Воздушные замки синергетики?

"Знание-сила" № 7/1983

Современная теория самоорганизации - синергетика - активно проявила себя в стремлении дать универсальное описание многих физических и химических процессов. Об успехах и проблемах новой естественнонаучной дисциплины наш журнал рассказывал в №9 за 1982 год и в №3 за 1983 год. Но синергетика не ограничила себя рамками лишь физики и химии. Она начала прокладывать путь дальше - в область биологии.

Однако там возникли непредвиденные затруднения, связанные прежде всего с необычайной сложностью исследуемых объектов.

Итак, что же может предложить биологии синергетика? Схожи ли формы физической и биологической самоорганизации? Достаточно ли внешних подобий? Каковы перемены в настроениях синергетиков, проникших на территорию биологии?

Путь синергетики, как и любой новой дисциплины, в стране естествознания можно сравнить с путем героя волшебной сказки. Сперва ему суждено благодаря смекалке и ловкости добыть чудесное средство - в данном случае это сама идея или сумма идей. Затем волшебный помощник подсказывает ему верный путь в те области, где чудесное средство ему может пригодиться, - в роли помощника в данном случае выступали специалисты различных узких областей, где синергетике предстояло "воевать". И вот - главный бой. Сработает средство - и герой получает царевну, можно не говорить, что в науке приз этот называют "знанием". А если не сработает?

В сказке финал предрешен - он заведомо счастливый. Иначе не было бы сказки. В науке результат заранее не известен - иначе не нужна была бы сама наука. Синергетике удалось с честью выйти из поединков на поле физики и химии, и впереди лежала новая область - биология, начиная от молекулярной биологии, биофизики клетки и сложных систем до морфологии, медицины, экологии.

Нельзя сказать, что на сегодня построена исчерпывающая теория самоорганизации в физике или химии. Нельзя хотя бы потому, что далеко не все явления самоорганизации этого рода узнаны и рассмотрены. Но можно предположить, не боясь ошибиться, что любое такое явление не покажется типологически новым, уляжется в готовую для него ячейку, будет понято и описано.

Иное дело - живые системы. Пока о них речи не шло, синергетика без особого напряжения, едва чудесное средство было получено, шагала по твердому пути. Но лишь только в ее поле зрения попали биологические объекты,

асфальт кончился,

оставалось довольствоваться проселком, а то и вовсе прыгать с кочки на кочку.

Дело прежде всего в том, что о чем бы речь ни шла до сих пор - о фазовых переходах или о лазерной генерации, о конвекционных ячейках Бенара или о периодически действующих реакциях, - синергетика имела в своем распоряжении описание каждого из этих явлений порознь, в рамках соответствующей теории. Например, теории фазовых переходов, гидродинамических неустойчивостей или теории автоволн, наконец. Задача была не в том, чтобы "разгадать" каждое из этих явлений, а в том, чтобы разглядеть достаточно глубоко спрятанные аналогии между ними, синтезировать знания об этих процессах, привести их к одному, "синергетическому" языку. Иначе говоря, нужно было заменить все тропинки и наезженные колеи в области явлений самоорганизации физической и химической природы одной магистральной трассой. Что и делалось.

Но в области самоорганизации биологических систем приходится проводить лишь первую разведку. Есть, разумеется, весьма простые аналогии между физическими и биологическими явлениями. Скажем, под действием электрического поля в образце перестраиваются электронные спины. Похоже это на то, как вдруг, все разом поворачивают мальки, сбившиеся в стаю, едва поперек воды ложится пугающая их тень?

Внешне - да. Но по сути дела все явления самоорганизации в биологических системах связаны с процессами самоусложнения этих систем. В физических и химических системах при самоорганизации нам никогда не приходится сталкиваться с появлением качественно новых элементов. Как правило, уже имеющиеся перекомбинируются или изменяются в количестве. В живых системах сплошь и рядом самоорганизация связана с возникновением элементов принципиально новых - развитие любого организма представляет собой такого рода процесс.

Словом, можно указать прежде всего на две проблемы, с которыми сталкивается наука о самоорганизации в живых системах. Первая - отсутствие, как правило, достаточно теоретически разработанных узкоспециальных теории, это связано с необычайной сложностью даже относительно "простых" биологических объектов, с трудностью добывания мало-мальски надежного эмпирического материала. Вторая - иной тип самоорганизации, при которой происходит самоусложнение живых систем и отдельных их элементов.

Так что же, можно ли вообще при таком положении дел всерьез думать о построении теории биологической самоорганизации? Впрочем, это сказано чересчур громко, ведь биологическая самоорганизация - это, в сущности, и есть форма существования живых систем, их образования, развития, размножения. Скажем иначе, стоит ли надеяться на то, чтобы в ближайшее время описать, подобно тому, как удалось это в физике и химии, хотя бы один относительно простой класс биологических явлений, описать строго математически, разумеется? Не будет ли такая теория - даже если удастся ее построить пока в виде гипотезы - стоять на зыбком песке? И вообще не преждевременны ли подобные устремления? Не есть ли все это лишь прекраснодушные мечтания?

Сама возможность задавать подобные вопросы - а они вполне оправданы, если все время помнить, как мало, по сути дела, известно даже просто о живой клетке, - обнажает своего рода парадокс современной математизированной биологии вообще, и прежде всего биофизики. Пока биология была классической, собирала гербарии и коллекции морских гребешков, аккуратно записывала в полевые блокноты все увиденное ее представителями, никаких вопросов не возникало. Но сейчас, когда "классики" вынуждены потесниться и дать место математикам, подчас не видавшим живой рыбки даже в аквариуме, ситуация резко изменилась. В последние двадцать лет

биофизика завоевывает авторитет

так быстро, наступает такими темпами, как ни одна отрасль биологии в прошлом. И вместе с тем - нет другой естественной дисциплины, где все достигнутое было бы столь частным, раздробленным, не приведенным в единую, теоретически осмысленную систему. Похоже на то, что методы - скажем, методы математической биофизики - далеко обогнали те области, которые, собственно, они должны обслуживать. Проще говоря, идей значительно больше, чем экспериментальных к тому оснований. В такой ситуации понятно, что синергетику, - по сути дела, тоже представляющую собой сумму идей, концепцию, а не открытие чего-либо принципиально нового, - ждал в биофизике радушнейший прием.

На первой синергетической конференции у нас в стране в прошлом году не было ни "чистых" биологов, ни экологов, но биофизическая "фракция" была весьма представительной. Удивляться нечему: если для физики и химии изучение явлений самоструктуирования - область сравнительно новая, то в биологии о самоорганизации говорили, во всяком случае, начиная с прошлого века. Здесь теория самоорганизации в своей физической ипостаси встретила как бы двойника, правда, под другим именем, и не подозревавшего, конечно, о родстве своих объектов исследования с синергетическими физическими объектами - фазовыми переходами, скажем, или ячейками при конвекции в жидкости.

На конференции по синергетике были представители преимущественно молекулярной биофизики. И это тоже понятно: именно в этой области достигнут какой-никакой, но

прогресс в решении фундаментальных вопросов. Вернее, одного вопроса, касающегося эволюции, - как могла бы происходить

самоорганизация макромолекул

в конце химической или в начале биологической, как угодно, эволюции на Земле.

Нам придется вспомнить давнюю работу лидеров "брюссельской школы" П. Гленсдорфа и И. Пригожина. В ней они высказывали надежду, что в будущем биологические структуры можно описывать с помощью развитого ими метода неравновесной термодинамики, подобно тому, как описывается возникновение порядка в открытых химических системах. Им удалось установить и строго математически описать, что в открытых системах при удалении их от термодинамического равновесия может из беспорядка вновь возникнуть порядок, "второй" порядок, если "первым" считать тот, что достигается в состоянии равновесия. Им удалось объяснить, скажем, периодически протекающие химические реакции Белоусова - Жаботинского, до их теоретических работ представлявшиеся довольно загадочными. Так вот, все эти закономерности, выражали надежду авторы, можно будет проследить и на системах биологических. Оптимизм ученых не оправдался. Впрочем, они оговаривались, что нужны еще многие исследования и дополнительные данные. Исследований было много за эти десять лет. Данных - чуть меньше. Во всяком случае, данных, касающихся фундаментальных проблем. Но даже на сугубо теоретическом, концептуальном, гипотетическом уровне сладить с живыми системами не удавалось. Исключением, возможно, стала первая ступень биологической эволюции - этап возникновения на Земле первых макромолекул органических полимеров из химических мономерных молекул.

Гипотезу, о которой пойдет речь, выдвинул известный немецкий химик, лауреат Нобелевской премии Манфред Эйген, причем вскоре после опубликования монографии Гленсдорфа - Пригожина.

"До Эйгена" ситуация представлялась такой. В результате химической эволюции на Земле появились разнообразные неорганические вещества, состоящие из мономерных молекул. Затем самым загадочным образом из них возникли полимерные молекулы. Почему загадочным? Потому, что если бы эволюция "действовала" по принципу слепого перебора, то никаких полимеров не было бы и сегодня - это оценка теории вероятностей для времени такого перебора: оно превышает время существования Вселенной. Ведь мономерные молекулы складываются в полимерные не "как бог на душу положит", а по строгим правилам, подобно тому, как строятся слова из букв алфавита. Нет, скажем, в языке слова с пятью согласными подряд, здесь действует некий запрет. А каков запрет в случае строительства полимерных молекул? По какому закону из простых молекул выстраивались первые сложные цепи белков и нуклеиновых кислот? Каков механизм этого процесса самоорганизации? Ведь механизм должен быть - молекулы-то существуют. Причем механизм весьма отлаженный, поскольку в масштабах эволюции возникновение макромолекул произошло довольно быстро.

М. Эйген распространил на процессы, которые должны были происходить при этом эволюционном скачке, принцип дарвиновского естественного отбора, введя понятие

"конкуренция гиперциклов",

подразумевая под ними циклы химических реакций, приводящих к образованию первых белков.

Пояснительный пример для иллюстрации рассуждений М. Эйгена может быть таким. Пусть имеется набор мономерных молекул. При их непрерывном тепловом движении всегда есть вероятность того, что рано или поздно некоторые из них "сцепятся" и образуют несколько полимерных молекул. В такой ситуации начинается конкуренция в борьбе за "пищу" между макромолекулами - за молекулы мономеров. Если во всю эту картину вместо слов "макромолекулы" подставить слова "циклы реакций", то она несколько уточнится. По мысли Эйгена, конкурируют именно гиперциклы, которые делятся на более и менее эффективно работающие.

И здесь - "гвоздь программы", ядро гипотезы. Она предусматривает, что в химическом "первичном бульоне" присутствуют катализаторы протекающих реакций, являющиеся в то же время их промежуточными продуктами. То есть происходят реакции автокаталитического типа, такие, как реакция Белоусова - Жаботинского, такие, которые рассматривали и термодинамически объяснили Гленсдорф - Пригожий. Это означает, что гипотеза Эйгена вводит феномен возникновения первых белков в область рассмотрения теории самоорганизации, какой она сложилась на сегодняшний день, в область синергетики, если принимать этот термин. То есть синергетика с помощью этой гипотезы продвинулась несколько вперед, в глубину биологического государства.

Разумеется, гипотеза на то и гипотеза, что не может утверждать, будто на Земле жизнь зарождалась именно так, а не иначе. Но она является удовлетворительной, потому что показывает - так могло быть. Гипотеза Эйгена - всего лишь физико-математическая модель эволюции на предбиологической ее стадии, остроумно сочетающая допущения, заимствованные и из физики, и из химии, и из классической биологии. Модель, попытка, одна из возможностей, лишь догадка. И самое удивительное - единственная в своем роде. Скажем, о не менее таинственном эволюционном скачке от органических макромолекул к живой клетке и такой догадки не существует. Раскрытие тайн эволюции замерло пока на этом, первом шаге. Дальше нам придется прыгать

с кочки на кочку,

как и было обещано. Синергетика может предложить лишь частные модели отдельных биологических процессов. О фундаментальных же проблемах и думать нечего. Скажем, тот же этап возникновения живой клетки не только не ясен, поскольку сама клетка во многом загадочна, но даже оценки времени этого этапа в общей шкале эволюции весьма приблизительны. Строить модель - пусть самую гипотетическую - в такой ситуации все равно что намереваться запустить космический корабль, ничего не зная ни о гравитации, ни об атмосфере.

Здесь возникает довольно тривиальная психологическая ситуация. Развивается синергетический подход. Хорошо описаны с его помощью довольно разнообразные физические явления. Но самыми разительными примерами самоорганизации располагает биология. Самыми яркими, самыми очевидными, самыми притягательными, разумеется, но и самыми не объясненными. Ну можно ли удержаться от того, чтобы не пофантазировать хотя бы чуть-чуть, не забежать вперед, не взять на себя риск прогноза... Создатель синергетики Г. Хакен не удержался. Одна из глав его основного труда посвящена биологии. Правда, глава коротенькая. И названа в отличие от других не "биологические системы", подобно главе "физические системы" или "химические и биохимические системы", а осторожнее - "приложения к биологии". И далее приводится несколько простых математических моделей, вообще говоря, давно известных: модель системы хищник - жертва, впервые данная в работах ученого В. Вольтерра в первой половине века, модель морфогенеза. Цель - проиллюстрировать, что в этих проблемах центральное место занимает вопрос о кооперативных эффектах, точно так, как при синергетическом подходе к фазовым переходам, скажем. Иначе говоря, что формы самоорганизации физической и биологической в этом смысле схожи. Надо заметить, что разглядеть это сходство - не значит хоть на шаг подвинуться вперед. Впрочем, некоторые модели математической биофизики и биологии действительно подобны модели для неравновесных фазовых переходов, а значит, и для процессов в сложных лазерах, гидродинамических неустойчивостей и других. Но значит ли это, что аналогии истинно глубоки и что можно надеяться на построение некоей общей теории?

В момент зарождения синергетики, видимо, такие надежды высказывались или молчаливо вынашивались. То был период подъема, энтузиазма, когда вдруг могло показаться, что новая концепция - панацея от многих нерешенных вопросов. Собственно, подобную "агрессивность" проявляет любая новая теория, бурно завоевывающая популярность, как любая массовая мода. Сегодня, однако, похоже на то, что настроение более спокойное, а

взгляд - более объективный. Даже ярый сторонник синергетики сегодня скажет, что физические примеры помогают обратить внимание на то-то и то-то в биологической области, но не менее осторожно.

Во время синергетической конференции я имел возможность побеседовать с Германом Хакеном. На вопрос о том, какие достижения в "биологической синергетике" принесло время, прошедшее со дня выхода его основной книги, он ответил не слишком определенно. Да, есть некоторые работы. Скажем, бионики наблюдают нечто похожее на фазовые переходы при координации движений у животных, при галопе лошади, например... Да, солидная дистанция от "математических моделей процессов эволюции" до этого лошадиного галопа. Впрочем, западногерманский физик тут же оживился, взял у меня блокнот и стал рисовать какие-то малопонятные картинки. Оказалось, что это - иллюстрации к остроумной работе некоего американского математического биолога, который попал на один из конгрессов по синергетике в ФРГ, - такие конгрессы проводятся регулярно на родине синергетики. Прослушав доклад о гидродинамических неустойчивостях и о ячейках Бенара, на которые разбивается жидкость при разнице температур на нижней и верхней поверхности, он вдруг сообразил, что эту модель можно перенести в область биологии, изучающую феномены оптического восприятия: картинки на экране диапроектора до странности напоминали рисунки наркоманов, когда тех просили нарисовать по памяти свои зрительные галлюцинации. Тут же родилась гипотеза: наркотики так действуют на нервную систему, что обычное изображение, которое видит человек, делается неустойчивым. При определенной дозировке, однако, возникают устойчивые картины перед глазами наркомана, и все поддается математическому описанию по аналогии с гидродинамическими неустойчивостями...

Быть может, эта работа перспективна. Однако она не продвигает синергетиков дальше по пути - к биологии. И похоже, пример с наблюдательным американцем весьма показателен - на сегодняшний день реального прогресса здесь не предвидится.

Так стоит ли строить воздушные замки? Что синергетике биология? Что биологии синергетика?

Синергетика имеет дело, как правило, со структурами, которые не терпят "голода". Если воду перестать подогревать, ячейки, возникшие в результате конвекции, мгновенно исчезнут. Биологические же структуры могут быть отключены на какое-то время от источников питания. Это делает их еще более сложными для изучения. То есть они ведут себя и как диссипативные, и как равновесные, и никаких аналогий им ни в физике, ни в химии нет. Или еще одна принципиальная сложность. Ячейки Бенара, скажем, возникают в природе "бездумно", без какого-либо уже заложенного в жидкости плана, а в общем плане мироздания они и вовсе никчемны, декоративны, летучи. Не то - живые структуры. Они строго учтены общим планом природы, функциональны и никогда не бывают случайны. Будь то клетка, отдельный организм или туча саранчи. Иначе говоря, у живой природы строгий режим экономии, тогда как неживая невероятно расточительна. То же можно сказать и на другом языке - на языке теории информации. И на языке термодинамики. Но суть от этого не меняется: живые и неживые структуры разделяет пропасть. И синергетика пока остается лишь на одном ее краю. И даже в возможностях "приложения" впору усомниться...

Жизнь, однако, показывает другое. Реальная жизнь науки, которая ведь тоже идет не только по плану академий наук, но самоорганизуется. И создание новых структур в научной жизни - налицо. Конгрессы, симпозиумы, конференции, семинары, на которых физики, химики, биологи сидят плечом к плечу, часто не понимая друг друга, но внимательно вслушиваясь. И даже если синергетика для биологии останется лишь неким ферментом брожения, дрожжами, ускоряющими работу воображения биологов, то и это будет означать, что и в биологии синергетика сказала свое слово и ее воздушные замки не остались нежилыми.

Н. Климонтович