

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Галунин Сергей Александрович
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 28.06.2023 14:55:53
Уникальный программный ключ:
08ef34338325bdb0ac5a47baa5472ce36cc3fc3b

Приложение к ОПОП
«Математические методы в ин-
формационных технологиях»



СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)»
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)»**

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

ДИСЦИПЛИНЫ

«ВВЕДЕНИЕ В КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ»

для подготовки бакалавров

по направлению

01.03.02 «Прикладная математика и информатика»

по профилю

«Математические методы в информационных технологиях»

Санкт-Петербург

2023

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Разработчики:

доцент, к.ф-м.н. Коптелов Я.Ю.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры АМ
12.01.2023, протокол № 6

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учебно-методической комиссией
ФКТИ, 16.02.2023, протокол № 2

Согласовано в ИС ИОТ

Начальник ОМОЛА Загороднюк О.В.

1 СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Обеспечивающий факультет	ФКТИ
Обеспечивающая кафедра	АМ
Общая трудоемкость (ЗЕТ)	3
Курс	4
Семестр	8
Виды занятий	
Лекции (академ. часов)	16
Практические занятия (академ. часов)	16
Иная контактная работа (академ. часов)	1
Все контактные часы (академ. часов)	33
Самостоятельная работа, включая часы на контроль (академ. часов)	75
Всего (академ. часов)	108
Вид промежуточной аттестации	
Дифф. зачет (курс)	4

2 АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

«ВВЕДЕНИЕ В КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ»

В рамках данного курса будет проведено знакомство с бурно развивающейся областью науки и техники на стыке физики и компьютерных наук – квантовыми вычислениями. Будут даны необходимые сведения из линейной алгебры и квантовой механики. В курсе будет описана схемная модель квантовых вычислений. Будут разобраны примеры известных квантовых алгоритмов: алгоритмы, основанные на квантовом преобразовании Фурье (алгоритм Шора), квантовые алгоритмы поиска, и некоторые другие задачи. Слушателей познакомят с существующими проблемами при построении квантовых компьютеров и существующими способами их решения.

SUBJECT SUMMARY

«INTRODUCTION TO QUANTUM COMPUTING»

Within the framework of this course, an acquaintance will be made with the rapidly developing field of science and technology at the intersection of physics and computer science -quantum computing. Necessary information from linear algebra and quantum mechanics will be given. The course will describe the circuit model of quantum computing. Examples of well-known quantum algorithms will be analyzed: algorithms based on the quantum Fourier transform (Shor algorithm), quantum search algorithms, and some other problems. Students will be introduced to the existing problems in the construction of quantum computers and the existing ways to solve them.

3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3.1 Цели и задачи дисциплины

1. Цели дисциплины -изучение особенностей квантовых вычислений и квантовой информатики для получения представления о возможных путях решения современных научно-прикладных задач и приобретение навыков поиска и критического анализа информации в области квантовых вычислений и квантовой информации, а также формирование умений оценивания возможных выигрышей от применения квантовых алгоритмов для решения тех или иных задач.

2. Основной задачей изучения дисциплины является ознакомление студентов с современным направлением исследований -моделью квантовых вычислений, ее теоретическими основами, некоторыми результатами, актуальными проблемами и возможными путями их решения, а также формирование умений анализа стоящих задач на предмет возможного применения квантовых алгоритмов и навыков критического анализа полученных результатов и данных о путях решения.

3. В результате изучения дисциплины у студентов должны сформироваться знания об основных принципах построения модели квантовых вычислений (в том числе знания об основах квантовой механики и соответствующего аппарата математики), о существующих теоретических квантовых алгоритмах и о проблемах с их реализацией.

4. В результате освоения дисциплины у студентов должны сформироваться умения:

- ориентироваться в современных достижениях квантовой информатики;
- анализировать альтернативные варианты решения задач в области квантовых вычислений;
- оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши при реализации этих вари-

антов.

5. В результате освоения дисциплины у студентов должны сформироваться навыки поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации в области квантовых вычислений и квантовой информации.

3.2 Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина изучается на основе ранее освоенных дисциплин учебного плана:

1. «Физика»
2. «Алгебраические структуры»
3. «Теория вероятностей и математическая статистика»
4. «Элементы функционального анализа»

и обеспечивает подготовку выпускной квалификационной работы.

3.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен достичь следующие результаты обучения по дисциплине:

Код компетенции/ индикатора компетенции	Наименование компетенции/индикатора компетенции
ПК-0	Способен разрабатывать информационные модели и применять их для решения задач профессиональной деятельности
<i>ПК-0.3</i>	<i>Применяет информационные модели для решения задач профессиональной деятельности</i>

4 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1 Содержание разделов дисциплины

4.1.1 Наименование тем и часы на все виды нагрузки

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Лек, ач	Пр, ач	ИКР, ач	СР, ач
1	Введение.	2	3		10
2	Кубиты и операции над единичными кубитами	2			9
3	Квантовые гейты	2	2		8
4	Квантовые алгоритмы	2	2		8
5	Алгоритмы, основанные на квантовом преобразовании Фурье	2	2		10
6	Квантовая криптография	2	3		10
7	Проблемы декогеренции	2	2		8
8	Заключение	2	2	1	12
	Итого, ач	16	16	1	75
	Из них ач на контроль	0	0	0	0
	Общая трудоемкость освоения, ач/зе	108/3			

4.1.2 Содержание

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
1	Введение.	Постулаты квантовой механики. Основы линейной алгебры. Возникновение понятия «квантовые вычисления». История развития направления.
2	Кубиты и операции над единичными кубитами	Кубиты. Сфера Блоха. Унитарные преобразования. Принцип квантовой суперпозиции. Запутанные кубиты. Парадокс Эйнштейна-Подольского-Розена. Матрицы Паули, элемент Адамара и операция контролируемого отрицания. Генерация пар Белла. Квантовая телепортация.
3	Квантовые гейты	Классические логические гейты. Обратимые гейты. Квантовые гейты. Квантовые схемы. Многокубитные вентили. Теорема о запрете клонирования. Преобразование Уолша-Адамара
4	Квантовые алгоритмы	Алгоритм Дойча-Йожи. Поисковый алгоритм Гровера. Геометрическая интерпретация алгоритма. Квантовый поиск в неструктурированной базе данных. Оптимальность алгоритма Гровера.

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
5	Алгоритмы, основанные на квантовом преобразовании Фурье	Алгоритм RSA как основа современных алгоритмов шифрования. Сложность задачи о факторизации больших чисел. Квантовое преобразование Фурье. Алгоритм Шора как пример квантового превосходства.
6	Квантовая криптография	Уязвимость RSA к алгоритму Шора как причина поиска иных алгоритмов шифрования. Проверка, прослушивается ли канал передачи квантовой информации. Описание алгоритма передачи данных. Почему он является оптимальным?
7	Проблемы декогеренции	Декогеренция и ее причины. Масштабы времени декогеренции. Методы преодоления декогеренции. Квантовая коррекция ошибок.
8	Заключение	Примеры физической реализации кубита. Обсуждение перспектив и проблем.

4.2 Перечень лабораторных работ

Лабораторные работы не предусмотрены.

4.3 Перечень практических занятий

Наименование практических занятий	Количество ауд. часов
1. Основы линейной алгебры	2
2. Основы квантовой механики	2
3. Решение задач на основные свойства квантовых логических вентелей	2
4. Поискные алгоритмы	2
5. Квантовое преобразование Фурье и его приложения	2
6. Квантовая криптография	2
7. Физическая реализация квантовых компьютеров	2
8. Квантовые коды, исправляющие ошибки	2
Итого	16

4.4 Курсовое проектирование

Курсовая работа (проект) не предусмотрены.

4.5 Реферат

Реферат не предусмотрен.

4.6 Индивидуальное домашнее задание

Индивидуальное домашнее задание не предусмотрено.

4.7 Доклад

Целью доклада является получение знаний о квантовых алгоритмах, не вошедших в данный курс. Задачей студентов является подробный разбор и описание любого известного квантового алгоритма на основании публикаций в журналах (т.е. необходимо найти статью, прочесть и пересказать на таком уровне, чтобы было понятно другим слушателям курса).

Примерные темы докладов:

1. Алгоритм вычисления дискретного логарифма.
2. Уравнение Пелля.
3. Квантовый алгоритм проверки коммутации матриц.
4. Квантовый алгоритм нахождения ранга матрицы.
5. Квантовый алгоритм проверки произведения матриц.

Требования:

Минимальное количество источников 2 (желательно, чтобы алгоритм упоминался более, чем в одной статье), максимальное 10.

Доклад осуществляется на практическом занятии в виде презентации, не менее 30 минут (количество слайдов не менее 5 и не более 20) + 15 минут на обсуждение и вопросы.

Копия презентации сдается преподавателю в электронном виде.

4.8 Кейс

Кейс не предусмотрен.

4.9 Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы

Изучение дисциплины сопровождается самостоятельной работой студентов с рекомендованными преподавателем литературными источниками и информационными ресурсами сети Интернет.

Планирование времени для изучения дисциплины осуществляется на весь период обучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Обучающимся, в рамках внеаудиторной самостоятельной работы, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников материал, законспектированный на лекциях. При этом на основе изучения рекомендованной литературы целесообразно составить конспект основных положений, терминов и определений, необходимых для освоения разделов учебной дисциплины.

Особое место уделяется консультированию, как одной из форм обучения и контроля самостоятельной работы. Консультирование предполагает особым образом организованное взаимодействие между преподавателем и студентами, при этом предполагается, что консультант либо знает готовое решение, которое он может предписать консультируемому, либо он владеет способами деятельности, которые указывают путь решения проблемы.

Текущая СРС	Примерная трудоемкость, ач
Работа с лекционным материалом, с учебной литературой	20
Опережающая самостоятельная работа (изучение нового материала до его изложения на занятиях)	5
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	0
Выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ	0
Подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям	10
Подготовка к контрольным работам, коллоквиумам	0
Выполнение расчетно-графических работ	0
Выполнение курсового проекта или курсовой работы	0

Текущая СРС	Примерная трудоемкость, ач
Поиск, изучение и презентация информации по заданной проблеме, анализ научных публикаций по заданной теме	35
Работа над междисциплинарным проектом	0
Анализ данных по заданной теме, выполнение расчетов, составление схем и моделей, на основе собранных данных	0
Подготовка к зачету, дифференцированному зачету, экзамену	5
ИТОГО СРС	75

5 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№ п/п	Название, библиографическое описание	К-во экз. в библ.
Основная литература		
1	Нильсен М. Квантовые вычисления и квантовая информация [Текст] / М. Нильсен, И. Чанг ; пер. с англ. под ред. М.Н. Вялого и П.М. Островского с предисл. К.А. Валиева, 2006. -822 с.	19
Дополнительная литература		
1	Душкин Р. В. Квантовые вычисления и функциональное программирование [Электронный ресурс], 2015. -232 с.	неогр.
2	Молотков, Николай Яковлевич. Основы общей физики : учеб. для вузов в обл. техники и технологии : [в 3 т.]. -(Тонкие наукоемкие технологии). Т.3 : Кристаллооптика. Квантовые явления. Атомная и ядерная физика, 2017. -323 с.	15

5.2 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», используемых при освоении дисциплины

№ п/п	Электронный адрес
1	Майкрософт и квантовые вычисления: https://azure.microsoft.com/ru-ru/solutions/quantum-computing/
2	Платформа для квантовых вычислений Qiskit: https://github.com/Qiskit
3	Лекции Джона Прескилла по квантовым вычислениям: http://theory.caltech.edu/~preskill/ph229/

5.3 Адрес сайта курса

Адрес сайта курса: <https://vec.etu.ru/moodle/course/view.php?id=13108>

6 Критерии оценивания и оценочные материалы

6.1 Критерии оценивания

Для дисциплины «Введение в квантовые вычисления» предусмотрены следующие формы промежуточной аттестации: зачет с оценкой.

Зачет с оценкой

Оценка	Описание
Неудовлетворительно	Курс не освоен. Студент испытывает серьезные трудности при ответе на ключевые вопросы дисциплины
Удовлетворительно	Студент в целом овладел курсом, но некоторые разделы освоены на уровне определений и формулировок теорем
Хорошо	Студент овладел курсом, но в отдельных вопросах испытывает затруднения. Умеет решать задачи
Отлично	Студент демонстрирует полное овладение курсом, способен применять полученные знания при решении конкретных задач

Особенности допуска

Допуск к дифференцированному зачету осуществляется по результатам текущего контроля:

- посещаемости занятий (не менее 80 % занятий);
- выполнение доклада на оценку не ниже ”удовлетворительно”.

Итоговая оценка выставляется как средняя за доклад и дифф. зачет.

Оценка за дифф. зачет формируется как полусумма оценок за коллоквиумы и оценки за зачетное мероприятие.

Каждому студенту на зачетном мероприятии будут выданы билеты, которые затрагивают следующие темы:

- физический смысл описываемых в курсе явлений;
- формулировки определений или утверждений из теоретических основ квантовых вычислений;
- описания, практического применения, параметров одного из алгоритмов квантовых вычислений;
- решения стандартной задачи, относящейся к квантовым вычислениям.

6.2 Оценочные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Вопросы к дифф.зачету

№ п/п	Описание
1	Предпосылки к квантовым вычислениям
2	Волновая функция
3	Чистые и смешанные состояния
4	Кубиты
5	Квантовые наблюдаемые
6	Квантовое измерение
7	Парадокс ЭПР
8	Квантовая запутанность
9	Теорема о запрете клонирования
10	Однокубитные элементы
11	Многокубитные элементы

12	Квантовая телепортация
13	Задача Дойча и алгоритм Дойча-Йожа
14	Алгоритм Гровера
15	Квантовое преобразование Фурье
16	Алгоритм Шора
17	Квантовые коды исправления ошибок
18	Алгоритм распределения ключей BB84
19	Моделирование квантово-механических систем
20	Унитарные операторы и их свойства
21	Тензорное произведение и его свойства

Форма билета

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический
 университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина)»

БИЛЕТ № 1

Дисциплина **Введение в квантовые вычисления**

1. В чем состоит физический смысл волновой функции в координатном представлении?
2. Сформулируйте теорему о запрете клонирования квантовых состояний.
3. Предположим, что в массиве все числа находятся в диапазоне $[0,12]$ и нам нужно найти максимальный элемент с точностью 0.8. Сколько итераций алгоритма оптимизации нам для этого понадобится? Сколько раз нам нужно будет использовать алгоритм Гровера? Продемонстрируйте шаги алгоритма в случае, если максимальным элементом является число $a_{10} = 3.14$.
4. Найдите собственные векторы, собственные числа и приведете к диагональному виду матрицы Паули.

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

С.Н. Поздняков

Весь комплект контрольно-измерительных материалов для проверки сформированности компетенции (индикатора компетенции) размещен в закрытой части по адресу, указанному в п. 5.3

6.3 График текущего контроля успеваемости

Неделя	Темы занятий	Вид контроля
1	Введение.	
2		
3		
4		Коллоквиум
5	Квантовые алгоритмы	
6		
7		
8		Коллоквиум
9	Квантовые алгоритмы	
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		Доклад / Презентация

6.4 Методика текущего контроля

на лекционных занятиях

Текущий контроль включает в себя контроль посещаемости (не менее **80** % занятий), по результатам которого студент получает допуск дифф.зачет.

на практических (семинарских) занятиях

Текущий контроль включает в себя контроль посещаемости (не менее **80** % занятий), по результатам которого студент получает допуск на зачет.

В ходе проведения семинарских и практических занятий целесообразно привлечение студентов к как можно более активному участию в дискуссиях, решении задач, обсуждениях и т. д. При этом активность студентов также может учитываться преподавателем, как один из способов текущего контроля на практических занятиях.

самостоятельной работы студентов

Контроль самостоятельной работы студентов осуществляется на практических и лекционных занятиях.

Коллоквиум

Коллоквиум проводится на практических занятиях на основе вопросов к дифф. зачету, изученных до коллоквиума.

Критерии оценивания:

”отлично” ответ дан без ошибок, обоснован теоретически и проиллюстрирован примерами;

”хорошо” ответ дан без ошибок, проиллюстрирован примерами, но обоснования не всегда полны;

”удовлетворительно” ответ дан без ошибок, проиллюстрирован примерами, но не все обоснования приведены корректно;

”неудовлетворительно” в ответе есть ошибки, либо студент не видит связи между приводимыми формулами и утверждениями, не понимает их смысла

Доклад

Доклад оценивается по следующим критериям:

отлично - тема доклада раскрыта полностью, на вопросы по существу даются ответы

хорошо - тема доклада раскрыта, однако некоторые вопросы остаются без ответа

удовлетворительно - тема доклада раскрыта не полностью, вопросы остаются без ответа

неудовлетворительно - тема доклада не раскрыта.

7 Описание информационных технологий и материально-технической базы

Тип занятий	Тип помещения	Требования к помещению	Требования к программному обеспечению
Лекция	Лекционная аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя. Компьютер или ноутбук, экран, проектор, меловая или маркерная доска.	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше
Практические занятия	Аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя. Компьютер или ноутбук, экран, проектор, меловая или маркерная доска.	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше
Самостоятельная работа	Помещение для самостоятельной работы	Оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше

8 Адаптация рабочей программы для лиц с ОВЗ

Адаптированная программа разрабатывается при наличии заявления со стороны обучающегося (родителей, законных представителей) и медицинских показаний (рекомендациями психолого-медико-педагогической комиссии). Для инвалидов адаптированная образовательная программа разрабатывается в соответствии с индивидуальной программой реабилитации.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Дата	Изменение	Дата и номер протокола заседания УМК	Автор	Начальник ОМОЛА