

Этой публикацией, посвященной 70-летию выхода в свет книги Э. Шредингера «Что есть жизнь?» (Schrödinger E. What is Life? The Physical Aspect of the Living Cell. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1944), мы открываем цикл сообщений с кратким изложением результатов работы отдельных групп по целевой комплексной программе фундаментальных исследований ДВО РАН «Биоинформатика и математическая биология» на период 2012–2015 гг. (научный руководитель программы академик Ю.Н. Журавлёв).

УДК 517.539.2

Ю.Н. ЖУРАВЛЁВ, М.А. ГУЗЕВ

Квантовые аспекты изучения жизни

Развивается представление, что основным признаком биологических объектов является их особое состояние, обусловленное суперпозицией индивидуальности и невыделяемости. Это представление предполагает онтологическую связь квантовых и биологических систем, что, в свою очередь, требует создания нового сценария происхождения жизни. Принципиально новым в таком сценарии является то, что многие признаки живых систем, включая способность к дарвиновской эволюции, могут появиться в их квантовых предшественниках задолго до того, как эти системы станут оснащены атрибутами химических систем.

Ключевые слова: квантовая биология, эволюция, конденсат, квазичастицы, биологический объект.

Quantum aspects in the study of life. Yu.N. ZHURAVLEV (Institute of Biology and Soil Science, FEB RAS, Vladivostok), M.A. GUZEV (Institute for Applied Mathematics, FEB RAS, Vladivostok).

The idea, that the superposition of the individuality and nonseparability entails the main singularity of biological objects, is developed. This conception implies an ontological relationship of quantum and biological systems that, in turn, requires the creation of a new scenario for the origin of life. Fundamentally new in this scenario is that many features of living systems, including the ability to Darwinian evolution, can occur in their quantum progenitors long before these systems will be equipped with the attributes of chemical systems.

Key words: quantum biology, evolution, condensate, quasiparticles, biological object.

Введение

Системный анализ живых существ и явлений жизни сталкивается с особенной сложностью и непривычным поведением этих объектов. Усвоенные нами со школьных лет представления об индивидуальности живых организмов, такие ясные и понятные людям в течение веков, при системном подходе вдруг утрачивают свою стабильность и прозрачность. Само понятие живого организма теряет свои четкие когда-то очертания, и вообще, чем больше мы узнаем о жизни, тем труднее нам дать короткое и точное определение этого феномена. Все чаще публикации на эту тему связываются не с пресловутым

*ЖУРАВЛЁВ Юрий Николаевич – академик, директор (Биолого-почвенный институт ДВО РАН, Владивосток), ГУЗЕВ Михаил Александрович – член-корреспондент РАН, директор (Институт прикладной математики ДВО РАН, Владивосток). *E-mail: ibss@eastnet.febras.ru

«существенным моментом», т.е. с обменом веществ [13], а с процессами передачи и обработки информации, с диссипативным поведением и накоплением отрицательной энтропии. Однако исследователь, качнувшийся в эту сторону, сразу попадает на минное поле еще большей неопределенности, так как дать согласное для всех определение информации мы пока не можем [30].

Ко всему этому добавляется все нарастающий водопад данных молекулярной биологии, миллиарды секвенированных последовательностей, прочесть и понять которые уже не успеет в течение жизни ни один человек. Возможно, все это является признаками кризиса в биологии.

Биология уже пережила кризис появления эволюционного учения, кризис синтетической биологии, кризисы обоснования и разрушения Центральной догмы молекулярной биологии, так что одним кризисом больше или меньше – какая, кажется, разница? Тем не менее разница есть, и существенная. С новым кризисом ожидается кардинальная перестройка всего биологического мышления на основе введения в биологию представлений квантовой механики. Здесь важно понять следующее: преодоление кризиса заключается не в том, чтобы признать, что живые системы используют кое-какие квантовые принципы, давно известные и хорошо описанные в учебниках биофизики. Преодоление заключается в необходимости ввести квантовые представления в самые основания биологии. К сожалению, и здесь изучаемое пространство все так же неприветливо, основания биологии (этой огромнейшей области нынешнего знания!) пока никак не сформулированы.

Новые «квантовые» идеи в биологии

В последнее время в области квантовой биологии появилось много нового. Так, были обнаружены новые примеры квантовых эффектов в биологии, такие как когерентное возбуждение биомолекул [25, 29], квантовое туннелирование протонов [36], действие Ван дер Ваальсовых сил [15, 43], ультрабыстрая динамика через конические сечения в макросистемах [18] и роль фононов в восприятии запахов [17]. В этой связи все чаще высказывается убеждение, что живые системы способны квантово-механически обрабатывать информацию как на молекулярном, так и на клеточном уровне [16, 20, 28, 40, 44, 45, 47, 53].

В печати появляются и более экстравагантные идеи, например такие, как предположение о существовании квантовых аналогов для генов, способных к пролиферации через научные публикации и эксперименты. По аналогии с мемами Р. Докинза [22] – самореплицирующимися единицами человеческого поведения – авторы предлагали называть эти обрабатывающие информацию единицы кумемами [46]. Созвучные идеи об обработке информации элементами Вселенной и ею самой в целом высказываются американским физиком и философом Сетом Ллойдом [38, 39].

Эти и другие более поздние находки нетривиальных эффектов в биологии, на которые мы будем ссылаться по ходу изложения, не поддавались объяснению с позиции классических представлений об эволюции и онтогенезе живых организмов. Пока, наконец, в 2004 г. не была опубликована статья В. Зурека [61] о квантовом дарвинизме. Эта статья не произвела в то время особого эффекта среди биологов, но обходить молчанием факт зарождения квантовой биологии нового толка было уже нельзя. Одним из результатов создавшейся ситуации послужил выход в 2008 г. коллективной монографии “Quantum Aspects of Life” под редакцией D. Abbott, P.C.W. Davies, A.K. Pati [14]; короткое предисловие к книге написал Роджер Пенроуз. Эти четыре имени широко известны как в своих специальных областях физики, так и в области квантовых описаний биологических объектов.

В этой книге П. Дэвисом [19] были сформулированы три возможности отношений между квантово-механическими и классическими системами в ходе происхождения и эволюции жизни.

1. Квантовая механика играла ключевую роль в происхождении жизни, но или утратила ее совершенно, или эта роль стала спорадической и второстепенной. Тем не менее в современных организмах могут сохраниться реликты древних систем переработки информации, такие как биохимические остатки, которые могут дать подсказки о древних биологических или даже предбиологических процессах.

2. Жизнь начиналась классически, но освоила некоторые квантовые трюки, увеличивающие ее эффективность. Например, если какие-то биологические системы оказывались способны обрабатывать информацию квантово-механически, они получали определенное преимущество в скорости и мощности ее обработки, так что можно ожидать, что естественный отбор открывал и усиливал такие способности, если это было возможно.

3. Жизнь стартовала как классическая комплексная система, но позже эволюционировала на квантовый рубеж, где квантовая неопределенность создавала ограничение эффективности биомолекулярных процессов.

Сам Дэвис, опираясь на факты использования клетками квантовой механики (например, в фотосинтезе), больше склонялся к мысли, что выбирать надо между первой и второй возможностями, что не удивительно для физика-теоретика с огромным диапазоном интересов и одного из авторов идеи происхождения земной жизни на Марсе. Необходимо отметить, однако, что в этой и некоторых других публикациях Дэвис выстраивает следующую логическую линию: квантовые системы – химические системы – предбиология – биология. Вольно или невольно он разделяет точку зрения, что жизнь является эпифеноменом химии [7, 57] и что «преджизнь» проходит состояние химической системы со свойством «почти жизни» (of states of “almost life”) [55, 56]. Эта точка зрения достаточно традиционна, и еще А.Л. Чижевский писал: «...из квантовой физики и квантовой химии должна будет родиться квантовая биофизика и квантовая биохимия, а из них – квантовая физиология, квантовая биология и, наконец, квантовая медицина...» [12].

Мы, однако, считаем, что эволюция представлений будет связана не с развитием традиционных точек зрения, а с формированием принципиально нового видения живых систем. Поэтому мы намерены в этой статье представить идею, что живые системы являются эпифеноменом квантовых систем, что жизнь происходит непосредственно из квантовых состояний, а все ее последующее обустройство химическими, биологическими и социальными атрибутами только материализует имевшиеся уже в квантовых системах функциональные эквиваленты. При этом квантовая основа, послужившая прообразом для создания примордиальных живых систем, сохраняется в эволюционирующих в этом направлении сущностях, но становится все менее доступной наблюдению, подобно тому как все менее доступным для взаимодействия со средой становится генотип по мере становления фенотипа и социальной составляющей личности.

Конечно, мы не претендуем на то, чтобы дать в этой статье исчерпывающую теорию квантового происхождения жизни, но намерены обсудить, какие проблемы может решить и какие поставить перед исследователями предлагаемый нами подход. Мы полагаем, что наши предположения вполне актуальны, ибо нельзя утверждать, будто приверженцы идеи квантовой биологии уже создали новую теорию жизни и ее происхождения. Даже перечисленные Дэвисом [19] три возможности соотношения квантовой и макроскопической составляющих в онтологии живого интенсивно обсуждаются сравнительно небольшой группой исследователей, среди которых тоже нет полного совпадения идей (см, например, [21, 32, 50]). Да и как можно ожидать создания завершенной концепции, если начало и конец прямой, символизирующей траекторию живой природы в эволюции Земли, все еще теряются в тумане неясностей?

Можно, однако, наметить некоторые предположительные фрагменты, некоторые пункты этой предполагаемой траектории.

Первым и главным требованием в этих построениях остается задача описать живую эволюционирующую систему в пространстве состояний. Если описание состояний

какой-либо квантовой системы обнаружит организационное родство с живыми системами, можно надеяться, что между ними удастся установить онтологические отношения.

Описание

Главным в нашем описании является утверждение, что никакого скачкообразного перехода от квантовых систем (замыкания по Кауфману [33, 34] к живым системам не было, как не было последнего общего предка (LUCA). А было что-то вроде примордиального генного пула, предсказанного Е.В. Куниным с соавторами в 2006 г. [37], хотя по выдвигаемой нами гипотезе этот пул не мог существовать независимо от квантовой основы, и его лучше называть не генным, а «наследственным». Вместо скачкообразного перехода от химии к предбиологии мы предлагаем считать, что естественное развитие Вселенной осуществлялось из квантового состояния по нескольким направлениям одновременно, два из которых привели к образованию ее живой и неживой составляющих. Соответственно, происхождение жизни рассматривается как ряд событий микроэволюции квантовых систем, однако, с позиции эволюции жизни, каждому шагу микроэволюции можно придать макроэволюционное значение.

Требование сохранения квантовой основы в эволюции примордиальных и живых систем

Это требование накладывает определенные ограничения на выбор физического (про)образа для примордиальных носителей. Например, в соответствии с требованием индивидуальности биологических объектов примордиальные объекты должны быть индивидуальны или потенциально индивидуальны. Среди простейших элементов квантовой теории в качестве примордиальных можно рассматривать только два типа сущностей – частицы и квазичастицы. Между квазичастицами и обычными элементарными частицами существует ряд сходств и различий, которые могут иметь принципиальное значение для выбора кандидата на роль примордиального эволюционирующего объекта. Сравнительное описание свойств частиц и квазичастиц сильно зависит от контекста рассмотрения. Поэтому мы ограничимся только несколькими сравнениями, которые нам потребуются в дальнейшем для обоснования перехода из состояния агрегата (aggregate quantity) в тело, поскольку точка бифуркации на эволюции живого и неживого располагается где-то близко к этому переходу: живое сохраняет сеть событий, поддерживающих возбужденное состояние, неживое рвет эту цепь, и возбуждение рассеивается.

Особенные свойства квазичастиц в сравнении с частицами

- Как и обычная частица, квазичастица может быть более или менее локализованной в пространстве и сохранять свою локализованность в процессе движения.
- Квазичастицы могут сталкиваться и/или взаимодействовать иным образом между собой и с истинными частицами. При столкновении низкоэнергетических квазичастиц выполняются механические законы сохранения квазиимпульса и энергии. Квазичастицы (например, фононы) могут взаимодействовать и с самыми распространенными частицами (фотонами).
- Для квазичастиц с квадратичным законом дисперсии (т.е. энергия пропорциональна квадрату импульса) можно ввести понятие эффективной массы. Поведение такой квазичастицы будет очень похоже на поведение обычных частиц.
- В отличие от истинных частиц, которые существуют сами по себе, в том числе и в «пустом» пространстве, квазичастицы не могут существовать вне среды, возбуждениями которой они и являются. Организационно, эта закономерность является копией правила невыделяемости биологических объектов [59, 60].

- Квазичастицы могут иметь дробный электрический заряд или магнитный заряд. Они существуют как сложные коллективные образования (или элементарные возбуждения), взаимодействие между которыми мало и *состояние которых имеет смысл* [4].

Конечно, простого перечисления этих признаков недостаточно, чтобы составить представление о потенциальной состоятельности квазичастиц стать прообразом живых индивидуумов. Для достижения этой цели следует показать, что в представлении возбужденной квазичастицы включены главные функциональные эквиваленты живой системы. По существу, таких эквивалентов три: возбужденное состояние, индивидуальность и эволюция, которая, следует уточнить, включает воспроизведение и собственно эволюцию (изменчивость) индивидуальностей. Это специфические функциональные эквиваленты жизни. Другие проявления, такие как снабжение веществом или энергией, усложнение и прочее, характерны для любых динамических систем, необязательно живых. Но вот что нужно заметить: для живых систем эти другие проявления не только характерны, но и обязательны. Тем не менее это не принципиально важные проявления, и обязательность не означает специфичность. Это очень важное замечание, которое, с одной стороны, избавляет нас от необходимости продлевать список свойств живых систем до бесконечности. С другой стороны, это важно для понимания того, что делалось другими авторами в предыдущих моделях происхождения жизни. Если кто-либо выстраивает модель жизни как эпигенетический над химией проект, то он волен забыть про энергию и вещество и даже про возбуждение, полагая, что эта проблема *уже* решена в «химической эволюции». Напротив, в квантовом варианте происхождения специфические и неспецифические эквиваленты свойств живых систем, их потенции, должны появиться в представлении объекта одновременно. Другими словами, строя модель системы, которую мы полагаем потенциально переходной к живой, мы должны ввести в нее механизмы неспецифические, обязательные для динамических систем, и механизмы, поддерживающие специфические свойства живых систем: возбуждение, развитие, воспроизводство и способность к эволюции. Можно еще говорить о рождении и смерти, но в самом общем случае эти свойства характерны для любых систем. Однако рождение и смерть у живых систем имеют свои особенности, главной из которых является событие онтогенеза, позиционируемое между рождением и смертью. Кратко рассмотрим три главных функциональных эквивалента живого в квазичастицах.

Возбуждение. Это состояние свойственно квазичастицам по определению, так как они есть коллективные колебания. Следовательно, квазичастицы и биологические объекты существуют тогда и только тогда, когда находятся в возбужденном состоянии. Однако это состояние является метастабильным (по Ландау, Лифшицу [6]), которое при достаточно большом отклонении может быть разрушено. Живые объекты создают внутренние резервы для поддержания этого состояния. Когда мы говорим, что можем отличить живое от неживого, мы прежде всего, хотя и не всегда явно, полагаем, что сделаем это по наличию признаков состояния возбуждения: «его глаза сияют... движенья быстры...» – и наоборот: «зрачки его недвижных глаз блеснули грозно и потом...». Эти функции эквивалентны у квазичастиц и организмов, но возбуждение нельзя понимать как эпихимический процесс. Возбуждение есть эпифункция носителя, в случае квазичастиц даже можно сказать – эпифункция среды, так как коллективные возбуждения возможны в кристаллах, полупроводниках, специфических жидкостях (ферми-жидкость, например). Возвращаясь к идее невыделяемости, можно предположить, что невыделяемость или частичная, условная выделяемость биологических объектов унаследована ими от квазичастиц, так как рождение квазичастицы невозможно без носителя. Тем не менее квазичастица, как волна, может перейти от одного носителя к другому.

Онтогенез. С определенной натяжкой можно полагать, что онтогенез свойствен как живым, так и неживым системам. Однако неживым системам современности не свойствен контролируемый внутренней программой онтогенез. Такого контролируемого онтогенеза нет и у квазичастиц, поскольку рождение, трансформации и смерть квазичастицы

определяются по преимуществу внешними для квазичастиц причинами, хотя, например, возбуждение, вызванное фотоном, нельзя считать вполне внешним, так как фотон может перейти в «тело» квазичастицы, сообщив ей некоторые дополнительные характеристики.

Квазичастицы можно рассматривать как пример начальной дифференциации информации на глобальную (происходящую от среды) и локальную (от свойств возбуждения, его способности к смене состояний, дифференцировке). Способность объекта переходить в локальное состояние, потенциально развиваемое в состояние индивидуума, является необходимым условием эволюции.

Приведенного набора свойств, необходимых для примордиального объекта, достаточно, чтобы выбрать между частицами и квазичастицами, так как, если у примордиального объекта нет никакого онтогенеза в принципе, как его нет, скажем, у фотона, мы не можем считать, что он обладает необходимым функциональным эквивалентом для развития в живую систему.

Еще важно, чтобы индивидуальное развитие осуществлялось как череда состояний, но не приводило бы к смене базовой характеристики состояний, т.е. сохраняло квантовую базу развивающегося объекта.

Эволюция. Под эволюцией в биологии понимают естественный процесс развития живой природы, сопровождающийся изменением генетического состава популяций, формированием адаптаций, видообразованием и вымиранием видов. Материалом эволюции служат мутации, происходящие в организмах в ходе их онтогенеза, а механизмом – естественный отбор в популяциях организмов. В определенном смысле, важном для выстраивания онтологического моста между эволюцией квазичастиц и биологических объектов, эволюцию можно понимать как эпифеномен онтогенеза. Эволюция работает с популяциями, следовательно, в нашей модели должно быть предусмотрено существенное разнообразие квазичастиц. Для создания материала эволюции в организмах, представляющих популяции, должны происходить мутации, именно в этом заключается смысл эволюции. В наборах квазичастиц такая возможность открывается благодаря их эволюционной гибкости и возможности взаимодействий со средой и между собой – гибридизации [5]. Так, для обычных частиц закон дисперсии – это данность, которую никак не изменить, а закон дисперсии квазичастиц возникает динамически и потому допускает изменения.

Предварительный рецепт для описания эволюции квантовой частицы можно заимствовать в форме идеи «квантового дарвинизма», предложенной В. Зуреком [61] ровно 10 лет назад. Ведущий в этой области квантовой теории авторитет предлагает понимать в качестве квантового дарвинизма процесс, в котором наиболее полезная информация воспроизводится за счет неподходящей, несовместимой (incompatible) с общим паттерном измерения. Он развивал эти представления для целей квантовых измерений, но они как нельзя лучше подходят для описания начальных этапов эволюции, ведущих к появлению живых систем.

Следуя указаниям В. Зурека, положим, что эволюционно способная квантово-механическая система должна включать в себя как минимум два типа состояний, что согласуется с представлениями о «гибридизации» квазичастиц [5].

Для введения в действие естественного отбора квантово-механические информационные прообразы должны исходно находиться в таких отношениях с носителем, чтобы это обеспечивало достаточно явное выделение индивидуальностей.

Наличие частично выделенных индивидуальностей является необходимым, но недостаточным условием отбора. Нужно еще, чтобы индивидуальности обладали способностью к воспроизводству.

Воспроизводство. Процесс воспроизводства в живых системах часто и не вполне корректно называют размножением. Для наших целей такая неточность недопустима, и мы вводим следующие уточнения. Взгляды биологов на проблему размножения устоялись веками и кратко формулируются так: все живое способно к размножению бесполым или

половым путем. Бесполой путь часто называется клонированием. В квантовой механике, однако, известна теорема о запрете клонирования (состояния) [58]. Как бы сильно ни различались шкалы квантового прообраза и классического биологического объекта, онтологию их отношений надо моделировать так, чтобы избежать логических противоречий. Биологические объекты могут быть репродуцированы в обход запрета клонирования, потому что даже при делении одноклеточных состояние клонируется недостаточно точно. Но эта уловка не годится для примордиальных квантовых систем, чей онтогенез сжат и краток. Для ранних этапов становления жизни воспроизводство удобнее моделировать как процесс взаимодействия квазичастиц и частиц, имеющий перспективу развития в половой процесс. Другими словами, наша гипотеза воспроизводства является развитием модели квантового дарвинизма В. Зурека. Для взаимодействия частицы и квазичастицы ее можно понять как асимметрическое взаимодействие с поглощением одного из партнеров. Таков, например, характер взаимодействия фононов с фотонами. В биологии сходная схема осуществляется при спаривании пауков. Половой процесс описывается как симметрическое взаимодействие с дополнительным условием (образование гамет). Наше предложение считать половой процесс предшественником бесполому согласуется с многочисленными фактами апомиксиса у растений.

Квазичастица и среда

Квазичастица есть элементарное возбуждение конденсированной среды (твердого тела, жидкости), ведущее себя в некоторых отношениях как частица; в частности, она может рассматриваться как нечто целое. Однако это целое не является вполне самостоятельным: квазичастица неотделима от среды, в которой она порождена.

В то же время, прибегая к использованию тандема квазичастица–среда, мы обрекаем себя на необходимость использовать «неквантованное», *глобальное* понятие носителя – газа, жидкости или твердого тела, в котором создаются состояния. Чтобы удовлетворить требованиям онтологического соответствия (квантовой и биологической организаций), необходимо предположить возможность коэволюции среды и примордиального объекта. Обращение к живым системам подсказывает также, что на самых ранних этапах эволюции должен быть встроен локальный элемент между глобальной средой – носителем возбуждения и собственно возбуждением. Напрашивается предположение, что этот локальный (материальный) элемент должен быть выделен из среды носителя, но это не кажется обязательным условием, так как носителем коллективных колебаний могут быть самые разные субстраты. Мы полагаем, что в построении модели квантового прообраза со свойством метастабильного состояния следует ориентироваться на создание такого локального элемента, который в ходе эволюции приведет к бифуркации фенотип–генотип.

Новая онтология жизни

Введение квантовой основы в модель эволюции живого создает новую, логически обоснованную онтологию происхождения живых систем путем развития из квантовых предшественников. Установление онтологической связи между микросостояниями квазичастиц и макросостояниями живых объектов представляется как временной ряд, в котором фазовые переходы осуществляются как смены носителей локальной информации. На протяжении всей эволюции вектор состояния эволюирующих микрообъектов включает два типа характеристик: внутренний тип, это, например, спин, и внешний – это параметры движения. Эти два типа характеристик естественным путем сопоставляются двум типам определения биологического объекта [60], в которых внутренним является определение онтогенеза, а внешним – поведение объекта в среде.

Принятие парадигмы квантовой биологии разрушает широко распространенное убеждение, что жизнь является эпифеноменом химии [7, 57]. В новой онтологии квантовые

микросистемы и современные живые макросистемы соединяются напрямую (пусть даже через множество эволюционных переходов), минуя неживые, в том числе и химические, системы. Атрибуты химии будут использованы в эволюции живых систем, однако, значительно позже. В этой связи становится понятной эфемерность признания, сопровождавшего появление теорий, рассматривающих жизнь как эпифеномен химии. К таким эфемерным теориям относятся коацерватная теория происхождения жизни [11, 26], эксперименты и теории абиотического синтеза [42, 54], РНК мир [23] и многие другие, опирающиеся на идею создания живого организма путем разового, случайного [но очень организованного, а потому статистически невероятного] объединения простых химических (пусть даже органических и довольно сложных, вплоть до примитивных генетических полимеров [24]) компонентов и систем, абиогенетически синтезированных в теплой луже, освещаемой солнцем, или в темноте подводного курильщика (о проблемах автокаталитических систем см. в [31, 52]).

Квантовая модель решает затянувшийся на десятилетия спор о том, что было раньше – метаболизм или генетика (см. дискуссию в [34, 49, 51]). Точнее, она переносит проблему в область функциональных эквивалентов и ставит вопрос так: какие свойства квазичастиц могли эволюционировать в фенотип и, соответственно, – в генотип? В самом общем виде ответ будет таков: то, что составляло сущность квазичастицы, должно было стать генотипом примордиального объекта, а то, с помощью чего она взаимодействовала с окружением, – фенотипом. Таким образом, в основе наследственности лежит сохранение свойств коллективного возбуждения и их модуляций, а в основе изменчивости – зависимость модуляций от среды. Происхождение фенотипа следует связывать с полевыми характеристиками квазичастиц. Образно можно представить себе, что материальное окружение примордиального объекта создается в результате центробежного движения, а генетика – в результате центростремительного.

Использование понятий центробежного и центростремительного движения не должно привести к формированию у читателя образа совершенной частицы или шара. Создание сущности, соответствующей модели шара, *на этом этапе рассмотрения* пришло бы к противоречию с положением о суперпозиции индивидуальности / невыделяемости, о чем речь идет в следующем разделе.

Онтологические проблемы, порождаемые введением квантовых идей в основания биологии

Таких проблем несколько, но наиболее существенными представляются проблемы создания эволюирующей организации, способной сохранять свою принципиальную основу на длинном пути смены шкал представления от микромасштаба частиц до макромасштаба наземных гигантов вроде слона и секвойи. Наверное, некоторые свойства такой организации можно обозначить путем сравнения живых и квантовых систем, способных к эволюции. С. Уолкер и П. Дэвис [55] выделили 9 критериев (hallmarks) живых систем, которые, по их мнению, важны для проявления квантовых характеристик, но эти критерии не сопоставляются с родственными критериями квантовых систем, т.е. для некоторых (их) критериев живого не удастся найти функциональных эквивалентов в квантовых системах. Кроме того, эти критерии не вполне совпадают с «первым» законом биологии [41].

В построении модели эволюирующей организации мы предлагаем остановиться на двух свойствах живых систем, которые могут быть поняты как проявление квантовой суперпозиции на макроуровне: на индивидуальности и невыделяемости. Живым макросистемам свойственно продленное во времени существование – онтогенез, поэтому смена онтогенетических состояний может дать много примеров, напоминающих суперпозиции (например, сегодня Симон трезв, а завтра – пьян), но таковыми в действительности (в мгновенном сечении) не являющихся. Суперпозиция индивидуальности и невыделяе-

мости есть особая суперпозиция метастабильного состояния, которое сохраняется на протяжении всего онтогенеза. В общем случае все живые системы находятся в метастабильном состоянии, так как представляют собой, с одной стороны, индивидуализированное тело, с которым работает эволюция, а с другой – системный элемент, невыделяемый из живого и даже неживого окружения. Вот этими свойствами организации и должна обладать примордиальная система, которую предлагается рассматривать как предшественник живой системы.

В идеализированном представлении квазичастицы подходят на роль предшественника по этому критерию: индивидуальны как коллективное движение, но неотделимы от субстрата. Однако попытки представить себе схемы и механизмы физического воплощения этой суперпозиции на квантовом уровне встречаются с большими трудностями, так как фактически квазичастицы являются только описаниями. Тем не менее в действительности известны примеры, когда функциональные понятия становились собственными значениями и приобретали себе физических носителей (например, деньги).

Представление об индивидуальном биологическом объекте лежит в основе теории эволюции, онтогенеза, теории популяций и пр. Эта проблема важна и для микросистем и связана с проблемой распределения (именно с переходом от статистики Больцмана к статистике Бозе–Эйнштейна). Давно известно, что при рассмотрении задачи многих тел, таких как коллективные колебания плазмы [1], следует учитывать, что одночастичное распределение в жидкости сопровождается появлением квантованных вихрей за счет существенного увеличения вращательных составляющих молекул (см. также [8, 9]). Этих доказательств почти достаточно, чтобы оконтурить модель примордиальной индивидуализации: появление квантованных вихрей можно рассматривать как начальный этап дифференциации пространства состояний на индивидуальные выделенные объекты (квантованные вихри), индивидуальные невыделенные объекты (коллективные колебания) и на среду – недифференцированное множество не индивидуализированных частиц и связей в носителе, где генерируются колебания. Для понимания этих явлений значимыми могут оказаться представления о дифференциации конденсата, развитые В.П. Масловым [10].

В области суперпозиции индивидуализации / невыделяемости располагается основная онтологическая проблема гипотезы квантовой биологии. Дело в том, что все живые индивидуумы оформлены морфологически – все современные клетки и организмы окружены полупроницаемой мембраной, регулирующей их отношения с окружением. Некоторые генетически самостоятельные элементы, такие как вирусы и мобильные элементы, могут не иметь такой мембраны, но это вполне оправдывается их малой фенотипической выделенностью.

Морфологического аналога полупроницаемой мембраны у квазичастиц нет. Более того, ее у квазичастиц не должно и не может быть. Их индивидуализация достигается функционально, благодаря особому характеру движения, которое обеспечивает селективное сохранение связей одного типа и селективное прерывание связей другого типа. Мембрана на этом уровне организации не нужна функционально и невозможна в силу своего молекулярного строения. Необходимость в ней возникает только у эволюционирующих сущностей, сильно продвинутых по шкале размеров и соответствующих уровню молекул. В этом случае некоторые связи с окружением материализуются, т.е. появляются химические носители этих взаимодействий, эволюция приобретает признаки химической эволюции (плюс к квантовым!!) и мембрана становится необходимой для регуляции обмена со средой, которая должна к этому времени стать средой водной. С появлением атрибутов химической системы дальнейшее развитие примордиальной системы возможно только при перенесении ее в условия, близкие к земным.

Вопрос в том, возможно ли создание мембраны на поверхности примордиальных объектов, регенерированных из квазичастиц. Как авторы квантово-механической гипотезы, мы обязаны утверждать, что это возможно, но экспериментальное обоснование такой

возможности пока еще очень фрагментарно. Однако уже продемонстрирована способность квантовых вихрей захватывать материальные частицы (например, атомы металлов) и придавать им определенную форму в процессе, напоминающем автокаталитический [2]. Это очень важное наблюдение, согласующееся с теоретическим предположением о необходимости дифференциации примордиальной структуры в центральную и периферическую части [51] и имеющее свое отражение в составной структуре биологических объектов [59].

Проблемы соответствия функциональных эквивалентов. Проблема заключается в создании алгоритма, или функции, отображающей характеристику примордиального объекта, соответствующую таковой современного организма. Грубо говоря, вопрос стоит так: можем ли мы установить достаточно логичное соответствие между внутренними характеристиками квазичастицы и биологического объекта, например между спином и онтогенезом? Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо понятия спина и онтогенеза поместить в качественно одинаковый контекст состояний. Тогда спин будем понимать как одну из внутренних характеристик, зависимую от взаимодействий с некоторыми объектами окружения. Это не самое распространенное представление о спине. Часто в физической литературе спин понимают как внутреннюю характеристику частицы, независимую от окружения, но в запутанных состояниях и в состояниях квазичастиц это не совсем и не всегда так. Спин не зависит от времени, так что у истинных частиц онтогенеза быть не может, так как онтогенез есть цепь событий, развернутая во времени. Другое дело – квазичастица, которая движется как целое, чем и напоминает корпускулу, хотя и может быть *безмассовым* коллективным образованием. Благодаря последнему качеству квазичастица имеет состав, непрерывно обновляющийся при ее движении; и в этом смысле квазичастица имеет онтогенез. Конечно, этот онтогенез не имеет явного программного обеспечения, как в случае живых систем, но создание такого программного обеспечения – задача, посильная для эволюции. Таким образом, существует принципиальная возможность установить эволюционное соответствие между внутренними состояниями квазичастиц и биологических объектов.

Замыкание. Замыкание как случайное объединение всех генетических и метаболических циклов, накопленных в предбиологии, является камнем преткновения в теории происхождения жизни [34, 51] и будет оставаться таковым, пока не станем считать, что замыкание произошло до предбиологии, еще на квантовом уровне. Замыкание на квантовом уровне интерпретации – это особый фазовый переход, сохраняющий суперпозицию индивидуальности и невыделяемости. После замыкания примордиальная сущность занимает изолированное место в 3D пространстве, но сохраняет связи с окружением. У современных живых систем состоянию осуществленного замыкания соответствует их особая организация. Так, в многоклеточном теле сосудистого растения клетки в целом изолируются друг от друга плазмалеммой и клеточными стенками, но плазматическая часть индивидуальности связана плазмодесмами, флözным континуумом и движением растворов в апопласте (см. структуру табака в [3]). У млекопитающих также многочисленны системы, объединяющие клетки и органы в нечто целое: тканевая жидкость, системы лимфатических и кровеносных сосудов, нервная система и многое другое. Степень дифференциации и набор возможных движений у квазичастиц на порядки меньше. Можно ли с этим скудным арсеналом осуществить организационный акт, предшественник или прообраз замыкания? Можно.

Мы уже писали выше, что квазичастицы можно рассматривать как пример начальной дифференциации некоего исходного состояния (возможно, конденсата Бозе–Эйнштейна) на глобальное (происходящее от среды) и локальное (от свойств возбуждения, его способности к смене состояний, дифференцировке). Мы также ссылались на работы В.П. Маслова по квантованию вихрей [8, 9]. Здесь же мы подчеркнем, что квантование вихрей должно быть таким, чтобы обеспечить сохранение суперпозиции индивидуальности и невыделяе-

мости. Для этого модель квантования вихря надо дополнить условием такого движения квантованной сущности, которое обеспечит ее самостоятельность в 3D пространстве, но не разрушит связей с окружением. Зрительный образ такой организации можно составить на базе схемы многомерного пространства Г. Вейля, предполагая, что 3D плоскость есть граница селективного движения, а дополнительные измерения – гибко подсоединяемые связи с окружением. В соответствии с такими распространенными определениями фенотипа как структуры, представляющей гены, связи с окружением не должны прямо сказываться на динамике ядра примордиальной сущности. Однако проблема гибкого подсоединения связей остается. Фактически это проблема взаимодействия измерений в сложной системе, которая, как известно, решается по-разному, в зависимости от того, в каком пространстве осуществляется решение.

Заключение

Наше представление о живой системе и ее эволюции кажется физически состоятельным и согласуется с идеей квантового мира на всех уровнях его проявления. Конечно, она еще очень далека от завершения, и это не удивительно, так как представление биологии в контексте квантовой теории потребует немало времени и объединенных усилий многих ученых разных специальностей.

Даже если наша разработка не получит признание в ближайшее время, совершенно очевидно, что прямая связь живых и квантовых систем станет парадигмой новой информационной биологии. В этом направлении работают упомянутые выше и многие другие исследователи [14, 27, 35, 55, 56]. Однако уже сейчас мы можем использовать предложенную модель для построения новых теорий в биологии и для анализа явлений, которые этими теориями описываются или предсказываются. Задача сравнения предсказаний с экспериментальными данными уже решается, так сказать, по ходу дела, поскольку экспериментальных данных в биологии имеется с избытком. Для того чтобы представить биологический объект в множественном дуализме суперпозиций, молекулярных данных было достаточно и в прошлом веке. Необходимо было сменить точку зрения. Напротив, данных о поведении квантовых систем в условиях, соответствующих переходу к живым системам, еще недостаточно. Одним из прогнозов в этом направлении может быть предположение о соответствии внутренней структуры квазичастиц структуре гермов и пучков в живых системах, недавно описанной нами для биологических и социальных объектов [59].

При этом есть как минимум одна очень важная вещь, которую квантовая биология объясняет уже сейчас. Она объясняет, почему все определения жизни, живой системы и живого объекта до сих пор не имели успеха и всеобщего признания. Причина этого в том, что все определения делались простым перечислением макроскопических по преимуществу свойств живых объектов, почти всегда – организмов. Понятно, что ставить вопрос о невыделяемости организмов долгое время казалось противоестественным.

Теперь мы видим, что в контексте квантовой механики определение живого надо делать на языке состояний, и поэтому вопросы о суперпозиции индивидуальности и невыделяемости возникают с неизбежностью. То же самое относится к моделированию сценариев происхождения жизни: парадигма жизни как эпифеномена химической эволюции оказывается вне онтологической связи квантовых и живых систем. Эти и многие другие соображения показывают, что время «молекулярного затмения» в биологической науке заканчивается, и она готова рассматривать свои объекты во всем разнообразии их проявлений, включая квантовое, как и полагал Э. Шредингер 70 лет назад: «...мы вправе предполагать, что живая материя подчиняется новому типу физического закона. <...> На мой взгляд, он не что иное, как опять-таки принцип квантовой теории» [48, р. 83].

ЛИТЕРАТУРА

1. Власов А.А. О вибрационных свойствах электронного газа // ЖЭТФ. 1938. Т. 8. С. 291–318.
2. Гордон Е.Б., Карабулин А.В., Матюшенко В.И., Сизов В.Д., Ходос И.И. Электрические свойства металлических нанопроволок, полученных в квантованных вихрях сверхтекучего гелия // Физика низких температур. 2010. Т. 36. С. 740–747.
3. Журавлев Ю.Н. Фитовирусы в целом растении и в модельных системах. М.: Наука, 1979. 247 с.
4. Киржниц Д.А. Лекции по физике. М.: Наука, 2006. 244 с.
5. Киржниц Д.А. Физическая энциклопедия. – <http://www.femto.com.ua/index1.html> (дата обращения: 20.08.2014).
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика (нерелятивистская теория). Изд. 6-е. М.: Физматлит, 2004. 800 с. (Теоретическая физика; т. 3).
7. Ллойд С. Программируя Вселенную: Квантовый компьютер и будущее науки. М.: Альпина нон-фикшн, 2013. 256 с.
8. Маслов В.П. Критические показатели как следствие винеровского квантования термодинамики // Теор. и мат. физика. 2012. Т. 170. С. 457–467.
9. Маслов В.П. Учет взаимодействия между частицами в новой теории нуклеации, квазичастицы, квантования вихрей и двухчастичная функция распределения // Мат. заметки. 2008. Т. 83. С. 864–879.
10. Маслов В.П. Фазовый переход из «конденсатного» состояния // Мат. заметки. 2003. Т. 74. С. 637–640.
11. Опарин А.И. Происхождение жизни. М.: Моск. рабочий, 1924. 71 с.
12. Чижевский А.Л. Вся жизнь. М.: Сов. Россия, 1974. 208 с. – <http://www.sakharov-center.ru/asfcd/auth/?t=page&num=9845> (дата обращения: 20.08.2014).
13. Энгельс Ф. Диалектика природы. М.: Гос. изд-во полит. литературы, 1953. 353 с.
14. Abbott D., Davies P.C.W., Pati A.K. (eds). Quantum Aspects of Life. London: Imperial College Press, 2008. 442 p.
15. Autumn K., Sitti M., Liang Y.A. et al. Evidence for van der Waals adhesion in gecko setae // PNAS. 2002. Vol. 99, N 19. P. 12252–12256.
16. Beck F., Eccles J.C. Quantum aspects of brain activity and the role of consciousness // PNAS. 1992. Vol. 89, N 23. P. 11357–11361.
17. Brookes J.C., Hartoutsiou F., Horsfield A.P., Stoneham A.M. Could humans recognize odor by phonon assisted tunneling? // Phys. Rev. Lett. 2007. Vol. 98. Art. N 038101.
18. Cederbaum L.S., Gindensperger E., Burghardt I. Short-time dynamics through conical intersections in macro-systems // Phys. Rev. Lett. 2005. Vol. 94. Art. N 113003.
19. Davies P.C.W. A Quantum Origin of Life? // Quantum Aspects of Life / eds Abbott D., Davies P.C.W., Pati A.K. London: Imperial College Press, 2008. P. 3–18.
20. Davies P.C.W. Does quantum mechanics play a non-trivial role in life? // Biosystems. 2004. Vol. 78. P. 69–79.
21. Davies P.C.W. The epigenome and top-down causation // Interface Focus. 2012. Vol. 2. P. 42–48.
22. Dawkins R. The Selfish Gene. Chapter 11. Memes: The New Replicators. Oxford: Oxford University Press, 1989. P. 189–201.
23. Eigen M., Schuster P. The Hypercycle: A Principle of Natural Self-Organization. Berlin: Springer-Verlag, 1979. 92 p.
24. Engelhart A.E., Hud N.V. Primitive genetic polymers // Cold Spring Harbor Perspectives in Biology. 2010. Vol. 2, N 12. a002196.
25. Gilmore J., McKenzie R.H. Spin boson models for quantum decoherence of electronic excitations of biomolecules and quantum dots in a solvent // J. Phys: Condensed Matter. 2005. Vol. 17. P. 1735–1746.
26. Haldane J.B.S. Daedalus or Science and the Future: a paper read to the Heretics, Cambridge, on February 4th, 1923. N.Y.: E.P. Dutton & Company, 1924. 93 p.
27. Hameroff S., Penrose R. Consciousness in the universe: A review of the ‘Orch OR’ theory // Phys. Life Rev. 2014. Vol. 11, N 1. P. 39–78.
28. Hameroff S.R. Quantum coherence in microtubules: a neural basis for emergent consciousness? // J. Consciousness Studies. 1994. Vol. 1. P. 98–118.
29. Helms V. Electronic excitations of biomolecules studied by quantum chemistry // Current Opinion in Structural Biology. 2002. Vol. 12. P. 169–175.
30. Hofkirchner W. Emergent Information: A Unified Theory of Information Framework. Singapore: World Scientific, 2013. 274 p.
31. Hordijk W., Steel M., Kauffman S. The structure of autocatalytic sets: evolvability, enablement, and emergence // Acta Biotheor. 2012. Vol. 60. P. 379–392.
32. Joyce G.F. Bit by bit: The Darwinian basis of life // PLoS Biol. 2012. Vol. 10. e1001323.
33. Kauffman S., Logan R.K., Este R. et al. Propagating organization: an enquiry // Biology & Philosophy. 2008. Vol. 23. P. 27–45.
34. Kauffman S.A. The Origins of Order: Self-organization and Selection in Evolution. Oxford: Oxford Univ. Press, 1993. 709 p.

35. Kofler W. Information from an evolutionary point of view // *Information*. 2014. Vol. 5, N 2. P. 272–284.
36. Kohen A., Klinman J. Hydrogen tunneling in biology // *Chemistry and Biology*. 1999. Vol. 6. P. R191–198.
37. Koonin E.V., Senkevich T.G., Dolja V.V. The ancient Virus World and evolution of cells // *Biol. Direct*. 2006. Vol. 1, N 29. 27 p.
38. Lloyd S. *Programming the Universe: A Quantum Computer Scientist Takes on the Cosmos*. N.Y.: Alfred A. Knopf Publ., 2006. 240 p.
39. Lloyd S., Mohseni M., Rebentrost P. Quantum principal component analysis // arXiv:1307.0401v2 [quant-ph]. 2013. 9 p.
40. Matsuno K. Cell motility as an entangled quantum coherence // *BioSystems*. 1999. Vol. 51. P. 15–19.
41. McShea D.W., Brandon R.N. *Biology's First Law: The Tendency for Diversity and Complexity to Increase in Evolutionary Systems*. Chicago: Univ. Chicago Press, 2010. 184 p.
42. Miller S.L., Orgel L.E. *The Origins of Life on the Earth*. New Jersey: Prentice-Hall, 1974. 229 p.
43. Parsegian V.A. *Van der Waals Forces: A Handbook for Biologists, Chemists, Engineers, and Physicists*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2005. 398 p.
44. Patel A. Why genetic information processing could have a quantum basis // *J. Biosci.* 2001. Vol. 26. P. 145–151.
45. Penrose R. *The Emperor's New Mind: Concerning Computers, Minds, and the Laws of Physics*. Oxford: Oxford Univ. Press, 1989. 466 p.
46. Piotrowski E.W., Sladkowski J. Quantum transmemetic intelligence // *Quantum Aspects of Life* / eds Abbott D., Davies P.C.W., Pati A.K. London: Imperial College Press, 2008. P. 291–310.
47. Schempp W. Replication and transcription processes in the molecular biology of gene expressions: control paradigms of the DNA quantum holographic information channel in nanobiotechnology // *BioSystems*. 2003. Vol. 68. P. 119–145.
48. Schrödinger E. *What is Life? The Physical Aspect of the Living Cell*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1944. 91 p.
49. Shapiro R. A simpler origin for life // *Scientific Amer.* 2007. Vol. 296. P. 46–53.
50. Szostak J. The eightfold path to non-enzymatic RNA replication // *J. Syst. Chem.* 2012. Vol. 3. P. 2–14.
51. Vasas V., Fernando C., Santos M., Kauffman S., Szathmáry E. Evolution before genes // *Biology Direct*. 2012. Vol. 7, N 1. doi: 10.1186/1745-6150-7-1.
52. Vasas V., Szathmáry E., Santos M. Lack of evolvability in self-sustaining autocatalytic networks constraints metabolism-first scenarios for the origin of life // *PNAS*. 2010. Vol. 107. P. 1470.
53. Vedral V. Entanglement hits the big time // *Nature*. 2003. Vol. 425. P. 28–29.
54. Wächtershäuser G. Origin of life: life as we don't know it // *Science*. 2000. Vol. 289 (5483). P. 1307–1308.
55. Walker S.I., Davies P.C.W. The algorithmic origins of life // *J. R. Soc. Interface*. 2013. Vol. 10. N 20120869.
56. Walker S.I. Top-down causation and the rise of information in the emergence of life // *Information*. 2014. Vol. 5. P. 424–439.
57. Wiseman H., Eisert J. Nontrivial quantum effects in biology: a skeptical physicists' view // *Quantum Aspects of Life* / eds Abbott D., Davies P.C.W., Pati A.K. L.: Imperial College Press, 2008. P. 381–402.
58. Wootters W.K., Zurek W.H. A single quantum cannot be cloned // *Nature*. 1982. Vol. 299. P. 802–803.
59. Zhuravlev Y.N., Guzev M.A., Skurikhin E.E. Biological roots of the social organization: two examples of modular embodiment of information // *Information* (submitted 17.12.2013).
60. Zhuravlev Y.N. Definition by means of indefiniteness (comment) // *J. Biomolecular Structure & Dynamics*. 2012. Vol. 29. P. 643–644.
61. Zurek W.H. Quantum Darwinism and envariance // *Science and Ultimate Reality: Quantum Theory, Cosmology, and Complexity* / eds Barrow J.D., Davies P.C.W., Harper C.H. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2004. P. 121–137.