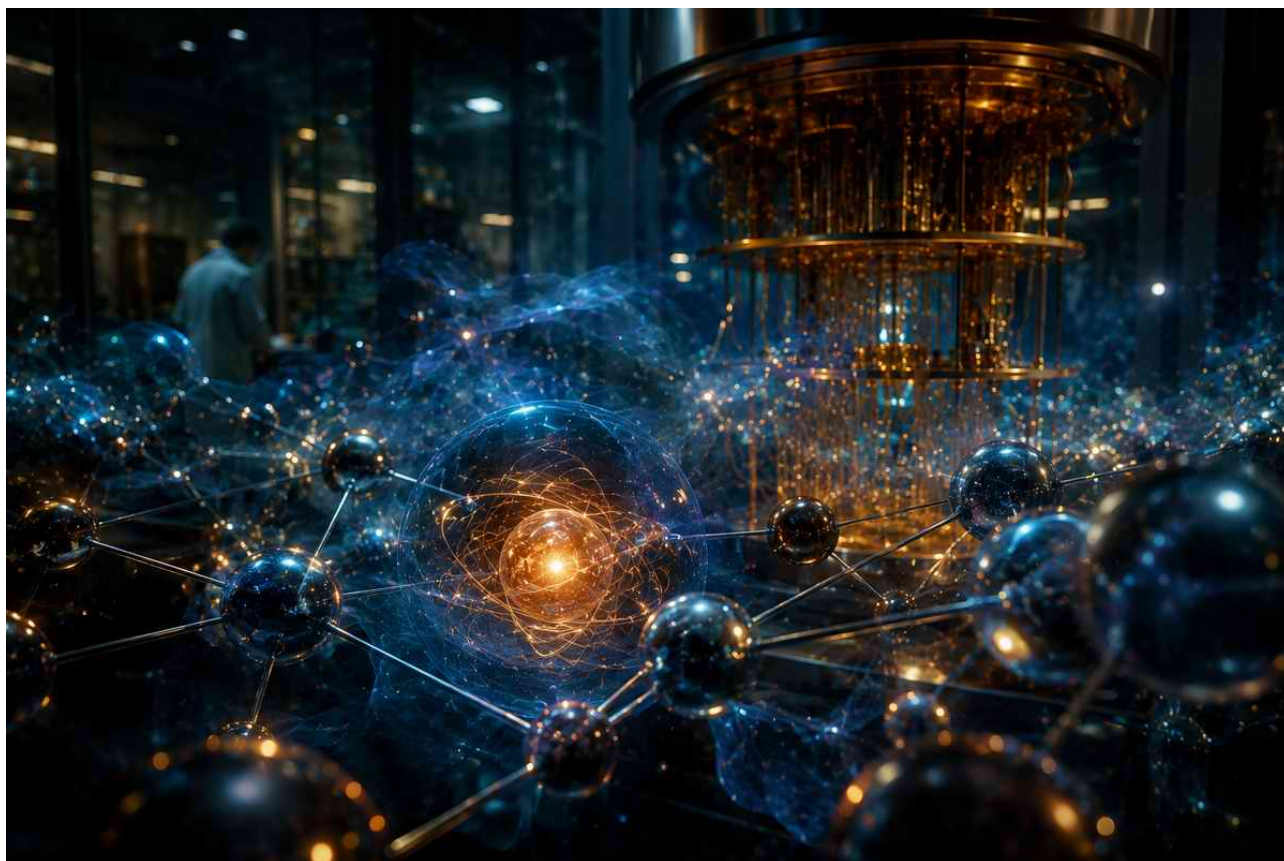


Квантовое преимущество могли переоценить: ученые предложили более строгие критерии для квантовых компьютеров



Дата публикации: 13.08.2026

Квантовые компьютеры уже много лет обещают вычислительную революцию, однако между эффектной демонстрацией нового процессора и реальным преимуществом перед классическими компьютерами существует огромная дистанция. Две новые научные работы предлагают строже подходить к самому понятию квантового преимущества и оценивать не только то, способен ли квантовый алгоритм решить конкретную небольшую задачу, но и насколько хорошо он работает при увеличении ее сложности и насколько реалистична физическая модель, на которой основаны расчеты.

Квантовым преимуществом обычно называют ситуацию, когда квантовый компьютер выполняет определенную вычислительную задачу быстрее или эффективнее любого практически доступного классического метода. В некоторых специальных экспериментах подобные результаты уже демонстрировались, однако для большинства задач, ради которых человечество рассчитывает использовать квантовые машины, убедительного практического

преимущества пока не показано.

Особые надежды связаны с квантовым моделированием. Молекулы сами подчиняются законам квантовой механики, поэтому естественно предположить, что квантовый компьютер сможет моделировать их эффективнее классического. Это потенциально важно для разработки лекарств, катализаторов, аккумуляторов, новых материалов и химических производственных процессов. Но исследователи указывают на существенную проблему: многие используемые сегодня модели слишком идеализированы.

В квантовой химии молекулу часто рассматривают как практически изолированную систему. Ее эволюция описывается преимущественно унитарной динамикой, то есть идеальным квантовым процессом без потери информации во внешнюю среду. Кроме того, многие расчеты сосредоточены на основном энергетическом состоянии и используют приближение Борна — Оппенгеймера, позволяющее разделить движение электронов и атомных ядер.

Для теории такие упрощения чрезвычайно полезны, но реальная химия устроена сложнее. Молекулы взаимодействуют с растворителем, другими молекулами, электромагнитным излучением и тепловой средой, поглощают и отдают энергию, релаксируют и переходят между состояниями. Поэтому реальные молекулярные процессы являются примерами открытых квантовых систем, а влияние окружающей среды может быть не досадной помехой, а важнейшей частью происходящей физики.

Именно эту проблему рассматривает обзор исследователей HQS Quantum Simulations, ETH Zurich и Fraunhofer IAF. Авторы предлагают выйти за рамки преимущественно унитарного квантового моделирования и серьезнее учитывать динамику открытых систем. Такой подход меняет сам вопрос: вместо того чтобы выяснять, насколько хорошо квантовый компьютер способен воспроизвести идеально изолированную молекулу, имеет смысл определить, сможет ли он эффективно моделировать физически реалистичные химические процессы.

Еще более необычна идея использовать диссипацию как вычислительный ресурс. Обычно взаимодействие квантовой системы с окружающей средой ассоциируется с декогеренцией — разрушением хрупких квантовых состояний, которое является одной из главных проблем современных квантовых процессоров. Однако контролируемая диссипация способна выполнять полезную работу.

Если правильно спроектировать взаимодействие системы с окружением, оно потенциально может направлять квантовую систему к необходимому состоянию, помогать его стабилизировать или обеспечивать получение выборок из

физически значимого распределения состояний. Вместо постоянной борьбы с окружающей средой исследователи предлагают в некоторых алгоритмах заставить ее работать на вычисление.

Для химии это особенно интересно, поскольку сама природа постоянно использует релаксацию. Возбужденная молекула может постепенно отдавать энергию и переходить в более устойчивое состояние. Материал взаимодействует с тепловой средой и стремится к равновесию. Если квантовый алгоритм способен воспроизвести подобную динамику напрямую, это может оказаться естественнее, чем сначала моделировать идеальную изолированную систему, а затем пытаться искусственно добавить эффекты реального окружения.

Такой подход одновременно делает требования к доказательству квантового преимущества строже. Быстро решить упрощенную модель еще не означает превзойти классические вычисления в практически важной задаче. Необходимо учитывать точность, стоимость подготовки квантового состояния, число операций, коррекцию ошибок, измерения, взаимодействие с окружающей средой и ресурсы классического компьютера, участвующего в гибридном алгоритме.

Вторая работа Fraunhofer IAF рассматривает ту же проблему с другой стороны — через масштабирование алгоритмов. В центре внимания оказался QAOA, квантовый приближенный оптимизационный алгоритм, предназначенный для решения сложных комбинаторных задач. Потенциальные области его применения включают логистику, финансы, планирование сетей, машинное обучение и некоторые задачи материаловедения.

Проблема подобных демонстраций заключается в том, что хорошие результаты на небольшом наборе переменных мало говорят о будущем алгоритма. Классический компьютер способен чрезвычайно эффективно решать многие маленькие задачи. Настоящий интерес возникает при увеличении размера: если вычислительные затраты классического алгоритма начинают расти быстрее квантового, со временем может появиться область, в которой квантовый подход действительно становится выгоднее.

Исследование QAOA поэтому сосредоточено не только на качестве получаемого решения, но и на зависимости времени выполнения от размера задачи. Авторы применили метод экстраполяции, позволяющий переносить найденные параметры алгоритма с небольших задач на более крупные. Это важно, поскольку повторная оптимизация большого количества параметров при каждом увеличении системы сама может уничтожить ожидаемый выигрыш.

В моделировании задач оптимизации инвестиционного портфеля исследователи обнаружили признаки потенциально более благоприятного

масштабирования QAOA по сравнению с рассмотренными классическими подходами в изученном диапазоне. Однако именно формулировка «потенциальное преимущество масштабирования» здесь принципиальна. Она значительно осторожнее заявления о доказанном практическом превосходстве квантового компьютера.

Такой подход постепенно меняет культуру оценки квантовых технологий. Недостаточно продемонстрировать необычное квантовое состояние, запустить алгоритм на нескольких десятках кубитов или найти задачу, специально подобранную под особенности конкретного процессора. Для практически значимого преимущества необходимо показать, что выигрыш сохраняется или увеличивается по мере роста задачи и не исчезает после учета всех вычислительных расходов.

Это особенно существенно на пути к отказоустойчивым квантовым компьютерам. Коррекция квантовых ошибок требует большого количества физических кубитов для создания надежных логических кубитов, а выполнение сложного алгоритма может включать огромное число операций. Теоретическое сокращение количества математических шагов еще не гарантирует более быстрого реального вычисления.

В результате понятие квантового преимущества становится менее эффективным, но гораздо более научно содержательным. Главный вопрос теперь состоит не просто в том, может ли квантовая машина однажды победить классическую, а в том, для каких физических задач, при каком размере системы, с какой точностью и при каких затратах это произойдет.

Обе работы указывают на один и тот же принцип: квантовые компьютеры следует проверять в условиях, максимально приближенных к задачам, ради которых их создают. Для квантовой химии это означает переход от идеально изолированных молекул к открытым системам и реальной диссипативной динамике. Для оптимизационных алгоритмов — исследование масштабирования вместо впечатляющих, но небольших демонстраций. Такой более строгий подход может замедлить громкие заявления о квантовом превосходстве, зато позволит точнее определить области, где квантовые вычисления действительно способны изменить науку и промышленность.

Ссылка: «За пределами унитарного квантового моделирования: подходы к квантовой химии с открытыми системами для достижения квантового преимущества» DOI: [10.48550/arxiv.2605.15277](https://doi.org/10.48550/arxiv.2605.15277).