



*Как количество информации в системе есть
мера ее организованности, точно
также энтропия системы есть
мера дезорганизованности*

Н. Виннер

Теория информации

ЛЕКЦИЯ 3: СИНТАКСИЧЕСКИЕ И СЕМАНТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

Что обсуждали на прошлой лекции:

- Энтропия и информации с точки зрения физики (физическая, термодинамическая,...). Энтропия и информации с точки зрения техники (информационная, it from bit). Феномен информационного взаимодействия в биологии и социальных науках – difference that make the difference
- Процессы получения информации и процессы получения знаний имеют различные механизмы.
- Возможно «Обращение» принципа Ландауэра - **неслучайная последовательность бит может быть использована для совершения работы....**

Напоминание. Энтропия vs информация

- Как утверждает второй закон термодинамики (или H-теорема Больцмана), энтропия замкнутой системы $\Delta S_T = \Delta Q/T$ не может **уменьшаться** со временем.
- Однако термодинамическая энтропия может **изменяется** из-за обмена теплом ΔQ между системой и **внешним резервуаром**. При этом **информация** о состоянии системы может конвертироваться в **энтропию** ΔS_S это т.н. (информационную энтропию)

По формуле Хартли $\Delta S_S = i$, где

$$i = \log_2 N \quad (1)$$

где N — мощность алфавита i — количество информации в каждом символе сообщения

или **информационную энтропию** Шеннона, которая равна $\Delta S_S =$

$$H(x) = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i. \quad (2)$$

где n — число переменных, которые принимают значения x_i с вероятностью p_i

Напоминание. Информационная энтропия и предел Ландауэра

- Энтропия Шеннона выражает неопределенность (неуверенность) реализации случайной переменной. Другими словами, энтропия является разницей между информацией, содержащейся в сообщении, и той частью информации, которая точно известна (т.е. уверенно предсказуема) в сообщении. Можно сказать, что энтропия источника данных равна среднему числу битов на один элемент данных (символ), требуемых для их кодирования этих данных без потери информации при передаче.
- Если состояние бита заранее неизвестно, то есть с одинаковой вероятностью может равняться 0 или 1, информационная энтропия равна $\Delta S_s = k \cdot \ln 2$, а при стирании информации (переведении бита в конкретное состояние, например, в 0) она падает до нуля. В результате получается, что при стирании информации энтропия ΔS_s уменьшается. Поскольку суммарная энтропия уменьшиться не может: $S = Q/T + \Delta S_s \geq 0$, то получается, что вычислитель должен передать резервуару тепло
 - $Q \geq k \cdot T \cdot \ln 2$

Если память "демона" Максвелла явно в состав системы не включать, но можно учесть "знание" о системе в описании ее состояния можно так:

полученное от резервуара количество **теплоты** ↓

Произведенная механическая работа $\Delta A = kT \ln 2 = \Delta Q = T\Delta S$

↓
изменение термодинамической **энтропии** ячейки

Работа, затраченная на стирание информации равна $\Delta A_e = -kT \ln 2$

Полная совершенная в процессе работа $\Delta A + \Delta A_e = T\Delta S - kT \ln 2 = T\Delta S_g$
где $\Delta S_g = \Delta S - k \ln 2 = 0$

Можно сохранить обычное выражение для второго закона термодинамики ($T\Delta S \geq 0$ в замкнутом цикле), если ввести **эффективную энтропию** системы

$$\Delta S_g = \Delta S - k \ln 2 = \Delta(S + S_i)$$

S – **термодинамическая энтропия**, зависящая только от ее состояния

S_i зависит от того, что знает о системе наблюдатель: **информационная энтропия**
где $S_i = -k \ln 2$ (на один бит). Наличие информации о системе может быть учтено, если рассматривать эффективную энтропии системы.

Итак

- Мы исходим из того, что у материи есть два общезначимых свойства: **движение и отражение**.
- Информационное взаимодействие есть отражение свойства движения материи, а количество информации переданное в сообщении вычисляется по формуле Шеннона.

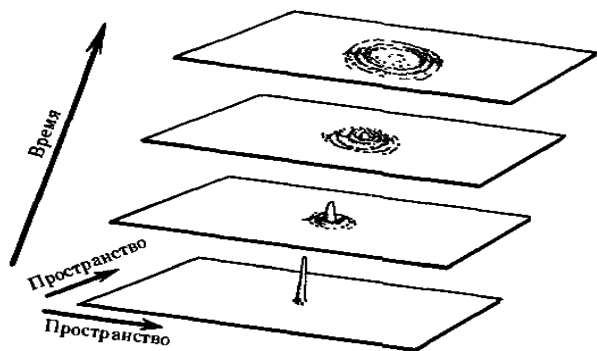
По формуле Шеннона количество информации в теле человека – такое же, как в любой неживой системе, состоящей из равного количества структурных элементов.

Напомним еще раз про «исходные понятия»

- Р. Хартли: Понятия **неопределенности** и вероятности взаимно обратимы
- К. Шеннон: При определении количества информации необходимо учитывать как **количество различных сообщений** от источника, так и **вероятность их получения**.
- Р. Эшби: Чем больше **различий**, тем больше информации.
- Ак. А.Н. Колмогоровым. Количество информации определяется как минимальная **длина программы**, позволяющей преобразовать один объект (множество) в другой (множество).
- Ак. В.М. Глушкова, **причиной** существующего в природе разнообразия, а следовательно информации, является **неоднородность в распределении энергии** (или вещества) $E = m \times C^2$ в пространстве и во времени, поэтому информация атрибут материальных тел, который не связан со свойством его осмысленности
- Ак. Н.Н. Моисеев, опираясь на принцип «лезвия Оккама», можно заключить, что информация не атрибут Мира, а функция, которая появляется лишь тогда, когда появляются объекты, способные к **целенаправленным действиям** (целенаправленные **процессы – суть носители смыслов**).

Вероятность vs реальность

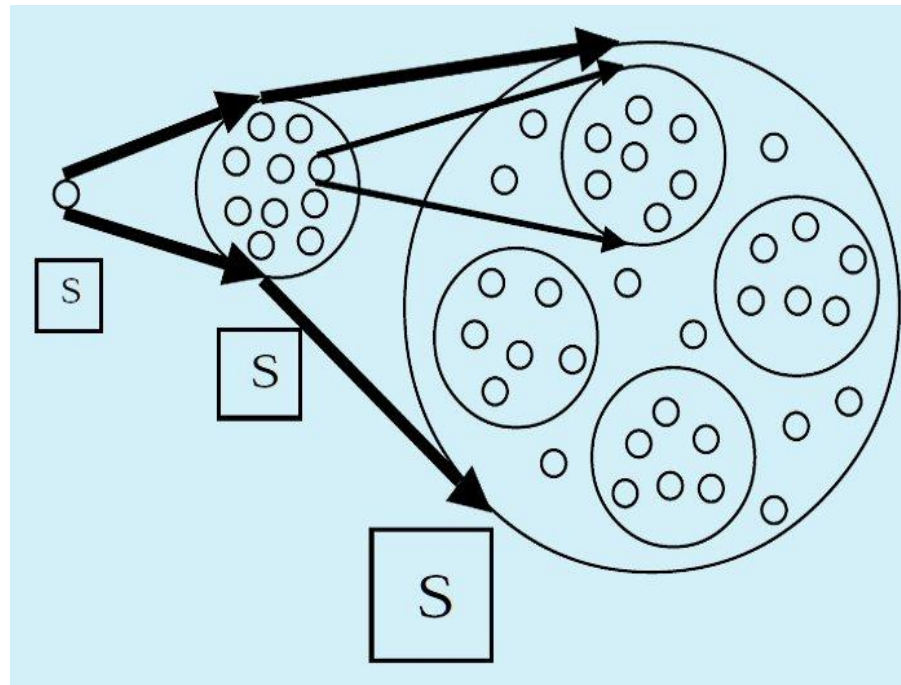
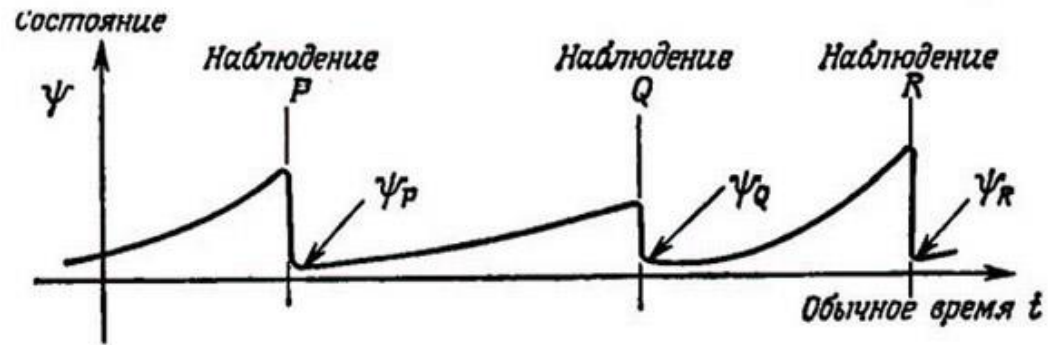
Описание объектов с помощью формализма теории вероятности не применимы к единичным объектам и сущностям, однако к ним применим подход как к ансамблю взаимодействующих между собой и одинаково подготовленных микросущностей или микро **объектов**.



Информация – это и результат и причина движения материи

Фундаментальные модели «мира», которые задают законы «поведения» отдельного объекта, выбираются в соответствии с тем, как в реальности меняется внешняя среда и происходит движение макро и микро объектов. Движение объекта строится на основе причины, которая может иметь различные формы: внешнее силовое воздействие, внутреннее целевое воздействия, при этом среда, в которой происходит движение, меняется что приводит к изменению ее «информационного описания».

Редукция «пространства возможного» под воздействием наблюдений



Соотношение неопределенностей: логика Буля vs логики реальности

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2} \\ \Delta y \cdot \Delta p_y \geq \frac{\hbar}{2} \\ \Delta z \cdot \Delta p_z \geq \frac{\hbar}{2} \end{array} \right.$$

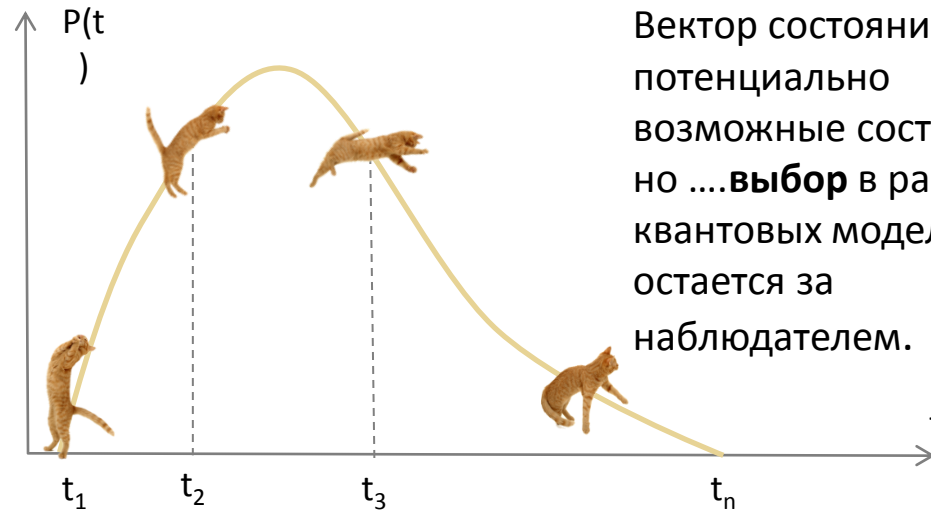
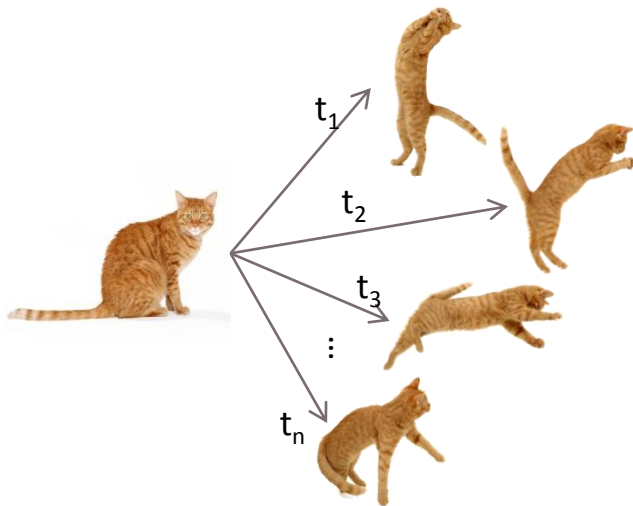
Согласно соотношению неопределенностей в природе не существует состояния частицы с точно определенными значениями координаты и проекции импульса на эту координатную ось. Соотношение неопределенностей Гейзенберга имеет фундаментальное значение. Оно позволяет проводить численные расчеты не прибегая к точному и трудоемкому решению квантово-механических уравнений.

$$\Delta v_x \geq \frac{\hbar}{2m\Delta x}$$

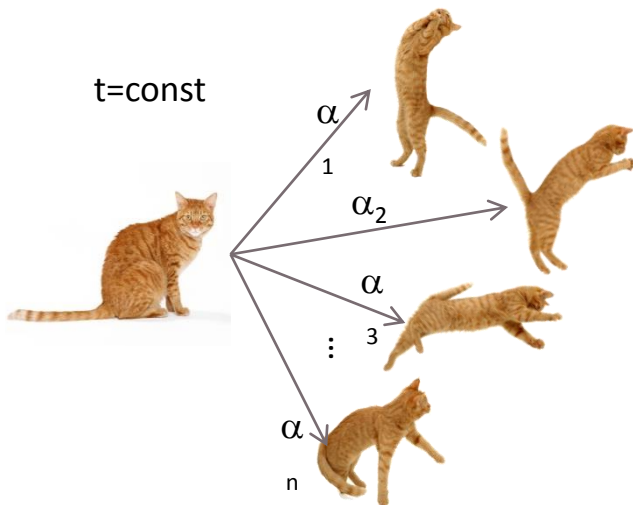
Объект размером 1 мкм и массой 1 мкг $\Delta v_x \sim 10^{-22} \text{ м/с}$

Электрон в атоме (0,1 нм) $\Delta v_x \sim 10^6 \text{ м/с}$

«Пространство возможного»: теория должна описывать все, что может произойти, но...не все **ВОЗМОЖНОЕ** ... переходит в **реальное**.



Вектор состояния задает потенциально возможные состояния, но ...**выбор** в рамках квантовых моделей остается за наблюдателем.



$$\begin{aligned}
 \text{Cat} &\Rightarrow \alpha_1 \text{Cat}_1 + \beta_2 \text{Cat}_2 \\
 1 &= \alpha^2 + \beta^2
 \end{aligned}$$

Надо переходить к теориям, в которых выбор **реального** будущего из «**ПОТЕНЦИАЛЬНО ВОЗМОЖНОГО**» осуществляет сам объект или ...**случай**

Принцип дополнительности Н. Бора : «Сложные модели действительности » и

Принцип дополнительности – всякое «сложное» явление природы требует для своего описания по крайней мере двух взаимоисключающих дополнительных **понятий (объяснений)**.

Такие «понятия» составляют базис пространства состояний «сложных моделей!

Система задается вектором состояния $|\psi\rangle$, который представляется через координаты ортогональных (взаимоисключающих) состояний $|\phi_k\rangle$. Можно «отнормировать» базисные состояния так, что:

$$|\psi\rangle = \sum_k |\phi_k\rangle,$$

набор операторов-проекторов \hat{P}_k :

$$\langle\phi_k|\phi_{k'}\rangle = p_k \delta_{kk'},$$

$$\langle\psi|\psi\rangle = \sum_{k,k'} \langle\phi_k|\phi_{k'}\rangle = \sum_k p_k = 1,$$

$$|\phi_k\rangle = \hat{P}_k |\psi\rangle,$$

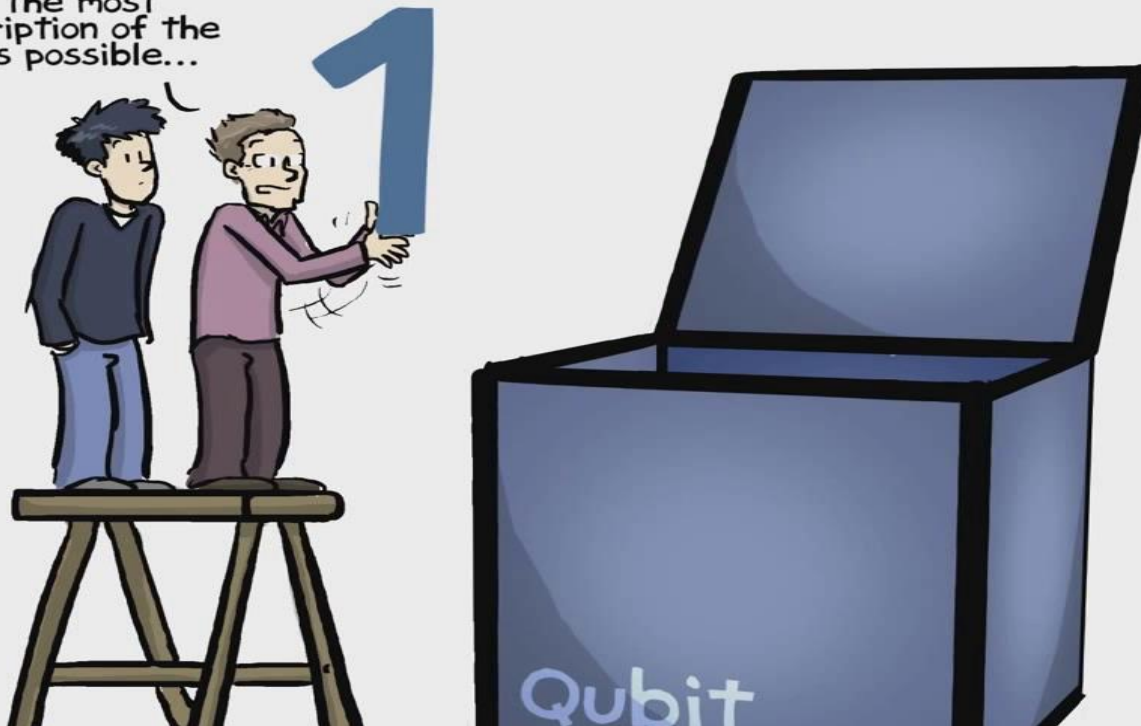
$$\hat{P}_k \hat{P}_{k'} = \hat{P}_k \delta_{kk'},$$

$$\sum_k \hat{P}_k = \hat{1}.$$

Квантовый объект – это вероятностный объект.

В пространстве состояний (информационном пространстве возможностей) объект может находиться в нескольких состояниях (одновременно ?!). Но при измерении (взаимодействии с внешней средой) объект переходит в одно из возможных состояний, но с предсказуемой **вероятностью**, используя формулу ортогонального разложения «единицы» $1=a^2+v^2$

If we have the most complete description of the system that is possible...



Разнообразие микросостояний vs смысловое содержание количество vs семантика знаковых систем

- **Идея 1:** сообщения = любые **физические сигналы**. Так физические сигналы с точки зрения их возможностей быть **носителями информации** (разнообразия) изучаются в рамках телекоммуникационных технологий и радиофизики
- **Идея 2:** любые сообщения = **совокупность знаков**, кодирующих слова некоторого языка (знаковой системы, **кодирующей понятия**).
Семиотика исследует знаки как особый вид носителей информации.
Технологии: виртуальные вычислительные сети, сети коммутации пакетов, криптография....

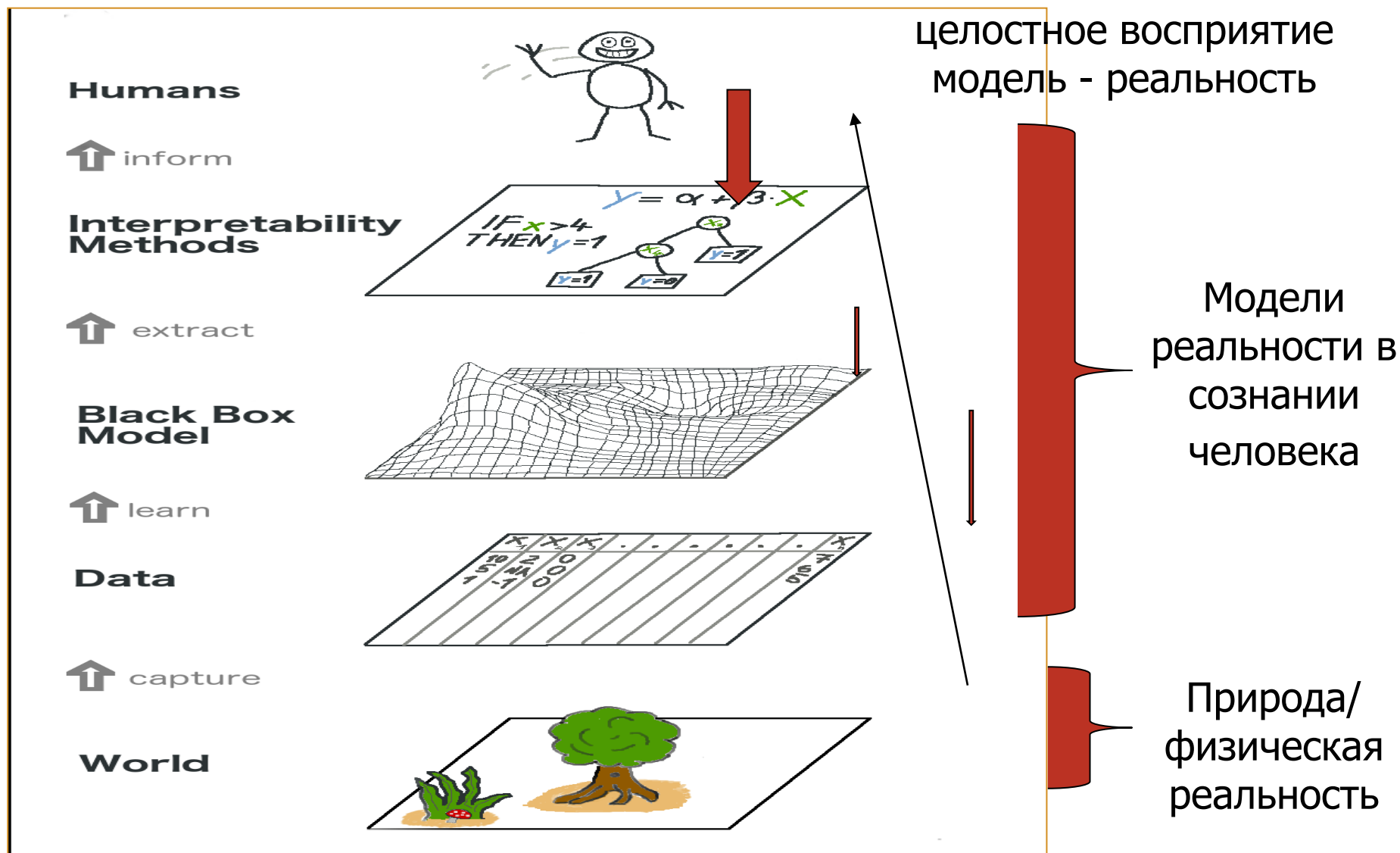
Семантическая мера информации

Р. Карнап и И. Бар-Хиллел предложили определять величину **семантической информации** посредством «логической вероятности», представляющей собой степень подтверждения той или иной **гипотезы**.

Считается, что количество семантической информации, содержащейся в сообщении, возрастает **по мере уменьшения степени подтверждения** гипотезы (Если гипотеза построена на эмпирических данных, полностью подтверждаемых сообщением, то такое сообщение не приносит получателю никаких новых сведений, поэтому не имеет смысла).

Парадоксы: высказывание «Снежный человек существует» информативно, а «Эйнштейн - известный ученый» - не информативно, поскольку является достоверным.

Факторы разнообразия : **parallel** (в пространстве) vs **concurrent** (во времени) – **coherent** (В СОЗНАНИИ)



Физическое vs информационное взаимодействия



Как можно управлять процессом эволюции ?

Аспект 1. Физическое взаимодействие объектов основано на объективных законах природы, реализующихся с точностью «до достоверности» т.е. $p=1$.

Информационное содержание уже открытых законов =0.

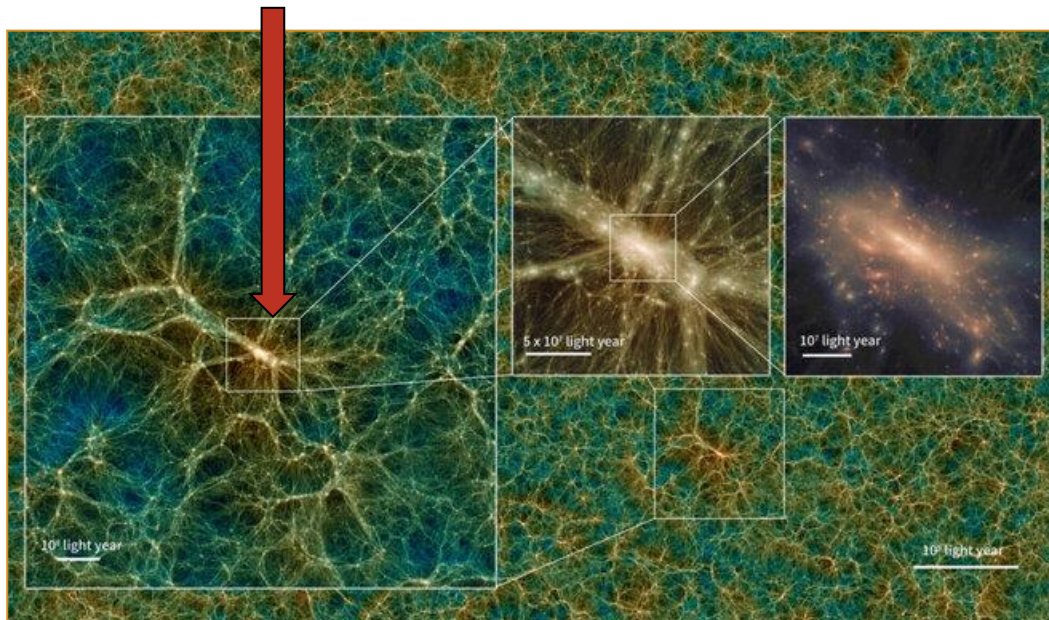
Аспект 2. Информационное содержание - мера **потенциально возможного**, которое имеет синтаксический объем и семантическое содержание

Аспект 3. Потенциально возможное – суть метафора «**информационный пепел**» физической реальности

«информационный пепел» реальности

Самая большая и реалистичная модель Вселенной состоит из 2,1 трлн частиц и масштабом 9,63 млрд световых лет

10^7 – СВЕТОВЫХ
лет



Можно ли оценить объем урожая по наблюдению цветка ?



Как можно узнать куда «ведет» черная дыра ?

Законы физического плана

- Законы, которые «управляют» эволюцией Вселенной, не меняются миллиарды лет, следовательно, материя внутри себя имеет **какое-то свойство или какой-то принцип**, который поддерживает все законы и качества в постоянном и **неизменном виде**.
- материя имеет чёткую структуру на всех уровнях от атомарного до космического (а не произвольный взрыв). Все элементы материи подчиняются всеобщим законам, среди которых не существует феномена случайности.

Вопрос: Какая сила (кто) обеспечивает когерентность (согласованность) физических законов с точки зрения существования информационного разнообразия ?

- **Факт:** все химические реакции проходят строго закономерно.
- **Гипотеза.** Если предположить, что существующие химические молекулы спонтанно «сложились» из атомов (теоретически невозможно), то значит свойства атомов были изначально таковы, что они были носителями некоторых математических операций, далее если молекулы «сложились» в «тело», то они были носителями принципиально других математических операций или из атомных операций «кто-то» написал программу?

Вопрос: Означает ли это, что природа изначально «подразумевала» возможность появления как физических объектов, так и разума?

Информационный аспект: Если изначально в Природе существовала возможность появления жизни, тогда как можно говорить о её случайном возникновении?

Эволюция «артефактов» - закон природы и информационная сингулярность ?

Определение. Артефакт — продукт творческой деятельности человека.

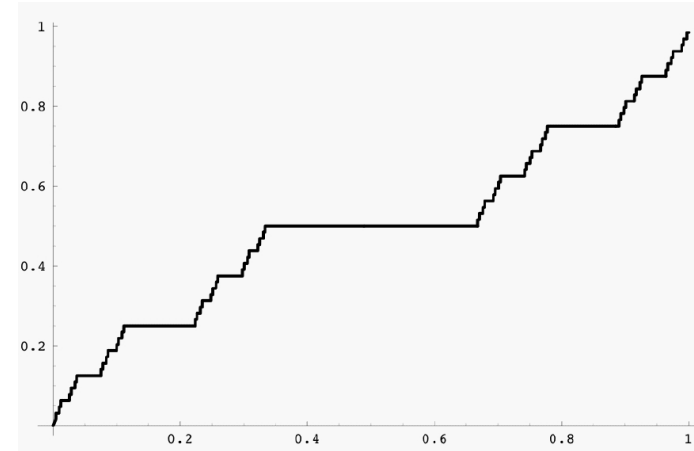
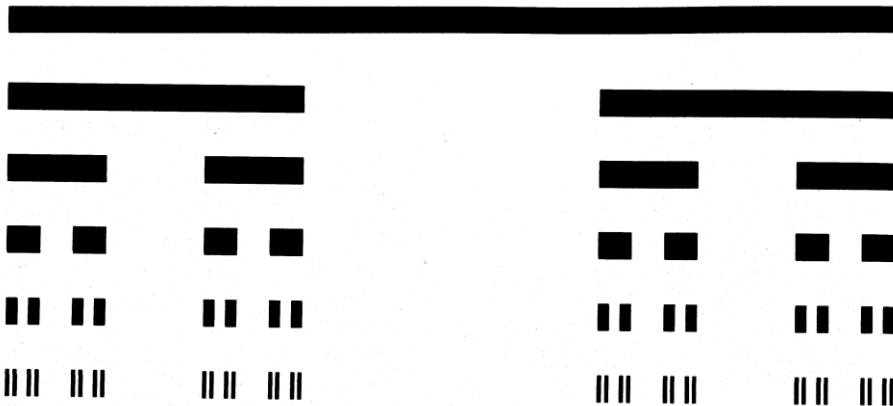
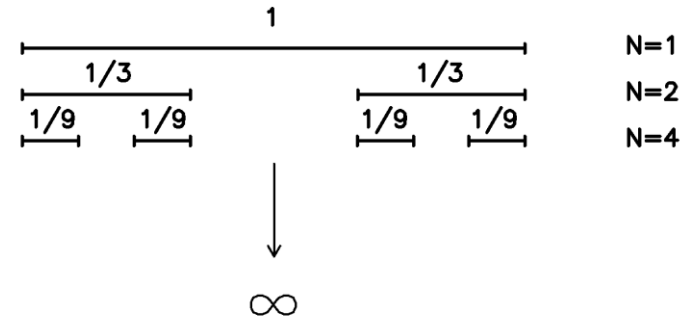
- Вопрос: Потенциальная возможность (вероятность) создания машин и механизмов находится в самой структуре Вселенной или есть результат исключительно «антиэнтропийной» деятельности людей ?
- Поняв тот или иной объективный физический эффект люди «обретают» возможность пользоваться им точно так же, как им «пользуются» растения, животные, ..., а также как роботы и машины.

Вывод: объективный закон природы исключает сингулярность «информационного плана» (действует с точностью «до достоверности»), но ... допускает сингулярности «физического плана»

Информационная сингулярность



Сингулярности физического плана: Фракталы в природе



Информационный аспект фундаментальной проблемы компьютерных $N=NP$?



Проблема: можно ли по координатам восстановить свойства объекта ?

объекты имеют свойства и наделяются «координатами» числовыми характеристиками. Это суть **процесса «координатизации» или алгебраизации.**

На множестве объектов с координатами задается алгебра множеств: операции сложения и умножения, вычисления характеристических функций – предикатов: $f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$



Заключение

- Информационное взаимодействие – это гомоморфное отображение пространства возможного (множество состояний, находящихся в суперпозиции) на текущее событие
- Если есть взаимодействие между макроскопическими объектами, которые обладают памятью, то между ними обязательно будут присутствовать информационные корреляции – суть информационного взаимодействия.
- Суперпозиция - информационный формализм, описывающий свойства физической реальности.