

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 президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Квантовые технологии в информационных системах

---

Уровень высшего образования

Магистратура

---

Направление подготовки / специальность

03.04.03 - Радиофизика

---

Направленность образовательной программы

Квантовая радиофизика и лазерная физика

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.06.05 Квантовые технологии в информационных системах относится к части, формируемой участниками образовательных отношений 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
ПК-1: Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники при решении задач своей профессиональной деятельности	<p>ПК-1.1: Применяет принципы сбора и анализа информации, рассматривает и оценивает современные научные достижения, а также генерирует новые идеи при решении исследовательских и практических задач</p> <p>ПК-1.2: Работает с большим объемом данных, систематизирует и анализирует информацию, полученную из различных источников, в том числе с использованием современных информационных и коммуникационных технологий</p>	<p>ПК-1.1:</p> <p>Знать цели и задачи научных исследований, направленных на изучение методов использования квантовых технологий в системах передачи и обработки информации, а также базовые принципы создания подобных устройств.</p> <p>Уметь осуществлять выбор схем построения информационных систем на квантовой основе, планировать элементную базу установок.</p> <p>Владеть систематическими знаниями по классификации, областям применения современных информационных систем на основе квантовых технологий.</p> <p>ПК-1.2:</p> <p>Знать цели и задачи научных исследований, направленных на изучение методов использования квантовых технологий в системах передачи и обработки информации, а также базовые принципы создания подобных устройств.</p> <p>Уметь осуществлять выбор схем построения информационных систем на</p>	Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы

		<p>квантовой основе, планировать элементную базу установок.</p> <p>Владеть систематическими знаниями по классификации, областям применения современных информационных систем на основе квантовых технологий.</p>		
<p>ПК-2: Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники и оформлять их результаты</p>	<p>ПК-2.1: Анализирует современное состояние исследований в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов</p> <p>ПК-2.2: Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи</p> <p>ПК-2.3: Участвует в планировании, подготовке и проведении НИР</p> <p>ПК-2.4: Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники</p>	<p>ПК-2.1:</p> <p>Знать исторические основы и современное состояние исследований в области квантовой технологии, направления развития информационных систем на этой основе.</p> <p>Уметь выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах по квантовой тематике, обрабатывать результаты прецизионных квантоворазмерных измерений, в том числе в области фотоники.</p> <p>ПК-2.2:</p> <p>Знать исторические основы и современное состояние исследований в области квантовой технологии, направления развития информационных систем на этой основе.</p> <p>Уметь выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах по квантовой тематике, обрабатывать результаты прецизионных квантоворазмерных измерений, в том числе в области фотоники.</p> <p>ПК-2.3:</p> <p>Знать исторические основы и современное состояние исследований в области квантовой технологии, направления развития информационных систем на</p>	Собеседование	<p>Зачёт:</p> <p>Контрольные вопросы</p>

		<p>этой основе.</p> <p>Уметь выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах по квантовой тематике, обрабатывать результаты прецизионных квантоворазмерных измерений, в том числе в области фотоники.</p> <p>ПК-2.4:</p> <p>Знать исторические основы и современное состояние исследований в области квантовой технологии, направления развития информационных систем на этой основе.</p> <p>Уметь выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах по квантовой тематике, обрабатывать результаты прецизионных квантоворазмерных измерений, в том числе в области фотоники.</p>		
--	--	---	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>2</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>72</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	0
- КСР	1
<b>самостоятельная работа</b>	<b>39</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 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/лабора торные работы), часы	Всего	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
Тема 1. Волновая функция. Векторы, операторы, гильбертово пространство. Описание состояний квантовых систем. Соотношение неопределенностей. Парадокс ЭПР. Неравенство Белла.	9	4		4	5
Тема 2. Оператор спина. Матрицы Паули. Матрица плотности. Опыт Штерна-Герлаха. Современные эксперименты со спиновыми системами.	11	6		6	5
Тема 3. Двухуровневые системы. Запутанные состояния. Поляризация фотонов.	7	4		4	3
Тема 4. Квантовая система как носитель информации. Квантовые биты. Джозефсоновские контакты. Декогеренция квантовых состояний. Практическая реализация кубитных систем.	14	6		6	8
Тема 5. Основы квантовых вычислений. Квантовые логические элементы. Квантовые алгоритмы.	10	4		4	6
Тема 6. Эквивалентные схемы квантовых вычислительных систем. Управление квантовыми системами.	10	4		4	6
Тема 7. Квантовая коммуникация. Основы квантовой криптографии. Реализация протоколов шифрования.	10	4		4	6
Аттестация	0				
КСР	1				1
Итого	72	32	0	33	39

### Содержание разделов и тем дисциплины

-

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 4 ч.

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

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Помимо ознакомления с рекомендованной литературой в процессе обучения самостоятельная работа обучающегося предполагает проработку контрольных вопросов.

## 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 - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

1. Система постулатов в квантовой механике. (Принцип суперпозиции. Постулат об измерении. Правило Борна. Нормировка.)

2. Вычислительный базис.

Задание: Задан вектор состояния  $|\Psi\rangle = \begin{pmatrix} 1 - 2i \\ 4 + 3i \end{pmatrix}$  в базисе декартовой системы координат  $|0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$  и  $|1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$ .

а) Выполнить нормировку вектора состояния  $|\Psi\rangle$ .

б) Рассмотреть вектор  $|0'\rangle = \begin{pmatrix} 2 + 4i \\ 4 - 6i \end{pmatrix}$  и найти соответствующий ему ортогональный вектор  $|1'\rangle$ .

в) Отнормировать полученный новый произвольный базис  $|0'\rangle$  и  $|1'\rangle$  и найти компоненты вектора состояния  $|\Psi\rangle$  в этом базисе.

3. Спин  $\frac{1}{2}$ . Свойства матриц Паули. Построение волновых функций с определенным суммарным спином для двух спинов  $\frac{1}{2}$ .

Задание: Спиновая волновая функция электрона имеет вид  $\psi = \begin{pmatrix} \cos(\theta/2) \\ \sin(\theta/2)e^{i\varphi} \end{pmatrix}$ . Экспериментатор измеряет проекцию спина на ось  $y$ .

Найти:

а) с какими вероятностями он получит значения  $+\hbar/2$  и  $-\hbar/2$ ;

б) какое среднее значение он измерит.

4. Уравнение Паули. Движение заряженной частицы в магнитном поле. Уровни Ландау.

5. Фотонная структура квантованного электромагнитного поля. Поляризация фотонов.

6. Запутанные состояния. Эксперимент квантовый ластик с отложенным выбором.

7. Сформулировать неравенство Белла в случае измерения спина частиц синглетной пары по трем произвольным осям (0, 45 и 90 градусов).

### **5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-2:**

1. Основные понятия алгебры логики. Квантовые биты. Логические однокубитные гейты.
2. Многокубитные состояния. Классы квантовых алгоритмов. Квантовое преобразование Фурье. Квантовая телепортация.
3. Матрица плотности. Измерения (проекция) запутанных состояний.
4. Релаксация как неунитарная эволюция состояния. Конструирование квантовых резервуаров.
5. Проблема декогеренции. Коррекция ошибок с помощью обратной связи.
6. Основы квантовой криптографии. Протокол квантового распределения ключей BB84. Лабораторный практикум.

### **Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	1) 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 ИЛИ 2) Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично» ИЛИ 3) Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо» ИЛИ 4) Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо» ИЛИ 5) 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	1) Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» ИЛИ 2) Хотя бы одна компетенция 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 и 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 с указанием критериев их оценивания:

#### 5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Система постулатов в квантовой механике. Волновая функция. Векторы, операторы, гильбертово пространство.
2. Описание состояний квантовых систем. Соотношение неопределенностей.
3. Парадокс ЭПР. Неравенство Белла.
4. Оператор спина. Матрицы Паули.
5. Опыт Штерна-Герлаха.
6. Примеры современных экспериментов со спиновыми системами.
7. Двухуровневая идеализация. Двухуровневые модели и системы .
8. Фотонная структура квантованного электромагнитного поля. Поляризация фотонов.
9. Запутанные состояния.
10. Квантовая система как носитель информации. Квантовые биты. Практическая реализация кубитных систем.

#### 5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-2

1. Джозефсоновские контакты.

2. Декогеренция квантовых состояний.
3. Основы квантовых вычислений. Квантовые логические элементы.
4. Квантовые алгоритмы в системах обработки информации
5. Эквивалентные схемы квантовых вычислительных систем.
6. Управление квантовыми системами.
7. Основы квантовой криптографии. Реализация протоколов шифрования

### **Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	1) 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 ИЛИ 2) Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично» ИЛИ 3) Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо» ИЛИ 4) Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо» ИЛИ 5) 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	1) Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» ИЛИ 2) Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

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

Основная литература:

1. Скалли Марлен Орвил. Квантовая оптика = Quantum Optics / пер. с англ. А. А. Калачева [и др.] ; под ред. В. В. Самарцева. - М. : Физматлит, 2003. - 512 с. - Предм. указ.: с. 497 - 510. - ISBN 5-9221-0398-9. - ISBN 0-521-43458 : 56.00., 2 экз.
2. Холево Александр Семенович. Квантовые системы, каналы, информация. - М. : Изд-во МЦНМО, 2010. - 328 с. - ISBN 978-5-94057-574-0 : 250.00., 1 экз.
3. Валиев Камил Ахметович. Квантовые компьютеры: надежды и реальность. - М. ; Ижевск : НИЦ "Регуляр. и хаот. динамика", 2001. - 352 с. - ISBN 5-93972-024-2 : 71.25., 1 экз.

#### Дополнительная литература:

1. Валиев Камиль Ахметович. Квантовые компьютеры: надежды и реальность. - М. ; Ижевск : НИЦ "Регуляр. и хаот. динамика", 2001. - 352 с. - ISBN 5-93972-024-2 : 71.25., 1 экз.

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

1) Нильсен М., Чанг И. Квантовые вычисления и квантовая информация. М.: Мир. 2006. - 824 с.  
<https://studizba.com/files/show/djvu/3198-1-m-nil-sen-i-chang--kvantovye.html>

2) Бауместер Д., Экерт А., Цайлингер А., Физика квантовой информации. М.: Постмаркет, 2002. - 376с. <http://quantmag.ppole.ru/Books/boumeister.pdf>

3) Мазуренко Ю.Т., Чивилихин С.А., Трифанов А.И., Орлов В.В., Егоров В.И. Квантовая информатика. Лабораторный практикум. Учебное пособие, – СПб: СПбГУ. ИТМО. 2009. – 58 с.  
<https://books.ifmo.ru/file/pdf/629.pdf>

4) Попов И.Ю. Квантовый компьютер и квантовые алгоритмы. – СПб: СПбГУ. ИТМО, 2007. - 88 с.  
<https://reallib.org/reader?file=629205&pg=1>

5) Козубов А.В., Гайдаш А.А., Кынев С.М., Егоров В.И., Иванова А.Е., Глейм А.В., Мирошниченко Г.П., Основы квантовой коммуникации: часть 1. – СПб: СПбГУ. ИТМО, 2019. – 85 с. <https://books.ifmo.ru/file/pdf/2551.pdf>

#### **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 направлению подготовки/специальности 03.04.03 - Радиофизика.

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

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

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18.12.2023 г., протокол № 09/23.