

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ  
Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Институт физики

УТВЕРЖДАЮ

Директор Института физики,  
д.ф.-м.н., профессор

С.Б. Вениг

2021 г.



Рабочая программа дисциплины

**Атомная и ядерная физика**

Направление подготовки

11.03.04 – Электроника и наноэлектроника

Профиль подготовки

Физика и технология твердотельных электронных микро- и наноструктур

Квалификация (степень)

Бакалавр

Форма обучения

очная

Саратов

2021

Статус	ФИО	Подпись	Дата
Преподаватель-разработчик	Рытик А.П.		5.10.21
Председатель НМК	Скрипаль Ан.В.		5.10.21
Заведующий кафедрой	Скрипаль Ан.В.		5.10.21
Специалист Учебного управления			

## 1. Цели освоения дисциплины «Атомная и ядерная физика»

Целями освоения дисциплины «Атомная и ядерная физика» являются:

- 1) обеспечение студентов
  - знаниями теорий физических явлений и процессов, законов атомной и ядерной физики, основных физических закономерностей, лежащих в основе фундаментальных явлений и процессов раздела «Атомная и ядерная физика»;
  - умением применять законы физики в теории и на практике;
  - представлением о фундаментальных физических опытах и их роли в развитии науки;
- 2) формирование у студентов основ естественнонаучной картины мира;
- 3) выработка у студентов навыков практического применения законов и моделей физики к решению конкретных естественнонаучных и технических проблем;
- 4) приобретение обучающимися общепрофессиональных компетенций, способствующих их социальной мобильности, востребованности на рынке труда и успешной профессиональной карьере.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина «Атомная и ядерная физика» относится к обязательной части блока Б1 «Дисциплины (модули)» и изучается студентами очной формы обучения института физики в 5 семестре. Материал дисциплины опирается на ранее приобретенные студентами знания по аналитической геометрии, линейной алгебре, векторному и тензорному анализу, теории вероятностей, математической статистике, дифференциальным уравнениям, механике, молекулярной физике, электричеству и магнетизму, оптике и используется в дальнейшем при освоении дисциплин естественно-научной направленности

## 3. Результаты обучения по дисциплине

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора	Результаты обучения
ОПК-1. Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	<b>1.1_Б.ОПК-1.</b> Понимает важность применения фундаментальных законов природы и основных физических и математических законов. <b>2.1_Б.ОПК-1.</b> Аргументированно применяет физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера. <b>3.1_Б.ОПК-1.</b> Использует знания физики и математики при решении	<b><u>Знать</u></b> фундаментальные законы физики, теоретические основы решения инженерных задач. <b><u>Уметь</u></b> применять законы физики и математические методы для решения инженерных задач. <b><u>Владеть</u></b> теоретическими подходами, информационными средствами, цифровыми сервисами для решения физических задач.

	конкретных задач инженерной деятельности.	
<b>ОПК-2.</b> Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных	<p><b>1.1_Б.ОПК-2.</b> Находит и критически анализирует информацию, необходимую для решения поставленной задачи.</p> <p><b>2.1_Б.ОПК-2.</b> Рассматривает возможные варианты решения задачи, оценивая их достоинства и недостатки.</p> <p><b>3.1_Б.ОПК-2.</b> Формулирует в рамках поставленной цели проекта совокупность взаимосвязанных задач, обеспечивающих ее достижение. Определяет ожидаемые результаты решения выделенных задач.</p> <p><b>4.1_Б.ОПК-2.</b> Аргументированно выбирает способы и средства измерений и проведения экспериментальных исследований.</p> <p><b>5.1_Б.ОПК-2.</b> Способен применять методы обработки и представления полученных данных и оценки погрешности результатов измерений.</p>	<p><b>Знать</b> принципы решения физических задач, способы решения, варианты достижения целей; способы и средства измерений и проведения экспериментальных исследований в области атомной и ядерной физики.</p> <p><b>Уметь</b> проектировать решение задачи, разбивать на алгоритмы; применять методы обработки и представления полученных данных и оценки погрешности результатов измерений.</p> <p><b>Владеть</b> навыками проектной деятельности, принципами контроля времени и результата, постановки SMART-целей.</p>

#### 4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Формы промежуточной аттестации (по семестрам)	
				Лек	Лабораторные	Практич	СРС		
					Общая трудоемкость	Из них – практическая подготовка			
1.	Введение.	5	1	2	2		2	2	Опрос.
2.	Раздел 1. Корпускулярно-волновые свойства	5	2-3	4	4		2	7	Опрос. Отчет по лабора-

	излучения и свойства фотона. Темы 1.1 – 1.4.								торным работам
3.	Раздел 2. Ядерная модель атома и теория Бора. Темы 2.1 – 2.2.	5	3-5	4	4		2	7	Опрос. Отчет по лабораторным работам
4.	Раздел 3. Излучательные переходы и принципы работы лазера. Темы 3.1 – 3.2.	5	5-7	4	4		2	7	Опрос. Отчет по лабораторным работам
5.	Раздел 4. Пространственное квантование состояний атома и спин электрона. Темы 4.1 – 4.3	5	8-9	4	4		2	7	Опрос. Отчет по лабораторным работам
6.	Раздел 5. Волновые свойства вещества. Темы 5.1 – 5.3.	5	10-11	4	4		2	7	Опрос. Отчет по лабораторным работам
7.	Раздел 6. Квантово-механическая картина строения и свойств атома. Темы 6.1 – 6.7.	5	12-14	4	4		2	5	Опрос. Отчет по лабораторным работам
8.	Раздел 7. Молекулы и молекулярные спектры. Темы 7.1 – 7.2.	5	15-16	4	4		2	7	Опрос. Отчет по лабораторным работам. Контрольная работа
9.	Раздел 8. Основы физики атомного ядра. Темы 8.1 – 8.3.	5	17	6	6		2	5	Опрос. Отчет по лабораторным работам
	<b>Итого</b>	5		<b>36</b>	<b>36</b>		<b>18</b>	<b>54</b>	
	<b>Промежуточная аттестация 36 ч</b>	5							<b>Экзамен, зачёт</b>

## 4.2 Содержание дисциплины «Атомная и ядерная физика»

**Введение** Идея атомистического воззрения на природу вещества. Атомизм взаимодействия и атомистическая структура вещества. Атом, взаимодействие электронов и ядер, взаимодействие атомов, процессы излучения как объекты атомной физики. Дискретность состояний атомных систем, вероятностный характер изменения состояний, волновой характер движения в пространстве. Единая атомистическая природа видов физического взаимодействия. Характерные масштабы величин в атомной физике.

### Раздел 1 Корпускулярно-волновые свойства излучения и свойства фотона

- Тема 1.1** Законы теплового излучения и понятие кванта энергии. Основные характеристики поля излучения и излучающих тел: спектральная плотность излучения, испускательная и поглощательная способность и единицы их измерения. Связь между испускательной способностью и плотностью энергии направленного и изотропного излучения. Связь между спектральными плотностями в шкале длин волн и шкале частот. Свойство равновесности теплового излучения. Закон Кирхгофа для теплового излучения. Понятие абсолютно черного тела. Закон Стефана-Больцмана. Закон смещения Вина. Формула спектрального распределения Вина. Формула Релея-Джинса Формула Планка и понятие кванта энергии.
- Тема 1.2** Законы фотоэлектрического эффекта и понятие кванта излучения. Основные экспериментальные законы фотоэффекта, недостаточность классической физики для их объяснения. Гипотеза о квантах излучения, уравнение Эйнштейна для фотоэффекта. Многофотонный фотоэффект. Квантовый выход.
- Тема 1.3** Эффект Комптона и законы сохранения при рассеянии фотонов. Эффект Комптона при рассеянии рентгеновских лучей: основные закономерности. Недостаточность классической теории для объяснения эффекта и квантовая трактовка. Законы сохранения энергии и импульса в процессах с участием фотонов.
- Тема 1.4** Флуктуации энергии излучения и корпускулярно-волновая природа света. Волновая и корпускулярная компоненты флуктуации энергии излучения. Двойственные свойства света.
- Раздел 2** **Ядерная модель атома и теория Бора**
- Тема 2.1** Экспериментальное обоснование ядерной модели атома. Ранние модели атома. Экспериментальные схемы исследований строения атома. Опыты Резерфорда-Гейгера по рассеянию альфа-частиц. Оценка размеров ядра. Сечение рассеяния. Формула Резерфорда и ее экспериментальная проверка. Ядерная модель атома и несоответствие ей классических представлений.
- Тема 2.2** Теория атома Бора и ее опытное подтверждение. Проблема закономерностей в спектрах излучения атомов. Комбинационный принцип Ритца. Спектральные серии атома водорода. Постулаты Бора о дискретных стационарных состояниях атома и переходах между ними. Боровское условие квантования и его толкование в рамках принципа соответствия. Уровни энергии стационарных состояний атома водорода. Объяснение спектральных серий атома водорода. Изотопическое смещение спектральных линий. Опыты Франка-Герца как прямое наблюдение стационарных состояний в атоме. Способы возбуждения атомов, потенциал ионизации.
- Раздел 3** **Излучательные переходы и принципы работы лазера**
- Тема 3.1** Теория спонтанных и вынужденных переходов Эйнштейна. Понятие о спонтанных и вынужденных переходах. Населенность энергетических уровней. Вероятности переходов. Вывод формулы Планка по Эйнштейну.
- Тема 3.2** Принципы оптического усиления и генерации. Инверсная населенность и отрицательный коэффициент поглощения. Принцип работы лазера.
- Раздел 4** **Пространственное квантование состояний атома и спин электрона**
- Тема 4.1** Обобщенные правила квантования Эренфеста-Бора-Зоммерфельда и вырожденные состояния. Обобщение правила квантования Бора на некруговые орбиты. Адиабатические инварианты. Условия Зоммерфельда квантования эллиптических орбит. Квантовые числа стационарных эллиптических орбит, вырождение энергетических уровней.
- Тема 4.2** Пространственное квантование и магнетон Бора. Квантование пространственных ориентаций эллиптических орбит. Орбитальный магнитный момент

- и гиромагнитное отношение. Магнетон Бора. Опыт Штерна-Герлаха по обнаружению магнитного момента атома и пространственного квантования. Недостаточность правил квантования Бора-Зоммерфельда.
- Тема 4.3** Спин электрона. Аномальное гиромагнитное отношение. Магнитомеханические опыты Барнета, Эйнштейна-Де Гааза. Проблема тонкой структуры спектральных линий атомов щелочных металлов. Понятие спина электрона. Невозможность объяснения спина с помощью классических представлений и квантово-релятивистская природа спина.
- Раздел 5** **Волновые свойства вещества**
- Тема 5.1** Волновая гипотеза ДеБройля и опыты по дифракции и интерференции частиц вещества. Оптико-механическая аналогия между частицей в силовом поле и лучом света в среде. Волна Де Бройля, соотношения Де Бройля для частоты и длины волны. Вероятностный смысл волновой функции частицы. Объяснение боровского условия квантования с помощью волновых свойств электрона в атоме. Принцип электронной микроскопии.
- Тема 5.2** Основные принципы квантовой механики частицы и уравнение Шредингера. Принципы суперпозиции и принцип неопределенности. Соотношения неопределенности для координаты и импульса, его физическое истолкование. Соотношение неопределенности для энергии и времени, его физическое истолкование.
- Тема 5.3** Неклассические свойства движения микрочастицы. Квантование энергетических уровней связанной частицы. Туннельный эффект. Эффект Рамзауэра-Таундсена. Туннельная микроскопия.
- Раздел 6** **Квантово-механическая картина строения и свойств атома**
- Тема 6.1** Волновые функции и квантовые числа стационарных состояний атома водорода. Результаты решения уравнения Шредингера для атома водорода. Волновые функции и электронные облака в атоме водорода. Квантовые числа и форма электронных облаков. Физические величины, определяющие стационарные состояния электрона в атоме водорода.
- Тема 6.2** Принцип запрета Паули и электронные конфигурации многоэлектронного атома. Принцип неразличимости тождественных частиц и принцип запрета Паули. Электронные оболочки и слои. Эквивалентные электроны и электронные конфигурации.
- Тема 6.3** Периодическая система элементов Менделеева. Построение периодической системы элементов с помощью принципов наименьшей энергии, правила Клечковского, принципа Паули. Периодичность ионизационных потенциалов и атомных объемов.
- Тема 6.4** Систематизация состояний многоэлектронного атома. Электрическое и спин-орбитальное взаимодействия в многоэлектронном атоме. Векторная модель атома. Типы связи электронов в атоме. Правила Хунда, их физический смысл. Правила отбора для излучательных переходов
- Тема 6.5** Схемы атомарных уровней энергии и излучательных переходов. Уровни энергии и оптический спектр атома натрия. Уровни энергии и оптический спектр атома гелия.
- Тема 6.6** Атом во внешнем магнитном поле. Эффект Зеемана расщепления спектральных линий атома в магнитном поле и объяснение простого эффекта Зеемана с позиций классической электронной теории. Сложный эффект Зеемана. Расщепление энергетических уровней атома в магнитном поле. Гиромагнитный множитель Ланде. Эффект Пашена-Бака. Магнитный резонанс и его применения. Принцип магнитно-резонансной томографии.
- Тема 6.7** Испускание и поглощение рентгеновских лучей. Методы получения и исследования рентгеновских лучей. Сплошной и характеристический рентгенов-

ские спектры, их свойства и происхождение. Рентгеновские серии, закон Мозли и его применение. Построение схемы рентгеновских уровней энергии и переходов. Эффект Оже. Сравнение рентгеновских и оптических спектров поглощения. Зависимость коэффициента ослабления рентгеновских лучей от атомного номера, принцип рентгеноскопии.

## Раздел 7

### Молекулы и молекулярные спектры

#### Тема 7.1

Основные типы химической и межмолекулярной связи. Причины возникновения межатомных связей и их классификация. Ионная, ковалентная химические связи. Гибридизация электронных облаков. Строение молекул кислорода, воды и простейших углеводородов. Ориентационная и дисперсионная межмолекулярные связи. Ионные, ковалентные, металлические и молекулярные кристаллы.

#### Тема 7.2

Молекулярные уровни энергии и спектры. Электронное, колебательное и вращательное движения в молекулах, сравнительные порядки их энергии. Потенциальные кривые для колебательного движения ядер, колебательные уровни энергии двухатомных молекул. Вращательные уровни энергии. Колебательно-вращательные и электронно-колебательно-вращательные спектры. Комбинационное рассеяние света на молекулах.

## Раздел 8

### Основы физики атомного ядра

#### Тема 8.1

Строение и свойства ядер. Структура атомного ядра. Размеры ядра. Основные свойства протонов и нейтронов. Ядро как совокупность протонов и нейтронов. Нуклон. Стабильность ядра. Изотопы, изобары, изотоны, изомеры. Энергия связи ядер. Дефект масс. Насыщение ядерных сил. Спин ядра. Магнитный момент ядра. Понятие о сверхтонкой структуре спектральных линий.

#### Тема 8.2

Радиоактивность. Явление радиоактивности. Закон радиоактивного распада. Период полураспада. Гамма - распад. Бета - распад. Энергетический спектр электронов. Роль нейтрино. Альфа - распад. Спектр энергии альфа - частиц. Закон Гейгера-Нэттола. Туннельный эффект.

#### Тема 8.3

Ядерные реакции. Ядерные реакции. Деление тяжелых ядер. Цепная реакция. Возможность получения энергии за счет реакции синтеза легких ядер. Проблема управляемого термоядерного синтеза.

### Примерная тематика практических занятий (семинаров)

	Тема	Время в часах	План
1	Основы физики ионизирующих излучений	4	Рентгеновское излучение, тормозное и характеристическое. Комптон-эффект. Рассеяние заряженных частиц, формула Резерфорда. Эффективные сечения
2	Механизмы взаимодействия проникающих излучений с веществом.	4	Прохождение заряженных частиц через вещество. Прохождение рентгеновских и $\gamma$ -квантов через вещество.
3	Источники и методы регистрации проникающих излучений	4	Счетчик Гейгера-Мюллера. Ускорители заряженных частиц. Методы регистрации проникающих излучений.
4	Основы дозиметрии и защиты от излучения	4	Теория мишени. Вероятностные и физические модели. Качество излучения. Эффективная и эквивалентная дозы. Метрология и безопасность при использовании ионизирующих излучений.
5	Опыт Эйнштейна-Хааза.	2	Гипотеза, лежащая в основе эксперимента. Ме-

			тодика исследований.
	Итого	18	

## 5. Образовательные технологии, применяемые при освоении дисциплины

В преподавании дисциплины «Атомная и ядерная физика» используются следующие образовательные технологии:

- информационно-коммуникационные технологии;
- проблемное обучение;
- творческие задания;

дискуссии на заданную тему.

Лекционные занятия проводятся в основном в традиционной форме. При проведении части лекционных занятий используется ПК и мультимедийный проектор.

Ежегодно студентам рекомендуется посещение и участие в "Ежегодной Всероссийской научной школе-семинаре «Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине»".

**Практические занятия** могут проводиться в форме коллоквиума или научной конференции, с защитой рефератов, презентациями, подготовленными самими студентами и дискуссиями по представленным темам. Их основной задачей является закрепление и углубление знаний, полученных на лекциях. Студенты осуществляют самостоятельную подготовку к практическим занятиям в соответствии с предоставленными им методическими рекомендациями и на основе списка литературы.

На некоторых занятиях предполагается использование компьютера, мультимедийного оборудования. Используется активная форма проведения семинаров. Задачи и упражнения решаются одновременно несколькими способами, проводится анализ и сравнение полученных результатов, обсуждаются достоинства и недостатки различных подходов и методов.

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах, определяется главной целью (миссией) программы, особенностью контингента обучающихся и содержанием конкретных дисциплин, и в целом в учебном процессе они должны составлять не менее 20 академических часов.

### **Условия обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья:**

- предоставление инвалидам по зрению или слабовидящим возможностей использовать крупноформатные наглядные материалы;
- организация коллективных занятий в студенческих группах с целью оказания помощи в получении информации инвалидам и лицам с ограниченными возможностями по здоровью;
- проведение индивидуальных коррекционных консультаций для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья;
- использование индивидуальных графиков обучения;
- использование дистанционных образовательных технологий.



### **Перечень лабораторных работ**

1. Лабораторная работа №1. Измерение яркостной температуры
2. Лабораторная работа №2. Определение постоянной Планка
3. Лабораторная работа №3. Эффект Комптона
4. Лабораторная работа №4. Опыт Резерфорда
5. Лабораторная работа №5. Опыт Франка и Герца
6. Лабораторная работа №6. Газовый лазер – 2.
7. Лабораторная работа №7. Эффект Рамзауэра.
8. Лабораторная работа №8. Эффект Зеемана
9. Лабораторная работа №9. Определение ширины запрещенной зоны полупроводников по краю собственного поглощения
10. Лабораторная работа №10. Принцип действия циклотрона и бетатрона

### **6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

В преподавании дисциплины «Атомная и ядерная физика» предполагается:

- использование Интернет-ресурсов: информационных порталов, форумов, систем дистанционного обучения,
- изучение учебной и периодической специализированной литературы,
- личные и online-консультации преподавателей.

В качестве оценочных средств для текущего контроля успеваемости используются:

- устный опрос,
- отчёты по лабораторным занятиям,
- рефераты.

Самостоятельная работа студентов по дисциплине проводится в течение всего периода изучения и заключается в чтении и изучении литературы, подготовке к лекциям, лабораторным и практическим занятиям, к контрольным работам, в выполнении заданий лектора.

Рекомендуется:

- для качественного усвоения материала лекций разбирать вопросы, изложенные в каждой очередной лекции, до следующей, по непонятым деталям консультироваться у лектора, читать соответствующую литературу;
- при подготовке к выполнению и отчетам по лабораторным работам тщательно изучать описание работы, задавать уточняющие вопросы преподавателю и дежурному инженеру, иметь отдельную тетрадь по практикуму, для выполнения заданий и оформления отчетов;
- при подготовке к практическим занятиям пользоваться рекомендациями преподавателя, готовить краткий конспект по вопросам темы, изучать литературу по теме занятия;

- задания, которые даются лектором во время лекции по отдельным вопросам, обязательны для выполнения, и качество их выполнения будет проверяться во время экзамена.

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена и зачёта ( 5 семестр).

### **Примерные темы рефератов и теоретических заданий для самостоятельной работы студентов**

1. Тепловое излучение реальных тел. Принцип действия тепловизора.
2. Формула Планка и спектральное распределения интенсивности излучения Солнца. Измерение мощности излучения Солнца.
3. Распределение энергии в спектре излучения абсолютно черного тела и возможность измерения СВЧ мощности в абсолютных единицах.
4. Фотоэлектрический эффект. Фотодиоды и фотосопротивления. Проблема быстрого действия фотодетекторов и ограничение скорости передачи информации в оптических линиях связи.
5. Эффект Комптона при рассеянии рентгеновских лучей на свободных электронах. Лазеры на свободных электронах.
6. Флуктуации энергии излучения и корпускулярно-волновая природа света. Статистические свойства излучения света. Звездный интерферометр. Опыты Брауна и Твисса.
7. Энергия одиночных фотонов и проблемы обнаружению дискретности световых потоков.
8. Спектры излучения атомов в газовом разряде и эффект Доплера.
9. Спектр излучения атома водорода и длина когерентности. .
10. Лазерный эталон метра.
11. Спонтанные и вынужденные излучательные переходы в атомах и молекулах.
12. Инверсная населенность в вырожденных полупроводниках и устройство лазерного диода.
13. Лазер как оптический генератор Ван-дер Поля. Временная и пространственная когерентность лазерного излучения.
14. Ядерный магнетон Бора и принцип и устройство магнито-резонансного томографа.
15. Туннельный эффект и принцип работы туннельного микроскопа.
16. Волновые свойства вещества и квантово-размерные полупроводниковые структуры.
17. Соотношения неопределенности для координаты и импульса, для энергии и времени и их экспериментальное наблюдение.
18. Принцип запрета Паули и структура энергетических уровней в полупроводниках.
19. Векторная модель атома. Типы связей моментов электронов в атоме и экспериментальное наблюдение фактора Ланде.
20. Правила отбора для излучательных переходов и метастабильные состо-

яния.

21. Получение инверсии в гелий-неоновом лазере и коэффициент усиления.
22. Эффект Зеемана расщепления спектральных линий атома в магнитном поле. использование для измерения напряженности магнитного поля.
23. Магнитный резонанс, условия его наблюдения. Применения магнитного резонанса в медицине и технологии.
24. Дифракция рентгеновских лучей для диагностики структуры кристаллов.
25. Рентгеновские серии, закон Мозли и его применение для элементного анализа в электронном микроскопе.
26. Комбинационное рассеяние света на молекулах и лазерный конфокальный томограф.

### **6.3 Контрольные вопросы для проведения ежемесячного текущего контроля**

Текущий контроль осуществляется в ходе учебного процесса и консультирования студентов по результатам выполнения самостоятельных работ. Основными формами текущего контроля являются:

- обсуждение вынесенных в план самостоятельной работы вопросов и задач;
- тесты;
- опрос.

- 1) Сформулируйте законы излучения абсолютно черного тела.
- 2) Объясните ограниченность формул Вина и Релея-Джинса.
- 3) Выведите формула Планка и обоснуйте модель.
- 3) Обоснуйте недостаточность классической физики для объяснения фотоэффекта. Гипотеза о фотоне. Запишите уравнение Эйнштейна для фотоэффекта.
- 4) Объясните эффект Комптона при рассеянии рентгеновских лучей и получите формулу из законы сохранения энергии и импульса в процессах с участием фотонов.
- 5) Объясните опыты Вавилова по обнаружению дискретности световых потоков.
- 6) Объясните опыты Резерфорда по рассеянию альфа-частиц и обоснуйте ядерная модель атома.
- 7) Напишите формулу Бальмера. Физический смысл постоянной Ридберга..
- 8) Нарисуйте энергетический спектр атома водорода и объясните его связь с теорией Бора.
- 9) Природа изотопического смещения спектральных линий.
- 10) Объясните спектральные закономерности в излучении атомов щелочных металлов

- 11) Объясните опыты Франка и Герца при изменении температуры паров ртути.
- 12) В чем отличие спонтанные и вынужденные излучательные переходы. Выведите формулу Планка по Эйнштейну.
- 13) Что такое инверсная населенность и отрицательная температура.
- 14) Объясните когерентные свойства лазерного излучения.
- 15) Объясните условия Зоммерфельда для квантования эллиптических орбит.
- 16) Объясните опыт Штерна-Герлаха по обнаружению магнитного момента атома и пространственного квантования.
- 17) Физический смысл спин-орбитального взаимодействия.
- 18) Что позволяет определить временное и стационарное уравнения Шредингера.
- 19) Физический смысл туннельного эффекта, как устроен туннельный микроскоп.
- 20) Напишите уравнение Шредингера для атома водорода.
- 21) Расскажите об опыты по интерференции и дифракции электронов и молекулярных пучков. Физический смысл волновой функции.
- 22) Объясните физический смысл соотношения неопределенности для координаты и импульса, для энергии и времени.
- 23) Число возможных электронных конфигурации при заданном значении главного квантового числа.
- 24) Объясните периодическую систему элементов Менделеева
- 25) Какие существуют типы связей моментов электронов в атоме.
- 26) Правила Хунда, их физический смысл.
- 27) Объясните правила отбора для излучательных переходов.
- 28) Что такое фактор Ланде. Простой и сложный эффект Зеемана.
- 29) В чем отличие электронного и ядерного магнитного резонанса,
- 30) В чем особенности сплошного и характеристический рентгеновских спектров.
- 31) Объясните закон Мозли.
- 32) В какой спектральной области лежат вращательные, колебательные и электронные спектры молекул.
- 33) Особенности ИК спектроскопии и спектроскопии комбинационного рассеяния света на молекулах.
- 34) Структура атомного ядра. Основные свойства протонов и нейтронов.
- 35) Энергия связи ядер. Дефект масс.
- 36) Явление радиоактивности. Закон радиоактивного распада. Период полураспада.
- 37) Альфа, бета и гамма - распад.
- 38) Ядерные реакции. Деление тяжелых и синтез легких ядер.

### **Задания для решения на семинарах**

**Задание №1.** Как изменится спектральное распределение испускательной способности абсолютно черного тела при увеличении его температуры в 2 раза?

а) Длина волны максимума распределения:

- уменьшится в 2 раза, 4 раза, 8 раз, 16 раз, 32 раза;
- увеличится в 2 раза, 4 раза, 8 раз, 16 раз, 32 раза.

б) Испускательная способность в максимуме: увеличится в 2 раза, 4 раза, 8 раз, 16 раз, 32 раза.

в) интегральная испускательная способность: увеличится в 2 раза, 4 раза, 8 раз, 16 раз, 32 раза.

**Задание №2.** Во сколько раз изменится масса фотона при увеличении его длины волны в 2 раза?

а) не изменится;

б) уменьшится в 2 раза, 4 раза;

в) увеличится в 2 раза, 4 раза.

**Задание №3.** Импульс фотона меньше импульса молекулы водорода при комнатной температуре в  $10^3$  раз. Во сколько раз нужно изменить длину волны фотона, чтобы импульсы стали равными?.

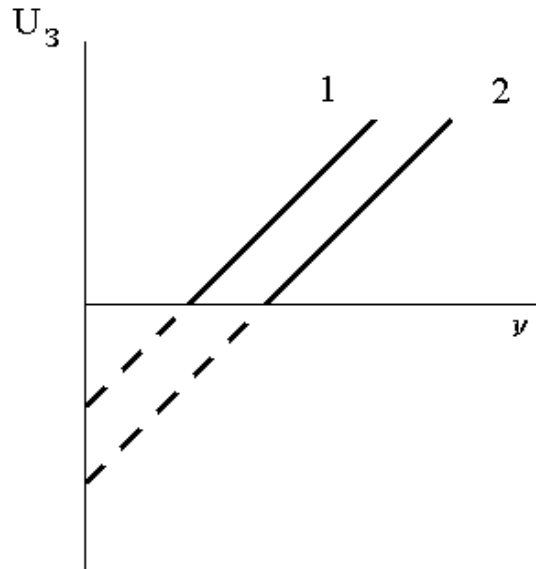
а) уменьшить в 10 раз,  $10^2$  раз,  $10^3$  раз,  $10^4$  раз;

б) увеличить в 10 раз,  $10^2$  раз,  $10^3$  раз,  $10^4$  раз.

**Задание №4.** Параллельный пучок света падает по нормали на зачерненную плоскую поверхность, производя давление  $P$ . При замене поверхности на зеркальную давление света не изменяется, если угол падения (отсчитывается от нормали) будет равен ...

$0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ .

**Задание №5.** На рисунке представлены две зависимости задерживающего напряжения  $U_z$  от частоты  $\nu$  падающего света для внешнего фотоэффекта.



Укажите верные утверждения.

- а) С помощью этих зависимостей можно определить значение постоянной Планка.
- б)  $A_2 < A_1$ , где  $A_1$  и  $A_2$  – значения работы выхода электронов из соответствующего металла.
- в) Зависимости получены для двух различных металлов.

**Задание №6.** Красная граница при двухфотонном фотоэффекте равна  $\lambda_0$ . При  $n$ -фотонном фотоэффекте на этой длине волны энергия вылетающего электрона равна работе выхода электрона из металла. При каком  $n$  это возможно?

$n = 3, 4, 5, 6$ .

**Задание №7.** При каком угле наблюдения изменение длины волны при эффекте Комптона равно комптоновской длине:

$\varphi = 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ$ ?

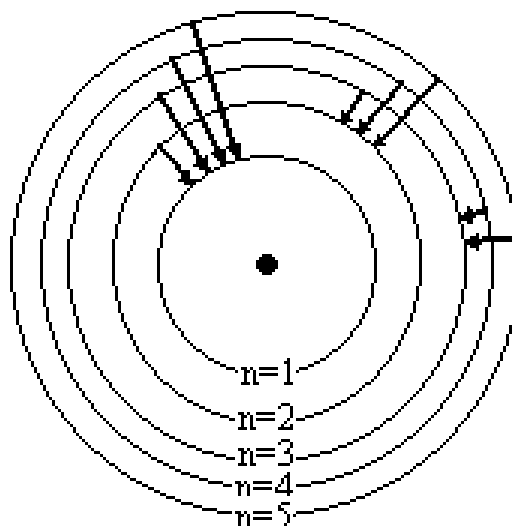
**Задание №8.** Во сколько раз отличаются максимальные изменения длины волны при рассеянии рентгеновского и  $\gamma$ -излучения на свободном протоне?

1, 2, 10, 1000.

**Задание №9.** Во сколько раз изменится число рассеянных частиц в опытах Резерфорда при изменении угла рассеяния от  $\theta_1 = 60^\circ$  до  $\theta_2 = 120^\circ$ ?

2, 4, 9, 16.

**Задание №10.** На рисунке изображены стационарные орбиты атома водорода согласно модели Бора, а также условно изображены переходы электрона с одной стационарной орбиты на другую, сопровождающиеся излучением кванта энергии. В ультрафиолетовой области спектра эти переходы дают серию Лаймана, в видимой – серию Бальмера, в инфракрасной – серию Пашена.



Какому из указанных переходов соответствует максимальная частота?

- а)  $n = 5 \rightarrow n = 3$ ;
- б)  $n = 2 \rightarrow n = 1$ ;
- в)  $n = 3 \rightarrow n = 2$ ;
- г)  $n = 5 \rightarrow n = 1$ .

**Задание №11.** Атомарный водород возбуждается на пятый энергетический уровень. Определить, сколько линий испускает водород.

1, 4, 8, 10, 15.

**Задание №12.** Будет ли атомарный водород поглощать излучение частоты  $\nu = 2Rc$ , где  $R$  – постоянная Ридберга,  $c$  – скорость света в вакууме?

Да, нет.

**Задание №13.** Энергия покоящегося электрона равна  $m_0c^2$ . Во сколько раз его кинетическая энергия больше энергии покоя, если его дебройлевская длина равна комптоновской?

$$\sqrt{2} - 1, \sqrt{2}, \sqrt{2} + 1.$$

**Задание №14.** Если протон и нейтрон движутся с одинаковыми скоростями, то отношение их волн де Бройля  $\lambda_p / \lambda_n$  равно

$$1, 2, 1/2, 4.$$

**Задание №15.** Сколько дебройлевских волн укладывается на стационарной орбите с  $n = 4$ ?

$$2, 4, 8, 16.$$

**Задание №16.** Атом испустил фотон за время  $\tau = 10^{-8}$  сек. Оценить неопределенность  $\Delta x$ , с которой можно оценить координату фотона в направлении движения.

$$3 \text{ мкм}, 3 \text{ мм}, 3 \text{ см}, 3 \text{ м}.$$

**Задание №17.** Найти эффективную глубину  $x_{\text{эфф}}$  проникновения частицы энергией  $E$  и массой  $m$  под прямоугольный барьер высотой  $U_0$ . Эффективная глубина – расстояние от границы барьера до точки, в которой плотность вероятности нахождения частицы уменьшилась в  $e$  раз. Положить

$$k^2 = \frac{2m}{\hbar^2}(U_0 - E).$$

$$x_{\text{эфф}} = \frac{1}{k}, \frac{1}{2k}, \frac{1}{4k}, \frac{1}{8k}.$$

**Задание №18.** Волновая функция частицы в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками шириной  $L$  имеет вид:  $\psi = A \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right)$ . Величина импульса этой частицы в основном состоянии равна:

$$\frac{3\pi\hbar}{2L}, \frac{2\pi\hbar}{3L}, \frac{\pi\hbar}{L}, \frac{\pi\hbar}{2L}.$$

**Задание №19.** Сколько спектральных линий возникает при переходе атома лития в основное состояние из состояния  $3p^2$ ?

$$4, 6, 8, 10.$$



**Задание №20.** Определить возможную мультиплетность термина  $D_{3/2}$ .

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10.

**Задание №21.** Спиновый механический момент двухэлектронной системы определяется квантовым числом  $S = 1$ . Найти угол между спиновыми моментами двух электронов.

$$\cos \varphi = \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{\sqrt{3}}{2}.$$

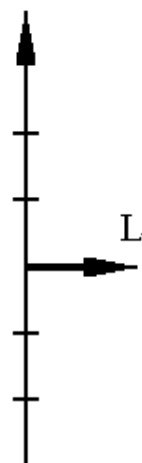
**Задание №22.** Найти число электронов в атомах, у которых заполнены: К-оболочка, L-оболочка, 3s – подоболочка, 3p – наполовину.

$N = 15, 17, 19, 21.$

**Задание №23.** Начиная с какого элемента появляется рентгеновская L-серия?

$Z = 10, 11, 12, 13.$

**Задание №24.** На рисунке приведена одна из возможных ориентаций момента импульса электрона в p-состоянии. Какие еще значения может принимать проекция момента импульса на направление z внешнего магнитного поля?



$-2\hbar, -\hbar, \hbar, 2\hbar.$

**Задание №25.** Вычислить магнитный момент  $\mu$  атома водорода в основном состоянии.

$$\mu = \mu_B, \sqrt{2} \mu_B, \sqrt{3} \mu_B, 2\mu_B \quad (\mu_B \text{ магнетон Бора}).$$

**Задание №26.** Какой эффект Зеемана обнаруживается в слабом магнитном поле спектральной линии  ${}^5I_5 \rightarrow {}^5H_4$ ?

Простой, сложный.

**Задание №27.** На сколько компонентов расщепится при проведении опыта Штерна-Герлаха пучок атомов водорода?

2, 3, 4, 5, 6, 7.

#### **6.4 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

1. Тепловое излучение. Свойства теплового излучения. Абсолютно черное тело. Законы излучения абсолютно черного тела.
2. Распределение энергии в спектре излучения абсолютно черного тела. Формула Планка и понятие кванта энергии. Объяснение ограниченности формул Вина и Релея-Джинса как предельных случаев для формулы Планка.
3. Фотоэлектрический эффект. Недостаточность классической физики для объяснения фотоэффекта. Гипотеза о фотоне. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта, его экспериментальное подтверждение.
4. Эффект Комптона при рассеянии рентгеновских лучей. Законы сохранения энергии и импульса в процессах с участием фотонов. Свойства фотонов. Электроны отдачи и их энергия.
5. Флуктуации энергии излучения и корпускулярно-волновая природа света. Опыты Вавилова по обнаружению дискретности световых потоков.
6. Опыты Резерфорда по рассеянию альфа-частиц. Ядерная модель атома. Формула Резерфорда и ее экспериментальное подтверждение.
7. Опытные закономерности в спектрах излучения атомов. Комбинационный принцип Ритца. Теория Бора.
8. Закономерности в спектрах излучения атома водорода и водородоподобных ионов. Объяснение этих закономерностей.
9. Изотопическое смещение спектральных линий.
10. Спектры атомов щелочных металлов. Объяснение спектральных закономерностей.
11. Уровни энергии и способы их возбуждения. Опыты Франка и Герца.
12. Спонтанные и вынужденные излучательные переходы. Населенность энергетических уровней. Вероятности переходов. Вывод формулы Планка по

Эйнштейну.

13. Инверсная населенность и отрицательный коэффициент поглощения. Способы создания инверсной населенности.

14. Оптические квантовые генераторы (лазеры). Принципы работы лазеров. Свойства лазерного излучения.

15. Обобщение правил квантования Бора на некруговые орбиты. Условия Зоммерфельда квантования эллиптических орбит. Квантовые числа стационарных эллиптических орбит, вырождение энергетических уровней.

16. Квантование пространственных ориентаций эллиптических орбит. Орбитальный магнитный момент и гиромангнитное отношение. Магнетон Бора. Опыт Штерна-Герлаха по обнаружению магнитного момента атома и пространственного квантования.

17. Спин электрона. Спин-орбитальное взаимодействие. Тонкая структура уровней энергии и спектральных линий щелочных металлов.

18. Временное и стационарное уравнения Шредингера. Квантование состояний и энергии связанной частицы на примере частицы в одномерном потенциальном ящике.

19. Туннельный эффект, примеры его проявления и использования.

20. Уравнение Шредингера для атома водорода. Волновые функции и электронные облака в атоме водорода. Описание состояния электрона в атоме с помощью квантовых чисел. Электронные облака и слои.

21. Волновые свойства вещества. опыты по интерференции и дифракции электронов и молекулярных пучков. Корпускулярно-волновая гипотеза де Бройля. Волновая функция, ее физическая интерпретация.

22. Принципы суперпозиции и принцип неопределенности. Соотношения неопределенности для координаты и импульса, для энергии и времени, их физическое истолкование.

23. Принцип неразличимости тождественных частиц и принцип запрета Паули. Электронные оболочки и слои в многоэлектронном атоме. Эквивалентные электроны и электронные конфигурации.

24. Периодическая система элементов Менделеева, физическое объяснение периодического закона.

25. Влияние энергетического взаимодействия и спин-орбитального взаимодействия на энергию атома. Векторная модель атома. Типы связей моментов электронов в атоме.

26. Правила Хунда, их физический смысл.

27. Правила отбора для излучательных переходов.

28. Уровни энергии и оптический спектр атома натрия.

29. Уровни энергии и оптический спектр атома гелия. Ортогелий и парагелий.

30. Схема переходов в гелий-неоновом лазере.

31. Эффект Зеемана расщепления спектральных линий атома в магнитном по-

ле. Фактор Ланде. Простой и сложный эффект Зеемана. Эффект Пашена-Бака.

32.Магнитный резонанс, условия его наблюдения. Применения магнитного резонанса.

33.Сплошной и характеристический рентгеновские спектры, их свойства и происхождение.

34.Рентгеновские серии, закон Мозли и его применение. Построение схемы рентгеновских уровней энергии и переходов.

35.Сравнение рентгеновских и оптических спектров поглощения. Зависимость коэффициента ослабления рентгеновских лучей от атомного номера, принцип рентгеноскопии.

36.Причины возникновения межатомных связей и их классификация. Ионная, ковалентная и металлическая химические связи. Гибридизация электронных облаков.

37.Виды движения в молекуле. Вращательные, колебательные и электронные уровни энергии молекул, переходы между уровнями энергии.

38.Спектры молекул и молекулярные константы.

39.Комбинационное рассеяние света на молекулах.

40.Основные типы и свойства межмолекулярной связи.

41.Структура атомного ядра. Размеры ядра. Основные свойства протонов и нейтронов.

42.Энергия связи ядер. Дефект масс.

43.Ядерные силы, их основные свойства.

44.Спин ядра. Магнитный момент ядра. Понятие о сверхтонкой структуре спектральных линий.

45.Явление радиоактивности. Закон радиоактивного распада. Период полураспада.

46.Гамма - распад.

47.Бета - распад. Энергетический спектр электронов. Роль нейтрино.

48.Альфа - распад. Спектр энергии альфа - частиц. Закон Гейгера-Нэттола.

49.Ядерные реакции. Деление тяжелых ядер. Цепная реакция. Возможность получения энергии за счет реакции синтеза легких ядер.

## 7. Данные для учета успеваемости студентов в БАРС

### 7.1 Учебный рейтинг по дисциплине «Атомная и ядерная физика» при проведении промежуточной аттестации в форме экзамена

Таблица 1.1 Таблица максимальных баллов по видам учебной деятельности при проведении промежуточной аттестации в форме экзамена

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Семестр	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Самостоятельная работа	Автоматизированное тестирование	Другие виды учебной деятельности	Промежуточная аттестация	Итого
5	10	0	30	20	0	10	30	100

#### **Программа оценивания учебной деятельности студента 5 семестр**

##### **Лекции**

Посещаемость, опрос, активность и др. – от 0 до 10 баллов.

##### **Лабораторные занятия**

Не предусмотрено.

##### **Практические занятия**

Посещаемость, опрос, активность и др. – от 0 до 30 баллов.

##### **Самостоятельная работа**

Качественные конспекты лекций, работа с дополнительной учебной литературой – от 0 до 20 баллов.

Критерий оценки:

- при 95% посещаемости и регулярном выполнении заданий теоретического характера в виде рефератов или конспектов отдельных параграфов (разделов) соответствующей учебной литературы, при полностью правильном и своевременном выполнении студентом домашних заданий – 20 баллов;
- при частично правильном выполнении (правильно выполненных заданий – не менее 80%) – 15 баллов;
- при частично правильном выполнении (правильно выполненных заданий – не менее 65%) – 10 баллов;
- при частично правильном выполнении (правильно выполненных заданий – не менее 50%) – 5 баллов;
- в остальных случаях – 0 баллов.

### **Автоматизированное тестирование**

Не предусмотрено.

### **Другие виды учебной деятельности**

Контрольная работа – от 0 до 10 баллов.

### **Промежуточная аттестация (экзамен)**

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена (5 семестр). Во время экзамена студент должен дать развернутый ответ на вопросы, изложенные в билете. Преподаватель вправе задавать дополнительные вопросы по всему изучаемому курсу.

При проведении промежуточной аттестации  
ответ на «отлично» оценивается от – 21 до 30 баллов;  
ответ на «хорошо» оценивается от – 11 до 20 баллов;  
ответ на «удовлетворительно» оценивается от – 6 до 10 баллов;  
ответ на «неудовлетворительно» оценивается от 0 до 5 баллов.

Таким образом, максимально возможная сумма баллов за все виды учебной деятельности студента за 5 семестр по дисциплине «Атомная и ядерная физика» составляет 100 баллов.

Таблица 2.1 Таблица пересчета полученной студентом суммы баллов по дисциплине «Атомная и ядерная физика» в оценку (экзамен):

90-100	отлично
70-89 баллов	хорошо
50-69 баллов	удовлетворительно
меньше 50 баллов	неудовлетворительно

Текущие индивидуально набранные студентами баллы доводятся до их сведения 2 раза за семестр – в середине и в конце семестра.

Оценка студентам, успешно прошедшим обучение по дисциплине «Атомная и ядерная физика», может быть проставлена без сдачи экзамена на основании рейтинговой оценки по решению преподавателя.

## 7.2 Учебный рейтинг по дисциплине «Атомная и ядерная физика» при проведении промежуточной аттестации в форме зачёта

Таблица 1.1 Таблица максимальных баллов по видам учебной деятельности при проведении промежуточной аттестации в форме зачёта.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Семестр	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Самостоятельная работа	Автоматизированное тестирование	Другие виды учебной деятельности	Промежуточная аттестация	Итого
5	0	40	0	40	0	20	0	100

### **Программа оценивания учебной деятельности студента 5 семестр**

#### **Лекции**

Не предусмотрены.

#### **Лабораторные занятия**

Посещаемость, корректность выполнения лабораторных работ, отчёты по лабораторным работам – от 0 до 40 баллов.

#### **Практические занятия:**

Не предусмотрены.

#### **Самостоятельная работа**

Оформление отчётов по лабораторным работам – от 0 до 40 баллов.

#### **Автоматизированное тестирование**

Не предусмотрено.

#### **Другие виды учебной деятельности:**

Не предусмотрены.

#### **Промежуточная аттестация (зачёт)**

Зачёт выставляется на основании набранных студентом баллов по итогам выполнения лабораторных работ и отчётов по ним.

Таким образом, максимально возможная сумма баллов за все виды учебной деятельности студента за 5 семестр по дисциплине «Атомная и ядерная физика» при проведении промежуточной аттестации в форме зачёта составляет 100 баллов.

Таблица 2.1 Таблица пересчета полученной студентом суммы баллов по дисциплине «Атомная и ядерная физика» в оценку (зачёт).

60 баллов и более	«зачтено»
менее 60 баллов	«не зачтено»

## 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Атомная и ядерная физика»

### а) литература:

1. Общий курс физики : учеб. пособие для вузов : в 5 т. / Д. В. Сивухин. - 3-е изд., стер. - Москва : ФИЗМАТЛИТ. - Текст : непосредственный.  
Т. 5 : Атомная и ядерная физика. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 782, [2] с. (46 экз.), 2006 (66 экз.)
2. Савельев И.В. Курс общей физики [Электронный ресурс]: учеб. пособие : / И.В. Савельев. — 5-е изд. — Санкт-Петербург : Лань, 2021 — Том 5 : Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц — 2021. — 384 с. – URL: <https://e.lanbook.com/book/167873>. – ЭБС «ЛАНЬ».
3. Савельев И. В. Сборник вопросов и задач по общей физике [Электронный ресурс] : учеб. пособие. — 10-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 292 с. – URL: <https://e.lanbook.com/book/187820>. – ЭБС «ЛАНЬ».
4. Шпольский, Э. В. Атомная физика : учебник : в 2 томах / Э. В. Шпольский. — 8-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021 — Том 1 : Введение в атомную физику — 2021. — 560 с.— URL: <https://e.lanbook.com/book/167794>. – ЭБС «ЛАНЬ».
5. Шпольский, Э. В. Атомная физика : учебник : в 2 томах / Э. В. Шпольский. — 6-е изд, стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021 — Том 2 : Основы квантовой механики и строение электронной оболочки атома — 2021. — 448 с. — URL: <https://e.lanbook.com/book/167795>. – ЭБС «ЛАНЬ».
6. Шпольский Э.В. Атомная физика. Т. 1, 2. СПб., М.: Лань, 2010. (20 экз)
7. Шпольский Э.В. Атомная физика [Электронный ресурс]. Т. 1, 2. СПб., М.: Лань, 2010. (N020450, N020451-ОХФ-МЕДИАЗАЛ)
8. Паршаков А. Н. Введение в квантовую физику [Текст] : учеб. пособие /. – СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2010. – 351 с. (27 экз.)
9. Практикум по атомной физике [Электронный ресурс] : учебное пособие для студентов физического факультета / Сарат. гос. ун-т им. Н. Г. Чернышевского ; сост.: Ю. П. Синичкин, В. И. Цой. - 3-е изд. - Саратов : [б. и.], 2013. Ч. 1. - Саратов : [б. и.], 2013. - 157 с. : ил. [http://library.sgu.ru/cgi-bin/irbis64r\\_12/cgiirbis\\_64.exe](http://library.sgu.ru/cgi-bin/irbis64r_12/cgiirbis_64.exe).
10. Практикум по атомной физике [Электронный ресурс] : учебное пособие для студентов физического факультета / Сарат. гос. ун-т им. Н. Г. Чернышевского ; сост.: Ю. П. Синичкин, В. И. Цой. - 3-е изд. - Саратов : [б. и.], 2013. Ч. 2. - Саратов : [б. и.], 2013. - 162 с. Режим доступа: [http://library.sgu.ru/cgi-bin/irbis64r\\_12/cgiirbis\\_64.exe](http://library.sgu.ru/cgi-bin/irbis64r_12/cgiirbis_64.exe).

### б) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

- 1) Операционная система Windows XP Professional SP 2.
- 2) Антивирус Касперского 6.0 для Windows Workstations.
- 3) Microsoft Office профессиональный 2010.



- 4) Электронный курс в системе Moodle «Атомная физика»  
<https://course.sgu.ru/course/index.php?categoryid=34>
- 5) Каталог образовательных Интернет-ресурсов. – URL: <http://window.edu.ru/>
- 6) Зональная научная библиотека им. В.А. Артисевич Саратовского государственного университета им. Н.Г.Чернышевского. – URL:  
<http://library.sgu.ru/>
- 7) <http://fizportal.ru> : Все о физике. Все для физики.
- 8) <http://sfiz.ru/> : Эта удивительная физика.
- 9) <http://www.physbook.ru/> : Электронный учебник физики.
- 10) Учебные и учебно-методические материалы, описания лабораторных работ, размещенные на сайте Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского <http://www.phys.msu.ru>
- 11) Учебные и учебно-методические материалы, размещенные на сайте Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского <http://optics.sgu.ru/library/education>

## **9. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Учебные аудитории для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, укомплектованные специализированной мебелью и техническими средствами обучения (демонстрационное оборудование – проектор, ноутбук, экран). Помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет»; и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки бакалавриата 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» с учётом профиля подготовки «Физика и технология твердотельных электронных микро- и наноструктур».

Автор, к.ф.-м.н. доцент А.П. Рытик

Программа одобрена на заседании кафедры медицинской физики от 5 октября 2021 г., протокол № 2.