



КВАНТОВЫЙ ДАЙДЖЕСТ

НКЛ

Национальная
Квантовая
Лаборатория



Ноябрь 2023 г.

НАЦИОНАЛЬНЫЕ КВАНТОВЫЕ ПРОГРАММЫ

- 02 «Квантовый дом» во Франции помогает стартапам найти промышленных партнёров
В Женеве заработал Открытый квантовый институт, созданный по модели ЦЕРН
Аналитики рекомендовали Конгрессу США увеличить финансирование квантовых технологий
ЕС собирается защитить свои квантовые разработки «от соперников»
В соответствии с дорожной картой финские учёные представили 20-кубитный квантовый компьютер

03 КВАНТОВАЯ ИНДУСТРИЯ

- Atom Computing тестирует первый квантовый процессор с количеством кубитов более 1000
Fujitsu и RIKEN запускают платформу гибридных квантовых вычислений
D-Wave оптимизирует пропускную способность телекоммуникационных сетей
- 04 Итоги российско-китайского эксперимента по установлению защищённых спутниковых каналов связи
Сертификация промышленных систем квантовой криптографии
Квантовый сенсор обнаруживает спрятанные под землёй мины
Протестирована модель квантового сенсора на холодных атомах для дронов

05 ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ

- Прогресс в развитии нейтрально-атомной платформы
Полностью адресуемая матрица из 16 квантовых точек в германии
- 06 Предложен способ подключения квантового компьютера с захваченными ионами на 1000 кубитов
Широкополосный конвертер микроволновых фотонов в оптические на ридберговских атомах
Массив фотонных резонаторов как программируемый квантовый симулятор
- 07 Многокубитные системы атомного масштаба на поверхности изолятора
Российские учёные смоделировали фазовый переход в кутрите
В России синтезирован материал для изучения спиновой запутанности при комнатной температуре
- 08 Китайский фотонный компьютер JiuZhang 3 установил новый рекорд скорости
Ученые Google преодолели утечку квантовой информации при квантовой коррекции ошибок
Простая модификация корректирующего кода в 10 раз уменьшила ошибки в процессоре Quantinuum
- 09 Неразличимые фотоны от излучателей на основе редкоземельных элементов
[Обзор] Практическое использование квантовых алгоритмов

БЛИЖАЙШИЕ МЕРОПРИЯТИЯ

- 10 Quantum Techniques in Machine Learning
Photonics-based Quantum Computing
SPIE Quantum West
Quantum Innovation Summit

«Квантовый дом» во Франции помогает стартапам найти индустриальных партнёров



Созданный по инициативе крупнейшего в мире стартап-кампуса Station F «Квантовый дом» объединит под одной крышей 10 французских и иностранных стартапов, среди которых достаточно известные команды Pasqal, Multiverse Computing и Quandela. Сооснователями «Квантового дома» стали 6 крупных компаний, которые помогут с практическим внедрением квантовых разработок: BCG (общее бизнес-планирование), EDF (энергетика), Thales (оборона и безопасность), Janssen (здравоохранение), ATOS (высокопроизводительные вычисления) и OVHcloud (облачные платформы).

Проект «Квантовый дом» финансируется из средств национальной квантовой программы Франции.

Источник: [The Quantum Insider](#)

В Женеве заработал Открытый квантовый институт, созданный по модели ЦЕРН



В основу деятельности Open Quantum Institute (OQI) положена модель «открытой науки», когда исследователи со всего мира объединяются для совместной работы над проектами, находящимися на переднем крае современной науки и техники.

Научную программу OQI составляли около 130 экспертов из 20 стран, а его сооснователями стали швейцарский фонд GESDA, МИД Швейцарии, ЦЕРН, институты ETH Zurich и EPFL, а также банк UBS, который обеспечит стратегическое управление и основное финансирование института в первые три года в размере 2 млн швейцарских франков ежегодно.

Источник: [UBS](#)

Аналитики рекомендовали Конгрессу США увеличить финансирование квантовых технологий



Эксперты Center for Data Innovation — неправительственной организации, разрабатывающей программы цифровой экономики, выдвинули 10 предложений к Конгрессу США в преддверии продления национальной квантовой программы. Они рекомендуют увеличить ежегодный бюджет программы минимум до 525 млн долл. в 2024–2028 гг. и утвердить дополнительное финансирование образовательных и инфраструктурных программ в рамках «Закона о чипах». Кроме того, Национальному научному фонду рекомендовано значительно расширить квантовые образовательные программы, Министерству торговли совместно с индустриальным консорциумом QED-C — обеспечить необходимую инфраструктуру и цепочки поставок, а Министерству энергетики — возглавить программу по привлечению зарубежных инвесторов для квантовых проектов.

Источник: [Center for Data Innovation](#)

ЕС собирается защитить свои квантовые разработки «от соперников»

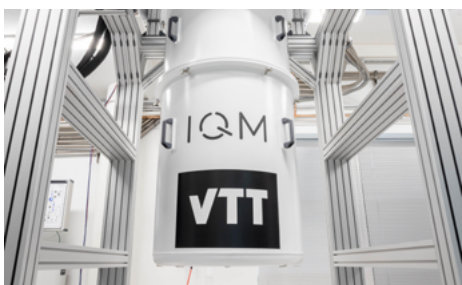


По информации Politico, готовится список критических технологий, попадание которых в руки соперников (среди них назван Китай) способно нанести ущерб интересам Евросоюза. В списке 10 направлений, но наиболее важными отмечены 4 из них:

- Полупроводниковые технологии: микроэлектроника, фотоника, телекоммуникационное и производственное оборудование;
- Искусственный интеллект: суперкомпьютеры, облачные вычисления, аналитика данных, машинное зрение, обработка естественного языка и распознавание объектов;
- Квантовые технологии: квантовые компьютеры, криптография, сенсоры и радары;
- Биотехнологии: инструменты генной модификации, новые геномные технологии, генный драйв и синтетическая биология.

Источник: [Politico](#)

В соответствии с дорожной картой финские учёные представили 20-кубитный квантовый компьютер



Новая модель пришла на смену 5-кубитному компьютеру на сверхпроводниках, созданному учёными исследовательского центра VTT и стартапа IQM в 2021 г. Финальной целью национальной программы с бюджетом 20,7 млн евро является создание до конца 2024 г. 50-кубитной модели.

Финское правительство заблаговременно объявило о продолжении национальной программы после 2024 г. Задачей нового этапа станет изготовление 300-кубитного квантового компьютера и достижение практического квантового превосходства. На эти цели будет выделено 70 млн евро.

Источник: [VTT](#)

КВАНТОВАЯ ИНДУСТРИЯ

Atom Computing тестирует первый квантовый процессор с количеством кубитов более 1000



Процессор включает 1180 атомов, захваченных в двумерном массиве из 1225 (35x35) оптических ловушек. Каждый из атомных кубитов связан с ближайшими кубитами в массиве и их соседями. Кубиты имеют рекордное время когерентности — 40 секунд, а их состояние может контролироваться непосредственно в процессе вычислений — эта особенность важна для протоколов коррекции ошибок. В отличие от других нейтрально-атомных систем новый процессор работает только в цифровом (гейтовом) режиме и не поддерживает аналоговые вычисления. Целью разработчиков является достижение точности двухкубитных операций 99,5%, однако, как сообщается, эта цель пока не достигнута.

Новый процессор будет доступен через облачные сервисы в 2024 году.

Источник: [Atom Computing](#)

Fujitsu и RIKEN запускают платформу гибридных квантовых вычислений



Кроме 64-кубитного квантового компьютера на сверхпроводниках, представленного RIKEN в марте этого года, вычислительный комплекс включает один из крупнейших в мире симуляторов квантового компьютера на 40 кубитов, разработанный Fujitsu. Для работы нового комплекса используется гибридный алгоритм, связывающий квантовые вычисления с традиционными высокопроизводительными вычислениями. Для проверки работы системы разработчики применили её для расчёта энергии основного состояния молекулы H_{12} — цепочечной молекулы из 12 атомов водорода — и объединили алгоритм с технологией коррекции ошибок на основе искусственного интеллекта.

Fujitsu и RIKEN также сообщают, что продолжается разработка квантового компьютера на 1000 кубитов.

Источник: [Fujitsu](#)

D-Wave оптимизирует пропускную способность телекоммуникационных сетей

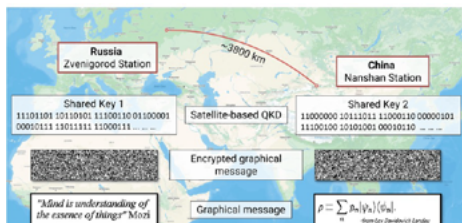


Компания D-Wave запустила на своей облачной платформе Leap демонстрацию работы квантового алгоритма, оптимизирующего эффективность канального декодирования в беспроводных системах цифрового вещания и связи. Квантовый компьютер потенциально может повысить пропускную способность передачи данных особенно в перегруженных городских районах с высоким уровнем шума.

По мнению D-Wave, квантовые вычисления могут быть эффективны для оптимизации различных процессов в телеком-индустрии, например при проектировании сетей связи, оптимизации загрузки колл-центров и работы сервисной службы.

Источник: [D-Wave](#)

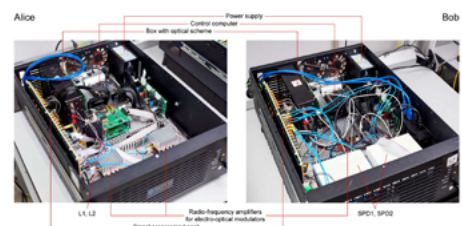
Итоги российско-китайского эксперимента по установлению защищённых спутниковых каналов связи



Опубликованы детали совместного эксперимента по распределению квантового криптографического ключа с помощью китайского спутника Micius между удалёнными наземными станциями. Российская и китайская станции находились на удалении 3800 км друг от друга: на территории Звенигородской обсерватории ИНАСАН и в районе Наньшань (КНР). При передаче использовался метод одноразовых блокнотов с длиной ключа равной длине передаваемого сообщения. В ходе эксперимента учёным удалось установить надёжный канал связи и решить множество задач, важных в контексте практического использования квантовых спутниковых систем.

Источник: [Arxiv](#)

Сертификация промышленных систем квантовой криптографии



Учёные Российского квантового центра и компании КуРЭйт подготовили подробное описание этапов подготовки системы квантового распределения ключей (КРК) к государственной сертификации. Это первое столь подробное исследование подобного рода. Рассмотрены все возможные способы атак на промышленные системы квантовой связи и меры противодействия им, а также технические требования к испытательной лаборатории для систем КРК.

Приведённые рекомендации подходят для испытания всех систем, использующих квантовый протокол распределения ключей BB84.

Источник: [Arxiv](#)

Квантовый сенсор обнаруживает спрятанные под землёй мины



Компания Quantum Computing Inc. представила детектор для обнаружения мин, созданный на основе оптического лидара и технологии квантовой параметрической сортировки мод (QPMS), которая позволяет проводить эффективную селекцию фотонов, отраженных непосредственно от обнаруживаемого объекта и от окружающей среды, а также восстанавливать профиль скрытого объекта.

Испытания, проведенные в Университете Оклахомы, продемонстрировали возможность устройства обнаруживать мины на глубине до 80 см под земной поверхностью.

Источник: [Fierce electronics](#) [Nature](#)

Протестирована модель квантового сенсора на холодных атомах для дронов



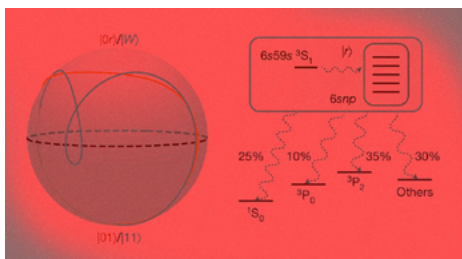
На базе массива холодных атомов в ловушках могут быть изготовлены сверхточные квантовые гироскопы, акселерометры, гравиметры и эталоны времени. Недостатками существующих устройств являются громоздкие размеры и невысокая надёжность в полевых условиях.

Британская компания Aquark Technologies завершила испытание компактного модуля весом в 10 кг, предназначенного для дронов. Тесты показали достаточную стабильность удержания и контроля атомов в широком диапазоне температур, в условиях высокой влажности и тумана и при наличии вибраций. Следующим этапом будет разработка квантовых сенсоров на базе этого устройства.

Источник: [The Quantum Insider](#)

ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ

Прогресс в развитии нейтрально-атомной платформы

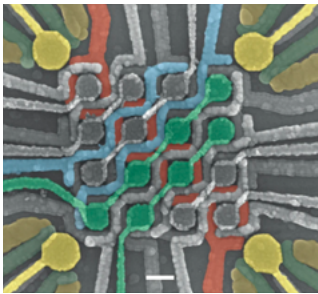


Атомная платформа имеет хорошую масштабируемость, однако, низкая точность операций традиционно была проблемой для использования кодов коррекции ошибок. Четыре исследовательские группы из США продемонстрировали значительный прогресс в этом направлении.

- Группа Михаила Лукина из Гарвардского университета в схеме из 60 атомов рубидия помимо двухкубитных операций с точностью 99,5% смогла реализовать и трёхкубитные с точностью 97,9%. Кроме того, ученые предложили, как реализовать такие же быстрые нативные вентили для 4, 5 и 6 кубитов.
- Физикам из Принстонского университета удалось создать на атомах иттербия одно- и двухкубитные вентили с точностью 99,9% и 98% соответственно. Помимо этого, они построили эффективную схему, которая исправляет ошибки во время вычисления.
- В Иллинойском университете в Урбане-Шампейне научились проводить неразрушающие измерения иттербиевых кубитов. Ученые достигли точности распознавания состояний на уровне 0,993. Также продемонстрировано адаптивное управление кубитами в реальном времени с использованием классического компьютера.
- В Калифорнийском технологическом институте продемонстрирован способ обнаружения и коррекции ошибок в массиве запутанных ридберговских атомов. Точность приготовления состояния Белла с использованием предложенного метода составила 99,71% и улучшена до 99,85% коррекцией SPAM ошибок.

Источник: [Nature Harvard](#) [Nature Princeton](#) [PRX Quantum Illinois](#) [Nature Caltech](#)

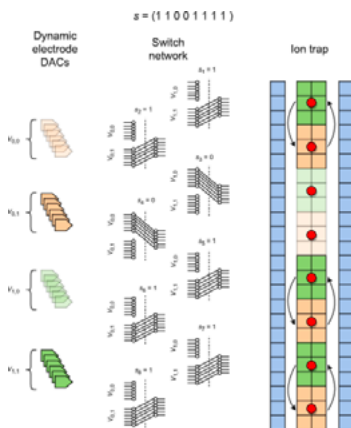
Полностью адресуемая матрица из 16 квантовых точек в германии



Естественная запутанность, вызванная близостью спиновых кубитов, ограничена расстоянием в несколько десятков нанометров, что затрудняет изготовление чипов с большим количеством межсоединений. Исследователи из нидерландской QuTech разработали новый подход для управления спиновыми кубитами, вдохновленный классическими архитектурами с произвольным доступом, такими как DRAM. Они создали чип с массивом из 4×4 квантовых точек, адресуемых с помощью управляющих напряжений по столбцам и строкам. Это уменьшило количество необходимых соединений и открыло реальную возможность создания многокубитных спиновых процессоров.

Источник: [Nature Nanotechnology](#)

Предложен способ подключения квантового компьютера с захваченными ионами на 1000 кубитов

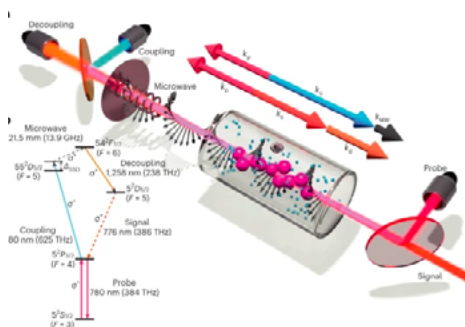


По мере увеличения количества кубитов в ионном квантовом процессоре размещение многочисленных электродов и генераторов сигналов на чипе становится все сложнее. Научная группа из Оксфорда представила метод, получивший название WISE, который позволяет запускать 1000-кубитное устройство всего на 200 линиях управления.

В WISE используется меньшее число генераторов сигналов, и они убраны непосредственно с самого чипа. Сигнал от одного генератора передается сразу на несколько кубитов через небольшое количество локальных переключателей. Авторы утверждают, что квантовый компьютер с захваченными ионами, использующий этот метод управления, может быть построен с использованием существующих технологий производства полупроводников.

Источник: [PRX Quantum](#)

Широкополосный конвертер микроволновых фотонов в оптические на ридберговских атомах

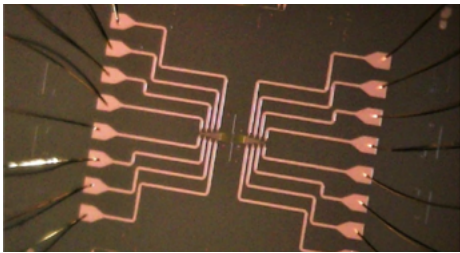


Учёные Польского центра квантовых оптических технологий связали излучение миллиметрового радиодиапазона и оптические моды, используя ридберговские атомы. Эти объекты хорошо подходят для такой цели, поскольку в ридберговских атомах есть все необходимые резонансы: возбуждение из основного состояния на уровень с большим значением главного квантового числа требует оптических фотонов, а переходы между высоколежащими состояниями — радиоволн.

Такие конвертеры необходимы, в частности, для передачи квантовой информации через оптические линии между удаленными сверхпроводниковыми кубитами. Исследователи достигли при комнатной температуре динамического диапазона конверсии в 57 дБ в широком спектральном диапазоне.

Источник: [Nature](#)

Массив фотонных резонаторов как программируемый квантовый симулятор

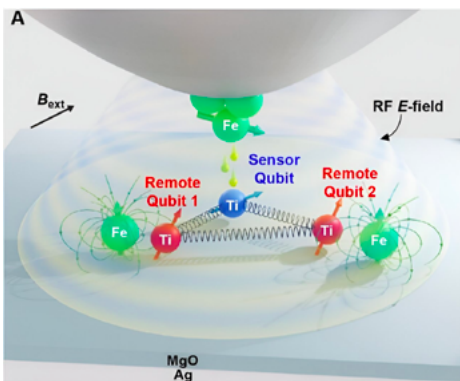


Ученые из университета Вашингтона использовали термооптические нагреватели для независимого управления каждым из восьми высокодобротных фотонных резонаторов, добившись низкого уровня тепловых помех между ними. Схема управления устройства позволяет программировать весь массив резонаторов на заданный гамильтониан, реализуя таким образом аналоговый квантовый симулятор.

За счёт совместимости с кремниевой фотоникой, этот подход открывает новые возможности для масштабируемого квантового моделирования на симуляторе с использованием фотонов в телекоммуникационном диапазоне.

Источник: [Nature](#)

Многокубитные системы атомного масштаба на поверхности изолятора

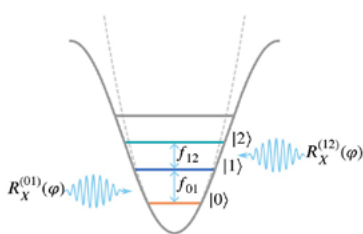


Корейские учёные продемонстрировали работу одно-, двух- и трёхкубитных гейтов в квантовой системе, состоящей из атомов титана, расположенных на поверхности диэлектрика. Для индивидуального управления электронными спинами использовался единственный «сенсорный» кубит, расположенный рядом с остриём туннельного микроскопа.

До сих пор учёным удавалось управлять лишь одиночным кубитом на поверхности. Достоинством нового метода является возможность прецизионной сборки самых разнообразных конфигураций из отдельных атомов и их индивидуальной адресации и создания таким образом различных вычислительных систем и симуляторов.

Источник: [Science](#)

Российские учёные смоделировали фазовый переход в кутрите

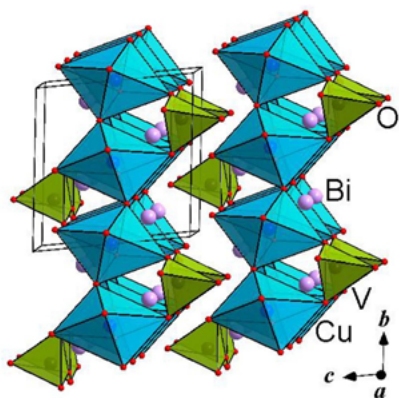


Квантовые системы, которые мы можем контролировать, идеально подходят для моделирования других квантовых систем, так как в них работают те же физические явления. В рамках выполнения проектов дорожной карты квантовых вычислений учёные из Российского квантового центра, МИСиС, ФИАН и МФТИ с использованием двух различных квантовых платформ (ионы в ловушках и сверхпроводники) впервые смогли смоделировать неравновесный фазовый переход в трёхуровневой квантовой системе — кутрите.

В перспективе многоуровневые системы (кудиты) могут использоваться для моделирования различных физических явлений. Дополнительные уровни в них могут играть роль контролируемых параметров внешней среды.

Источник: [Arxiv](#)

В России синтезирован материал для изучения спиновой запутанности при комнатной температуре

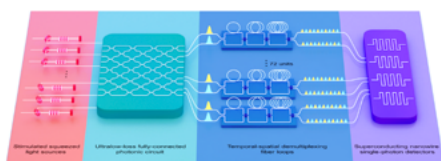


Российские учёные создали синтетический аналог редкого минерала намибита, $\text{Cu}(\text{BiO})_2\text{VO}_4\text{OH}$, особенностью магнитной подсистемы которого являются изолированные однородные цепочки полужелточисленных спинов на ионах меди. Большая величина обменного взаимодействия определяет большую длину корреляций в цепочке, что чрезвычайно важно для квантовой информатики. В то же время обменные взаимодействия между цепочками оказываются на один-два порядка меньшими.

Важно, что свойства системы сохраняются в широком диапазоне температур, поэтому учёные полагают, что новый материал может лечь в основу создания кубитов, работающих при комнатной температуре.

Источник: [ТАСС](#) [ЖЭТФ](#)

Китайский фотонный компьютер Jiuzhang 3 установил новый рекорд скорости

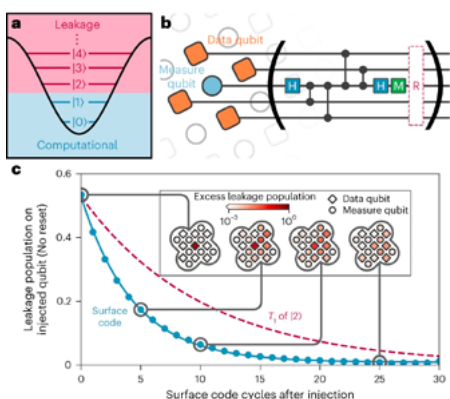


Первый фотонный компьютер Jiuzhang был построен командой Жан-Вэй Пена в Университете науки и технологий Китая в 2020 году. В первых двух версиях машины было 76 и 113 кубитов, а в представленной недавно третьей версии ученые увеличили это число до 255.

Jiuzhang 3.0 был использован для решения известной тестовой задачи, в которой нужно получить распределение гауссовских бозонов (фотонов), которые проходят через лабиринт кристаллов и зеркал. В итоге Jiuzhang 3 решил задачу с самой высокой сложностью выборки в 20 миллиардов раз быстрее чем потребовалось бы самому мощному на сегодняшний день классическому суперкомпьютеру.

Источник: [Phys. Rev. Lett.](#)

Ученые Google преодолели утечку квантовой информации при квантовой коррекции ошибок

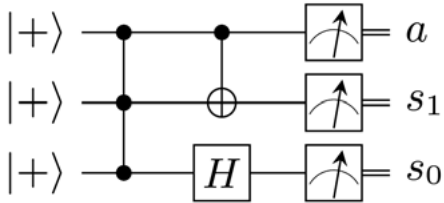


Во время работы алгоритма с исправлением ошибок утечка квантовой информации из вычислительных состояний кубита в другие энергетические состояния может накапливается и распространяться через многокубитные взаимодействия. Это в конечном итоге ставит под сомнение саму возможность квантовой коррекции ошибок как пути к отказоустойчивым вычислениям.

Ученые из Google продемонстрировали поверхностный код коррекции ошибок, для которого утечка удаляется из всех кубитов в каждом цикле. Исследователи сообщают о десятикратном сокращении количества устойчивых утечек данных, кодирующих логическое состояние.

Источник: [Nature Physics](#)

Простая модификация корректирующего кода в 10 раз уменьшила ошибки в процессоре Quantinuum

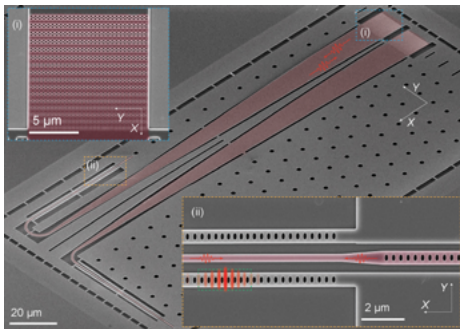


Используя особенности архитектуры QCCD, которая позволяет физически перемещать ионные кубиты, учёные Quantinuum с коллегами из QuTech и Штутгартского университета смогли модифицировать самый компактный цветовой код коррекции ошибок и достичь на процессоре H1-1 экспериментальной точности выполнения операций на уровне 99,99%.

Авторы отмечают, что модифицированный протокол требует полной связности кубитов и может быть реализован на ионной либо нейтрально-атомной платформах.

Источник: [Arxiv](#)

Неразличимые фотоны от излучателей на основе редкоземельных элементов

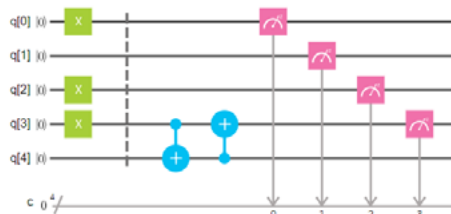


Редкоземельные ионы эрбия работают в той же полосе длин волн, что и оптоволоконные сети, благодаря чему их удобно использовать в качестве источников излучения в линиях квантовой связи. Известной проблемой является, однако, нарушение неразличимости фотонов из-за спектральной диффузии за счёт различных локальных условий генерации.

Исследователи из Принстонского университета имплантировали ионы эрбия в кристалл CaWO_4 , уникальные свойства которого позволяют практически полностью исключить спектральную диффузию. В эксперименте впервые продемонстрирована степень неразличимости 80% после передачи фотонов на 36 км.

Источник: [Nature](#)

[Обзор] Практическое использование квантовых алгоритмов



Исключительно детальный обзор квантовых алгоритмов подготовлен большой международной группой авторов. Описаны типы и потенциальные области применения различных алгоритмов, их потенциальные возможности и преимущества, ресурсные требования и особенности практической реализации.

Объем обзора 337 страниц.

Источник: [Arxiv](#)

БЛИЖАЙШИЕ МЕРОПРИЯТИЯ

Quantum Techniques in Machine Learning



Ежегодная международная конференция, посвященная междисциплинарной области квантовых технологий и машинного обучения.

Даты: **19–24 ноября**

Страна: **Швейцария (CERN)**

Формат: **очный**

Web: <https://qtml-2023.web.cern.ch>

Photonics-based Quantum Computing



Однодневный вебинар для представителей индустрии, посвященный практическим вопросам применения фотонных квантовых компьютеров.

Даты: **16 января**

Страна: **онлайн**

Формат: **онлайн**

Web: https://www.optica.org/events/webinar/2024/01_january/online_industry_meeting_quantum_computing/

SPIE Quantum West



Квантовая конференция в рамках крупнейшего мирового форума SPI Photonics West. Помимо традиционных областей (квантовые вычисления, коммуникации и сенсоры) впервые включает новое направление — квантовая биология.

Даты: **27 января – 1 февраля**

Страна: **США (Сан Франциско)**

Формат: **очный**

Web: <https://spie.org/conferences-and-exhibitions/photonics-west/program/conferences/quantum-west>

Quantum Innovation Summit



Международный саммит в ближневосточном регионе с участием как арабских учёных (университеты Абу-Даби, Туниса, QuantLase Lab и др.), так и их коллег со всего мира (Intel AI, Q-CTRL, Vernewell Group, университет Лос-Анжелеса и др.).

Даты: **28–29 февраля**

Страна: **ОАЭ (Дубай)**

Формат: **очный**

Web: <https://quantuminnovationsummit.com>