

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова
Филиал Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова
в городе Сарове

УТВЕРЖДАЮ

Директор филиала МГУ в городе Сарове

 /В.В. Воеводин/

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Квантовая информатика

Уровень высшего образования:

магистратура

Направление подготовки / специальность:

01.04.02 "Прикладная математика и информатика"

Направленность (профиль)/специализация ОПОП:

Суперкомпьютерные технологии математического моделирования и обработки данных

Форма обучения:

очная

Саров 2021

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 01.04.02 "Прикладная математика и информатика" программы магистратуры в редакции приказа МГУ от 30 декабря 2020 г. №1366

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

1. НАИМЕНОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Квантовая информатика

2. УРОВЕНЬ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

магистратура

3. НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ, НАПРАВЛЕННОСТЬ (ПРОФИЛЬ) ПОДГОТОВКИ

01.04.02 «Прикладная математика и информатика»

4. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина «Квантовая информатика» входит в вариативную часть общей профессиональной образовательной программы. Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с образовательными стандартами, самостоятельно устанавливаемыми МГУ имени М.В. Ломоносова для реализации программ магистратуры по направлениям «Прикладная математика и информатика» и «Фундаментальная информатика и информационные технологии»

5. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с образовательными стандартами, самостоятельно устанавливаемыми МГУ имени М.В. Ломоносова для последовательной реализации программ бакалавриата и программ магистратуры,

по направлению 01.04.02 «Прикладная математика и информатика»:

СПК-66: Способность составлять математическую модель для описания много-кубитных систем, описывающихся квантовой электродинамикой, на основе типовых гамильтонианов или их модификаций

В результате освоения дисциплины студент должен:

знать основные понятия квантовой электродинамики и их использование для моделирования сложных квантовых систем на компьютерах и суперкомпьютерах;

уметь решать задачи, возникающие в конечномерных моделях КЭД, применяя весь спектр вычислительных и средств и программных решений

владеть практическими приемами получения численных результатов, соответствующих экспериментальным данным, с помощью конечномерных моделей КЭД

6. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Объем дисциплины составляет 3 зачетные единицы, всего 96 часов.

32 часа составляет контактная работа с преподавателем, 74 часа составляет самостоятельная работа учащегося.

7. ВХОДНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Учащиеся должны владеть знаниями по программированию, математическому анализу, линейной алгебре, дифференциальным уравнениям и краевым задачам, численным методам в объеме, соответствующем основным образовательным программам бакалавриата по укрупненным группам направлений и специальностей 01.00.00 «Математика и механика», 02.00.00 «Компьютерные и информационные науки».

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Процесс изложения учебного материала сопровождается презентациями и демонстрацией решения задач в интерактивном режиме с использованием доски и мультимедийного проектора.

9. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

В курсе дается обзор основных понятий квантовой физики, вектора состояния, измерения, унитарной эволюции, уравнение Шредингера, матрица плотности, чистые и смешанные состояния тензорные произведения пространств, состояний и операторов, приводятся примеры решения простейших задач квантовой механики: потенциальная яма, гармонический осциллятор, динамика кубита. Дается понятие квантовых гейтов, квантового компьютера и квантового вычисления, квантового преобразования Фурье. Рассматриваются быстрые квантовые алгоритмы: Гровера, схема Абрамса-Ллойда, алгоритм Залки-Визнера. Описывается (без подробного доказательства) алгоритм Шора факторизации целых чисел. Дается понятие конечномерных моделей КЭД в приближении вращающейся волны и рассматриваются типовые задачи

на релаксацию систем из атомов и поля в резонаторе. Описываются также возможные приложения к конструкции запутывающих квантовых гейтов на фотонных состояниях.

The course provides an overview of the basic concepts of quantum physics, state vector, measurement, unitary evolution, Schrödinger equation, density matrix, pure and mixed states, tensor products of spaces, states and operators, provides examples of solutions to the simplest problems of quantum mechanics: potential well, harmonic oscillator, qubit dynamics. The concept of quantum gates, quantum computer and quantum computation, quantum Fourier transform is given. Fast quantum algorithms are considered: Grover, Abrams-Lloyd scheme, Shor algorithm. We describe (without detailed proof) the Shor algorithm for factorization of integers. Given the notion of finite-dimensional models of QED in the rotating wave approximation and discusses the typical problems of relaxation systems of atoms and field in the cavity. Possible applications to the construction of entangling quantum gates on photonic states are also described.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы					Самостоятельная работа учащегося, часы			
		из них					из них			
Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости: коллоквиумы, практические контрольные занятия и др.	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п..	Всего		
Тема 1. Основы квантовой механики. Кратко даются основные понятия квантовой механики.	9	2	2	-	-	-	4	5	-	5
Тема 2. Гейты и их реализация	7	1	1	-	-	-	2	5	-	5

<p>Описываются простейшие гейты, нужные для построения квантового компьютера: однокубитные, CNOT, Csign, Toffoli и их реализации на зарядовых состояниях электронов.</p>										
<p>Тема 3. Квантовые вычисления и квантовые вычисления с оракулом.</p> <p>Рассматриваются квантовые вычисления на чистых состояниях и квантовые оракулы. Разбирается различная запись квантовых вычислений, в частности, их представление в виде quantum gate array – на примере квантового преобразования Фурье</p>	11	3	3	-	-	-	6	5	-	5
<p>Тема 4. Открытые квантовые системы</p> <p>Рассказывается о концепции открытой квантовой системы и разбираются ее описания с помощью операторов Крауса и уравнения Линдблада.</p>	9	2	2	-	-	-	4	5	-	5

Рассматриваются частные случаи систем, которые можно трактовать как открытые. Описание дается в терминах матриц плотности смешанных состояний.										
<p>Тема 5. Конечномерные модели КЭД.</p> <p>QoS, главный поток, фоновые задачи, DispatchQueue. Обработка view в главном потоке. Рассматриваются конечномерные модели квантовой электродинамики: Джейнса-Каммингса, Тависа-Каммингса, Дика, джейнса-Каммингса-Хаббарда. Описываются методы расчетов с помощью этих моделей в приближении вращающейся волны.</p>	9	1	1	-	-	2	4	5	-	5
<p>Тема 6. Квантовая нелокальность</p> <p>Разбирается эксперимент Алана-Цайлингера с бифотонами, и нарушение неравенства Белла. Дается интерпретация данного феномена как квантовой</p>	7	1	1	-	-	-	2	5	-	5

нелокальности. Обсуждается соотношение с теорией относительности.										
Тема 7. Квантовые измерения Дается описание квантовой томографии, основанной на измерениях в специально выбранных базисах. Обсуждаются применения этого метода на примере малокубитной системы.	7	1	1	-	-	-	2	5	-	5
Тема 8. Дополнительные темы. Приложения квантовой информатики к организации защищенного доступа к данным и организации атак на RSA протокол с помощью алгоритма Шора	3	1	1	-	-	-	2	1	-	1
Тема 9. Решение контрольных заданий Решение контрольных заданий по темам.	10	-	6	-	-	-	6	2	-	2
Промежуточная аттестация – решение задач с применением персональ-	26	-	-	-	-	-	-	26	-	26

ных компьютеров										
Итого	96						32	64		

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ УЧАЩИХСЯ

Самостоятельная работа учащихся состоит в изучении лекционного материала, учебно-методической литературы, подготовки к коллоквиуму и промежуточной аттестации.

11. РЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Основная учебно-методическая литература

- 1) Р.Фейнман, Д.Лейтон, П.Сэндз, «Квантовая механика», М.Наука, 2006.
- 2) В.М.Акулин, «Динамика сложных квантовых систем», М.Наука, Физ-мат. Лит., 496 стр., 2009.
- 3) Дж. Прескилл, «Квантовые вычисления и квантовые коммуникации» (1,2,3 тома), М.:Бином, 2009. Электронный вариант: Jh. Preskill, Quantum computations and communications, Lecture Notes in Computer Science, 2001.
- 4) Д.А.Кронберг, Ю.И.Ожигов, А.Ю.Чернявский, «Квантовая информатика и квантовый компьютер», изд.-во Макс-Пресс, МГУ, М. 2011.
- 5) Х-П.Бройер, Ф.Петруччione, «Теория открытых квантовых систем», РХД, Москва-Ижевск, 2010.

б) Дополнительная учебно-методическая литература

- 7) Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц, «Квантовая механика. Нерелятивистская теория», М.Наука, Физ-мат. Лит. 1971.
- 8) Д.А.Кронберг, Ю.И.Ожигов, А.Ю.Чернявский, «Алгебраический аппарат квантовой информатики», изд.-во Макс-Пресс, МГУ, М. 2011.
- 9) Ю.И.Ожигов, «Квантовые вычисления», изд.-во Макс-Пресс, МГУ, 2003.
- 10) К.Коэн-Таннуджи, Б.Диу, Ф.Лалоз, «Квантовая механика.» тома 1,3. М., URSS, 2016. - 412 стр.

Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

- 1) <http://www.arxiv.org, quant-ph>
- 2) <http://sci.cs.msu.ru/>
- 3) <http://sqi.cs.msu.su/learning/materials>

Информационные технологии, используемые в процессе обучения

В процессе обучения используются пакеты прикладных программ Matematica -9,10.

Перечень лицензионного программного обеспечения, в том числе отечественного производства

При реализации дисциплины может быть использовано следующее программное обеспечение:

1. Программный продукт Red Hat Enterprise Linux Server for HPC Compute Node for Power, LE, Self-support 4 шт. №5540331
2. Программный продукт Red Hat Enterprise Linux Server for HPC Head Node for Power, LE, Standard 1 шт. №5540332
3. Операционная система SUSE Linux Enterprise Server 11 SP4 for x86_64 16 шт.
4. Операционная система Red Hat Enterprise Linux Server 5.0 for x86_64 14 шт.
5. Операционная система SUSE Linux Enterprise Server 10 SP3 for ppc64 7 шт.
6. Операционная система Ubuntu 18.04.
7. Программное обеспечение для виртуализации Oracle VM VirtualBox
8. Операционная система ALT Linux MATE Starterkit 9 лицензия GPL
9. Программный продукт JetBrains IntelliJ IDEA Community Edition Free Educational Licenses
10. Программный продукт JetBrains PyCharm Community Edition Free Educational Licenses
11. Программный продукт JetBrains CLion Community Edition Free Educational Licenses
12. Программный продукт UPPAAL (<http://www.uppaal.org/>) академическая лицензия
13. Программный продукт Java 8 (64-bit) Oracle Corporation
14. Программный продукт Java SE Development Kit 8(64-bit) Oracle Corporation
15. Программный продукт NetBeans IDE 8.2 NetBeans.org
16. Программный продукт Dev-C++ Bloodshed Software
17. Программный продукт CodeBlocks The Code::Blocks Team
18. Программный продукт Free Pascal 3.0.0 Free Pascal Team
19. Программный продукт Python 3.5.1 (64-bit) Python Software Foundation
20. Программный продукт R for Windows 3.2.2 R Core Team
21. Программный продукт Haskell Platform 7.10.3 Haskell.org
22. Операционная система Microsoft Windows 7 корпоративная академическая лицензия
23. Операционная система Microsoft Windows 10 Education академическая лицензия
24. Программный продукт Microsoft Project Professional 2013 академическая лицензия
25. Программный продукт Microsoft Visio Professional 2013 академическая лицензия
26. Программный продукт Microsoft Visual Studio Professional 2013 - RUS [Русский (Россия)] академическая лицензия

Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

1. <http://www.edu.ru> – портал Министерства образования и науки РФ
2. <http://www.ict.edu.ru> – система федеральных образовательных порталов «ИКТ в образовании»
3. <http://www.openet.ru> - Российский портал открытого образования
4. <http://www.mon.gov.ru> - Министерство образования и науки Российской Федерации

Материально-техническая база

Медиапроектор и экран для проведения лекций-презентаций.

12. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ

Русский

13. РАЗРАБОТЧИК ПРОГРАММЫ

Разработчик — профессор Ю.И.Ожигов

14. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Вопросы к зачету

- 1) Пространства состояний — классическое и квантовое. Дискретизация.
- 2) Собственные функции и собственные значения операторов координаты, импульса и энергии.
- 3) Решение уравнения Шредингера для одного и двух-кубитных эволюций. Общее решение задачи Коши для него. Описание решений на языке собственных функций Гамильтониана.
- 4) Решение уравнения Линдблада для одного и двух атомов в одномодовом поле резонатора.
- 5) Определение степени запутанности двух-кубитных состояний.
- 6) Сравнение смешанных состояний по степени запутанности. Вычисление квантовой энтропии. Вычисление результата частичного измерения матрицы плотности.
- 7) Быстрые квантовые алгоритмы.
- 8) Определение запутанности квантовых состояний, получаемых в квантовых вычислениях.

Вычислительные задачи на основе конечномерных моделей КЭД.

Учащиеся решают вычислительную задачу на основе модели Тависа-Каммингса или Джейнса-Каммингса-Хаббарда следующих типов.

- 4) Определить стабилизатор данного состояния при фотонной релаксации в полости.

- 5) Найти динамический стабилизатор при условии контакта оптической полости с фотонным одномодовым термостатом.
- 6) Выяснить характер оптической проводимости графа из полостей, соединенных оптическим волокном.
- 7) Найти собственные функции и спектр для трех-атомного состояния в резонаторе.
- 8) Выяснить вид темных состояний для 6 атомов в полости с вакуумным состоянием поля.
- 9) Исследовать на оптическую проводимость систему двух полостей с 4 атомами.