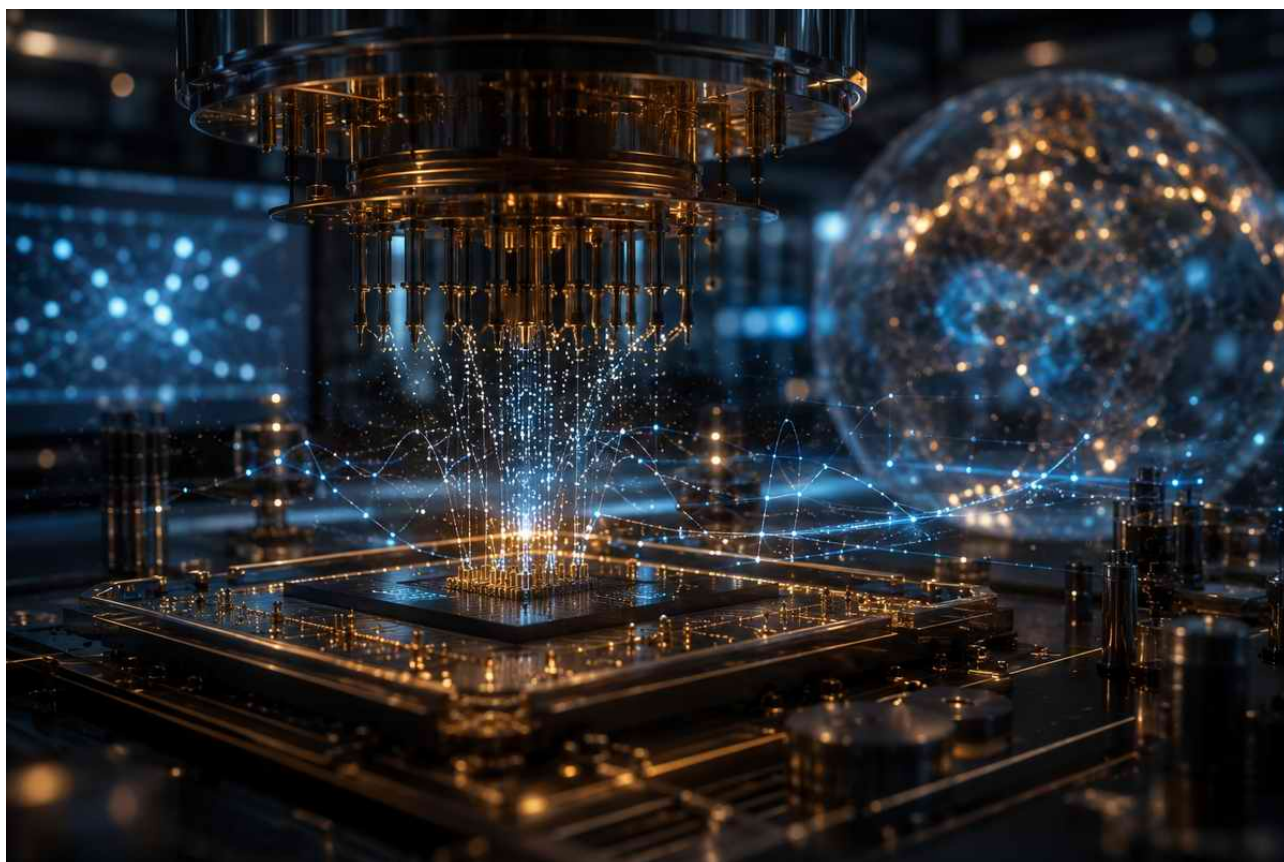


Ученые разработали способ проверить квантовый компьютер, не заглядывая внутрь его устройства



Дата публикации: 18.07.2026

Квантовые компьютеры считаются одной из самых перспективных технологий XXI века. Предполагается, что в будущем они смогут выполнять вычисления, которые сегодня практически недоступны даже самым мощным суперкомпьютерам. Однако вместе с ростом возможностей возникает фундаментальная проблема: как убедиться, что квантовый процессор действительно выполняет вычисления правильно, если классический компьютер зачастую уже не способен проверить полученный результат?

Именно решение этой задачи предложил исследователь Гданьского университета Шубхайн Саркар. В своей новой работе, опубликованной в журнале *Physical Review Letters*, он представил универсальную схему проверки квантовых логических элементов, которая практически не требует доверия к производителю оборудования и не зависит от знания внутреннего устройства самого процессора.

Это направление известно как *device-independent certification* — независимая

от устройства сертификация. Такой подход считается одним из наиболее перспективных в современной квантовой информатике, поскольку позволяет оценивать корректность работы системы исключительно по наблюдаемым результатам, а не по информации о ее конструкции.

В традиционной электронике доверие к вычислительной технике формируется благодаря многоступенчатым процедурам тестирования. Современные процессоры проходят многочисленные проверки еще на этапе проектирования и производства. Пользователь практически никогда не задумывается о работе миллиардов транзисторов внутри компьютера, поскольку полагается на производителя, стандарты качества и инженерные методы контроля.

С квантовыми компьютерами ситуация значительно сложнее. Во многих случаях именно они должны будут решать задачи, которые невозможно эффективно проверить классическими алгоритмами. Если вычисление занимает миллионы лет на обычном суперкомпьютере, возникает закономерный вопрос: каким образом можно убедиться, что квантовый процессор действительно получил правильный ответ?

Эта проблема становится особенно важной по мере развития коммерческих квантовых вычислений. Уже сегодня крупнейшие технологические компании предоставляют удаленный доступ к своим квантовым процессорам через облачные сервисы. Пользователь отправляет вычислительную задачу, однако практически не имеет возможности самостоятельно проверить корректность выполнения операций внутри квантового чипа.

Предложенная схема позволяет значительно повысить доверие к подобным вычислениям. Основой новой методики стала идея проверки не внутреннего устройства процессора, а его поведения. Вместо анализа аппаратной реализации исследователи предлагают задавать квантовой системе специально подготовленные тестовые задачи и анализировать возникающие статистические закономерности.

Если наблюдаемые корреляции совпадают с теоретически предсказанными квантовой механикой, можно сделать вывод, что соответствующие квантовые операции действительно были выполнены корректно.

Такой принцип проверки опирается на одно из наиболее фундаментальных явлений современной физики — квантовую нелокальность. Именно исследования нелокальных квантовых корреляций были отмечены Нобелевской премией по физике в 2022 году.

В подобных экспериментах используются неравенства Белла —

математические критерии, позволяющие отличить истинные квантовые эффекты от любых классических объяснений. Если система демонстрирует определенные статистические зависимости, их невозможно воспроизвести без использования квантовых состояний.

На этой основе Саркар разработал универсальный метод сертификации квантовых логических элементов — так называемых унитарных вентилях.

Квантовые вентили являются аналогами логических элементов классического процессора. Именно они выполняют элементарные операции над кубитами и формируют основу любой квантовой программы. Любой современный квантовый компьютер, независимо от используемой технологии, представляет собой сложную комбинацию подобных вентилях.

Поэтому возможность проверить корректность работы каждого такого элемента фактически означает возможность подтвердить надежность всего квантового вычислительного устройства.

Особенностью новой работы стало создание сразу двух вариантов схемы проверки.

Первый вариант получил название Almost Device-Independent. Он требует минимального количества физических предположений и значительно проще для практической реализации. При этом схема позволяет сертифицировать практически любой квантовый логический элемент без необходимости строить точную модель аппаратной части процессора.

Вторая схема представляет собой полностью независимый от устройства вариант. Она более универсальна, однако требует значительно более сложной экспериментальной конфигурации с использованием дополнительных каналов квантовой телепортации и более широкого набора проверок на основе неравенств Белла.

Авторы сравнивают архитектуру своей схемы со звездообразной сетью. В центре располагается основной узел, соединенный с несколькими внешними системами. До начала проверки независимо сертифицируются каналы связи и внешние элементы сети. После этого становится возможной проверка работы самого квантового вентиля, используя уже подтвержденные компоненты системы.

Главным преимуществом такого подхода является возможность проверить устройство без необходимости доверять информации, предоставленной производителем оборудования.

Особую актуальность эта технология может приобрести для стран, которые в ближайшие годы будут закупать готовые квантовые процессоры за рубежом. В отличие от крупнейших технологических держав, далеко не каждое государство сможет самостоятельно разрабатывать собственные квантовые чипы. Поэтому независимая сертификация импортируемых процессоров становится важнейшим элементом технологической безопасности.

Еще одной сферой применения могут стать облачные квантовые вычисления. Сегодня пользователи уже получают удаленный доступ к квантовым компьютерам IBM, Google и других компаний. Однако фактически клиент вынужден полностью доверять оператору платформы. Новая схема потенциально позволит проверять правильность выполнения квантовых операций независимо от самого поставщика вычислительных услуг.

Интересно, что подобный подход мог бы предотвратить и некоторые громкие научные споры последних лет. Авторы отмечают, что наличие независимой схемы проверки позволило бы значительно быстрее подтвердить или опровергнуть заявления о создании новых квантовых технологий, включая разработки топологических кубитов и других перспективных архитектур.

Несмотря на впечатляющие результаты, предложенная система пока остается теоретической разработкой. Следующим этапом станет ее экспериментальная реализация на реальных квантовых процессорах.

Исследователь планирует сделать схему более практичной, сократив количество необходимых тестов Белла, повысив устойчивость алгоритма к шумам и ошибкам измерений, а также адаптировав методику для существующих коммерческих квантовых платформ.

Если дальнейшие исследования подтвердят эффективность нового подхода, он может стать одним из важнейших инструментов сертификации квантовых компьютеров. Это особенно важно на фоне стремительного развития отрасли, когда доверие к результатам вычислений становится не менее значимым, чем вычислительная мощность самих устройств.

Фактически речь идет о создании своеобразного «знака качества» для квантовых процессоров. Подобные методы позволят не только объективно сравнивать различные архитектуры квантовых компьютеров, но и значительно ускорят внедрение квантовых технологий в промышленность, науку, медицину, криптографию и финансовый сектор. Чем выше будет доверие к работе квантовых вычислительных систем, тем быстрее они смогут перейти из экспериментальных лабораторий в повседневную практику.

Ссылка: «Любой унитарный клапан может быть сертифицирован независимо от устройства в квантовой сети» DOI: [10.1103/m1tx-9mx1](https://doi.org/10.1103/m1tx-9mx1).