

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**

Квантовая теория

(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)

Нижний Новгород

2023 год

## 1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Квантовая теория» 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 «Квантовая теория» 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 критерии проявления квантовомеханических закономерностей в физических системах; - основы, составляющие аппарат квантовой механики (определения, постулаты, математические методы).	Собеседование

	средств защиты систем подвижной цифровой защищенной связи		
	<p>ПК-1.2. Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- организовывать сбор, обработку, анализ и систематизацию научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по проблемам информационной безопасности беспроводных каналов связи</li> <li>- составлять научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам выполненных исследований</li> </ul>	<p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- проводить приближенную оценку при решении задач, связанных с обеспечением информационной безопасности в современных телекоммуникационных системах;</li> <li>- применять формульный аппарат квантовой механики при изучении технологии квантовой криптографии, квантовых вычислений и квантовой электроники.</li> </ul>	Задачи (практические задания)

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения	очно-заочная форма обучения	заочная форма обучения
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>3 ЗЕТ</b>	<b>___ ЗЕТ</b>	<b>___ ЗЕТ</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>108</b>		
<b>в том числе</b>			
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>			
- занятия лекционного типа	32		
- занятия семинарского типа			
( практические занятия / лабораторные работы)	16 (16/0)		
<b>самостоятельная работа</b>	<b>59</b>		
<b>КСР</b>	<b>1</b>		
<b>Промежуточная аттестация – экзамен/зачет</b>	<b>зачет</b>		

### 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	
Волновая функция. Принцип суперпозиции.	12	2	2		4	8
Операторы физических величин. Примеры.	18	6	2		8	10
Одновременная измеримость величин. Соотношение неопределенностей.	12	4	2		6	6
Одномерный гармонический осциллятор.	8	2	2		4	4
Момент импульса. Движение в центрально-симметричном поле.	18	6	2		8	10
Уравнение Шредингера. Стационарная и нестационарная теория возмущений. Золотое правило Ферми.	22	8	4		12	10
Спин электрона. Основы квантовой криптографии.	17	4	2		6	11
Итого:	107	32	16		48	59

В процессе изучения дисциплины используются следующие образовательные технологии: проблемный метод изложения материала и диалогичная форма проведения практических занятий.

Практические занятия организуются в форме, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ и приобретении практических навыков, связанных с будущей профессиональной деятельностью. В процессе реализации практических занятий осуществляется текущий контроль успеваемости обучающихся студентов.

#### 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 знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований.  Грубые ошибки в решении практических задач.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущен ряд негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько незначительных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<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.	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 незначительными 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 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	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 оценки при промежуточной аттестации

Оценка	Уровень подготовки
<b>зачтено</b>	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»
<b>не зачтено</b>	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. Волна де Бройля. Суперпозиция волн де Бройля. Физический смысл.	ПК-1
2. Соотношение неопределенностей.	ПК-1
3. Линейные самосопряжённые операторы. Физический смысл собственных функций и собственных значений линейных самосопряжённых операторов.	ПК-1
4. Постулат квантования.	ПК-1
5. Постулат вероятности. Амплитуда вероятности и ее физический смысл. Теорема разложения.	ПК-1
6. Матричное представление. Векторы и операторы в матричном представлении.	ПК-1
7. Средние значения физических величин в матричном представлении.	ПК-1
8. Одновременная (совместная) измеримость физических величин.	ПК-1
9. Полный набор физических величин. Определение.	ПК-1

10. Скалярное произведение и операторы в координатном представлении.	ПК-1
11. Оператор импульса. Собственные значения и собственные функции.	ПК-1
12. Полный набор физических величин для момента импульса.	ПК-1
13. Собственные числа операторов квадрата момента импульса и одной из его проекций.	ПК-1
14. Качественный вид собственных функций оператора квадрата момента импульса и одной из его проекций.	ПК-1
15. Четность состояний.	ПК-1
16. Спектр значений энергии гармонического осциллятора.	ПК-1
17. Качественный вид собственных функций оператора Гамильтона для гармонического осциллятора.	ПК-1
18. Спектр значений энергии электрона в атоме водорода.	ПК-1
19. Качественный вид собственных функций оператора Гамильтона для электрона в атоме водорода.	ПК-1
20. Сложение двух моментов: спектры значений квадрата суммарного момента и одной из его проекций.	ПК-1
21. Спин электрона. Выражение через матрицы Паули. Магнитный момент.	ПК-1
22. Золотое правило Ферми.	ПК-1

### 5.2.2. Типовые тестовые задания для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. При измерении проекции момента импульса  $L_z$  в некотором состоянии получили среднее значение  $\langle L_z \rangle = \hbar/2$ . Пользуясь шаровыми функциями  $Y_{lm}(\theta, \varphi)$ , напишите хотя бы одну волновую функцию, которая описывала бы такое состояние.
2. Найти дисперсию проекции спина на ось  $y$  в состоянии  $\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} i \\ -1 \end{pmatrix}$ .
3. В первом состоянии гармонического осциллятора ( $n = 1$ ) вычислить наиболее вероятное значение координаты.
4. В первом порядке теории возмущений найти сдвиг энергии основного состояния электрона в атоме водорода  $\psi_{100}(r, \theta, \varphi) = \frac{1}{\sqrt{\pi a^3}} e^{-\frac{r}{a}}$  под действием внешнего однородного электрического поля напряженностью  $E$ , направленного вдоль оси  $y$ .
5. Электрон в атоме водорода находится в состоянии  $\psi(r, \theta, \varphi) = \frac{1}{\sqrt{\pi a^3}} e^{-\frac{r}{a}}$ . Вычислить среднее значение кинетической энергии электрона.
6. В одномерной прямоугольной потенциальной яме с абсолютно непроницаемыми стенками и шириной  $a$  находится электрон, состояние которого описывается волновой функцией  $\Psi(x) = \sqrt{\frac{8}{3a}} \sin^2 \frac{\pi x}{a}$ . Определить вероятность пребывания электрона в основном состоянии.

7. Частица находится в одномерной потенциальной яме шириной  $a$  с бесконечными стенками в состоянии  $\Psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{a}} \sin \frac{\pi n x}{a}$ . Найти среднее значение и дисперсию импульса  $p_x$ .
8. Волновая функция некоторой системы в сферических координатах определяется выражением ( $A$  – нормировочная константа):  $\psi(r, \theta, \varphi) = AR(r) \sin \theta \cos \varphi$ , причем  $\int_0^\infty R^2(r) r^2 dr = 1$ . Какие значения квадрата момента импульса и его проекции на ось  $z$  могут быть измерены в этом состоянии?
9. С помощью теории возмущений найти сдвиг энергии основного состояния  $\psi_1(x) = \sqrt{\frac{2}{a}} \sin \frac{\pi x}{a}$  электрона в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной  $a$  под действием внешнего однородного электрического поля напряженностью  $E$ .
10. Электрон в атоме водорода находится в состоянии  $\psi(r, \theta, \varphi) = \frac{1}{\sqrt{\pi a^3}} e^{-\frac{r}{a}}$ . Вычислить среднее расстояние электрона от ядра.
11. В опыте Штерна-Герлаха (магнитное поле направлено вдоль оси  $Z$ ) электроны в пучке обладают спином, направленным по оси  $X$ . Сколько пучков будет на экране. Ответ обосновать.
12. С помощью теории возмущений найти сдвиг энергии первого состояния  $\psi_2(x) = \sqrt{\frac{2}{a}} \sin \frac{2\pi x}{a}$  электрона в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной  $a$  под действием внешнего однородного электрического поля напряженностью  $E$ .
13. Электрон в атоме водорода находится в состоянии  $\psi(r, \theta, \varphi) = \frac{1}{\sqrt{\pi a^3}} e^{-\frac{r}{a}}$ . Вычислить среднее значение потенциальной энергии электрона.
14. Найти дисперсию проекции спина на ось  $z$  в состоянии  $\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$ .
15. Волновая функция некоторой системы в сферических координатах определяется выражением ( $A$  – нормировочная константа):  $\psi(r, \theta, \varphi) = AR(r) \sin 2\theta \cos \varphi$ , причем  $\int_0^\infty R^2(r) r^2 dr = 1$ . Какие значения квадрата момента импульса и его проекции на ось  $z$  могут быть измерены в этом состоянии?



16. С помощью теории возмущений найти сдвиг энергии второго состояния

$\psi_3(x) = \sqrt{\frac{2}{a}} \sin \frac{3\pi x}{a}$  электрона в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной  $a$  под действием внешнего однородного электрического поля напряженностью  $E$ .

17. Волновая функция некоторой системы в сферических координатах определяется выражением ( $A$  – нормировочная константа):  $\psi(r, \theta, \varphi) = AR(r) \sin 2\theta \cos \varphi$ , причем  $\int_0^\infty R^2(r)r^2 dr = 1$ . Чему равно среднее значение проекции момента импульса  $L_z$  в этом состоянии?

18. На частицу в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной  $a$  наложено возмущение вида  $V(x) = V_0 \cos^2\left(\frac{\pi x}{a}\right)$ . В первом порядке теории возмущений найти сдвиг энергии основного состояния  $\psi_1(x) = \sqrt{\frac{2}{a}} \sin \frac{\pi x}{a}$ .

19. Волновая функция некоторой системы в сферических координатах определяется выражением ( $A$  – нормировочная константа):  $\psi(r, \theta, \varphi) = AR(r) \cos \theta (1 + \sin \theta \sin \varphi)$ , причем  $\int_0^\infty R^2(r)r^2 dr = 1$ . Какие значения квадрата момента импульса и его проекции на ось  $z$  могут быть измерены в этом состоянии?

20. На частицу в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной  $a$  наложено возмущение вида  $V(x) = V_0 \sin^2\left(\frac{\pi x}{a}\right)$ . В первом порядке теории возмущений найти сдвиг энергии основного состояния  $\psi_1(x) = \sqrt{\frac{2}{a}} \sin \frac{\pi x}{a}$ .

21. В первом порядке теории возмущений найти сдвиг энергии основного состояния частицы в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной  $a$  под действием возмущения  $\hat{V} = \alpha \delta(x)$ .  $\alpha$  – константа,  $\delta(x)$  – дельта-функция Дирака.

22. Волновая функция некоторой системы в сферических координатах определяется выражением ( $A$  – нормировочная константа):  $\psi(r, \theta, \varphi) = AR(r) \sin^2 \theta \sin 2\varphi$ , причем  $\int_0^\infty R^2(r)r^2 dr = 1$ . Какие значения квадрата момента импульса и его проекции на ось  $z$  могут быть измерены в этом состоянии?

23. В первом порядке теории возмущений найти сдвиг энергии основного состояния гармонического осциллятора под действием возмущения  $\hat{V} = \alpha \hat{x} \hat{p}$ .  $\alpha$  – константа.

*Примечание.* Используйте операторы рождения и уничтожения.

24. В опыте Штерна-Герлаха (магнитное поле направлено вдоль оси Z) электроны в пучке обладают спином, направленным противоположно оси Z. Сколько пучков будет на экране. Ответ обосновать.
25. Волновая функция некоторой системы в сферических координатах определяется выражением  $\psi(r, \theta, \varphi) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} R(r, \theta) \sin \varphi$ . Какие значения проекции момента импульса на ось z могут быть измерены в этом состоянии и с какой вероятностью?
26. Волновая функция некоторой системы в сферических координатах определяется выражением  $\psi(r, \theta, \varphi) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} R(r, \theta) \sin \varphi$ . Каковы среднее значения и дисперсия проекции момента импульса на ось z в этом состоянии?
27. Спиновое состояние частицы со спином  $\frac{1}{2}$  описывается нормированной волновой функцией вида  $\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix}$ . Чему равно среднее значение проекции спина на ось y в этом состоянии?
28. В первом порядке теории возмущений найти сдвиг энергии основного состояния гармонического осциллятора под действием возмущения  $\hat{V} = \alpha \hat{p}^2$ .  $\alpha$  – константа. Прим. Используйте операторы рождения и уничтожения.
29. Волновая функция некоторой системы в сферических координатах определяется выражением  $\psi(r, \theta, \varphi) = R(r) \sqrt{\frac{3}{4\pi}} \sin \theta \cos \varphi$ . Какие значения квадрата момента импульса и его проекции на ось z могут быть измерены в этом состоянии и с какой вероятностью?
30. В первом порядке теории возмущений найти сдвиг энергии основного состояния гармонического осциллятора под действием возмущения  $\hat{V} = \alpha \delta(x)$ .  $\alpha$  – константа.
31. Волновая функция состояния квантовой частицы имеет вид  $\Psi(x) = \varphi(x) e^{\frac{ip_0 x}{\hbar}}$ , где  $\varphi(x)$  – действительная функция, нормированная к единице (т.е.  $\int_{-\infty}^{\infty} \varphi^2(x) dx = 1$ ). Найти среднее значение импульса частицы.

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Давыдов А.С. Квантовая механика. – М.: Наука, 1973. – 703 с.
2. Коэн К. Квантовая механика. Т. 1 и 2. – Из-во Уральского ун-та, 2000. – С. 944.
3. Викторова А.А., Ефремов Г.Ф., Понтус М.И. Сборник задач по квантовой механике и квантовой радиофизике. – Горький, 1980. – 53 с.

б) дополнительная литература:

4. Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики. - М.: Наука, 1983. – 664 с.

5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т. 3. Квантовая механика – М.: Физматлит, 2001. – 808 с.

### **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Для обучения дисциплине имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, практических занятий. 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.