

УДК 168.521

DOI:

10.15372/PS201804010

**А.Ю. Сторожук**

## **НУЖНА ЛИ КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА ДЛЯ ОБЪЯСНЕНИЯ РАБОТЫ МОЗГА?\***

В статье рассмотрена точка зрения Р. Пенроуза на природу сознания, согласно которой объяснить математическую невычислимость сознания можно только привлекая квантовую механику как источник вероятности. Проанализирована критика его концепции с точки зрения Дж. Лукаса, считающего, что сложность системы ведет к появлению дополнительных качеств, несводимых к исходным. Сопоставлен масштаб сложности человеческого мозга и современных нейросетей. Показано, что сложность системы сама может быть источником неопределенности в достаточной степени, чтобы обойтись без привлечения квантовой механики. Однако допускается, что квантово-механические эффекты могут быть ответственны за неопределенность некоторых процессов, происходящих внутри «строительных блоков» мозга – нейронов.

*Ключевые слова:* квантовая природа сознания; степени свободы нейронов; сложность системы; детерминизм.

**A. Yu. Storozhuk**

## **DO WE NEED QUANTUM MECHANICS TO EXPLAIN HOW THE BRAIN WORKS?\***

The article analyses R. Penrose's viewpoint on the nature of consciousness according to which mathematical non-computability of consciousness can be explained only by attracting quantum mechanics as a source of probability. We consider a criticism of his concept from J. Lucas's perspective which implies that complexity of a system results in appearance of additional qualities which are not reducible to original ones. We compare degrees of complexity of the human brain and those of modern neural networks. It is shown that complexity of a system may itself be a source of uncertainty to a sufficient extent, so it is possible to do without quantum mechanics. However, it is assumed that quantum-

---

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-511-00025).

mechanic effects may cause uncertainty of some processes occurring in “building blocks” of the brain, i.e. neurons.

*Keywords:* quantum nature of consciousness; degrees of freedom of neurons; system complexity; determinism

Поводом привлечь квантовую механику в науки о сознании служит проблема свободы воли. Феномен свободы воли не просто объяснить с точки зрения детерминизма. Если организм человека рассматривать как физическую систему, действующую по природным законам, то требуется объяснить источник спонтанности поведения. Большинство разделов физики – механика, электродинамика, теория тепла рассматриваются как детерминистические дисциплины. Их применение для объяснения природы человека не объясняет спонтанности человеческого поведения. Поэтому механистический подход к изучению сознания, предложенный еще Р. Декартом, в XVIII-XIX вв начал пересматриваться в философии И. Канта, отстаивавшего свободу человеческого разума. Такие проявления сознания, как творчество, понимание, интуиция, вера, фантазия и др., выходят за пределы механистического понимания работы мозга.

В XX в. Р. Пенроуз [4] назвал свойство свободы человеческого разума невычислимостью, понимая этот термин в математическом смысле. Если бы сознание человека было вычислимым, оно было бы и алгоритмизируемым и тогда возможно было бы создать искусственный интеллект. Если же мозг человека скрывает в себе некий источник невычислимости, то искусственный интеллект невозможно создать, копируя структуру человеческого мозга.

Чтобы пролить свет на вопрос об алгоритмизируемости человеческого разума, Пенроуз предпринял обстоятельное исследование, отраженное в ряде его книг [4; 5]. Проанализировав все области физики, он пришел к выводу, что невычислимость сознания может быть связана со спонтанностью, а последняя – с вероятностными процессами, которые возникают в квантовой механике. Дальнейшее исследование Пенроуза служило цели прояснить вопрос: есть ли в мозгу условия для проявления квантово-механической неопределенности?

Проблема состоит в том, что квантовые частицы очень малы, взаимодействуя с макросистемой, каковой является мозг в целом, они не смогут оказать на нее сколько-нибудь заметного воздействия. Единственный случай, когда малая частица может повлиять на поведение макросистемы, это случай неустойчивого состояния. То-

гда малейшее возмущение способно запустить лавину последующих событий. Такие неустойчивые состояния искусственно создаются в измерительных приборах, подобных счетчику Гейгера или пузырьковой камере.

Но есть ли подобные условия в глубинах человеческого мозга? Пенроуз проделал подробный анализ анатомии головного мозга и клеточного строения нейронов и не нашел условий, в которых воздействие микрочастицы может привести к изменению состояния целостной системы так, чтобы послужить источником спонтанности.

Исследования физика Р. Пенроуза были поддержана физиологом С. Хамероффом [9]. Совместно они выдвинули гипотезу о решающей роли микротрубочек – составной части клеточного цитоскелета, выполняющего структурную роль. Эти два исследователя связали неалгоритмичность сознания с процессами, протекающими в микротрубочках, мозг был уподоблен квантовому компьютеру, а сознание – программному обеспечению этого компьютера. Расширив таким образом механистическую модель, Пенроуз доказал невычислимость и неалгоритмизуемость сознания.

Однако подход Пенроуза к объяснению природы невычислимости сознания неоднократно подвергался критике [7]. Один из критических аргументов принадлежит Дж. Лукасу [8], указавшему на то, что сложность конструкции может стать источником значительных различий и при проектировании вычислительной машины некоторые моменты ее деятельности могут рассматриваться как проявления интеллекта.

Эта теория остается маргинальной и по сей день, поскольку квантовые процессы чрезвычайно чувствительны к фоновым шумам. Для работы квантового компьютера требуется температура, близкая к абсолютному нулю, чтобы тепловые колебания атомов не порождали шумов, нарушающих состояние квантовой когерентности. Человеческий мозг – слишком неподходящий объект для сохранения квантовых запутанных состояний в течение сколь угодно продолжительного времени. Соответственно, считают большинство физиков, эти состояния слишком преходящи для осуществления умственных операций.

Но действительно ли необходимо привлекать квантовую механику для объяснения спонтанного поведения в работе мозга? Может быть, спонтанность человеческого поведения имеет другой ис-

точник? Если рассматривать мозг как систему, проводящую электрические импульсы, то эта система имеет большое число степеней свободы по причине сложности устройства.

Во-первых, передача нервных импульсов – не самый основной процесс, протекающий в мозге, большинство процессов имеют химическую природу. Более того, нейроны – не единственные и не самые многочисленные обитатели головного мозга. На каждый нейрон приходится как минимум десяток клеток нейроглии, которые не вырабатывают нервных импульсов, но служат обеспечению работы нейронов, снабжая их питательными веществами и проч., т.е. косвенно влияют на работоспособность мозга. «Основной способ передачи информации осуществляется через химическую передачу, некоторые клетки в сетчатке и других областях нервной системы связаны специализированными соединениями, в которых происходит электрическая передача информации» [3, с. 28]. Нейрон обладает интегративным механизмом, который позволяет ему учитывать все происходящие влияния и создавать свое новое импульсное значение. Активность нейрона управляется множеством факторов: мембранным потенциалом, изменением проводимости ионных каналов и проницаемости клеточной мембраны и др.

«Так, например, Буллок указывает, что имеется, по крайней мере, пять возможных изменений в градации состояний нейрона, а следовательно, и синаптического образования: возбуждение или торможение, облегчение или депрессия, положительное или отрицательное последствие (или оба вместе), спонтанное расслабление или тонизация нейрона, градуированные ответы спайкового или неспайкового характера.

Важно, что каждое из этих взаимодействующих «множеств»: нейрон, синапс, градуированное состояние нейрона и др. – может создать условие, при котором деятельность элемента в таком обширном “множестве” может радикально измениться, а это значит, что конечный результат деятельности мозга может быть иным. Трудно решить даже воображением задачу подсчета того количества комбинаций взаимодействий в целом мозге, которое может быть выведено из указанных выше цифр.

Однако, предложив решить эту задачу опытным математикам, мы получили совершенно фантастическую цифру. Оказалось, что число степеней свободы нервных клеток мозга с учетом всех тех переменных, которые были разобраны выше, может быть выражено единицей с таким количеством нулей, что они могут уместиться только на ленте длиной... в 9500000 километров. Стоит только представить себе это “множество”, чтобы по-

нять, что человек практически никогда не сможет использовать всех грандиозных резервов своей мозговой деятельности» [1, с. 31].

«Следует отметить, что, говоря о “степенях свободы” центральной нервной системы как важнейшего звена функциональной системы, мы имеем в виду не только степени свободы, определяемые количеством участвующих нейронов, но и степени свободы, определяемые количеством участвующих синапсов из всех синапсов, имеющихся на каждом из 14 млрд нейронов» [1, с. 34].

Откуда может возникать такое разнообразие степеней свободы? Является ли квантовая механика единственным и исключительным источником свободы сознания? Можно ли объяснить спонтанность поведения живых объектов не привлекая квантовую механику? «В механике для оценки числа независимых координат используется понятие “число степеней свободы”. Близкую аналогию можно провести и для нейронных сетей... Следуя далее механической аналогии, будем называть число независимых координат, необходимое и достаточное для однозначного определения местоположения точки-оператора в пространстве операторов, числом степеней свободы нейронной сети... Число степеней свободы, по существу, определяется размерностью минимального линейного пространства в которое можно погрузить некоторую малую окрестность любой точки многообразия операторов» [2, с. 36–37].

Таким образом, число степеней свободы прямо зависит от количества связей нейрона. Если биологический нейрон может иметь до 20 тыс. связей с другими нервными клетками, которые влияют на его состояние, то программный нейрон (элемент нейросети) уже сегодня превысил это значение. «Выходной слой, содержащий сто нейронов, при кодировании сигнала десятью активными нейронами может отобразить  $1,7 \times 10^{13}$  различных понятий» [6].

При взгляде на историю науки представляется, что детерминизм был просто очень сильным упрощением, облегчавшим понимание живого. «Для простоты мы часто представляем белковые молекулы как статические структуры, они таковыми вовсе не являются. Из-за своей тепловой энергии все большие молекулы внутренне нестабильны. При комнатной температуре химические связи растягиваются и ослабляются, то есть постоянно колеблются по отношению к устойчивому состоянию. Несмотря на то, что эти индивидуальные движения составляют величину только около 10–12 м (с частотой, достигающей  $10^{13}$  Гц), такие атомные колебания могут при-

водить в итоге к гораздо более значительным и более медленным изменениям в структуре молекул. Это происходит потому, что многочисленные быстрые движения атомов периодически создают условия для взаимодействия функциональных групп белка, несмотря на наличие взаимных отталкивающих сил... Для ионных каналов функционально важными являются переходы между открытым и закрытым состояниями. Эти переходы совершаются практически моментально. С другой стороны, при системном изучении поведения любого ионного канала мы обнаружим, что время открытого состояния варьирует случайным образом» [3, с. 36–37].

Таким образом, свободу воли кажется возможным объяснить, не привлекая квантовую механику. Если свести деятельность мозга к передаче нейронами электрических импульсов, то для объяснения спонтанности человеческого поведения достаточно сослаться на нестабильность конфигурации сложных молекул. Эта нестабильность, изменяющая пространственную конфигурацию системы, обусловлена периодическими изменениями длины химических связей и углов между ними. Поскольку химическая связь имеет электромагнитную природу, то спонтанность поведения можно вывести, просто опираясь на классические теории.

Тогда возникает вопрос: требуется ли привлечение квантовой механики для объяснения работы мозга, если неопределенность поведения живой системы может быть вполне объяснена ее сложностью и непредсказуемостью влияния внешних условий?

Ответ на этот вопрос, по-видимому, скрыт в понимании природы живых систем. Возможно, что сложность организации может рассматриваться как дополнительный фактор, вносящий неопределенность в меру, достаточной для объяснения свободы воли. Кроме того, высокая степень неопределенности может быть обусловлена открытостью системы и переменчивостью внешних условий. Внешняя среда является дополнительным фактором неопределенности системы живого организма, вынужденного поддерживать гомеостаз и потому постоянно корректирующего свое внутренне состояние. В этом случае для объяснения недетерминированности системы не требуется привлечения квантовой механики.

Другое дело, что квантовая неопределенность может лежать в основе подвижности химических связей, т.е. быть, если можно так выразиться, запрятанной на более глубоком уровне. В этом случае следует признать правоту Р. Пенроуза относительно необходимости

привлечения квантовой механики для объяснения невычислимости сознательных процессов. К. Варвик [10] отмечает, что при конструировании сознания мы вынуждены пользоваться готовыми строительными блоками и единицей такого блока является нейрон. Конечно, мы можем спускаться глубже, на более фундаментальные уровни строения материи – молекулы, атомы, в область квантовой механики, но фактически мы остаемся на том уровне, где единицей является отдельный нейрон.

Наконец, проблема может разрешаться благодаря пересмотру оснований концепции детерминизма. Даже во времена безусловного расцвета этой концепции было осознано, что детерминизм – очень сильное упрощение. В его рамках предполагается, в частности, независимость причин и следствий. Но уже третий закон Ньютона о равенстве действия и противодействия не соответствует этому предположению, так как следствие оказывает влияние на действующую причину. То есть в реальных условиях предпосылки детерминистической концепции не выполняются, и, возможно, другая концепция причинности – хаотическая находится в большем соответствии с положением дел в мире. В этом случае проблема свободы воли оказывается псевдопроблемой, порожденной чрезмерно упрощенным пониманием природы, и в рамках концепции хаотической причинности вообще не возникает. Спонтанность поведения живых организмов в данном случае объясняется тоже без прямого обращения к квантовой механике, хотя, как и в предыдущем случае, квантовая неопределенность может служить подоплекой случайности макропроцессов.

## Литература

1. Анохин П.К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем // Принципы системной организации функций. – М.: Наука, 1973. – С. 5–61.
2. Дорогов А.А. Пластичность многослойных нейронных сетей // Известия вузов. Сер.: Приборостроение. – 1998. – № 4 (41). – С. 36–41.
3. Николле Дж.Г., Мартин А.Р., Валлас Б.Дж., Фукс П.А. От нейрона к мозгу. – М.: Едиториал УРСС, 2003.
4. Пенроуз Р. Новый ум короля: О компьютерах, мышлении и законах физики / Пер. с англ. под общ. ред. В.О. Мальшенко. – 4-е изд. – М.: Едиториал УРСС, ЛКИ, 2011. – 402 с.
5. Пенроуз Р. Тени разума: В поисках науки о сознании / Пер. с англ. А.Р. Логунова, Н.А. Зубченко. – Москва; Ижевск: ИКИ, 2011. – 688 с.

6. *Redozubov A.* Логика сознания. – URL: <https://habr.com/post/317712/> (дата обращения: 09.09.2018).
7. *Landau L.J.* (1997). Penrose's Philosophical Error. –URL: <https://web.archive.org/web/20010125011300/http://www.mth.kcl.ac.uk/~llandau/Homepage/Math/penrose.html#CITEcut> (Дата обращения: 8.10.2018).
8. *Lucas J.* Minds, machines and Gödel. // *Philosophy*. – 1961. – Vol 36. P. 112–127.
9. *Penrose R., Hameroff S.R.* What gaps? Reply to Grush and Churchland // *Journal of Consciousness Studies*. 1995. – No. 2(2) – P. 99–112.
10. *Warwick K.* March of the machines // Warwick K. Why the New Race of Robots will Rule the World. – Century, 1997.

## References

1. *Anokhin, P.K.* (1973). Printsipialnye voprosy obshchey teorii funktsionalnykh sistem [Fundamental questions of the general theory of functional systems]. In: Printsipy sistemnoy organizatsii funktsiy [Principles of System Organization of Functions]. Moscow, Nauka Publ., 5–61.
2. *Dorogov, A. A.* (1998). Plastichnost mnogosloynnykh neyronnykh setey [Plasticity of multilayer neural networks]. *Izvestiya vuzov. Ser.: Priborostroenie [Proceedings of Higher Education Institutions. Instrument Engineering Series]*, 4 (41), 36–41.
3. *Nicholls, J.G., A.R. Martin, B.G. Wallace & P.A. Fuchs.* (2003). Ot neyrona k mozgu [From Neuron to Brain]. Moscow, Editorial URSS Publ. (In Russ.).
4. *Penrose, R.* (2011). Novyy um korolya: O kompyuterakh, myshlenii i zakonakh fiziki [The Emperor's New Mind: Concerning Computers, Minds and The Laws of Physics]. Transl. from English, ed. by V.O. Malysheko. 4th ed. Moscow, Editorial URSS Publ. & LKI Publ., 402. (In Russ.).
5. *Penrose, R.* (2011). Teni razuma: V poiskakh nauki o soznanii [Shadows of the Mind: In Search for the Missing Science of Consciousness]. Transl. from English by A.R. Logunova & N.A. Zubchenko. Moscow & Izhevsk, Institut kompyuternykh issledovaniy [Institute of Computer Science]. 688. (In Russ.).
6. *Redozubov, A.* Logika soznaniya [Logic of Consciousness]. Available at: <https://habr.com/post/317712/> (date of access: 09.09.2018).
7. *Landau, L.J.* (1997). Penrose's Philosophical Error. Available at: <https://web.archive.org/web/20010125011300/http://www.mth.kcl.ac.uk/~llandau/Homepage/Math/penrose.html#CITEcut> (date of access: 08.10.2018).
8. *Lucas, J.* (1961). Minds, machines and Gödel. *Philosophy*, 36, 112–127.
9. *Penrose, R. & S.R. Hameroff.* (1995). What gaps? Reply to Grush and Churchland. *Journal of Consciousness Studies*, 2 (2), 99–112.
10. *Warwick, K.* (1997). March of the machines. In: Warwick, K. Why the New Race of Robots Will Rule the World. Century.

## Информация об авторе

*Сторожук Анна Юрьевна* – доктор философских наук, Институт философии и права СО РАН (630090, г. Новосибирск, ул. Николаева 8, e-mail: stor71@mail.ru)

**Information about the author**

*Storozhuk Anna Yuryevna* – Doctor of Sciences (Philosophy), Institute of Philosophy and Law, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (8, Nikolaeva str., Novosibirsk, 630090, Russia, e-mail:stor71@mail.ru)

Дата поступления 04.10.2018