

# **Технологии будущего: Что может квантовый компьютер?**

**Анатолий Дымарский**

# Почему мне интересны квантовые технологии?

- Область научных интересов:  
теоретическая физика
  - динамика квантовых систем
  - задачи оптимизации в энергетике
- Научные проекты: коды коррекции квантовых ошибок, применение квантовых вычислений к проблемам энергетики



# План доклада:

## Что такое квантовый компьютер?

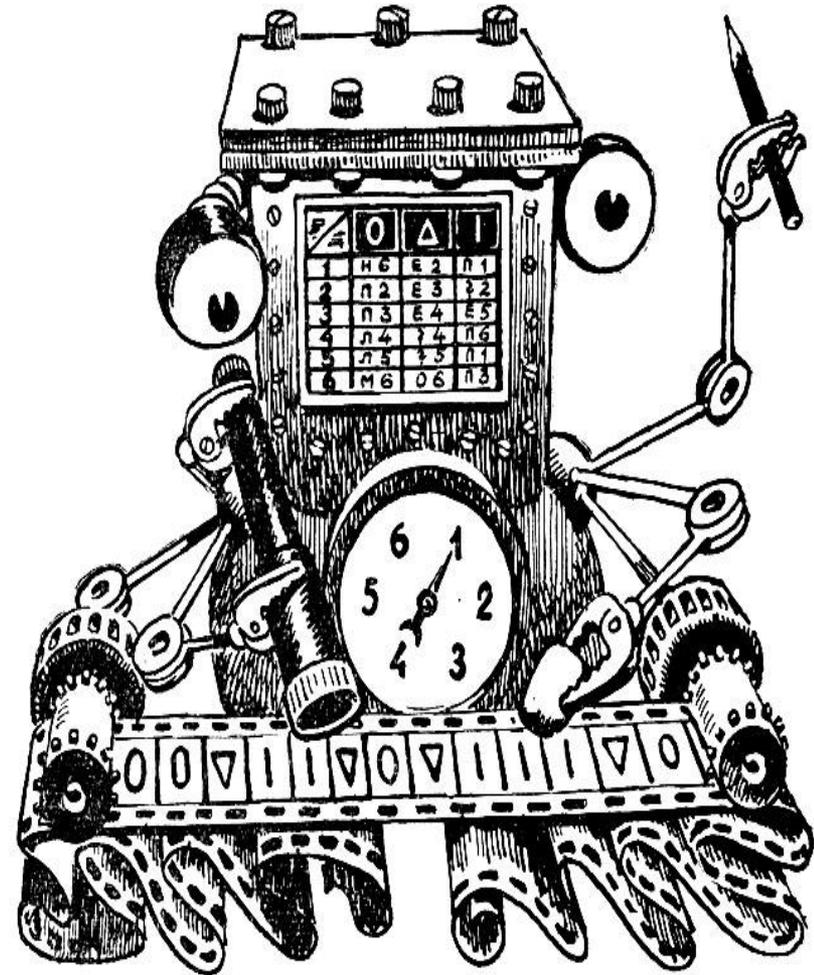
- Чем он отличается от обычного?
- Что такое квантовые вычисления?

## Что может квантовый компьютер?

- Основные типы задач
- Что квантовый компьютер может уже сейчас?
- Я хочу попробовать. Как начать?

# Что такое обычный компьютер

- Машина Тьюринга  
умеет выполнять простейшие операции, работать с памятью;  
основные параметры: скорость выполнения операций FLOPS (#CPUs), общая память
- детерминизм



# Что такое квантовая механика?

- обычная механика:  
вероятность = маскировка  
нашего незнания
- квантовая механика:  
принцип суперпозиции,  
вероятность отражает  
физическую реальность

Обычный бит памяти: 0 или 1

Квантовый бит (кубит): вероятность  
0 и вероятность 1; 1 кубит = 1 число



# “Память” квантового компьютера

- регистры памяти обычного компьютера: строки из 0 и 1

$$00011000=24$$

- “память” квантового компьютера – состояние системы кубитов, то есть вероятность каждого из возможных комбинаций:  $p(00000001)$ ,  $p(00000010)$ ,...
- например, 1 кубитов =  $2^1-1=1$  число, 8 кубитов =  $2^8-1=255$  чисел,  $n$  кубитов =  $2^n-1$  чисел

# Проклятие размерности

- система  $n$  квантовых битов кодирует  $2^n - 1$  чисел (вообще говоря комплексных)
  - на лаптопе можно эмулировать работу 15 кубит
  - на суперкомпьютерах – 40 кубит
  - система из 50 кубит не может быть эмулирована классически (квантовое превосходство)

# Почему возможны квантовые вычисления?

- квантовая механика имеет вероятностную природу; а нужен точный ответ
  - есть важный класс задач (NP), решить которые сложно, но проверить правильность решения легко
  - квантовый компьютер может угадывать правильный ответ
  - “квантовый параллелизм”

# Что (в принципе) может квантовый компьютер?

- алгоритм Шора, разложение числа на множители (экспоненциальное ускорение)
- алгоритм Гровера, поиск по базе данных (полиномиальное ускорение)
- широкий ряд оптимизационных задач, стохастических алгоритмов, алгоритмов работы с данными, и тд.

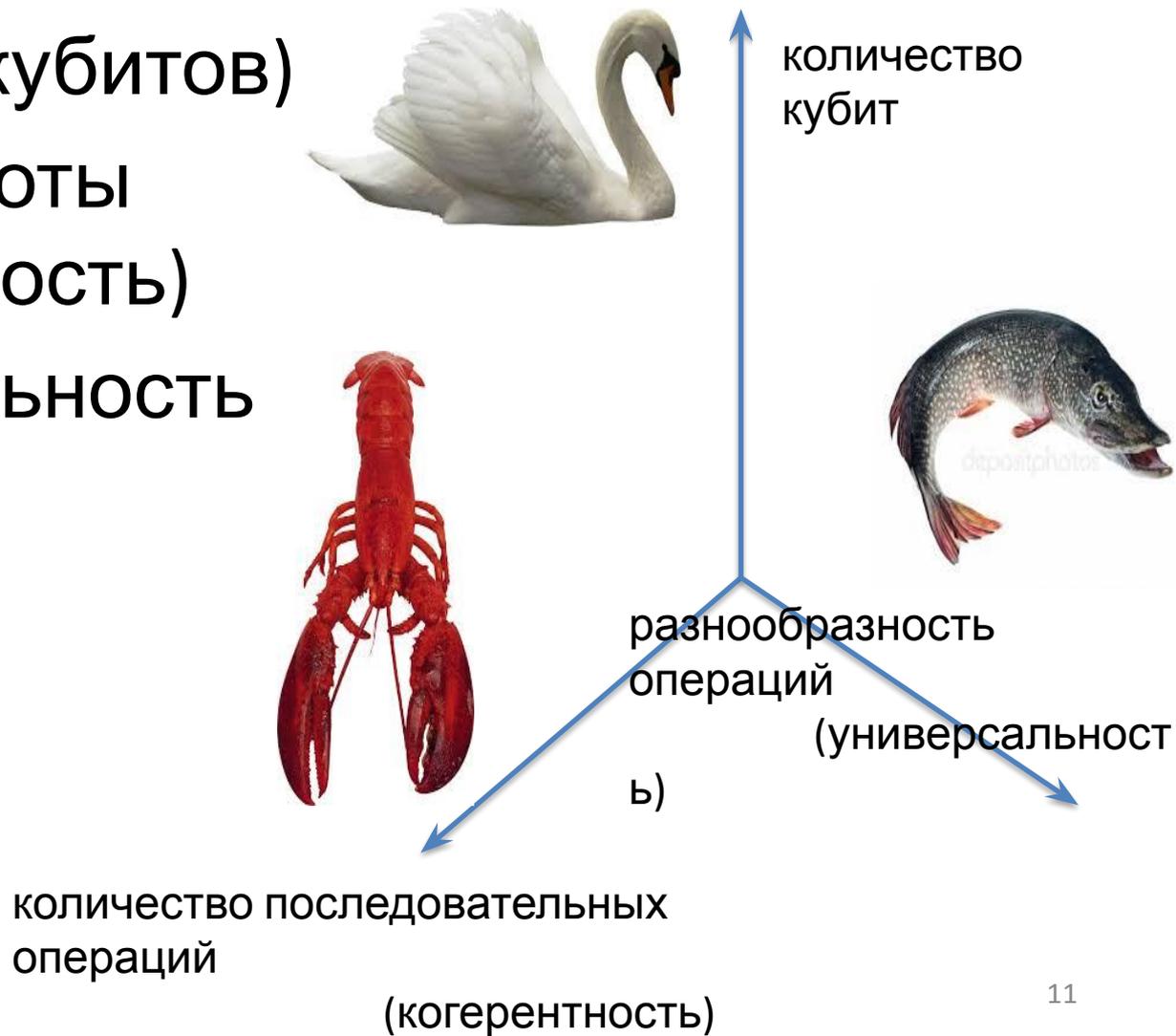
новое направление: квантовые алгоритмы

# Возможные области применения

- Криптография
- оптимизационные задачи
  - научные вычисления (физика, науки о материалах, фармакология) оптимизационные задачи
- обработка данных
  - машинное обучение/искусственный интеллект
  - транспорт, энергетика, логистика

# Основные параметры качества

- память (# кубитов)
- время работы (когерентность)
- универсальность



# Эра NISQ

Noisy Intermediate-Scale Quantum technology

- ограниченное время когерентности
- неполная универсальность
- (не)достаточно большое количество кубитов

*Главный вопрос - как можно использовать  
данные технологии?*

# Основные типы существующих прототипов

- Универсальные квантовые компьютеры Google, IBM, Honeywell, Rigetti, Ion-Q (>20 кубитов)
- Квантовые симуляторы ограниченной универсальности (50-70 кубитов)
- Некогерентные процессоры с большим количеством кубитов (D-Wave >2000 кубитов)

# D-wave

- Принцип работы – квантовый отжиг
- Облачный интерфейс на основе Python (Ocean SDK)
- Математическая постановка проблемы: Quadratic Unconstrained Binary Optimization
- Пакет библиотек, упрощающий сведение различных задач к QUBO
- Большое количество примеров и приложений

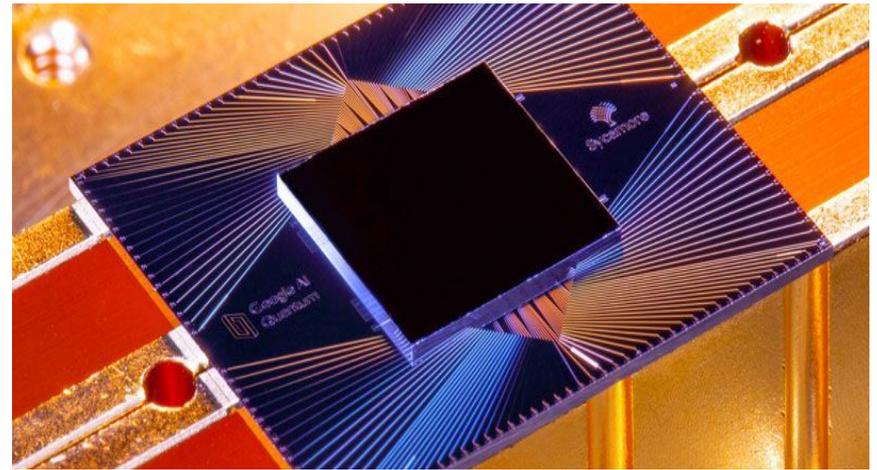
# Квантовое превосходство quantum supremacy

Google заявил, что достиг квантового  
превосходства (23 октября, 2019)

Результаты опубликованы в Nature,  
тематические статьи New York  
Times, Wall Street Journal. Что это  
значит?

квантовый компьютер  
обошел классический в  
выполнении *очень*  
*специальной*  
*искусственной*  
*задачи*

и



# Системы предлагаемые для коммерческой эксплуатации

- Основными компаниями, предоставляющими доступ к квантовым платформам являются крупные облачные сервисы: IBM, Amazon, Microsoft
- Облачный интерфейс на Python, работа квантового “процессора” интегрирована с обычным облачным сервисом
- Функции включают построение “квантовых цепей” различной сложности

# Приложения

- Тысячи научных статей демонстрирующие конкурентоспособность квантовых платформ в случае конкретных задач
- “Перевод” задачи на квантовую платформу по прежнему должен решаться индивидуально в каждом конкретном случае
- Предполагаемые области применимости (согласно McKinsey):
  - фармакология, оптимизационные задачи с большим объёмом данных, квантовое машинное обучение

# Что означает квантовая революция для IT-индустрии?

- реальный прогресс в области квантовых технологий, выход на уровень PoC
  - огромный “подрывной потенциал”
  - области применения
  - временная шкала
- } неизвестны