

Курс «Современные методы квантовых вычислений»

Автор: Яцулевич Владимир Владимирович

МФТИ, МИАН

Курс представляет из себя общий обзор алгоритмов, симуляторов и современных результатов в области квантовых вычислений. Основной упор курса будет сделан на практику и будет включать знакомство с основными программными пакетами в сфере квантовых вычислений. Для каждого из рассмотренных алгоритмов будет обсуждаться реализация на основе тех библиотек и языков программирования, которые также будут представлены.

I. КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

- ФИО: Яцулевич Владимир Владимирович
- Телефон: 8-937-965-23-63
- Почта: iatsulevich.vv@phystech.edu
- Ссылка на телеграм: @YatsulevichVV
- Ссылка на страницу ВК: https://vk.com/yatsulevich_vladimir

II. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЕКТА

Курс предназначен для студентов, интересующихся квантовыми вычислениями и их возможными приложениями в машинном обучении, искусственном интеллекте и биоинформатике. Рекомендован студентам 3-4 курса бакалавриата, 1-2 курса магистратуры. Рекомендуемые направления реализации курса:

- 03.04.01 Прикладные математика и физика
- 09.03.01 Информатика и вычислительная техника
- 01.03.02 Прикладная математика и информатика

III. АКТУАЛЬНОСТЬ

Большинство существующих курсов квантовых вычислений включают обзор результатов, полученных к концу 90-х годов XX века. На этих курсах обсуждаются такие базовые понятия, как кубит, квантовые схемы и простейшие алгоритмы. Однако, за последние 30 лет произошло бурное развитие теории квантовых вычислений, появилось множество новых алгоритмов, которые применимы в самых разных областях: химии, биологии, машинном обучении, и много больше. Данный курс предлагает восполнить данные пробелы и представить учащимся более широкий взгляд на тему квантовых вычислений.

На текущий момент в русскоязычном сегменте образования, подобных курсов практически нет. В то же время, существует широкий интерес в изучении теории квантовых вычислений, о чём говорит повышенный спрос на курс Федичкина Л.Е., проводимый в МФТИ в первом семестре 2023/2024 учебного года.

Помимо этого, сейчас в Российской Федерации существует программа по развитию квантовых вычислений и квантовых коммуникаций, разработаны несколько дорожных карт в области квантовых технологий. Подобный курс поможет подготовить специалистов в данном направлении и будет сопутствовать развитию данного направления. Помимо подготовки квалифицированных кадров данный курс может способствовать усилению суверенитета Российской Федерации.

Также мною было проведено интервью среди студентов технических специальностей. Из 20 опрошенных студентов 10 студентов хотели бы углубиться в изучении квантовых вычислений, 8 из них хотели бы детальнее рассмотреть программную и алгоритмическую сторону квантовых вычислений. Так что спрос на подобную тематику имеется среди студентов. Концепция данного курса была показана нескольким экспертам в области квантовых вычислений, некоторые из которых являются регулярными сотрудниками МФТИ.

Федичкин Л.Е., сотрудник кафедры теоретической физики МФТИ, преподаватель курса «Введение в квантовые вычисления» в МФТИ, отметил, что у студентов действительно имеется потребность на подобные курсы. Причём он также сказал, что он сам бы хотел реализовать подобного рода курс, но, к сожалению, нет на это возможности.

Яшин В.И., выпускник МФТИ, регулярный сотрудник МИАНа и РКЦ, преподаватель курса «Квантовые вычисления» в МИАНе, отметил, что тематика данного курса действительно является актуальной, подобных курсов в России, действительно, не так много. Им было сказано, что этот курс может быть успешен, как спецкурс или факультатив.

Симаков С.С., заведующий кафедрой вычислительной физики МФТИ, отметил, что концепция курса выглядит интересно. Также им было подтвержден факт заинтересованности студентами данной темой. Он предлагает рассматривать этот курс как факультативный. Помимо этого, одним из направлений развития может быть создание программы ДПО (дополнительного образования).

IV. ОСНОВНАЯ ЦЕЛЬ ПРОЕКТА

Главной целью проекта является обзор существующих современных квантовых алгоритмов и программных решений, применимых на практике, а также создание у студентов цельной картины о текущем состоянии исследований в области квантовых вычислений.

V. ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЕКТА

Структура курса

Блок 1. Введение.

Основы квантовых вычислений, кубит, квантовый регистр, квантовые схемы, изменение квантовых состояний, базовые алгоритмы. Существующие архитектуры кванто-

вых компьютеров. Моделирование квантовых систем на квантовом компьютере.

Блок 2. Современные квантовые алгоритмы.

Задачи оптимизации, QAOA, QUBU (квантовый отжиг), моделирование унитарной динамики, VQE (вариационный собственный решатель), ННЕ (решение систем линейных уравнений), QFT (квантовое преобразование Фурье), алгоритм Шора, QPE (оценка собственных чисел гамильтониана системы), квантовое машинное обучение и искусственный интеллект, приложения квантовых вычислений в биоинформатике и медицине.

Блок 3. Языки программирования для квантовых вычислений.

Обзор квантовых языков программирования QASM, Q#, обзор библиотек на Python для работы с квантовыми вычислениями Qiskit, Cirq, общий обзор существующих программных решений.

Блок 4. Классические симуляторы квантовых вычислений.

Классический симулятор квантового компьютера, симулятор адиабатических вычислений, симуляция стабилизаторных схем, симуляторы CSS, CHP, CQCL/Simplex, общий обзор существующих симуляторов.

Необходимый минимум

- Бакалаврский курс математики (математический анализ, линейная алгебра, теория вероятностей).
- Квантовая механика.
- Введение в квантовые вычисления.
- Программирование на C++, Python.
- Основы машинного обучения (рекомендуется, но не обязательно).

Объём курса

- Всего на обучение — 60 ч.
- Всего аудиторных занятий — 30 ч.
- Лекции — 15 ч.
- Лабораторные занятия — 0 ч.
- Практические занятия, семинары, упражн. и т.п. — 15 ч.
- Практики — 0 ч.
- Самостоятельная работа — 30 ч.
- Часов на подготовку и сдачу экзаменов — 30 ч.

VI. ПЛАНИРУЕМЫЙ РЕЗУЛЬТАТ

В результате прохождения курса студенты получат опыт и навыки реализации квантовых алгоритмов с использованием современных программных решений. Курс повысит интерес и осведомлённость студентов в области квантовых вычислений. Студенты получат более глубокое представление о текущем состоянии прогресса в области квантовых вычислений, что может непосредственно увеличить количество и качество исследований, а соответственно и публикационной активности в этой области.

VII. ПЛАН РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА, ЕГО ЭТАПЫ И ИХ СРОКИ

№ п/п	Этап	Краткое описание этапа	Сроки выполнения
1.	Разработка теоретических учебных материалов	На этом этапе предполагается разработать лекционные материалы	01.06.2024–31.08.2024
2.	Разработка практических учебных материалов	На этом этапе предполагается разработать программные решения, необходимые для курса, а также подготовить материал к домашним заданиям	01.09.2024–30.11.2024
3.	Компоновка курса	На этом этапе предполагается собрать из лекционного и практического материала полноценный учебный курс	01.12.2024–31.12.2024
4.	Продвижение курса	На этом этапе предполагается проводить рекламу курса с использованием медиаресурсов МФТИ	01.01.2025–31.01.2025
5.	Начало курса	На этом этапе начинается чтение курса	с 01.02.2025

VIII. ДОЛГОСРОЧНОЕ РАЗВИТИЕ ПРОЕКТА

Курс имеет потенциал стать регулярным и проводиться ежегодно. С учётом того, что квантовые вычисления активно развиваются, то курс будет дополняться новыми результатами исследований и программными решениями.

IX. МЕДИА

Для продвижения курса планируется использовать медиаресурсы МФТИ, такие как группы ВК или Телеграм-каналы.

Х. ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ МФТИ, ЧЕРЕЗ КОТОРЫЕ БУДЕТ ПРОХОДИТЬ ФИНАНСИРОВАНИЕ ПРОЕКТА

В настоящее время имеется договорённость с двумя подразделениями.

1. **ФПМИ.** Концепция проекта была представлена на совещании дирекции ФПМИ. Юлия Синицина в текстовом сообщении указала, что ФПМИ готовы подписать соглашение.
2. **Кафедра вычислительной физики.** Данный курс будет заявлен как факультативный, начиная с 2024/2025 учебного года.

ХІ. МЕТРИКИ УСПЕХА ПРОЕКТА

Важнейшим критерием успеха курса является заинтересованность среди студентов, что, в частности, проявляется в заметном числе слушателей. Поскольку курс направлен на продвинутую аудиторию, результат в 25 постоянных слушателей будет свидетельствовать о явном успехе. В то же время, по-настоящему значимым результатом проведения курса могут являться привлечение новых исследователей и специалистов в область квантовых технологий. Помимо этого, ещё одной мерой успеха можно считать используемость курса слушателями в дальнейшей практике.
