КАФЕДРА ТЕЛЕМАТИКА

Санкт-Петербургский
Государственный
Политехнический
Университет

Институт прикладной
математики и механики

Введение в профессиональную деятельность

Лекция 5

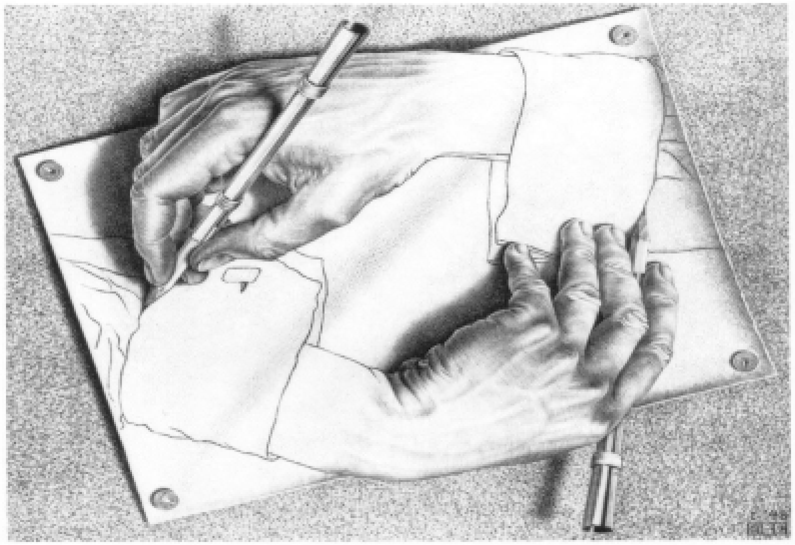
Компьютерные науки и информационный «пепел» реальности

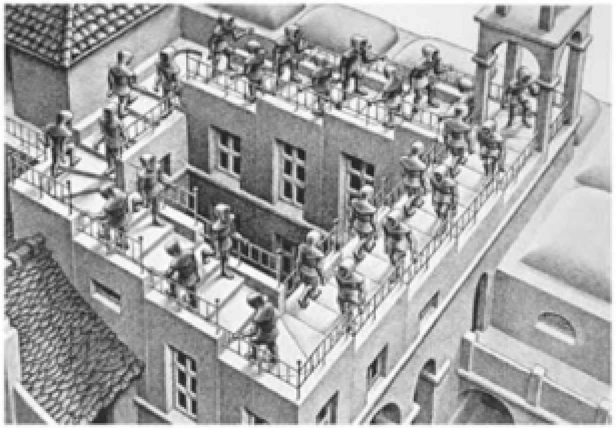
13 Марта 2018 г.

Что обсуждалось на прошлой лекции

1. Все физические объекты являются носителями «информационных» свойств. Объективно **возможные состояния** образуют «информационные» **суперпозиции**.
2. Любой физический процесс, приводящий к изменению информационных свойств объектов, может рассматриваться как вычисление и на оборот.
3. Поэтому передать информацию **между** различными уровнями описания физической системы можно с помощью вычислений. Проблема вычислений в сложности модели и точности получаемого результата.

петля Хофштадтера:





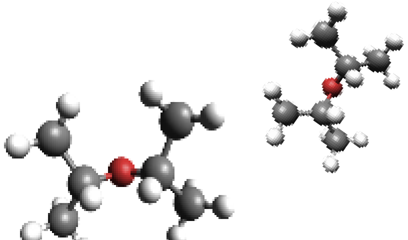
Дуглас Хофштадтер: мы — это наш мозг. Может ли мозг быть сделан из кремния ?

Цифровая «Призма» Науки 2.0

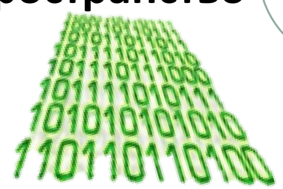
За последние 10 лет компьютеры более чем в 1000 раз повысили свою производительность. Сегодня многие фундаментальные и прикладные науки смотрят на «окружающих нас мир» через призму “цифровой науки 2.0 “.

Реальный мир – это что ?

“цифровая призма ” науки 2.0

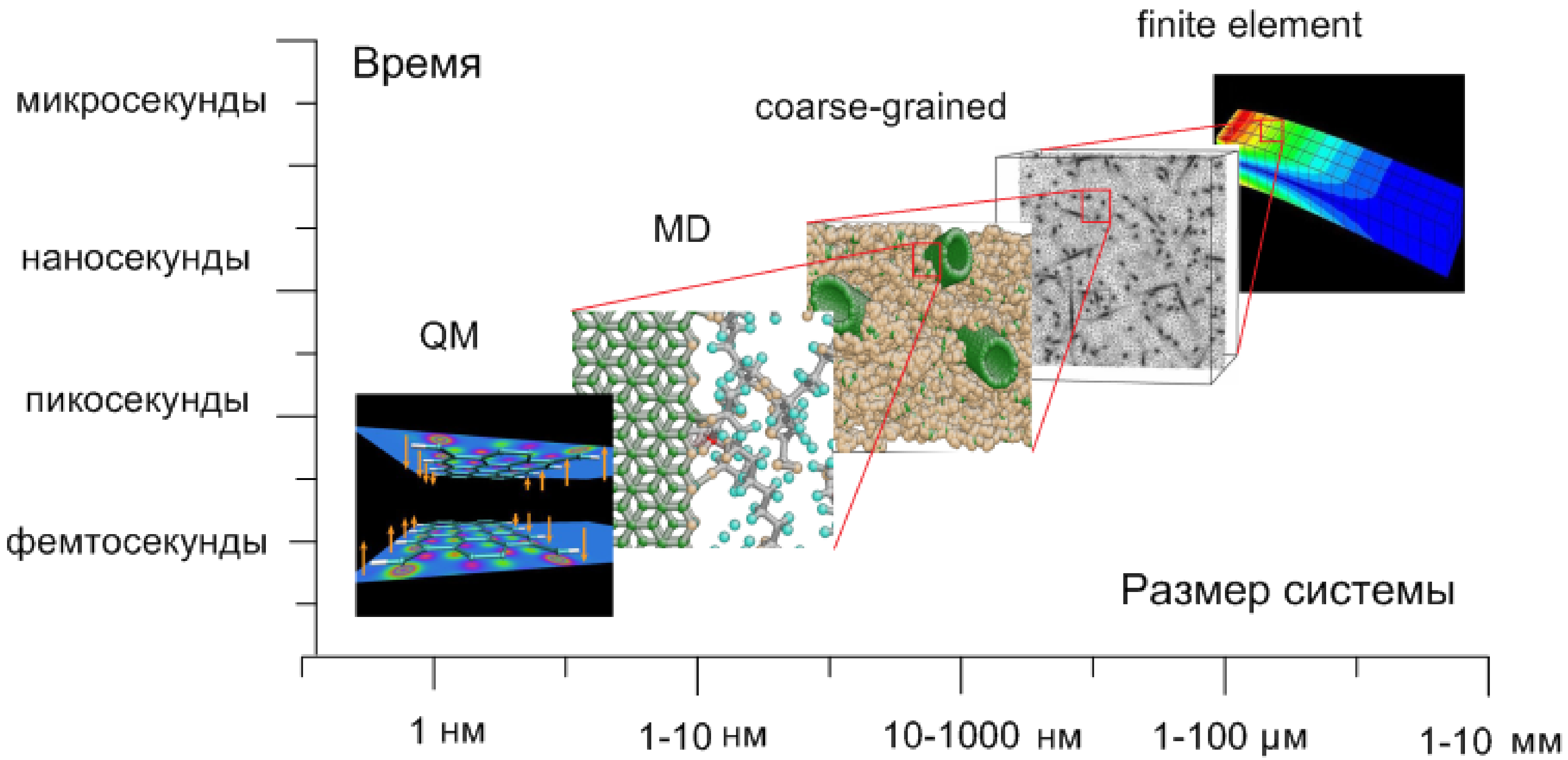


Классическая наука : Энергия, материя, пространство



Компьютерные науки : информационный «пепел» реальности

Отношение «время протекания процессов – масштаб системы»



…от механической простоты к “Multi” сложности Науки 2.0

From data / images / numbers …
… to information / insight

From qualitative descriptions …
… to quantitative prediction

From counting operations ...
… to energy awareness

From simulation …
… to optimisation

From sequential algorithm design ...
… to massive parallelism

From parameter assumptions …
… to identification
& estimation

multi-level
multi-modal
multi-scale
multi-disciplinary
multi-architecture
multi-dimensional
multi-core
multi-physics

From one-way batch jobs …
… to user interaction

From simple tools & codes ...
… to 2x complex ones

From forward problems …
… to inverse problems

From heroic PhD codes …
… to large teams / SW

From deterministic models …
… to random & uncertainty

From hacker’s delight …
… to complex workflows

From one (spatial/temporal) scale …
… to cascades of scales

From island fun …
… to embedding & integration

From single-physics problems …
… to coupled scenarios

From flat algorithms & data …
… to hierarchy

Основная проблема компьютерных наук – вычислительная сложность алгоритмов вычислений

Суть проблемы – определить сколько времени (i.e., число базовых операций) требуется для решения «вычислительной» задачи ?

Пример: сложность решения задача «коммивояжёра» - который должен посетить n городов.
Формальное точное решение требует n! Операций

Нужно ли нам на практике «точное решение» ?

Если n=49 ,то число операций > числа атомов во Вселенной.

Варианты сложности:

1) Полиномиальное «время» (от размерности) –> n^3, n^7, …
2) Экспоненциальное «время» –> 2^n, n!.. .

Сопутствующие проблемы

- Редукция - выявление условий, при выполнении которых появляется возможность использовать для решения полиномиальные алгоритмы
- Эффективность - сокращение объема используемой памяти, параллельность процессов вычислений,…..
- Аппроксимация - поиск приближенного ответа, который оптимален “most of the time and cases”,
- Рондомизация - разработка вероятностных алгоритмов поиска решений, протоколов, моделей или оценок.

Классы «сложности» задач

- Класс P - сложно решить, легко проверить (быть творческим)
- Класс NP - легко решить , сложно проверить (оценить творчество)

Если удастся доказать, что «P= NP» , то
это будет эквивалентно тому, что всегда можно найти «удовлетворительное» решение за полиномиальное время

Задача поиска «удовлетворительного» решения

Дано: множество “ограничений”
Требуется: вычислить n-bit слово - “решение”, которое удовлетворяет всем этим ограничениям

«Решение», должно быть таким, чтобы его можно было легко проверить на «удовлетворение заданным ограничениям»

“Пример задачи: «поиск иголки в стогу сена»

Поиск «удовлетворительного» решения - задача Boolean Satisfiability

Формализация задачи:

$$(A + B + C) \cdot (\overline{D} + F + G) \cdot (\overline{A} + G + K) \cdot (\overline{B} + P + Z) \cdot (C + \overline{U} + \overline{X})$$

Вопросы:

- Имеется ли алгоритм поиска «satisfying assignment»?
  - Что делать, если переменных будет не 3 , а 100 или 1000 ?
    - Сколько «времени» надо затрать, чтобы найти «удовлетворительное назначение» - «satisfying assignment», т.н. удовлетворительное назначение ?

«Точка опоры»: редукции задачи к «полиномиально решаемым»

"Дайте мне точку опоры и я переверну весь мир." – Архимед (~ 250BC)

"Если доказать, что существует полиномиальный алгоритм решения задачи «Boolean Satisfiability» , то существует и полиномиальный алгоритм решения любой у NP задачи
- Cook, Levin (1971)

Итак, любая NP проблема может быть редуцирована к задаче Boolean Satisfiability."

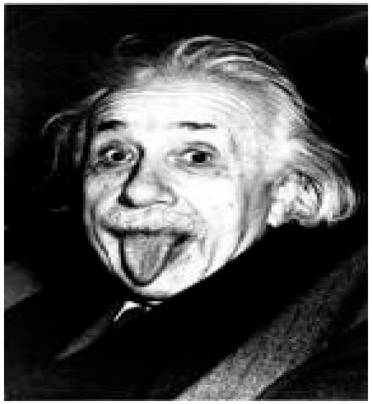
Если все таки P = NP, то

- Доказательство любых математических теорем может быть найдено за полиномиальное время
- Любые последовательности (кодовые образцы) в множестве экспериментальных данных могут быть найдены за полиномиальное время от длины рассматриваемой последовательности данных
- Проблем Искусственного Интеллекта будут иметь полиномиально- эффективные алгоритмы.

Вычисления в «теории «обучения машин»

Что такое с точки зрения вычислений – процесс «обучение» машин – передача знаний для решения задач в «различных» условиях

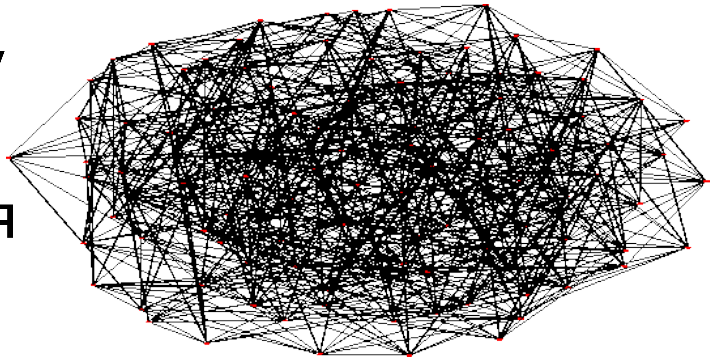
Может ли робот «обучится» до



С чем связать процесс обучения - с навыками выполнения
Отдельных операций, следование алгоритму или практическим опытом ?

Можно ли доказать, что something doesn't exist

Задача сводится к доказательству
Что два графа G_1, G_2
Не изоморфны – не отображаются
однозначно один на другой



a graph

Verifier randomly (and privately) picks
one of G_1, G_2 and permutes its vertices to get H.

Доказательство сводится к тому, чтобы
Доказать, что один из G_1, G_2 порождает другой

Важные утверждения о сложности как мере физической целесообразности

(A. Yao) Computational complexity of physical theories (e.g., general relativity)?

(Denek and Douglas): Computational complexity as a possible way to choose between various solutions (“landscapes”) in pysical theory.

Пример: Вычислительная сложность физических проблем

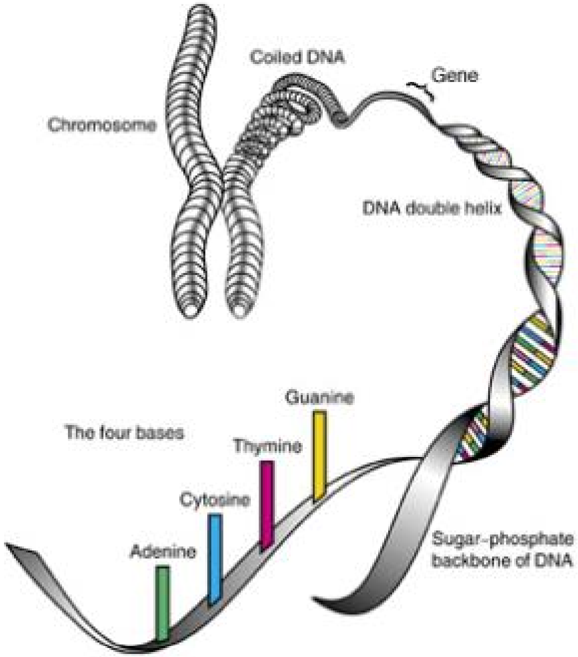
Goal: расшифровка генома (long sequence of A,C,T,G)

Method:

•Extract many random fragments of selected sizes (2, 10, 50 150kb)

• For each fragment, read first and last 500-1000 nucleotides (*paired reads*)

• Computationally assemble genome from paired reads.



adapted from the DOE Joint Genome Institute website
www.jgi.doe.gov
used with permission

Новое понятие "Algorithm driven science"

Что мы примем в качестве аксиом:

Предположение 1:
если вероятность обнаружить частицу в состоянии $|k\rangle$ равна 1, то частица *действительно* находится в состоянии $|k\rangle$.

Предположение 2:
любое унитарное преобразование можно «воплотить» в виде физического устройства.

Предположение 3 (об отсутствии скрытых параметров):
если система находится в чистом состоянии, то вся информация о вероятностях результатов измерений содержится в векторе состояния.

Предположение 4:
невозможно передать информацию от одной системы к другой без физического взаимодействия или … вычисления

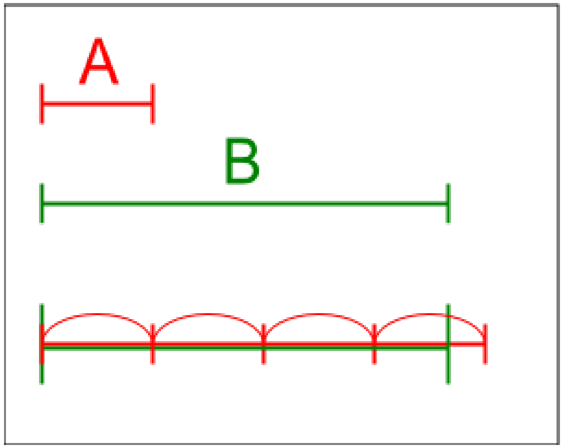
Важнейшие символы-понятия «вычислительных методов»

- **Ноль** => 0=A-A, тогда, если A-B=0, то A=B
- **Единица** => $1=а^2+б^2+в^2+\ldots.+э^2$, $p(\lambda_n) = |c_n|^2$
- **Мнимая единица** $i\hbar\dot{\psi}_\nu(q) = \hat{H}\psi_\nu(q)$
- **Бесконечность**

- вероятность, что при измерении физической величины A мы получим собственное значение λ_n

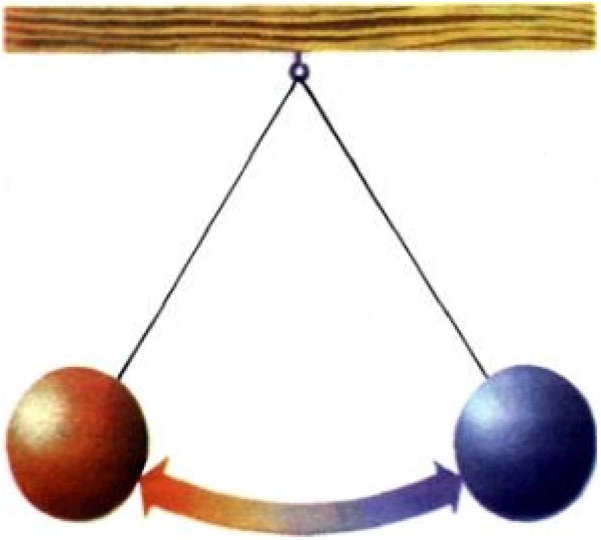
Аксиома Архимеда «классической математика»

Аксиомой Архимеда называется такое утверждение: если даны отрезки А (масштаб) и В (объект измерения) , то можно так отложить отрезок А несколько раз, что сумма будет равна или «немного» превосходить отрезок В ,



Утверждение : изучаемое математикой ПРОСТРАНСТВО-ВРЕМЯ архимедово то есть **одномасштабно**, значит гладко, «делимо и однородно».

«Простые» физические объекты – одномасштабны

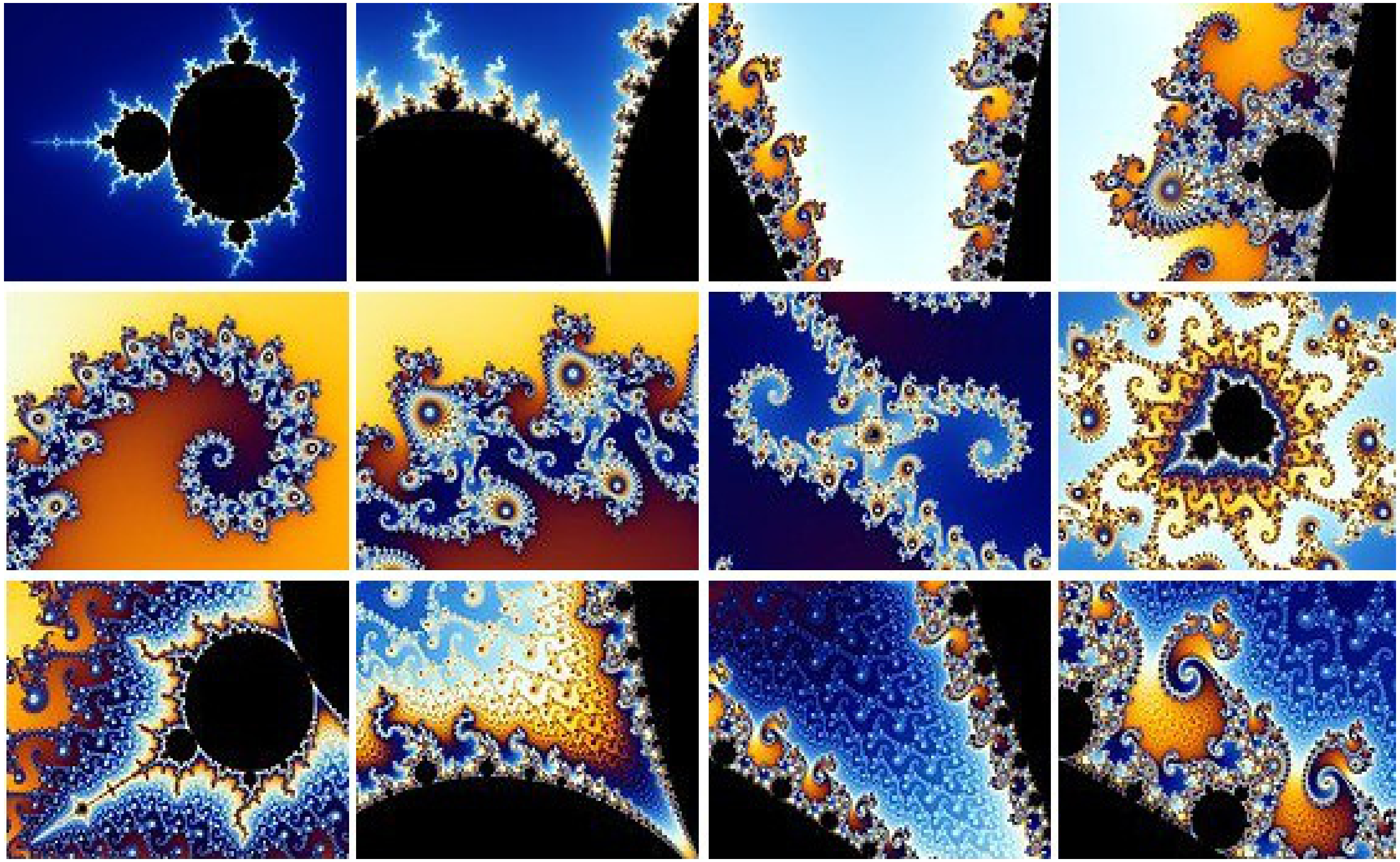


«Сложные» объекты - мультимасштабны

Сложные структуры не однородны

они не имеют одного масштаба, поэтому связаны

это значит, что «деление» на «подобъекты» невозможно



Вероятность - атрибут квантовой реальности, объединяющий «несовместные» состояния.

Постулат 1.Поведение квантовой системы полностью описывается **амплитудами вероятностей**. Амплитуды вероятностей образуют вектор состояния в гильбертово
пространстве
Является вектор состояния истинным состоянием объекта?
(**Истина – по гречески алетея (ἀλήθεια) - состояние «нескрытости»**

Постулат 2. Амплитуды вероятностей как координаты вектора состояния могут быть заданы в различных эквивалентных представлениях (состояния $|\psi\rangle$ и $|\psi'\rangle = e^{ia}|\psi\rangle$ физически тождественны.
Символически это можно записать матричным равенством:

$$|\psi'\rangle = U|\psi\rangle \qquad (1)$$

Любая унитарная матрица может быть представлена в виде матричной экспоненты

$$(U = \exp(i\,H), \qquad (2)$$

где H- эрмитова матрица.

Заключение

Количественное описание явлений природы опирается на метафору античной математики – «все есть число» (Пифагор).

- Физические модели «существующего», базируется на детерминированной, обратимой и измеримой зависимости между причиной и следствием (Принцип достаточного основания)

В науке рассматривается также:

- описание, восходящее к термодинамике («тепловая смерть» Вселенной) и физике возникающего (И. Пригожин) или «движения» к порядку отдельной макроструктуры, за счет возрастания энтропии внешней среды (диссипативное становление)
- физика управляемого обратной связью - кибернетика (Н. Винер) – в которой цель есть причина «движения», а передача информации - снова управления (It from Bit)