

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
филиал МГУ в г. Севастополе  
факультет естественных наук  
кафедра физики и геофизики

УТВЕРЖДАЮ

Директор  
Филиала МГУ в г. Севастополе  
О.А. Шпырко  
« 20 » \_\_\_\_\_ г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**Наименование дисциплины (модуля):**

**Атомная физика**

*код и наименование дисциплины (модуля)*

**Уровень высшего образования:**

**специалитет**

**Направление подготовки:**

**03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика**

*(код и название направления/специальности)*

**Направленность (профиль) ОПОП:**

**общий**

*(если дисциплина (модуль) относится к вариативной части программы)*

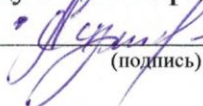
**Форма обучения:**

**очная**

*очная, очно-заочная*

Рабочая программа рассмотрена  
на заседании кафедры физики и геофизики  
протокол №4 от «21» июня 2023 г.

Заведующий кафедрой

  
(подпись)

(К.В. Показеев)

Рабочая программа одобрена  
Методическим советом  
Филиала МГУ в г. Севастополе  
Протокол №6 от «28» июня 2023 г.

  
(подпись)

(Л.И. Теплова)

Севастополь, 2023

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 03.05.02 «Фундаментальная и прикладная физика» в редакции приказа МГУ №1780 от 29 декабря 2018 г.

Год (годы) приема на обучение: с 2020

курс – 3

семестры – 5

зачетных единиц – 4

академических часов – 72, в т.ч.

лекций – 36 часов

практических занятий – 36 часов

Форма промежуточной аттестации:

зачет и экзамен в 5 семестре

Рабочая программа дисциплины  
Физика МГУ в т.ч. в семестре  
Протокол № 1/28 от 2023 г.  
(Л.М. Гелова)

Рабочая программа дисциплины  
Физика МГУ в т.ч. в семестре  
Протокол № 1/28 от 2023 г.  
(К.В. Лукьянов)

Курс «Атомная физика», читаемый в 5 семестре, представляет собой основу для всего дальнейшего обучения студента-физика. В нем вводятся основные принципы теории и практика решения задач, общих для большинства физических систем. Математической основой курса являются разделы курса математики, включая, в частности, математический анализ, дифференциальные и интегральные уравнения.

## **2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (если есть).**

Успешное освоение дисциплин по высшей математике и общей физике.

## **3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников.**

Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю):

Знать:

- Основы квантовой механики.
- Рентгеновские спектры.
- Взаимодействие квантовой системы с излучением.
- Многоэлектронные атомы.

Уметь:

- Определять атом водорода по Бору.
- Различать волны и частицы.

Владеть:

Представлениями о таких понятиях, как:

- Одноэлектронный атом.
- Атом в поле внешних сил.
- Молекула.

Иметь опыт:

- определения поведения атома в поле внешних сил, используя основы квантовой механики.

## **4. Формат обучения – контактный.**

**5. Объем дисциплины (модуля)** составляет 4 з. е., в том числе 72 академических часа, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (аудиторная нагрузка), 72 академических часа на самостоятельную работу обучающихся.

**6. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий.**

**6.1. Структура дисциплины (модуля) по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий.**

Наименование	Номинальные трудозатраты обучающегося	Р	М	И	Ч	Я	У	С	П	Е
--------------	---------------------------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---

разделов и тем дисциплины (модуля),  Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, академические часы		Самостоятельная работа обучающегося, академические часы		
	Занятия лекционного типа*	Занятия семинарского типа*			
Микромир	Консультации, 4	Решение задач, 3	5	12	-
Волны и кванты	Консультации, 3	Решение задач, 3	6	12	-
Частицы и волны	Консультации, 3	Решение задач, 3	6	12	-
Атом водорода по Бору	Консультации, 4	Решение задач, 4	6	14	-
Основы квантовой механики	Консультации, 3	Решение задач, 4	6	13	Контрольная работа
Одноэлектронный атом	Консультации, 3	Решение задач, 3	6	12	-
Многоэлектронный атом	Консультации, 3	Решение задач, 3	6	12	-
Взаимодействие квантовой системы с излучением	Консультации, 4	Решение задач, 3	6	13	-
Рентгеновские спектры	Консультации, 3	Решение задач, 4	6	13	-
Атом в поле внешних сил	Консультации, 3	Решение задач, 3	6	12	Контрольная работа
Молекула	Консультации, 3	Решение задач, 3	5	11	-
Другие виды самостоятельной работы (при наличии): например, курсовая работа, творческая рабо-	-	-	-	-	-

та (эссе)					
	36	36	64	136	
Промежуточная аттестация (экзамен)			8	8	
<b>Итого</b>				144	

## 6.2. Содержание разделов (тем) дисциплины.

№ п/п	Наименование разделов (тем) дисциплины	Содержание разделов (тем) дисциплин
Лекции		
1.	Тема 1.	Масштабы. Константы. Невозможность описания явлений в микромире в рамках классической теории.
2.	Тема 2.	Равновесное электромагнитное излучение в полости. Законы Релея - Джинса и Вина. Гипотеза Планка. Кванты излучения. Формула Планка. Закон Стефана-Больцмана и закон смещения Вина. Фотоэффект. опыты Герца и Столетова. Закон Эйнштейна. Рассеяние электромагнитного излучения на свободных зарядах. Эффект Комптона. Тормозное рентгеновское излучение. Квантовый предел. Дифракция волн. Опыт Тэйлора.
3.	Тема 3.	Волновые свойства частиц. опыты Девиссона-Джермера и Томсона. Волны де-Бройля. Волновой пакет. Фазовая и групповая скорость волн де-Бройля. Соотношения неопределенности.
4.	Тема 4.	Модель атома Томсона. опыты Резерфорда. Планетарная модель атома и проблема устойчивости атомов. Сериальные закономерности в спектре атома водорода. Квантование момента импульса. Постулаты Бора. Принцип соответствия. Экспериментальное доказательство дискретной структуры атомных уровней. опыты Франка и Герца. Изотопический сдвиг атомных уровней, мезо - атомы, позитроний. Водородоподобные ионы. Релятивистское обобщение модели Бора. Постоянная тонкой структуры. Критический заряд $Z = 137$ .
5.	Тема 5.	Квантовая система, ее состояние, измеряемые параметры. Волновая функция, ее свойства. Уравнение Шредингера. Стационарные и нестационарные состояния. Плотность вероятности и плотность потока вероятности. Операторы физических величин. Собственные значения и собственные функции операторов. Среднее значение и дисперсия физической ве-

		<p>личины. Гамильтониан. Определение энергетического спектра системы как задача на собственные значения оператора Гамильтона. Дискретный спектр и континуум. Одномерные задачи: свободное движение частицы; прямоугольная потенциальная яма; гармонический осциллятор. Туннельный эффект: <math>\alpha</math>-распад атомных ядер, автоэлектронная эмиссия. Туннельный микроскоп. Квазистационарное состояние. Ширина уровня и время распада. Электрон в периодическом потенциале. Понятие об энергетических зонах. Предельный переход к классической механике и оптике. Основы квантовой механической теории возмущений. Тождественность микрочастиц. Бозоны и фермионы. Принцип Паули. Системы Ферми и Бозе-частиц.</p>
6.	Тема 6.	<p>Уравнение Шредингера с центрально-симметричным потенциалом. Разделение переменных. Операторы <math>L^2</math>, <math>L_z</math>, их собственные значения и функции. Радиальное уравнение. Уровни энергии. Квантовые числа. Атом водорода. Уровни энергии и волновые функции стационарных состояний. Их свойства. Вырождение уровней по орбитальному моменту. Орбитальный механический и магнитный моменты электрона. Магнетон Бора. Экспериментальное определение магнитных моментов. Опыт Штерна и Герлаха. Гипотеза Уленбека и Гаудсмита. Спин электрона. Собственный магнитный момент электрона. Спиновое гиромангнитное отношение. Понятие о правилах сложения невзаимодействующих моментов количества движения. Спин-орбитальное взаимодействие. Тонкая структура спектра атома водорода. Формула тонкой структуры (Дирака).</p>
7.	Тема 7.	<p>Общие принципы описания многоэлектронного атома. Представление о распределении объемного заряда и электростатического потенциала в атоме. Одноэлектронное состояние. Заполнение атомных состояний электронами. Атомные оболочки и подоболочки. Электронная конфигурация. Иерархия взаимодействий в многоэлектронном атоме. Приближение LS и jj-связей. Терм. Тонкая структура терма. Правило интервалов Ланде. Спин и магнитный момент нукло-</p>

		нов и ядра. Сверхтонкая структура атомных спектров. Изотопические эффекты в атомах. Атомы щелочных металлов. Атом гелия. Симметрия волновой функции относительно перестановки электронов. Синглетные и триплетные состояния. Обменное взаимодействие. Основное состояние атома гелия. Понятие об автоионизации. Периодическая система элементов. Правило Хунда. Основные термы атомов.
8.	Тема 8.	Квантовая система в поле электромагнитной волны. Дипольное приближение. Вероятность перехода. Матричный элемент оператора дипольного момента. Понятие о правилах отбора. Разрешенные и запрещенные переходы. Спектральные серии (атомы водорода, гелия, щелочных металлов). Общие представления об электромагнитных переходах в многоэлектронном атоме. Правило Лапорта. Представление о квантовом электромагнитном поле. Электромагнитный вакуум. Фотоны. Спонтанные переходы. Естественная ширина спектральной линии. Лэмбовский сдвиг. Опыт Лэмба и Ризерфорда.
9.	Тема 9.	Переходы внутренних электронов. Характеристическое рентгеновское излучение. Закон Мозли. Эффект Оже.
10.	Тема 10.	Атом в магнитном поле. Слабое и сильное поле. Фактор Ланде. Эффекты Зеемана и Пашена - Бака. Опыт Штерна и Герлаха. Электронный парамагнитный резонанс (ЭПР).
11.	Тема 11.	Адиабатическое приближение. Молекулярный ион водорода. Молекула водорода. Теория Гайтлера-Лондона. Спаривание электронов. Термы двухатомной молекулы. Химическая связь. Ковалентная и ионная связи. Валентность. Насыщение химических связей. Молекулярная орбиталь. Гибридизация орбиталей. Элементы стереохимии. Общие представления о колебательном и вращательном движении ядер в молекулах. Спектры двухатомных молекул. Электронно - колебательный - вращательный переход. Правила отбора для электромагнитных переходов в двухатомных молекулах. Принцип Франка - Кондона. Некоторые сведения о систематике состояний двухатомной молекулы.
Семинары		

1.	Тема 1.	Модели атомов Томсона и Резерфорда. Равновесное электромагнитное излучение. Эффект Комптона. Фотоэффект.
2.	Тема 2.	Волны де Бройля. Соотношения неопределенностей. Модель атома Бора.
3.	Тема 3.	Основные понятия квантовой механики. Операторы физических величин. Средние значения и дисперсия.
4.	Тема 4.	Одномерные задачи. Стационарные состояния квантовомеханической системы. Туннельный эффект.
5.	Тема 5.	Квантовая теория атома водорода. Теория возмущений. Примеры. Основное состояние атома гелия.
6.	Тема 6.	Контрольная работа по темам, пройденным на занятиях 1-5.
7.	Тема 7.	Многоэлектронные атомы. Оболочки и подоболочки. Электронная конфигурация. Приближение LS- и jj- связей. Терм. Состояние.
8.	Тема 8.	Периодическая таблица элементов. Основные термы атомов. Тонкая и сверхтонкая структура атомных спектров.
9.	Тема 9.	Электромагнитные переходы. Правила отбора и спектральные серии.
10.	Тема 10.	Эффекты Зеемана и Пашена — Бака. Опыт Штерна и Герлаха.
11.	Тема 11.	Контрольная работа по темам, пройденным на занятиях 6-10.

## **7. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)**

### **7.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.**

Система текущего контроля знаний предусматривает проведение двух контрольных работ.

Система промежуточного контроля знаний включает экзамен в конце пятого семестра после прохождения курса. Экзамен проводится в устной форме и оценивается по четырехбалльной системе: “неудовлетворительно”, “удовлетворительно”, “хорошо”, “отлично”.

### **7.2 Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.**

- для экзамена

Вопросы экзаменационных билетов.

1. Микромир. Масштабы. Константы. Невозможность описания явлений в микромире в рамках классической теории.



2. Волны и кванты. Равновесное электромагнитное излучение в полости. Законы Релея - Джинса и Вина. Гипотеза Планка. Кванты излучения. Формула Планка. Закон Стефана-Больцмана и закон смещения Вина.
3. Фотоэффект. опыты Герца и Столетова. Закон Эйнштейна. Рассеяние электромагнитного излучения на свободных зарядах. Эффект Комптона. Тормозное рентгеновское излучение. Квантовый предел. Дифракция волн. Опыт Тэйлора.
4. Частицы и волны. Гипотеза де-Бройля. Волновые свойства частиц. опыты Девиссона-Джермера и Томсона. Волны де-Бройля. Волновой пакет. Фазовая и групповая скорость волн де-Бройля. Соотношения неопределенности.
5. Атом водорода по Бору. Модель атома Томсона. опыты Резерфорда. Планетарная модель атома и проблема устойчивости атомов. Серийные закономерности в спектре атома водорода. Комбинаторный принцип.
6. Квантование момента импульса. Постулаты Бора. Принцип соответствия. Экспериментальное доказательство дискретной структуры атомных уровней. опыты Франка и Герца.
7. Изотопический сдвиг атомных уровней,  $m$  - атомы, позитроний. Водородоподобные ионы. Релятивистское обобщение модели Бора. Постоянная тонкой структуры. Критический заряд  $Z = 137$ .
8. Квантовая система, ее состояние, измеряемые параметры. Волновая функция, ее свойства. Уравнение Шредингера. Стационарные и нестационарные состояния.
9. Плотность вероятности и плотность потока вероятности. Операторы физических величин. Собственные значения и собственные функции операторов. Среднее значение и дисперсия физической величины. Гамильтониан.
10. Определение энергетического спектра системы как задача на собственные значения оператора Гамильтона. Дискретный спектр и континуум. Одномерные задачи: свободное движение частицы; прямоугольная потенциальная яма; гармонический осциллятор.
11. Туннельный эффект:  $\alpha$  - распад атомных ядер, автоэлектронная эмиссия. Туннельный микроскоп. Квазистационарное состояние. Ширина уровня и время распада.
12. Электрон в периодическом потенциале. Понятие об энергетических зонах. Предельный переход к классической механике и оптике.
13. Основы квантово-механической теории возмущений. Тождественность микрочастиц. Бозоны и фермионы. Принцип Паули. Системы ферми- и бозе-частиц.
14. Одноэлектронный атом. Уравнение Шредингера с центрально-симметричным потенциалом. Разделение переменных. Операторы  $L^2$ ,  $L_z$ , их собственные значения и функции. Радиальное уравнение. Уровни энергии. Квантовые числа.
15. Атом водорода. Уровни энергии и волновые функции стационарных состояний. Их свойства. Вырождение уровней по орбитальному моменту.
16. Орбитальный механический и магнитный моменты электрона. Магнетон Бора. Экспериментальное определение магнитных моментов. Опыт Штерна и Герлаха. Гипотеза Уленбека и Гаудсмита.
17. Спин электрона. Собственный магнитный момент электрона. Спиновое гиромантическое отношение. Понятие о правилах сложения невзаимодействующих моментов количества движения.

- Спин-орбитальное взаимодействие. Тонкая структура спектра атома водорода. Формула тонкой структуры (Дирака).
18. Многоэлектронные атомы. Общие принципы описания многоэлектронного атома. Представление о распределении объемного заряда и электростатического потенциала в атоме. Одноэлектронное состояние.
  19. Заполнение атомных состояний электронами. Атомные оболочки и подоболочки. Электронная конфигурация. Иерархия взаимодействий в многоэлектронном атоме. Приближение LS и jj-связей.
  20. Терм. Тонкая структура терма. Правило интервалов Ланде. Спин и магнитный момент нуклонов и ядра. Сверхтонкая структура атомных спектров.
  21. Изотопические эффекты в атомах. Атомы щелочных металлов. Атом гелия. Симметрия волновой функции относительно перестановки электронов.
  22. Синглетные и триплетные состояния. Обменное взаимодействие. Основное состояние атома гелия. Понятие об автоионизации.
  23. Периодическая система элементов. Правило Хунда. Основные термы атомов.
  24. Взаимодействие квантовой системы с излучением. Квантовая система в поле электромагнитной волны. Дипольное приближение. Вероятность перехода.
  25. Матричный элемент оператора дипольного момента. Понятие о правилах отбора. Разрешенные и запрещенные переходы. Спектральные серии (атомы водорода, гелия, щелочных металлов).
  26. Общие представления об электромагнитных переходах в многоэлектронном атоме. Правило Лапорта.
  27. Спонтанные переходы. Естественная ширина спектральной линии. Лэмбовский сдвиг. Опыт Лэмба и Резерфорда.
  28. Рентгеновские спектры. Переходы внутренних электронов в атомах. Характеристическое рентгеновское излучение. Закон Мозли. Эффект Оже.
  29. Атом в поле внешних сил. Атом в магнитном поле. Слабое и сильное поле. Фактор Ланде.
  30. Эффекты Зеемана и Пашена - Бака. Опыт Штерна и Герлаха.
  31. Электронный парамагнитный резонанс (ЭПР).
  32. Молекула. Адиабатическое приближение. Молекулярный ион водорода. Молекула водорода.
  33. Теория Гайтлера-Лондона. Спаривание электронов. Термы двухатомной молекулы.
  34. Химическая связь. Ковалентная и ионная связи. Валентность. Насыщение химических связей. Молекулярная орбиталь. Гибридизация орбиталей. Элементы стереохимии.
  35. Общие представления о колебательном и вращательном движении ядер в молекулах. Спектры двухатомных молекул. Электронно - колебательный - вращательный переход.
  36. Правила отбора для электромагнитных переходов в двухатомных молекулах. Принцип Франка - Кондона. Систематика состояний двухатомной молекулы.
  37. Представление о квантовом электромагнитном поле. Электромагнитный вакуум. Фотоны.

<b>ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине (модулю)</b>				
Оценка РО и соответствующие виды оценочных средств	2	3	4	5
<b>Знания</b> (домашние задания)	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
<b>Умения</b> (контрольные работы)	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности не принципиального характера)	Успешное и систематическое умение
<b>Навыки</b> (владения, опыт деятельности) (экзамен)	Отсутствие навыков (владений, опыта)	Наличие отдельных навыков (наличие фрагментарного опыта)	В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач

## 8. Ресурсное обеспечение:

### – Перечень основной и дополнительной литературы.

1. Шпольский Э.В. Атомная физика: в 2 т. / Э.В. Шпольский. – 8-е изд. стер. – М.: Лань, 2010.
2. Сивухин Д.В. Курс общей физики: в 5 т. Т 5, ч. 1 / Д.В. Сивухин. – 2-е изд. стер. – М.: Физматлит, 2002. – 784 с.
3. Иродов И.Е. Задачи по общей физике / И.Е. Иродов. – 14-е изд. стер. – М.: Физматлит, 2016. – 416 с.

### – Описание материально-технического обеспечения.

Учебный кабинет №173, (40,71м<sup>2</sup>)  
 Учебных столов – 9 шт., стульев – 19 шт.,  
 3-х створчатая доска для мела – 1 шт.,  
 Стол для преподавателя – 1 шт.

**9. Соответствие результатов обучения по данному элементу ОПОП результатам освоения ОПОП указано в общей характеристике ОПОП.**

**10. Язык преподавания русский.**

**11. Преподаватель (преподаватели).**

Профессор кафедры физики и геофизики, доктор физико-математических наук, профессор Александр Алексеевич Слепышев.

**12. Автор (авторы) программы.**

Старший преподаватель кафедры физики и геофизики, руководитель образовательной программы по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» Андрей Валерьевич Сулимов.

**ОФОРМЛЕНИЕ ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО БИЛЕТА  
ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ И ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ,  
ПРОВОДИМОЙ В ФОРМЕ УСТНОГО ЭКЗАМЕНА**

Формат (в зависимости от количества вопросов, наличия или отсутствия задач и т.п.) А-5 или А-6

ФИЛИАЛ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО

УНИВЕРСИТЕТА имени М.В. ЛОМОНОСОВА в г. СЕВАСТОПОЛЕ

Направление 03.03.02 Физика

(шифр (шифры) и название (названия) направления (направлений) подготовки)

Учебная дисциплина Атомная физика

Семестр 5

*Экзаменационный билет № 1*

1. Основы квантовомеханической теории возмущений. Тождественность микрочастиц. Бозоны и фермионы. Принцип Паули. Системы ферми- и бозе-частиц.
2. Взаимодействие квантовой системы с излучением. Квантовая система в поле электромагнитной волны. Дипольное приближение. Вероятность перехода.
3. Представление о квантовом электромагнитном поле. Электромагнитный вакуум. Фотоны.

Утверждено на заседании кафедры,  
протокол № \_\_\_ от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ (Ф.И.О)

Преподаватель \_\_\_\_\_ (Ф.И.О)