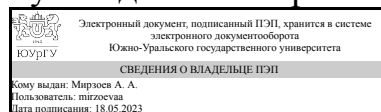


# ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель направления



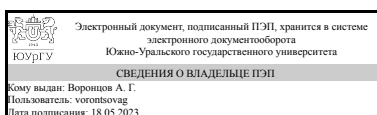
А. А. Мирзоев

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

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

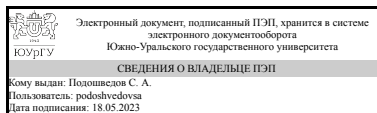
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника, утверждённым приказом Минобрнауки от 22.09.2017 № 959

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



А. Г. Воронцов

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



С. А. Подошведов

## 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.03 История и методология науки в области электроники,<br>1.О.08 Радиационные технологии в электронике,<br>ФД.01 Нанoeлектроника в биологии и медицине,<br>1.О.04 Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники | Не предусмотрены                            |

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

| Дисциплина                                   | Требования                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.О.08 Радиационные технологии в электронике | Знает: Основные понятия и законы в области радиационных технологий; принципы построения радиационно-стойких интегральных схем<br>Умеет: Определять радиационную стойкость интегральных схем<br>Имеет практический опыт: |
| 1.О.04 Актуальные проблемы современной       | Знает: актуальные проблемы современной                                                                                                                                                                                  |

|                                                          |                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| электроники и нанoeлектроники                            | электроники и нанoeлектроники Умеет: выявлять естественнонаучную сущность проблем, определять пути их решения и оценивать эффективность сделанного выбора Имеет практический опыт: поиска эффективного решения проблем |
| ФД.01 Нанoeлектроника в биологии и медицине              | Знает: основные направления применения нанoeлектроники в биологии и медицине Умеет: Имеет практический опыт:                                                                                                           |
| 1.О.03 История и методология науки в области электроники | Знает: этапы развития электроники, физические и технологические основы современной электроники Умеет: 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                              |
| Подготовка к контрольной работе 1                                          | 8           | 8                                  |
| Подготовка к зачету                                                        | 9           | 9                                  |
| Подготовка к контрольной работе 2                                          | 8           | 8                                  |
| Самостоятельное изучение глав книги                                        | 10,75       | 10.75                              |
| 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 | 2            |

|   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |   |
|---|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
|   |   | 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 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 1   | Ф. Кайе, Р. Лафламм, М. Моска<br>"Введение в квантовые вычисления" - главы 1-3 страницы 6-77; главы 4,5 страницы 78-108; глава 6 страницы 109-138 | 3       | 8            |
| Подготовка к зачету                 | Ф. Кайе, Р. Лафламм, М. Моска<br>"Введение в квантовые вычисления" - главы 1-11 страницы 6-155.                                                   | 3       | 9            |
| Подготовка к контрольной работе 2   | Ф. Кайе, Р. Лафламм, М. Моска<br>"Введение в квантовые вычисления" - главы 4-11 страницы 78-155.                                                  | 3       | 8            |
| Самостоятельное изучение глав книги | Ф. Кайе, Р. Лафламм, М. Моска<br>"Введение в квантовые вычисления" - Москва ; Ин-т компьютерных исслед. ; Ижевск : R & C dynamics, 2009. - 346 с. | 3       | 10,75        |

## 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-мestr | Вид контроля | Название контрольного | Вес | Макс. балл | Порядок начисления баллов | Учи-тыва |
|------|----------|--------------|-----------------------|-----|------------|---------------------------|----------|
|------|----------|--------------|-----------------------|-----|------------|---------------------------|----------|

|   |   |                  |                                                                |   |    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                   |
|---|---|------------------|----------------------------------------------------------------|---|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
|   |   |                  | мероприятия                                                    |   |    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | -<br>ется<br>в ПА |
| 1 | 3 | Текущий контроль | Ответ на теоретический вопрос у доски на практическом занятии. | 1 | 10 | Один правильный ответ дает студенту - 2 балла. Всем студентам будет предоставлена возможность ответить на вопрос на практическом занятии.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | зачет             |
| 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    | Решение зачетных задач                                         | - | 40 | Решение зачетных задач, первая задача 10 баллов, вторая - 30 баллов. Если                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | зачет             |

|  |  |            |  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |  |
|--|--|------------|--|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  |  | аттестация |  |  | 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 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. Паспорт фонда оценочных средств

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

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. 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 |
|---------------------------------|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Зачет, диф. зачет               | 305<br>(16) | Демонстрационное оборудование: меловая доска.                                                                                                    |
| Лекции                          | 305<br>(16) | Компьютерное оборудование для показа презентаций: системный блок, монитор, проектор, экран.                                                      |
| Практические занятия и семинары | 306<br>(16) | Демонстрационное оборудование: меловая доска.                                                                                                    |