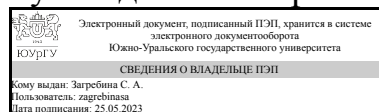


УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель направления



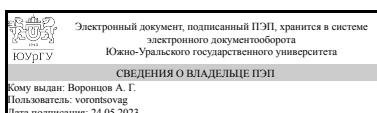
С. А. Загребина

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины 1.Ф.02.М2.03 Квантовые вычисления  
для направления 01.03.04 Прикладная математика  
уровень Бакалавриат  
форма обучения очная  
кафедра-разработчик Физика наноразмерных систем

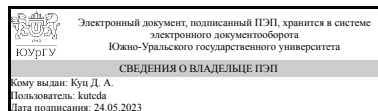
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 01.03.04 Прикладная математика, утверждённым приказом Минобрнауки от 10.01.2018 № 11

Зав.кафедрой разработчика,  
д.физ.-мат.н., доц.



А. Г. Воронцов

Разработчик программы,  
к.физ.-мат.н., доцент



Д. А. Куц

## 1. Цели и задачи дисциплины

Главной целью данной дисциплины является подготовка учащихся к работе в области квантовых вычислений. Основная задача данной дисциплины - на примере конкретных алгоритмов познакомить студентов с квантовыми вычислениями.

## Краткое содержание дисциплины

Основное содержание данной дисциплины состоит в подробном рассмотрении следующих тем: кубит, графическое представление унитарных операторов, квантовое решение проблемы Дойча, квантовый алгоритм Берштейна-Вазирани, проблема Симони, квантовый алгоритм Шора.

## 2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
УК-2 Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений	Знает: основные положения квантовой механики Имеет практический опыт: решения задачи квантовой механики в матричном представлении
УК-6 Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни	Имеет практический опыт: реализации траектории саморазвития для освоения материала по квантовым вычислениям

## 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
1.Ф.02.М2.02 Элементы квантовой оптики, 1.Ф.02.М2.01 Основы квантовой механики	Не предусмотрены

Требования к «входным» знаниям, умениям, навыкам студента, необходимым при освоении данной дисциплины и приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин:

Дисциплина	Требования
1.Ф.02.М2.02 Элементы квантовой оптики	Знает: как управлять своим временем, чтобы освоить аппарат операторов рождения – уничтожения Умеет: решать задачи квантовой оптики, выстраивать траекторию саморазвития для освоения материала по квантовой оптике Имеет практический опыт:
1.Ф.02.М2.01 Основы квантовой механики	Знает: основные положения квантовой механики Умеет: Имеет практический опыт: управления своим временем для получения дополнительных знаний по квантовой механике, решения задачи квантовой механики в матричном представлении

#### 4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 ч., 72,5 ч. контактной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		5	
Общая трудоёмкость дисциплины	144	144	
<i>Аудиторные занятия:</i>	64	64	
Лекции (Л)	32	32	
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	32	32	
Лабораторные работы (ЛР)	0	0	
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	71,5	71,5	
Подготовка к мини-контрольным	10	10	
Подготовка к зачету	30	30	
Подготовка к контрольным работам.	31,5	31,5	
Консультации и промежуточная аттестация	8,5	8,5	
Вид контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	диф.зачет	

#### 5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
1	Квантовая механика в матричной форме	12	6	6	0
2	Квантовые вычисления	52	26	26	0

##### 5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	Линейная алгебра и дираковская система обозначений.	2
2	1	Спектральная теорема, теорема Шмидта о разложении, неравенство Коши-Буняковского, неравенство Гейзенберга.	2
3	1	Кубит и его динамика.	2
4	2	Составные системы и запутанные состояния. Измерение кубита.	2
5	2	Смешанные состояния. Обобщенные квантовые операции.	2
6	2	Модель квантовой схемы. Квантовые элементы.	2
7	2	Проблема Дойча.	2
8	2	Квантовый алгоритм Берштейна-Вазирани.	2
9	2	Проблема Саймона.	2
10	2	Алгоритм Гровера.	2
11	2	Квантовое перечисление.	2
12	2	Квантовый алгоритм Шора.	2
13	2	Протокол квантовой криптографии BB-84.	2
14	2	Протокол квантовой криптографии B-92.	2

15	2	Исправление квантовых ошибок (часть 1).	2
16	2	Исправление квантовых ошибок (часть 2)	2

## 5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
1	1	Решение задач по темам: гильбертово пространство, двойственные векторы, операторы.	2
2	1	Решение задач по темам: спектральная теорема, теорема Шмидта о разложении, неравенство Коши-Буняковского, неравенство Гейзенберга.	2
3	1	Решение задач по темам: кубит, матрицы Паули.	2
4	2	Решение задач по темам: запутанные состояния, измерение кубита.	2
5	2	Решение задач по темам: смешанные состояния, взятие частичного следа, обобщенные квантовые операции.	2
6	2	Решение задач по темам: модель квантовой схемы, квантовые элементы.	2
7	2	Решение задач по теме: проблема Дойча.	2
8	2	Решение задач по теме: квантовый алгоритм Берштейна-Вазирани	2
9	2	Решение задач по теме: проблема Саймона	2
10	2	Решение задач по теме: алгоритм Гровера	2
11	2	Решение задач по теме: квантовое перечисление.	2
12	2	Решение задач по теме: квантовый алгоритм Шора	2
13	2	Решение задач по теме: протоколы квантовой криптографии (часть 1).	2
14	2	Решение задач по теме: протоколы квантовой криптографии (часть 2).	2
15	2	Решение задач на тему: исправление квантовых ошибок (часть 1).	2
16	2	Решение задач на тему: исправление квантовых ошибок (часть 2).	2

## 5.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены

## 5.4. Самостоятельная работа студента

Выполнение СРС			
Подвид СРС	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц) / ссылка на ресурс	Семестр	Кол-во часов
Подготовка к мини-контрольным	Хренников, А. Ю. Введение в квантовую теорию информации : учебник — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2008. — 284 с. Главы: гл. 3, стр. 59-85, гл. 4, стр. 86-107, гл. 5, стр.108-131. <a href="https://e.lanbook.com/book/2176">https://e.lanbook.com/book/2176</a> .	5	10
Подготовка к зачету	Прилипко, В. К. Физические основы квантовых вычислений. Динамика кубита : монография — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 216 с. Главы: гл. 1, стр. 5-35, гл. 2, стр. 36-48, гл. 3, стр. 49-69, гл. 4, стр. 70-81, гл. 8, стр. 135-142. <a href="https://e.lanbook.com/book/111888">https://e.lanbook.com/book/111888</a> Хренников, А. Ю. Введение в квантовую	5	30

	теорию информации : учебник — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2008. — 284 с. Главы: гл. 3, стр. 59-85, гл. 4, стр. 86-107, гл. 5, стр.108-131. <a href="https://e.lanbook.com/book/2176">https://e.lanbook.com/book/2176</a> .		
Подготовка к контрольным работам.	Прилипко, В. К. Физические основы квантовых вычислений. Динамика кубита : монография — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 216 с. Главы: гл. 1, стр. 5-35, гл. 2, стр. 36-48, гл. 3, стр. 49-69, гл. 4, стр. 70-81, гл. 8, стр. 135-142. <a href="https://e.lanbook.com/book/111888">https://e.lanbook.com/book/111888</a>	5	31,5

## 6. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации

Контроль качества освоения образовательной программы осуществляется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценивания результатов учебной деятельности обучающихся.

### 6.1. Контрольные мероприятия (КМ)

№ КМ	Се-местр	Вид контроля	Название контрольного мероприятия	Вес	Макс. балл	Порядок начисления баллов	Учитывается в ПА
1	5	Текущий контроль	Контрольная работа 1	5	5	Контрольная работа состоит из 5 задач, каждая задача оценивается в 1 балл (есть подробное решение, получен правильный ответ - 1 балл; иначе - 0 баллов).	дифференцированный зачет
2	5	Текущий контроль	Контрольная работа 2	5	5	Контрольная работа состоит из 5 задач, каждая задача оценивается в 1 балл (есть подробное решение, получен правильный ответ - 1 балл; иначе - 0 баллов).	дифференцированный зачет
3	5	Текущий контроль	Контрольная работа 3	5	5	Контрольная работа состоит из 5 задач, каждая задача оценивается в 1 балл (есть подробное решение, получен правильный ответ - 1 балл; иначе - 0 баллов).	дифференцированный зачет
4	5	Текущий контроль	Мини-контрольная работа 1	1	1	Мини-контрольная работа состоит из 1 задачи, решение которой оценивается в 1 балл (есть подробное решение, получен правильный ответ - 1 балл; иначе - 0 баллов).	дифференцированный зачет
5	5	Текущий контроль	Мини-контрольная работа 2	1	1	Мини-контрольная работа состоит из 1 задачи, решение которой оценивается в 1 балл (есть подробное решение, получен правильный ответ - 1	дифференцированный зачет

						балл; иначе - 0 баллов).	
6	5	Текущий контроль	Мини-контрольная работа 3	1	1	Мини-контрольная работа состоит из 1 задачи, решение которой оценивается в 1 балл (есть подробное решение, получен правильный ответ - 1 балл; иначе - 0 баллов).	дифференцированный зачет
7	5	Текущий контроль	Мини-контрольная работа 4	1	1	Мини-контрольная работа состоит из 1 задачи, решение которой оценивается в 1 балл (есть подробное решение, получен правильный ответ - 1 балл; иначе - 0 баллов).	дифференцированный зачет
8	5	Промежуточная аттестация	Зачет	-	8	Билет содержит 8 задач. Правильное решение задачи оценивается в 1 балл (есть подробное решение, получен правильный ответ - 1 балл; нет подробного решения или нет правильного ответа - 0 баллов).	дифференцированный зачет

## 6.2. Процедура проведения, критерии оценивания

Вид промежуточной аттестации	Процедура проведения	Критерии оценивания
дифференцированный зачет	Промежуточная аттестация может быть выставлена по результатам текущей успеваемости. Контрольное мероприятие промежуточной аттестации не является обязательным. Студент может улучшить свой рейтинг, пройдя контрольное мероприятие промежуточной аттестации, которое проводится в письменной форме. Билет содержит 8 задач. Время на выполнение: 90 минут. В процессе подготовки к ответу запрещено пользоваться печатными и электронными источниками информации. Студенту могут быть заданы дополнительные уточняющие вопросы.	В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения

## 6.3. Паспорт фонда оценочных средств

Компетенции	Результаты обучения	№ КМ							
		1	2	3	4	5	6	7	8
УК-2	Знает: основные положения квантовой механики	+	+	+	+	+	+	+	+
УК-2	Имеет практический опыт: решения задачи квантовой механики в матричном представлении	+	+	+	+	+	+	+	+
УК-6	Имеет практический опыт: реализации траектории саморазвития для освоения материала по квантовым вычислениям	+	+	+	+	+	+	+	+

Типовые контрольные задания по каждому мероприятию находятся в приложениях.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

## Печатная учебно-методическая документация

а) *основная литература:*

Не предусмотрена

б) *дополнительная литература:*

Не предусмотрена

в) *отечественные и зарубежные журналы по дисциплине, имеющиеся в библиотеке:*

Не предусмотрены

г) *методические указания для студентов по освоению дисциплины:*

1. Методические рекомендации. Куц Д.А.

*из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:*

1. Методические рекомендации. Куц Д.А.

## Электронная учебно-методическая документация

№	Вид литературы	Наименование ресурса в электронной форме	Библиографическое описание
1	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Хренников, А. Ю. Введение в квантовую теорию информации : учебник / А. Ю. Хренников. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2008. — 284 с. — ISBN 978-5-9221-0951-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/2176">https://e.lanbook.com/book/2176</a> . — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Ильичев, И. В. Элементарные основы квантовых вычислений. Упражнения и задачи : учебное пособие / И. В. Ильичев. — Новосибирск : НГТУ, 2014. — 28 с. — ISBN 978-5-7782-2414-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/118442">https://e.lanbook.com/book/118442</a> . — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Левичев, В. В. Основы квантовой механики в простейших задачах : учебное пособие / В. В. Левичев. — Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2014. — 36 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/70963">https://e.lanbook.com/book/70963</a> . — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Прилипко, В. К. Физические основы квантовых вычислений. Динамика кубита : монография / В. К. Прилипко, И. И. Коваленко. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 216 с. — ISBN 978-5-8114-3383-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/111888">https://e.lanbook.com/book/111888</a> . — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Перечень используемого программного обеспечения:

1. Microsoft-Windows(бессрочно)

Перечень используемых профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

1. -База данных ВИНТИ РАН(бессрочно)

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Вид занятий	№ ауд.	Основное оборудование, стенды, макеты, компьютерная техника, предустановленное программное обеспечение, используемое для различных видов занятий
Практические занятия и семинары	608 (16)	Персональный компьютер, проектор.
Лекции	608 (16)	Персональный компьютер, проектор.
Самостоятельная работа студента	127 (36)	Компьютер, моноблоки, подключенные к сети Интернет и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, проектор, экран.
Зачет, диф.зачет	608 (16)	Персональный компьютер, проектор.