

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

Физический факультет

---

УТВЕРЖДЕНО

решением Ученого совета ННГУ

протокол № 4 от 26.04.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Программирование квантовых информационных систем

---

Уровень высшего образования

Магистратура

---

Направление подготовки / специальность

28.04.01 - Нанотехнологии и микросистемная техника

---

Направленность образовательной программы

Квантовые и нейроморфные технологии

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.05.02 Программирование квантовых информационных систем 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-3: Способен разрабатывать физические и математические модели, проводить компьютерное моделирование исследуемых физических процессов в области нанотехнологии, наноэлектроники и квантовых технологий	<p>ПК-3.1: Имеет представление о физических и математических моделях, а также методах компьютерного моделирования исследуемых физических процессов в области нанотехнологии, наноэлектроники и квантовых технологий</p> <p>ПК-3.2: Может применять физические и математические модели, а также методы компьютерного моделирования исследуемых физических процессов в области нанотехнологии, наноэлектроники и квантовых технологий</p> <p>ПК-3.3: Разрабатывает физические и математические модели, а также методы компьютерного моделирования исследуемых физических процессов в области нанотехнологии, наноэлектроники и квантовых технологий</p>	<p>ПК-3.1:</p> <p>Знать основные физические принципы описания квантовых вычислительных систем.</p> <p>Уметь объяснять природу квантовых состояний в квантовых вычислительных системах.</p> <p>Владеть навыками моделирования квантовых состояний в квантовых вычислительных системах.</p> <p>ПК-3.2:</p> <p>Знать основные операции над элементами квантовых информационных систем.</p> <p>Уметь выполнять основные операции над элементами квантовых информационных систем.</p> <p>Владеть навыками выполнения квантовых логических операций.</p> <p>ПК-3.3:</p> <p>Знать физические модели квантовых информационных систем.</p> <p>Уметь программировать базовые операции над</p>	Задания	Зачёт: Контрольные вопросы

		<p>квантовыми информационными системами.</p> <p>Владеть методами выполнения операций над элементами квантовых информационных систем.</p>		
--	--	--	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<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	<b>16</b>
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>16</b>
- КСР	<b>1</b>
<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/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
1. Моделирование основных однокубитных квантовых операций	12	2	4	6	6
2. Моделирование динамики многокубитовых состояний	14	4	4	8	6
3. Моделирование квантовых алгоритмов Дойча-Йोजи и Гровера	10	2	2	4	6
4. Основные методы оценки квантовой запутанности	8	2	0	2	6
5. Моделирование динамики многоуровневых квантовых систем	15	4	4	8	7
6. Квантовые измерения	12	2	2	4	8
Аттестация	0				

КСР	1			1	
Итого	72	16	16	33	39

### **Содержание разделов и тем дисциплины**

1. Моделирование основных однокубитных квантовых операций.  
Математическое определение кубита. Представление квантового состояния кубита на сфере Блоха. Моделирование реальных физических кубитов, учет состояний вне вычислительного базиса. Визуализация эволюции квантового состояния на сфере Блоха. Понятие утечки. Методы сравнения двух квантовых состояний. Расчет вероятности совпадения (Fidelity) для квантовых операций.

2. Моделирование динамики многокубитовых состояний.  
Представление квантовых состояний систем нескольких кубитов. Запутанные состояния. Основные двухкубитные квантовые операции. Моделирование бездиссипативной динамики многокубитовых состояний. Расчет эволюции многокубитовых квантовых состояний. Расчет многокубитной функции совпадения (fidelity).

3. Моделирование квантовых алгоритмов Дойча-Йожи и Гровера.  
Понятие квантового алгоритма. Блок-схемы квантовых алгоритмов. Простейшие квантовые алгоритмы Дойча-Йожи и Гровера.

4. Основные методы оценки квантовой запутанности.  
Негативность, энтропия Фон-Неймана, коэффициенты корреляции Шмидта.

5. Моделирование динамики многоуровневых квантовых систем.  
Моделирование квантовых схем в терминах матриц плотности. Визуализация смешанных квантовых состояний на сфере Блоха. Понятие частичного следа. Моделирование квантовых шумов методом квантовых траекторий (квантовый метод Монте-Карло). Моделирование многоуровневых квантовых схем с учетом декогерентизации и шумов.

6. Квантовые измерения.  
Моделирование процессов измерений состояний кубитов. Неразрушающие квантовые измерения и измерения в реальном времени (single-shot readout).

#### **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.

Авторские презентации по материалам лекций.

#### **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 - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-3:

1. Моделирование динамики одного изолированного кубита под действием переменного внешнего поля в идеальной среде.
2. Моделирование динамики двух связанных кубитов, изолированных от внешней среды, под действием внешнего поля.
3. Расчет времени декогеренции спинного кубита при взаимодействии с бозонным термостатом.
4. Моделирование динамики одного кубита под действием переменного внешнего поля в бозонном термостате.
5. Моделирование однокубитных операций в бозонном термостате. Определение достоверности операции.

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Обучающийся продемонстрировал изложение формулировок основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий базового уровня сложности
не зачтено	Обучающийся не продемонстрировал представления об основных теоретических разделах курса, не показал минимально допустимый уровень умений и навыков выполнения практических заданий

## 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

### Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатор 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	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	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несуществе	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.

	ответа			ошибок	нных ошибок		
<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	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 несущественными 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 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	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 оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	<b>превосходно</b>	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»
не зачтено	<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-3

1. Классическая и квантовая информация.
2. Способы кодирования квантовой информации.
3. Однокубитные операции. Достоверность операций.
4. Двухкубитные операции. Достоверность операций.
5. Языки квантового программирования.

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

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Обучающийся продемонстрировал изложение формулировок основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий базового уровня сложности
не зачтено	Обучающийся не продемонстрировал представления об основных теоретических разделах курса, не показал минимально допустимый уровень умений и навыков выполнения практических заданий

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

Основная литература:

1. Викторова Н. Б. Основы математического моделирования квантовых вычислительных процессов : учебное пособие для вузов / Викторова Н. Б. - Санкт-Петербург : Лань, 2023. - 120 с. - Книга из коллекции Лань - Математика. - ISBN 978-5-507-46185-1., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=864407&idb=0>.
2. Высокопроизводительные вычислительные системы и квантовая обработка информации : учебное пособие / Гузик В.Ф.; Гушанский С.М.; Ляпунцова Е.В.; Потапов В.С. - Москва : ЮФУ, 2021. - 202 с. - ISBN 978-5-9275-3787-7., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=808075&idb=0>.
3. Бочаров Н. А. Моделирование квантовых вычислительных систем / Бочаров Н. А., Кириллюк М. А. - Москва : РТУ МИРЭА, 2023. - 74 с. - Книга из коллекции РТУ МИРЭА - Информатика. - ISBN 978-5-7339-1937-9., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=888513&idb=0>.
4. Гузик Вячеслав Филиппович. Основы теории построения квантовых компьютеров и моделирование квантовых алгоритмов : Монография / Южный федеральный университет; Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана. - Ростов-на-Дону : Издательство Южного федерального университета (ЮФУ), 2019. - 287 с. - ВО - Магистратура. - ISBN 978-5-9275-3232-2., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?>

Action=FindDocs&ids=632269&idb=0.

Дополнительная литература:

1. Прилипко В. К. Физические основы квантовых вычислений. Динамика кубита : монография / Прилипко В. К., Коваленко И. И. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 216 с. - Книга из коллекции Лань - Физика. - ISBN 978-5-8114-3383-4., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=798664&idb=0>.

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

- 1) Visual Studio Code с Python в качестве расширения;
- 2) ОС Windows и пакет Office;
- 3) интернет-ресурсы Фундаментальной библиотеки ННГУ <http://www.lib.unn.ru/>.

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

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами.

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 28.04.01 - Нанотехнологии и микросистемная техника.

Автор(ы): Бастракова Марина Валерьевна, кандидат физико-математических наук.

Рецензент(ы): Конаков Антон Алексеевич, кандидат физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Бурдов Владимир Анатольевич, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 15.04.2024, протокол № б/н.