

УДК 167.7

DOI:

10.15372/PS20200107

С.С. Попова**ФРЁЛИХОВСКАЯ КОНДЕНСАЦИЯ
В ИНТЕРПРЕТАЦИИ СОЗНАНИЯ***

Концепция квантового сознания неразрывно связана с вопросом о возможности существования квантовых объектов при условиях, подходящих для существования живых организмов. В статье рассматриваются физическая концепция реализации такого квантового состояния и история её появления, а также анализируется использование этой концепции в квантовых теориях сознания.

Ключевые слова: бозе-конденсация; квантовая теория; сознание

S.S. Popova**BOSE-CONDENSATE CONCEPT IN THE INTERPRETATION
OF CONSCIOUSNESS**

The quantum consciousness concept is inextricably linked with the problem of the possibility of the existence of quantum objects under conditions which are suitable for the existence of living organisms. The article considers a physical concept regarding the implementation of such quantum state and the genesis of this concept. It also analyzes the use of the concept in quantum theories of consciousness.

Keywords: bose-condensation; quantum theory; consciousness

Прежде чем приступить к изложению истории появления и использования концепции фрёлиховской конденсации, представляется необходимым аргументировать, что эта малоизвестная теория важна для обоснования применимости квантовой физики в объяснении сознания, и разъяснить, что за этим стоит. Если говорить кратко, то названная теория предлагает механизм реализации квантового макроскопиче-

* Исследования, нашедшие отражение в данной статье, выполнены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 18-511-00025 Бел_а).

ского состояния в специфических средах (со свойствами биологических тканей) при нормальных температурах («нормальный» – в данном случае термин, обозначающий диапазон температур, оптимальный для существования живых организмов).

Квантовый подход в исследовании сознания критикуют с разных позиций. Например, кратко и достаточно ядовито, сравнивая критикуемую концепцию с гидрой, характеризует ее один из авторов журнала *The Lancet Neurology* [10, p. 450]. Среди прочих аргументов он подчёркивает, что квантовое когерентное состояние крайне чувствительно к тепловому и электромагнитному шуму, поэтому в лабораториях вынуждены охлаждать свои инструменты до низких температур и изолировать сами лаборатории от любых помех. По аналогии с этим автор заключает, что квантовая когерентность в горячей, влажной и неупорядоченной среде, какой является мозг, невозможна. В чём-то он несомненно прав, но его категоричность на основании данной аналогии неуместна.

Сразу отмечу, что уверенность огромного количества людей поверхностно знающих квантовую теорию, в том, что квантовая физика – это исключительно физика микромира, не является обоснованной. Изначально квантовые явления действительно были открыты при исследовании микроскопических объектов, но это не означает, что квантовая теория ограничена микромасштабами. В современной физике известно как минимум три квантовых макроскопических феномена: сверхтекучесть, сверхпроводимость и лазерное излучение. Два из них жёстко связаны с температурным порогом: ниже критической температуры возможно сверхтекучее или сверхпроводящее состояние, а выше – нет. Явления сверхпроводимости и сверхтекучести были открыты экспериментально, когда физики работали с температурами, близкими к абсолютному нулю. Теоретическое объяснение этих явлений основывается на статистике частиц с целым спином, которую разработали Ш. Бозе и А. Эйнштейн. Согласно их расчётам при температурах ниже определённого значения для бозонов (так стали называть частицы с целым спином) становится энергетически выгодно находиться в одном состоянии. Группа частиц начинает себя вести как одна частица, и процесс перехода в такое состояние называют бозе-конденсацией.

А вот с лазерным излучением в отношении температур всё обстоит гораздо интереснее. Лазерное излучение имеет общие черты с бозе-конденсатами [2]. Если вспомнить, что температура является параметром упорядоченности, то высококогерентное лазерное излучение, обладает

эффективной температурой, близкой к абсолютному нулю, но это не мешает использовать лазеры при нормальных температурах. И во взаимодействии излучения со средой существуют неожиданные с точки зрения обыденной интуиции эффекты, например помимо банального нагрева при определённых условиях излучение может и охлаждать [5].

В свете сказанного выше становится понятным, что существование квантовых макроскопических состояний не является фундаментально ограниченным температурой. Но эти состояния могут требовать очень специфических условий для своей реализации, так же как и сверхтекучесть, сверхпроводимость и лазерное излучение, с точки зрения истории науки открытые относительно недавно. Как раз выяснению этих условий и была посвящена серия работ Герберта Фрелиха, опубликованных в середине XX в.

В 2015 г. в издательстве Springer вышла подробная биография Г. Фрелиха [8] с множеством фотографий и достаточно популярным изложением научного вклада этого физика. Обширная библиография, представленная в этой книге, позволяет вместо множества ссылок на публикации самого Фрелиха ограничиться упоминанием только данной биографии и переадресовать интересующихся конкретными физическими аспектами к приведенному в этой работе списку источников.

Герберт Фрелих внёс существенный вклад в развитие теории диэлектриков и сверхпроводимости. Ещё в процессе изучения сверхпроводимости он обратился к вопросу взаимосвязи между микро- и макрофизикой [8, p. 160] и отметил наличие особенности, которую назвал «недиагональный дальний порядок» (off-diagonal-long-range-order). Эта особенность отражает существование макроскопической волновой функции и включает динамическую упорядоченность. Фрелих был одним из первых, кто обратил внимание на то, что сверхпроводящее состояние является квантовым макроскопическим феноменом.

То, что внимание Фрелиха привлекли вопросы биологии, было в какой-то мере случайным [8, p. 174], однако он живо заинтересовался применимости теоретических подходов, актуальных для физики диэлектриков и сверхпроводников, к биологическому материалу. Результатом его исследований стала концепция, которая показывала, как в среде, подобной биологической, при условии свободного притока энергии в моду, в состоянии, далёком от теплового равновесия, возможен процесс, подобный бозе-конденсации [8, p. 175].

При выполнении определённых условий этот процесс может происходить при любых температурах. Если в классическом уравнении

бозе-конденсации температура играет роль порогового параметра (выше порога конденсация не происходит, а ниже – становится энергетически выгодной), то в уравнении, предложенном Фрëлихом, роль критического параметра играет свободный приток энергии в моду. Важной особенностью данного состояния является то, что оно неравновесно, и это роднит его с возможностью генерации лазерного излучения, для которого изначально необходимо создать неравновесную среду с инверсной заселённостью квантовых уровней.

К сожалению, экспериментальное подтверждение существования процесса, подобного бозе-конденсации, в биологических средах до сих пор остаётся предметом споров. Негативную роль здесь сыграла серия публикаций советских учёных, доложивших об успешном подтверждении фрëлиховской теории при помощи микроволновой спектроскопии, чьи экспериментальные результаты оказались невоспроизводимыми в других лабораториях мира [8, p. 185].

Активные споры вызвали также теоретические положения концепции Фрëлиха. Одним из примеров подобной дискуссии являются несколько публикаций в отечественном журнале «Биофизика» [1; 4]. Споры были связаны с оценками величин второго порядка, соответствующих двухквантовому обмену, в уравнении Фрëлиха. По оценкам советского учёного М.А. Лившица, величины этих параметров не могут быть такими, чтобы условие на конденсацию было выполнено. Фрëлих при этом не соглашался с обоснованием оценок Лившица и подчёркивал, что «необычные физические свойства биологических систем, развитые длительной эволюцией, не могут быть предсказаны с помощью простых модельных расчётов» [4]. Лившиц же категорично настаивал на корректности своих выводов [1]. Оппоненты так и не пришли к единому мнению. Одно из последних опровержений аргументации Лившица вошло в монографию [12], в которой уделяется довольно много внимания соотношению параметров биологической материи и оценке нелинейных коэффициентов, входящих в уравнение Фрëлиха. Там же подчёркивается ещё одна особенность среды, в которой происходят все биологические процессы, важная для обсуждения представлений о сознании.

Фрëлих в качестве основной особенности биологической материи рассматривал мембраны и белковые макромолекулы. Именно в такой неоднородной нелинейной среде возможны подходящие значения коэффициентов двухквантового обмена, дающие в результате процесс, подобный бозе-конденсации. Для однородных стационарных сред все

аргументы Лившица, упомянутые ранее, являются применимыми, и его вывод о невозможности бозе-конденсации в таких условиях несомненен. Даже с учётом мембран среда становится слишком сложной для простых оценок. Но особенность внутриклеточной среды связана не только с такими двумерными структурами, как мембраны. Очень специфической структурой для всех живых клеток является цитоскелет – разветвлённая система белковых структур, которые в случае эукариотов основой своей имеют микротрубочки. У всех организмов от одноклеточных простейших до млекопитающих микротрубочки имеют одинаковое строение. Р. Пенроуз в книге «Тени разума» посвящает строению и функциям микротрубочек отдельный раздел [3, с. 550]. Цитоскелет также отвечает за свойства живых организмов, физических механизмов которых до сих пор до конца не известен современной науке: это процессы деления, целенаправленного движения и структурированного роста (не являющегося простым увеличением объёмов).

В настоящее время у теории есть немало как сторонников, так и противников среди физиков, продолжающих споры относительно экспериментальной реализации и интерпретации полученных результатов. Последователи Фрелиха продолжают исследования в различных направлениях, предполагая, что фрелиховская конденсация может лежать в основе огромного количества биологических процессов, механизмы которых ещё не раскрыты. В Праге регулярно проводятся Международные фрелиховские симпозиумы, где учёные разных стран обсуждают современное развитие концепции и применение её в различных областях исследования [6].

Отмечу, что Фрелих не обращался к вопросам сознания, он считал, что его теория может объяснить существование дальних корреляций процессов в биологических организмах, но не видел специфики, которую можно было бы отнести к разуму человека. Одной из ранних публикаций, посвященных общности свойств сознания и бозе-конденсатов, является статья 1989 г. [9]. В ней автор отмечает такие свойства бозе-конденсатов, как единство и нелокальность. Он обосновывает, что фрелиховская система имеет возбуждения, подобные голограмме. В этом сравнении подчёркивается, что в каждой частице голограммы содержится полное изображение, только с низким разрешением, и это подобно единому сознанию, не имеющему привязки к какому-либо конкретному локальному объекту. Но как голограмма теряет своё качество при повреждении частей, так и повреждение отдельных частей мозга, участвующих в работе сознания, влияет на его качество, не нарушая общей цельности.

Одной из наиболее известных работ, связанных с применением фрёлиховской концепции к объяснению сознания, является книга Роджера Пенроуза «Тени разума» [3]. Пенроуз апеллирует к фрёлиховской конденсации, чтобы обосновать обращение к существованию макроскопической квантовой когерентности при обсуждении сознания [3, с. 540, 561–564]. Но специфику биологической квантовой когерентности он не раскрывает, не пытается рассмотреть параметры фрёлиховского уравнения, которые обретают необходимые значения там, где, по его мнению, возникает сознание. Пенроузу кажется необходимым только «отыскать в мозге такое место, где квантовые процессы могли бы определять классическое поведение» [3, с. 566], чтобы затем вновь вернуться к идее объективной оркестрированной редукции.

Строго говоря, обращение к конденсации, подобной бозе-эйнштейновской, не добавляет ничего к обоснованию необходимости введения новой физики, основанной на пенроузовском типе редукции квантового состояния. Так же как лазерная физика или физика сверхпроводников не требуют для объяснения явлений макроскопической квантовой когерентности принципиально новой физики.

В главе 7 «Квантовая теория и мозг» [3, с. 534–597] Пенроуз проявляет непоследовательность ещё в одном аспекте – в отношении масштабов сознания. Он то распространяет это понятие на все организмы, имеющие цитоскелет, то переходит к философским категориям Разума. Это отражает общую ситуацию в обсуждении квантовых моделей сознания, в которых нет определённой границы между целесообразным поведением примитивных организмов (Пенроуз упоминает парамецию) и сознанием человека. Исследователи одновременно чувствуют и единство природы любых живых организмов, и качественное отличие разума человека. Вероятно, развитие фрёлиховской концепции могло бы дать количественные параметры для конденсатов с разными свойствами, но Пенроуз не использует эту возможность.

В то же время необходимо подчеркнуть, что несмотря на множество спорных положений, книга Пенроуза сыграла огромную положительную роль в актуализации вопросов связи квантовой физики и сознания. После выхода публикаций Пенроуза, в которых обсуждалась квантовая природа сознания, интерес в научном сообществе к этой теме значительно вырос. Однако несмотря на множество публикаций как сторонников, так и оппонентов Пенроуза, обращающихся к концепции Фрёлиха, идеи бозе-конденсации используются примерно в том же ключе, что и у Пенроуза.

С. Хамерофф [7] применяет концепцию фрелиховской конденсации для постулирования особых состояний в микротрубочках нейрона, которые действуют как элементы квантового компьютера. Не используется специфика бозе-конденсата, которая даёт возможность ввести нечто цельное, соответствующее единому состоянию. Фактически картина получается та же, что и в представлении сознания, подобного компьютеру на нейронах, только речь идёт о квантовых вычислениях на участках микротрубочек.

Именно поэтому нередко встречается мнение, что даже если принять все аргументы и экспериментальные свидетельства в пользу реальности фрелиховского процесса, ничего принципиально нового для объяснения сознания это не даёт. Одним из вариантов согласования данных Пенроуза и Хамероффа является допущение, что квантовая когерентность, возможно, и играет роль в хранении и переработке информации, но собственно «разум» необходимо рассматривать классическим образом [11, p. 229].

Подводя итоги, приходится признать, что несмотря на активный интерес к теории Фрелиха в последние годы, основная специфика этой концепции для объяснения сознания не применяется. Такое свойство бозе-конденсата, как единство и цельность независимо от пространственного положения, если и используется, то только для применения к небольшим участкам с конечным числом субъединиц, но не для обоснования единства сознания субъекта. Рассмотрение нелокальности сводится к довольно поверхностной голографической метафоре или же она рассматривается применительно только к состоянию чётко обозначенных структур внутри нейронов. А также подавляющее большинство авторов о качественных различиях сознания человека разумного и животных, а тем более простейших либо вообще не упоминают, либо приводят очень расплывчатые рассуждения. В то время как фрелиховская концепция обладает огромным эвристическим потенциалом для решения этих вопросов.

Литература

1. *Ливинц М.А.* О возможности бозе-конденсации в биологических системах // Биофизика. – 1977. – Т. 22. – С. 744–746.
2. *Ораевский А.Н.* Бозе-конденсаты с точки зрения лазерной физики // Успехи физических наук. – 2001. – Т. 171. – С. 681–684.
3. *Пенроуз Р.* Тени разума: В поисках науки о сознании. – Москва; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2005.

4. Фрѐlich Г. Когерентные возбуждения в биологических системах // Биофизика. – 1977. – Т. 22. – С. 743–744.
5. Шалагин А.М. Механическое воздействие лазерного излучения на атомы // Соросовский образовательный журнал. – 1999. – № 10. – С. 86–92.
6. 10th International Frohlich's Symposium. Biophysical Aspects of Cancer. History. – URL: <http://palata.fzu.cz/cancer/conf/> (дата обращения: 05.10.2019).
7. Hameroff S. Consciousness, neurobiology and quantum mechanics: The case for a connection // The Emerging Physics of Consciousness / Ed. by J.A. Tuszynski. – Springer-Verlag, 2006. – P. 193–244.
8. Hyland G.J. Herbert Frohlich: A Physicist Ahead of His Time. – Springer International Publishing, 2015.
9. Marshall I.N. Consciousness and Bose-Einstein condensates // New Ideas in Psychology. – 1989. – Vol. 7. – P. 73–83.
10. McCrone J. Quantum mind // The Lancet Neurology. – 2003. – Vol. 2. – P. 450.
11. Neukart F. Reverse Engineering the Mind: Consciously Acting Machines and Accelerated Evolution. – Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2017.
12. Pokorny J., Wu T.M. Biophysical Aspects of Coherence and Biological Order. – Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 1998.

References

1. Livshits, M.A. (1977). O vozmozhnosti boze-kondensatsii v biologicheskikh sistemakh [On the possibility of bose-condensation in biological systems]. Biofizika [Biophysics], 22, 744–746.
2. Oraevskiy, A.N. (2001). Boze-kondensaty s tochki zreniya lazernoy fiziki [Bose-condensates from the point of view of laser physics]. Uspekhi fizicheskikh nauk [Advances in Physical Sciences], 44, 647–650.
3. Penrose, R. (2005). Teni rasuma: v poiskakh nauki o soznanii [Shadows of the Mind: A Search for the Missing Science of Consciousness]. Moscow & Izhevsk, Institute of Computer Science Publ. (In Russ).
4. Frohlich, H. (1977). Kogerentnye vzbuzhdeniya v biologicheskikh sistemakh [Coherent excitation in biological systems]. Biofizika [Biophysics], 22, 743–744. (In Russ).
5. Shalagin, A.M. (1999). Mekhanicheskoe vozdeystvie lasernogo izlucheniya na atomy [The mechanical effect of laser radiation on atoms]. Sorosovskiy obrazovatelnyy zhurnal [Soros Educational Journal], 10, 86–92.
6. 10th International Frohlich's Symposium. Biophysical Aspects of Cancer. History. Available at: <http://palata.fzu.cz/cancer/conf/> (date of access: 05.10.2019).
7. Hameroff, S. (2006). Consciousness, neurobiology and quantum mechanics: The case for a connection. In: Tuszynski, J.A. (Ed.) The Emerging Physics of Consciousness. Springer-Verlag, 193–244.
8. Hyland, G.J. (2015). Herbert Frohlich: A Physicist Ahead of His Time. Springer International Publishing.
9. Marshall, I.N. (1989). Consciousness and Bose-Einstein condensates. New Ideas in Psychology, 7, 73–83.
10. McCrone, J. (2003). Quantum mind. The Lancet Neurology, 2, 450–452.
11. Neukart, F. (2017). Reverse Engineering the Mind: Consciously Acting Machines and Accelerated Evolution. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.

12. *Pokorny, J. & T.M. Wu.* (1998). *Biophysical Aspects of Coherence and Biological Order.* Springer-Verlag.

Сведения об авторе

Попова Светлана Сергеевна – кандидат философских наук. Институт лазерной физики СО РАН (630090, г. Новосибирск, просп. Акад. Лаврентьева 15Б, e-mail: svetlanas_popova@mail.ru).

Information about the author

Popova Svetlana Sergeevna – PhD (Philosophy). Institute of laser physics Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (15B Ac. Lavrent'ev str., Novosibirsk, 630090, Russia, e-mail: svetlanas_popova@mail.ru)

Дата поступления 03.12.2019