

Квантовые компьютеры

часть 2

Физическая реализация

И.И. Клебанов

**доцент, старший научный сотрудник кафедры СП,
канд. физ.-мат.наук, доцент**

Квантовый компьютер —

вычислительное устройство, которое использует явления квантовой механики (квантовая суперпозиция, квантовая запутанность) для передачи и обработки данных. Квантовый компьютер (в отличие от обычного) оперирует не битами (способными принимать значение либо 0, либо 1), а кубитами, имеющими значения одновременно и 0, и 1. В результате можно обрабатывать все возможные состояния одновременно, достигая гигантского превосходства над обычными компьютерами в ряде алгоритмов.

Полноценный универсальный квантовый компьютер является пока гипотетическим устройством, сама возможность построения которого связана с серьёзным развитием квантовой теории в области многих частиц и сложных экспериментов; разработки в данной области связаны с новейшими открытиями и достижениями современной физики. На середину 2010-х были практически реализованы лишь единичные экспериментальные системы, исполняющие фиксированный алгоритм небольшой сложности.

Кубит

Кубит: квантовый бит

- Состояние квантового бита в 2-мерном комплексном гильбертовом пространстве описывается единичным вектором (в обозначениях Дирака)

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$$

где α и β — комплексные коэффициенты, называемые **амплитудами** базисных состояний $|0\rangle$ и $|1\rangle$ и

$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$$

- В привычных алгебраических обозначениях

$$\begin{pmatrix} \psi_0 \\ \psi_1 \end{pmatrix} = \alpha \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} + \beta \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Основные направления

1. Квантовые процессоры
2. Квантовая память
3. Квантовые шины

Требования к квантовому процессору

1. Большое число кубитов (больше 100)
2. Возможность создания входного регистра в чистом состоянии
3. Большое «время жизни» кубитов
4. Физическая реализация унитарных преобразований

Bulk-ensemble quantum computer

- «Железо»-пробирка с органической жидкостью
- Кубит-ядро атома со спином $\frac{1}{2}$
- Техника управления кубитами- ядерный магнитный резонанс (ЯМР)
- Реализован алгоритм Шора ($15=3*5$) на 7 кубитах
- Недостаток- экспоненциальное убывание сигнала с ростом числа кубитов

Ионы в ловушках

- Кубит- уровни энергии ионов
- Управление кубитами-
лазер инфракрасного диапазона

Недостатки

- необходимость создания сверхнизких температур
- число кубитов меньше 40

Другие способы реализации квантового процессора

1. Двумерный электронный кристалл в потенциальной ловушке (яме) вблизи поверхности жидкого гелия.
2. Двумерная решетка атомов в оптической ловушке, образованной стоячей волной интерферирующих лазерных пучков.

Другие способы реализации квантового процессора

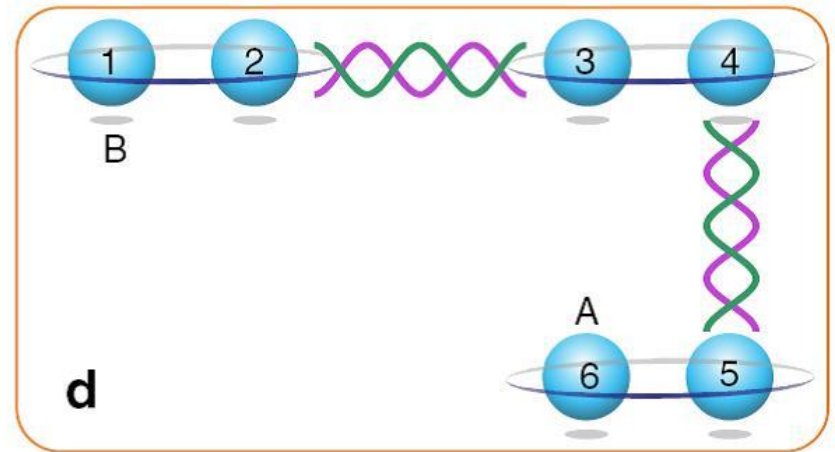
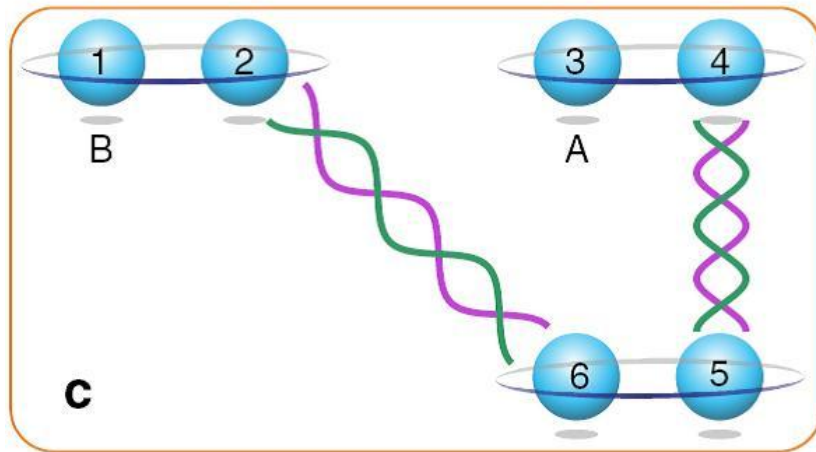
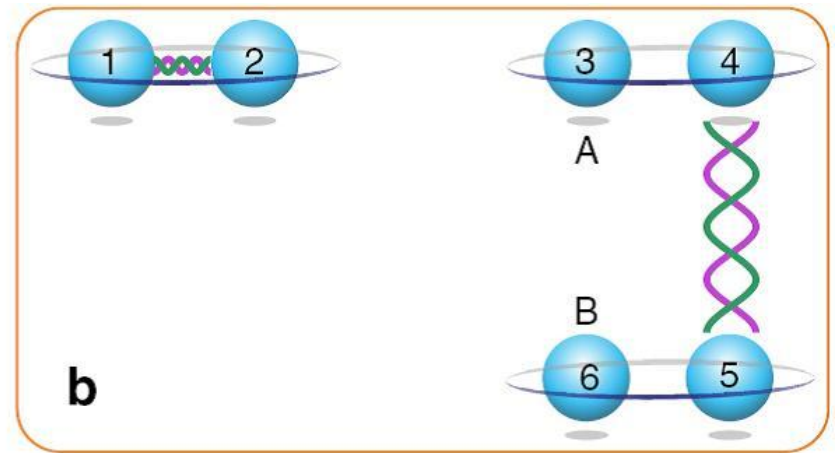
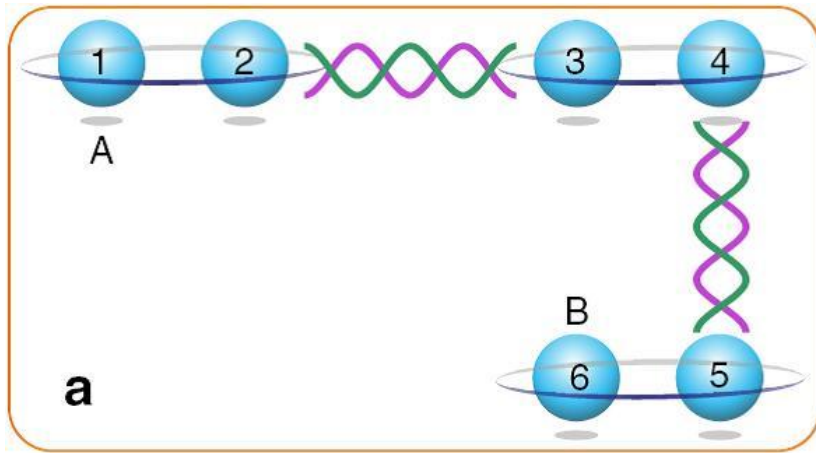
3. Анионы в двумерном электронном газе в полупроводниках в условиях дробного квантового эффекта Холла.

4. Квантовые клеточные автоматы в ферромагнитных (антиферромагнитных) структурах в кристаллах.

«Экзотические идеи»

1. Темпоральные кристаллы Вильчека
2. Фермионы Майораны
3. Синтез 1 и 2-топологический квантовый компьютер

«Экзотические идеи»



Квантовая память

1. Стеклоянная ячейка с парами спин-поляризованных атомов цезия при комнатной температуре
2. «Остановка» света в веществе

Квантовая шина

1. «Летающие» кубиты
2. «Запутанные» фотонные пары
(получены при помощи
полупроводниковых светодиодов)

Экспериментальные образцы КВАНТОВЫХ КОМПЬЮТЕРОВ

- 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.
- 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.

Экспериментальные образцы КВАНТОВЫХ КОМПЬЮТЕРОВ

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.

Экспериментальные образцы КВАНТОВЫХ КОМПЬЮТЕРОВ

В апреле 2012 года группе исследователей из Южно-Калифорнийского университета Дельфа, университета штата Айова, и Калифорнийского университета, Санта-Барбара удалось построить двухкубитный квантовый компьютер на кристалле алмаза с примесями. При помощи этого компьютера реализован алгоритм Гровера для четырёх вариантов перебора, что позволило получить правильный ответ с первой попытки в 95% случаев.

Экспериментальные образцы КВАНТОВЫХ КОМПЬЮТЕРОВ

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.

Экспериментальные образцы КВАНТОВЫХ КОМПЬЮТЕРОВ

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»

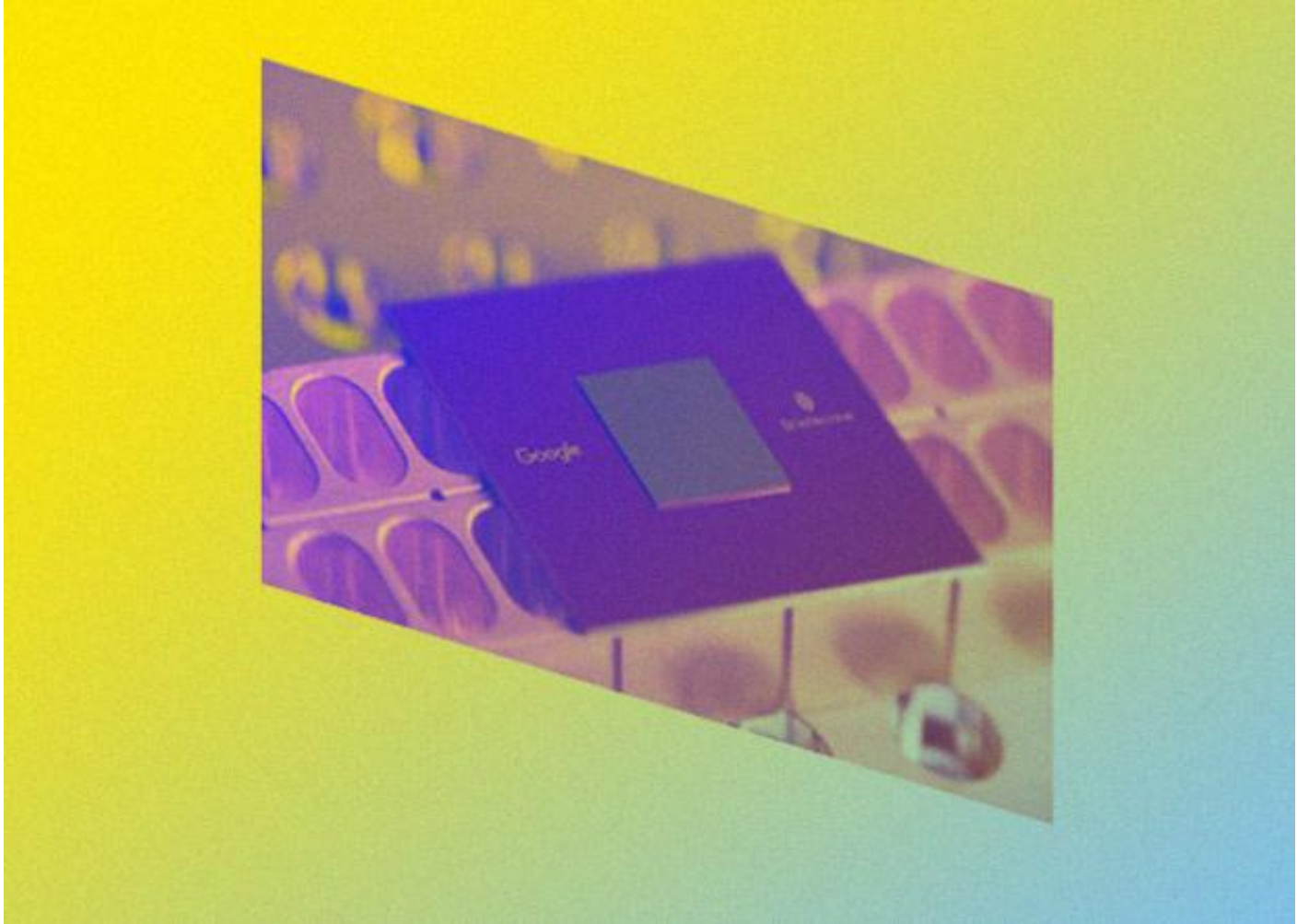
Экспериментальные образцы КВАНТОВЫХ КОМПЬЮТЕРОВ

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».

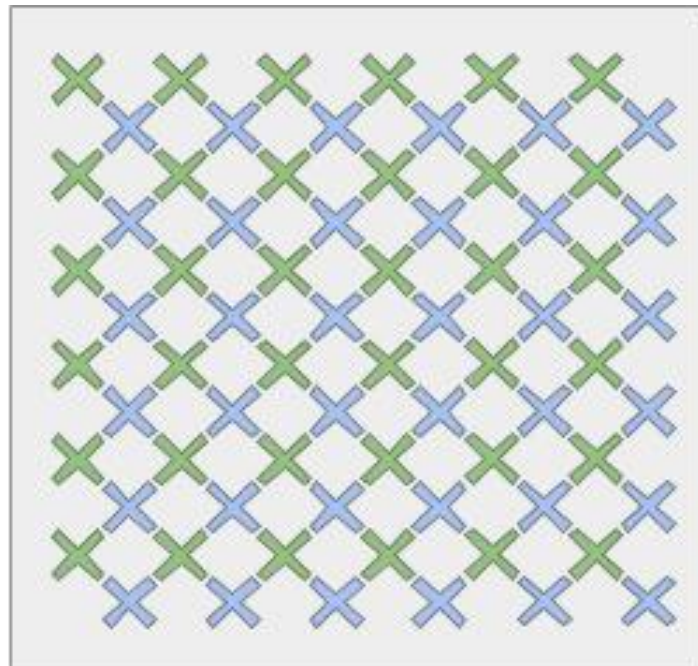
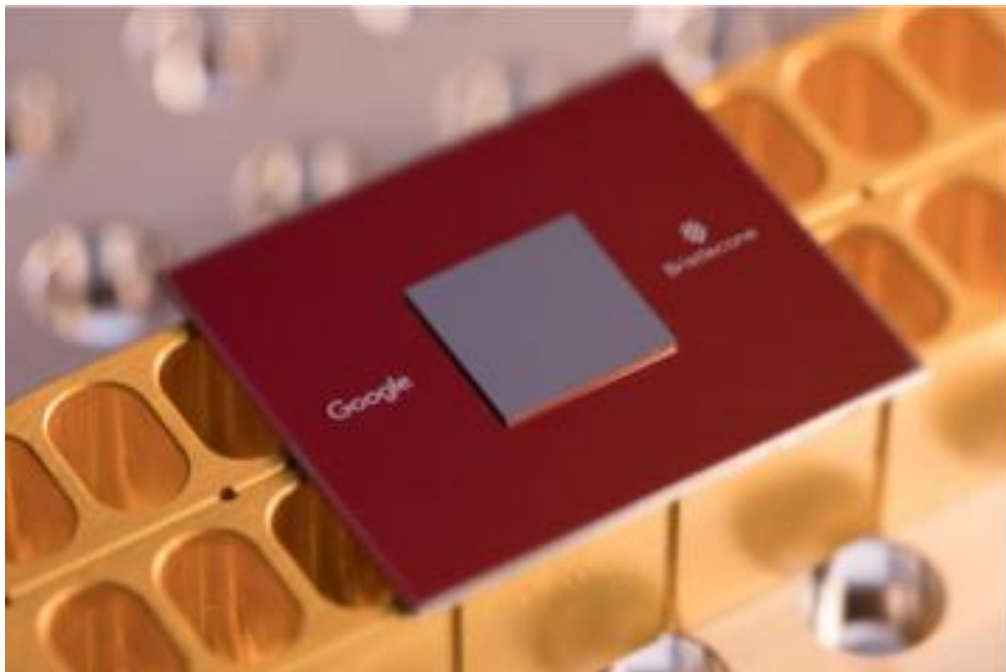
Экспериментальные образцы КВАНТОВЫХ КОМПЬЮТЕРОВ

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».

Google



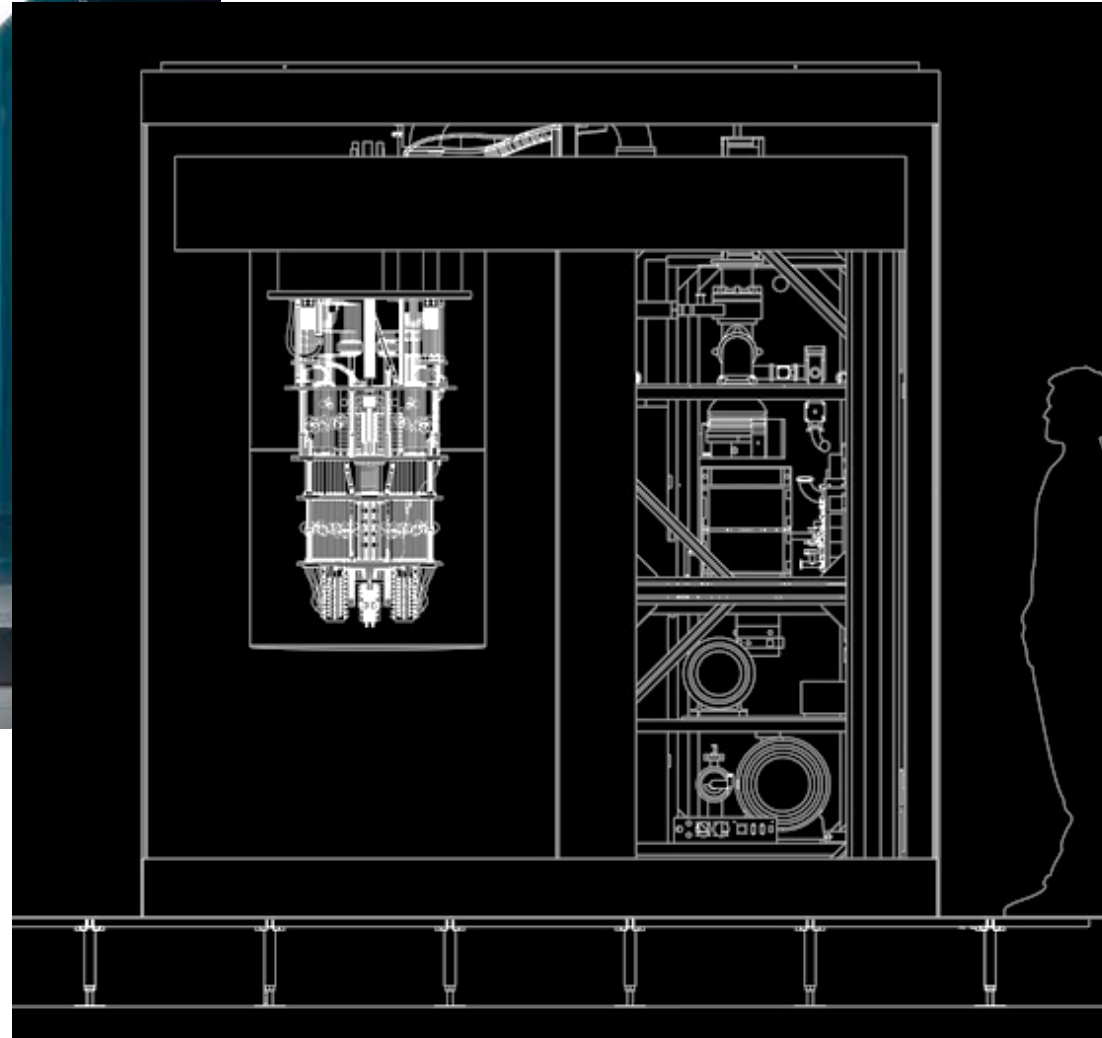
Google



IBM

IBM

IBM
System One



IBM



IBM



Благодарю за внимание