

**Квантовые технологии сегодня**



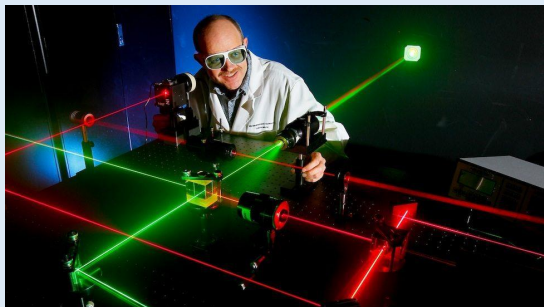
**2024**

**Инженеры  
будущего**



**КВАНТОВЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ  
РОСАТОМ**

# ПЕРВАЯ КВАНТОВАЯ РЕВОЛЮЦИЯ



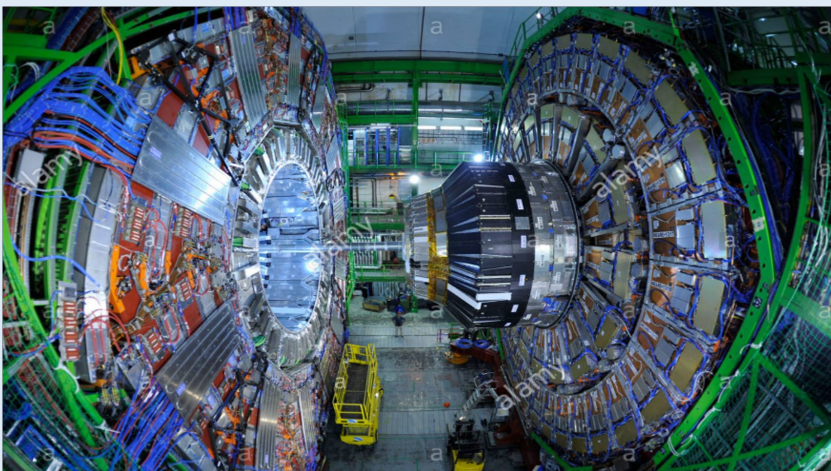
Лазер



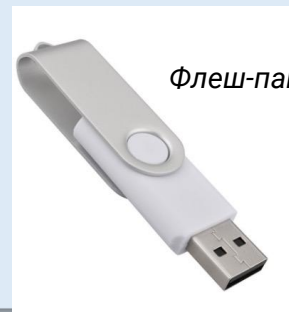
Компакт-диск



Магнито-резонансный  
томограф

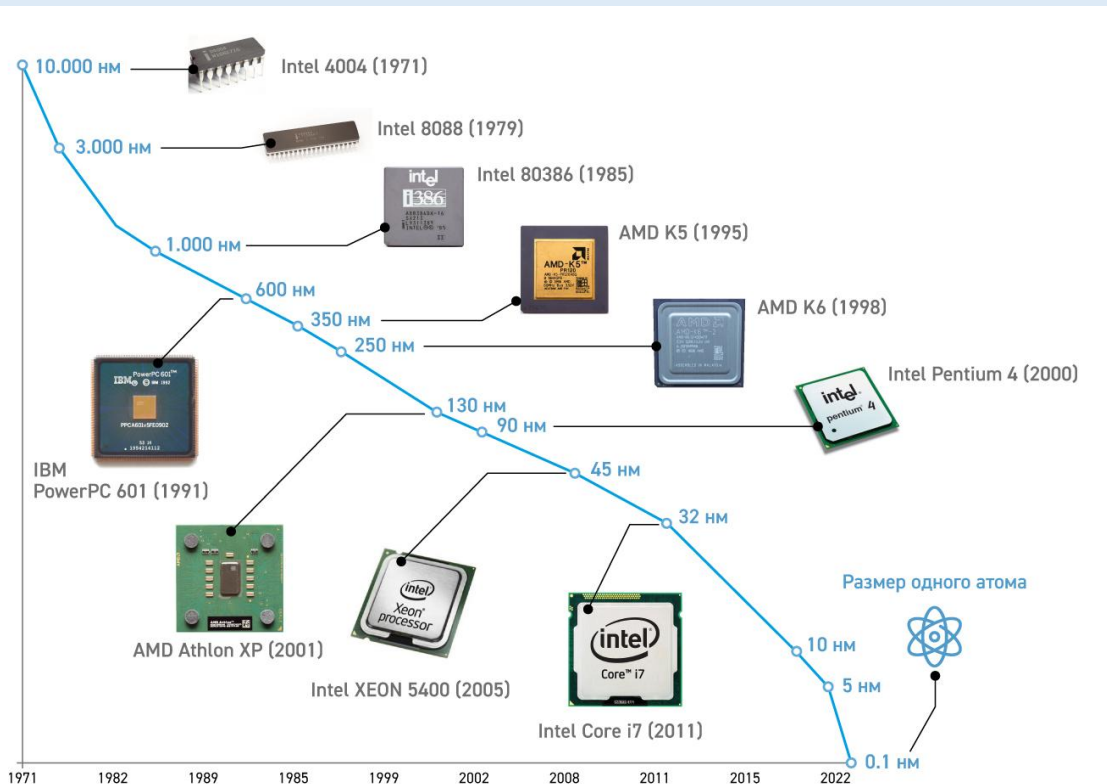


Большой  
адронный  
коллайдер



Флеш-память

## ОТ КЛАССИЧЕСКИХ КОМПЬЮТЕРОВ К КВАНТОВЫМ



Чем меньше становятся транзисторы, тем более в них проявляются квантовые эффекты.

Их можно подавлять, а лучше использовать.

*«Вы можете видеть, что мы приближаемся к размеру атомов»*

Гордон Мур



Инженеры  
будущего

# НАЧАЛО ВТОРОЙ КВАНТОВОЙ РЕВОЛЮЦИИ

Коллективные квантовые явления:  
первая квантовая революция

Индивидуальные квантовые системы:  
вторая квантовая революция

Лазер

Флэш-память

Интегральная  
схема

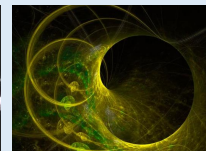
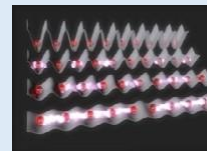
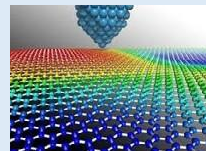
Твердотельный  
лазер

Компакт-диск

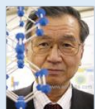
Графен

Измерение  
отдельных  
квантовых  
систем

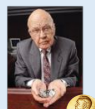
Квантовая  
запутанность



1954



1980



2000



2000



2010



2012



2014



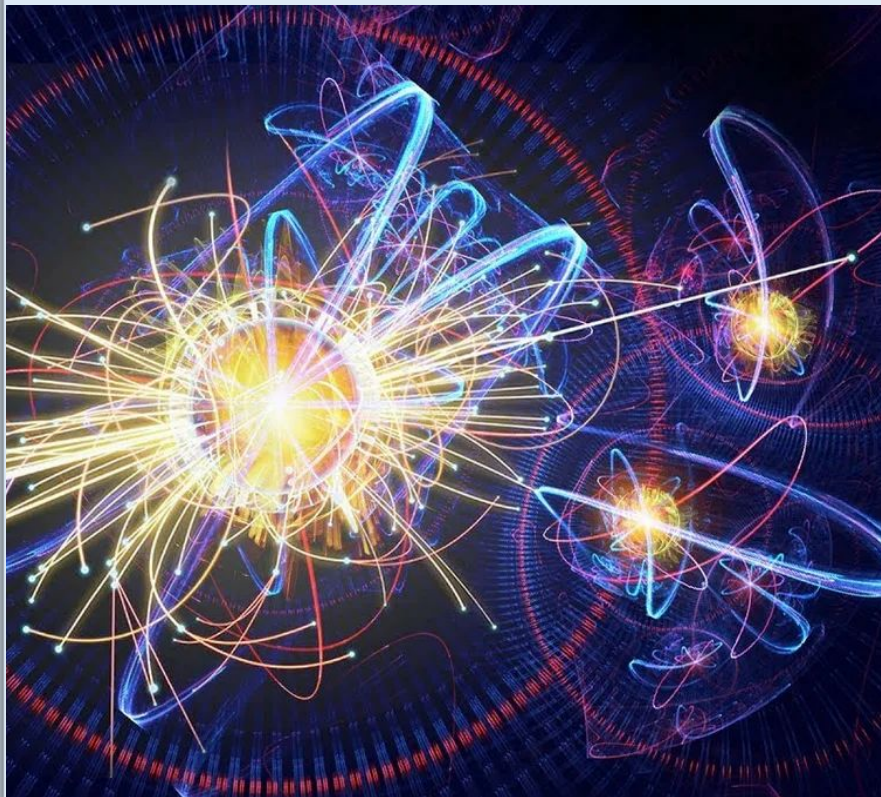
2016



2022



## ЧТО ТАКОЕ “КВАНТ”



**Квант** — это неделимая порция некоторой величины в физике (квант света, квант энергии, квант поля)

**Квантовая механика** — это раздел теоретической физики, описывающая физические явления на самом элементарном уровне — уровне частиц

Я нашла эту книгу со странными знаками и рисунками у тебя в комнате!

Ты что, сатанист?

Бабуль, это квантовая физика.



## КВАНТОВАЯ СУПЕРПОЗИЦИЯ

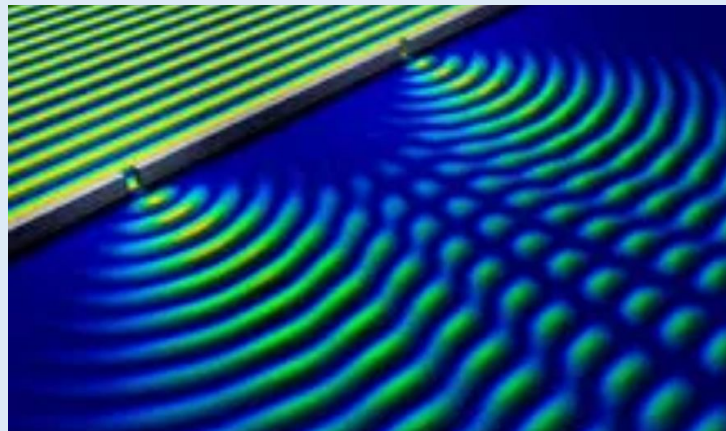
**Суперпозиция** — это комбинация различных состояний квантовой системы, в которых она как бы находится одновременно.

Квантовая частица может одновременно быть в различных состояниях и в различных точках пространства

### КЛАССИЧЕСКИЙ МИР

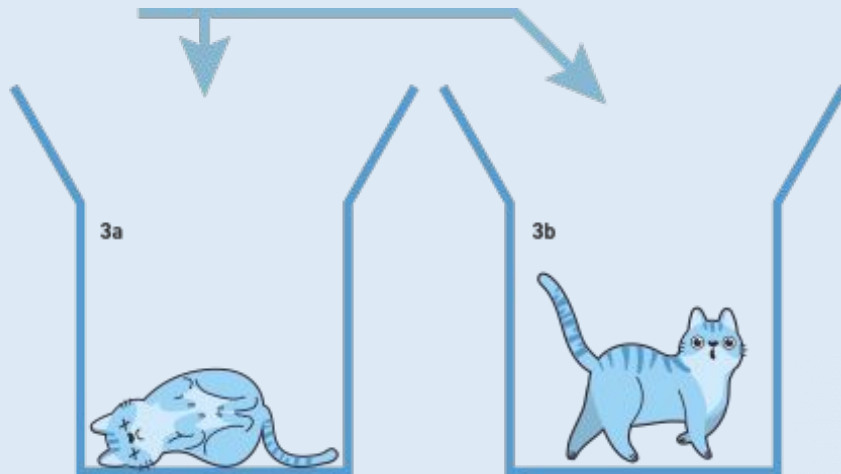


### КВАНТОВЫЙ МИР



## КОТ ШРЁДИНГЕРА

Кот Шрёдингера  
одновременно  
и живой и мертвый

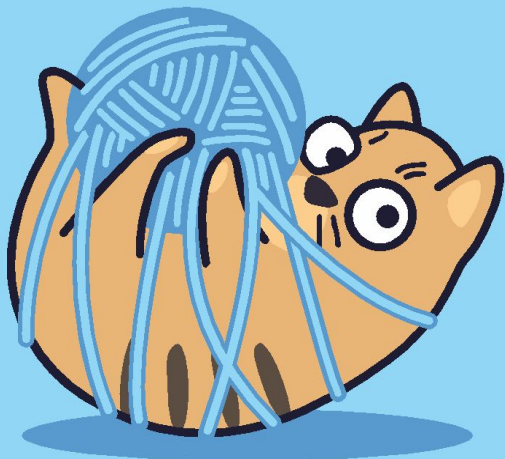


ADLEIAYDE

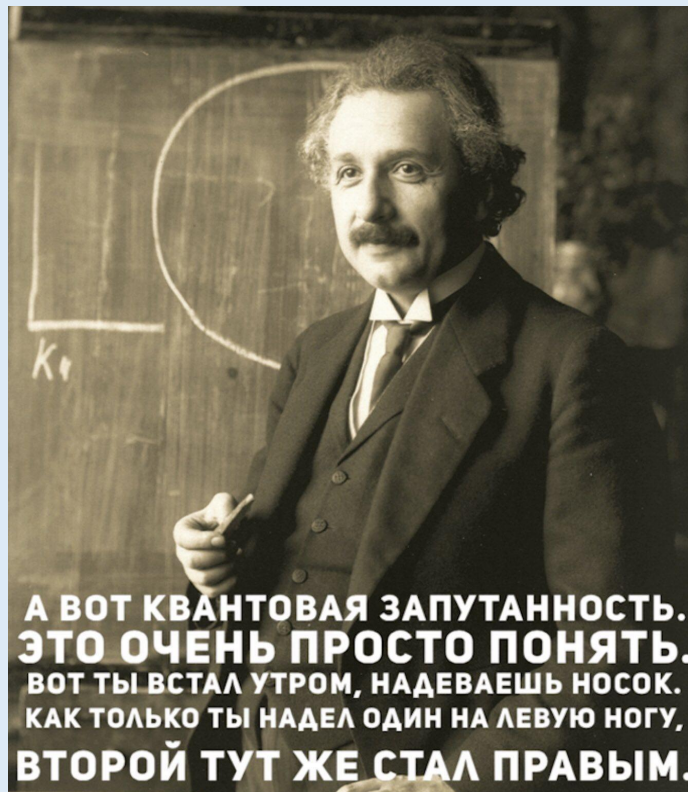


## КВАНТОВАЯ ЗАПУТАННОСТЬ

Явление, при котором состояния двух или большего числа квантовых объектов оказываются **взаимозависимыми**



КОГДА ПЫТАЛСЯ ПОНЯТЬ, ЧТО ТАКОЕ  
КВАНТОВАЯ ЗАПУТАННОСТЬ, НО ЗАПУТАЛСЯ







# ЗАКОНЫ КВАНТОВОГО МИРА

## 1. СУПЕРПОЗИЦИЯ

КЛАССИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА



Орёл ИЛИ решка

Орёл И решка

## 2. ЗАПУТАННОСТЬ

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА



N кубит

$2^N$  состояний



## 3. ХРУПКОСТЬ / ЭФФЕКТ ДЕКОГЕРЕНЦИИ

НАБЛЮДЕНИЕ ИЛИ ШУМЫ



## 4. НЕКОПИРУЕМОСТЬ

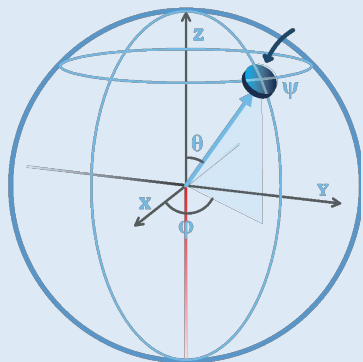
КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Копируй или перехватывай



## ЧТО ТАКОЕ КУБИТ

1



0



### КЛАССИЧЕСКИЙ БИТ

- Или «0», или «1»

### КВАНТОВЫЙ БИТ

- Может быть в суперпозиции  $|0\rangle + |1\rangle$
- **Пример:** Атом в суперпозиции основного и возбужденного состояний

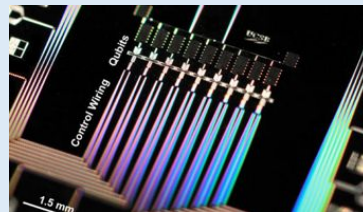
### ЗАПУТАННОСТЬ

- Несколько кубитов также могут находиться в состоянии суперпозиции
- **Пример:** 4 кубита  $|0000\rangle + |1111\rangle$

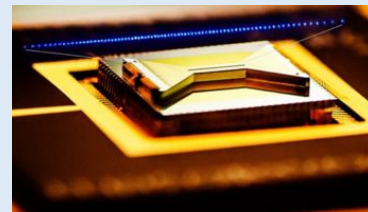
### КВАНТОВЫЙ КОМПЬЮТЕР

- Система кубитов, которые взаимодействуют контролируемым образом

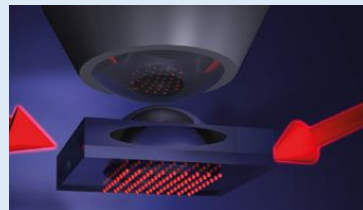
## ФИЗИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ КУБИТОВ



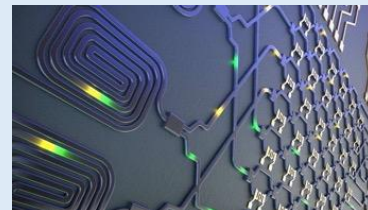
Сверхпроводник  
и



Ионы в  
ловушке



Нейтральные  
атомы



Фотонные  
чипы



Инженеры  
будущего

## КВАНТОВЫЙ КОМПЬЮТЕР: ОТВЕТ НА ГЛОБАЛЬНЫЕ ВЫЗОВЫ ИЛИ МАГИЯ?

### ОТВЕТ НА ГЛОБАЛЬНЫЕ ВЫЗОВЫ



#### Кибербезопасность

Решение задачи о разложении числа на простые множители



#### Большие данные и оптимизация

Существенное ускорение при переборе или поиске по базам данных, решении задач оптимизации



#### Новые материалы

Исследование существующих и создание новых материалов



#### Медицина

Создание новых лекарств и лечение неизлечимых болезней



#### Искусственный интеллект

Следующий уровень в развитии систем ИИ

#### Забота об окружающей среде

В работе задействуется в разы меньше энергии

### МАГИЯ



#### Волшебство

Нечто загадочное, понятное не всем



#### Новые перспективы

Возможность заглянуть в будущее

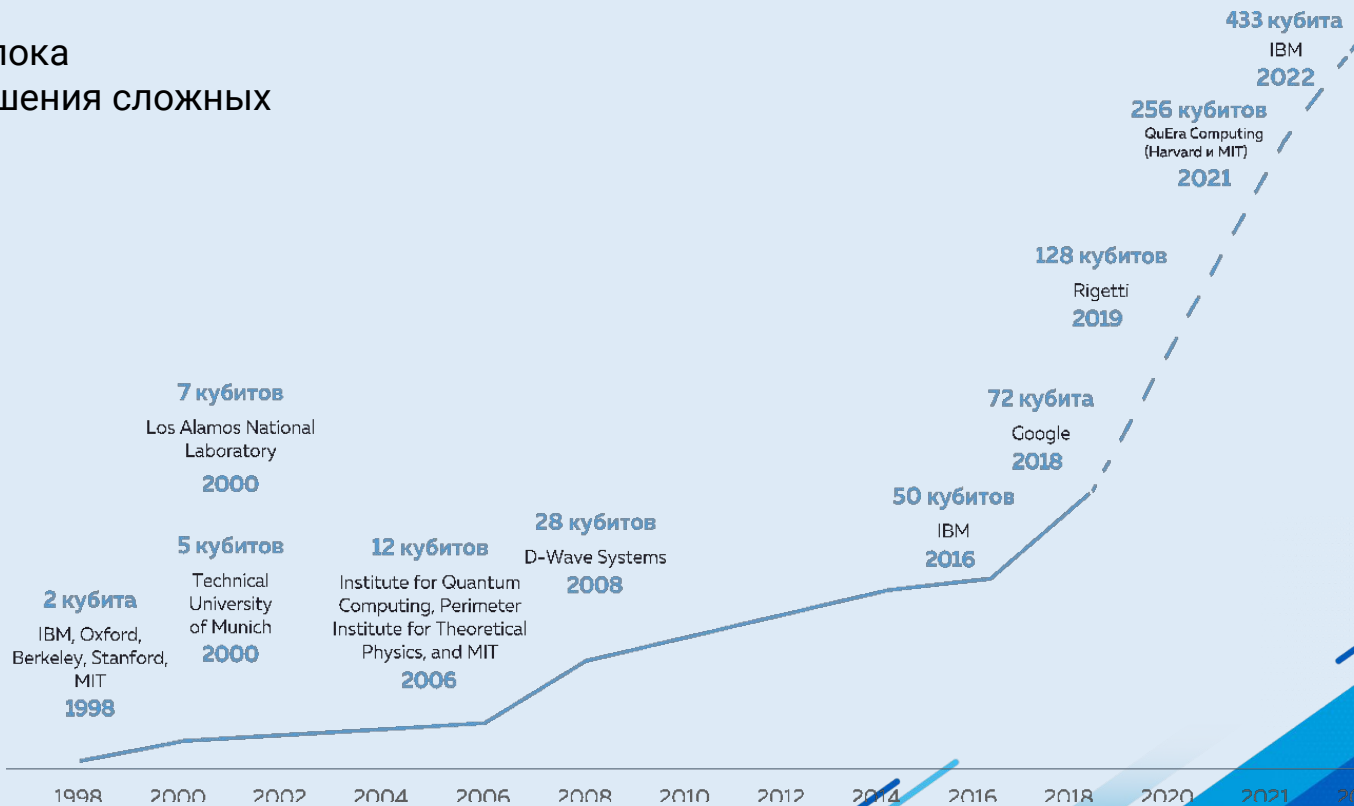




Инженеры  
будущего

## ПРОГРЕСС В РАЗРАБОТКЕ КВАНТОВЫХ КОМПЬЮТЕРОВ

Количества кубитов пока  
недостаточно для решения сложных  
задач





## КОМПЬЮТЕР НЕСЁТ УГРОЗУ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

- Современная асимметричная криптография базируется на сложности решения определенного класса математических задач, например, факторизации (разложение числа на простые множители)
- На данный момент неизвестен эффективный алгоритм решения такой задачи, поэтому злоумышленнику требуется много времени для взлома криптографического ключа
- В 1995 году Питер Шор предложил алгоритм для задач факторизации и дискретного логарифмирования за полиномиальное время для квантового компьютера
- Число 15 было разложено на множители 3 и 5 при помощи квантового компьютера с 7 кубитами





ЛЮБОЙ КОМПЬЮТЕР  
СМОЖЕТ  
ПЕРЕМНОЖИТЬ  
ПРОСТЫЕ ЧИСЛА

$$3 * 5 = 15$$

ДАЖЕ ЕСЛИ МНОЖИТЕЛИ  
СОДЕРЖАТ  
БОЛЬШОЕ КОЛИЧЕСТВО ЗНАКОВ

$$15\ 013 * 20\ 071 = 301\ 325\ 923$$

ОДНАКО ДАЖЕ СОВРЕМЕННЫЕ  
СУПЕРКОМПЬЮТЕРЫ  
НЕ СПОСОБНЫ РЕШИТЬ ОБРАТНУЮ ЗАДАЧУ

$$301\ 325\ 923 = ? * ?$$



Тот, у кого будет  
квантовый компьютер,  
сможет с легкостью  
взломать существующие  
алгоритмы шифрования



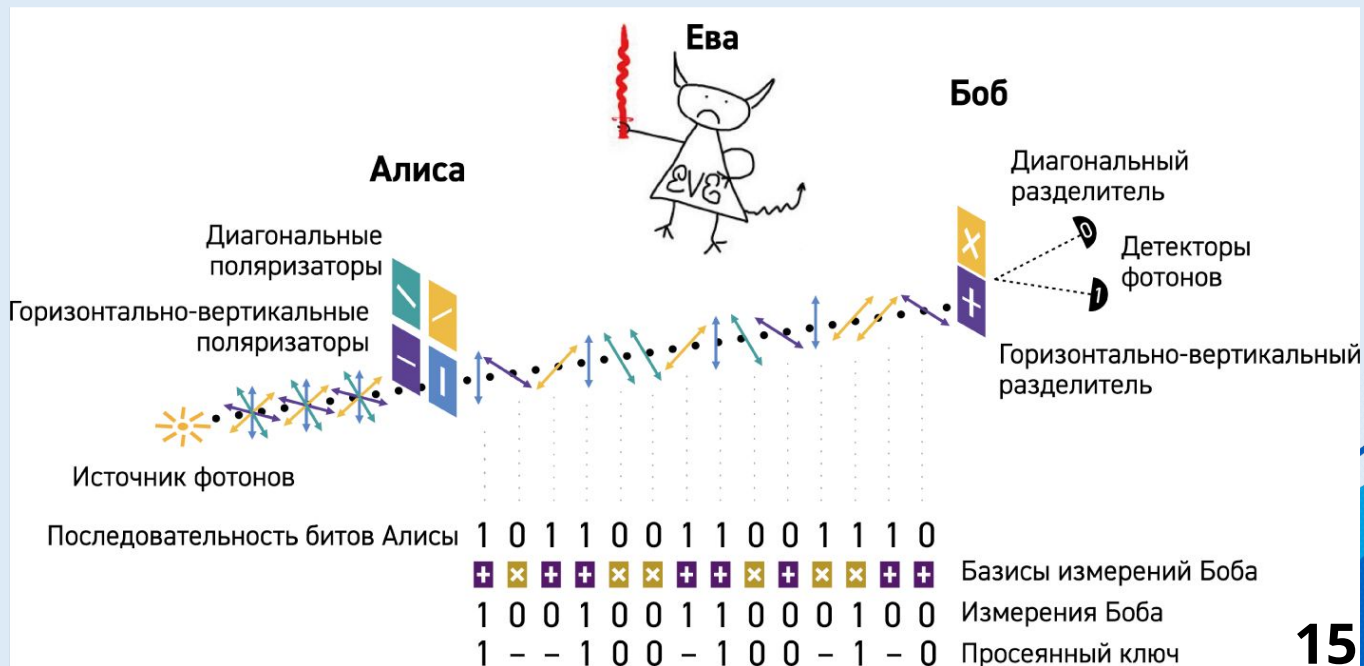
В 2012 г. на конференции BreakPoint в Мельбурне был продемонстрирован компьютерный взлом кардиостимулятора



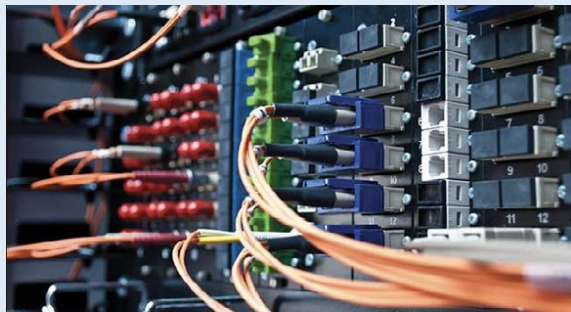
Транспорт будущего – беспилотные автомобили. Что если и их можно будет взломать также легко?

Если кто-то вторгается в канал связи, пользователи сразу это обнаруживают.

Соответственно, нельзя незаметно осуществлять перехват данных.

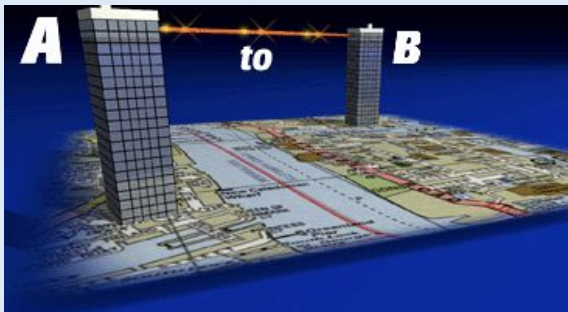






### ЧЕРЕЗ ОПТИЧЕСКИЙ КАБЕЛЬ

- Сервер может быть подключен к существующим каналам связи



### ЧЕРЕЗ ОТКРЫТОЕ ПРОСТРАНСТВО

- Может устанавливаться на мобильные платформы
- Партнеры должны быть непосредственно видны друг другу
- Чувствительность к погодным условиям



### ЧЕРЕЗ СПУТНИК

- Квантовое распределение ключей между наземной станцией и спутником на орбите
- Движение спутника позволяет осуществлять обмен ключами между любыми двумя точками на Земле
- Мировой лидер – Китай (Протяженность самой масштабной квантовой сети с использованием двух спутников более 4600 км)



Инженеры  
будущего

## ПЕРВАЯ В РОССИИ КВАНТОВО-ЗАЩИЩЕННАЯ ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ

Впервые в России продемонстрирована квантово-защищенная передача данных на протяженных городских сетях, встроенных в действующую банковскую инфраструктуру, со значительными потерями и спайками (25 км, 14 дБ) между офисами Сбербанка

ПЛАНИРУЕТСЯ  
РЕАЛИЗОВАТЬ  
СЛЕДУЮЩИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ



Защищенная  
конференц-связь



Защищенный  
документооборот



Квантовый  
блокчейн



Б. Андроновский  
переулок



Квантовый VPN-тоннель, 25 км



Ул. Вавилова



Азотные примеси в алмазе, могут быть использованы для магнитометрии сверхвысокого разрешения

- Поиск полезных ископаемых
- Предсказание землетрясений
- Сверхточные медицинские инструменты
- Интерфейс мозг-компьютер





Volkswagen намерена задействовать квантовые компьютеры для решения следующих задач:

- Исследование структуры новых материалов (например, в аккумуляторных батареях для электромобилей)
- Развитие искусственного интеллекта для беспилотных машин
- Разработка систем управления автомобильным трафиком на городских улицах



## AIRBUS

Разработчикам предлагается решать следующие задачи:

- Оптимизация расходов топлива при взлете
- Вычислительная гидрогазодинамика
- Квантовые нейронные сети для решения уравнений в частных производных
- Оптимизация формы крыла самолета
- Оптимизация багажной загрузки самолета







## НАЦИОНАЛЬНЫЕ КВАНТОВЫЕ ПРОГРАММЫ В МИРЕ

2014–2017



Квантовая программа в рамках 13-го пятилетнего плана (Китай)  
2016–2020 \$1B  
\$10B на строительство Квантовой лаборатории



Национальная программа исследований в области квантовых технологий (Австрия)  
2017–2020 €32M  
2021–2025 €107M



Национальная программа по квантовым технологиям (Великобритания)  
2014–2024 £1B



Грантовые программы фондов NSERC, CFI, CIFAR, CFREF общей стоимостью около \$1B (Канада)

2018



Национальная квантовая инициатива (США)  
2018–2023 \$1.2B



Quantum Flagship (Евросоюз)  
2018–2027 €1B



Квантовая инженерная программа (Сингапур)  
2018–2023 \$25M



Национальная квантовая программа (Швеция)  
2018–2027 \$152M



МEXT – Программа Quantum Leap Flagship (Япония)  
2018–2027 \$280M



Национальная квантовая программа (Германия)  
2018–2022 €650M  
2021–2028 €2B

2019



5-летний план развития квантовых технологий (Южная Корея)  
2019–2023 \$40M



Quantum Delta (Нидерланды)  
2019–2027 €615M

2020



Дорожные карты по развитию квантовых вычислений (Россия)  
(2020–2024) 23.7 млрд руб и квантовых коммуникаций  
(2020–2024) 16.8 млрд руб



Инициатива по квантовым технологиям (Индия)  
2020–2024 \$1.12B



Квантовая программа (Тайвань)  
2021–2025 \$282M



Квантовые технологии (Финляндия)  
2020–2024 \$20.7M



Грантовое финансирование (Австралия) 2017–2020 \$70M  
В 2020 г. принята дорожная карта развития квантовых вычислений.

2021



Национальная квантовая программа (Франция)  
2021–2025 €1.8B



Национальная квантовая программа "Quantum Spain"  
2021–2025, € 22M

2022



Национальная квантовая программа (Дания)  
2022–2025, \$220M



## ДОРОЖНАЯ КАРТА «КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ» В РОССИИ

В рамках Национальной программы «Цифровая экономика» была утверждена ДК по Квантовым Вычислениям с бюджетом 23,6 млрд руб. Дорожная Карта была подготовлена командой РКЦ.



### ДОРОЖНАЯ КАРТА «КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ»

Госкорпорация «Росатом» отвечает за реализацию ДК «Квантовые вычисления».

РКЦ — главный исполнитель работ по ДК

### КЛЮЧЕВЫЕ ЗАДАЧИ ДК:

сократить отставание от мировых лидеров с 10 до 2 лет  
начать коммерциализацию технологии. Горизонт — 2024 г.



Инженеры  
будущего

## ЦЕЛЬ. КРАТКО

# 2024

Построить квантовый компьютер, который на специфических задачах будет быстрее, чем классический суперкомпьютер

# 2030

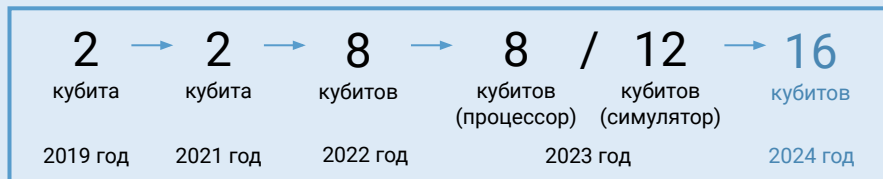
Квантовый компьютер экономически эффективен (решает полезные задачи)



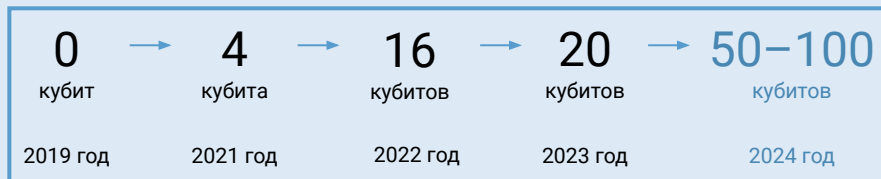
Инженеры  
будущего

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗВИТИЯ ОСНОВНЫХ ПЛАТФОРМ

### СВЕРХПРОВОДНИКИ

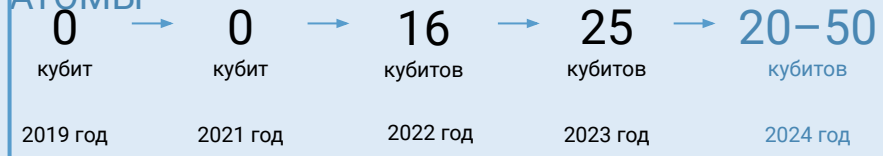


### ИОНЫ

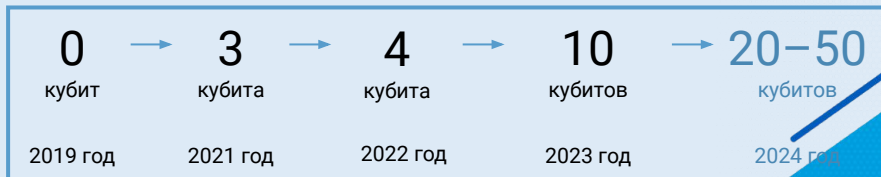


### УЛЬТРАХОЛОДНЫЕ

#### АТОМЫ



### ФОТОНЫ







**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ !**