

УДК 004.38

О ВОЗМОЖНОЙ БЛОК-СХЕМЕ КВАНТОВОГО КОМПЬЮТЕРА НА ОСНОВЕ А PRIORY ВИЗУАЛИЗОВАННЫХ СОСТОЯНИЙ ШОРА

Воронов В.К.

*Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, e-mail: voronov@istu.edu.ru*

В данной работе предлагается блок-схема квантового компьютера на основе идеи визуализации состояний Шора. Этому предшествует краткий анализ выполненных исследований по проблеме создания квантового компьютера. Рассматриваются условия формирования массива квантовых объектов, выполняющих роль q-битов, с помощью которых должна осуществляться визуализация (материализация) состояний Шора как первого шага на пути создания истинного квантового процессора. Описываются требования, которым должны отвечать функциональные свойства квантовых объектов, предназначенных для указанной выше визуализации. Обсуждается также набор необходимых операций, выполнение которых на технологическом уровне позволит создать электронный блок для организации процедуры квантового счета. Показана также возможность сделать достаточно долгим процесс квантовых вычислений на основе операций над матрицами. Подчеркивается, что на данном этапе квантовый компьютер в истинном смысле – это встраиваемый в уже существующие современные компьютеры дополнительный блок, который при необходимости может существенно увеличить скорость процедуры счета.

Ключевые слова: квантовый компьютер, квантовые точки, состояния Шора

ABOUT A POSSIBLE FLOWCHART QUANTUM COMPUTER BASED ON A PRIORY VISUALIZE STATES SHORE

Voronov V.K.

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, e-mail: voronov@istu.edu.ru

This paper proposes a block diagram of quantum computer based on ideas status visualization Shore. This is preceded by a brief analysis of the research on the problem of creating quantum computers. Examines the conditions of formation of an array of quantum objects, performing the role of q-bits with which should be used to render (materialization) Shor's State as a first step towards creating a true quantum processor. Describes the requirements to be satisfied by the functional properties of quantum objects destined for the above render. Also discussed is the set of operations which the technological level will create the electronic unit to organize procedures quantum account. Shows the ability to make enough long process of quantum computation based on the operations on matrices. Stresses that at this stage a quantum computer in the true sense is embeddable in existing modern computers, additional block, which can significantly increase the speed of the procedure of the account.

Keywords: quantum computer, quantum dots, the State of the Shore

Все (или почти все) выполненные к настоящему времени исследования, связанные с созданием квантового компьютера, основываются на поиске подходящих индивидуальных квантовых объектов. При этом полагается, что создание на их основе вычислительных квантовых схем является очевидным фактом. Другими словами, исследователи стараются найти решение проблемы квантового компьютера, имея в виду поведение небольшого числа квантовых объектов. Образно говоря, речь идет о том, чтобы попытаться найти способы решения проблем квантовой информации, следуя идеологии «снизу вверх». В указанном направлении проделана большая работа, хотя по-прежнему существует ряд трудностей проблемного характера, которые требуют своего решения, прежде всего, это декогеренция кубитов и обеспечение перепутанности их квантовых состояний (см. [1, 2, 5, 7, 9] и приведенную там литературу). Но подбор и обеспечение соответствующего функционирования кубитов не является самоцелью. Основные преимущества

квантового компьютера, если он будет создан, связаны с возможностью формирования значительного математического информационного ресурса как следствие суперпозиции квантовых состояний кубитов (см., например, [2]). Поэтому с учетом выше обозначенных трудностей в подборе кубитов логично начать с того, чтобы *a priori* создавать систему из необходимого количества квантовых объектов (квантовых точек или островков), которые будут соответствовать перепутанным состояниям (состояниям Шора). В связи с этим здесь уместно отметить, что за последние примерно тридцать-сорок последних лет, когда были выполнены и все основные теоретические работы по обсуждаемой здесь проблеме, синтезировано огромное количество новых соединений с самым разнообразным молекулярным строением и динамикой, а следовательно, с самыми разнообразными физико-химическими свойствами. Из них можно создавать вентили, чтобы они составляли квантовый процессор, способный решать реальные задачи.

В данной работе предлагается и обосновывается блок-схема квантового компьютера на основе идеи визуализации состояний Шора. В связи с этим рассматриваются условия формирования массива квантовых объектов, выполняющих роль q -битов, с помощью которых должна осуществляться визуализация (материализация) перепутанности квантовых состояний кубитов как первого шага на пути создания истинного квантового процессора. Обсуждается также набор необходимых операций, выполнение которых на технологическом уровне позволит создать электронный блок для организации процедуры квантового счета. Показана также возможность сделать достаточно долгим процесс квантовых вычислений на основе операций над матрицами.

О возможных функциональных свойствах квантовых объектов, предназначенных для визуализации состояний Шора

Истинно состояния Шора являются квантово-физическими по своей сути. Следовательно, массив квантовых островков, используемых для их материализации (визуализации), должен сохранить эту физическую особенность, т.е. подчиняться законам квантовой физики. На сегодня, по видимому, классическими представителями таких объектов являются гетеросистемы с пониженной размерностью или низкоразмерные структуры, в которых движение ограничено в одном, двух или трех измерениях. Хорошо известно, что квантовое ограничение реализуется в тех случаях, когда характерная квантовая длина, определяемая длиной волны де Бройля, становится равной или меньшей соответствующего физического размера объекта. Именно данное условие должно как-то обязательно отражаться в составе и строении квантовых островков, которые должны выполнять роль кубитов [6]. Другими словами, в технологическом смысле проявление размерных квантовых эффектов в данном конкретном случае надо понимать как необходимость обеспечения таких условий в процессе материализации состояний Шора, при которых будет иметь место совпадение размера (размеров) индивидуального квантового островка и некоторой критической длины, характеризующей его (островка) структуру и (или) свойства.

В плане реализации процедуры квантового счета самым естественным представляется процесс, при котором каждой материализованной (визуализированной) ячейке Шора сопоставляется элемент электронной схемы, например нанотранзистор, нанодиод. Здесь уместно отметить, что уже предложена триг-

герная схема, основанная только на графеновых лентах шириной порядка 10 нм, в которой все элементы созданы за счет сочетания указанных лент, вырезанных под разными углами или имеющих разную ширину и/или тип края [3]. Затем такие элементы объединяются в соответствующую схему, способную выполнять процесс счета. Причем и элементы ее, и она сама в целом должны функционировать на основе положений квантовой физики. Являясь действительно квантовой системой по своей сути, такое устройство выполняет реальные процедуры счета по схеме классического компьютера, но на уровне микромира. Причем на данном этапе квантовый компьютер в истинном смысле – это встраиваемый в уже существующие современные компьютеры дополнительный блок, который при необходимости может существенно увеличить скорость процедуры счета. Возможно, однако, его использовать при параллельных вычислениях, когда он (этот блок), подключенный к общей системе классического компьютера, выполняет процедуру счета на каком-то этапе решения конкретной задачи. В это же время основные блоки классического компьютера могут решать следующую задачу. Здесь, по-видимому, уместно вспомнить, что в работе [4] выдвигалась идея (программа минимум) об использовании банка данных, полученных с помощью системы элементарных квантовых компьютеров, для расширения возможностей универсального компьютера Тьюринга.

В соответствии с теорией состояния Шора в истинном смысле являются результатом запутанности состояний кубитов (в том числе и квантовых точек, если они выполняют роль кубитов). Поэтому они принципиально отличаются от битов классического компьютера. Следовательно, к какому-то ij -му состоянию можно обращаться для использования его в процедуре счета через какое-то определенное время после того, как состояния i и j уже приняли участие в счете. Это относится и ко всем ij -м состояниям, которые должны выполнять роль ячеек Шора. Чтобы пояснить смысл такого утверждения, предположим, что в данный момент в процедуру счета вовлечено состояние, например, $5j$, т.е. состояние кубита со значением $i = 5$ (j изменяется от 1 до m , кроме $j = i$). Это означает, что такой кубит уже перестал быть запутанным с состоянием кубита под номером $(j - 1)$, но еще не находится в стадии запутанности с кубитом под номером $(j + 1)$. Отсюда вытекает довольно жесткое требование к реализации ячеек Шора – необходимо существование механизма, реализуемого в микромире и подчиняющегося законам квантовой физики, который «следит»

за состоянием системы кубитов и обеспечивает их перепутанность в момент вовлечения в процедуру счета. В свою очередь, наличие такого механизма должно как-то отражаться на уровне макромира, чтобы можно было пользоваться результатами счета, выполняемого системой квантовых битов (кубитов). Аналогичная проблема возникает также в случае обращения к состояниям индивидуальных квантовых точек – ii -м состояниям в том смысле, что очередность вовлечения их в процедуру счета должна быть как-то упорядочена.

После выше сделанных замечаний можно следующим образом представить условия использования массива квантовых островков (например, размером 10^{10}) в качестве кубитов для организации процедуры счета. Исходным моментом является предположение, что такой массив в виде отдельного блока входит в состав обычного (классического) компьютера. На определенном этапе его (компьютера) работы идущее от какого-либо элемента электромагнитное излучение возбуждает вторичное излучение, например плазменные колебания определенной частоты в квантовых островках. Пусть при этом существует некая линия задержки, обеспечение возбуждения вторичного колебания в i -м островке с определенной задержкой по отношению к $(i-1)$ -му островку. Таким образом будет обеспечиваться последовательность работы элементов электронного блока, связанного с массивом квантовых островков, выполняющих роль кубитов. Возбуждение вторичного излучения должно сопровождаться вводом каких-то исходных данных с тем, чтобы электронный блок произвел необходимые вычисления. Результаты счета могут быть введены в схему классического компьютера устройством, аналогичным тому, которое обеспечивает запуск блока квантового счета.

Формирование еще одного массива квантовых объектов с целью визуализации совсем не обязательно, если использовать их соединения (комбинации) между собой. Согласно законам квантовой физики, если система состоит из n двухуровневых q -битов (qubit), то она в общем случае представляет собой суперпозицию 2^n базовых состояний, откуда вытекают основные преимущества квантового компьютера (см., например, [2]). Если ограничиться относительно небольшим $n = 10^2$ квантовых частиц, можно получить достаточно большой

$$2^n = 2^{100} \approx 10^{30}$$

математический информационный ресурс квантового компьютера. Именно столько возникает тех самых состояний Шора, о визуализации которых идет речь в данной работе. Массив из 10^{10} степени островков и комбинация (разложение, а не сочетание)

из указанного количества по два позволяет это сделать (по крайней мере в принципе). Если исходить из того, что в работу будут вовлекаться как индивидуальные квантовые островки, так и их сочетания по два, для этого необходимо, чтобы во вторичном излучении была еще одна частота, которая и должна обеспечить использование ij -х состояний для процедуры счета. Естественно, что и в этом случае необходимо, чтобы была обеспечена последовательность использования таких состояний (в нашем случае 10^{20}).

Дальнейшая конкретизация структуры возможного блока квантовых вычислений должна быть связана с подбором химического состава и молекулярного строения материала, из которого должны готовиться квантовые островки. Подходящими для этих целей могут стать соединения с незаполненными $3d$ -, $4f$ - и $5f$ -оболочками, особенности электронного и пространственного строения которых во многом определяют межэлектронные корреляции. Среди них перспективными представляются парамагнитные комплексы, для которых характерными являются внутримолекулярная перегруппировка, называемая валентной таутомерией. Вследствие такой перегруппировки реализуются молекулярные состояния с существенно различными магнитными свойствами. Если, например, таких состояний два, в массиве из 10^{10} квантовых объектов в каждый момент времени $5 \cdot 10^9$ будут находиться одно из таких состояний и примерно столько же (в условиях комнатных температур) – в другом. Указанные состояния можно использовать для кодировки чисел (например, нуля и единицы) [4, 8].

Вышеизложенное относительно визуализации состояний Шора и конкретных характеристик используемых для этого квантовых островков (конечно, пока в самом общем виде) можно считать в определенном смысле физическим моделированием указанных состояний, на основе которого можно пытаться организовать процедуру квантового счета, т.е. решать проблему на технологическом уровне. В свою очередь, от технологического уровня логично перейти, образно говоря, к математическому описанию или представлению. Рассмотренные выше два массива (индивидуальные квантовые объекты и их комбинация) можно рассматривать как две матрицы. Следовательно, на каком-то этапе процедуры счета над ними возможно проведение каких-либо математических операций, таким образом расширяя вычислительные возможности квантового блока. Действительно, операции над двумя матрицами приведет к тому, что возникнет третья, которую можно будет вовлечь в операции с двумя предшествующими ей матрицами и т.д.

Заключение

Истинно состояния Шора являются квантово-физическими по своей сути. Следовательно, массив квантовых островков, используемых для их визуализации, должен сохранить эту физическую особенность, следствием которой являются размерные квантовые эффекты. В технологическом смысле их проявление надо понимать как необходимость обеспечения таких условий в процессе материализации состояний Шора, при которых будет иметь место совпадение размеров индивидуальных квантовых островков и некоторой критической длины, характеризующей их структуру и свойства. Подходящими для этих целей могут стать соединения с незаполненными $3d$ -, $4f$ - и $5f$ -оболочками, особенности электронного и пространственного строения которых во многом определяют межэлектронные корреляции. Среди них перспективными представляются парамагнитные комплексы, для которых характерной является внутримолекулярная перегруппировка, называемая валентной таутомерией.

Каждой материализованной (визуализированной) ячейке Шора сопоставляется элемент электронной схемы наномасштабных размеров (в частности, с использованием графеновых лент). Такие элементы объединяются в соответствующую схему, способную выполнять процесс счета. Причем и элементы ее, и она сама в целом должны функционировать на основе положений квантовой физики. Являясь действительно квантовой системой по своей сути, такое устройство выполняет реальные процедуры счета по схеме классического компьютера, но на уровне микромира.

От технологического уровня логично перейти к математическому описанию или представлению. Два массива – индивидуальные квантовые объекты и их комбинацию – можно рассматривать как две матрицы. Следовательно, на каком-то этапе процедуры счета над ними возможно проведение каких-либо математических операций, таким образом расширяя вычислительные возможности квантового блока. Действительно, операции над двумя матрицами приведут к тому, что возникнет третья, которую можно будет вовлечь в операции с двумя предшествующими ей и т.д. Причем на данном этапе квантовый компьютер в истинном смысле – это встраиваемый в уже существующие современные компьютеры дополнительный блок, который при необходимости может существенно увеличить скорость процедуры счета.

Список литературы

1. Алдошин С.М., Зенчук А.И., Фельдман Э.Б., Юрищев М.А. На пути к созданию материалов для квантовых компьютеров // Успехи химии. – 2012. – Т. 81, № 2. – С. 91–104.

2. Валиев К.А. Квантовые компьютеры и квантовые вычисления // Успехи физических наук. – 2005. – Т. 175, № 1. – С. 3–39.

3. Сорокин П.Б., Чернозатонский Л.А. Полупроводниковые наноструктуры на основе графена // Успехи физических наук. – 2013. – Т. 183, № 2. – С. 113–132.

4. Voronov V.K., NMR and the Problem of Quantum Computer Creation: New Outlook, in: S. Shannon (ed.), Trends in Quantum Computing Research, NOVA Publishers: New York, 2006, pp. 73–90.

5. Voronov V.K.. Possibility of Application of Wave Flow Method for Visualizatin of Shor States // Int. J. Communications, Network and System Sciences. – 2013. – V. 6. – P. 485–488.

6. Voronov V.K. Possible schemes of calculation modeling in a quantum computer // Natural Science. – 2010. – V.2, № 8. – P. 923–927.

7. Voronov V.K. Revisiting the Possible Creation of the Quantum Information Unit – A Necessary Element of Quantum Computation Procedure // Transactions on Networks and Communications. – 2015. – Vol. 3 № 1. – P. 79–84.

8. Voronov V.K. Physical problems of quantum calculation: A novel approach // Journal of Physical Science and Application. – 2012. – Vol. 2, № 4. – P. 115–122.

9. Zhaokai Li, Hui Zhou,Chenyong Ju, Hongwei Chen, Wenqiang Zheng, Dawei Lu, Xing Rong, Changkui Duan, Xinhua Peng, and Jiangfeng Du / Experimental Realization of Compressed Quantum Simulation of 32-spin Ising Chain // Physical Review Letters. – 2014. – Vol. 112. – P. 220501–220505.

References

1. Aldoshin S.M., Zenchuk A.I., Feldman Je.B., Jurishhev M.A. Na puti k sozdaniju materialov dlja kvantovyh kompjuterov / Uspshi himii. 2012. T. 81, no. 2. pp. 91–104.

2. Valiev K.A. Kvantovye kompjutery i kvantovye vychislenija / Uspshi fizicheskikh nauk. 2005. T. 175, no. 1. pp. 3–39.

3. Sorokin P.B., Chernozatonskij L.A. Poluprovodnikovyie nanostruktury na osnove grafena / Uspshi fizicheskikh nauk. 2013. T. 183, no. 2. pp. 113–132.

4. Voronov V.K., NMR and the Problem of Quantum Computer Creation: New Outlook, in: S. Shannon (ed.), Trends in Quantum Computing Research, NOVA Publishers: New York, 2006, pp. 73–90.

5. Voronov V.K.. Possibility of Application of Wave Flow Method for Visualizatin of Shor States / Int. J. Communications, Network and System Sciences. 2013. Vol. 6. pp. 485–488.

6. Voronov V.K. Possible schemes of calculation modeling in a quantum computer / Natural Sci-ence. 2010. Vol. 2, no. 8. pp. 923–927.

7. Voronov V.K. Revisiting the Possible Creation of the Quantum Information Unit A Necessary Element of Quantum Computation Procedure / Transactions on Networks and Communications. 2015. Vol. 3 no. 1. pp. 79–84.

8. Voronov V.K. Physical problems of quantum calculation: A novel approach / Journal of Physical Science and Application. 2012. Vol. 2, no. 4. pp. 115–122.

9. Zhaokai Li, Hui Zhou, Chenyong Ju, Hongwei Chen, Wenqiang Zheng, Dawei Lu, Xing Rong, Changkui Duan, Xinhua Peng, and Jiangfeng Du / Experimental Realization of Compressed Quantum Simulation of 32-spin Ising Chain / Physical Review Letters. 2014. Vol. 112. pp. 220501–220505.

Рецензенты:

Власов В.Г., д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой математики, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск;

Куцкий Н.Н., д.т.н., профессор кафедры автоматизированных систем управления, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск.