



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДФУ)

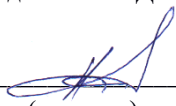
ИНСТИТУТ НАУКОЕМКИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРЕДОВЫХ МАТЕРИАЛОВ (ШКОЛА)

СОГЛАСОВАНО

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ОП ДТФИТ

И.о. зам. директора по учебной и
методической работе ИНТПМ


(подпись)

Нефедев К.В.
(ФИО)




(подпись)

Красицкая С.Г.
(ФИО.)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Учебный практикум по программированию квантовых компьютеров и симуляторов

**Программа магистратуры
по направлению подготовки 03.04.02 Физика,
профиль «Вычислительная физика и квантовые технологии (совместно
с МФТИ)»**

Форма подготовки очная

курс 2 семестр 3

лекции не предусмотрены

практические занятия 34 час.

лабораторные работы не предусмотрены

в том числе с использованием МАО ___ час.

всего часов аудиторной нагрузки 34 час.

самостоятельная работа 74 час.

в том числе на подготовку к экзамену не предусмотрено.

контрольные работы (количество) не предусмотрены

курсовая работа / курсовой проект не предусмотрены

зачет не предусмотрен

экзамен 3 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями

Федерального государственного образовательного стандарта

по направлению подготовки **03.04.02 Физика**,

утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования РФ

от 7 августа 2020 г. № 914.

Рабочая программа обсуждена на заседании Департамента теоретической физики и интеллектуальных технологий, протокол № 4 от «25» ноября 2021 г.

Директор Департамента: Нефедев К.В.

Составитель: д.ф.-м.н., профессор Нефедев К.В.

Владивосток,
2022

Оборотная сторона титульного листа РПД

I. Рабочая программа пересмотрена на заседании ДТФИТ:

Протокол от « ____ » _____ 20__ г. № _____

Директор департамента _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

II. Рабочая программа пересмотрена на заседании ДТФИТ:

Протокол от « ____ » _____ 20__ г. № _____

Директор департамента _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

III Рабочая программа пересмотрена на заседании ДТФИТ:

Протокол от « ____ » _____ 20__ г. № _____

Директор департамента _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

IV. Рабочая программа пересмотрена на заседании ДТФИТ:

Протокол от « ____ » _____ 20__ г. № _____

Директор департамента _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

1. Цели и задачи освоения дисциплины:

Цель курса – овладение базовыми понятиями современной квантовой информатики, освоение основных квантовых алгоритмов, получение представлений о физических системах, используемых в качестве платформы для квантовых вычислений.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- **Знать:** методы и способы постановки и решения задач физических исследований в области квантового программирования, основные квантовые алгоритмы, возможности, методы и системы компьютерных технологий для физических теоретических и экспериментальных исследований в данной области, основные принципы квантовой информатики, основные квантовые алгоритмы, основные физические платформы для реализации квантовых вычислений;
- **Уметь:** самостоятельно ставить и решать конкретные физические задачи научных исследований в области квантового программирования с использованием современной аппаратуры и компьютерных технологий, моделировать основные квантовые алгоритмы, в том числе используя имеющиеся в открытом доступе симуляторы квантовых компьютеров и квантовые процессоры, анализировать результаты выполнения квантовых алгоритмов;
- **Владеть:** навыками постановки и решения задач научных исследований в области квантового программирования с помощью современных методов и средств теоретических и экспериментальных исследований, базовыми принципами квантовых информационных технологий; математическими подходами для описания квантовых алгоритмов, проводить оценки точности при реализации квантовых вычислений.

Универсальные компетенции

Тип задач	Код и наименование профессиональной компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Разработка и реализация проектов	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	УК-2.1 Определяет круг задач в рамках поставленной цели, определяет связи между ними

Тип задач	Код и наименование профессиональной компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции
		УК-2.2 Планирует реализацию задач в зоне своей ответственности с учетом имеющихся ресурсов и ограничений, предусмотренных действующими правовыми нормами
		УК-2.3 Представляет результаты проекта, предлагает возможности их использования и/или совершенствования

Профессиональные компетенции выпускников и индикаторы их достижения:

Тип задач	Код и наименование профессиональной компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Педагогический	ПК-6 Способен участвовать в разработке основных и дополнительных образовательных программ, разрабатывать отдельные их компоненты (в том числе с использованием информационно-коммуникационных технологий)	ПК-6.1 Разрабатывает программы учебных предметов в соответствии с нормативно-правовыми актами в сфере образования
		ПК-6.2 Проектирует индивидуальные образовательные маршруты освоения программ, учебных предметов в соответствии с образовательными потребностями обучающихся

2. Трудоемкость дисциплины и видов учебных занятий по дисциплине

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачётные единицы (108 академических часов).

(1 зачетная единица соответствует 36 академическим часам)

Видами учебных занятий и работы обучающегося по дисциплине могут являться:

Обозначение	Виды учебных занятий и работы обучающегося
Лек	Лекции
Пр	Практические занятия
Лр	Лабораторные работы

СР	Самостоятельная работа обучающегося в период теоретического обучения
Контроль	Самостоятельная работа обучающегося и контактная работа обучающегося с преподавателем в период промежуточной аттестации

Структура дисциплины:

Форма обучения – очная.

№	Наименование раздела дисциплины	Семестр	Количество часов по видам учебных занятий и работы обучающегося					Контроль	Формы промежуточной аттестации
			Лек	Лаб	Пр	ОК	СР		
1	Раздел 1. Введение в квантовую информатику. Основы физической реализации квантовых вычислений	3		11	-				УК-2.1; УК-2.2; УК-2.3; ПК-6.1; ПК-6.2
2	Раздел 2. Сверхплотное кодирование и квантовая телепортация. Квантовое преобразование Фурье и его приложения. Квантовое программирование		11	-	-	74	-	УК-2.1; УК-2.2; УК-2.3; ПК-6.1; ПК-6.2	
3	Раздел 3. Физическая реализация квантовых вычислений. Расчетно графическая работа		12	-				УК-2.1; УК-2.2; УК-2.3; ПК-6.1; ПК-6.2	
	Итого:			34	-	-	74	-	

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

Лекционные занятия не предусмотрены

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

Практические работы

1. Основы физической реализации квантовых вычислений.

1.1. Анализ примеров простейших квантовых схем.

- 1.2. Сравнительный анализ физических систем с точки зрения перспективы реализации квантовых вычислений.
- 1.3. Рассмотрение примера квантового распределения ключа.
2. Сверхплотное кодирование и квантовая телепортация
- 2.1. Анализ алгоритма сверхплотного кодирования. Анализ схемы детектирования состояний Белла. Детектирование состояний перепутанных пар фотонов с помощью светоделителя и фотодетекторов, чувствительных к поляризации.
- 2.2. Анализ статистики детектирования фотонов при экспериментальной реализации сверхплотного кодирования.
- 2.3. Анализ алгоритма и схемы экспериментальной реализации квантовой телепортации.
3. Квантовое преобразование Фурье и его приложения
- 3.1. Анализ преобразования квантового состояния регистра при реализации алгоритмов Дойча и Дойча-Йожа.
- 3.2. Анализ преобразования квантового состояния регистра при выполнении квантового преобразования Фурье. Примеры схем квантового преобразования Фурье для одного, двух и трех кубитов.
- 3.3. Простейший пример выполнения квантовой оценки фазы на примере оператора Z .
- 3.4. Пример выполнения алгоритма факторизации числа 15.
4. Квантовое программирование
- 4.1. Пример реализации квантового алгоритма поиска. Различные трехкубитовые схемы оракулов.
- 4.2. Принципы использования современных средств квантового программирования.
5. Физическая реализация квантовых вычислений
- 5.1. Анализ вращения кубита вокруг различных осей с использованием осцилляций Раби. Вращение кубита.
- 5.2. Анализ и примеры применения схем квантовой коррекции ошибок.
- 5.3. Анализ методов управления квантовыми состояниями ультрахолодных атомов и ионов для реализации квантовых вычислений.

5.4. Анализ особенностей различных твердотельных реализаций квантовых вычислений.

5. СТРУКТУРА, СОДЕРЖАНИЕ, УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине включает в себя:

- план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;
- требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;
- критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

№ п/п	Вид самостоятельной работы	Дата/сроки выполнения	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
1	1-3 недели семестра	Подготовка к практическим занятиям	10 час.	Работа на практических занятиях и выполнение лабораторных работ.
2	4-6 недели семестра	Подготовка к практическим занятиям	10 час.	Работа на практических занятиях и выполнение лабораторных работ.
3	7-8 недели семестра	Подготовка к практическим занятиям	10 час.	Работа на практических занятиях и выполнение лабораторных работ.
4	9-10 недели семестра	Подготовка к практическим занятиям	10 час.	Работа на практических занятиях и выполнение лабораторных работ.
5	11-13 недели семестра	Подготовка к практическим занятиям	10 час.	Работа на практических занятиях и выполнение лабораторных работ.
6	14-15 недели семестра	Подготовка к практическим занятиям	10 час.	Работа на практических занятиях и выполнение лабораторных работ.
7	16-18 недели семестра	Подготовка к практическим занятиям	14 час.	Зачет
Итого:			74 час.	

Рекомендации по самостоятельной работе студентов

Планирование и организация времени, отведенного на выполнение заданий самостоятельной работы.

Изучив график выполнения самостоятельных работ, следует правильно её организовать. Рекомендуется изучить структуру каждого задания, обратить внимание на график выполнения работ, отчетность по каждому заданию

предоставляется в последнюю неделю согласно графику. Обратите внимание, что итоги самостоятельной работы влияют на окончательную оценку по итогам освоения учебной дисциплины.

Работа с литературой.

При выполнении ряда заданий требуется работать с литературой. Рекомендуется использовать различные возможности работы с литературой: фонды научной библиотеки ДВФУ (<http://www.dvfu.ru/library/>) и других ведущих вузов страны, а также доступных для использования научно-библиотечных систем.

В процессе выполнения самостоятельной работы, в том числе при написании эссе рекомендуется работать со следующими видами изданий:

а) Научные издания, предназначенные для научной работы и содержащие теоретические, экспериментальные сведения об исследованиях. Они могут публиковаться в форме: монографий, научных статей в журналах или в научных сборниках;

б) Учебная литература подразделяется на:

- учебные издания (учебники, учебные пособия, тексты лекций), в которых содержится наиболее полное системное изложение дисциплины или какого-то ее раздела;

- справочники, словари и энциклопедии – издания, содержащие краткие сведения научного или прикладного характера, не предназначенные для сплошного чтения. Их цель – возможность быстрого получения самых общих представлений о предмете.

Существуют два метода работы над источниками:

– сплошное чтение обязательно при изучении учебника, глав монографии или статьи, то есть того, что имеет учебное значение. Как правило, здесь требуется повторное чтение, для того чтобы понять написанное. Старайтесь при сплошном чтении не пропускать комментарии, сноски, справочные материалы, так как они предназначены для пояснений и помощи. Анализируйте рисунки (карты, диаграммы, графики), старайтесь понять, какие тенденции и закономерности они отражают;

– метод выборочного чтения дополняет сплошное чтение; он применяется для поисков дополнительных, уточняющих необходимых сведений в словарях, энциклопедиях, иных справочных изданиях. Этот метод крайне важен для повторения изученного и его закрепления, особенно при подготовке к зачету.

Для того чтобы каждый метод принес наибольший эффект, необходимо фиксировать все важные моменты, связанные с интересующей Вас темой.

Тезисы – это основные положения научного труда, статьи или другого произведения, а возможно, и устного выступления; они несут в себе большой объем информации, нежели план. Простые тезисы лаконичны по форме; сложные – помимо главной авторской мысли содержат краткое ее обоснование и доказательства, придающие тезисам более весомый и убедительный характер. Тезисы прочитанного позволяют глубже раскрыть его

содержание; обучаясь излагать суть прочитанного в тезисной форме, вы сумеете выделять из множества мыслей авторов самые главные и ценные и делать обобщения.

Конспект – это способ самостоятельно изложить содержание книги или статьи в логической последовательности. Конспектируя какой-либо источник, надо стремиться к тому, чтобы немногими словами сказать о многом. В тексте конспекта желательно поместить не только выводы или положения, но и их аргументированные доказательства (факты, цифры, цитаты).

Писать конспект можно и по мере изучения произведения, например, если прорабатывается монография или несколько журнальных статей.

Составляя тезисы или конспект, всегда делайте ссылки на страницы, с которых вы взяли конспектируемое положение или факт, – это поможет вам сократить время на поиск нужного места в книге, если возникает потребность глубже разобраться с излагаемым вопросом или что-то уточнить при написании письменных работ.

Методические рекомендации по выполнению заданий для самостоятельной работы и критерии оценки.

Отчёты по практическим работам представляются в электронной форме, подготовленные как текстовые документы в редакторе MS Word.

Отчёт по работе должен быть обобщающим документом, включать всю информацию по выполнению заданий, в том числе, построенные диа-граммы, таблицы, приложения, список литературы и (или) расчеты, с со-провождением необходимыми пояснениями и иллюстрациями в виде схем, экранных форм («скриншотов») и т. д.

Структурно отчёт по практической работе, как текстовый документ, комплектуется по следующей схеме:

- Титульный лист – обязательная компонента отчета, первая страница отчёта, по принятой для практических работ форме (титульный лист отчёта должен размещаться в общем файле, где представлен текст отчёта);

- Исходные данные к выполнению заданий – обязательная компонента отчета, с новой страницы, содержат указание варианта, темы и т.д.);

- Основная часть – материалы выполнения заданий, разбивается по рубрикам, соответствующих заданиям работы, с иерархической структурой: разделы – подразделы – пункты – подпункты и т. д. (рекомендуется в основной части отчета заголовки рубрик (подрубрик) давать исходя из формулировок заданий, в форме отглагольных существительных);

- Выводы – обязательная компонента отчета, содержит обобщающие выводы по работе (какие задачи решены, оценка результатов, что освоено при выполнении работы);

- Список литературы – обязательная компонента отчета, с новой страницы, содержит список источников, использованных при выполнении работы, включая электронные источники (список нумерованный, в соответствии с правилами описания библиографии);

- Приложения – необязательная компонента отчета, с новой

страницы, содержит дополнительные материалы к основной части отчета.

Набор текста осуществляется на компьютере, в соответствии со следующими требованиями:

- печать – на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (размер 210 на 297 мм.);
- интервал межстрочный – полуторный;
- шрифт – Times New Roman;
- размер шрифта - 14 пт., в том числе в заголовках (в таблицах допускается 10-12 пт.);
- выравнивание текста – «по ширине»;
- поля страницы: левое – 25-30 мм., правое – 10 мм., верхнее и нижнее – 20 мм.;
- нумерация страниц – в правом нижнем углу страницы (для страниц с книжной ориентацией), сквозная, от титульного листа до последней страницы, арабскими цифрами (первой страницей считается титульный лист, на котором номер не ставится, на следующей странице проставляется цифра «2» и т. д.).
- режим автоматического переноса слов, за исключением титульного листа и заголовков всех уровней (перенос слов для отдельного абзаца блокируется средствами MSWord с помощью команды «Формат» – абзац при выборе опции «запретить автоматический перенос слов»).

Если рисунок или таблица размещены на листе формата больше А4, их следует учитывать как одну страницу. Номер страницы в этих случаях допускается не проставлять.

Список литературы и все приложения включаются в общую сквозную нумерацию страниц работы.

Критерии оценки.

Оценка	Требования
«зачтено»	Студент владеет навыками самостоятельной работы по теме исследования, реферировать литературные источники; методами анализа теоретических и/или практических аспектов изучаемой области. Студент умеет обобщать фактический материал, делать самостоятельные выводы. Работа соответствует требованиям и выполнена в установленные сроки.
«не зачтено»	Не раскрыта структура и теоретическая составляющая темы. Студент не умеет обобщать фактический материал, делать самостоятельные выводы, не владеет навыком реферировать литературные источники.

6. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения	Оценочные средства	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Раздел 1. Введение в квантовую информатику. Основы физической реализации квантовых вычислений	УК-2.1 Определяет круг задач в рамках поставленной цели, определяет связи между ними	Знает какой круг задач необходимо выполнить в рамках поставленных целей и их взаимосвязь	Практическая работа	Экзамен
			Умеет определять круг задач в рамках поставленной цели, определять связь между ними		
			Владеет навыками вывода задач из поставленной цели, определения связи между ними		
		УК-2.2 Планирует реализацию задач в зоне своей ответственности с учетом имеющихся ресурсов и ограничений, действующих правовых норм	Знает требования к реализации задач в зоне своей ответственности с учетом имеющихся ресурсов и ограничений		
Умеет планировать реализацию задач в зоне своей ответственности с учетом имеющихся ресурсов и ограничений					
		Владеет навыками планирования реализации задач в зоне своей ответственности с учетом имеющихся ресурсов и ограничений, действующих правовых норм			
2	Раздел 2. Сверхплотное кодирование и квантовая телепортация. Квантовое преобразование Фурье и	УК-2.3 Представляет результаты проекта, предлагает возможности их использования и/или совершенствования	Знает основные требования, предъявляемые к результатам проекта, предлагает возможности их использования и/или совершенствования	Практическая работа	Экзамен

	его приложения. Квантовое программирование		Умеет правильно представлять результаты проекта, предлагать возможности их использования		
			Владеет навыками выделения результатов проекта, предлагает возможности их использования и/или совершенствования		
3	Раздел 3. Физическая реализация квантовых вычислений. Расчетно графическая работа	ПК-6.1 Разрабатывает программы учебных предметов в соответствии с нормативно-правовыми актами в сфере образования	Знает методы разработки программ учебных предметов в соответствии с нормативно-правовыми актами в сфере образования	Практическая работа	Экзамен
Умеет проводить работы по разработке программы учебных предметов в соответствии с нормативно-правовыми актами в сфере образования					
Владеет навыками оценки современного состояния при разработке программ учебных предметов в соответствии с нормативно-правовыми актами в сфере образования					
ПК-6.2 Проектирует индивидуальные образовательные маршруты освоения программ, учебных предметов в соответствии с образовательными потребностями обучающихся		Знает принципы проектирования индивидуальных образовательных маршрутов освоения программ, учебных предметов в соответствии с образовательными потребностями обучающихся.			
		Умеет создавать маршруты освоения программ, учебных предметов в соответствии с образовательными потребностями обучающихся			
		Владеет навыками проектирования индивидуальных образовательных маршрутов освоения программ, учебных предметов в соответствии с образовательными потребностями обучающихся.			

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие результаты обучения, представлены в Приложении

7. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

(электронные и печатные издания)

- [1] A. S. Averkin, A. Karpov, K. Shulga, E. Glushkov, N. Abramov, U. Huebner, E. Ilichev, and A. V. Ustinov, Broadband sample holder for microwave spectroscopy of superconducting qubits, *Rev. Sci. Instr.* 85, 104702 (2014).
- [2] A. V. Shcherbakova, K. G. Fedorov, K. V. Shulga, V. V. Ryazanov, V. V. Bolginov, V. A. Oboznov, S. V. Egorov, V. O. Shkolnikov, M. J. Wolf, D. Beckmann and A. V. Ustinov, Fabrication and measurements of hybrid Nb/Al Josephson junctions and flux qubits with π -shifters, *Supercond. Sci. Technol.* 28 025009 (2015)
- [3] K. V. Shulga, Y. Ping, G.P. Fedorov, M. V. Fistul, M. Waides and A. V. Ustinov, Observation of a Collective Mode of an Array of Transmon Qubits, *JETP Letters* 105 38 (2017)
- [4] B.D. Josephson, Possible new effects in superconductive tunnelling, *Physics Letters*; 1, 7, 251, (1962)
- [5] P. W. Anderson and J. M. Rowell. Probable Observation of the Josephson Superconducting Tunneling Effect, *Phys. Rev. Lett.* 10, 230 (1963)
- [6] V. Ambegaokar and A. Baratoff, Tunneling Between Superconductors, *Phys. Rev. Lett.* 11, 104 (1963) [7] D. E. McCumber, Effect of ac Impedance on dc Voltage-Current Characteristics of Superconductor Weak-Link Junctions, *J. Appl. Phys.* 39, 3113 (1968)
- [8] T. P. Orlando, J. E. Mooij, L. Tian, C. H. van der Wal, L. S. Levitov, S. Lloyd, and J. J. Mazo, Superconducting persistent-current qubit, *Phys. Rev. B* 60, 15398 (1999). 109
- [9] V. Bouchiat, D. Vion, P. Joyez, D. Esteve and M. H. Devoret, Quantum coherence with a single Cooper pair, *Physica Scripta* 76, 165-170 (1998)
- [10] Koch, T. M. Y., J. Gambetta, A. A. Houck, D. I. Schuster, J. Majer, A. Blais, M. H. Devoret, S. M. Girvin, and R.J.Schoelkopf, Charge insensitive qubit design derived from the Cooper pair box, *Phys. Rev. A* 76, 042319 (2007)
- [11] S. Haroche, *Fundamental Systems in Quantum Optics*, edited by J. Dalibard, J. Raimond, and J. Zinn-Justin, Elsevier, (1992), p. 767.
- [12] Alexandre Blais, Ren-Shou Huang, Andreas Wallraff, S. M. Girvin, and R.J.Schoelkopf, Cavity quantum electrodynamics for superconducting electrical circuits: An architecture for quantum computation, *Phys. Rev. A* 69, 062320 (2004)
- [13] Wallraff A., Schuster D. I., Blais A., Frunzio L., Huang R.-S., Majer J., Kumar S., Girvin S. M. and Schoelkopf R. J., Circuit Quantum Electrodynamics: Coherent Coupling of a Single Photon to a Cooper Pair Box, *Nature* 431, 162 (2004)
- [14] H. Nyquist, Thermal Agitation of Electric Charge in Conductors, *Phys. Rev.* 32, 110 (1928)
- [15] E.R. Soares, K. F. Raihn, A. A. Davis, R. L. Alvarez, P. J. Marozick and G. L. Hey-Shipton, HTS AMPS-A and AMPS-B filters for cellular receive base stations, *IEEE Trans. Appl. Supercond.* 9, 4018 (1999).
- [16] J-S. Hong, M. J. Lancaster, D. Jedamzik, R. B. Greed and J-C. Mage, On the development of superconducting microstrip filters for mobile communications application, *IEEE Transactions On Microwave Theory And Techniques* 48, 1240 (2000). 110

- [17] G. Zhang, F. Huang, and M. J. Lancaster, Superconducting spiral filters with quasi-elliptic characteristic for radio astronomy, *IEEE Transactions On Microwave Theory And Techniques*, 53, 947 (2005)
- [18] J. Zmuidzinas and P. L. Richards, Superconducting detectors and mixers for millimeter and submillimeter astrophysics, *Proc. IEEE*, 92, 1597 (2004)
- [19] A. Kuzmin, S.V. Shitov, A. Scheuring, J. M. Meckbach, K. S. Il'in, S. Wuensch, A. V. Ustinov, and M. Siegel, Wide-range bolometer with RF readout TES, *IEEE Trans. Terahertz Sci. Techn.* 3, 25 (2015).
- [20] J. Clarke, F. K. Wilhelm, Superconducting quantum bits, *Nature* 453, 1031 (2008)
- [21] J. E. Healey, T. Lindstrom, M. S. Colclough, C. M. Muirhead and A. Ya. Tzalenchuk, Magnetic field tuning of coplanar waveguide resonators, *Appl. Phys. Lett.* 93 043513 (2008).
- [22] M. Jerger, S. Poletto, P. Macha, U. Hubner, A. Lukashenko, E. Il'ichev and A. V. Ustinov, Frequency division multiplexing readout and simultaneous manipulation of an array of flux qubits, *Appl. Phys. Lett.* 101, 042604 (2012)
- [23] C.P. Bean, Magnetization of High-Field Superconductors, *Rev. Mod. Phys.* 36, 31 (1962)
- [24] Жилиев И.Н., Соснин И.А., Дубонос С.В., Воронин С.Г., Рязанов В.В., Наблюдение осцилляции сопротивления в сверхпроводящих пленках алюминия малой площади, *Письма в ЖЭТФ*, 64, Issue 8, Page 608 (1996)
- [25] V. M. Krasnov, Single fluxon in double-stacked Josephson junctions: Approximate analytic solution, *Phys. Rev. B* 60, 9313 (1999)
- [26] T. Golod, A. Rydh, and V. M. Krasnov, Detection of the phase shift from a single Abrikosov vortex, *Phys. Rev. Lett.* 104, 227003 (2010) 111
- [27] D. Bothner, T. Gaber, M. Kemmler, D. Koelle, R. Kleiner, S. Wunsch, and M. Siegel, Magnetic hysteresis effects in superconducting coplanar microwave resonators, *Phys. Rev. B* 86, 014517 (2012)
- [28] J. You and F. Nori, Superconducting circuits and quantum information, *Nature* 474 589 (2011)
- [29] A. Lupascu, P. Bertet, E.F.C. Driessen, C. J. P. M. Harmans, J. E. Mooij, One and two-photon spectroscopy of a flux qubit coupled to a microscopic defect, *Phys. Rev. B* 80 172506 (2009)

Дополнительная литература

(печатные и электронные издания)

- [30] J. M. Martinis, Superconducting phase qubits, *Quantum Inf. Process.* 8 81 (2009)
- [31] J. C. Lee, W. D. Oliver, K. K. Berggren, T. P. Orlando, Nonlinear Resonant Behavior of the Dispersive Readout Scheme for a Superconducting Flux Qubit, *Phys. Rev. B* 75 144505 (2007)
- [32] J. Lisenfeld, A. Lukashenko, M. Ansmann, J. M. Martinis, A. V. Ustinov, Temperature Dependence of Coherent Oscillations in Josephson Phase Qubits, *Phys. Rev. Lett.* 99 170504 (2007)
- [33] E. Hoskinson, F. Lecocq, N. Didier, A. Fay, F. W. Hekking, W. Guichard, O. Buisson, R. Dolata, B. Mackrodt, A. B. Zorin, Quantum Dynamics in a Camelback Potential of a dc SQUID, *Phys. Rev. Lett.* 102 097004 (2009)
- [34] L. B. Ioffe, V. B. Geshkenbein, M. V. Feigelman, A. L. Fauchere and G. Blaetter, Environmentally decoupled sds - wave Josephson junctions for quantum computing, *Nature* 398 679 (1999)

- [35] Blatter, G., Geshkenbein, V. B. and Ioffe, L. B. 2001 Phys. Rev. B 63 174511 (2001) 112
- [36] V. A. Oboznov, V.V. Bolginov, A. K. Feofanov, V.V. Ryazanov and A. I. Buzdin, Thickness Dependence of the Josephson Ground States of Superconductor/Ferromagnet-Superconductor Junctions, Phys. Rev. Lett. 96 197003 (2006) [37] S.M. Frolov, M.J.A. Stoutimore, T.A. Crane, D.J. Van Harlingen, V.A. Oboznov, V.V. Ryazanov, A. Ruosi, C. Granata M. and Russo, Imaging spontaneous currents in superconducting arrays of π -junctions, Nature Phys. 4 32 (2008)
- [38] A. V. Ustinov and V. K. Kaplunenko, Rapid single-flux quantum logic using π -shifters, J. Appl. Phys. 94 5405 (2003)
- [39] A. K. Feofanov, V. A. Oboznov, V.V. Bolginov, J. Lisenfeld, S. Poletto, V.V. Ryazanov, A.N. Rassolenko, M. Khabipov, D. Balashov, A. B. Zorin, P. N. Dmitriev, V. P. Koshelets and A. V. Ustinov, Implementation of superconductor/ferromagnet/ superconductor π -shifters in superconducting digital and quantum circuits, Nature Phys. 6 593 (2010)
- [40] M. Jerger, S. Poletto, P. Macha, U. Huebner, A. Lukashenko, E. Il'ichev and A. V. Ustinov, Readout of a qubit array via a single transmission line, Eur. Phys. Lett. 96 40012 (2011)
- [41] R. H. Koch, J. R. Rozen, G. A. Keefe, F. M. Milliken, C.C. Tsuei, J. R. Kirtley, and D. P. DiVincenzo, Experimental Demonstration of an Oscillator Stabilized Josephson Flux Qubit, Phys. Rev.Lett. 96, 127001 (2006).
- [42] P. Jung, A. V. Ustinov, and S. M. Anlage, Progress in Superconducting Metamaterials, Supercond. Sci. Technol. 27 073001 (2014)
- [43] E. A. Ovchinnikova, S. Butz, P. Jung, V. P. Koshelets, L. V. Filippenko, A. S. Averkin, S. V. Shitov, and A. V. Ustinov, Design and experimental study of superconducting left-handed transmission lines with tunable dispersion, Supercond. Sci. Technol. 26 114003 (2013). 113
- [44] S. Butz, P. Jung, L. V. Filippenko, V. P. Koshelets, and A. V. Ustinov, A one-dimensional tunable magnetic metamaterial, Optical Society of America, 21, 022540 (2013).
- [45] P. Jung, S. Butz, M. Marthaler, M.V. Fistul, J. Leppakangas, V.P. Koshelets and A.V. Ustinov, Multistability and switching in a superconducting metamaterial, Nature Communications 5, 3730 , (2014).
- [46] P. Macha, G. Oelsner, J.-M. Reiner, M. Marthaler, S. Andre, G. Schon, U. Hubner, H.-G. Meyer, E. Il'ichev and A.V. Ustinov, Implementation of a quantum metamaterial using superconducting qubits, Nature Communications 5, 5146, (2014).
- [47] M. H. Devoret, in Quantum Fluctuations (Les Houches Session LXIII), edited by S. Reynaud, E. Giacobino, and J. Zinn-Justin, Elsevier, pp. 351-386. (1997)
- [48] I. M. Lifshits, S. A. Gredeskul and L. A. Pastur, Introduction to the Theory of Disordered Systems, Wiley-VCH (1988). [49] P. A. Volkov and M. V. Fistul, Collective quantum coherent oscillations in a globally coupled array of qubits, Phys. Rev. B 89, 054507 (2014).
- [50] Dicke, R. H. Coherence in spontaneous radiation processes. Phys. Rev. 93, 99–110 (1954).
- [51] J. M. Fink, R. Bianchetti, M. Baur, M. Goeppl, L. Steffen, S. Filipp, P. J. Leek, A. Blais, A. Wallraff, Dressed collective qubit states and the Tavis-Cummings model in circuit QED. Phys. Rev. Lett. 103, 083601 (2009).
- [52] M. Tavis and F.W. Cummings, Exact Solution for an N-Molecule—RadiationField Hamiltonian, Phys. Rev. 170, 379 (1968) 114

[53] E.T. Jaynes, F.W. Cummings, Comparison of quantum and semiclassical radiation theories with application to the beam maser, Proc. IEEE. 51 89 (1963).

[54] J. Braumüller, J. Cramer, S. Schlor, H. Rotzinger, L. Radtke, A. Lukashenko, P. Yang, S. T. Skacel, S. Probst, M. Marthaler, L. Guo, A. V. Ustinov, and M. Weides, Multi-photon dressing of an anharmonic superconducting many-level quantum circuit, Physical Review B 91, 054523 (2015)

[55] Bachelor's Thesis of Patrizia Stehle. Investigation of the AC-Stark Shift for Higher Transitions of a Transmon Qubit (2015)

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. jetpletters.ac.ru, jetp.ac.ru – журналы Российской академии наук.

Перечень информационных технологий и программного обеспечения

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине используется общее программное обеспечение компьютерных учебных классов (Windows, Microsoft Office и др.).

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ Планирование и организация времени, отведенного на изучение дисциплины.

Приступить к освоению дисциплины следует незамедлительно в самом начале учебного семестра. Рекомендуется изучить структуру и основные положения Рабочей программы дисциплины. Обратит внимание, что кроме аудиторной работы (лекции, практические занятия) планируется самостоятельная работа, итоги которой влияют на окончательную оценку по итогам освоения учебной дисциплины. Все задания (аудиторные и самостоятельные) необходимо выполнять и предоставлять на оценку в соответствии с графиком.

В процессе изучения материалов учебного курса предлагаются следующие формы работ: лабораторные работы, практические занятия.

Лабораторные работы акцентированы на принципиальных вопросах курса и призваны стимулировать выработку практических умений.

Практические занятия нацелены на закрепление полученных практических умений.

При подготовке к практическому занятию необходимо сначала ознакомиться с материалами из основной и дополнительной литературы. Выучить основной теоретический материал по теме (по материалам лекций и основной литературы).

При работе с литературой необходимо внимательно изучать разделы, соответствующие теме занятия, при поиске информации в электронных системах необходимо правильно сформулировать поисковый запрос, лучше использовать несколько вариантов запроса для расширения возможности поиска информации в сети интернет. Использовать можно только информацию с официальных тематических сайтов или сайтов организаций.

Особо значимой для профессиональной подготовки студентов является *самостоятельная работа* по курсу. В ходе этой работы студенты отбирают необходимый материал по изучаемому вопросу и анализируют его. Студентам необходимо ознакомиться с основными источниками, без которых невозможно полноценное понимание проблематики курса.

Освоение курса способствует развитию навыков обоснованных и самостоятельных оценок фактов и концепций. Поэтому во всех формах контроля знаний, особенно при сдаче зачета, внимание обращается на понимание проблематики курса, на умение практически применять знания и делать выводы.

Работа с литературой. Рекомендуется использовать различные возможности работы с литературой: фонды научной библиотеки ДВФУ и электронные библиотеки (<http://www.dvfu.ru/library/>), а также доступные для использования другие научно-библиотечные системы.

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебные занятия по дисциплине могут проводиться в следующих помещениях, оснащенных соответствующим оборудованием и программным обеспечением, расположенных по адресу 690022, г. Владивосток, о.Русский, п. Аякс, 10:

Перечень материально-технического и программного обеспечения дисциплины приведен в таблице.

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы ¹	Оснащенность специальных помещений и помещений для проведения учебных занятий, для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
Учебные аудитории для проведения учебных занятий:		
690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус L, ауд. L 561а. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного	Помещение укомплектовано специализированной учебной мебелью (посадочных мест – 30). Доска аудиторная.	Специализированное ПО не требуется

¹ В соответствии с п.4.3. ФГОС

<p>типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации</p>		
<p>Помещения для самостоятельной работы:</p>		
<p>A1042 аудитория для самостоятельной работы студентов</p>	<p>Моноблок Lenovo C360G-i34164G500UDK – 115 шт.; Интегрированный сенсорный дисплей Polymedia FlipBox; Копир-принтер-цветной сканер в e-mail с 4 лотками Xerox WorkCentre 5330 (WC5330C; Полноцветный копир-принтер-сканер Xerox WorkCentre 7530 (WC7530CPS Оборудование для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья: Дисплей Брайля Focus-40 Blue – 3 шт.; Дисплей Брайля Focus-80 Blue; Рабочая станция Lenovo ThinkCentre E73z – 3 шт.; Видео увеличитель ONYX Swing-Arm PC edition; Маркер-диктофон Touch Memo цифровой; Устройство портативное для чтения плоскочечных текстов PEarl; Сканирующая и читающая машина для незрячих и слабовидящих пользователей SARA; Принтер Брайля Emprint SpotDot - 2 шт.; Принтер Брайля Everest - D V4; Видео увеличитель ONYX Swing-Arm PC edition; Видео увеличитель Topaz 24” XL стационарный электронный; Обучающая система для детей тактильно-речевая, либо для людей с ограниченными возможностями здоровья; Увеличитель ручной видео RUBY портативный – 2 шт.; Экран Samsung S23C200B; Маркер-диктофон Touch Memo цифровой.</p>	<p>Microsoft Windows 7 Pro MAGic 12.0 Pro, Jaws for Windows 15.0 Pro, Open book 9.0, Duxbury BrailleTranslator, Dolphin Guide (контракт № A238-14/2); Неисключительные права на использование ПО Microsoft рабочих станций пользователей (контракт ЭА-261-18 от 02.08.2018): - лицензия на клиентскую операционную систему; - лицензия на пакет офисных продуктов для работы с документами включая формат.docx , .xlsx , .vsd , .ppt.; - лицензия на право подключения пользователя к серверным операционным системам , используемым в ДВФУ : Microsoft Windows Server 2008/2012; - лицензия на право подключения к серверу Microsoft Exchange Server Enterprise; - лицензия на право подключения к внутренней информационной системе документооборота и порталу с возможностью поиска информации во множестве удаленных и локальных хранилищах, ресурсах, библиотеках информации, включая порталные хранилища, используемой в ДВФУ: Microsoft SharePoint; - лицензия на право подключения к системе централизованного управления рабочими станциями, используемой в ДВФУ: Microsoft System Center.</p>

10. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонды оценочных средств представлены в приложении.

Для дисциплины «Сверхпроводящие цепи и кубиты» используются следующие оценочные средства:

Практическая работа

Практическая работа – средство для закрепления и практического освоения материала по определенному разделу.

Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания результатов освоения дисциплины

Оценочные средства для промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация студентов по дисциплине «Квантовое машинное обучение» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной. Форма отчётности по дисциплине – зачет (3-й, осенний семестр). Зачет по дисциплине включает сдачу всех практических работ и защиту отчетов.

Методические указания по сдаче зачета

Зачет принимается ведущим преподавателем. При большом количестве групп у одного преподавателя или при большой численности потока по распоряжению заведующего кафедрой (заместителя директора по учебной и воспитательной работе) допускается привлечение в помощь ведущему преподавателю других преподавателей. В первую очередь привлекаются преподаватели, которые проводили лабораторные занятия по дисциплине в группах.

В исключительных случаях, по согласованию с заместителем директора Школы по учебной и воспитательной работе, заведующий кафедрой имеет право принять зачет в отсутствие ведущего преподавателя.

Форма проведения зачета (устная, письменная и др.) утверждается на заседании кафедры по согласованию с руководителем в соответствии с рабочей программой дисциплины.

Во время проведения зачета студенты могут пользоваться рабочей программой дисциплины, а также с разрешения преподавателя, проводящего зачет, справочной литературой и другими пособиями (учебниками, учебными пособиями, рекомендованной литературой и т.п.).

Время, предоставляемое студенту на подготовку к ответу на зачете, должно составлять не более 20 минут. По истечении данного времени студент должен быть готов к ответу.

Присутствие на зачете посторонних лиц (кроме лиц, осуществляющих проверку) без разрешения соответствующих лиц (ректора либо проректора по учебной и воспитательной работе, директора Школы, руководителя ОПОП или заведующего кафедрой), не допускается. Инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья, не имеющие возможности самостоятельного передвижения, допускаются зачет с сопровождающими.

При промежуточной аттестации обучающимся устанавливается оценка «зачтено» или «не зачтено».

В электронную зачетную книжку студента вносится только запись «зачтено», запись «не зачтено» вносится только в экзаменационную ведомость. При неявке студента на зачет в ведомости делается запись «не явился».

Критерии выставления оценки студенту на зачете

К зачету допускаются обучающиеся, выполнившие программу обучения по дисциплине, прошедшие все этапы текущей аттестации.

Оценка	Требования к сформированным компетенциям
«зачтено»	Студент показал развернутый ответ, представляющий собой связное, логическое, последовательное раскрытие поставленного вопроса, широкое знание литературы. Студент обнаружил понимание материала, обоснованность суждений, способность применить полученные знания на практике. Допускаются некоторые неточности в ответе, которые студент исправляет самостоятельно.
«не зачтено»	Студент обнаруживает незнание большей части проблем, связанных с изучением вопроса, допускает ошибки в ответе, искажает смысл текста, беспорядочно и неуверенно излагает материал. Данная оценка характеризует недостатки в подготовке студента, которые являются серьезным препятствием к успешной профессиональной и научной деятельности.



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДВФУ)

НАЗВАНИЕ ШКОЛЫ (ФИЛИАЛА)

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Учебный практикум по программированию квантовых компьютеров и симуляторов

**Программа магистратуры
по направлению подготовки 03.04.02 Физика,
профиль «Вычислительная физика и квантовые технологии (совместно
с МФТИ)»**

Форма подготовки очная

**Владивосток
2022**

Перечень форм оценивания, применяемых на различных этапах формирования компетенций в ходе освоения дисциплины / модуля

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения	Оценочные средства	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Раздел 1. Введение в квантовую информатику. Основы физической реализации квантовых вычислений	УК-2.1 Определяет круг задач в рамках поставленной цели, определяет связи между ними	Знает какой круг задач необходимо выполнить в рамках поставленных целей и их взаимосвязь	Практическая работа	Экзамен
			Умеет определять круг задач в рамках поставленной цели, определять связь между ними		
		Владеет навыками вывода задач из поставленной цели, определения связи между ними			
		Знает требования к реализации задач в зоне своей ответственности с учетом имеющихся ресурсов и ограничений			
УК-2.2 Планирует реализацию задач в зоне своей ответственности с учетом имеющихся ресурсов и ограничений, действующих правовых норм	Умеет планировать реализацию задач в зоне своей ответственности с учетом имеющихся ресурсов и ограничений				
	Владеет навыками планирования реализации задач в зоне своей ответственности с учетом имеющихся ресурсов и ограничений, действующих правовых норм				
	Знает основные требования, предъявляемые к результатам проекта, предлагает возможности их использования и/или совершенствования				
2	Раздел 2. Сверхплотное кодирование и квантовая телепортация. Квантовое преобразование Фурье и	УК-2.3 Представляет результаты проекта, предлагает возможности их использования и/или совершенствования	Знает основные требования, предъявляемые к результатам проекта, предлагает возможности их использования и/или совершенствования	Практическая работа	Экзамен

	его приложения. Квантовое программирование		<p>Умеет правильно представлять результаты проекта, предлагать возможности их использования</p> <p>Владеет навыками выделения результатов проекта, предлагает возможности их использования и/или совершенствования</p>		
3	Раздел 3. Физическая реализация квантовых вычислений. Расчетно графическая работа	<p>ПК-6.1 Разрабатывает программы учебных предметов в соответствии с нормативно-правовыми актами в сфере образования</p> <p>ПК-6.2 Проектирует индивидуальные образовательные маршруты освоения программ, учебных предметов в соответствии с образовательными потребностями обучающихся</p>	<p>Знает методы разработки программ учебных предметов в соответствии с нормативно-правовыми актами в сфере образования</p> <p>Умеет проводить работы по разработке программы учебных предметов в соответствии с нормативно-правовыми актами в сфере образования</p> <p>Владеет навыками оценки современного состояния при разработке программ учебных предметов в соответствии с нормативно-правовыми актами в сфере образования</p> <p>Знает принципы проектирования индивидуальных образовательных маршрутов освоения программ, учебных предметов в соответствии с образовательными потребностями обучающихся.</p> <p>Умеет создавать маршруты освоения программ, учебных предметов в соответствии с образовательными потребностями обучающихся</p> <p>Владеет навыками проектирования индивидуальных образовательных маршрутов освоения программ, учебных предметов в соответствии с образовательными потребностями обучающихся.</p>	Практическая работа	Экзамен

Оценочные средства для текущего контроля

Текущая аттестация студентов по дисциплине проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация проводится в форме контрольных мероприятий по оцениванию фактических результатов обучения студентов и осуществляется ведущим преподавателем.

Объектами оценивания выступают:

- учебная дисциплина (своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость всех видов занятий по аттестуемой дисциплине);
- степень усвоения теоретических знаний;
- уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы;
- посещение занятий
- результаты самостоятельной работы.

Составляется календарный план контрольных мероприятий по дисциплине. Оценка посещаемости, своевременность выполнения различных видов заданий ведётся на основе журнала, который ведёт преподаватель в течение учебного семестра.

Оценка	Требования
«зачтено»	Студент показал развернутый ответ на вопрос, знание литературы, обнаружил понимание материала, обоснованность суждений, неточности в ответе исправляет самостоятельно.
«не зачтено»	Студент обнаруживает незнание вопроса, неуверенно излагает ответ.

Оценочные средства для промежуточной аттестации

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения	Шкала оценивания промежуточной аттестации	
		Не зачтено	Зачтено

УК-2.1 Определяет круг задач в рамках поставленной цели, определяет связи между ними	Знает какой круг задач необходимо выполнить в рамках поставленных целей и их взаимосвязь	Студент не знает какой круг задач необходимо выполнить в рамках поставленных целей и их взаимосвязь	Знает какой круг задач необходимо выполнить в рамках поставленных целей и их взаимосвязь
	Умеет определять круг задач в рамках поставленной цели, определять связь между ними	Не умеет определять круг задач в рамках поставленной цели, определять связь между ними	Умеет определять круг задач в рамках поставленной цели, определять связь между ними
	Владеет навыками вывода задач из поставленной цели, определения связи между ними	Студент владеет навыками вывода задач из поставленной цели, определения связи между ними	Владеет навыками вывода задач из поставленной цели, определения связи между ними
УК-2.2 Планирует реализацию задач в зоне своей ответственности с учетом имеющихся ресурсов и ограничений, действующих правовых норм	Знает требования к реализации задач в зоне своей ответственности с учетом имеющихся ресурсов и ограничений	Студент знает требования к реализации задач в зоне своей ответственности с учетом имеющихся ресурсов и ограничений	Знает требования к реализации задач в зоне своей ответственности с учетом имеющихся ресурсов и ограничений
	Умеет планировать реализацию задач в зоне своей ответственности с учетом имеющихся ресурсов и ограничений	Студент не умеет планировать реализацию задач в зоне своей ответственности с учетом имеющихся ресурсов и ограничений	Умеет планировать реализацию задач в зоне своей ответственности с учетом имеющихся ресурсов и ограничений
	Владеет планировать реализацию задач в зоне своей ответственности с учетом имеющихся ресурсов и ограничений	Студент не имеет навыков планировать реализацию задач в зоне своей ответственности с учетом имеющихся ресурсов и ограничений	Владеет навыками планировать реализацию задач в зоне своей ответственности с учетом имеющихся ресурсов и ограничений
УК-2.3 Представляет результаты проекта, предлагает возможности их использования и/или совершенствования	Знает основные требования, предъявляемые к результатам проекта, предлагает возможности их использования и/или совершенствования	Студент знает основные требования, предъявляемые к результатам проекта, предлагает возможности их использования и/или совершенствования	Знает основные требования, предъявляемые к результатам проекта, предлагает возможности их использования и/или совершенствования

	Умеет правильно представлять результаты проекта, предлагать возможности их использования	Студент не умеет правильно представлять результаты проекта, предлагать возможности их использования	Умеет правильно представлять результаты проекта, предлагать возможности их использования
	Владеет навыками выделения результатов проекта, предлагает возможности их использования и/или совершенствования	Студент не владеет навыками выделения результатов проекта, предлагает возможности их использования и/или совершенствования	Владеет необходимыми навыками выделения результатов проекта, предлагает возможности их использования и/или совершенствования
ПК-6.1 Разрабатывает программы учебных предметов в соответствии с нормативно-правовыми актами в сфере образования	Знает методы разработки программ учебных предметов в соответствии с нормативно-правовыми актами в сфере образования	Не знает методы разработки программ учебных предметов в соответствии с нормативно-правовыми актами в сфере образования	Знает методы разработки программ учебных предметов в соответствии с нормативно-правовыми актами в сфере образования
	Умеет проводить работы по разработке программы учебных предметов в соответствии с нормативно-правовыми актами в сфере образования	Не умеет проводить работы по разработке программы учебных предметов в соответствии с нормативно-правовыми актами в сфере образования	Умеет проводить работы по разработке программы учебных предметов в соответствии с нормативно-правовыми актами в сфере образования
	Владеет навыками оценки современного состояния при разработке программ учебных предметов в соответствии с нормативно-правовыми актами в сфере образования	Не владеет навыками оценки современного состояния при разработке программ учебных предметов в соответствии с нормативно-правовыми актами в сфере образования	Владеет навыками оценки современного состояния при разработке программ учебных предметов в соответствии с нормативно-правовыми актами в сфере образования
ПК-6.2 Проектирует индивидуальные образовательные маршруты освоения	Знает принципы проектирования индивидуальных образовательных маршрутов освоения программ, учебных предметов в соответствии с	Не знает принципы проектирования индивидуальных образовательных маршрутов освоения программ, учебных	Знает принципы проектирования индивидуальных образовательных маршрутов освоения программ, учебных предметов в соответствии с образовательными потребностями обучающихся

программ, учебных предметов в соответствии с образовательными потребностями обучающихся	образовательными потребностями обучающихся.	предметов в соответствии с образовательными потребностями обучающихся	
	Умеет создавать маршруты освоения программ, учебных предметов в соответствии с образовательными потребностями обучающихся	Не умеет создавать маршруты освоения программ, учебных предметов в соответствии с образовательными потребностями обучающихся	Умеет создавать маршруты освоения программ, учебных предметов в соответствии с образовательными потребностями обучающихся
	Владеет навыками проектирования индивидуальных образовательных маршрутов освоения программ, учебных предметов в соответствии с образовательными потребностями обучающихся.	Не владеет навыками проектирования индивидуальных образовательных маршрутов освоения программ, учебных предметов в соответствии с образовательными потребностями обучающихся.	Владеет навыками проектирования индивидуальных образовательных маршрутов освоения программ, учебных предметов в соответствии с образовательными потребностями обучающихся.

Вопросы к экзамену

1. Введение в квантовую информатику.

1.1. Прогресс в современной квантовой информатике.

1.2. История квантовой информатики.

1.3. Физические принципы квантовых вычислений. Обратимые и необратимые операции.

1.4. Кубиты и их состояния. Квантовые вентили. Примеры однокубитовых и двухкубитовых вентиляей.

Вентиль Тоффли. Изображение квантовых вентиляей на схемах.

1.5. Простейшие квантовые алгоритмы. Генерация перепутанных состояний. Практическое применение квантовых алгоритмов.

1.6. Современные прототипы квантовых компьютеров. Квантовые процессоры D-Wave и IBM.

2. Основы физической реализации квантовых вычислений.

2.1. Критерии ди Винченцо.

2.2. Физические платформы для реализации квантовых вычислений.

2.3. Квантовая коммуникация. Теорема о невозможности копирования квантового состояния. Квантовая криптография.

3. Сверхплотное кодирование и квантовая телепортация

3.1. Сверхплотное кодирование. Генерация перепутанных пар фотонов.

3.2. Квантовое описание светоделительной пластины. Детектирование состояний Белла.

3.3. Экспериментальная реализация сверхплотного кодирования.

3.4. Алгоритм квантовой телепортации. Экспериментальная реализация квантовой телепортации.

4. Квантовое преобразование Фурье и его приложения

4.1. Квантовый параллелизм. Алгоритмы Дойча и Дойча-Йожа.

4.2. Квантовое преобразование Фурье.

4.3. Квантовый алгоритм оценки фазы. Квантовые симуляторы. Схема Китаева.

4.4. Алгоритм нахождения порядка числа. Алгоритм факторизации (алгоритм Шора).

5. Квантовое программирование

5.1. Квантовые алгоритмы поиска. Квантовая адресация.

5.2. Современные средства квантового программирования.

5.3. Квантовая томография.

6. Физическая реализация квантовых вычислений

6.1. Взаимодействие двухуровневых систем с переменным полем. Осцилляции Раби. Вращение кубита.

6.2. Квантовая коррекция ошибок. Стабилизирующие коды.

6.3. Реализация квантовых алгоритмов с использованием ядерного магнитного резонанса.

6.4. Лазерное охлаждение атомов и ионов. Квантовые процессоры на основе ионов и нейтральных атомов.

6.5. Сверхпроводящие кубиты. Кубиты на основе квантовых точек и азотных вакансий в алмазах.

Заключение работодателя на ФОС (ОМ)