



Синергетика: от прошлого к будущему

**СЛОЖНОСИСТЕМНОЕ МЫШЛЕНИЕ: МАТЕРИЯ,
РАЗУМ, ЧЕЛОВЕЧЕСТВО. НОВЫЙ СИНТЕЗ**

Клаус Майнцер

Пер. с англ. / Под ред. и с предисл. Г.Г. Малинецкого

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1994, 1996, 1997, 2004
© Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2008
М: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 464 с.
ISBN 978-5-397-00002-4

Книга одного из ведущих специалистов в области междисциплинарных исследований Клауса Майнцера получила мировую известность и была переведена на многие языки. Она вошла в учебные курсы ряда европейских, азиатских и американских университетов.

Эта книга посвящена междисциплинарным проблемам современной науки. В ней, говоря словами Чарльза Сноу, перебрасывается мост между двумя культурами – естественно-научной и гуманитарной. В книге показывается пройденный познанием путь от глубоких философских идей, начиная с Античности, Средневековья и Нового времени, к исследованиям, находящимся на переднем крае науки – нанотехнологиям, хаосу, искусственному интеллекту, нейронауке, высоким гуманитарным технологиям. Несмотря на широту охвата рассматриваемых проблем, в основе этой работы глубокое внутреннее единство, связанное с использованием и развитием теории самоорганизации, или синергетики, и ее раздела – теории сложности.

Книга междисциплинарна не только по содержанию, но и по жанру. Она занимает промежуточное место между научно-популярной работой, учебником и монографией. Несмотря на отсутствие формул в тексте, в ней ясно и точно излагаются глубокие и важные научные идеи. Среди них – искусственная жизнь, клеточные нейронные сети, новый взгляд на проблемы сознания, которые впервые обсуждаются в литературе на русском языке.

Книга будет интересна и полезна широкому кругу читателей – от школьников и преподавателей до исследователей, инженеров, руководителей.

Оглавление

Синергетика. Кризис или развитие? Г.Г. Малинецкий

Предисловие к четвертому изданию

Предисловие к третьему изданию

Предисловие ко второму изданию

Предисловие к первому изданию

Глава 1. Введение: от линейного к нелинейному мышлению

Глава 2. Сложность и эволюция материи

2.1. Космос Аристотеля и Логос Гераклита. 2.2. Вселенная Ньютона и Эйнштейна и демон Лапласа. 2.3. Гамильтоновы системы, небесный хаос и квантовый мир. 2.4. Консервативные и диссипативные системы и возникновение порядка. 2.5. Сложные системы наномира и самоконструирующиеся материалы. 2.6. Сбор сложных данных и анализ временных рядов.

Глава 3. Сложность и эволюция жизни

3.1. От Фалеса до Дарвина. 3.2. Термодинамика Больцмана и эволюция жизни. 3.3. Сложные системы и эволюция организмов. 3.4. Сложные системы и экология популяций

Глава 4. Сложность и эволюция системы разум–мозг

4.1. От души Платона к «человеку-машине» Ламетри. 4.2. Сложные системы и нейронные сети. 4.3. Мозг и возникновение сознания. 4.4. Интенциональность и крокодил в мозге

Глава 5. Сложность и эволюция вычислимости

5.1. Лейбниц и Diathesis Universalis. 5.2. Вычислимость и алгоритмическая сложность. 5.3. От обработки информации к обработке знаний. 5.4. Клеточные автоматы, хаос и случайности

Глава 6. Сложность и эволюция искусственных жизни и интеллекта

6.1. Нейронные сети и синергетические компьютеры. 6.2. Клеточные нейронные сети и аналоговые нейрокомпьютеры. 6.3. Универсальные клеточные нейронные сети и динамическая сложность. 6.4. Нейробионика и робототехника. 6.5. От искусственного интеллекта к искусственной жизни

Глава 7. Сложность и эволюция человеческого общества

7.1. От полиса Аристотеля до Левиафана Гоббса. 7.2. Экономика Смита и рыночное равновесие. 7.3. Сложные экономические системы, хаос и случайность. 7.4. Сложные общественные и культурные системы. 7.5. Сложные коммуникационные сети и поиск информации. 7.6. Сложные мобильные сети и вездесущие компьютеры

Глава 8. Эпилог о будущем, науке и этике. Сложность, прогнозы и будущее

8.1. Сложность, наука и техника. 8.2. Сложность, ответственность и свобода

Примечания

Предметный указатель

Клаус Майнцер (род. в 1947 г.) – один из крупнейших в мире специалистов в области нелинейной динамики, теории самоорганизации сложных систем и искусственного интеллекта. Директор академии им. Карла фон Линде и заведующий кафедрой философии и теории науки в техническом университете Мюнхена, президент немецкого общества по исследованию сложных систем и нелинейной динамики. Член ряда престижных международных научных организаций Германии, Швейцарии, США. Автор более 20 монографий, в том числе таких получивших широкую известность книг, как «Сложность» (2008), «Творческий случай. Как в мире возникает новое?» (2007), «Симметрия и сложность. Дух и красота нелинейной науки» (2005), «Философия компьютера» (2003), «Искусственный интеллект. Основы работы разумных систем» (2003).

Настоящее издание – русский перевод его книги «Thinking in Complexity. The Computational Dynamics of Matter, Mind and Mankind», выдержавшей 5 изданий в Германии с 1994 по 2007 гг. и переведенной на китайский, японский и польский языки. Это первая книга автора, опубликованная в России.

* * *

Глава 3. Сложность и эволюция жизни

Как объяснить возникновение порядка в эволюции жизни по Дарвину? В истории философии и биологии жизнь объяснялась телеологически существованием непричинных («жизненных», витальных) сил, стремящихся к достижению определенных целей в природе. В знаменитой цитате Канта говорится, что может никогда не найтись «Ньютон, который сумел бы объяснить стебелек травы» (разд. 3.1). Больцману удалось показать, что живые организмы являются открытыми диссипативными системами, не нарушающими второе начало термодинамики: несмотря на растущие, согласно второму началу термодинамики, энтропию и беспорядок в замкнутых системах, для объяснения возникающего в жизни порядка не требуются максвелловские демоны. Тем не менее, согласно статистической интерпретации от Больцмана до Моно, возникновение жизни является лишь случайным событием, локальной космической флуктуацией на краю Вселенной (разд. 3.2).

В рамках теории сложных систем возникновение жизни не случайно, а необходимо и закономерно в духе диссипативной самоорганизации. Рост организмов и видов моделируется как возникновение макроскопических структур, вызванных нелинейными (микроскопическими) взаимодействиями молекул, клеток и пр. в фазовых переходах вдали от теплового равновесия (разд. 3.3). Даже экологические популяции можно рассматривать как сложные диссипативные системы растений и животных со взаимными нелинейными взаимодействиями и метаболизмом с окружающей их средой (разд. 3.4). Идея Спенсера о том, что жизнь определяется структурной эволюцией с возрастающей сложностью, похоже, представляется в математической форме сложными динамическими системами.

Так найден ли «Ньютон жизни»? Теория сложных динамических систем не объясняет, что такое жизнь, но предлагает модель того, как при определенных условиях могут возникнуть разные формы жизни. Таким образом, даже если нам удастся в конце концов смоделировать сложную динамику жизни, само существование жизни для нас, как и для наших предков, останется чудом.

3.1. От Фалеса до Дарвина

Прежде чем обсуждать сложные системы и биологическую эволюцию жизни, окинем взглядом прежние философские суждения о жизни [3.1]. Удивительно, что многие аспекты современной экологии напоминают ранние идеи, касающиеся самоорганизации. В интерпретации мистиков, жизнь понималась как циклическое движение от роста к распаду, от жизни к смерти. Животные и люди выживали, только приспособившись к великим природным циклам, таким как приливы и отливы, смена времен года, смена созвездий на небе, периоды плодородия и неплодородия и т.п. Сама природа представлялась большим организмом, причем считалось, что люди частично вовлечены в ее естественное развитие. Мифы первобытных религий и их ритуалы использовались для заклинания сил природы и для жизни в гармонии с естественным порядком.

Когда люди перестали воспринимать демонов и богов в качестве персонифицированных сил природы и стали задавать вопросы об основных принципах жизни, мифология уступила место натурфилософии. В VI в. до н.э. философ-досократик Фалес из Милета объявил воду фундаментальным источником жизни. По-видимому, ранние идеи об эволюции появились у Анаксимандра:

Первые живые существа возникли во влажном месте. Они были покрыты чешуей с шипами. Затем они вышли на сушу, их чешуя лопнула, и вскоре они изменили свой образ жизни... [3.2]

В вопросе о происхождении человека взгляды Анаксимандра были удивительно современными. Наблюдая продолжительный период времени, в течение которого ребенок нуждается в заботе и защите, он заключил, что если бы людям всегда требовалось такое время для взросления, то они не смогли бы выжить. Следовательно, раньше они должны были быть другими. Эмпедокл объяснил жизненные процессы с помощью смешивания и преобразования знакомых нам элементов – воды, воздуха, огня и земли.

Для современников эти естественные объяснения жизни казались интуитивно убедительными, в то же время атомизм Демокрита, со сведением жизни к взаимодействию невидимых атомов, считался довольно абстрактным учением. Даже сознание и душа человека объяснялись микроскопическими взаимодействиями крохотных материальных элементов. Таким образом, Демокрит и его ученики подвергались атакам не только за свой материализм, но и за атеизм. Платон попробовал смоделировать первоэлементы материи и их комбинации с помощью геометрических фигур и конструкций.

С современной научной точки зрения, атомизм Демокрита и математические модели Платона являлись ранними редуccionистскими программами для описания жизни. Эти философы пытались свести физиологические и биологические процессы к взаимодействиям физических элементов. Но сама идея объяснения изменчивых и развивающихся жизненных процессов на основе жестких и мертвых геометрических фигур или атомов вещества должна была казаться современникам совершенно неестественной, умозрительной и надуманной. Короче, «реальная» жизнь казалась безнадежно «сложной», а математика Евклида – слишком простой. Таким образом, математика Евклида была зарезервирована для «надлунного» мира звезд, но не применялась к «подлунному» миру земной жизни.

Именно здесь начинается аристотелевская философия жизни. Платон в духе пифагорейской традиции выводил свою концепцию из геометрии, Аристотель же формулировал свои представления о природных процессах, основываясь на том, как функционируют такие живые организмы, как растения и животные. Жизненные процессы и само течение жизни известны нам из повседневного опыта. Что же может быть более очевидным, чем сравнить и объяснить остальной, неизвестный и странный, мир через известный? Согласно Аристотелю, задачей физики является объяснение принципов и роли сложности и изменений в природе. На современном языке – Аристотель отверг атомный редукционизм, а также математизацию науки о жизни как спекулятивные и нереалистичные идеи.

Чтобы неодушевленный камень начал двигаться, его нужно толкнуть извне. В противоположность этому, жизнь была определена свойством самодвижения. В таком, аристотелевском смысле жить означало «иметь душу», которая понималась как организующая сила (энтелехия) материи (витализм). На современном языке – самоорганизация жизни интерпретировалась Аристотелем как функционально управляемый процесс, стремящийся к определенным «аттракторам» целей (телеология). Например, дерево вырастает из семечка с целью достичь своей окончательной формы. Как сказали бы сейчас, изменение форм, характеризующих рост организма, напоминает (качественную) эволюцию параметра порядка, названного Аристотелем «потенцией» данного организма. Но, конечно, главная разница, по сравнению с современными представлениями о параметрах порядка, заключается в том, что Аристотель отрицательно относился к любой редукции макроскопических форм к атомным или микроскопическим взаимодействиям.

Примечательно, что Аристотель предложил непрерывную шкалу более или менее одушевленных состояний природы (*scala naturae*) и отвергал абсолютную разницу между «живым» и «мертвым». Он всегда искал промежуточные или связующие звенья между организмами разной сложности. Например, грек, современник Аристотеля, живущий на берегу Средиземного моря с его богатыми флорой и фауной, без труда мог наблюдать такие организмы, как водяные лилии, «относительно которых трудно сказать, являются ли они животными или растениями, так как они растут из почвы, как растения, и питаются рыбами, как животные» [3.3]. Исходя из идеи непрерывности, Аристотель предложил нечто вроде биогенетического закона: «В начале плод животного развивается, как растение; при последующем развитии можно говорить о его чувствительной и думающей душе» [3.4].

Аристотель был не только теоретиком, но и одним из первых естествоиспытателей – ботаников, зоологов и физиологов. Он создал систематику растений и животных в соответствии с разными их свойствами и попытался описать физиологические жизненные процессы. Главной парадигмой жизни для него была идея самоорганизующегося организма, отвергающая любой атомный, молекулярный или неорганический редукционизм. Философия жизни Аристотеля до сих пор отбрасывает тень на развитие биологии.

В период Римской империи под влиянием аристотелевской традиции оказалась даже медицина. Врач римского императора Марка Аврелия Гален учил, что органы нашего тела полностью приспособились к своим функциям. Следуя аристотелевской телеологии, он описывал, каким образом органы пищеварения для поддержания жизненных процессов выбирают «полезные» части еды и отделяют «бесполезные». В Средние века Альберт Великий объединил аристотелевскую философию жизни с

христианством. Опираясь на телеологию Аристотеля, Альберт развил первоначальную экологию, утверждая, что люди должны жить в гармонии с природной окружающей средой. Организмы и окружающая их среда связаны друг с другом, благодаря многочисленным обменам воздухом, пищей, выделениями и прочим, и находятся в естественном балансе («равновесии»), управляемом божественным провидением. Альберт считал, что даже здоровье человеческой души зависит от здоровой окружающей среды со здоровыми воздухом, климатом, растениями и животными. Душа и тело являются не отдельными сущностями, а органичным целым.

В эпоху Возрождения Галилей осознал, что решающим условием развития современной физики является установление связи с математикой, наблюдениями, опытом и техникой. Ньютон создал новую математическую и экспериментальную философию природы, названную им «*Математические начала натуральной философии*» (1687). Геометрия и механика стали новой парадигмой естественных наук. В истории науки этот период называется становлением механистической картины мира, который представлялся не чем иным, как огромными механическими часами. Математик и философ Рене Декарт и физик Христиан Гюйгенс учили, что каждая система в природе состоит из отдельных элементов, подобных зубчатым колесикам в часах. Очевидно, что механицизм Декарта противоречит аристотелевскому холизму¹.

Даже физиология жизненных процессов должна была объясняться механистически. Например, сердце рассматривалось как насос. В целом, Декарт полагал, что движения тела животного или человека можно вывести, исходя из механического устройства органов тела, а «их, с той же необходимостью, представить как механизм часов, определяющийся положением и формой гирек и колесиков» [3.5]. Анатомия человека, изученная в проводившихся со времен Возрождения вскрытиях, была приложением аналитического метода Декарта. Согласно Декарту, чтобы объяснить функционирование системы с помощью законов геометрии и механики, каждую систему нужно разделить на основные составные части.

Итальянский физик и физиолог Борелли (1608–1679) создал так называемую ятрофизику – раннюю версию биофизики. Он перенес с физики на биологию знаменитое высказывание Галилея и решительно заявил в своей книге «О движении животных» («*De motu animalium*»):

Так как научное понимание всего этого основано на геометрии, будет правильным считать, что при создании живых организмов Бог использовал геометрию и что для понимания этих организмов нам тоже нужна геометрия; поэтому для тех, кто хочет прочесть и понять Божественный замысел животного мира, она является единственной подходящей наукой [3.6].

В то время как Декарт был убежден в бессмертии человеческой души, Ламетри, в соответствии с концепцией «человек–машина», свел человека к бездушному автомату (1747). Тела людей и животных отличались лишь уровнем сложности и организации. После создания физики телеология в духе аристотелевской традиции должна была быть исключена также из физиологии и медицины. В эпоху Просвещения механизм жизни понимался с точки зрения материалистической и атеистической философии.

¹Холизм (от *англ.* whole – целый) – противоположное редуционизму мировоззрение, рассматривающее субъекта и окружающий его мир как единое целое, не сводимое к отдельным частям. – *Прим. пер.*

Довольно занятна следующая история, рассказанная Вольтером о Ламетри: когда тот внезапно заболел после слишком обильного обеда и умер через несколько дней от несварения желудка, богобоязненным современникам было сказано, что они должны быть благодарны за то, что материалист должен умирать от собственной ненасытности.

Тем не менее некоторые аристотелевские понятия продолжали обсуждаться в эпоху механицизма. Например, Лейбниц предположил существование иерархического порядка в природе с непрерывной шкалой одушевленности от простейших строительных блоков («монад») до сложных организмов. Он попытался объединить идеи Аристотеля с физической механикой, он стал одним из пионеров теории сложных динамических систем. Рассматривая статус человека в природе, Лейбниц заявлял:

Итак, каждое органическое тело живого существа есть род божественной машины или естественного автомата, бесконечно превосходящего все искусственные автоматы [3.7].

Под воздействием идей Лейбница зоолог Бонне (1720–1793) предложил кажущуюся довольно современной иерархию природы («*Лестница устройства природы*») в зависимости от меры сложности. В качестве наиболее важного свойства материи Бонне выделял «организацию». Самой идеальной, по определению, является та организация, которая реализует наибольшее число явлений с заданным числом разных частей [3.8].

В конце XVIII в. Иммануил Кант критиковал применение ньютоновской механики к биологии: «Невозможно найти Ньютона, который объяснит стебелек травы». Главной причиной критики Канта было то, что в XVIII в. понятие машины могло быть точно сформулировано только в рамках механики Ньютона. Поэтому в знаменитой «Критике способности суждения» Кант писал, что «организм не может быть машиной, поскольку машина обладает только движущей силой: но организм обладает организующей силой... которая не может быть объяснена одним механическим движением» [3.9]. Кант также критиковал аристотелевскую телеологию и предположение о «намерениях» и «целях» в природе, считая это метафорическим антропоморфизмом. Организм нужно описывать моделью «самоорганизующегося существа».

Как и Кант, Гёте отвергал материалистически-механистическое объяснение жизни, которое защищал, например, французский энциклопедист Гольбах в книге «*Система природы*». Для Гёте механистическая модель природы «сера... как смерть... как дух без солнца» [3.10]. Он полагал, что жизнь развивается органично и гармонично, как метаморфоза растения или умственное развитие человека.

В начале XIX в., в конце жизни Гёте, на фоне кантовской критики механистического рационализма в Германии возникла романтическая философия природы. Это было возрождение органической парадигмы в противовес механицизму. Фридрих Шеллинг (1775–1854) разработал «науку жизни», предполагая, что главными свойствами живого являются организация и размножение [3.11]. Окен (1779–1851), врач и философ, описывал «планетарный процесс», в котором живые организмы объяснялись синтезом магнетизма, химизма и гальванизма. С современной точки зрения, «самоорганизация» и «самовоспроизводство» уходят корнями в понятия романтической философии природы. Однако в те дни это были лишь умозрительные рассуждения или интуитивные прозрения, так как все еще отсутствовала экспериментальная и математическая база.

Мирная картина органичного и гармоничного развития была вскоре разрушена биологией. Теория эволюции Чарльза Дарвина не нуждалась для объяснения жизни в телеологических силах. «Выживание самых приспособленных» (Герберт Спенсер) зависит, главным образом, от отбора по отношению к определенным условиям окружающей среды (например, питание, климат) [3.12]. Дарвин был вдохновлен некоторыми идеями Ламарка (1744–1829), например, идеей наследования приобретенных признаков. Дарвиновская эволюция обеспечивается (генетическим) многообразием видов, возникающим благодаря мутациям, и естественным отбором, ведущими развитие в определенном направлении. Спенсер учил, что жизнь развивается в сторону большей сложности, контролируемой отбором. Многие современники рассматривали дарвинизм не только как естественнонаучную теорию. Казалось, что теория Дарвина описывает сценарий жизни, во многом аналогичный развитию общества в XIX в. «Отбор самых приспособленных» стал лозунгом политического течения «социального дарвинизма».

Во второй половине XIX в. Геккель обобщил теорию эволюции жизни от одноклеточных организмов к человеку. Но в те времена теорию эволюции нельзя было даже сравнивать с очень хорошо подтвержденными физическими и химическими теориями. Дарвин мог только заниматься сравнительным изучением морфологии. Он описывал изменчивость видов и естественный отбор, но не мог объяснить это математизированными и проверяемыми законами, как в физике. Закон наследственности Менделя (1865) был неизвестен ни Дарвину, ни многим его современникам. Тем не менее один из великих физиков XIX в. Людвиг Больцман, окидывая взглядом уходящий век, заявил:

Если кто-то спросит меня, правда ли, что по моему глубокому убеждению наш век будет когда-нибудь назван веком железа, веком пара, или веком электричества, то я отвечу без промедления, что его назовут веком Дарвина [3.13].