



ДЕПАРТАМЕНТ ИНВЕСТИЦИОННОЙ
И ПРОМЫШЛЕННОЙ ПОЛИТИКИ
ГОРОДА МОСКВЫ



ГОРОДСКОЕ АГЕНТСТВО
УПРАВЛЕНИЯ ИНВЕСТИЦИЯМИ

investmoscow.ru

ИНВЕСТИЦИОННЫЙ ПОРТАЛ ГОРОДА МОСКВЫ

КВАНТОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

СПЕЦВЫПУСК

ОБЛАСТИ
ПРИМЕНЕНИЯ
КВАНТОВЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ

стр. 12

РАЗВИТИЕ
КВАНТОВЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ
В МИРЕ

стр. 23

КВАНТОВЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ
В РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

стр. 38



Ефимов Владимир Владимирович

**Заместитель Мэра Москвы в Правительстве
Москвы по вопросам экономической политики
и имущественно-земельных отношений**

За последние несколько лет промышленность вошла в число приоритетных направлений столичной экономики. Сегодня предприятия создают и предлагают рынку совершенно новые виды товаров, расширяют производственные мощности. Все это действительно важно с точки зрения инвестиций, рабочих мест, налоговых отчислений, уровня зарплат.

Одновременно с этим Москва работает над тем, чтобы предприятия развивали научную и инновационную деятельность, внедряли и создавали конкурентоспособные технологии будущего. Именно такой подход позволит не просто решить задачи импортозамещения, а создавать собственные инновационные платформы.

Столица внимательно следит за трендами и активно привлекает научно-исследовательские центры к разработке новых решений для промышленности. Это позволяет приземлять на территории города высокотехнологичные производственные площадки, порой не имеющие аналогов в мире.

Драйверами становятся такие отрасли, как фотоника и микроэлектроника, электромобилестроение. Не менее перспективной остается квантовая сфера, которая уже стала определяющим вектором мирового технологического развития.

Содержание

01

Введение

стр. 05

02

Квантовые компьютеры

стр. 08

США

Канада

Китай

Япония

03

Области применения квантовых технологий

стр. 12

Промышленность

Энергетика

Медицина

Финансовый сектор

Логистика

Оборонный сектор

Телекоммуникации

Кибербезопасность

04

Развитие квантовых технологий в мире

стр. 23

США

ЕС

Китай

Канада

Индия

05

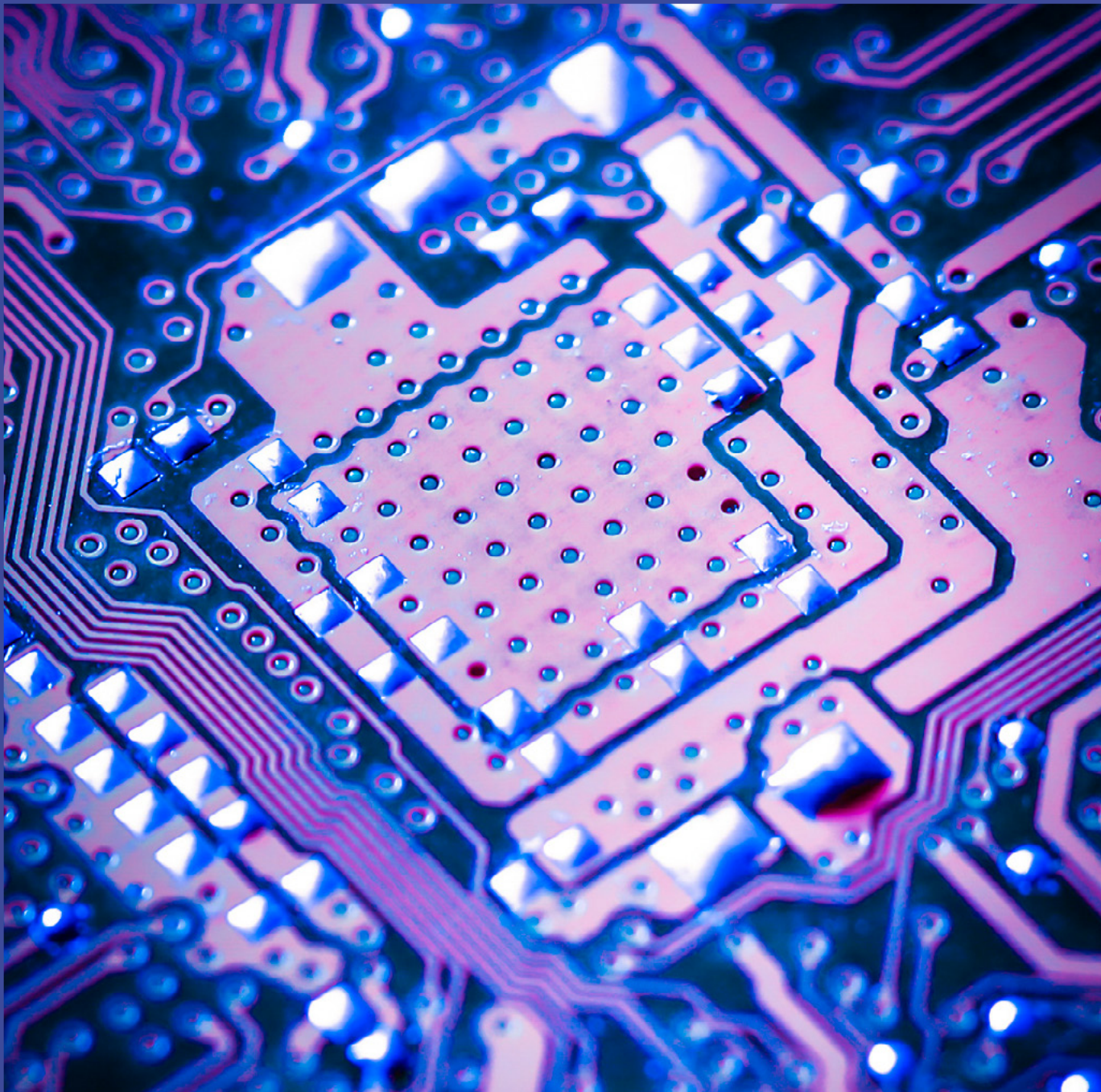
Квантовые технологии в Российской Федерации

стр. 38

06

Интервью с Алексеем Федоровым

стр. 47



01

ВВЕДЕНИЕ

Квантовая физика и ее основные теории зародились в первой половине XX века. Развитию квантовых технологий способствовали труды Макса Планка, Макса Борна, Эрвина Шрёдингера и др.

История квантовых вычислений началась в 1980-е гг., когда американский физик Пол Бениофф предложил модель квантового компьютера. В тот же период идею квантового компьютера представил советский ученый Юрий Манин.

Кубит — квантовая частица, играющая роль бита в квантовом компьютере. В отличие от бита, который имеет значение «1» или «0» в момент передачи, кубит не имеет определенного значения до момента измерения.

РАЗНОВИДНОСТЬ КВАНТОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

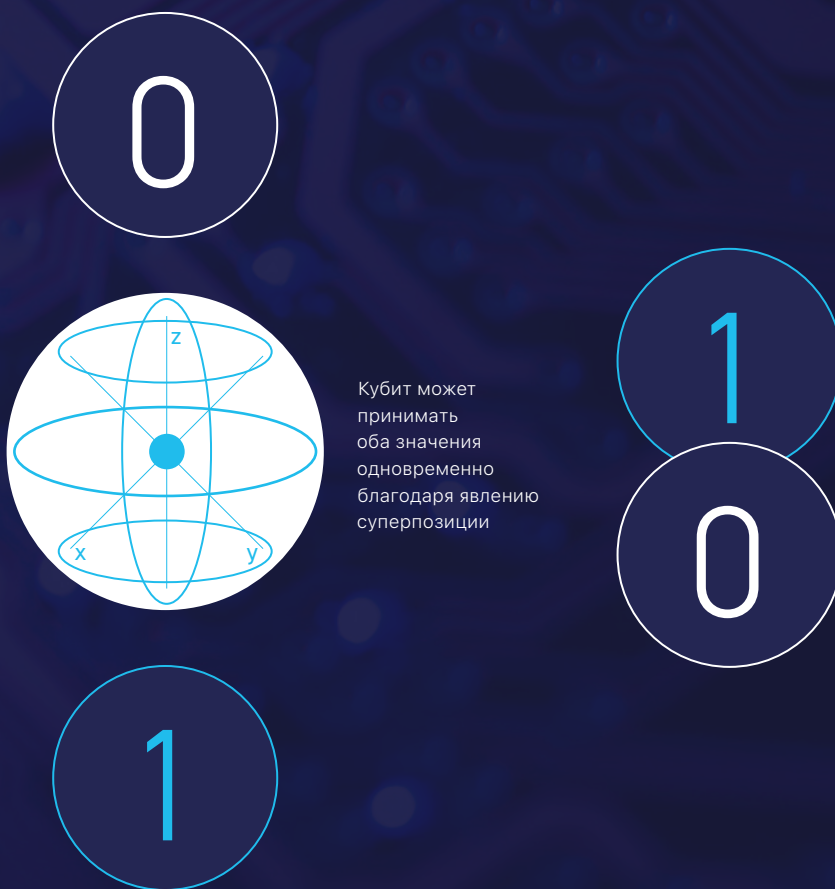
Квантовые вычисления. В классических вычислениях компьютер обрабатывает информацию, закодированную с помощью битов — последовательности чисел 0 и 1. Квантовые компьютеры кодируют информацию в виде кубитов — квантовых битов. Они быстрее классических компьютеров, потому что могут выполнять параллельно несколько вычислений. Это достигается благодаря свойствам кубитов, которые могут быть равными нулю и единице одновременно.

Бит



Бит может принимать только одно значение - «0» или «1»

Кубит

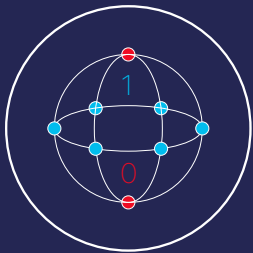


Кубит может принимать оба значения одновременно благодаря явлению суперпозиции

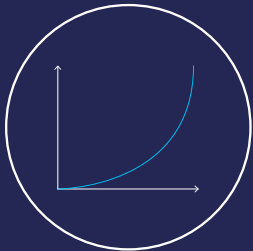
730

МЛН ДОЛЛ.
СШАСТОИМОСТЬ МИРОВОГО РЫНКА
КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В 2022 Г.

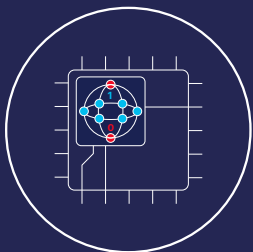
КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ



Вычисления происходят с помощью кубитов, которые могут одновременно приобретать значения «0» и «1»



Мощность увеличивается экспоненциально при добавлении кубитов

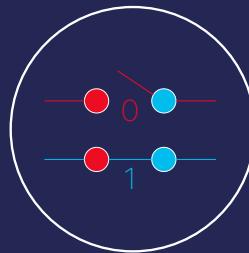


Квантовые компьютеры имеют высокую частоту ошибок и требуют экстремально низких температур

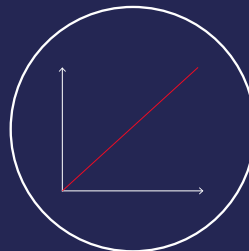


Используются для анализа данных и моделирования процессов

КЛАССИЧЕСКИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ



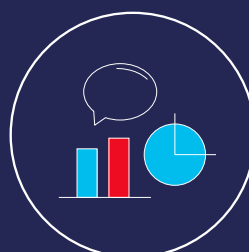
Вычисления происходят с помощью транзисторов, которые передают значение «0» или «1»



Мощность увеличивается пропорционально количеству транзисторов в соотношении 1:1

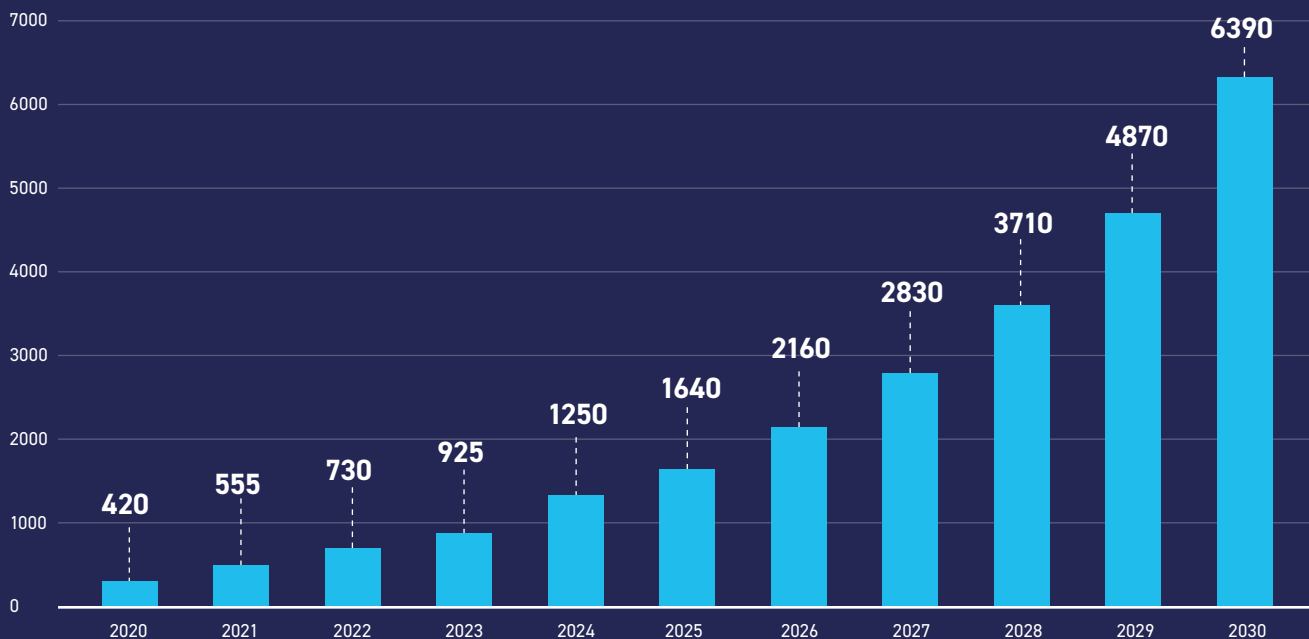


Классические компьютеры имеют низкий процент ошибок и могут работать при комнатной температуре



Классические компьютеры лучше справляются с большинством вычислительных операций

Динамика изменения объема мирового рынка квантовых вычислений в 2020-2030 гг. (в млн долл. США)



Квантовая связь. Квантовые технологии применяются для передачи данных и обеспечивают более безопасную и защищенную от несанкционированного доступа сеть. Информация в квантовых сетях защищена с помощью квантовой криптографии. Квантовая связь может использоваться для передачи данных в банковском, энергетическом и других секторах.

Наиболее распространенной технологией защиты является квантовое распределение ключей. При применении данной технологии 2 пользователя генерируют общий криптографический

ключ с помощью кубитов. Законы квантовой механики не допускают копирования комбинации частиц: когда кубит перехватывают, он меняет свое значение. Благодаря этому при несанкционированном доступе к сети невозможно извлечь информацию. Вместо нее на выходе получается случайный набор чисел.

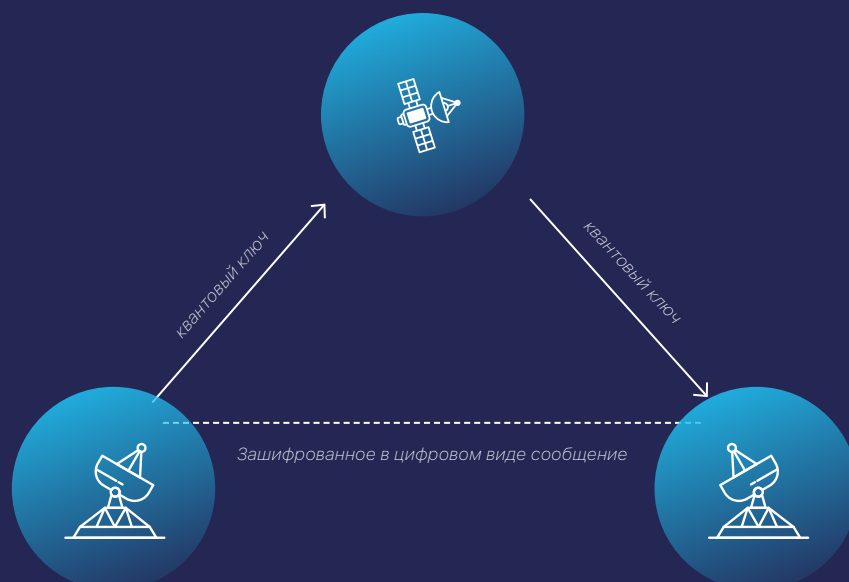
Квантовое зондирование. Это передовая сенсорная технология на основе квантовых технологий. Квантовые датчики способны измерять показатели с чувствительностью, в разы превышающей традиционные устройства.

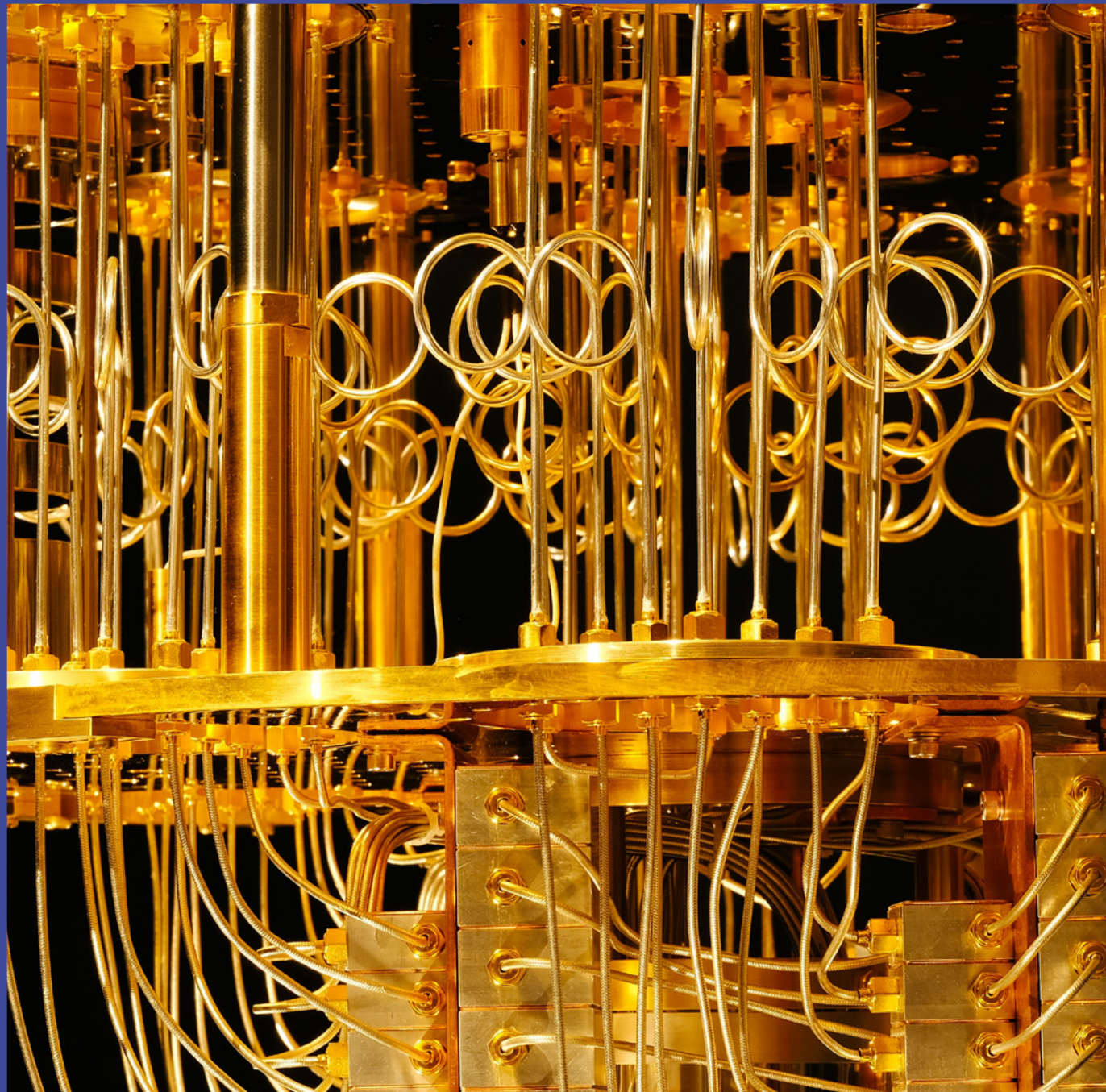
Они обеспечивают более быструю и точную работу систем геолокации, навигации транспортных средств, обнаружения тектонических сдвигов.

Квантовое моделирование. Квантовые компьютеры могут использоваться для моделирования физических процессов. Так, в химической отрасли квантовые технологии можно использовать для создания новых материалов и лекарств. В 2020 г. исследователи Google впервые смоделировали химическую реакцию с помощью квантового компьютера.

УСТРОЙСТВО КВАНТОВОЙ СВЯЗИ

В наиболее распространенной технологии квантовой связи для передачи данных на несколько сотен километров применяются оптическое волокно. Чтобы передать данные на расстояние свыше 1 тыс. километров, используются спутники и наземные станции: зашифрованное с помощью квантовых технологий сообщение передается на спутник. Затем спутник отправляет его получателю.

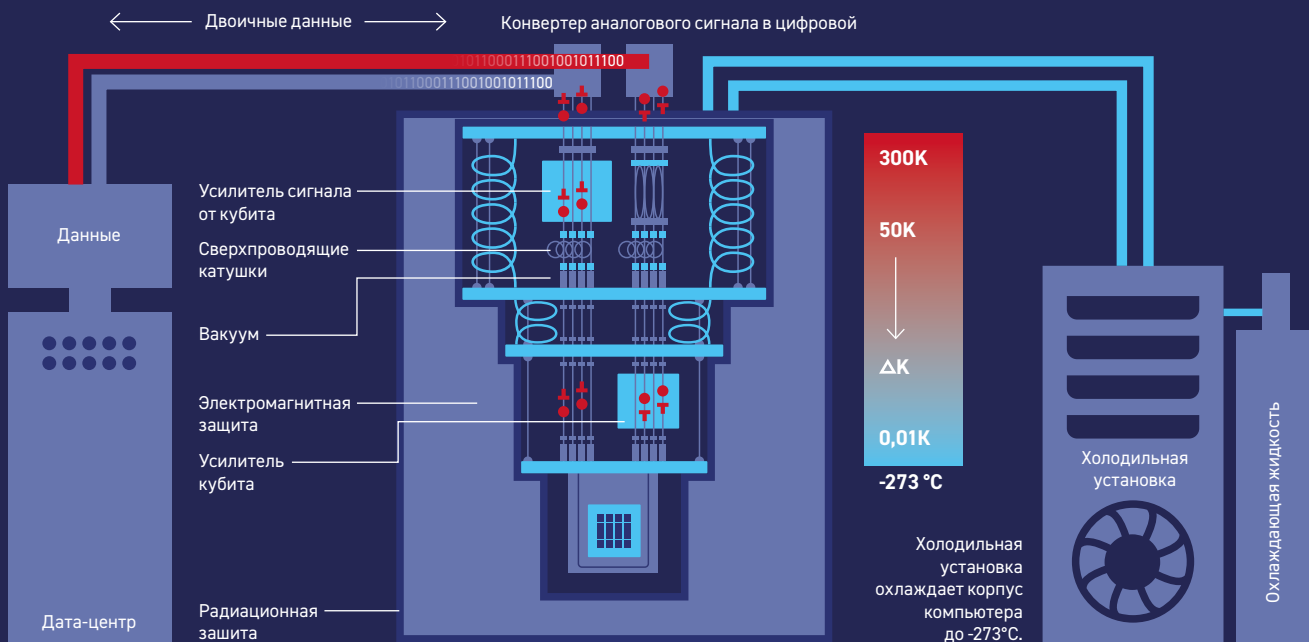




02

КВАНТОВЫЕ КОМПЬЮТЕРЫ

Устройство квантового компьютера



Усилитель сигнала позволяет корректно считывать данные от квантового процессора. Передача сигнала напрямую затрудняется из-за наличия посторонних шумов и небольшой энергии кубитов

Электромагнитная и радиационная защита и холодильная установка обеспечивают стабильную работу кубитов, подверженных воздействию внешней среды

Квантовый компьютер — это тип компьютера, который работает на основе законов квантовой механики. Благодаря этому он выполняет вычисления эффективнее обычного компьютера: если обычные компьютеры хранят и обрабатывают данные в двоичных битах, то квантовые компьютеры используют кубиты.

Кубит — основная единица информации в квантовых компьютерах.

В отличие от битов, кубиты могут одновременно принимать значения «0» и «1». Это экспоненциально увеличивает вычислительную мощность квантовых устройств после добавления кубитов. Ожидается, что квантовые вычисления позволят решать задачи, на которые традиционные компьютеры затратили бы столько времени, что это было бы нецелесообразно.

в **10** раз

квантовые вычисления могут ускорить разработку новых материалов

Для работы квантового процессора необходимы экстремально низкие температуры и защита от радиоактивного и электромагнитного излучения. Компьютер подключен к установке, которая охлаждает корпус до -273°C . Эти меры обеспечивают стабильность кубитов, которые чувствительны к воздействию внешней среды.

Одна из главных частей квантового компьютера — усилитель сигнала. Он позволяет корректно считывать данные, передача которых напрямую затрудняется из-за малой энергии кубитов и посторонних шумов. Полученные данные преобразуются в классические биты для дальнейшей обработки на обычном компьютере.

в **100** млн раз быстрее

могут выполнять вычисления квантовые компьютеры, чем суперкомпьютеры

Разработчики квантовых компьютеров сосредоточены на повышении мощности и точности вычислений за счет увеличения числа кубитов, снижения количества ошибок и обеспечения стабильной работы устройств. Основная сложность заключается в том, что рост количества кубитов приводит к сбоям и погрешностям в вычислениях.

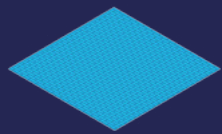
433
кубита

содержит квантовый компьютер Osprey

Сегодня все больше государств и крупных корпораций разрабатывают собственные квантовые компьютеры. Лидерами в этой области являются США, Канада и Китай, которые уже поставляют квантовые компьютеры для коммерческих потребителей.

Планы IBM по созданию квантовых компьютеров на 2023–2025 гг.

2023



CONDOR
1121 кубитов



HERON
133 кубитов x p

2024

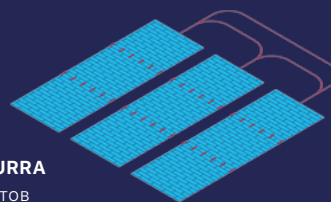


FLAMINGO
1386 кубитов



CROSSBILL
408 кубитов

2025



KOOKABURRA
4158 кубитов

В планах IBM разработать квантовый процессор Condor мощностью в 1 тыс. кубитов. Также планируется создать модульный процессор Heron, который может объединять несколько 133-кубитных блоков для производства более мощных квантовых процессоров.

США



Самый мощный на сегодняшний день квантовый процессор в мире — Osprey от американской компании IBM. Он был представлен в ноябре 2022 г. Архитектура Osprey состоит из слоя кубитов, под которым расположена система управления. Данная архитектура позволяет вместить больше кубитов и снизить частоту ошибок. Модернизовав аппаратное обеспечение для управления 433 кубитами, компания смогла снизить стоимость устройства по сравнению с предыдущими моделями. В компьютер также встроена система фильтрации, которая повышает стабильность работы устройства благодаря снижению количества шумов.

По данным IBM, чтобы достичь производительности квантового процессора Osprey, обычному компьютеру потребуется больше битов, чем атомов во Вселенной.

Квантовая система IBM Quantum System Two



В конце 2023 года будет выпущена квантовая система IBM Quantum System Two. Эта модульная система станет основой квантовых

В 2022 году немецко-австралийский стартап Quantum Brilliance представил первый в мире квантовый компьютер на основе алмаза, работающий при комнатной температуре. Его кубиты выполнены не из сверхпроводников, а из алмазных решеток. Они менее чувствительны к тепловым колебаниям и устойчивы к механическому воздействию.

суперкомпьютеров компании, в которой будет размещено несколько процессоров, связанных с помощью каналов связи.

Квантовые компьютеры IBM используют компании из различных отраслей по всему миру. Так, немецкий автомобильный концерн Mercedes-Benz внедряет квантовые компьютеры в разработку аккумуляторов для своих электромобилей. Японская химическая компания JSR в сотрудничестве с IBM разрабатывает материалы для полупроводниковой промышленности.

КАНАДА



В Канаде действует несколько успешных компаний, занимающихся разработкой квантовых устройств. Среди них — D-Wave Systems, которая поставляет квантовые компьютеры с 2011 года, и Xanadu, разработавшая второй по мощности квантовый компьютер в мире Borealis.

Канадская компания Xanadu представила квантовый компьютер Borealis в 2022 году. Он содержит 216 кубитов. Возможности компьютера были протестированы на выборке бозонов, которую

не могут выполнить обычные компьютеры.

Выборка бозонов — это вычислительная задача по расчету распределения частиц-бозонов, например фотонов, на выходах квантовой схемы.

Квантовый компьютер Borealis от Xanadu



Borealis справился с задачей за 36 микросекунд, тогда как самому быстрому суперкомпьютеру потребовалось бы не менее 9 тыс. лет. Компьютер вычислил ответ, изучив поведение 219 запущенных фотонов. В предыдущих исследованиях для решения этой задачи использовалось от 76 до 113 фотонов. В июне 2022 г. квантовый компьютер подключили к облаку и теперь он доступен специалистам по всему миру.

КИТАЙ



Китай стал третьей страной мира, разработавшей квантовый компьютер для коммерческих потребителей, после Канады и США. Представленный в 2022 году компьютер Wuquan состоит из 24 кубитов. Созданием компьютера занималась китайская компания Origin Quantum. Помимо разработки квантовых устройств, компания предоставляет услуги квантовых вычислений через облачную платформу. Сейчас Origin Quantum проектирует более мощный квантовый компьютер Wukong с 64 кубитами, который, согласно планам компании, будет представлен в 2023 году.

Origin Quantum — первая компания по квантовым вычислениям в Китае. Она основана в 2017 году специалистами из Научно-технического университета Китая. В 2020 году компания создала первый китайский квантовый компьютер с 6 кубитами.

В январе 2023 г. Origin Quantum представила первую в Китае установку для лазерного отжига — MLLAS-100. Она необходима для производства квантовых чипов и позволит повысить стабильность квантовых устройств при увеличении количества кубитов.

ЯПОНИЯ



В марте 2023 г. в Японии открылся доступ к первому квантовому компьютеру для исследований. Разработкой компьютера занимался японский исследовательский институт Riken при финансовой поддержке Правительства Японии.

Компьютер содержит 64 кубита. Riken будет проводить совместные исследования с японскими предприятиями и университетами по внедрению квантовых технологий. Сейчас Правительство Японии и компания Riken работают над созданием квантового компьютера мощностью более 100 кубитов к 2025 году. В планах компании соединить его с суперкомпьютером Fugaku, чтобы повысить стабильность и точность квантовых вычислений.

По мощности новый компьютер превосходит 27-кубитный компьютер IBM, установленный в японском городе Кавасаки в 2021 году. Компьютер IBM используют для исследований Токийский университет и японские компании, среди которых автомобильный концерн Toyota Motor, химическая корпорация Mitsubishi Chemical и японская банковская компания Mizuho Financial Group.

Японские компании также используют квазиквантовые вычисления, которые имитируют способность квантового компьютера находить наилучший вариант из множества возможных. Японский производитель электроники NEC внедрил

квазиквантовые технологии в 2022 году для планирования поставок комплектующих. Благодаря этому планирование маршрутов ускорилось на 10%, а затраты снизились на 30%.

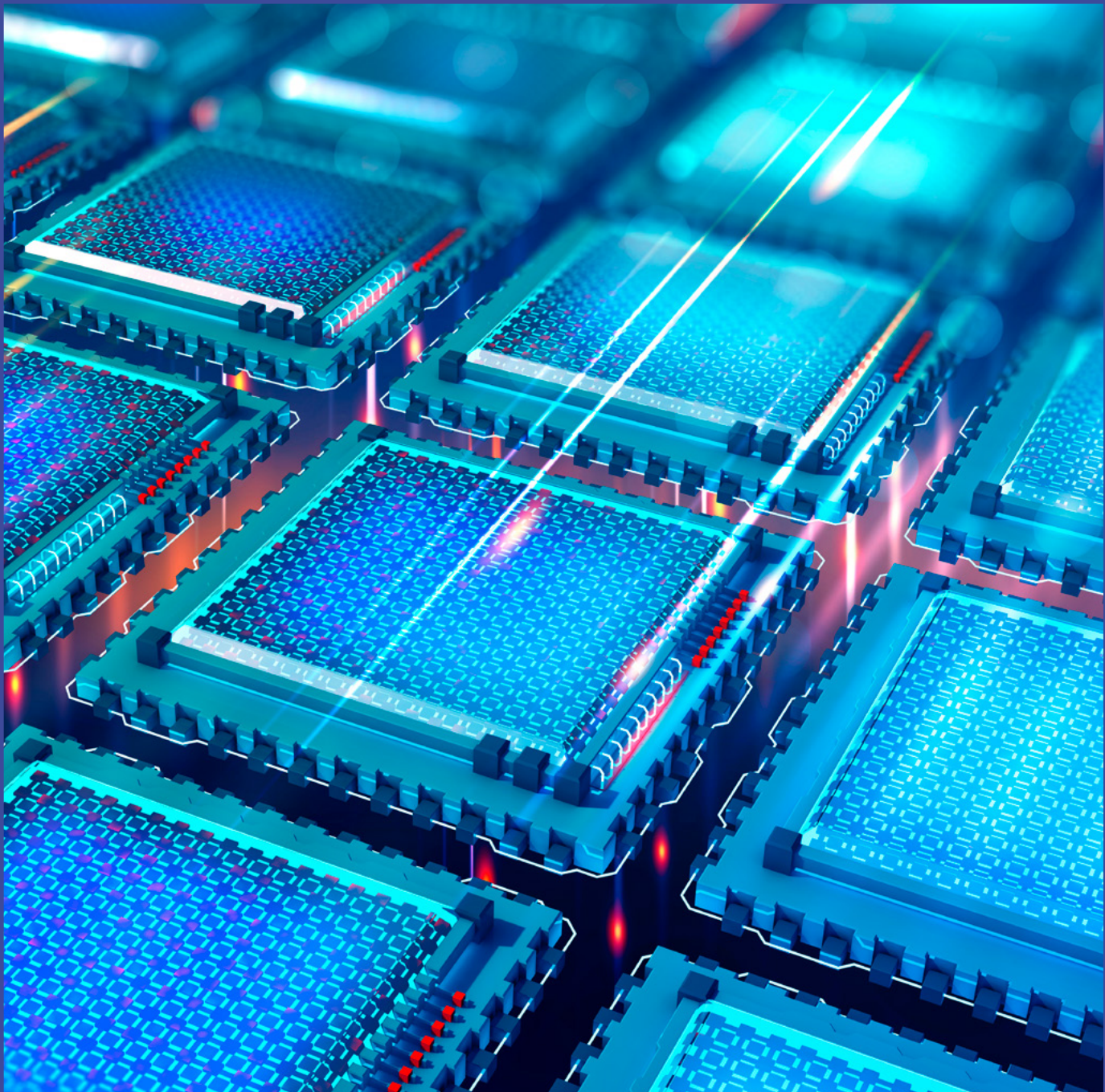
О планах разработки собственных квантовых компьютеров заявили правительства Германии, Индии, России, Израиля и Великобритании.

31,7
млн долл.
США

Правительство Японии инвестировало в квантовые технологии в апреле 2023 г. Средства будут направлены на повышение доступности квантовых вычислений за счет облачных технологий

Национальные проекты по разработке квантовых компьютеров

Страна	Размер финансирования, в долл. США	Планируемая мощность квантового компьютера	Планируемый год выпуска
Индия	730 млн	1 000 кубитов	2031
Россия	313 млн	100 кубитов	2024
Германия	3,2 млрд	100 кубитов	2026
Великобритания	117 млн	100 кубитов	2025
Израиль	62 млн	30-40 кубитов	2025



03

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КВАНТОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Квантовые вычисления внедряют в таких областях, как автомобилестроение, финансовый сектор и химическая промышленность. Среди компаний, использующих квантовые технологии, автомобильные концерны Volkswagen

и Mercedes-Benz Group, финансовые компании JPMorgan Chase и Goldman Sachs Group.

Внедрение квантовых технологий позволит оптимизировать работу беспилотного

транспорта, повысить эффективность и скорость разработки новых лекарств и материалов, а также улучшить качество оказания услуг в области финансов.

Как квантовые технологии могут влиять на развитие различных отраслей?

1%
компаний

инвестировали в квантовые технологии в 2019 г.



1. ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Позволяют снизить расходы сырья, уровень выбросов вредных веществ и усовершенствовать системы контроля производственных процессов



2. ЭНЕРГЕТИКА

Способствуют оптимизации энергопотребления, снижению количества выбросов и обеспечивают высокую стабильность функционирования энергосистем



3. МЕДИЦИНА

Используются для создания новых лекарственных средств и обработки больших массивов персональных данных, благодаря чему повышается качество медицинской помощи



4. ФИНАНСОВЫЙ СЕКТОР

Гарантируют высокую степень защиты информации и ускоряют процессы обработки и передачи данных



5. ЛОГИСТИКА

Повышают эффективность транспортировки грузов посредством анализа маршрутной сети и оптимизируют работу складов



6. ОБОРОННЫЙ СЕКТОР

Применяются для защиты данных, безопасной связи и повышения точности разведывательных систем



7. ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

Значительно увеличивают скорость передачи данных между пользователями квантовых сетей связи



8. КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ

Обеспечивают высокую степень защиты от утечки данных за счет применения квантовых ключей для шифрования информации

20%
компаний

инвестируют в квантовые технологии в 2023 г.

Промышленность

Химический концерн BASF внедряет квантовые вычисления в производство

SEEQC и BASF ведут совместные исследования в области применения квантовых вычислений в химической промышленности. В рамках партнерства квантовые технологии будут использоваться для разработки промышленных катализаторов, которые сложно моделировать с помощью классических компьютеров.

Катализатор — вещество, ускоряющее процессы химической реакции.

Промышленные катализаторы необходимы для создания оксохимикатов, которые используются в качестве добавок для производства красок, лекарственных препаратов, полимеров, растворителей.

SEEQC — американская компания, разрабатывающая решения для квантовых вычислений. В марте 2022 г. SEEQC создала цифровой чип, который работает при экстремально низких температурах, благодаря чему его можно использовать с квантовыми процессорами.

BASF — крупнейший в мире химический концерн, поставляющий продукцию для широкого круга отраслей промышленности (от химикатов и пластмасс до сырой нефти и природного газа).

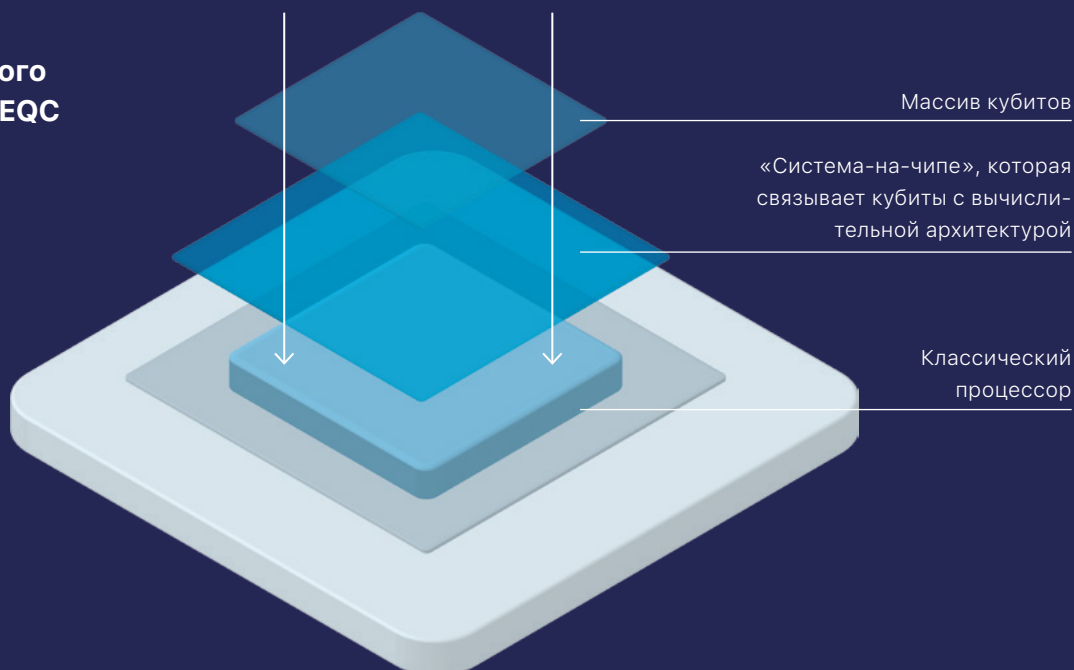
Для моделирования химических реакций специалисты BASF используют запатентованный квантовый компьютер SEEQC на базе цифровых чипов. Компания разработала квантовую вычислительную платформу «система-на-чипе». Технология SEEQC позволяет сократить количество входных и выходных линий, соединяющих вычислительные устройства и кубиты, благодаря сверхнизкой задержке и уплотнению канала связи.

В 2021 году SEEQC запустила проект QuPharma, цель которого — ускорить разработку лекарств за счет квантовых вычислений путем создания специализированного квантового компьютера. SEEQC получила 6,8 млн фунтов стерлингов на исследования от британского агентства инноваций Innovate UK. В проекте участвуют немецкая научно-техническая компания Merck KGaA, BASF, Оксфордский университет, Национальный центр квантовых вычислений Великобритании и британский центр медицинских исследований Medicines Discovery Catapult.

10
МЛН ТОНН

Оксохимикатов
производится ежегодно

Устройство запатентованного процессора SEEQC



⚡ Энергетика

Европейские энергетические компании применяют квантовые вычисления для разработки решений

ИТАЛИЯ

Итальянская нефтяная компания Eni сотрудничает с французским стартапом Pasqal, специализирующемся на квантовых технологиях. Целью сотрудничества является разработка решений для энергетического сектора.

В 2021 году Eni стала инвестором Pasqal. Полученные средства компания Pasqal вложила в производство своего коммерческого квантового компьютера со 100 кубитами.

Для исследований компания Eni использует один из самых мощных частных суперкомпьютеров в мире, который расположен в Центре обработки данных компании

в Феррера-Эрбоньоне. Eni использует запатентованные алгоритмы Pasqal для оптимизации применения возобновляемых источников энергии и магнитного синтеза.

Компания Eni в качестве возобновляемых источников энергии использует концентрированную солнечную энергию и энергию волн, а также занимается разработкой систем улавливания и хранения углерода, водорода и биотоплива.

ФРАНЦИЯ

Французская государственная энергетическая компания EDF — одна из первых французских промышленных компаний, которые начали инвестировать в квантовые технологии. Сейчас компания сотрудничает с французским

квантовым стартапом Quandela. EDF использует квантовые вычисления для прогнозирования деформации гидроэлектростанций. С помощью квантовых технологий EDF планирует повысить точность моделирования, ускорить расчеты и снизить энергопотребление. В будущем компания расширит область применения моделирования, в том числе для прогнозирования уровня энергопотребления.

Quandela разработала модульную платформу, которая включает квантовый процессор на интегральных схемах и высокопроизводительные нанопроволочные датчики. Процессор полностью реконфигурируемый, работает при комнатной температуре и поддерживает от 2 до 12 кубитов.

Центр обработки данных Eni в Феррера-Эрбоньоне

52 МИЛЛИОНА МИЛЛИАРДОВ

математических операций в секунду выполняет суперкомпьютер HPC5 от компании Dell

70 МИЛЛИОНОВ МИЛЛИАРДОВ

математических операций в секунду выполняют суперкомпьютеры HPC5 и HPC4

2,25 МВТ

потребляет HPC5 при работе на полной мощности

1,162 МВТ

энергоэффективность ЦОД в 2020 году. Для сравнения: среднемировой показатель составляет 1,620

Квантовый компьютер, созданный компанией Pasqal © Pasqal





Медицина

Американская клиника проводит исследования с помощью квантового компьютера

Кливлендская клиника использует квантовые вычисления для проведения медицинских исследований. В клинике установили квантовый компьютер IBM, который используется для разработки лекарств, новых методов лечения и контроля состояния пациентов.

IBM — американская корпорация, один из крупнейших в мире производителей и поставщиков аппаратного и программного обеспечения, а также IT-услуг.

Кливлендская клиника — частный медицинский центр, расположенный в штате Огайо (США).

В Кливлендской клинике используется IBM Quantum System One — первый в мире коммерческий квантовый компьютер, который IBM представила в 2019 году. Он работает на базе 20-кубитного процессора, который помещен в герметичный стеклянный куб с криогенным устройством. IBM Quantum System One

станет первым в мире квантовым компьютером, предназначенным исключительно для исследований в области медицины.

Квантовые технологии используются в следующих проектах клиники:

- Анализ и оптимизация состава лекарственных препаратов, нацеленных на конкретные белки;
- Разработка модели прогнозирования риска развития сердечно-сосудистых заболеваний после операций;
- Работа с базами данных лекарственных препаратов;
- Исследования ДНК.

Кливлендская клиника совместно с IBM разрабатывает образовательную программу для подготовки специалистов в области науки о данных, машинного обучения и квантовых вычислений. Кроме того, проводятся специальные семинары для представителей академических кругов, промышленности и государственных учреждений.

Еще одним применением квантовых технологий в медицине являются квантовые датчики. Они используются для диагностики заболеваний и анализа медицинских исследований. Так, исследователи из Университета Сассекса разработали квантовый датчик, который отслеживает изменения магнитных свойств раковых клеток. В будущем устройство может упростить обнаружение и лечение различных форм и стадий рака.

Квантовая система IBM Quantum System One © IBM





Финансовый сектор

Американский финансовый конгломерат JPMorgan Chase внедряет квантовые технологии

JPMorgan Chase и QC Ware разрабатывают решения на основе квантовых технологий, чтобы минимизировать финансовые риски.

QC Ware — американский разработчик программного обеспечения для квантовых вычислений. Компания специализируется на машинном обучении и моделировании химических реакций.

JPMorgan Chase & Co — американский финансовый конгломерат, один из крупнейших банков мира. По состоянию на декабрь 2022 г. активы компании составляют 3,7 трлн долл. США.

JPMorgan Chase & Co использует квантовые вычисления для построения моделей, прогнозирующих рыночную конъюнктуру. Сначала исследователи изучили возможность улучшить существующие системы прогнозов на основе нейронных сетей. Затем с помощью квантовых технологий они создали решение для хеджирования — снижения рисков за счет инвестиций, покрывающих убытки от основных активов.

Внедрение квантовых технологий позволило:

- повысить эффективность обучения расчетных моделей;
- улучшить качество прогнозов доходности финансовых активов.

Исследование проводилось на квантовом компьютере H1-1 от компании Quantinuum, состоящем из 20 кубитов. В будущем для вычислений планируется использовать более мощные квантовые компьютеры с 50–100 кубитами. Ожидается, что квантовые модели позволят уменьшить количество параметров, необходимых для обучения искусственного интеллекта, и при этом улучшить производительность.

Квантовые решения, протестированные JPMorgan Chase и QC Ware, могут применяться не только для хеджирования, но и для других прогнозов в финансовом секторе. В перспективе финансовые компании могут использовать квантовые вычисления для оптимизации работы с клиентами, улучшения бизнес-процессов, управления активами, защиты данных и снижения рисков.

Потенциальная прибыль от внедрения квантовых технологий в финансовом секторе (в долл. США)



Логистика

Airbus оптимизирует грузоперевозки с помощью квантовых технологий

Одна из крупнейших авиастроительных компаний в мире Airbus использует квантовые технологии для разработки новых моделей самолетов, систем связи, измерительных систем и оптимизации грузоперевозок.

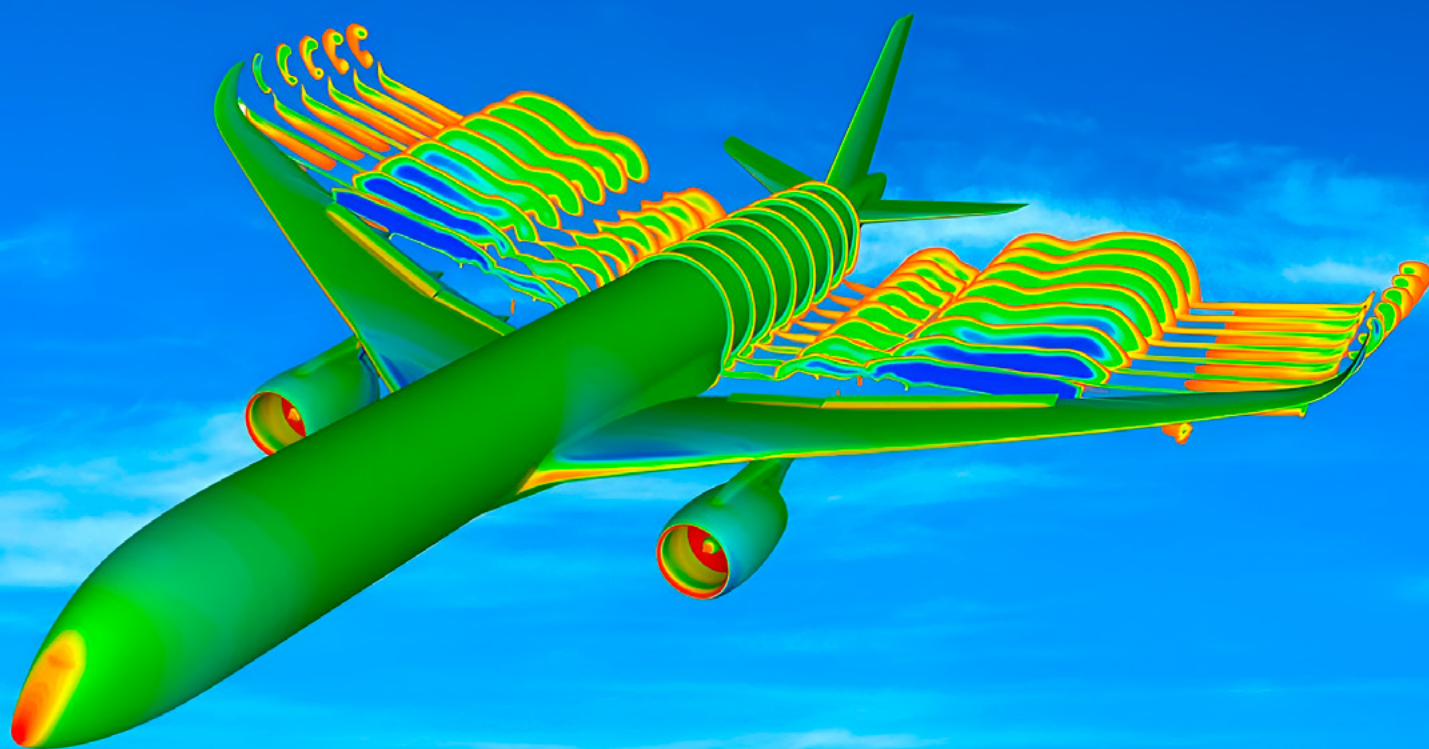
Airbus сотрудничает с IonQ, разработчиком решений в области квантовых вычислений. Цель сотрудничества — изучить возможности квантовых технологий для авиационной промышленности. Проект рассчитан на 1 год и завершится разработкой решения на основе квантовых технологий для грузоперевозок, которое позволит оптимально распределять грузы и уменьшить стоимость их доставки. В будущем Airbus внедрит квантовые алгоритмы для снижения расхода топлива, улучшения аэродинамики и оптимизации траекторий.

IonQ — американская компания по производству аппаратного и программного обеспечения для квантовых вычислений. Созданная IonQ система квантовых вычислений IonQ Aria находится в открытом доступе и доступна компаниям через облачные сервисы. Ранее компания сотрудничала с Hyundai Motors в рамках разработки аккумуляторов и систем автономного вождения.

В январе 2019 г. Airbus запустил конкурс квантовых вычислений - Quantum Computing Challenge. Участники конкурса разрабатывали решения в области проектирования и эксплуатации летательных аппаратов.

Airbus также изучает возможности квантовых датчиков для измерения критически важных для полетов показателей — частоты, ускорения, скорости вращения, температуры, электрических и магнитных полей. Ожидается, что применение квантовых технологий повысит точность измерения данных и улучшит бизнес-процессы. Компания планирует внедрить квантовые технологии в работу систем навигации и климат-контроля.

Чтобы ускорить процесс разработки новых летательных аппаратов, компания применяет квантовые вычисления при моделировании процессов и расчетах в области гидродинамики, аэродинамики, механики полета и т.д. Кроме того, Airbus в будущем внедрит квантовую связь в работу аэрокосмических служб, например в систему аутентификации и защиты данных.





Оборонный сектор

Министерство обороны США инвестирует в разработку квантовых часов

Компания ColdQuanta к 2026 году создаст квантовые часы по заказу Министерства обороны США. Для разработки часов компания использует свою технологию Quantum Core на основе атомов, охлажденных до -273°C , и лазеров для управления атомами.

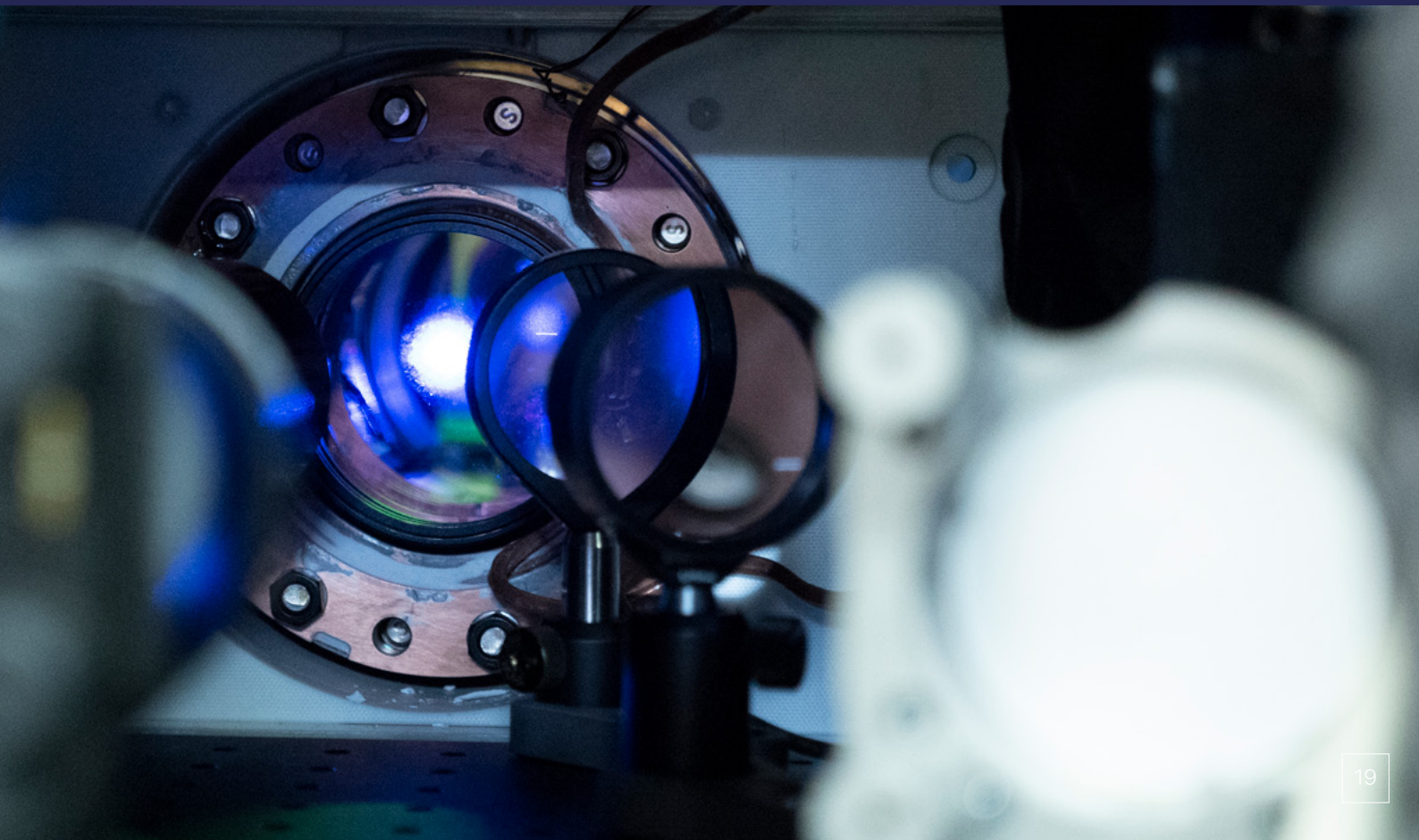
ColdQuanta — лидер в области квантовых технологий холодных атомов. Компания занимается разработкой облачного квантового компьютера и квантовых датчиков. ColdQuanta сотрудничает с крупными оборонными компаниями, Министерством обороны США, Министерством энергетики США, Национальным управлением по авиации и исследованию космического пространства (НАСА) и Национальным институтом стандартов и технологий США (англ. NIST).

В рамках проекта компания ColdQuanta разработает квантовые часы, которые позволят определять местоположение при потере сигнала GPS. Квантовые часы обеспечат высокую точность и надежность позиционирования, навигации и синхронизации. Они могут использоваться в работе электросетей, служб навигации, сети Интернет, телевизионных и радиослужб. Помимо ColdQuanta, разработкой квантовых часов занимаются поставщик решений в области оптических и лазерных технологий Vescent, производитель нанофотонных устройств Octave Photonics и разработчик измерительных приборов Quantum Nanophotonics Group. По итогам проекта будет создано 10 прототипов квантовых часов.

1,8
млн долл.
США

получила ColdQuanta на разработку квантовых часов в рамках заказа от Министерства обороны США

Французские компании Thales и Syrlinks также разрабатывают квантовые часы для французских вооруженных сил. Thales будет производить атомные и оптические ядра квантовых часов на своем предприятии в Палезо, а Syrlinks разработает электронный механизм для обеспечения передачи точного времени.





Телекоммуникации

В Китае действует крупнейшая в мире квантовая сеть

Китайская квантовая сеть



Первую в мире сеть квантовой связи запустили в Китае. Она включает более 700 оптических кабелей и 2 спутника. В зависимости от расстояния, на которое нужно отправить данные, используются либо оптические волокна, либо спутниковая связь: оптические кабели передают данные на сотни километров, тогда как спутники способны передать данные на расстояние свыше тысячи километров.

Китайская квантовая сеть обслуживает более 150 пользователей, включая банки, электросети и государственные учреждения.

В основе квантовой сети лежит квантовое шифрование. Для кодирования данных используются квантовые частицы, например фотоны. Любая попытка перехватить или расшифровать сообщение приведет к изменению информации благодаря законам квантовой механики: когда кубит пытаются скопировать, он меняет свое значение. В результате при взломе сети вместо закодированной информации злоумышленники получают случайный набор чисел.

За последние годы китайские специалисты улучшили производительность сети. Благодаря увеличению тактовой частоты и более эффективному протоколу связи средняя скорость передачи данных увеличилась в 40 раз — до 47,8 килобит в секунду. Исследователи также установили рекорд по наземной передаче данных на расстояние более 500 км. Для этого они разработали технологию TF-QKD (англ. twin-field QKD). Особенностью данной технологии является то, что помимо приемника и передатчика в обмене данными участвует недоверенный узел. Он измеряет состояния, которые посылают отправители, и объявляет результат измерения.

В 2022 году китайские ученые запустили второй квантовый спутник *Jinan 1*, разработанный Китайской академией наук. Данный спутник весит менее 100 кг — в 6 раз меньше первого спутника *Mozi*. При этом он может в 2-3 раза быстрее генерировать квантовые ключи. В будущем китайские ученые планируют создать международную квантовую сеть совместно с партнерами из Австрии,

Италии, России и Канады. Они также намерены разработать недорогие спутники и наземные приемники, что позволит снизить стоимость квантовой связи.

**В 2016
году**

Китай запустил первый в мире спутник квантовой связи *Mozi*

**В 2017
году**

между Пекином и Шанхаем проложили оптоволоконную сеть длиной более 2 000 км

	Mozi	Jinan 1
Год запуска	2016	2022
Вес	600 кг	100 кг
Время работы	В ночные часы, когда снижается воздействие Солнца на сигналы	Круглосуточно

**10 000
км**

длина китайской квантовой сети

В 2017 году между Китаем и Австрией осуществили первый межконтинентальный квантовый видеозвонок на расстоянии 7,5 тыс. км





Кибербезопасность

Компания Google разрабатывает решения по кибербезопасности на основе квантовых технологий

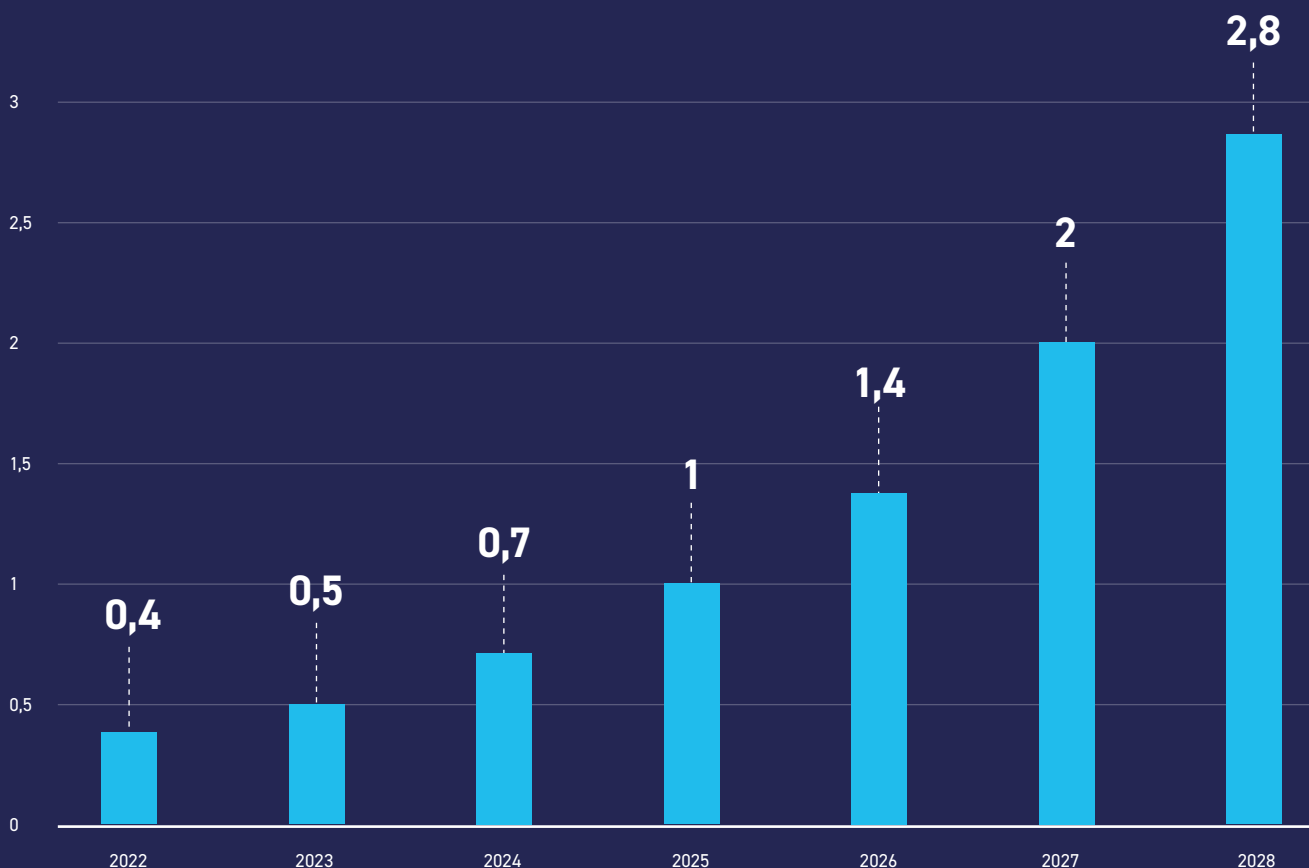
Необходимость разработки решений по защите данных на основе квантовых технологий усиливается по мере того, как совершенствуются квантовые вычисления и растет риск угрозы кибератак с применением квантовых технологий. Такие технологические гиганты, как Google, Microsoft, IBM, Intel, Amazon, уже занимаются исследованиями в области постквантовой криптографии.

Постквантовая криптография — метод защиты данных с помощью алгоритмов, устойчивых к кибератакам с применением квантовых компьютеров.

Американская корпорация Google тестирует решения на основе квантовых технологий с 2016 года. Компания использовала квантовый алгоритм обмена ключами для защиты данных, передаваемых между браузером и серверами Google. В 2019 году был проведен ряд экспериментов с компанией Cloudflare, в ходе которых та внедрила квантовое шифрование в свои протоколы защиты.

В 2021 году Google усовершенствовал программное обеспечение своих сетевых продуктов, чтобы сделать их совместимыми с новой системой защиты данных. В 2022 году американский технологический гигант опубликовал стратегии защиты информационных систем от квантовых атак и стандарты, которые позволят ускорить переход компаний на новые технологии. Сейчас Google сосредоточен на разработке пакета услуг на основе квантового шифрования для своих клиентов.

Динамика изменения объема мирового рынка квантовой криптографии в 2022-2028 гг. (в млрд долл. США)





РАЗВИТИЕ КВАНТОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МИРЕ

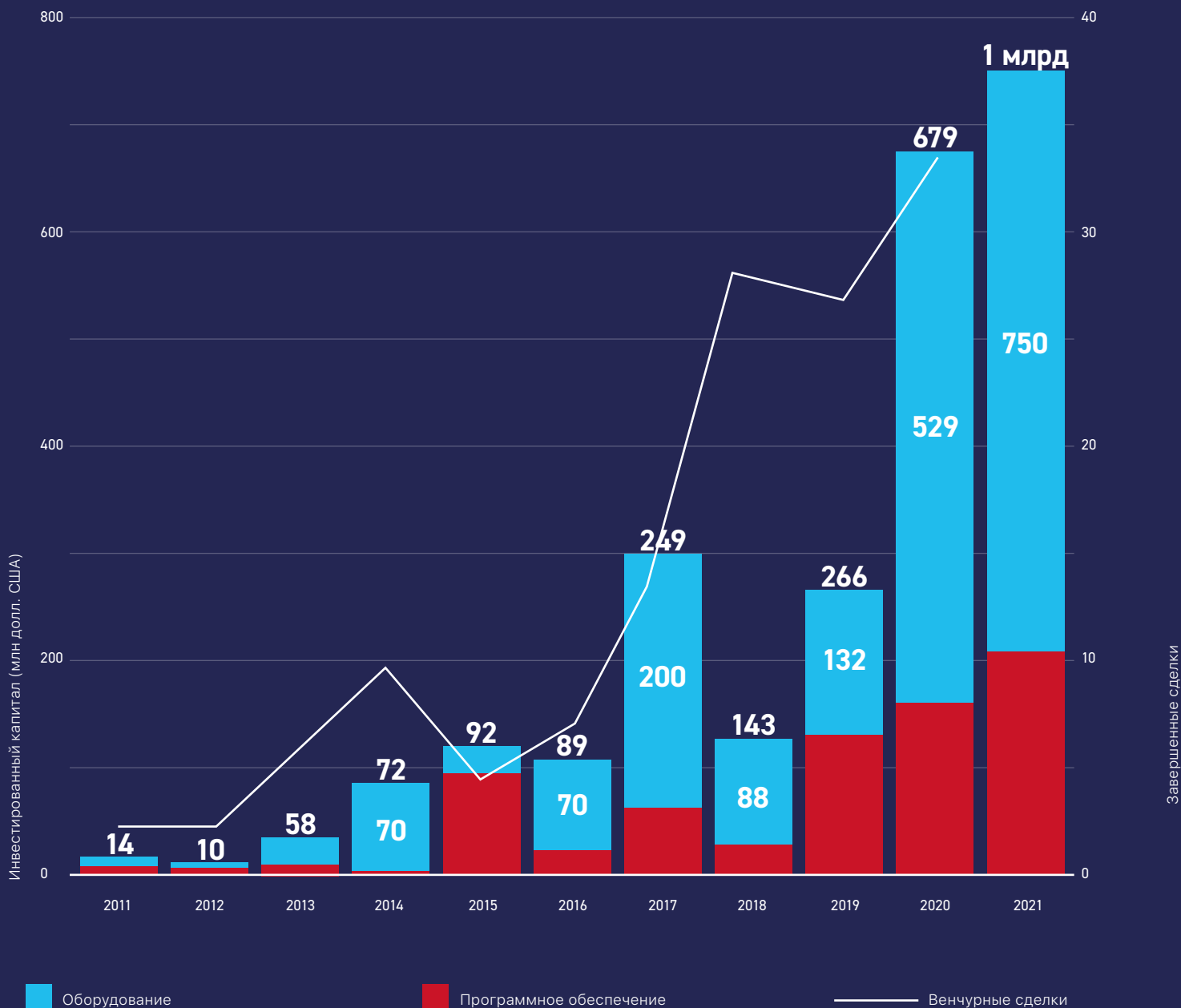
04

В начале XXI века квантовые технологии, ранее представлявшие интерес преимущественно для научного сообщества, стали одним из перспективных инвестиционных направлений. Это произошло благодаря возросшему интересу к квантовым вычислениям со стороны стран с богатой научной базой — прежде всего США, ЕС, Китая, Канады и Индии. Они увидели в квантовых технологиях возможности как для экономики, так и для развития медицины, военного дела и защиты данных. Согласно данным Всемирного экономического форума, в 2021 году объем государственных вложений в квантовые вычисления составил около 30 млрд долл. США, а частные инвестиции выросли с 14 млн долл. в 2013 г. до 800 млн долл. в 2021 г.

Страны с рыночной экономикой — США, Канада и ЕС — полагаются на взаимодействие научного сообщества и бизнеса, где государство выполняет координирующую функцию и обеспечивает финансирование. При этом государство не выступает единственным источником инвестиций: вложения частного сектора также высоки, только в США они составляют около 4 млрд долл. США.

Напротив, Китай и Индия, экономику которых нельзя назвать рыночной, а скорее плановой, ориентируются на ведущую роль государства в области квантовых вычислений. В этих странах государство не только ставит цели и задачи и выделяет на это средства, но также направляет эти средства в наиболее крупные компании, имеющие доступ к международному рынку.

Объем частных инвестиций в квантовые разработки с 2011 по 2021 гг.



800 млн долл. США

составили частные
инвестиции в квантовые
технологии в 2021 году

30 млн долл. США

вложили государства мира
в развитие квантовых
технологий в 2022 году

73%

всех инвестиций в квантовую
отрасль пришлось
на квантовое оборудование

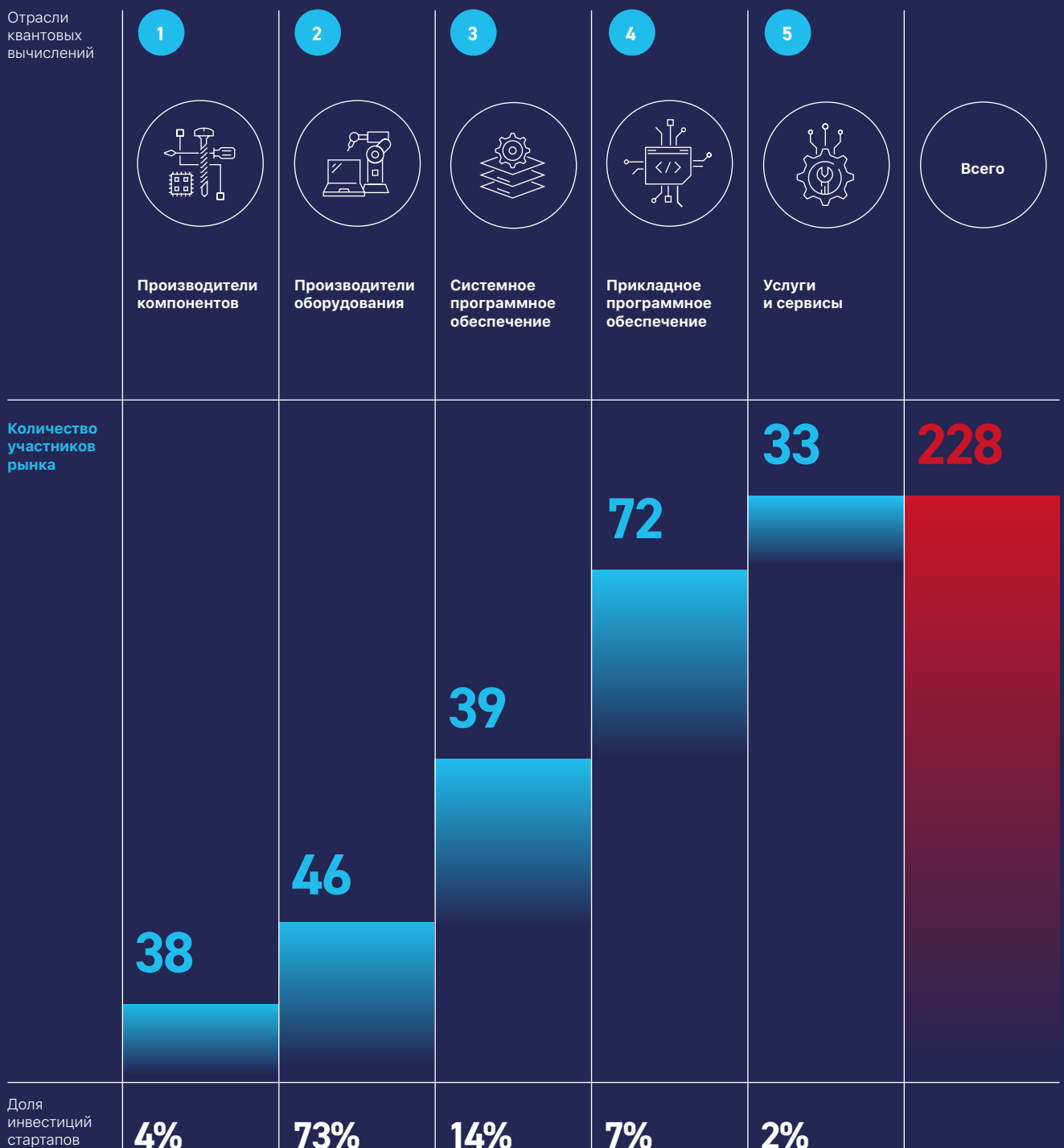
440 млн долл. США

вложили государства мира
в развитие квантовых
технологий в 2022 году

764 млн долл. США

составили инвестиции
в квантовое программное
обеспечение за 2020–2021 гг.

Доля стартапов в квантовой индустрии



Параметры сравнения	США	ЕС	КИТАЙ	КАНАДА	ИНДИЯ
Объем государственной поддержки	3 млрд долл. США с 2019 по 2022 гг.	1,1 млрд долл. США	15 млрд долл. США	270 млн долл. США до 2030 г.	1 млрд долл. США
Количество специалистов, занятых в квантовых технологиях	~30 тыс.	>5 тыс.	>5 тыс.	~10 тыс.	<2 тыс.
Количество квантовых стартапов	59	53	7	23	5
Объем частных инвестиций в квантовые разработки	~3,7 млрд долл. США	~1 млрд долл. США	>250 млн долл. США	~200 млн долл. США	>100 млн долл. США
Ответственные органы	<ul style="list-style-type: none"> • Министерство энергетики США • Министерство обороны США • Национальный институт стандартов и технологий • Национальный научный фонд • Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА) 	<ul style="list-style-type: none"> • Европейская комиссия 	<ul style="list-style-type: none"> • Правительство Китая, в особенности Министерство науки и технологий 	<ul style="list-style-type: none"> • Правительство Канады • Канадский совет по естественным наукам и инженерным исследованиям (англ. NSERC) • Министерство промышленности Канады (англ. ISED) 	<ul style="list-style-type: none"> • Правительство Индии • Министерство науки и технологий
Ведущие научные институты (частные/государственные)	<ul style="list-style-type: none"> • Квантовый консорциум по экономическому развитию • IBM Quantum (при сотрудничестве с МИТ) • Квантовая программа Гарвардского университета 	<ul style="list-style-type: none"> • Центры Гельмгольца по квантовым исследованиям (Германия) • Quantum PEPR (французский квантовый центр) 	<ul style="list-style-type: none"> • Национальная квантовая лаборатория в Анхуэе • Шанхайский квантовый исследовательский центр • Институт физики Китайской академии наук 	<ul style="list-style-type: none"> • Канадский совет по естественным наукам и инженерным исследованиям (англ. NSERC) • Национальный исследовательский совет Канады (англ. NRC) • Университет Шербрука • Университет Британской Колумбии 	<ul style="list-style-type: none"> • Институт фундаментальных исследований в Мумбае • Международный институт информационных технологий в Хайдарабаде • Научно-исследовательский институт имени Хариша Чандры
Основные программы и их направленность	<ul style="list-style-type: none"> • Национальная квантовая программа — обрисовывает важнейшие проекты в области квантового развития • Microsoft Azure Quantum, IBM Quantum — создание квантовых компьютеров 	<ul style="list-style-type: none"> • Европейская стратегия по квантовым технологиям — создание квантовой инфраструктуры 	<ul style="list-style-type: none"> • Китайский 5-летний план на 2021–2025 гг. — превращение Китая в мирового лидера в области квантовых вычислений, создание квантовых полупроводников 	<ul style="list-style-type: none"> • Национальная квантовая стратегия, ориентированная на НИОКР, трудоустройство и превращение квантовых технологий в рыночный продукт 	<ul style="list-style-type: none"> • Национальная квантовая миссия — выход на мировой уровень в области квантовых вычислений и применение квантовых технологий в промышленности
Перспективные отрасли	<ul style="list-style-type: none"> — финансовые услуги — медицина — промышленность (производство зарядных устройств и батарей) 	<ul style="list-style-type: none"> — автомобилестроение — криптография — ИКТ — банковские и финансовые услуги — медицина — защита данных — ИИ 	<ul style="list-style-type: none"> — военное дело — медицина — высокоточная электроника — ИИ — защита данных — большие данные — производство полупроводников и датчиков 	<ul style="list-style-type: none"> — военное дело — медицина — высокоточная электроника ИИ — защита данных — большие данные 	<ul style="list-style-type: none"> — высокоточная электроника — медицина — навигация

Сейчас США являются одним из мировых лидеров в области развития квантовых технологий. Этому способствуют высокоразвитая научная база, позволившая начать первые квантовые разработки еще в середине XX века, инвестиции крупнейших технологических компаний, а также растущая поддержка государства.

РАЗВИТИЕ КВАНТОВОЙ НАУКИ В США

- **1960-е — начало 1980-х**
американские ученые начинают создавать первые квантовые разработки
- **конец 1980-х — начало 1990-х**
американские университеты создают специальные программы и подразделения по изучению квантовых технологий, а также убеждают правительство необходимости поддерживать квантовые разработки на федеральном уровне
- **1994-1995**
Министерство обороны США проводит встречи с учеными по вопросам квантовых вычислений и квантовой криптографии
- **2002**
Правительство США запускает первую программу по поддержке квантовых вычислений
- **2018**
Конгресс США принимает Закон о квантовых вычислениях
- **2019—2022**
Правительство США выпускает пакет мер, направленных на развитие квантовой отрасли

ОСНОВНЫЕ ИНСТИТУТЫ

Вплоть до начала 2000-х гг. за развитие квантовой науки в США отвечали преимущественно только крупные университеты — Массачусетский технологический институт, Гарвардский, Чикагский и Калифорнийский университеты. В начале XXI века в квантовые технологии стали активно вкладываться крупнейшие технологические компании США — IBM, Alphabet, Google, а также компании, представляющие военно-промышленный комплекс, например Northrop Grumman.

Государство в изучении квантовой науки представляют такие организации, как Министерство энергетики США, Министерство обороны США, специальные службы (ЦРУ и ФБР), а также научные советы, например Национальный научный фонд. Государственные учреждения преимущественно отвечают за разработку мер поддержки и выстраивание связей с научными и коммерческими организациями, занимающимися квантовыми технологиями.

Около 5 тыс.

патентных заявок в области квантовых технологий выдано американским компаниям в 2022 году

из них:

1885

заявок — IBM

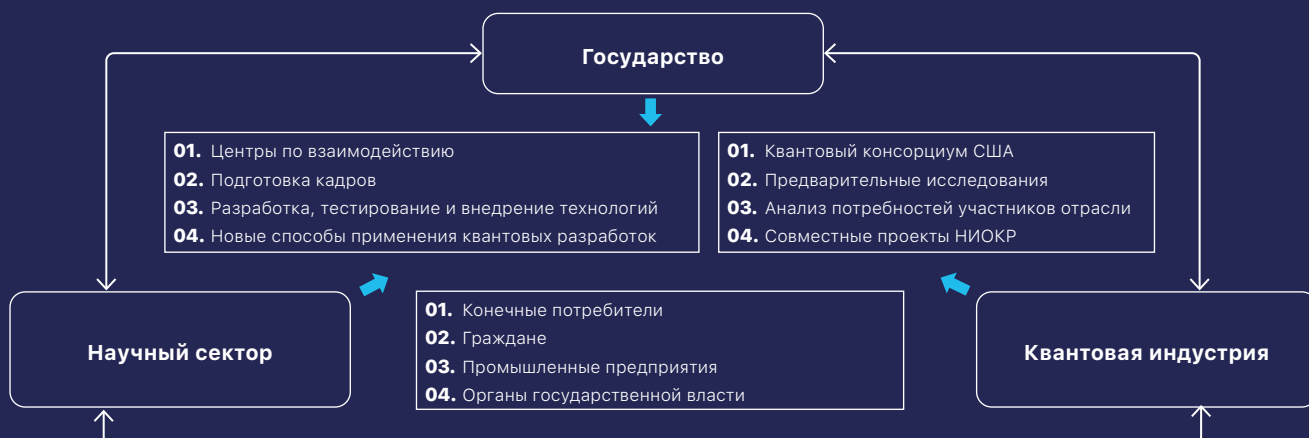
1000

заявок — Alphabet

623

заявок — Northrop Grumman

Взаимодействие государства, науки и бизнеса в области квантовых технологий



ПРОГРАММЫ ПО КВАНТОВЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

В 2018 году Конгресс США единогласно принял Закон о Национальной квантовой инициативе (англ. National Quantum Initiative Act). Закон включает в себя план развития квантовых технологий, получивший название Национальной квантовой инициативы. Она представляет собой систему, в которую входят государственные и научные организации США, а также утвержденный Законом Квантовый консорциум по экономическому развитию (англ. QED-C). Цель Инициативы состоит в разработке и внедрении программ, улучшающих научную и предпринимательскую среду для развития квантовых технологий в США.

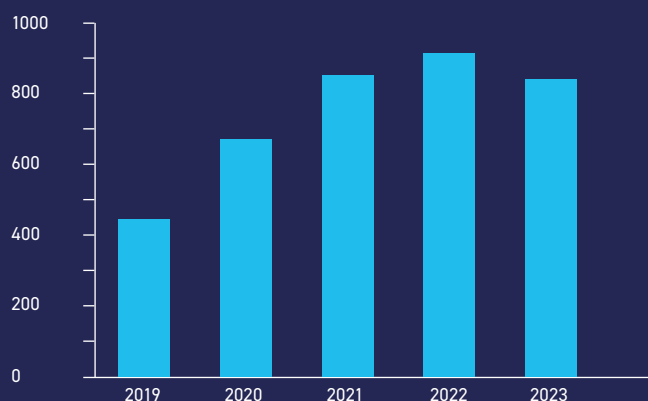
около **4**
млрд долл.
США

выделило Правительство США на реализацию квантовой стратегии в 2019-2023 гг.

более **2**
тыс. грантов

выдало Правительство США в рамках Национальной квантовой инициативы с 2018 года

Расходы США на реализацию Национальной квантовой инициативы (в млн долл. США)



Средства, выделенные в рамках Национальной квантовой инициативы (в млн долл. США)



ЧАСТНЫЕ ПРОГРАММЫ

Среди частных квантовых программ наиболее выделяется программа компании IBM и Массачусетского технологического института по созданию квантовых компьютеров — IBM Quantum. Один из компьютеров — Osprey — IBM представила в ноябре 2022 г. В квантовые исследования IBM инвестируют крупные банковские и финансовые компании: JP Morgan Chase & Co., Samsung, Boeing.

В 2021 году компания Microsoft сделала общедоступной свою собственную облачную службу квантовых вычислений — Microsoft Azure Quantum. Она объединила множество передовых специалистов в области квантовых вычислений, включая разработчиков аппаратного и программного обеспечения. Также компания Intel работает над массовым производством квантовых компонентов.

Из частных академических инициатив наиболее масштабной является

Квантовая программа Гарвардского университета (англ. HQI). Она объединяет около 1000 ученых, PhD-студентов и специалистов из сопутствующих отраслей. HQI разрабатывает программы по внедрению квантовых вычислений в медицину и банковское дело, выделяет гранты перспективным студентам и составляет программу Гарвардского университета в области квантовой физики.

Европейский Союз



Европейский союз вплоть до 2010-х гг. не проводил политику, направленную исключительно на квантовые исследования, и ограничивался выдачей грантов на квантовые проекты. Среди стран ЕС наибольших успехов в изучении квантовой физики добились Германия и Франция, благодаря которым в 2018 году ЕС утвердил общеевропейскую стратегию по поддержке квантовых исследований.

ОСНОВНЫЕ ИНСТИТУТЫ

На общеевропейском уровне политику в области квантовых технологий разрабатывает Европейская комиссия (ЕК), в которую входят представители стран ЕС. В 2018 году Еврокомиссия благодаря усилиям Франции и Германии, наиболее заинтересованных в создании европейской квантовой программы, принимает Европейскую стратегию по квантовым технологиям (англ. Quantum Technologies Flagship). В реализации стратегии также участвуют Квантовый координационный совет и сообщество квантовых исследователей.

Если рассматривать страны ЕС, то в них за квантовые исследования обычно отвечают крупные университеты (Франция, Австрия, Бельгия) или сети научных центров (Германия). В Германии действуют три крупных научных объединения, которые занимаются квантовыми исследованиями: Объединение Гельмгольца, Общество

научных исследований им. Макса Планка или Общество Фраунгофера в Германии. Эти организации объединяют крупнейшие естественнонаучные, технические и медико-биологические исследовательские центры. Они же участвовали в создании Квантовой стратегии Германии до 2030 года.

ПРОГРАММЫ В ОБЛАСТИ КВАНТОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

С 2018 года ЕС внедряет стратегию по квантовым технологиям — Quantum Technologies Flagship, рассчитанную на 10 лет. Цель стратегии — способствовать созданию квантового интернета по всей Европе: квантовые компьютеры, симуляторы и сенсоры соединят квантовыми сетями, что позволит практически за секунды распределять информацию и квантовые ресурсы.

Сейчас в рамках стратегии ЕС осуществляет две крупные программы. Первая нацелена на создание 1000-кубитного

квантового суперкомпьютера — OpenSuperQ, информация на котором будет в открытом доступе. Вторая программа занимается разработкой высокоточных квантовых датчиков для нужд медицинской диагностики и навигационных систем. Также Quantum Technologies Flagship поддерживает проекты в области фундаментальных квантовых исследований.

Области внедрения квантовых технологий в ЕС

- Самоуправляемые автомобили
- Финансовые транзакции
- Криптография
- Безопасные коммуникации
- Облачные сервисы
- Банковские услуги
- Медицинские карты
- Кибербезопасность
- Блокчейн
- Искусственный интеллект

РАЗВИТИЕ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В ЕС



Европейская квантовая стратегия (EU Quantum Flagship)

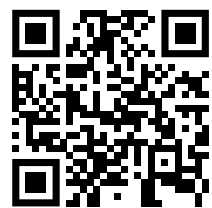
Цели EU Quantum Flagship: обеспечить вывод квантовых технологий на европейский рынок и скоординировать усилия стран ЕС по развитию квантовых вычислений

Акцент на фундаментальных исследованиях и практическом их применении.

Финансирование

Программа Horizon Europe («Горизонт Европы»), нацеленная на поддержку НИОКР в странах ЕС, и программа Digital Europe («Цифровая Европа»), цель которой состоит в цифровизации ключевых отраслей для ЕС: экономика, кибербезопасность, квантовые вычисления и искусственный интеллект.

Проект по созданию Европейской квантовой сети



Составляющие Европейской квантовой стратегии

1 Advanced Digital Skills

Программа по повышению цифровых и компьютерных навыков в формате как краткосрочных курсов, так и долгосрочных программ, например магистратуры.

2 Quantum Communication Infrastructure (EuroQCI)

Создание и внедрение до 2030 года общеевропейской квантовой сети для повышения скорости связи и улучшения кибербезопасности Европы.

3 Quantum Computing Infrastructure (EuroHPC)

Развитие квантовых технологий для операций с большими данными и искусственным интеллектом и т.д.

>3,2 МЛН ДОЛЛ. США

вложит Германия в создание квантового компьютера с 2023 по 2026 гг.

5 ТЫС. УЧЕНЫХ

принимают участие в Quantum Technologies Flagship

650 МЛН ЕВРО

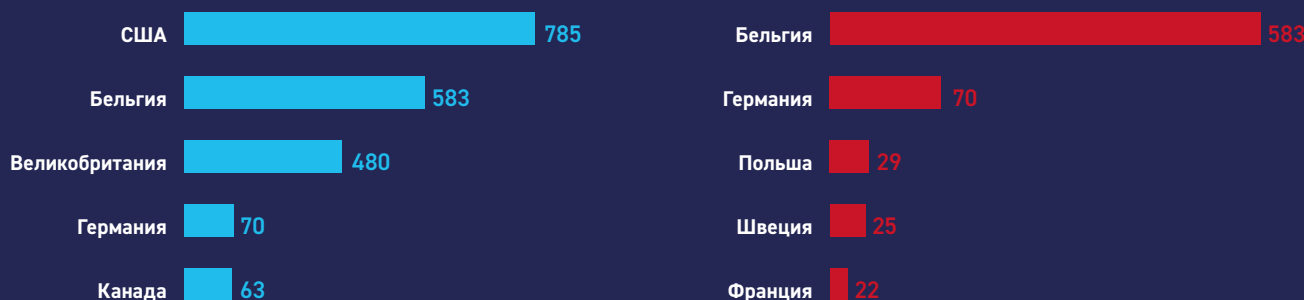
инвестировала Германия в коммерческое применение квантовых технологий до 2025 года

Страны-лидеры по инвестициям в квантовые вычисления (в млн долл. США)

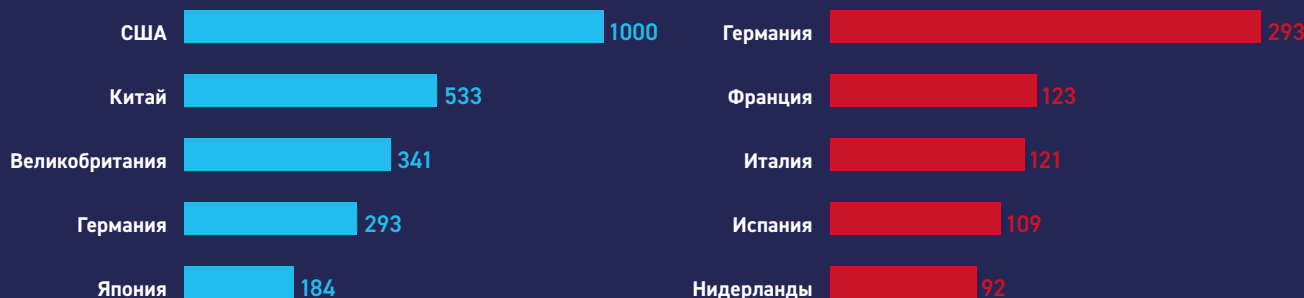
ГРАНТЫ

■ Мир

■ ЕС



НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ



Китай



За неполные 20 лет с момента запуска первых квантовых стратегий Китай стал одним из мировых лидеров в области квантовых вычислений наряду с США. Такие успехи китайской квантовой науки стали результатом тесного взаимодействия государства, научного сообщества и бизнеса, где государство задает основные векторы развития и выделяет средства научным учреждениям и крупным компаниям. Последние, в свою очередь, отвечают за достижение целевых показателей.

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ КВАНТОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В КИТАЕ



ИНСТИТУТЫ

В Китае, как и в Индии, ведущую роль в развитии квантовых технологий выполняет государство. В КНР государственные расходы на квантовые исследования и разработки в 5 раз выше, чем в США. В то же время объем частных инвестиций в квантовую отрасль США приближается к 4 млрд долл. США, пока в Китае крупный бизнес в основном получает субсидии от государства.

от **4 до 17** млрд долл. США
предполагаемое финансирование
Правительством КНР квантовых
технологий

84 тыс.
квантовых патентов зарегистрировано
в Китае с 2013 года

255 млн долл. США
объем частных инвестиций
в квантовые вычисления Китая

>30 компаний из Китая
занимаются квантовыми
вычислениями

КИТАЙСКИЕ КВАНТОВЫЕ СТРАТЕГИИ

Квантовые технологии в Китае уже более 15 лет находятся в центре стратегий экономического и технологического роста страны. В текущем 14-м пятилетнем плане (2021-2025 гг.) Правительство Китая объявляет о политике «крупных прорывов» в квантовых вычислениях. Достижения в квантовой

отрасли, по замыслу Правительства КНР, должны внедряться в таких отраслях, как информационные технологии, искусственный интеллект, полупроводниковое производство и космические исследования.

Достичь этой цели предполагается с помощью согласованной стратегии с участием государства и экономического сектора.

Стратегия предполагает, что частным и государственным исследовательским институтам Правительство КНР обеспечивает оптимальные финансовые и организационные условия.

Сейчас Китай инвестирует преимущественно в научные исследования, научные публикации и стратегические патенты. В то время как европейские патентные регистрации

в секторе квантовых технологий отстают, показатели США и Китая высоки. Также Китай вложил более 1 млрд долл. США в коммерциализацию квантовых технологий связи. Другим приоритетным направлением для Китая стало применение квантовых технологий в военных целях.

Государство в Китае прилагает серьезные усилия по привлечению квалифицированных кадров в пределах страны и из-за рубежа. С 2008 года в КНР действует программа «Тысяча талантов», нацеленная на привлечение в Китай ученых, талантливых студентов и специалистов в том числе и тех, что уехали из Китая учиться и работать в США и Европе.

РОЛЬ ЧАСТНОГО СЕКТОРА

«Большая тройка» китайского бизнеса – Baidu, Alibaba и Tencent все больше инвестирует в квантовые исследования и подготовку специалистов соответствующего профиля. Государство частично или полностью спонсирует такие программы. Так, с 2018 года

Рынок квантовых технологий в Китае на 2022 год по отраслям



в Китае создали дочерние подразделения китайских аналитических центров, акселераторов и инкубаторов, где работают китайские специалисты, получившие образование в США и Европе.

>50%

государственных инвестиций в квантовые технологии на глобальном уровне приходится на Китай

Китайский квантовый компьютер Jiuzhang 2.0, один из наиболее мощных в мире



Доля квантовых патентов по странам за 2000-2021 гг.



Канада

С 1990-х гг. в Канаде стала складываться необходимая научная инфраструктура для развития квантовых технологий, которую в начале 2000-х гг. стали поддерживать крупный бизнес и государство. Сейчас Канада представляет собой пример развития квантовых вычислений, где наука, бизнес и некоммерческие организации тесно взаимодействуют, а государство обеспечивает благоприятные финансовые и регуляторные условия.

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ КВАНТОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В КАНАДЕ



ОСНОВНЫЕ ГОСУДАРСТВЕННЫЕ ИНСТИТУТЫ

В Канаде с начала 2000-х гг. государство взяло на себя роль по созданию благоприятных условий для развития квантовых технологий. В Канаде действуют Стратегический инновационный фонд и Фонд инноваций — учрежденные правительством организации, ответственные за финансовую и административную поддержку перспективных проектов. Также политику в области квантовых технологий помогают формировать более 50 государственных агентств на федеральном и провинциальном уровнях.

ПРОГРАММЫ

В январе 2023 г. Правительство Канады выпустило первую в истории страны Национальную квантовую

стратегию. Она ставит целью расширить рынок квантовых технологий в Канаде, в котором к 2045 году могут быть заняты до 20 тыс. специалистов. Стратегия Канады направлена на три ключевые области: НИОКР, трудоустройство и подготовка специалистов, а также превращение инновационных квантовых технологий в рыночный продукт. Таким образом, канадская стратегия ставит задачей не только способствовать развитию исключительно квантовой области, но и содействовать улучшениям в трех важных для государства сферах: наука, занятость и экономика.

РОЛЬ НАУЧНОГО СЕКТОРА И БИЗНЕСА

Помимо государства, основным локомотивом развития квантовых технологий является научный сектор, он же — основной поставщик кадров для сектора высоких технологий.

Квантовые технологии в Канаде:

1-е место

по инвестициям в квантовые технологии на душу населения среди стран «Большой семерки»

8-е место

по количеству публикаций по квантовым технологиям

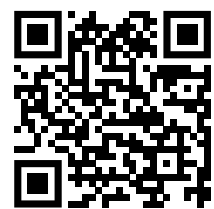
В Канаде более 10 университетов — Университет Шербрука, Университет Британской Колумбии, Университет Калгари и др. — занимаются квантовыми исследованиями, обладают собственной научной базой и сотрудничают с бизнесом. Это обеспечивает постоянный приток талантливых квалифицированных специалистов в квантовую отрасль, а также помогает поддерживать в Канаде устойчивую экосистему квантовых стартапов.

В 2013 году благодаря содействию частного бизнеса в Канаде появилась Квантовая Долина. Она располагается в городе Ватерлоо,

провинция Онтарио. В Долине сконцентрированы квантовые стартапы, инкубаторы, инвестиционные агентства и научно-исследовательские центры. За последние 10 лет Канада стала одним из мировых коммерческих квантовых центров. Именно в Канаде появились такие крупные компании, как 1QBit, evolutionQ, Xanadu, Quantum Benchmark и Quantum Silicon. В 2011 году компания D-Wave выпустила первый компьютер на основе квантовых технологий, а в 2018 году Xanadu запустила PennyLane — первую специальную программу машинного обучения для квантовых компьютеров.

Помогают в продвижении квантовых технологий в повседневную жизнь и квантовые некоммерческие организации. Они помогают бизнесу и научному сектору, предоставляя консультации и организуя мероприятия и научно-промышленные выставки.

Программа
квантовых
вычислений
в Университете
Ватерлоо



Взаимодействие государства, науки, бизнеса и НКО Канады в развитии квантовых технологий

1 Государство

- создание благоприятных условий для развития квантовых технологий
- финансирование проектов в области квантовой физики
- финансирование фундаментальной науки
- устранение рисков (гарантии инвесторам, вкладчикам)
- сотрудничество с научным сектором

2 Научное сообщество

- фундаментальные и прикладные исследования
- поиск и подготовка талантливых ученых
- взаимодействие с государством для развития фундаментальных исследований, а с бизнесом — прикладных исследований

3 Бизнес

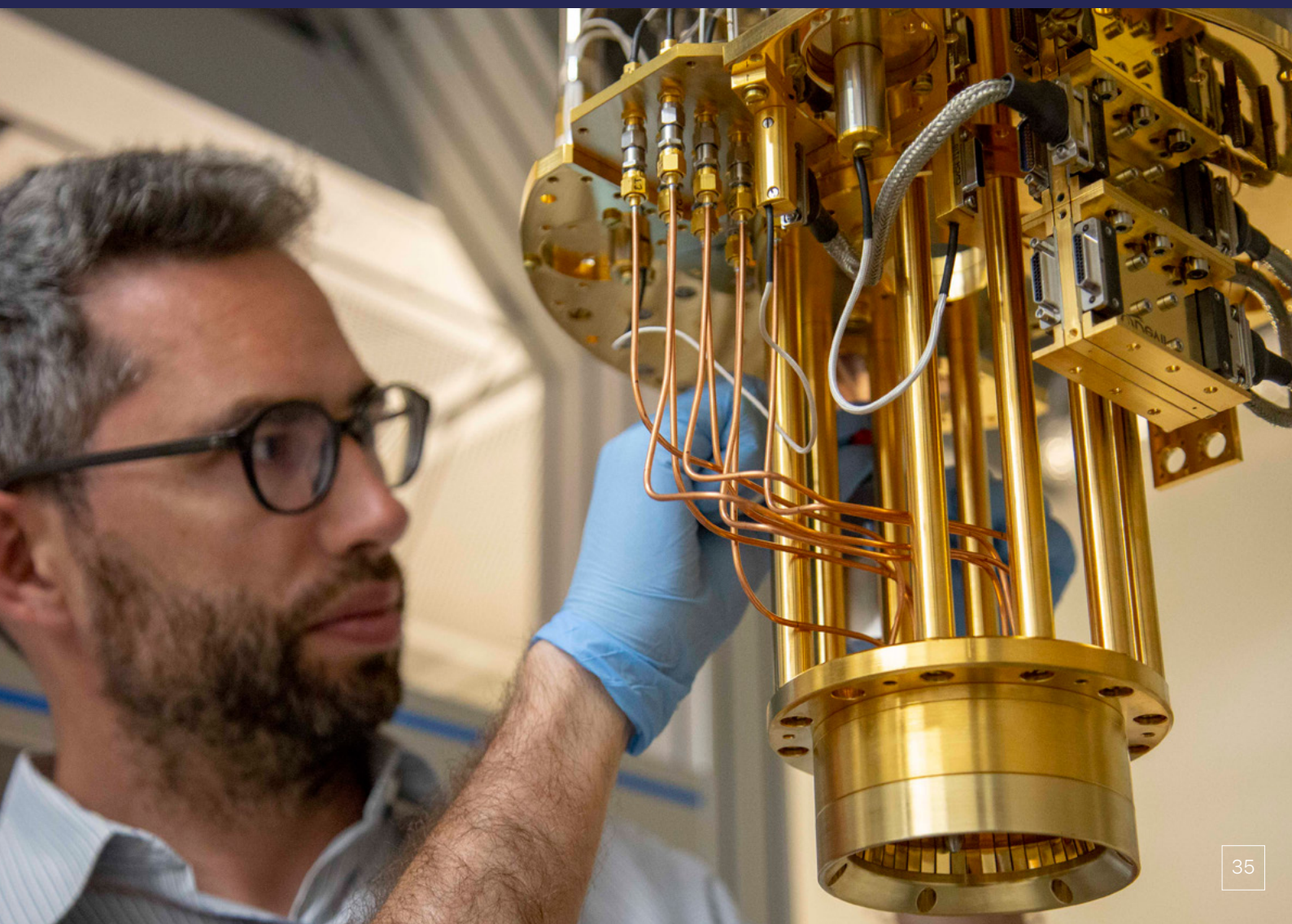
- отбор экономически перспективных квантовых технологий и вывод их на рынок
- поиск и подготовка квалифицированных специалистов
- поддержка прикладных исследований

4 НКО

- консультирование по вопросам получения финансовой, правовой помощи
- помощь государственным агентствам, бизнесу и научному сообществу в распространении актуальной информации
- образовательная деятельность в сфере квантовых технологий

Национальная квантовая стратегия Канады до 2030 года

Приоритетные области	НАУКА	ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ	КОММЕРЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ
Содержание			
Цели	поддержка фундаментальных и прикладных исследований	поиск, поддержка, привлечение и удержание специалистов, критически важных для квантового сектора Канады	превращение исследований в масштабируемые продукты и услуги, которые можно реализовать как в Канаде, так и за рубежом
Финансирование	> 200 млн долл. США	~ 34 млн долл. США	> 130 млн долл. США
Программы	<ul style="list-style-type: none"> поддержка фундаментальных исследований в канадских университетах выделение грантов и стипендий перспективным ученым, кандидатам наук и аспирантам инвестиции в квантовую инфраструктуру участие канадских ученых и специалистов в международных квантовых программах и исследованиях 	<ul style="list-style-type: none"> привлечение в Канаду талантливых студентов и ученых из-за рубежа поддержка инвестиций в человеческий капитал > 80 программ по иммиграции квалифицированных специалистов на уровне провинций 	<ul style="list-style-type: none"> создание квантовых кластеров, объединяющих научную и производственную деятельность поддержка квантовых проектов, имеющих экономический потенциал поддержка межотраслевых проектов в области квантовых вычислений осуществление военных закупок, связанных с квантовыми вычислениями



Индия

Интерес к квантовым технологиям в Индии появился около 10 лет назад. Сейчас квантовая наука Индии развивается практически за счет государственных инвестиций, однако в ближайшие 5 лет индийское правительство рассчитывает на рост интереса со стороны крупных предпринимателей и стартапов.

РАЗВИТИЕ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В ИНДИИ

начало 2010-х

в Индии складывается сообщество квантовых исследователей, а государство стало рассматривать квантовые технологии как перспективную для науки и экономики отрасль

2018

Министерство науки и технологий Индии представляет программу под названием Quantum-Enabled Science & Technology (QuEST) и обязалось инвестировать около 10 млн долл. США до 2021 года для ускорения исследований

2020

Правительство Индии подготавливает Квантовую стратегию Индии, рассчитанную на 5 лет

2021

Правительство Индии открывает лабораторию квантовой связи C-DOT и выпускает разработанное собственными силами решение для распределения квантовых ключей (QKD)

январь 2023

Правительство Индии утверждает Национальную квантовую миссию, действующую до 2031 года, и выделяет на нее около 1 млрд долл. США



ОСНОВНЫЕ ИНСТИТУТЫ

В отличие от США, Канады и ЕС, где квантовый сектор сложился в первую очередь благодаря усилиям научного сектора (США) и бизнеса (Канада), в Индии вектор развития задает государство. Политика в области квантовых исследований осуществляется усилиями Министерства науки и технологий, Министерства электроники и информационных технологий, подотчетных им агентств и университетов: Индийского научного института в Бангалоре и Индийского научного института в Мадрасе.

Приоритетная роль государства во многом объясняется низкой заинтересованностью частного бизнеса Индии в поддержке квантовых исследований. Поэтому, если квантовые стратегии США и Канады принимались с учетом позиции бизнеса, то в Индии создание национальной квантовой стратегии стало исключительно делом правительства.

ПРОГРАММЫ В ОБЛАСТИ КВАНТОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В 2020 году Правительство Индии приняло Национальную миссию в области квантовых технологий. Она сосредоточена на исследованиях и разработке технологий для устройств и систем, включая:

- квантовые датчики, способные ощущать магнитные поля, которые в миллион раз слабее магнитного поля Земли
- квантовые часы, которые потеряют менее одной секунды за более чем 300 млрд лет, что позволит разработать навигационные устройства с 1000-кратной точностью
- навигационные устройства, работающие без сигналов GPS

ИНДИЙСКАЯ КВАНТОВАЯ МИССИЯ

Цель: сделать Индию одной из стран-лидеров в области квантовых вычислений, наряду с США, Канадой, Францией, Финляндией, Китаем и Австрией

Длительность: 2023–2031 гг.

Ответственный орган: Министерство науки и технологий Индии

Ключевые проекты:

1. Создание четырех квантовых хабов
2. Применение квантовых вычислений на нужды здравоохранения, обороны, энергетики и защиты данных
3. Создание собственного квантового компьютера

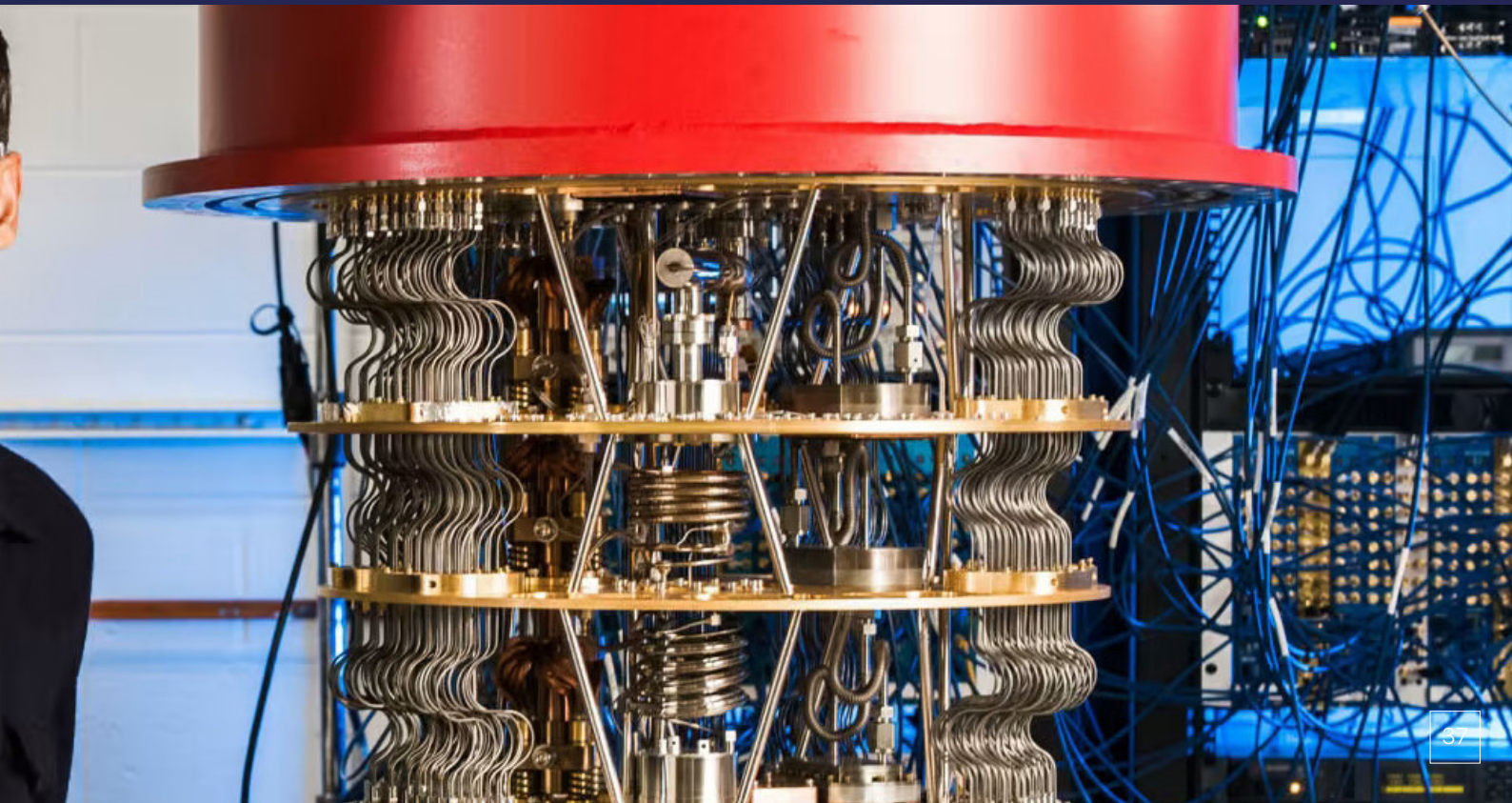
ЧАСТНЫЕ ИНИЦИАТИВЫ

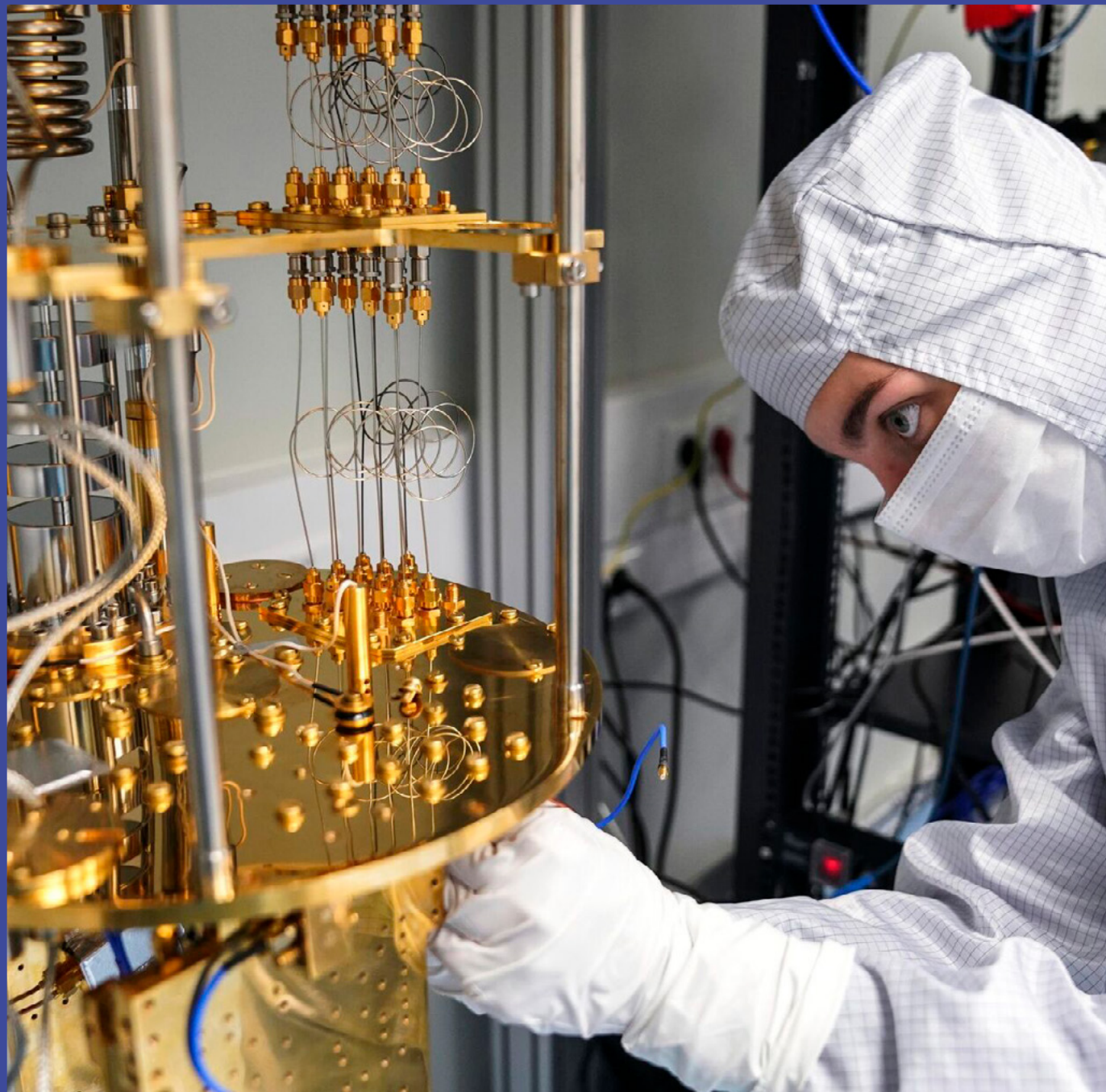
Несмотря на пока сравнительно невысокий уровень вовлеченности индийского бизнеса в квантовую отрасль, за последние 5 лет в Индии появились квантовые инициативы, продвигаемые местными компаниями.

Среди крупных индийских корпораций, инвестирующих в квантовые технологии, выделяется компания TCS, предоставляющая услуги в области информационных технологий и консалтинга. TCS предлагает программу стажировки в области квантовых вычислений.

Чтобы ускорить фундаментальные и прикладные исследования в области квантовых вычислений, Mphasis — ИТ и консалтинговая компания — заключила партнерство с Индийским технологическим институтом в Мадрасе. Компания обязалась предоставлять финансирование для стартапов, гранты и стипендии.

Первая в Индии телекоммуникационная сеть на основе квантовых вычислений введена в эксплуатацию





05

КВАНТОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

investmoscow.ru

ИНВЕСТИЦИОННЫЙ ПОРТАЛ ГОРОДА МОСКВЫ



Развитие квантовых технологий в России ведется в основном усилиями государства и научного сообщества ввиду малого объема частных инвестиций в российские квантовые разработки. За последние 10 лет российская квантовая школа смогла вернуть позиции, утраченные в начале 1990-х гг., однако сейчас России необходимо наращивать инвестиции в квантовые технологии, чтобы не отстать от Китая и США.

ИСТОРИЯ КВАНТОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РОССИИ

начало 2010-х

члены российского научного сообщества, заинтересованные в развитии квантовых технологий, объединяются в Российский квантовый центр (РКЦ)

2019

Правительство России выпускает Дорожную карту по развитию квантовых технологий

2020

важнейшие научные институты, представляющие российское квантовое сообщество — МФТИ, ВШЭ, «МИСиС», ФИАН, Российский квантовый центр и «Сколково» — объединяются в Национальную квантовую лабораторию

сентябрь 2022

Правительство России изъявило намерение увеличить финансирование в рамках Дорожной карты до 100 млрд руб.

РОЛЬ ГОСУДАРСТВА

В России государство играет одну из ведущих ролей в развитии квантовых технологий. Это отчасти объясняется тем фактом, что сейчас российский бизнес слабо заинтересован в поддержке квантовых вычислений, поэтому государство выступает как крупнейший инвестор в квантовые разработки.

Поддержка развития квантовых вычислений в России осуществляется в рамках федерального проекта «Цифровые технологии». Этот проект является частью национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации».

Сейчас в рамках «Цифровых технологий» реализуется проект Российского квантового центра. Проект РКЦ включает в себя развитие квантовых вычислений, квантовых компьютеров на основе ионов, квантовых алгоритмов и квантового программного обеспечения. Партнером РКЦ выступает Госкорпорация «Росатом».

НАЦИОНАЛЬНАЯ ПРОГРАММА

Российское правительство и квантовое научное сообщество неоднократно поднимали проблему отставания России от стран-лидеров в области квантовой физики. Чтобы разработать пути решения данной проблемы, в 2019 году Правительство России при участии госкорпорации «Росатом» подготовило Дорожную карту по развитию квантовых технологий. Дорожная карта ориентирована на представителей научного сообщества, но также содержит меры по налаживанию сотрудничества и с бизнесом.

Дорожная карта России по квантовым технологиям

Сроки: 2019–2030

Цель: создать в России к 2024 году полный цикл квантовых вычислений:

от аппаратных платформ до программного обеспечения и алгоритмов, а также сформировать условия для подготовки высококвалифицированных кадров мирового уровня

Ключевые предложения, обозначенные в Дорожной карте России по квантовым технологиям:

1. Всесторонняя поддержка перспективных научно-технологических проектов
2. Консолидация научного и технологического сообщества для разработки проектов национального и глобального масштаба

8-е место

занимает Россия по уровню патентной активности в квантовых технологиях

3. Создание в России инновационной экосистемы и формирование благоприятных условий для внедрения квантовых разработок в бизнес
4. Организация и поддержка сотрудничества между научными институтами и промышленностью в части практического эффективного использования квантовых технологий
5. Развитие кадрового потенциала в области квантовых технологий путем разработки новых образовательных программ всех уровней
6. Устранение административных барьеров на пути сотрудничества между научными институтами, бизнесом и государством

НАУЧНОЕ СООБЩЕСТВО

Ключевые центры квантовых вычислений в России располагаются в Москве. В столичном регионе сложилась наиболее эффективная система подготовки ученых и специалистов в области квантовой физики. Российская квантовая школа представлена Российским квантовым центром, Центром квантовых технологий (ЦКТ) МГУ имени М.В. Ломоносова, Всероссийским

научно-исследовательским институтом автоматике им. Н.Л. Духова, Национальным исследовательским университетом "МИЭТ". Весомый вклад в развитие квантовых технологий вносят исследовательские организации, например институты РАН.

БИЗНЕС И СТАРТАПЫ

Несмотря на недостаточную заинтересованность российского бизнеса в развитии квантовых технологий, благодаря развитой научно-технической школе в России за последние 5-10 лет появились первые квантовые стартапы. Они работают в таких сферах, как защита данных, кибербезопасность и медицина.

Российские квантовые стартапы

Компания	ГОД ПОЯВЛЕНИЯ	СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ	ДОСТИЖЕНИЯ
QRate	2015	Системы квантового распределения ключей, необходимые для защиты данных	Оборудование QRate используется в первой межвузовской квантовой сети, объединяющей кампусы НИТУ «МИСиС» и МТУСИ
QLU	2017	Сверхчувствительные квантовые магнитные сенсоры. Они используются в медицине, особенно полезны для отслеживания мозговой активности	В 2021 году QLU совместно с учеными из «Сколково» и НИУ ВШЭ создали первый в мире сверхчувствительный магнитометр, работающий при комнатной температуре
QApp	2017	Научно-прикладные исследования в области постквантового шифрования	В 2022 году QApp получила сертификаты совместимости с российскими процессорами «Байкал» и «Эльбрус». В этом же году QApp использовала свои решения для обеспечения безопасности host-to-host соединений Газпромбанка
QBoard	2018	Разработка облачной платформы квантовых вычислений. Она предоставляет бизнесу удаленный доступ к квантовым компьютерам и эмуляторам для решения прикладных и научно-исследовательских задач	В октябре 2022 года QBoard создала платформу для моделирования нескольких молекул, в том числе кислорода и углекислого газа. Данная разработка применяется при создании машин с низким выбросом CO ₂ .
QSpace	2021	Спутниковые и атмосферные системы квантовой криптографии	Сейчас стартап работает над созданием спутника весом около 10 кг. Спутник предназначен для проверки гипотез и тестирования элементов конструкции. В перспективе это обеспечит безопасную передачу информации между двумя любыми точками мира

ДОСТИЖЕНИЯ

РКЦ, ФИАН, Сколтех и ФТИАН получили первые результаты в области исследования потенциала вероятного представления квантовых состояний для анализа возможностей квантовых устройств промежуточного масштаба.

Исследователи из РКЦ и МПГУ совместно разрабатывают квантовый вычислитель на холодных ионах кальция. Изготовлены первые образцы поверхностной ионной ловушки, а также спроектирована гибридная система вакуумной камеры и ионной ловушки.

РЕКОМЕНДАЦИИ

Российские квантовые исследования нуждаются в двух важных составляющих, которые могли бы вывести отечественную науку на мировой уровень.

В первую очередь, речь идет о политике по привлечению талантливых ученых и специалистов. С 1990-х гг. Россия является крупным «поставщиком» научно-технических кадров

для ведущих учебных заведений и компаний США и Европы. По данным РАН, количество ученых в России с 2018 года уменьшилось на 30 тыс. чел., а с 2012 по 2022 гг. общее число ученых в России сократилось более, чем в 5 раз. Доля ученых в России от общего числа жителей составляет 0,003%, в то время как в США этот показатель приближается к 7%.

Решение данной проблемы требует как государственных инвестиций в человеческий капитал на широком уровне — через увеличение расходов на образование, здравоохранение и социальную политику, так и продуманной политики по привлечению и удержанию талантливых ученых и студентов. Пока российский бизнес не может создать достаточного числа высокооплачиваемых рабочих мест для квантовых специалистов, государство могло бы занять

эту роль посредством увеличения заработных плат для научных сотрудников, стипендий и предоставления специальных льгот.

Во-вторых, квантовые технологии России нуждаются в частных инвестициях, что могло бы повысить привлекательность квантовой физики. Сейчас, скорее всего, возможности финансовых вложений в квантовые технологии существуют у крупных компаний или госкорпораций (ПАО «Газпром» сотрудничает с квантовым стартапом QArr в области защиты данных).

С учетом текущей политической и экономической ситуации российским квантовым стартапам, которые продолжают работать в России, несмотря на финансовые и организационные трудности, стоило бы содействовать в налаживании связей с учеными и бизнесом

из Китая и Индии. Например, по данным РБК, китайский автопром сейчас заинтересован в изучении разработок стартапа QBoard, которые помогают создать автомобили с низким объемом выбросов CO₂.

Таким образом, в ближайшее время российская квантовая наука должна преимущественно ориентироваться на свои собственные ресурсы, но при этом стремиться развивать сотрудничество с ведущими зарубежными научными сообществами. В идеале решение российских проблем в данной области должно осуществляться за счет грамотных инвестиций государства, привлечения бизнеса и повышения качества жизни: и тех, кто занимается квантовыми разработками, и тех, кто мог бы использовать такую продукцию.



Российские разработки

В России планируется создание Национальной квантовой сети

Центр квантовых технологий МГУ имени М.В. Ломоносова предлагает запустить Национальную квантовую сеть, которая объединит российские университеты и научные центры.

Сеть будет использоваться для проведения исследований и испытания устройств квантовой связи. Кроме того, она может применяться для обучения студентов и специалистов в области квантовых технологий. Национальная квантовая сеть может быть создана на основе магистральной квантовой сети РЖД, которая соединяет Москву и Санкт-Петербург.

Магистральная квантовая сеть РЖД уже объединила Москву, Санкт-Петербург и Нижний Новгород. Ее протяженность составляет 1147 км. К концу 2024 года протяженность квантовых сетей превысит 7 тыс. км, а к 2030 году составит 15 тыс. км.

В качестве первого этапа по созданию Национальной квантовой сети Центр квантовых технологий МГУ предлагает объединить локальные квантовые сети Санкт-Петербургского национального

исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики (ИТМО) и МГУ имени М.В. Ломоносова.

В 2021 году была запущена первая в России межвузовская квантовая сеть с открытым доступом, которая объединила Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (НИТУ «МИСиС») и Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ). Данная сеть состоит из 5 узлов и масштабируется по мере появления новых участников. Присоединиться к сети могут вузы, компании-партнеры и государственные учреждения.



Российские разработки

Российская квантовая нейросеть провела первые вычисления

В марте 2023 г. специалисты МФТИ представили первую в России квантовую нейросеть. Нейросеть была протестирована на задачах по классификации и распознаванию рукописных изображений.

Исследователи проводили эксперименты с моделью искусственного интеллекта, ускоренной квантовым симулятором. Симулятор представляет собой цепочку из 4 кубитов, которую изготовили в Центре коллективного пользования МФТИ.

К 2024 году ученые из МФТИ планируют разработать 16-кубитный квантовый процессор.

Помимо решения задач по распознаванию рукописных изображений, нейросеть применили для решения 3 типов задач:

- определение четности;
- обнаружение рака молочной железы;
- классификация различных вин по десятку параметров.

В будущем специалисты МФТИ планируют увеличить количество кубитов в квантовом симуляторе, усложнить задачи по классификации, протестировать способность системы прогнозировать показатели на основе выборки исходных данных.

В ноябре 2022 г. в МФТИ и МИСиС провели первые вычисления на 4-кубитном квантовом компьютере на базе сверхпроводников. Компьютер был полностью разработан российскими специалистами.

Квантовая интегральная схема, созданная в МФТИ © МФТИ



>90%
ТОЧНОСТИ

продемонстрировала квантовая нейросеть МФТИ при распознавании цифр

0,025
микросекунд

требуется квантовому компьютеру МФТИ для проведения вычислений

Российские разработки

В России создан квантовый компьютер с облачным доступом

В апреле 2023 г. российские ученые продемонстрировали отечественный квантовый компьютер с облачным доступом. Компьютер состоит из 5 кубитов и работает на ионах. Разработкой компьютера занимались специалисты Российского квантового центра, ФИАН им. П. Н. Лебедева РАН, Сколтех и ФТИАН им. К. А. Валиева РАН.

Проект по созданию ионного квантового компьютера с облачным доступом запущен в 2020 году. В 2021 году ученые разработали прототип процессора из 4 кубитов и архитектуру процессора на основе кудитов. В 2022 году они увеличили мощность процессора до 5 кубит.

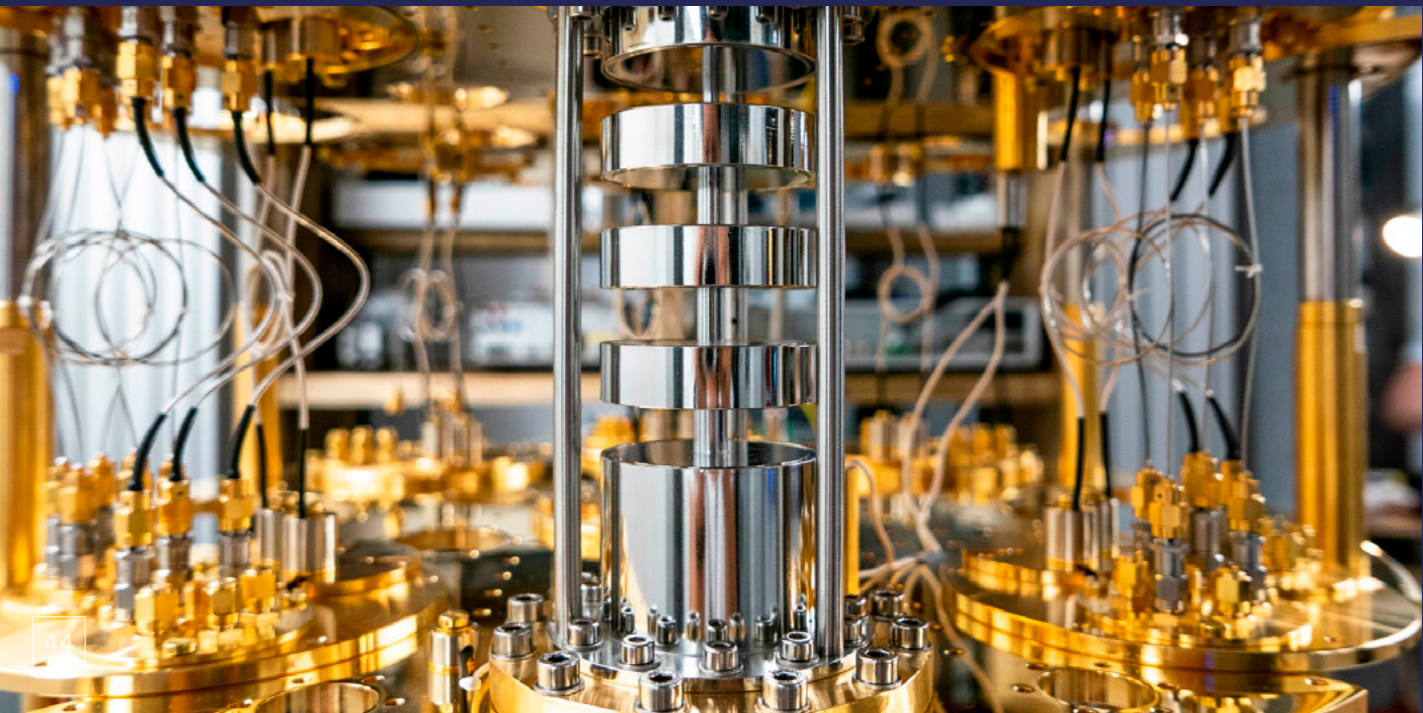
Кудит — расширенная версия кубитов. Вычислительная мощность пары кудитов эквивалентна 20 кубитам. Кудит может одновременно иметь значения «0», «1» и дополнительные логические значения. Благодаря этому система на базе 2 кудитов по возможностям сопоставима с 20-кубитным квантовым компьютером.

Исследователи запустили квантовые алгоритмы, подключившись к квантовому процессору с классического компьютера. Чтобы продемонстрировать возможности процессора, ученые удаленно запустили

на процессоре алгоритм для поиска значения по неупорядоченной базе данных, а также алгоритм для решения задачи по нахождению n -битного числа.

Разработка позволила повысить точность однокубитных операций до 90%, двухкубитных — до 80%.

Сейчас команда специалистов тестирует квантовые алгоритмы для моделирования химических процессов и машинного обучения. В планах исследователей масштабировать ионный квантовый процессор и интегрировать программное обеспечение в облачную платформу, которая разрабатывается в рамках Дорожной карты по развитию квантовых вычислений.



Российские разработки

Российская компания разработала систему видеоконференцсвязи с постквантовым шифрованием

В феврале 2023 г. российская компания T1 разработала первую отечественную ВКС-систему, защищенную с помощью квантовых технологий, — сервис Dion. Она может противостоять кибератакам с применением квантовых компьютеров благодаря внедрению VPN от компании QApp. VPN обеспечивает квантово-устойчивое туннелирование трафика в реальном времени за счет постквантовых алгоритмов.

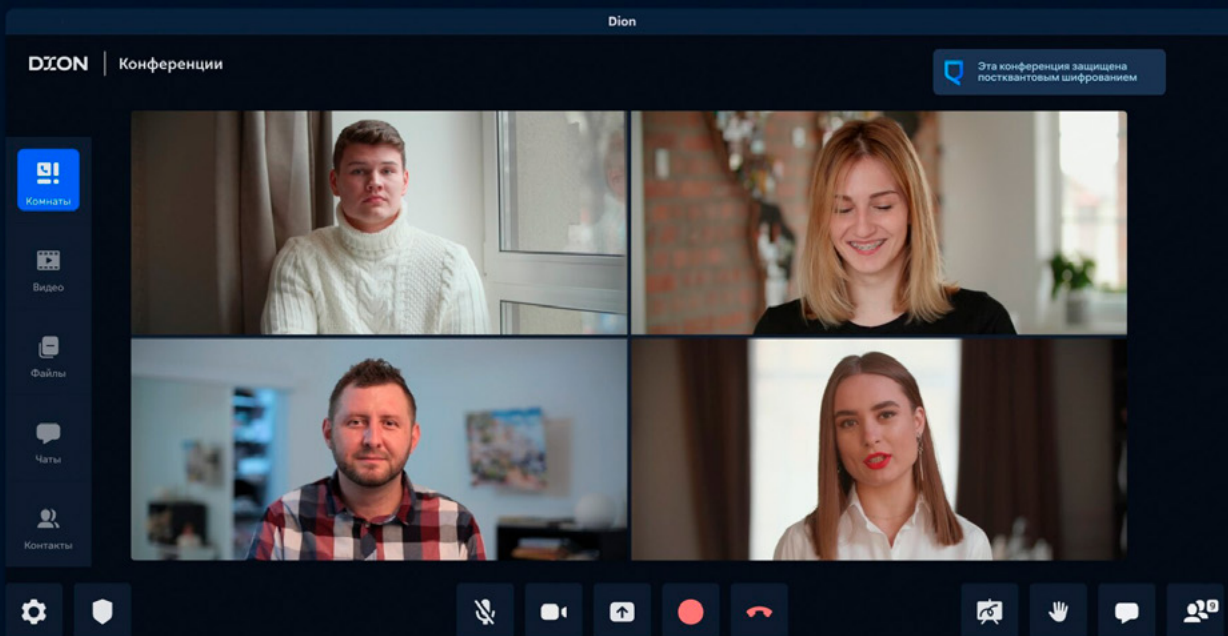
Квантовое туннелирование — эффект, при котором квантовые частицы могут проходить через барьеры, высота которых больше, чем энергия частиц.

Решение от компании T1 обеспечивает защиту канала передачи данных, связывающего участников видеосвязи, от кибератак с применением как классических, так и квантовых компьютеров. При этом, по сообщениям разработчиков, внедрение квантовых технологий не повлияло на качество звука и видеотрансляции.

Система квантовой видеоконференции станет доступна на рынке в 2024-2025 гг.

Одно из преимуществ новой системы видеосвязи в том, что она применима для организации связи на расстоянии в несколько тысяч километров. Так, в ходе тестирования системы дистанция между участниками видеоконференции достигала 1,8 тыс. км. Для сравнения: применение альтернативных способов квантового шифрования позволило бы обеспечить связь на расстоянии не больше 100 км.

Система ВКС с постквантовым шифрованием © QApp





06

ИНТЕРВЬЮ С АЛЕКСЕЕМ ФЕДОРОВЫМ

Создатель первого в мире квантового блокчейна

Алексей Федоров

Российский ученый, выпускник МГТУ им. Н.Э. Баумана, автор более 100 научных публикаций в области квантовой физики и квантовых технологий. В настоящее время Алексей является научным руководителем группы «Квантовые информационные технологии» Российского квантового центра, а также руководителем лаборатории Университета МИСиС в рамках стратегического проекта «Квантовый интернет».



1

Алексей, большое спасибо, что уделили время для общения с нами! Сегодня Ваше имя упоминается практически во всех материалах, которые связаны с квантовыми технологиями в Российской Федерации. Как Вы выбрали для себя такое уникальное направление деятельности?

Большое спасибо за возможность рассказать об этом интересном научно-технологическом направлении. Меня со школьного возраста интересовала квантовая физика, прежде всего, своими парадоксами и, местами, даже загадками. Сейчас о многом можно услышать из сериалов и фильмов. Например, о котях Шредингера или квантовой запутанности. В университете я впервые услышал о квантовых технологиях, т.е. о «квантах» не просто со стороны фундаментальной физики, а также со стороны потенциальных приложений.



2

Если говорить простыми словами, то как можно описать квантовые технологии для любого человека, кто не изучал физику и информатику как отдельные науки?

Суть квантовых технологий – управление мельчайшими объектами нашего мира, отдельными атомами, ионами, фотонами или, например, искусственными атомами. Оказывается, с помощью парадоксальных свойств квантовых систем можно создавать приборы и устройства, которые смогут решать какие-то задачи принципиально лучше, чем привычные нам технологии.





3

Сегодня мир квантовых технологий делится на множество специализированных направлений: квантовая оптика, квантовая поляритоника, квантовые коммуникации и другие. Вы являетесь научным руководителем группы «Квантовые информационные технологии» в Российском квантовом центре. Расскажите, каковы особенности Вашего направления и какие проекты сейчас Вы активно ведете?

Впервые в мире разработан отечественный кудитный процессор на ионах иттербия: процессор работает с 8 кудитами, которые вычислительно эквивалентны 16 кубитам

Квантовые информационные технологии — направление на стыке квантовой физики и теории информации. С одной стороны, квантовые системы могут быть эффективно использованы для задач обработки и передачи информации — это концепция лежит в основе идей квантовых компьютеров и устройств квантовых коммуникаций. С другой стороны, методы теории информации полезны для понимания свойств сложных квантовых систем и управления ими. В рамках Дорожной карты по квантовым вычислениям мы разрабатываем квантовые алгоритмы и программное обеспечение.



4

Квантовый блокчейн — это передовая технология по защите и передаче данных. В каких сферах есть хорошие перспективы ее применения?

В России впервые в мире экспериментально продемонстрирован квантово-защищенный блокчейн

Блокчейн — это способ построения распределенных баз данных. Распределенные базы данных — в противоположность централизованным — более устойчивы к определенным типам атак и ошибок, которые возникают в их работе. Одним из применений блокчейнов являются криптовалюты, т.е. цифровые валюты, которые создаются, передаются и управляются в рамках распределенной системы, в которой все транзакции прозрачны и легитимны для всех пользователей. Для функционирования такой базы данных нужны некоторые криптографические элементы, такие как электронные подписи — цифровые аналоги наших подписей, которые могут служить для того, чтобы проверять авторство транзакций. Современные электронные подписи оказываются неустойчивыми к новому типу атак — атак с квантовыми компьютерами, которые являются новыми типами вычислительных устройств. Возможным способом защиты от атак с квантовым компьютером является квантовая криптография, в которой используется передача одиночных квантовых объектов. Квантовый блокчейн — это блокчейн, построенный на основе квантовой криптографии. Такая система будет устойчива не только к текущим, но и будущим угрозам. Интерес к квантово-устойчивому блокчейну проявляет, в первую очередь, финансовый сектор.





5

Можем ли мы утверждать, что за квантовыми технологиями наше будущее?

Безусловно. С их развитием связывают новую волну прогресса: в нашу жизнь войдут устройства, которые могут решать задачи, которые принципиально не решаются сейчас. Из примеров – применение квантовых компьютеров для решения оптимизационных задач, которые могли бы значительно экономить время и деньги, а также создание новых материалов с необычными свойствами.



6

Как Вы оцениваете текущее развитие квантовых технологий в мире? Какие страны и почему являются наиболее преуспевающими в этом направлении?

К квантовым технологиям сегодня приковано внимание всего мира. Несмотря на рост частных инвестиций, государственная поддержка в столь масштабном проекте как строительство мощного квантового компьютера необходима. Поэтому все технологически развитые страны опубликовали свои программы (Дорожные карты) развития квантовых технологий. Подобные программы опубликовали США, Китай, Канада, Великобритания, Европейский союз, Россия, Япония и Австралия. Сегодня в числе лидеров страны Северной Америки, Западной Европы, а также Китай. Например, Китай является лидером по числу патентов в этой области. Также там созданы одни из мощнейших квантовых компьютеров в мире, а также протяженные сети для квантовых коммуникаций.





7

Говоря о развитии квантовых технологий в Российской Федерации, какие преимущества и недостатки Вы бы выделили сегодня ?

Дорожная карта по развитию квантовых вычислений в Российской Федерации продлена до 2030 года

В России основным драйвером развития квантовых технологий являются Дорожные карты в рамках программы «Цифровая экономика», которые сейчас в активной фазе реализуются по направлениям квантовых коммуникаций и квантовых вычислений. Результатом проектов в рамках Дорожной карты по квантовым вычислениям в России уже стал, например, многокубитный ионный квантовый компьютер. Ключевыми преимуществами я бы назвал, во-первых, уровень внимания, который сейчас государство направляет в эту сферу, и, во-вторых, большое количество хороших студентов с сильным фундаментальным образованием. Насчет недостатков – сложно сказать. Конечно, все системы нуждаются в настройке и корректировке. Но относится к категории задач, которые должны быть решены.



8

Возможно ли полезное применение квантовых вычислений в отечественной промышленности ? В каких отраслях это могло бы быть наиболее эффективно ?

Использование квантовых компьютеров позволит ускорить решение практических задач из области машинного обучения, оптимизации, моделирования химических систем и материалов с использованием квантовых процессоров. В перспективе это позволит решать те задачи, которые принципиально недоступны для классических суперкомпьютеров: оптимизировать логистические процессы на уровне города, быстро синтезировать лекарства и новые материалы. Уже сейчас мы работаем с представителями индустрии. Интерес проявляет атомная отрасль, финансовый сектор и нефтегаз. Мы в данный момент изучаем те задачи, которые можно было бы более эффективно решать с помощью квантовых компьютеров и разрабатываем для этих задач квантовые алгоритмы.





9

Алексей, Вы несколько лет уже работаете в Российском квантовом центре. С какими российскими учреждениями Вы сотрудничаете и по каким направлениям в сфере развития квантовых технологий?

Мы работаем с университетами и исследовательскими центрами. Их очень много: речь идет как об отечественных организациях, так и о международном сотрудничестве. Например, в нашем проекте по разработке российского квантового компьютера на основе ионов, помимо РКЦ, участвовали ФИАН им. П.Н. Лебедева, ФТИАН им. К.А. Валиева и Сколковский институт науки и технологий. В рамках проектов Дорожной карты таких партнеров уже несколько десятков, включая МГУ им. М.В. Ломоносова, МФТИ, МИСИС и т.д.



10

Расскажите немного о себе, как деятельность в сфере квантовых технологий отражается на Вашей повседневной жизни? Удастся ли найти немного свободного времени?

Свободного времени мало! Сегодня перед нами стоят интересные задачи, хочется концентрировать на их решении все силы. Свободное время использую для прогулок и общения с друзьями.



Алексей, благодарю Вас за участие в нашем интервью! Квантовые технологии, действительно, привлекают все больше внимания, несмотря на сложность и особенности понимания принципов их работы. Надеемся, что применение квантовых технологий в различных сферах деятельности общества позволит поднять качество жизни большинства людей на принципиально новый уровень.

Ближайшие мероприятия в мире квантовых технологий

США И КАНАДА

■ Ванкувер, Канада

10TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON THEORETICAL AND APPLIED PHYSICS

Конференция по теоретической и прикладной физике

2-3 августа 2023 г.

■ Чикаго, США

8TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON QUANTUM PHYSICS AND MECHANICS

Конференция, посвященная достижениям в области квантовой физики и механики

29-30 июня 2023 г.

■ Нью-Йорк, США

EUROPEAN CONGRESS ON LASER, OPTICS AND PHOTONICS

Выставка, посвященная тенденциям развития лазерной оптики

27-28 сентября 2023 г.

■ Москва, Россия

7-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО КВАНТОВЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ ICQT 2023

9-12 июля 2023 г.

ЕВРОПА

■ Падова, Италия

QUANTUM COMMUNICATIONS SCHOOL

Школа по квантовым коммуникациям

22-26 мая 2023 г.

■ Барселона, Испания

QBN MEETING ON QUANTUM COMPUTING & APPLICATIONS

Заседание рабочей группы по применению квантовых технологий и интеграции высокопроизводительных вычислений

14-15 июня 2023 г.

■ Сантьяго де Компостела, Испания

ICES QUANTUM INFORMATION IN SPAIN

Конференция по квантовой информатике и технологиям

29 мая-1 июня 2023 г.

■ Мсида, Мальта

QIM-QUANTUM INFORMATION IN MALTA 2023

Семинар по квантовым вычислениям, квантовой термодинамике и квантовой запутанности

30 мая-2 июня 2023 г.

■ Коркеаоски, Финляндия

SUMMER SCHOOL ON OPEN QUANTUM SYSTEMS AND MESOSCOPIC PHYSICS OQS 2023

Летняя школа по открытым квантовым системам и мезоскопической физике

4-9 июня 2023 г.

■ Готенбург, Швеция

FRONTIERS OF NEAR-TERM QUANTUM COMPUTING

Семинар по квантовым вычислениям

29 августа-01 сентября 2023 г.

■ Варшава, Польша

QBIC-VI – 6TH QUANTUM BIO-INORGANIC CHEMISTRY CONFERENCE

Конференция по применению квантовых технологий в химии

28 августа-01 сентября 2023 г.

■ Вена, Австрия

VDSP SUMMER ACADEMY ON MATTER WAVES

Летняя академия, посвященная физике волновых процессов

17-28 июля 2023 г.

■ Штутгарт, Германия

QBN QUANTUM INDUSTRY SUMMIT

Конференция, посвященная прикладным квантовым технологиям

QUANTUM EFFECTS

Выставка решений в области квантовых технологий

10-11 октября 2023 г.

■ Копенгаген, Дания

QMATH MASTERCLASS 2023 ON QUANTUM LEARNING THEORY

Мастер-класс по теории квантового обучения

21-25 августа 2023 г.

■ Мюнхен, Германия

SQUAD WORKSHOP ON QUANTUM COMMUNICATION, QUANTUM SENSORS, PHOTONIC QUANTUM COMPUTING

Семинары по квантовым коммуникациям, квантовым датчикам и квантовым вычислениям

27-29 июня 2023 г.

■ Сонтгофен, Германия

MUNICH CONFERENCE ON QUANTUM SCIENCE AND TECHNOLOGY 2023

Конференция по квантовой науке и технологиям

20-23 июня 2023 г.

■ Токио, Япония

Q2B TOKYO 2023

Конференция, посвященная квантовым вычислениям

19-10 июля 2023 г.

■ Окояма, Япония

INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION TECHNOLOGY AND EDUCATION TECHNOLOGY (ITET)

Конференция

12-14 мая 2023 г.

■ Ницца, Франция

SUMMER SCHOOL QUANTUM COMPUTATION AND INFORMATION

Летняя школа по квантовым вычислениям и информации

09-14 июля 2023 г.

АЗИЯ

ОТ РЕДАКЦИИ

Специальный выпуск аналитического дайджеста «Москва. Город будущего» посвящен одному из самых перспективных направлений в науке — квантовым технологиям. Разработки в области квантовых вычислений, моделирования и сенсорики уже внедряются в такие сектора экономики, как промышленность, транспорт, здравоохранение и энергетика.

Наряду с областями применения квантовых технологий, в журнале рассмотрен международный опыт развития данной области, охватывающий 5 лидеров отрасли, — США, ЕС, Китай, Канаду и Индию. Отдельный раздел специального выпуска содержит анализ состояния сферы квантовых технологий в России и достижения российских ученых.



**Сенин
Евгений Игоревич**
куратор работы отдела



**Кузнецов
Артем Васильевич**
руководитель проекта



**Чудакова
Ирина Сергеевна**
аналитик проекта



**Цаава
Алиса Кобаевна**
аналитик проекта



**Изгачев Никита
Игоревич**
дизайнер проекта



ДЕПАРТАМЕНТ ИНВЕСТИЦИОННОЙ
И ПРОМЫШЛЕННОЙ ПОЛИТИКИ
ГОРОДА МОСКВЫ



MOS.RU/DIPP

investmoscow.ru
ИНВЕСТИЦИОННЫЙ ПОРТАЛ ГОРОДА МОСКВЫ



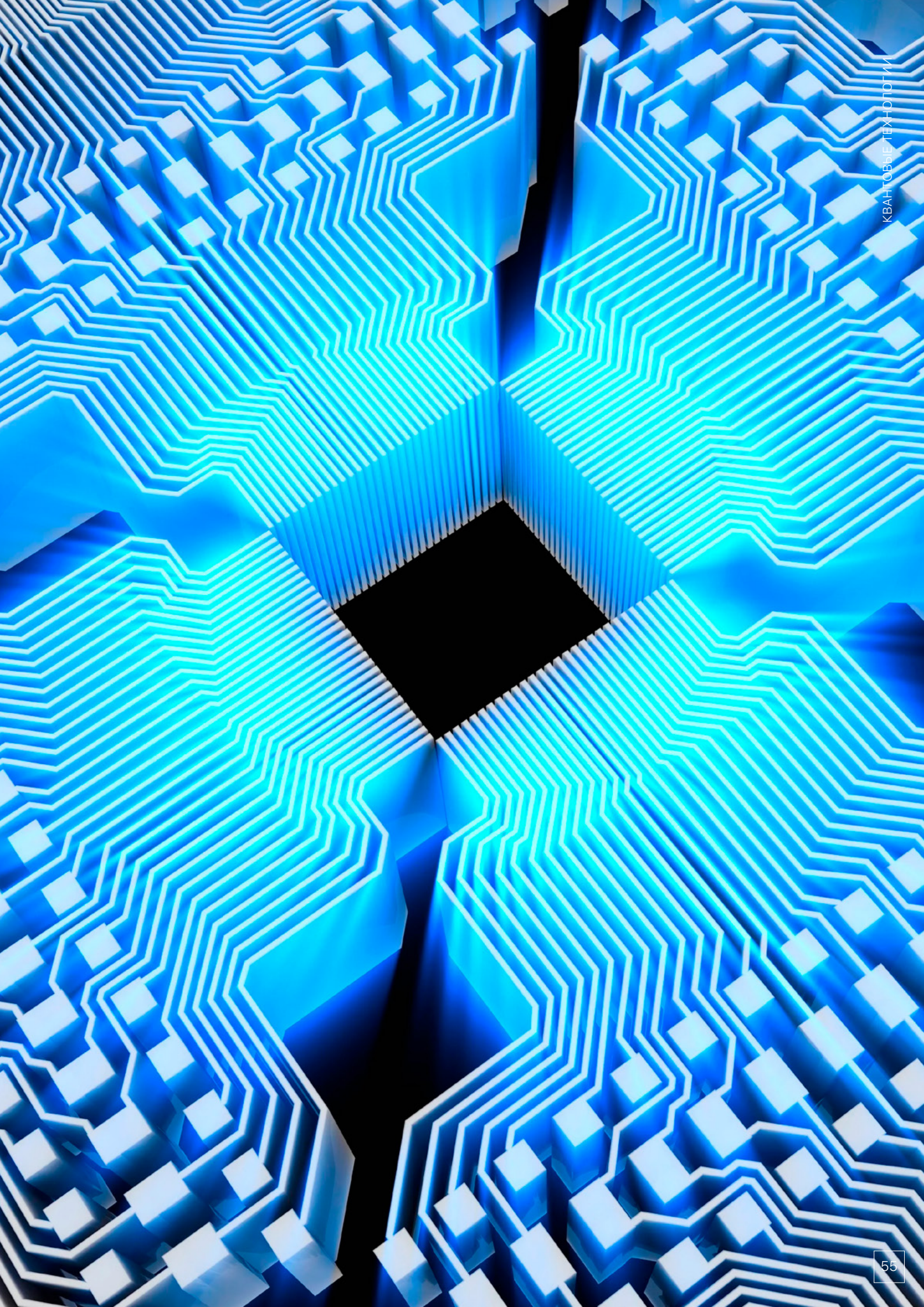
INVESTMOSCOW.RU



ГОРОДСКОЕ АГЕНТСТВО
УПРАВЛЕНИЯ ИНВЕСТИЦИЯМИ

**ДЕПАРТАМЕНТ ИНВЕСТИЦИОННОЙ
И ПРОМЫШЛЕННОЙ ПОЛИТИКИ ГОРОДА МОСКВЫ**
1-й Красногвардейский пр., д. 21, стр. 1
+7 (495) 620-20-00
www.mos.ru/dipp

**ГОРОДСКОЕ АГЕНТСТВО УПРАВЛЕНИЯ
ИНВЕСТИЦИЯМИ**
ул. Новый Арбат, д.11, стр.1
+7 (495) 690-00-00
investmoscow.ru





ДЕПАРТАМЕНТ ИНВЕСТИЦИОННОЙ
И ПРОМЫШЛЕННОЙ ПОЛИТИКИ
ГОРОДА МОСКВЫ

investmoscow.ru

ИНВЕСТИЦИОННЫЙ ПОРТАЛ ГОРОДА МОСКВЫ



ГОРОДСКОЕ АГЕНТСТВО
УПРАВЛЕНИЯ ИНВЕСТИЦИЯМИ