

ХАОС И ПОРЯДОК

Лёля Пинхасик

Слово хаос (*др.-греч. χάος* от *χαίνομαι* — раскрываюсь, разверзаюсь). Древнее понимание связано с мифологией - это понятие космогонии: первичное состояние Вселенной, бесформенная совокупность материи в пространстве. Такой мир существовал до появления упорядоченной Вселенной - Космоса, т.е. Гармонии. В раннем средневековье этому слову стали приписывать понятие беспорядка вообще. Это бытовое понимание сохраняется и сегодня - путаница, неразбериха.

В науке рассматривается поведение некоторых динамических систем, которые выглядят случайными и хаотичными, но их поведение определяется физическими законами, т.е. они детерминированы, и состояние которых невозможно предсказать в любой момент времени, исходя из начальных условий, т.е. процессы в таких системах непрогнозируемы. Хаос в таких системах назван детерминированным хаосом. К таким системам относятся:



Хаос в таких системах назван детерминированным хаосом. К таким системам относятся:

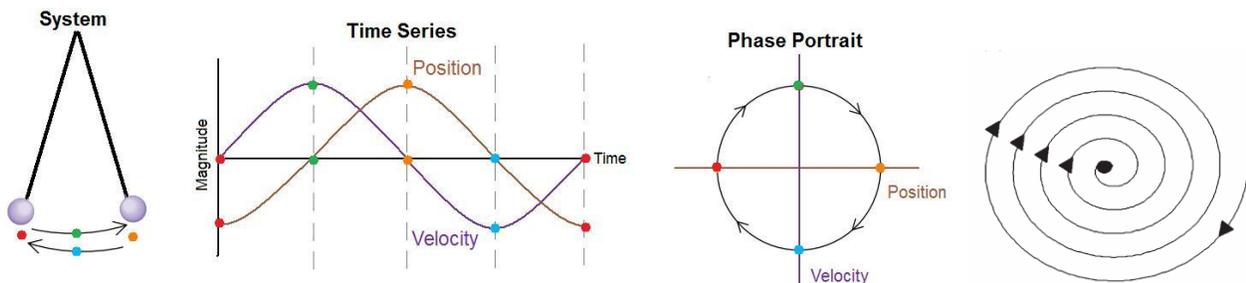
- атмосферные явления,
- турбулентные потоки,
- рост биологических популяций,
- некоторые процессы в живых организмах (сердцебиение),
- экономические, политические и др. социальные системы.

Таким образом, хаотическое поведение очень широко распространено в природе и, возможно,

является нормой во Вселенной.

В течении 4-х столетий в науке господствует принцип детерминизма (причинности): все следствия имеют свою причину и наоборот. Зная уравнение, описывающее систему, и начальные условия, можно прогнозировать её положение в любой момент времени. Например, чтобы увеличить точность запуска ракеты в 5 раз, необходимо увеличить точность измерения начальных условий в 5 раз. Такая корреляция между точностью измерения начальных условий и результатом характерна для линейных уравнений, описывающих упорядоченные системы. Примером такой системы является система колеблющегося маятника. Его состояние определяется двумя параметрами - скоростью и координатами в пространстве. Его траектории описываются алгебраически и графически.

Наглядным методом описания поведения системы является построение графиков в фазовом пространстве, где в качестве координат выступают параметры системы. Каждому мгновенному состоянию системы соответствует точка на фазовой плоскости. Шарик колеблется, а точка описывает замкнутую кривую (окружность, эллипс). С учётом трения, окружность превращается в спираль, сходящуюся к предельной точке. Эта притягивающая точка получила название **аттрактор**.



Аттрактор - конечная совокупность точек фазового пространства. Выражает состояние, в которое система всегда возвращается, подчиняясь определённым законам.

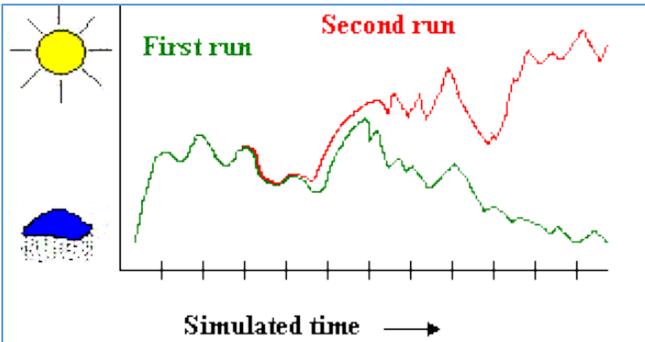
Сложные динамические системы состоят из большого числа элементов и множества связей между ними. Они описываются системами нелинейных уравнений. Поведение таких систем зависит от многих параметров. Фазовое пространство таких систем многомерно (равно числу параметров системы).



Изучение таких систем связано с именем Эдварда Лоренца (1917 - 2008), учёного-метеоролога.

Он одним из первых использовал компьютер для моделирования погоды. Лоренц вывел систему из 12 уравнений для создания модели погоды. Так как его уравнения учитывали множество параметров, он надеялся получить устойчивую модель и устойчивые результаты. Лоренц ожидал, что вводя в компьютер одинаковые начальные условия, он будет получать один и тот же результат. Однако, он получил различные результаты, хотя считал, что вводил одинаковые данные. Проанализировав тщательно исходные данные, он установил причину: различие в 4-ом знаке после запятой (0,506127-0,506). Ожидалось, что такое слабое различие в начальных условиях приведёт к незначительным различиям в результате. Результаты оказались катастрофически различны

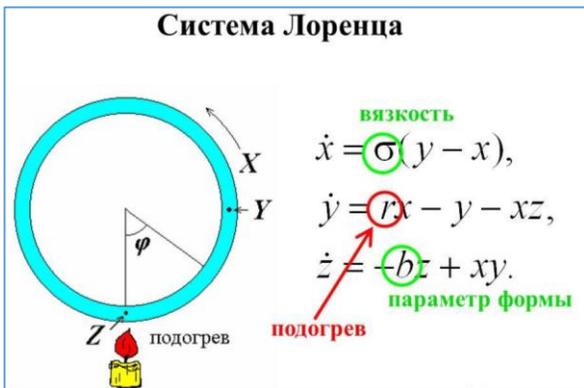
Этот эффект - чувствительность к начальным условиям - получил название “эффект бабочки” (по аллюзии с рассказом Брэдбери “И грянул гром”). “Взмах крыльев бабочки в Мексике вызовет (или предотвратит) торнадо в Индонезии”.



Эффект чувствительности к начальным условиям - общая характеристика хаотических систем. Небольшие изменения в начальных условиях драматически меняют поведение системы на длительном промежутке времени.

Лоренц сделал вывод о том, что невозможно точно прогнозировать погоду.

Отсюда началось развитие теории хаоса. Лоренц решил изучить более простую систему из 3-х уравнений, описывающий процесс конвекции жидкости. Использовался контейнер с водой, подогреваемый снизу (аналог конвекции атмосферы, подогреваемой землей). По мере нагревания вода начинала перемещаться хаотически. Учитывалось 3 параметра: скорость

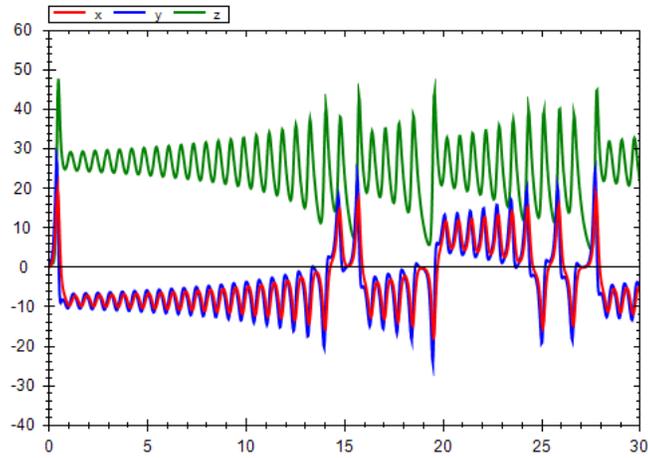


перемещения потока жидкости, вязкость и разность температур.

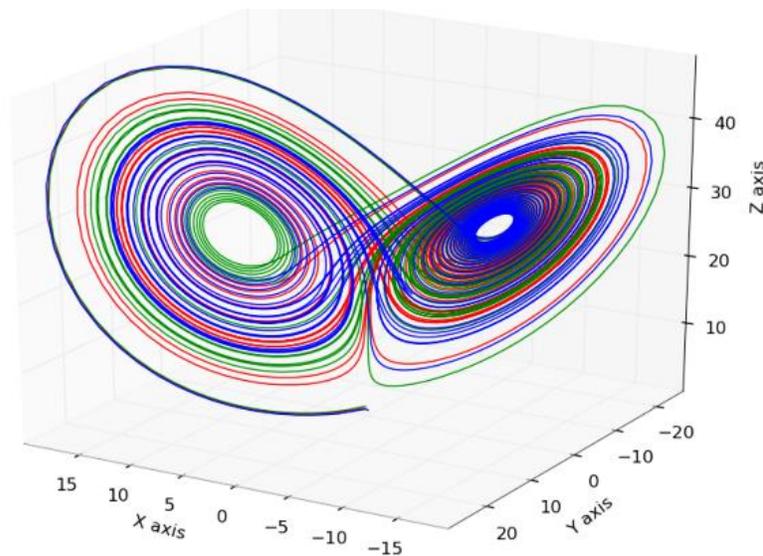
Процесс изучался графически в фазовом пространстве. Наблюдалась некая ограниченная область с рядом кривых в виде спиралей, которые никогда не пересекались, т.е. система никогда не попадала в одну и ту же точку. Полученная фигура получила название аттрактор Лоренца, странный аттрактор. Лоренц вычленил из хаотического процесса некую структуру, вычленил порядок из хаоса.

Графическое изображение процесса

Во Времени



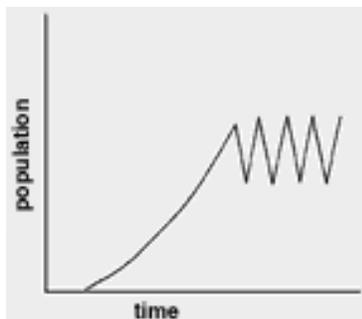
В Фазовом Пространстве



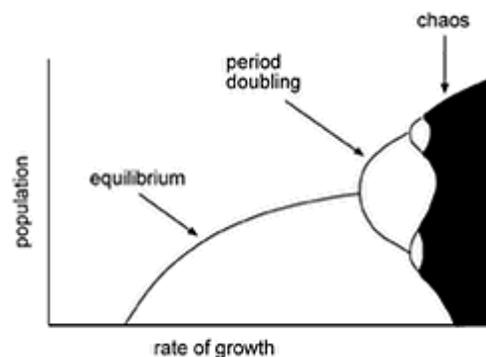
Странный Аттрактор

Проблема прогнозирования роста биологических популяций исследовалась аналогично: система уравнений, описывающих процесс, учитывает такие факторы, как количество предков, рождаемость, лимит снабжения и др. Биолог Р. Мау исследовал зависимость числа популяции от скорости рождаемости: при малой скорости наблюдается почти прямая зависимость, при некотором критическом значении скорости кривая раздваивается - возникает явление бифуркации. Затем наступает всё более частое раздвоение, наступает хаос.

Во Времени



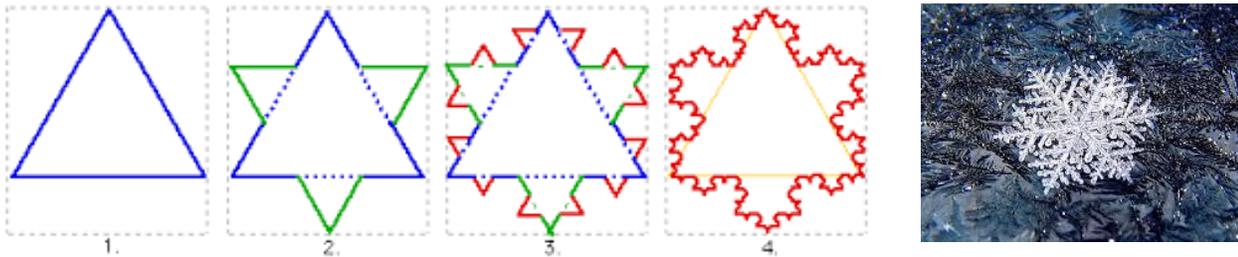
В Фазовом Пространстве



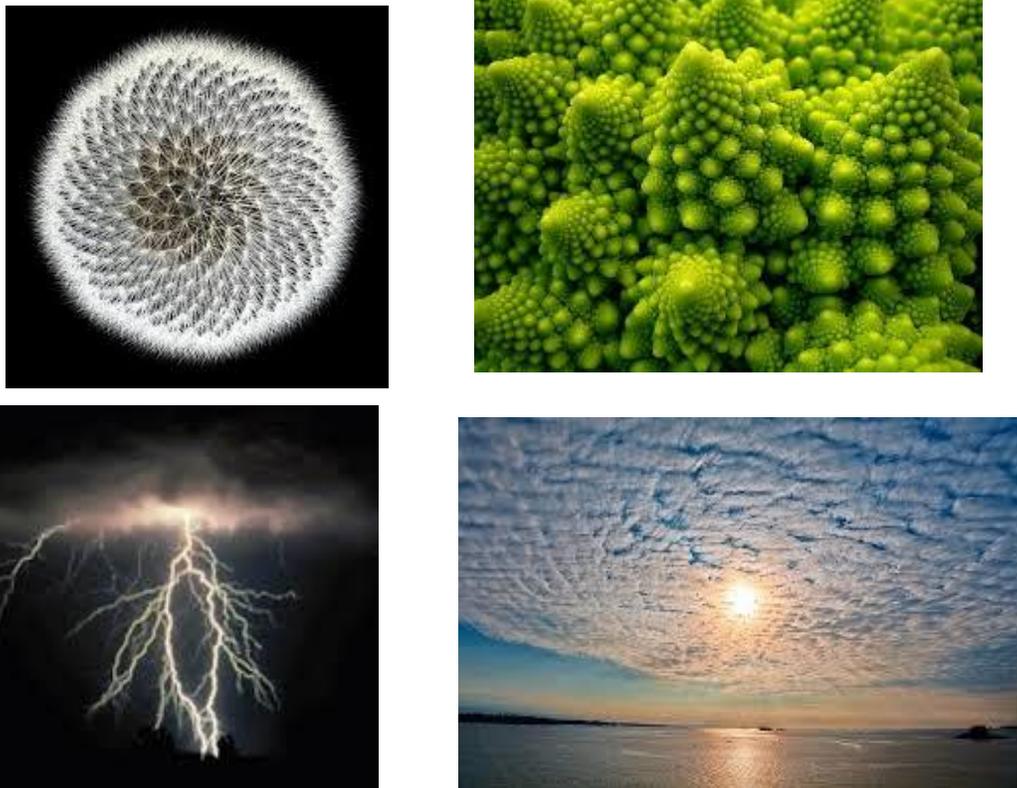
Бифуркация — это качественное изменение поведения динамической системы при бесконечно малом изменении её параметров. Важно отметить, что кривая самовоспроизводится на всё меньших участках. Факт самоповторения, самоподобия - важная черта хаоса, скрытая глубоко внутри процесса.

В 70-е годы началось более широкое изучение нелинейных процессов: сверхпроводимость при низких температурах, фазовые переходы (твёрдое - жидкое - газовое состояния), протекание некоторых химических реакций. Учёный Мандельброт изучал колебания цен на хлопок, нарушения в телекоммуникационных сетях, длины береговых линий и др. Во всех случаях наблюдалось периодическое раздвоение кривых, наличие самоподобных структур на всё меньших участках. Мандельброт ввёл понятие о простейшей пространственной форме, названной фракталом. Фрактал - это геометрическая фигура, в которой один и тот же мотив, рисунок, повторяется в последовательно уменьшающемся масштабе. Такие фигуры как бы моделируют сами себя. В природе существует много примеров фракталов: снежинки, листья, цветная капуста, раковины, силуэты гор и др. Часть фрактала подобна объекту и содержит информацию о целом объекте. В 1975 г. вышла книга Мандельброта “Фрактальная геометрия природы”, которая изучает функции, описывающие нерегулярные природные процессы.

Фрактальные структуры



Фракталы в природе



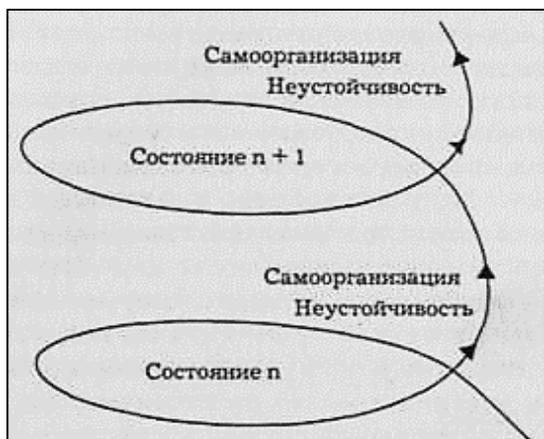
Учёный М. Фейгенбаум пытался объяснить, почему разные функции (по форме и смыслу) проходят через последовательность бифуркаций. Он обнаружил некоторую регулярность: раздвоение происходит с определённым, постоянным ускорением. Он рассчитал постоянную этого ускорения, она оказалась равной 4.669, т.е. была установлена шкала, на которой повторяется самоподобие. Это число оказалось постоянным для аттракторов любых типов. Используя теорию групп, Фейгенбаум разработал универсальную теорию поведения системы на границе перехода от порядка к хаосу. Это было революционное открытие. В 1978 г. он написал статью “Количественная универсальность для нелинейных преобразований”.

В связи с развитием теории хаоса учёные из разных областей науки - физики, астрономии, биологии - восприняли ряд новых общих идей поведения нелинейных систем и применили их к решению конкретных проблем:

- физиология - при хаотическом нарушении сердечных ритмов;
- медицина - при хаотическом нарушении подвижности глазного яблока;
- экономика - управление рынком ценных бумаг;
- экология - развитие эпидемий, рост популяций;
- искусство - фрактальная живопись, музыка.

Начинается формирование новых социальных технологий и понимание мировых процессов через призму хаоса: толпа - это не просто скопление людей, а система, подчиняющаяся определённым законам формирования и развития. Любая политическая система -- это неравновесная динамическая система, в которой существует определённый механизм саморегуляции.

Феномен появления структур, обнаруженный при изучении хаоса - это универсальный механизм в природе, механизм эволюции от элементарного и примитивного к сложному и совершенному. Этот механизм стал основой науки - синергетики. И. Пригожин (бельгийский физик и математик) разработал теорию самоорганизации, т.е. образование нового порядка через этап хаоса, как основу глобальной эволюции.



Спиральная структура процессов эволюции

Основные принципы самоорганизации:

- система должна быть достаточно сложной т.е. состоять из огромного числа элементов с определенными связями;
- система должна быть открытой т.е. обмениваться энергией с окружающей средой;
- вероятность возникновения спонтанных флуктуаций в системе;
- система должна быть неравновесной.

В таких системах за счёт обмена энергией с внешней средой происходит процесс локальной упорядоченности и разрушение старых структур. Образование структур - это локализованный

процесс. Происходит закономерный переход от одного уровня организации материи к другому, более высокому. Таким образом наличие хаоса обеспечивает течение “стрелы времени” от прошлого к будущему.

Источники

1. James Gleick, Chaos, making a new science. (New York, Viking, 2001)
2. Henry Morris, Can order come out of chaos? (Physical Sciences Resources, article, 2000)
3. Mark Ward, Beyond Chaos. (New York, Thomas Dunne Books, 2001)
4. David Peak, Michael Frame, Chaos under control. (New York, W.H. Freeman, 1994)