

Что с нами будет? Письма ученых о самом важном

Это письмо о квантовых компьютерах

Начнем с нескольких новостей. В эту субботу в Петербурге мы проводим фестиваль [«Кампус»](#). Шесть специалистов выступят с лекциями о том, как устроен интернет. Разберемся, почему люди верят в фейковые новости, как появились облачные хранилища данных, а также от репостов каких материалов лучше воздержаться. Билет стоит 200 рублей. [Приходите!](#)

А еще сегодня вышел новый [выпуск](#) нашего шоу [«Заходит ученый в бар»](#). В нем кандидаты физико-математических наук Георгий Зограф и Антон Козубов вместе со стендап-комиком Лукой Хиникадзе обсуждают, как новейшие достижения в фотонике и квантовой физике улучшают нашу жизнь прямо сейчас. Смотрите новый выпуск и подписывайтесь на наш [ютуб-канал](#)! Теперь переходим к теме письма и подробнее разберем, на каком этапе сейчас находится создание квантовых компьютеров.



Привет!

Меня зовут Алексей Федоров. Я руководитель научной группы [Российского квантового центра](#). Мы занимаемся квантовыми информационными технологиями и, в частности, квантовыми вычислениями: разрабатываем квантовые алгоритмы и коды коррекции ошибок для квантовых компьютеров. То есть исследуем, как улучшить эти вычислительные машины, и создаем программные решения, чтобы обеспечить к ним доступ. Работа интересная.

В этом письме я расскажу, что сейчас происходит в области квантовых вычислений, чего уже удалось достичь и почему говорят о квантовых системах много, но широкого применения они пока не получили. Давайте начнем. Для начала объясню, чем все-таки квантовые компьютеры отличаются от обычных.

Что такое квантовая система и как она работает?

Для того чтобы производить вычисления, компьютеру нужна физическая элементная база: некоторые элементарные устройства, которые позволяют кодировать информацию и обрабатывать ее. В классических компьютерах таким элементарным устройством является транзистор. Он позволяет кодировать информацию в биты (0 и 1). Соединяя транзисторы на интегральной схеме мы можем выполнять операции между ними и таким образом проводить вычисления. Эта схема прекрасно работает много десятков лет. Однако у нее есть физические ограничения, например связанные с возможными размерами транзисторов.

В последнее десятилетие производительность компьютеров во многом росла как раз за счет уменьшения размеров транзисторов. Таким образом, на кристалле интегральной схемы их помещалось все больше и больше. Сейчас мы подошли к фундаментальным пределам миниатюризации и поэтому дальше растить производительность компьютеров таким способом, скорее всего, не получится.

О каких пределах идет речь? В этом году, например, IBM [объявили](#) о разработке технологии 2-нанометровых квантовых процессоров, что было сопряжено с решением сложнейших инженерных задач. При этом транзисторы становятся настолько миниатюрными, что их поведение не в полной мере описывается законами классической физики — начинают играть роль квантовые эффекты.

Их можно воспринимать как источники погрешности и шумов и стараться от них избавиться. Однако концепция квантовых компьютеров происходит от другой идеи: что было бы, если бы мы не пытались исключить квантовые эффекты, а постарались использовать их в практических целях?

Смысл в том, чтобы построить компьютер, работа которого описывается законами не классической физики, а квантовой. Простейшими элементами таких машин являются так называемые кубиты — квантовые биты, то есть [квантовые аналоги](#) битов, которые позволяют достичь не только состояния 0 и 1, но и их суперпозиции.

Квантовая система по своей природе может находиться в любой произвольной комбинации нулей и единиц. Так работает квантовая механика.

Это не надо пытаться себе представить и визуализировать. Это фундаментальный принцип квантовой механики, он многократно проверен экспериментально, но понять и представить себе его невозможно. (Смотрите, как участники нового выпуска «Заходит ученый в бар», все-таки [пытаются](#) это сделать).

Таким образом, вместо того чтобы обрабатывать биты информации, в квантовом компьютере мы обрабатываем состояние кубитов и за счет этого в определенных задачах добиваемся превосходства над классическими компьютерами.

Насколько квантовые компьютеры превосходят классические?

В 2019 году компания Google представила 53-кубитный компьютер [Sycamore](#) и заявила о достижении квантового превосходства. Квантовое превосходство подразумевает способность квантовых вычислительных устройств решать задачи, с которыми не могут справиться классические компьютеры. В Google сообщили, что Sycamore потребовалось около 200 секунд, чтобы решить задачу, на которую самый мощный классический суперкомпьютер Summit потратил бы около 10 тысяч лет. При этом в компании отметили, что время классических вычислений может быть значительно снижено, если разработать более эффективные методы.

Достижение Google [оспорила](#) IBM. По результатам теоретического анализа компания выяснила, что Summit справится с задачей для Sycamore в худшем случае за 2,5 дня, но полученный ответ будет точнее.

В июле этого года экспериментальная команда из Китая [провела](#) фактически тот же эксперимент Google, но на 56-кубитном квантовом процессоре и вновь доказала квантовое превосходство над классическими вычислениями. Этот эксперимент пока никто не превзошел. Вместе с тем наука развивается стремительно и ничто не мешает придумать более эффективный классический метод. Поэтому ситуация с квантовым превосходством в каком-то смысле условная. Пока я с осторожностью скажу, что неоспоримое квантовое превосходство еще не достигнуто. Чтобы оно было продемонстрировано, должно пройти время, которое позволило бы показать или доказать, что нет эффективного классического метода решить задачу.

Почему квантовые вычисления пока не используют для решения практических задач?

Эксперименты по демонстрации квантового превосходства — это прежде всего решение абстрактных математических задач. На сегодняшний день создать квантовый компьютер, который имел бы практическое применение, очень сложно. Он должен быть значительно больше и лучше, чем те, которые уже существуют. Сейчас, например, мы имеем дело с системами, в которых 50–100 кубитов, а для практических задач их нужно, судя по всему, несколько сотен.

Постепенно вопросы масштабирования квантовых компьютеров решаются. Может быть, не так быстро, как этого хотелось бы, но в этом нет ничего удивительного, так как создание квантового компьютера — один из самых значительных вызовов науки и технологий на сегодняшний день.

Почему работать с кубитами сложно и какие платформы для этого уже существуют?

Чтобы построить квантовый компьютер вам нужен массив кубитов. Желательно очень большой. При этом нужно сделать так, чтобы любые произвольные кубиты между собой

взаимодействовали, но были совершенно не связаны с окружением, потому что оно может вносить ошибки.

Кроме того, в этой системе нужно индивидуальным образом контролировать каждую частицу и любую пару выбранных. Так, чтобы они не влияли на другие частицы, а на них не влияло окружение. Поиском аналога кремниевого транзистора для квантового компьютера, который мог бы прекрасно масштабироваться и которым было бы относительно легко управлять, заняты физики по всему миру.

Сегодня есть несколько физических платформ, на которых создают квантовые компьютеры:

- на так называемых суперпроводниковых кубитах. На них работают Google и IBM;
- на ионах (заряженных атомах);
- на нейтральных атомах;
- на фотонах.

Эти четыре физические платформы пока демонстрируют примерно одинаковые результаты в системах на 50–100 кубитов — лидер на данный момент не определен.

Что будет дальше?

Чтобы к моменту появления квантовых компьютеров, способных решать практические задачи, мы могли понимать, как именно с ними работать, можно уже сейчас создавать алгоритмы для этого.

Так, один из способов применения квантовых вычислений — более точное моделирование химических соединений. Конечно, нам хотелось бы моделировать индустриально значимые большие молекулы, например лекарственные соединения. Но квантовые компьютеры пока недостаточно мощны для этого. Однако сам алгоритм для этого моделирования мы можем создать уже сейчас и попытаться исследовать его на маленьких молекулах, тех, которые можно моделировать при помощи существующих систем.

Последние пять лет такая работа уже активно идет. В ней участвуют разные компании: и автомобильные, и энергетические, и нефтедобывающие, и логистические, и финансовые. В России, например, квантовые технологии изучает «Газпромбанк», с которым мы работаем над

решением задач финансового моделирования с помощью квантовых вычислений. «Росатом» и «Сбербанк» интересуются вопросами ускорения машинного обучения с помощью квантовых компьютеров. А компания Nissan, с которой мы также сотрудничаем, разрабатывает алгоритмы для квантовой химии.

Что еще почитать и посмотреть на тему квантовых технологий?

Мой интерес к науке начался с книги Стивена Хокинга «[Краткая история времени](#)», поэтому я порекомендую ее. Она прекрасно подходит для тех, кто хочет познакомиться с физической картиной мира и понять, насколько серьезные вызовы стоят перед наукой сегодня.

Популярных книг по квантовым технологиям немного, поэтому я могу посоветовать посмотреть введения к научным изданиям, например в работах «Физика квантовых вычислений» американского физика-теоретика [Джона Прескилла](#) и «[Квантовые вычисления и квантовая информация](#)» М. Нильсена и И. Чанга.

На этом, пожалуй, всё.

Хороших выходных,

Алексей

Science Bar Hopping — это научный фестиваль, который организуют [Фонд инфраструктурных и образовательных программ \(Группа РОСНАНО\)](#) и [«Бумага»](#). Также мы делаем [научную рассылку](#) и YouTube-шоу «[Заходит ученый в бар](#)».

Вы получили это письмо, потому что подписались на рассылку проекта [Science Bar Hopping](#). Спасибо!

[Отписаться](#)