

A satellite view of Earth showing a large, swirling hurricane-like storm system over the ocean. The storm is characterized by a distinct eye and spiral cloud bands. The surrounding ocean surface shows complex, fractal-like patterns of whitecaps and waves. The text "Хаос и катастрофы" is overlaid in the center in a bold, orange font.

Хаос и катастрофы

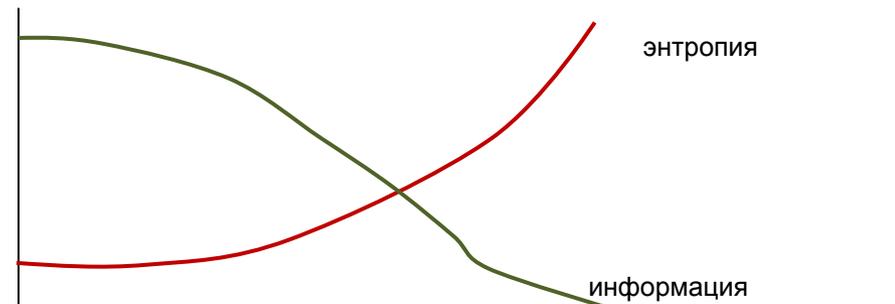
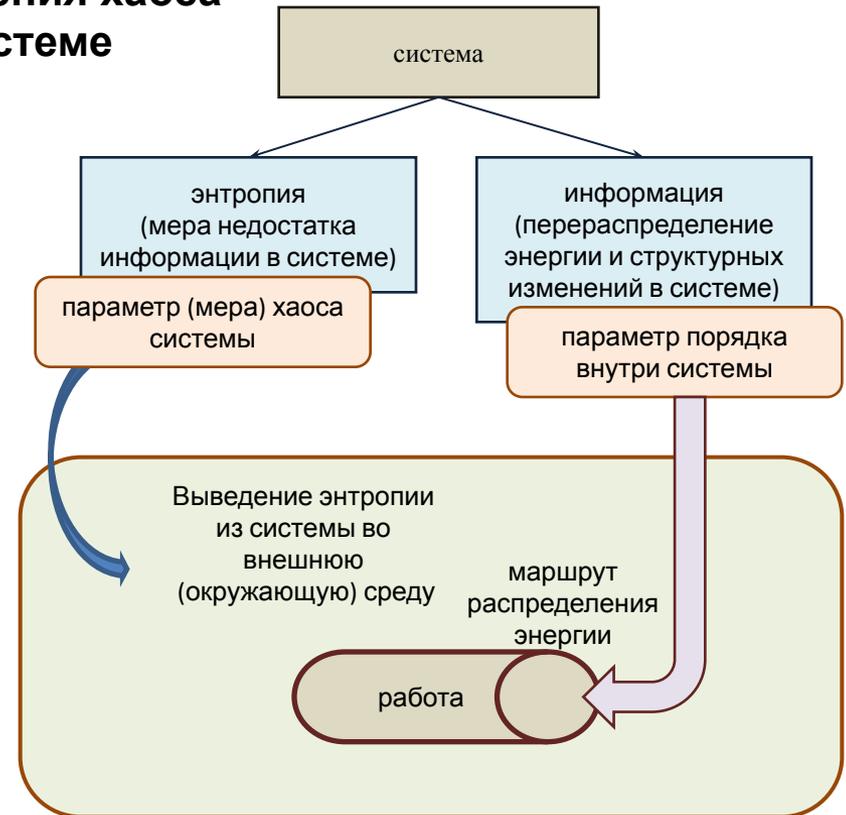
Энтропия как причина возникновения хаоса при недостатке информации в системе

Энтропия, согласно теории информации, есть мера недостатка информации в системе. Идея информации — это идея перераспределения чего-то уже имеющегося в наличии, уже произведенного.

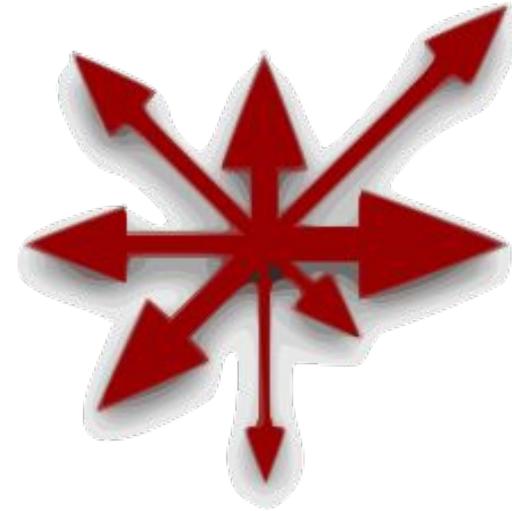
Любой параметр, содействующий перераспределению вещества и/или энергии, выступает в информационном качестве. Информационный параметр (параметр порядка) призван реализовать один из маршрутов распределения энергии и/или вещества из числа всех возможных путей такого распределения. С вероятностной точки зрения информация есть устраняемая неопределенность. Высокой энтропии соответствует практически исчезающая информация.

Напротив, отвод энтропии равносителен поступлению в систему потоков энергии, пропорциональной определенному количеству информации.

При переходе к изучению все более сложных систем именно структурные, информационные аспекты их поведения и развития выступают на первый план, а динамика создает лишь основу для информационного развития.



категория [космогонии](#) (греч. χάος от греч. χαίνω — раскрываться, разверзаться) — **Основные положения теории хаоса**
первичное состояние [Вселенной](#) (греч. χάος от греч. χαίνω — раскрываться, разверзаться) — категория космогонии, первичное состояние Вселенной, бесформенная совокупность [материи](#) (греч. χάος от греч. χαίνω — раскрываться, разверзаться) — категория космогонии, первичное состояние Вселенной, бесформенная совокупность материи и [пространства](#) (греч. χάος от греч. χαίνω — раскрываться, разверзаться) — категория космогонии, первичное состояние Вселенной, бесформенная совокупность материи и пространства (в противоположность [порядку](#)).

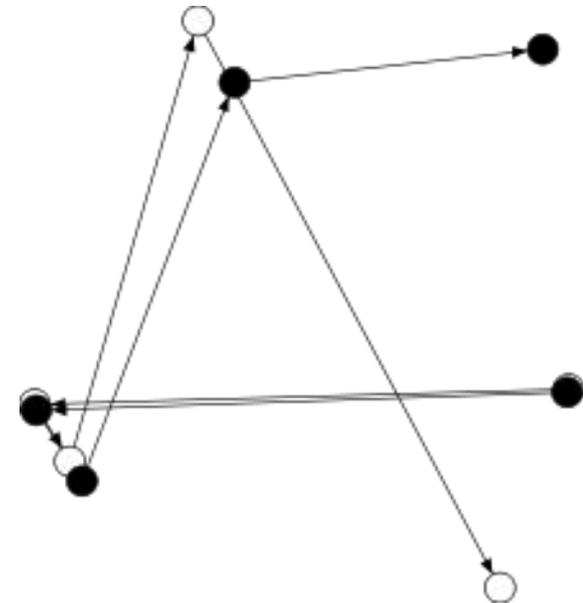


Динамический хаос — явление в [теории динамических систем](#), при котором поведение нелинейной системы выглядит случайным, несмотря на то, что оно определяется детерминистическими законами.

Причиной появления [хаоса](#) является [неустойчивость](#) (чувствительность) по отношению к начальным условиям и параметрам: малое изменение начального условия со временем приводит к сколь угодно большим изменениям динамики системы.

Положения **теории хаоса**:

- сложные системы чрезвычайно зависимы от первоначальных условий;
- небольшие изменения в окружающей среде ведут к непредсказуемым последствиям.



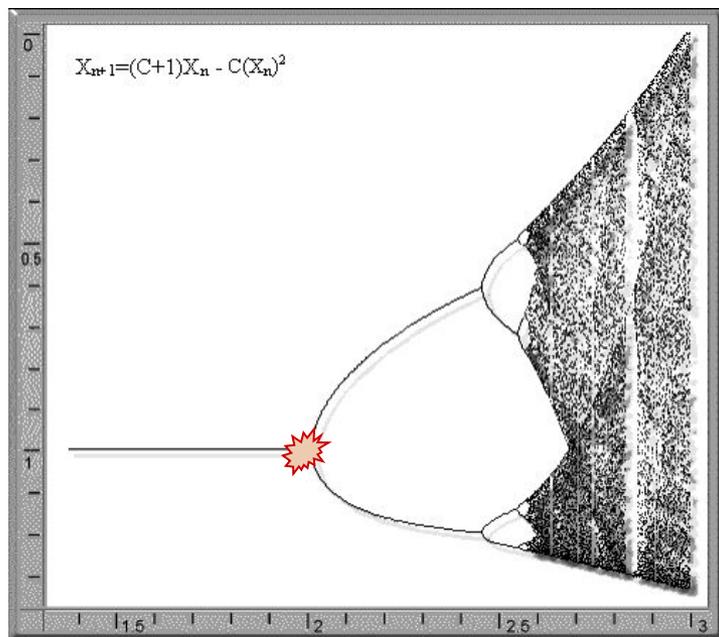
В момент бифуркации происходит качественное изменение свойств системы, т.н. катастрофический скачок. Момент скачка (раздвоения при бифуркации удвоения) происходит в *точке бифуркации*.

Хаос может возникнуть через бифуркацию (теория Митчела Фейгенбаума (Feigenbaum) в соответствии с логистическим уравнением:

$$X_{n+1} = CX_n - C(X_n)^2,$$

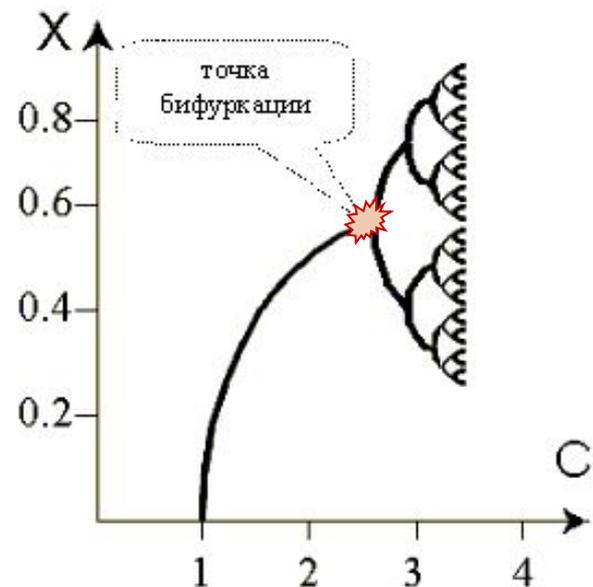
где C - внешний параметр.

Отсюда (по теории Фейгенбаума) при некоторых ограничениях во всех подобных уравнениях происходит переход от равновесного состояния к хаосу.



Дерево
Фейгенбаума

Состояние системы в момент бифуркации является крайне неустойчивым, и бесконечно малое воздействие может привести к выбору дальнейшего пути движения, что является главным признаком хаотической системы (существенная зависимость от начальных условий).



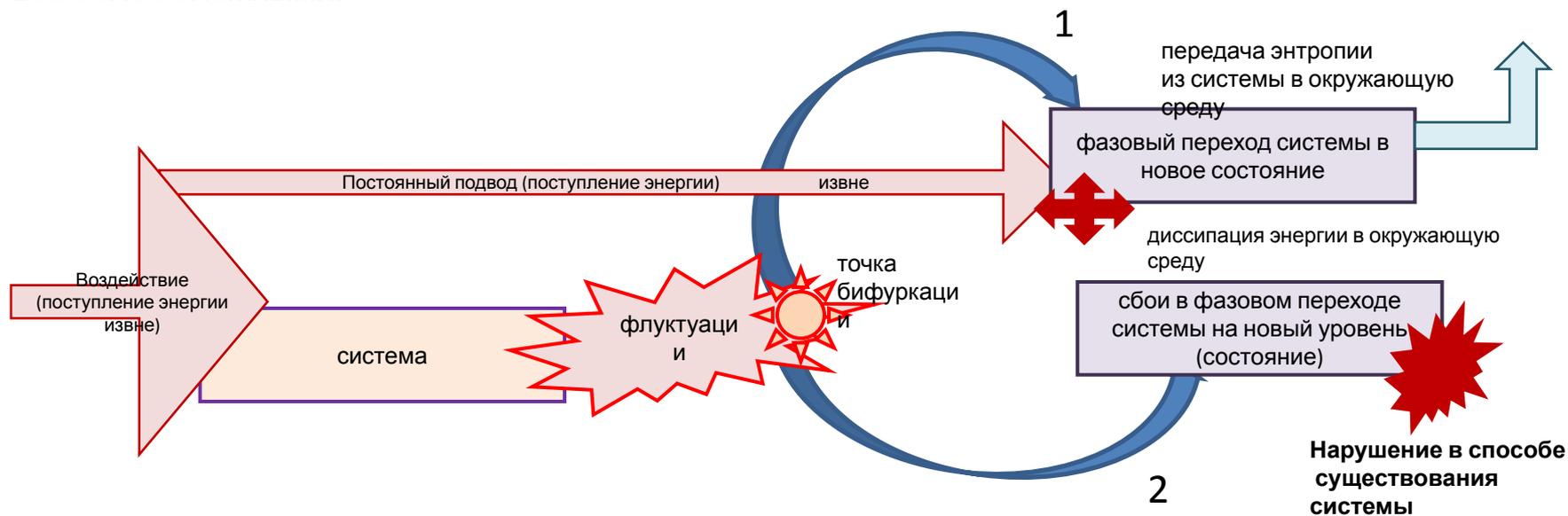
Переход к хаосу через бифуркации, начальная стадия уравнения $X_{n+1} = CX_n - C(X_n)^2$

Согласно теории бифуркации, прошлое состояние системы исчезает скачком в силу накопления в системе флуктуаций (*fluctus*, лат. — бурлящий). В любой системе имеют место флуктуации, связанные со сбоями в функционировании ее элементов, с поломками в структурных образованиях. Флуктуации необходимы и присутствуют в любой системе, но вместе с тем их появления означают нарушения в способе существования системы: отклонения от статистически среднего.

Достигая некоторого критического значения, флуктуации становятся источником бифуркации, коренной ломки предшествующего состояния. В результате бифуркации случайные и несогласованные микроскопические изменения захватывают весь объем ранее существовавшей системы без остатка.

Неравновесные фазовые переходы отличаются тем, что новое состояние достижимо и устойчиво только благодаря постоянному подводу энергии, так как происходит постоянная диссипация энергии (ее рассеяние).

Локальное уменьшение энтропии при образовании диссипативных структур компенсируется ее повышением в окружающей среде за счет передачи ей энтропии, произведенной в системе. С ростом потока энергии, компенсирующего диссипацию, вновь возникающие структуры становятся все более сложными.



Аттракторы и фракталы

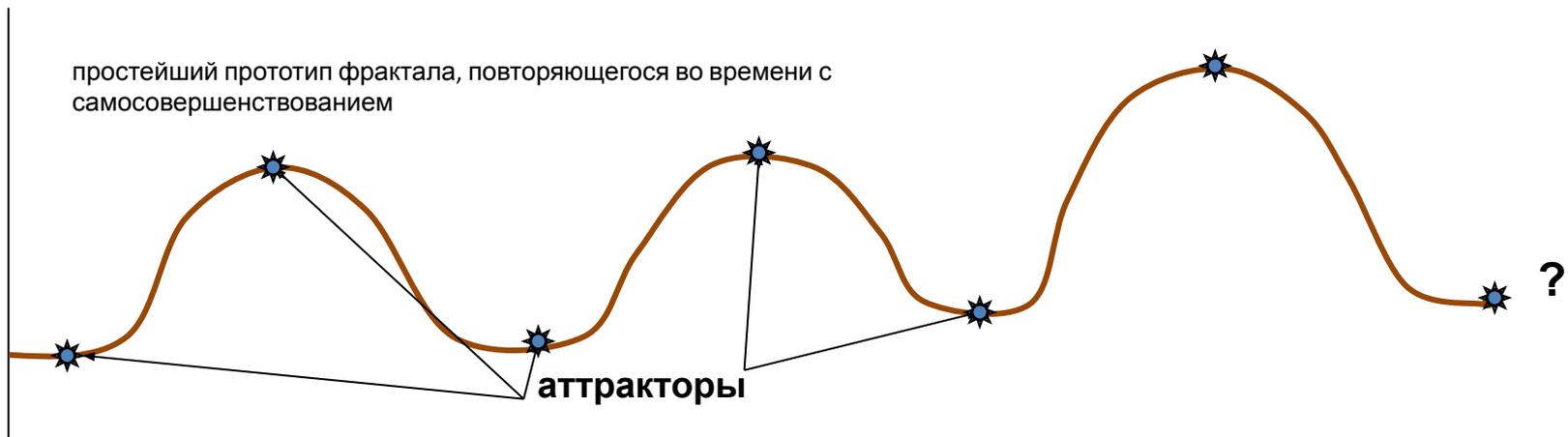
Аттрактор – точка, характеризующая стационарное состояние системы. Определяет устойчивый предельный цикл при периодическом движении, возвращающем систему к исходному состоянию.

Для объектов, обладающих способностью бесконечно повторять собственную структуру, на микроуровне вводится специальное название — **фракталы**, включающие широкий класс естественных и искусственных топологических форм.

Главной особенностью этого класса является самоподобная иерархическая организационная структура. Самоподобие подразумевает, что внешняя — наблюдаемая форма изучаемого объекта или явления, представленная в графическом виде, включает в себя большое количество копий, исполненных по одному и тому же замыслу.

Такие копии могут быть последовательно обнаружены в любой точке фрактальной кривой или поверхности при уменьшении масштаба представления. Геометрические модели фракталов часто ассоциируются с утонченным узором, проявляя удивительную изощренность в построении простых и сложных объектов.

Простейший математический прототип фрактала — непрерывная, но бесконечно изрезанная линия, заданная некоторой функцией, не имеющая ни в одной точке производной.



Аттрактор Лоренца рассчитан на основе всего трех степеней свободы - три обыкновенных дифференциальных уравнения, три константы и три начальных условия. Однако, несмотря на свою простоту, система Лоренца ведет себя псевдослучайным (хаотическим) образом.

Смоделировав свою систему на компьютере, Лоренц выявил причину ее хаотического поведения - разницу в начальных условиях. Даже микроскопическое отклонение двух систем в самом начале в процессе эволюции приводило к экспоненциальному накоплению ошибок и соответственно их стохастическому расхождению.

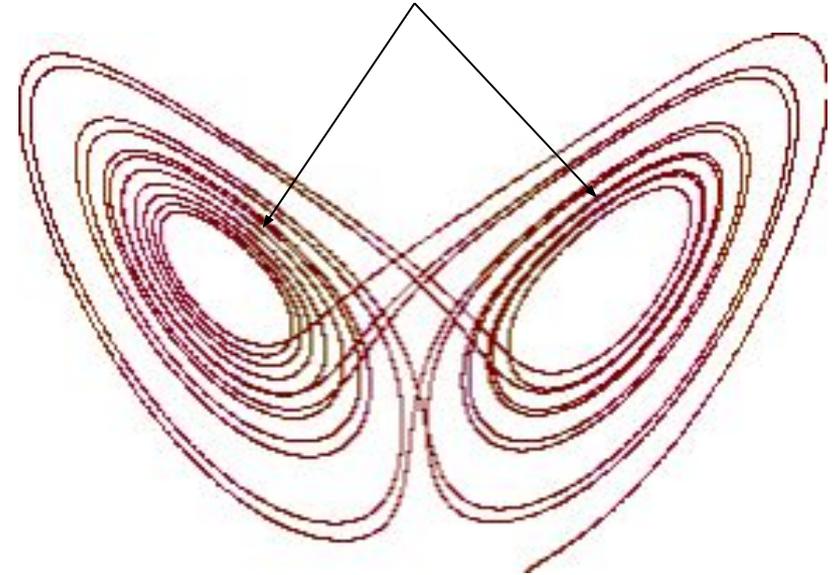
Любой аттрактор имеет граничные размеры, поэтому экспоненциальная расходимость двух траекторий разных систем не может продолжаться бесконечно. Рано или поздно орбиты вновь сойдутся и пройдут рядом друг с другом или даже совпадут, совпадение траекторий является правилом поведения простых предсказуемых аттракторов.

Скорость схождения-расхождения является мерой хаоса, т.е. численным выражением того, насколько система хаотична. Другой статистической мерой хаоса служит размерность аттрактора.

Основным свойством хаотических аттракторов является сходимость-расходимость траекторий разных систем, которые случайным образом постепенно и бесконечно перемешиваются.

Здесь проявляется пересечение фрактальной геометрии и теории хаоса, а одним из инструментов теории хаоса является *фрактальная геометрия*, фрактал - это противоположность хаоса.

Фрактал на основе аттракторов



Главное различие между хаосом и фракталом заключается в том, что первый является динамическим явлением, а фрактал статическим. Под динамическим свойством хаоса понимается непостоянное и непериодическое изменение траекторий.

Фрактал - это геометрическая фигура, определенная часть которой повторяется снова и снова. Свойства фрактала:

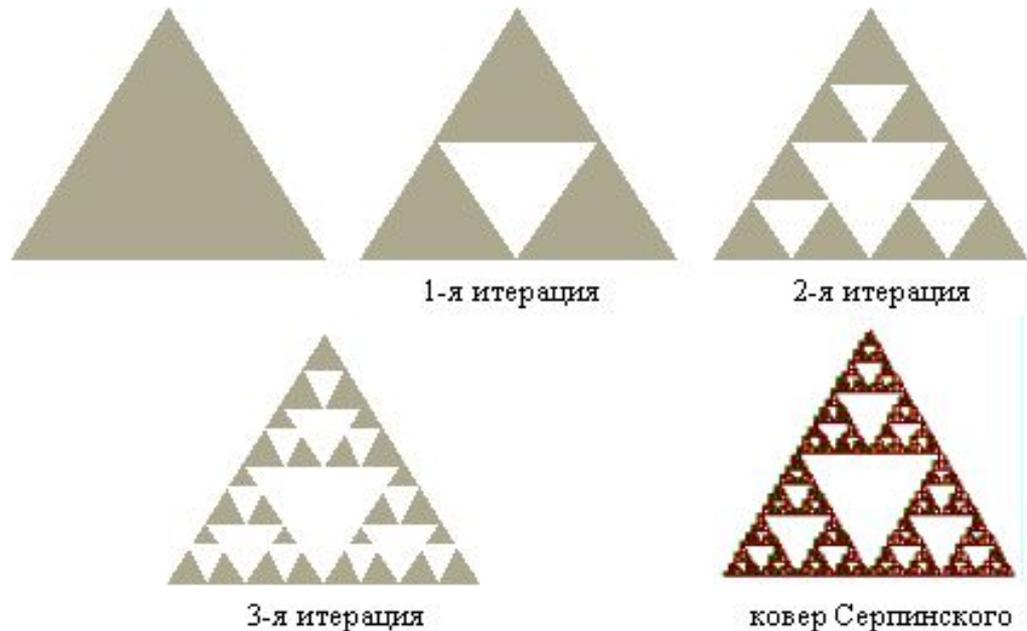
- самоподобие;
- дробность.

Дробность фрактала является математическим отражением меры неправильности фрактала.

Существующее вокруг нас случайное и неправильное может быть фракталом (облака, деревья, излучины рек, биения сердца, популяции и миграции животных или языки пламени).

Фрактал «ковер Серпинского» получается путем проведения ряда итераций.

Итерация (от лат. *iteratio* - повторение) - повторное применение какой-либо математической операции.



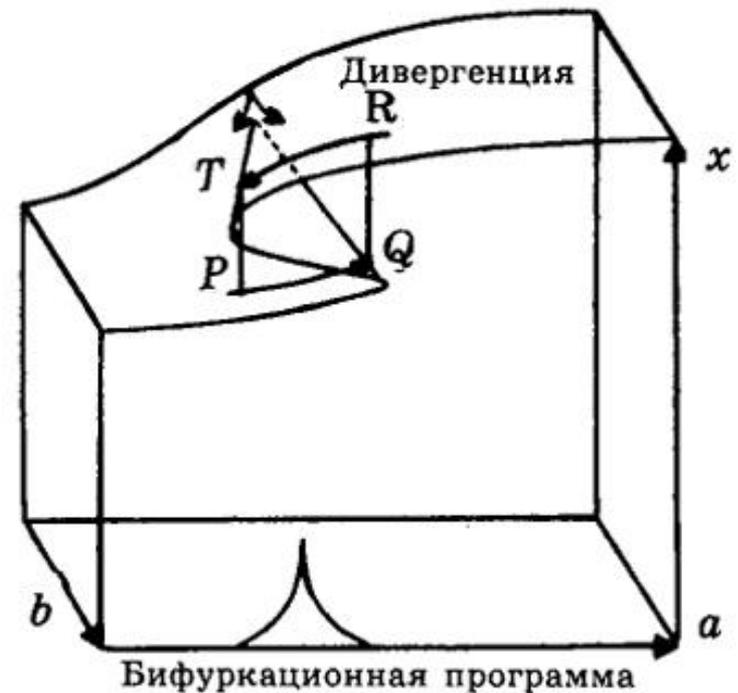
Катастрофа «сборка» как показатель степени опасности системы

Непрерывному изменению значений параметров a и b соответствует движение по кривой RT . В точке T происходит катастрофа - система скачком переходит с верхнего листа на нижний в точку P .

Каждому значению параметров a и b внутри бифуркационной кривой соответствуют два различных состояния системы (бимодальность).

На поверхности катастроф можно наблюдать явление гистерезиса, когда поведение системы существенно зависит от предыстории процесса:

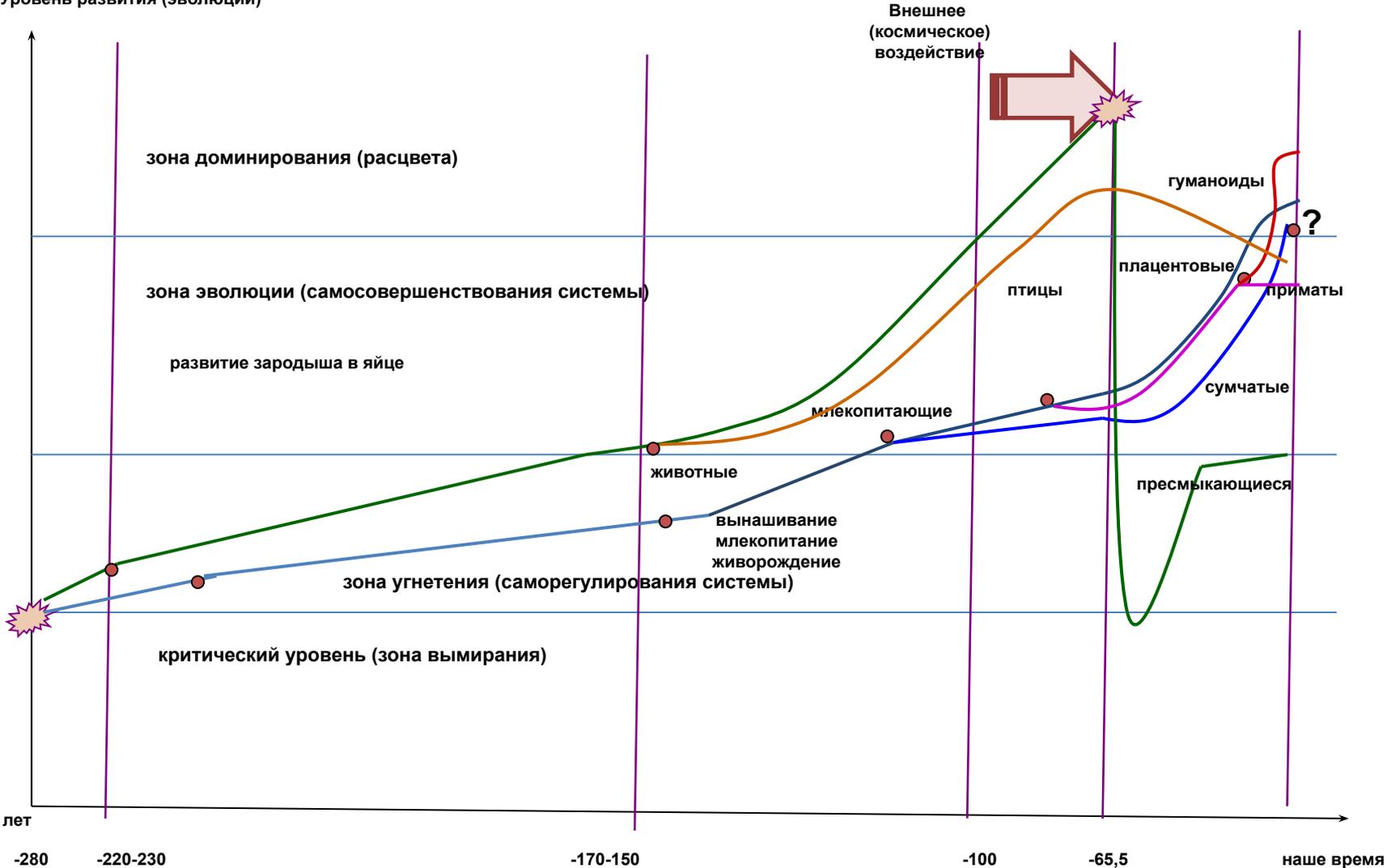
- при изменении состояния системы вдоль кривой RT происходит скачок с верхнего листа на нижний - из точки T в точку P ;
- при движении вдоль кривой PQ скачок с нижнего листа на верхний произойдет не в точке P , а в точке Q .

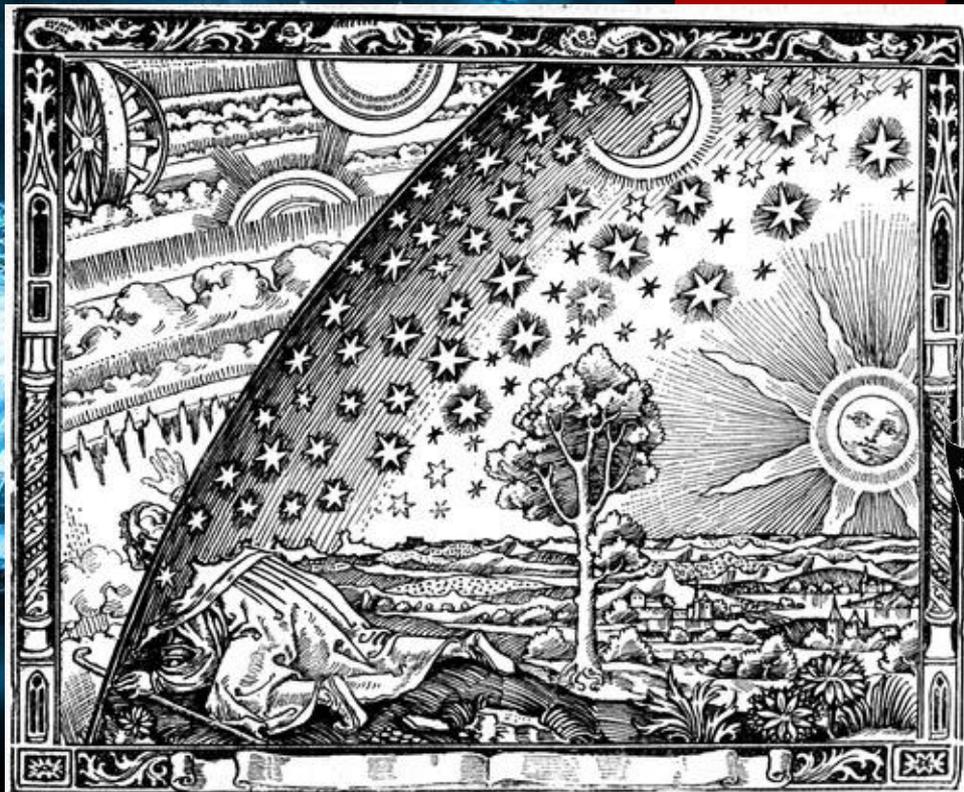


Одной из моделей теории катастроф, является катастрофа «сборка», которая характеризуется катастрофическим поведением качественными особенностями системы: по осям a и b отложены значения независимых переменных; по оси x - зависимой переменной. Возможным положениям системы соответствует поверхность катастроф. Проекция этой поверхности на плоскость (a, b) дает бифуркационную кривую.

Поведение открытых систем под воздействием внешних факторов

Уровень развития (эволюции)





Расширение взгляда на внешний мир

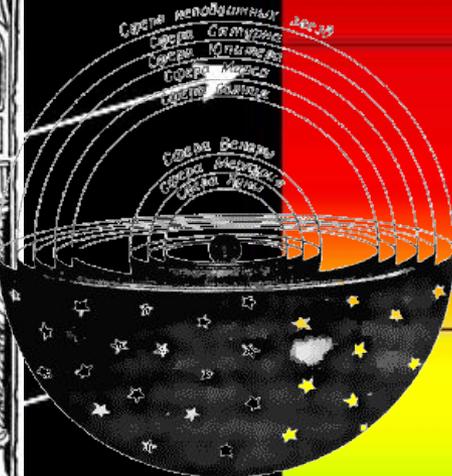
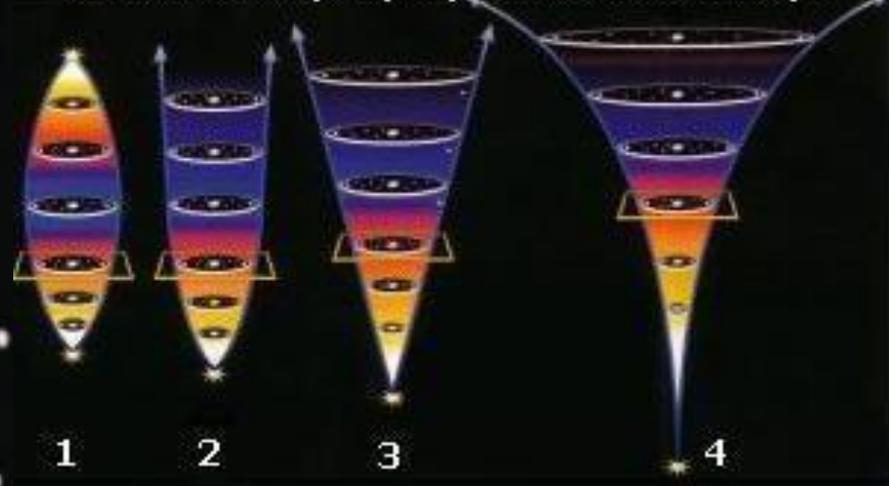


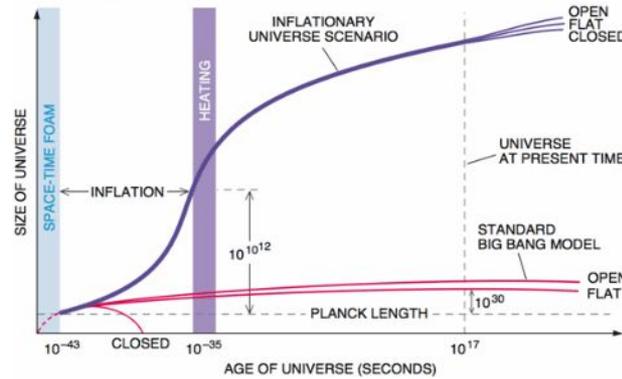
Рис. 1.1

Возможные сценарии развития нашего мира

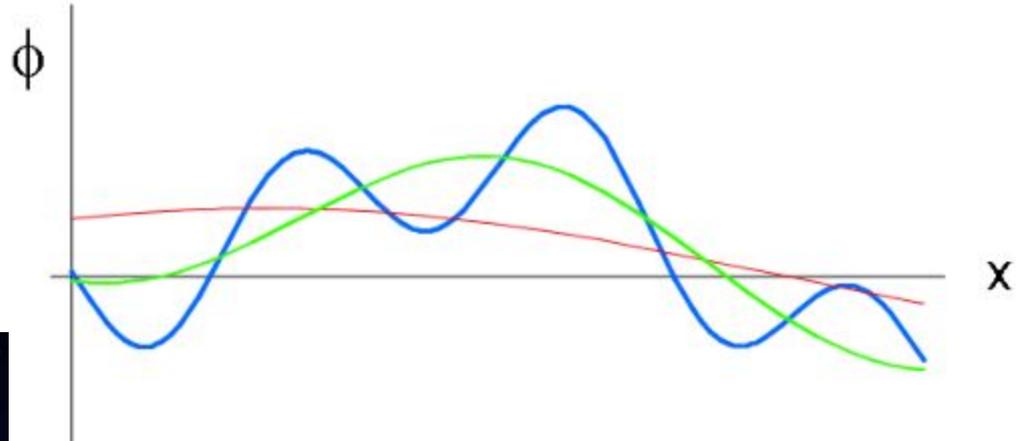
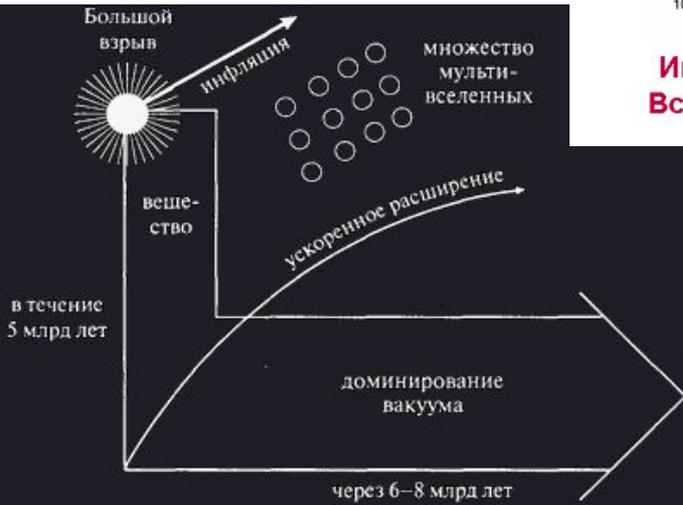
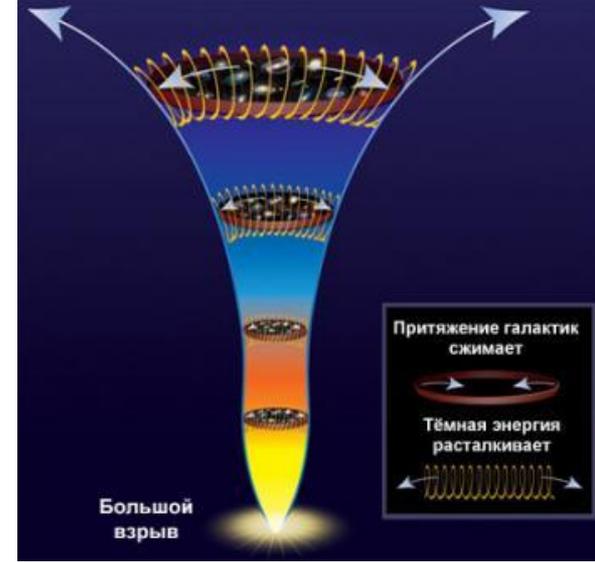




Инфляционная Вселенная

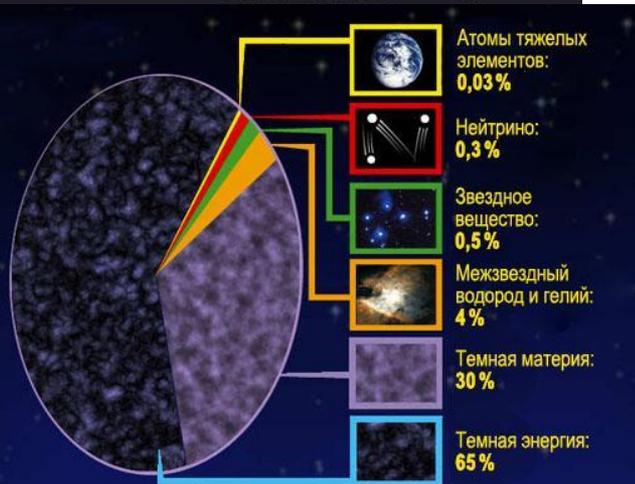


Инфляция - это очень быстрое ускорение Вселенной вскоре после ее возникновения

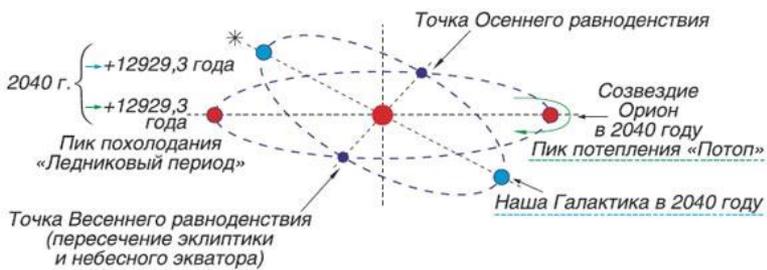


В результате Вселенная заполнилась неоднородным скалярным полем. **Эти неоднородности ответственны за последующее образование галактик.**

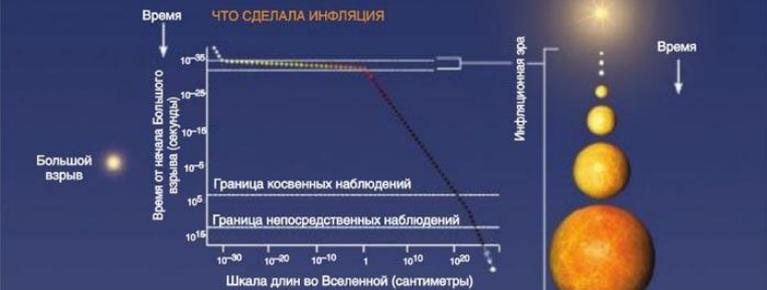
Иногда эти флуктуации накапливаются и сильно увеличивают энергию скалярного поля в некоторых частях Вселенной. В этих частях инфляция ускоряется, **Вселенная входит в режим самовосстановления, процесс инфляции становится вечным.**



Последствия инфляции Вселенной



* – Галактики делают полный оборот за 25 тыс. 858,6 года; 1/2 оборота = 12 тыс. 929,3 года по звездному календарю
По календарю Майя – полный оборот за 25765 лет, 1/2 оборота за 12 тыс. 882,5 года.



Мера роста Вселенной во время инфляционной стадии велика даже по астрономическим стандартам. За 10^{-33} с радиус Вселенной увеличился как минимум в 10^{25} раз. Вселенная расширялась с ускорением, пространственные области удалялись друг от друга со сверхсветовой скоростью



Поле инфлатона генерирует силу гравитационного отталкивания, которая и заставляет расширяться пространство-время. Во время расширения плотность энергии поля должна меняться в зависимости от напряженности этого поля. График такой зависимости представляет собой плато (область высоких энергий) и склон (область низких энергий). Поле ведет себя подобно шарикю, скатывающемуся по наклонной поверхности в ямку. Когда оно достигает минимума плотности энергии, то инфляция заканчивается, после чего из энергии поля инфлатона начинается рождение горячего вещества и излучения

Объем наблюдаемого нами пространства был одной стотриллиардной долей размера атома, когда инфляция началась. Во время инфляции пространство выросло до размера монетки в 50 копеек. За последующие миллиарды лет пространство продолжало расширяться, но уже по инерции; формировались звезды и галактики (рис. дан не в масштабе)

Сейчас вселенная расширяется, но если масса вещества всей вселенной превысит определенный порог, то расширение сменится сжатием, то есть пространство будет искривлено таким образом, что луч света, однажды покинув одну точку, вернется обратно, а это значит, мы живем в мире эллиптической геометрии Римана. Если массы не хватит, то вселенная будет расширяться неограниченно, а значит, мы живем в мире гиперболической геометрии Лобачевского

