

# ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:  
Директор института  
Институт естественных и точных  
наук



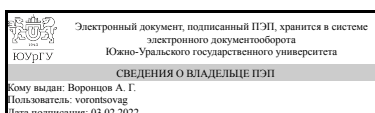
А. А. Замышляева

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины ФД.02 Введение в квантовые вычисления  
для направления 11.04.04 Электроника и наноэлектроника  
уровень Магистратура  
форма обучения очная  
кафедра-разработчик Физика наноразмерных систем

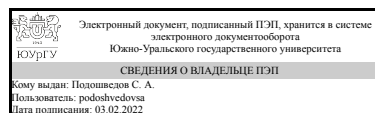
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 11.04.04 Электроника и наноэлектроника, утверждённым приказом Минобрнауки от 22.09.2017 № 959

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



А. Г. Воронцов

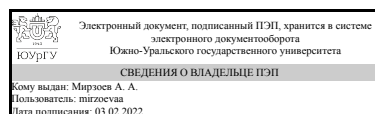
Разработчик программы,  
д.физ.-мат.н., профессор



С. А. Подошведов

СОГЛАСОВАНО

Руководитель направления  
д.физ.-мат.н., проф.



А. А. Мирзоев

## 1. Цели и задачи дисциплины

Цель курса введение в квантовые вычисления - дать студентам представление об основных концепциях квантовых вычислений с возможностью применения студентами полученных знаний на практике. Задачи курса: 1. дать студентам расширенные знания по матричной квантовой механике 2. дать студентам представление о квантовых вычислениях и рассмотреть в деталях некоторые квантовые алгоритмы

## Краткое содержание дисциплины

Курс состоит из 8 лекций и 8 практических занятий. Лекции и практические занятия проводятся очно. Курс делится на две части. В первой части будут даны основные положения матричной квантовой механики, постулаты квантовой механики и рассмотрены основные теоремы квантовой механики. Вторая часть включает в себя детальное рассмотрение ключевых квантовых алгоритмов.

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

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ОПК-1 Способен представлять современную научную картину мира, выявлять естественнонаучную сущность проблем, определять пути их решения и оценивать эффективность сделанного выбора	Знает: основы современных квантовых технологий

## 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
1.О.06 Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники, ФД.01 Нанoeлектроника в биологии и медицине, 1.О.04 История и методология науки в области электроники	Не предусмотрены

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

Дисциплина	Требования
ФД.01 Нанoeлектроника в биологии и медицине	Знает: основные направления применения нанoeлектроники в биологии и медицине Умеет: Имеет практический опыт:
1.О.04 История и методология науки в области электроники	Знает: этапы развития электроники, физические и технологические основы современной электроники Умеет: Имеет практический опыт:
1.О.06 Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники	Знает: актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники Умеет: выявлять

	естественнонаучную сущность проблем, определять пути их решения и оценивать эффективность сделанного выбора Имеет практический опыт:
--	--

#### 4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 з.е., 72 ч., 36,25 ч. контактной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		3	
Общая трудоёмкость дисциплины	72	72	
<i>Аудиторные занятия:</i>	32	32	
Лекции (Л)	16	16	
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	16	16	
Лабораторные работы (ЛР)	0	0	
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	35,75	35,75	
с применением дистанционных образовательных технологий	0		
Подготовка к контрольной работе 2	8	8	
Самостоятельное изучение глав книги	10,75	10.75	
Подготовка к зачету	9	9	
Подготовка к контрольной работе 1	8	8	
Консультации и промежуточная аттестация	4,25	4,25	
Вид контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	зачет	

#### 5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
1	Введение в матричную квантовую механику	16	6	10	0
2	Введение в квантовые вычисления	16	10	6	0

##### 5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	Линейная алгебра, линейные операторы и матрицы, Гильбертово пространство. На лекции вводятся основные обозначения, используемые в квантовой механике. Вводится понятие векторного пространства и основные операции, которые могут быть использованы над векторами. Вводится понятие линейной независимости векторов и базиса. Рассматривается действие оператора на векторы. Вводится понятие скалярного произведения векторов и конечномерного Гильбертова пространства. Будут рассмотрены понятия собственного вектора и собственного значения операторов. Вводятся	2

		понятия сопряженных и эрмитовых операторов, а также унитарного и положительного операторов. Вводится понятие тензорного произведения Гильбертовых пространств	
2	1	Основные теоремы и постулаты квантовой механики. Будут рассмотрены теорема о спектральном разложении, неравенство Коши-Шварца в терминах квантовых состояний, разложение Шмидта, некоммутирующие операторы и неравенство Гейзенберга. Будут рассмотрены и объяснены три постулата квантовой механики, на базе которых развивается квантовая математика.	2
3	1	Общие свойства квантовых вычислений и графическое представление унитарных операторов и операторов измерения. Общая схема работы квантового компьютера. Будут введены элементарные операции: матрицы Паули, матрица Адамара, матрицы однокубитовых преобразований, матрицы контролируемого- $X$ , матрицы контролируемого- $Z$ , преобразование Тоффли	2
4	2	Проблема Дойча и квантовое решение проблемы Дойча Будет представлена сама проблема и алгоритм решения данной проблемы с помощью квантового алгоритма Дойча как аналитический, так и графический. Будет показано увеличение скорости квантового алгоритма в два раза по сравнению с классическим перебором. Будет рассмотрен общий случай квантовых алгоритмов с запутыванием вспомогательных состояний.	2
5	2	Квантовый алгоритм Бернштейна-Вазирани. Будет рассмотрена теория алгоритма Бернштейна-Вазирани. Будет представлено как теоретическое, так и графические решения квантового алгоритма Бернштейна-Вазирани и показана увеличение скорости квантового алгоритма.	2
6	2	Проблема Симони по нахождению периода функции при сложении аргументов функции по модулю 2. Будет представлено решение проблемы Симони с использованием квантового компьютера. Будет показано преимущество квантового алгоритма над классическим по скорости и оценена нижняя граница вероятности успеха квантового алгоритма Симони.	2
7	2	Продолжение рассмотрение решения квантовой проблемы Симони	2
8	2	Введение в квантовый алгоритм Шора нахождения периода функции по модулю большого числа, составленного как произведение двух простых чисел. Введение в проблему RSA кодирования. Рассмотрение квантового преобразования Фурье. Квантовый алгоритм Шора в действии.	2

## 5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
1	1	Линейная алгебра, линейные операторы и матрицы, Гильбертово пространство. Решение задач с векторами, поиск собственных векторов и собственных значений матриц Паули.	2
2	1	Основные свойства унитарных операторов используемых в квантовой обработке информации. Вывод основных соотношений между операторами $X, Z$ , оператора Адамара, оператора контролируемого- $X$ и контролируемого- $Z$ .	2
3	1	Графическая реализация операторов. Будут предложены задачи на графическую реализацию последовательностей унитарных операторов.	2
4	1	Одно-кубитные унитарные операции и связанные с ними вращения на сфере Блоха. Будут рассмотрены задачи на различные типы вращений и связанные с ними унитарные преобразования.	2
5	1	Контрольная работа по теме 1 раздела матричная квантовая механика. Студентам будет предложен набор задач по материалу по матричной квантовой механике	2

6	2	Графическое решение проблемы Джоса-Дойча. Будут предложены задачи по реализации квантового алгоритма Джоса-Дойча для большего чем один числа входных кубитов.	2
7	2	Графическое решение проблемы Бернштейна-Вазирани. Будут предложены задачи по реализации квантового алгоритма Бернштейна-Вазирани с различными значениями неизвестного числа, который необходимо найти.	2
8	2	Контрольная работа по теме 2 раздела квантовые вычисления. Студентам будет предложен набор задач по некоторым проблемам квантовых вычислений.	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 контрольной работе 2	Ф. Кайе, Р. Лафлам, М. Моска "Введение в квантовые вычисления" - главы 4-11 страницы 78-155.	3	8
Самостоятельное изучение глав книги	Ф. Кайе, Р. Лафлам, М. Моска "Введение в квантовые вычисления" - Москва ; Ин-т компьютерных исслед. ; Ижевск : R & C dynamics, 2009. - 346 с.	3	10,75
Подготовка к зачету	Ф. Кайе, Р. Лафлам, М. Моска "Введение в квантовые вычисления" - главы 1-11 страницы 6-155.	3	9
Подготовка к контрольной работе 1	Ф. Кайе, Р. Лафлам, М. Моска "Введение в квантовые вычисления" - главы 1-3 страницы 6-77; главы 4,5 страницы 78-108; глава 6 страницы 109-138	3	8

## 6. Текущий контроль успеваемости, промежуточная аттестация

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	Учи-тыва-ется в ПА
1	3	Текущий контроль	Ответ на теоретический вопрос у доски на практическом	1	10	Один правильный ответ дает студенту - 2 балла. Всем студентам будет предоставлена возможность ответить на вопрос на практическом занятии.	зачет

			занятия.				
2	3	Текущий контроль	Контрольная работа 1	1	25	Решение задач, в работе 3 задачи: первая задача 6 баллов, вторая - 9 баллов, третья - 10 баллов. Если студент правильно оформил начальные данные задачи, то он получает 1 балл для всех трех задач. Если студент предложил и записал правильно базовую идею, которая находится в основе решения, то он получает 2 балла по первой задаче, 3 балла по второй и 4 балла по третьей задаче, соответственно. Если студент корректно оформил базовую идею в правильное решение, то он получает 3 балла по первой задаче, 4 балла по второй и 4 балла по третьей задаче. 1 балл за вторую и третью задачу студент может получить в случае детальных математических выкладок при решении данных задач. Решение задач проверяет самостоятельную работу студента по изучению Ф. Кайе, Р. Лафлам, М. Моска "Введение в квантовые вычисления" - 2009. - 346 с.	зачет
3	3	Текущий контроль	Контрольная работа 2	1	25	Решение задач, в работе 3 задачи: первая задача 6 баллов, вторая - 9 баллов, третья - 10 баллов. Если студент правильно оформил начальные данные задачи, то он получает 1 балл для всех трех задач. Если студент предложил и записал правильно базовую идею, которая находится в основе решения, то он получает 2 балла по первой задаче, 3 балла по второй и 4 балла по третьей задаче, соответственно. Если студент корректно оформил базовую идею в правильное решение, то он получает 3 балла по первой задаче, 4 балла по второй и 4 балла по третьей задаче. 1 балл за вторую и третью задачу студент может получить в случае детальных математических выкладок при решении данных задач. Решение задач проверяет самостоятельную работу студента по изучению Ф. Кайе, Р. Лафлам, М. Моска "Введение в квантовые вычисления" - 2009. - 346 с.	зачет
4	3	Промежуточная аттестация	Решение зачетных задач	-	40	Решение зачетных задач, первая задача 10 баллов, вторая - 30 баллов. Если студент правильно оформил начальные данные задачи, то он получает 1 балл для обеих двух задач. Если студент предложил и записал правильно базовую идею, которая находится в основе решения, то он получает 2 балла по первой задаче и 6 баллов по второй	зачет

					задаче. Если студент корректно оформил базовую идею в правильное решение, то он получает 5 баллов по первой задаче и 17 баллов по второй задаче. 2 балла по первой задаче и 6 баллов по второй студент может получить, если сможет словами подробно рассказать решение словами.	
--	--	--	--	--	---	--

## 6.2. Процедура проведения, критерии оценивания

Вид промежуточной аттестации	Процедура проведения	Критерии оценивания
зачет	Промежуточная аттестация может быть выставлена по результатам текущего контроля. Студент может повысить свой рейтинг, выполнив контрольное мероприятие промежуточной аттестации, которое проводится в форме защиты решения 2 задач, предоставленных преподавателем. Студенту на решение предоставлено 60 минут. Студент может своими словами рассказать решение задач. Студент может пользоваться дополнительной литературой в процессе защиты.	В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения

## 6.3. Оценочные материалы

Компетенции	Результаты обучения	№ КМ			
		1	2	3	4
ОПК-1	Знает: основы современных квантовых технологий	+	+	+	+

Фонды оценочных средств по каждому контрольному 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. Кулик С.Д., Берков А.В., Яковлев В.П. Введение в теорию квантовых вычислений (методы квантовой механики в кибернетике): учебное пособие.– В 2 кн.– Кн. 1. – М.: МИФИ, 2008.–212 с.

2. Кулик С.Д., Берков А.В., Яковлев В.П. Введение в теорию квантовых вычислений (методы квантовой механики в кибернетике): учебное пособие.– В 2 кн.– Кн. 2. – М.: МИФИ, 2008.–532 с.

из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:

1. Кулик С.Д., Берков А.В., Яковлев В.П. Введение в теорию квантовых вычислений (методы квантовой механики в кибернетике): учебное пособие.– В 2 кн.– Кн. 1. – М.: МИФИ, 2008.–212 с.
2. Кулик С.Д., Берков А.В., Яковлев В.П. Введение в теорию квантовых вычислений (методы квантовой механики в кибернетике): учебное пособие.– В 2 кн.– Кн. 2. – М.: МИФИ, 2008.–532 с.

### Электронная учебно-методическая документация

№	Вид литературы	Наименование ресурса в электронной форме	Библиографическое описание
1	Основная 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. <a href="https://e.lanbook.com/book/118442">https://e.lanbook.com/book/118442</a>
2	Дополнительная 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. <a href="https://e.lanbook.com/book/111888">https://e.lanbook.com/book/111888</a>

Перечень используемого программного обеспечения:

Нет

Перечень используемых профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Нет

### 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Вид занятий	№ ауд.	Основное оборудование, стенды, макеты, компьютерная техника, предустановленное программное обеспечение, используемое для различных видов занятий
Лекции	305 (16)	Компьютерное оборудование для показа презентаций: системный блок, монитор, проектор, экран.
Зачет, диф. зачет	305 (16)	Демонстрационное оборудование: меловая доска.
Практические занятия и семинары	306 (16)	Демонстрационное оборудование: меловая доска.