



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.)

2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Квантовые алгоритмы**  
**Образовательная Программа магистратуры**  
**по направлению подготовки 03.04.02 Физика,**  
**«Вычислительная физика и квантовые технологии**  
**(совместно с МФТИ)»**  
Форма подготовки очная

курс 1 семестр 1

лекции 16 час.

практические занятия не предусмотрены.

лабораторные работы 18 час.

в том числе с использованием

всего часов аудиторной нагрузки 34 час.

самостоятельная работа 38 час.

в том числе на подготовку к экзамену не предусмотрено.

контрольные работы (количество) не предусмотрены

курсовая работа / курсовой проект не предусмотрены

зачет 1 семестр

экзамен не предусмотрен

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. № 891.

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

Директор департамента

Теоретической физики и интеллектуальных технологий: Нефедев К.В.

Составитель: профессор, д.ф.-м.н. 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 – познакомить слушателей с бурно развивающейся областью науки и технологии на стыке физики и компьютерных наук – квантовыми вычислениями.

Задачи:

изучить гейтовую модель квантовых вычислений и универсальные наборы квантовых логических вентилей;

установить основные типы квантовых алгоритмов, таких как алгоритм оценки фазы, алгоритм Шора и другие алгоритмы, основанные на квантовом преобразовании Фурье;

разобрать алгоритм Гровера и квантовые алгоритмы поиска; квантовые вариационные алгоритмы.

установить причины и следствия проблем с декогеренцией и ошибками в квантовых вентилях, вопросы построения квантовых кодов коррекции ошибок;

рассмотреть варианты архитектуры квантового компьютера, устойчивого к ошибкам;

рассмотреть вопросы принципиальной возможности создания устойчивого к ошибкам квантового компьютера и реальное положение дел при современном уровне развития технологий.

Для успешного изучения дисциплины «Введение в квантовые алгоритмы и компьютеры» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

- УК-1.4. осуществляет работу с информационными источниками, научный поиск и анализ информации для решения поставленных задач.

- УК-6.2. планирует собственное время; определяет стратегические, тактические и оперативные задачи.

Общепрофессиональные компетенции выпускников и индикаторы их достижения:

Наименование категории (группы) общепрофессиональных компетенций	Код и наименование общепрофессиональной компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Научно-исследовательский	<b>ПК-3</b> Способен оказывать информационную поддержку специалистам, осуществляющим научно-исследовательские работы	ПК-3.1 Применяет современные информационные технологии и программные средства при решении научно-исследовательских задач

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
ПК-3.1 Применяет современные информационные технологии и программные средства при решении научно-исследовательских задач	Знает возможности применения современных информационных технологий и программных средств при решении научно-исследовательских задач
	Умеет осуществлять подготовку программных средств при решении научно-исследовательских задач
	Владет навыками использования современных информационных технологий и программных средств при решении научно-исследовательских задач

Наименование категории (группы) общепрофессиональных компетенций	Код и наименование общепрофессиональной компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Научно-исследовательский	<b>ПК-3</b> Способен оказывать информационную поддержку специалистам, осуществляющим научно-исследовательские работы	ПК-3.2 Проводит первичный поиск информации по заданной тематике (в том числе, с использованием патентных баз данных)

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
ПК-3.2 Проводит первичный поиск информации по заданной тематике (в том числе, с использованием патентных баз данных)	Знает способы поиска информации по заданной тематике
	Умеет работать с базами данных
	Владет навыками поиска информации по заданной тематике в том числе, с использованием патентных баз данных.

## 2. Трудоёмкость дисциплины и видов учебных занятий по дисциплине

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 2 зачётные единицы (72 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
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	Пр	Лаб	ОК	СР		
1	Раздел 1. Введение. Историческая перспектива и современное состояние области. Зарождение индустрии квантовых вычислений. Представление об особенностях квантовых вычислений на примере простейшего алгоритма Дейча.		2		2				
2	Раздел 2. Необходимые сведения из теории вычислительной сложности алгоритмов. Понятие алгоритма, машина Тьюринга, универсальная машина Тьюринга. Вычислимые и невычислимые функции, проблема остановки. Задачи разрешимости, представление о классах вычислительной сложности. Классы P и NP. Вероятностная машина Тьюринга, класс BPP. Задачи пересчёта количества решений, класс сложности #P. Проблема демонстрации квантового превосходства на примере задачи BosonSampling.	1	2	-	2	-	38	-	ПК-3.1 ПК-3.2
3	Раздел 3. Гейтовая модель классических вычислений, универсальные вентили. Гейтовая модель квантовых вычислений. Элементарные квантовые логические вентили, однокубитные и двухкубитные вентили. Условные двухкубитные		2		2				ПК-3.1 ПК-3.2

	<p>вентили, представление условных многокубитных вентилей через двухкубитные. Описание измерений в квантовой теории, описание измерений в квантовых схемах.</p>							
4	<p>Раздел 4. Универсальность однокубитных вентилей и вентиля CNOT. Дискретизация однокубитных вентилей, универсальные дискретные наборы вентилей. Сложность аппроксимации произвольного унитарного преобразования.</p>	2		2				<p>ПК-3.1 ПК-3.2</p>
5	<p>Раздел 5. Квантовое преобразование Фурье. Алгоритм оценки фазы, оценка необходимых ресурсов, упрощённый алгоритм Китаева. Экспериментальные реализации алгоритма оценки фазы и приложения к расчёту молекулярных термов.</p>	2		2				<p>ПК-3.1 ПК-3.2</p>
6	<p>Раздел 6. Алгоритм поиска периода функции. Факторизация чисел на простые множители, алгоритм Шора. Экспериментальные реализации алгоритма Шора. Другие алгоритмы, основанные на квантовом преобразовании Фурье.</p>	2		2				<p>ПК-3.1 ПК-3.2</p>
7	<p>Раздел 7. Квантовые алгоритмы поиска. Алгоритм Гровера, геометрическая иллюстрация, оценка ресурсов. Подсчёт числа решений поисковой задачи. Ускорение решения NP-полных задач. Квантовые</p>	1		2				<p>ПК-3.1 ПК-3.2</p>

	поиск в неструктурированной базе данных. Оптимальность алгоритма Гровера. Алгоритмы, основанные на случайных блужданиях. Экспериментальные реализации поисковых алгоритмов.							
8	Раздел 8. Классические коды коррекции ошибок, линейные коды. Ошибки в квантовых вычислениях, отличие от классического случая. Трехкубитный код, исправляющий X-ошибку. Трехкубитный код, исправляющий Z-ошибку. Девятикубитный код Шора.		1		2			ПК-3.1 ПК-3.2
9	Раздел 9. Общая теория исправления ошибок, дискретизация ошибок, модель независимых ошибок. Классические линейные коды, коды Хэмминга. Квантовые коды Кальдербанка-Шора-Стина.		1		2			ПК-3.1 ПК-3.2
10	Раздел 10. Формализм стабилизаторов, построение кодов КШС в формализме стабилизаторов. Унитарные преобразования и измерения в формализме стабилизаторов. Понятие о вычислениях, устойчивых к ошибкам. Построение универсального набора устойчивых к ошибкам вентилей. Измерения, устойчивые к ошибкам. Пороговая теорема. Экспериментальные перспективы реализации квантовой коррекции		1		2			ПК-3.1 ПК-3.2

	ошибок и устойчивых к ошибкам вычислений.								
10	Итого:	1	16	-	18	-	38	-	

### **3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

#### **Лекционные занятия**

**Лекция 1.** Введение историческая перспектива и современное состояние области. Зарождение индустрии квантовых вычислений. Представление об особенностях квантовых вычислений на примере простейшего алгоритма Дейча.

**Лекция 2.** Необходимые сведения из теории вычислительной сложности алгоритмов. Понятие алгоритма, машина Тьюринга, универсальная машина Тьюринга. Вычислимые и невычислимые функции, проблема останки. Задачи разрешимости, представление о классах вычислительной сложности. Классы P и NP. Вероятностная машина Тьюринга, класс BPP. Задачи пересчёта количества решений, класс сложности #P. Проблема демонстрации квантового превосходства на примере задачи BosonSampling.

**Лекция 3.** Гейтовая модель классических вычислений, универсальные вентили. Гейтовая модель квантовых вычислений. Элементарные квантовые логические вентили, однокубитные и двухкубитные вентили. Условные двухкубитные вентили, представление условных многокубитных вентилях через двухкубитные. Описание измерений в квантовой теории, описание измерений в квантовых схемах.

**Лекция 4.** Универсальность однокубитных вентилях и вентиля CNOT. Дискретизация однокубитных вентилях, универсальные дискретные наборы вентилях. Сложность аппроксимации произвольного унитарного преобразования.

**Лекция 5.** Квантовое преобразование Фурье. Алгоритм оценки фазы, оценка необходимых ресурсов, упрощённый алгоритм Китаева. Экспериментальные реализации алгоритма оценки фазы и приложения к расчёту молекулярных термов.

**Лекция 6.** Алгоритм поиска периода функции. Факторизация чисел на простые множители, алгоритм Шора. Экспериментальные реализации алгоритма Шора. Другие алгоритмы, основанные на квантовом преобразовании Фурье.

**Лекция 7.** Квантовые алгоритмы поиска. Алгоритм Гровера, геометрическая иллюстрация, оценка ресурсов. Подсчёт числа решений поисковой задачи. Ускорение решения NP-полных задач. Квантовый поиск в неструктурированной базе данных. Оптимальность алгоритма Гровера. Алгоритмы, основанные на случайных блужданиях. Экспериментальные реализации поисковых алгоритмов.

**Лекция 8.** Классические коды коррекции ошибок, линейные коды. Ошибки в квантовых вычислениях, отличие от классического случая. Трёхкубитный код, исправляющий X-ошибку. Трёхкубитный код, исправляющий Z-ошибку. Девятикубитный код Шора.



Лекция 9. Общая теория исправления ошибок, дискретизация ошибок, модель независимых ошибок. Классические линейные коды, коды Хэмминга. Квантовые коды Кальдербанка-Шора-Стина.

Лекция 10. Формализм стабилизаторов, построение кодов КШС в формализме стабилизаторов. Унитарные преобразования и измерения в формализме стабилизаторов. Понятие о вычислениях, устойчивых к ошибкам. Построение универсального набора устойчивых к ошибкам вентилях. Измерения, устойчивые к ошибкам. Пороговая теорема. Экспериментальные перспективы реализации квантовой коррекции ошибок и устойчивых к ошибкам вычислений.

Лекция 11. Квантовые симуляции: «цифровые» и аналоговые. Некоторые экспериментальные реализации и перспективы аналоговых квантовых симуляций.

Лекция 12. Квантовые вычисления на NISQ-устройствах. Квантовые вариационные алгоритмы: QAOA и VQE. Приложения к задачам квантовой химии. Возможности реализации на современных квантовых процессорах, перспективы развития.

## **4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

### **Лабораторные работы**

**Лабораторная работа1. Квантовые алгоритмы.**

**Лабораторная работа2. Задачи пересчёта количества решений, класс сложности #P.**

**Лабораторная работа3. Элементарные квантовые логические вентили, однокубитные и двухкубитные вентили.**

**Лабораторная работа4. Дискретизация однокубитных вентилях, универсальные дискретные наборы вентилях.**

**Лабораторная работа5. Алгоритм оценки фазы, оценка необходимых ресурсов, упрощённый алгоритм Китаева.**

**Лабораторная работа6. Алгоритм поиска периода функции.**

**Факторизация чисел на простые множители, алгоритм Шора.**

**Лабораторная работа7. Квантовые алгоритмы поиска. Алгоритм Гровера, геометрическая иллюстрация, оценка ресурсов.**

**Лабораторная работа8. Классические коды коррекции ошибок, линейные коды.**

**Лабораторная работа9. Классические линейные коды, коды Хэмминга. Квантовые коды Кальдербанка-Шора-Стина.**

**Лабораторная работа10. Унитарные преобразования и измерения в формализме стабилизаторов. Понятие о вычислениях, устойчивых к ошибкам.**

## 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 практическому занятию	6 час.	УО-1 собеседование; ПР-7 конспект
2	4-6 недели семестра	Подготовка к практическому занятию	6 час.	УО-1 собеседование; ПР-7 конспект
3	7-8 недели семестра	Подготовка к практическому занятию	6 час.	УО-1 собеседование; ПР-7 конспект
4	9-10 недели семестра	Подготовка к практическому занятию	6 час.	УО-1 собеседование; ПР-7 конспект
4	11-13 недели семестра	Подготовка к практическому занятию	6 час.	УО-1 собеседование; ПР-7 конспект
5	14-15 недели семестра	Подготовка к практическому занятию	6 час.	УО-1 собеседование; ПР-7 конспект
6	16-18 недели семестра	Подготовка к практическому занятию	8 час.	УО-1 собеседование; ПР-7 конспект
Итого:			38 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 конспект лекционного материала, соответствующий теме каждого практического занятия и, при необходимости, рассмотреть и детализировать отдельные интересующие или вызывающие

затруднения в понимании моменты с помощью рекомендуемой литературы. Отчетность по каждому заданию предоставляется в последнюю неделю согласно графику.

### **Требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы**

При подготовке к устному опросу (УО-1) воспользоваться материалами из рекомендованной литературы. Оцениваются:

- владение материалом;
- умение формулировать свои мысли, отстаивать свою точку зрения;
- умение задавать вопросы оппоненту;
- умение отвечать на вопросы оппонента;
- умение подвести итог по результатам обсуждения.

Контроль результатов самостоятельной работы студентов осуществляется в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия и внеаудиторную самостоятельную работу студентов по дисциплине, проводится в письменной и устной форме.

Контроль самостоятельной работы студентов предусматривает:

- соотнесение содержания контроля с целями обучения;
- объективность контроля;
- валидность контроля (соответствие предъявляемых заданий тому, что предполагается проверить).

### **Критерии оценки результатов самостоятельной работы**

Критериями оценок результатов внеаудиторной самостоятельной работы студента являются:

- уровень освоения студентами учебного материала;
- умения студента использовать теоретические знания при выполнении практических задач;
- сформированность общеучебных умений;
- умения студента активно использовать электронные образовательные ресурсы, находить требующуюся информацию, применять на практике;
- обоснованность и четкость изложения ответа;
- оформление материала в соответствии с требованиями;
- умение ориентироваться в потоке информации, выделять главное;
- умение сформировать свою позицию, оценку и аргументировать ее.

## 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	Разделы 1-10	ПК-3.1 Применяет современные информационные технологии и программные средства при решении научно-исследовательских задач	Знает возможности применения современных информационных технологий и программных средств при решении научно-исследовательских задач	ПК-3.1 собеседование; ПК-3.2 отчет	Зачёт (вопросы)
			Умеет осуществлять подготовку программных средств при решении научно-исследовательских задач		
			Владеет навыками использования современных информационных технологий и программных средств при решении научно-исследовательских задач		
		ПК-3.2 Проводит первичный поиск информации по заданной тематике (в том числе, с использованием патентных баз данных)	Знает способы поиска информации по заданной тематике		
			Умеет работать с базами данных		
			Владеет навыками поиска информации по заданной тематике в том числе, с использованием патентных баз данных.		

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. Александр Ершов. Квантовое превосходство // Популярная механика. — 2018. — № 5. — С. 54—59. Архивировано 15 июня 2020 года.
2. Прескилл Дж. Квантовая информация и квантовые вычисления. — Ижевск: РХД, 2008—2011. — 464+312 с.
3. Опенов Л. А. Спиновые логические вентили на основе квантовых точек // Соросовский образовательный журнал, 2000, т. 6, № 3, с. 93-98;
4. Валиев К. А. Квантовые компьютеры и квантовые вычисления Архивная копия от 10 февраля 2009 на Wayback Machine // УФН. — 2005. — Т. 175. — С. 3—39.
5. Нильсен М., Чанг И. Квантовые вычисления и квантовая информация. — М.: Мир, 2006. — 824 с.
6. Ожигов Ю. И. Квантовые вычисления. — М.: Макс Пресс, 2003. — 152 с. Архивная копия от 8 марта 2013 на Wayback Machine

### **Дополнительная литература**

*(печатные и электронные издания)*

1. Дойч Д. Структура реальности. — Ижевск: РХД, 2001. — 400 с.
2. Кайе Ф., Лафлам Р., Моска М. Введение в квантовые вычисления. — Ижевск: РХД, 2009. — 360 с.
3. Ожигов Ю. И. Конструктивная физика. — Ижевск: РХД, 2010. — 424 с.
4. Квантовые вычисления за и против Архивная копия от 16 марта 2021 на Wayback Machine / Под ред. Садовниченко В. А.
5. Баумейстер Д., Экерт А., Цайлингер А. Физика квантовой информации. — М.: Постмаркет, 2002. — 376 с.
6. Валиев К. А., А. А. Кокин. Квантовые компьютеры: надежды и реальность. — Ижевск: РХД, 2004. — 320 с.

## Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

[https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B9\\_%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B9_%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80)

<https://aws.amazon.com/ru/what-is/quantum-computing/>

<https://trends.rbc.ru/trends/industry/626bb8859a7947e7bdbadbcd>

<https://azure.microsoft.com/ru-ru/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-quantum-computing/>

<https://habr.com/ru/company/getmatch/blog/687154/>

<https://habr.com/ru/company/sberbank/blog/343308/>

<https://big-i.ru/innovatsii/tehnologii/kvantovye-vychisleniya-cto-nuzhno-znat-rukovoditelyam-kompaniy/>

## Перечень информационных технологий и программного обеспечения

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине используется общее программное обеспечение компьютерных учебных классов (Windows XP, 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: чтение лекций, практические занятия.

*Лекционные занятия* ориентированы на освещение вводных тем в каждый раздел курса и призваны ориентировать студентов в предлагаемом материале, заложить теоретические и методологические основы для дальнейшей самостоятельной работы студентов.

*Практические занятия* акцентированы на принципиальных вопросах курса и призваны стимулировать выработку практических умений.

При подготовке к практическому занятию необходимо сначала ознакомиться с материалом лекции, а затем 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 <sup>1</sup>	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:		

<sup>1</sup> В соответствии с п.4.3. ФГОС

<p>690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус L, ауд. L 561а. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации</p>	<p>Помещение укомплектовано специализированной учебной мебелью (посадочных мест – 30). Доска аудиторная.</p>	<p>Специализированное ПО не требуется</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 плоскочечатных 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 , .ptt.; - лицензия па 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 па 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.



*(фонды оценочных средств включают в себя: перечень форм оценивания, применяемых на различных этапах формирования компетенций в ходе освоения дисциплины модуля, шкалу оценивания каждой формы, с описанием индикаторов достижения освоения дисциплины согласно заявленным компетенций, примеры заданий текущего и промежуточного контроля, заключение работодателя на ФОС (ОМ))*



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

---

НАЗВАНИЕ ШКОЛЫ (ФИЛИАЛА)

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
**Квантовые алгоритмы**  
**Образовательная Программа магистратуры**  
**по направлению подготовки 03.04.02 Физика,**  
**«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	Разделы 1-10	ПК-3.1 Применяет современные информационные технологии и программные средства при решении научно-исследовательских задач	Знает возможности применения современных информационных технологий и программных средств при решении научно-исследовательских задач	ПК-3.1 собеседование; ПК-3.2 отчет	Зачёт (вопросы)
			Умеет осуществлять подготовку программных средств при решении научно-исследовательских задач		
			Владеет навыками использования современных информационных технологий и программных средств при решении научно-исследовательских задач		
		ПК-3.2 Проводит первичный поиск информации по заданной тематике (в том числе, с использованием патентных баз данных)	Знает способы поиска информации по заданной тематике		
			Умеет работать с базами данных		
			Владеет навыками поиска информации по заданной тематике в том числе, с использованием патентных баз данных.		

**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 (контрольных работ) 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.

### **Вопросы для собеседования**

1. Алгоритм Дойча.
2. Алгоритм Шора.
3. Алгоритм Гровера
4. Оракул
5. Квантовая запутанность
6. Суперпозиция
7. Алгоритм Залки-Визнера
8. Алгоритм поиска экстремума дискретной функции
9. Алгоритм Хойера
10. Квантовые цепи и схемы
11. Квантовый компьютер
12. Хронология квантовых вычислений
13. Квантовое распределение ключей
14. Класс BQP

## 15. Квантовое превосходство и квантовый параллелизм

<b>Оценка</b>	<b>Описание схемы оценивания</b>
«Отлично»	Показывает глубокое и прочное усвоение материала раздела. Полные, последовательные, грамотные и логически излагаемые ответы. Демонстрация обучающимся знаний в объеме рекомендованной и дополнительной литературы. Учебный материал воспроизводится с требуемой степенью точности.
«Хорошо»	Наличие в ответе несущественных ошибок, уверенно исправляемых после дополнительных и наводящих вопросов. Демонстрация обучающимся знаний в объеме пройденной программы; чёткое изложение изученного материала.
«Удовлетворительно»	Наличие несущественных ошибок в ответе, не исправляемых обучающимся. Демонстрация недостаточно полных знаний по пройденной программе, неструктурированное, нестройное изложение учебного материала при ответе.
«Неудовлетворительно»	Демонстрирует непонимание проблемы, незнание процессов изучаемой предметной области, отличающийся неглубоким раскрытием темы; незнанием основных вопросов теории, несформированными навыками анализа явлений, процессов. Допускаются серьезные ошибки в содержании ответа; незнание современной проблематики изучаемой области.

### Оценочные средства для промежуточной аттестации

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения	Шкала оценивания промежуточной аттестации			
		Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Отлично

ПК-3.3 Способен разрабатывать, отлаживать и оптимизировать программный код с использованием современных языков программирования, включая манипулирование данными	Знает, как разрабатывается программный код с использованием современных языков программирования	<i>Незнание базовой терминологии, основных понятий и законов</i>	<i>Знает базовую терминологию, основные понятия и законы теории</i>	<i>Знает базовую терминологию, основные понятия и законы теории, но допущены 2-3 несущественные ошибки.</i>	<i>Знает базовую терминологию, основные понятия и законы теории.</i>
	Умеет разрабатывать программный код с использованием современных языков программирования.	<i>Не может применять основные методы</i>	<i>Умеет применять основные методы, но при этом допущены 1-2 существенные ошибки.</i>	<i>Умеет применять основные методы, но допущены 2-3 несущественные ошибки.</i>	<i>Умеет применять основные методы теории.</i>
	Владеет навыками разработки, отладки и оптимизации программного кода с использованием современных языков программирования, включая манипулирование данными	<i>Не владеет навыками разработки и отладки</i>	<i>Владеет навыками разработки и отладки, но при этом допущены 1-2 существенные ошибки.</i>	<i>Владеет навыками применения разработок и отладки, но допущены 2-3 несущественные ошибки.</i>	<i>Владеет навыками применения фундаментальных законов теории вероятностей и математической статистики при исследовании различных физических явлений.</i>

### Вопросы к зачёту или к экзамену

1. Классическое и квантовое пространства состояний системы. Дискретное представление классического пространства через биты бинарного разложения координат. Конечномерные пространства квантовых состояний. Вектор состояния. Кубит.

2. Измерение квантового состояния. Правило Борна. Измерения в разных базисах. Процедура квантовой томографии на примере одного кубита. Принцип неопределенности Бора-Гейзенберга на примере одного кубита. Операторы координаты, импульса, энергии, их эрмитовость. Их собственные состояния и собственные значения. Связь физических

величин с эрмитовыми операторами.

3. Уравнение Шредингера. Унитарная динамика вектора состояния. Общее решение Задачи Коши для уравнения Шредингера через матричную экспоненту и через собственные состояния оператора энергии.

4. Композитные квантовые системы. Тензорные произведения пространств, состояний и операторов.

5. Матрица плотности Ландау чистого состояния и уравнение Шредингера для нее. Смешанные состояния. Частичные измерения. Получение смешанного состояния в результате частичного измерения. Дополнение смешанного состояния до чистого в расширенном пространстве.

6. Теорема Шмидта. SVD- разложение матриц. Энтропия Шеннона и фон Неймана. Энтропия двух-частичной запутанности.

7. Классические вычисления с оракулом, их сложность. Квантовый оракул. Квантовый алгоритм с оракулом. Квантовое вычисление. Гейты. Однокубитные, их общий вид, гейты Паули, CNOT. Реализация гейтов NOT и CNOT на зарядовых состояниях электронов в квантовых точках.

8. Алгоритм Гровера для задачи перебора. Квантовое ускорение вычислений.

9. Квантовое преобразование Фурье и его реализация в виде схемы Шора из квантовых гейтов.

10. Схема Абрамса-Ллойда поиска собственных частот.

11. Алгоритм Залки-Визнера решения уравнения Шредингера.

12. Конечномерные модели квантовой электродинамики. Приближение вращающейся волны.

## **Заключение работодателя на ФОС (ОМ)**