



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ПРЕЗИДЕНТИНІҢ ЖАНЫНДАГЫ  
**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

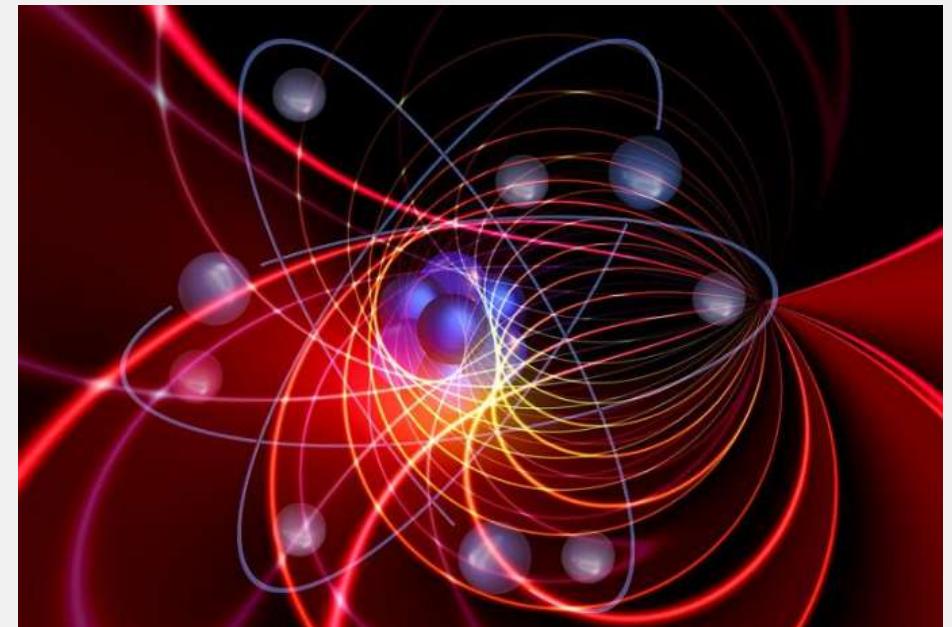


**Квантовые технологии** - это технологии создания вычислительных систем, которые основываются на новых принципах (квантовых эффектах) и позволяют кардинально изменить способы передачи и обработки больших массивов информации

# 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>

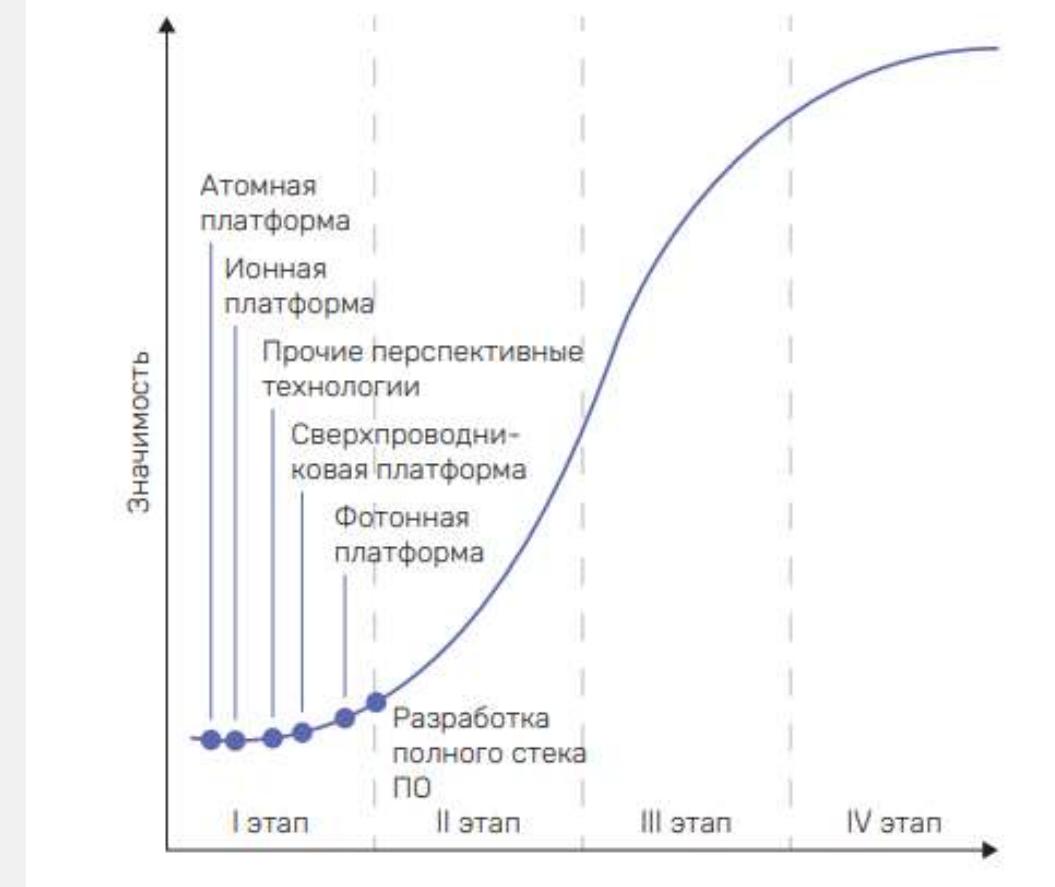


# КВАНТОВОЕ ПРЕВОСХОДСТВО

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»



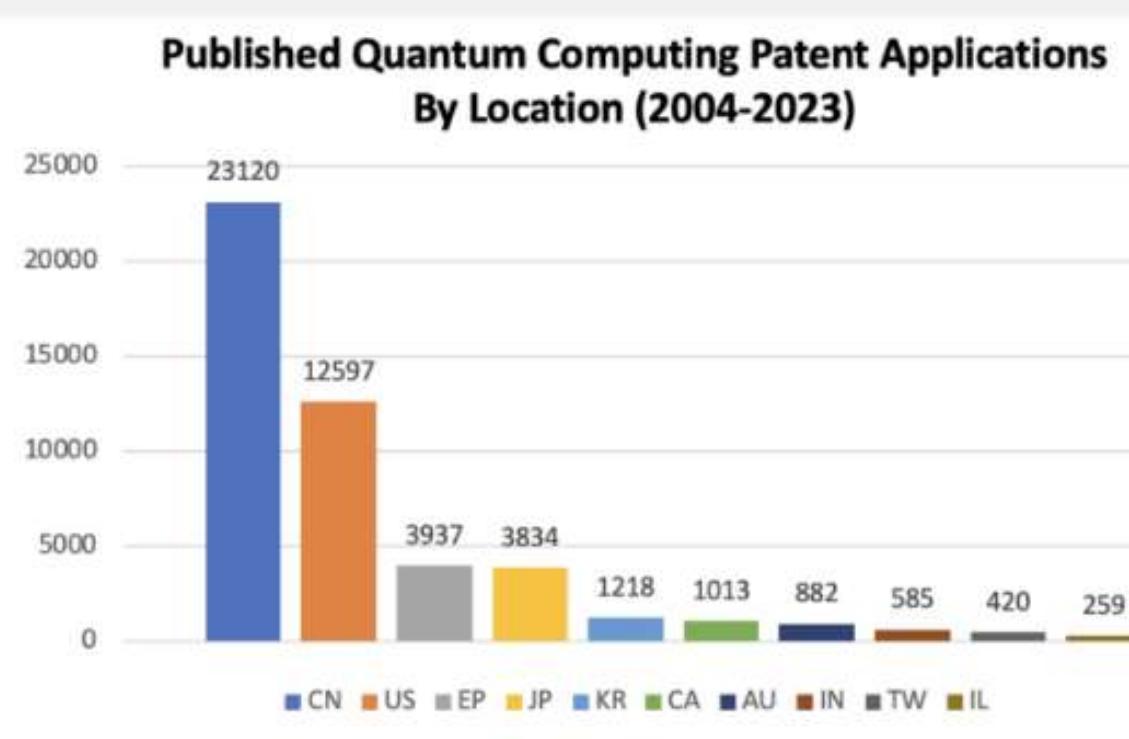
Источник: «Белая книга по развитию высокотехнологичных направлений», ВШЭ

# СТРАНЫ - ЛИДЕРЫ В СФЕРЕ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

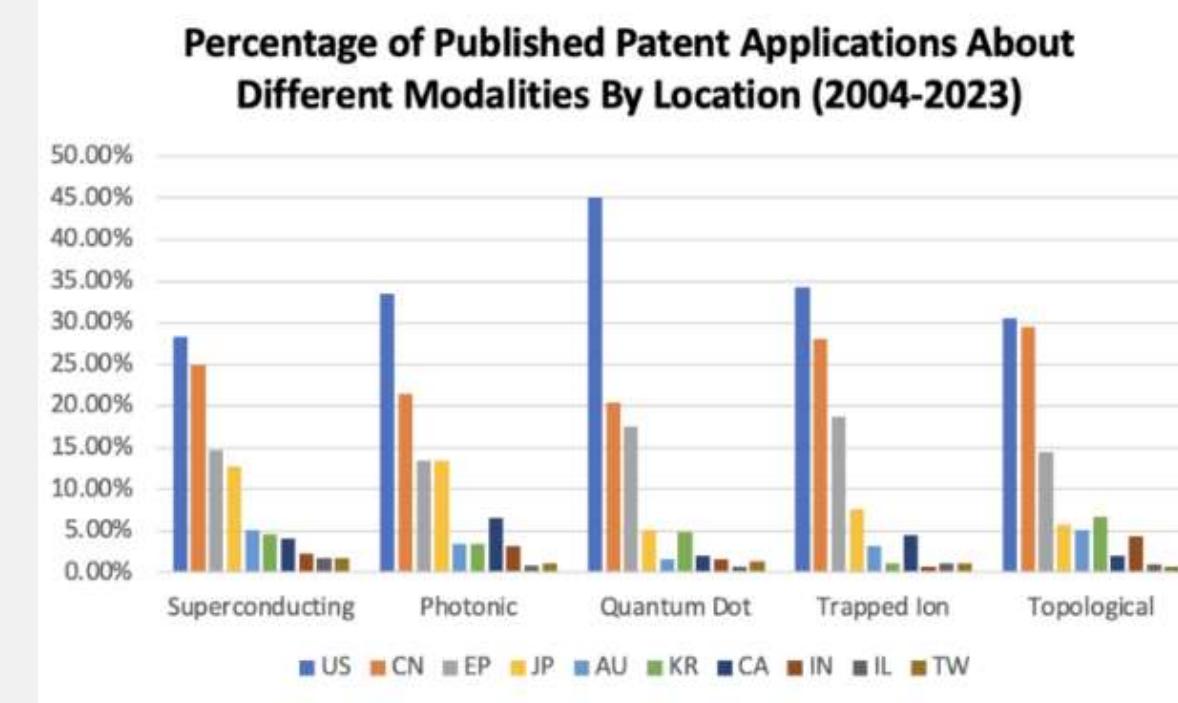


Лидерами в области квантовых вычислений в мире являются США и Китай

## Распределение патентных заявок по странам



## Патенты по видам вычислений и странам



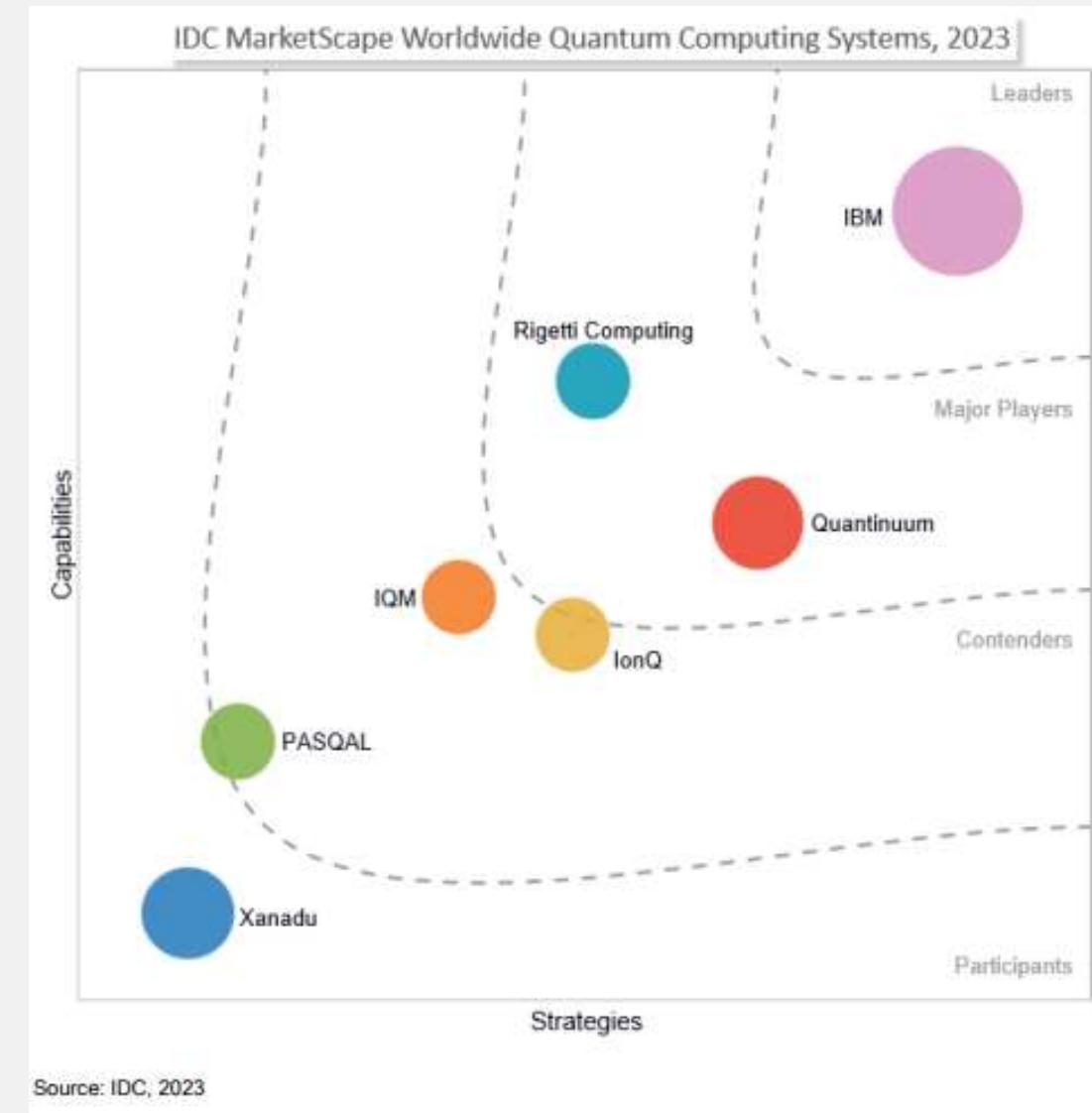
Источник :<https://ipwatchdog.com/2024/02/13/patent-landscape-quantum-computing-survey-patenting-activities-different-physical-realization-methods/id=173303>

# 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](https://idcdocserv.com/download/US49607923e_IBM.pdf)



# КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ. КОМПАНИЯ IBM

## 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**



Дарио Джил, Джей Гамбетта и Джерри Чоу держат новый процессор IBM Osprey емкостью 433 кубита

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



# КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ. КОМПАНИИ США

**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



## КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ. КОМПАНИИ США.

### Microsoft совместно с Quantinuum

Сентябрь 2024 года

Создание, запуск 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 кванто-классических компьютеров**, позволяющая интегрировать и программировать QPU квантовую эмуляцию, GPU и CPU в одной системе





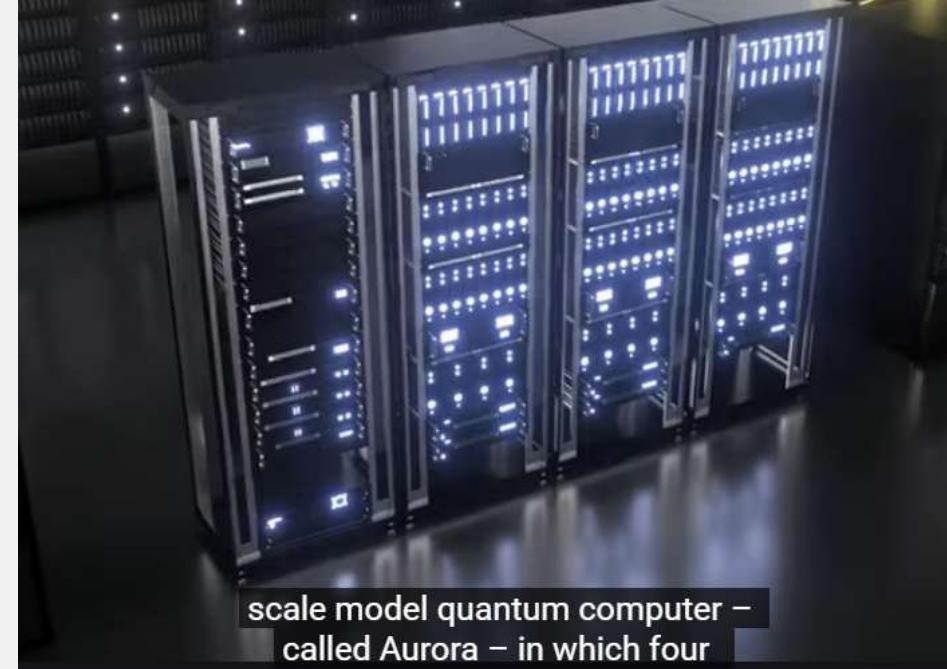
## КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ. КАНАДА.

**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 оптоволокна, все они работают при комнатной температуре\*

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



Демонстрация квантового компьютера Aurora в Youtube,  
<https://www.youtube.com/watch?v=z0hSw2BC4mI>



# КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ. КИТАЙ.

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

Квантовый компьютер разработан компанией QuantumCTek 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



# КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ. РОССИЯ



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\*



Источник: презентация компании РКЦ в Астане 07.11.2024

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

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



## КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ. ФРАНЦИЯ

**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.**

<https://www.pasqal.com/news/pasqal-announces-new-roadmap-focused-on-business-utility-and-scaling-beyond-1000-qubits-towards-fault-tolerance-era/>



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

# МИР ДВИЖЕТСЯ К «КВАНТОВОМУ РАЗРЫВУ»



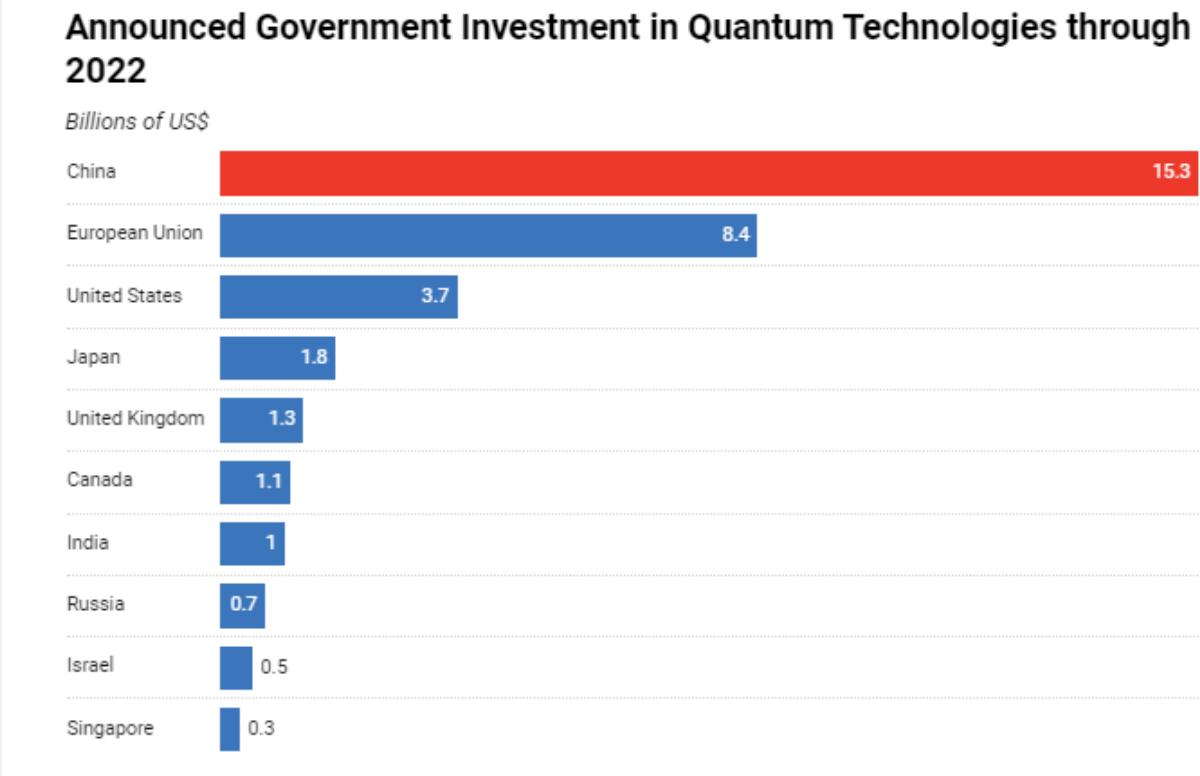
Эксперты ВЭФ ещё в январе 2023 года обращали внимание на проблему возрастающего квантового разрыва между странами и важность квантовых технологий для развития отраслей экономики и обеспечения безопасности.

*«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



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

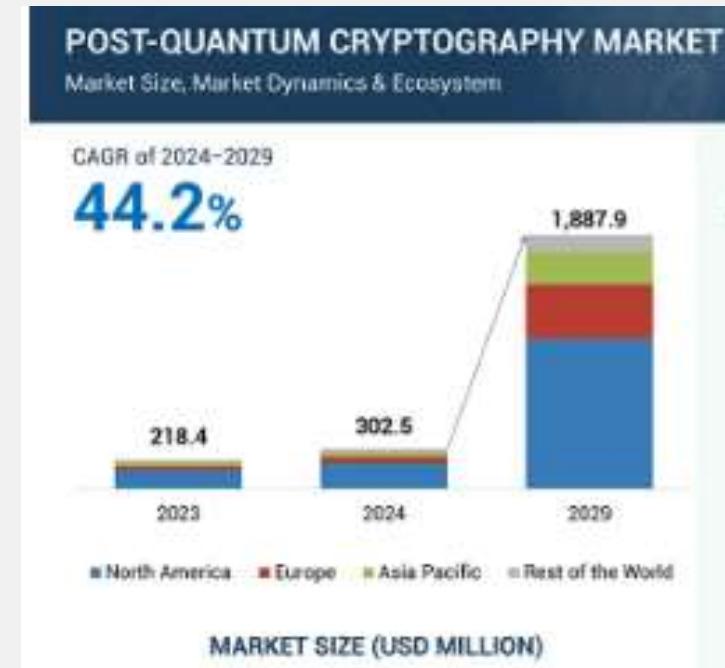
**Май 2024 г.**

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





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

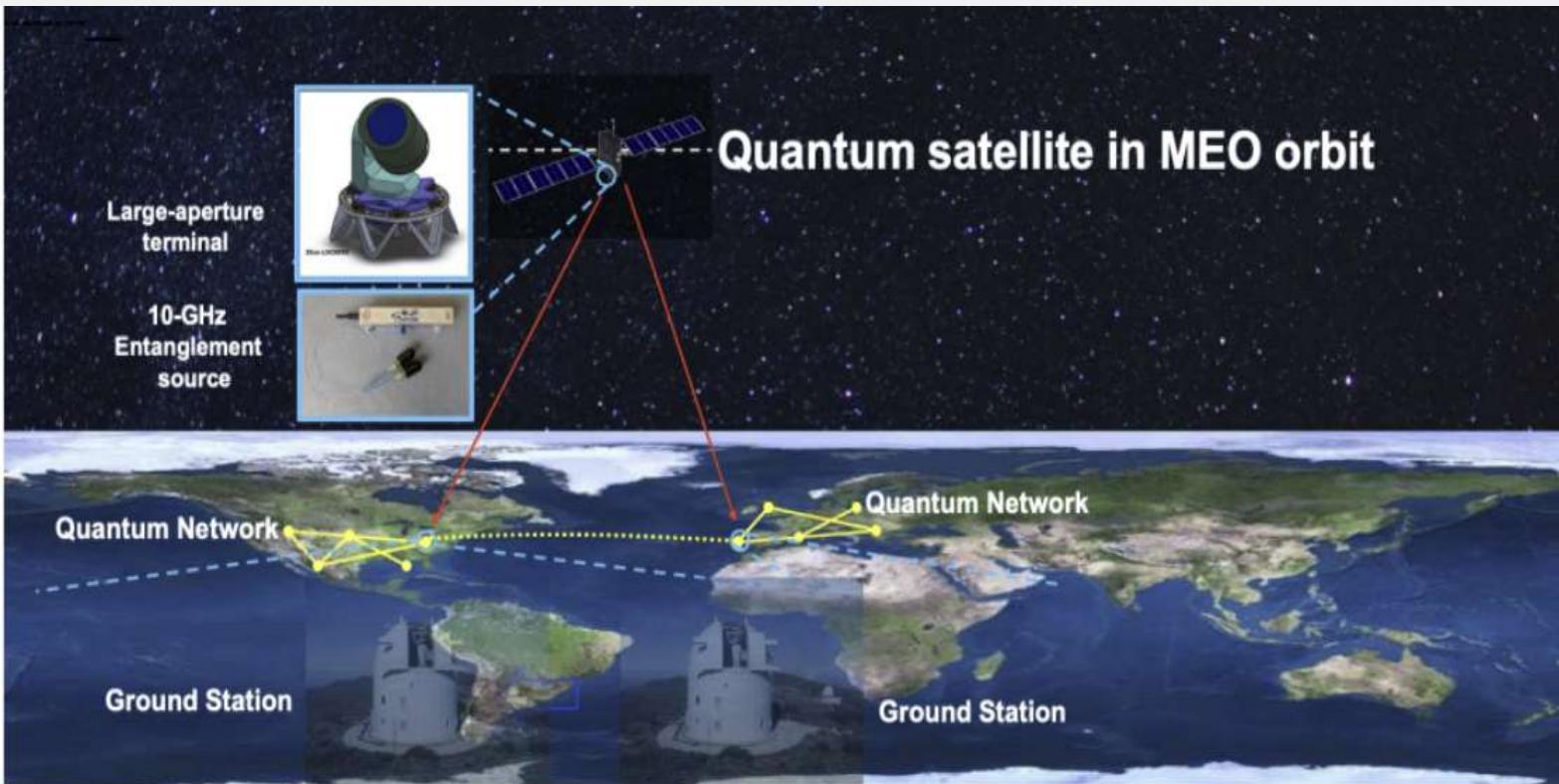


**4. Постквантовая криптография (PQC) :**  
защита данных, устойчивая к рискам  
дешифрования квантовых вычислений (QC).

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

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

# КОСМИЧЕСКАЯ КВАНТОВАЯ СВЯЗЬ



Концепция миссии NASA SCaN M2.0 для межконтинентальной квантовой связи

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



ФОРУМ  
БУДУЩИХ  
ТЕХНОЛОГИЙ

РОСКОНГРЕСС  
Форумырую

Соорганизаторы

КВАНТОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
для МЕДИЦИНЫ

ГАЗПРОМБАНК

ГРАНТИТЕЛЛО  
РОСАМ

## Квантовые технологии для медицины

Новые подходы в вычислениях,  
захите данных и сенсорике

2024 год

## Обзор мирового опыта и российских компаний

2021 год

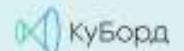
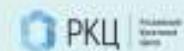
IBM и клиника Кливленда открыли совместный центр Discovery Accelerator для проведения исследований в области биологии и здравоохранения с использованием высокопроизводительных квантовых вычислений и технологий искусственного интеллекта.

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



В НАТО перевели свои криптографические системы на квантовобезопасную криптографию

С 13 августа 2024 года утверждены спецификации для первых трех алгоритмов PQC, у НАТО теперь есть набор протоколов PQC 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

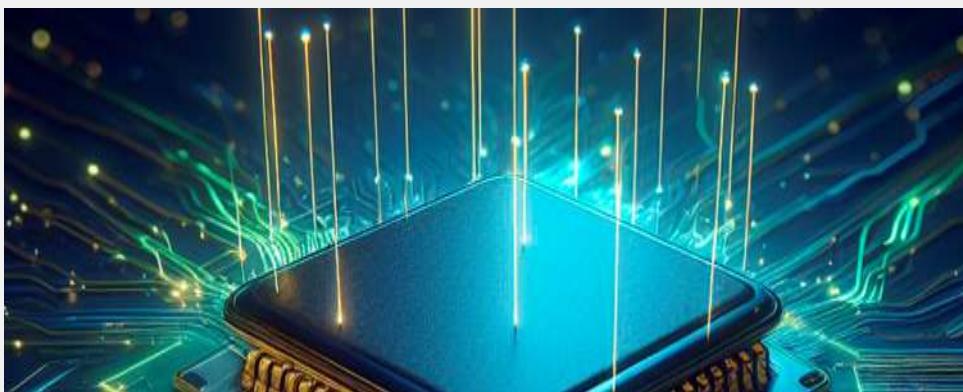
**Ядерная физика** - одно из направлений квантовой физики и т.д.

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

# 2025 ГОД - МЕЖДУНАРОДНЫЙ ГОД КВАНТОВОЙ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

*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 абсолютным 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 макромире. 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](mailto:analitika2050@gmail.com)

Моб. +7(705) 614 -11-88

