

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Радиофизический факультет

---

УТВЕРЖДЕНО  
решением Ученого совета ННГУ  
протокол № 10 от 02.12.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Атомная физика

---

Уровень высшего образования  
Бакалавриат

---

Направление подготовки / специальность  
02.03.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии

---

Направленность образовательной программы  
Информационные системы и технологии

---

Форма обучения  
очная

---

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.05 Атомная физика относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

## 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	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
<p>ПК-2: Способен к применению общенаучных базовых знаний математических и естественных наук, фундаментальной информатики и информационных технологий; применять в профессиональной деятельности современные языки программирования и методы параллельной обработки данных, операционные системы, электронные библиотеки и пакеты программ, сетевые технологии</p>	<p>ПК-2.1: Знает основы научно-исследовательской деятельности в области информационных технологий, имеет научные знания в теории информационных систем</p> <p>ПК-2.2: Умеет применять полученные знания в области фундаментальных научных основ теории информации и решать стандартные задачи в собственной научно-исследовательской деятельности.</p> <p>ПК-2.3: Имеет практический опыт научно-исследовательской деятельности в области информационных технологий</p>	<p>ПК-2.1: Знает: - основные экспериментальные факты, выявляющие необходимость новой концепции в описании явлений, проявляющихся в масштабах атомных структур; - основные закономерности и соотношения, необходимые для расчетов влияния квантовых эффектов на устройства и каналы передачи информации; - элементную базу и принципы работы приборов, применяемых в современной квантовой электронике.</p> <p>ПК-2.2: Умеет: - анализировать явления в области атомной физики для качественной оценки их влияния на развитие информационных технологий; - классифицировать научно-техническую информацию в области современной квантовой теории информации.</p> <p>ПК-2.3: Имеет опыт решения стандартных задач по</p>	<p>Контрольная работа</p>	<p>Зачёт: Контрольная работа</p>

		определению параметров систем, являющихся базовыми для современной технологии создания, обработки и передачи информации.		
--	--	--	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>2</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>72</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>32</b>
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>0</b>
- КСР	<b>1</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>39</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>0</b> <b>Зачёт</b>

#### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	
О необходимости всестороннего изучения экспериментальных фактов, приводящих к новым закономерностям в атомных явлениях.	4	2		2	2
Квантовая теория фотоэффекта. Понятие фотона.	6	2		2	4
Эффект Комптона. Элементы специальной теории относительности.	9	4		4	5
Равновесное излучение абсолютно черного тела. Элементы статистической физики.	9	4		4	5
Опыт Дэвиссона и Джермера.	4	2		2	2
Опыт Штерна и Герлаха. Спин электрона.	6	2		2	4
Атомная теория Бора.	5	2		2	3

Волновые свойства частиц. Понятие волновой функции. Волна де Бройля.	4	2		2	2
Волновой пакет. Вероятностная интерпретация волновой функции. Принцип суперпозиции.	7	4		4	3
Уравнение Шрёдингера и его применение для расчета простейших моделей атомных систем.	10	5		5	5
Явление квантового туннелирования. Распад атомного ядра.	7	3		3	4
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	72	32	0	33	39

### Содержание разделов и тем дисциплины

1. Фотоэффект. опыты Герца и Столетова. Закон Эйнштейна. Соотношение Эйнштейна. Корпускулярно-волновой дуализм.
2. Рассеяние электромагнитного излучения на свободных зарядах. Эффект Комптона. Элементы релятивистской механики.
3. Модель атома Томсона. опыты Резерфорда. Планетарная модель атома и проблема устойчивости атомов. Сериальные закономерности в спектре атома водорода. Квантование момента импульса. Постулаты Бора. Экспериментальное доказательство дискретной структуры атомных уровней.
4. Равновесное электромагнитное излучение в полости. Законы Релея-Джинса и Вина. Гипотеза Планка. Кванты излучения. Формула Планка. Закон Стефана-Больцмана и закон смещения Вина.
5. Гипотеза де-Бройля. Волновые свойства частиц. опыты Девиссона-Джермера и Томсона, их современные модификации. Волны де-Бройля. Соотношения де-Бройля.
6. Волновая функция и её интерпретация. Волновой пакет. Фазовая и групповая скорость волн де-Бройля. Детерминированность классической физики и вероятностный подход в квантовой механике. Проблема измерений в квантовых системах. Микроскоп Гейзенберга.
7. Квантовая система, ее состояние, измерения и измеряемые параметры. Свойства волновой функции. Принцип суперпозиции. Уравнение Шрёдингера. Стационарные и нестационарные состояния.
8. Потенциальная яма с бесконечными стенками. Состояния с определенным значением энергии. Уровни энергии частицы. Вероятности измерения энергии в суперпозированном состоянии.
9. Прохождение частицы через потенциальный барьер. Граничные условия. Туннельный эффект. Надбарьерное отражение.
10. Туннельный эффект:  $\alpha$  – распад атомных ядер, автоэлектронная эмиссия.
11. Орбитальный механический и магнитный моменты электрона. Магнетон Бора. Экспериментальное определение магнитных моментов. Опыт Штерна и Герлаха. Спин электрона. Собственный магнитный момент электрона. Спиновое гиромангнитное отношение.

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 4 ч.

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

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Савельев Игорь Владимирович. Курс общей физики : в 5 кн. - М. : Астрель : АСТ, 2005-. Курс общей физики. Кн. 5. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. - М. : Астрель : АСТ, 2007. - 368 с. : ил. - ISBN 5-17-004587-5 (кн. 5) : 169.00.

## 5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

### 5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

#### 5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольная работа) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

1. При поочередном освещении ультрафиолетовым излучением поверхностей двух металлов с работами выхода  $\phi = 4.47$  эВ и  $\phi = 1.89$  эВ обнаружили, что соответствующие максимальные скорости фотоэлектронов отличаются друг от друга в  $n = 1.4$  раза. Найти длину волны излучения.
2. Температура поверхности звезды  $\beta$  созвездия Лебедя  $T = 5000$  К, а ее звездная постоянная (плотность светового потока энергии звездного излучения у поверхности Земли) равна  $\Phi = 1.13 \times 10^{-7}$  эрг/(см<sup>2</sup>·с). Оцените радиус звезды, если она удалена от Земли на расстояние  $1.04 \times 10^{19}$  см.
3. Определить скорость электрона, если его дебройлевская длина волны  $\lambda = 21.6$  раза меньше радиуса первой борновской орбиты в атоме водорода.
4. Моноэнергетический пучок нерелятивистских электронов, ускоренных в электрическом поле, падает на поверхность монокристалла LiF, постоянная  $d$  кристаллической решетки которого равна  $d = 3.8$  Å. При угле скольжения  $\theta = 1^\circ 30'$  наблюдается максимум отражения 2-го порядка. Найти ускоряющую разность потенциалов  $U$ .
5. Ион He<sup>1+</sup> испустил квант света при переходе из возбужденного состояния в основное. Определить номер орбиты, соответствующей данному возбужденному состоянию, если кинетическая энергия фотоэлектрона, вырванного этим квантом из атома водорода, который находился в основном состоянии и покоился, составила  $E_k = 27.3$  эВ.

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольная работа)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.
не зачтено	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.

### 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

#### Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения 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. Ошибок нет.	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	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. 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	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой

	<b>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	<b>удовлетворительно</b>	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»
<b>не зачтено</b>	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	<b>плохо</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### 5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

#### 5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольная работа) для оценки сформированности компетенции ПК-2

- Ион  $\text{He}^{1+}$  испустил квант света при переходе из возбужденного состояния в основное. Определить номер орбиты, соответствующей данному возбужденному состоянию, если кинетическая энергия фотоэлектрона, вырванного этим квантом из атома водорода, который находился в основном состоянии и покоился, составила  $\dots = 27.3 \text{ эВ}$ .
- Ион  $\text{Li}^{2+}$  испустил квант света при переходе электрона с орбиты  $n_1$  на орбиту  $n_2$  где  $r_1$  – боровский радиус. Найти скорость фотоэлектрона, вырванного этим квантом из атома водорода, который находился в основном состоянии и покоился.
- При освещении поверхности некоторого металла светом с длиной волны  $\lambda_1$  обнаружили, что максимальная скорость фотоэлектронов составляет  $v_1$  м/с, затем длину волны излучения изменили в  $k$  раз, при этом максимальная скорость фотоэлектронов уменьшилась до  $v_2$  м/с. Найти работу выхода с поверхности этого металла.
- При каком значении скорости релятивистского электрона его энергия равна энергии фотона с длиной волны  $\lambda$ , в  $k$  раз меньшей комптоновской длины волны электрона?
- При поочередном освещении ультрафиолетовым излучением поверхностей двух металлов с работами выхода  $A_1 = 4.47 \text{ эВ}$  и  $A_2 = 1.89 \text{ эВ}$  обнаружили, что соответствующие максимальные скорости фотоэлектронов отличаются друг от друга в  $k$  раз. Найти длину волны излучения.
- Определить длину волны де Бройля для электрона с энергией  $10 \text{ МэВ}$ .
- Найти скорость электрона, если его длина волны де Бройля имеет величину  $\lambda = 3 \text{ пм}$ .
- Определить длину волны де Бройля для протона с энергией  $5 \text{ МэВ}$ .
- Электрон с нулевой начальной скоростью находится в электрическом поле. Найти длину волны де Бройля, если частица прошла ускоряющую разность потенциалов  $U = 510 \text{ кВ}$ .
- Фотон с длиной волны а)  $\lambda = 500 \text{ \AA}$ , б)  $\lambda = 0.024 \text{ \AA}$  вырывает электрон из атома водорода. Чему равна скорость вырванного электрона?

11. Найти скорость фотоэлектронов, вырывааемых электромагнитным излучением с длиной волны  $\lambda = 18$  нм из ионов  $\text{He}^+$ , которые находятся в основном состоянии и покоятся.
12. Фотон испытал рассеяние на покоившемся свободном электроне. Найти импульс налетавшего фотона, если энергия рассеянного фотона равна кинетической энергии электрона отдачи при угле  $90^\circ$  между направлениями их разлета.
13. Найти величину плотности тока вероятности для следующих волновых функций:  $\psi(x) = A(\exp(ikx) + i \exp(ikx))$  и  $\psi(x) = A(\exp(ikx) + 0.5 \cdot \exp(ikx))$ .
14. На сколько изменилась кинетическая энергия электрона в атоме водорода при излучении атомом фотона с длиной волны  $\lambda = 486$  нм?
15. Красная граница фотоэффекта для цезия равна  $\lambda = 6390$  Å. Чему равна максимальная энергия фотоэлектронов, если падающее на цезиевый фотокатод излучение имеет длину волны  $\lambda = 912$  Å.
16. Когда длину волны света, освещающего поверхность некоторого металла, изменили с  $0.35$  мкм на  $0.54$  мкм, максимальная скорость фотоэлектронов уменьшилась в два раза. Найти работу выхода с поверхности этого металла.
17. На металлическую поверхность с работой выхода  $A = 3.6$  эВ воздействует электромагнитное поле ( $E$  – напряженность электрического поля волны). Найти энергию фотоэлектронов, если , .
18. Излучение  $\text{CO}_2$  - лазера ( $\lambda_0 \approx 10$  мкм) рассеивается на релятивистском электронном пучке с энергией  $E = 5$  ГэВ, движущемся навстречу. Какова длина волны излучения, рассеиваемого назад?
19. Определить величину комптоновского смещения, если начальная длина волны фотона  $\lambda_0 = 0,0242$  Å, а скорость электрона отдачи определяется соотношением  $v/c = 0.6$ . Считать, что до столкновения электрон покоился.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольная работа)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.
не зачтено	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные знания и умения. Имели место грубые ошибки.

### 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Гольдин Лев Лазаревич. Введение в атомную физику : [учеб. пособие для втузов]. - М. : Наука, 1969. - 303 с. : с черт. - 0.60., 36 экз.
2. Шпольский Э. В. Атомная физика. Т. 1. Введение в атомную физику / Шпольский Э. В. - 8-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 560 с. - Книга из коллекции Лань - Физика. - ISBN 978-5-8114-1005-7., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=799661&idb=0>.
3. Матвеев Алексей Николаевич. Механика и теория относительности : учеб. пособие для студентов физ. специальностей вузов. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 1986. - 320 с. : ил. - 1.40., 5 экз.
4. Иродов Игорь Евгеньевич. Квантовая физика : основные законы. - 5-е изд., стер. - М. : Бином.

Лаборатория знаний, 2014. - 256 с. : ил. - (Общая физика). - ISBN 978-5-9963-1322-8 : 160.00., 1 экз.

5. Сивухин Дмитрий Васильевич. Общий курс физики : учеб. пособие для физ. специальностей вузов. Т. 5. Атомная и ядерная физика, ч. 1 : Атомная физика . - М. : Наука, 1986. - 416 с. : ил. - 1.20., 194 экз.

Дополнительная литература:

1. Браун Александр Георгиевич (Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)). Атомная и ядерная физика. Элементы квантовой механики. Практикум : Учебное пособие / Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). - 1. - Москва : ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М", 2025. - 88 с. - (Высшее образование (МАТИ-МАИ)). - ВО - Бакалавриат. - ISBN 978-5-16-019148-5. - ISBN 978-5-16-111902-0 (электр. издание)., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=917497&idb=0>.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

<https://teach-in.ru/course/atomic-physics/lecture>

#### **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 02.03.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии.

Автор(ы): Шарков Валерий Валерьевич, кандидат физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Оболенский Сергей Владимирович, доктор технических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 28.11.2024, протокол № 06/24.