

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Сердитова Наталья Евгеньевна
Должность: проректор по образовательной деятельности
Дата подписания: 25.08.2025 16:35:16
Уникальный программный ключ:
6cb002877b2a1ea640fdebb0cc541e4e05322d13

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
ФГБОУ ВО «ТВЕРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Утверждаю:

Руководитель ООП

Е.В. Барабанова



«26» июня 2025 г.

Рабочая программа дисциплины

Атомная физика

Закреплена за кафедрой:	Общей физики
Направление подготовки:	03.03.03 Радиофизика
Направленность (профиль):	Материалы и устройства радиоэлектроники (беспилотные системы, программно-аппаратные комплексы, системы автоматизированного проектирования)
Квалификация:	Бакалавр
Форма обучения:	очная
Семестр:	5

Программу составил(и):

канд. физ.-мат. наук, доц., Шуклов Алексей Дмитриевич

Тверь, 2025

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цели освоения дисциплины (модуля):

Целью освоения дисциплины является: создание фундаментальной базы знаний, на основе которой в дальнейшем можно развивать более углубленное и детализированное изучение всех разделов физики и специализированных курсов.

Задачи:

Задачами освоения дисциплины являются:

- изучение основных принципов квантовой механики и явлений, происходящих на атомном уровне;
- установление связи между различными физическими явлениями, вывод основных законов в виде математических уравнений;
- постановка и анализ задачи, применение различных методов решения.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Цикл (раздел) ОП: Б1.О

Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Общий курс «Атомная физика» ставит перед собой целью познакомить студентов с физическими основаниями квантовой теории дать представление о математическом аппарате волновой механики, научить использовать квантовые представления для анализа атомных явлений. Выпускник физико-технического факультета, изучивший курс, должен иметь полное представление об основных результатах и современных тенденциях развития физики атома и молекул, твердого тела. В первую очередь это касается: квантования энергии атомов и молекул, его отражение в атомах и молекулярных спектрах, квантовой классификации атомных и молекулярных термов, туннельного эффекта и дифракционных эффектов, различных приближений в атомной физике и физике твердого тела. Уровень начальной подготовки обучающегося для успешного освоения дисциплины: иметь представление об основных понятиях и законах атомной физики в рамках программы средней школы; Знать алгебру, геометрию и основы математического анализа в рамках программы средней школы и 2-го курса университета.

Аналитическая геометрия и линейная алгебра

Математический анализ

Механика

Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:

Физика атомного ядра и элементарных частиц

Физика конденсированного состояния вещества

Физика магнитных явлений

Физика полупроводников

Физический практикум по атомной физике

Физический практикум по физике атомного ядра и элементарных частиц

Квантовая механика

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость	4 ЗЕТ
Часов по учебному плану	144
в том числе:	
аудиторные занятия	68
самостоятельная работа	49
часов на контроль	27

4. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

ОПК-1.1: Обладает базовыми знаниями в области физики и радиофизики

ОПК-2.2: Проводит теоретическое изучение объектов, систем и процессов в рамках темы научного исследования

УК-1.1: Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие

УК-1.5: Рассматривает и предлагает возможные варианты решения поставленной задачи, оценивая их достоинства и недостатки

5. ВИДЫ КОНТРОЛЯ

Виды контроля в семестрах:	
экзамены	5

6. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ

Язык преподавания: русский.

7. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Код занят.	Наименование разделов и тем	Вид занятия	Семестр / Курс	Часов	Источники	Примечание
	Раздел 1. Введение в атомную физику. Корпускулярно-волновой дуализм.					
1.1	Введение. Атомная физика как физика квантовых явлений. Порядки величин расстояний и энергий для атомно-молекулярных процессов.	Лек	5	3	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5	
1.2	Корпускулярные свойства излучения. Фотоэффект. Эффект Комптона. Спектры испускания и поглощения. Спектральные серии. Комбинаторный принцип. Опыты Франка-Герца. Постулаты Бора	Лек	5	4	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5	
1.3	Волновые свойства частиц. Дифракция электронов. Принцип неопределенности. Процесс измерения в микромире.	Лек	5	3	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5	
1.4	Фотоэффект. Эффект Комптона	Пр	5	4	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5	

1.5	Волновые свойства частиц. Принцип неопределенности.	Пр	5	2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5	
	Раздел 2. Введение в квантовую механику					
2.1	Основы квантовой механики. Волновая функция. Операторы квантовой механики. Уравнение Шредингера. Частица в одномерной потенциальной яме. Туннельный эффект. Линейный гармонический осциллятор. Колебания молекул.	Лек	5	3	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5	
2.2	Момент импульса в квантовой теории. Векторная модель. Пространственное квантование. Жесткий ротатор. Вращение молекул. Вращательная структура колебательных спектров.	Лек	5	3	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5	
2.3	Операторы квантовой механики. Уравнение Шредингера. Частица в одномерной потенциальной яме.	Пр	5	8	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5	
2.4	Линейный гармонический осциллятор. Колебания молекул.	Пр	5	4	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5	
2.5	Момент импульса в квантовой теории. Пространственное квантование.	Пр	5	4	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5	
2.6	Водородоподобные атомы. Полуклассическая теория. Изотопический сдвиг. Позитроний и мезоатомы. Квантовая теория атома водорода	Лек	5	3	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5	
2.7	Квантовая теория атома водорода	Пр	5	4	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5	
	Раздел 3. Физические приложения					

3.1	Спин и магнитный момент электрона. Опыты Штерна-Герлаха. Магнитный момент электрона. Спин-орбитальное взаимодействие. Тонкая структура атомных спектров.	Лек	5	4	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5	
3.2	Многоэлектронные атомы. Одноэлектронное приближение. Самосогласованное поле. Принцип Паули. Периодическая система элементов. Рентгеновские спектры. Классификация атомных термов. Правило Хунда	Лек	5	3	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5	
3.3	Изучение атомов. Спин фотона. Правила отбора при излучении атома. Ширина спектральных линий. Спонтанное и вынужденное излучение. Квантовые усилители и генераторы. Типы лазеров. Эффект Зеемана	Лек	5	4	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5	
3.4	Твердое состояние вещества. Приближения сильной и слабой связи. Энергетические зоны. Полупроводниковые материалы. Колебания решетки. Приближение Дебая.	Лек	5	4	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5	
3.5	Спин и магнитный момент электрона	Пр	5	2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5	
3.6	Самосогласованное поле.Классификация атомных термов. Правило Хунда	Пр	5	2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5	
3.7	Строение вещества. Твердое тело.	Пр	5	4	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5	
3.8	Твердое состояние вещества. Приближения сильной и слабой связи. Энергетические зоны. Полупроводниковые материалы. Колебания решетки. Приближение Дебая.	Ср	5	22	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5	

3.9	Периодическая система элементов. Рентгеновские спектры. Классификация атомных термов. Правило Хунда	Ср	5	15	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5	
3.10	Спонтанное и вынужденное излучение. Квантовые усилители и генераторы. Типы лазеров. Эффект Зеемана	Ср	5	12	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5	
	Раздел 4. Контроль					
4.1	Экзамен	Экзамен	5	27	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5	

Образовательные технологии

классическая лекция, решение групповых и индивидуальных задач.

Список образовательных технологий

1	Активное слушание
---	-------------------

8. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

8.1. Оценочные материалы для проведения текущей аттестации

См. Приложение

8.2. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации

см. приложение

8.3. Требования к рейтинг-контролю

Всего студент может получить 100 баллов = 60 баллов на модули + 40 баллов на экзамене

В каждом модуле студент может получить максимум 30 баллов, из них 20 баллов за текущую работу, а 10 баллов – за рейтинговый контроль.

Обучающемуся, набравшему 40–54 балла, при подведении итогов семестра (на последнем занятии по дисциплине) в рейтинговой ведомости учета успеваемости и зачетной книжке может быть выставлена оценка «удовлетворительно».

Обучающемуся, набравшему 55–57 баллов, при подведении итогов семестра (на последнем занятии по дисциплине) в графе рейтинговой ведомости учета успеваемости «Премияльные баллы» может быть добавлено 15 баллов и выставлена экзаменационная оценка «хорошо».

Обучающемуся, набравшему 58–60 баллов, при подведении итогов семестра (на последнем занятии по дисциплине) в графе рейтинговой ведомости учета успеваемости «Премияльные баллы» может быть добавлено 27 баллов и выставлена экзаменационная оценка «отлично».

Обучающийся, набравший до 39 баллов включительно, сдает экзамен.

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

9.1. Рекомендуемая литература

9.1.1. Основная литература

Шифр	Литература
Л1.1	Милантьев, Атомная физика, Москва: Юрайт, 2024, ISBN: 978-5-534-15939-4, URL: https://urait.ru/bcode/537755
Л1.2	Милантьев, Атомная физика, Москва: Юрайт, 2019, ISBN: 978-5-534-00405-2, URL: https://urait.ru/bcode/434649
Л1.3	Сивухин, Общий курс физики, Москва: Издательская фирма "Физико-математическая литература" (ФИЗМАТЛИТ), 2002, ISBN: 978-5-9221-0228-5, URL: https://znanium.com/catalog/document?id=303185
Л1.4	Савельев И. В., Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц, Санкт-Петербург: Лань, 2021, ISBN: 978-5-8114-1211-2, URL: https://e.lanbook.com/book/167873
Л1.5	Шпольский Э. В., Атомная физика, Москва, Ленинград: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1949, ISBN: 978-5-4458-4573-7, URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=213904

9.3.1 Перечень программного обеспечения

1	Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows
2	Adobe Acrobat Reader
3	Google Chrome
4	OpenOffice

9.3.2 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1	ЭБС «ZNANIUM.COM»
2	ЭБС «ЮРАИТ»
3	ЭБС «Университетская библиотека онлайн»
4	ЭБС «Лань»

10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Аудит-я	Оборудование
3-2026	комплект учебной мебели, переносной ноутбук, переносной мультимедийный проектор, экран
3-218	комплект учебной мебели, переносной ноутбук, проектор, экран
3-226	комплект учебной мебели, Микшерный пульт, Аудиокомплект, Интерактивная система, проектор, Телекоммуникационные шкафы, экран, компьютер
3-227	комплект учебной мебели, переносной ноутбук, проектор, экран
3-228	комплект учебной мебели, переносной ноутбук, проектор, экран

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

См. Приложение

Для проведения текущей и промежуточной аттестации:

УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач:

УК-1.1. Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие;

УК-1.5. Рассматривает и предлагает возможные варианты решения поставленной задачи, оценивая их достоинства и недостатки.

Задание:

Решить задачу: Для некоторого металла красная граница фотоэффекта в $k=1,2$ раза меньше частоты падающего излучения. Определить работу выхода электрона (в э.в.) из данного металла, если максимальная скорость фотоэлектронов равна $v_m=6 \cdot 10^5$ м/сек.

Способ аттестации: письменный

Критерии оценки:

- **Высокий уровень (3 балла):** Понимает физику явления, составляет математические выражения для получения решения. Получает правильный ответ.

- **Средний уровень (2 балла):** Понимает физику явления. Испытывает сложности с составлением математических выражений для получения решения. Получает правильный ответ.

- **Низкий уровень (1 балл):** Понимает физику явления. Испытывает сложности с составлением математических выражений для получения решения. Из-за алгебраической неточности не получает правильный ответ.

ОПК-1. Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности;

ОПК-1.1. Применяет базовые знания в области физико-математических наук для решения задач профессиональной деятельности.

Задание:

Решить задачу: Дейтрон и ион гелия прошли одинаковую ускоряющую разность потенциалов. Найти отношение длин волн де-Бройля для этих частиц.

Способ аттестации: письменный

Критерии оценки:

- **Высокий уровень (3 балла):** Понимает физику явления, составляет математические выражения для получения решения. Получает правильный ответ.

- **Средний уровень (2 балла):** Понимает физику явления. Испытывает сложности с составлением математических выражений для получения решения. Получает правильный ответ.

- **Низкий уровень (1 балл):** Понимает физику явления. Испытывает сложности с составлением математических выражений для получения решения. Из-за алгебраической неточности не получает правильный ответ.

ОПК-2. Способен проводить экспериментальные и теоретические научные исследования объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные;

ОПК-2.2. Проводит теоретическое изучение объектов, систем и процессов в рамках темы научного исследования

Задание:

Решите задачу:

- Найти коммутатор $[x, H]$
- Найти коммутатор $[x, L_z]$

Способ аттестации: письменный

Критерии оценки:

- **Высокий уровень (3 балла):** Понимает физику явления, составляет математические выражения для получения решения. Получает правильный ответ.

- **Средний уровень (2 балла):** Понимает физику явления. Испытывает сложности с составлением математических выражений для получения решения. Получает правильный ответ.

- **Низкий уровень (1 балл):** Понимает физику явления. Испытывает сложности с составлением математических выражений для получения решения. Из-за алгебраической неточности не получает правильный ответ.

Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины

- планы практических (семинарских) занятий.
- сборники задач.
- методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов.
- требования к рейтинг-контролю

Планы практических (семинарских) занятий:

Семинар 1: Решение задач на тему «Квантовые свойства излучения». Примеры задач:

1. Чувствительность сетчатки глаза к желтому свету с длиной волны $\lambda=600\text{нм}$ составляет $P=1,7\cdot 10^{-18}$ Вт. Сколько фотонов должно падать каждую секунду на сетчатку, чтобы свет был воспринят?
2. Фотон, импульс которого p сталкивается с покоящимся электроном и отлетает под углом θ к первоначальному направлению движения. Найти импульс фотона после столкновения.

Семинар 2: Решение задач на тему «Боровская теория атома водорода». Примеры задач:

1. Электрон в атоме водорода перешел из основного состояния в возбужденное, получив энергию $E=12,8\text{э.в.}$. Какова наибольшая длина волны, которую может теперь излучить атом водорода?
2. Атом водорода в основном состоянии поглотил квант света с длиной волны $\lambda=1,2\cdot 10^{-5}\text{см.}$ определить радиус орбиты электрона r возбужденного атома.

Семинар 3: Решение задач на тему «Волновые свойства частиц». Примеры задач:

1. Какую дополнительную энергию необходимо сообщить электрону с импульсом 15кэВ/с , чтобы его длина волны стала $\lambda=0,5\text{А}^\circ$.
2. При увеличении энергии электрона на 500э.в. его дебройлевская длина изменилась в два раза. Найти первоначальную длину волны электрона.

Семинар 4: Решение задач на тему «Основы математического аппарата квантовой теории». Примеры задач:

1. Найти коммутатор $[H, p_x]=?$ Где $H=p_x^2/2m+U(x)$
2. Найти коммутатор $[x, L_z]=?$

Семинар 5: Решение задач на тему «Уравнение Шредингера». Примеры задач:

1. Электрон находится в одномерной потенциальной яме с абсолютно непроницаемыми стенками ($0<x<l$, $l=2\text{А}^\circ$). Найти частоту фотона

испускаемого при переходе электрона из 1-го возбужденного состояния в основное. Чему равна величина $\langle x^2 \rangle$ в 1-ом возбужденном состоянии?

- Оценить для электрона локализованного в области размером $l=0,5\text{мкм}$ относительную неопределенность скорости $\Delta v/v$? Если его кинетическая энергия $\epsilon_{\text{кин}}=5\text{ э.в.}$

Семинар 6: Решение задач на тему «Спектры атомов». Примеры задач:

- Головная линия резкой серии атомарного цезия представляет собой дублет с длинами волн $\lambda_1=1469,5\text{ А}^\circ$ и $\lambda_2=1358,8\text{ А}^\circ$. Найти расщепление (э.в.) 6p уровня атома цезия.
- Длины волн желтого дублета натрия $\lambda_1=589,00\text{нм}$ и $\lambda_2=589,59\text{нм}$. Найти для 3P уровня расщепление ΔE (э.в.), обусловленное спин-орбитальным взаимодействием.

Семинар 7: Решение задач на тему «Спектры молекул». Примеры задач:

- Найти разность энергий (э.в.) состояний с квантовыми числами $n=1, J=1$ и $n=0, J=6$ у молекулы OH ($r_0=0,97\text{ А}^\circ$; $\nu_{\text{кол}}=3735\text{ см}^{-1}$).
- Найти разность энергий в (э.в.) состояний с квантовыми числами $n=1, l=0$ и $n=0, l=5$ у молекулы CO ($r_0=1,13\text{ А}^\circ$; $\nu_{\text{кол}}=2310\text{ см}^{-1}$).

Сборники задач:

- Сборник задач по общему курсу физики. Ч.3 Атомная и ядерная физика. Строение вещества./Под ред. В.А. Овчинкина. М.: Физматкнига, 2009.-512 с.
- Савельев И.В. Сборник вопросов и задач по общей физике. СПб.: Лань, 2005.-288с.
- Иродов И.Е. Задачи по общей физике. М.: Бином, 2001. – 432с.
- Сборник задач по общему курсу физики. В 5 т. Кн. V. Атомная физика. Физика ядра и элементарных частиц / Под ред. Д. В. Сивухина. М.: ФИЗМАТЛИТ; ЛАНЬ, 2006. - 184 с.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов:

- Изучить рекомендуемую литературу.

2. Просмотреть задачи, разобранные на аудиторных занятиях.
3. Разобрать задачи, рекомендованные преподавателем для самостоятельного решения, используя, при необходимости, примеры решения аналогичных задач.
4. Обсудить проблемы, возникшие при решении задач с преподавателем.

Требования к рейтинг-контролю. В течение семестра два раза (на модульных неделях) необходимо:

- 1) сдать преподавателю решения домашних задач, полученных из указанных сборников задач,
- 2) ответить на теоретические вопросы. Примеры вопросов:

Модуль 1

1. Фотоэффект.
2. Туннельный эффект.
3. Эффект Комптона.
4. Эффект Рамзауэра
5. Давление излучения. Эффект Доплера.
6. Квантование момента импульса.
7. Спектры испускания и поглощения.
8. Жесткий ротатор. Вращение молекул.
9. Постулаты Бора.
10. Квантовая теория атома водорода.
11. Столкновение электронов с атомами. Опыты Франка и Герца.
12. Спин и магнитный момент Электрона.
13. Боровская теория атома водорода.
14. Спин орбитальное взаимодействие. Тонкая структура атома водорода.
15. Изотопический сдвиг.
16. Спектры щелочных металлов.
17. Гипотеза де Бройля.
18. Одноэлектронное приближение. Самосогласованное поле.
19. Дифракция электронов. Опыты Девиссона-Джермера и Томсона.

Модуль 2

1. Заполнение электронных оболочек. Периодическая система элементов.
2. Статистическая интерпретация волновой функции.
3. Спектроскопические обозначения атомных термов.
4. Влияние опыта на состояние микрочастиц. Принцип неопределенности.
5. Рентгеновские спектры.
6. Операторы квантовой механики.
7. Правила отбора при изучении атомов.
8. Операторы основных физических величин.
9. Ширина спектральных линий.
10. Условие одновременной измеримости двух физических величин.
11. Спонтанное и вынужденное излучение
12. Одномерное уравнение Шредингера.
13. Поглощение электромагнитных волн в равновесных и неравновесных квантовых системах.
14. Частица в одномерной потенциальной яме. (Случай конечной глубины).
15. Квантовые генераторы.
16. Гармонический осциллятор.
17. Магнитный момент атома.
18. Колебательные спектры двухатомных молекул.
19. Эффект Зеемана