

“Those who are not shocked when they first come across quantum theory cannot possibly have understood it.”

Niels Bohr, Quantum Physicist and 1922 Nobel Prize Winner

“Any sufficiently advanced technology is indistinguishable from magic.”

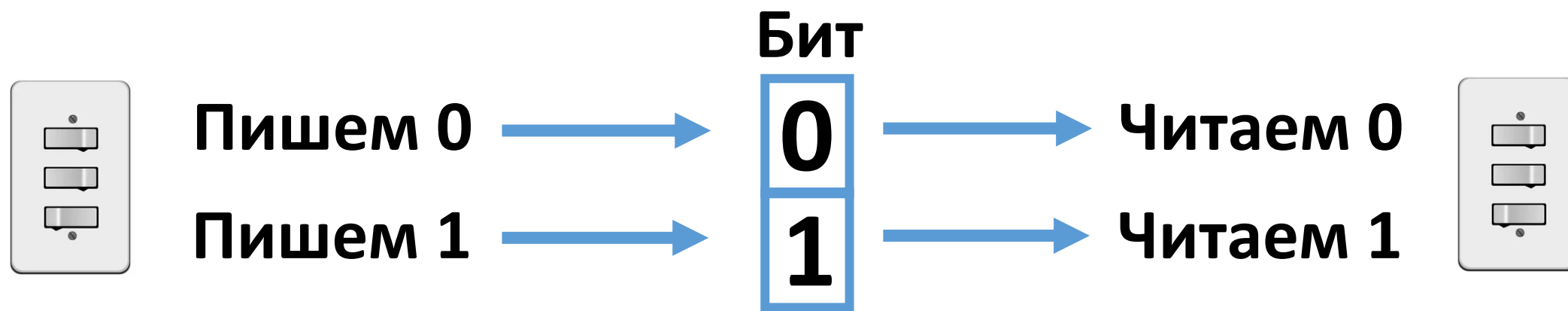
Arthur C. Clarke, sci-fi author

Те, кто не был шокирован, когда впервые столкнулся с квантовой теорией, вероятно не смогут её понять.

“Любая достаточно продвинутая технология неотличима от магии”

Традиционные вычисления

Обычные компьютеры являются двоичными



Число 17

1 0 0 0 1

Группа битов

0 1 0 1 1

Буква 'А'

1 0 0 0 0 0 1

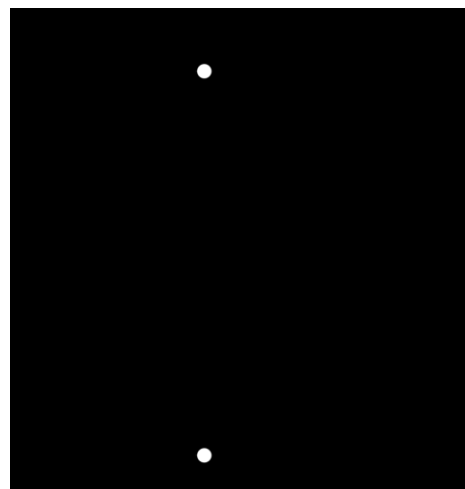
Квантовые вычисления

Квантовые компьютеры работают с кубитами

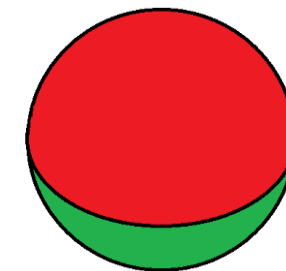
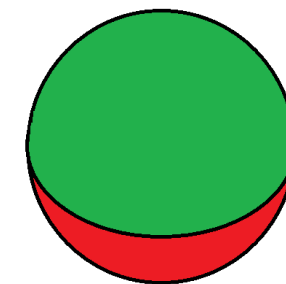
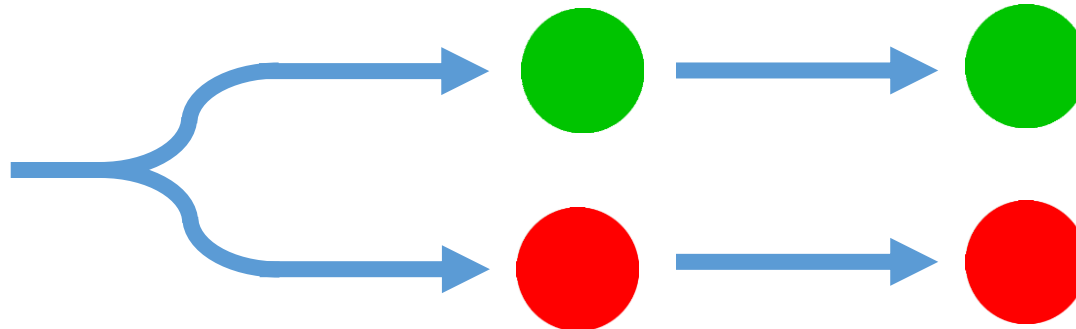
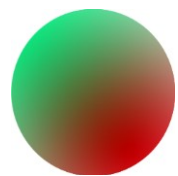
Кубит

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

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



Читаем



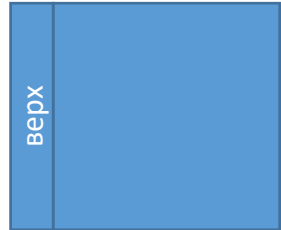
Суперпозиция

Суперпозиция на макроуровне

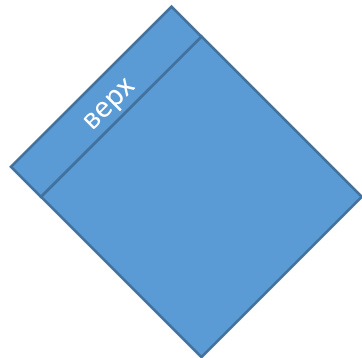
Вертикальный



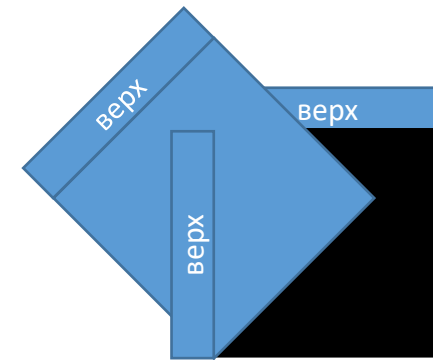
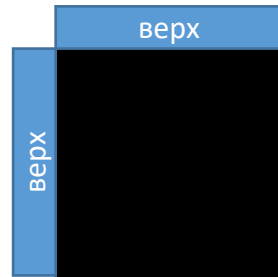
Горизонтальный



Диагональный



Поляризационные фильтры



Квантовая система два кубита

Произвольное состояние

$$|\psi\rangle = p|00\rangle + r|01\rangle + s|10\rangle + t|11\rangle$$

$$|\psi\rangle = p \begin{array}{c} \bullet \\ \bullet \end{array} + r \begin{array}{c} \bullet \\ \bullet \end{array} + s \begin{array}{c} \bullet \\ \bullet \end{array} + t \begin{array}{c} \bullet \\ \bullet \end{array}$$

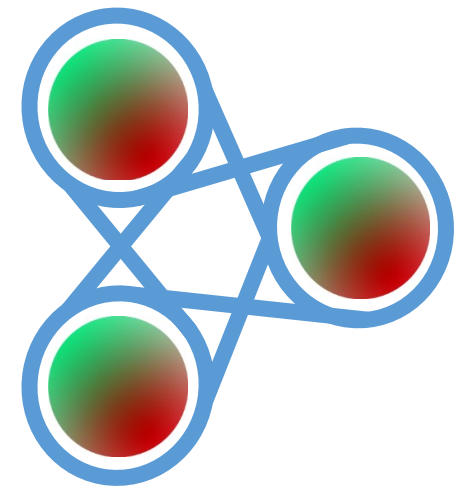
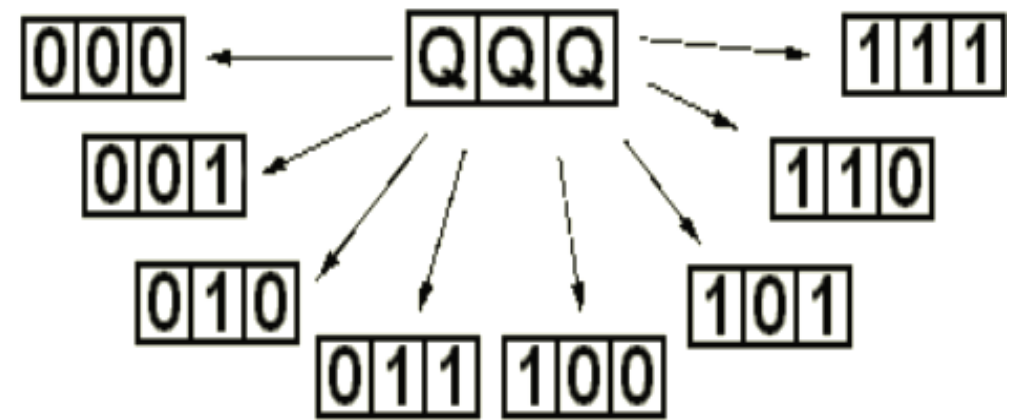
Запутанное состояние

$$|\psi\rangle = p \begin{array}{c} \bullet \\ \bullet \end{array} + t \begin{array}{c} \bullet \\ \bullet \end{array} \quad |p|^2 + |t|^2 \neq |r|^2 + |s|^2$$

Пример запутанного состояния в природе – два электрона в атоме гелия

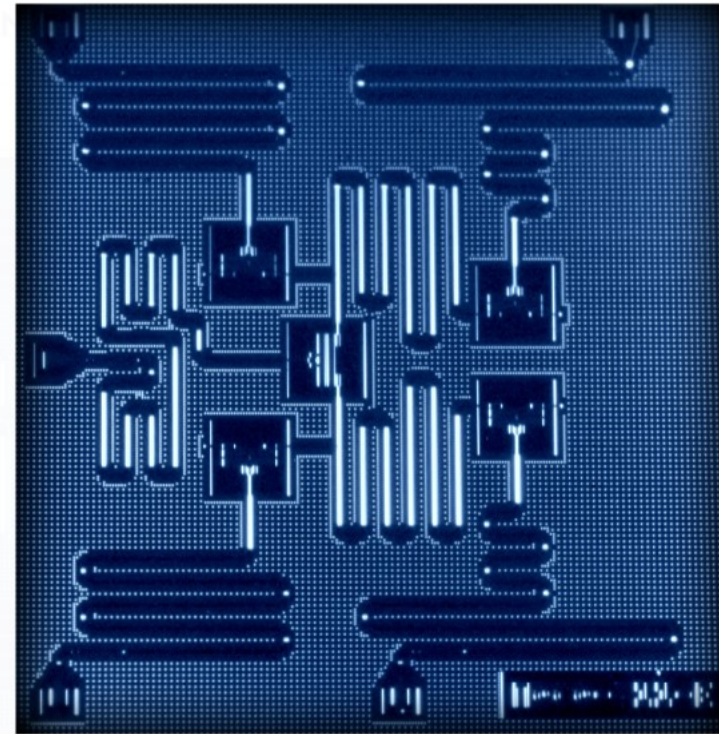
Квантовый регистр

- Квантовый регистр – кубиты, “запутанные” друг с другом
- Каждый кубит при измерении может оказать как нулем так и единицей
- Регистр из трех кубит может принять с разной вероятностью любое из восьми состояний
- Таким образом в квантовом регистре одновременно обрабатываются все восемь значений



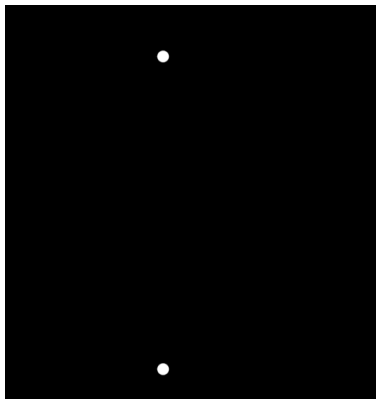
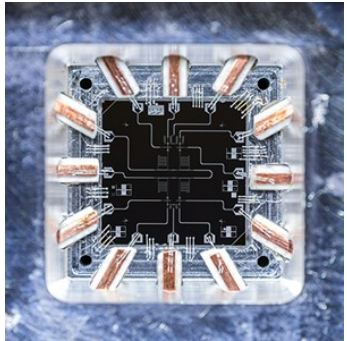
Рост размера квантового регистра

- Технически сложно создать квантовый регистр из большого числа кубит
- Прогресс в этой области:
 - 1998 – 2 кубита
 - 2000 – 7-кубит (IBM)
 - 2019 – 53 кубита (Google)



5-кубитный процессор IBM

Элементная база КК - вентили



Одно-кубитные вентили



$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$



$$\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$$



$$\begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}$$

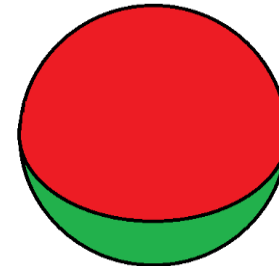
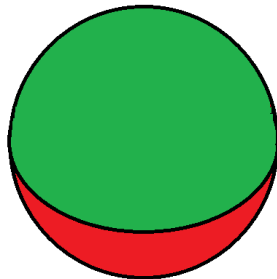


$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$$

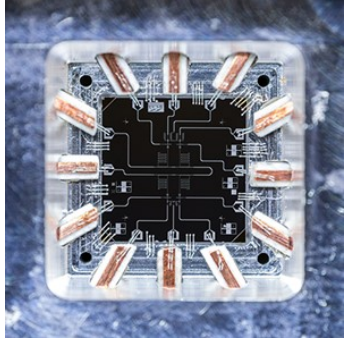


$$\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}$$

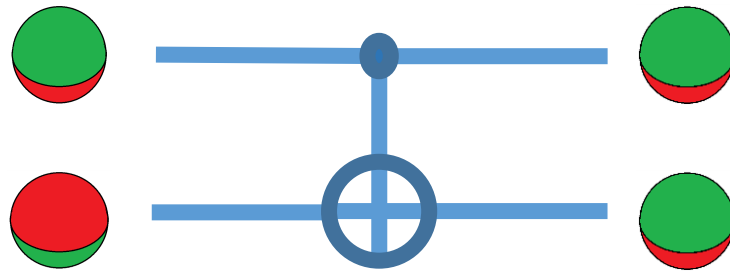
Операция отрицания



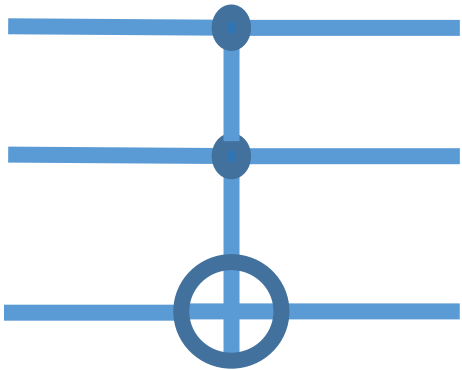
Элементная база КК - вентили



Двух-кубитный CNOT

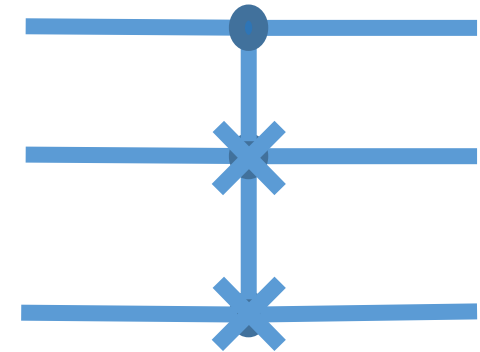


Тоффоли (CCNOT)

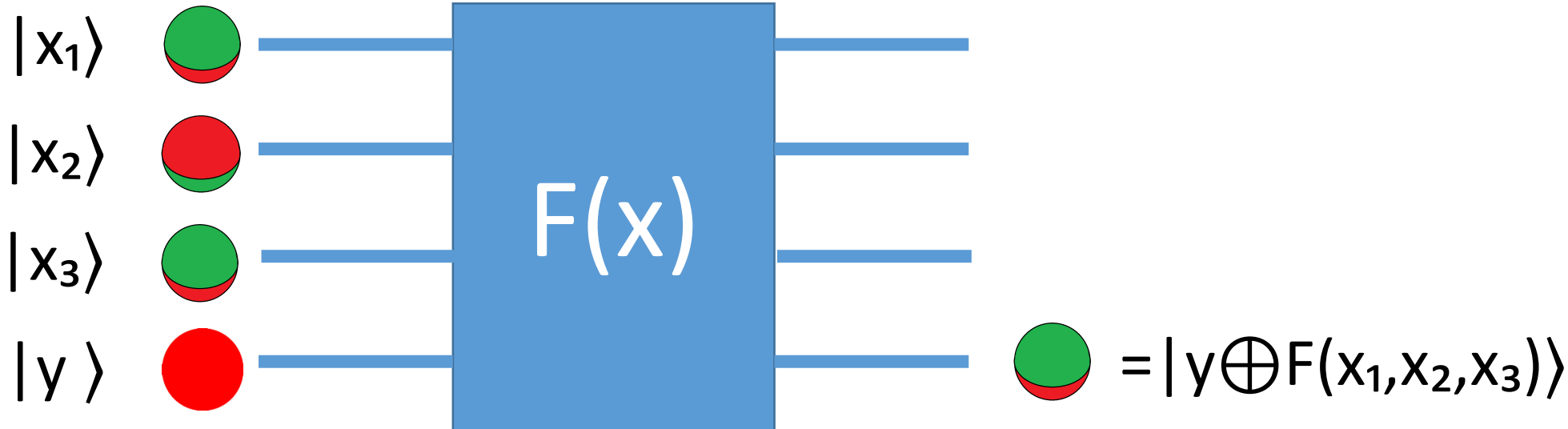
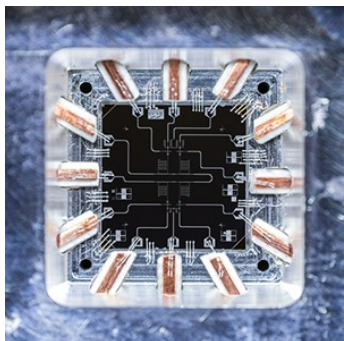


$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Фредкин (CSWAP)



Элементная база КК - оракул

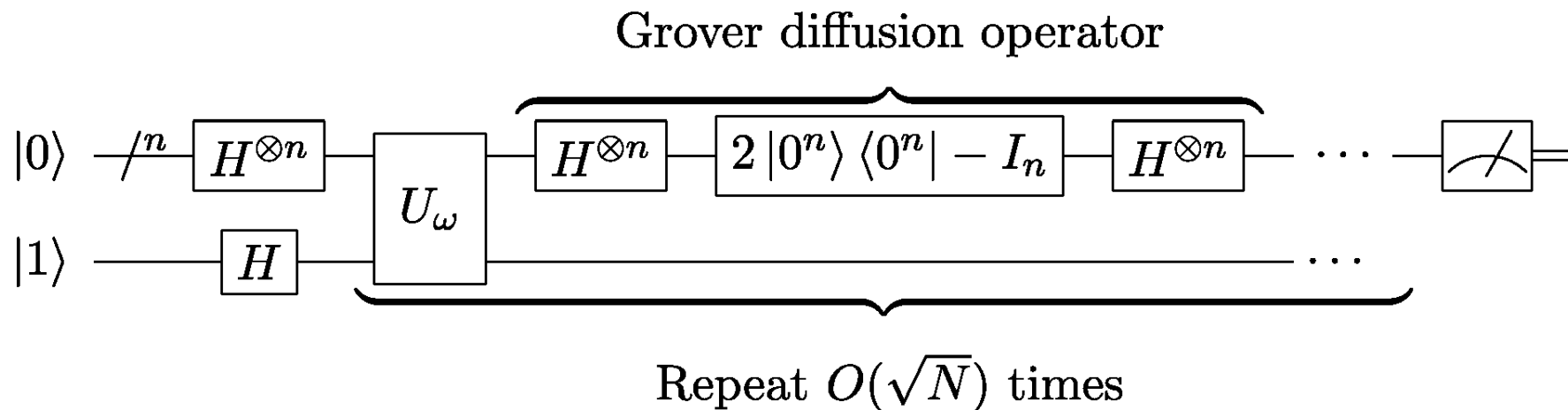


Квантовые алгоритмы - Гровер

Поиск по неструктурированным данным (перебор)



Традиционный компьютер	Квантовый компьютер
Время N	Время \sqrt{N}



Квантовый параллелизм

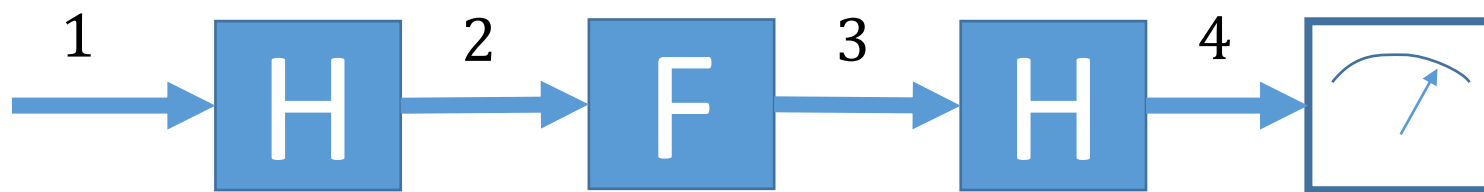
Определяем класс функции за одно измерение (алгоритм Дойча)

1. $|0\rangle$

2. $\frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle)$

3. $\frac{1}{\sqrt{2}}\left((-1)^{f(0)}|0\rangle + (-1)^{f(1)}|1\rangle\right)$

4. $\frac{1}{2}\left[\left[(-1)^{f(0)} + (-1)^{f(1)}\right]|0\rangle + \left[(-1)^{f(0)} - (-1)^{f(1)}\right]|1\rangle\right]$



$$\begin{aligned} f(x) &\equiv 0 && \text{постоянная} \\ f(x) &\equiv 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f(x) &= x \\ f(x) &= 1 - x && \text{сбалансированная} \end{aligned}$$

Если на выходе $|0\rangle$, то функция постоянная

Если на выходе $|1\rangle$, то сбалансированная

Квантовые алгоритмы - Шор

Разложение числа на простые множители

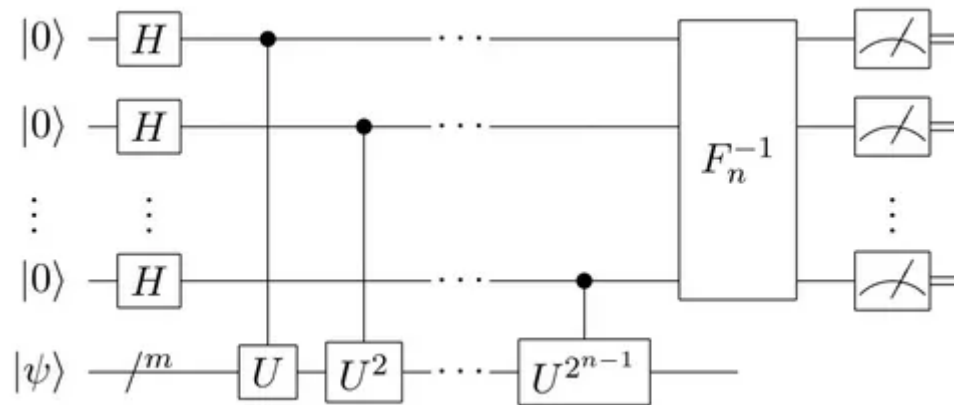
$$N = p * q$$

Традиционный компьютер (не быстрее чем)

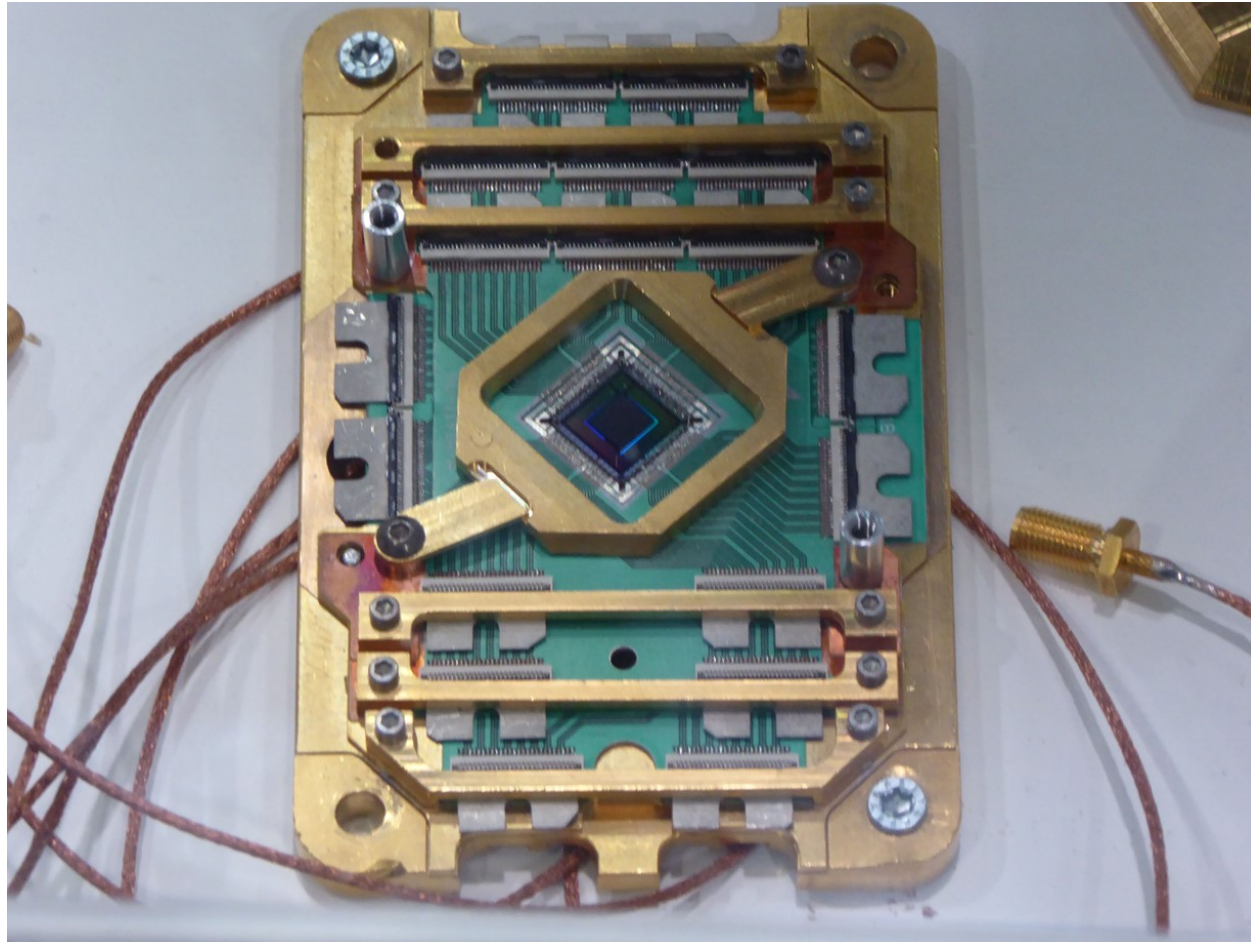
Квантовый компьютер (не дольше чем)

Время порядка $O\{e^{1.9 (\log N)^{1/3}}\}$

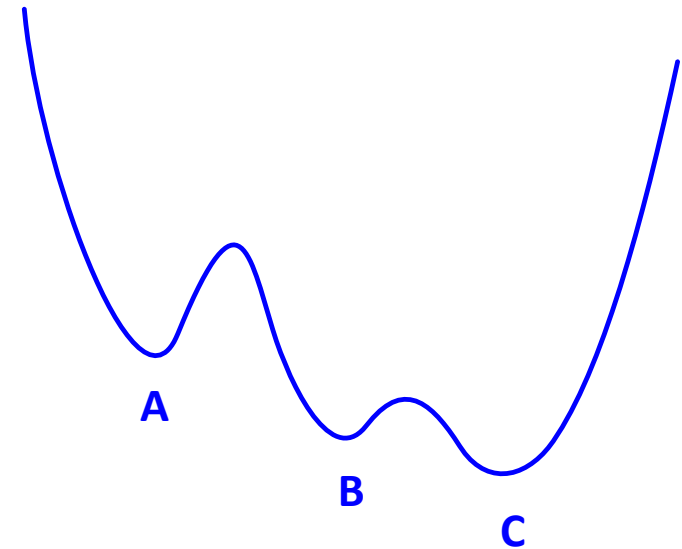
Время порядка $O\{(\log N)^3\}$



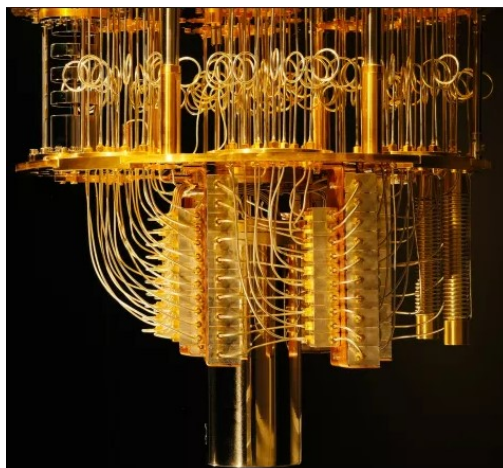
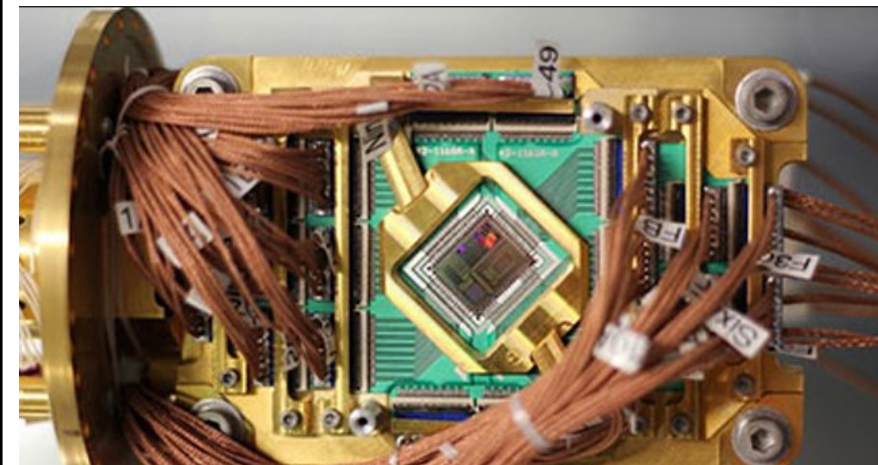
Адиабатический компьютер



- Оптимизация
- Машинное обучение
- Изучение материалов



Виды квантовых компьютеров



- Адиабатический квантовый компьютер Dwave
- Универсальный квантовый компьютер (IBM Q)
<https://www.forbes.ru/tehnologii/371669-ibm-protiv-d-wave-nastupila-li-era-quantovyh-kompyuterov>
- Ионный квантовый компьютер
<https://phys.org/news/2017-02-blueprint-unveiled-large-scale-quantum.html>