БУ ВО

«СУРГУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Ханты-Мансийского автономного округа – Югры»

Кафедра автоматизированных систем обработки информации и управления (АСОИУ)

РЕФЕРАТ

Дисциплина: «Вычислительные системы»

Тема: «Квантовые компьютеры»

студент 2 курса 606-71м группы Бажаев Арман Бейсембаевич\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Проверил: старший преподаватель

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Кривицкая М.А.

Сургут, 2018СОДЕРЖАНИЕ

[ВВЕДЕНИЕ 3](#_Toc533364207)

[1. ИСТОРИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ КВАНТОВЫХ КОМПЬЮТЕРОВ 4](#_Toc533364208)

[2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ 6](#_Toc533364209)

[3. ПРИНЦИП РАБОТЫ КВАНТОВОГО КОМПЬЮТЕРА 7](#_Toc533364210)

[4. ФИЗИЧЕСКИЕ РЕАЛИЗАЦИИ КВАНТОВЫХ КОМПЬЮТЕРОВ 10](#_Toc533364211)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 13](#_Toc533364212)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 14](#_Toc533364213)

# ВВЕДЕНИЕ

Квантовый компьютер — это вычислительное устройство, которое использует явления квантовой механики для передачи и обработки данных. Идея квантовых вычислений была независимо предложена Юрием Маниным и Ричардом Фейнманом в начале 80-х годов прошлого века. С тех пор была проделана колоссальная работа по созданию квантового компьютера. Однако полноценный универсальный квантовый компьютер все еще является гипотетическим устройством, возможность разработки которого связана с серьёзным развитием квантовой теории. К настоящему моменту были созданы единичные экспериментальные системы с алгоритмом небольшой сложности.

# 1. ИСТОРИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ КВАНТОВЫХ КОМПЬЮТЕРОВ

14 декабря 1900 г. - открытие квантовых свойств теплового излучения (М. Планк). В физике появилось понятие кванта энергии и была создана постоянная Планка h = 1,38062\*10-23Дж/К. Открытие Планка, фотоэлектрического эффекта А. Эйнштейна и создания в 1913 году Н.Бором первой квантовой теории атомных спектров стимулировали создание и бурное дальнейшее развитие квантовой теории и экспериментальных исследований квантовых явлений.

Уже в 1925 году В. Гейзенберг предложил матричный вариант квантовой механики, в 1926 году Э. Шредингер сформулировал волновое уравнение для описания движения электрона во внешнем поле.

В 1958 году, моделируя на компьютере квантовые процессы, Ричард Фейнман понял, что для решения многочастичных квантовых задач объем памяти классического компьютера недостаточен. Уже при решении задачи с 1000 электронными спинами в памяти должно быть достаточно ячеек, чтобы хранить 2 в степени 1000 переменных. А гигабайт — это всего лишь 2 в степени 30.

В 1980 году Ю. Манин обратил внимание на способность изолированной квантовой системы из L двухуровневых квантовых элементов находиться в когерентной суперпозиции из булевых состояний, характеризующейся комплексными числами и увеличенной до размерностью соответствующего гильбертова пространства. Для описания такого квантового состояния в классическом вычислительном устройстве потребовалось бы задать комплексных чисел, то есть понадобились бы экспоненциально большие вычислительные ресурсы. Отсюда был сделан обратный вывод о том, что эффективное численное моделирование квантовых систем, содержащих до сотни двухуровневых элементов, практически недоступно классическим компьютерам, но может эффективно осуществляться путем выполнения логических операций на квантовых системах, которые действуют на суперпозиции многих квантовых состояний.



Квантовый алгоритм факторизации, предложенный Питером Шором в 1994 г., позволяющий производить разложение n-значного числа на простые множители за время полиномиально зависящее от n, то есть с экспоненциальным ускорением по сравнению с самыми мощными классическими алгоритмами, стал одним из основных побуждений для интенсивного развития квантовых методов вычислений и изобретения алгоритмов. Считается, что алгоритм Шора уже сейчас позволит найти применение квантовым компьютерам весьма скромных размеров (десятки кубитов) для целей квантовой криптографии, квантовой коммуникации.

# 2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Состояния квантовой системы и их преобразования - набор векторов и матриц, обозначаемые символами Дирака. Векторы вида - вектор-столбцы и обычно используют для описания квантовых состояний. Ортонормированный базис - . Любую комплексную линейную комбинацию и можно записать, как .



Квантовый бит (q-бит) — это вектор единичной длины в 2-мерном комплексном векторном пространстве, в котором зафиксирован некоторый базис . Когда речь идёт о кубитах и квантовых вычислениях вообще, базис , для которого проводятся все рассуждения, выбирается заранее.



В квантовых вычислениях базисные состояния обозначаются и , чтобы соответствовать значениям классического бита 0 и 1.В отличие от классического бита, кубиты могут находиться в суперпозиции и , например, , где и — комплексные числа, такие что .



Квантовый бит может находиться в бесчисленном множестве суперпозиций состояний, путём измерения из него можно извлечь только один бит классической информации. Измерение кубита заменяет его состояние на базисное. Так как каждое измерение приводит только к одному из двух состояний, т. е. к одному из базисных векторов измерительного устройства, то, как и в классической теории, есть только два возможных исхода. Измерение меняет состояние, поэтому очевидно, что состояние не может быть измерено по двум различным базисам. Более того, квантовые состояния нельзя клонировать, т.е. кубит невозможно измерить двумя способами даже косвенно, например, скопировав кубит и измеряя его копию по базисам, отличным от первоначального.

# 3. ПРИНЦИП РАБОТЫ КВАНТОВОГО КОМПЬЮТЕРА

Схема работы квантового компьютера представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схематическая структура квантового компьютера

Основная часть - квантовый регистр (совокупность некоторого числа L кубитов). Каждый кубит подвергается воздействию, например, с помощью импульсов внешнего электромагнитного поля, управляемых классическим компьютером, которое переведет основные базисные состояния определенных кубитов в неосновное состояния . При этом состояние всего регистра перейдет в суперпозицию базисных состояний вида , где , задающую бинарное представление числа .



При вводе информации в квантовый компьютер состояние входного регистра, с помощью соответствующих импульсных воздействий преобразуется в соответствующую когерентную суперпозицию базисных ортогональных состояний . В таком виде информация далее подвергается воздействию квантового процессора, выполняющего последовательность квантовых логических операций, определяемую унитарным преобразованием , действующим на состояние всего регистра. К некоторому моменту времени t в результате преобразований исходное квантовое состояние становится новой суперпозицией вида , которая и определяет результат преобразования информации на выходе компьютера.



Совокупность всех возможных операций на входе данного компьютера, формирующих исходные состояния, а также осуществляющих унитарные локальные преобразования, соответствующие алгоритму вычисления, способы подавления потери когерентности - так называемой декогерентизации (decoherence) квантовых состояний и исправления случайных ошибок, играют здесь ту же роль, что и "программное обеспечение" (software) в классическом компьютере.

Теперь обратимся к аппаратной части квантового компьютера. При выборе конкретной схемы любого квантового компьютера необходимо решить три вопроса: во-первых, выбрать физическую систему, представляющую требуемую систему кубитов, во-вторых, определить физический механизм, определяющий взаимодействие между кубитами, необходимое для выполнения двухкубитовых операций, в-третьих, определить способы селективного управления кубитами и измерения их состояния на выходе. Все это вместе взятое аналогично "аппаратному обеспечению" (hardware) классического компьютера.

Считается, что для реализации полномасштабного квантового компьютера, превосходящего по производительности любой классический компьютер, на каких бы физических принципах он не работал, следует обеспечить выполнение следующих пяти основных требований: 1)физическая система, представляющая полномасштабный квантовый компьютер, должна содержать достаточно большое число хорошо различаемых кубитов для выполнения соответствующих квантовых операций;2) условия для приготовления входного регистра в исходном основном базисном состоянии , то есть возможность процесса инициализации; 3) подавление эффектов декогерентизации квантовых состояний, обусловленное взаимодействием системы кубитов с окружающей средой, что приводит к разрушению суперпозиций квантовых состояний и может сделать невозможной выполнение квантовых алгоритмов. Время декогерентизации должно по крайней мере в раз превышать время выполнения основных квантовых операций (времени такта). Для этого система кубитов должна быть достаточно слабо связана с окружением.



# 4. ФИЗИЧЕСКИЕ РЕАЛИЗАЦИИ КВАНТОВЫХ КОМПЬЮТЕРОВ

Построение квантового компьютера в виде реального физического прибора является фундаментальной задачей физики XXI века. По состоянию на начало 2018 года построены только ограниченные варианты квантового компьютера (самые большие сконструированные квантовые регистры имеют несколько десятков связанных кубит).

Главные технологии для квантового компьютера:

1. твердотельные квантовые точки на полупроводниках: в качестве логических кубитов используются либо зарядовые состояния (нахождение или отсутствие электрона в определённой точке) либо направление электронного и/или ядерного спина в данной квантовой точке. Управление через внешние потенциалы или лазерным импульсом.

2. сверхпроводящие элементы (джозефсоновские переходы, СКВИДы и др.). В качестве логических кубитов используются присутствие/отсутствие куперовской парыв определённой пространственной области. Управление: внешний потенциал/магнитный поток.

3. ионы в вакуумных ловушках Пауля (или атомы в оптических ловушках). В качестве логических кубитов используются основное/возбуждённое состояния внешнего электрона в ионе. Управление: классические лазерные импульсы вдоль оси ловушки или направленные на индивидуальные ионы + колебательные моды ионного ансамбля. Эту схему предложили в 1994 году Петер Цоллер и Хуан Игнасио Сирак.

4. смешанные технологии: использование заранее приготовленных запутанных состояний фотонов для управления атомными ансамблями или как элементы управления классическими вычислительными сетями.

На рубеже XX—XXI веков во многих научных лабораториях были созданы однокубитные квантовые процессоры (по существу, управляемые двухуровневые системы, о которых можно было предполагать возможность масштабирования на много кубитов).

В конце 2001 года IBM заявила об успешном тестировании 7-кубитного квантового компьютера, реализованного с помощью ЯМР. На нём был исполнен алгоритм Шора и были найдены сомножители числа 15[30].

В 2005 году группой Ю. Пашкина (кандидат физ.-мат. наук, старший научный сотрудник лаборатории сверхпроводимости г. Москвы) при помощи японских специалистов был построен двухкубитный квантовый процессор на сверхпроводящих элементах.

В ноябре 2009 года физикам из Национального института стандартов и технологий в США впервые удалось собрать программируемый квантовый компьютер, состоящий из двух кубит.

В феврале 2012 года компания IBM сообщила о достижении значительного прогресса в физической реализации квантовых вычислений с использованием сверхпроводящих кубитов, которые, по мнению компании, позволят начать работы по созданию квантового компьютера[33].

В апреле 2012 года группе исследователей из Южно-Калифорнийского университета, Технологического университета Дельфта, университета штата Айова, и Калифорнийского университета, Санта-Барбара, удалось построить двухкубитный квантовый компьютер на кристалле алмаза с примесями. Компьютер функционирует при комнатной температуре и теоретически является масштабируемым. В качестве двух логических кубитов использовались направления спина электрона и ядра азотасоответственно. Для обеспечения защиты от влияния декогерентности была разработана целая система, которая формировала импульс микроволнового излучения определённой длительности и формы. При помощи этого компьютера реализован алгоритм Гровера для четырёх вариантов перебора, что позволило получить правильный ответ с первой попытки в 95 % случаев.

В июле 2017 года группа физиков под руководством Михаила Лукина, сооснователя Российского квантового центра и профессора Гарвардского университета, создала программируемый 51-кубитный квантовый симулятор. Это самая сложная подобная система из существующих на тот момент. Авторы проверили работоспособность симулятора моделированием сложной системы из множества частиц — это позволило физикам предсказать некоторые ранее неизвестные эффекты. Примерно в это же время другая группа ученых из университета Мэриленд под руководством Кристофера Монро создала 53-кубитный симулятор основанный на ионах в оптической ловушке. Однако обе эти системы не являются универсальным компьютером, а созданы для решения одной задачи.

В ноябре 2017 года учёные IBM успешно построили и испытали прототип процессора с 50 квантовыми разрядами.

В январе 2018 года исполнительный директор компании Intel Брайан Кржанич сообщил о создании сверхпроводящего квантового чипа под кодовым именем «Tangle Lake», обладающего 49 кубитами. По его прогнозу, квантовые компьютеры помогут в создании лекарств, финансовом моделировании и составлении прогнозов погоды. Intel ведёт разработки квантовых компьютеров по двум направлениям: создание устройств на сверхпроводниках и кремниевых чипов со «спиновыми кубитами».

В марте 2018 года компания Google объявила, что ей удалось построить 72-кубитный квантовый процессор Bristlecone, имеющий низкий процент ошибок в вычислениях. Компания не раскрыла подробных характеристик устройства, однако утверждает, что оно позволяет достичь «квантового превосходства». Согласно специалистам Google, для того чтобы квантовый компьютер мог решать задачи, недоступные для «обычных» компьютеров, требуется соблюдение следующих условий: в его состав должно входить не менее 49 кубитов, «глубина» (circuit depth) должна превышать 40 кубитов, а вероятность ошибки в двухкубитном логическом элементе должна быть не выше 0,5 %. Для построенного компьютера эти требования выполняются, за исключением доли ошибок (она составляет 0,6 %).

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Квантовые вычисления — одно из перспективных направлений, которые позволят решать глобальные задачи. Квантовая запутанность и фазовые компенсации открывают принципиально новые вычислительные возможности. Программирование больше не состоит из простого пошагового составления алгоритма, а требует новых приёмов, например, фазовых преобразований, смешивания и распределения амплитуд для получения полезных выходных данных.

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Квантовый компьютер [Электронный ресурс] [2018] Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Квантовый\_компьютер

2. Ожигов Ю. И. Квантовые вычисления. — М.: Макс Пресс, 2003. — 152 с.

3. Квантовые компьютеры [Электронный ресурс] [2018] Режим доступа: https://habr.com/company/ua-hosting/blog/377533/