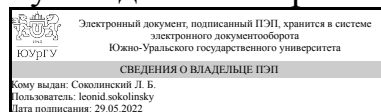


УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель направления



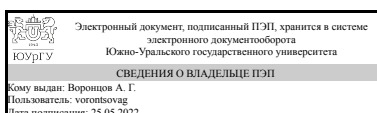
Л. Б. Соколинский

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины 1.Ф.16.М2.03 Квантовые вычисления  
для направления 09.03.04 Программная инженерия  
уровень Бакалавриат  
форма обучения очная  
кафедра-разработчик Физика наноразмерных систем

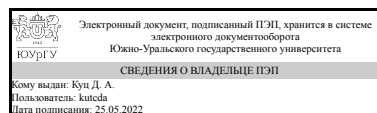
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 09.03.04 Программная инженерия, утверждённым приказом Минобрнауки от 19.09.2017 № 920

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: действие основных квантовых гейтов<br>Имеет практический опыт: решения задач по теме квантовых вычислений |
| 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.16.М2.01 Основы квантовой механики,<br>1.Ф.16.М2.02 Элементы квантовой оптики,<br>1.О.05 Физика | 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.16.М2.01 Основы квантовой механики | Знает: основные положения квантовой механики<br>Умеет: Имеет практический опыт: решения задачи квантовой механики в матричном представлении, управления своим временем для получения дополнительных знаний по квантовой механике. |
| 1.О.05 Физика                          | Знает: структуру курса дисциплины, рекомендуемую литературу, фундаментальные разделы физики; методы и средства измерения физических величин; методы обработки экспериментальных данных<br>Умеет: применять                        |

|  |   |
|--|---|
|  | <p>основные законы физики для успешного решения задач, направленных на саморазвитие обучающегося и подготовку к профессиональной деятельности, использовать знания фундаментальных основ, подходы и методы математики, физики в обучении и профессиональной деятельности, в интегрировании имеющихся знаний, наращивании накопленных знаний; применять математические методы, физические законы и вычислительную технику для решения практических задач; работать с измерительными приборами; выполнять физический эксперимент, обрабатывать результаты измерений, строить графики и проводить графический анализ опытных данных; считать систематические и случайные ошибки прямых и косвенных измерений, приборные ошибки; применять современное физическое оборудование и приборы при решении практических задач Имеет практический опыт: самостоятельного решения учебных и профессиональных задач с применением методов и подходов, развиваемых и используемых в физике, в том числе задач, которые требуют применения измерительной аппаратуры; навыками правильного представления и анализа полученных результатов, владения фундаментальными понятиями и основными законами классической и современной физики и методами их использования; методологией организации, планирования, проведения и обработки результатов экспериментов и экспериментальных исследований; навыками физического эксперимента и умения применять конкретное физическое содержание в прикладных задачах будущей специальности; навыками проведения расчетов, как при решении задач, так и при научном эксперименте; навыками оформления отчетов по результатам исследований; навыками работы с измерительной аппаратурой, в том числе с цифровой измерительной техникой; навыками обработки экспериментальных данных и оценки точности измерений; навыками анализа полученных результатов, как для решения задач, так и для эксперимента и измерений</p> |
| 1.Ф.16.М2.02 Элементы квантовой оптики | <p>Знает: как управлять своим временем, чтобы освоить аппарат операторов рождения – уничтожения Умеет: выстраивать траекторию саморазвития для освоения материала по квантовой оптике, решать задачи квантовой оптики Имеет практический опыт:</p>  |

#### 4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 ч., 72,25 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>  | 71,75       | 71,75                              |  |
| Подготовка к экзамену  | 30          | 30                                 |  |
| Подготовка к контрольным работам.  | 31,75       | 31.75                              |  |
| Подготовка к мини-контрольным  | 10          | 10                                 |  |
| Консультации и промежуточная аттестация                                    | 8,25        | 8,25                               |  |
| 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 экзамену             | 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.<br><a href="https://e.lanbook.com/book/111888">https://e.lanbook.com/book/111888</a><br>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.<br><a href="https://e.lanbook.com/book/2176">https://e.lanbook.com/book/2176</a> . | 5       | 30           |
| 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.  | 5       | 31,75        |

|                               |   |   |    |
|-------------------------------|---|---|----|
|                               | 2, стр. 36-48, гл. 3, стр. 49-69, гл. 4, стр. 70-81, гл. 8, стр. 135-142.<br><a href="https://e.lanbook.com/book/111888">https://e.lanbook.com/book/111888</a>  |   |    |
| 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.<br><a href="https://e.lanbook.com/book/2176">https://e.lanbook.com/book/2176</a> . | 5 | 10 |

## 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  | Учи-тыва-ется 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 балл; иначе - 0 баллов). | дифференцированный зачет |
| 6    | 5        | Текущий контроль | Мини-контрольная                  | 1   | 1          | Мини-контрольная работа состоит из 1 задачи, решение   | дифференцированный зачет |

|   |   |                          |                           |   |   |   |                          |
|---|---|--------------------------|---------------------------|---|---|---|--------------------------|
|   |   |                          | работа 3                  |   |   | которой оценивается в 1 балл (есть подробное решение, получен правильный ответ - 1 балл; иначе - 0 баллов).   |                          |
| 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: действие основных квантовых гейтов   | +    | + | + | + | + | + | + | + |
| УК-2        | Имеет практический опыт: решения задач по теме квантовых вычислений   | +    | + | + | + | + | + | + | + |
| 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 |
|---------------------------------|-------------|--|
| Лекции                          | 608<br>(16) | Персональный компьютер, проектор.  |
| Экзамен                         | 608<br>(16) | Персональный компьютер, проектор.  |
| Практические занятия и семинары | 608<br>(16) | Персональный компьютер, проектор.  |
| Самостоятельная работа студента | 127<br>(36) | Компьютер, моноблоки, подключенные к сети Интернет и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, проектор, экран. |