

# Содержание

Предисловие .....	9
-------------------	---

## ЧАСТЬ I

### Сложность

Глава 1 Наука бытия .....	17
Глава 2 Порядок, хаос и происхождение сложности .....	22
Глава 3 Правила сложности и смежные возможности .....	40

## ЧАСТЬ II

### Комплементарность и холархия, или Тело без границ

Глава 4 Клеточный уровень: наши организмы, наши клетки .....	61
Глава 5 Молекулярный уровень: за рамками клеточной теории .....	73
Глава 6 Атомный уровень: Гея .....	90
Глава 7 Субатомный уровень: квантовая странность .....	97
Глава 8 Все дальше и дальше: пространство-время и квантовая пена .....	112

ЧАСТЬ III

**Сознание**

Глава 9	Трудная проблема сознания .....	127
Глава 10	Венский кружок и научный эмпиризм .....	145
Глава 11	Курт Гёдель и границы формальной логики .....	153
Глава 12	Возвращение метафизики: фундаментальная осознанность .....	178
Послесловие .....		199
<i>Благодарности</i> .....		203
<i>Библиография</i> .....		207
<i>Дополнительное чтение</i> .....		209
<i>Источники иллюстраций</i> .....		215
<i>Ссылки на источники</i> .....		217

ЧАСТЬ I

# Сложность

# Глава 1

## Наука бытия

**В**о вселенной нет ничего более сложного, чем жизнь.

Микроскопическая жизнь существует как в обжигающих темных океанских глубинах, где царит колоссальное давление, так и на высочайших холодных вершинах Гималаев. Между этими точками — в небе, в океанах и на суше — жизнь безостановочно кипит. И несомненно, за те миллиарды лет, в течение которых организмы планеты будут продолжать развиваться, количество форм жизни значительно увеличится, а их разнообразие превзойдет все, что мы можем себе представить.

Сложность всего этого богатейшего изобилия долгое время не поддавалась объяснению. Происхождение жизни остается серьезной загадкой. Какие биологические чудеса могут появиться в будущем, нам неведомо. Чтобы хотя бы начать постигать все это, необходима теория сложности.

Теория сложности — это наука о том, как в мире возникают сложные системы. Однако слово “слож-

ность” здесь не означает “трудность, замысловатость, запутанность”. *Сложность* в данном контексте относится к классу моделей взаимодействий: открытых, развивающихся, непредсказуемых, но адаптивных и самоподдерживающихся. Именно эту сложность мы и будем изучать — как из вещества нашей вселенной самоорганизуется жизнь, от взаимодействий в квантовой пене до образования атомов, молекул, клеток, человека, социальных структур, экосистем и далее.

Отличительной чертой сложности жизни является то, что в каждом отдельном случае целое больше, чем сумма его частей. Даже если знать характеристики и поведение всех отдельных элементов какой-либо живой системы (клетки, организма, экосистемы), невозможно предсказать необычные свойства, возникающие при их взаимодействии. В теории сложности эти удивительные результаты называются *эмерджентными свойствами* или просто *эмерджентностью*.

Подобная непредсказуемость является как главным предметом теории сложности, так и ключевой особенностью того, что она может предложить нашему пониманию мира. Ни мы, ни наша вселенная не похожи на машины. У машины нет возможности изменить свое поведение, если среда вокруг нее меняется или становится губительной. Сложные системы, включая человеческие организмы и человеческие общества, могут менять свое поведение перед лицом непредсказуемого. В этой креативности и заключается суть сложности.

*Целое больше, чем сумма частей.* В этом простом выражении заключено очень многое. В разговорной речи эта фраза вызывает ассоциации с сообществом, командной работой, возвышенной целью — когда люди с разными талантами и способностями, работая совместно, могут обеспечить синергию\*, превосходящую то, что каждый из них сумел бы создать в одиночку. Побеждающая команда. Общественное движение. Идеальный званый ужин.

Однако сложность выходит далеко за рамки человеческих особей и их социального поведения. Примеры сложных систем обнаруживаются не только в социологии и биологии, но и в химии и физике. Вселенная — это мерцающая паутина сложности, которая постоянно рождает и питает жизнь, искушая нас поверить, будто жизнь может оказаться даже ее главной целью и фундаментальным выражением.

Сложность перебрасывает мост через, казалось бы, непреодолимую пропасть между бесконечно малыми частями вселенной, где действуют законы квантовой механики, и ее колоссальными областями, описываемыми теорией относительности. Какими бы успешными ни были эти две самые успешные из всех научных теорий, сами по себе они не способны пролить свет на то, как мы переходим от базовых элементов существования (пространства, времени, вещества, энергии) к сложному поведению живых организмов и их социальных структур:

\* Синергия — взаимодействие нескольких факторов, эффект от которых сильнее, чем простая сумма эффектов от этих же факторов по отдельности. (*Прим. перев.*)

экосистем, культур и цивилизаций. Именно теория сложности показывает, как сущности, возникающие из фундаментальной физики, шаг за шагом вплетаются во все более крупные структуры, пока не становятся тканью нашей повседневной жизни и динамических естественных живых систем, которые нас окружают.

Хотя цели науки о сложности крайне амбициозны, при внимательном изучении ее уроки могут оказаться еще и глубоко личными. Она способна разрешить некоторые важные проблемы, связанные с нашим ощущением бытия.

В утробе матери и короткое время после мы находимся в цельном, бесшовном мире, где нет никаких разделений: нет ни себя, ни других, ни ребенка, ни матери. С неизбежностью в раннем младенчестве мы постепенно переходим из этого состояния личной целостности в другое — состояние разделения. Границы устанавливает наша кожа: все, что внутри нее, — “я”, все, что вне ее, — “мир”. Части, не целое.

Иногда, если нам везет, мы оказываемся в ситуации, когда достигаем ощущения полного единения с другими людьми, чего-то большего, нежели мы сами. В отсутствие такого опыта многие из нас будут проводить свои дни, пытаясь понять, как соотносятся “я” и “мир”. Если нам в принципе удастся вспомнить то ощущение цельности, мы можем оглянуться и спросить: “Как мне к нему вернуться?” А если мы не в состоянии вспомнить его, у нас останется лишь тревожное ощущение, что чего-то не хватает, хотя мы и не понимаем, чего именно.

Теория сложности не только дает нам научное понимание. По мере того, как мы идем ее путями, ее следствия просвещают нас, давая представление обо всем: от проницаемых границ нашего тела до природы сознания. Теория сложности способна взрастить бесценную гибкость взглядов и пробудить в нас истинную, глубокую близость с большим целым — и мы вернемся к тому, что некогда имели: к нашему праву по рождению быть едиными со всеми.

## Глава 2

# Порядок, хаос и происхождение сложности

**Т**еория сложности возникла во второй половине XX века, когда ученые начали уделять внимание *системам*. Этим кратким термином обозначили группы взаимодействующих частей или индивидуумов, которые благодаря своему взаимодействию порождают нечто большее по сравнению с самими собой. Ученые обращались к самым разным системам из весьма разнообразных областей: общая теория систем, кибернетика и исследования в сфере искусственного интеллекта в 1950-х годах; теория динамических систем в 1960-х; теория хаоса в 1970-х. В 1980-х исследования сложности окончательно выделились в самостоятельную область, в первую очередь благодаря основанию Института Санта-Фе, первого научного центра по изучению сложности.

До этого перехода к изучению систем почти все науки практиковали *редуктивный* подход, когда крупное расчленяется на отдельные компоненты. Устоявшийся принцип заключался в том, что если ра-

зобратъся в частях, то можно понять и целое — точно так же как можно понять работу часов, аккуратно разобрав их и изучив детали. Небывалый успех этого научного подхода, трактовавшего вселенную как машину, которую можно разделить на части для анализа, отчетливо проявляется прежде всего в диком разнообразии технологий, пронизывающих нашу современную жизнь.

Когда общая теория систем начала формально рассматривать обратный вопрос — каким образом части сочетаются друг с другом, собираются, *самоорганизуются*, образуя единое целое, — это запустило научную революцию, которая продолжается до сих пор, забираясь все глубже. Понятия теории систем стали использовать для понимания структур на всех масштабах существования — от мельчайших субатомных областей до галактических систем и далее.



Чтобы начать путешествие в сферу сложности, мы должны рассмотреть три основных класса систем. Первый — это системы, в которых целое является точной и предсказуемой суммой своих частей. Вода дает нам несколько простых примеров.

В твердых состояниях — например, во льду — упорядоченная упаковка молекул воды означает, что отношения каждой молекулы со своими соседями легко определяются простой геометрией. Со стаканом воды дело обстоит сложнее. Впрочем, хотя мы

не можем точно предсказать местоположение каждой отдельной молекулы в жидкости, поскольку они отскакивают в разные стороны совершенно беспорядочно, в наших силах использовать статистические методы, чтобы описать коллективное поведение молекул и предсказать, как будет вести себя вода в целом. Мы не можем знать энергию и направление движения каждой отдельной молекулы водяного пара, сталкивающейся с другими молекулами, но можем оценить среднюю кинетическую энергию всех молекул, соответствующую определенной температуре.

Некоторые аспекты движения жидкости столь же просты. Вода, текущая в небольшом узком ручье, движется быстрее, чем вода в реке, в которую этот ручей впадает. Зависимость скорости течения жидкости от ширины русла можно описать простыми уравнениями гидродинамики.

Однако турбулентная вода простому описанию не поддается.

Это подводит нас ко второму классу систем — которые описываются *теорией хаоса*. В хаотических системах целое не равно сумме частей, а больше нее.

Возьмем, к примеру, волны. Сидя на пляже, мы наблюдаем, как волны разбиваются о песок. Мы легко распознаем их как волны, хотя каждая лишь похожа на предыдущую, они никогда в точности не повторяются. Невозможно описать постоянно меняющиеся движения волн с помощью точной физики, которая выражалась бы простыми уравнениями, как для стоячей воды или глыбы льда.

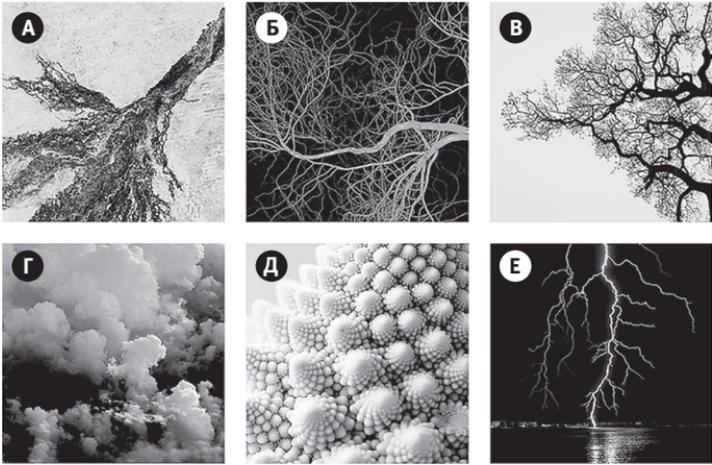
Водовороты похожи друг на друга. Их движение знакомо каждому, кто сливал воду из ванны или спускал воду в туалете. Однако простой физики и математики оказалось недостаточно, чтобы описать их структуру или объяснить, почему в крупных водоемах в каком-нибудь месте водоворот может внезапно образоваться, затем так же быстро исчезнуть, а где-нибудь еще появится другой. Чтобы понять и охарактеризовать такую турбулентность, нам понадобилась новая математика — теория хаоса.

## Фракталы: математика хаоса

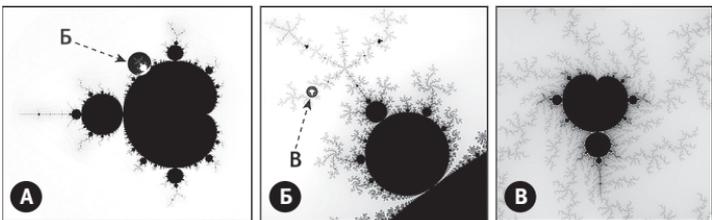
В 1975 году Бенуа Мандельброт радикально расширил наши представления об этих более замысловатых видах порядка: он выявил и описал природу фракталов, открыв тем самым дверь в теорию хаоса<sup>1</sup>. *Фракталы* — это геометрические формы, встречающиеся повсюду в мире природы, например самоподобное ветвление рек, кровеносных сосудов и деревьев. Различные фрактальные геометрии присутствуют в пышных формах кучевых облаков, в структуре капусты романеско и ветвлении молний.

В этих примерах природных фракталов существуют пределы повторения уменьшающихся рисунков. Артерии ветвятся все сильнее и сильнее, пока не превращаются в капилляры — но ничего мельче уже нет. Ветви деревьев заканчиваются листьями (хотя узоры прожилок в листе могут оказаться еще

## НИЛ ТАЙЗЕ ЗАМЕТКИ О СЛОЖНОСТИ



Примеры фрактальной геометрии в природе. В верхнем ряду: ветвящиеся реки (А), кровеносные сосуды (Б) и деревья (В) имеют схожие формы и самоподобны на разных масштабах; при увеличении или уменьшении масштаба изображения всегда похожи друг на друга. Другие фрактальные формы также демонстрируют это самоподобие на разных масштабах: пышные формы облаков (Г), конусообразные элементы спиралей капусты романеско (Д) и зазубренные ветви молний (Е).



Эти детали классического фрактального множества Мандельброта демонстрируют самоподобие на разных масштабах. Если увеличить область Б на рисунке А, то мы увидим, что этот фрагмент (рис. Б) состоит из новых фракталов похожей формы. Аналогично, если увеличить область В на рисунке Б, то мы заметим, что этот фрагмент (рис. В) тоже состоит из новых фракталов. В чисто математическом царстве не существует предела этому вечно разворачивающемуся изображению фрактальных деталей до бесконечно малых масштабов.

одним фракталом). А вот с математической точки зрения самоподобие фракталов при масштабировании бесконечно, что демонстрирует классическое «множество Мандельброта».

Сложные геометрии Мандельброта нельзя описать простыми уравнениями, похожими на математику поведения воды, льда или пара. Там достаточно подставить в уравнения несколько чисел вместо переменных — и получается геометрическое, алгебраическое или статистическое решение. А вот хаотические системы представляют собой *процессы*, которые проявляются только с течением времени. Их нельзя свести к простой формуле, мы наблюдаем их возникновение благодаря компьютерным программам — *моделям*, которые работают минуты, часы или дни. Без изобретения компьютеров мы не смогли бы визуализировать теорию хаотических систем, таких как погода, водовороты или орбиты планет.

Несмотря на достижения математики фракталов и хаотических систем, оставались системы, которые пока не поддавались объяснению и тем более моделированию: живые существа. Хотя в каких-то аспектах биологических систем можно увидеть примеры фракталов и, следовательно, хаоса (например, форма кровеносных сосудов, структура наших легких или закономерности электрических импульсов в бьющемся сердце), их недостаточно для описания живых существ как единого целого. Чтобы описать саму жизнь, относящуюся к третьему классу систем, нам понадобилась теория сложности.