

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

**Радиофизический факультет**  
(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО  
решением ученого совета ННГУ  
протокол от  
«31» мая 2023 № 6

Рабочая программа дисциплины

**Атомная физика**  
(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования  
**бакалавриат**  
(бакалавриат / магистратура / специалитет)

**Направление подготовки**  
**02.03.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии**  
(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы  
**Информационные системы и технологии**  
(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)  
**бакалавр**  
(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения  
**очная**  
(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2023 год

## 1. Место и цели дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Дисциплина «Атомная физика» относится к обязательным дисциплинам вариативной части (блок Б1.В) основной профессиональной образовательной программы (ОПОП) высшего образования по направлению подготовки 02.03.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии» на радиофизическом факультете ННГУ. Дисциплина изучается в 5-м семестре.

### Целями освоения дисциплины являются:

- ознакомление с экспериментальными фактами, приводящими к возникновению новой парадигмы в описании законов движения (распространения) частиц и электромагнитных волн;
- формирование у студента современного представления о структуре атома;
- ознакомление с математическим аппаратом, применяемым для расчета эффектов атомной физики;
- получение базового образования для изучения дисциплины «Квантовая и оптическая электроника».

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций
ПК-2. Способность 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.  Этап формирования базовый	31 (ПК-2). Знать основные экспериментальные факты, выявляющие необходимость новой концепции в описании атомных явлений. 32 (ПК-2). Знать принципы моделирования, классификацию способов представления моделей; приемы, методы, способы формализации объектов, процессов, явлений и реализации математических моделей на компьютере; достоинства и недостатки различных вычислительных методов. У1 (ПК-2). Уметь овладевать базовыми знаниями в области атомной физики и использовать их в профессиональной деятельности. У2 (ПК-2). Уметь представить модель в математическом и алгоритмическом виде; оценить качество модели; показать теоретические основания модели; проводить статистическое моделирование; моделировать процессы, протекающие в физических системах. В1 (ПК-2). Владеть опытом накопления базовых знаний и способностью их использования в области атомной физики в профессиональной деятельности. В2 (ПК-2). Владеть навыками применения современных компьютерных технологий для решения научно-исследовательских и производственно-технологических задач профессиональной деятельности; приемами построения компьютерных моделей реальных объектов; навыками построения имитационных моделей информационных процессов и программирования в системах моделирования.

### 3. Структура и содержание дисциплины «Атомная физика»

Объем дисциплины составляет 2 зачетных единицы, всего 72 часа, из которых 33 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (32 часа - занятия лекционного типа, 1 час –мероприятия промежуточной аттестации), 39 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
1. О необходимости всестороннего изучения экспериментальных фактов, приводящих к новым закономерностям в атомных явлениях	4	2			2	2
2. Квантовая теория фотоэффекта. Понятие фотона.	6	2			2	4
3. Эффект Комптона. Элементы специальной теории относительности.	8	4			4	4
4. Равновесное излучение абсолютно черного тела. Элементы статистической физики.	9	4			4	5
5. Опыт Дэвиссона и Джермера.	4	2			2	2
6. Опыт Штерна и Герлаха. Спин электрона.	4	2			2	2
7. Атомная теория Бора.	6	2			2	4
8. Волновые свойства частиц. Понятие волновой функции. Волна де Бройля.	4	2			2	2
9. Волновой пакет. Вероятностная интерпретация в волновой функции. Принцип суперпозиции.	9	4			4	5
10. Уравнение Шрёдингера и его применение для расчета простейших моделей атомных систем.	12	6			6	6
11. Явление квантового туннелирования. Распад атомного ядра.	7	2			2	5
В т.ч. текущий контроль	1	1			1	
<b>Промежуточная аттестация – зачет</b>						

#### **4. Образовательные технологии**

В соответствии с рабочей программой и тематическим планом изучение дисциплины проходит в виде аудиторной и самостоятельной работы студентов. В процессе изучения дисциплины используется проблемный метод изложения материала.

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

Самостоятельная работа обучающихся включает следующие виды:

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

#### **6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине**

**6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, навыков), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования**

**ПК-2: Способность 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.**

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
<b>Знания</b> Знать 1. основные экспериментальные факты, выявляющие необходимость новой концепции в описании атомных явлений. 2. принципы моделирования, классификацию способов представления моделей; приемы, методы, способы формализации объектов, процессов, явлений и реализации математических моделей на компьютере; достоинства и недостатки различных вычислительных методов.	Отсутствие знаний материала	Наличие грубых ошибок в основном материале	Знание основного материала с рядом негрубых ошибок	Знание основного материалом с рядом заметных погрешностей	Знание основного материала с незначительными погрешностями	Знание основного материала без ошибок и погрешностей	Знание основного и дополнительного материала без ошибок и погрешностей
<b>Умения</b> Уметь 1. овладевать базовыми знаниями в области атомной физики и использовать их в профессиональной деятельности. 2. представить модель в математическом и алгоритмическом виде; оценить качество модели; показать теоретические основания модели; проводить статистическое моделирование; моделировать процессы, протекающие в физических системах.	Отсутствует способность решения стандартных задач	Наличие грубых ошибок при решении стандартных задач	Способность решения основных стандартных задач с существенными ошибками	Способность решения всех стандартных задач с незначительными погрешностями	Способность решения всех стандартных задач без ошибок и погрешностей	Способность решения стандартных и некоторых нестандартных задач	Способность решения стандартных задач и широкого круга нестандартных задач
<b>Навыки</b> Владеть 1. опытом накопления базовых знаний и способностью их использования в области	Полное отсутствие навыка	Отсутствие навыка	Владение навыком в минимальном объеме	Посредственное владение навыком	Достаточное владение навыком	Хорошее владение навыком	Всестороннее владение навыком

атомной физики в профессиональной деятельности . 2. навыками применения современных компьютерных технологий для решения научно-исследовательских и производственных технологических задач профессиональной деятельности ; приёмами построения компьютерных моделей реальных объектов; навыками построения имитационных моделей информационных процессов и программирования в системах моделирования							
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 20 %	21 – 50 %	51 – 70 %	71-80 %	81 – 90 %	91 – 99 %	100%

## 6.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Итоговый контроль качества усвоения студентами содержания дисциплины проводится в виде зачета, на котором определяется:

- уровень усвоения студентами основного учебного материала по дисциплине;
- уровень понимания студентами изученного материала;
- способность студентов использовать полученные знания для решения

конкретных задач.

Зачет проводится в устной форме и заключается в решении задач (с предварительной подготовкой) и последующем собеседовании по результатам решения задач в рамках тематики курса. Собеседование проводится в форме вопросов, на которые студент должен дать краткий ответ.

Результатом проверки усвоения студентом материала и правильности решения задачи является выставление студенту оценки «зачтено». При отсутствии соответствующего уровня знаний и навыков студент не аттестовывается с выставлением оценки «не зачтено».

## 6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине, характеризующие сформированность компетенций

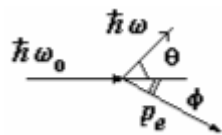
Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются: индивидуальное собеседование (ПК-2) и тестовые контрольные задачи (ПК-2).

Для оценивания результатов обучения в виде умений используется индивидуальное собеседование (ПК-2).

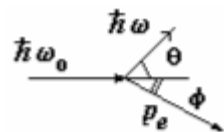
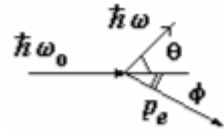
Для оценивания результатов обучения в виде владений используется индивидуальное собеседование (ПК-2) и тестовые контрольные задачи (ПК-2).

#### 6.4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции.

Контрольные задания для оценки сформированности компетенций ОПК-1, ПК-2.

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. Используя теорию Бора, вычислить радиус второй орбиты в атоме водорода и скорость движения электрона на ней.
3. Протон движется в магнитном поле с индукцией 15 мТл по окружности радиусом 1,4 м. Определите длину волны де Бройля для протона.
4. 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  $\theta$ .
 
5. 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  $3$ .
6. 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.
7. На сколько градусов изменилась температура равновесного теплового излучения, если длина волны, соответствующая максимуму в спектре  $\lambda_{\max}$  увеличилась на  $\Delta\lambda = 260$  нм. (воспользоваться законом смещения Вина)
8. Используя теорию Бора, определить орбитальный магнитный момент электрона, движущегося по второй орбите атома водорода.
9. Частица находится в одномерной потенциальной яме бесконечно глубокой потенциальной яме шириной  $a$  в первом возбужденном состоянии. Определить вероятность обнаружения частицы в области  $\frac{3a}{8} < x < \frac{5a}{8}$  внутри ямы. (Выполнить рисунок).
10. Используя соотношение неопределенностей, оцените минимальную энергию, которой может обладать частица, находящаяся в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме шириной  $a$ ?
11. 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?

12. 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.
13. На какой орбите электрон атома водорода имеет скорость, приблизительно равную 734 км/с?
14. При рассеянии кванта на свободном покоящемся электроном 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.
15. Для частицы массы  $m$  и энергии  $E$  рассчитать вероятность туннелирования через потенциальный барьер в виде дельта-функции Дирака  $V = \alpha \delta(x)$  ( $\alpha > 0$ ). *Примечание.* Использовать граничные условия в точке  $x=0$  для производной волновой функции слева (I) и справа (II):  $\psi'_I(0) = \psi'_{II}(0) + (2m\alpha/\hbar^2) \psi(0)$ .
16. Красная граница фотоэффекта для цезия равна  $\lambda = 6390 \text{ \AA}$ . Чему равна максимальная энергия фотоэлектронов, если падающее на цезиевый фотокатод излучение имеет длину волны  $\lambda = 912 \text{ \AA}$ .
17. На сколько изменилась кинетическая энергия электрона в атоме водорода при излучении атомом фотона с длиной волны  $\lambda = 486 \text{ нм}$ ?
18. Радиус Солнца  $R = 7 \cdot 10^{10} \text{ см}$ , а температура его поверхности  $T = 5770 \text{ К}$ . Оценить, используя закон Стефана-Больцмана, величину энергии, излучаемую Солнцем за 1 с.
19. 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)
20. Поток летящих электронов параллельно друг другу проходит щель шириной 0,01 мм со скоростью  $v_x = 10^5 \text{ м/с}$ . Найти ширину центрального дифракционного максимума, наблюдаемого на экране, отстоящем от щели на расстоянии 1 м. Сравнить с шириной щели.
21. При рассеянии кванта на свободном покоящемся электроном угол вылета электрона  $\phi$  (см. рисунок) оказался таким, что  $\text{tg } \phi = 1/2$ , а угол рассеяния кванта  $\theta = \pi/2$ . Найти энергию кванта.
22. Производится облучение поверхности металла с работой выхода  $A_{\text{вых}} = 3 \text{ эВ}$ . Спектральный состав излучения источника соответствует равновесному тепловому с температурой  $T = 5700 \text{ К}$ . Найти среднюю энергию фотоэлектронов, считая, что вероятность вырывания электрона фотоном не зависит от длины волны излучения.
23. 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.
24. Электрон ускорен разностью потенциалов 100 В. Найти групповую и фазовую скорости волн де Бройля. То же рассчитайте и при разности потенциалов  $10^5 \text{ В}$ .
25. Определить длину волны де Бройля для электрона, движущегося со средней квадратичной скоростью при температуре 290 К.
26. Частица находится в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме





- шириной  $a$  в основном состоянии. Определить вероятность обнаружения частицы в левой трети ямы (выполнить рисунок).
27. Оценить величину фототока с поверхности металла площадью  $S = 1 \text{ см}^2$  (работа выхода  $A = 4 \text{ эВ}$ ) под действием излучения Солнца. Спектр излучения Солнца считать близким к спектру излучения черного тела с температурой  $T = 5700 \text{ К}$ . Считать величину квантового выхода фотоэффекта (вероятности вырывания электрона фотоном) не зависящей от длины волны и равной  $\eta = 0.01$ .
  28. Определить частоту света, излучаемого атомом водорода, при переходе электрона на уровень с квантовым числом  $n = 2$ , если радиус орбиты электрона уменьшился в 9 раз.
  29. При каком значении скорости дебройлевская длина волны микрочастицы равна ее комптоновской длине волны?
  30. 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  $10^{-10} \text{ м}$ .
  31. 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  $\lambda = 1,212 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ .
  32. Определить величину комптоновского смещения, если начальная длина волны фотона  $\lambda_0 = 0,0242 \text{ Å}$ , а скорость электрона отдачи определяется соотношением  $v/c = 0.6$ . Считать, что до столкновения электрон покоился.
  33. 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  $\omega$ .
  34. При переходе электрона в атоме водорода из возбужденного состояния в основное радиус орбиты электрона уменьшился в 16 раз. Определить длину волны излученного фотона.
  35. В электронном микроскопе энергия пучка электронов  $E = 100 \text{ кэВ}$ . Определить его предельно возможную разрешающую способность.
  36. Рассмотреть дифракцию пучка электронов на щели. Под каким углом обнаружатся первые дифракционные минимум и максимум, если энергия электронов, нормально падающих на щель шириной  $b = 6 \cdot 10^{-5} \text{ см}$ , равна  $W = 40 \text{ кэВ}$ ?
  37. Найти величину плотности тока вероятности для следующих волновых функций:  $\psi(x) = A(\exp(ikx) + i \exp(ikx))$  и  $\psi(x) = A(\exp(ikx) + 0.5 \cdot \exp(ikx))$ .

#### 6.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.

Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утвержденное приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 г. №55-ОД,

Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

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

а) основная литература:

1. Матвеев А.Н. Атомная физика – М.: Высшая школа, 1989. – 439 с.(0)
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Том 5. Атомная и ядерная физика. – М.: Физматлит, 2008. – 784 с.(164)
3. Гольдин Л.Л., Новикова Г.И. Введение в атомную физику. – М.: Наука, 1969. – 303 с.(0)

б) дополнительная литература:

1. Вихман Э. Берклевский курс физики. Том 4. Квантовая физика. – М.: Наука, 1974. – 416 с.(21)

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

Для обучения дисциплине имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа. Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению 02.03.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии»

Автор \_\_\_\_\_ Шарков В.В.

Рецензент (ы) \_\_\_\_\_ Е.И. Шкелев

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Бельков С.А.

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