



# **Теория систем и системное мышление**

Алексей Каптерев

# Правила лекции

- Есть лектор и тема
- Вопросы можно задать в любой момент
- Для этого нужно поднять руку
- Один источник звука
- Лектор не знает всего
- Если вы знаете лучше, вы выходите и рассказываете (это нормально)

# О чем будем говорить

- Что такое теория систем и зачем она нужна?
- Основные принципы и понятия:
  - Система
  - Основные принципы
  - Причина, следствие, вероятность
  - Обратная связь
- Что со всем этим делать?


Недвойствен  
ность

Двойствен  
ность

Двойственность  
+  
недвойствен  
ность

Теор  
ия  
систе  
м

**Основная задача  
теории систем –  
управление  
сложностью.**



Теория систем – это  
лекарство, которое  
превратилось в болезнь.

Кен Уилбер

# Что такое...?

**Теория систем** – междисциплинарная область, изучающая отношения внутри систем, а также систем между собой.

**Система** (от греческого «совмещать») – совокупность элементов, порождающих целое.

# «Словечки»

- Структура
- Состояние
- Функция
- (Само-)организация
- Обратная связь
- Гомеостаз
- Энтропия
- Бифуркация
- Топология
- Резонанс



# История вопроса

- 1945-1955 – общая теория систем (ОТС), Людвиг фон Берталанфи
- 1948-1955 – кибернетика, Росс Эшби, Норберт Винер (математическая теория коммуникации и контроля в системах с обратной связью)
- 1969 - теория изменений, Илья Пригожин (область химии, изучающая изменения в диссипативных нелинейных средах)
- 1970 – теория катастроф, Рене Том (область математики, изучающая резкие масштабные изменения по незначительным причинам)
- 1980 - теория хаоса, Эдвард Лоренц, Джеймс Йорк (область математики, изучающая нелинейные динамические системы, бифуркации, аттракторы и хаотические движения)
- 1990 – теория комплексных адаптивных систем (CAS), Джон Холланд и др. (область математики, изучающая эмерджентность, адаптацию, само-организацию в сложных системах)

Система – это обособленная часть,  
фрагмент мира, вселенной,  
обладающий особым качеством  
(эмерджентностью) относительной  
самодостаточностью.

П.Эткинс



Граница

The diagram shows a dark, irregularly shaped area representing a system, outlined in white. The word 'Система' is written inside this area. The word 'Окружение' is written in the white space below the system boundary. A small white box with the word 'Граница' is positioned at the top right, with a thin white line pointing to the boundary of the system.

Система

Окружение



# Какие бывают системы?

- Простые-сложные
- Статические-динамические
- Открытые-закрытые-изолированные
- Линейные-нелинейные
- Абиотические-живые-разумные
- Аналоговые-дискретные

Система – это комплекс избирательно вовлеченных элементов, взаимодействующих для достижения заданного полезного результата, который принимается основным системно образующим фактором. – В.А.Анохин

# Аксиомы ОТС

(одна из версий)

- у системы всегда есть **одна** постоянная генеральная **цель**
- цель для систем ставится **извне**
- для достижения цели система должна функционировать определённым образом
- **результат** действия систем существует независимо от самих систем
- принцип изоморфизма

# Законы ОТС

- закон сохранения
- законы иерархии
  - целей - распределение на подцели
  - систем - распределение подцелей между подсистемами и подчиненность подсистем
- закон причинно-следственных ограничений (детерминизм действий систем)

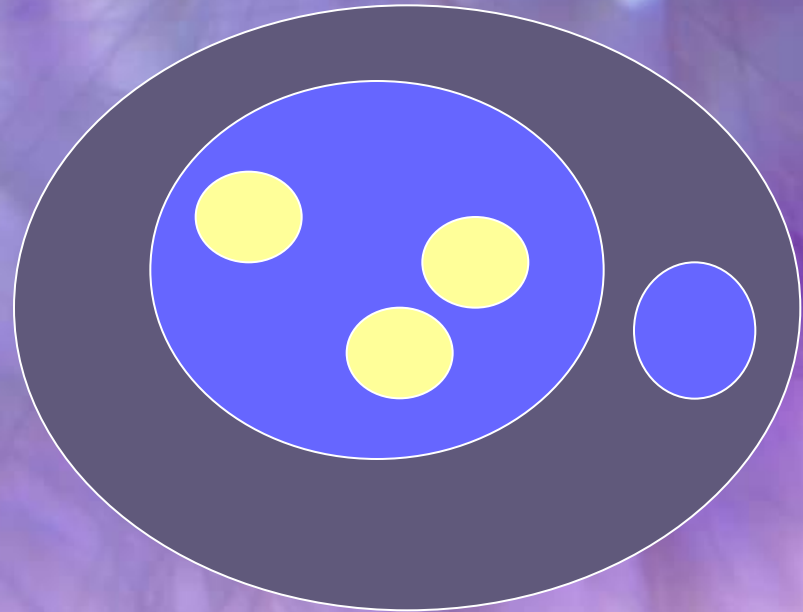
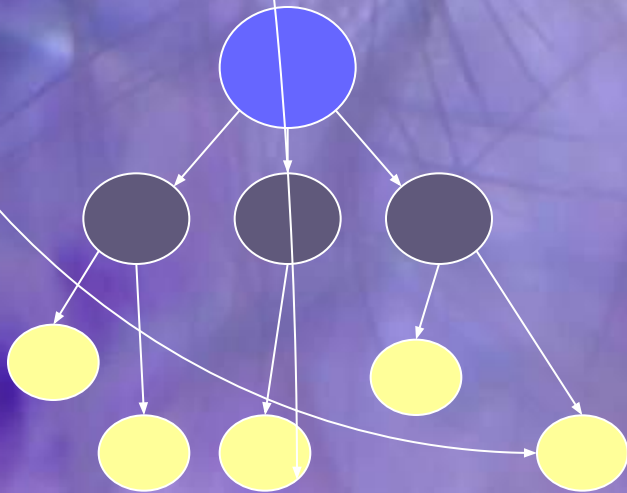


# Закон сохранения

- Материя и энергия не возникают ниоткуда и не пропадают никуда ( $E=mc^2$ ).
- На создание системы затрачивается энергия.
- При разрушении системы выделяется энергия.
- На преобразование системы из простой в сложную затрачивается энергия.
- При упрощении системы выделяется энергия.
- Внутренняя энергия системы – энергия связи между элементами системы.

# Иерархия

- hierarchia = hieros (священный) + arche (власть)
- упорядоченное расположение частей целого
- по системным уровням от высшего к низшему



# Закон причинно- следственных ограничений

- На все есть своя причина.
- На определенную причину есть определенное следствие.
- Все это не гарантирует 100% предсказуемость системы:
  - Сложные системы сложнопредсказуемы
  - На микроуровне случаются вообще случайные события



Поведение элементарных частиц  
**случайно и непредсказуемо.**

Это **НЕ** мир «бильярных шаров».

# Принцип неопределенности Гейзенберга



Чем точнее мы знаем  
координаты частицы, тем  
менее точно мы можем  
определить ее импульс и  
наоборот.

– Вернер Гейзенберг, 1927

# Наблюдение меняет объект

Измерить характеристики квантового объекта, например электрона, можно лишь через его взаимодействие с другим квантовым объектом; при этом состояние измеряемого объекта изменится.

# Кот Шрёдингера



# Еще один (Шрёдингер любил кошек мучить)





# Теорема Белла

Поведение элементарных частиц случайно и непредсказуемо, но оно находится в тесной корреляции с окружающими их частицами.

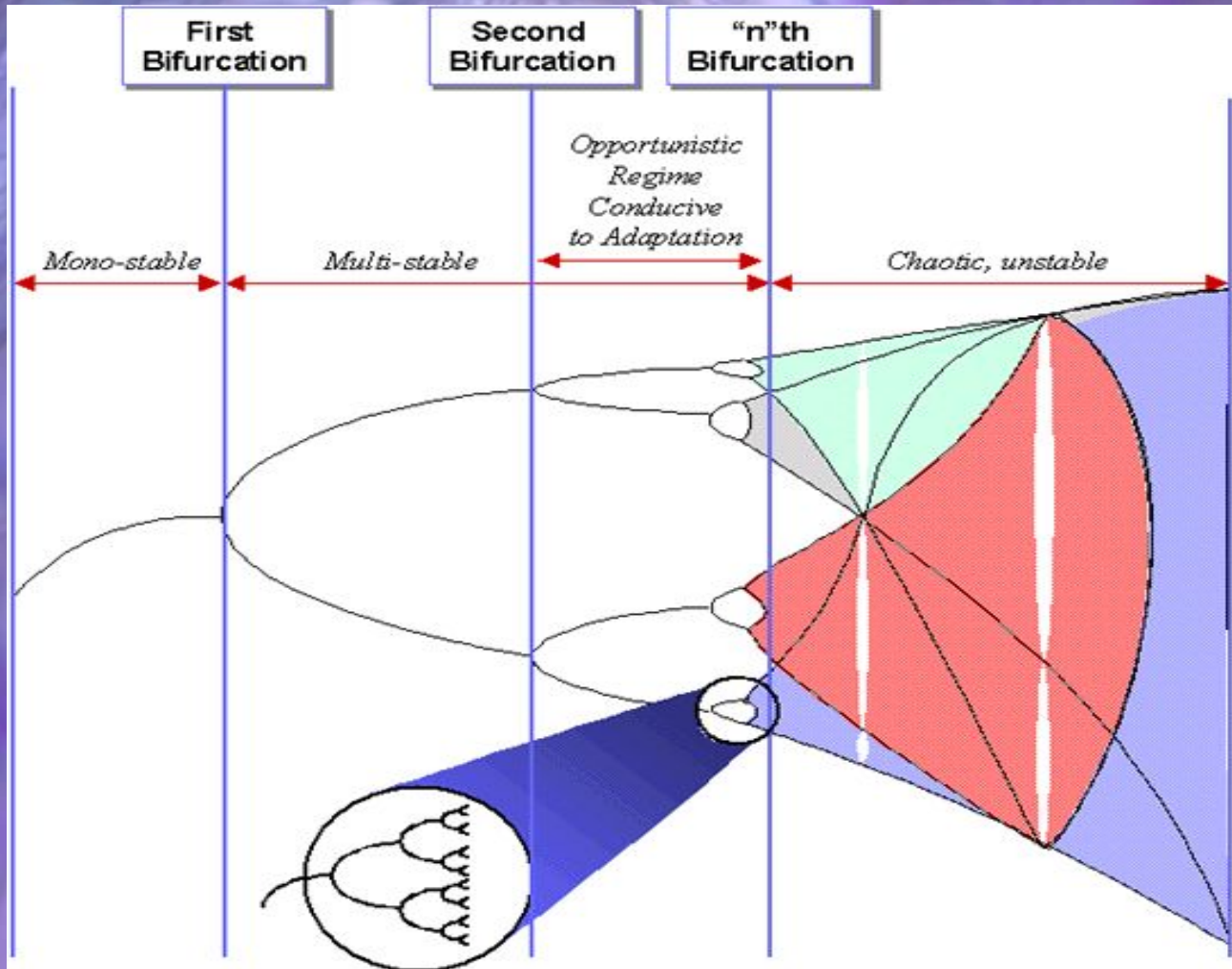
– Джон Белл, 1975

(цитата не точна, но смысл примерно передает)

**Будущее** открыто и  
непредсказуемо, но **не**  
**произвольно.**

Существуют **спектры** возможных  
будущих состояний в виде наборов  
структур-аттракторов сложных  
эволюционных процессов.

# Точки бифуркации

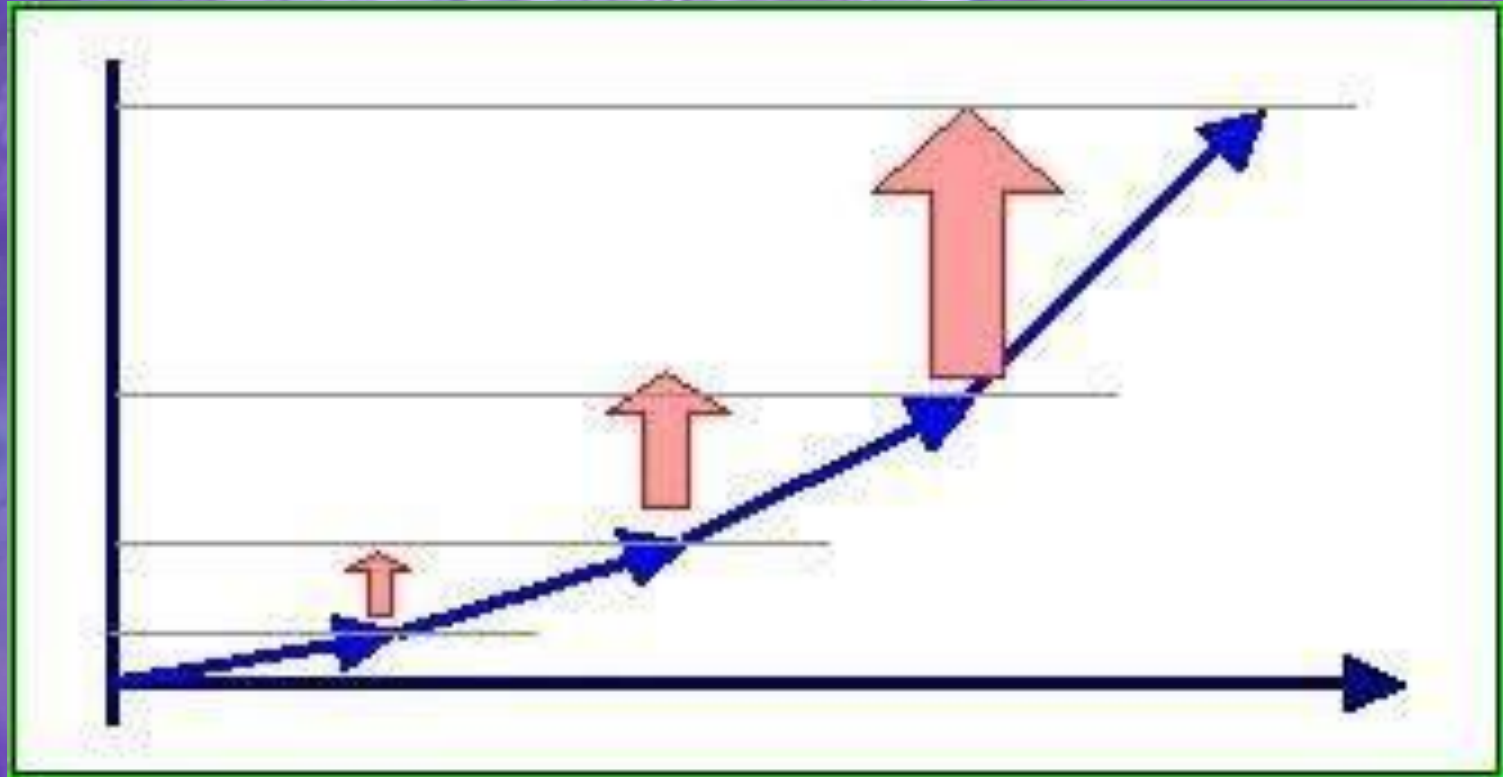


# Простая обратная связь

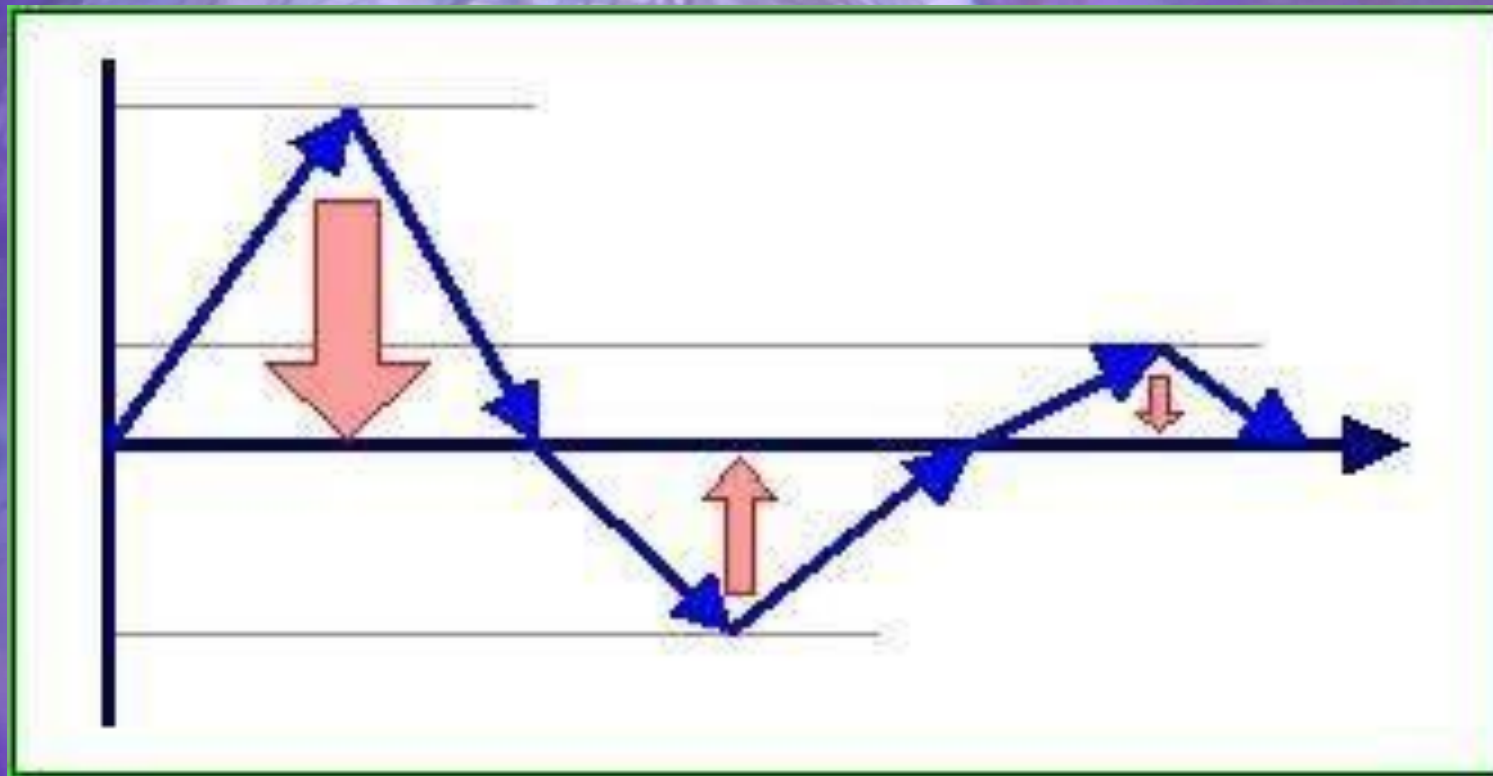


Р и с. 1. Модель простой обратной связи.

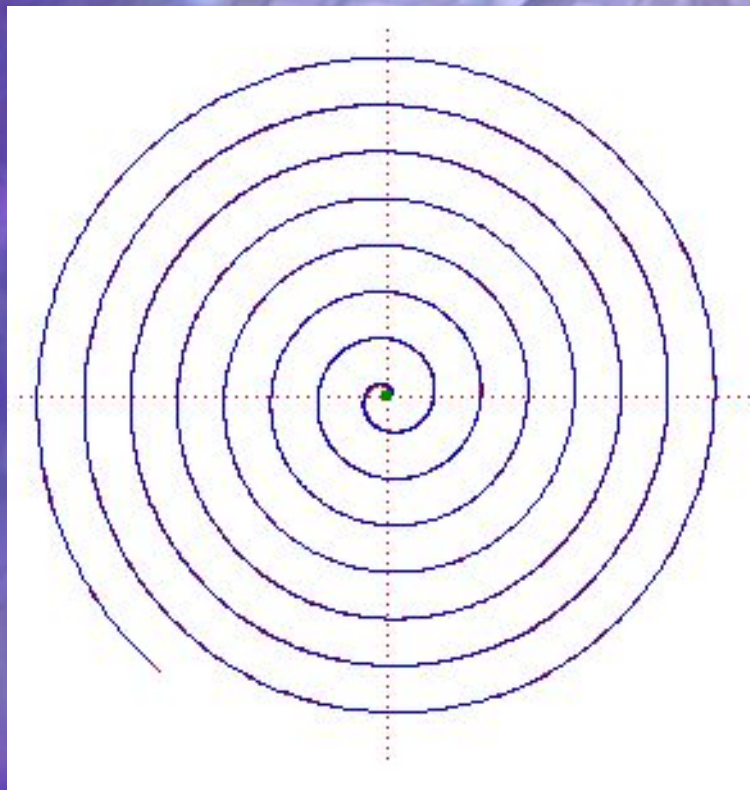
# Поддерживающая ОС



# Компенсирующая ОС



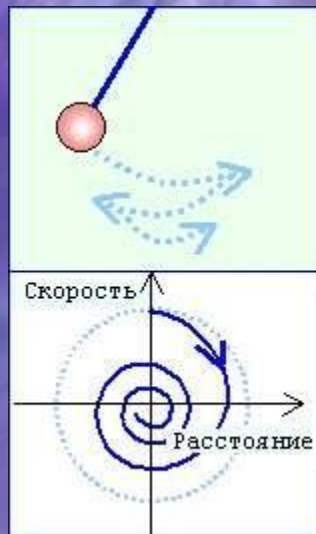
# Эволюция системы



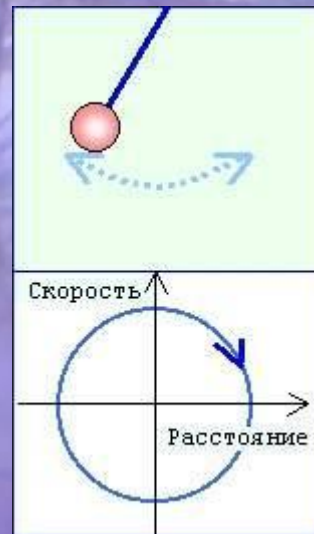
Спираль Архимеда



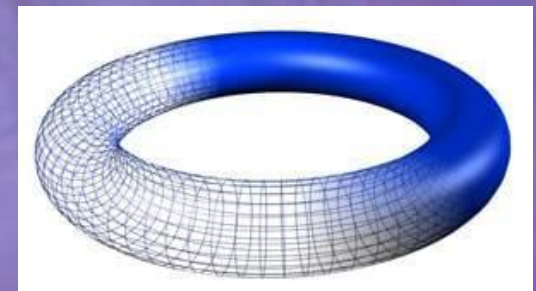
# Простые аттракторы



Точка



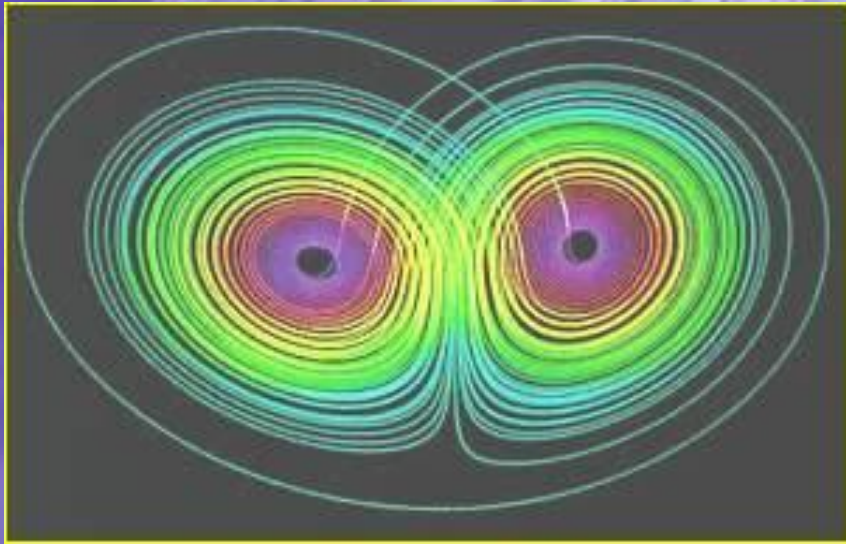
Предельный  
цикл



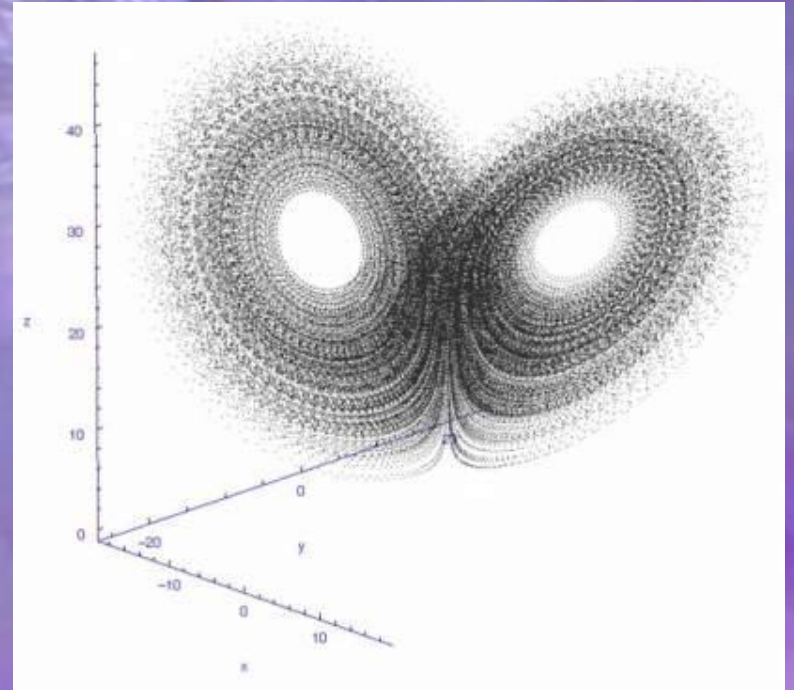
Тор



# Странные аттракторы



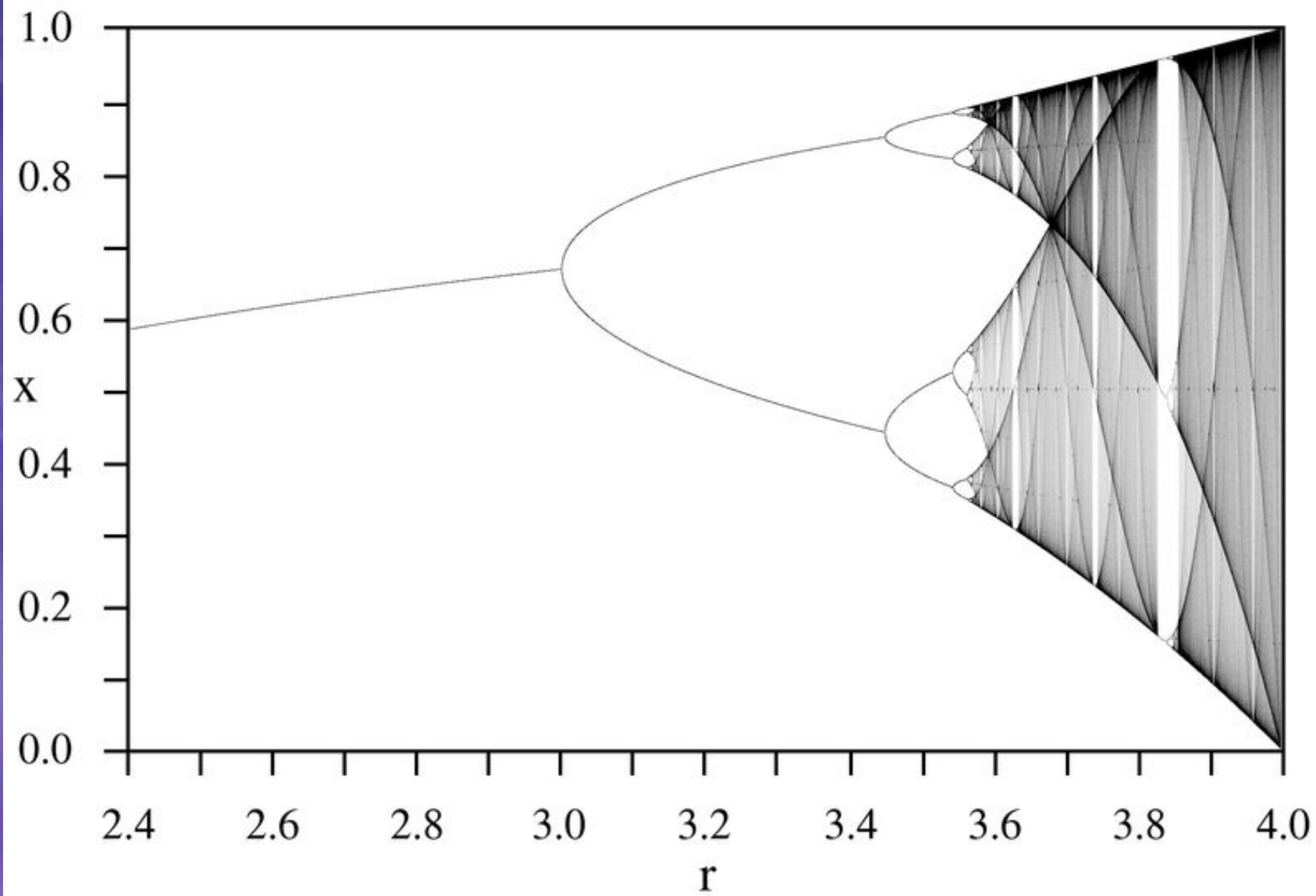
Аттрактор  
Лоренца



Он же в 3-D

# Теория хаоса

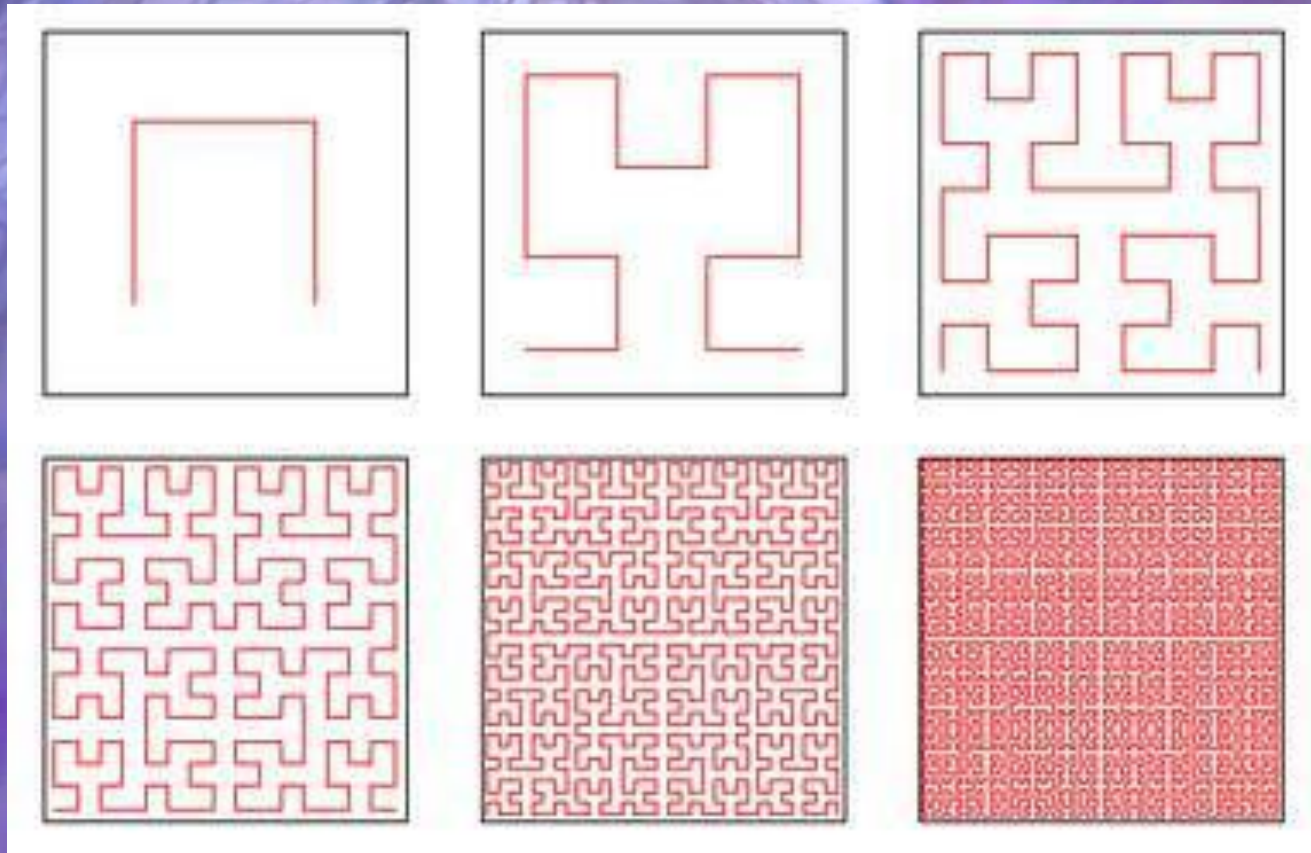
Хаос – поведение, возникающее в сложных, нелинейных, динамических системах.



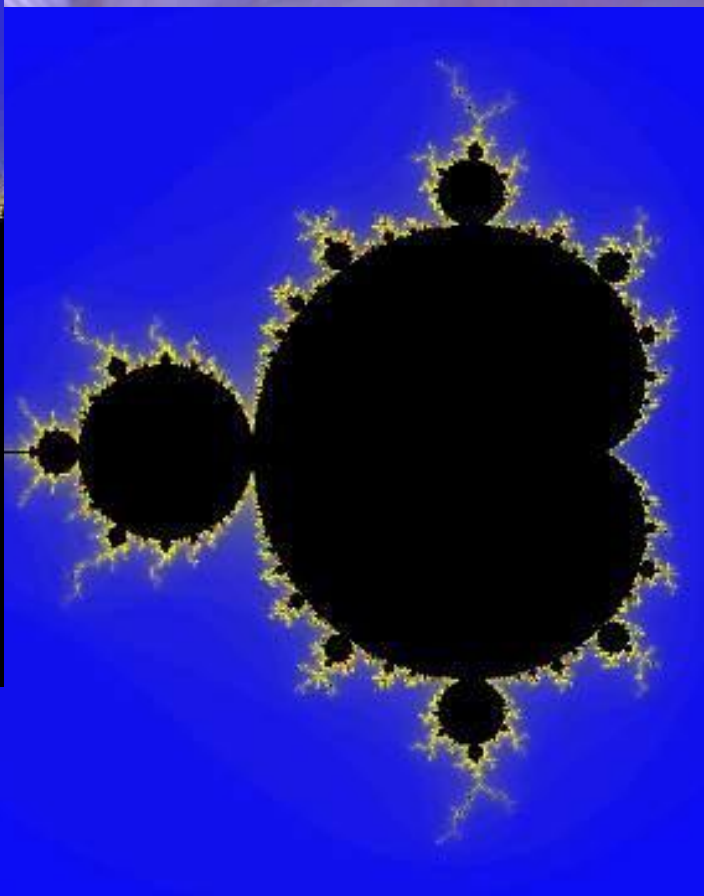
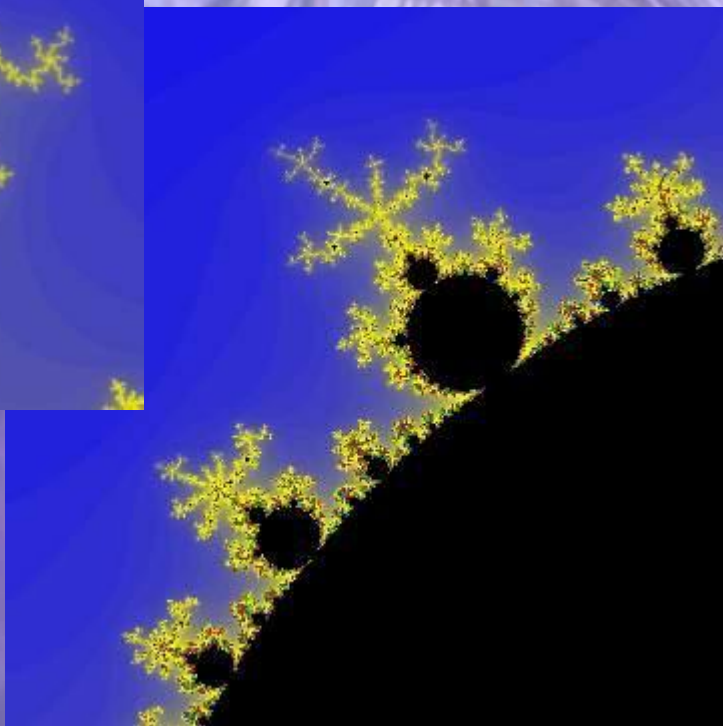
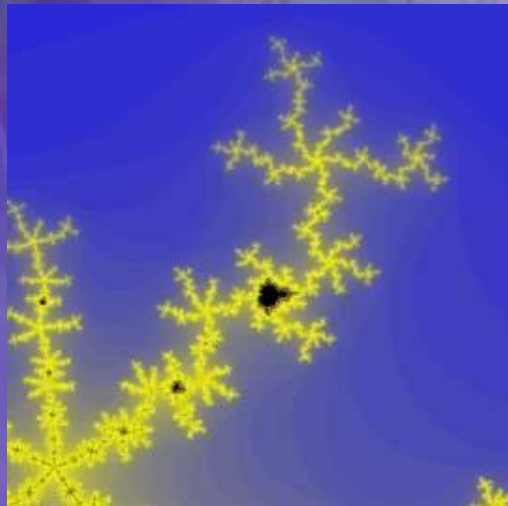
# Паттерны

Паттерн – устойчивый,  
повторяющийся элемент системы.

# Кривая Хуберта

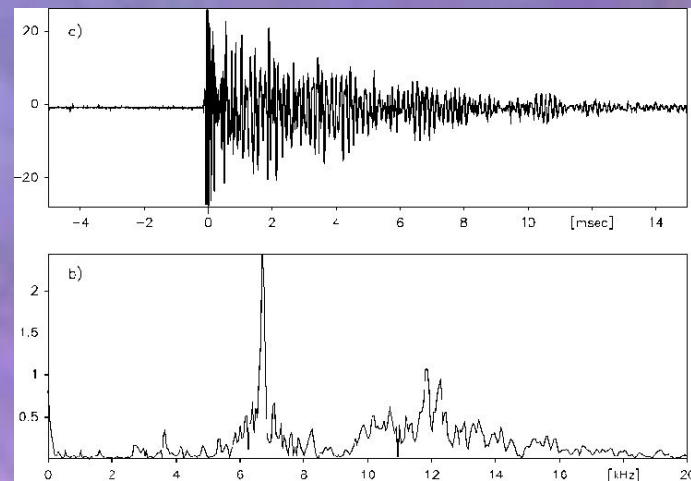


# Фрактал Мандельброта



# Резонанс

Способность системы принять больше энергии, чем обычно, если частота колебаний совпадает с внутренней естественной частотой вибрации системы (резонансной частотой).



# Примеры резонанса



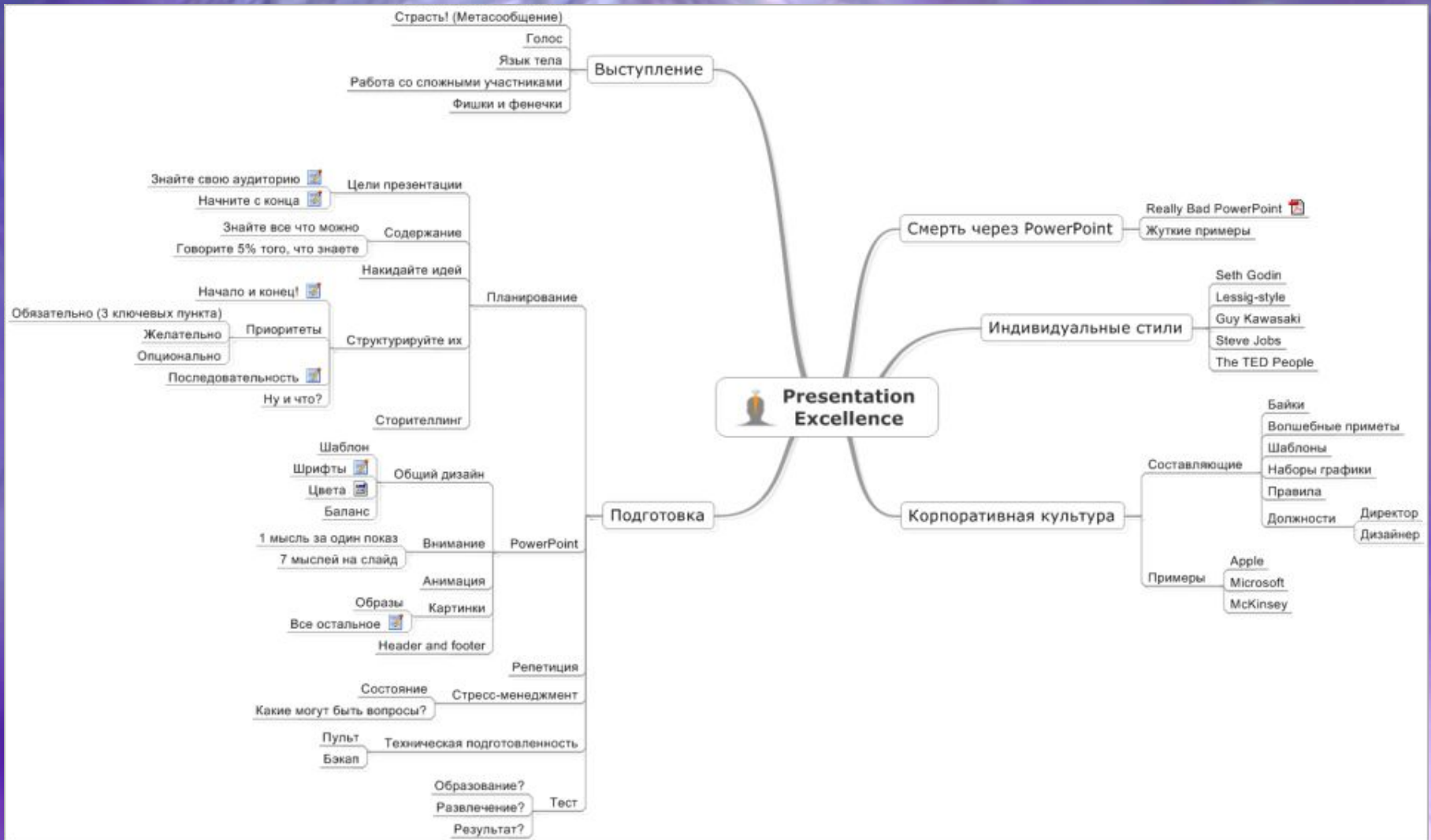
# Моделирование

- Моделирование – основной способ изучения систем.
- Цели моделирования:
  - Объяснение/понимание
  - Предсказание
  - Управление с целью оптимизации

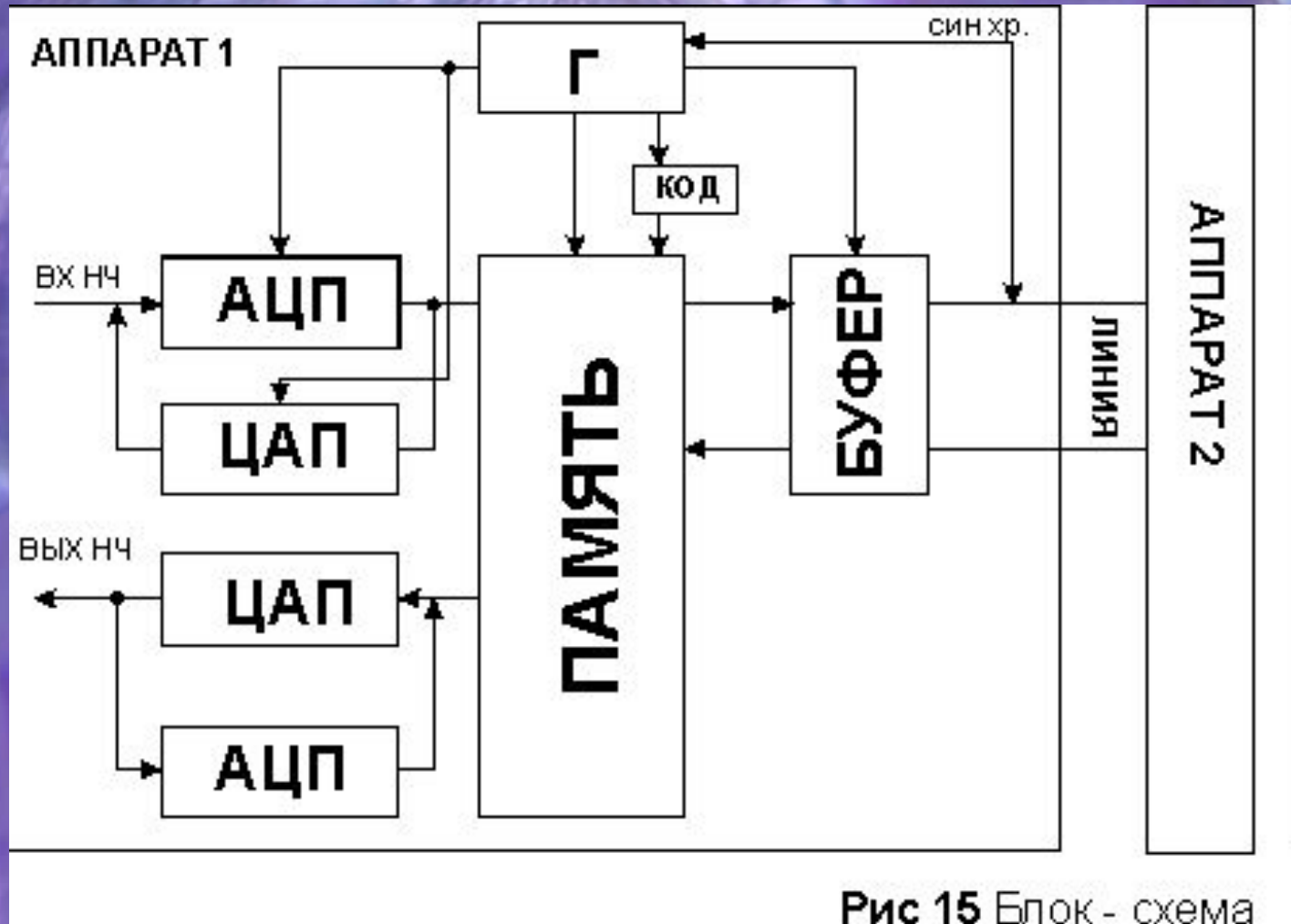
# Виды графических моделей

- Карта мышления (Mind-map)
- Блок-схема (Block diagram)
- Диаграммы причинности (CLD)
- Граф (Plex)
- Карта холонов (Multiplex)
- ... Список можно продолжить

# Карта мышления



# Блок-схема



# Causal loop diagram

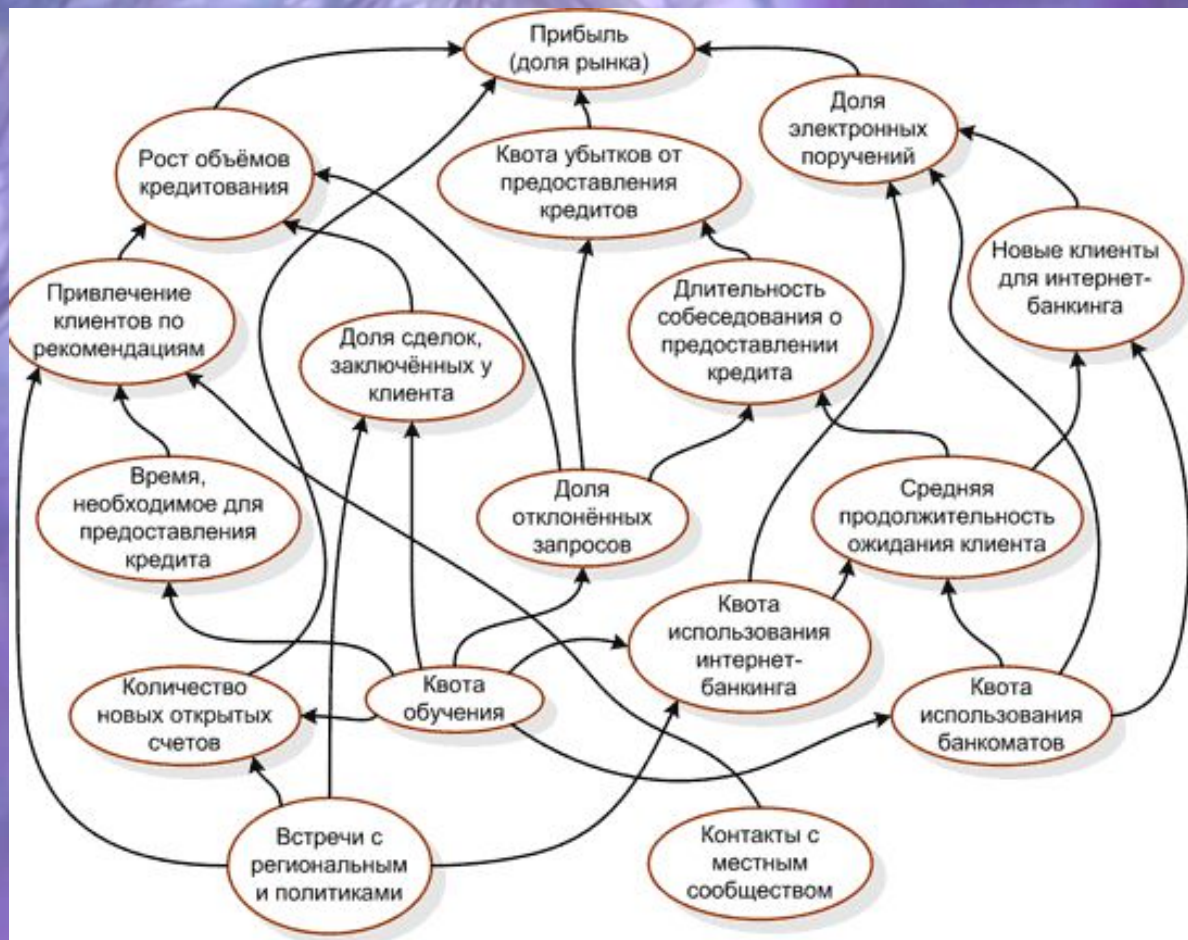


Рис. 2. Причинно-следственные связи в ССП на примере регионального банка (по материалам: H.R. Friedtag, W. Schmidt. Balanced Scorecard – Mehr als ein Kennzahlensystem. – Haufe Mediengruppe, Freiburg-Berlin-Munchen, 2002)

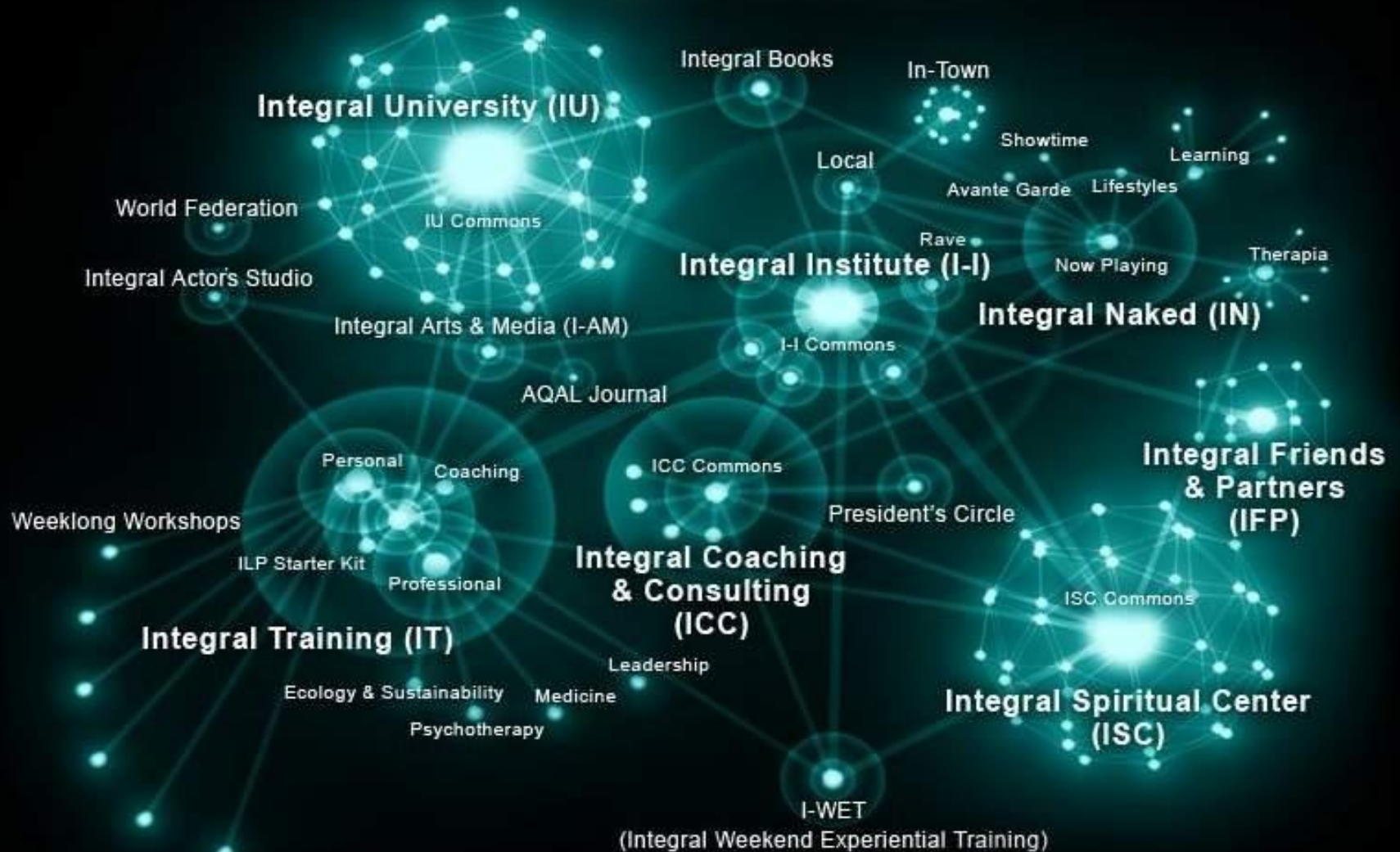
# Causal loop diagram



# Граф (Plex)

The screenshot shows a Microsoft Internet Explorer browser window displaying the website 'TheBrain - Dynamic Mind Mapping and Knowledge Management Software for Everyone.' The address bar shows 'http://www.thebrain.com/'. The main content area features a blue background with a central node labeled 'Support' in a black box. Lines radiate from this central node to various other nodes, forming a mind map structure. The nodes include: 'Personal Solutions' (top), 'Download', 'Purchase', 'Testimonials', and 'Tutorials' (right); 'FAQ', 'Feedback', 'User Guide', and 'Glossary' (left); and 'Technical Support' and 'What's New' (bottom-right). At the top left is the 'THEBRAIN' logo, and at the top right are 'Home' and 'About Us' links. At the bottom, there is a search bar and the 'PERSONAL BRAIN Support' logo.

# The Integral Multiplex





# Что было использовано?

- Иерархии-гетерархии-холархии
- Отношения причины-следствия
- Отношения влияния

# Что НЕ было использовано?

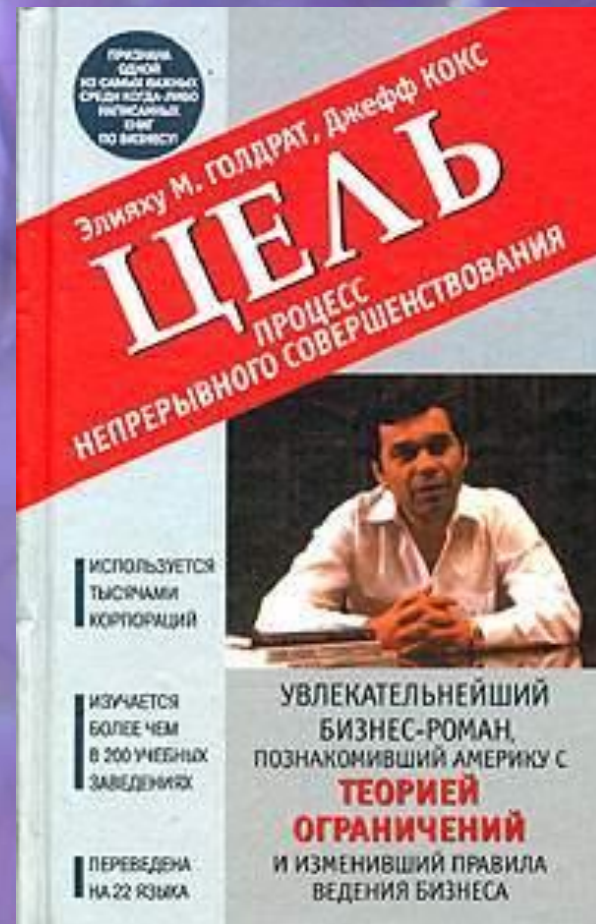
- Паттерны/фракталы
- Резонанс
- Аттракторы
- Точки бифуркации :)

# Теория ограничений

Элияху Голдратт

(род. 1948)

физик и бизнес-  
консультант,  
автор теории  
ограничений



# Вопросы ТОС

- 1) Что менять?
- 2) На что менять?
- 3) Как создать изменения?

# Аксиомы ТОС

- 1) У организации есть цель.
- 2) Организация – больше чем просто сумма частей.
- 3) Производительность организации ограничена очень небольшим количеством переменных.

# 5 (пять) фокусирующих шагов

- 1) Найдите ограничение системы;
- 2) Решите, как его использовать с максимальной отдачей;
- 3) Подчините этому решению работу всех остальных элементов;
- 4) Уберите ограничение системы;
- 5) Если ограничение устранено, возвращайтесь к шагу 1.

# Инструменты ТОС

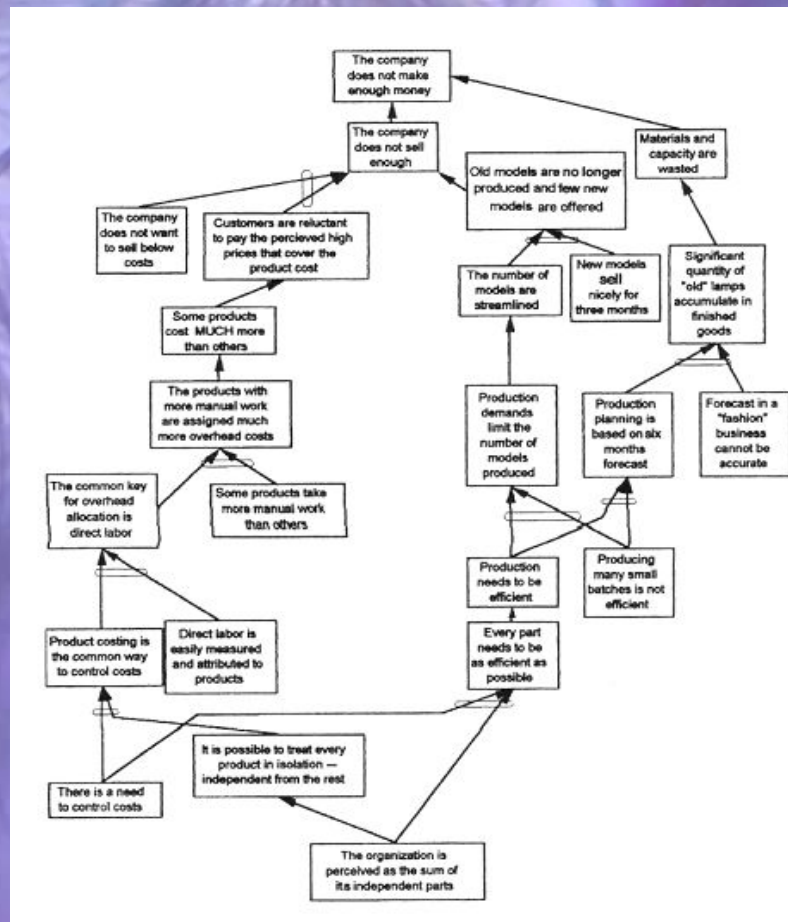
- «Облако» (Evaporating cloud)
- Дерево текущей реальности (Current reality tree)
- Дерево будущей реальности (Future reality tree)
- Дерево *того-сего-пятого-десятого* (их там еще много)



# «Облако»



# «Дерево реальности»



(я знаю, ничего не видно, но суть ясна)

Спасибо, это все.

**Алексей Каптерев**

**[alexei@newcode.ru](mailto:alexei@newcode.ru)**