

**КВАНТОВЫЕ КОМПЬЮТЕРЫ. ЕСТЬ ЛИ У НИХ БУДУЩЕЕ?****Т.О. Фролова**

malkinato@student.bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

**Аннотация**

Исследованы основные принципы функционирования квантовых компьютеров. Проанализированы проблемы, обусловленные свойствами квантовых систем. Дело в том, что в качестве квантовых битов (кубитов) используются чрезвычайно малые элементы. Определить универсальную частицу, имеющую оптимальный для поставленных задач размер, пока не удалось. Дана общая характеристика квантовых компьютеров. Охарактеризован процесс тестирования разработок, который протекает весьма сложно. Проанализировано первоочередное применение квантового компьютера и различных систем для определения свойств новых молекул и материалов. Показан аспект сложности при создании квантовых компьютеров и систем. Сделан вывод о важности актуализации квантового компьютера и скорейшего устранения проблем, связанных с его разработкой.

**Ключевые слова**

Квантовый компьютер, квантовые системы, бит, кубит, декогеренция, суперпозиция, алгоритм

Поступила в редакцию 20.03.2023

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023

Квантовый компьютер — устройство, реализующее процесс вычисления, обработки и передачи различного рода и вида информации. Такое устройство базируется на принципах квантовой механики. В квантовой вычислительной машине минимальной единицей информации служит не бит, а кубит — квантовый бит. Бит информации в современных электронных вычислительных машинах принимает равное нулю или единице значение, в то время как квантовый бит принимает любое значение в пространстве между нулем и единицей включительно. Такая способность называется явлением суперпозиции. С помощью данного явления квантовый бит может обрабатывать любые возможные состояния одновременно. Однако квантовый бит отличается некоторыми особенностями. Например, значения квантового бита зависят от его измерения, т.е. субъект исследования не может представить значения квантового бита до его точного измерения, и даже сам факт измерения квантового бита играет важную роль.

Отметим, что квантовый бит находится во всех состояниях до его измерения, а суперпозиция является тем аспектом, который реализует ускорение вычисления в разы.

Квантовые процессоры должны быть очень «холодными» — их температура должна быть примерно на сотую градуса выше абсолютного нуля. Чтобы достичь этого, используются переохлажденные сверхтекучие жидкости для создания сверхпроводников. При таких сверхнизких температурах некоторые материалы в процессорах проявляют еще один важный квантовомеханический эффект: электроны проходят через них без сопротивления. Это делает их сверхпроводниками. Когда электроны проходят через сверхпроводники, они совпадают, образуя куперовские пары. Эти пары могут переносить заряд через барьеры или изоляторы посредством процесса, известного как квантовое туннелирование. Два сверхпроводника, расположенные по обе стороны от изолятора, образуют джозефсоновский переход. В квантовых компьютерах используются джозефсоновские переходы в качестве сверхпроводящих кубитов. Направляя микроволновые фотоны на эти кубиты, можно контролировать их поведение и заставлять их удерживать, изменять и считывать отдельные единицы квантовой информации.

Кубит может осуществлять важный процесс: переводить хранящуюся в нем квантовую информацию в состояние суперпозиции, которое представляет собой комбинацию всех возможных конфигураций кубита. Группы кубитов в суперпозиции могут создавать сложные, многомерные вычислительные пространства. В этих пространствах сложные проблемы могут быть представлены по-новому.

*Запутанность* — это квантовомеханический эффект, который коррелирует поведение двух отдельных вещей. Когда два кубита запутаны, изменения в одном кубите напрямую влияют на другой. В квантовых алгоритмах эти взаимосвязи используются для поиска решений сложных проблем.

Все исследователи в области квантовой механики (и, в частности, квантовых компьютеров) сталкиваются с проблемами свойств квантовых систем. В качестве квантовых битов используются очень маленькие элементы. Определить наилучшую универсальную частицу для поставленных задач по-прежнему не представляется возможным. Поэтому квантовые компьютеры разрабатываются на разных квантовых битах, что определенно влияет на весь процесс. Чтобы установить, количественно измерить исходные свойства в процессе эксплуатации, сохранить принцип суперпозиции и квантового закрепления, необходимо разработать специальные методы: использовать микроволновое, лазерное излучение и т. п. В данной сфере существует также проблема защиты квантовых битов от внешних воздействий. Эта проблема решается с помощью камер охлаждения задействованных процессов. Данные устройства помогают сократить количество ошибок в вычислениях [1].

Испытание созданных разработок также представляет собой очень сложный процесс. Это характеризуется следующими аспектами. Во-первых, чтобы сравнить два квантовых компьютера, необходимо протестировать на них одни

и те же алгоритмы, так как скорость применения такого устройства исключительно для решения узких задач снижает его практическую значимость. Во-вторых, сложность связана с проверкой результатов вычислений на классических компьютерах, поскольку некоторые задачи не могут быть решены даже на суперкомпьютере за разумное время. Исследователи видят первоочередное применение квантового компьютера в области определения свойств новых молекул и материалов. И группа ученого в области теоретической и экспериментальной физики М.Д. Лукина, и группа руководителя крупнейшей квантовой лаборатории Д. Мартиниса проводят расчеты именно для этой области. Успех их изысканий позволит экономить на дорогостоящих натуральных экспериментах и заранее просчитывать условия, при которых можно создать новое вещество.

Со временем потребуется улучшить системы обработки и защиты различной информации. Это необходимо, поскольку большинство криптографических технологий (например, для защиты паролей) базируется на принципе, что электронная вычислительная машина не может за короткое время решить определенную задачу, а именно разложить число на простые множители. Квантовый компьютер, построенный по алгоритму Шора, это действие может выполнить за несколько минут. С учетом перечисленных аспектов квантовый компьютер опасен для современной структуры систем информационной безопасности.

Одной из основных проблем при вычислении с помощью квантового компьютера является получение ответа с какой-либо степенью его правильности. Это происходит из-за того, что чем точнее субъект вычисляет одни параметры квантовой системы, тем хуже реализуются другие. Таким образом, чем точнее субъект определит задание для квантового компьютера — тем неопределеннее будет результат. Чтобы привести степень правильности полученного ответа к единице, создают специализированные сложные алгоритмы [2].

Для создания квантового бита необходимо зафиксировать два атома, после чего минимизировать воздействие на них различных излучений и связать квантовой связью. Чем больше квантовых битов соединены между собой, тем менее устойчиво они работают. Для того чтобы опередить электронную вычислительную машину, важно соединить между собой более 50 квантовых битов, однако эта система будет очень «капризной».

Основной проблемой в реализации квантового компьютера является декогеренция. *Декогеренция* — это негативное воздействие на систему связанных квантовых битов. На такую систему могут влиять различные факторы, например, радиация, изменение температуры и другие окружающие явления. Воздействие полностью затмевает квантовую сущность, заставляя квантовые биты принимать фиксированные значения. Из-за этого квантовый компьютер превращается в обычный и очень медленный [3]. Одна из ведущих на данный момент корпораций по созданию квантовых компьютеров D-Wave борется с деко-

геренцией путем охлаждения всей системы до нуля градусов. Это позволяет избавиться от влияния многих внешних процессов.

Несмотря на всю сложность и дороговизну, квантовые компьютеры — уже реальность. Их разработкой занимаются компании Google, Intel, Microsoft и др.

Решение вопроса об актуализации квантовых компьютеров — дело ближайших лет. Например, компания IBM анонсировала создание коммерческого квантового компьютера к 2023 году, он будет оперировать с 1120 квантовыми битами. И это совсем не предел: уже ведутся разработки компьютеров на миллионы квантовых битов, и именно они откроют истинный потенциал квантовых вычислений [4].

Отвечая на вопрос, почему квантовые компьютеры быстрее обычных, стоит рассмотреть следующий пример. Суперкомпьютер отлично справляется с такой сложной задачей, как сортировка по большой базе данных белковых последовательностей. Однако ему будет трудно увидеть тонкие закономерности в этих данных, которые определяют, как ведут себя эти белки. Белки — это длинные цепочки аминокислот, которые становятся полезными биологическими машинами, когда они складываются в сложные формы. Выяснение того, как белки будут сворачиваться, является проблемой, имеющей важные последствия для биологии и медицины [5].

Классический суперкомпьютер мог бы попытаться сложить белок, используя свои многочисленные процессоры, чтобы проверить все возможные способы изгиба химической цепи, прежде чем прийти к ответу [6]. Что же происходит, если цепочки становятся длиннее и сложнее? В такие моменты суперкомпьютер перестает функционировать. Цепочка из 100 аминокислот теоретически может сворачиваться любым из многих триллионов способов. Ни у одного компьютера не хватит памяти для обработки всех возможных комбинаций.

Можно сделать однозначный вывод: квантовые компьютеры создаются для решения сложнейших задач. Квантовые алгоритмы используют новый подход к сложным проблемам такого рода — они создают многомерные пространства, в которых возникают шаблоны, связывающие отдельные точки данных. При исследовании сворачивания белка этот паттерн может представлять собой комбинацию сворачиваний, для производства которых требуется наименьшее количество энергии. Эта комбинация и есть решение проблемы.

Классические компьютеры не способны создавать эти вычислительные пространства, поэтому они не могут найти эти шаблоны [7]. В случае с белками уже существуют ранние квантовые алгоритмы, которые могут находить паттерны сворачивания совершенно новыми, более эффективными способами, без трудоемких процедур проверки классических компьютеров. По мере масштабирования квантового оборудования и развития этих алгоритмов они могут решать проблемы сворачивания белков, слишком сложные для любого суперкомпьютера [8].

Компания IBM Quantum лидирует в мире по созданию квантового оборудования. Данная корпорация следует четкому, подробному плану масштабирования квантовых процессоров, преодолевая проблемы масштабирования и создания аппаратного обеспечения [9]. Но квантовое преимущество не будет достигнуто только с помощью аппаратного обеспечения. IBM также потратила годы на разработку программного обеспечения, которое необходимо для выполнения полезной работы с использованием квантовых компьютеров. Был разработан комплект инструментов для разработки программного обеспечения Qiskit quantum SDK. Это открытый исходный код, основанный на языке Python и, безусловно, самый широко используемый квантовый набор инструментов в мире. Компания также разработала Qiskit Runtime, самую мощную модель квантового программирования в мире.

Достижение квантового преимущества потребует новых методов подавления ошибок, увеличения скорости и организации квантовых и классических ресурсов [10]. Основы этой работы закладываются сегодня в Qiskit Runtime.

Полагаем, что в ближайшем будущем квантовые компьютеры станут очень важным устройством при исследованиях в области медицины, также откроются просторы для создания различных лекарств.

Таким образом, квантовый компьютер — очень сложное устройство будущего, которое требует весомых научных и финансовых вложений.

## Литература

- [1] Коробченко Е.В. Квантовый компьютер: основные понятия, класс решаемых задач, перспективы развития. *Экономическая безопасность и качество*, 2018, № 3, с. 48–51.
- [2] Альшин С.К., Селюкова С.А. Квантовый компьютер. *Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения. LV Студ. науч.-практ. конф.: сб. мат.* Тюмень, ГАУ Северного Зауралья, 2021, ч. 2, с. 380–383.
- [3] Трошин А.М., Кондратьев В.Ю. Квантовый компьютер. *Цифровизация экономики: направления, методы, инструменты. II Всерос. науч.-практ. конф.: сб. мат.* Краснодар, КубГАУ, 2020, с. 264–266.
- [4] Соловьев В.М. Квантовые компьютеры и квантовые алгоритмы. Часть 1. Квантовые компьютеры. *Изв. Саратов. ун-та. Нов. Сер. Сер. Математика. Механика. Информатика*, 2015, № 4.
- [5] Борисевич М.Н. О квантовом компьютере и квантовой медицине. *Вестник ВГМУ*, 2021, № 2, с. 18–24. DOI: <http://doi.org/10.22263/2312-4156.2021.2.18>
- [6] Соловьев В.М. Квантовые компьютеры и квантовые алгоритмы Часть 2. Квантовые алгоритмы. *Изв. Саратов. ун-та. Нов. Сер. Сер. Математика. Механика. Информатика*, 2016, № 1, с. 104–112. DOI: <http://doi.org/10.18500/1816-9791-2016-16-1-104-112>
- [7] Олейникова А.В., Сурудин Д.С., Шафеев Д.Е. Квантовые компьютеры: надежды и реальность. *Перспективы развития информационных технологий*, 2016, № 30, с. 145–153.

- [8] Кабарухин А.П., Камалиденов К.Ш., Култазин Н.М., Ангапов В.Д. Перспективы использования квантовых компьютеров. *Наука и образование сегодня*, 2022, № 1 (70), с. 31–37.
- [9] Гузик В.Ф., Гушанский С.М., Судаков И.А. Построение модели квантового вычислителя. *Известия ЮФУ. Технические науки*, 2012, № 5, с. 138–143.
- [10] Гузик В.Ф., Гушанский С.М., Кубраков Е.С. Ускорение моделирования квантовых вычислений с применением аппаратных ускорителей и распределенных вычислений. *Известия ЮФУ. Технические науки*, 2012, № 5, с. 62–66.

**Фролова Татьяна Олеговна** — студентка кафедры «Безопасность в цифровом мире» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Научный руководитель** — Скворцова Мария Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Компьютерные системы и сети», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:**

Фролова Т.О. Квантовые компьютеры. Есть ли у них будущее? *Политехнический молодежный журнал*, 2023, № 03 (80). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2023-3-876>

## QUANTUM COMPUTERS. DO THEY HAVE A FUTURE?

T.O. Frolova

malkinato@student.bmstu.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

---

### Abstract

The basic principles of quantum computers functioning are studied. Problems caused by properties of quantum systems are analyzed. The fact is that extremely small elements are used as quantum bits (qubits). It has not yet been possible to determine a universal particle, which has an optimal size for the given problems. A general characteristic of quantum computers is given. The process of development testing, which is very difficult, is characterized. The priority application of quantum computer and different systems to determine the properties of new molecules and materials is analyzed. The complexity aspect in the creation of quantum computers and systems is shown. It is concluded that it is important to actualize the quantum computer and eliminate the problems associated with its development as soon as possible.

### Keywords

Quantum computer, quantum systems, bit, cubit, decoherence, superposition, algorithm

Received 20.03.2023

© Bauman Moscow State Technical University, 2023

---

### References

- [1] Korobchenko E.V. Quantum computer: basic concepts, class of tasks, development prospect. *Ekonomicheskaya bezopasnost' i kachestvo*, 2018, no. 3, pp. 48–51. (In Russ.).
- [2] Al'shin S.K., Selyukova S.A. Quantum computer. *Aktual'nye voprosy nauki i khozyaystva: novye vyzovy i resheniya. LV Studencheskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya Sbornik materialov* [Topical issues of science and economy: new challenges and solutions. LV Student scientific-practical conference Collection of materials]. Tyumen, GAU Severnogo Zaural'ya Publ., 2021, pt. 2, pp. 380–383. (In Russ.).
- [3] Troshin A.M., Kondrat'ev V.Yu. Quantum computer. *Tsifrovizatsiya ekonomiki: napravleniya, metody, instrumenty. II Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya. sbornik materialov* [Digitization of the economy: directions, methods, tools. II All-Russian Scientific and Practical Conference. Collection of materials]. Krasnodar, KubGAU Publ., 2020, pp. 264–266. (In Russ.).
- [4] Solov'ev V.M. Quantum computers and quantum algorithms. Part 1. Quantum algorithms. *Izv. Saratov Univ. (N.S.), Ser. Math. Mech. Inform.*, 2015, no. 4. (In Russ.).
- [5] Borisevich M.N. About quantum computer and quantum medicine. *Vestnik VGMU*, 2021, no. 2, pp. 18–24. DOI: <http://doi.org/10.22263/2312-4156.2021.2.18> (in Russ.).
- [6] Solov'ev V.M. Quantum computers and quantum algorithms. Part 2. Quantum algorithms. *Izv. Sarat. un-ta. Nov. ser. Ser. Matematika. Mekhanika. Informatika*, 2016, no. 1, pp. 104–112. DOI: <http://doi.org/10.18500/1816-9791-2016-16-1-104-112> (in Russ.).

- [7] Oleynikova A.V., Surudin D.S., Shafeev D.E. Quantum computers: hopes and reality. *Perspektivy razvitiya informatsionnykh tekhnologiy*, 2016, no. 30, pp. 145–153. (In Russ.).
- [8] Kabarukhin A.P., Kamalidenov K.Sh., Kultazin N.M., Angapov V.D. Prospects for the use of quantum computers. *Nauka i obrazovanie segodnya*, 2022, no. 1 (70), pp. 31–37. (In Russ.).
- [9] Guzik V.F., Gushanskiy S.M., Sudakov I.A. Building a model of quantum computer. *Izvestiya SFEDU. Engineering Sciences*, 2012, no. 5, pp. 138–143. (In Russ.).
- [10] Guzik V.F., Gushanskiy S.M., Kubrakov E.S. Accelerating of modeling of quantum computing using hard accelerators and distributed computing. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki*, 2012, no. 5, pp. 62–66. (In Russ.).

**Frolova T.O.** — Student, Department of Security in the Digital World, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Scientific advisor** — Skvortsova M.A., Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Department of Computer Systems and Networks, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Please cite this article in English as:**

Frolova T.O. Quantum computers. Do they have a future? *Politekhnichestkiy molodezhnyy zhurnal*, 2023, no. 03 (80). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2023-3-876> (in Russ.).