

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

10.05.02 Информационная безопасность телекоммуникационных систем

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

Системы подвижной цифровой защищенной связи

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижегород

2023 год

1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Атомная физика» относится к дисциплинам, формируемым участниками образовательных отношений по специальности 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем».

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
1	Блок 1. Дисциплины (модули) Дисциплины, формируемые участниками образовательных отношений	Дисциплина «Атомная физика» относится к формируемой участниками образовательных отношений части ООП специальности 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем».

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	
ПК-1. Способен исследовать методы построения и разрабатывать алгоритмы реализации систем безопасности телекоммуникационных каналов в подвижной цифровой защищенной связи	ПК-1.1. Знает: - национальные, межгосударственные и международные стандарты, систем подвижной цифровой защищенной связи - руководящие и методические документы уполномоченных федеральных органов исполнительной власти, устанавливающие требования к организации информационной безопасности средств защиты телекоммуникационных каналов связи - основные средства и способы обеспечения информационной безопасности, принципы построения	Знать: - 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.	Собеседование

	средств защиты систем подвижной цифровой защищенной связи		
	<p>ПК-1.2. Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> - организовывать сбор, обработку, анализ и систематизацию научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по проблемам информационной безопасности беспроводных каналов связи - составлять научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам выполненных исследований 	<p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - анализировать явления в области атомной физики для качественной оценки их влияния на информационную безопасность телекоммуникационных систем; - классифицировать научно-техническую информацию в области современной квантовой криптографии. 	Собеседование

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения	очно-заочная форма обучения	заочная форма обучения
Общая трудоемкость	3 ЗЕТ	___ ЗЕТ	___ ЗЕТ
Часов по учебному плану	108		
в том числе			
аудиторные занятия (контактная работа): - занятия лекционного типа - занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32		
самостоятельная работа	75		
КСР	1		
Промежуточная аттестация – экзамен/зачет	зачет		

3.2. 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 из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		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	2
Квантовая теория фотоэффекта. Понятие фотона.	6	2			2	4
Эффект Комптона. Элементы специальной теории относительности.	8	4			4	10
Равновесное излучение абсолютно черного тела. Элементы статистической физики.	9	4			4	6
Опыт Дэвиссона и Джермера.	4	2			2	4
Опыт Штерна и Герлаха. Спин электрона.	4	2			2	10
Атомная теория Бора.	6	2			2	4
Волновые свойства частиц. Понятие волновой функции. Волна де Бройля.	4	2			2	5

Волновой пакет. Вероятностная интерпретация волновой функции. Принцип суперпозиции.	9	4			4	13
Уравнение Шрёдингера и его применение для расчета простейших моделей атомных систем.	12	6			6	9
Явление квантового туннелирования. Распад атомного ядра.	7	2			2	8
Итого:	107	32			32	75

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

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

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						
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту	Уровень знаний ниже минимальных требований. Грубые ошибки в решении	Минимально допустимый уровень знаний. Допущен ряд негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки,	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.

	знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	практических задач.			ошибок	без ошибок.	
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений . Невыполнение практических заданий 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 несущественным 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 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	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 оценки при промежуточной аттестации

Оценка	Уровень подготовки
зачтено	Все части компетенции, на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой
	Все части компетенции, на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично»
	Все части компетенции, на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	Все части компетенции, на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо»
	Все части компетенции, на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно»
не зачтено	Компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно»,
	Компетенция сформирована на уровне «плохо»

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

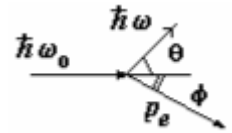
5.2.1 Контрольные вопросы

Вопросы	Код формируемой компетенции
1. Фотоэффект. Опыты Герца и Столетова. Закон Эйнштейна.	ПК-1
2. Рассеяние электромагнитного излучения на свободных зарядах. Эффект Комптона.	ПК-1
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.	ПК-1
4. Равновесное электромагнитное излучение в полости. Законы Релея-Джинса и Вина. Гипотеза Планка. Кванты излучения. Формула Планка. Закон Стефана-Больцмана и закон смещения Вина.	ПК-1
5. Гипотеза де-Бройля. Волновые свойства частиц. Опыты Девиссона-Джермера и Томсона, их современные модификации. Волны де-Бройля. Соотношения де-Бройля.	ПК-1
6. 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.	ПК-1
7. Квантовая система, ее состояние, измерения и измеряемые параметры. Волновая функция, ее свойства. Принцип суперпозиции. Уравнение Шредингера. Стационарные и нестационарные состояния.	ПК-1
8. Потенциальная яма с бесконечными стенками. Уровни энергии.	ПК-1
9. Прохождение частицы через потенциальный барьер. Туннельный эффект. Надбарьерное отражение.	ПК-1
10. Туннельный эффект: α – распад атомных ядер, автоэлектронная эмиссия.	ПК-1
11. Орбитальный механический и магнитный моменты электрона. Магнетон Бора. Экспериментальное определение магнитных моментов. Опыт Штерна и Герлаха. Спин электрона. Собственный магнитный момент электрона. Спиновое гиромагнитное отношение.	ПК-1

5.2.2. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-1

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.

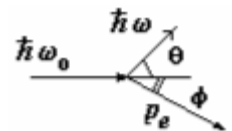
4. При рассеянии кванта с энергией 1.022 МэВ на свободном покоящемся электроне угол вылета электрона ϕ (см. рисунок) оказался таким, что) $\tan \phi = 1/3$. Найти угол рассеяния кванта θ .



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 $\Delta\lambda = 260\text{ нм}$. (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?

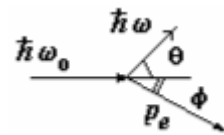
12. Когда длину волны света, освещающего поверхность некоторого металла, изменили с 0.35 мкм на 0.54 мкм, максимальная скорость фотоэлектронов уменьшилась в два раза. Найти работу выхода с поверхности этого металла.
13. На какой орбите электрон атома водорода имеет скорость, приблизительно равную 734 км/с?

14. При рассеянии кванта на свободном покоящемся электроне 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 $\lambda = 6390 \text{ \AA}$. 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 электроне угол вылета электрона ϕ (см. рисунок) оказался таким, что $\tan \phi = 1/2$, 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 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 $\lambda = 1,212 \cdot 10^{-7}$ 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 $E = 100$ 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 $b = 6 \cdot 10^{-5}$ см, равна $W = 40$ 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. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Матвеев А.Н. Атомная физика – Оникс, 2007. – 432 с.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Том 5. Атомная и ядерная физика. – М.: Физматлит, 2008. – 784 с.
3. Гольдин Л.Л., Новикова Г.И. Введение в квантовую физику. – М.: Наука, 1988. – 328 с.
4. Иродов И.Е. Квантовая физика. Основные законы. – «Лаборатория знаний», 2021. – 261 с.

б) дополнительная литература:

1. Вихман Э. Берклевский курс физики. Том 4. Квантовая физика. – ЁЁ Медиа, 2012. – 397 с.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

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 по специальности 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем».

Автор (ы) _____ В.В.Шарков

Заведующий кафедрой
квантовой радиофизики и электроники _____ С.А.Бельков

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