

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 № 6 от 31.05.2023 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Атомная физика

---

Уровень высшего образования

Специалитет

---

Направление подготовки / специальность

11.05.02 - Специальные радиотехнические системы

---

Направленность образовательной программы

Радиотехнические системы и комплексы сбора и обработки информации

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2023 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.22 Атомная физика относится к обязательной части 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
ОПК-1: Способен использовать в профессиональной деятельности основные законы естественнонаучных дисциплин, применять методы математического анализа и моделирования, теоретических и экспериментальных исследований, приобретать новые математические и естественнонаучные знания, используя современные образовательные и информационные технологии	ОПК-1.1: Разбирается в основных разделах математических и естественнонаучных дисциплин. ОПК-1.2: Применяет основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, теоретических и экспериментальных исследований	ОПК-1.1: Знать: основные разделы математических и естественнонаучных дисциплин Уметь: разбираться в основных разделах математических и естественнонаучных дисциплин Владеть: навыками применения знаний по математическим и естественнонаучным дисциплинам при решении практических задач  ОПК-1.2: Знать: основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, теоретических и экспериментальных исследований Уметь: применять основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, теоретических и экспериментальных исследований Владеть: навыками применения основных законов естественнонаучных	Задачи	Зачёт: Задачи

		дисциплин, методов математического анализа и моделирования, теоретических и экспериментальных исследований		
--	--	--	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>3</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>108</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>75</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 и краткое содержание 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	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
О необходимости всестороннего изучения экспериментальных фактов, приводящих к новым закономерностям в атомных явлениях	6	2		2	4
Квантовая теория фотоэффекта. Понятие фотона.	10	2		2	8
Эффект Комптона. Элементы специальной теории относительности.	10	4		4	6
Равновесное излучение абсолютно черного тела. Элементы статистической физики.	10	4		4	6
Опыт Дэвиссона и Джермера	8	2		2	6
Опыт Штерна и Герлаха. Спин электрона.	11	2		2	9

Атомная теория Бора	8	2		2	6
Волновые свойства частиц. Понятие волновой функции. Волна де Бройля.	8	2		2	6
Волновой пакет. Вероятностная интерпретация волновой функции. Принцип суперпозиции.	10	4		4	6
Уравнение Шрёдингера и его применение для расчета простейших моделей атомных систем.	16	6		6	10
Явление квантового туннелирования. Распад атомного ядра.	10	2		2	8
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	108	32	0	33	75

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

Самостоятельная работа обучающихся включает следующие виды:

- разбор лекционного материала,
- изучение дополнительных разделов дисциплины с использованием учебной литературы.

#### 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 - Задачи) для оценки сформированности компетенции ОПК-1

Текущий контроль успеваемости не предусмотрен.

##### Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	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	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»

#### 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	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 отдельными несущественными недочетами, 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 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	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 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

#### 5.3.1 Типовые задания, выносимые на промежуточную аттестацию:

##### Оценочное средство - Задачи

##### Зачёт

##### Критерии оценивания (Задачи - Зачёт)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	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	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»

##### Типовые задания (Задачи - Зачёт) для оценки сформированности компетенции ОПК-1

(Способен использовать в профессиональной деятельности основные законы естественнонаучных дисциплин, применять методы математического анализа и моделирования, теоретических и экспериментальных исследований, приобретать новые математические и естественнонаучные знания, используя современные образовательные и информационные технологии)

### Явление фотоэффекта

1. На металлическую поверхность с работой выхода  $A=3.6$  эВ воздействует электромагнитное поле  $E = E_0(1 + \cos \omega t) \cos \omega_0 t$  ( $E$  – напряженность электрического поля волны). Найти энергию фотонов, если  $\omega = 4.8 \cdot 10^{15}$  рад/с,  $\omega_0 = 6.4 \cdot 10^{15}$  рад/с.

2. 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.

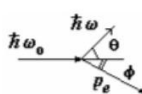
3. Производится облучение поверхности металла с работой выхода  $A_{\text{вых}}=3$  эВ. Спектральный состав излучения источника соответствует равновесному тепловому с температурой  $T=5700$  К. Найти среднюю энергию фотоэлектронов, считая, что вероятность вырывания электрона фотоном не зависит от длины волны излучения.

4. Оценить величину фототока с поверхности металла площадью  $S = 1$  см<sup>2</sup> (работа выхода  $A = 4$  эВ) под действием излучения Солнца. Спектр излучения Солнца считать близким к спектру излучения черного тела с температурой  $T=5700$  К. Считать величину квантового выхода фотоэффекта (вероятности вырывания электрона фотоном) не зависящей от длины волны и равной  $\eta = 0.01$ .

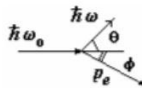
5. Когда длину волны света, освещающего поверхность некоторого металла, изменили с  $0.35$  мкм на  $0.54$  мкм, максимальная скорость фотоэлектронов уменьшилась в два раза. Найти работу выхода с поверхности этого металла.

### Эффект Комптона

6. При рассеянии кванта с энергией  $1.022$  МэВ на свободном покоящемся электроне угол вылета электрона  $\phi$  (см. рисунок) оказался таким, что  $\tan \phi = 1/3$ . Найти угол рассеяния кванта  $\theta$ .

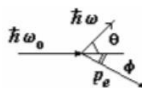


7. При рассеянии кванта на свободном покоящемся электроне угол рассеяния кванта  $\theta$  и угол вылета электрона  $\phi$  (см. рисунок) оказались равны, причем  $\theta = \phi = \pi/4$ . Найти энергии квантов до и после рассеяния.



8. Излучение CO<sub>2</sub> - лазера ( $\lambda_0 \approx 10$  мкм) рассеивается на релятивистском электронном пучке с энергией  $E = 5$  ГэВ, движущемся навстречу. Какова длина волны излучения, рассеиваемого назад?

9. При рассеянии кванта на свободном покоящемся электроне угол вылета электрона  $\phi$  (см. рисунок) оказался таким, что  $\tan \phi = 1/2$ , а угол рассеяния кванта  $\theta = \pi/2$ . Найти энергию кванта.



10. 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.

### Излучение абсолютно черного тела

11. Радиус Солнца  $R = 7 \cdot 10^{10}$  см, а температура его поверхности  $T=5770$  К. Оценить, используя закон Стефана-Больцмана, величину энергии, излучаемую Солнцем за 1 с.

12. На сколько градусов изменилась температура равновесного теплового излучения, если длина волны, соответствующая максимуму в спектре  $\lambda_{\text{мах}}$  увеличилась на  $\Delta\lambda = 260$  нм. (воспользоваться законом смещения Вина)

### Атомная теория Бора

13. Используя теорию Бора, вычислить радиус второй орбиты в атоме водорода и скорость движения электрона на ней.

14. Используя теорию Бора, определить орбитальный магнитный момент электрона, движущегося по второй орбите атома водорода.
15. На какой орбите электрон атома водорода имеет скорость, приблизительно равную 734 км/с?
16. Определить частоту света, излучаемого атомом водорода, при переходе электрона на уровень с главным квантовым числом  $n = 2$ , если радиус орбиты электрона уменьшился в 9 раз.
17. Определить частоту света, излучаемого атомом водорода, при переходе электрона на уровень с квантовым числом  $n = 2$ , если радиус орбиты электрона уменьшился в 9 раз.
18. Используя теорию Бора, определить изменение орбитального механического момента электрона при переходе его из возбужденного состояния ( $n = 2$ ) в основное с испусканием фотона с длиной волны  $\lambda = 1,212 \cdot 10^{-7}$  м.
19. При переходе электрона в атоме водорода из возбужденного состояния в основное радиус орбиты электрона уменьшился в 16 раз. Определить длину волны излученного фотона.
20. На сколько изменилась кинетическая энергия электрона в атоме водорода при излучении атомом фотона с длиной волны  $\lambda = 486$  нм?

*Волновые свойства частиц. Волна де Бройля. Волновая функция.*

21. Протон движется в магнитном поле с индукцией 15 мТл по окружности радиусом 1,4 м. Определите длину волны де Бройля для протона.
22. Параллельный пучок электронов, разогнанных в электрическом поле с разностью потенциалов 15 В, падает на узкую прямоугольную диафрагму шириной 0,08 мм. Найти ширину главного дифракционного максимума на экране, расположенном на расстоянии 60 см от диафрагмы.
23. Рассмотреть дифракцию пучка электронов на щели. Под каким углом обнаружатся первые дифракционные минимум и максимум, если энергия электронов, нормально падающих на щель шириной  $b = 6 \cdot 10^{-5}$  см, равна  $W = 40$  кэВ?
24. В электронном микроскопе энергия пучка электронов  $E = 100$  кэВ. Определить его предельно возможную разрешающую способность.
25. При каком значении скорости дебройлевская длина волны микрочастицы равна ее комптоновской длине волны?
26. Ширина следа электрона на фотопластинке, полученного с помощью камеры Вильсона, 1 мкм. Определить, можно ли по данному следу обнаружить отклонение в движении электрона от законов классической механики? Кинетическую энергию электрона принять 15 эВ. (воспользоваться соотношением неопределенности)
27. Определить длину волны де Бройля для электрона, движущегося со средней квадратичной скоростью при температуре 290 К.
28. Электрон ускорен разностью потенциалов 100 В. Найти групповую и фазовую скорости волн де Бройля. То же рассчитайте и при разности потенциалов 105 В.
29. Поток летящих электронов параллельно друг другу проходит щель шириной 0,01 мм со скоростью  $v_x = 105$  м/с. Найти ширину центрального дифракционного максимума, наблюдаемого на экране, отстоящем от щели на расстоянии 1 м. Сравнить с шириной щели.
30. Найти величину плотности тока вероятности для следующих волновых функций:  $\psi(x) = A(\exp(ikx) + i \exp(ikx))$  и  $\psi(x) = A(\exp(ikx) + 0.5 \cdot \exp(ikx))$ .

*Уравнение Шредингера и его применение для расчета простейших моделей атомных систем.*

31. Определить координаты наиболее вероятного и наименее вероятного местонахождения частицы внутри бесконечно глубокой одномерной прямоугольной потенциальной ямы шириной  $a$  в состояниях с  $n = 1, 2$  и 3.
32. Частица находится в одномерной потенциальной яме бесконечно глубокой потенциальной яме шириной  $a$  в первом возбужденном состоянии. Определить вероятность обнару-

6

жения частицы в области  $\frac{3a}{8} < x < \frac{5a}{8}$  внутри ямы. (Выполнить рисунок).

33. Используя соотношение неопределенностей, оцените минимальную энергию, которой может обладать частица, находящаяся в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме шириной  $a$ ?
34. Для частицы массы  $m$  и энергии  $E$  рассчитать вероятность туннелирования через потенциальный барьер в виде дельта-функции Дирака  $V = a \delta(x)$  ( $a > 0$ ). *Примечание.* Использовать граничные условия в точке  $x=0$  для производной волновой функции слева ( $I$ ) и справа ( $II$ ):  $\psi'_I(0) = \psi'_{II}(0) + (2ma/\hbar^2) \psi(0)$ .
35. Частица находится в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной  $a$  в основном состоянии. Определить вероятность обнаружения частицы в левой трети ямы (выполнить рисунок).
36. Частица находится в основном состоянии в одномерной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Оценить силу, с которой частица действует на стенку. Сделать расчет электрона в «яме» размером  $10^{-10}$  м.
37. С помощью соотношения неопределенностей Гейзенберга ( $\Delta x \Delta p \geq \hbar$ , где  $\Delta x$  – дисперсия координаты,  $\Delta p$  – дисперсия импульса) оценить минимальное значение энергии одномерного гармонического осциллятора, колеблющегося с частотой  $\omega$ .



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

Основная литература:

1. Матвеев Алексей Николаевич. Атомная физика : [учеб. пособие для физ. специальностей вузов]. - М. : Высшая школа, 1989. - 439 с. : ил. - ISBN 5-06-000056-7 : 1.40., 217 экз.
2. Сивухин Дмитрий Васильевич. Общий курс физики : учеб. пособие для студентов вузов : в 5 т. Т. 5 : Атомная и ядерная физика. - Изд. 2-е, стер. - М. : Физматлит : Изд-во МФТИ, 2002. - 784 с. : ил. - ISBN 5-9221-0230-3. - ISBN 5-89155-088-1 : 270.75., 2 экз.

Дополнительная литература:

1. Берклеевский курс физики : [в 5 т.]. Т. 4 : Квантовая физика / сост. Э. Вихман ; пер. с англ. под ред. А. И. Шальникова и А. О. Вайсенберга. - М. : Наука, 1974. - 415 с. : ил. - На пер. загл.: Курс физики. - 1.14., 66 экз.

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

Не используется

## **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 ФГОС ВО по специальности 11.05.02 - Специальные радиотехнические системы.

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

Заведующий кафедрой: Маругин Алексей Валентинович, кандидат физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 25 мая 2023 г., протокол № 04/23.