



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

Директор департамента ДТФИТ ИНТиПМ

д.п.н., проф. Т.Н. Гнитецкая
(подпись) (ФИО)



д.ф.-м.н., проф. К. В. Нефедев
(подпись) (И.О. Фамилия)

Научный руководитель ОП

«20» сентября 2023 г.

д.ф.-м.н., проф. Л. Л. Афремов
(подпись) (ФИО)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Введение в квантовые алгоритмы и компьютеры

Специальность 03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика
Специализация Фундаментальная физика и информатика

(Совместно с ИАПУ ДВО РАН, ТОИ ДВО РАН)

Форма подготовки: очная

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки 03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика, утвержденного приказом Минобрнауки России от 1 марта 2018 г. N 158 (с изменениями и дополнениями) Рабочая программа обсуждена на заседании департамента теоретической физики и интеллектуальных технологий, протокол № 1 от «20» сентября 2023 г.

Директор департамента теоретической физики и интеллектуальных технологий д.ф.-м.н., проф. К.В. Нефедев
Составитель: профессор, д.ф.-м.н. Нефедев К.В.

Владивосток
2023

Оборотная сторона титульного листа РПД

I. Рабочая программа пересмотрена на заседании Департамента теоретической физики и интеллектуальных технологий:

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

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

II. Рабочая программа пересмотрена на заседании Департамента теоретической физики и интеллектуальных технологий:

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

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

III. Рабочая программа пересмотрена на заседании Департамента теоретической физики и интеллектуальных технологий:

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

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

IV. Рабочая программа пересмотрена на заседании Департамента теоретической физики и интеллектуальных технологий:

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

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

Аннотация дисциплины

Введение в квантовые алгоритмы и компьютеры

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачётных единицы и 144 академических часов. Является дисциплиной части, формируемой участниками образовательных отношений, профессионального блока дисциплин, модуль вычислительной физики, изучается в 9 семестре и завершается экзаменом. Учебным планом предусмотрено проведение лекционных занятий в объеме 32 часов, практических – 32 часов, а также выделено 17 часов на самостоятельную работу студента и 63 часа на контроль.

Язык реализации: русский.

Цель: формирование представления бурно развивающейся области 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.

Дисциплина «Введение в квантовые алгоритмы и компьютеры» логически связана с содержанием следующих дисциплин «Основы цифровой грамотности», «Основы алгоритмизации и программирования», «Python для решения практических задач вычислительной физики и смежных областей знания», «Квантовая механика» и других.

Общепрофессиональные компетенции выпускников и индикаторы их достижения:

Наименование категории (группы) компетенций	Код и наименование компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
---	---	--	--

	<p>ПК-7 Способен использовать специализированные знания в области физики стандартных программных средств компьютерного моделирования для освоения профильных физических дисциплин, строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения</p>	<p>ПК-7.1 Использует методики построения физических и математических моделей устройств и установок электроники и наноэлектроники, анализирует способы определения видов и типов профессиональных задач, структурирование задач различных групп</p>	<p>Знает методики построения физических и математических моделей устройств и установок электроники и наноэлектроники, а также специализированные области физики, нано- и радиоэлектроники, математики и стандартных программных средств компьютерного моделирования для освоения профильных физических дисциплин</p> <p>Умеет строить физические и математические модели узлов, блоков, устройств, установок электроники и наноэлектроники, а также стандартных программных средств компьютерного моделирования для освоения профильных физических дисциплин</p> <p>Владеет навыками построения физических и математических моделей устройств и установок электроники и наноэлектроники, а также стандартных программных средств компьютерного моделирования для освоения профильных физических дисциплин</p>
	<p>ПК-13 Способен осуществлять разработку и внедрение новых методов и технологий исследования больших данных</p>	<p>ПК-13.1 Совершенствует и разрабатывает новые методы, модели, алгоритмы, технологии и инструментальные средства работы с большими данными</p>	<p>Знает параллельные и распределённые вычисления</p> <p>Умеет планировать выполнение научно-технических работ</p> <p>Владеет планированием и выполнением научно-исследовательской работы в области</p>

			разработки новых методов, моделей, алгоритмов, технологий и инструментальных средств работы с большими данными
--	--	--	--

I. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ:

Цель: формирование представления бурно развивающейся области 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.

Дисциплина «Введение в квантовые алгоритмы и компьютеры» логически связана с содержанием следующих дисциплин «Основы цифровой грамотности», «Основы алгоритмизации и программирования», «Python для решения практических задач вычислительной физики и смежных областей знания», «Квантовая механика» и других.

Общепрофессиональные компетенции выпускников и индикаторы их достижения:

Наименование категории (группы) компетенций	Код и наименование компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
---	---	--	--

	<p>ПК-7 Способен использовать специализированные знания в области физики стандартных программных средств компьютерного моделирования для освоения профильных физических дисциплин, строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения</p>	<p>ПК-7.1 Использует методики построения физических и математических моделей устройств и установок электроники и наноэлектроники, анализирует способы определения видов и типов профессиональных задач, структурирование задач различных групп</p>	<p>Знает методики построения физических и математических моделей устройств и установок электроники и наноэлектроники, а также специализированные области физики, нано- и радиоэлектроники, математики и стандартных программных средств компьютерного моделирования для освоения профильных физических дисциплин</p> <p>Умеет строить физические и математические модели узлов, блоков, устройств, установок электроники и наноэлектроники, а также стандартных программных средств компьютерного моделирования для освоения профильных физических дисциплин</p> <p>Владеет навыками построения физических и математических моделей устройств и установок электроники и наноэлектроники, а также стандартных программных средств компьютерного моделирования для освоения профильных физических дисциплин</p>
	<p>ПК-13 Способен осуществлять разработку и внедрение новых методов и технологий исследования больших данных</p>	<p>ПК-13.1 Совершенствует и разрабатывает новые методы, модели, алгоритмы, технологии и инструментальные средства работы с большими данными</p>	<p>Знает параллельные и распределённые вычисления</p> <p>Умеет планировать выполнение научно-технических работ</p> <p>Владеет планированием и выполнением научно-исследовательской работы в области</p>

			разработки новых методов, моделей, алгоритмов, технологий и инструментальных средств работы с большими данными
--	--	--	--

II. ТРУДОЁМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачётных единицы и 144 академических часов. Является дисциплиной части, формируемой участниками образовательных отношений, профессионального блока дисциплин, модуль вычислительной физики, изучается в 9 семестре и завершается экзаменом. Учебным планом предусмотрено проведение лекционных занятий в объеме 32 часов, практических – 32 часов, а также выделено 17 часов на самостоятельную работу студента и 63 часа на контроль.

III. СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Форма обучения – очная

№	Наименование раздела дисциплины	Семестр	Количество часов по видам учебных занятий и работы обучающегося					Формы промежуточной аттестации	
			Лек	Лаб	Пр	ОК	СР		Контроль
1	Раздел 1. Введение. Историческая перспектива и современное состояние области. Зарождение индустрии квантовых вычислений. Представление об особенностях квантовых вычислений на примере простейшего алгоритма Дейча.	9	3		3		1	6	
2	Раздел 2. Необходимые сведения из теории вычислительной сложности алгоритмов. Понятие алгоритма, машина Тьюринга, универсальная машина Тьюринга. Вычислимые и невычислимые функции, проблема остановки. Задачи		3		3		1	6	

	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.							
3	Раздел 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.	3		3		1	6	
4	Раздел 4. Универсальность однокубитных вентилях и вентиля CNOT. Дискретизация однокубитных вентилях, универсальные дискретные наборы вентилях. Сложность аппроксимации произвольного унитарного преобразования.	3		3		2	6	
5	Раздел 5. Квантовое преобразование Фурье. Алгоритм оценки фазы, оценка необходимых ресурсов, упрощённый алгоритм Китаева. Экспериментальные реализации алгоритма оценки фазы и приложения к	3		3		2	6	

	расчёту молекулярных термов.						
6	<p>Раздел 6. Алгоритм поиска периода функции.</p> <p>Факторизация чисел на простые множители, алгоритм Шора.</p> <p>Экспериментальные реализации алгоритма Шора.</p> <p>Другие алгоритмы, основанные на квантовом преобразовании Фурье.</p>	3	3	2	6		
7	<p>Раздел 7. Квантовые алгоритмы поиска. Алгоритм Гровера, геометрическая иллюстрация, оценка ресурсов. Подсчёт числа решений поисковой задачи. Ускорение решения NP-полных задач. Квантовый поиск в</p> <p>неструктурированной базе данных. Оптимальность алгоритма Гровера.</p> <p>Алгоритмы, основанные на случайных блужданиях.</p> <p>Экспериментальные реализации поисковых алгоритмов.</p>	3	3	2	6		
8	<p>Раздел 8. Классические коды коррекции ошибок, линейные коды. Ошибки в квантовых вычислениях, отличие от классического случая. Трёхкубитный код, исправляющий X-ошибку.</p> <p>Трёхкубитный код, исправляющий Z-ошибку.</p> <p>Девятикубитный код Шора.</p>	3	3	2	7		

9	Раздел 9. Общая теория исправления ошибок, дискретизация ошибок, модель независимых ошибок. Классические линейные коды, коды Хэмминга. Квантовые коды Кальдербанка-Шора-Стина.		4		4		2	7	
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 вентилях. Измерения, устойчивые к ошибкам. Пороговая теорема. Экспериментальные перспективы реализации квантовой коррекции ошибок и устойчивых к ошибкам вычислений.		4		4		2	7	
	Итого:		32		32		17	63	Экзамен

IV. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

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.

V. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

Практическое занятие 1. Квантовые алгоритмы.

Практическое занятие 2. Задачи пересчёта количества решений, класс сложности #P.

Практическое занятие 3. Элементарные квантовые логические вентиля, однокубитные и двухкубитные вентиля.

Практическое занятие 4. Дискретизация однокубитных вентилях, универсальные дискретные наборы вентилях.

Практическое занятие 5. Алгоритм оценки фазы, оценка необходимых ресурсов, упрощённый алгоритм Китаева.

Практическое занятие 6. Алгоритм поиска периода функции. Факторизация чисел на простые множители, алгоритм Шора.

Практическое занятие 7. Квантовые алгоритмы поиска. Алгоритм Гровера, геометрическая иллюстрация, оценка ресурсов.

Практическое занятие 8. Классические коды коррекции ошибок, линейные коды.

Практическое занятие 9. Классические линейные коды, коды Хэмминга. Квантовые коды Кальдербанка-Шора-Стина.

Практическое занятие 10. Унитарные преобразования и измерения в формализме стабилизаторов. Понятие о вычислениях, устойчивых к ошибкам.

IV. 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 1-5	ПК-7.1 Использует методики построения физических и математических моделей устройств и установок электроники и нанoeлектроники, анализирует способы определения видов и типов профессиональных задач, структурирование задач различных групп	Знает методики построения физических и математических моделей устройств и установок электроники и нанoeлектроники, а также специализированные области физики, нано- и радиоэлектроники, математики и стандартных программных средств компьютерного моделирования для освоения профильных физических дисциплин	ПП-4 Реферат	
			Умеет строить физические и математические модели узлов, блоков, устройств, установок электроники и нанoeлектроники, а также стандартных программных средств компьютерного моделирования для освоения профильных физических дисциплин		
			Владеет навыками построения физических и математических моделей устройств и установок электроники и нанoeлектроники, а также стандартных программных средств компьютерного моделирования для освоения профильных физических дисциплин		
2	Разделы 6-10	ПК-13.1 Совершенствует и разрабатывает новые методы, модели, алгоритмы, технологии и инструментальные средства работы с большими данными	Знает параллельные и распределённые вычисления	ПП-4 Реферат	
			Умеет планировать выполнение научно-технических работ		

			Владеет планированием и выполнением научно-исследовательской работы в области разработки новых методов, моделей, алгоритмов, технологий и инструментальных средств работы с большими данными		
	Итого				Экзамен

VII. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Самостоятельная работа определяется как индивидуальная или коллективная учебная деятельность, осуществляемая без непосредственного руководства педагога, но по его заданиям и под его контролем. Самостоятельная работа – это познавательная учебная деятельность, когда последовательность мышления студента, его умственных и практических операций и действий зависит и определяется самим студентом.

Самостоятельная работа студентов способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровней, что в итоге приводит к развитию навыка самостоятельного планирования и реализации деятельности.

Целью самостоятельной работы студентов является овладение необходимыми компетенциями по своему направлению подготовки, опытом творческой и исследовательской деятельности.

Формы самостоятельной работы студентов:

- работа с основной и дополнительной литературой, интернет-ресурсами;
- самостоятельное ознакомление с лекционным материалом, представленным на электронных носителях, в библиотеке образовательного учреждения;
- подготовка реферативных обзоров источников периодической печати, опорных конспектов, заранее определенных преподавателем;
- поиск информации по теме с последующим ее представлением в аудитории в форме доклада, презентаций;
- подготовка к выполнению аудиторных контрольных работ;
- выполнение домашних контрольных работ;
- выполнение тестовых заданий, решение задач;

- составление кроссвордов, схем;
- подготовка сообщений к выступлению на семинаре, конференции;
- заполнение рабочей тетради;
- написание эссе, курсовой работы;
- подготовка к деловым и ролевым играм;
- составление резюме;
- подготовка к зачетам и экзаменам;

другие виды деятельности, организуемые и осуществляемые образовательным учреждением и органами студенческого самоуправления.

VIII. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

(электронные и печатные издания)

1. Эндрю, Стин Квантовые вычисления / Стин Эндрю ; перевод И. Д. Пасынков. — Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, Институт компьютерных исследований, 2019. — 112 с. — ISBN 978-5-4344-0790-8. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. <https://lib.dvfu.ru/lib/item?id=IPRbooks:IPRbooks-92042&theme=FEFU>

2. Филлип, Кайе Введение в квантовые вычисления / Кайе Филлип, Лафлам Раймон, Моска Мишель ; перевод Т. С. Никитина ; под редакцией А. В. Анохина. — Москва, Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, Институт компьютерных исследований, 2019. — 360 с. — ISBN 978-5-4344-0656-7. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. <https://lib.dvfu.ru/lib/item?id=IPRbooks:IPRbooks-91917&theme=FEFU>

3. Сысоев, С. С. Введение в квантовые вычисления : квантовые алгоритмы : учебное пособие / С. С. Сысоев. - СПб : Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2019. - 144 с. - ISBN 978-5-288-05933-9. - Текст : электронный. <https://lib.dvfu.ru/lib/item?id=Znanium:Znanium-1080947&theme=FEFU>

Дополнительная литература

(печатные и электронные издания)

1. Ведринский, Р. В. Квантовая механика : учебник / Р. В. Ведринский. — Ростов-на-Дону : Издательство Южного федерального университета, 2009. — 384 с. — ISBN 978-5-9275-0706-1. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://lib.dvfu.ru/lib/item?id=IPRbooks:IPRbooks-46976&theme=FEFU>

2. Введение в квантовые компьютеры / Г. П. Берман, Г. Д. Дулен, Р. Майньери, В. И. Цифринович ; перевод В. Е. Порсев ; под редакцией А. А. Кокина. — Москва, Ижевск : Институт компьютерных исследований, Регулярная и хаотическая динамика, 2019. — 188 с. — ISBN 978-5-4344-0615-4. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. <https://lib.dvfu.ru/lib/item?id=IPRbooks:IPRbooks-91918&theme=FEFU>

3. Стиб, В. -Х. Задачи и их решения в квантовых вычислениях и квантовой теории информации / В. -Х. Стиб, Й. Харди ; перевод Ю. А. Сагдеева. — Москва, Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2007. — 296 с. — ISBN 978-5-93972-601-6. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. <https://lib.dvfu.ru/lib/item?id=IPRbooks:IPRbooks-16518&theme=FEFU>

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://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/tekhnologii/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.).

IX. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Успешное освоение дисциплины предполагает активную работу студентов на всех занятиях аудиторной формы: лекциях и практиках, выполнении аттестационных мероприятий. В процессе изучения дисциплины студенту необходимо ориентироваться на проработку лекционного материала, подготовку к практическим занятиям, выполнение контрольных и творческих работ.

Освоение дисциплины предполагает рейтинговую систему оценки знаний студентов и предусматривает со стороны преподавателя текущий контроль за посещением студентами лекций, подготовкой и выполнением всех практических заданий, выполнением всех видов самостоятельной работы.

Промежуточной аттестацией по дисциплине является *экзамен*.

Студент считается аттестованным по дисциплине при условии выполнения всех видов текущего контроля и самостоятельной работы, предусмотренных учебной программой.

Шкала оценивания сформированности образовательных результатов по дисциплине представлена в фонде оценочных средств (ФОС).

X. 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	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
Учебные аудитории для проведения учебных занятий:	

690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, этаж 4, 75,75 кв.м., № помещения 2249	Учебная аудитория для проведения лекционных и практических занятий. Компьютерный класс (L450) 20 компьютеров (системный блок модель - 30AGCT01WW P3+монитором АОС 28» L12868POU).
Помещения для самостоятельной работы:	
690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, этаж 10, 1016,2 кв.м., № помещения 477	<p>Аудитории для самостоятельной работы студентов. Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ДВФУ.</p> <p>Комплекты учебной мебели (столы и стулья). Моноблок Lenovo C360G-i34164G500UDK – 115 шт.</p> <p>Интегрированный сенсорный дисплей Polymedia FlipBox. Копир-принтер-цветной сканер в e-mail с 4 лотками Xerox WorkCentre 5330 (WC5330C).</p> <p>Полноцветный копир-принтер-сканер Xerox WorkCentre 7530 (WC7530CPS). Скорость доступа в Интернет 500 Мбит/сек. Рабочие места для людей с ограниченными возможностями здоровья оснащены дисплеями и принтерами Брайля (A1007 (A1042))</p>

Для проведения учебных занятий по дисциплине, а также для организации самостоятельной работы студентам доступно следующее лабораторное оборудование и специализированные кабинеты, соответствующие действующим санитарным и противопожарным нормам, а также требованиям техники безопасности при проведении учебных и научно-производственных работ.

В целях обеспечения специальных условий обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в ДВФУ все здания оборудованы пандусами, лифтами, подъемниками, специализированными местами, оснащенными туалетными комнатами, табличками информационно-навигационной поддержки.