

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
(факультет / институт / филиал)

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

Рабочая программа дисциплины

Атомная физика

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

Специалитет

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

11.05.02 - Специальные радиотехнические системы

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

Радиотехнические системы и комплексы специального назначения

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижегород

2023 год

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

Дисциплина «Атомная физика» относится к дисциплинам вариативной части (блок Б1.В) основной профессиональной образовательной программы (ОПОП) высшего образования по специальности 11.05.02 «Специальные радиотехнические системы» 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 (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
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 Этап освоения: базовый	З1 (ОПК-1). Знать основные разделы математических и естественнонаучных дисциплин. У1 (ОПК-1). Уметь применять основные законы естественнонаучных дисциплин.

3. Структура и содержание дисциплины «Атомная физика»

Объем дисциплины составляет 3 зачетные единицы, всего **108** часов, из которых **33** часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа), **75** часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля)	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	
О необходимости всестороннего изучения экспериментальных фактов, приводящих к новым закономерностям в атомных явлениях	4	2			2	1
Квантовая теория фотоэффекта. Понятие фотона.	6	2			2	3
Эффект Комптона. Элементы специальной теории относительности.	8	4			4	3
Равновесное излучение абсолютно черного тела. Элементы статистической физики.	8	4			4	3
Опыт Дэвиссона и Джермера.	4	2			2	2
Опыт Штерна и Герлаха. Спин электрона.	6	2			2	4
Атомная теория Бора.	4	2			2	2
Волновые свойства частиц. Понятие волновой функции. Волна де Бройля.	6	2			2	3
Волновой пакет. Вероятностная интерпретация волновой функции. Принцип суперпозиции.	8	4			4	4
Уравнение Шрёдингера и его применение для расчета простейших моделей атомных систем.	12	6			6	5
Явление квантового туннелирования. Распад атомного ядра.	6	2			2	3
В т.ч текущий контроль	1					
Промежуточная аттестация (зачет)						

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 (модулю)

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

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

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
<u>Знания</u> Знать основные экспериментальные факты, выявляющие необходимость новых закономерностей в описании атомных явлений.	Отсутствие знаний материала	Наличие грубых ошибок в основном материале	Знание основного материала с рядом негрубых ошибок	Знание основного материала 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
<u>Умения</u> Уметь оценивать влияние явлений в области атомной физики на безопасность окружающей среды и человека.	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
<u>Навыки</u> Владеть математическим аппаратом для выполнения оценок влияния атомных явлений на безопасность окружающей среды и человека.	Полное отсутствие навыка	Отсутствие навыка	Владение навыком в минимальном объеме	Посредственное владение навыком	Достаточное владение навыком	Хорошее владение навыком	Всестороннее владение навыком
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 (модулю), характеризующих сформированность компетенций

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются: индивидуальное собеседование и тестовые контрольные задачи (ОПК - 1).

Для оценивания результатов обучения в виде умений используется индивидуальное собеседование (ОПК – 1).

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

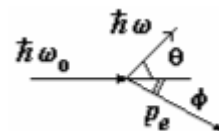
Контрольные вопросы для оценки сформированности компетенций:

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 ϕ (см. рисунок) оказался таким, что) $\tan \phi = 1/3$. Найти угол рассеяния кванта θ .



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 λ_{\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).

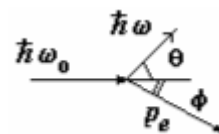
10. Используя соотношение неопределенностей, оцените минимальную энергию, которой может обладать частица, находящаяся в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме шириной a ?

11. Излучение CO_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?

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 θ и угол вылета электрона ϕ (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 $\lambda = 6390$ Å. Чему равна максимальная энергия фотоэлектронов, если падающее на цезиевый фотокатод излучение имеет длину волны $\lambda = 912$ Å.

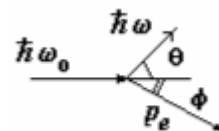
17. На сколько изменилась кинетическая энергия электрона в атоме водорода при излучении атомом фотона с длиной волны $\lambda = 486$ нм?

18. 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.

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 $v_x = 10^5$ 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 ϕ (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 $A_{\text{вых}} = 3$ 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.

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 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} 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 $\lambda_0 = 0,0242 \text{ \AA}$, 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 Δx – дисперсия координаты, Δp – дисперсия импульса) оценить минимальное значение энергии одномерного гармонического осциллятора, колеблющегося с частотой ω .

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.: Оникс, Мир и Образование, 2007. – 432 с. (219 экз.)

2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Том 5. Атомная и ядерная физика. – М.: Наука, 1989., М.: Физматлит, 2008. (427 экз.) наличие в электронно-библиотечной системе ЭБС "КОНСУЛЬТАНТ СТУДЕНТА" <http://www.studentlibrary.ru>

б) дополнительная литература:

1. Вихман Э. Берклевский курс физики. Том 4. Квантовая физика. – М.: Наука, 1974. – 415 с. (129 экз.)

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 ФГОС ВО с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению 11.05.02 «Специальные радиотехнические системы»

Автор _____ Шарков В.В.

Рецензент (ы) _____ Орлов И.Я

Заведующий кафедрой _____ Бельков С.А.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета