

ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ: ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ

DOI: 10.17805/zpu.2021.1.5

Самоорганизация, нелинейность и теория научных революций

Г. Г. Малинецкий

Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша
Московский гуманитарный университет

Рассматривается с позиций научной стратегии развитие теории самоорганизации, или синергетики. Общее понимание важности этого междисциплинарного подхода сейчас не вызывает сомнений. Сегодня его следует применять в рамках, требуемых решением ряда фундаментальных научных проблем, разработкой многих высоких технологий и новых форм социальной самоорганизации. Причина этого связана во многом с тремя происходящими революциями.

Первая революция является гуманитарно-технологической. Она связана с переходом от индустриальной к постиндустриальной фазе развития цивилизации. В последней фазе особое значение приобретают самоорганизация и гуманитарные технологии.

Вторая, научная революция связана с переходом от дисциплинарных к междисциплинарным подходам, от неклассики к постнеклассике, к существенному изменению субъекта исследования. Эту революцию с полным основанием можно назвать синергетической.

Третья, методологическая научная революция связана с переходом от ньютоновской парадигмы и линейных математических моделей к другим подходам.

Революции расширяют поле выбора, дают альтернативные траектории развития. Синергетика сегодня может оказаться важным инструментом для выбора траектории в будущее. Императивы ее развития в контексте этих революций и рассматриваются в статье.

Ключевые слова: самоорганизация; синергетика; научные революции; гуманитарно-технологическая революция; постиндустриальная реальность; переход от неклассики к постнеклассике; синергетическая революция; ньютоновская парадигма; нелинейность; методологическая революция

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Нет ничего сильнее идеи, время которой пришло!

В. Гюго

История науки показывает, что решение или даже постановка многих фундаментальных проблем происходили намного позже, чем сформировались необходимые предпосылки для этого. В еще большей мере это относится и к технологиям. Анализ и осмысление такого запаздывания заслуживают внимания. В одних случаях они показывают, что научное и педагогическое сообщество просто недо-

оценивало важность проблемы. В других — принципиальную трудность перехода от мировоззренческих, философских представлений к конкретному научному анализу и созданию связанных с этим инструментов. В-третьих, это иллюстрирует нашу недооценку принципиальных событий, происходящих в «долгом времени».

В качестве наглядного примера можно привести теорию вероятностей. Сегодня мы считаем ее фундаментальной математической наукой, описывающей явления природы, а также ряд технологий и социально-экономических процессов. Однако путь к этому оказался удивительно долгим, несмотря на то что основные объекты теории — карты и игральные кости много тысяч лет были перед глазами.

В XV в. друг и соратник Леонардо-да-Винчи Лука Пачоли в математической энциклопедии ставил и решал (в рамках нынешних вероятностных представлений неверно) задачу, описывающую предполагаемый результат бросания костей.

Изменение отношения к опыту и технологиям, которое произошло в XVII в., по сути, и способствовало рождению теории. Эволюция мировоззрения привела и к другой постановке задач, и к другим инструментам для их решения.

Блез Паскаль и Пьер Ферма в 1654 г. в серии писем обсудили задачу — сколько раз нужно бросить две кости, чтобы было выгодно ставить на одновременное выпадение двух шестерок. Этой задачей и дискуссией заинтересовался выдающийся математик и инженер Христиан Гюйгенс. Он написал книгу «О расчетах в азартных играх» (1657) — первый трактат о теории вероятностей.

В классическом смысле, начиная с карт и костей, вероятность выступает как наша «плата за незнание», за невозможность или нежелание измерить состояние изучаемой системы. Если бы мы дали себе этот труд, то все прекрасно должно было бы описываться в рамках ньютоновской механики. Существует ли *истинная* вероятность, не зависящая от нашего способа измерения?

Огромная дискуссия о «скрытых параметрах» в квантовой механике, не связанных со случайностью, в первой трети XX в. позволила дать ответ на этот вопрос. Действительно, истинная вероятность является неотъемлемой чертой процессов, разворачивающихся на микроскопических масштабах. Кроме того, в отличие от классической механики, наши измерения могут менять вероятность процессов на этом уровне (Фейнман, Лейтон, Сэндс, 1966).

Вероятностные представления, вошедшие сейчас даже в программы средних школ, изменили наше мышление. И вновь встал вопрос, в каких случаях и насколько это оправданно. Нассима Талеба, представившего ответ (давно известный и математикам, и специалистам по теории самоорганизации) в виде ярких, наглядных, парадоксальных метафор (Талеб, 2010), в ряде сборников относят к 50 самым выдающимся философам во всей истории человечества (Батлер-Боудон, 2014).

Рассмотренный пример связан с *самоорганизацией*. Почему исследование этого важнейшего явления, пронизывающего нашу реальность и сравнимого по значению с такими сущностями, как движение, пространство, время и многие другие, формирующее наше мировоззрение, началось так поздно — лишь со середины XX в.? Почему оно до сих пор во многом оказывается вне сферы общественного сознания, внимания научного сообщества и образовательных программ?

Формирование климата — результат взаимодействия множества процессов самоорганизации. Само существование биологических клеток — основы всего живого — тоже результат согласованного взаимодействия множества сложных процессов. И этот ряд явлений, связанных с самоорганизацией в мире природы, можно продолжать и продолжать.

Огромна их роль в обществе. Формирование и работа рынков — удивительный результат социально-экономической самоорганизации. Сюда же относится и возникновение логистических цепочек и воспроизводственных контуров. Социология, политология, психология, история являются ареной процессов самоорганизации, разворачивающихся на разных временах и масштабах.

Почему же интерес к теории самоорганизации — синергетике — гораздо ниже, чем она того заслуживает? Простое и оригинальное объяснение этого, связанное с самоорганизацией, предложил замечательный ученый Д. С. Чернавский. Одним из результатов самоорганизации в научном сообществе является формирование кланов ученых.

Однако каждый клан должен в конкуренции с другими доказывать, что он занимает важное, полезное дело, над которым не работают другие. Для этого ему естественно «приватизировать» часть информационного пространства и активно развивать ее. Эта часть для него является «ценной информацией», дающей возможность существовать и развиваться этому клану. Как показывает построенная Д. С. Чернавским математическая модель и «здравый смысл», в конкуренции кланов данный будет защищать свою ценную информацию и доказывать, что появившееся новое знание гроша ломаного не стоит по сравнению с тем, чем они занимаются (Чернавский, 2017). Возможно, мы сейчас находимся в похожей ситуации в области междисциплинарных исследований, в том, что связано с самоорганизацией, и, в частности, с синергетикой. Это привлекательное «тактическое» объяснение.

Однако мы посмотрим на эту проблему в более широком «стратегическом плане». И тогда картина предстанет более глубокой и интересной. Происходящее, коротко говоря, определяется взаимодействием трех факторов. Первый — изменение фазы развития цивилизации и приход той фазы, в которой исследования самоорганизации приобретают ключевое значение. Второй — глубокая методологическая научная революция, связанная с переходом от изучения элементарных сущностей, от анализа к исследованию сложных систем и решению проблем синтеза. Третья — необходимость нового инструмента исследования, связанного с изучением, условно говоря, «нелинейного мира». Эти три фактора мы и обсудим более подробно в данной статье.

ПОСТИНДУСТРИАЛЬНЫЙ ВЫЗОВ

Вы никогда не сумеете решить возникшую проблему, если сохраните то же мышление и тот же подход, который привел вас к этой проблеме.

А. Эйнштейн

Поскольку речь идет о науке и технологиях, то естественно опираться на социальную теорию, имеющую дело с этим кругом проблем. Такой теорией, в частности, является концепция постиндустриального развития Даниела Белла. Этот ученый около полувека назад, развивая марксистский подход, выдвинул так называемый *осевой принцип*. В традиционном моделировании при описании сложного процесса ученые стараются спроецировать его на ту или иную ось, упрощая и выделяя наиболее важные причинно-следственные связи.

Белл в качестве оси выбрал роль и место науки и технологий в развитии общества. При этом история делится на традиционную (до XX в.), индустриальную (XX в.) и постиндустриальную фазу развития, в которую страны-лидеры в сфере технологий вступают в настоящее время.

Суть теории Белла и социальный прогноз, который он делает, сводятся к следующему: «На протяжении большей части человеческой истории *реальностью была природа*:

и в поэзии, и в воображении люди пытались соотнести свое “я” с окружающим миром. Затем *реальностью стала техника*, инструменты и предметы, сделанные человеком, однако получившие независимое существование вне его “я”, в овеществленном мире. В настоящее время *реальность является в первую очередь социальным миром* — не природным, не вещественным, а исключительно человеческим — воспринимаемым через отражение своего “я” в других людях...» (Белл, 2004: 66; курсив источника. — Г. М.).

Несколько десятилетий этот прогноз рассматривался как одна из возможных социальных альтернатив. Однако процессы, которые он предсказывал, в последнее время многократно ускорились в связи с массовым использованием компьютеров в быту. Экономическая роль вычислительной техники, как показывают исследования, оказалась довольно скромной по сравнению с ожиданиями (разумеется, если не рассматривать военных и ряда научных приложений). Однако ее социальную роль трудно переоценить. Прежде всего, она состоит в том, что изменился тип самоорганизации. После каждого родительского собрания мамы обмениваются десятками, а то и сотнями сообщений. У детей в российских школах нельзя отбирать мобильники. Это приводит к «распараллеливанию внимания» — дети одновременно немного учатся, немного играют, немного общаются. Формируется клиповое мышление. Легкость передачи фотографий и коротких фильмов сделала многих «немного репортерами». С другой стороны, он сделал миллиарды людей «владельцами» гигантских библиотек, коллекций музыки и фильмов. Большинство из них просто некому читать, смотреть и слушать.

Интернет вместе со СМИ сделал социальное, региональное, цивилизационное неравенство очевидным. Поэтому сейчас миллиарды людей считают, что они «заслуживают большего».

Масштаб, скорость и глубина происходящих изменений позволяют говорить о разворачивающейся у нас на глазах *гуманитарно-технологической революции*. Теория этого процесса, формирующего будущее, активно разрабатывается в настоящее время (Иванов, Малинецкий, 2020). Катализатором происходящих перемен стала тотальная компьютеризация реальности.

Очевидно, каждой фазе развития цивилизации соответствуют свои научные императивы. В традиционной фазе, начиная с великого философа и ученого Фалеса, люди интересовались первоосновами, стремились выяснить, «из чего все состоит». В отсутствие содержательных экспериментов, которые позволили бы ответить на этот вопрос, античные философы перебрали множество разных ответов. Фалес (VI в. до н. э.) полагал, что вода является материальной основой всех вещей. Анаксимен (VI в. до н. э.) связывал первоматерию с воздухом, Гераклит (540–480-е гг. до н. э.) — с огнем. Один из основоположников квантовой механики В. Гейзенберг писал: «Если заменить слово “огонь” словом “энергия”, то почти в точности высказывания Гераклита можно считать высказываниями современной физики» (Владимиров, 2002: 37).

Эмпедокл (490–430 гг. до н. э.) рассматривал в качестве первоэлементов землю, воду, воздух, огонь. В этом подходе можно увидеть прообразы химических элементов, из которых состоят все вещества во вселенной. Демокрит (460–370 гг. до н. э.) мыслил реальность как совокупность атомов и разделяющей их пустоты.

Подход Демокрита произвел очень большое впечатление на Платона. Он предлагал сжечь все труды коллеги. Пифагор (VI в. до н. э.) не отделял чисел от вещей. Идеальное (числа) и материальное (тела) у пифагорейцев представляли собой неразрывное целое (там же).

И этот взгляд имеет продолжение в современной фундаментальной науке. Математик и астрофизик М. Тегмарк пишет: «Гипотеза математической Вселенной

предполагает, что математическое существование эквивалентно физическому. Это означает, что все структуры, которые существуют математически, существуют и физически...» (Тегмарк, 2017: 498–499).

Другими словами, со времен Античности фундаментальная наука выясняет, что является первоосновой мира, ее мельчайшими составляющими, и какому пространству они принадлежат. Естественно, при таком взгляде на первом месте оказывается физика. По мысли одного из создателей квантовой механики Евгения Вигнера, только физика и психология претендуют на описание реальности во всей полноте (Вигнер, 1971).

Как и во времена Античности, естественнонаучная культура сталкивается с серьезными проблемами. Мы «слишком велики» и «живем слишком мало». Процессы, которые исследуют на современных ускорителях, относятся к пространственным масштабам, намного меньшим тех, с которыми мы имеем дело.

В 1950 г. Вигнер писал: «Хотя об этом не принято говорить вслух, мы все знаем, что с общечеловеческой точки зрения цели нашей науки намного скромнее, чем цели, например, древнегреческой науки, и что наша наука с большим успехом увеличивает нашу мощь, чем наделяет нас знаниями, представляющими чисто человеческой интерес... Нам не остается ничего другого, как молча признать, что наше мышление не позволяет нам прийти к удовлетворительной картине мира, которую тщетно мечтали построить с помощью чистых рассуждений еще древние греки» (там же). Тогда многим ученым это казалось неоправданным пессимизмом. Однако через 70 лет активного развития научной отрасли приходится согласиться с этой сдержанной оценкой перспектив классических направлений науки, родившихся в традиционном обществе.

Концепция самоорганизации самым тесным образом связана с теориями взаимодействия, которые ученые всерьез начали рассматривать только в XX в., а также с идеями развития, эволюции. Латинское слово «эволюция» (*evolutio*) первоначально описывало разворачивание свитка, на котором написана книга. И лишь во второй половине XIX в. его стали связывать с дарвиновской теорией происхождения биологических видов. Напомним, что книга Чарльза Дарвина «Происхождение видов путем естественного отбора, или Сохранение благоприятствующих пород в борьбе за жизнь» вышла только в 1859 г....

Индустриальную эпоху естественно связывать с промышленными революциями. Их хронику можно рассматривать на основе теории основателя Давосского экономического форума К. Шваба (Шваб, 2017). Первая промышленная революция (1760–1840-е гг.) ознаменована строительством железных дорог, изобретением парового двигателя, развитием механического производства. Вторая (конец XIX — начало XX в.) — привела к появлению массового производства, распространению электричества и внедрению конвейеров. Третья промышленная революция, которую часто называют цифровой, началась в 1960-х гг. и принесла производство полупроводников, создание больших вычислительных машин, в 1970–1980-х гг. — персональных компьютеров и, наконец, Интернет в 1990-х гг.

По мысли Шваба, сейчас началась четвертая промышленная революция: «Ее основные черты — это “вездесущий и мобильный Интернет, миниатюрные производственные устройства (которые постоянно дешевеют), искусственный интеллект и обучающиеся машины”» (там же: 16). Впрочем, цифровые революции с большой нагрузкой можно назвать промышленными.

В индустриальную эпоху от науки общество стало ждать не столько истины, сколько военного могущества и комфорта. Происходившее можно сравнить с эрой

Великих географических открытий. Выдающиеся путешественники открыли континенты, задача следующих поколений — их осваивать.

Важнейшими технологиями индустриальной фазы становятся производственные, военные, управленческие. Огромные успехи связаны с *организацией, управлением, связью*.

Поэтому и первый междисциплинарный подход был назван *кибернетикой* и был призван выяснить общие закономерности процессов управления и передачи информации в машинах, живых организмах и человеческом обществе. Термин для этого подхода был предложен в лаборатории Норберта Винера от греческого *kybernetike* — «искусство кораблевождения».

Однако постиндустриальная эпоха приводит к «пересдаче карт» в развитии науки, к тому, что на первый план выходит исследование людей и коллективов. Век машин ответил на вопрос «Как?», а сейчас на первый план выходит вопрос «Что?» При этом становится ясно, что возможности управлять, оперировать сложными системами как «черным ящиком» весьма ограничены. Управлять обществом и создавать новую технику все чаще приходится, учитывая возможности человека. В самом деле, человек может воспринимать не более 5–7 медленно меняющихся характеристик объекта и учесть столько же факторов, принимая решение. Он может активно, творчески работать лишь с 5–7 людьми. С остальными стандартно или опосредованно. Вместе с тем создание современного самолета требует определения более 1500 характеристик... Искусственный интеллект прекрасно играет в шахматы и рисует шаржи, но бессилён при решении простейших проблем, с которыми мы ежедневно сталкиваемся.

Приходится выходить на другой уровень. Наступает время самоорганизации.

Смену фаз в развитии цивилизации наглядно показывают цели войн. В традиционной фазе битвы шли за обладание территориями и подчинение наибольшего числа людей. В индустриальные времена на первый план выходят производственные контуры, рынки сбыта, промышленные технологии. В постиндустриальной реальности ключевое значение приобретают социальная самоорганизация, информационное пространство, люди, которые могут придумывать новое. Американские стратеги предложили концепцию войн четвертого поколения, направленных на изменение и реформативное изменение механизмов самоорганизации в обществе противника (Фридман, 2018).

САМООРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ РЕВОЛЮЦИЯ

Под парадигмами я подразумеваю признанные всеми научные достижения, которые в течение определенного времени дают научному сообществу модель постановки проблем и их решений.

Т. Кун

Американского историка и философа науки Томаса Куна (1922–1996) считают одним из самых влиятельных специалистов в этой области в XX в. Рассматривая физику, и прежде всего переход от птолемеевой картины мира, ставившей Землю в центр Вселенной и дававшей координаты планет на небосводе, к картине Коперника, Кун предложил новую картину развития науки (Кун, 2009).

Традиционно считалось, что происходит со временем «кумулятивный рост знания». В ходе работы ученых рассматривается все больше деталей, усложняющих факторов, со все большей точностью устанавливаются параметры. В этой картине развития науки скачков не бывает.

Кун увидел другую картину. В развитии областей, которые он анализировал, формировались представления, которые он назвал *парадигмами*. Само слово происходит от греческого, означающего «пример, модель, образец». Парадигма обладает двумя чертами. Во-первых, это беспрецедентное достижение, определяющее уровень последующих работ в данной области. Во-вторых, парадигма предполагает развитие и своеобразный «генератор головоломок», которые ученые различного уровня в течение разного времени будут решать, развивая и уточняя этот подход. Эту деятельность Кун назвал *нормальной наукой*. Именно на нормальную науку ориентированы почти все исследования, которые проводятся «по грантам», — эксперты должны оценить, в какой мере предложения участников гранта «вкладываются» в уже имеющуюся у них картину.

Однако со временем новые данные или изучаемые явления начинают настолько противоречить имеющейся парадигме, что их уже не удастся игнорировать, «замести под ковер». И тогда начинается поиск новых подходов, один из которых может определить следующую парадигму. Переход от одной парадигмы к другой Кун назвал *научной революцией*. После нее вновь начинается разработка новой парадигмы в процессе исследований в рамках нормальной науки. При этом новая парадигма не только позволяет разрешить стоявшие проблемы, но и часто дает более простые способы решения прежних задач. То, что казалось случайным совпадением, оказывается закономерностью. Многое, прежде казавшееся сложным, теперь становится простым. И напротив, казавшееся прежде ясным и очевидным на новом уровне понимания оказывается сложным.

Куновская картина развития науки, по сути, является конкретизацией гегелевского закона диалектики (Рассел, 2017). В соответствии с последним количественные изменения (получаемые в ходе развития нормальной науки) приводят в конце концов к появлению нового качества (следующей парадигмы).

Астрономия дает хрестоматийный пример, показывающий влияние мировоззрения, философского осмысления на формирование новой парадигмы.

Геоцентрическую систему Вселенной приписывают Платону, оформил ее Аристотель, а ее математическое обоснование представил Евклид Книдский. Этот подход прекрасно согласуется с мировоззренческим представлением о том, что Земля является центром мира и поэтому достойна особого внимания богов.

Проблема в том, что движения планет на небосводе достаточно сложны, ряду из них соответствуют так называемые попятные движения. Теория нуждается в уточнении. Его предложил во II в. Евдокс, введя сложную систему связанных сфер в геоцентрическую систему. Клавдий Птолемей (около 100 г. — 170 г.) считал, что в центре по-прежнему находится Земля, но звезды, планеты и Солнце вращаются вокруг точки, находящейся вне Земли, так называемого экванта. Ценой больших технических ухищрений (для Солнца, Луны и каждой планеты) Птолемей намного увеличил точность прогнозов. В выдающейся работе Птолемея «Альмагест» космологическая модель строилась на основе 39 окружностей.

В ходе следующих столетий несоответствия между данными наблюдений и результатами теории Птолемея становилась все более очевидным. Не менее важно, что наступило Возрождение с его изменением взгляда на место человека в мире. Современниками Коперника были Макиавелли, Тициан, Рафаэль, Колумб, Магеллан, Лютер.

В 1507 г. Коперник написал 40-страничный трактат, ныне известный как «Малый комментарий о гипотезах, относящихся к небесным движениям», обосновывающий гелиоцентрическую теорию и содержащий 7 аксиом: «После ознакомления с этой

проблемой, сложной и почти неразрешимой, мне показалось, что для ее решения можно использовать более простые и более адекватные построения, если принять несколько постулатов» (Диас, 2015: 94–95). Среди них следующие:

1. Не существует одного центра для всех небесных орбит или сфер.
2. Центр Земли не является центром мира, но только центром тяготения и центром лунной орбиты.
3. Все сферы движутся вокруг Солнца, расположенного как бы в середине всего, так что около Солнца находится центр мира (Диас, 2015).

Влияние этой астрономической теории на мировоззрение трудно переоценить. Земля оказывается лишь одной из планет, и поэтому, вероятно, не все внимание богов должно быть обращено к ней.

Идеи Куна развивались в нескольких направлениях. Во второй половине XX в. все большую роль в науке начали играть междисциплинарные подходы, а с ними и другие типы научных революций. В частности, в работах философа В. С. Степина, развивающих куновскую проблематику, была построена теория *глобальных научных революций*. Такие революции происходят тогда, когда достижения одной научной дисциплины заставляют пересматривать основы другой. Наглядный пример связан с развитием химии. Построение физической теории — квантовой механики — раскрыло сущность и механизм химических превращений. Это позволило понять не только природу периодической системы элементов Д. И. Менделеева — «химический код вселенной», но и вывело всю химию на более высокий уровень, породив одновременно с этим множество направлений — квантовая химия, вычислительная химия и т. д.

Развитие теории научных революций привело В. С. Степина к теории исторических типов научной рациональности. Эти типы отличаются

- особенностью системной организации объектов, изучаемых наукой;
- системой идеалов и норм исследования;
- философско-методологической «рефлексией над познавательной деятельностью, обеспечивающей включение научных знаний в культуру соответствующей исторической эпохи» (Степин, 2018: 241).

Изменение типов науки и рациональности можно проследить на примере триады, характеризующей научное исследование: *субъект — средства — объект*.

Классическая наука сосредоточивает внимание на объекте, вынося за скобки средства исследования и субъекта, который им занимается. Классический пример — ньютоновская механика, в которой предполагается, что при правильных измерениях мы должны получать одни и те же результаты.

Неклассическая наука рассматривает изучаемые объекты с учетом тех средств, которые мы используем для исследования. Очевидные примеры здесь — теория относительности и квантовая механика. В обеих теориях принципиальна роль *наблюдателя*. В современных космологических теориях предполагается, что наблюдение многого в нашей вселенной принципиально недоступно для нас, и вводится понятие *мультиверсума* — множества вселенных (Вигнер, 1971).

Ситуацию в квантовой механике с удивительной пронизательностью описал Джордж Беркли (1685–1753): «Он утверждал, что материальные объекты существуют, только будучи воспринимаемыми. На возражения, что в таком случае дерево, например, перестало бы существовать, если бы никто не смотрел на него, он отвечал, что Бог воспринимает все, если бы не существовало Бога, тогда то, что мы считаем материальными объектами, имело бы скачкообразную жизнь, внезапно возникая в тот момент, когда мы смотрели на них...» (Рассел, 2017: 243).

И действительно, в странном квантовом мире координату или импульс микрочастицы в один момент времени мы «создаем» именно в тот момент, когда измеряем то или другое. Причем в силу соотношения неопределенностей мы не можем узнать одновременно обе величины.

Концепция наблюдателя активно развивается. Например, философ В. И. Аршинов предложил концепцию «наблюдателя сложности» и поставил вопрос, насколько сложен должен быть такой наблюдатель (Аршинов, 2011). Суть проблемы можно пояснить классическим примером из статистической механики. Представим себе ось, размеченную точками через равные промежутки. Частица, находящаяся вначале в точке $x = 0$, может двигаться вдоль этой оси, смещаясь каждую секунду вправо или влево с вероятностью $1/2$.

Для наблюдателя, интересующегося координатой частицы, ее движение оказывается весьма сложным — нам неясно, где же она окажется в следующий момент времени.

Другой наблюдатель будет интересоваться не данной конкретной частицей, а типичной, случайной частицей, двигающейся по этим правилам. Он может задать себе вопрос, на какое расстояние d_N такая частица в среднем удалится от начальной точки, и после некоторых выкладок обнаружит $d_N = \sqrt{N}$. Здесь логика совсем другая. Мы берем большое множество (ансамбль) объектов и выясняем, насколько далеко уйдет «средняя» частица от начала координат.

Постнеклассические науки рассматривают и объект исследования, и применяемые инструменты, и субъект, занимающийся изучением объекта. Вопрос об отношении субъекта и объекта красной нитью проходит через всю историю философии. Например, Декарт выделил ум и материю и задавал вопрос, как же на сознание влияет происходящее с телом, и давал на него ответ: «Этот ответ известен как теория “двух часов”. Допустим, что у вас двое часов и они ходят синхронно: всякий раз, когда первые показывают час, другие отбивают час так, что, если вы видите одни часы и слышите другие, вы подумали бы, что первые заставляют отбивать вторые. Так же обстоит дело с умом и телом» (Рассел, 2017: 113).

Великий Лейбниц предлагал еще более сложную картину. Он разбивал мир на монады, которые не могут взаимодействовать между собой. По его мысли, монады «не имеют окон». «Лейбниц считал, что каждая монада отражает Вселенную не потому, что Вселенная воздействует на нее, но потому, что Бог дал ей такую природу, которая самопроизвольно порождает этот результат», — пишет Рассел (там же: 147). Другими словами, мы имеем здесь дело с бесконечным числом часов и очень сложной системой. Ее совершенство и организацию Лейбниц считал одним из доказательств существования Бога.

Материалисты рассматривали субъективное как отражение объективного. Успехи науки в конце XIX в. породили представление о наших неограниченных возможностях. Давид Гильберт на Парижском математическом конгрессе в 1900 г. поставил 23 фундаментальные проблемы и завершил свое вступление словами: «Мы должны знать, мы будем знать».

Однако вскоре принципиальные трудности возникли в математике — в «науке о возможных мирах» (как определил ее Лейбниц). Эти трудности оказались связаны с бесконечными множествами. Философ и математик Бертран Рассел обратил внимание Готлоба Фреге на «странные множества» (переосмысливая парадигмы античных мыслителей). В простейшем варианте этот парадокс, «взорвавший классическую математику», звучит так: «Брадобрей бреет всех, кто не бреется сам». И положительный, и

отрицательный ответ одинаково плохи и приводят к противоречию. Один из подходов, предлагаемых интуиционистами, состоит в том, что таких брадобреев и подобных множеств просто не существует. Но другие математики настаивают на иных принципах.

В зависимости от того, как обходиться с этим парадоксом, классическая математика разбилась на несколько направлений. Во многих других научных дисциплинах также возникли принципиальные трудности.

Обсуждая постнеклассику, обратим внимание только на две ее принципиальные черты. В XX в. лишь две научные сверхдержавы вели исследования по всему спектру исследований в разных дисциплинах. Это СССР и США. Сейчас это невозможно — граница выясненного с непознанным оказалась слишком большой. В отличие от прошлых времен мы не можем «к каждой интересной проблеме поставить по исследователю». Проблем слишком много. Поэтому приходится выбирать самые важные и интересные задачи не для самих ученых, а для субъекта, ради которого ведется поиск, — для общества. Такое целеполагание и своеобразное «научное редактирование» пространства поисков и требуют междисциплинарных подходов. Принципиальна *самоорганизация научного сообщества вокруг действительно важных проблем*. Именно это требует междисциплинарных подходов, построения моста между естественнонаучной и гуманитарной культурами.

Евгений Вигнер, рассуждая о пределах науки, пишет о «сдвигах второго рода», когда на имеющийся «слой» научных представлений накладывается следующий уточняющий и обобщающий «слой»: «Признание неадекватности понятий десятого слоя и замена их более точными понятиями одиннадцатого слоя будут гораздо менее важным событием, чем открытие теории относительности... Нетрудно представить себе, что наступит и такое время, когда изучающий физику утратит интерес или будет попросту не в силах пробиваться сквозь уже накопившиеся слои к переднему фронту науки, к самостоятельному исследованию» (Вигнер, 1971: 174, 175).

Но при таком сдвиге завершится время развития фундаментальной науки, затем это отразится на создаваемых и используемых технологиях и начнется откат. Выход один — надо учить быстрее, лучше и тому, чему нужно.

Наибольший потенциал для этого и наиболее значительные достижения в решении двух обозначенных проблем имеют междисциплинарные подходы, и в частности синергетика. Поскольку принципиальное значение этих проблем начало осознаваться сравнительно недавно, то и синергетика является достаточно молодой наукой.

Новая научная реальность и «междисциплинарная революция», связанная с развитием синергетики, осознается учеными, и философами. В частности, В. С. Степин пишет: «Синергетика по своим онтологическим и методологическим принципам предстает в качестве одной из важнейших экземплификаций постнеклассической рациональности. Ключевые понятия синергетики — “сложность” (complexity) и “самоорганизация” — диктуют главные признаки сложных систем — их открытость, процессуальность, нередуцируемость системной целостности к свойствам элементов. Теория динамического хаоса применяется при описании как воспроизводства сложных систем в их взаимодействии со средой (гомеостаз), так и эволюционных процессов, связанных с усложнением системы, формированием в ней новых уровней организации, переходом от более простых к более сложным видам гомеостаза» (Степин, 2018: 253–254). Постнеклассический подход к науке сейчас с полным правом можно было бы назвать синергетическим.

Масштабные замыслы и новые проблемы требуют новых инструментов, которые также стоит обсудить.

НЕЛИНЕЙНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ

Легко может показаться, что эмпирический философ — раб исследуемого материала, но чистый математик, как и музыкант, — свободный творец собственного мира упорядоченной красоты.

Б. Рассел

Следуя логике предыдущего пункта, можно наряду с куновскими научными революциями, со степинскими глобальными научными революциями ввести понятие *методологических научных революций*. Это особенно уместно, поскольку одна такая революция, которую можно было бы назвать *освоением нелинейности*, и происходит в настоящее время.

Синергетика представляет собой подход, лежащий на пересечении сфер предметного знания, философской рефлексии и математического моделирования. Можно сказать, что *синергетика мыслит на языке математических моделей* и с их помощью находит внутреннее единство в тех явлениях и процессах из разных научных дисциплин, которые их изучают. Молодость синергетики связана с тем, что соответствующие математические инструменты появились сравнительно недавно.

Методологическая научная революция в описании реальности математическими средствами была совершена в XVII в. Ньютоном, его коллегами и последователями. Ее идея очень проста и связана с тремя шагами. Во-первых, выбирается набор чисел (x_1, x_2, \dots, x_p) , которые полностью характеризуют состояние системы. Во-вторых, рассматривается все возможное пространство состояний системы (фазовое пространство). В-третьих, ищутся уравнения, связывающие скорости изменения величины x_i с самими величинами (x_1, x_2, \dots, x_p) :

$$\frac{dx_i}{dt} = f_i(x_1, x_2, x_p), \quad 1 \leq i \leq p. \quad (1)$$

Все важнейшие успехи теоретической физики, прикладной математики и естествознания в целом связаны с реализацией этого ньютоновского подхода в разных областях.

То, что студентам сегодня кажется само собой разумеющимся, в XVII в. было очень смелым шагом. Это стоит пояснить.

При построении дифференциального исчисления используются величины, называемые бесконечно малыми $O(\Delta x)$, $O(\Delta x^2)$ и т. д. При этом бесконечно малая $O(\Delta x)$, умноженная на любое действительное число C , остается бесконечно малой того же порядка $O(\Delta x)$. Но чисел, которые могли бы играть роль бесконечно малых $O(\Delta x)$, на числовой оси нет. Как бы ни было мало число, найдется коэффициент C , при умножении на который оно превратится в любое другое. Поэтому закономерен ехидный вопрос философа Беркли, не являются ли бесконечно малые теньями безвременно усопших конечных величин.

Ньютон полагал, что мир состоит из атомов (да и сейчас в учебниках фигурируют «физически бесконечно малые», например, кубики, гораздо большие, чем атом, но гораздо меньшие, чем длина сосуда). Поэтому описание с помощью непрерывных (не имеющих разрывов) и гладких (имеющих всюду касательные) функции $x_i(t)$, $i = 1, \dots, p$ — смелое приближение.

Кроме того, в пространстве непрерывных функций мера множества гладких функций — ноль, т. е. их бесконечно мало! Поэтому представление, что мы можем все описывать с помощью гладких функций, — совершенно не очевидное предположение. Сейчас, когда мы знаем удивительно красивые и негладкие функции — фракталы — и множество систем, которые такими функциями описываются, этот шаг представляется еще более смелым и неочевидным (Мандельброт, 2010).

Уравнение (1) имеет множество решений. Чтобы выбрать одно из них, надо задать состояние системы в начальный момент времени $t = 0$:

$$x_1(0) = \tilde{x}_1, \quad x_2(0) = \tilde{x}_2, \quad \dots \quad x_p(0) = \tilde{x}_p, \quad (2)$$

где $\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_p$ — числа, задающие это состояние (начальные условия). Отсюда следует смелый вывод — все будущее состояние системы определяется тем, что есть сейчас.

Хотелось бы иметь немного «важных уравнений», выражающих законы природы, и начальные условия (2), отражающие свойства конкретной системы. По счастью, часто все обстоит именно таким образом.

Победителя не судят — подход Ньютона, несмотря на множество неочевидных шагов, дал прекрасные результаты.

Но, как правило, нас во многих случаях интересуют процессы, развивающиеся и в пространстве, и во времени. Инструмент для их описания был предложен в середине XVIII в. Леонардом Эйлером, развившим ньютоновскую парадигму.

Это уравнения, в которые входят производные по разным переменным (их так и называют — уравнения с частными производными), являются очень сложным инструментом по сравнению с системой (1). Однако тут ученых ждет большая удача — эти уравнения оказываются *линейны*.

Линейный оператор L , действующий на элементы u и v , обладает двумя свойствами:

$$L(\alpha u) = \alpha Lu, \quad L(u + v) = Lu + Lv, \quad (3)$$

где α — некоторое число.

Оба свойства прекрасно соответствуют нашей интуиции. Первое равенство означает, что если мы в α раз увеличим воздействия, то во столько же раз увеличится эффект. Второе говорит, что результат воздействия u и v по отдельности будет суммой результатов воздействия u и v . Это именно то, что утверждает известный из школы *принцип суперпозиции* (наложения).

Удивительным свойством линейности обладают уравнения акустики, электродинамики, теории упругости, многих других классических теорий (за исключением гидродинамики). На вопрос, чем же занимаются физики-теоретики, Ричард Фейнман отвечал, что половину времени они тратят на решение линейных уравнений. Действительно, мир природы устроен именно так.

Линейными являются уравнения двух главных теорий неклассической науки — специальной теории относительности и квантовой механики. На памятнике Шредингеру в Вене начертано основное уравнение последней теории $E\psi = H\psi$.

В этом уравнении, дающем ключ к происходящему в микромире, E и H — линейные операторы.

Еще одно прекрасное свойство линейности состоит в том, что сложную линейную задачу можно разбить на множество простейших, не связанных друг с другом

линейных уравнений. Множество их решений очень просто. Это либо экспоненциальный рост или падение со временем $w = \exp(\lambda t)$, либо периодические колебания $w = \sin(\mu t)$, где параметры λ и μ — некоторые числа либо произведение выписанных функций (Малинецкий, 2015).

Влияние всех этих свойств на мировоззрение ученых трудно переоценить. Анри Пуанкаре говорил, что математика — это искусство называть разные вещи одним и тем же именем. По его мысли, единство мира состоит не в его материальности, которая очевидна, а в том, что различные явления и процессы описываются одними и теми же уравнениями (он имел в виду линейные дифференциальные уравнения в частных производных второго порядка).

И тут вновь можно вернуться к философии. Аристотель полагал, что добродетель — это вершина между пропастями двух пороков. Линейные уравнения не описывают этого. Инженеры прекрасно знают, что если нужно увеличить ключевой параметр конструкции в 10 раз, то прежние модели и решения не работают. Имеют место *пороговые эффекты*.

Нужны более сложные и интересные нелинейные уравнения либо другие подходы, которые могут заменить ньютоновскую парадигму. Это особенно важно для того, чтобы описывать реалии индустриальной и постиндустриальной эпохи. Эта *методологическая научная революция* и происходит в последнее десятилетие.

Трудно объективно и сдержанно оценить то, чем занимаешься много лет. Поэтому приведу цитату автора замечательного курса В. Босса «Лекции по математике». Этот курс включает 16 книг «для повторения» различных разделов этой замечательной науки. Его автор пишет: «Сейчас, похоже, наступает век нелинейной математики. Постепенное исчерпание “линейных источников”, компьютеры, выход в целинные пространства Незнания, — все это толкает науку в нелинейный океан. Поначалу кажется, что в этой пучине разнообразие возможностей и явлений превышает разумный предел и математика “размажется” по безбрежным просторам. Видимо, нет. Ситуация выглядит так, что богатство средств не в состоянии преодолеть небольшого списка эффектов, предусмотренных свыше» (Босс, 2015: 131).

С последним, впрочем, я бы не согласился. На мой взгляд, рассматривая самоорганизацию, мы сейчас совершаем только «прибрежные плавания» в океане нелинейности. Прелесть научной революции в том, что она открывает множество возможностей, между которыми сейчас и делается выбор.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Если мечты высказывать вслух, то они обязательно будут услышаны и станут реальностью.

Э. Хопкинс

Концепция самоорганизации, по-видимому, станет одной из центральных и у ученых, и в обществе в XXI в. От этого зависит не только решение научных проблем, но и разработка высоких технологий и эффективных социальных решений. Тем не менее во многом освоение и развитие этой концепции отстает от потребностей общества. Известна фраза Макса Планка, о том, что новая научная истина торжествует не потому, что удастся убедить оппонентов, а потому, что оппоненты умирают, а новое поколение знакомо с новыми представлениями с самого начала.

Но, по-видимому, дело не только в этом. С точки зрения научной стратегии дело в нескольких происходящих революциях.

Первая связана с переходом *от индустриальной к постиндустриальной фазе развития цивилизации*. В этой фазе гуманитарные технологии становятся не менее важными, чем производственные, управленческие, военные.

Вторая — научная революция связана с *переходом от дисциплинарных к междисциплинарным подходам*. В терминологии В. С. Степина это глобальная научная революция, переход от неклассики к постнеклассике. Наиболее масштабно этот переход происходит в теории самоорганизации, поэтому данную революцию можно с полным правом назвать *синергетической*.

Третья — *методологическая революция, которую можно назвать нелинейной*. Она связана с переходом от ньютоновской парадигмы описания реальности и линейных математических моделей к новым, формирующимся у нас на глазах подходам.

И философию, и математику можно трактовать как размышления о возможных мирах. В ходе революций не только рушатся старые парадигмы, но и появляются новые возможности. Активное развитие концепции самоорганизации, синергетики открывает перспективы выбирать дальнейшую траекторию развития наилучшим образом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аршинов, В. И. (2011) Синергетика встречается со сложностью // Синергетическая парадигма. Вып. 7. Синергетика инновационной сложности / отв. ред. В. И. Аршинов. М. : Прогресс-Традиция. 496 с. С. 47–65.

Батлер-Боудон, Т. (2014) 50 великих книг по философии / пер. с англ. К. Савельева. М. : Эксмо. 576 с.

Белл, Д. (2004) Грядущее постиндустриальное общество: Опыт социального прогнозирования / пер. с англ. под ред. В. А. Иноземцева. М. : Academia. 944 с.

Босс, В. (2015) Интуиция и математика. 5-е изд. М. : URSS. 224 с.

Владимиров, Ю. С. (2002) Метафизика. М. : Бином. Лаборатория Знаний. 550 с.

Вигнер, Е. (1971) Этюды о симметрии / пер. с англ. Ю. А. Данилова ; под ред. Я. А. Смородинского. М. : Мир. 318 с.

Диас, Х. (2015) По кругу с Землей. Коперник. Гелиоцентризм : пер. с итал. М. : Де Агостини. 160 с.

Иванов, В. В., Малинецкий, Г. Г. (2020) Россия: XXI век. Стратегия прорыва. Технологии. Образование. Наука. 3-е изд. М. : Ленанд. 304 с. (Серия: Будущая Россия. № 26).

Кун, Т. (2009) Структура научных революций / пер. с англ. И. З. Налетова. М. : АСТ. 320 с.

Малинецкий, Г. Г. (2015) Математические основы синергетики: Хаос, структуры, вычислительный эксперимент. Изд. стереотип. М. : Ленанд. 310 с. (Серия: Синергетика: от прошлого к будущему. № 2).

Мандельброт, Б. Б. (2010) Фрактальная геометрия природы / пер. с англ. А. Р. Логунов. М. : ИКИ. 656 с.

Рассел, Б. (2017) История западной философии : пер. с англ. Т. 2. М. : АСТ. 512 с.

Степин, В. С. (2018) Человек. Деятельность. Культура. СПб. : СПбГУП. 800 с. (Серия: Почетные доктора Университета).

Талей, Н. Н. (2010) Черный лебедь: Под знаком непредсказуемости : пер. с англ. М. : Колибри. 578 с.

Тегмарк, М. (2017) Наша математическая Вселенная: В поисках фундаментальной природы реальности / пер. с англ. А. Сергеева. М. : АСТ, Corpus. 592 с.

Фейнман, Р., Лейтон, Р., Сэндс, М. (1966) Фейнмановские лекции по физике. Квантовая механика I : пер. с англ. М. : Мир. 272 с.

Фридман, А. (2018) Стратегия: Война, революция, бизнес / пер. с англ. И. Д. Голыбиной. М. : Кучково поле. 768 с.

Чернавский, Д. С. (2017) Синергетика и информация: Динамическая теория информации. 5-е изд. М.: Ленанд. 304 с.

Шваб, К. (2017) Четвертая промышленная революция: пер. с англ. М.: Изд-во «Э». 208 с.

Дата поступления: 14.10.2020 г.

SELF-ORGANIZATION, NONLINEARITY AND THE THEORY OF SCIENTIFIC REVOLUTIONS

G. G. Malinetskiy

RAS Keldysh Institute of Applied Mathematics

Moscow University for the Humanities

The paper considers the development of the theory of self-organization, or synergetics, from the standpoint of scientific strategy. The general understanding of the importance of this interdisciplinary approach is now beyond doubt. Today it should be applied within the framework required by the solution of a number of fundamental scientific problems, by the development of many high technologies and new forms of social self-organization. The reason for this is largely associated with three ongoing revolutions.

The first revolution is humanitarian and technological. It is associated with the transition from the industrial to the post-industrial phase of the development of civilization. Self-organization and humanitarian technologies take on particular importance in the last phase.

The second, scientific revolution is associated with the transition from disciplinary to interdisciplinary approaches, from non-classical to post-non-classical, to a significant change in the subject of research. This revolution can be rightfully called synergetic.

The third, methodological scientific revolution is associated with the transition from Newtonian paradigm and linear mathematical models to other approaches.

The revolutions expand the field of choice, providing alternative trajectories of development. Synergetics today can be an important tool for choosing a trajectory for the future. The author considers in the article the imperatives of its development in the contest of these revolutions.

Keywords: self-organization; synergetics; scientific revolutions; humanitarian and technological revolution; post-industrial reality; transition from non-classical to post-non-classical; synergetic revolution; Newtonian paradigm; non-linearity; methodological revolution

REFERENCES

Arshinov, V. I. (2011) Sinergetika vstrechaetsia so slozhnost'iu. In: *Sinergeticheskaia paradigma. Vyp. 7. Sinergetika innovatsionnoi slozhnosti* / ed. by V. I. Arshinov. Moscow, Progress-Traditsiia. 496 p. Pp. 47–65. (In Russ.).

Batler-Boudon, T. (2014) *50 velikikh knig po filosofii* / transl. from English by K. Savel'ev. Moscow, Eksmo. 576 p. (In Russ.).

Bell, D. (2004) *Griadushchee postindustrial'noe obschestvo: Opyt so-tsil' nogo prognozirovaniia* / transl. from English; ed. by V. L. Inozemtsev. Moscow, Academia. 944 p. (In Russ.).

Boss, V. (2015) *Intuitsiia i matematika*. 5 edition. Moscow, URSS. 224 p. (In Russ.).

Vladimirov, Iu. S. (2002) *Metafizika*. Moscow, Binom; Laboratoriia Znaniia. 550 p. (In Russ.).

Vigner, E. (1971) *Etiudy o simmetrii* / transl. from English by Iu. A. Danilov; ed. by Ia. A. Smorodinsky. Moscow, Mir. 318 p. (In Russ.).

Dias, Kh. (2015) *Po krugu s Zemlei. Kopernik. Geliotsentrizm* : transl. from Italian. Moscow, De Agostini. 160 p. (In Russ.).

Ivanov, V. V. and Malinetskiy, G. G. (2020) *Rossia: XXI vek. Strategii proryva. Tekhnologii. Obrazovanie. Nauka*. 3d edition. Moscow, Lenand. 304 p. (In Russ.).

Kun, T. (2009) *Struktura nauchnykh revoliutsii* / transl. from English by I. Z. Naletov. Moscow, AST. 320 p. (In Russ.).

Malinetskiy, G. G. (2015) *Matematicheskie osnovy sinergetiki: Khaos, struktury, vychislitel'nyi eksperiment*. Moscow, Lenand. 310 p. (In Russ.).

Mandel'brot, B. B. (2010) *Fraktal'naiia geometriia prirody* / transl. from English by A. R. Logunov. Moscow, IKI. 656 p. (In Russ.).

- Rassel, B. (2017) *Istoriia zapadnoi filosofii* : transl. from English. Vol. 2. Moscow, AST. 512 p. (In Russ.).
- Stepin, V. S. (2018) *Chelovek. Deiatel'nost'. Kul'tura*. Saint-Petersburg, Saint Petersburg University of Trade Unions. 800 p. (In Russ.).
- Taleb, N. N. (2010) *Chernyi lebed' : Pod znakom nepredskazuemosti* : transl. from English. Moscow, Kolibri. 578 p. (In Russ.).
- Tegmark, M. (2017) *Nasha matematicheskaiia Vselennaia: V poiskakh fundamental'noi prirody real'nosti* / transl. from English by A. Sergeev. Moscow, AST, Corpus. 592 p. (In Russ.).
- Feinman, R., Leiton, R. and Sands, M. (1966) *Feinmanovskie lektsii po fizike. Kvantovaiia mekhanika I* : transl. from English. Moscow, Mir. 272 p. (In Russ.).
- Fridman, L. (2018) *Strategiia: Voina, revoliutsiia, biznes* / transl. from English by I. D. Golybina. Moscow, Kuchkovo pole. 768 p. (In Russ.).
- Chernavskii, D. S. (2017) *Sinergetika i informatsiia: Dinamicheskaiia teoriia informatsii*. 5 ed. Moscow, Lenand. 304 p. (In Russ.).
- Shvab, K. (2017) *Chetvertaiia promysblennaia revoliutsiia* : transl. from English. Moscow, «Е». 208 p. (In Russ.).

Submission date: 14.10.2020.

Малинецкий Георгий Геннадьевич — доктор физико-математических наук, профессор, заведующий отделом моделирования нелинейных процессов Института прикладной математики имени М. В. Келдыша РАН, директор Центра синергетики и гуманитарно-технологической революции Института фундаментальных и прикладных исследований Московского гуманитарного университета. Адрес: 111395, Россия, г. Москва, ул. Юности, д. 5. Тел.: +7 (499) 374-75-95. Эл. адрес: GMalin@Keldysh.ru

Malinetskiy Georgiy Gennadyevich, Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Director, the Center for Synergetics and the Humanitarian and Technological Revolution of the Institute of Fundamental and Applied Research of the Moscow State University for the Humanities. Postal address: 5, Yunosti St., Moscow, Russian Federation, 111395. Tel.: +7 (499) 374-75-95. E-mail: GMalin@Keldysh.ru