

Еще раз о синергетике

© Л.В. Мокшанцев

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

Возникновение синергетики до сих пор неоднозначно воспринимается научным сообществом. Одни говорят о новой парадигме в естествознании, социальных и гуманитарных науках, другие не видят в синергетике ничего нового по сравнению с современной теорией нелинейных колебаний и волн. Третьи склоняются к мнению, что синергетика — всего лишь объединяющий лозунг и ничего более, и высказывают недоумение по поводу нездорового, по их мнению, ажиотажа, вызванного новым направлением. Наконец, четвертые считают синергетику новой философией. Столь широкий разброс мнений позволяет и нам высказать ряд суждений о некоторых особенностях синергетики и ее взаимосвязи с другими науками.

Ключевые слова: синергетика, энтропия, самоорганизация, открытые системы, случайность, бифуркация, флуктуация, сложность, хаос, виртуальность будущего.

Слово «синергетика» (*sinergia*) происходит от греческих слов «вместе» и «действую» и означает совместное, согласованное действие. Этот термин в качестве названия нового научного направления предложил немецкий физик и математик Герман Хакен во второй четверти XX в. **Синергетикой называют область науки, которая занимается изучением эффектов самоорганизации в физических, химических, биологических и других системах.**

Основные идеи синергетики восходят также к Э. Шрёдингеру, А.М. Тьюрингу, Л. фон Берталанфи, И. Пригожину, М. Эйгену. Считается, что решающее значение для ее создания имели разработка и развитие методологии следующих дисциплин: термодинамики необратимых процессов в открытых системах; нелинейной механики, электрофизики и физики лазеров; химической кинетики сильно неравновесных процессов; эволюции популяций в экологии; нелинейной теории регулирования, кибернетики и системного анализа. Приведенный перечень подтверждает междисциплинарный характер синергетики.

Одним словом, синергетика — теория самоорганизации сложных систем. В широком смысле слова под самоорганизацией понимают тенденцию развития природы от менее сложных к более сложным и упорядоченным формам организации материи. В более узком понимании самоорганизация есть спонтанный переход открытой неравновесной системы от простых и неупорядоченных форм организации к более сложным и упорядоченным.

Иногда синергетику определяют как науку о самоорганизации в неравновесных и открытых системах различной природы. По Хакену, систему можно назвать самоорганизующейся, если она без специфического воздействия извне обретает какую-то пространственную, временную или функциональную структуру. Самоорганизующиеся системы должны отвечать определенным требованиям: 1) они должны быть неравновесными или находиться в состоянии, далеком от термодинамического равновесия (покоя); 2) они должны быть открытыми и получать приток энергии, вещества и информации извне.

Нередко синергетику называют *complexity science*, наукой о сложном, учением об универсальных закономерностях эволюции сложных динамических систем, претерпевающих резкие изменения состояний в периоды нестабильности. Развитие понимается как последовательность длительных периодов, соответствующих стабильным состояниям системы, которые прерываются короткими периодами хаотического поведения (бифуркациями), после чего наблюдается переход к следующему устойчивому состоянию (аттрактору), выбор которого определяется, как правило, флуктуациями в точке бифуркации.

В классической науке XIX в. господствовало убеждение, что материи изначально присуща тенденция к разрушению всякой упорядоченности, стремление к исходному равновесию. Такой взгляд на вещи сформировался в равновесной термодинамике. Она устанавливает, что взаимное превращение тепла и работы неравнозначно. Работа может полностью превратиться в тепло трением или другими способами, а вот тепло полностью превратиться в работу принципиально не может. Это означает, что в переходах одних видов энергии в другие существует выделенная самой природой направленность. Данную односторонность, однонаправленность перераспределения энергии в замкнутых системах подчеркивает второе начало термодинамики. При самопроизвольных процессах в замкнутых системах, имеющих постоянную энергию, энтропия всегда возрастает.

Общий вывод достаточно пессимистичен: необратимая направленность процессов преобразования энергии в изолированных системах рано или поздно приведет к превращению всех ее видов в тепловую энергию, которая рассеется, т. е. в среднем равномерно распределится между всеми элементами системы, что и будет означать термодинамическое равновесие, или хаос.

Из хаоса, как утверждали древние греки, Вселенная родилась, в хаос же, по предположению классической термодинамики, и возвратится. Возникает, правда, любопытный вопрос: если Вселенная эволюционирует только к хаосу, то как она могла возникнуть и организоваться до нынешнего упорядоченного состояния? Но этим вопросом

классическая термодинамика не задавалась, ибо формировалась в эпоху, когда нестационарный характер Вселенной не обсуждался. Единственным немым укором термодинамике служила дарвиновская теория эволюции. Предполагаемый ею процесс развития растительного и животного мира характеризовался непрерывным усложнением, нарастанием организации и порядка. Живая природа почему-то стремилась прочь от термодинамического равновесия и хаоса. Налицо была явная нестыковка законов развития неживой и живой природы.

После замены стационарной модели Вселенной на развивающуюся модель, в которой ясно просматривалось нарастающее усложнение организации материальных объектов — от элементарных и субэлементарных частиц в первые мгновения после Большого взрыва до звездных и галактических систем, несоответствие законов стало еще более явным. Ведь если принцип возрастания энтропии столь универсален, как же могли возникнуть такие сложные структуры? Случайным «возмущением» по большому счету равновесной Вселенной их не объяснить. Стало ясно, что для сохранения непротиворечивости общей картины мира необходимо постулировать наличие у материи в целом не только разрушительной, но и созидательной тенденции. Материя способна осуществлять работу и против термодинамического равновесия, самоорганизовываться и самоусложняться.

Идея о способности материи к саморазвитию в философии существует достаточно давно. А вот в фундаментальных естественных науках (физике, химии) ее начали осознавать только сейчас. На этой волне и возникла **синергетика — теория самоорганизации**. Общий смысл комплекса синергетических идей заключается в следующем: процессы разрушения и созидания, деградации и эволюции во Вселенной равноправны; процессы созидания (нарастания сложности и упорядоченности) имеют единый алгоритм, независимо от природы систем, в которых они осуществляются.

Таким образом, синергетика претендует на открытие универсального механизма, при помощи которого осуществляется самоорганизация как в живой, так и неживой природе.

Развитие открытых и неравновесных систем протекает путем нарастающей сложности и упорядоченности. Наблюдаются две фазы: 1) период плавного эволюционного развития с хорошо предсказуемыми линейными изменениями, подводящими в итоге систему к некоторому неустойчивому критическому состоянию; 2) выход из критического состояния скачком и переход в новое устойчивое состояние с большей степенью сложности и упорядоченности. Важная особенность второй фазы заключается в том, что переход системы в новое устойчивое состояние неоднозначен. Достигшая критических параметров (точка бифуркации) система из состояния сильной неустойчивости как бы «сваливается» в одно из многих возможных, новых для

нее устойчивых состояний. В этой точке эволюционный путь системы, можно сказать, разветвляется, и какая именно ветвь развития будет выбрана, решает случай. Но после того как «выбор сделан» и система перешла в качественно новое устойчивое состояние, возврат назад невозможен. Этот процесс необратим. А отсюда следует, что развитие таких систем имеет принципиально непредсказуемый характер. Можно просчитать варианты возможных путей эволюции системы, но какой именно путь будет выбран, однозначно сказать нельзя.

Примером образования структур нарастающей сложности [8, 9] является хорошо изученное в гидродинамике явление, названное ячейками Бенара. При подогреве жидкости, находящейся в сосуде круглой или прямоугольной формы, между нижним и верхним ее слоями возникает некоторая разность (градиент) температур. Если градиент мал, то перенос тепла происходит на микроскопическом уровне и никакого макроскопического движения не происходит. Однако при достижении градиентом некоторого критического значения в жидкости внезапно (скачком) возникает макроскопическое движение, образующее четко выраженные структуры в виде цилиндрических ячеек. Сверху они похожи на устойчивые ячеистые структуры или пчелиные соты.

Это хорошо знакомое всем явление с позиций статистической механики невероятно. Ведь оно свидетельствует, что в момент образования ячеек Бенара миллиарды молекул жидкости, как по команде, начинают вести себя согласованно, хотя до этого пребывали в хаотическом движении. Создается впечатление, будто каждая молекула «знает», что делают все остальные, и желает двигаться в общем строю. Классические статистические законы здесь явно не работают, это явление иного порядка. Ведь если бы, даже случайно, такая «правильная» и устойчиво «кооперативная» структура образовалась, что почти невероятно, она бы сразу же и распалась. Но она не распадается при соответствующих условиях (приток энергии извне), а наоборот, устойчиво сохраняется. Значит, возникновение структур нарастающей сложности вовсе не случайность, а закономерность.

Еще один пример — упорядочение в ферромагнетиках (например, в магнитной стрелке компаса). При нагревании у ферромагнетика внезапно исчезает намагниченность, а при понижении температуры намагниченность внезапно появляется снова. На микроскопическом, атомном уровне это можно представить так: магнит состоит из большого количества элементарных (атомных) магнитов (называемых спинами). При высоких температурах (магнетики) распределены по направлениям хаотически. Их магнитные моменты, складываясь, взаимно уничтожаются, и в результате макроскопическая намагниченность оказывается равной нулю. При температурах ниже критической элементарные магниты выстраиваются в определенном порядке,

что приводит к появлению макроскопической намагниченности. Таким образом, упорядочение на микроскопическом уровне служит причиной появления на макроскопическом уровне нового свойства материала. Переход из одной фазы в другую называется фазовым. Столь же резкий переход наблюдается в сверхпроводниках: в некоторых металлах и сплавах ниже определенной температуры электрическое сопротивление внезапно и полностью исчезает вследствие упорядочения электронов в металле.

Другими примерами самоорганизации в открытых системах могут служить рост кристаллов, механизм действия лазера, упорядочение водяного пара при его охлаждении извне, химические часы (реакция Белоусова — Жаботинского), динамика популяций и, наконец, рыночная экономика, в которой хаотичные действия миллионов свободных индивидов приводят к образованию устойчивых и сложных макроструктур.

Синергетическая интерпретация такого рода явлений открывает новые возможности их изучения. В обобщенном виде новизну синергетического подхода можно выразить следующим образом. Хаос не только разрушителен, но и созидателен, конструктивен; развитие осуществляется через неустойчивость (хаотичность). Линейный характер эволюции сложных систем, к которому привыкла классическая наука, — это не правило, а, скорее, исключение; развитие большинства таких систем носит нелинейный характер. А это значит, что **для сложных систем всегда существует несколько возможных путей эволюции**. Развитие осуществляется через случайный выбор одной из нескольких возможностей дальнейшей эволюции в точке бифуркации. Следовательно, случайность — вовсе не досадное недоразумение; она встроена в механизм эволюции. А новый путь эволюции системы, возможно, не лучше, чем те, которые были отвергнуты случайным выбором [6, 5].

Разумеется, синергетика тесно связана с физикой и математикой. Но ее идеи носят междисциплинарный характер. Они подводят базу под совершающийся в естествознании глобальный эволюционный синтез. Поэтому синергетику рассматривают как одну из важнейших составляющих современной научной картины мира.

Синергетика влечет за собой глубокие мировоззренческие следствия. Возникает качественно иная, отличная от классической науки картина мира. Формируется новая парадигма, изменяется вся концептуальная сетка мышления. Происходит переход от категорий бытия к событию; от существования к становлению, сосуществованию в сложных эволюционирующих структурах старого и нового; от представлений о стабильности и устойчивом развитии к представлениям о нестабильности и метастабильности, оберегаемом и самоподдерживаемом развитии (sustainable development). Происходит переход от

образов порядка к образам хаоса, генерирующего новые упорядоченные структуры [7], от самоподдерживающихся систем к быстрой эволюции через нелинейную положительную обратную связь. Мир развивается от эволюции к коэволюции, от независимости и обособленности сложных систем к связности, когерентности, от размерности к соразмерности, фрактальному самоподобию образований и структур. В новой синергетической картине мира акцент делается на становление, коэволюцию, когерентность, кооперативность элементов мира, нелинейность и открытость (различные варианты будущего), возрастающую сложность формообразований и их объединений. Синергетика придает новый импульс обсуждению традиционных философских проблем случайности и детерминизма, хаоса и порядка, открытости и цели эволюции, потенциального (непроявленного) и актуального (проявленного), части и целого [3, 79–94].

В заключение подчеркнем еще раз: синергетика предполагает качественно иную картину мира не только по сравнению с той, что лежала в основании классической науки, но и с той, которую принято называть квантово-релятивистской картиной неклассического естествознания первой половины XX в. Происходит отказ от образа мира как построенного из элементарных частиц — кирпичиков материи — в пользу картины мира как совокупности нелинейных процессов. Синергетика внутренне плюралистична, как плюралистичен тот интегральный образ мира, который ею предполагается. Она включает в себя многообразие подходов, формулировок, теорий. Синергетика как научное направление близка к ряду направлений, таких как нелинейная динамика, теория сложных адаптивных систем, теория диссипативных структур (И. Пригожин), теория детерминированного хаоса, или фрактальная геометрия (Б. Мандельброт) [10, 2, 1, 5, 7]. Синергетика связана и с теорией автопоэзиса Х. Матурана и Ф. Варела, и с теорией самоорганизованной критичности П. Бака [2], и с теорией нестационарных структур в режимах с обострением А.А. Самарского и С.П. Курдюмова [4]. Синергетику можно рассматривать как современный этап развития идей кибернетики (Н. Винер, У.Р. Эшби) и системного анализа, в т. ч. построения общей теории систем (Л. фон Берталанфи).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Арнольд В.И. *Теория катастроф*. М., Наука, 1990
- [2] Аршинов В.И. *Синергетика как феномен постнеклассической науки*. М., ИФРАН, 1999.
- [3] Буданов В.Г. Синергетическая методология. *Вопросы философии*, 2006, № 5, с. 79–94.
- [4] Князева Е.Н., Курдюмов С.П. *Синергетика: Нелинейность времени и ландшафты коэволюции*. Изд. 2. М., URSS, 2011, 272 с.

- [5] Мун Ф. *Хаотические колебания*. Вводный курс для научных работников и инженеров. Пер. с англ. Ю.А. Данилова и А.М. Шукурова, М., Мир, 1990, 311 с.
- [6] Пригожин И., Стенгерс И. *Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой*. М., Прогресс, 1986.
- [7] Шустер Г. *Детерминированный хаос*. Введение. Пер. с нем. М., Мир, 1988, 240 с.
- [8] Хакен Г. *Синергетика*. М., Мир, 1980.
- [9] Хакен Г. *Синергетика. Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах*. М., Мир, 1985.
- [10] Mandelbrot B. *The Fractal Geometry of Nature*. Freeman, N.Y., 1983.

Статья поступила в редакцию 05.09.2014

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Мокшанцев Л.В. Еще раз о синергетике. *Гуманитарный вестник*, 2014, вып. 7.

URL: <http://hmbul.bmstu.ru/catalog/hum/phil/203.html>

Мокшанцев Леонид Васильевич — канд. филос. наук, доцент кафедры философии МГТУ им. Н.Э. Баумана. Область научных интересов: история западной философии и социальная философия, психоанализ и глобалистика. e-mail: mokshancevaelena@mail.ru



Synergetics

© L.V. Mokshantsev

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

The emergence of synergetics has been still ambiguously perceived in the scientific community. Some people talk about synergetics as a new paradigm in natural sciences, social sciences and humanities, others on the contrary see nothing new in this science comparing to the modern theory of nonlinear oscillations and waves. There are people believing it to be only a rallying point and nothing more and expressing bewilderment about unhealthy excitement caused by a new direction. Finally, the fourth consider synergetics to be a new philosophy. Such a wide range of opinions allow us also to make some judgments about some features of synergetics and its relationship with other sciences.

Keywords: *synergetics, entropy, self-organizing, open systems, accident, bifurcation, frustration, complexity, chaos, virtual future.*

REFERENCES

- [1] Arnold V.I. *Teoriya katastrof* [Catastrophe theory]. Moscow, Nauka Publ., 1990.
- [2] Arshinov V.I. *Sinergetika kak fenomen postneklassicheskoy nauki* [Synergetics considered as a phenomenon of postnonclassical science]. Moscow, IFRAN, 1999.
- [3] Budanov V.G. *Voprosy filosofii – Problems of Philosophy*, 2006, no. 5. p. 79–94.
- [4] Knyazeva E.N, Kurdyumov S.P. *Sinergetika: Nelineynost vremeni i landshafty koevolutsii* [Synergetics: Time Non-Linearity and Landscapes of Coevolution]. 2nd ed. Moscow, URSS, 2011, 272 p.
- [5] Moon F.C. *Chaotic vibrations. An Introduction for Applied Scientists and Engineers*. John Wiley & Sons, Inc., 1987.
- [6] Prigozhin I., Stengers I. *Poryadok iz khaosa: Novyy dialog cheloveka s prirodoy* [Order from chaos: New Dialogue between Man and Nature]. Moscow, Progress Publ., 1986.
- [7] Schuster H.G. *Deterministic Chaos: An Introduction*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2005. DOI: 10.1002/3527604804.
- [8] Haken H., *Sinergetika* [Synergetics]. Moscow, Mir Publ., 1980 [in Russian].
- [9] Haken H. *Sinergetika. Ierarkhii neustoychivostey v samoorganizuushchikhsya sistemakh i ustroystvakh* [Synergetics. Hierarchy of Instabilities in Self-Organizing Systems and Devices]. Moscow, Mir Publ., 1985 [in Russian].
- [10] Mandelbrot B. *The Fractal Geometry of Nature*. Freeman, N.Y., 1983.

Mokshantsev L., Ph. D., assoc. professor of the Philosophy Department at Bauman Moscow State Technical University. Research interests: history of western philosophy, social philosophy, psychoanalysis and studies of globalization. e-mail: mokshancevaelena@mail.ru