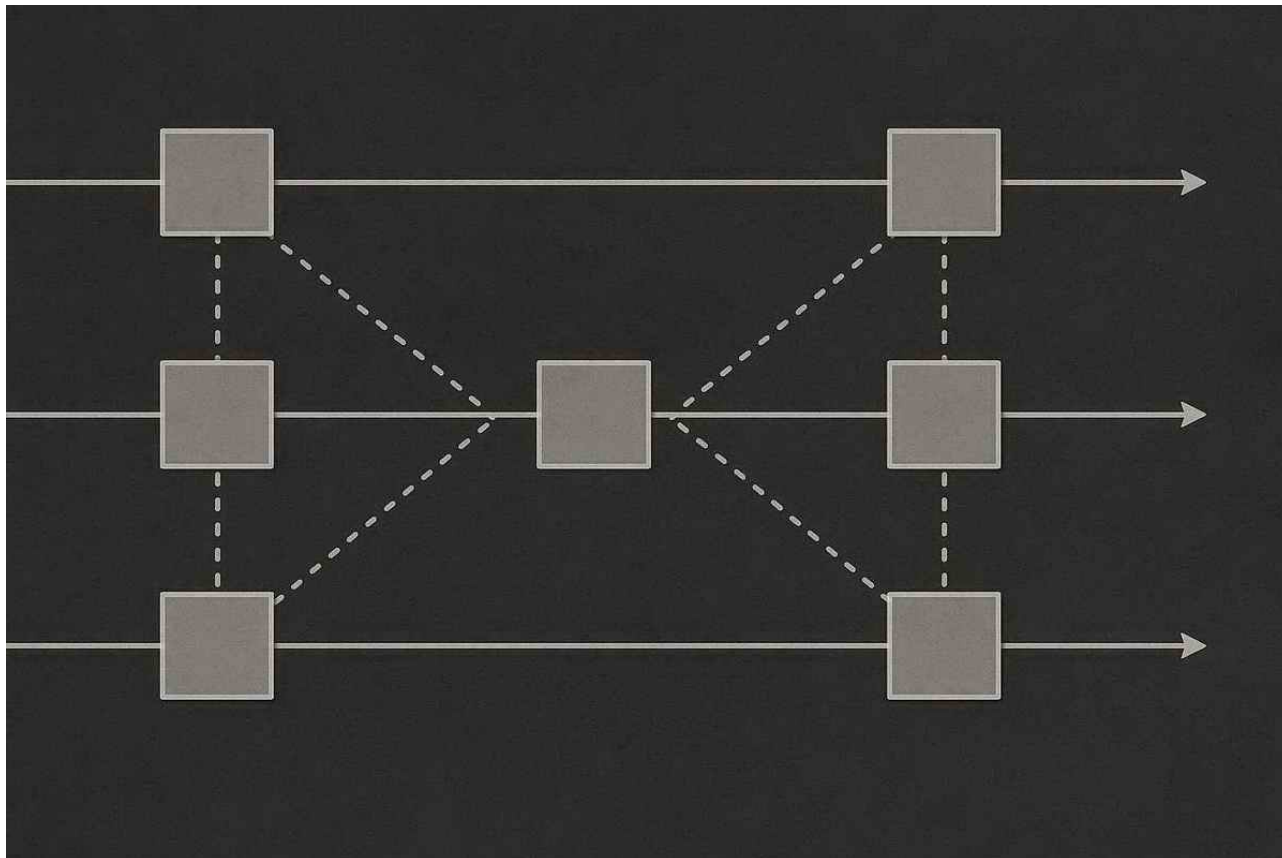


Случайность как ускоритель: как упрощённые квантовые схемы приближают эру сверхмощных квантовых компьютеров



Дата публикации: 05.07.2025

Случайность давно стала фундаментальным понятием в науке и технологиях. Она используется в статистике, криптографии, компьютерном моделировании и предсказательных системах. Особенно важна случайность в квантовых вычислениях, где она служит как инструмент усиления вычислительных возможностей, так и маркер квантового преимущества. Но именно этот аспект долгое время считался «узким горлышком» квантовых технологий: получение качественной случайности традиционно требовало ресурсов, превышающих возможности современных квантовых устройств. Однако новое исследование группы учёных из Калифорнийского технологического института демонстрирует, что процесс генерации случайности может быть значительно упрощён — без ущерба для её глубины. Это открытие способно радикально изменить масштабируемость и архитектуру квантовых вычислительных систем.

Базовая единица квантовой информации — кубит — в отличие от классического бита может находиться в состоянии суперпозиции. Для

выполнения задач, в которых квантовые компьютеры превосходят классические, необходимо организовать кубиты в псевдослучайные конфигурации. Это напоминает перетасовку колоды карт: чем больше карт, тем сложнее и медленнее перетасовка. В квантовом случае дополнительную сложность создаёт ещё и необходимость сохранять хрупкие квантовые состояния, которые легко разрушаются при чрезмерной манипуляции. Ранее считалось, что для генерации «глубокой» случайности требуется большое количество последовательных операций, что ограничивает масштаб квантовых вычислений и делает их подверженными ошибкам.

Команда исследователей предложила инновационный подход: разделить всю систему кубитов на небольшие независимые блоки и работать с ними локально. Математически было показано, что даже такие локальные, «мелкомасштабные» квантовые схемы способны генерировать случайные унитарные операции, неотличимые по своей структуре от гораздо более сложных и глубоких. Далее эти блоки можно «собирать» обратно, создавая масштабные конфигурации, насыщенные необходимой степенью случайности. Таким образом, достигается глобальная случайная перестройка системы без необходимости прибегать к полному перетасовыванию всей цепочки кубитов. Это делает реализацию таких алгоритмов доступной даже на устройствах с ограниченными возможностями.

Полученные результаты не просто теоретически важны. Они дают прямые преимущества в области квантовой криптографии, квантового моделирования, классической и квантовой томографии. Например, метод классической теневой томографии — ключевая техника для считывания квантовых состояний — может быть выполнен с гораздо меньшими вычислительными затратами. Более того, исследование выявило фундаментальные ограничения на распознавание квантовых фаз материи, таких как топологический порядок. Учёные доказали, что в ряде случаев ни один квантовый или классический алгоритм не способен эффективно распознать такие состояния, если не использовать особые квантовые протоколы, например, с обращением во времени. Это поднимает принципиальные вопросы о природе наблюдаемого в квантовом мире.

С точки зрения физики, такие результаты касаются пределов измерения и понимания квантовой динамики. Случайность в квантовой системе оказывается не просто функцией хаоса, а архитектурной основой самой эволюции. Чем быстрее система «теряет» информацию — то есть становится неотличимой от случайной, — тем менее она поддаётся традиционному анализу. Вопрос о том, что именно мы можем узнать о квантовом мире, если его ключевые свойства ускользают за пределы наблюдения, становится всё более актуальным.

В практическом контексте исследование даёт новую надежду на расширение квантовых вычислений. Оно позволяет разрабатывать схемы, устойчивые к

ошибкам, экономящие ресурсы и при этом сохраняющие высокую степень квантовой запутанности и случайности. Это особенно важно для будущих универсальных квантовых компьютеров, способных решать задачи, неподъёмные для классических машин.

Таким образом, переход к локальным и эффективным схемам генерации случайности представляет собой не просто техническое улучшение, а качественный шаг вперёд в архитектуре квантовых систем. Он делает возможным разработку более масштабных квантовых алгоритмов, а также ускоряет достижение практического квантового превосходства. Случайность в этом случае перестаёт быть ресурсом, требующим жертв, и превращается в оптимальный механизм, встроенный в саму природу квантовых вычислений.

Ссылка: «Случайные унитарные объекты на крайне малой глубине» DOI: [10.1126/science.adv8590](https://doi.org/10.1126/science.adv8590).