

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

**Физический факультет**

---

УТВЕРЖДЕНО

решением ученого совета ННГУ  
(протокол от 31.05.2023 г. №6)

**Рабочая программа дисциплины**

**Атомная физика**

---

Уровень высшего образования  
**бакалавриат**

---

Направление подготовки / специальность  
**09.03.02 Информационные системы и технологии**

---

Направленность образовательной программы  
**Информационные системы и технологии в физических  
исследованиях**

---

Форма обучения  
**очная**

---

Год начала подготовки

2023 год

Нижний Новгород

2023 год

## 1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Атомная физика» (Б1.О.07.05) относится к обязательной части Блока 1 «Дисциплины (модули)» учебного плана основной образовательной программы.

Дисциплина преподается в 6 семестре.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
ОПК-1 Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности;	ОПК-1.1. Знать основы высшей математики, общей физики, теории вероятности и технологий программирования	<i>Знать</i> основные свойства физических атомных систем, терминологию, математический аппарат для описания взаимосвязи параметров систем.	<i>Собеседование</i>
	ОПК-1.2. Уметь решать стандартные профессиональные задачи с применением естественнонаучных и общетехнических знаний, методов математического анализа и моделирования	<i>Уметь</i> применять полученные знания для анализа научно-технической информации, построения моделей, использования современной аппаратуры для научных исследований	<i>Практическая задача</i>
	ОПК-1.3. Иметь навыки теоретического и экспериментального исследования объектов профессиональной деятельности	<i>Владеть</i> научной методологией, математическим аппаратом исследований в области атомной физики.	<i>Практическая задача</i>

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1. Трудоемкость дисциплины

Очная форма обучения	
Общая трудоемкость	4 ЗЕТ
Часов по учебному плану	144
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	50
- занятия лекционного типа, ч	32
- практические занятия в терминал-классе, ч	16
- КСРИФ	2
контроль	36
самостоятельная работа, ч	58
Промежуточная аттестация	экзамен

#### 3.2. Содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы – 144 часа, из которых 50 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (32 часа занятия лекционного типа, 16 часа занятий семинарского типа (практические занятия), 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 58 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Наименование разделов дисциплины		Всего (часы)	В том числе				
			Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				Самостоятельная работа обучающегося, часы
			из них				
			Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
1	Введение. История развития атомной физики	4	2	-	-	2	2
2	Молекулярно-кинетическая теория	8	2	2	-	4	4
3	Тепловое излучение	10	4	-	-	4	6
4	Фотоны.	8	2	2	-	4	4
5	Спектры. Планетарная модель атома.	10	4	2	-	6	4
6	Волновые свойства вещества	8	2	2	-	4	4
7	Атом водорода. Квантовые числа.	12	4	2	-	6	6
8	Многоэлектронные атомы.	12	4	2	-	6	6
9	Магнитные свойства атомов	6	2	-	-	2	4
10	Атомное ядро. Радиоактивность. Элементарные частицы.	10	2	2	-	4	6

Наименование разделов дисциплины		Всего (часы)	В том числе					Самостоятельная работа обучающегося, часы
			Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них					
			Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего		
11	Кристаллы. Виды межатомной связи	10	2	2	-	4	6	
12	Полупроводники.	8	2	-	-	2	6	
Промежуточная аттестация: подготовка к экзамену экзамен							36	
	Итого	144	32	16		50	94	

### Содержание разделов дисциплины

- 1. Введение. История развития атомной физики.** Атомы греческих материалистов. Идеи Лавуазье и Ломоносова. Создание молекулярно-кинетической теории. Периодическая таблица Менделеева. Научная революция начала 20 века. Становление квантовой и ядерной физики.
- 2. Молекулярно-кинетическая теория.** Давление идеального газа. Распределение Максвелла. Характерные скорости молекул. Теорема Больцмана о равнораспределении кинетической энергии по степеням свободы. Эффективные размеры атомов и молекул. Моль вещества. Число Авогадро.
- 3. Тепловое излучение.** Равновесная плотность энергии излучения. Закон Кирхгофа. Абсолютно черное тело. Закон Стефана-Больцмана. Закон смещения Вина. Формула Рэлея-Джинса. Формула Планка. Кванты излучения. Лазеры.
- 4. Фотоны.** Экспериментальное подтверждение квантовой природы излучения. Фотоэффект. Формула Эйнштейна. Эффект Комптона. Релятивистские частицы.
- 5. Спектры. Планетарная модель атома.** Спектроскопия. Атомарные спектры. Открытие электрона. Различные модели строения атома. Опыты Резерфорда. Модель атома Бора и его постулаты. Опыты Франка-Герца. Дискретные энергетические уровни.
- 6. Волновые свойства вещества.** Гипотеза де Бройля и ее экспериментальная проверка. Корпускулярно-волновой дуализм. Вероятностное описание микрочастиц. Соотношение неопределенностей. Волновая функция. Уравнение Шредингера.
- 7. Атом водорода. Квантовые числа.** Спектры щелочных металлов. Ширина спектральных линий. Тонкая структура спектральных линий. Правила отбора. Водородоподобные атомы.
- 8. Многоэлектронные атомы.** Электронные слои и оболочки. Принцип Паули. Распределение электронов по энергетическим уровням. Периодическая система Менделеева. Электронные конфигурации основных состояний атомов. Рентгеновские лучи. Тормозное и характеристическое излучения. Закон Мозли. Рентгеновская дифрактометрия.
- 9. Магнитные свойства атомов.** Опыты Штерна и Герлаха. Спин электрона. Магнитный момент атома. Эффекты Зеемана. Электронный парамагнитный резонанс.
- 10. Атомное ядро. Радиоактивность. Элементарные частицы.** Состав ядра. Энергия связи ядра. Размеры ядра. Ядерные силы. Радиоактивный распад и его законы. Ядерные реакции. Классификация элементарных частиц. Античастицы. Космические лучи.
- 11. Кристаллы.** Кристаллическая решетка. Типы связей атомов в твердых телах. Эмпирические потенциалы межатомного взаимодействия. Энергетические зоны в твердых телах. Волны Блоха. Фононы.

**12. Полупроводники.** Классификация полупроводников. Основные свойства. Полупроводниковая микро и наноэлектроника. Интегральные микросхемы. Полупроводниковые лазеры.

**Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа .**

**Промежуточная аттестация проходит в традиционной форме - экзамен.**

#### **4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

##### **4.1. Самостоятельная внеаудиторная работа студентов осуществляется в следующих формах:**

1. Работа с лекциями, основной и дополнительной литературой, другими источниками, найденными в поисковых системах Интернета. Такая работа необходима для выполнения домашних практических заданий и для подготовки к экзамену.
2. Работа с компьютерными обучающими программами, электронными учебниками, тестовыми системами.
3. Использование профессиональных прикладных программ моделирования физических процессов и методов обработки данных.
4. Работа со средствами телекоммуникации, в том числе электронной почтой, телеконференциями, Интернетом и т.д.
5. Использование электронных библиотек, распределенных и централизованных издательских систем.

##### **4.2. Порядок выполнения и контроля самостоятельной работы**

На каждом практическом (семинарском) занятии студенты получают домашнее задание. На следующем занятии выборочно проверяются некоторые задачи и разбираются наиболее сложные для усвоения задания.

##### **4.3. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы**

Практические задания для студентов и методические рекомендации по их выполнению изложены в методическом пособии: Васин А.С. Задачи по атомной и квантовой физике. Часть 1. Атомная физика: Практикум. - Нижний Новгород.: Нижегородский госуниверситет, 2016. - 43с. В нем по каждой теме разобраны решения 2-3 типовых задач и приведены тексты 5-6 задач для самостоятельного решения.

##### **4.4. Темы практических занятий**

Темы занятий приведены в п. 5.2.2 настоящей программы.

Контрольные вопросы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.1.

**5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:**

**5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине**

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	Не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала.  Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельным и несущественным недочетом, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки.  Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.

### Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	Превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	Удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

## 5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

### 5.2.1 Контрольные вопросы

При подготовке к экзамену используются следующие контрольные вопросы, включаемые в экзаменационные билеты.

Вопросы	Код формируемой компетенции
1. Научная революция начала 20 века. Становление квантовой и ядерной физики. 2. Давление идеального газа. Распределение Максвелла. Характерные скорости молекул. 3. Теорема Больцмана о равнораспределении кинетической энергии по степеням свободы. Эффективные размеры атомов и молекул. 4. Моль вещества. Число Авогадро. 5. Равновесная плотность энергии излучения. Закон Кирхгофа. 6. Абсолютно черное тело. Закон Стефана-Больцмана.	ОПК-1

Вопросы	Код формируемой компетенции
7. Закон смещения Вина. Формула Рэлея-Джинса. 8. Формула Планка. 9. Фотоэффект. Формула Эйнштейна. 10. Эффект Комптона. Релятивистские частицы. 11. Спектроскопия. Атомарные спектры. 12. Открытие электрона. Различные модели строения атома. 13. Опыты Резерфорда. 14. Модель атома Бора и его постулаты. 15. Опыты Франка-Герца. Дискретные энергетические уровни. 16. Гипотеза де Бройля. Корпускулярно-волновой дуализм. 17. Вероятностное описание микрочастиц. Соотношение неопределенностей. 19. Волновая функция. Уравнение Шредингера. 20. Ширина спектральных линий. Тонкая структура спектральных линий. 21. Электронные слои и оболочки. Принцип Паули. 22. Распределение электронов по энергетическим уровням. Периодическая система Менделеева. 23. Электронные конфигурации основных состояний атомов. 24. Рентгеновские лучи. Тормозное и характеристическое излучения. 25. Закон Мозли. Рентгеновская дифрактометрия. 26. Опыты Штерна и Герлаха. Спин электрона. 27. Магнитный момент атома. Эффекты Зеемана. 28. Электронный парамагнитный резонанс. 29. Состав ядра. Энергия связи ядра. Размеры ядра. 30. Ядерные силы. Радиоактивный распад и его законы. 31. Ядерные реакции. 32. Классификация элементарных частиц. Античастицы. Космические лучи. 33. Кристаллическая решетка. 34. Типы связей атомов в твердых телах. 35. Эмпирические потенциалы межатомного взаимодействия. 36. Энергетические зоны в твердых телах. Волны Блоха. 37. Колебания атомов решетки. Фононы. 38. Классификация полупроводников. Основные свойства. 39. Полупроводниковая микро и наноэлектроника. Интегральные микросхемы. 40. Полупроводниковые лазеры.	

### 5.2.2. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенций

#### Темы практических занятий и типовые задачи.

№	Тема	Перечень компетенций
1	<b>Основные сведения о молекулах и атомах. Распределение Максвелла</b>	ОПК-1
	1. Для газа в комнате, где проходит занятие, подсчитать: а) число молекул, концентрацию всех молекул, концентрацию молекул кислорода;	

	б) среднее расстояние между молекулами (сравнить его с размерами молекул); в) среднеквадратичные скорости для $H_2$ , $N_2$ , $CO_2$ .	
2	<b>Тепловое излучение. Квантовые свойства света</b> 1. Получить с помощью формулы Планка приближенные выражения для объемной спектральной плотности излучения $u_\omega$ : а) в области, где $\hbar\omega \ll kT$ (формула Рэлея-Джинса); б) в области, где $\hbar\omega \gg kT$ (формула Вина). 2. Определить импульс электрона отдачи, если фотон с энергией 1.53 МэВ в результате рассеяния на свободном электроны потерял 1/3 своей энергии.	ОПК-1
3	<b>Спектры. Боровская теория атома</b> 1. Найти энергию связи электрона в основном состоянии водородоподобных ионов, в спектре которых длина волны третьей линии серии Бальмера равна 108.5 нм. 2. Используя теорию Бора, выразить постоянную Ридберга через фундаментальные физические константы.	ОПК-1
4	<b>Волновые свойства вещества. Соотношение неопределенностей</b> 1. Узкий пучок моноэнергетических электронов падает нормально на поверхность монокристалла никеля. В направлении, составляющем угол $55^\circ$ с нормалью к поверхности, наблюдается максимум отражения четвертого порядка при энергии электронов 180 эВ. Вычислить соответствующее значение межплоскостного расстояния. 2. Оценить минимально возможную энергию $E$ частицы массой $m$ , движущейся в одномерном потенциальном поле $U(x) = kx^2/2$ (гармонический осциллятор с частотой $\omega = \sqrt{k/m}$ ).	ОПК-1
5	<b>Атом водорода</b> 1. Для атома водорода изобразить в масштабе возможные уровни энергии электрона. Показать переходы, соответствующие излучению нескольких первых линий в сериях Лаймана, Бальмера, Пашена. 2. Сколько спектральных линий будет испускать атомарный водород, который возбуждают на $n$ -й энергетический уровень?	ОПК-1
6	<b>Многоэлектронные атомы</b> 1. Определить напряжение на рентгеновской трубке с никелевым анодом, если разность длин волн $K_\alpha$ -линии и коротковолновой границы сплошного спектра равна 0.084 нм 2. Используя закон Мозли, вычислить длины волн и энергии фотонов, соответствующие $K_\alpha$ -линиям алюминия и кобальта.	ОПК-1
7	<b>Радиоактивный распад. Ядерные реакции</b>	ОПК-1

	<p>1. Удельная активность препарата, состоящего из активного кобальта <math>^{58}\text{Co}</math> и неактивного <math>^{59}\text{Co}</math>, составляет <math>2.2 \cdot 10^{12}</math> расп./с·г). Период полураспада <math>^{58}\text{Co}</math> равен 71.3 суток. Найти отношение массы активного кобальта в этом препарате к массе препарата.</p> <p>2. Вычислить с помощью табличных значений масс атомов энергию на один нуклон, которая выделяется при протекании термоядерной реакции <math>^6\text{Li} + ^2\text{H} \rightarrow 2^4\text{He}</math>. Сравнить полученную величину с энергией на один нуклон, освобождающейся при делении ядра <math>^{235}\text{U}</math>.</p>	
8	<p><b>Твердое тело. Полупроводники</b></p> <p>1. Найти постоянную решетки AgBr, если известно, что <math>K_\alpha</math>-линия ванадия отражается в первом порядке от системы плоскостей (110) под углом скольжения <math>17.9^\circ</math>. AgBr имеет кубическую решетку.</p> <p>2. Кристаллическая решетка NaCl – кубическая, а CsCl – объемно центрированная кубическая. Постоянная решетки 563 пм и 411 пм, соответственно. Найти плотность этих кристаллов.</p>	ОПК-1

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

### а) основная литература:

- Бурланков Д.Е. Конспект лекций по атомной и квантовой физике. Часть I. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2016. – 60 с.
  - Бурланков Д.Е. Конспект лекций по атомной и квантовой физике. Часть II. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2015. – 75 с.
  - Бурланков Д.Е. Конспект лекций по атомной и квантовой физике. Часть III. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2016. – 71 с.
  - Фаддеев М.А., Чупрунов Е.В. Лекции по атомной физике: Учебник для вузов. – М.: Физматлит, 2008. – 612 с.
  - Сивухин Д.В. Общий курс физики. Уч. пособие. Для вузов. В 5 т. Том V. Атомная и ядерная физика. – 2-е изд. – Москва : Физматлит, 2002. — 784 с.
- Режим доступа: [Электронный ресурс] <https://e.lanbook.com/book/2315>.
- Васин А.С. Задачи по атомной и квантовой физике. Часть 1. Атомная физика: Практикум. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2016. – 43с.
  - Бурланков Д.Е. Практикум по квантовой физике. Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2016. –28 с.

### б) дополнительная литература:

- Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела: Учебник для вузов. – 2-е изд. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 1993. – 491 с.
- Фистуль В.И. Введение в физику полупроводников: Учебн. пособие. – 2-е изд., – М: Высш. шк., 1984. – 352 с.

### в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

- Интернет-ресурс справочной и математической литературы со свободным доступом [www.eqworld.ipmnet.ru](http://www.eqworld.ipmnet.ru)

## 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

По курсу имеется необходимое количество учебников и учебных пособий в библиотеке факультета и университета. Некоторые из них представлены на сайте физического факультета ННГУ и в форме Интернет-ресурсов в электронном виде.

При проведении лекционных занятий может быть использована аудитория, оснащенная мультимедийным проектором.

Некоторые практические занятия проводятся в классе персональных ЭВМ с лицензионным пакетом «Математика» фирмы Вольфрам, включающем 12 машин.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО ННГУ с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению подготовки 09.03.02 «Информационные системы и технологии».

Автор:

к.ф.-м.н., доцент кафедры ИТФИ

\_\_\_\_\_

Васин А.С.

Рецензент

д.ф.-м.н., профессор, зав. каф.  
статистической радиофизики и  
мобильных систем связи РФФ

\_\_\_\_\_

Мальцев А.А.

Заведующий кафедрой ИТФИ

д.т.н., профессор

\_\_\_\_\_

Фидельман В.Р.

Программа одобрена на заседании методической комиссии физического факультета ННГУ  
20.05.2023 года, протокол б/н.

Председатель УМК физ.ф-та \_\_\_\_\_ Перов А.А.