

*Моей любящей жене Сидзуэ
и моим дочерям д-ру Мишель Каку и Элисон Каку*

QUANTUM SUPREMACY
HOW THE QUANTUM COMPUTER REVOLUTION
WILL CHANGE EVERYTHING

Dr. Michio Kaku,
Professor of Theoretical Physics
City University of New York

МИТИО КАКУ

КВАНТОВОЕ ПРЕВОСХОДСТВО

РЕВОЛЮЦИЯ В ВЫЧИСЛЕНИЯХ,
КОТОРАЯ ИЗМЕНИТ ВСЁ

Перевод с английского



АЛЬПИНА НОН-ФИКШН

МОСКВА, 2024

УДК 539.12:004.9
ББК 32.971.3:22.3
К16

Издано при поддержке Российского квантового центра

Переводчик **НАТАЛЬЯ ЛИСОВА**
Научный редактор **АЛЕКСЕЙ РУБЦОВ**, доктор физ.-мат. наук,
профессор РАН
Редактор **ОЛЬГА НИЖЕЛЬСКАЯ**

Каку М.

К16 Квантовое превосходство: Революция в вычислениях, которая изменит всё / Митио Каку ; Пер. с англ. — М. : Альпина нон-фикшн, 2024. — 412 с.

ISBN 978-5-00139-728-1

В своей новой книге известный физик и непревзойденный популяризатор науки Митио Каку рассматривает феномен квантовых компьютеров, способных решать задачи, с которыми классические вычислительные системы до сих пор не в состоянии справиться. Развитие квантовых компьютеров может привести к революционным открытиям в криптографии, медицине, сфере искусственного интеллекта, космических исследованиях и многих других областях.

Автор обращается к широкому кругу читателей и поэтому рассказывает о сложных процессах и научных достижениях просто и увлекательно. Книга дает возможность заглянуть в будущее и увидеть, какие инновации ожидают нас в ближайшие десятилетия и как они изменят нашу жизнь.

УДК 539.12:004.9
ББК 32.971.3:22.3

Все права защищены. Никакая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, включая размещение в интернете и в корпоративных сетях, а также запись в память ЭВМ для частного или публичного использования, без письменного разрешения владельца авторских прав. По вопросу организации доступа к электронной библиотеке издательства обращайтесь по адресу mylib@alpina.ru

© Michio Kaku, 2023
All rights reserved. Published in the United States by Doubleday, a division of Penguin Random House LLC, New York, and distributed in Canada by Random House of Canada Limited, Toronto.

ISBN 978-5-00139-728-1 (рус.)
ISBN 978-0-3855-4836-6 (англ.)

© Издание на русском языке, перевод, оформление.
ООО «Альпина нон-фикшн», 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие к русскому изданию	7
--------------------------------------	---

Часть I

Рождение квантовых компьютеров

Глава 1. Конец эпохи кремния	13
Глава 2. Конец цифровой эпохи	40
Глава 3. Рождение кванта	59
Глава 4. Квантовые компьютеры: начало.....	85
Глава 5. Гонка началась	121

Часть II

Квантовые компьютеры и общество

Глава 6. Происхождение жизни	137
Глава 7. Сделать мир зеленым.....	156
Глава 8. Накормить планету.....	168
Глава 9. Наполнить мир энергией	182

Часть III

Квантовая медицина

Глава 10. Квантовое здоровье	197
Глава 11. Редактирование генома и лечение рака.....	213
Глава 12. Искусственный интеллект и квантовые компьютеры.....	236
Глава 13. Бессмертие	264

Часть IV

Моделирование мира и Вселенной

Глава 14. Глобальное потепление	293
Глава 15. Солнце в бутылке	310

Глава 16. Моделирование Вселенной.....	330
Глава 17. Когда-нибудь в 2050 году	361
Эпилог. Квантовые головоломки.....	373
Благодарности.....	389
Примечания	391
Избранная библиография	398
Предметно-именной указатель	399
Об авторе.....	411

ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

Физика, которая изучает явления, происходящие в области элементарных частиц, называется квантовой. Многие уравнения классической механики, сформулированные еще Исааком Ньютоном, перестают работать на квантовом уровне. Они хорошо описывают взаимодействия объектов привычных нам размеров и скоростей, но не могут объяснить, как то же самое происходит на уровне элементарных частиц.

Годом рождения квантовой физики можно считать 1900-й, когда немецкий ученый Макс Планк, изучая законы теплового излучения нагретых тел, ввел понятие «квант», назвав таким образом минимально возможную порцию излучаемой энергии. Альберт Эйнштейн, исследуя явление фотоэффекта, первым из ученых предположил: сам свет состоит из квантов или фотонов, что противоречило всем представлениям физики XIX в. Так родилась квантовая механика.

Последовавший за созданием квантовой механики период взрывного технологического роста принято называть первой квантовой революцией. Ее основой стало использование коллективных квантовых явлений. В 1930–1940-х гг. начались активные исследования полупроводниковых материалов, свойства которых стало возможно описать с помощью квантовой механики. На основе этих изысканий созданы первые полупроводниковые транзисторы — глав-

ные компоненты электроники. В 1954 г. советские ученые Николай Басов и Александр Прохоров разработали первый квантовый генератор света, или лазер — устройство, управляющее потоком фотонов. С конца XX в. мир находится на пороге второй квантовой революции. Ее ключевое технологическое отличие заключается в управлении индивидуальными квантовыми объектами, например атомами или фотонами.

Сегодня внимание к развитию квантовых технологий во многом связано с идеей квантовых вычислений, или, проще говоря, квантовых компьютеров, которые призваны решить задачи, ранее недоступные человечеству. Идею о возможности использования квантовых эффектов для вычислений впервые высказал американский физик и нобелевский лауреат Ричард Фейнман. Спустя 20 лет, в 1980 г., советский математик Юрий Манин описал идею квантовых вычислений. В книге «Вычислимое и невычислимое», рассуждая о сложности процесса считывания и записи биологической информации с молекул ДНК, он заметил, что для моделирования этого процесса могли бы подойти квантовые устройства.

Сейчас индустрия квантовых вычислений находится на этапе «шумных квантовых процессоров среднего масштаба», то есть систем из сотен кубитов, работающих неустойчиво из-за внешних помех. В ближайшем будущем прогнозируется появление защищенных от ошибок квантовых компьютеров, которые будут существенно эффективнее классических в решении задач с большим количеством переменных, таких как моделирование и оптимизация.

При этом рынок уже учится применять квантовые вычисления. В логистике их используют для маршрутизации транспорта и составления расписаний. В финансах — для оценки рисков, оптимизации инвестиционных портфелей и кредитного скоринга. Компании промышленного сектора

проводят эксперименты по использованию квантовых компьютеров для моделирования новых лекарств и сборки геномов, оптимизации энергосетей, разработки новых материалов, аэро- и гидродинамических расчетов.

Появление мощных квантовых компьютеров бесповоротно изменит будущее человечества. За технологическим переворотом придут масштабные изменения в жизни общества и культуре. Какими будут эти изменения, мы пока не представляем, но жизнь точно не останется прежней.

*Руслан Юнусов,
сооснователь Российского квантового центра*

ЧАСТЬ I

РОЖДЕНИЕ
КВАНТОВЫХ
КОМПЬЮТЕРОВ

КОНЕЦ ЭПОХИ КРЕМНИЯ

Революция начинается.

В 2019 и 2020 гг. в мире науки произошли две сенсации. Две группы объявили о достижении ими квантового превосходства — то есть той исторической точки, в которой принципиально новый тип компьютера, известный как квантовый компьютер, может убедительно превзойти по производительности обычный цифровой суперкомпьютер в решении определенных задач. Это возвестило о начале переворота, способного изменить весь ландшафт мира информационных технологий и серьезно повлиять на нашу повседневную жизнь во всех ее проявлениях.

Сначала компания Google сообщила, что ее квантовый компьютер Sycamore способен за 200 секунд справиться с математической задачей, на решение которой самому быстрому суперкомпьютеру в мире потребовалось бы 10 000 лет. Судя по статье в журнале *MIT Technology Review*, Google назвала это крупным прорывом. Она сравнила это событие с запуском первого спутника или первым полетом братьев Райт. Это был «порог новой эпохи машин, по сравнению с которыми самый мощный сегодняшний компьютер будет выглядеть как обыкновенные счеты»¹.

Затем Институт квантовых инноваций Китайской академии наук пошел еще дальше. Тамошние ученые заявили, что их квантовый компьютер в 100 триллионов раз быстрее

обычного суперкомпьютера. Вице-президент IBM Боб Сутор, комментируя стремительный взлет квантовых компьютеров, заявляет невозмутимо: «Думаю, это станет важнейшей вычислительной технологией текущего столетия»².

Квантовый компьютер называют «предельным», или «абсолютным», компьютером и считают судьбоносным технологическим скачком, несущим кардинальные изменения всему миру. Вместо того чтобы выполнять вычисления на крохотных транзисторах, он проводит их на мельчайших объектах — на самих атомах — и потому способен легко превзойти по мощности наш лучший суперкомпьютер. Квантовые компьютеры могут стать проводниками в совершенно новую эпоху для экономики, общества и нашего образа жизни.

Но квантовый компьютер — нечто большее, чем просто очередная более мощная вычислительная машина. Это компьютер нового типа, способный справляться с задачами, которые цифровые компьютеры не могут решить в принципе, даже за бесконечное время. К примеру, цифровые компьютеры не в состоянии точно рассчитать, как атомы взаимодействуют между собой в процессе важнейших химических реакций, особенно тех, что делают возможной жизнь. Цифровые компьютеры могут считать только на цифровой ленте, состоящей из последовательности нулей и единиц, которые слишком примитивны, чтобы описать тонкие волны электронов, танцующих глубоко внутри молекулы. К примеру, при скучном расчете траектории движения мыши в лабиринте цифровому компьютеру придется кропотливо анализировать все возможные маршруты один за другим. Квантовый же компьютер *одновременно* — и в один миг — анализирует все возможные траектории.

Это, в свою очередь, сильно подогрело и без того напряженное соперничество между конкурирующими компьютерными гигантами, каждый из которых стремится как

можно скорее создать самый мощный в мире квантовый компьютер. В 2021 г. IBM представила собственный квантовый компьютер под названием Eagle («Орел»), который и занял лидирующую позицию, поскольку обладает большей вычислительной мощностью, чем все предыдущие модели.

Но подобные рекорды похожи на корочку пирога — для того они и создаются, чтобы быть разрушенными.

Если учесть глубокие последствия, которые повлечет за собой эта революция, неудивительно, что многие ведущие мировые корпорации вкладывают в эту новую технологию огромные суммы. Компании Google, Microsoft, Intel, IBM, Rigetti и Honeywell создают прототипы квантовых компьютеров. Лидеры Кремниевой долины понимают, что должны идти в ногу с революционными процессами — или они останутся на обочине.

Компании IBM, Honeywell и Rigetti Computing разместили свои квантовые компьютеры первого поколения в интернете, чтобы раздразнить аппетиты любопытной публики и дать возможность людям впервые познакомиться напрямую с квантовыми вычислениями. Любой человек может испытать квантовую революцию на себе, соединившись с квантовым компьютером через интернет. Так, проект «IBM Q Experience», запущенный в 2016 г., бесплатно предоставляет публике через интернет 15 квантовых компьютеров. Среди их пользователей — компании Samsung и JPMorgan Chase. К настоящему моменту этими компьютерами каждый месяц пользуются уже 2000 человек, от школьников до профессоров.

Весьма активный интерес к этой технологии проявляют и биржи. IonQ первой из крупных компаний, связанных с квантовыми вычислениями, стала публичным акционерным обществом и получила при первичном размещении акций 600 млн долларов. Соперничество на этом рынке на-

столько жесткое, что новый стартап PsiQuantum, не имеющий ни коммерческого прототипа на рынке, ни каких бы то ни было реальных результатов прошлой деятельности, внезапно взлетел на бирже до 3,1 млрд долларов с возможностью получить 665 млн долларов кредита чуть ли не за один день. Бизнес-аналитики писали, что им редко приходилось видеть подобное — чтобы новая компания сумела так удачно воспользоваться волной лихорадочных спекуляций и сенсационных заголовков и взлететь так высоко.

По оценкам консалтинговой и аудиторской компании Deloitte, объем рынка квантовых компьютеров в 2020-е гг. должен достичь сотен миллионов долларов, а в 2030-е — десятков миллиардов долларов. Никто не знает, когда квантовые компьютеры выйдут на торговые площадки и изменят экономический ландшафт, но прогнозы постоянно пересматриваются в соответствии с беспрецедентными темпами научного прогресса в этой области. Говоря о стремительном развитии квантовых компьютеров, генеральный директор компании Zapata Computing Кристофер Савойи отметил: «Это уже не вопрос о том, будет или нет, а о том, когда будет»³.

Даже Конгресс США проявил острый интерес и желание придать дополнительный импульс развитию новой квантовой технологии. Понимая, что другие державы уже начали щедро финансировать исследования в области квантовых компьютеров, Конгресс США в декабре 2018 г. принял закон о Национальной квантовой инициативе, призванный обеспечить стартовый капитал для запуска и стимулирования новых исследований. В нем предусматривается образование от двух до пяти новых национальных исследовательских центров по квантовой информатике с финансированием 80 млн долларов в год.

В 2021 г. правительство США также объявило об инвестировании 625 млн долларов в квантовые технологии

под контролем Министерства энергетики. Кроме того, еще 340 млн долларов в фонд проекта внесли гигантские корпорации, такие как Microsoft, IBM и Lockheed Martin.

Китай и США не единственные страны, использующие правительственные фонды, чтобы ускорить внедрение этой технологии. Правительство Великобритании в настоящее время создает Национальный центр квантовых вычислений, который будет служить хабом для исследований в этой области. Центр должен быть построен в лаборатории Харвелл Совета по науке и технологиям в Оксфордшире. При поддержке правительства Великобритании к концу 2019 г. в стране было основано 30 стартапов, работающих в области квантовых вычислений.

Промышленные аналитики признают, что игра идет не меньше чем на триллион долларов. В этой отрасли чрезвычайно высокая конкуренция и нет никаких гарантий. Несмотря на внушительные технические достижения Google и других компаний в последние годы, до рабочего квантового компьютера, способного решать реальные задачи, еще очень далеко. Нам предстоит проделать массу тяжелой работы. Некоторые критики даже утверждают, что все это может оказаться погоней за миражами. Но компьютерные компании понимают: если они не успеют или не захотят шагнуть в эту дверь, она захлопнется у них перед носом.

Иван Остоджич, один из партнеров консалтинговой фирмы McKinsey, утверждает: «Компаниям в тех отраслях, где квантовые технологии потенциально смогут изменить ситуацию в максимальной степени, следует начинать заниматься ими прямо сейчас»⁴. Такие области человеческой деятельности, как химия, медицина, нефть и газ, перевозки, логистика, банковское дело, фармацевтика и кибербезопасность, нуждаются в масштабных переменах. Остоджич добавляет: «В принципе, квант окажет значимое влияние на все информационные технологии, поскольку ускорит

решение широкого спектра задач. Компаниям необходимо обзавестись квантовыми возможностями».

Верн Браунелл, бывший генеральный директор канадской компании квантовых вычислений D-Wave Systems, замечает: «Мы уверены, что вот-вот сможем предоставить мощности, которые нельзя обеспечить с помощью классических вычислений».

Многие ученые считают, что мы в настоящий момент входим в совершенно новую эпоху, и потрясения, связанные с переходом, будут сравнимы с теми, что произошли при появлении транзисторов и микросхем. Компании, не имеющие непосредственных связей с производством компьютеров, такие как автомобильный гигант Daimler (владелец марки Mercedes-Benz), уже вкладывают деньги в эти технологии, полагая, что квантовые компьютеры смогут положить им путь к новым разработкам в их собственной отрасли. Один из руководителей их конкурента BMW, Джулиус Марсеа, написал: «Мы с большим интересом исследуем преобразующий потенциал квантовых вычислений в применении к автомобильной промышленности и твердо рассчитываем расширить пределы наших инженерных возможностей»⁵. Другие крупные компании, такие как Volkswagen и Airbus, организовали у себя собственные подразделения квантовых вычислений, чтобы изучить, какие технологические сдвиги могут вызвать эти вычисления в их отраслях.

Фармацевтические компании также внимательно следят за всеми нововведениями в этой области, понимая, что квантовые компьютеры, возможно, будут способны моделировать сложные химические и биологические процессы, выходящие далеко за рамки возможностей цифровых компьютеров. Не исключено, что громадные мощности, задействованные в испытаниях миллионов лекарств, когда-нибудь сменятся «виртуальными лабораториями», которые будут испытывать лекарства в киберпространстве. Были

опасения, что все это однажды заменит химиков и сделает их ненужными. Но Дерек Лоу, ведущий блог о разработке новых лекарств, замечает: «Речь не о том, что машины заменят химиков. Речь о том, что химики, которые используют машины, заменят тех, кто этого не делает»⁶.

Даже Большой адронный коллайдер возле Женевы в Швейцарии, крупнейшая научная установка в мире, сталкивающая между собой протоны с энергией 14 трлн электронвольт, чтобы воссоздать условия, существовавшие в ранней Вселенной, теперь использует квантовые компьютеры для просеивания громадных массивов данных. За одну секунду они способны проанализировать до триллиона байт информации, сгенерированной примерно миллиардом столкновений частиц. Возможно, когда-нибудь квантовые компьютеры сумеют разгадать тайну рождения Вселенной.

Квантовое превосходство

Еще в 2012 г., когда физик Джон Прескилл из Калифорнийского технологического института впервые ввел в обращение термин «квантовое превосходство», многие ученые покачали головами. Пройдут десятилетия, если не столетия, подумали они, прежде чем квантовые компьютеры смогут обогнать по производительности цифровой компьютер. В конце концов, вычисления на отдельных атомах, а не на пластинах кремниевых микросхем считались чертовски сложными. Малейшая вибрация или шум может нарушить изящный танец атомов в квантовом компьютере. Но сегодня поразительные заявления о новых достижениях в квантовом превосходстве в клочья рвут мрачные предсказания скептиков. Теперь основное внимание смещается к вопросу о том, насколько быстро будет развиваться эта область.

Толчки, вызванные этими замечательными достижениями, прочувствовали также руководства государственных организаций и секретные разведывательные службы по всему миру. Документы, опубликованные анонимными разоблачителями, показали, что ЦРУ и Агентство национальной безопасности США внимательно отслеживают все происходящее в этой области. Дело в том, что мощность квантовых компьютеров настолько велика, что, в принципе, они способны взломать все известные кибершифры. Это означает, что секреты, тщательно охраняемые правительствами, — особая ценность, поскольку это самая чувствительная информация, — будут уязвимы перед такими кибератаками, как и самые строгие секреты корпораций и даже отдельных людей. Ситуация требует настолько особого внимания, что даже Национальный институт стандартов и технологий США (NIST), определяющий национальную политику и стандарты, недавно выпустил инструкцию, призванную помочь крупным корпорациям и агентствам спланировать неизбежный переход в новую эпоху. NIST уже объявил, что, по его прогнозам, к 2029 г. квантовые компьютеры смогут взломать 128-битное AES-шифрование — шифр, которым пользуются многие компании.

Али Эль-Каафарани, журналист *Forbes*, отмечает: «Это весьма пугающая перспектива для любой организации, которая хочет защитить какую бы то ни было чувствительную информацию»⁷.

Китайцы потратили 10 млрд долларов на свою Национальную лабораторию квантовой информатики, поскольку твердо настроены стать лидером в этой жизненно важной и стремительно развивающейся области. Государства тратят десятки миллиардов, чтобы усилить охрану своих шифров. Вооружившись квантовым компьютером, условный хакер мог бы, по идее, взломать *любой* цифровой компьютер на планете, таким образом внося хаос в целые отрасли

и даже в вооруженные силы. Вся чувствительная информация может стать доступной любому, кто предложит за нее больше других. Финансовые рынки также могут быть ввергнуты в кризис, если квантовые компьютеры вломятся в святая святых Уолл-стрит. Кроме того, квантовые компьютеры могли бы разомкнуть блокчейн, создавая хаос и на рынке биткойна. По оценкам Deloitte, около 25% биткойнов потенциально уязвимы для взлома при помощи квантового компьютера.

«Текущие проекты на базе блокчейна, скорее всего, внимательно и нервно следят за продвижением квантовых вычислений»⁸, — делается вывод в докладе CB Insights, ИТ-компании, занятой созданием ПО для обработки данных.

Так что на кону стоит ни много ни мало мировая экономика, неразрывно связанная с цифровыми технологиями. При помощи компьютеров банки Уолл-стрит отслеживают многомиллиардные долларовые транзакции. При помощи компьютеров инженеры проектируют небоскребы, мосты и ракеты. Художникам не обойтись без компьютеров при анимации голливудских блокбастеров. Фармацевтические компании пользуются компьютерами при разработке очередных чудо-лекарств. Дети прибегают к компьютерам, чтобы поиграть с друзьями в новейшие видеоигры. И все мы в решающей степени зависим от сотовых телефонов, когда получаем мгновенно через них новости от наших друзей, знакомых и родственников. Каждому приходилось испытывать приступ паники, когда не можешь найти свой сотовый. В общем, чрезвычайно трудно назвать хотя бы какую-то область человеческой деятельности, в которой компьютеры определяют буквально все. Мы настолько от них зависимы, что, если бы вдруг все компьютеры в мире внезапно прекратили работать, цивилизация погрузилась бы в хаос. Вот почему ученые следят за развитием квантовых компьютеров так внимательно.

Конец закона Мура

Что движет всей этой суетой и спорами?

Резкий скачок квантовых технологий — признак того, что эра кремния потихоньку подходит к концу. На протяжении полувека взрывной рост мощности компьютеров описывался законом Мура, получившим свое название по имени основателя Intel Гордона Мура. Закон Мура гласит, что мощность компьютеров удваивается каждые полтора года. Этот обманчиво простой закон описывает замечательный экспоненциальный рост мощности компьютеров, не имевший прецедентов в истории человечества. Никакое другое изобретение не оказало подобного всеохватного влияния за такой короткий промежуток времени.

Компьютеры на протяжении своей истории прошли множество этапов развития, всякий раз многократно повышая свою мощность и вызывая серьезные социальные изменения. Если разобраться, то закон Мура можно распространить и на прошлое, вплоть до XIX в., до эпохи механических вычислителей. В то время инженеры для простых арифметических операций использовали вращающиеся цилиндры, штырьки, шестеренки, колесики. К началу прошлого века в этих вычислителях начали использовать электричество, заменяя шестеренки на реле и кабели. Во время Второй мировой войны компьютеры использовали целые батареи вакуумных электронных ламп, чтобы взламывать секретные правительственные шифры. В послевоенную эпоху произошел переход с радиоламп на транзисторы, которые можно было уменьшать до микроскопических размеров, что способствовало дальнейшему повышению скорости и мощности компьютеров.

В 1950-е гг. универсальные вычислительные машины были доступны лишь крупным корпорациям, правительственным агентствам вроде Пентагона и международным

банкам. Они были мощными (так, ENIAC способен был за 30 секунд посчитать то, что потребовало бы от человека 20 часов работы). Но при этом они были дорогими, громоздкими и часто занимали целый этаж офисного здания. Появление микросхем произвело настоящую революцию в производстве компьютеров. За прошедшие десятилетия микросхемы настолько уменьшились в размерах, что средний чип размером с ноготь может теперь содержать в себе около миллиарда транзисторов. Сегодня сотовый телефон, на котором ребенок играет в видеоигры, оказывается мощнее целого зала неуклюжих «динозавров», которыми когда-то пользовался Пентагон. Компьютер у нас в кармане превосходит по мощности компьютеры, применявшиеся во время холодной войны, и мы воспринимаем этот факт как нечто само собой разумеющееся.

Все проходит. Каждый шаг к чему-то новому в процессе развития компьютеров приводил к тому, что прежние технологии устаревали. Так работает созидательное разрушение. Повышение мощности классических компьютеров по закону Мура уже замедляется, а со временем может и совсем остановиться. Дело в том, что микросхемы стали уже такими компактными, что толщина самого тонкого слоя транзисторов составляет около 20 атомов. Когда толщина слоя достигает примерно пяти атомов, положение электрона становится неопределенным; утечка таких электронов может вызвать короткое замыкание в чипе или выделить так много тепла, что чип расплавится. Иными словами, если мы будем использовать в микросхемах в первую очередь кремний, то закон Мура должен рано или поздно прекратить действовать, просто по законам физики. Вполне может быть, что мы в настоящий момент являемся свидетелями конца эпохи кремния. Следующим скачком, возможно, станет посткремниевая, или квантовая, эпоха.

Санджей Натараджан из Intel заявил: «Мы считаем, что выжали из этой архитектуры всё, что можно было выжать»⁹.

Не исключено, что Кремниевая долина со временем станет новым «ржавым поясом».

Хотя и кажется сейчас, что все спокойно, рано или поздно это новое будущее наступит. Как утверждает Хартмут Невен, директор Лаборатории искусственного интеллекта Google: «Все выглядит так, будто ничего не происходит, ровным счетом ничего, а потом упс — и ты вдруг оказываешься в другом мире»¹⁰.

Почему они такие мощные?

Что делает квантовые компьютеры настолько мощными, что все страны мира спешат овладеть этой новой технологией?

В сущности, все современные компьютеры основываются на цифровой информации, которую можно представить в виде последовательности нулей и единиц. Минимальная единица информации — одна цифра — называется бит. Эту последовательность нулей и единиц скормливают цифровому процессору, который производит расчет и выдает результат на выход. К примеру, скорость вашего интернет-соединения может измеряться в битах в секунду (бит/с); так, один гигабит в секунду (1 Гбит/с) означает, что каждую секунду на ваш компьютер посылается один миллиард бит информации, что обеспечивает вам мгновенный доступ к фильмам, электронной почте, документам и тому подобному.

Однако нобелевский лауреат Ричард Фейнман в 1959 г. увидел и другой подход к цифровой информации. В прощеском новаторском выступлении «Внизу много места»

и последовавших за ним статьях он задался вопросом: почему не заменить эту последовательность нулей и единиц состояниями атомов и не сделать атомный компьютер? Почему не заменить транзисторы самым маленьким возможным объектом, атомом?

Атомы подобны вращающимся волчкам. В магнитном поле ось их вращения может быть направлена либо вверх, либо вниз по отношению к магнитному полю, и эти два состояния атома можно соотнести с 0 и 1.

Мощность цифрового компьютера напрямую связана с числом состояний (нулей или единиц) в этом самом компьютере. Но по странным законам субатомного мира атомы способны также вращаться в любой комбинации двух описанных положений. К примеру, можно получить состояние, в котором ось вращения атома 10% времени направлена вверх, а 90% времени — вниз (для краткости можно говорить, что атом вращается вверх или вниз или просто о состояниях «вверх» и «вниз»). Или он вращается 65% времени вверх, а 35% — вниз. Мало того, число вариантов вращения атома бесконечно. Это многократно увеличивает число его возможных состояний. Так что атом может нести в себе гораздо больше информации — не бит, а кубит, то есть одномоментную смесь состояний «вверх» и «вниз». Цифровые биты способны нести лишь по одному биту информации в каждый момент времени, что ограничивает их возможности, но кубиты, или квантовые биты, обладают почти неограниченной мощностью. Тот факт, что на атомном уровне объекты могут существовать одновременно во множестве состояний, называется суперпозицией. (Это означает также, что привычные законы здравого смысла на атомном уровне постоянно нарушаются. В этом масштабе электроны, в частности, могут находиться в двух местах одновременно, чего у более крупных объектов не бывает.)

Кроме того, кубиты могут взаимодействовать между собой, что для обычных бит невозможно. Это называется запутанностью. Если состояния цифровых бит независимы, то всякий раз, когда вы добавляете к системе очередной кубит, он взаимодействует со всеми предыдущими кубитами, то есть число возможных взаимодействий удваивается. Из этого следует, что квантовые компьютеры по своей природе экспоненциально мощнее цифровых компьютеров, — ведь каждый раз, когда вы добавляете очередной кубит, число взаимодействий удваивается.

К примеру, сегодняшние квантовые компьютеры могут иметь в своем составе более 100 кубитов. Это означает, что они в 2^{100} раз мощнее суперкомпьютера всего с одним кубитом.

Квантовый компьютер Sycamore компании Google, первым достигший квантового превосходства, способен обрабатывать при помощи своих 53 кубитов 72 миллиарда миллиардов байт памяти. Так что любой традиционный компьютер в подметки не годится подобному квантовому компьютеру.

Коммерческие и научные последствия всего этого громадны. Ставки при переходе от цифровой мировой экономики к экономике квантовой необычайно высоки.

Что ограничивает скорость квантовых компьютеров

Следующий ключевой вопрос звучит так: что мешает нам сегодня вывести на рынок мощные квантовые компьютеры? Почему какой-нибудь предприимчивый изобретатель не продемонстрирует нам квантовый компьютер, способный взломать любой известный шифр?

Проблему, с которой сталкиваются квантовые компьютеры, также предвидел Ричард Фейнман, когда впервые предлагал эту концепцию. Чтобы квантовые компьютеры работали, атомы необходимо расположить в точности так, чтобы они вибрировали в унисон. Это называется когерентностью. Но атомы — невероятно маленькие и чувствительные объекты. Малейшее загрязнение или возмущение из внешнего мира — и когерентность батареи атомов может быть нарушена и весь расчет — погублен. Эта невероятная чувствительность и уязвимость и есть главная проблема квантовых компьютеров. Так что вопрос на триллион долларов: можем ли мы контролировать декогеренцию?

Чтобы минимизировать вредное влияние внешнего мира, ученые при помощи специального оборудования понижают температуру до значений, близких к абсолютному нулю, когда нежелательные колебания почти отсутствуют. Но, чтобы достичь этих температур, требуются особые дорогостоящие насосы и трубки.

Здесь мы сталкиваемся с загадкой. Мать-природа использует квантовую механику при комнатной температуре без каких бы то ни было проблем. К примеру, чудо фотосинтеза — одного из важнейших процессов на Земле — представляет собой квантовый процесс, который проходит тем не менее при обычной температуре. Матери-природе не нужны целые комнаты экзотических устройств, работающих при температурах, близких к абсолютному нулю, чтобы осуществлялся фотосинтез. По не совсем понятным причинам в природе когерентность может поддерживаться даже в теплый солнечный день, когда возмущения от внешнего мира должны, по идее, порождать хаос на атомном уровне. Если бы мы смогли однажды разобраться, как мать-природа творит свое волшебство при нормальных температурах, мы стали бы, возможно, повелителями квантовых процессов и даже самой жизни.

Революция в экономике

Хотя в краткосрочной перспективе квантовые компьютеры представляют угрозу кибербезопасности государств, в долгосрочной перспективе они имеют громадное практическое значение и способны произвести революцию в мировой экономике, обеспечить более устойчивое будущее и дать старт эпохе квантовой медицины, чтобы лечить ранее неизлечимые болезни.

Существует множество областей, в которых квантовые компьютеры смогут обойти традиционные цифровые машины:

1. Информационно-поисковые системы

В прошлом богатство означало владение нефтью или золотом.

Теперь оно все чаще измеряется информацией. Если прежде компании просто избавлялись от своих финансовых данных, то сейчас эта информация считается более ценной, чем драгоценные металлы. Но просеивание целой кучи данных может оказаться не под силу традиционному цифровому компьютеру. И здесь на сцену выходят квантовые вычислительные машины, которые способны найти иголку в стоге сена. Не исключено, что квантовые компьютеры смогут проанализировать финансы компании и выделить те несколько факторов, которые не позволяют ей развиваться.

И правда, JPMorgan Chase недавно вступил в партнерство с IBM и Honeywell, чтобы иметь возможность анализировать свои данные, а значит, делать более точные прогнозы финансовых рисков и неопределенностей и повышать эффективность своих операций.

2. Оптимизация

После того как квантовые компьютеры использовали поисковые системы, чтобы выделить из массы данных ключевые значения, встает следующий вопрос: как приспособить их для максимизации определенных факторов, таких как прибыль. По меньшей мере крупные корпорации, университеты и правительственные агентства будут применять квантовые компьютеры, чтобы минимизировать свои расходы и максимизировать эффективность и прибыль. К примеру, чистая прибыль некой компании зависит от сотен параметров, таких как заработная плата, продажи, издержки и так далее, и все они быстро меняются во времени. Задача поиска верного сочетания бесчисленных факторов, чтобы максимизировать прибыль, может перегрузить традиционный цифровой компьютер. Тем временем какая-нибудь финансовая фирма захочет использовать квантовые компьютеры для прогнозирования финансовых рынков, на которых ежедневно заключаются сделки на миллиарды долларов. Именно здесь пригодятся квантовые компьютеры, обеспечивающие вычислительные мускулы для оптимизации финансовых результатов.

3. Моделирование

Квантовые компьютеры смогут также решать сложные уравнения, выходящие за рамки возможностей цифровых компьютеров. К примеру, инженеринговые фирмы могут использовать квантовые компьютеры для расчета аэродинамики самолетов и автомобилей, чтобы найти идеальную форму, которая позволит снизить трение, минимизировать расходы и максимизировать эффективность. Правительства могут использовать квантовые компьютеры для прогнозирования погоды, от определения траектории чудовищного

урагана до расчета влияния глобального потепления на экономику и наш образ жизни на десятилетия вперед. Ученые могут использовать квантовые компьютеры для поиска оптимальной конфигурации магнитов в гигантских установках ядерного синтеза, чтобы обуздать мощь водородного синтеза и «поместить солнце в бутылку».

Но, возможно, самую большую пользу квантовые компьютеры принесут в моделировании сотен жизненно важных химических процессов. В идеале хотелось бы иметь возможность предсказывать результат любой химической реакции на атомном уровне вообще без использования химикатов, только при помощи квантовых компьютеров. Эта новая отрасль науки — вычислительная химия — определяет химические свойства не путем эксперимента, а при помощи моделирования их в квантовом компьютере. Когда-нибудь это позволит исключить дорогостоящее и занимающее длительное время тестирование. Вся биология, медицина и химия будут сведены к квантовой механике. Это означает создание «виртуальной лаборатории»: здесь с помощью памяти квантового компьютера можно быстро проверять новые лекарства, средства и методы лечения, обходясь без десятилетий проб и ошибок и медленных, трудоемких лабораторных экспериментов. Вместо того чтобы проводить тысячи сложных, дорогих и продолжительных химических экспериментов, можно будет просто нажать кнопку на квантовом компьютере.

4. Слияние ИИ и квантовых компьютеров

Искусственный интеллект (ИИ) обладает особой способностью учиться на ошибках, что позволяет ему выполнять всё более сложные задания. Он уже доказал свою эффективность в промышленности и медицине. Однако один из недостатков ИИ состоит в том, что громадное количество данных, которое он должен обрабатывать, легко может пе-