



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ПРЕЗИДЕНТІНІҢ ЖАНЫНДАҒЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫ
UNDER THE PRESIDENT OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК



КВАНТОВОЕ ПРЕВОСХОДСТВО

Астана, 2025

КВАНТОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В гонке технологических инноваций есть области, которые определяют будущее целых отраслей и государств, к ним относятся квантовые технологии.

Квантовая наука и технология применяют атрибуты квантовой физики к информационным технологиям, включая вычисления, коммуникации, зондирование и многое другое для обеспечения "сверхбыстрых вычислений", "сверхбезопасной связи" и "сверхточных измерений", отмечается в Национальной квантовой стратегии **Республики Корея**.

Канада в своей квантовой Стратегии выделила пять широких категорий квантовых технологий:

- Квантовые компьютеры;
- Квантовое программное обеспечение;
- Квантовые коммуникации (сети);
- Квантовые датчики (сенсоры);
- Квантовые материалы

Определение и направления развития квантовых технологий по версии ВШЭ / Россия



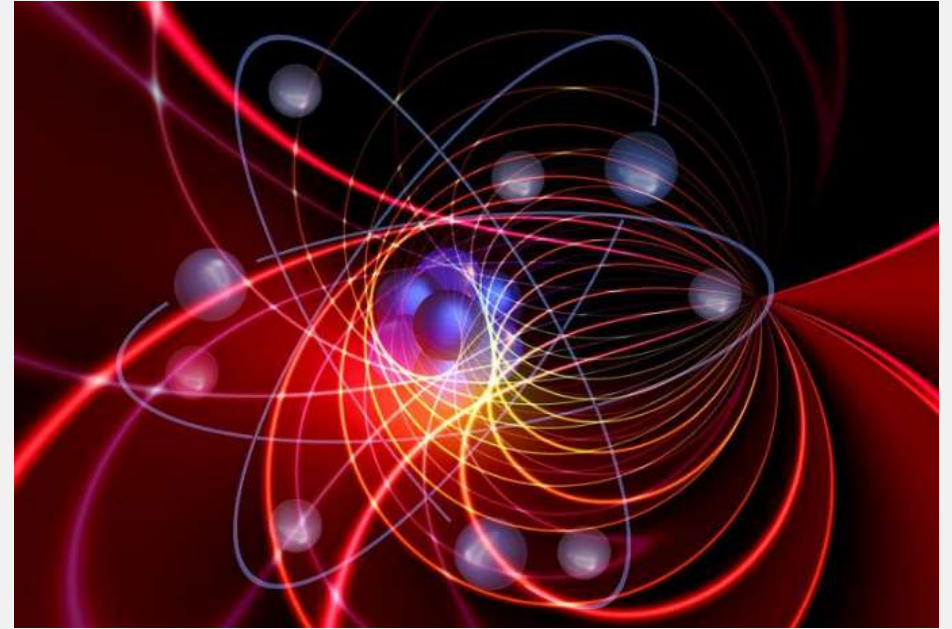
Квантовые технологии - это технологии создания вычислительных систем, которые основываются на новых принципах (квантовых эффектах) и позволяют кардинально изменить способы передачи и обработки больших массивов информации

БОРЬБА ЗА ПЕРВЕНСТВО В СФЕРЕ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Международные эксперты считают, что **«КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ»** - один из самых конкурентных секторов в мире, сравнимый с борьбой между Соединенными Штатами и Советским Союзом за покорение космоса в 1960-х годах.

Первое правительство, освоившее эту технологию, будет иметь преимущество перед остальными, поскольку оно сможет лучше предсказывать, моделировать и анализировать большее количество сценариев, будь то разработка нового лекарства, природная катастрофа или очередной финансовый кризис»*

*How the world map of quantum computing is looking, 2024,
<https://www.bbva.com/en/innovation/how-the-world-map-of-quantum-computing-is-looking>

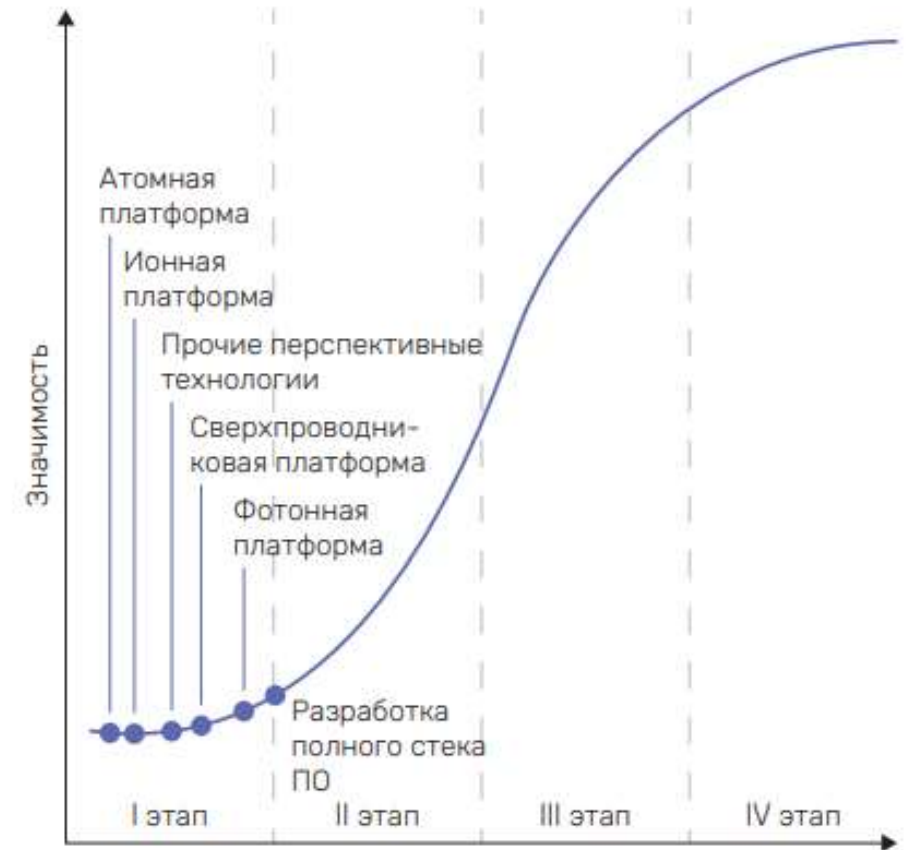




Для измерения эффективности разработок в области квантовых вычислений известный физик Джон Прескилл ввел понятие **квантового превосходства**. Это - уровень производительности квантового компьютера, которое позволит ему решить задачу быстрее, чем это сделает любой суперкомпьютер. Именно этого стремятся достичь разработчики квантовых процессоров. Сегодня они близки к квантовому превосходству, но пока окончательно не достигли его.

Технически квантовые компьютеры, как и квантовые симуляторы, могут быть построены на основе различных физических платформ (атомной, ионной, фотонной, сверхпроводниковой и др.). Платформы представлены на рисунке с указанием степени их технологической зрелости.

Кривая технологической зрелости по направлению «Квантовые вычисления»



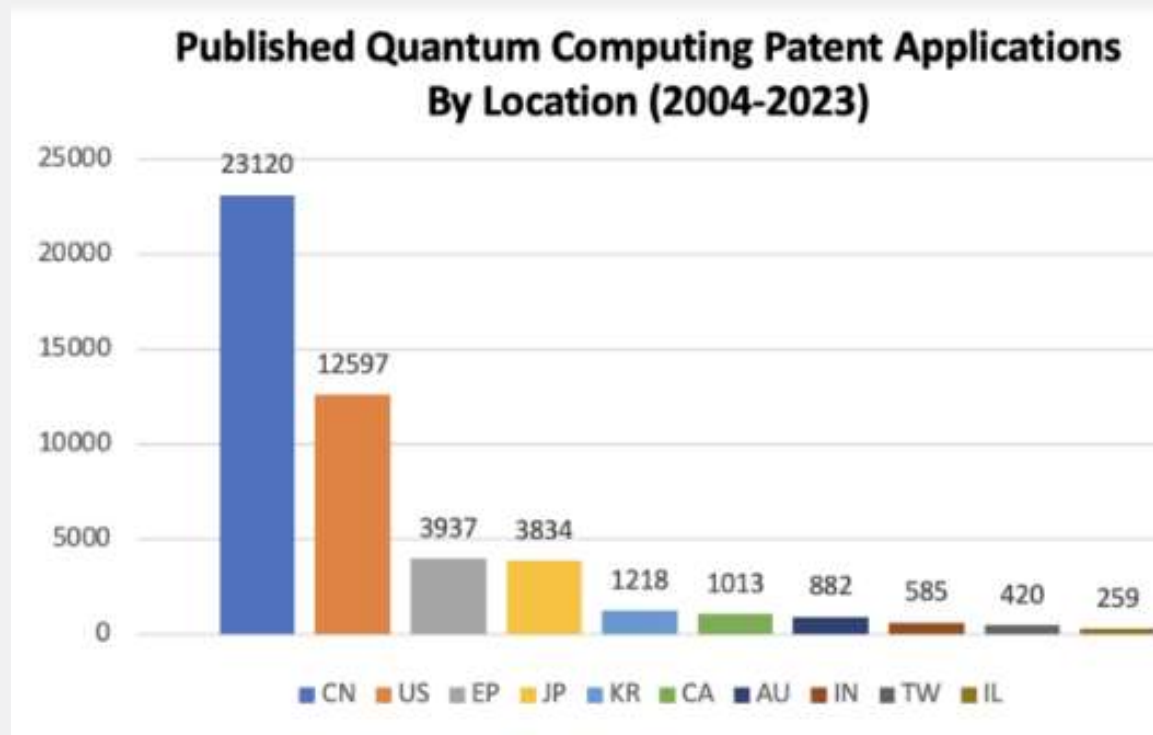
Источник: «Белая книга по развитию высокотехнологичных направлений», ВШЭ

СТРАНЫ - ЛИДЕРЫ В СФЕРЕ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

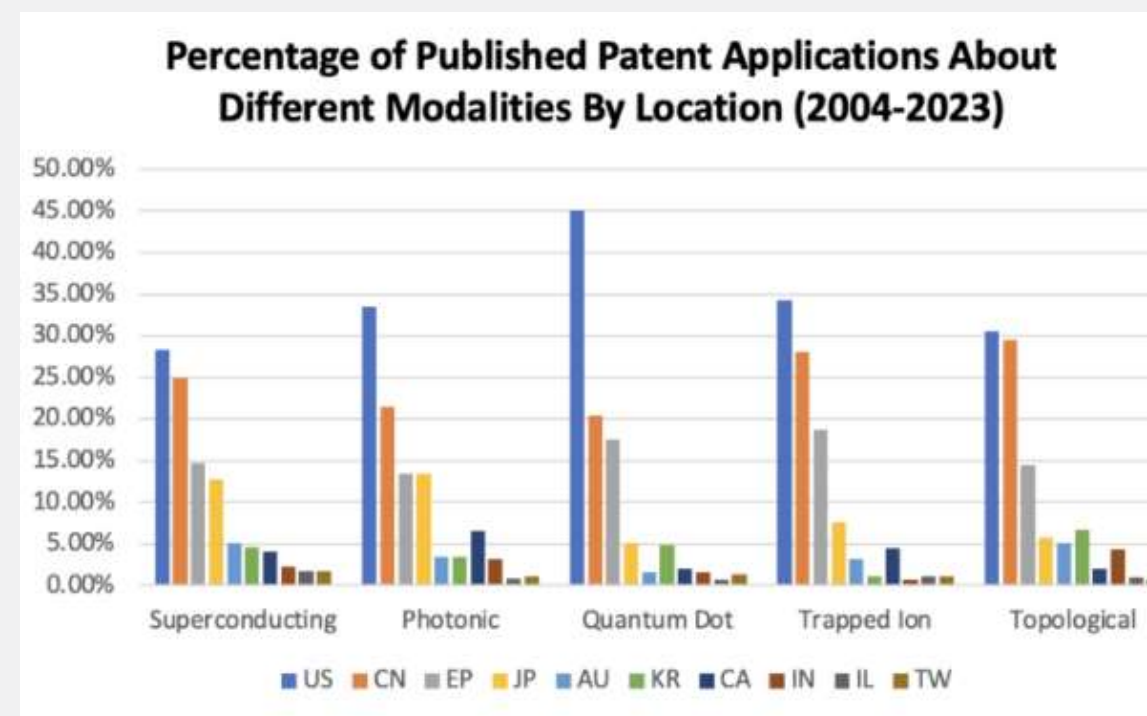


Лидерами в области квантовых вычислений в мире являются США и Китай

Распределение патентных заявок по странам



Патенты по видам вычислений и странам



Источник :<https://ipwatchdog.com/2024/02/13/patent-landscape-quantum-computing-survey-patenting-activities-different-physical-realization-methods/id=173303>

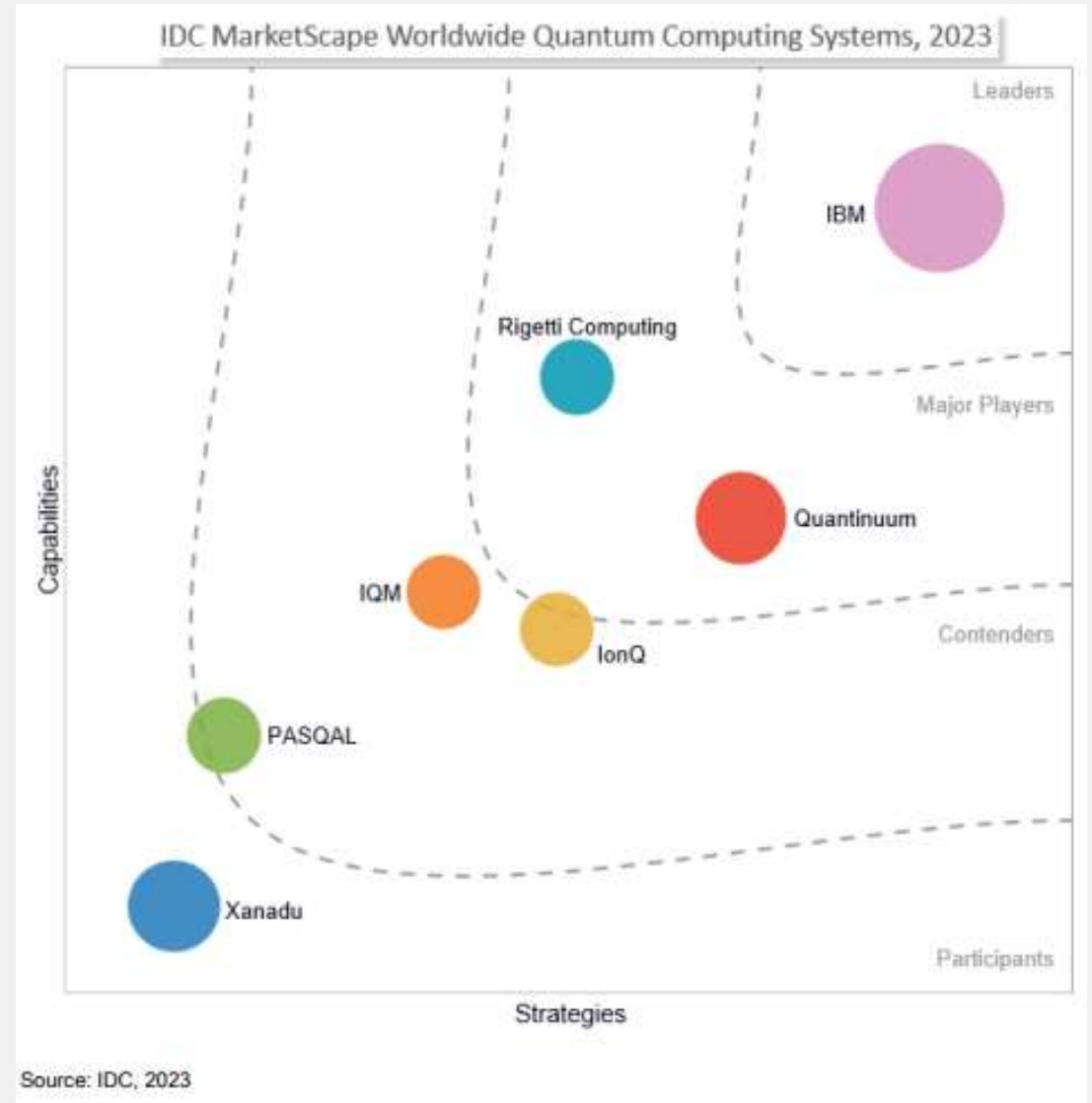
КОМПАНИИ – ЛИДЕРЫ В СФЕРЕ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Мировая оценка поставщиков квантовых вычислительных систем в 2023 году

В отчете IDC "Marketscape Worldwide Quantum Computing Systems 2023 Vendor Assessment" компания IBM названа лидером в области квантовых вычислений по итогам 2023 года*.

Сейчас компания отмечает, что вступила в эпоху **квантовой полезности**. Это означает, что квантовые компьютеры лучше справляются с квантовыми вычислениями, чем классические компьютеры, и могут быть использованы пользователями IBM для открытия новых алгоритмов и поиска квантовых преимуществ.

*https://idcdocserv.com/download/US49607923e_IBM.pdf





Этапы развития квантовых компьютеров в компании IBM

- 2021 год – квантовый процессор IBM Eagle – 127 кубитов;
- 2022 год – квантовый процессор IBM Osprey – 433 кубита
- 2023 год - квантовый компьютер Quantum Heron
 - сверхпроводящий квантовый процессор Condor (**1121 кубит**)
- 2024 год - Процессор R2 Heron

В ноябре 2022 года также представлено обновление **IBM Quantum System Two** – квантовой системы следующего поколения. Она спроектирована как модульная и гибкая, объединяющая несколько процессоров в единую систему с коммуникационными каналами. Эта система станет строительным блоком **квантово-центричных суперкомпьютеров**

IBM планирует создать квантовую систему на 100 000 кубит к 2033 году



В IBM считают, что квантовые процессоры (QPU) будут служить ускорителями для высокопроизводительных компьютеров

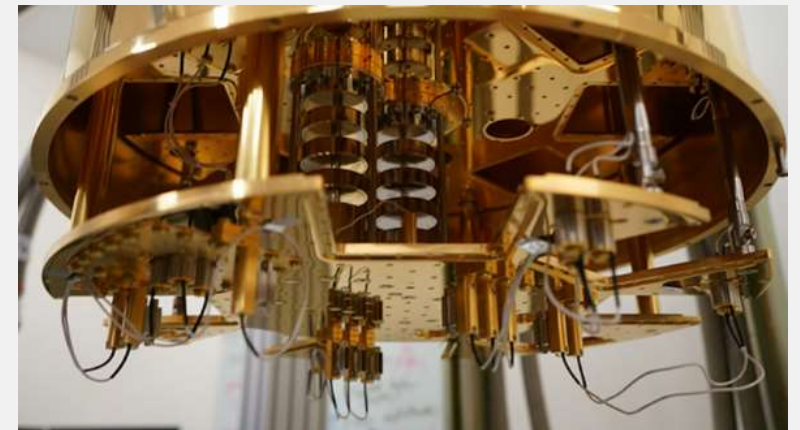


Google Quantum AI - Квантовый чип Willow декабрь 2024 года



Чип Willow демонстрирует коррекцию ошибок и производительность, открывающую путь к полезному крупномасштабному квантовому компьютеру. Компания отмечает, что это самый убедительный **прототип масштабируемого логического кубита**, созданный на сегодняшний день.

Intel – в 2023 году выпущен **12-кубитный кремниевый чип Tunnel Falls** для продвижения исследований кремниевых спиновых кубитов. Квантовый чип следующего поколения ожидается к концу **2025** года.



Процессор Intel Horse Ridge 2,
построенный на кремниевых кубитах



Microsoft совместно с Quantinuum

Сентябрь 2024 года

Создание, запутывание и

масштабирование 12 логических

- кубитов с точностью двухкубитного

вентиля 99,8%. Этот рубеж был

достигнут с помощью машины H2

компании Quantinuum, интегрированной

с системой виртуализации кубитов

Microsoft, и получил известность,

поскольку это был самый высокий

показатель точности, приближающийся

к эталону, известному как «**тройная**

девятка», или порогу точности

отказоустойчивых квантовых

вычислений

NVIDIA

Решения для ускорения квантовых вычислений.

NVIDIA® CUDA-Q- **платформа для гибридных**

квантово-классических компьютеров,

позволяющая интегрировать и программировать

QPU квантовую эмуляцию, GPU и CPU в одной

системе



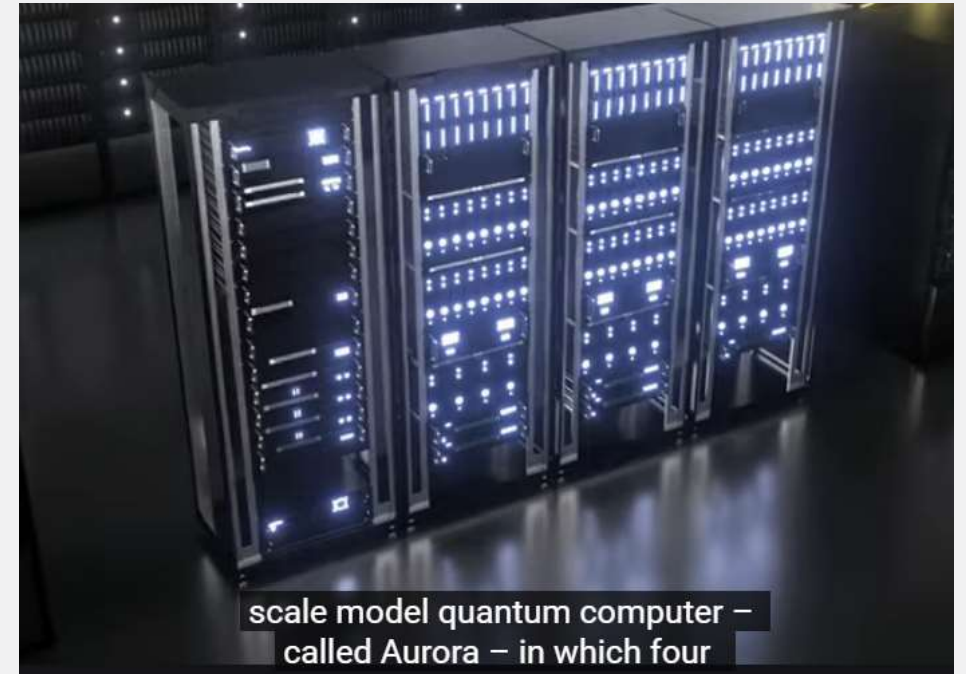


Xanadu Quantum Technologies - канадская компания, занимающаяся аппаратным и программным обеспечением для квантовых вычислений. Архитектура квантовых компьютеров Xanadu является модульной и способна масштабироваться до миллиона кубитов через оптическую сеть

В январе 2025 года компания Xanadu заявила, что достигла мирового лидерства в квантовой вычислительной отрасли, успешно построив **универсальный фотонный квантовый компьютер**, состоящий из четырех модульных и независимых серверных стоек, которые фотонно соединены и объединены в сеть.

Эта 12-кубитная машина, названная **Aurora**, состоит из 35 фотонных чипов и объединенных 13 км оптоволокну, все они работают при комнатной температуре*

* <https://www.xanadu.ai/photonics>



Демонстрация квантового компьютера Aurora в Youtube,
<https://www.youtube.com/watch?v=z0hSw2BC4ml>



В декабре 2024 года. Китай представил квантовый компьютер «**Tianyan-504**» с 504-кубитным чипом «**Xiaohong**».

Квантовый компьютер разработан компанией QuantumSTek в сотрудничестве с Китайской академией наук и запущен China Telecom Quantum Group (CTQG). «Тяньянь-504» установил новый национальный рекорд, **превзойдя порог в 500 кубитов** и будет интегрирован в **квантовую облачную платформу «Tianyan»** компании China Telecom, запущенную в 2023 году, чтобы обеспечить глобальный доступ к возможностям квантовых вычислений.

<https://thequantuminsider.com/2024/12/06/china-introduces-504-qubit superconducting-chip/>

По данным Китайской академии наук данная платформа уже привлекла более 12 миллионов посещений от пользователей более чем из 50 стран.

Представляет облачную платформу и компания Origin Quantum. Цель платформ - сделать квантовые вычисления доступными по всему миру, предоставив исследователям и предприятиям возможность изучать их приложения без необходимости дорогостоящих инвестиций в оборудование

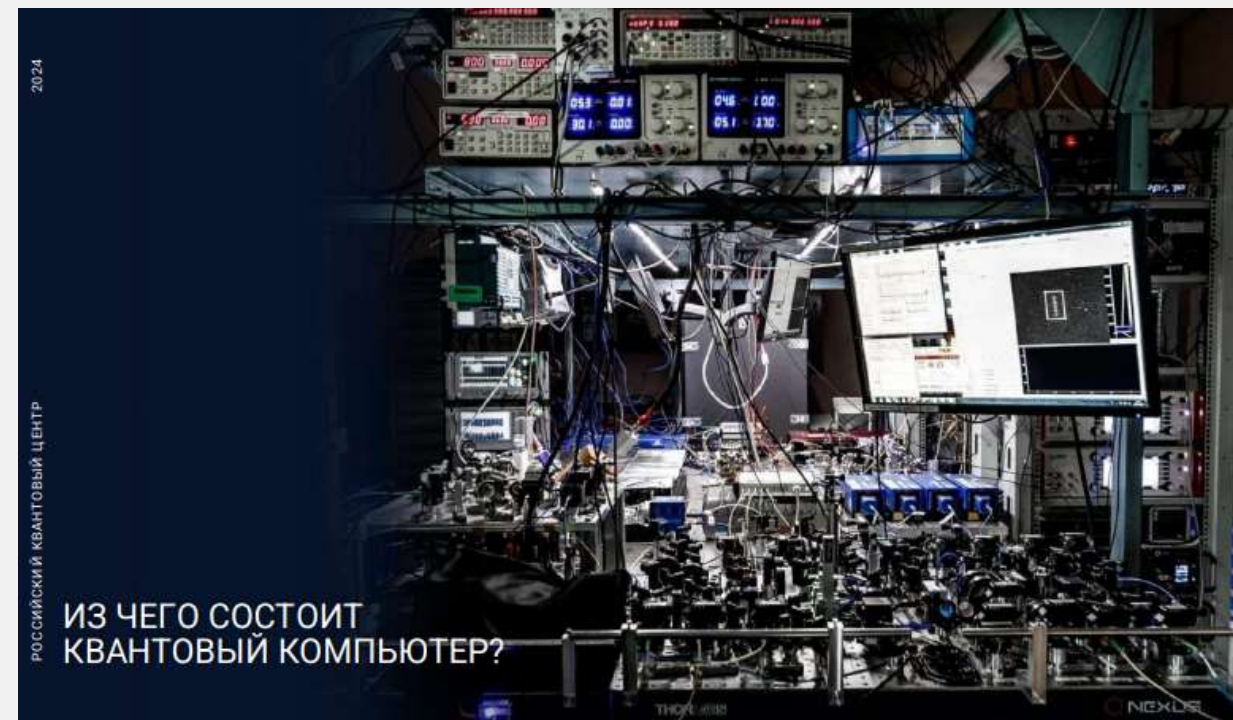




В феврале 2024 г. советник генерального директора «Росатома» сообщил в интервью ТАСС: «Мы разработали 20-кубитный квантовый компьютер. Мы его реализовали на ионной платформе. Также у нас есть 25-кубитный компьютер на атомной платформе. Но качество операций лучше на ионной платформе».

В конце 2024 года российские ученые создали **50-кубитный ионный квантовый компьютер**, отыграв отставание от лидеров квантовой гонки, которое, по некоторым оценкам, было порядка 20 лет*

*<https://www.kp.ru/daily/27679/5069044/>



Источник: презентация компании РКЦ в Астане 07.11.2024

16-кубитный квантовый компьютер компания **РКЦ** разработала в июле 2023 года



Компания **PASQAL** считает себя мировым лидером в области квантовых вычислений на основе **нейтральных атомов**.

В 2024 году PASQAL уже поставляет квантовые компьютеры конечным пользователям с более чем 100 кубитами.

Достижения компании

- Успешная загрузка более 1000 атомов за один выстрел в квантовой вычислительной установке в криогенной среде при температуре 6 К

Компания разработала аппаратно-ускоренные алгоритмы с возможным использованием в производственной среде, начиная с 2025 года.

- План развития PASQAL предполагает создание 10 000 кубитов к 2026 году с масштабируемой архитектурой логических кубитов.**



В марте 2025 года компания подписала контракт с EuroQCS-Italy на поставку квантового компьютера в Италию

МИР ДВИЖЕТСЯ К «КВАНТОВОМУ РАЗРЫВУ»



Эксперты ВЭФ ещё в январе 2023 года обращали внимание на проблему возрастающего квантового разрыва между странами и важность квантовых технологий для развития отраслей экономики и обеспечения безопасности.

*«Неравный доступ к квантовым технологиям имеет негативные геополитические последствия, подвергая те страны, чьи квантовые программы менее развиты, риску дальнейшего отставания»**

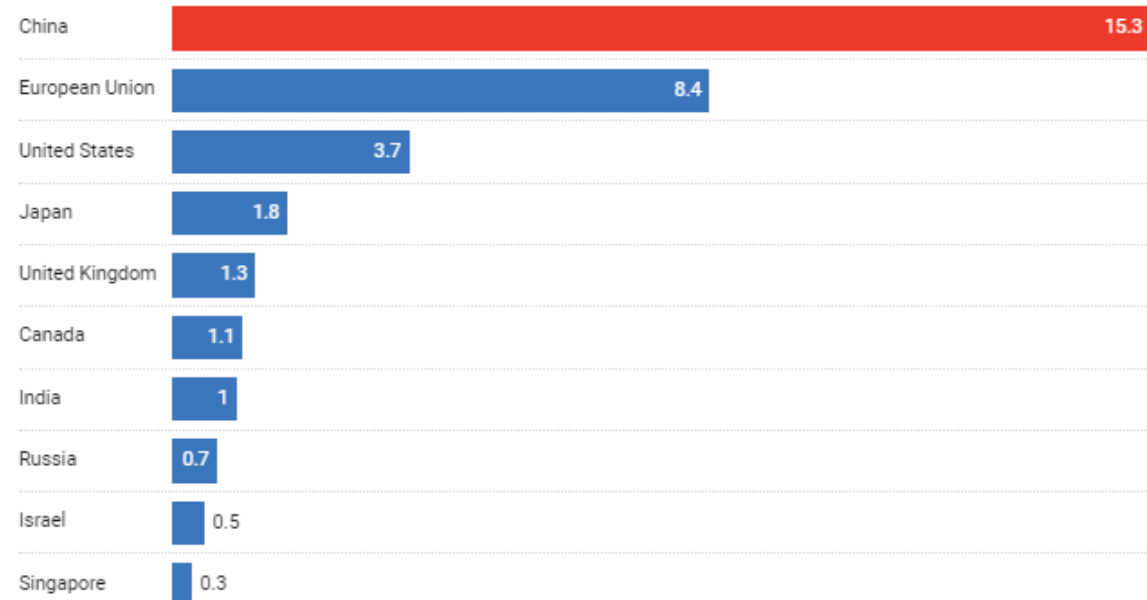
В настоящее время около 30 стран мира имеют свои национальные стратегии или квантовые инициативы (см. сайт Академии). Казахстан не входит в их число.

*<https://www.weforum.org/agenda/2023/01/the-world-quantum-divide-why-it-matters-davos2023>

Государственные инвестиции в квантовые технологии по данным McKinsey за 2022 год

Announced Government Investment in Quantum Technologies through 2022

Billions of US\$



Note: Based on estimates of announced figures.

Source: CSIS China Power Project; McKinsey & Company

Источник: <https://chinapower.csis.org/china-quantum-technology/>



1. Кибербезопасность

По данным Министерства внутренней безопасности США, отказоустойчивый квантовый компьютер может быть способен взломать текущее шифрование, используемое для криптографии с открытым ключом, уже к 2030 году

2 Квантовое моделирование и оптимизация

Моделируя сложные молекулярные процессы, квантовое моделирование позволит добиться прорывов в **фармакологии** (разработка жизненно важных лекарств) и материаловедении (химикаты, необходимые для промышленности, химия аккумуляторов и т. д.). Прорывы в квантовой оптимизации также могут оказать влияние на **финансовый сектор** (анализ рисков и оптимизация финансового портфеля).

:

3. Квантовое зондирование

Квантовые датчики обладают необычайно тонкими возможностями. Когда эти датчики объединяются с искусственным интеллектом, который может сортировать огромные объемы данных, которые они генерируют, могут быть созданы захватывающие новые приложения. К ним относятся усовершенствованная технология медицинской визуализации, разведка природных ресурсов и глобальная навигация без спутников GPS

Май 2024 г.

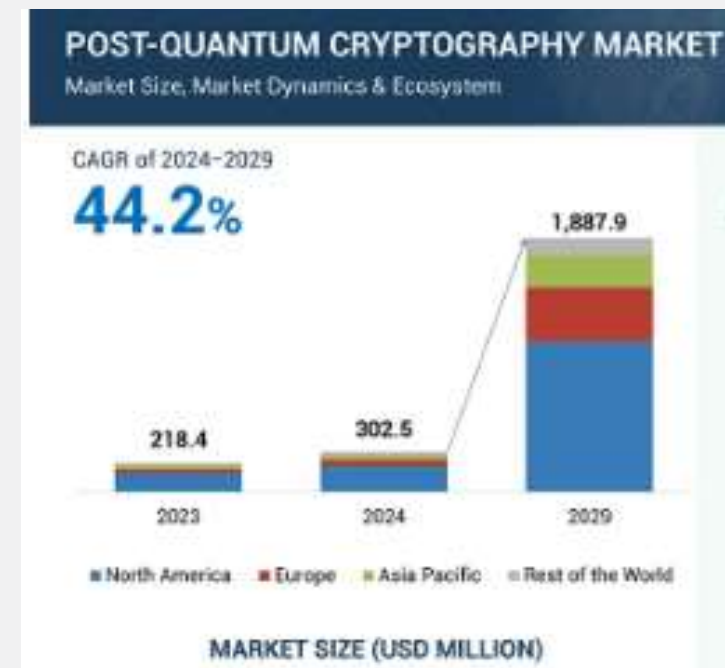
Впервые в мире была успешно испытана в коммерческом полете технология квантовой навигации, разработанная в Великобритании





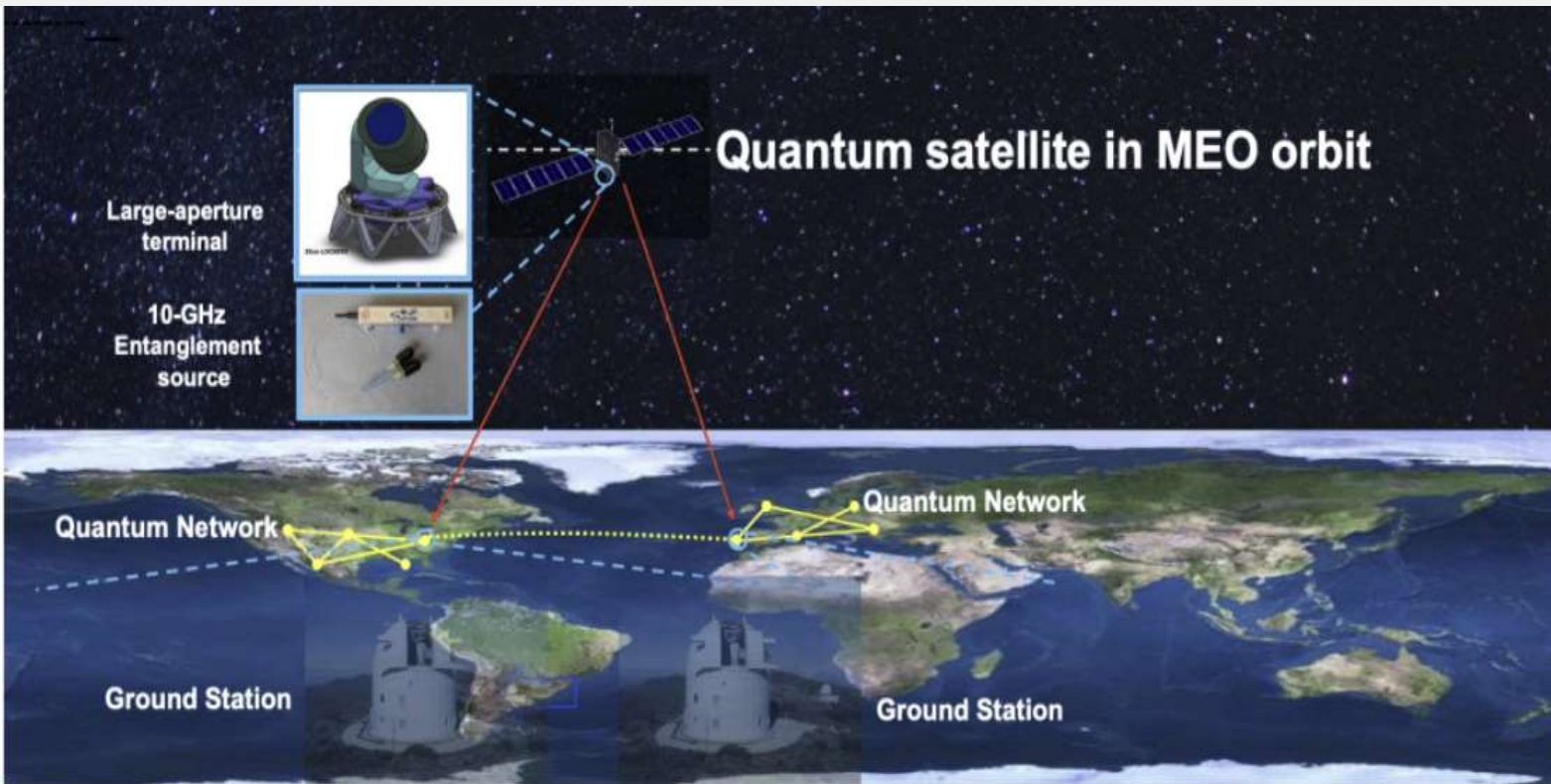
4. Постквантовая криптография (PQC) :
защита данных, устойчивая к рискам
дешифрования квантовых вычислений (QC).

Quantum Insider прогнозирует рост рынка ,
постквантовой криптографии до 1,88 млрд.
долларов США к 2029 году при среднегодовом
темпе роста + 44,2%



<https://www.marketsandmarkets.com/>

Источник: <https://www.gartner.com/en/articles/top-technology-trends-2025>



НАСА на протяжении многих десятилетий является пионером в области космической связи, а в последнее время вышла на лидирующие позиции в области **космической квантовой связи**, выделяя новые ресурсы для ученых, инженеров и экспертов по системам связи, чтобы они могли изучать эту область

Концепция миссии NASA SCaN M2.0 для межконтинентальной квантовой связи



2024 год

Обзор мирового опыта и российских компаний

2021 год

IBM и клиника Кливленда открыли совместный центр Discovery Accelerator для проведения исследований в области биологии и здравоохранении с использованием высокопроизводительных квантовых вычислений и технологий искусственного интеллекта.

2023 год

В Израиле появился квантовый центр для здравоохранения и наук о жизни, сооснователями которого стали компания NVIDIA, израильский стартап Classiq, а также расположенная в Тель-Авиве клиника Ихилов (Сураски) — одна из первых в мире, начавшая внедрение технологий искусственного интеллекта в медицине.

Опыт российских компаний

Разработана методика сборки генома с использованием квантовых алгоритмов



Квантовое машинное обучение в медицине и др.



Summary of NATO Quantum Strategy

(первая в истории НАТО квантовая стратегия)

Стратегическое видение:

Альянс, готовый к квантовым технологиям

3. Чтобы стать готовым к квантовым технологиям альянсом, НАТО и союзники будут способствовать развитию безопасной, устойчивой и конкурентоспособной **квантовой экосистемы**, способной реагировать на быстрый темп технологической конкуренции в квантовой отрасли. Это требует согласованности в инвестициях, сотрудничества между союзниками в возможностях развития технологий, **развития и защиты квалифицированной рабочей силы, а также повышения ситуационной осведомленности и обмена информацией**. Это также потребует разработки и внедрения критически важных технологий, необходимых для квантовых технологий. Не менее важно сдерживать и защищать наши собственные системы и сети от квантовых и других атак

Резюме стратегии опубликовано 17.01.2024 г.

https://www.nato.int/cps/en/natohq/official_texts_221777.htm



В НАТО перевели свои криптографические системы на квантово-безопасную криптографию

С 13 августа 2024 года утверждены спецификации для первых трех алгоритмов PQCS, у НАТО теперь есть набор протоколов PQCS для быстрой работы.

2025 ГОД ОБЪЯВЛЕН ООН ГОДОМ КВАНТОВОЙ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ



100 лет назад были открыты принципы квантовой механики, которые привели к так называемой **«первой квантовой революции»**. С ней связывают появление лазеров, транзисторов, ядерного оружия и атомной энергетики. Технологии, основанные на принципах квантовой механики применяются в компьютерах, мобильных телефонах, планшетах, системах связи, МРТ-сканерах и других приборах.

По различным экспертным оценкам объем индустрии «первой квантовой революции» в денежном выражении составляет более **3-х триллионов долларов США в год***

* <https://digital.gov.ru/uploaded/files/07102019kvantyi.pdf>

Лазеры

Основываясь на работах Эйнштейна и Поля Дирака, во второй половине XX века был создан **лазер** (от английского «light amplification by stimulated emission of radiation» - усиление света посредством вынужденного излучения) - **квантовый источник** монохроматического излучения, собранного в узкий пучок большой интенсивности *.

Полупроводниковые материалы

Миниатюризация лазеров стала возможной благодаря активным исследованиям полупроводниковых материалов, свойства которых описаны с помощью квантовой механики.

Транзисторы полупроводниковые - основа современной микроэлектроники

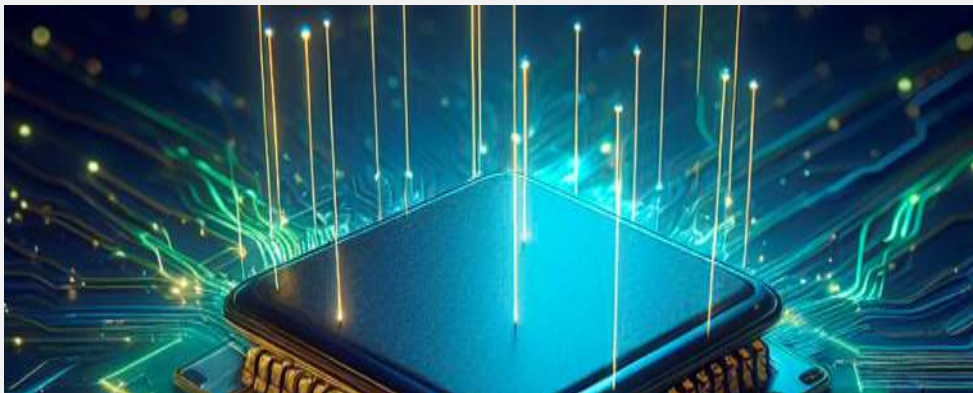
Телекоммуникационные лазеры используются для передачи информации в сети интернет

Ядерная физика - одно из направлений квантовой физики и т.д.

*<https://naked-science.ru/article/physics/quantum-revolution-1>

International Year of Quantum Science and Technology (IYQ). - это глобальная инициатива ООН, направленная на признание важности квантовой науки и техники в области науки и образования.

Она призвана отметить вклад квантовой науки в технический прогресс за прошедшее столетие, а также **повысить знания людей** разных стран о важности квантовой науки и техники для реализации целей устойчивого развития стран мира.



Системы спутниковой навигации GPS, ГЛОНАСС базируются на системах точного времени.

«С 1967 года определение интервала времени в одну секунду четко связано с абсолютно квантовым переходом электрона между двумя уровнями в атоме цезия»

Член-корреспондент РАН, д.т.н., Н.Н.Колачевский

*«Квантовая механика описывает законы микромира, которым нет аналогов в нашем макром мире. Поэтому протекающие процессы несовместимы с нашими представлениями об окружающем мире, их можно объяснить только с помощью уравнений. Использование квантовых эффектов в реальном мире привело к новому термину- **квантовая макрофизика**»*

Академик РАН А. Сергеев



БЛАГОДАРИМ ЗА ВНИМАНИЕ!

Насенкова Людмила Владимировна

analitika2050@gmail.com

Моб. +7(705) 614 -11-88

