

Ученые нашли новый ключ к мощности квантовых компьютеров: дело в отрицательных вероятностях



Дата публикации: 20.08.2026

Квантовые компьютеры обещают решать некоторые задачи, которые даже самым мощным классическим машинам могут оказаться практически недоступны. Их потенциальное применение связывают с разработкой лекарств, моделированием материалов, оптимизацией и криптографией. Однако за громкими перспективами скрывается фундаментальный вопрос: какое именно свойство квантовой системы делает вычисление действительно недоступным обычному компьютеру?

Исследователи Кавендишской лаборатории Кембриджского университета предложили новый ответ. Их теоретическая работа показывает, что наличие так называемой квантовой магии само по себе еще не гарантирует вычислительного преимущества. Дополнительным признаком полезного квантового ресурса может быть математическая негативность — появление отрицательных значений в распределении Кирквуда — Дирака.

Чтобы понять значение открытия, нужно вспомнить принцип работы квантового компьютера. Классический бит принимает значение 0 или 1, тогда как кубит может находиться в суперпозиции состояний. Но одной суперпозиции недостаточно, чтобы автоматически получить фантастическую вычислительную мощность. Многие квантовые системы вполне эффективно моделируются обычными компьютерами.

Для выхода за пределы сравнительно простого класса операций исследователи используют специальные квантовые ресурсы, получившие название магических состояний. Термин звучит почти мистически, однако речь идет о строго определенных математических свойствах. Такие состояния позволяют выполнять операции, необходимые для универсальных квантовых вычислений.

До сих пор магию рассматривали как один из важнейших индикаторов того, что квантовое устройство способно выйти за пределы эффективного классического моделирования. Новая работа делает картину сложнее. Исследователи обнаружили целый класс состояний, которые формально обладают магией, но при определенных вычислениях все равно могут эффективно моделироваться классическим компьютером.

Иными словами, магия оказалась необходимым, но не всегда достаточным ресурсом. Это повышает планку для доказательства настоящего квантового преимущества: необычное квантовое состояние еще не означает, что обычный ноутбук принципиально не сможет воспроизвести результат подходящим алгоритмом.

Для поиска более точного критерия ученые обратились к математической конструкции, корни которой уходят почти на столетие назад. Распределение Кирквуда — Дирака связано с работами Джона Кирквуда и знаменитого британского физика Поля Дирака. Оно относится к классу квазип вероятностных распределений, которые напоминают обычные вероятности, но обладают принципиально необычными свойствами.

В повседневной математике вероятность не может быть отрицательной. Вероятность выпадения орла при подбрасывании правильной монеты равна 0,5, а вероятность невозможного события — нулю. Значение минус 0,5 в такой модели лишено привычного физического смысла. В квантовой механике используются более необычные математические конструкции, где отрицательные значения могут появляться и содержать информацию о неклассическом характере системы.

Именно эта негативность оказалась важной для нового исследования. Ученые

показали: если распределение Кирквуда — Дирака остается неотрицательным на протяжении рассматриваемого вычисления, существует эффективный способ воспроизвести его на классическом компьютере. Если же появляются отрицательные значения, классическое моделирование может становиться значительно труднее.

Здесь важно не понимать отрицательную вероятность буквально как шанс события меньше нуля. Это математический признак того, что квантовое состояние невозможно полностью описать обычной вероятностной картиной. Подобная негативность отражает специфическую структуру квантовой системы и потенциально помогает определить границу, за которой классические методы начинают терять эффективность.

Исследователи не ограничились теорией. Они создали алгоритм классического моделирования и запустили его на стандартном ноутбуке. Программа смогла выполнить вычисления из области, которая прежде считалась более тесно связанной с необходимостью квантовых ресурсов. Тем самым ученые показали, что территория эффективных классических вычислений шире, чем предполагалось.

Это не означает, что квантовые компьютеры оказались менее перспективными. Скорее становится строже само определение квантового преимущества. Чтобы убедительно заявить, что квантовая машина сделала нечто недоступное классическим системам, необходимо сначала исключить существование эффективного классического алгоритма для той же задачи.

Проблема имеет не только теоретическое значение. В разработку квантовых технологий вкладываются огромные государственные и частные инвестиции, а одной из главных целей остается создание устройств, способных обеспечить практически полезное преимущество. Чем точнее ученые понимают необходимые вычислительные ресурсы, тем эффективнее можно проектировать алгоритмы и аппаратные системы.

Особенно важны результаты для разработки магических состояний. Их получение, очистка и поддержание требуют ресурсов и являются одной из сложных инженерных задач отказоустойчивых квантовых вычислений. Если далеко не всякая магия одинаково полезна, становится важным научиться создавать именно те состояния, которые действительно выводят вычисления за пределы эффективной классической симуляции.

Исследование также показывает любопытную особенность развития физики. Математические идеи, сформулированные десятилетия назад для фундаментального описания квантового мира, неожиданно становятся

инструментами для оценки технологий XXI века. Отрицательные значения, которые выглядят странно с точки зрения обычной вероятности, могут оказаться одним из признаков той границы, где квантовая машина начинает демонстрировать действительно неклассическую вычислительную мощность.

Ссылка: «Неположительность Кирквуда-Дирака — необходимый ресурс для квантовых вычислений» DOI: [10.1103/x819-898d](https://doi.org/10.1103/x819-898d).