

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
ФГБОУ ВО «ИГУ»

**Кафедра общей и экспериментальной физики**

УТВЕРЖДАЮ  
Декан физического факультета



Н.М. Буднев

20 марта 2026 г.

**Рабочая программа дисциплины**


Наименование дисциплины: **Б1.О.14.04 Квантовая оптика и атомная физика**

Направление подготовки: **11.03.04 Электроника и нанoeлектроника**

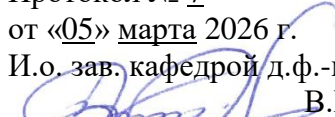
Направленность (профиль) подготовки: **Электроника и нанoeлектроника**

Квалификация выпускника: **бакалавр**

Форма обучения: **очная**

Согласовано с УМК  
физического факультета  
Протокол № 53 от «17» марта 2026 г.  
Председатель д.ф.-м.н., профессор  
 Н.М. Буднев

Рекомендовано кафедрой:

Протокол № 7  
от «05» марта 2026 г.  
И.о. зав. кафедрой д.ф.-м.н.  
 В.П. Дресвянский

Иркутск 2026 г.

## Содержание

стр.

- I. Цели и задачи дисциплины (модуля)
- II. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП.
- III. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)
- IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)
  - 4.1 Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов
  - 4.2 План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине
  - 4.3 Содержание учебного материала
    - 4.3.1 Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ
    - 4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение в рамках самостоятельной работы студентов
  - 4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов
  - 4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов)
- V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)
  - а) перечень литературы
  - б) периодические издания
  - в) список авторских методических разработок
  - г) базы данных, поисково-справочные и информационные системы
- VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)
  - 6.1. Учебно-лабораторное оборудование:
  - 6.2. Программное обеспечение:
  - 6.3. Технические и электронные средства обучения:
- VII. Образовательные технологии
- VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации

## I. Цели и задачи дисциплины (модуля):

### Цель (цели):

дать студентам целостное в рамках существующих естественнонаучных положений представление о состоянии исследований в одной из наиболее развивающихся областей физики систем взаимодействующих частиц, ознакомить с методами расчета энергетического спектра макроскопических тел.

- научить студентов ориентироваться в основных направлениях развития и проблематике квантовой оптики, физики атома и атомных явлений и их приложений в современной технике и технологиях.

### Задачи:

- ознакомление студентов с основными законами и физическими величинами, характерными для квантовой оптики и атомной физики;
- изучение теории равновесного электромагнитного излучения;
- развитие у студентов общих представлений квантовой механики;
- ознакомление студентов с основными принципами описания структуры атомов и процессами взаимодействия квантовых систем с излучением;
- изучение молекул, их структуры и спектров;
- изучение основ физики лазеров, физики металлов и полупроводников, принципов работы устройств современной электроники и микроэлектроники.

## II. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Квантовая оптика и атомная физика» является дисциплиной профессионального цикла и относится к базовой части Б1 основной профессиональной образовательной программы по направлению **11.03.04 Электроника и наноэлектроника**

Дисциплина «Квантовая оптика и атомная физика» опирается на математическую дисциплину «Математический анализ» (код дисциплины Б1.О.13.01), школьные дисциплины «Физика» и «Химия».

Освоение дисциплины необходимо для освоения курсов: «Квантовая механика» (код дисциплины Б1.О.18), «Твердотельная электроника» (код дисциплины Б1.О.19), «Микро- и наноэлектроника» (код дисциплины Б1.О.20), «Физические основы электроники» (код дисциплины Б1.О.22), «Квантовая и оптическая электроника» (код дисциплины Б1.В.ДВ.01.01).

## III. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс освоения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ОП ВО по направлению 11.03.04 Электроника и наноэлектроника: ОПК-1 - Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности

### Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Компетенция	Индикаторы компетенций	Результаты обучения
ОПК-1 Способен использовать положения, законы и методы естественных	ИДК ОПК-1.1 Применяет базовые знания в области физики, математического анализа	Знать: - основные понятия, законы и модели квантовой оптики и атомной физики;

<p>наук и математики для решения задач инженерной деятельности</p>	<p>для решения задач теоретического и экспериментального исследований в профессиональной деятельности;</p>	<p>- квантово - механическое описание атомных явлений;  - основные научные методы теоретического и экспериментального исследования физических объектов, процессов и явлений квантовой оптики и атомной физики;  Уметь:  - использовать законы квантовой оптики и атомной физики при решении задач;  Владеть:  - навыками использования базовых знаний в области физики в профессиональной деятельности; навыками решения типовых задач из области квантовой оптики и атомной физики;  - методами квантово - механического описания простейших квантовых систем;</p>
	<p><i>ИДК ОПК-1.2</i>  Применяет базовые знания в области методов математического анализа и моделирования для решения прикладных задач профессиональной деятельности</p>	<p>Знать:  - основные научные методы теоретического и экспериментального исследования физических объектов, процессов и явлений квантовой оптики и атомной физики;  Уметь:  - применять теоретические знания к решению практических задач;  - оценивать пределы применимости основных методов описания атомных явлений;  Владеть:  - методами экспериментальных исследований параметров и характеристик атомных явлений;  - методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической информации.</p>

#### IV. СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Объем дисциплины составляет 7 зачетных единиц, 252 часа, в том числе 7 часов на экзамен

Из них 60 часов – практическая подготовка

**Форма промежуточной аттестации: экзамен**

#### 4.1 Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов

№ п/п	Раздел дисциплины/тема	Семестр	Всего часов	Из них практическая подготовка обучающихся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся, практическую подготовку и объем (в часах)				Форма текущего контроля успеваемости/ Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
					Контактная работа преподавателя с обучающимися			Самостоятельная работа (в том числе, внеаудиторная СР, КСР)	
					Лекция	Семинар/ Практическое, лабораторное занятие/	Консультация		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Введение	4	13		4	4		5	Контрольные вопросы.
2	Квантовая природа излучения	4	35	3	8	8 /3		16	Контрольная работа. Контрольные вопросы.

									Защита лабораторной работы.
<b>3</b>	<b>Теория атома водорода по Бору</b>	<b>4</b>	36	<b>4</b>	8	8 / 4		<b>16</b>	Контрольная работа. Контрольные вопросы. Защита лабораторной работы.
<b>4</b>	<b>Элементы квантовой механики</b>	<b>4</b>	39	<b>3</b>	10	10 / 3		<b>16</b>	<b>Контрольная работа</b> Контрольные вопросы. Защита лабораторной работы.
<b>5</b>	<b>Взаимодействие атома с электромагнитным полем</b>	<b>4</b>	41	<b>4</b>	10	10 / 4		<b>17</b>	<b>Контрольная работа</b> Контрольные вопросы. Защита лабораторной работы.
<b>6</b>	<b>Элементы современной физики атомов и молекул</b>	<b>4</b>	40	<b>3</b>	10	10 / 3		<b>17</b>	<b>Тестирование</b> Контрольные вопросы. Защита лабораторной работы.
<b>7</b>	<b>Элементы физики твердого тела</b>	<b>4</b>	40	<b>3</b>	10	10 / 3		<b>17</b>	<b>Тестирование</b> Контрольные вопросы. Защита лабораторной работы.
	<b>Экзамен</b>		8					<b>1</b>	<b>Экзамен</b>
<b>ИТОГО:</b>			<b>252</b>	<b>20</b>	<b>60</b>	<b>60 / 20</b>		<b>1</b>	<b>111</b>

#### 4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы (в том числе КСР) обучающихся по дисциплине

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Объем (час.)		
4	Введение	Работа с учебной литературой, справочной литературой, конспектом	1 нед	3	Собеседование	Рекомендуемая литература, конспект
4	Квантовая природа излучения		2-4 нед	12	Собеседование	

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Объем (час.)		
4	Теория атома водорода по Бору	лекции, выполнение домашней работы с решением задач по темам семинара	5-8 нед	12	Тестирование Защита лабораторных работ	лекций и семинарских занятий, методическое пособие по лабораторным работам
4	Элементы квантовой механики		9-11 нед	12		
4	Взаимодействие атома с электромагнитным полем		12-13 нед	12		
4	Элементы современной физики атомов и молекул		14-15 нед	12		
4	Элементы физики твердого тела		16 нед	12		
Общий объем самостоятельной работы по дисциплине (час)				<b>75</b>		

### 4.3.Содержание учебного материала

#### **ВВЕДЕНИЕ.**

Определения. Масштабы размеров, масс и энергий в атомной физике. Фотон.

#### **РАЗДЕЛ 1. КВАНТОВАЯ ПРИРОДА ИЗЛУЧЕНИЯ**

##### **Классическая картина мира и необходимость введения квантовых представлений.**

- 1.1.Электронная теория Лоренца.
- 1.2.Проблема равновесного электромагнитного излучения.
- 1.3.Фотоэффект. Эффект Комптона. Давление света.
- 1.4.Тормозное рентгеновское излучение. Квантовый предел.
- 1.5.Фотон. Гипотеза де Бройля. Корпускулярно-волновой дуализм. Волновой пакет. Соотношения неопределенностей.

#### **РАЗДЕЛ 2. ТЕОРИЯ АТОМА ВОДОРОДА ПО БОРУ**

##### **Модели атомов.**

- 2.1.Атом Томсона.
- 2.2.Опыты Резерфорда. Планетарная модель атома.
- 2.3.Атом Бора. Модель Бора и гипотеза де Бройля. Релятивистское обобщение модели Бора.
- 2.4.Экспериментальное доказательство дискретной структуры атомных уровней. Опыты Франка и Герца.
- 2.5.Изотопический сдвиг атомных уровней. Мюонный атом водорода.

#### **РАЗДЕЛ 3. ЭЛЕМЕНТЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ**

##### **Основы формализма квантовой механики.**

- 3.1. Нестационарное уравнение Шредингера. Релятивистское волновое уравнение. Волновая функция и ее физический смысл. Уравнение непрерывности. Вектор плотности тока вероятности.
- 3.2.Определение средних значений и дисперсии импульса и координаты частицы. Операторы. Собственные значения и собственные функции оператора импульса. Собственные значения и собственные функции оператора  $z$  - проекции момента количества движения.
- 3.3.Стационарное уравнение Шредингера. Коммутатор. Многочастичная квантовая система. Движение волновых пакетов. Предельный переход к классической механике. Оптико-механическая аналогия.  
Стационарное уравнение Шредингера. Спектры простейших одномерных систем.
- 3.4.Свободное движение частицы. Частица в бесконечно глубокой прямоугольной потенциальной яме. Частица в прямоугольной потенциальной яме конечной глубины.
- 3.5.Автоэлектронная эмиссия. Явление альфа - распада атомных ядер. Туннельная ионизация атомов в оптическом поле. Туннельный микроскоп. Туннельный эффект: оптическая аналогия. Туннельный эффект и зонная структура спектра в периодическом потенциале.
- 3.6. Гармонический осциллятор. Стационарные состояния. Нестационарные состояния. Стационарные состояния в центрально – симметричном поле.
- 3.7.Общая постановка задачи. Задача Кеплера. Переход к классическому описанию. Понятие о квазиклассическом приближении. Квантовые условия Бора и Бора – Зоммерфельда. Орбитальный механический и магнитный моменты электрона.
- 3.8.Экспериментальное определение атомных магнитных моментов. Собственный механический и магнитный моменты электрона. Спин. Сложение невзаимодействующих моментов количества движения. Систематика состояний атома водорода.  
Приближенное решение стационарного уравнения Шредингера. Теория возмущений.
- 3.9.Случай невырожденного спектра. Случай вырожденного спектра. Изотопическое смещение атомных уровней, связанное с конечным размером ядра.
- 3.10.Тонкая структура спектра атома водорода. Учет релятивистской связи импульса и энергии электрона. Спин – орбитальное взаимодействие.

## РАЗДЕЛ 4. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АТОМА С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

### Взаимодействие квантовой системы с электромагнитным полем.

- 1.1. Общая постановка задачи. Электрическое дипольное приближение. Нестационарная теория возмущений. Вероятность перехода. Правила отбора.
- 1.2. Линейный гармонический осциллятор.
- 1.3. Центральное-симметричное поле. Спектральные серии атома водорода.
- 1.4. Спектральные серии атомов щелочных металлов. Электромагнитные переходы в многоэлектронных атомах.

### Квантовое электромагнитное поле и его взаимодействие с атомом.

- 1.5. Электромагнитное поле как квантовый объект. Классическое электромагнитное поле в квантовой теории.
- 1.6. Взаимодействие атомной системы с квантовым электромагнитным полем. Спонтанные переходы.
- 1.7. Спонтанные переходы и естественная ширина спектральной линии. Формула Планка.
- 1.8. Лэмбовский сдвиг атомных уровней. Опыты Лэмба – Ризерфорда. Качественный анализ лэмбовского сдвига. Лэмбовский сдвиг в спектре водорода и размер протона.

## РАЗДЕЛ 5. ЭЛЕМЕНТЫ СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ АТОМОВ И МОЛЕКУЛ

### Многоэлектронный атом.

- 5.1. Тождественность микрочастиц. Неразличимость микрообъектов. Бозоны и фермионы. Принцип Паули. Макроскопические ансамбли микрочастиц. Вариационный метод. Приближение самосогласованного поля. Атомные оболочки и подоболочки. Электронная конфигурация. Атомы щелочных металлов. Атом гелия.
- 5.2. Общие принципы описания многоэлектронных атомов. Заполнение атомных оболочек электронами. Термы многоэлектронных атомов. Тонкая структура терма. Состояния. Правило интервалов Ланде. Приближение  $LS$  - и  $jj$  -связей. Основные термы атомов. Правила Хунда. Правило интервалов Ланде для сверхтонкой структуры.

### Переходы внутренних электронов в атомах.

- 5.3. Характеристическое рентгеновское излучение. Тонкая структура рентгеновских линий. Закон Мозли. Эффект Оже. Сплошной рентгеновский спектр и рентгеновский спектр поглощения. Атом в электрическом поле. Эффект Штарка.

### Атом в магнитном поле.

- 5.4. Эффект Зеемана. Эффект Пашена и Бака. Электронный парамагнитный резонанс. Опыты Штерна и Герлаха.

### Основы физики молекул.

- 5.5. Адиабатическое приближение. Молекулярный ион водорода. Молекула водорода. Теория Гайтлера – Лондона. Насыщение химических связей. Валентность. Метод линейной комбинации атомных орбиталей (ЛКАО). Ковалентная полярная и ионная связи.
- 5.6. Элементы стереохимии. Основы систематики электронных состояний двухатомных молекул. Ядерная подсистема молекулы. Электромагнитные переходы в молекулах.

## РАЗДЕЛ 6. ЭЛЕМЕНТЫ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА

### Основы физики твердого тела.

- 6.1. Типы связи в твердом теле. Фононы. Основы зонной теории. Металлы. Полупроводники. Диэлектрики.
- 6.2. Фотопроводимость полупроводников.
- 6.3. Люминесценция твердых тел.
- 6.4. Контакт двух металлов по зонной теории.
- 6.5. Термоэлектрические явления и их применение.
- 6.6. Выпрямление на контакте металл - полупроводник (*диод Шоттки*).
- 6.7. Контакт электронного и дырочного полупроводников (*p-n-переход*).
- 6.8. Полупроводниковые диоды и триоды (транзисторы)

### 4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/н	№ раздела и темы	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Объем (час.)		Оценочные средства	Формируемые компетенции (индикаторы)
			Всего часов	Из них практическая подготовка		
1	2	3	4	5	6	7
1	Введение	Определения. Масштабы размеров, масс и энергий в атомной физике. Фотон.	4		Контрольные вопросы.	ОПК-1 (ИДК ОПК 1.1., ОПК 1.2.)
2	1. Квантовая природа излучения	Классическая картина мира и необходимость введения квантовых представлений. Тема 1.1 -1.5  Л.р. Изучение сериальных закономерностей в спектре атома водорода	8	3	Контрольные вопросы. Контрольная работа.	ОПК-1 (ИДК ОПК 1.1., ОПК 1.2.)
3	2. Теория атома водорода по Бору	Модели атомов. Тема 2.1 -2.5  Л.р. Опыт Резерфорда	8	4	Контрольные вопросы. Контрольная работа. Реферат	ОПК-1 (ИДК ОПК 1.1., ОПК 1.2.)
4	3. Элементы квантовой механики	Основы формализма квантовой механики. Тема 3.1-3.3 Стационарное уравнение Шредингера. Спектры простейших одномерных систем. Тема 3.4-3.6 Стационарные состояния в центрально – симметричном поле. Тема 3.7-3.8 Приближенное решение стационарного уравнения Шредингера. Теория возмущений. Тема 3.9-3.10	10	3	Контрольные вопросы. Контрольная работа.	ОПК-1 (ИДК ОПК 1.1., ОПК 1.2.)

		Л.р. Квантовая частица в одномерной яме				
5	4. Взаимодействие атома с электромагнитным полем	Взаимодействие квантовой системы с электромагнитным полем. Тема 4.1 -4.4. Квантовое электромагнитное поле и его взаимодействие с атомом. Тема 4.5 - 4.8  Л.р. Изучение спектров атомов щелочных металлов	10	3	Контрольные вопросы. Тестирование Реферат	ОПК-1 (ИДК ОПК 1.1., ОПК 1.2.)
6	5. Элементы современной физики атомов и молекул	Многоэлектронный атом. Тема 5.1 -5.2 Переходы внутренних электронов в атомах. Тема 5.3 Атом в магнитном поле. Тема 5.4. Основы физики молекул. Тема 5.5- 5.6  Л.р. Определение энергии диссоциации молекул йода по спектру поглощения	10	4	Контрольные вопросы. Тестирование	ОПК-1 (ИДК ОПК 1.1., ОПК 1.2.)
7	6. Элементы физики твердого тела	Основы физики твердого тела. Тема 6.1 -6.8  Л.р. Изучение спектрального состава излучения лазера	10	3	Контрольные вопросы. Реферат	ОПК-1 (ИДК ОПК 1.1., ОПК 1.2.)

#### 4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)

№ п/п	Тема	Задание	Формируемая компетенция	ИДК
1	2	3	4	5
1	<b>Введение</b>	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, решение задач, выполнение заданий по темам, вынесенным на	ОПК-1	ИДК <sub>ОПК-1.1.</sub> , ИДК <sub>ОПК-1.2.</sub>
2	<b>Квантовая природа излучения</b>		ОПК-1	ИДК <sub>ОПК-1.1.</sub> , ИДК <sub>ОПК-1.2.</sub>
3	<b>Теория атома водорода по Бору</b>		ОПК-1	ИДК <sub>ОПК-1.1.</sub> , ИДК <sub>ОПК-1.2.</sub>

4	<b>Элементы квантовой механики</b>	самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы.	ОПК-1	ИДКОПК-1.1., ИДКОПК- 1.2.
5	<b>Взаимодействие атома с электромагнитным полем</b>		ОПК-1	ИДКОПК-1.1., ИДКОПК- 1.2.
6	<b>Элементы современной физики атомов и молекул</b>		ОПК-1	ИДКОПК-1.1., ИДКОПК- 1.2.
7	<b>Элементы физики твердого тела</b>		ОПК-1	ИДКОПК-1.1., ИДКОПК- 1.2.
8	<b>Введение</b>		ОПК-1	ИДКОПК-1.1., ИДКОПК- 1.2.

#### 4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

Цель самостоятельной работы студента – осмысленно и самостоятельно работать сначала с учебным материалом, затем с научной информацией, заложить основы самоорганизации и самовоспитания с тем, чтобы привить умение в дальнейшем непрерывно повышать свою профессиональную квалификацию.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы:

- аудиторная – самостоятельная работа выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.
- внеаудиторная СР под методическим руководством и контролем преподавателя, но без его непосредственного участия при подготовке к аудиторным занятиям, текущим и промежуточным формам контроля.

##### Виды СР обучающихся:

Методические рекомендации студентам при подготовке к практическому занятию на основе изучения рекомендованной научной и учебной литературы. Изучение дисциплины следует начинать с проработки настоящей рабочей программы, особое внимание, уделяя целям и задачам, структуре и содержанию дисциплины. Для подготовки к занятиям, текущему контролю и промежуточной аттестации студенты могут воспользоваться электронной библиотекой, они имеют возможность получить доступ к учебно-методическим материалам как библиотеки, так и иных электронных библиотечных систем. В свою очередь, студенты могут взять на дом необходимую литературу на абонементе вузовской библиотеки, а также воспользоваться читальными залами вуза.

**Подготовка к лекции.** Качество освоения дисциплины напрямую зависит от того, насколько студент самостоятельно формирует установку на получение на лекциях новых знаний, дополняющих уже имеющиеся знания по данной дисциплине. Время, отведенное на подготовку студентов при двухчасовой лекции по нормативам составляет не менее 0,2 часа.

**Подготовка к практическому занятию.** Практическое занятие – это занятие, проводимое под руководством преподавателя в учебной аудитории, направленное на углубление научно-теоретических знаний и овладение определенными методами самостоятельной работы. В процессе таких занятий вырабатываются практические умения. Перед практическим занятием следует изучить конспект лекции и рекомендованную преподавателем литературу, обращая внимание на практическое применение теории и на методику решения типовых задач. На практическом занятии главное – уяснить связь решаемых задач с теоретическими положениями.

**Написание реферата.** Написание рефератов должно способствовать закреплению и углублению знаний, а также выработке навыков самостоятельного мышления и умения решать поставленные перед студентом задачи. Содержание выполненной работы дает возможность углубить уровень знания изучаемой проблемы, показать знание литературы и сведений,

собранных студентом, выполняющим реферативные работы. Существует определенная форма, которой должен придерживаться студент, выполняющий работу. Реферат должен иметь титульный лист, содержание темы, список литературы и оглавление. Список литературы должен включать, главным образом, новейшие источники: статьи, учебники, другие первоисточники по проблемам дисциплины. Особое внимание уделяется периодической печати, которая отражает проблематику, затронутую в реферате. При написании работы обязательны ссылки на используемые источники, статистические материалы, что придает работе основательность, научную ориентацию. Реферат пишется на листах формата А4. Объем реферата должен быть не менее 18 страниц печатного текста (размер шрифта 14 при компьютерном наборе текста), из них 3 страницы – оформление реферата (1 стр. – титульный лист, 2 стр. – оглавление или план, последняя страница реферата – список использованной литературы). Реферат дает возможность не только убедиться в уровне знаний студентов по изучаемому предмету, но и установить склонность студентов к научно-исследовательской работе. Положительной оценки за реферат заслуживает студент, полностью раскрывший выбранную тему, опирающийся на новейшую литературу, демонстрирующий знание основных терминов и понятий, умение выделять существенные характеристики специфики педагогической деятельности по формированию комфортной и безопасной образовательной среды.

**Компьютерная презентация по теме** – вид самостоятельной работы студента, предусматривающий упорядочивание учебного материала в формат визуального организатора. Основные принципы при составлении компьютерной презентации: простота содержания, доступность, понятность содержания, соответствие содержанию доклада, умеренно яркое оформление, наглядность (разумное использование ярких эффектов). Не злоупотребляйте эффектами анимации. Стиль оформления компьютерной презентации (слайдов) должен быть единым.

#### **Подготовка к промежуточному контролю по дисциплине (экзамен)**

Экзамен является неотъемлемой частью учебного процесса и призван закрепить и упорядочить знания студента, полученные на занятиях и самостоятельно. Сдаче экзамена предшествует работа студента на лекционных, практических занятиях и самостоятельная работа по изучению предмета. Отсутствие студента на занятиях без уважительной причины и невыполнение заданий самостоятельной работы является основанием для недопущения студента к сдаче экзамена. Готовиться к экзамену необходимо последовательно, с учётом примерных вопросов, содержащихся в программе. Сначала следует определить место каждого контрольного вопроса в соответствующем разделе темы учебной программы, а затем внимательно прочитать и осмыслить рекомендованную учебную и научную литературу. Работу над темой можно считать завершённой, если вы сможете ответить на все контрольные вопросы и дать определение понятий по изучаемой теме.

#### **Самостоятельная работа помогает студентам:**

##### **1) Владеть знаниями:**

- чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы и т.д.);
- составление плана текста, графическое изображение структуры текста, конспектирование текста, выписки из текста и т.д.;
- работа со справочниками и другой справочной литературой;
- ознакомление с нормативными и правовыми документами;
- учебно – методическая и научно-исследовательская работа;
- использование компьютерной техники, Интернета и др.;

##### **2) Закреплять и систематизировать знания:**

- работа с конспектом лекций;
- обработка текста, повторная работа над учебным материалом учебника, первоисточника, дополнительной литературы, аудио и видеозаписей;
- подготовка плана;
- составление таблиц для систематизации учебного материала;
- подготовка ответов на контрольные вопросы;

- заполнение рабочей тетради;
- аналитическая обработка текста;
- подготовка мультимедиа презентации и докладов к выступлению на семинаре (конференции, круглом столе и т.п.);
- подготовка реферата;
- составление библиографии использованных источников;
- тестирование и др.;

### 3) Формировать умения:

- решение ситуационных задач и упражнений по образцу;
- выполнение расчетов (графические и расчетные работы);
- подготовка к контрольным работам;
- подготовка к тестированию;
- опытно-экспериментальная работа;

## 4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов)

Выполнение курсовых работ *не предусмотрено учебным планом*

## • V. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### а) перечень литературы

#### основная литература:

1. **Сивухин Д.В.** Общий курс физики [Электронный ресурс] : учебное пособие. В 5 т. Т.V. Атомная и ядерная физика — 3-е изд. стер. / Д. В. Сивухин. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 784 с. - Режим доступа: ЭБС "Айбукс". - Неогранич. доступ. - ISBN 978-5-9221-0645-0
- Сивухин Д.В.** Общий курс физики. В 5 т. Т.V. Атомная и ядерная физика / Д. В. Сивухин. - 3-е изд. стер. - М. : Физматлит, 2008. - 784 с.
2. **Атомная физика** [Электронный ресурс]: учебник / Э. В. Шпольский. - СПб. : Лань, 2010. - Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=442](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=442). - Режим доступа: ЭБС "Издательство "Лань". - Неогранич. доступ. - ISBN 978-5-8114-1004-0. - ISBN RU20070172(ошибочный).
- Шпольский Э.В.** Атомная физика. Т.1: Введение в атомную физику: учебник / Э. В. Шпольский. - СПб. : Лань, 2010. - 557 с. : ил. ; 22 см. - Библиогр. в сносках. - ISBN 978-5-8114-1005-7 (15 экз.)
3. **Душутин Н.К.** Физика. Физика атомных явлений: учеб. пособие / Н.К. Душутин. – Иркутск: Изд-во ИГУ, 2007. – 156 с.(30 экз.)
4. **Иродов И.Е.** Задачи по общей физике [Электронный ресурс] : учеб. пособие / И. Е. Иродов = Exercises in general physics. - Москва : Лань, 2009. - 416 с. : ил. - (Классическая учебная литература по физике) (Классические задачки и практикумы. Физика). - Режим доступа: ЭБС "Издательство "Лань". - Неогранич. доступ. - ISBN 978-5-8114-0319-6 : Б. ц.
5. **Атомная физика: лабораторный практикум.** Учеб. пособие / сост. Л.И. Щепина, В.В. Чумак, В.В. Лызганов. – Иркутск: Изд-во ИГУ, 2017. – 136 с. ISBN 978-5-9624-1486-7 (30 экз.)

#### дополнительная литература:

1. **Душутин Н.К.** Физика. Физика атомных явлений : учеб. пособие / Н. К. Душутин, В. М. Калихман, Ю. Н. Переляев ; Сибирский ин-т права, экон. и упр. - Иркутск : Изд-во СИПЭУ, 2007. - 219 с. ; 21 см. - Библиогр.: с. 219. - ISBN 978-5-9769-0009-7 (28 экз.)
2. **Трофимова Т. И.** Курс физики: учеб. пособие для вузов / М.: Издательский центр «Академия», 2006. — 560 с.
3. **Ельяшевич М.А.** Атомная и молекулярная спектроскопия / М.А. Ельяшевич.- 2-е изд. – М. : Эдиториал, УРСС, 2010. -894 с.

Сверено с №Б ЧГУ

**б) периодические издания**

- нет.

**в) список авторских методических разработок**

В системе образовательного портала ИГУ (<http://educa.isu.ru/>) размещены методические материалы и задания по данному курсу

**г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

1) НБ ИГУ <http://library.isu.ru/ru>

2) ЭЧЗ «БиблиоТех» <https://isu.bibliotech.ru/>

3) ЭБС Издательство «Лань» <http://e.lanbook.com/>

4) ЭБС «Рукопт» <http://rucont.ru> - межотраслевая научная библиотека, содержащая оцифрованные книги, периодические издания и отдельные статьи по всем отраслям знаний, а также аудио-, видео-, мультимедиа софт и многое другое;

5) ЭБС «Айбукс» <http://ibooks.ru> - интернет ресурсы в свободном доступе.

**VI. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**6.1. Учебно-лабораторное оборудование:**

Чтение лекций сопровождается демонстрацией информации, для чего используются мультимедийные средства: переносной проектор, переносной экран, ноутбук. Использование глобальной компьютерной сети позволяет обеспечить доступность Интернет-ресурсов и реализовать самостоятельную работу студентов, в ходе которой они могут вычитывать научные статьи по темам курса. На факультете имеется компьютеризированная аудитория, предназначенная для самостоятельной работы, с неограниченным доступом в Интернет.

Лабораторный практикум по кантовой оптике и атомной физике расположен в специальной учебной лаборатории факультета. Имеются компьютеры для обработки экспериментальных данных и модельных работ. **Лабораторные работы** по курсу проводятся в специализированной лаборатории.

**6.2. Программное обеспечение:**

Стандартные сервисы глобальной сети Интернет, стандартные средства просмотра презентаций и научных публикаций в электронном виде, используются стандартные средства Windows и MS Office:

1. ABBY PDF Transformer 3.0 Пакет из 10 неименных лицензий Per Seat (10лиц.) EDU. Код позиции: АТ30-1S1P10-102 Котировка № 03-165-11 от 23.11.2011. Бессрочно.

2. Microsoft OfficeProPlus 2013 RUS OLP NL Acdmс. Контракт № 03-013-14 от 08.10.2014. Номер Лицензии Microsoft 45936786. Бессрочно.

3. WinPro10 Rus Upgrd OLP NL Acdmс. Сублицензионный договор № 502 от 03.03.2017 Счет № ФРЗ- 0003367 от 03.03.2017 Акт № 4496 от 03.03.2017 Лицензия № 68203568. Бессрочно.

4. Kaspersky Free (ежегодно обновляемое ПО). Условия использования по ссылке: <http://www.kaspersky.ru/free-antivirus/>. Бессрочно.

**6.3. Технические и электронные средства:**

Мультимедийный проектор, экран (по необходимости), меловая или маркерная доска. В ходе учебного процесса используются технические средства обучения и контроля знаний студентов (презентации, контролирующих программ, демонстрационных установок), использование которых предусмотрено методической концепцией преподавания.

**VII. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Задачи изложения и изучения дисциплины реализуются в следующих формах деятельности: **лекции**, нацеленные на получение необходимой информации, и ее использование при решении практических задач;

**практические занятия**, направленные на активизацию познавательной деятельности студентов и приобретения ими навыков решения практических и проблемных задач;  
**лабораторные работы**, направленные на активизацию познавательной деятельности студентов и приобретения ими навыков решения практических и проблемных задач;  
**консультации** – еженедельно для всех желающих студентов;

**самостоятельная внеаудиторная работа** направлена на приобретение навыков самостоятельного решения задач по дисциплине;

**текущий контроль** за деятельностью студентов осуществляется на лекционных и практических занятиях в ходе самостоятельного решения задач, в том числе у доски.

На лекциях используются активные методы обучения (компьютерных симуляций, разбор конкретных ситуаций). Практические занятия проводятся в интерактивной форме. Лабораторные работы проводятся с использованием ПЭВМ с последующей защитой.

**Наименование тем занятий с указанием форм/ методов/ технологий обучения:**

<b>№ п/п</b>	<b>Вид занятия</b>	<b>Формы / Методы/ технологии</b>	<b>Количество часов</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
1	Лекция	Вводная лекция, информационная лекция, лекция с элементами дискуссии, интерактивная лекция (лекция диалог), информационная лекция с элементами обратной связи.	<b>60</b>
2	Практическое занятие	Занятие – решение задач, выступление с докладом по теме, опрос, письменный текущий контроль, собеседование, коллоквиум.	<b>60</b>
3	Лабораторные работы	Занятия проводятся в экспериментальной лаборатории на лабораторных установках, с последующим написанием отчета по лабораторной работе и его защите.	<b>20</b>
<b>Итого часов:</b>			<b>140</b>

**VIII. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**

**Оценочные средства для входного контроля** (могут быть в виде тестов с закрытыми или открытыми вопросами).

**Оценочные средства текущего контроля**

**Текущий контроль** осуществляется в устной и письменной форме при выполнении студентами учебных заданий - решении задач и выполнении контрольных работ или тестовых заданий, выполнении и защите лабораторных работ, выступлении с докладами по предложенным темам на протяжении всего курса. Текущий контроль направлен на выявление сформированности компетенции ОПК-1. По результатам текущего контроля выставляются оценки по пятибалльной шкале, заносятся в журнал и используются как дополнительная информация при аттестации студентов в середине семестра и получении студентом допуска к экзамену.

Преподаватель задаёт студентам задачи для внеаудиторной самостоятельной работы, подобные разобранным в лекционном курсе и контролирует успешность самостоятельного решения студентами этих задач (как минимум, проверяя вслух правильность полученных ответов).

В рамках лабораторных работ имеются контрольные вопросы и упражнения в соответствующих методических материалах к каждой работе.

## Оценочные средства для промежуточной аттестации

**Промежуточная аттестация** направлена на проверку сформированности компетенции ОПК-1 и проводится в форме контрольных работ, тестирования или коллоквиума по ранее изученным темам, а также защит выполненных лабораторных работ. Оценка выставляется по пятибалльной системе.

**Материалы для проведения текущего и промежуточного контроля знаний студентов:**

№	Вид контроля	Контролируемые темы (разделы)	Контролируемые компетенции/ индикаторы
1	2	3	4
1	Текущий контроль	Все темы	ОПК-1 ИДКОПК-1.1
2	Отчёт по лабораторной работе	Темы 2-6	ОПК-1/ИДКОПК-1.2
3	Промежуточная аттестация	Все темы	ОПК-1/ ИДКОПК-1.1 ИДКОПК-1.2
4	Экзамен	Все темы	ОПК-1/ ИДКОПК-1.1 ИДКОПК-1.2

Для проверки сформированности компетенции ОПК-1:

### Пример тестовых заданий

- На графике приведена зависимость испускательной способности абсолютно чёрного тела от длины волны для двух различных температур. Определите из графика отношение температур  $T_1/T_2$ .

а) 0,5    б) 1,23    в) 1,33    г) 3,0    д) 0,75
- 
- Волновая функция или функция состояния даёт возможность ... .

а) предсказать, какие значения всех измеряемых величин будут наблюдаться на опыте и с какой вероятностью

б) описать закон движения частицы

в) получить информацию о значении координат и импульса частицы

г) получить информацию о значении энергии и интервале времени, в течение которого частица имеет эту энергию

д) описать законы термодинамики
  - Чему равна длина волны де Бройля для частицы, обладающей импульсом  $3,3 \cdot 10^{-24} \text{ кг} \cdot \text{м} / \text{с}$

а) 100 пм    б) 20 нм    в) 0,2 пм    г) 0,1 пм    д) 0,2 нм
  - Системы из каких квантовых частиц описываются функцией распределения Ферми-Дирака.

а) Системы из частиц с полуцелым спином

б) Системы из частиц с целым спином

в) Системы из частиц с нулевым спином

г) Системы из частиц, практически не взаимодействующих между собой

д) Системы из частиц очень высоких энергий

5. Каков характер температурной зависимости электропроводности металлов  $\sigma_m$  и полупроводников  $\sigma_n$

а)  $\sigma_m \sim \frac{1}{T}, \sigma_n \sim \exp\left(\frac{-\Delta E}{2kT}\right)$

б)  $\sigma_m \sim 1/T, \sigma_n \sim \text{не зависит от } T$

в)  $\sigma_m \text{ не зависит от } T, \sigma_n \sim \exp\left(\frac{-\Delta E}{2kT}\right)$

г)  $\sigma_m \sim 1/T, \sigma_n \sim T$

д)  $\sigma_m \sim T, \sigma_n \sim T^2$

6. Что такое уровень Ферми?

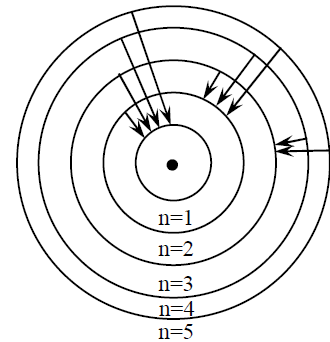
а) максимальная энергия электронов в кристалле

б) средняя энергия электронов в кристалле

в) максимальная энергия электронов в кристалле при  $0^0\text{K}$

г) минимальная энергия электронов в кристалле

7. На рис. изображены стационарные орбиты атома водорода согласно модели Бора, а также условно изображены переходы электрона с одной стационарной орбиты на другую, сопровождающиеся излучением кванта энергии. В ультрафиолетовой области спектра эти переходы дают серию Лаймана, в видимой - Бальмера, в инфракрасной - серию Пашена. Наибольшей частоте кванта в серии Бальмера соответствует переход...



а)  $n = 4 \rightarrow m = 3$

б)  $n = 5 \rightarrow m = 1$

в)  $n = 5 \rightarrow m = 2$

г)  $n = 3 \rightarrow m = 2$

8. Связь в куперовской паре в сверхпроводнике обеспечивают:

а) фотоны; б) магноны; в) фононы; г) экситоны;

9. Полупроводник в виде тонкой пластины высотой  $d = 1$  см и длиной  $l = 10$  см помещен в однородное магнитное поле с индукцией  $B = 0,2$  Тл. Вектор магнитной индукции перпендикулярен плоскости пластины. К концам пластины вдоль  $l$  приложено постоянное напряжение  $U = 300$  В. Определить холловскую разность потенциалов, если постоянная Холла  $R_x = 0,1$  м<sup>3</sup>/Кл, а удельное сопротивление  $\rho = 0,5$  Ом·м.

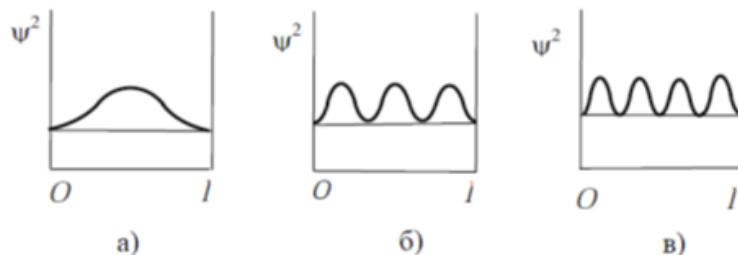
а)  $U_x = 5,4$  В

б)  $U_x = 1,2$  В

в)  $U_x = 8,6$  В

г)  $U_x = 3,5$  В

10. Какой из приведенных ниже графиков описывает распределение плотности вероятности обнаружения частицы в потенциальной яме для основного состояния?



1. Полость объемом  $V = 1$  л заполнена тепловым излучением при температуре  $T = 1000$  К. Найти теплоемкость  $CV$ .
2. Имеется вакуумный фотоэлемент, один из электродов которого цезиевый, другой — медный. Определить максимальную скорость фотоэлектронов, подлетающих к медному электроду, при освещении цезиевого электрода электромагнитным излучением с длиной волны  $0,22$  мкм, если электроды замкнуть снаружи накоротко.
3. Фотон с импульсом  $p = 1,02$  МэВ/с, где  $c$  — скорость света, рассеялся на покоившемся свободном электроне, в результате чего импульс фотона стал  $p' = 0,255$  МэВ/с. Под каким углом рассеялся фотон?
4. Протон с кинетической энергией  $T = 10$  МэВ пролетает на расстоянии  $b = 10$  пм от свободного покоившегося электрона. Найти энергию, которую получит электрон, считая, что траектория протона прямолинейная и за время пролета электрон остается практически неподвижным.
5. Покоившийся атом водорода испустил фотон, соответствующий головной линии серии Лаймана. Какую скорость приобрел атом?

### *Демонстрационный вариант теста №1*

1. Эффект Комптона заключается в
  - 1) взаимодействие о электромагнитного излучения с веществом, в результате которого энергия фотонов передается электронам вещества.
  - 2) расщепление линий атомных спектров в магнитном поле.
  - 3) рассеяние электромагнитного излучения на свободном электроне, сопровождающееся уменьшением частоты излучения
  - 4) эмиссия электрона из атома, происходящая в результате безызлучательного перехода при наличии в атоме вакансии на внутренней электронной оболочке.
2. В модели атома Томсона:
  - 1) электрон считается неподвижным;
  - 2) положительно заряженная часть атома считается неподвижной, так как значительно тяжелее электрона;
  - 3) размер положительно заряженного «пудинга» значительно больше размера электрона;
  - 4) электроны находятся на поверхности положительно заряженного большого «пудинга», притягиваясь им;
  - 5) электроны находятся внутри положительно заряженного «пудинга» и могут совершать колебания относительно положения равновесия;
  - 6) электроны совершают движение вокруг положительно заряженной части атома
3. После опытов по рассеянию  $\alpha$ -частиц Резерфорд сделал выводы:
  - 1) существует ядерная модель атома;
  - 2) опыт подтвердила модель Томсона;
  - 3) существует планетарная модель атома;
  - 4) в ядре сконцентрирована практически вся масса атома;
  - 5) размеры ядра сопоставимы с размерами атома;
  - 6) размеры ядра значительно меньше размеров атома.
4. Каков физический смысл эффективного сечения рассеяния?
  - 1) в механической модели: это площадка (мишень), попав в которую частица испытывает отклонение;
  - 2) в статистической интерпретации: это вероятность испытать рассеяние одной частице;
  - 3) эта величина физического смысла не имеет;
  - 4) сечение пучка рассеянных частиц в опыте Резерфорда;
  - 5) сечение пучка падающих частиц;
  - 6) отношение сечения пучка рассеянных частиц к интенсивности падающих частиц;
  - 7) отношение числа рассеянных частиц к интенсивности падающих частиц.
5. Из соотношения неопределенностей следует

- 1) частица с определенным значением энергии характеризуется определенным значением импульса
- 2) точно измерить время жизни частицы можно лишь в том случае, если у нее точно определен импульс
- 3) у частицы могут быть одновременно точно измерены положение и импульс
- 4 )
- 6) гипотеза де Бройля заключается в том, что лишь в том случае, если система живет бесконечно долго имеет малые по сравнению с атомом размеры
- 2) частица, обладающая импульсом, имеет как волновые так и корпускулярные свойства
- 3) точно измерить время жизни частицы можно лишь в том случае, если у нее точно определен импульс
- 4) электронные орбиты могут располагаться на определенных расстояниях от ядра
7. Луи де Бройль применил свою гипотезу к модели атома Бора. Указать верное утверждение
- 1) изменение скорости электрона не приводит его к переходу на другую орбиту
- 2) в атоме на «разрешенных» электронных орбитах укладывается полуцелое число длин волн де Бройля
- 3) при движении по стационарным орбитам скорость электрона меняется
- 4 )
- Критерии оценки выполнения заданий по выполнению теста от стоячим электронным волнам де Бройля в атоме
- «Отлично»: выполнение от 85% до 100 % тестовых заданий;
- «Хорошо»: выполнение от 65% до 85% тестовых заданий;
- «Удовлетворительно»: выполнение более 50% тестовых заданий;
- «Неудовлетворительно»: выполнение 50% и менее тестовых заданий.

### Пример контрольных вопросов

- Каков физический смысл чисел  $m$  и  $n$  в обобщенной формуле Бальмера?
- Каковы длины волн самых коротковолновой и длинноволновой линий серии Пашена?
- Какова длина волны, соответствующая границе серии Бальмера?
- Какова частота головной линии серии Лаймана?
- Атомы водорода находятся в состоянии с  $n = 5$ . Сколько линий содержит его спектр излучения?
- В чем состоит суть комбинационного принципа Ритца?
- Используя комбинационный принцип, покажите на одном из примеров, как можно получить частоту для второй длинноволновой линии серии Пашена.
- В чем заключается статистическая интерпретация волновой функции?
- Для каких частиц справедливо уравнение Шредингера?
- Почему уравнение Шредингера сформулировано как волновое уравнение?
- Запишите временное и стационарное уравнения Шредингера и проанализируйте их.
- Совершите переход от временного уравнения Шредингера к стационарному. Запишите одномерное временное и стационарное уравнения Шредингера и проанализируйте их.
- Запишите временное и стационарное уравнения Шредингера в операторной форме и проанализируйте их.
- Какой вывод можно сделать, сравнив стационарное уравнение Шредингера с уравнением для собственных значений и собственных функций?
- Запишите стационарное уравнение Шредингера для водородоподобной системы. Приведите примеры водородоподобных систем.
- Почему наиболее подходящей координатной системой для рассмотрения атома водорода является сферическая? Проанализируйте (качественно) ход решения стационарного уравнения Шредингера для атома водорода в сферических координатах. Какие выводы следуют из его решения?

17. Запишите собственные значения энергии электрона в атоме водорода, определяемые решением уравнения Шредингера, и проанализируйте их. В чем отличие и сходство с результатами теории Бора?

18. Какие величины для электрона в атоме определены, если известны квантовые числа  $n$ ,  $l$  и  $m_l$ ?

19. Почему квантовая механика не использует представление об электронных орбитах? Что характеризуют квантовые числа  $n$ ,  $l$  и  $m_l$ ?

### **Темы рефератов или докладов**

1. Реликтовое излучение
2. Пирометры и тепловизоры. Технологии и применение.
3. Солнечные батареи: технологии, современное состояние и перспективы развития.
4. Дифракция рентгеновского излучения и рентгеноструктурный анализ строения вещества.
5. Электронный парамагнитный резонанс и ядерный магнитный резонанс.
6. Эффект Рамзауэра-Таунсенда.
7. Вращательная спектроскопия как высокоточный метод определения геометрических параметров молекул.
8. Гигантское комбинационное рассеяние и его применение к изучению биологических молекул
9. Квантово-каскадные лазеры: технология и применение.
10. Лазер на свободных электронах: технология и применение.
11. Сверхпроводимость. Эффект Мейснера. Понятие об эффекте Джозефсона.
12. Диод Шоттки
13. Полупроводниковые диоды и триоды (транзисторы).

Критерии оценивания рефератов при докладе в устной форме.

**Содержание доклада:** анализирует изученный материал, выделяет наиболее значимые для раскрытия темы факты, научные положения, соблюдает логическую последовательность в изложении материала.

**Представление доклада:** использует иллюстративные, наглядные материалы, владеет культурой речи.

**Аргументация ответов на вопросы:** проявляет критическое мышление.

### **Примерный перечень вопросов к экзамену**

1. Классическая картина мира и необходимость введения квантовых представлений. Проблема равновесного электромагнитного излучения. Фотоэффект. Эффект Комптона. Тормозное рентгеновское излучение. Квантовый предел.
2. Фотон. Гипотеза де Бройля. Корпускулярно-волновой дуализм. Волновой пакет. Соотношения неопределенностей.
3. Атом Томсона. Опыты Резерфорда. Планетарная модель атома.
4. Атом Бора. Модель Бора и гипотеза де Бройля. Релятивистское обобщение модели Бора. Экспериментальное доказательство дискретной структуры атомных уровней. Опыты Франка и Герца. Изотопический сдвиг атомных уровней. Мюонный атом водорода.
5. Многочастичная квантовая система. Движение волновых пакетов. Предельный переход к классической механике. Оптико-механическая аналогия.
6. Стационарное уравнение Шредингера. Спектры простейших одномерных систем. Свободное движение частицы. Частица в бесконечно глубокой прямоугольной потенциальной яме. Частица в прямоугольной потенциальной яме конечной глубины.
7. Туннельный эффект. Автоэлектронная эмиссия. Явление  $\alpha$  - распада атомных ядер. Туннельная ионизация атомов в оптическом поле. Туннельный микроскоп. Туннельный эффект: оптическая аналогия.
8. Периодический потенциал. Гармонический осциллятор.

9. Стационарные состояния в центрально – симметричном поле.
10. Орбитальный механический и магнитный моменты электрона. Экспериментальное определение атомных магнитных моментов. Собственный механический и магнитный моменты электрона. Спин. Сложение невзаимодействующих моментов количества движения.
11. Систематика состояний атома водорода. Приближенное решение стационарного уравнения Шредингера. Теория возмущений.
12. Изотопическое смещение атомных уровней, связанное с конечным размером ядра. Тонкая структура спектра атома водорода. Тонкая структура спектров многоэлектронных атомов. Понятие о сверхтонкой структуре атомных спектров.
13. Тождественность микрочастиц. Бозоны и фермионы. Принцип Паули. Многоэлектронный атом. Приближение самосогласованного поля.
14. Атомные оболочки и подоболочки. Электронная конфигурация. Атомы щелочных металлов. Атом гелия. Общие принципы описания многоэлектронных атомов.
15. Заполнение атомных оболочек электронами. Термы многоэлектронных атомов. Тонкая структура терма. Состояния. Правило интервалов Ланде. Приближение  $LS$  - и  $jj$  -связей. Основные термы атомов. Правила Хунда.
16. Взаимодействие квантовой системы с электромагнитным полем. Нестационарная теория возмущений. Правила отбора.
17. Спектральные серии атома водорода. Спектральные серии атомов щелочных металлов. Электромагнитные переходы в многоэлектронных атомах.
18. Квантовое электромагнитное поле и его взаимодействие с атомом. Электромагнитное поле как квантовый объект.
19. Взаимодействие атомной системы с квантовым электромагнитным полем. Спонтанные переходы. Уширение спектральных линий. Лэмбовский сдвиг атомных уровней.
20. Переходы внутренних электронов в атомах. Характеристическое рентгеновское излучение. Закон Мозли. Эффект Оже.
21. Атом в магнитном поле. Эффект Зеемана. Эффект Пашена и Бака. Электронный парамагнитный резонанс. Опыты Штерна и Герлаха.
22. Виды движения в молекуле. Разделение её энергии на электронную, колебательную и вращательную. Адиабатическое приближение. Электронные, колебательные и вращательные уровни энергии и спектры двухатомной молекулы.
23. Типы связи в твердом теле. Кристаллическая решетка. Фононы. Основы зонной теории. Металлы. Полупроводники. Диэлектрики.
24. Фотопроводимость полупроводников. Люминесценция твердых тел. Эффект Холла.
25. Контакт двух металлов по зонной теории. Термоэлектрические явления и их применение.
26. Выпрямление на контакте металл - полупроводник (*диод Шоттки*)
27. Контакт электронного и дырочного полупроводников (*p-n-переход*). Полупроводниковые диоды и триоды (транзисторы).

### **Примеры задач на экзамене**

1. Найти среднюю длину волны де Бройля теплового нейтрона, то есть находящегося в тепловом равновесии с окружающей средой, при комнатной температуре 300 К.
2. Фотон с энергией 12,12 эВ, поглощенный атомом водорода, находящимся в основном состоянии, переводит атом в возбужденное состояние. Определить главное квантовое число этого состояния.
3. Частица находится в двумерной прямоугольной потенциальной яме с абсолютно непроницаемыми стенками ( $0 < x < a$ ,  $0 < y < b$ ). Определить вероятность нахождения частицы с наименьшей энергией в области  $0 < x < a/3$ .

4. Написать с помощью правил Хунда спектральный символ основного терма атома, единственная незаполненная подоболочка которого заполнена: а) на  $1/3$ , и  $S = 1$ ; б) на  $70\%$ , и  $S = 3/2$ .

5. Найти напряжение на рентгеновской трубке с никелевым антикатодом, если разность длин волн  $K\alpha$ -линии и коротковолновой границы сплошного рентгеновского спектра равна  $84$  пм.

### Примеры экзаменационных билетов

#### БИЛЕТ 1

1. Классическая картина мира и необходимость введения квантовых представлений. Проблема равновесного электромагнитного излучения. Фотоэффект.

2. Изотопическое смещение атомных уровней, связанное с конечным размером ядра. Тонкая структура спектра атома водорода. Тонкая структура спектров многоэлектронных атомов.

3. Задача: При увеличении напряжения на рентгеновской трубке от  $U_1 = 10$  кВ до  $U_2 = 20$  кВ интервал длин волн между  $K\alpha$ -линией и коротковолновой границей сплошного рентгеновского спектра увеличился в  $n = 3,0$  раза. Определить порядковый номер элемента антикатада этой трубки.

#### БИЛЕТ 2

1. Эффект Комптона. Тормозное рентгеновское излучение. Квантовый предел.

2. Тожественность микрочастиц. Бозоны и фермионы. Принцип Паули. Многоэлектронный атом. Приближение самосогласованного поля.

3. Задача: Электрон с кинетической энергией  $T \approx 4$  эВ локализован в области размером  $l = 1$  мкм. Оценить с помощью соотношения неопределенностей относительную неопределенность его скорости.

#### БИЛЕТ 3.

1. Фотон. Гипотеза де Бройля. Корпускулярно-волновой дуализм. Волновой пакет. Соотношения неопределенностей.

2. Атомные оболочки и подоболочки. Электронная конфигурация. Атомы щелочных металлов. Атом гелия. Общие принципы описания многоэлектронных атомов.

3. Задача: Волновая функция частицы массы  $m$  для основного состояния в одномерном потенциальном поле  $U(x) = kx^2/2$  имеет вид  $\psi = A \exp(-\alpha x^2)$ , где  $A$  — нормировочный коэффициент,  $\alpha$  — положительная постоянная. Найти с помощью уравнения Шредингера постоянную  $\alpha$  и энергию  $E$  частицы в этом состоянии.

#### Критерии экзаменационной оценки.

Оценка **«отлично»**: свободно владеет теоретическими понятиями дисциплины; проявляет системность знаний учебного материала и способность устанавливать связи между теоретическими понятиями; умеет делать перенос теоретических знаний в практическую область применения; умеет свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоил основную литературу и знаком с дополнительной литературой, рекомендованной программой; понимает значение приобретенных знаний для будущей профессии, проявляет творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала.

Оценка **«хорошо»**: студент владеет теоретическими знаниями, достаточно свободно оперирует ими; успешно выполняет предусмотренные в программе задания, усвоил основную литературу, рекомендованную в программе; показывает систематический характер знаний по дисциплине и способен к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности; осуществляет частичный перенос теоретических знаний в прикладную область; проявляет незначительные нарушения в установлении взаимосвязи между теоретическими понятиями.

Оценка **«удовлетворительно»**: студент обнаруживает знание основного учебного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии; справляется с выполнением заданий, предусмотренных программой; знаком с основной литературой,

рекомендованной программой; допускает погрешности в ответе в ходе итоговой аттестации, но обладает необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.

Оценка **«неудовлетворительно»**: студент проявляет отрывочные знания, не осуществляет перенос теоретических знаний в практику; отсутствует интеграция знаний.

Разработчики:



доцент, к.ф.м.н  
(занимаемая должность)

Семибратова В.А.  
(Ф.И.О.)

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению и профилю подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Программа рассмотрена на заседании кафедры общей и экспериментальной физики ИГУ  
(наименование)

« 5 » марта 2026г.

Протокол № 7



И.о зав. кафедрой д.ф.-м.н В.П. Дресвянский

*Настоящая программа, не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.*