

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»

УТВЕРЖДЕНО
Проректор по учебной работе
А. А. Воронов
15 июня 2021 г.

ПРОГРАММА

по дисциплине: Квантовые вычисления

по направлению подготовки:

03.04.01 «Прикладная математика и физика»,
14.04.02 «Ядерная физика и технологии»

физтех-школа: для всех физтех-школ

кафедра: теоретической физики

курс: 1 (магистратура)

семестр: 1

Трудоемкость:

лекции – 30 часов

Экзамен – 1 семестр

практические (семинарские)

занятия – 30 часов

Курсовые и контрольные работы – 3

ВСЕГО АУДИТОРНЫХ ЧАСОВ – 60 Самостоятельная работа
– 45 часов

Программу и задание составил к.ф.-м.н., доц.

Л. Е. Федичкин

Программа принята на заседании

кафедры теоретической физики

28 мая 2021 года

Заведующий кафедрой

д.ф.-м.н., профессор

Ю. М. Белоусов

КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

I. Вычислительные ресурсы и пределы вычислительной мощности

Классы сложности вычислений. Универсальный набор. Физические ограничения. Классы сложности вычислений. Тезис Чёрча–Тьюринга. Эмпирический закон Мура. Демон Максвелла. Принцип Ландауэра. Обратимые логические операции. Преобразования контролируемое-НЕ (CNOT), Тоффли и Фредкина. Универсальный набор операций. Физические ограничения вычислительных возможностей.

II. Структура квантового компьютера

Квантовые биты (кубиты). Принцип суперпозиции состояний. Измерение. Гильбертовы пространства. Сфера Блоха.

III. Квантовый регистр

Матричный вид квантовых операций. Прямое и тензорное матричные произведения в квантовых вычислениях. Эрмитовы операторы. Унитарные операторы. Действия при добавлении вспомогательных кубитов-анцилл.

IV. Квантовые операции

Универсальный набор квантовых операций. Матрица плотности. Квантовые операции над одним кубитом. Многокубитовые операции. Редукция матрицы плотности при уменьшении вычислительного пространства. Квантовые операции над одним кубитом. Амплитудное и фазовое вращения. Оператор Адамара. Двухкубитовая операция CNOT. Оператор Уолша. Универсальный набор квантовых операций.

V. Квантовые схемы

Общее понятие квантовой схемы. Схема квантовой телепортации. Принципы построения квантовых схем. Квантовая схема квантовой телепортации неизвестного состояния кубита с помощью ЭПР-пары и классического канала связи.

VI. Квантовые алгоритмы

Структура квантового алгоритма. Квантовый алгоритм: инициализация, квантовая унитарная эволюция и измерение квантового регистра. Пример квантового алгоритма, превосходящего классический аналог. Алгоритм Дойча. Квантовый параллелизм.

VII. Квантовый бит на основе двойной квантовой точки

Структура полупроводникового зарядового кубита. Проведение основных операций. Гамильтониан полупроводникового зарядового кубита. Инициализация. Измерение. Проведение фазового вращения. Проведение амплитудного вращения. Выполнение двухкубитовой операции CNOT.

VIII. Пределы вычислительной мощности квантовых компьютеров

Класс сложности квантовых вычислений. Ограничения вычислительных возможностей. Класс сложности квантовых вычислений VQP и его соотношение с другими классами сложности. Открытые вопросы в теории сложности квантовых алгоритмов. Ограничения вычислительных возможностей квантовых компьютеров, вытекающие из квантомеханической природы вычислительных элементов.

IX. Предыстория квантовых вычислений

Квантовая логика. Основные этапы развития теории квантовых вычислений до появления эффективных квантовых алгоритмов. Квантовая логика Неймана. Развитие квантовой логики Гейзенбергом и Вайцзеккером. Сформулированная трудность прямого моделирования многочастичных систем (Шлютер, Манин). Квантовая машина Тьюринга (Дойч). Вклад Фейнмана.

X. Квантовый алгоритм поиска Гровера

Классическая задача поиска. Квантовый алгоритм поиска Гровера. Обобщение алгоритма Гровера. Динамика волновой функции квантового регистра при работе алгоритма. Реализация алгоритма Гровера посредством набора элементарных квантовых операций. Обобщение алгоритма Гровера для случая нескольких решений.

XI. Квантовые ошибки

Источники квантовых ошибок. Необходимость борьбы с декогерентностью. Мера декогерентности. Классический шум. Фазовые ошибки. Межкубитовое взаимодействие. Потеря когерентности квантового состояния. Понятие меры декогерентности.

ХII. Методы избегания квантовых ошибок

Способы борьбы с квантовыми ошибками. Переход в подпространства, свободные от декогерентности. Полиномиальный алгоритм подавления межкубитового взаимодействия.

ХIII. Процедуры коррекции квантовых ошибок

Структура алгоритмов коррекции ошибок. Цепные коды. Кодирование, обнаружение синдрома ошибки, процедура исправления выявленной ошибки.

Литература

1. *Нильсен М., Чанг И.* Квантовые вычисления и квантовая информация. – Москва : Мир, 2009.
2. *Кайе Ф., Лафламм Р., Моска М.* Введение в квантовые вычисления. – Ижевск : НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика 2009.
3. *Китаев А., Шень А., Вьялый М.* Классические и квантовые вычисления. – Москва : МЦНМО, ЧеРо, 1999.
4. *Халево А.С.* Квантовые системы, каналы, информация. – Москва : МЦНМО, 2010.
5. *Перри Р.* Элементарное введение в квантовые вычисления. – Долгопрудный : ИД «Интеллект», 2015.
6. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Квантовая механика. Нерелятивистская теория. – Москва : Наука, 2002.
7. *Белоусов Ю.М., Кузнецов В.П., Смилга В.П.* Катехизис : учеб. пособие. – Москва : МФТИ, 2005.
8. *Белоусов Ю.М., Кузнецов В.П., Смилга В.П.* Практическая математика. Руководство для начинающих изучать теоретическую физику. – Долгопрудный : ИД «Интеллект», 2009.

Срок сдачи задания: 06.12 – 13.12.2021 г.

Подписано в печать 15.06.2021. Формат 60×84 ¹/₁₆.

Усл. печ. л. 0,25. Уч.-изд. л. 0,2. Тираж 80 экз. Заказ № 104.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)»

Тел. (495) 408-58-22, e-mail: rio@mipt.ru

Отдел оперативной полиграфии «Физтех-полиграф»

141700, Моск. обл., г. Долгопрудный, Институтский пер., 9

Тел. (495) 408-84-30, e-mail: polygraph@mipt.ru