

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Астраханский государственный университет имени В. Н. Татищева»  
(Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева)

СОГЛАСОВАНО  
Руководитель ОПОП

С. А. Тишкова

«07» мая 2025 г.

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
физики

С. А. Тишкова

«07» мая 2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Атомная физика**

Составитель(-и)	<b>Матвеев Д.Ю., доцент, к.ф.-м.н., доцент кафедры физики;</b>
Направление подготовки / специаль- ность	<b>03.03.02. ФИЗИКА</b>
Направленность (профиль) ОПОП	<b>ИНЖЕНЕРНАЯ ФИЗИКА</b>
Квалификация (степень)	<b>Бакалавр</b>
Форма обучения	<b>очная</b>
Год приема	<b>2023</b>
Курс	<b>3</b>
Семестр(ы)	<b>5</b>

Астрахань – 2025 г.

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**1.1. Целями освоения дисциплины (модуля) «Атомная физика»** являются:

- освоение основ теории атома как обобщения результатов физических экспериментов и теоретических представлений о движении микрообъекта;
- овладение методами описания электронной структуры и основных характеристик атомов;
- приобретение практических навыков систематизации электронных состояний атомов, анализа процессов в электронной оболочке.

**1.2. Задачи освоения дисциплины (модуля):** изучение законов окружающего мира в их взаимосвязи; овладение фундаментальными принципами и методами решения научно-технических задач; формирование навыков по применению положений фундаментальной физики к научному анализу ситуаций, с которыми инженеру приходится сталкиваться при создании новой техники и новых технологий; освоение основных физических теорий, позволяющих описать явления в природе, и границ применимости этих теорий для решения современных и перспективных технологических задач; выработка способности к построению и анализу развитой теоретической модели объекта или явления, формирование у студентов основ естественнонаучной картины мира; ознакомление студентов с историей и логикой развития физики и основных ее открытий.

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОПОП**

**2.1. Учебная дисциплина (модуль) «Атомная физика»** относится к обязательной части дисциплин блока 1. Дисциплина (Б1.Б.11.05) осваивается в 5 семестре.

Дисциплина «Атомная физика» входит в обязательную программу обучения бакалавров. Изложение дисциплины построено в рамках квантово-механического представления о движении микрообъекта, которое вводится после формулировки основных положений корпускулярно-волнового дуализма. При этом основные положения квантовой механики вводятся впервые, однако в курсе используются только те положения, которые необходимы для законченной картины описания атома и атомных явлений в нерелятивистском приближении, не заменяя отдельный курс квантовой теории.

**2.2. Для изучения данной учебной дисциплины (модуля) необходимы следующие знания, умения и навыки, формируемые предшествующими учебными дисциплинами (модулями):**

Дисциплина «Атомная физика» базируется на дисциплинах «Оптика», «Электричество и магнетизм», «Теоретическая механика», «Линейные и нелинейные уравнения физики».

Входными являются знания основ методов математической физики (сферические функции, полиномы Лежандра, Лагерра, простейшие задачи для уравнения Шредингера), теоретической механики (движение в поле центральной силы, момент импульса, функция Гамильтона), волновой оптики (распространение электромагнитных волн, взаимодействие электромагнитной волны с веществом), электричества и магнетизма (взаимодействие электростатических зарядов, магнитный момент, взаимодействие магнитных моментов). Для успешного освоения дисциплины:

*Иметь представление* об основных понятиях и законах атомной физики в рамках программы средней школы;

*Знать* курс общей физики и математических дисциплин в рамках программы 5-и семестров университета.

**2.3. Последующие учебные дисциплины (модули) и (или) практики, для которых**

**необходимы знания, умения, навыки, формируемые данной учебной дисциплиной (модулем):**

Изучение дисциплины «Атомная физика» необходимо как предшествующее для дисциплины «Физика атомного ядра и элементарных частиц», для дисциплин профиля «Радиоэлектроника», производственная практика.

### **3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

Процесс освоения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ОПОП по данному направлению подготовки (специальности):

**общепрофессиональных компетенций (ОПК):**

– ОПК-1. «Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности».

**Таблица 1. - Декомпозиция результатов обучения**

Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)		
	Знать (1)	Уметь (2)	Владеть (3)
ОПК-1	ОПК-1.1.1. Знать основные законы естественных дисциплин в профессиональной деятельности, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	ОПК-1.2.1. Уметь использовать базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	ОПК-1.3.1. Владеть навыками использования знаний естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применения методов математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования

### **4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Объем дисциплины (модуля) составляет 5 зачетных единиц, 180 часов; из них аудиторных – 108 ч.; лекций – 36 ч.; практич. – 72 ч.; самост. работа – 72 ч.

**Таблица 2. - Структура и содержание дисциплины (модуля)**

№ п/п	Раздел, тема дисциплины (модуля)	Семестр	Неделя семестра	Контактная работа (в часах)			Самостоят. работа		Форма текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации
				Л	ПЗ	ЛР	КР	СР	
1.	Введение. Развитие современных представлений об атоме. Микро-	V	1	-	2	-		4	КЛ №1

	мир.								
2.	Волны и кванты.	V	2	2	2	-		4	КЛ №1, КР №1, КТ
3.	Частицы и волны.	V	3	2	4	-		4	
4.	Основные экспериментальные данные о строении атома. Теория Бора.	V	4	2	4	-		4	КЛ №1, КР №1
5.	Основы квантово-механических представлений о строении атома.	V	5	2	4	-		4	КЛ №1, КР №1, КТ
6.	Основы квантово-механических представлений о строении атома.	V	6	2	4	-		4	
7.	Одноэлектронный атом.	V	7	2	4	-		4	
8.	Одноэлектронный атом.	V	8	2	4	-		4	
9.	Многоэлектронные атомы.	V	9	2	4	-		4	КЛ №2, КР №2
10.	Многоэлектронные атомы.	V	10	2	4	-		4	
11.	Взаимодействие квантовой системы с излучением. Электромагнитные переходы в атомах.	V	11	2	4	-		4	
12.	Взаимодействие квантовой системы с излучением. Электромагнитные переходы в атомах.	V	12	2	4	-		4	
13.	Рентгеновское излучение.	V	13	2	4	-		4	КЛ №2, КР №2
14.	Атом в поле внешних сил.	V	14	2	4	-		4	
15.	Атом в поле внешних сил.	V	15	2	4	-		4	
16.	Молекула.	V	16	2	4	-		4	
17.	Молекула.	V	17	2	4	-		4	
18.	Макроскопические квантовые явления. Статистические распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна.	V	18	2	4	-		2	
19.	Макроскопические квантовые явления. Статистические распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна.	V	19	2	4	-		2	КЛ №2, КР №2
<b>ИТОГО</b>		<b>V</b>	<b>180</b>	<b>36</b>	<b>72</b>	<b>-</b>		<b>72</b>	<b>Экзамен</b>

Л – занятия лекционного типа; ПЗ – практические занятия, ЛР – лабораторные работы; КР – курсовая работа; СР – самостоятельная работа по отдельным темам.

**Таблица 3 – Матрица соотнесения разделов, тем учебной дисциплины (модуля) и формируемых компетенций**

Раздел, тема	Кол-во	Код компетенции	Общее
Тема 1. Введение. Развитие современных представлений об атоме. Микромир.	6	ОПК-1	1
Тема 2. Волны и кванты	8	ОПК-1	1
Тема 3. Частицы и волны	10	ОПК-1	1
Тема 4. Основные экспериментальные данные о строении атома. Теория Бора	10	ОПК-1	1
Тема 5-6. Основы квантово-механических представлений о строении атома	20	ОПК-1	1
Тема 7-8. Одноэлектронный атом	20	ОПК-1	1
Тема 9-10. Многоэлектронные атомы	20	ОПК-1	1
Тема 11-12. Взаимодействие квантовой системы с излучением. Электромагнитные переходы в атомах.	20	ОПК-1	1
Тема 13. Рентгеновское излучение	10	ОПК-1	1
Тема 14-15. Атом в поле внешних сил	20	ОПК-1	1
Тема 16-17. Молекула	20	ОПК-1	1
Тема 18-19. Макроскопические квантовые явления	16	ОПК-1	1
<i>Итого</i>	<i>180 ч</i>		

**Краткое содержание каждой темы дисциплины (модуля)**

Тема 1. Введение. Развитие современных представлений об атоме. Микромир.

Тема 2. Волны и кванты. Тепловое излучение. Внешний фотоэффект.

Тема 3. Частицы и волны. Эффект Комптона. Квантовый предел. Фотоны. Корпускулярно-волновой дуализм. Соотношение неопределенностей.

Тема 4. Основные экспериментальные данные о строении атома. Теория Бора. Планетарная модель атома. Модели атомов. Линейчатый энергетический спектр излучения атома водорода.

Тема 5-6. Основы квантово-механических представлений о строении атома. Стационарное и нестационарное уравнение Шредингера. Свойства волновой функции. Спектры простейших одномерных систем (одномерные задачи). Свободное движение частицы. Частица в прямоугольной бесконечно глубокой Туннельный эффект и линейный гармонической осциллятор.

Тема 7-8. Одноэлектронный атом. Атом водорода в квантовой механике. Квантовые числа. Опыт Штерна-Герлаха. Орбитальный механический и магнитный момент электрона. Собственный механический и магнитный момент электрона. Спин. Систематика состояний в атоме водорода.

Тема 9-10. Многоэлектронные атомы. Принцип заполнения электронами электронных оболочек. Принцип Паули.

Тема 11-12. Взаимодействие квантовой системы с излучением. Электромагнитные переходы в атомах.

Тема 13. Рентгеновское излучение. Закон Мозли.

Тема 14-15. Атом в поле внешних сил.

Тема 16-17. Молекула. Строение молекулы. Атом гелия.

Тема 18-19. Макроскопические квантовые явления. Статистика Ферми-Дирака, статистика Бозе-Эйнштейна, сверхтекучесть гелия. Сверхпроводимость.

## 5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРЕПОДАВАНИЮ И ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 5.1. Указания для преподавателей по организации и проведению учебных занятий по дисциплине (модулю)

В процессе изучения данной дисциплины студенты готовят рефераты по предложенным темам и защищают их на практических занятиях. С использованием изученных методов решения задач разбирают домашние задачи и представляют их на занятиях. При этом эти задачи имеют профессиональную направленность.

При изучении тем, выносимых на самостоятельную работу необходимо пользоваться следующей литературой:

1. Матвеев А.Н. Атомная физика. М.: Оникс, Мир и Образование, 2007.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. V. Атомная и ядерная физика. М.: Физматлит, 2006.

К выполнению рефератов предъявляются следующие требования:

- реферат должен быть выполнен самостоятельно, как собственное рассуждение автора на основе информации, полученной из различных источников;
- цель и задачи реферата должны быть четкими и отображать суть исследуемой проблемы;
- содержимое реферата должно соответствовать теме задания и отображать состояния проблемы;
- работа должна содержать обобщенные выводы и рекомендации.

### 5.2. Указания для обучающихся по освоению дисциплины (модулю)

**Таблица 4. Содержание самостоятельной работы обучающихся**

Вопросы, выносимые на самостоятельное изучение	Кол-во часов	Форма работы
Тема 1. Введение. Развитие современных представлений об атоме. Микромир.	4	<i>Реферат</i>
Тема 2. Волны и кванты	4	<i>Доклад</i>
Тема 3. Частицы и волны	4	<i>Доклад</i>
Тема 4. Основные экспериментальные данные о строении атома. Теория Бора	4	<i>Доклад</i>
Тема 5-6. Основы квантово-механических представлений о строении атома	8	<i>Реферат</i>
Тема 7-8. Одноэлектронный атом	8	<i>Реферат</i>
Тема 9-10. Многоэлектронные атомы	8	<i>Доклад</i>
Тема 11-12. Взаимодействие квантовой системы с излучением. Электромагнитные переходы в атомах.	8	<i>Доклад</i>
Тема 13. Рентгеновское излучение	4	<i>Доклад</i>
Тема 14-15. Атом в поле внешних сил	8	<i>Доклад</i>
Тема 16-17. Молекула	8	<i>Доклад</i>
Тема 18-19. Макроскопические квантовые явления	4	<i>Доклад</i>

### 5.3. Виды и формы письменных работ, предусмотренных при освоении дисциплины (модуля), выполняемые обучающимися самостоятельно.

Структура реферата:

- Титульный лист (указывается название образовательного учреждения, тема реферата, название учебного курса, номер группы, форма и курс обучения, Ф.И.О. автора, Ф.И.О. проверяющего, место и год выполнения работы);
- Содержание (содержание включает: введение; наименования всех разделов, подразделов, пунктов и подпунктов основной части задания; выводы; список источников информации);
- Введение (во введении кратко формулируется проблема, указывается цель и задачи реферата);
- Основная часть (состоит из нескольких разделов, в которых излагается суть реферата);
- Выводы или Заключение (в выводах приводят оценку полученных результатов работы, предлагаются рекомендации);
- Список источников информации (содержит перечень источников, на которые ссылаются в основной части реферата).

К оформлению реферата предъявляются следующие требования: оформляется на листах формата А4, текст печатается на одной стороне листа через полтора интервала; параметры шрифта: гарнитура шрифта - Times New Roman, начертание - обычный, кегль шрифта - 14 пунктов; выравнивание текста – по ширине страницы, отступ первой строки - 1,25 см, межстрочный интервал - Полуторный; поля страницы: верхнее и нижнее поля – 20 мм, размер левого поля 30 мм, правого – 15 мм.

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

### 6.1. Образовательные технологии

**Таблица 5 – Образовательные технологии, используемые при реализации учебных занятий**

Раздел, тема дисциплины (модуля)	Форма учебного занятия		
	Лекция	Практическое занятие, семинар	Лабораторная работа
Тема 1. Введение. Развитие современных представлений об атоме. Микромир.	<i>Обзорная лекция</i>	<i>Фронтальный опрос, выполнение практических заданий, тематические дискуссии</i>	<i>Не предусмотрено</i>
Тема 2. Волны и кванты	<i>Лекция-диалог</i>	<i>Тематические дискуссии, анализ конкретных ситуаций</i>	<i>Не предусмотрено</i>
Тема 3. Частицы и волны	<i>Обзорная лекция</i>	<i>Фронтальный опрос, выполнение практических заданий, тематические дискуссии</i>	<i>Не предусмотрено</i>
Тема 4. Основные экспериментальные данные о строении атома. Теория Бора	<i>Лекция-диалог</i>	<i>Тематические дискуссии, анализ конкретных ситуаций</i>	<i>Не предусмотрено</i>

Тема 5-6. Основы квантово-механических представлений о строении атома	<i>Обзорная лекция</i>	<i>Фронтальный опрос, выполнение практических заданий, тематические дискуссии</i>	<i>Не предусмотрено</i>
Тема 7-8. Одноэлектронный атом	<i>Лекция-диалог</i>	<i>Тематические дискуссии, анализ конкретных ситуаций</i>	<i>Не предусмотрено</i>
Тема 9-10. Многоэлектронные атомы	<i>Обзорная лекция</i>	<i>Фронтальный опрос, выполнение практических заданий, тематические дискуссии</i>	<i>Не предусмотрено</i>
Тема 11-12. Взаимодействие квантовой системы с излучением. Электромагнитные переходы в атомах.	<i>Лекция-диалог</i>	<i>Тематические дискуссии, анализ конкретных ситуаций</i>	<i>Не предусмотрено</i>
Тема 13. Рентгеновское излучение	<i>Обзорная лекция</i>	<i>Фронтальный опрос, выполнение практических заданий, тематические дискуссии</i>	<i>Не предусмотрено</i>
Тема 14-15. Атом в поле внешних сил	<i>Лекция-диалог</i>	<i>Тематические дискуссии, анализ конкретных ситуаций</i>	<i>Не предусмотрено</i>
Тема 16-17. Молекула	<i>Обзорная лекция</i>	<i>Фронтальный опрос, выполнение практических заданий, тематические дискуссии</i>	<i>Не предусмотрено</i>
Тема 18-19. Макроскопические квантовые явления	<i>Лекция-диалог</i>	<i>Тематические дискуссии, анализ конкретных ситуаций</i>	<i>Не предусмотрено</i>

## 6.2. Информационные технологии

### *Интернет-ресурсы:*

Единое окно доступа к образовательным ресурсам <a href="http://window.edu.ru">http://window.edu.ru</a>
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации <a href="https://minobrnauki.gov.ru">https://minobrnauki.gov.ru</a>
Министерство просвещения Российской Федерации <a href="https://edu.gov.ru">https://edu.gov.ru</a>
Федеральное агентство по делам молодежи (Росмолодёжь)

<a href="https://fadm.gov.ru">https://fadm.gov.ru</a>
Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки (Рособрнадзор) <a href="http://obrnadzor.gov.ru">http://obrnadzor.gov.ru</a>
Информационно-аналитический портал государственной программы Российской Федерации «Доступная среда» <a href="http://zhit-vmeste.ru">http://zhit-vmeste.ru</a>
Российское движение школьников <a href="https://рдш.рф">https://рдш.рф</a>

### *Электронно-библиотечные системы:*

**Электронная библиотечная система IPRbooks**

[www.iprbookshop.ru](http://www.iprbookshop.ru)

**Электронно-библиотечная система BOOK.ru**

<https://book.ru>

**Образовательная платформа ЮРАЙТ,**

<https://urait.ru/>

**Электронная библиотека «Астраханский государственный университет» собственной генерации на платформе ЭБС «Электронный Читальный зал – БиблиоТех»**

<https://biblio.asu.edu.ru> *Учётная запись образовательного портала АГУ*

**Электронно-библиотечная система (ЭБС) ООО «Политехресурс» «Консультант студента»**

Многопрофильный образовательный ресурс «Консультант студента» является электронной библиотечной системой, предоставляющей доступ через Интернет к учебной литературе и дополнительным материалам, приобретённым на основании прямых договоров с правообладателями. Каталог содержит более 15 000 наименований изданий.

[www.studentlibrary.ru](http://www.studentlibrary.ru)

*Регистрация с компьютеров АГУ*

## **6.3. Программное обеспечение, современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

### **6.3.1. Программное обеспечение**

<b>Наименование программного обеспечения</b>	<b>Назначение</b>
Adobe Reader	Программа для просмотра электронных документов
Платформа дистанционного обучения LMS Moodle	Виртуальная обучающая среда
Mozilla FireFox	Браузер
Microsoft Office 2013, Microsoft Office Project 2013, Microsoft Office Visio 2013	Пакет офисных программ
7-zip	Архиватор
Microsoft Windows 10 Professional	Операционная система
Kaspersky Endpoint Security	Средство антивирусной защиты
Google Chrome	Браузер
Notepad++	Текстовый редактор
OpenOffice	Пакет офисных программ

Наименование программного обеспечения	Назначение
Opera	Браузер
Paint .NET	Растровый графический редактор
Scilab	Пакет прикладных математических программ
MathCad 14	Система компьютерной алгебры из класса систем автоматизированного проектирования, ориентированная на подготовку интерактивных документов с вычислениями и визуальным сопровождением

### 6.3.2. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Универсальная справочно-информационная полнотекстовая база данных периодических изданий ООО «ИВИС» <http://dlib.eastview.com> *Имя пользователя: AstrGU Пароль: AstrGU*

Электронные версии периодических изданий, размещённые на сайте информационных ресурсов [www.polpred.com](http://www.polpred.com)

Электронный каталог Научной библиотеки АГУ на базе MARK SQL НПО «Информ-систем» <https://library.asu.edu.ru/catalog/>

Электронный каталог «Научные журналы АГУ» <https://journal.asu.edu.ru/>

Корпоративный проект Ассоциации региональных библиотечных консорциумов (АРБИКОН) «Межрегиональная аналитическая роспись статей» (МАРС) – сводная база данных, содержащая полную аналитическую роспись 1800 названий журналов по разным отраслям знаний. Участники проекта предоставляют друг другу электронные копии отсканированных статей из книг, сборников, журналов, содержащихся в фондах их библиотек <http://mars.arbicon.ru>

Справочная правовая система КонсультантПлюс.

Содержится огромный массив справочной правовой информации, российское и региональное законодательство, судебную практику, финансовые и кадровые консультации, консультации для бюджетных организаций, комментарии законодательства, формы документов, проекты нормативных правовых актов, международные правовые акты, правовые акты, технические нормы и правила <http://www.consultant.ru>

## 7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

### 7.1. Паспорт фонда оценочных средств.

При проведении текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) «Атомная физика» проверяется сформированность у обучающихся компетенций, указанных в разделе 3 настоящей программы. Этапность формирования данных компетенций в процессе освоения образовательной программы определяется последовательным освоением дисциплин (модулей) и прохождением практик, а в процессе освоения дисциплины (модуля) – последовательным достижением результатов освоения содержательно связанных между собой разделов, тем.

**Таблица 6 – Соответствие разделов, тем дисциплины (модуля), результатов обучения по дисциплине (модулю) и оценочных средств**

№ п/п	Контролируемый раздел, тема дисциплины (модуля)	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1.	Введение. Развитие современных представлений об атоме. Микромир.	ОПК1	Коллоквиум 1.
2.	Волны и кванты.	ОПК1	Коллоквиум 1, контрольная работа, тестирование.
3.	Частицы и волны.	ОПК1	Коллоквиум 1, контрольная работа, тестирование
4.	Основные экспериментальные данные о строении атома. Теория Бора.	ОПК1	Коллоквиум 1, контрольная работа
5-6.	Основы квантово-механических представлений о строении атома.	ОПК1	Коллоквиум 1, контрольная работа, тестирование
7-8.	Одноэлектронный атом.	ОПК1	Коллоквиум 1, контрольная работа, тестирование
9-10.	Многоэлектронные атомы.	ОПК1	Коллоквиум 2, контрольная работа 2.
11-12.	Взаимодействие квантовой системы с излучением. Электромагнитные переходы в атомах.	ОПК1	Коллоквиум 2, контрольная работа 2.
13.	Рентгеновское излучение.	ОПК1	Коллоквиум 2, контрольная работа 2.
14-15.	Атом в поле внешних сил.	ОПК1	Коллоквиум 2, контрольная работа 2.
16-17.	Молекула.	ОПК1	Коллоквиум 2, контрольная работа 2.
18-19.	Макроскопические квантовые явления. Статистические распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна.	ОПК1	Коллоквиум 2, контрольная работа 2.

### 7.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, описание шкал оценивания

**Таблица 7. Показатели оценивания результатов обучения в виде знаний**

Шкала оценивания	Критерии оценивания
5 «отлично»	демонстрирует глубокое знание теоретического материала, умение обоснованно излагать свои мысли по обсуждаемым вопросам, способность полно, правильно и аргументированно отвечать на вопросы, приводить примеры
4 «хорошо»	демонстрирует знание теоретического материала, его последовательное изложение, способность приводить примеры, допускает единичные ошибки, исправляемые после замечания преподавателя
3 «удовлетворительно»	демонстрирует неполное, фрагментарное знание теоретического материала, требующее наводящих вопросов преподавателя, допускает существенные ошибки в его изложении, затрудняется в приведении примеров и формулировке выводов
2 «неудовлетворительно»	демонстрирует существенные пробелы в знании теоретического материала, не способен его изложить и ответить на наводящие вопросы преподавателя, не может привести примеры

**Таблица 8. Показатели оценивания результатов обучения в виде умений и владений**

5 «отлично»	-дается комплексная оценка предложенной ситуации; -демонстрируются глубокие знания теоретического материала и умение их применять; - последовательное, правильное выполнение всех заданий; -умение обоснованно излагать свои мысли, делать необходимые выводы.
4 «хорошо»	-дается комплексная оценка предложенной ситуации; -демонстрируются глубокие знания теоретического материала и умение их применять; - последовательное, правильное выполнение всех заданий; -возможны единичные ошибки, исправляемые самим студентом после замечания преподавателя; -умение обоснованно излагать свои мысли, делать необходимые выводы.
3 «удовлетворительно»	-затруднения с комплексной оценкой предложенной ситуации; -неполное теоретическое обоснование, требующее наводящих вопросов преподавателя; -выполнение заданий при подсказке преподавателя; - затруднения в формулировке выводов.
2 «неудовлетворительно»	- неправильная оценка предложенной ситуации; -отсутствие теоретического обоснования выполнения заданий.

### 7.3. Контрольные задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения по дисциплине (модулю)

#### Перечень вопросов и заданий, выносимых на экзамен

##### Вопросы к экзамену

1. Тепловое излучение. Закон Кирхгофа.
2. Тепловое излучение. Законы излучения абсолютно черного тела: закон Стефана-Больцмана, закон Вина.
3. Тепловое излучение. Формула Релея-Джинса. Формула Вина.
4. Тепловое излучение. Формула Планка.
5. Фотоэлектрические явления. Внешний фотоэффект.

6. Фотоэлектрические явления. Внутренний фотоэффект. Фотогальванический эффект.
7. Эффект Комптона.
8. Гипотеза де Бройля. Волновые свойства частиц. Экспериментальное подтверждение гипотезы.
9. Гипотеза де Бройля. Свойства волн де Бройля. Связь энергии и длины волны. Применение волновых свойств частиц.
10. Модели атома Томсона, Резерфорда. Время распада модели атома Резерфорда.
11. Постулаты Бора. Экспериментальное подтверждение дискретности атомных уровней.
12. Теория атома водорода. Сериальные формулы.
13. Постулаты Бора. Правило квантования орбит.
14. Магнитный момент атома. Опыты Штерна и Герлаха.
15. Рентгеновское излучение. Закон Мозли.
16. Правило квантования, квантовые числа. Периодический закон Менделеева.
17. Основные принципы квантовой механики. Принцип неопределенности. Соотношение неопределенностей и его физический смысл.
18. Волновая функция, ее свойства. Смысл волновой функции. Принцип суперпозиции состояний.
19. Уравнение Шредингера. Стационарные и нестационарные состояния.
20. Квантование энергии. Определение энергетического спектра системы как задача на собственные значения и собственные функции оператора Гамильтона.
21. Атом водорода. Спектр и правило отбора.
22. Одномерные задачи: движение частицы в прямоугольной потенциальной яме.
23. Одномерные задачи: гармонический осциллятор.
24. Туннельный эффект. Прохождения частицы через потенциальный барьер. Применение туннельного эффекта.
25. Спектры щелочных металлов. Мультиплетность спектров. Ширина спектральных линий.
26. Магнитный момент атома. Электронный парамагнитный резонанс.
27. Энергия молекулы. Квантово-механическая задача расчета основного состояния молекулы водорода.
28. Бозоны и фермионы. Статистика Бозе-Эйнштейна. Статистика Ферми-Дирака.
29. Макроскопические квантовые явления. Сверхпроводимость, сверхтекучесть и их квантовая природа.

#### **Коллоквиум №1**

1. Тепловое излучение. Закон Кирхгофа.
2. Тепловое излучение. Законы излучения абсолютно черного тела: закон Стефана-Больцмана, закон Вина.
3. Тепловое излучение. Формула Релея-Джинса. Формула Вина.
4. Тепловое излучение. Формула Планка.
5. Фотоэлектрические явления. Внешний фотоэффект.
6. Фотоэлектрические явления. Внутренний фотоэффект. Фотогальванический эффект.
7. Эффект Комптона.
8. Гипотеза де Бройля. Волновые свойства частиц. Экспериментальное подтверждение гипотезы.
9. Гипотеза де Бройля. Свойства волн де Бройля. Связь энергии и длины волны. Применение волновых свойств частиц.
10. Модели атома Томсона, Резерфорда. Время распада модели атома Резерфорда.

11. Постулаты Бора. Экспериментальное подтверждение дискретности атомных уровней.
12. Теория атома водорода. Сериальные формулы.
13. Постулаты Бора. Правило квантования орбит.
14. Магнитный момент атома. Опыты Штерна и Герлаха.
15. Рентгеновское излучение. Закон Мозли.
16. Правило квантования, квантовые числа. Периодический закон Менделеева.

### **Содержание практических и семинарских занятий**

Ниже приведены темы семинарских занятий. Основным содержанием семинарских занятий является разбор и анализ конкретных ситуаций и объектов атомной физики в соответствии с программой теоретической части курса. По выбору преподавателя рассматриваются задачи из перечня типовых задач, а так же задачки из приведенного выше списка рекомендуемой литературы для решения на семинарах, домашних заданий и контрольных работ.

1. Фотоэффект, эффект Комптона, волны де-Бройля.
2. Модель Бора для атома водорода.
3. Коммутаторы операторов динамических переменных. Соотношения неопределенностей.
4. Свободное движение микрочастицы, микрочастица в потенциальной яме, гармонический осциллятор.
5. Движение микрочастицы в поле центральной силы: угловые волновые функции, момент импульса.
6. Квантовая теория атома водорода.
7. Электронная оболочка многоэлектронного атома: магнитный момент, электронные атомные термы.
8. Спин-орбитальное расщепление, тонкая структура термов.
9. Свехтонкое взаимодействие, сверхтонкая структура атомных термов.
10. Оптические спектры атомов, спектральные серии, тонкая и сверхтонкая структура спектральных линий.
11. Опыт Штерна и Герлаха, эффект Зеемана в сильном и слабом магнитном поле, эффект Штарка.
12. Структура электронной оболочки, электронные конфигурации, термы, основное и возбужденные состояния многоэлектронных атомов.
13. Двухатомные молекулы.
14. Статистические распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна.

### **Контрольная работа № 1**

#### **Контрольное задание №1**

1. Работа выхода у лития равна 2.46 эВ. Найти красную границу фотоэффекта.
2. Для водородоподобного мезоатома (в нем вместо электрона движется мезон, имеющий тот же заряд, но массу в 207 раз большую) вычислить энергию связи в основном состоянии, если ядром является а) протон, б) дейтрон.

#### **Контрольное задание №2**

1. Красная граница фотоэффекта у цезия равна 639 нм. Найти работу выхода.
2. Положение бусинки массой 1 г и положение электрона определены с одинаковой погрешностью  $10^{-7}$  м. Оценить неопределенность скорости бусинки и электрона.

#### **Контрольное задание №3**

1. Какой скоростью должен обладать электрон, чтобы иметь такой же импульс, как и фотон, соответствующий излучению с длиной волны 0.1 нм.
2. Оценить минимальную кинетическую энергию электрона, локализованного в области пространства с линейными размерами порядка  $10^{-10}$  м (атом) и  $10^{-15}$  м (атомное ядро).

#### Контрольное задание №4

1. Работа выхода серебра равна 4.28 эВ. Определить, до какого потенциала зарядится серебряный шар, изолированный от других тел, если его облучать светом с длиной волны  $10^{-7}$  м.
2. Частица массой  $m$  находится в состоянии с минимальной энергией в прямоугольной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной  $L$ . Оценить минимальную энергию частицы.

#### Контрольное задание №5

1. Изобразить зависимость фототока насыщения от напряженности электрического поля в падающей световой волне.
2. Среднее время жизни атома в возбужденном состоянии  $10^{-8}$  с. При переходе в основное состояние атом излучает фотон, соответствующий длине волны излучения 0.5 мкм. Оценить (естественную) ширину линии излучения.

#### Контрольное задание №6

1. Точечный источник света мощности  $P$  испускает световые волны с длиной волны  $\lambda$ . Определить: а) среднюю плотность потока фотонов на расстоянии  $r$  от источника; б) концентрацию фотонов на этом расстоянии.
2. Для электрона в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной 0.2 нм найти энергию первых двух стационарных состояний и энергию фотона, излучаемого при переходе электрона с первого возбужденного состояния в основное.

#### Контрольное задание №7

1. Какую энергию приобретает электрон отдачи в эффекте Комптона при рассеянии фотона, отвечающего длине волны 0.1 нм, на угол  $90^\circ$ ?
2. Для частицы массой  $m$  в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной  $L$  вывести выражение для вероятности, с которой она может быть обнаружена в области  $0-L/3$  в состоянии  $n$ .

#### Контрольное задание №8

1. Рассеяние на электронах электромагнитного излучения с длиной волны 0.24 нм наблюдается под углом  $60^\circ$ . Найти длину волны рассеянного излучения и угол отлета электронов отдачи.
2. Для частицы массой  $m$  найти спектр собственных значений энергии в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме.

#### Контрольное задание №9

1. Показать, что процесс, при котором покоящийся свободный электрон поглощает налетающий на него фотон, не возможен.
2. Квант с энергией 20 эВ выбивает электрон из атома водорода, находящегося в основном состоянии. С какой скоростью будет двигаться электрон?

#### Контрольное задание №10

1. Возможен ли процесс, при котором кинетическая энергия электрона отдачи равнялась бы энергии налетающего фотона?
2. Вычислить скорость, которую приобретает атом водорода в результате излучения кванта света при переходе электрона со второго уровня на первый. Какая при этом будет поправка к длине волны излучения?

#### Контрольное задание №11

1. Какую энергию должны иметь фотоны, чтобы при комптоновском рассеянии на свободных покоящихся электронах на угол  $90^\circ$  длина волны отвечающего им излучения испытывала удвоение?
2. Для атома позитрония (система из позитрона и электрона, движущихся около центра масс) рассчитать границу серии Бальмера, энергию ионизации, длину волны резонансной линии излучения.

#### Контрольное задание №12

1. Чему равна длина волны Де-Бройля для электрона, релятивистская масса которого равна  $5.25 \cdot 10^{-30}$  кг?
2. Для атома позитрония (система из позитрона и электрона, движущихся около центра масс) рассчитать среднее и наиболее вероятное расстояние между частицами в основном состоянии.

#### Контрольное задание №13

1. Какова длина волны Де-Бройля протона и электрона, энергия которых равна средней кинетической энергии теплового движения молекул при комнатной температуре?
2. Найти наиболее вероятное расстояние электрона от ядра в состоянии  $2p$ .

#### Контрольное задание №14

1. Определить длину волны Де-Бройля электрона, кинетическая энергия которого равна  $1.6 \cdot 10^{-17}$  Дж.
2. Найти наиболее вероятное расстояние электрона от ядра в состоянии  $3d$ .

#### Контрольное задание №15

1. Найти энергию и импульс фотона, отвечающего длине волны излучения  $0.1$  нм, а также кинетическую энергию и импульс электрона, длина волны Де-Бройля которого имеет тоже значение.
2. Для мезоатома водорода (в нем вместо электрона движется мезон, имеющий тот же заряд, но массу в  $207$  раз большую) вычислить среднее и наиболее вероятное расстояние между мезоном и ядром в основном состоянии.

#### Контрольное задание №16

1. Какую энергию имеет квант излучения с длиной волны, равной комптоновской длине волны электрона?
2. Сравнить длины волн Де-Бройля для электрона и протона, имеющих одинаковую скорость.

#### Контрольное задание №17

1. Чему равна длина волны Де-Бройля и волновое число  $k$  для электрона с кинетической энергией  $240$  эВ?
2. Чему равны энергии ионизации ионов  $He^+$  и  $Li^{++}$  ?

#### Коллоквиум №2

1. Основные принципы квантовой механики. Принцип неопределенности. Соотношение неопределенностей и его физический смысл.

2. Волновая функция, ее свойства. Смысл волновой функции. Принцип суперпозиции состояний.
3. Уравнение Шредингера. Стационарные и нестационарные состояния.
4. Квантование энергии. Определение энергетического спектра системы как задача на собственные значения и собственные функции оператора Гамильтона.
5. Атом водорода. Спектр и правило отбора.
6. Одномерные задачи: движение частицы в прямоугольной потенциальной яме.
7. Одномерные задачи: гармонический осциллятор.
8. Туннельный эффект. Прохождения частицы через потенциальный барьер. Применение туннельного эффекта.
9. Спектры щелочных металлов. Мультиплетность спектров. Ширина спектральных линий.
10. Магнитный момент атома. Электронный парамагнитный резонанс.
11. Энергия молекулы. Квантово-механическая задача расчета основного состояния молекулы водорода.
12. Бозоны и фермионы. Статистика Бозе-Эйнштейна. Статистика Ферми-Дирака.
13. Макроскопические квантовые явления. Сверхпроводимость, сверхтекучесть и их квантовая природа.

## Контрольная работа № 2

### Контрольное задание №1

1. Выразить проекцию спинового момента импульса электрона на плоскость  $xz$  через квантовые числа  $s$  и  $m_s$ .
2. Какие из переходов запрещены правилами отбора для электро-дипольного излучения:  ${}^2D_{3/2} - {}^2P_{1/2}$ ,  ${}^2D_{3/2} - {}^2S_{1/2}$ ,  ${}^2D_{5/2} - {}^2P_{3/2}$ ,  ${}^2F_{7/2} - {}^2D_{5/2}$ ,  ${}^2D_{5/2} - {}^2P_{1/2}$  ?
3. Показать на энергетической диаграмме расщепление в магнитном поле уровней энергии (в единицах  $\mu_B \cdot B$ ) и спектральной линии, отвечающей переходу  ${}^1P_1 - {}^1S_0$ . Рассмотреть случаи слабого и сильного магнитных полей.
4. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), найти множитель Ланде  $g_J$  для основного состояния атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=5$ .

### Контрольное задание №2

1. Найти угол между спиновым и орбитальными моментами импульса электрона в состоянии  $p$ .
2. Длина волны дублета желтой линии натрия ( $3^2P - 3^2S$ ) равны 589.6 нм и 589.0 нм. Определить тонкое расщепление терма  $3^2P$  (расстояние между компонентами тонкой структуры терма) и величину постоянной расщепления  $A$ .
3. Показать на энергетической диаграмме расщепление в магнитном поле уровней энергии (в единицах  $\mu_B \cdot B$ ) и спектральной линии, отвечающей переходу  ${}^3D_2 - {}^3P_1$ . Рассмотреть случаи слабого и сильного магнитных полей.
4. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), найти множитель Ланде  $g_J$  для основного состояния атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=6$ .

### Контрольное задание №3

1. Найти угол между спиновым и орбитальными моментами импульса электрона в состоянии  $d$ .

2. С учетом тонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для первой побочной («резкой») серии атома лития, привести спектроскопическую индексацию термов.
3. Показать на энергетической диаграмме расщепление в магнитном поле уровней энергии (в единицах  $\mu_B \cdot B$ ) и спектральной линии, отвечающей переходу  $v) {}^2D_{3/2} - {}^2P_{1/2}$ . Рассмотреть случаи слабого и сильного магнитных полей.
4. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), найти множитель Ланде  $g_J$  для основного состояния атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=7$ .

#### Контрольное задание №4

1. Найти угол между спиновым и орбитальным моментами импульса электрона в состоянии  $f$ .
2. С учетом тонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для первой побочной («резкой») серии атома натрия, привести спектроскопическую индексацию термов.
3. На энергетической диаграмме показать расщепление уровней энергии (в единицах  $\mu_B \cdot B$ ) и оптические переходы для резонансной линии излучения атома лития в слабом магнитном поле.
4. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), найти множитель Ланде  $g_J$  для основного состояния атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=8$ .

#### Контрольное задание №5

1. Найти все возможные атомные электронные термы, реализующиеся при сложении моментов электронов в приближении (L-S) – связи, привести спектроскопические символы термов для двух  $p$ -электронов. Электроны считать неэквивалентными.
2. С учетом тонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для второй побочной («диффузной») серии атома лития, привести спектроскопическую индексацию термов.
3. На энергетической диаграмме показать расщепление уровней энергии (в единицах  $\mu_B \cdot B$ ) и оптические переходы для резонансной линии излучения атома лития в сильном магнитном поле.
4. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), найти множитель Ланде  $g_J$  для основного состояния атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=9$ .

#### Контрольное задание №6

1. Найти все возможные атомные электронные термы, реализующиеся при сложении моментов электронов в приближении (L-S) – связи, привести спектроскопические символы термов для двух  $d$ -электронов. Электроны считать неэквивалентными.
2. С учетом тонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для второй побочной («диффузной») серии атома натрия, привести спектроскопическую индексацию термов.
3. На энергетической диаграмме показать расщепление уровней энергии (в единицах  $\mu_B \cdot B$ ) и оптические переходы для резонансной линии излучения атома натрия в слабом магнитном поле.
4. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), найти множитель Ланде  $g_J$  для основного состояния атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=10$ .

### Контрольное задание №7

1. Найти все возможные атомные электронные термы, реализующиеся при сложении моментов электронов в приближении (L-S) – связи, привести спектроскопические символы термов для двух f-электронов. Электроны считать неэквивалентными.
2. С учетом тонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для серии Лаймана атома водорода, привести спектроскопическую индексацию термов.
3. На энергетической диаграмме показать расщепление уровней энергии (в единицах  $\mu_B \cdot B$ ) и оптические переходы для резонансной линии излучения атома натрия в сильном магнитном поле.
4. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), найти множитель Ланде  $g_J$  для основного состояния атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=11$ .

### Контрольное задание №8

1. Найти все возможные атомные электронные термы, реализующиеся при сложении моментов электронов в приближении (L-S) – связи, привести спектроскопические символы термов для трех p-электронов. Электроны считать неэквивалентными.
2. С учетом тонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для серии Бальмера атома водорода, привести спектроскопическую индексацию термов.
3. Атом находится в слабом магнитном поле с индукцией  $B = 2,5$  кГс. Найти величину расщепления (в электрон-вольтах) следующих компонентов термов:  $^1D_2$ ,  $^3F_4$ .
4. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), найти множитель Ланде  $g_J$  для основного состояния атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=12$ .

### Контрольное задание №9

1. Найти все возможные атомные электронные термы, реализующиеся при сложении моментов электронов в приближении (L-S) – связи, привести спектроскопические символы термов для трех d-электронов. Электроны считать неэквивалентными.
2. С учетом тонкой и сверхтонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для головной линии серии Лаймана атома водорода (спин ядра  $I=1/2$ ).
3. Атом находится в сильном магнитном поле с индукцией  $B = 2,5$  кГс. Найти величину расщепления (в электрон-вольтах) следующих термов:  $^1D$ ,  $^3F$ .
4. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), найти множитель Ланде  $g_J$  для основного состояния атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=13$ .

### Контрольное задание №10

1. Найти все возможные атомные электронные термы, реализующиеся при сложении моментов электронов в приближении (L-S) – связи, привести спектроскопические символы термов для трех f-электронов. Электроны считать неэквивалентными.
2. С учетом тонкой и сверхтонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для головной линии серии Бальмера атома водорода (спин ядра  $I=1/2$ ).

3. Какой эффект Зеемана (простой, сложный) проявляют в слабом магнитном поле спектральные линии, обусловленные следующими переходами: а)  $^1P_1 \rightarrow ^1S_0$  ; б)  $^2D_{5/2} \rightarrow ^2P_{3/2}$  ; в)  $^3D_1 \rightarrow ^3P_0$  ; г)  $^5I_5 \rightarrow ^5H_4$  .

4. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), найти множитель Ланде  $g_J$  для основного состояния атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=14$ .

#### Контрольное задание №11

1. Найти все возможные атомные электронные термы, реализующиеся при сложении моментов электронов в приближении (L-S) – связи, привести спектроскопические символы термов для системы электронов: один s-электрон, один p-электрон, один d-электрон.

2. С учетом тонкой и сверхтонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для головной линии серии Лаймана атома дейтерия (спин ядра  $I=1$ ).

3. Атом находится в слабом магнитном поле с индукцией  $B = 2,5$  кГс. Рассчитать (в электрон-вольтах) и показать на энергетической диаграмме расщепление уровней энергии и спектральной линии, отвечающей переходу  $^1P_1 - ^1S_0$ . Указать поляризацию спектральных линий.

4. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), в рамках основной электронной конфигурации определить состав электронных термов, их взаимное расположение на энергетической диаграмме, порядок следования компонентов тонкой структуры термов для атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=6$ .

#### Контрольное задание №12

1. Найти все возможные атомные электронные термы, реализующиеся при сложении моментов электронов в приближении (L-S) – связи, привести спектроскопические символы термов для системы электронов: один s-электрон, два d-электрона.

2. С учетом тонкой и сверхтонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для головной линии серии Бальмера атома дейтерия (спин ядра  $I=1$ ).

3. Атом находится в слабом магнитном поле с индукцией  $B = 2,5$  кГс. Рассчитать (в электрон-вольтах) и показать на энергетической диаграмме расщепление уровней энергии и спектральной линии, отвечающей переходу  $^3D_2 - ^3P_1$ . Указать поляризацию спектральных линий.

4. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), в рамках основной электронной конфигурации определить состав электронных термов, их взаимное расположение на энергетической диаграмме, порядок следования компонентов тонкой структуры термов для атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=7$ .

#### Контрольное задание №13

1. Найти все возможные атомные электронные термы, реализующиеся при сложении моментов электронов в приближении (L-S) – связи, привести спектроскопические символы термов для системы электронов: один p-электрон, два d-электрона.

2. С учетом тонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для главной серии атома лития, привести спектроскопическую индексацию термов.

3. Атом находится в слабом магнитном поле с индукцией  $B = 2,5$  кГс. Рассчитать (в электрон-вольтах) и показать на энергетической диаграмме расщепление уровней энергии и спектральной линии, отвечающей переходу  $^2D_{3/2} - ^2P_{1/2}$ . Указать поляризацию спектральных линий.

4. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), в рамках основной электронной конфигурации определить состав электронных термов, их взаимное расположение на энергетической диаграмме, порядок следования компонентов тонкой структуры термов для атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=8$ .

#### Контрольное задание №14

1. Некоторый атом находится в состоянии, для которого большое спиновое квантовое число  $S = 2$ , полный механический момент  $M = \sqrt{2} \hbar$ , а магнитный момент равен нулю. Написать спектральный символ соответствующего терма.
2. С учетом тонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для главной серии атома натрия, привести спектроскопическую индексацию термов.
3. Атом находится в сильном магнитном поле с индукцией  $B = 2,5$  кГс. Рассчитать (в электрон-вольтах) и показать на энергетической диаграмме расщепление уровней энергии и спектральной линии, отвечающей переходу  ${}^3D - {}^3P$ .
4. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), в рамках основной электронной конфигурации определить состав электронных термов, их взаимное расположение на энергетической диаграмме, порядок следования компонентов тонкой структуры термов для атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=9$ .

#### Контрольное задание №15

1. Найти полный механический момент атома в состоянии с квантовыми числами  $S = 3/2$  и  $L = 2$ , если известно, что магнитный момент его равен нулю.
2. С учетом тонкой и сверхтонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для головной линии серии Пашена атома водорода (спин ядра  $I=1/2$ ).
3. Атом находится в сильном магнитном поле с индукцией  $B = 2,5$  кГс. Рассчитать (в электрон-вольтах) и показать на энергетической диаграмме расщепление уровней энергии и спектральной линии, отвечающей переходу  ${}^1P - {}^1S$ .
4. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), в рамках основной электронной конфигурации определить состав электронных термов, их взаимное расположение на энергетической диаграмме, порядок следования компонентов тонкой структуры термов для атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=11$ .

#### Контрольное задание №16

1. Определить максимально возможный орбитальный механический момент электронной оболочки атома в состоянии, мультиплетность которого равна пяти и кратность вырождения по  $J$  – семи. Написать спектральное обозначение соответствующего терма.
2. С учетом тонкой и сверхтонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для головной линии серии Пашена атома дейтерия (спин ядра  $I=1$ ).
3. Атом находится в сильном магнитном поле с индукцией  $B = 2,5$  кГс. Рассчитать (в электрон-вольтах) и показать на энергетической диаграмме расщепление уровней энергии и спектральной линии, отвечающей переходу  ${}^2D - {}^2P$ .
4. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), в рамках основной электронной конфигурации определить состав электронных термов, их взаимное расположение на энергетической

диаграмме, порядок следования компонентов тонкой структуры термов для атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=12$ .

#### Контрольное задание №17

1. Вычислить фактор Ландэ для следующих термов: а)  ${}^6F_{1/2}$ , б)  ${}^4D_{1/2}$ , г)  ${}^5F_2$ .
2. С учетом тонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для второй побочной («диффузной») серии атома калия, привести спектроскопическую индексацию термов.
3. На сколько компонент расщепится в опыте Штерна и Герлаха пучок атомов, находящихся в состоянии а)  ${}^2D_{3/2}$ , б)  ${}^2P_{1/2}$ . Магнитное поле считать слабым.
4. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), в рамках основной электронной конфигурации определить состав электронных термов, их взаимное расположение на энергетической диаграмме, порядок следования компонентов тонкой структуры термов для атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=13$ .

#### Контрольное задание №18

1. Атом находится в состоянии, мультиплетность которого равна трем, а полный механический момент  $\hbar\sqrt{20}$ . Каким может быть соответствующее квантовое число L?
2. С учетом тонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для второй побочной («диффузной») серии атома рублидия, привести спектроскопическую индексацию термов.
3. На сколько компонент расщепится в опыте Штерна и Герлаха пучок атомов, находящихся в состоянии а)  ${}^2D_{3/2}$ , б)  ${}^2P_{1/2}$ . Магнитное поле считать сильным.
4. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), в рамках основной электронной конфигурации определить состав электронных термов, их взаимное расположение на энергетической диаграмме, порядок следования компонентов тонкой структуры термов для атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=14$ .

#### Контрольное задание №19

1. Вычислить в магнетонах Бора магнитный момент электронной оболочки атома в состоянии  ${}^2D_{3/2}$ .
2. С учетом тонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для второй побочной («диффузной») серии атома цезия, привести спектроскопическую индексацию термов.
3. На сколько компонент расщепится в опыте Штерна и Герлаха пучок атомов, находящихся в состоянии а)  ${}^3D_2$ , б)  ${}^3P_1$ . Рассмотреть случаи слабого и сильного поля.
4. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), в рамках основной электронной конфигурации определить состав электронных термов, их взаимное расположение на энергетической диаграмме, порядок следования компонентов тонкой структуры термов для атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=15$ .

#### Перечень типовых задач

Для освоения курса студенту необходимо самостоятельно решить ряд задач, охватывающий все темы, изучаемые в данном разделе общей физики. Ниже приведен перечень типовых задач.

#### Корпускулярно – волновой дуализм

1. Работа выхода лития равна 2.46 эВ. Найти красную границу фотоэффекта.
2. Красная граница фотоэффекта у цезия равна 639 нм. Найти работу выхода.
3. Какой скоростью должен обладать электрон, чтобы иметь такой же импульс, как и фотон, соответствующий излучению с длиной волны 0.1 нм.
4. Работа выхода серебра равна 4.28 эВ. Определить, до какого потенциала зарядится серебряный шар, изолированный от других тел, если его облучать светом с длиной волны  $10^{-7}$  м.
5. Изобразить зависимость фототока насыщения от напряженности электрического поля в падающей световой волне.
6. Точечный источник света мощности  $P$  испускает световые волны с длиной волны  $\lambda$ . Определить: а) среднюю плотность потока фотонов на расстоянии  $r$  от источника; б) концентрацию фотонов на этом расстоянии.
7. Какую энергию приобретает электрон отдачи в эффекте Комптона при рассеянии фотона, отвечающего длине волны 0.1 нм, на угол  $90^\circ$ ?
8. Рассеяние на электронах электромагнитного излучения с длиной волны 0.24 нм наблюдается под углом  $60^\circ$ . Найти длину волны рассеянного излучения и угол отлета электронов отдачи.
9. Показать, что процесс, при котором покоящийся свободный электрон поглощает налетающий на него фотон, не возможен.
10. Возможен ли процесс, при котором кинетическая энергия электрона отдачи равнялась бы энергии налетающего фотона?
11. Какую энергию должны иметь фотоны, чтобы при комптоновском рассеянии на свободных покоящихся электронах на угол  $90^\circ$  длина волны отвечающего им излучения испытывала удвоение?
12. Какую энергию имеет квант излучения с длиной волны, равной комптоновской длине волны электрона?
13. Какова длина волны Де-Бройля протона и электрона, энергия которых равна средней кинетической энергии теплового движения молекул при комнатной температуре?
14. Определить длину волны Де-Бройля электрона, кинетическая энергия которого равна  $1.6 \cdot 10^{-17}$  Дж.
15. Найти энергию и импульс фотона, отвечающего длине волны излучения 0.1 нм, а также кинетическую энергию и импульс электрона, длина волны Де-Бройля которого имеет тоже значение.
16. Чему равна длина волны Де-Бройля для электрона, релятивистская масса которого равна  $5.25 \cdot 10^{-30}$  кг?
17. Чему равна длина волны Де-Бройля и волновое число  $k$  для электрона с кинетической энергией 240 эВ?
18. Сравнить длины волн Де-Бройля для электрона и протона, имеющих одинаковую скорость.

### **Основы квантовой механики.**

#### **Простейшие случаи движения микрочастиц**

1. Положение бусинки массой 1 г и положение электрона определены с одинаковой погрешностью  $10^{-7}$  м. Оценить неопределенность скорости бусинки и электрона.
2. Оценить минимальную кинетическую энергию электрона, локализованного в области пространства с линейными размерами порядка  $10^{-10}$  м (атом) и  $10^{-15}$  м (атомное ядро).
3. Частица массой  $m$  находится в состоянии с минимальной энергией в прямоугольной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной  $L$ . Оценить минимальную энергию частицы.
4. Среднее время жизни атома в возбужденном состоянии  $10^{-8}$  с. При переходе в основное состояние атом излучает фотон, соответствующий длине волны излучения 0.5 мкм. Оценить (естественную) ширину линии излучения.

5. Для электрона в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной 0.2 нм найти энергию первых двух стационарных состояний и энергию фотона, излучаемого при переходе электрона с первого возбужденного состояния в основное.
6. Для частицы массой  $m$  в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной  $L$  вывести выражение для вероятности, с которой она может быть обнаружена в области  $0-L/3$  в состоянии  $n$ .
7. Для частицы массой  $m$  найти спектр собственных значений энергии в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме.

#### **Атом водорода и водородоподобные системы**

1. Квант с энергией 20 эВ выбивает электрон из атома водорода, находящегося в основном состоянии. С какой скоростью будет двигаться электрон?
2. Вычислить скорость, которую приобретает атом водорода в результате излучения кванта света при переходе электрона со второго уровня на первый. Какая при этом будет поправка к длине волны излучения?
3. Для атома позитрония (система из позитрона и электрона, движущихся около центра масс) рассчитать границу серии Бальмера, энергию ионизации, длину волны резонансной линии излучения.
4. Чему равны энергии ионизации ионов  $\text{He}^+$  и  $\text{Li}^{++}$  ?
5. Найти наиболее вероятное расстояние электрона от ядра в состоянии  $2p$ .
6. Найти наиболее вероятное расстояние электрона от ядра в состоянии  $3d$ .
7. Для мезоатома водорода (в нем вместо электрона движется мезон, имеющий тот же заряд, но массу в 207 раз большую) вычислить среднее и наиболее вероятное расстояние между мезоном и ядром в основном состоянии.
8. Для водородоподобного мезоатома (в нем вместо электрона движется мезон, имеющий тот же заряд, но массу в 207 раз большую) вычислить энергию связи в основном состоянии, если ядром является а) протон, б) дейтрон.
9. Для атома позитрония (система из позитрона и электрона, движущихся около центра масс) рассчитать среднее и наиболее вероятное расстояние между частицами в основном состоянии.

#### **Механический и магнитный момент электронной оболочки**

1. Выразить проекцию спинового момента импульса электрона на плоскость  $xOy$  через квантовые числа  $s$  и  $m_s$ .
2. Найти угол между спиновым и орбитальным моментами импульса электрона в состояниях: а)  $p$ , б)  $d$ , в)  $f$ .
3. Найти и обозначить все возможные состояния электрона в атоме водорода для значений главного квантового числа: а)  $n=2$ , б)  $n=3$ , в)  $n=4$ .
4. Найти все возможные электронные термы, реализующиеся при сложении моментов в приближении (L-S) – связи, привести спектроскопические символы термов для : а) двух  $p$ -электронов, б) двух  $d$ -электронов, в) двух  $f$ -электронов. Электроны считать неэквивалентными.
5. Найти все значения вектора полного момента импульса в приближении (L-S) – связи для : а) двух  $p$ -электронов, б) двух  $d$ -электронов, в) двух  $f$ -электронов. Электроны считать неэквивалентными.
6. Найти все значения вектора полного магнитного момента в приближении (L-S) – связи для : а) двух  $p$ -электронов, б) двух  $d$ -электронов, в) двух  $f$ -электронов. Электроны считать неэквивалентными.
7. Найти все возможные электронные термы, реализующиеся при сложении моментов в приближении (L-S) – связи, привести спектроскопические символы термов для : а) трех  $p$ -электронов, б) трех  $d$ -электронов, в) трех  $f$ -электронов. Электроны считать неэквивалентными.

8. Найти все значения вектора полного момента импульса в приближении (L-S) – связи для : а) трех p-электронов, б) трех d-электронов, в) трех f-электронов. Электроны считать неэквивалентными.
9. Найти все значения вектора полного магнитного момента в приближении (L-S) – связи для : а) трех p-электронов, б) трех d-электронов, в) трех f-электронов. Электроны считать неэквивалентными.
10. Найти все возможные электронные термы, реализующиеся при сложении моментов в приближении (L-S) – связи, привести спектроскопические символы термов для системы электронов: а) один s-электрон, один p-электрон, один d-электрон, б) один s-электрон, два d-электрона, в) один p-электрон, два d-электрона.
11. Некоторый атом находится в состоянии, для которого  $S = 2$ , полный механический момент  $M = \sqrt{2} \hbar$ , а магнитный момент равен нулю. Написать спектральный символ соответствующего терма.
12. Найти полный механический момент атома в состоянии с  $S = 3/2$  и  $L = 2$ , если известно, что магнитный момент его равен нулю.
13. Определить максимально возможный орбитальный механический момент атома в состоянии, мультиплетность которого равна пяти и кратность вырождения по J – семи. Написать спектральное обозначение соответствующего терма.
14. Вычислить фактор Ландэ для следующих термов: а)  ${}^6F_{1/2}$ , б)  ${}^4D_{1/2}$ , в)  ${}^5F_2$ .
15. Некоторый атом находится в состоянии, для которого  $S = 2$ , полный механический момент  $M = \sqrt{2} \hbar$ , а магнитный момент равен нулю. Написать спектральный символ соответствующего терма.
16. Атом находится в состоянии, мультиплетность которого равна трем, а полный механический момент  $\hbar \sqrt{20}$ . Каким может быть соответствующее квантовое число L?
17. Написать спектральное обозначение терма, кратность вырождения которого равна семи, а квантовые числа L и S связаны соотношением  $L = 3S$ .
18. Вычислить в магнетонах Бора магнитный момент атома в состоянии  ${}^2D_{3/2}$ .

### Оптические спектры атомов.

#### Тонкая и сверхтонкая структура спектральных линий

1. Какие из переходов запрещены правилами отбора для электро-дипольного излучения:  ${}^2D_{3/2} - {}^2P_{1/2}$ ,  ${}^2D_{3/2} - {}^2S_{1/2}$ ,  ${}^2D_{5/2} - {}^2P_{3/2}$ ,  ${}^2F_{7/2} - {}^2D_{5/2}$ ,  ${}^2D_{5/2} - {}^2P_{1/2}$ ?
2. Длина волны дублета желтой линии натрия ( $3^2P - 3^2S$ ) равны 589.6 нм и 589.0 нм. Определить тонкое расщепление терма  $3^2P$  (расстояние между компонентами тонкой структуры терма) и величину постоянной расщепления A.
3. С учетом тонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для первой побочной («резкой») серии атома лития, привести спектроскопическую индексацию термов.
4. С учетом тонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для первой побочной («резкой») серии атома натрия, привести спектроскопическую индексацию термов.
5. С учетом тонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для второй побочной («диффузной») серии атома лития, привести спектроскопическую индексацию термов.
6. С учетом тонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для второй побочной («диффузной») серии атома натрия, привести спектроскопическую индексацию термов.

7. С учетом тонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для серии Лаймана атома водорода, привести спектроскопическую индексацию термов.
8. С учетом тонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для серии Бальмера атома водорода, привести спектроскопическую индексацию термов.
9. С учетом тонкой и сверхтонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для головной линии серии Лаймана атома водорода (спин ядра  $I=1/2$ ).
10. С учетом тонкой и сверхтонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для головной линии серии Бальмера атома водорода (спин ядра  $I=1/2$ ).
11. С учетом тонкой и сверхтонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для головной линии серии Лаймана атома дейтерия (спин ядра  $I=1$ ).
12. С учетом тонкой и сверхтонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для головной линии серии Бальмера атома дейтерия (спин ядра  $I=1$ ).

### Эффект Зеемана

1. Показать на энергетической диаграмме расщепление в магнитном поле уровней энергии (в единицах  $\mu_B \cdot B$ ) и спектральной линии, отвечающей переходу: а)  $^1P_1 - ^1S_0$ , б)  $^3D_2 - ^3P_1$ , в)  $^2D_{3/2} - ^2P_{1/2}$ . Рассмотреть случаи слабого и сильного магнитных полей.
2. На энергетической диаграмме показать расщепление уровней энергии (в единицах  $\mu_B \cdot B$ ) и оптические переходы для : а) резонансной линии излучения атома лития в слабом магнитном поле, б) резонансной линии излучения атома лития в сильном магнитном поле, в) резонансной линии излучения атома натрия в слабом магнитном поле, г) резонансной линии излучения атома натрия в сильном магнитном поле.
3. Атом находится в слабом магнитном поле с индукцией  $B = 2,50$  кГс. Найти полную величину расщепления в электрон-вольтах следующих компонентов термов: а)  $^1D_2$ , б)  $^3F_4$ .
4. Какой эффект Зеемана (простой, сложный) проявляют в слабом магнитном поле спектральные линии, обусловленные следующими переходами: а)  $^1P_1 \rightarrow ^1S_0$ ; б)  $^2D_{5/2} \rightarrow ^2P_{3/2}$ ; в)  $^3D_1 \rightarrow ^3P_0$ ; г)  $^5I_5 \rightarrow ^5H_4$ .

### Многэлектронные атомы

1. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), указать и расшифровать символ электронного терма для основного состояния атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15$ .
2. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), найти множитель Ланде  $g_l$  для основного состояния атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15$ .
3. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), в рамках основной электронной конфигурации определить состав электронных термов, их взаимное расположение на энергетической диаграмме, порядок следования компонентов тонкой структуры термов для атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов  $Z=2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15$ .
4. На сколько компонент расщепится пучок атомов в опыте Штерна и Герлаха, если порядковый номер элемента в периодической системе элементов  $Z=2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15$ . Считать, что результирующий момент электронной оболочки об-

- разуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), рассмотреть случаи слабого и сильного магнитного поля.
5. Качественно представить схему уровней энергии и обозначить электронные переходы, дающие основные спектральные серии для атома гелия.
  6. Написать с помощью правил Хунда спектральный символ основного терма атома, единственная незаполненная подоболочка которого заполнена на  $1/3$  и  $S = 1$ .
  7. Возбужденный атом имеет электронную конфигурацию  $1s^2 2s^2 2p 3d$  и находится при этом в состоянии с максимально возможным полным механическим моментом. Найти магнитный момент атома в этом состоянии.
  8. Единственная незаполненная оболочка некоторого атома содержит три электрона, причем основной терм атома имеет  $L = 3$ . Найти с помощью правил Хунда спектральный символ основного состояния данного атома.

### Демонстрационный эксперимент, в том числе виртуальный

1. Законы излучения абсолютно черного тела. Закон Стефана – Больцмана.  
Изучение законов излучения абсолютно черного тела, экспериментальное определение значения постоянной Стефана – Больцмана из зависимости мощности теплового излучения от температуры.
2. Законы внешнего фотоэффекта.  
Экспериментальное изучение законов внешнего фотоэффекта, определение значения постоянной Планка.
3. Опыт Резерфорда, атомные модели.  
Компьютерное моделирование опытов Резерфорда по рассеянию частиц на атомных мишенях и определению дифференциального сечения рассеяния, построение модели атома.
4. Опыт Франка и Герца.  
Экспериментальное исследование дискретности атомных состояний, определение энергии первого возбужденного состояния атома ртути по значению критического потенциала в опыте Франка и Герца.
5. Атом водорода.  
Экспериментальное изучение серийных закономерностей в спектре излучения атома водорода, измерение длин волн серии Бальмера атома водорода, определение спектроскопическим методом постоянной Ридберга. Компьютерное моделирование спектра поглощения атома водорода, построение уровней энергии, формула Бальмера. Создание наглядного образа волновой функции электрона в атоме водорода, компьютерное моделирование формы электронного облака, угловое распределение электронной плотности, радиальная функция распределения.
6. Спектры атомов.  
Экспериментальное исследование спектра излучения атома гелия, определение длин волн спектральных линий, построение схемы термов и оптических переходов. Компьютерное моделирование спектральных линий и их тонкой структуры в спектре поглощения атома натрия, определение энергетических уровней, построение схемы термов и спектральных серий.
7. Многоэлектронные атомы. Застройка электронных оболочек.  
Компьютерный тренинг по застройке электронных оболочек и подоболочек многоэлектронных атомов, реализация термов атомов. Моделирование оптических спектров атомов.
8. Атом в магнитном поле. Эффект Зеемана.  
Компьютерное моделирование эффекта Зеемана в слабом и сильном магнитных полях, расчет зеемановского расщепления и установление поляризации зеемановских компонент спектральных линий.
9. Рентгеновское излучение.

Изучение спектра характеристического рентгеновского излучения, тонкой структуры рентгеновских линий. Построение диаграммы уровней энергии и квантовых переходов.

**Таблица 9 – Примеры оценочных средств с ключами правильных ответов**

№ п/п	Тип задания	Формулировка задания	Правильный ответ	Время выполнения (в минутах)
– ОПК-1 «Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности»;				
1.	<i>Задание закрытого типа</i>	Электрон движется с энергией 2 МэВ. Определите его де Бройлевскую длину волны? 1) 5 пм 2) 0,05 пм 3) 0,5 пм 4) 8,7 пм 5) 0,87 пм	3	4
2.		Рассчитайте энергию стационарного состояния электрона в атоме водорода в первом возбужденном состоянии? 1) - 10,2 эВ; 2) -3,4 эВ; 3) 3,4 эВ; 4) 10,2 эВ; 5) -13,6 эВ	2	4
3.		Определите длину волны головной серии Лаймана при испускании фотона атомом водорода? 1) 121 нм 2) 656 нм 3) 103 нм 4) 1045 нм 5) 420 нм	1	4
4.		Определите, как и во сколько раз линейная скорость электрона в атоме водорода в 15-м возбужденном состоянии отличается от той же скорости в основном состоянии? 1) меньше в 15 раз 2) меньше в 1,5 раза 3) меньше в 16 раз 4) больше в 16 раз 5) больше в 15 раз	3	4
5.		Частица находится в потенциальном ящике. Найдите относительную погрешность в энергии частицы, излучаемой с соседне-	3	4

№ п/п	Тип задания	Формулировка задания	Правильный ответ	Время выполнения (в минутах)
		го энергетического уровня на уровень с $n = 2$ . Результат округлите до целых и запишите в процентах. 1) 125 2) 14 3) 19 4) 56 5) 31		
6.	<i>Задание открытого типа</i>	Каким механизмом можно объяснить эффект Комптона?	механизмом рассеяния фотонов на свободных и неподвижных электронах	4
7.		В чем состоит суть второго закона фотоэффекта?	максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов зависит от частоты излучения	4
8.		В каком случае атом в опыте Франка и Герца будет возбужденным?	только при неупругих соударениях электронов с атомами ртути	4
9.		Как вы можете охарактеризовать электронный спектр в случае запертости электронов внутри бесконечно глубокой ямы?	Чем меньше ширина ямы, тем выше энергия электрона, энергетический спектр линейчатый ввиду дискретности энергетических уровней.	4
10.		Серебро на последнем энергетическом уровне имеет один 5s-электрон. Чем можно объяснить данный факт? - правилом Хунда - принципом Паули - правилом Маделунга - правилом Клечковского	Правилом Клечковского, так как сумма орбитального и главного квантовых чисел должна быть минимальной.	4

Полный комплект оценочных материалов по дисциплине (модулю) (фонд оценочных средств) хранится в электронном виде на кафедре, утверждающей рабочую программу дисциплины (модуля), и в Центре мониторинга и аудита качества обучения.

**7.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)**

**Таблица 10 – Технологическая карта рейтинговых баллов по дисциплине (модулю)**

№ п/п	Контролируемые мероприятия	Количество мероприятий / баллы	Максимальное количество баллов	Срок представления
<b>Основной блок</b>				
1.	Практические (домашние) работы	11/2	22	В течении семестра
2.	Тестирование (контрольные работы)	4/10	40	В течении семестра
3.	Тесты, написанные на положительные оценки с первой попытки	4	4	В течении семестра
<b>Всего</b>			<b>66</b>	-
<b>Блок бонусов</b>				
4.	Отсутствие пропусков (лекций, практических занятий)	19/0,167	3	В течении семестра
5.	Активная работа на занятиях (ответы на вопросы, дополнения)	по 0,167 б. за занятие	3	В течении семестра
6.	Своевременное выполнение заданий	-	3	
<b>Всего</b>			<b>9</b>	-
<b>Дополнительный блок**</b>				
7.	Экзамен		25	
<b>Всего</b>			<b>25</b>	-
<b>ИТОГО</b>			<b>100</b>	-

**Таблица 11 – Система штрафов (для одного занятия)**

Показатель	Балл
Опоздание (два и более)	-2
Не готов к практическому занятию	-3
Нарушение дисциплины	-2
Пропуски лекций без уважительных причин (за одну лекцию)	-1
Пропуски практических занятий без уважительных причин (за одно занятие)	-1
Не своевременное выполнение задания	-2
Нарушение техники безопасности	-1

**Таблица 12 – Шкала перевода рейтинговых баллов в итоговую оценку за семестр по дисциплине (модулю)**

Сумма баллов	Оценка по 5-балльной шкале	
90–100	5 (отлично)	Зачтено
85–89	4 (хорошо)	
75–84		
70–74		
65–69	3 (удовлетворительно)	
60–64		
Ниже 60	2 (неудовлетворительно)	Не зачтено

При реализации дисциплины (модуля) в зависимости от уровня подготовленности обучающихся могут быть использованы иные формы, методы контроля и оценочные средства, исходя из конкретной ситуации.

## **8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

### **8.1. Основная литература**

1. Капуткин Д.Е., Физика : Оптика. Атомная и ядерная физика : учеб. пособие для практ. занятий. Ч. 3 [Электронный ресурс] / Капуткин, Д.Е. - М. : МИСиС, 2014. - 103 с. - ISBN 978-5-87623-742-2 - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785876237422.html>
2. Сивухин, Д.В. Общий курс физики. Т. 5. Атомная и ядерная физика : рек. М-вом образования РФ в качестве учеб. пособ. для вузов. - 2 - е изд. - М. : Физматлит МФТИ, 2002. - 784 с. - ISBN 5-9221-0230-3: 8-экз.
3. Гершензон, Е.М. Оптика и атомная физика: рек. УМО вузов РФ по педагогическому образованию в качестве учеб. пособ. для вузов по спец. 032200 - физика. - М. : Академия, 2000. - 408 с. - (Высшее образование). - ISBN 5-7695-0351-X : 60-экз.
4. Детлаф А.А. Курс физики. В 3-х т. Т. 3. Волновые процессы. Оптика. Атомная и ядерная физика : учеб. пособ. - 3-е изд. ; перераб. и доп. - М. : Высш. шк., 1979. - 511 с. - 10-экз.
5. Матвеев, А.Н. Атомная физика : учеб. пособие для студентов вузов. - М. : Высш. шк., 1989. - 439 с. : илл. - 31-экз.
6. Волькенштейн, В.С. Сборник задач по общему курсу физики : учеб. для вузов. - изд. доп. и перераб. - СПб. : Специальная литература: Лань, 1999. - 328 с. - ISBN 5-8114-0199-X: 134-экз.
7. Иродов, И.Е. Задачи по общей физике : учеб. пособие для вузов. - М. : Наука, 1988. - 416 с. : илл. - 12-экз.

### **8.2. Дополнительная литература**

1. Курашев С.М., Физика : волновые процессы, оптика и атомная физика : сб. задач [Электронный ресурс] / Курашев, С.М. - М. : МИСиС, 2011. - 119 с. - ISBN 978-5-87623-494-0 - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785876234940.html>
2. Сивухин Д.В., Общий курс физики. Атомная и ядерная физика. Том 5. Атомная и ядерная физика [Электронный ресурс] : Учеб. пособие для вузов / Сивухин Д. В. - 3-е изд., стер. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 784 с. - ISBN 978-5-9221-0645-0 - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922106450.html>
3. Михайлов В.К., Волны. Оптика. Атомная физика. Молекулярная физика [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.К. Михайлов, М.И. Панфилова - М. : Издательство МИСИ - МГСУ, 2017. - 145 с. - ISBN 978-5-7264-1581-9 - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785726415819.html>
4. Милантьев В.П., Физика атома и атомных явлений [Электронный ресурс] : Учеб. Пособие / В.П. Милантьев. - М. : Абрис, 2012. - 399 с. - ISBN 978-5-4372-0054-4 - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785437200544.html>
5. Делоне Н.Б., Атом в сильном поле лазерного излучения [Электронный ресурс] / Делоне Н.Б. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2002. - 64 с. (Библиотека физико-математической литературы для школьников и студентов.) - ISBN 5-9221-0249-4 - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922102494.html>
6. Чертов А.Г., Воробьев А.А., Задачник по физике: Учеб. пособие для втузов. - 7-е изд., перераб. и доп. - М.: Издательство Физико-математической литературы, 2001. - 640 с. - ISBN 5-94052-032-4.

### **8.3. Интернет-ресурсы, необходимые для освоения дисциплины (модуля)**

Электронно-библиотечная система (ЭБС) ООО «Политехресурс» «Консультант студента» Многопрофильный образовательный ресурс «Консультант студента» является электронной библиотечной системой, предоставляющей доступ через Интернет к учебной литературе и дополнительным материалам, приобретённым на основании прямых договоров с правообладателями. Каталог содержит более 15 000 наименований изданий.

[www.studentlibrary.ru](http://www.studentlibrary.ru)

*Регистрация с компьютеров АГУ*

## **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Рабочая программа дисциплины (модуля) при необходимости может быть адаптирована для обучения (в том числе с применением дистанционных образовательных технологий) лиц с ограниченными возможностями здоровья, инвалидов. Для этого требуется заявление обучающихся, являющихся лицами с ограниченными возможностями здоровья, инвалидами, или их законных представителей и рекомендации психолого-медико-педагогической комиссии. Для инвалидов содержание рабочей программы дисциплины (модуля) может определяться также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида (при наличии).