



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

ФГБОУ ВО «ИГУ»

**Кафедра радиопизики и радиоэлектроники**

УТВЕРЖДАЮ

Декан ~~Физического факультета~~ Буднев Н.М.

«20» апреля 2023 г.



**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

Наименование дисциплины (модуля) **Б1.О.12.05 АТОМНАЯ И ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА**

Направление подготовки **03.03.03 Радиопизика**

Направленность (профиль) подготовки «Радиопизика: радиоэлектронные устройства, обработка сигналов и автоматизация»

Квалификация выпускника **бакалавр**

Форма обучения **очная**

Согласовано с УМК физического факультета

Протокол №38 от «18» апреля 2023 г.

Председатель ~~\_\_\_\_\_~~ Буднев Н.М.

Рекомендовано кафедрой радиопизики  
и радиоэлектроники:

Протокол № 7 от «27» февраля 2023 г.

И.О. зав. кафедрой ~~\_\_\_\_\_~~  
Колесник С.Н.

Иркутск 2023 г.

## Содержание

I. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ .....	3
II. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО .....	4
III. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	4
IV. СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ.....	6
4.1 Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов .....	6
4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы (в том числе КСР) обучающихся по дисциплине .....	8
4.3. Содержание учебного материала .....	10
4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий .....	12
4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС) .....	14
4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.....	14
4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов) .....	16
V. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ ..	17
VI. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....	18
VII. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ .....	19
VIII. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ .....	20

## I. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Атомная и ядерная физика» входит в блок естественно-научных дисциплин, предназначенных для формирования у студентов естественно-научного мировоззрения и знаний о процессах и явлениях, связанных с физическими свойствами микромира и квантовыми явлениями на атомно-молекулярном уровне, необходимых для понимания и использования в инженерно-технических разработках. Актуальность дисциплины «Атомная и ядерная физика» обусловлена применением знаний, умений и навыков, полученных в процессе ее изучения, для изучения дисциплин из других блоков и успешного освоения специальности в целом.

### **Цели дисциплины:**

- 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 физики атома и атомного ядра и ее приложений современной техники и технологиях;

- изучить физические свойства микромира и квантовых явлений на атомно-молекулярном уровне.

### **Задачи дисциплины:**

К **основным задачам** дисциплины относятся:

– изучить экспериментальные методы исследования внутреннего строения атомов;  
– рассмотреть физические эффекты и явления, обусловленные, в основном, электронными оболочками атомов и молекул;

– усвоить основные понятия волновой механики и особенности подхода к изучению и описанию атомных явлений.

В список **общих задач** дисциплины входят:

– **обобщить и систематизировать знания по:**

✓ современным представлениям об атомно-молекулярном строении вещества, экспериментальным и теоретическим методам исследования внутреннего строения атомов, молекул и атомных ядер;

✓ основным законам, идеям и принципам атомной физики; физическим эффектам и явлениям, обусловленным, в основном, электронными оболочками атомов и молекул;

– **научить:**

✓ применять полученные знания для правильной интерпретации основных явлений атомной физики и физики атомного ядра;

✓ использовать полученные знания в различных областях физической науки и техники;

✓ настраивать и эксплуатировать экспериментальные приборы для исследования внутреннего строения атомов и атомных ядер;

✓ применять имеющиеся теоретические знания для проведения и истолкования экспериментов;

– **сформировать:**

✓ навыки применения основных методов физико-математического анализа для решения конкретных задач физики атомов, молекул и атомных ядер;

✓ навыки физико-математического моделирования;

✓ навыки правильной эксплуатации основных приборов и оборудования современной физической лаборатории;

✓ навыки обработки и интерпретирования результатов эксперимента;

✓ умение анализировать физический смысл полученных результатов.

## II. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина Б1.О.12.05 «Атомная и ядерная физика» входит в базовую часть Б1.Б блока 1. Дисциплины (модули) Б1 учебного плана и относится к обязательной части программы.

Дисциплина логически и содержательно-методически связана с дисциплинами модулей «Математика», «Общая физика», «Общий физический практикум». Для освоения данной дисциплины необходимо владеть методами математического анализа, аналитической геометрии, линейной алгебры, решением алгебраических, дифференциальных и интегральных уравнений; теории функций комплексного переменного, теории вероятностей и математической статистики; знать основные физические законы; уметь применять математические методы и физические законы для решения практических задач.

В результате изучения настоящей дисциплины студенты должны получить знания, имеющие не только самостоятельное значение, но и обеспечивающие базовую подготовку для усвоения дисциплин базовой и вариативной частей блока 1 «Дисциплины (модули)» учебного плана.

Перечень последующих учебных дисциплин, для которых необходимы знания, умения и навыки, формируемые данной учебной дисциплиной: «Физическая электроника и квантовая радиофизика».

## III. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс освоения дисциплины направлен на формирование компетенций ОПК-1 и ОПК-2 в соответствии с ФГОС ВО и ОП ВО по данному направлению подготовки (специальности) 03.03.03 Радиофизика:

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

Компетенция	Индикаторы компетенций	Результаты обучения
<b>ОПК-1</b> Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической	<b>ИДК опк-1.1</b> Применяет базовые знания в области физики и радиофизики для решения научно-исследовательских задач	<b>Знать:</b> – современные представления об атомном строении вещества, основные законы, идеи и принципы атомной физики, их становление и развитие в исторической последовательности, их математическое описание, теоретическое исследование и практическое использование; <b>Уметь:</b> – с научной точки зрения осмысливать и интерпретировать основные положения атомных явлений, оценивать порядки физических величин, использовать полученные знания в различных областях физической науки и техники; – в практической деятельности применять знания о физических свойствах объектов и явлений для создания гипотез и теоретических моделей, проводить анализ границ их применимости; – применять имеющиеся теоретические знания для проведения и истолкования экспериментов; <b>Владеть:</b>

		<p>– навыками применения полученных теоретических знаний для решения прикладных задач</p> <p>– навыками обработки и интерпретирования результатов физико-математического моделирования, теоретического расчета и экспериментального исследования</p>
<p><b>ОПК-2</b> Способен проводить экспериментальные и теоретические научные исследования объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные</p>	<p><b>ИДК опк-2.1</b> Проводит экспериментальные научные исследования радиофизических объектов, систем и процессов</p>	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– современные методы физико-математического моделирования и теоретического исследования явлений физики атома, методы наблюдения атомных явлений, их экспериментальное исследование и практическое использование</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– применять основные методы физико-математического анализа для решения естественнонаучных задач и физического моделирования в производственной практике;</li> <li>– применять соответствующие методы проведения физических исследований и измерений;</li> <li>– применять имеющиеся теоретические знания для проведения и истолкования экспериментов;</li> <li>– с помощью адекватных методов оценивать точность и погрешность теоретических расчетов и измерений, анализировать физический смысл полученных результатов.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками применения основных методов физико-математического анализа для решения естественнонаучных задач;</li> <li>– методами проведения физических исследований и измерений;</li> <li>– навыками обработки и интерпретирования результатов эксперимента;</li> </ul>
	<p><b>ИДК опк-2.2.</b> Проводит теоретические научные исследования радиофизических объектов, систем и процессов</p>	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– принципы устройства и функционирования экспериментальных приборов для исследования внутреннего строения атомов</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– настраивать и эксплуатировать экспериментальные приборы для исследования внутреннего строения атомов;</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками правильной эксплуатации основных приборов и оборудования современной физической лаборатории;</li> </ul>

#### IV. СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Объем дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов

Форма промежуточной аттестации: зачет с оценкой

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

№ п/н	Раздел дисциплины/тема	Семестр	Всего часов	Из них практическая подготовка обучающихся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся, практическую подготовку и трудоемкость (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	Практическое /лабораторное занятие	Консультации		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Тема 1. Классическая картина мира. Необходимость введения квантовых представлений. Модели атомов.	6	20,1		4	6/6	0,1	6	Устный опрос, тестирование
2.	Тема 2. Стационарное уравнение Шредингера. Спектры простейших одномерных систем.	6	16,1		4	6/6	0,1		Устный опрос, тестирование, контрольная работа
3.	Тема 3. Стационарные состояния в центрально – симметричном поле.	6	14,1		2	2/2	0,1	8	Устный опрос

4.	Тема 4. Приближенное решение стационарного уравнения Шредингера. Теория возмущений.	6	12,1		4	4/4	0,1		Устный опрос, тестирование, контрольная работа
5.	Тема 5. Многоэлектронный атом.	6	22,1		4	6/6	0,1	6	Ответы на контрольные вопросы, тестирование
6.	Тема 6. Взаимодействие квантовой системы с электромагнитным полем и понятие о квантовом электромагнитном поле.	6	16,1		2	4/4	0,1	6	Ответы на контрольные вопросы, тестирование
7.	Тема 7. Переходы внутренних электронов в атомах. Атом в магнитном поле.	6	20,1		4	4/4	0,1	8	Устный опрос, тестирование, контрольная работа
8.	Тема 8. Основы физики молекул.	6	16,0		2	4/4		6	Ответы на контрольные вопросы, тестирование
9.	Тема 9. Основные этапы развития физики ядра и элементарных частиц.	6	20,1		2	6/6	0,1	6	Ответы на контрольные вопросы, тестирование
10.	Тема 10. Радиоактивность и модели атомных ядер.	6	14,1		2	4/4	0,1	4	Устный опрос, тестирование
11.	Тема 11. Взаимодействие ядерного излучения с веществом.	6	14,1		2	4/4	0,1	4	Устный опрос, тестирование, контрольная работа
12.	Тема 12. Общие свойства элементарных частиц.	6	10,0		2	2/2		4	Устный опрос
13.	Тема 13. Космические лучи и ядерная астрофизика.	6	11,0		2	2/2		5	Устный опрос
	Контроль КО	6	<b>8</b>						
	<b>Итого часов</b>		<b>180</b>		<b>36</b>	<b>36/36</b>	<b>1</b>	<b>63</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	Трудоемкость (час.)		
6	Тема 1. Модели атомов.	Проработка учебного (теоретического) материала; выполнение индивидуальных заданий; реферат	1-3 учебная неделя	6	Опрос (устный, письменный). Реферат, доклад.	Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.  Интернет, ЭБС.
6	Тема 3. Стационарное уравнение Шредингера. Спектры простейших одномерных систем.	Проработка учебного (теоретического) материала; выполнение индивидуальных заданий; реферат	4-6 учебная неделя	8	Опрос (устный, письменный). Реферат, доклад.	Список литературы: 1. Шпольский Э.В. Атомная физика. Том 1. Введение в атомную физику [Электронный ресурс]: учеб. – Электрон. дан. – Санкт-Петербург: Лань, 2010. – 560 с. – Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/book/442">https://e.lanbook.com/book/442</a>
6	Тема 5. Стационарные состояния в центрально – симметричном поле.	Проработка учебного (теоретического) материала; выполнение индивидуальных заданий; реферат	7-8 учебная неделя	6	Опрос (устный, письменный). Реферат, доклад.	2. Будкер Д. Атомная физика [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Д. Будкер, Д. Кимбелл, Д. ДеМилль. – Электрон. дан. – Москва: Физматлит, 2010. – 396 с. – Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/book/48253">https://e.lanbook.com/book/48253</a>
6	Тема 6. Приближенное решение стационарного уравнения Шредингера. Теория возмущений.	Проработка учебного (теоретического) материала; выполнение индивидуальных заданий; реферат	9-11 учебная неделя	6	Опрос (устный, письменный). Реферат, доклад.	3. Иродов И.Е. Квантовая физика. Основные законы: учебное пособие [Электронный ресурс]: учеб. пособие – Электрон. дан. – Москва: Издательство «Лаборатория
6	Тема 7. Многоэлектронный атом.	Проработка учебного (теоретического) материала; выполнение индивидуальных заданий; реферат	12 учебная неделя	8	Опрос (устный, письменный). Реферат, доклад.	
6	Тема 8. Основы физики молекул.	Проработка учебного (теоретического) материала; выполнение индивидуальных заданий; реферат	13 учебная неделя	6	Опрос (устный, письменный). Реферат, доклад.	



6	Тема 9. Основные этапы развития физики ядра и элементарных частиц.	Проработка учебного (теоретического) материала; выполнение индивидуальных заданий; реферат	14 учебная неделя	6	Опрос (устный, письменный). Реферат, доклад.	знаний», 2017. – 261 с. – Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/book/94103">https://e.lanbook.com/book/94103</a>
6	Тема 10. Радиоактивность и модели атомных ядер.	Проработка учебного (теоретического) материала; выполнение индивидуальных заданий; реферат	15 учебная неделя	4	Опрос (устный, письменный). Реферат, доклад.	4. Савельев И.В. Курс общей физики [Электронный ресурс]: учебное пособие: в 5 т. Т. 5: Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц / И.В. Савельев. – СПб.: Лань, 2011. – 384 с. – Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/reader/book/708/#authors">https://e.lanbook.com/reader/book/708/#authors</a>
6	Тема 11. Взаимодействие ядерного излучения с веществом.	Проработка учебного (теоретического) материала; выполнение индивидуальных заданий; реферат	16 учебная неделя	4	Опрос (устный, письменный). Реферат, доклад.	5. Трофимова Т.И. Основы физики. Атом, атомное ядро и элементарные частицы: учебное пособие. – М.: КНОРУС, 2011.
6	Тема 12. Общие свойства элементарных частиц.	Проработка учебного (теоретического) материала; выполнение индивидуальных заданий; реферат	17 учебная неделя	4	Опрос (устный, письменный). Реферат, доклад.	
6	Тема 13. Космические лучи и ядерная астрофизика.	Проработка учебного (теоретического) материала; выполнение индивидуальных заданий; реферат	18 учебная неделя	5	Опрос (устный, письменный). Реферат, доклад.	
Общий объем самостоятельной работы по дисциплине (час)				<b>63</b>		

Контактная работа при проведении учебных занятий по дисциплине «Атомная и ядерная физика» включает в себя:

- занятия лекционного типа,
- лабораторные работы,
- занятия семинарского типа (практические занятия),
- групповые и индивидуальные консультации;
- промежуточная аттестация в устной форме.

### 4.3. Содержание учебного материала

#### **Тема 1. Классическая картина мира. Необходимость введения квантовых представлений. Модели атомов.**

Электронная теория Лоренца. Проблема равновесного электромагнитного излучения. Фотоэффект. Эффект Комптона. Тормозное рентгеновское излучение. Квантовый предел. Фотон. Гипотеза де Бройля. Корпускулярно-волновой дуализм. Волновой пакет. Соотношения неопределенностей. Атом Томсона. Опыты Резерфорда. Планетарная модель атома. 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.

#### **Тема 2. Стационарное уравнение Шредингера. Спектры простейших одномерных систем.**

Нестационарное уравнение Шредингера. Релятивистское волновое уравнение. Волновая функция и ее физический смысл. Уравнение непрерывности. Вектор плотности тока вероятности. 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. Стационарное уравнение Шредингера. Коммутатор. Многочастичная квантовая система. Движение волновых пакетов. Свободное движение частицы. Частица в бесконечно глубокой прямоугольной потенциальной яме. Частица в прямоугольной потенциальной яме конечной глубины. 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. Гармонический осциллятор. Стационарные состояния. Нестационарные состояния.

#### **Тема 3. Стационарные состояния в центрально – симметричном поле.**

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. Экспериментальное определение атомных магнитных моментов. Собственный механический и магнитный моменты электрона. Спин. Сложение невзаимодействующих моментов количества движения. Систематика состояний атома водорода.

#### **Тема 4. Приближенное решение стационарного уравнения Шредингера. Теория возмущений.**

Случай невырожденного спектра. Случай вырожденного спектра. Изотопическое смещение атомных уровней, связанное с конечным размером ядра. Тонкая структура спектра атома водорода. Учет релятивистской связи импульса и энергии электрона. Спин – орбитальное взаимодействие. Понятие о тонкой структуре спектров многоэлектронных атомов. Понятие о сверхтонкой структуре атомных спектров. Сверхтонкая структура основного состояния атома водорода. Атом в электрическом поле. Эффект Штарка.

#### **Тема 5. Многоэлектронный атом.**

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. Отрицательный ион водорода. 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.

#### **Тема 6. Взаимодействие квантовой системы с электромагнитным полем и понятие о квантовом электромагнитном поле.**

Общая постановка задачи. Электрическое дипольное приближение. Нестационарная теория возмущений. Вероятность перехода. Правила отбора. Линейный гармонический осциллятор. Центрально-симметричное поле. Спектральные серии атома водорода. Спектральные серии атомов щелочных металлов. Электромагнитные переходы в многоэлектронных атомах. Электромагнитное поле как квантовый объект. Классическое электромагнитное поле в квантовой теории. Взаимодействие атомной системы с квантовым электромагнитным полем. Спонтанные переходы. Спонтанные переходы и естественная ширина спектральной линии. Формула Планка. Лэмбовский сдвиг атомных уровней. Опыты Лэмба – Ризерфорда. Качественный анализ лэмбовского сдвига. Лэмбовский сдвиг в спектре водорода и размер протона.

#### **Тема 7. Переходы внутренних электронов в атомах. Атом в магнитном поле.**

Характеристическое рентгеновское излучение. Тонкая структура рентгеновских линий. Закон Мозли. Эффект Оже. Сплошной рентгеновский спектр и рентгеновский спектр поглощения. Эффект Зеемана. Эффект Пашена и Бака. Электронный парамагнитный резонанс. Опыты Штерна и Герлаха.

#### **Тема 8. Основы физики молекул.**

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. Элементы стереохимии. Основы систематики электронных состояний двухатомных молекул. Ядерная подсистема молекулы. Электромагнитные переходы в молекулах. Основы физики твердого тела. Типы связи в твердом теле. Фононы. Основы зонной теории. Металлы. Полупроводники. Диэлектрики.

#### **Тема 9. Основные этапы развития физики ядра и элементарных частиц.**

Свойства атомных ядер. Опыт Резерфорда по рассеянию  $\alpha$ -частиц. Ядро как система взаимодействующих протонов и нейтронов. Заряд ядра. Массовое число и масса ядра. Размеры ядер. Формфактор ядра и нуклонов. Изотопы. Изобары. Энергия связи ядра. Полуэмпирическая формула для энергии связи ядра. Спин и магнитный момент ядра. Эксперименты по измерению магнитных моментов ядер. Ядерный магнитный резонанс. Статические мультипольные моменты ядер. Электрический квадрупольный момент ядра. Нуклон-нуклонные взаимодействия. Дейтрон. Магнитный и квадрупольный моменты дейтрона. Волновая функция дейтрона. Тензорный характер ядерных сил. Рассеяние нейтронов на протонах. Спиновая и спин-орбитальная зависимости ядерных сил. Особенности рассеяния тождественных частиц. Зарядовая независимость ядерных сил. Обобщенный принцип Паули. Обменный характер ядерных сил. Двухнуклонный потенциал. Свойство насыщения ядерных сил. Мезонная теория ядерных сил.

#### **Тема 10. Радиоактивность и модели атомных ядер.**

Естественная и искусственная радиоактивность. Статистический характер распада. Закон радиоактивного распада. Радиоактивные ряды.  $\alpha$ -распад. Энергетическое условие  $\alpha$ -распада. Основные экспериментальные закономерности  $\alpha$ -распада. Элементы теории  $\alpha$ -распада. Правила отбора.  $\beta$ -распад. Виды  $\beta$ -распада. Энергетические условия  $\beta$ -распадов. Спектры электронов. Характеристики нейтрино. Экспериментальное доказательство существования нейтрино. Элементы теории  $\beta$ -распада. Понятие о слабых взаимодействиях. Разрешенные и запрещенные  $\beta$ -переходы. Несохранение четности при  $\beta$ -распаде.  $\gamma$ -излучение ядер. Электрические и магнитные переходы. Правила отбора по моменту и четности для  $\gamma$ -переходов. Вероятности переходов. Ядерная изомерия. Внутренняя конверсия. Эффект Мессбауэра и его применение в физике и технике. Классификация моделей ядра. Капельная модель ядра. Модель ферми-газа. Физическое обоснование оболочечной структуры ядра. Сильное спин-орбитальное взаимодействие. Объяснение спинов и четностей состояний ядер в модели оболочек. Остаточное взаимодействие.

Коллективные свойства ядер. Вращательные и колебательные состояния ядер. Связь одночастичных и коллективных движений.

#### **Тема 11. Взаимодействие ядерного излучения с веществом.**

Сечение и амплитуда рассеяния. Потери энергии на ионизацию и возбуждение атомов. Тормозное излучение. Излучение Вавилова-Черенкова. Пробеги заряженных частиц. Взаимодействие нейтронов с веществом. Тепловые и резонансные нейтроны. Прохождение  $\gamma$ -излучения через вещество. Элементы дозиметрии. Ядерные реакции. Экспериментальные методы изучения ядерных реакций. Физические принципы работы ускорителей. Детекторы ядерных частиц. Законы сохранения в ядерных реакциях. Связь между сечениями прямых и обратных реакций. Механизмы ядерных реакций. Формула Брейта-Вигнера. Прямые ядерные реакции. Деление и синтез атомных ядер. Деление изотопов урана под действием нейтронов. Энергия активации. Цепная реакция. Коэффициент размножения. Ядерные реакторы. Синтез легких ядер. Критерий Лоусона. Экспериментальные методы изучения ядерных реакций. Физические принципы работы ускорителей. Детекторы ядерных частиц. Проблемы управляемого термоядерного синтеза.

#### **Тема 12. Общие свойства элементарных частиц.**

Лептоны, адроны. Частицы и античастицы. Механизмы взаимодействия в мире частиц. Законы сохранения в мире элементарных частиц. Классификация взаимодействий и элементарных частиц. Электромагнитные взаимодействия. Сильные взаимодействия и структура адронов. Классификация и квантовые характеристики адронов. Симметрия сильного взаимодействия. Кварки, глюоны и их основные характеристики. Цвет и аромат. Кварковая структура адронов. Формула Нишиджимы. Элементы квантовой хромодинамики. Цветовая симметрия сильных взаимодействий. Электрослабые взаимодействия. Универсальность слабого взаимодействия. Понятие о полевой теории слабых взаимодействий. Объединение электромагнитного и слабого взаимодействия. Модель Вайнберга-Салама электрослабого взаимодействия. Проблема построения единой теории слабых, электромагнитных и сильных взаимодействий.

#### **Тема 13. Космические лучи и ядерная астрофизика.**

Первичное космическое излучение. Прохождение космического излучения через атмосферу. Гипотезы происхождения космических лучей. Этапы развития Вселенной. Современные представления о структуре Вселенной. Барийонная асимметрия Вселенной. Темная материя. Темная энергия. Дозвездный нуклеосинтез. Ядерные реакции в звездах.

### **4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий**

№ п/н	№ раздела и темы	Наименование семинаров	Трудоемкость (час.)		Оценочные средства	Формируемые компетенции (индикаторы) *
			Всего часов	Из них практическая подготовка		
1	2	3	4	5	6	7
1	Тема 1	Фотоэффект. Эффект Комптона. Расчет модели Резерфорда. Модель Бора.	12		Опрос (устный, письменный), задачи, тесты.	ОПК-1, ОПК-2
2	Тема 2	Частица в бесконечно глубокой прямоугольной потенциальной яме. Частица в прямоугольной потенциальной яме конечной глубины. Гармонический осциллятор.	12		Опрос (устный, письменный), задачи, тесты.  Контрольная работа.	ОПК-1, ОПК-2

3	Тема 3	Задача Кеплера. Спин. Сложение моментов. Систематика состояний атома водорода.	4		Опрос (устный, письменный), задачи, тесты.	ОПК-1, ОПК-2
4	Тема 4	Изотопическое смещение атомных уровней. Тонкая структура спектра атома водорода.	8		Опрос (устный, письменный), задачи, тесты.  Контрольная работа.	ОПК-1, ОПК-2
5	Тема 5	Принцип Паули. Атомные оболочки и подоболочки. Электронная конфигурация. Терм. Состояние. Правила Хунда.	12		Опрос (устный, письменный), задачи, тесты.	ОПК-1, ОПК-2
6	Тема 6	Правила отбора. Спектральные серии атома водорода. Спектральные серии атомов щелочных металлов.	8		Опрос (устный, письменный), задачи, тесты.	ОПК-1, ОПК-2
7	Тема 7	Характеристическое рентгеновское излучение. Закон Мозли. Эффект Оже. Эффект Зеемана. Эффект Пашена и Бака	8		Опрос (устный, письменный), задачи, тесты.  Контрольная работа.	ОПК-1, ОПК-2
8	Тема 8	Адиабатическое приближение. ЛКАО. Основы систематики электронных состояний двухатомных молекул.	8		Опрос (устный, письменный), задачи, тесты.	ОПК-1, ОПК-2
9	Тема 9	Основные этапы развития физики ядра	12		Опрос (устный, письменный), задачи, тесты.	ОПК-1, ОПК-2
10	Тема 10	Радиоактивность и модели атомных ядер	8		Опрос (устный, письменный), задачи, тесты.	ОПК-1, ОПК-2
11	Тема 11	Взаимодействие ядерного излучения с веществом	8		Опрос (устный, письменный), задачи, тесты.  Контрольная работа.	ОПК-1, ОПК-2
12	Тема 12	Общие свойства элементарных частиц	4		Опрос (устный, письменный), задачи, тесты.	ОПК-1, ОПК-2
13	Тема 13	Космические лучи и ядерная астрофизика	4		Опрос (устный, письменный), задачи, тесты.	ОПК-1, ОПК-2
<b>Итого часов</b>			<b>72</b>			

### 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	Развитие квантовых представлений.	Проработка учебного (теоретического) материала; выполнение индивидуальных заданий; реферат	ОПК-1, ОПК-2	ИДК <sub>ОПК1.1</sub> ИДК <sub>ОПК2.1</sub>
2	Атом в электрическом поле. Эффект Штарка.	Проработка учебного (теоретического) материала; выполнение индивидуальных заданий; реферат	ОПК-1, ОПК-2	ИДК <sub>ОПК1.1</sub> ИДК <sub>ОПК2.1</sub> ИДК <sub>ОПК2.2</sub>
3	Атом в магнитном поле. Электронный парамагнитный резонанс.	Проработка учебного (теоретического) материала; выполнение индивидуальных заданий; реферат	ОПК-1, ОПК-2	ИДК <sub>ОПК1.1</sub> ИДК <sub>ОПК2.1</sub> ИДК <sub>ОПК2.2</sub>
4	Рентгеновские спектры.	Проработка учебного (теоретического) материала; выполнение индивидуальных заданий; реферат	ОПК-1, ОПК-2	ИДК <sub>ОПК1.1</sub> ИДК <sub>ОПК2.1</sub> ИДК <sub>ОПК2.2</sub>
5	Динамика магнитной решётки. Спиновые волны	Проработка учебного (теоретического) материала; выполнение индивидуальных заданий; реферат	ОПК-1, ОПК-2	ИДК <sub>ОПК1.1</sub> ИДК <sub>ОПК2.1</sub> ИДК <sub>ОПК2.2</sub>
6	Молекулярные спектры.	Проработка учебного (теоретического) материала; выполнение индивидуальных заданий; реферат	ОПК-1, ОПК-2	ИДК <sub>ОПК1.1</sub> ИДК <sub>ОПК2.1</sub> ИДК <sub>ОПК2.2</sub>
7	Модели атомных ядер.	Проработка учебного (теоретического) материала; выполнение индивидуальных заданий; реферат	ОПК-1, ОПК-2	ИДК <sub>ОПК1.1</sub> ИДК <sub>ОПК2.1</sub> ИДК <sub>ОПК2.2</sub>
8	Взаимодействие излучения с веществом.	Проработка учебного (теоретического) материала; выполнение индивидуальных заданий; реферат	ОПК-1, ОПК-2	ИДК <sub>ОПК1.1</sub> ИДК <sub>ОПК2.1</sub> ИДК <sub>ОПК2.2</sub>
9	Экспериментальные методы физики высоких энергий.	Проработка учебного (теоретического) материала; выполнение индивидуальных заданий; реферат	ОПК-1, ОПК-2	ИДК <sub>ОПК1.1</sub> ИДК <sub>ОПК2.1</sub> ИДК <sub>ОПК2.2</sub>

### 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.

#### **4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов)**

Согласно учебному плану курсовые работы (проекты) по данной дисциплине не предусмотрены.



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

### а) перечень литературы

#### основная литература:

1. Сивухин, Дмитрий Васильевич Общий курс физики [Текст] : учеб. пособие для студ. физ. спец. вузов: В 5 т. / Д. В. Сивухин. - 2-е изд., стер. - М. : Физматлит. - ISBN 5-9221-0229-х. Т.5 : Атомная и ядерная физика. - 2002. - 782 с. : ил. ; 22 см. - Указ. имен: с. 769-772. - Предм. указ.: с. 773-782. - ISBN 5-9221-0230-3. - ISBN 5-89155088-1 : 307.00 р.
2. Шпольский Э.В. Атомная физика. Том 1. Введение в атомную физику [Электронный ресурс]: учеб. – Электрон. дан. – Санкт-Петербург: Лань, 2010. – 560 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/442+>
3. Савельев И.В. Курс общей физики [Электронный ресурс]: учебное пособие: в 5 т. Т. 5: Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц / И.В. Савельев. – СПб.: Лань, 2011. – 384 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/708/#authors> +

#### дополнительная литература:

1. Вихман Э. Квантовая физика [Текст] : пер.с англ. / Э. Вихман ; Под ред.А.И.Шальникова,А.О.Вайсенберга. - 3-е изд.,испр. - М. : Наука, 1977. - 392 с. : - (Берклеевский курс физики ; т.4) Зэкз.
2. Иродов И.Е. Задачи по квантовой физике [Текст] : учеб. пособие для студ. вузов / И. Е. Иродов. - 2-е изд., испр. - М. : Лаб. Базовых Знаний, 2006. - 215 с. - (Технический университет). +
3. 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. +



### б) периодические издания

1. В мире науки
2. Журнал экспериментальной и теоретической физики
3. Известия российской академии наук. Серия физическая Инженерно-физический журнал
4. Письма в журнал экспериментальной и теоретической физики
5. Успехи физических наук – ежемесячный журнал. Электронная версия журнала: аннотации, статьи в формате pdf
6. Физика твердого тела
7. Физика и техника полупроводников

### в) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (далее – сеть «Интернет»), необходимых для освоения дисциплины

1. Электронная библиотека ЮРАЙТ: [www.biblio-online.ru](http://www.biblio-online.ru)
2. Электронно-библиотечная система ЛАНЬ: <https://e.lanbook.com>
3. Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам»: <http://window.edu.ru/window>
4. Аннотированный тематический каталог Интернет ресурсов по физике: <http://www.college.ru/>
5. Федеральный образовательный портал: [http://www.edu.ru/db/portal/sites/res\\_page.htm](http://www.edu.ru/db/portal/sites/res_page.htm)
6. Большая научная библиотека: <http://www.sci-lib.com/>
7. Естественно-научный образовательный портал: <http://www.en.edu.ru/catalogue/>
8. Учебно-образовательная физико-математическая библиотека сайта EqWorld: <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/physics/>
9. Лекции по физике для ВУЗов: <http://physics-lectures.ru/>
10. Техническая библиотека: <http://techlibrary.ru>
11. Электронная библиотека «Труды ученых ИГУ» <http://elib.library.isu.ru>

## **VI. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. Учебно-лабораторное оборудование:**

Помещения – учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных учебным планом ОПОП ВО бакалавриата, оснащены оборудованием и техническими средствами обучения. Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ФГБОУ ВО «ИГУ».

### **6.2. Программное обеспечение:**

Для проведения дисциплины имеется обеспечен необходимые комплекты лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства: Windows 10 pro; Adobe acrobat reader DC; Kaspersky AV; MS Office 2007; VisioProfessional; NetBeans; SMART NoteBook; WinDjView; XnView MP;; Access AnyLogic.

### **6.3. Технические и электронные средства:**

Аудиторные занятия проводятся в интерактивной форме с использованием мультимедийного обеспечения (ноутбук, проектор). Для обработки полученных данных на практических занятиях в лаборатории кафедры имеются компьютеры с соответствующим программным обеспечением: Windows 10 pro; Adobe acrobat reader DC; Kaspersky AV; MS Office 2007; VisioProfessional; NetBeans; SMART NoteBook; WinDjView; XnView MP;; Access AnyLogic.

Методической концепцией преподавания предусмотрено использование технических и электронных средств обучения и контроля знаний студентов: мультимедийные презентации, видеолекции, фрагменты фильмов.

#### **Материально-техническая база проведения лабораторных работ:**

1. Изучение движения заряженных частиц (компьютерное моделирование, персональный компьютер).
2. Стационарное уравнение Шредингера, частица в одномерной потенциальной яме (компьютерное моделирование, персональный компьютер).
3. Опыт Резерфорда (компьютерное моделирование, персональный компьютер).
4. Изучение простого и сложного эффектов Зеемана (газоразрядная лампа ДРШ, электромагнит, спектрограф ИСП-51, ПЗС-камера TGE-1304-U)
5. Исследование спектров поглощения и люминесценции рубина (спектрофотометр MPS-50L, лазер ЛТИПЧ-8, спектральная установка на базе НИИПФ)
6. Изучение серийных закономерностей в спектре водорода и его изотопов (гониометр ГС-5, водородная и дейтеревая лампы)
7. Изучение спектрального состава гелий-неонового лазера (компоратор, гелий-неоновый лазер, спектрограф )
8. Основы спектрального анализа (Спектральные приборы ИСП-22, ИСП-28. Генераторы дугового разряда ДГ-2 и искрового разряда ИГ-3. Микроденситометр MD-100. Стилоскоп СЛ-11. )
9. Изучение спектров атомов щелочных металлов ( монохроматор УМ-2, лампы натриевая и ртутная ДРК-120)
10. Тонкая структура спектральных линий (гониометр ГС-5, лампа натриевая)
11. Структура молекулярных спектров (спектрограф ИСП-51, ртутная лампа ДРК-120, лампа накаливания, кювета-печь с йодом).

12. Определение постоянной Стефана-Больцмана с помощью пирометра с исчезающей нитью. (Пирометр ЛОП-72, источник питания АТН-2335, источник питания постоянного тока Б5-43, Вольтметр цифровой В7-40/1).

Сетевой сервер (компьютерный класс).

Персональные компьютеры (компьютерный класс).

Учебные пособия.

Плакаты.

## **VII. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

В процессе преподавания дисциплины используются следующие методы:

- лекции;
- проведение практических занятий;
- домашние задания;
- опрос;
- индивидуальные практические задания;
- контрольные работы;
- тестирование;
- консультации преподавателя;
- самостоятельная работа студентов (изучение теоретического материала, подготовка к лабораторным занятиям, выполнение домашних работ и индивидуальных типовых расчетов, подготовка к опросу, тестированию и экзамену).

Также студентам предоставляется возможность открыто пользоваться (в том числе копировать на личные носители информации) подготовленными ведущим данную дисциплину преподавателем материалами в виде электронного комплекса сопровождения, включающего в себя:

- видеолекции;
- электронные конспекты лекций;
- электронные планы практических (семинарских) занятий;
- списки контрольных вопросов к каждой теме изучаемого курса;
- дополнительную литературу, относящуюся к изучаемой дисциплине в электронном виде

Сопровождение самостоятельной работы студентов также организовано в следующих формах:

– усвоение, дополнение и вникание в разбираемые разделы дисциплины при помощи знаний получаемых по средствам изучения рекомендуемой литературы и осуществляемое путем написания реферативных работ;

– консультации, организованные для разъяснения проблемных моментов при самостоятельном изучении тех или иных аспектов разделов усваиваемой информации в дисциплине.

Для проведения всех лекционных и практических (семинарских) занятий используются мультимедийные средства воспроизведения активного содержимого, позволяющего слушателю воспринимать особенности изучаемого материала, зачастую играющие решающую роль в понимании и восприятии, а также формировании профессиональных компетенций.

Основные образовательные технологии, используемые в учебном процессе:

– интерактивная лекция с мультимедийной системой с активным вовлечением студентов в учебный процесс и обратной связью;

– лекции с проблемным изложением;

Интерактивные образовательные технологии, используемые в аудиторных занятиях:

– технология развития критического мышления;

– лекции с проблемным изложением;

- использование средств мультимедиа;
- изучение и закрепление нового материала (интерактивная лекция, работа с наглядными пособиями, видео- и аудиоматериалами, использование вопросов,
- творческие задания;
- работа в малых группах.

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

Текущий и рубежный контроль осуществляются по контрольным вопросам по изучаемой дисциплине, по итогам выполнения контрольных работ и индивидуальных практических заданий, в форме тестовых заданий или в виде подготовленного реферата.

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

<b>№</b>	<b>Вид контроля</b>	<b>Контролируемые темы (разделы)</b>	<b>Контролируемые компетенции/ индикаторы</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
1	Устный опрос, тестирование	Тема 1. Классическая картина мира. Необходимость введения квантовых представлений. Модели атомов.	ОПК – 1 ИДК ОПК1.1 ОПК – 2 ИДК ОПК2.1 ИДК ОПК2.2
2	Устный опрос, тестирование, контрольная работа	Тема 2. Стационарное уравнение Шредингера. Спектры простейших одномерных систем.	ОПК – 1 ИДК ОПК1.1 ОПК – 2 ИДК ОПК2.1 ИДК ОПК2.2
3	Устный опрос	Тема 3. Стационарные состояния в центрально – симметричном поле.	ОПК – 1 ИДК ОПК1.1 ОПК – 2 ИДК ОПК2.1 ИДК ОПК2.2
4	Устный опрос, тестирование, контрольная работа	Тема 4. Приближенное решение стационарного уравнения Шредингера. Теория возмущений.	ОПК – 1 ИДК ОПК1.1 ОПК – 2 ИДК ОПК2.1 ИДК ОПК2.2
5	Ответы на контрольные вопросы, тестирование	Тема 5. Многоэлектронный атом.	ОПК – 1 ИДК ОПК1.1 ОПК – 2 ИДК ОПК2.1 ИДК ОПК2.2
6	Ответы на контрольные вопросы, тестирование	Тема 6. Взаимодействие квантовой системы с электромагнитным полем и понятие о квантовом электромагнитном поле.	ОПК – 1 ИДК ОПК1.1 ОПК – 2 ИДК ОПК2.1 ИДК ОПК2.2
7	Устный опрос, тестирование, контрольная работа	Тема 7. Переходы внутренних электронов в атомах. Атом в магнитном поле.	ОПК – 1 ИДК ОПК1.1 ОПК – 2 ИДК ОПК2.1 ИДК ОПК2.2
8	Ответы на контрольные вопросы, тестирование	Тема 8. Основы физики молекул.	ОПК – 1 ИДК ОПК1.1 ОПК – 2 ИДК ОПК2.1 ИДК ОПК2.2
9	Ответы на контрольные вопросы, тестирование	Тема 9. Основные этапы развития физики ядра и элементарных частиц.	ОПК – 1 ИДК ОПК1.1 ОПК – 2 ИДК ОПК2.1 ИДК ОПК2.2

10	Устный опрос, тестирование	Тема 10. Радиоактивность и модели атомных ядер.	ОПК – 1 ОПК – 2	ИДК ОПК1.1 ИДК ОПК2.1 ИДК ОПК2.2
11	Устный опрос, тестирование, контрольная работа	Тема 11. Взаимодействие ядерного излучения с веществом.	ОПК – 1 ОПК – 2	ИДК ОПК1.1 ИДК ОПК2.1 ИДК ОПК2.2
12	Устный опрос	Тема 12. Общие свойства элементарных частиц.	ОПК – 1 ОПК – 2	ИДК ОПК1.1 ИДК ОПК2.1 ИДК ОПК2.2
13	Устный опрос	Тема 13. Космические лучи и ядерная астрофизика.	ОПК – 1 ОПК – 2	ИДК ОПК1.1 ИДК ОПК2.1 ИДК ОПК2.2

### ***Демонстрационный вариант контрольной работы №1***

1. Полость объемом  $V = 1$  л заполнена тепловым излучением при температуре  $T = 1000$  К. Найти теплоемкость  $C_v$ .

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

)

точно измерить время жизни частицы можно лишь в том случае, если система живет бесконечно долго. Это не 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

)

стационарные орбиты Бора соответствуют стоячим электронным волнам де Бройля в атоме

Критерии оценивания выполнения теста.

«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

1. Каков физический смысл чисел  $m$  и  $n$  в обобщенной формуле Бальмера?
2. Каковы длины волн самых коротковолновой и длинноволновой линий серии Пашена?
3. Какова длина волны, соответствующая границе серии Бальмера?
4. Какова частота головной линии серии Лаймана?
5. Атомы водорода находятся в состоянии с  $n = 5$ . Сколько линий содержит его спектр излучения?



6. В чем состоит суть комбинационного принципа Ритца?
7. Используя комбинационный принцип, покажите на одном из примеров, как можно получить частоту для второй длинноволновой линии серии Пашена.
8. В чем заключается статистическая интерпретация волновой функции?
9. Для каких частиц справедливо уравнение Шредингера?
10. Почему уравнение Шредингера сформулировано как волновое уравнение?
11. Запишите временное и стационарное уравнения Шредингера и проанализируйте их.
12. Совершите переход от временного уравнения Шредингера к стационарному. Запишите одномерное временное и стационарное уравнения Шредингера и проанализируйте их.
13. Запишите временное и стационарное уравнения Шредингера в операторной форме и проанализируйте их.
14. Какой вывод можно сделать, сравнив стационарное уравнение Шредингера с уравнением для собственных значений и собственных функций?
15. Запишите стационарное уравнение Шредингера для водородоподобной системы. Приведите примеры водородоподобных систем.
16. 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.

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 зачету**

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. Свойства атомных ядер. Опыт Резерфорда по рассеянию  $\alpha$ -частиц. Заряд ядра. Массовое число и масса ядра. Размеры ядер. Формфактор ядра и нуклонов. Изотопы. Энергия связи ядра. Полуэмпирическая формула для энергии связи ядра.
25. Спин и магнитный момент ядра. Эксперименты по измерению магнитных моментов ядер. Ядерный магнитный резонанс.
26. Тензорный характер ядерных сил. Спиновая и спин-орбитальная зависимости ядерных сил. Зарядовая независимость ядерных сил. Обобщенный принцип Паули. Свойство насыщения ядерных сил.
27. Естественная и искусственная радиоактивность Закон радиоактивного распада. Радиоактивные ряды.  $\alpha$ -распад. Правила отбора.
28.  $\beta$ -распад. Виды  $\beta$ -распада. Энергетические условия  $\beta$ -распадов. Спектры электронов. Характеристики нейтрино. Экспериментальное доказательство существования нейтрино. Элементы теории  $\beta$ -распада.
29.  $\gamma$ -излучение ядер. Правила отбора по моменту и четности для  $\gamma$ -переходов. Эффект Мессбауэра и его применение в физике и технике.
30. Классификация моделей ядра. Капельная модель ядра. Модель ферми-газа. Физическое обоснование оболочечной структуры ядра.
31. Сильное спин-орбитальное взаимодействие. Остаточное взаимодействие. Вращательные и колебательные состояния ядер.
32. Тормозное излучение. Излучение Вавилова-Черенкова. Пробеги заряженных частиц.
33. Взаимодействие нейтронов с веществом. Тепловые и резонансные нейтроны. Элементы дозиметрии.
34. Ядерные реакции. Экспериментальные методы изучения ядерных реакций. Физические принципы работы ускорителей. Детекторы ядерных частиц.
35. Механизмы взаимодействия в мире частиц. Законы сохранения в мире элементарных частиц. Классификация взаимодействий и элементарных частиц.
36. Этапы развития Вселенной. Современные представления о структуре Вселенной. Темная материя. Темная энергия.

### ***Примеры задач на зачете***

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 билетов**

### **БИЛЕТ 1**

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

2. Свойства атомных ядер. Опыт Резерфорда по рассеянию  $\alpha$ -частиц. Заряд ядра. Массовое число и масса ядра. Размеры ядер. Формфактор ядра и нуклонов. Изотопы. Энергия связи ядра.

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. Тождественность 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. Естественная и искусственная радиоактивность Закон радиоактивного распада. Радиоактивные ряды.  $\alpha$ -распад. Правила отбора.

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.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учитывает рекомендации ПООП по направлению и профилю подготовки **03.03.03 Радиофизика**.

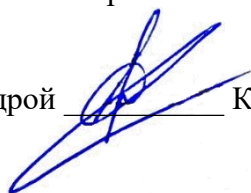
**Разработчик:**



доцент, к.ф.м.н., В.А. Семибратова

Программа рассмотрена на заседании кафедры радиофизики и радиоэлектроники «27» февраля 2023 г. протокол № 7

И.О. зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Колесник С.Н.



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