Квантовые компьютеры: гонка продолжается

Если делать ставку на лидера в гонке за самый значимый и близкий к воплощению предмет исследования ученых, то фаворитом сегодня выглядит квантовый компьютер.

Что такое квантовый компьютер?

Для начала несколько слов о том, что такое квантовый компьютер по сравнению с обычным. Современные вычислительные устройства основаны на принципе двоичного счисления. То есть вся информация в них представлена в виде нолей и единиц, а сами они в общем представляют собой огромное количество электронных переключателей, у которых два положения «вкл» и «выкл», они же – «ноль» и «единица», «да» и «нет». Или, если хотите, «черное» и «белое». Строгая бинарность. Информация о положении переключателя измеряется в битах: один бит информации – это или только черное, или только белое. Теперь представим, что в мире несколько больше цветов, чем эти два – такое легко представить, правда? И все эти цвета существуют одновременно. Это примерно и будет отличие квантового переключателя от двоичного: он одновременно существует в положении «вкл» и «выкл», и во всех промежуточных положениях. Таковы чудеса квантового мира! Называется это «квантовый бит» или «кубит». Представим себе двоичный переключатель в виде отрезка на плоскости, один конец которого «да», а другой «нет», а все, что посередине, не имеет значения. Кубит тогда можно представить, как тот же отрезок в трехмерном пространстве, как бы внутри сферы. Его концы как бы проецируются на ее поверхность и имеют значение не только эти «проекции», но и всё, что внутри сферы, причем одновременно. Теоретически это позволяет обрабатывать все возможные состояния одновременно, достигая существенного превосходства над обычными компьютерами в ряде алгоритмов. Естественно, что, если переводить все эти идеи и картинки в реальность, потребуется какая-то система, в которой это реализуется физически, нечто, что после измерения с вероятностью один возвращается в состояние ноль. И это могут быть любые объекты, имеющие два квантовых состояния: поляризационные состояния фотонов, электронные состояния изолированных атомов или ионов, спиновые состояния ядер атомов, и т. д.

Идея квантового компьютера разрабатывается с начала 1980 годов. У ее истоков стояли Пол Бениофф, Юрий Манин и Ричард Фейнман. А Стивен Визнер так и вовсе написал статью на эту тему в начале 1970-х, вот только опубликовать ее смог лишь в 1983-м – что ж бывает, еще одна сторона научно-технического прогресса, которая ускользает от простого обывателя. Нужно сказать, что, хотя ученые любят заниматься вопросами чисто теоретическими и не предполагающими на первых порах практического применения, что-то зачастую к этому теоретизированию подталкивает. В нашем случае необходимость квантового компьютера почувствовалась по мере развития исследований методами физики сложных многочастичных систем, например биологических. Пространство квантовых состояний таких систем растет как экспонента от числа составляющих их реальных частиц, назовем это число n, и значит, моделирование их поведения на классических компьютерах невозможно уже при n равном 10. И вот поэтому-то

Визнер и Фейнман и высказали идею построения квантового компьютера.

Естественно, что для квантового компьютера оказались нужны неклассические алгоритмы, то есть любые классические алгоритмы в принципе возможно реализовать и на квантовом компьютере. Но алгоритмы, учитывающие квантово-механические эффекты (квантовый параллелизм, квантовую запутанность) – так называемые «квантовые алгоритмы», позволяют использовать потенциал быстродействия квантового компьютера в полной мере. А ведь именно скорость решения определенного рода задач, недостижимая для классических компьютеров, и является, по сути, главным преимуществом квантового вычислителя. При том что так называемые «алгоритмически неразрешимые задачи» (в теории вычислимости это класс задач, для которых нет алгоритма решения, потому что он невозможен в принципе) остаются для квантового компьютера столь же неразрешимыми, сколь и для обычного.

В самом простом виде квантовые вычисления можно представить так: на системе кубитов записывается начальное состояние. Затем с помощью унитарных преобразований состояние системы изменяется, после чего параметры системы измеряются. То, что получено, и есть результат вычислений. Эту концепцию предложил британец Дэвид Дойч, и он же в 1995 году нашел универсальный логический блок, с помощью которого можно выполнять любые квантовые вычисления. Характерная особенность квантовой системы в том, что она дает результат, только с некоторой вероятностью являющийся правильным. Но за счет увеличения числа операций в алгоритме можно сколь угодно приблизить вероятность получения правильного результата к единице.

Воплощение

Все эти любопытные вещи, разумеется, должны быть реализованы на практике, чтобы повлиять на жизнь человечества. И с начала 2000 годов идет активная работа в области практической реализации квантовых вычислителей. Пройдемся очень беглым взглядом по самым заметным вехам на этом пути. В мире и в России.

Итак, что было в 2000 году? Первый работающий пятикубитный компьютер на основе ядерно-магнитного резонанса создали ученые Мюнхенского технического университета при помощи компании Siemens AG.

Американцы выполнили нахождение порядка (важная часть квантового алгоритма Шора) в исследовательском центре компании IBM и в Стэнфордском университете. Первый работающий семикубитный ЯМР-компьютер был продемонстрирован в Лос-Аламосской национальной лаборатории.

2001 год. Впервые целиком выполнен алгоритм Шора в исследовательском центре компании IBM и в Стэнфордском университете. Число 15 было факторизовано квантовым компьютером на массиве из 1018 идентичных молекул, каждая из которых содержала семь активных ядерных спинов.

2005 год. Первый работающий двухкубитный квантовый процессор на сверхпроводниках продемонстрировала группа российских ученых во главе с Ю. Пашкиным при участии тайваньского ученого Джо-Шен Цая и японских ученых из NEC. «Спустя почти три четверти века после зарождения квантовой теории, эта теория наконец-то обрела смысл, понятный широкой публике», – сказал по этому поводу Джо-Шен Цай, глава лаборатории NEC Nano Electronics, руководитель лаборатории квантовых исследований в Токийском институте передовых наук. Это заявление, правда, делает очень большой аванс широкой публике.

2007 год. Канадская компания D-Wave Systems заявила о создании 28-кубитного специализированного квантового компьютера. Задача, для решения которой он был предназначен, не указывалась.

2009 год. В Национальном институте стандартов и технологий (США) впервые удалось собрать программируемый квантовый компьютер, состоящий из двух кубитов.

2010 год. Создан Международный центр квантовой оптики и квантовых технологий (МЦКТ) – Российский квантовый центр. Российская негосударственная исследовательская организация, которая занимается фундаментальными и прикладными исследованиями в области квантовой физики, разработкой сверхчувствительных сенсоров, оптических микрорезонаторов, квантовых кубитов.

2012 год. Исследователи из Южно-Калифорнийского университета, Делфтского технического университета, Университета штата Айова и Калифорнийского университета в Санта-Барбаре, объединившись в рабочую группу, создали двухкубитный квантовый компьютер на кристалле алмаза с примесями. Это важно потому, что система для своей работы не нуждалась в охлаждении жидким гелием.

Компания D-Wave Systems заявила о создании специализированного 512-кубитного компьютера под решение задачи о нахождении трехмерной формы белка по известной последовательности аминокислот.

2015 год. Впервые в нашей стране создан сверхпроводящий кубит. Авторы работы – российские ученые из Российского квантового центра, МФТИ, Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» и ИФТТ РАН. Кубиты состоят «из четырех джозефсоновских контактов на "петле" размером в один микрон. Контакты состоят из алюминиевых полосок, разделенных слоем диэлектрика (оксида алюминия) толщиной около 2 нм». «Мы создали инструмент, средство для проведения дальнейших исследований в области квантовых вычислений. С его помощью мы сможем достичь научных результатов, которые пока не получал никто в мире», – заявил Олег Астафьев, заведующий лабораторией квантовых вычислений при МФТИ, один из руководителей проекта.

2016 год. Google, используя массив из девяти сверхпроводящих кубитов, разработанных группой Martinis и Калифорнийским университетом в Санта-Барбаре, смоделировал молекулу водорода.

2017 год. Первый работающий квантовый 50-кубитный компьютер представила IBM.

Он смог удерживать квантовое состояние в течение рекордных для индустрии квантовых вычислений 90 микросекунд.

2017 год. Microsoft представила язык квантового программирования, интегрированный в Visual Studio. Программы могут выполняться либо на симуляторе 32-кубитного компьютера локально, либо на симуляторе 32-кубитного компьютера в облаке Microsoft Azure. В Intel разработана 17-кубитная микросхема.

2018 год. В Intel разработана 49-кубитная микросхема. Google Quantum AI Lab хвастается

квантовым процессором Google Bristlecone с рекордными 72 кубитами и с «низкой вероятностью ошибок в вычислениях». Он может производить вычисления, принципиально невозможные для традиционных компьютеров.

Ученые из Российского квантового центра, НИТУ «МИСиС», МФТИ, Сколтеха, Университета Лондона, Национальной физической лаборатории в Теддингтоне (Великобритания), Университета Карлсруэ и Института фотонных технологий (Германия) демонстрируют принципиально новый кубит на сплошной сверхпроводящей нанопроволоке. Работа кубита «основана на эффекте квантового проскальзывания фазы – контролируемого периодического разрушения и восстановления сверхпроводимости в сверхтонкой (4 нм) нанопроволоке, которая в обычном состоянии имеет большое сопротивление». В России запущен проект «Оптические системы квантовых вычислений» по разработке российских 50-кубитных квантовых компьютеров (МГУ им. М.В. Ломоносова, ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Всероссийский НИИ автоматики им. Н.Л. Духова и МГТУ им. Н. Э. Баумана). В рамках проекта с 2018 по 2021 год планируется разработка 50-кубитных квантовых компьютеров на основе нейтральных атомов и интегральных оптических схем.

Стартап IonQ при Университете Мэриленда (США) анонсирует создание «самого мощного в мире» квантового компьютера с возможностью масштабирования до 160 кубит. Работа кубитов в системе IonQ базируется на квантовой природе атомов. Каждый кубит представлен отдельным атомом, удерживаемым лазерами. Два состояния кубита являются парой уровней энергии электронов. Кубиты управляются и измеряются с помощью специальных лазерных импульсов.

2019 год. В MIT открыли новую форму света, состоящую из двух или трех квантово-связанных фотонов (на основе поляритонов), которая в перспективе может быть использована в квантовых компьютерах. Широкая публика пропускает это мимо ушей, поскольку не понимает ни слова, зато активно обсуждает в соцсетях новость о том, что IBM представила первый в мире коммерческий квантовый компьютер – IBM Q System One.

В России принята окончательная редакция дорожной карты по развитию и внедрению квантовых технологий на период до 2024 года. На развитие квантовых вычислений предполагается выделить 51 млрд рублей. Документ задуман как руководство к действию для российских институтов и индустрии. Предполагается, что в России появится несколько десятков стартапов в области квантовых технологий, на равных конкурирующих с компаниями из США, Евросоюза и Китая. При реализации описанных в карте мероприятий российские компании к 2024 году должны занять 8% мирового рынка квантовых коммуникаций с фокусом на экспорт в страны СНГ, БРИКС, Юго-Восточной Азии и Латинской Америки.

2020 год. Китай с гордостью оповещает мир о том, что квантовый компьютер «Цзючжан» работающий на запутанных фотонах, достиг квантового превосходства: за 200 секунд было успешно проведено вычисление, для которого самому быстрому в мире классическому компьютеру потребовалось бы более полумиллиарда лет.

2021 год. Китайские исследователи построили крупнейшую в мире интегрированную сеть квантовой связи.

Исследователи из MIT представили программируемый квантовый симулятор, способный работать с 256 кубитами.

Гонка продолжается.

Применение

Итак, теоретически квантовые компьютеры имеют значительно большее быстродействие и несоизмеримо большую память, чем классические. И пройденный путь впечатляет. Особенно если ориентироваться на заголовки в прессе, которая, конечно же из благих побуждений ради пропаганды науки и технического прогресса среди широких масс, придает всякой новости с компьютерного фронта сенсационный оттенок. И стоит ли удивляться тому, что сегодня на рынке около 200 стартапов в области квантовых вычислений, предлагающих услуги в области квантового программного и аппаратного обеспечения и обещающих огромные улучшения в бизнесе, как только начнется «квантовая революция». Перспективы сияют, планов – громадье: от системы IBM с 1121 кубитом, которая должна быть выпущена к 2023 году, до обещания PsiQuantum миллиона кубитов к 2025 году. Но, по сути дела, квантовые компьютеры на данный момент занимаются решением очень узкого круга задач и нельзя сказать, чтобы эти задачи имели первостепенную практическую значимость. Кандидат физико-математических наук Антолий Дымарский (Сколтех) так определил нынешнее положение вещей: «Мы находимся в так называемой эре NISQ – Noisy Intermediate-Scale Quantum technology. Это значит, что сейчас нет таких квантовых устройств, которые могли бы соперничать с классическими компьютерами. Пока нельзя создать квантовую систему, которая по всем параметрам превзойдет классическую: достаточно небольшую, универсальную и изолированную. Пока получаются только системы, которые выполняют узкоспециальные задачи определенного сорта лучше, чем вычислительный кластер. Квантовые технологии пока непрактичны. Хотелось бы использовать этот огромный потенциал для своих ежедневных задач, но неизвестно, как это сделать».

При этом, когда в светлом и прекрасном обозримом будущем (лет через 10-15) мы таки проснемся в мире, где практичные и надежные квантовые компьютеры строятся, как нынче сухогрузы или авиалайнеры, то не заметим никаких изменений, если уже сейчас не начнем решать еще одну проблему. Кьяра Декароли, специалист в области квантовых вычислений и представитель

Национального центра квантовых вычислений Великобритании, формулирует ее так: «Квантовый компьютер – это новая парадигма, которая зависит от противоречащих здравому смыслу законов квантовой механики. Представление о том, как квантовый компьютер может быть использован для решения конкретной проблемы, требует иного мышления и специальной подготовки».

Но, принимая во внимание все вышеизложенное, когда сотни и сотни миллионов долларов и миллиарды других денежных единиц, вливаемые в НИОКР по теме квантовых вычислений частными компаниями, фондами и правительствами, принесут свои плоды, когда практики в различных сферах приноровятся к новой «контринтуитивной парадигме», чего можем мы ожидать от квантовых компьютеров?

Будущее

Пока сферы применения квантовых вычислителей представляются так.

Разработка новых лекарственных препаратов. В этой области применяется молекулярное моделирование. Химические взаимодействия невероятно сложны и могут принимать множество различных форм. То есть, чтобы точно предсказать поведение молекулы на основе ее структуры, требуется огромный объем вычислений. Современным классическим компьютерам такое не под силу. Подсчитано, что моделирование молекулы, состоящей всего из 70 атомов, займет у классического компьютера до 13 миллиардов лет. Поэтому сегодня исследования в фармацевтике идут методом перебора, методом проб и ошибок. Практически реализованный квантовый компьютер сможет справиться за минуты. Это означало бы, что жизненно важные лекарства, для выхода которых на рынок в настоящее время требуется в среднем 10 лет, станут разрабатываться быстрее и гораздо дешевле. В этом же ключе лежит и использование квантовых компьютеров для разработки различных новых материалов, например для производства электронных схем, более емких, экономичных и надежных аккумуляторных батарей, и во всевозможных других областях.

Предполагается, конечно, что квантовые компьютеры смогут произвести революцию и в области метеопрогнозирования. Если применить их для моделирования погодных явлений, они, учитывая несметное количество факторов окружающей среды, покажут, как и где формируются сильные штормы, ураганы, тепловые аномалии. И, анализируя практически все возможные данные одновременно, смогут генерировать прогнозы погоды, в особенности долгосрочные – намного более точные, чем нынешние. А это не только позволит безошибочно выбрать время для пикника на берегу речки, но и поможет странам лучше подготовиться к стихийным бедствиям и проводить более масштабные исследования климатических изменений.

Уже сегодня активно изучается потенциал квантовых компьютеров для повышения эффективности банковского дела, увеличения прибыльности биржевых операций. Здесь тоже предполагается использовать прогностический потенциал этих устройств, который поможет правильно и в долгосрочной перспективе оценить, например, эффективность инвестиций, учесть риски по различным опционам, акциям, валютам и товарам.

Разумеется, еще одной областью применения представляется машинный перевод. Десятилетиями исследователи пытались научить компьютеры увязывать значение слов с контекстом, чтобы получить на выходе нечто осмысленное. Язык, однако, сопротивлялся всем этим попыткам, поскольку является подвижной, интерактивной и на каком-то уровне живой системой. Значение фразы не складывается механически из суммы значений ее частей. Единица перевода – это текст, как говорят филологи, и его приходится интерпретировать как единое целое. Даже если речь идет о первом слое значений, а ведь есть еще такие явления, как сарказм, юмор или тонкости коннотации. Возможно, для представления языка в виде сети, то есть для обработки текста более интуитивным способом, квантовые компьютеры окажутся наиболее пригодными. Эта область, известная как квантовая обработка естественного языка (QNLP), является, в частности, ключевым направлением деятельности компании Cambridge Quantum Computing. Совсем недавно эта компания выпустила Lambeq, программный инструментарий, который может преобразовывать предложения в квантовую схему.

Оптимизация логистики в торговле и на транспорте – еще одна ниша, где пригодились бы лучшие свойства квантовых компьютеров. Так называемая «задача коммивояжера» – одна из самых известных задач комбинаторной оптимизации. Это выработка самого выгодного маршрута, проходящего через указанные города хотя бы по одному разу с последующим возвратом в исходный город. Ее практическое решение для больших корпораций и торговых сетей – труд непосильный даже для современных суперкомпьютеров.

В чем-то сходна с этим задача по оптимизации работы светофоров в больших городах с учетом транспортной загруженности для обеспечения максимальной пропускной способности городских магистралей.

Совершено иная область применения квантовых компьютеров – защита конфиденциальных данных. Современная криптография базируется на ключах, которые генерируются алгоритмами для кодирования данных. Это означает, что только стороны, которым предоставлен доступ к ключу, имеют средства для расшифровки сообщения. Риски здесь в том, что хакеры могут либо перехватить криптографический ключ, либо при помощи мощных компьютеров попытаться предсказать ключ, сгенерированный алгоритмом, поскольку классические алгоритмы безопасности являются детерминированными: то, что на входе, всегда определяет то, что на выходе. Этот подход требует чрезвычайно больших вычислительных мощностей и пока не рассматривается как главная угроза надежности шифрования. Но аппаратное обеспечение совершенствуется, и исследователи безопасности все чаще предупреждают, что в какой-то момент в будущем потребуются более безопасные криптографические ключи. Один из способов усилить ключи – сделать их совершенно случайными и нелогичными так, чтобы математически угадать их было невозможно. А случайность – фундаментальная часть квантового поведения. Генерация случайных чисел – практическое приложение квантовых вычислений, которое уже сейчас выходит на коммерческий уровень.

И, само собой, для своих целей квантовую вычислительную технику будут использовать (и, вероятно, где-то уже используют)

военные, разведывательное сообщество и то, что принято называть эвфемизмом «большой брат». Однако коснуться этой темы в данной статье мешают два обстоятельства. Во-первых, присущая подобным практикам секретность. А во-вторых, хочется верить, что практически реализованный квантовый компьютер, в одном мире с которым мы проснемся неким прекрасным утром, будет для нас помощником, защитником и другом, а не дамокловым мечом, пастухом или соглядатаем.

Леонид Герасимов: «Пока квантовый компьютер существует только в виде прототипов»

Старший научный сотрудник Центра квантовых технологий МГУ и Лаборатории квантовой оптики и квантовой информатики СПбПУ, кандидат физико-математически наук Леонид Герасимов рассказывает о квантовом превосходстве, месте России в развитии квантовых технологий и разработках Политеха.

- В чем преимущество квантового компьютера перед классическим? Оно вообще есть?

- На сегодня есть некие эксперименты, которые показывают так называемое «квантовое превосходство». Конечно, к этим экспериментам могут быть разные вопросы, и ведутся активные дискуссии в научном сообществе о том, что такое вообще это квантовое превосходство, как мы его должны понимать и что есть мера квантового превосходства. Продемонстрировано оно на крайне специфических алгоритмах. Грубо говоря, мы даем квантовому компьютеру такой алгоритм, который ему наиболее свойственен, «самый квантовый» алгоритм, который можно себе представить, в котором квантовый компьютер чувствует себя как рыба в воде. Это научный эксперимент, это нужно для принципиальной демонстрации, что вот квантовое превосходство хоть где-то, с какими-то оговорками есть. Пока, по большому счету, квантовый компьютер существует только в виде прототипов. Можно какие-то условно полезные задачи решать на нем, но большой вопрос: а не решит ли классический компьютер те же задачи побыстрее и понадежнее. И нужно, конечно, помнить о том, что классические компьютеры и классические алгоритмы тоже не стоят на месте и развиваются. Хотя и квантовые алгоритмы тоже развиваются: их уже больше пятидесяти.

- Когда, по-вашему, будут практические плоды всех научных работ и – не будем об этом забывать – немалых инвестиций?

- Здесь мне сложно делать какие-либо прогнозы. В принципе, в разных источниках называются довольно оптимистичные сроки: «Дайте нам пять лет, и мы сделаем полезный квантовый компьютер!» На мой субъективный взгляд, 10-15 лет – это более реалистично, чем пять.

- А где находится Россия в этой очередной гонке научного прогресса?

- Сейчас существует дорожная карта, к выполнению которой мы уже приступили. Но если говорить о гонке – в этом присутствует оттенок рекламности, на мой взгляд, на самом деле это международный процесс. Разные страны, понятное дело, конкурируют друг с другом, но если посмотреть, то действуют транснациональные корпорации, такие как Google и IBM. И понятно, что они включают в себя много разных стран, кучу разных лабораторий, сотрудников из разных институтов. Это международный процесс, и Россия тоже включена в него. Например, конкретно наша лаборатория сотрудничает и с Францией, и с Китаем. Но если говорить о тех прототипах, которые существуют непосредственно в России, то, пожалуй, мы немножко отстаем. Хотя можно сформулировать и так: догоняем. Ориентируемся на разработки наших западных и восточных коллег и что-то в них на свой лад модифицируем, улучшаем.

Непосредственно наша разработка связана с атомом рубидия. Это именно атом, настоящий, ни с кем не связанный. И в этом его большое преимущество. Сейчас существует множество физических платформ, на которых люди пытаются делать квантовый компьютер. Кубиты могут быть реализованы и на твердотельных платформах, в виде неких полупроводников. Это могут быть ионы в ловушках. И это могут быть атомы, как наш рубидий. Можно представить себе квантовый компьютер на фотонах. Перечислять можно достаточно долго. Наши разработки относятся к так называемым «нейтральным атомам в ловушках». И определенное состояние атома – это и есть условный нолик или единичка кубита. На каждом отдельном атоме мы теми или иными средствами можем создавать суперпозицию. Это может быть управление посредством радиочастотных импульсов, может быть управление посредством оптических импульсов, лазерных. Так или иначе, атомы – это надежная, достаточно хорошо контролируемая система. В ловушке мы можем создать целый массив из атомов и таким образом иметь в своем распоряжении потенциально достаточно много кубитов. Ну а дальше задача состоит в том, чтобы их надежным образом готовить, организовывать их взаимодействие друг с другом. Чем мы и занимается в нашей лаборатории на площадке Политеха. Но я должен сделать оговорку, что в большей степени мы позиционируем себя как филиал Центра квантовых технологий МГУ. Политех – это моя альма-матер, это альма-матер заведующего нашей лабораторией Дмитрия Алексеевича Куприянова. Но наши кураторы – это Центр квантовых технологий МГУ, конкретно Станислав Страупе, Сергей Павлович Кулик. Собственно, у них на площадке МГУ и собираются эти массивы нейтральных атомов рубидия и существует прототип квантового компьютера. И у нас есть уже серьезные наработки, ведутся активные исследования. И, надо сказать, нейтральные атомы интересуют в мире не одних нас – есть наработки в США в различных лабораториях в Китае, насколько я знаю, во Франции также.

- Как в этой новой области у вас обстоит дело с кадрами?

- С кадрами, конечно, непросто. Разумеется, хочется как можно больше светлых голов собрать в одном месте. Чтобы все они синхронно работали. И в Центре квантовых технологий – я это с удовольствием прорекламирую – существует набор в магистратуру, где непосредственно готовятся молодые кадры по направлению квантовых технологий, то есть там читаются специальные курсы и по квантовой информатике, и по квантовой оптике, и конкретно по атомам в ловушках. Некоторые курсы читаем мы с Дмитрием Васильевичем Куприяновым. То есть молодые светлые головы наполняются полезными знаниями.

- Как, по-вашему, в какой форме встроится в жизнь квантовый компьютер?

- Представить себе, что у каждого в кармане будет квантовый смартфон, исходя из сегодняшнего положения вещей, по крайней мере, трудно. Скорее всего, квантовый компьютер будет работать в связке с классическим, в качестве сопроцессора, которому будут передаваться некоторые задачи для классического компьютера, – сложные, требующие много времени и много ресурсов. При том что квантовый сопроцессор как раз заточен под их решение. А решив их, он будет передавать решение на классический, с привычным интерфейсом, с окошками и тому подобным. Насколько я понимаю, уже существующие прототипы, вроде канадского D-Wave, они как-то так и работают. И это не значит, что мы этот квантовой сопроцессор, этот огромный холодильник или вакуумную камеру держим в одном метре от ноутбука, с которым он работает, – он может находиться где-то далеко-далеко и доступ к нему будет облачный. Возвращаясь к дорожной карте, меня очень радует, что разработки ведутся в разных направлениях. Мне кажется, это очень трезвая мысль. То есть мы не отбрасываем кубиты на нейтральных атомах, на ионах, на фотонах, на сверхпроводниках – мы двигаемся в разных направлениях, и, возможно, постепенно будут разработаны разные типы квантовых компьютеров, пригодные для разных типов задач.

- И что нужно для торжества прогресса?

- Больше светлых голов. Больше времени. И финансовая поддержка тоже не помешает. И – что-нибудь да сделаем!