УДК 168

DOI 10.25205/2541-7517-2019-17-4-85-92

Философские основания моделирования квантовых компьютеров

А. Ю. Сторожук

*Институт философии и права СО РАН
Новосибирск, Россия*

Аннотация

Источником традиционных эпистемологических проблем квантовой механики является влияние наблюдателя на систему. В частности, к таким проблемам относится редукция волновой функции, которая вынуждает говорить физиков о «скрытых параметрах» и неполноте квантовой механики. Процесс измерений квантовой системы нарушает ее внутреннее состояние и делает невозможным получение информации о других ее параметрах (принцип неопределенности Гейзенберга). В 1980-х гг. была высказана точка зрения о необходимости создания квантового компьютера, поскольку моделирование поведения квантовой системы на классическом вычислительном устройстве не может обеспечить достаточной точности воспроизведения всех ее параметров. Возникает вопрос: насколько введение квантового компьютера способно разрешить традиционные эпистемологические проблемы квантовой механики? Способно ли моделирование поведения элементарных частиц на квантовом компьютере «обойти» проблему влияния наблюдателя на систему? Другими словами, можно ли получить информацию о поведении квантовой системы, не производя наблюдения? Сохранится ли внутреннее состояние смоделированной системы?

Ключевые слова

квантовый компьютер, влияние наблюдателя на систему, коллапс волновой функции, эпистемология квантовой механики

Для цитирования

Сторожук А. Ю. Философские основания моделирования квантовых компьютеров // Сибирский философский журнал. 2019. Т. 17, № 4. С. 85–92. DOI 10.25205/2541-7517-2019-17-4-85-92

The philosophical foundations of quantum computer modeling

A. Yu. Storozhuk

*Institute of Philosophy and Law SB RAS
Novosibirsk, Russian Federation*

Abstract

The source of some problems of the quantum mechanics is the observer's influence on the system. In particular, such problems include the reduction wave function, which

© Сторожук А. Ю., 2019

forces physicists to talk about “hidden parameters” and the incompleteness of quantum mechanics. Measurements of a quantum system violate its internal state and make it impossible to obtain information about its other parameters (Heisenberg’s uncertainty principle). In 1980 there appeared the thesis that since modeling the behavior of a quantum system on a classical computer cannot provide sufficient accuracy for reproducing all its parameters, there is a need for a quantum computer. The question arises: to what degree can a quantum computer help to solve traditional epistemological problems of quantum mechanics? Can modelling the behavior of elementary particles on a quantum computer “bypass” the problem of the observer’s influence on the system? In other words, is it possible to obtain information about the behavior of a quantum system without observation? Will the internal state of the simulated system be preserved?

Keywords

quantum computer, observer influence on the system, collapse of wave function, epistemology of quantum mechanics

For citation

Storozhuk A. Yu. The philosophical foundations of quantum computer modeling. *Siberian Journal of Philosophy*, 2019, vol. 17, no. 2, p. 85–92 (in Russ.) DOI 10.25205/2541-7517-2019-17-4-85-92

Цель статьи – рассмотрение вопроса, можно ли избежать «проблемы редукции волновой функции» при получении информации о системе элементарных частиц с помощью квантового компьютера? Если в реальных экспериментах процесс измерения параметров элементарных частиц связан с коллапсом волновой функции, то моделирование поведения системы на квантовом компьютере не предполагает вмешательство наблюдателя, проводящего измерения. Позволит ли квантовый компьютер обойти принцип неопределенности?

А. И. Липкин дает следующую формулировку проблемы «редукции (коллапса) волновой функции»:

«утверждение 1: измерение есть явление, которое должно описываться квантовой теорией;

утверждение 2: на языке квантовой теории это явление описывается как мгновенное изменение волновой функции системы, ...этот скачок и называется «редукцией (или коллапсом) волновой функции»;

утверждение 3: такой переход не описывается уравнением Шредингера и поэтому оказывается «незаконным» с точки зрения уравнений стандартной квантовой механики. Выводимая из последнего утверждения (опирающегося на два первых) неполнота современной квантовой механики и необходимость дополнительного развития ее оснований и составляет суть того,

что со времен фон Неймана имеют в виду под «проблемой редукции (коллапса) волновой функции»¹.

Рассмотрение этой проблемы приводит к формулировке тезиса о неполноте современной квантовой механики. Попытки ее решения имеют богатую историю, и их нельзя назвать удовлетворительными. Так, 1930-х гг. фон Нейман предлагал ввести в формулировку квантовой механики наблюдателя, а во второй половине XX в. появляется многомировая интерпретация Эверетта – Уиллера – ДеВитта. Согласно М. Б. Менскому, в этой интерпретации считается, что «различные члены суперпозиции соответствуют различным классическим реальностям, или классическим мирам... Сознание наблюдателя расслаивается, разделяется, в соответствии с тем, как квантовый мир расслаивается на множество альтернативных классических миров» [С. 423–424].

С другой стороны можно рассматривать сознание как независимое понятие, необходимое для логической полноты квантовой механики. Например, возможно отказаться от «трудной проблемы сознания», и ограничиться рассмотрением «легкой проблемы сознания». Данное терминологическое деление было введено Д. Чалмерсом, связывающим первую проблему с вопросом связи физического состояния мозга с ментальными состояниями, а вторую – со способами получения и обработки информации на уровне психической активности мозга (см.: [Чалмерс, 2013]). При этом «легкая проблема» гораздо легче переводима на язык информационного подхода, принятого в области компьютерного моделирования.

Одна из посылок Д. Чалмерса – необходимость обратиться к квантовой механике при моделировании сознания: «Чаще всего высказывалось предположение, что квантовая механика могла бы оказаться ключом к физическому объяснению сознания. Но, как мы видели, этот проект обречен на неудачу. Квантовые “теории” сознания в итоге страдают от такого же провала в объяснении, что и классические теории. В любом случае опыт должен рассматриваться как нечто выходящее за пределы физических свойств мира. Квантовая механика, возможно, могла бы содействовать характеристике психофизической связи, но одна лишь квантовая теория не может сказать нам, почему существует сознание» [Там же. С. 413]. В классических интерпретациях квантовой механики сознание рассматривается как независимое понятие, необходимое для логической полноты квантовой механики [Безлепкин, 2019]. «Для нахождения связи между сознанием и квантовой механикой Пенроуз и Хамероф идут по пути, который для физиков является не только типичным, но часто представляется единственно возможным. Этот путь состоит в том, чтобы выделить такую материальную систему, ко-

¹ Липкин А. И. Миф об особой роли сознания наблюдателя в квантовой механике. URL: https://mipt.ru/education/chair/philosophy/publications/works/lipkin/philsci/a_3vzyrl.php

торая существенна для изучаемого явления, проанализировать поведение этой системы в соответствии с известными физическими законами и вывести все черты изучаемого явления из поведения данной системы. В этом случае ставится цель вывести все черты сознания из поведения мозга (точнее, микротрубочек) как квантовой материальной системы. Однако такой способ рассуждения, отвечающий на типичные вопросы физиков, по отношению к сознанию оказывается, по-видимому, недостаточным. Причина этого очевидна. Она в том, что сам феномен сознания лежит в центре до сих пор не решенной концептуальной проблемы квантовой механики: проблемы квантового измерения» [Менский, 2015. С. 52]. Признание влияния наблюдателя на квантовую систему предполагает субстанциальный дуализм, противопоставляющий сознание материальному миру. Предположение о субстанциальном дуализме ведет к еще большему провалу в объяснении, так как нарушает принципы физического единства мира и принцип причинной замкнутости. Дуализм с неизбежностью предполагает, что физическая система производит нечто сверхъестественное (сознание). Признание влияния сознания на тело нарушает закон сохранения энергии, так как предполагает наличие нематериальной причинности. Однако решение «легкой проблемы сознания» не должно нарушать причинно-следственные связи физического мира, с одной стороны, но с другой – объяснить наличие взаимодействие между физическим объектом – мозгом и нефизичным по сути сознанием.

Проблема сознания кажется неразрешимой в рамках классических подходов, поэтому ее пытаются решить в рамках различных информационных подходов к описанию сознания. Например, «с точки зрения информационной причинности сознание воздействует не на физическое сущее как таковое, а на суперпозицию возможных состояний, определяемую процессами физического порядка» [Черепанов, 2017. С. 27]. В данном случае, переход с онтологического уровня на информационный осуществляется с помощью обращения к многомировой интерпретации квантовой механики, в рамках которой рассматривается суперпозиция состояний. Как отмечают целый ряд авторов, мы можем расширить «интерпретацию Эверетта» настолько, чтобы она включала и мозг наблюдателя [Mensky, 2013]. В рамках этого подхода, применяя к объяснению феномена сознания «расширенную интерпретацию Эверетта», акт осознания рассматривается как проекция суперпозиции состояний на одно из состояний ансамбля. Тем самым устанавливается структурная аналогия между информационной природой сознания и квантово-механическим описанием реальности.

Чтобы решить проблему редукции волновой функции с помощью квантовых компьютеров, рассмотрим подробнее их архитектуру и историю сознания. Идея квантового компьютера была высказана еще в 1980 г. Ю. Ма-

ниным, а в 1981 г. Р. Фейман заговорил о невозможности точного моделирования поведения системы квантовых частиц на классическом компьютере и о необходимости разрабатывать иную материальную реализацию, основанную на принципах квантовой механики.

Появление квантового компьютера связано с изменением взглядов на вычисления. Если еще двадцать лет назад вычисления рассматривались как абстрактная логическая процедура, то сейчас на первый план выходят исследования материальной реализации вычислительного процесса. Сама идея новой парадигмы еще в 1960 г. была высказана американским физиком Р. Ландауэром, говорившим, что вычисления реализуются на устройствах, работающих на основе естественных процессов, и что для определения принципиальной границы вычислимости нужно знать физическую реализацию. Постепенно формируется тенденция рассматривать квантовую теорию не как онтологию мира, а лишь как удачную вычислительную машину, предсказывающую вероятности исходов.

До указанной смены парадигмы прогресс компьютерной техники шел по пути количественного усиления вычислительных мощностей на основе полупроводниковых устройств. Квантовый компьютер дал толчок развитию широкого спектра подходов к моделированию основной единицы квантового компьютера – кубита. Реализации включали различного рода квантовые системы – от захваченных в ловушку атомов и даже крупных молекул, состояние которых управлялось посредством изменения внешнего магнитного поля, до кольцевых токов в среде сверхпроводников.

Практический интерес к созданию квантовых компьютеров возник после доказательства в 1994 г. П. Шором теоремы о возможности быстрого разложения на множители больших чисел с помощью квантового алгоритма. Чтобы понять значение его открытия, надо рассказать о роли этой математической процедуры в современном Интернете. Информация от пользователя к пользователю передается в зашифрованном виде, основной алгоритм шифрования основан на перемножении двух больших простых чисел. В основе всей криптографии лежат две взаимобратные математические процедуры, одну из которых выполнить легко (например, умножение чисел), а вторую сложно (например, разложить на простые множители). Шифрование происходит с открытым ключом, т. е. одно из простых чисел и зашифрованная информация передаются в открытом доступе, а принимающий компьютер проводит расшифровку полученных сообщений, разлагая на множители полученные данные (технология RSA DATA SECURITY, Inc.) Поскольку на множители разложить трудно (это задача решаемая полным перебором), обратное вычисление на обычных компьютерах занимает длительное время. Этот алгоритм шифрования используется в банковских электронных системах, при передачи данных в личных кабинетах и т.д. В случае

изобретения квантовых компьютеров банкам придется переходить на другие методы защиты информации, так как алгоритмы шифрования окажутся легко доступными для злоумышленников.

Поэтому в технологии развития квантовых компьютеров были вложены огромные средства. Сама архитектура памяти повторяет принципиальную структуру памяти обычного компьютера, в которой минимальной единицей является *бит* – ячейка памяти, принимающая значения ноль или единица. Ячейка памяти квантового компьютера называется *кубит*, его отличие от бита в том, что кубит может принимать также и все промежуточные значения от нуля до единицы. Кроме того, в квантовом компьютере применяется принцип суперпозиции, согласно которому ячейка памяти находится во всех состояниях одновременно, что позволяет вести параллельные вычисления [Quantum Computing..., 2019.]. Также имеется отличие и в числе задействованных параметров. Если в классическом компьютере использовалось только одно свойство элементарной частицы – заряд электрона, то в квантовом компьютере используются целый спектр квантовых чисел и запутанность ансамбля частиц.

На пути создания квантового компьютера стоят большие технологические проблемы. Квантовая система, которой является кубит, очень нестабильна, быстро распадается, что не позволяет запускать на квантовом компьютере длительные вычисления, и, кроме того, квантовая система имеет низкую помехоустойчивость, т. е. на нее сильно влияют шумы. Поэтому ядро квантового компьютера может работать только при сверхнизких температурах, когда уменьшаются помехи идущие от теплового колебания атомов и имеет место сверхпроводимость.

В последние пару лет произошел значительный прорыв в создании квантового компьютера. В 2019 г. команда IBM открыла облачный доступ к квантовому компьютеру на основе 50 кубитов. В марте 2019 г. в Британии реализована первая в мире компьютерная сеть с новыми принципами защиты информации. Теперь вместо шифрования на базе вычислений реализуется защита от считывания, основанная на принципах квантовой механики.

Квантовый компьютер – новый способ микрочастиц взаимодействовать с человеческим сознанием. В квантовом компьютере элементарные частицы играют информационную роль помимо сознания наблюдателя, проходя несколько этапов эволюции и сохраняя свою сущность. Устранение процедуры измерения позволяет не поднимать вопросы, связанные с рядом парадоксов квантовой механики. Вопрос об исключении влияния наблюдателя на квантовую систему решается с точки зрения информационного подхода. В последнем случае роль человеческого сознания для квантового объекта состоит в том, что его материальные свойства преобразовываются в информацию. Определенность возникает только в нашем сознании, но не в самом

объекте, сознание воздействует не на физическое сущее как таковое, а на суперпозицию возможных состояний.

Вернемся к возможности решения эпистемологических проблем. Можно ли получать информацию о квантовой системе без ограничений, «обходя» с помощью квантового компьютера принцип неопределенности? Нам представляется, что нет. Квантовый компьютер – физическая система и подчиняется всем ограничениям материальных систем. В частности, получение и передача информации упираются в проблему масштабирования многочастичных систем. Кроме того, для квантовых компьютеров доказана теорема о запрете клонирования, т. е. существует проблема с копированием квантовых запутанных состояний. Другими словами, обычная для классического компьютера процедура копирования информации может оказаться вовсе не реализуемой на квантовом компьютере.

Список литературы / References

- Безлепкин Е. А.** Квантово-механические процессы в структуре мозга: анализ теорий // *Философия науки*. 2019. № 3 (82). С. 101–111
- Bezlepkin E.A.** Quantum-mechanical processes in the structure of the brain: analysis of theories. *Philosophy of Science*. 2019, no. 3 (82), p. 101–111. (in Russ.)
- Менский М.** Интуиция и квантовый подход к теории сознания // *Вопросы философии*. 2015. № 4. С. 48–57, с. 52
- Mensky M.** Intuition and the quantum approach to the theory of consciousness]. *Questions of Philosophy*. 2015. No 4. P. 48–57. (in Russ.)
- Менский М.Б.** Концепция сознания в контексте квантовой механики // *Успехи физических наук*. 2005. Т. 175, № 4. С. 413–435.
- Mensky M.B.** The concept of consciousness in the context of quantum mechanics // *Uspekhi fizicheskikh nauk*. 2005.V. 175. No. 4. P. 413–435. (In Russ.)
- Чалмерс Д.** Сознательный ум: в поисках фундаментальной теории. Либроком, 2013.
- Chalmers D.** The Conscious Mind: In Search of a Fundamental Theory. Librocom, 2013. (in Russ.)
- Черепанов И.В.** Квантово-информационный эпифеноменализм. Новосибирск: НГТУ, 2017.
- Cherepanov I.V.** Quantum-informational epiphenomenalism. Novosibirsk: NSTU, 2017. (In Russ.)

Mensky M. Everett Interpretation and Quantum Concept of Consciousness // NeuroQuantology. 2013. Vol. 11 (1). P. 85-96.
Quantum Computing: Progress and Prospects. Washington, Grumbling E, Horowitz M. (eds.) DC: NAP, 2019.].

Материал поступил в редколлегию

Received

Сведения об авторе / Information about the Author

Сторожук Анна Юрьевна, доктор философских наук, внс ИФПР СО РАН
(ул. Николаева, д. 8, Новосибирск, 630090, Россия)

Storozhuk Anna Yuryevna, Doctor of Philosophy, IPL SB RAS (8 Nikolaeva St., Novosibirsk, 630090, Russia)

Stor71@mail.ru