения контактной работы с обучающимися (включая проведение текущего контроля успеваемости), самостоятельной работы обучающихся и промежуточной аттестации.

Контактная работа: аудиторная, внеаудиторная.

При преподавании дисциплины «Квантовая механика и статистическая физика», используются современные образовательные технологии, позволяющие повысить активность студентов при освоении материала курса и предоставить им возможность эффективно реализовать часы самостоятельной работы.

Для студентов создан краткий опорный электронный вариант лекционного материала курса. Электронный конспект находится на кафедре «ФТОС» и может быть получен студентом в случае пропусков занятий по уважительным причинам или вынужденного перевода занятий в дистанционную форму.

На лекциях, практических занятиях реализуются интерактивные технологии, приветствуются вопросы и обсуждения, используется личностно-ориентированный подход, технология работы в малых группах, что позволяет студентам проявить себя, получить навыки самостоятельного изучения материала, выровнять уровень знаний в группе.

Все вопросы, возникшие при самостоятельной работе над домашним заданием, подробно разбираются на практических занятиях и лекциях. Проводятся индивидуальные и групповые консультации с использованием, как встреч со студентами, так и современных информационных технологий: чат, электронная почта, Skype, Zoom. Инициируется активность студентов, поощряется задание любых вопросов по материалу, практикуется индивидуальный ответ на вопросы студента, рекомендуются методы успешного самостоятельного усвоения материала в зависимости от уровня его базовой подготовки.

Для оценки знаний, умений, навыков и уровня сформированности компетенций применяется балльно-рейтинговая система контроля и оценки успеваемости студентов в процессе текущего контроля.

Промежуточная аттестация проводится в форме зачета с учетом текущей успеваемости.

**Результат обучения считается сформированным на повышенном уровне**, если теоретическое содержание курса освоено полностью. При устных собеседованиях студент исчерпывающе, последовательно, четко и логически излагает учебный материал; свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами заданий, использует в ответе дополнительный материал. Все предусмотренные рабочей учебной программой задания выполнены в соответствии с установленными требованиями, студент способен анализировать полученные результаты, проявляет самостоятельность при выполнении заданий.

**Результат обучения считается сформированным на пороговом уровне**, если теоретическое содержание курса освоено полностью. При устных собеседованиях студент последовательно, четко и логически стройно излагает учебный материал; справляется с задачами, вопросами и другими видами заданий, требующих применения знаний; все предусмотренные рабочей учебной программой задания выполнены в соответствии с установленными требованиями, студент способен анализировать полученные результаты; проявляет самостоятельность при выполнении заданий

**Результат обучения считается несформированным**, если студент при выполнении заданий не демонстрирует знаний учебного материала, допускает ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет задания, не демонстрирует необходимых умений, качество выполненных заданий не соответствует установленным требованиям, качество их выполнения оценено числом баллов ниже трех по оценочной системе, что соответствует допороговому уровню.

## **10.2. Методические указания для занятий лекционного типа**

Лекционный курс предполагает систематизированное изложение основных вопросов тематического плана. В ходе лекционных занятий раскрываются базовые вопросы в рамках каждой темы дисциплины (Таблица 4). Обозначаются ключевые аспекты тем, а также делаются акценты на наиболее сложные и важные положения изучаемого материала. Материалы лекций являются опорной основой для подготовки обучающихся к практическим занятиям и выполнения заданий самостоятельной работы, а также к мероприятиям текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине.

### **10.3. Методические указания по освоению дисциплины на практических занятиях**

Практические занятия представляют собой детализацию лекционного теоретического материала, проводятся в целях закрепления курса и охватывают все основные разделы. Основной формой проведения практических занятий является обсуждение наиболее проблемных и сложных вопросов по отдельным темам, а также решение задач и разбор примеров и ситуаций в аудиторных условиях.

Практические занятия обучающихся обеспечивают:

- проверку и уточнение знаний, полученных на лекциях;
- получение умений и навыков решения задач;
- подведение итогов занятий по рейтинговой системе, согласно технологической карте дисциплины.

### **10.4. Методические указания по самостоятельной работе обучающихся**

Самостоятельная работа обеспечивает подготовку обучающегося к аудиторным занятиям и мероприятиям текущего контроля и промежуточной аттестации по изучаемой дисциплине. Результаты этой подготовки проявляются в активности обучающегося на занятиях и в качестве выполненных практических заданий и других форм текущего контроля.

При выполнении заданий для самостоятельной работы рекомендуется проработка материалов лекций по каждой пройденной теме, а также изучение рекомендуемой литературы, представленной в Разделе 6.

В процессе самостоятельной работы при изучении дисциплины студенты могут работать на компьютере в специализированных аудиториях для самостоятельной работы. (указано в разделе 9). В аудиториях имеется доступ через информационно-телекоммуникационную сеть «Интернет» к электронной информационно-образовательной среде университета (ЭИОС) и электронной библиотечной системе (ЭБС), где в электронном виде располагаются учебные и учебно-методические материалы, которые могут быть использованы для самостоятельной работы при изучении дисциплины.

Развернутые методические указания по всем видам работы студента находятся на кафедре «ФТОС».

## **11. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Для текущего контроля знаний студентов по дисциплине проводится **комплексная оценка знаний**, включающая

- проведение контрольных работ;
- теоретический опрос
- зачет

### **11.1. Типовые вопросы для промежуточной аттестации в форме зачета**

1. Чему равно время жизни атома водорода в классической «планетарной модели атома?
2. Чему равна энергия фотона в гипотезе Планка?
3. Закон Стефана-Больцмана. Закон смещения Вина.
4. Законы внешнего фотоэффекта. Постановка эксперимента.
5. Тормозное рентгеновское излучение. Устройство рентгеновской трубы.
6. Почему невозможно поглощение фотона свободным электроном?

7. Почему эффект Комптона наблюдается в рентгеновском диапазоне электромагнитного излучения?
8. Постулаты Бора о стационарных уровнях энергии. Гипотеза о квантовании момента импульса.
9. Как в рамках боровской модели объясняется линейчатый спектр излучения и поглощения газов?
10. Как определить частоту и длину волны де Броиля если известны энергия и импульс частицы?
11. В каких экспериментах наблюдается дифракция электронов?
12. В чем состоят особенности электронографического метода измерения межплоскостных расстояний в кристаллах?
13. Привести мысленный эксперимент, доказывающий принципиальную невозможность одновременного измерения координат и импульсов микрочастиц с неограниченной точностью.
14. Имеет ли физический смысл: а) волновая функция (ВФ); б) квадрат ее модуля?
15. Какие состояния называются стационарными?
16. Написать уравнение Шредингера для нестационарных состояний микрочастицы.
17. То же для стационарных состояний.
18. Как доказать, что ВФ обладает свойствами: а) непрерывности; б) гладкости?
19. В каких случаях спектр стационарных состояний: а) дискретен; б) непрерывен?
20. Сформулировать принцип суперпозиции состояний в квантовой теории.
21. Вид операторов физических величин (координат, импульса, энергии) в декартовых координатах.
22. Задача Штурма-Лиувилля.
23. Вычисление средних значений физических величин.
24. Вычисление матричных элементов физических величин.
25. Чему равен матричный элемент  $f_{mn}$  физической величины  $f$ , если известен матричный элемент  $f_{nm}$ ?
26. Сформулировать критерий соизмеримости физических величин. Соизмеримы ли величины  $x$  и  $p_x$ ? То же для величин  $x$  и  $p_y$ .
27. Туннельный эффект как следствие принципа неопределенности.
28. Гармонический осциллятор. Собственные функции и собственные значения энергии.
29. Физическая сущность энергии нулевых колебаний гармонического осциллятора.
30. Свойства состояний дискретного спектра (четность, число узлов, ортонормированность) на примере осциллятора.
31. Понятие о вырожденных состояниях и кратности вырождения на примере трехмерного осциллятора.
32. Вычисление собственных значений модуля орбитального момента импульса  $L$  и его проекции  $L_z$ .
33. Собственные значения энергии электрона в атоме водорода.
34. Какие значения принимает проекция спина электрона?
35. Сформулировать правило сложения моментов и проиллюстрировать его на примере квантования полного момента импульса.
36. Чему равна мультиплетность состояния атома, если его спин  $s = 2$ .
37. Физическая природа спин-орбитального взаимодействия.
38. Чему равен спин фотона? Определить тип поляризации фотона по значению проекции его спина.

39. Сформулировать правила отбора для излучательных переходов в атомах. Простой или сложный эффект Зеемана наблюдается в спектре атома со спином  $s = 2$ ? То же в случае  $s = 0$ .
40. Какие из перечисленных частиц (электрон, фотон, протон, нейtron,  $\alpha$  – частица) являются фермионами, а какие – бозонами?
41. Сформулировать принцип запрета Паули для фермионов.
42. Статистика Ферми-Дирака. Уровень Ферми.
43. В чем сущность приближения самосогласованного поля?
44. Элементы зонной теории. Каковы особенности структуры энергетических зон в металлах, полупроводниках, диэлектриках?
45. Сущность и область применимости метода эффективных масс.
46. Статистика Бозе-Эйнштейна для частиц с целым спином. Справедлив ли принцип запрета Паули для бозонов? Привести примеры Бозе-конденсации (сверхтекучесть жидкого  $^4\text{He}$ , сверхпроводимость).
47. Высокотемпературная сверхпроводимость.

## 11.2. Типовые задания для текущего контроля

### Варианты контрольной работы №1

#### Вариант 1

1. Волновые функции стационарных состояний частицы в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной  $a$  ( $0 < x < a$ ) имеют вид

$$\Psi(x, t) = \sqrt{\frac{2}{a}} \exp\left(-\frac{iE_n t}{\hbar}\right) \sin \frac{n\pi x}{a},$$

где  $n = 1, 2, 3, \dots, \infty$ .

Вычислить среднее значение квадрата координаты  $\langle x^2 \rangle$  частицы в состоянии  $n = 4$ .

2. Вычислить коэффициент отражения электрона от потенциальной ямы, профиль которой определяется выражением

$$U(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } x < 0 \\ -U_0, & \text{при } 0 \leq x \leq a \\ 0, & \text{при } x > a \end{cases}.$$

Энергия электрона  $E = U_0 > 0$ ; ширина ямы  $a = \pi\hbar/6\sqrt{m_e U_0}$ .

#### Вариант 2

1. Волновые функции стационарных состояний одномерного гармонического осциллятора

$$U(x) = \frac{m\omega^2 x^2}{2} \quad (\text{потенциальная энергия частицы})$$

имеют вид

$$\Psi(x, t) = P_n(x) \exp\left(-\frac{iE_n t}{\hbar}\right) \exp\left(-\frac{m\omega x^2}{2\hbar}\right),$$

где  $P_n(x)$  – полиномы Чебышева - Эрмита,  $n = 0, 1, 2, 3, \dots, \infty$ .

Вычислить среднее значение квадрата координаты  $\langle x^2 \rangle$  частицы в состоянии  $n = 2$ .

2. Вычислить коэффициент отражения электрона от потенциального барьера, профиль которого определяется выражением

$$U(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } x < 0 \\ U_0, & \text{при } 0 \leq x \leq a \\ 0, & \text{при } x > a \end{cases}$$

Энергия электрона  $E = 2U_0$ ; ширина барьера  $a = 0,25\pi\hbar/\sqrt{2m_e U_0}$ .

### Вариант 3

1. Волновые функции стационарных состояний частицы в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной  $a$  ( $0 < x < a$ ) имеют вид

$$\Psi(x, t) = \sqrt{\frac{2}{a}} \exp\left(-\frac{iE_n t}{\hbar}\right) \sin \frac{n\pi x}{a},$$

где  $n = 1, 2, 3, \dots, \infty$ . Вычислить среднее значение квадрата импульса  $\langle \vec{P}^2 \rangle$  частицы в состоянии  $n = 3$ .

2. Вычислить коэффициент отражения электрона от потенциальной ямы, профиль которой определяется выражением

$$U(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } x < 0 \\ -U_0, & \text{при } 0 \leq x \leq a \\ 0, & \text{при } x > a \end{cases}$$

Энергия электрона  $E = 0,1U_0 > 0$ ; ширина ямы  $a = 4\hbar/\sqrt{m_e U_0}$ .

### Вариант 4

1. Волновые функции стационарных состояний одномерного гармонического осциллятора (потенциальная энергия частицы

$$U(x) = \frac{m\omega^2 x^2}{2}$$

имеют вид  $\Psi(x, t) = P_n(x) \exp\left(-\frac{iE_n t}{\hbar}\right) \exp\left(-\frac{m\omega x^2}{2\hbar}\right)$ , где  $P_n(x)$  – полиномы Чебышева - Эрмита,  $n = 0, 1, 2, 3, \dots, \infty$ .

Вычислить среднее значение квадрата импульса  $\langle \vec{P}^2 \rangle$  частицы в состоянии  $n = 2$ .

2. Вычислить коэффициент отражения электрона от потенциального барьера, профиль которого определяется выражением

$$U(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } x < 0 \\ U_0, & \text{при } 0 \leq x \leq a \\ 0, & \text{при } x > a \end{cases}$$

Энергия электрона  $E = 0,5U_0$ ; ширина барьера  $a = 0,2\hbar/\sqrt{m_e U_0}$ .

### Вариант 5

1. Волновые функции стационарных состояний частицы в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной  $a$  ( $0 < x < a$ ) имеют вид

$$\Psi(x, t) = \sqrt{\frac{2}{a}} \exp\left(-\frac{iE_n t}{\hbar}\right) \sin \frac{n\pi x}{a},$$

где  $n = 1, 2, 3, \dots, \infty$ . Вычислить матричный элемент  $x_{14}$  координаты частицы.

2. Вычислить коэффициент отражения электрона от потенциальной ямы, профиль которой определяется выражением

$$U(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } x < 0 \\ -U_0, & \text{при } 0 \leq x \leq a \\ 0, & \text{при } x > a \end{cases}$$

Энергия электрона  $E = 0,5U_0 > 0$ ; ширина ямы  $a = 0,5\pi\hbar/\sqrt{3m_e U_0}$ .

## Варианты контрольной работы №2

### Вариант 1

1. Радиальная часть волновой функции электрона в атоме водорода в состоянии  $2P$  имеет вид:

$$R_{2,1}(r) = C \exp(-r/2r_1) r/r_1,$$

где  $r_1$  – боровский радиус.

Вычислить для этого состояния средний квадрат флуктуации  $\delta r^2 = \langle r^2 \rangle - \langle r \rangle^2$ .

2. Построить схему допустимых переходов между термами  $^2F_{5/2}$  и  $^2D_{5/2}$  в слабом магнитном поле. Рассчитать тонкую структуру спектральных линий. Определить число  $\pi$  и  $\sigma$ -компонент.

3. Вычислить угол между орбитальным и спиновым моментами для атома в состоянии  $^5D_1$ .

### Вариант 2

1. Радиальная часть волновой функции электрона в атоме водорода в состоянии  $1S$  имеет вид:

$$R_{1,0}(r) = C \exp(-r/r_1),$$

где  $r_1$  – боровский радиус.

Вычислить среднюю величину силы кулоновского взаимодействия  $\langle F_{\text{Кул}} \rangle$  между электроном и ядром.

2. Построить схему допустимых переходов между термами  $^2F_{5/2}$  и  $^2D_{3/2}$  в слабом магнитном поле. Рассчитать тонкую структуру спектральных линий. Определить число  $\pi$  и  $\sigma$ -компонент.

3. Вычислить угол между полным и спиновым моментами для атома в состоянии  $^5D_3$ .

### Вариант 3

1. Радиальная часть волновой функции электрона в атоме водорода в состоянии  $3D$  имеет

вид:  $R_{3,2}(r) = C r^2/r_1^2 \exp(-r/3r_1),$

где  $r_1$  – боровский радиус.

Вычислить для этого состояния средний квадрат флуктуации  $\delta r^2 = \langle r^2 \rangle - \langle r \rangle^2$ .

2. Построить схему допустимых переходов между термами  $^2F_{7/2}$  и  $^2D_{5/2}$  в слабом магнитном поле. Рассчитать тонкую структуру спектральных линий. Определить число  $\pi$  и  $\sigma$ -компонент.
3. Вычислить угол между орбитальным и полным моментами для атома в состоянии  $^5D_3$ .

#### Вариант 4

1. Радиальная часть волновой функции электрона в атоме водорода в состоянии  $^3D$  имеет вид:

$$R_{3,2}(r) = C r^2 / r_1^2 \exp(-r/3r_1),$$

где  $r_1$  – боровский радиус.

Вычислить среднее значение вращательной части кинетической энергии электрона

$$\left\langle \frac{\hbar^2 l(l+1)}{2m_e r^2} \right\rangle.$$

2. Построить схему допустимых переходов между термами  $^2F_{5/2}$  и  $^2D_{5/2}$  в слабом магнитном поле. Рассчитать тонкую структуру спектральных линий. Определить число  $\pi$  и  $\sigma$ -компонент.
3. Вычислить угол между орбитальным и спиновым моментами для атома в состоянии  $^5D_3$ .

#### Вариант 5

1. Радиальная часть волновой функции электрона в атоме водорода в состоянии  $^2P$  имеет вид:

$$R_{2,1}(r) = C \exp(-r/2r_1) r / r_1,$$

где  $r_1$  – боровский радиус. Вычислить для этого состояния.

Вычислить обратное расстояние  $\langle r^{-1} \rangle$  электрона от ядра.

2. Построить схему допустимых переходов между термами  $^3F_3$  и  $^3D_3$  в слабом магнитном поле. Рассчитать тонкую структуру спектральных линий. Определить число  $\pi$  и  $\sigma$ -компонент.

3. Вычислить угол между полным и спиновым моментами для атома в состоянии  $^5D_1$ .

Полный фонд оценочных средств находится на кафедре «ФТОС».

УТВЕРЖДАЮ:  
Директор института ИФХТиМ

“ \_\_\_\_ ” 20 \_\_\_\_ г.

**Лист актуализации рабочей программы дисциплины**

« \_\_\_\_\_ »

индекс по учебному плану, наименование

для подготовки бакалавров/ специалистов/ магистров

Направление: {шифр – название} \_\_\_\_\_

Направленность: \_\_\_\_\_

Форма обучения \_\_\_\_\_

Год начала подготовки: \_\_\_\_\_

Курс \_\_\_\_\_

Семестр \_\_\_\_\_

а) В рабочую программу не вносятся изменения. Программа актуализирована для 20 \_\_\_\_ г. начала подготовки.

б) В рабочую программу вносятся следующие изменения (указать на какой год начала подготовки):

1) .....;

2) .....;

3) .....

Разработчик (и): \_\_\_\_\_  
(ФИО, ученая степень, ученое звание) « \_\_\_\_ » 20 \_\_\_\_ г.

Рабочая программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры ФТОС  
\_\_\_\_\_ протокол № \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_ » 20 \_\_\_\_ г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

**Лист актуализации принят на хранение:**

Заведующий выпускающей кафедрой ФТОС \_\_\_\_\_ « \_\_\_\_ » 20 \_\_\_\_ г.

Методический отдел УМУ: \_\_\_\_\_ « \_\_\_\_ » 20 \_\_\_\_ г.