



Санкт-Петербургский  
Государственный  
Политехнический  
Университет

Институт прикладной  
математики и механики

# КАФЕДРА ТЕЛЕМАТИКА

## Управление научными проектами (Методы исследовательской работы)

### «Исследования как результат интеллектуальной деятельности» (занятие 1)

---

5 сентября  
2023 г.

В начале попробуем ответить на вопрос: Как организовать исследование какого либо феномена ?

2



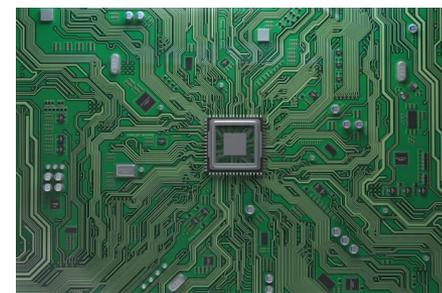
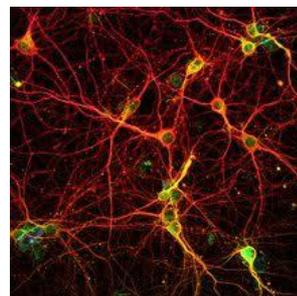
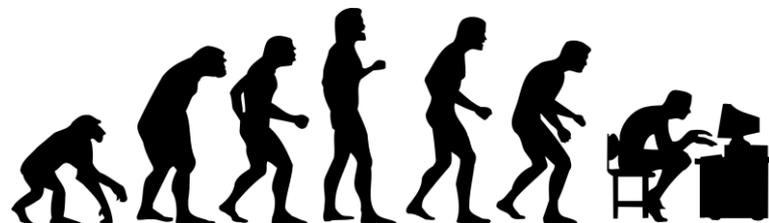
- Какая информация получена при анализе этой записи (процесса) ??



## РАССМОТРИМ ПРОЦЕССЫ «ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ» НАУЧНЫХ ЗНАНИЙ

### Фундаментальная проблема

множество "содержательных" истин (признаков) всегда превосходит по объему множество формальных истин (предикатов), доказуемых с помощью логического вывода



# Цель курса

Рассмотреть структуру нашего знания. Усвоить методику использования «информации» при работе с различными формами знаний (имплицитными, и эксплицитными), учитывая, что:

- 1) имплицитное знание (например, которое получается без участия сознания - знание о том, как кататься на велосипеде) ) не имеет символической формы описания, поэтому не отделимо от субъекта – непосредственным носителем знаний,
- 2) 2) эксплицитные знания (знания в форме знаковой системы) могут быть выражены в форме математических законов физики.

Точное значения используемых терминов:

- Имплицитный (от латинского слова *implicitum*) значит «нев्यраженный», «подразумеваемый», «неразвернутый» т.е. – «**скрытый**».
- Эксплицитный (от латинского слова *explicitum*) – значит «явно выраженный», «развернутый», т.е. – «**явный**».

**Надо понять** как нужно при проведении исследований использовать понятия информация или интеллект, чтобы исследования имели научный смысл т.е. полученные результаты **объяснялись с помощью введенных ранее понятий?**

# Парадигма современной системы знаний – науки

**Классика** **Cogito**, ergo sum

( лат. — «Мыслю, следовательно, существую»)



**Современность:** **Computo**, ergo sum ( лат. - «Вычислил, значит существую»). Философия Информационно-Вычислительного натурализма: законы физики – «компьютерные» программы, а окружающий человека мир - квантовый компьютер, который вычисляет самого себя?!



# Базовая гипотеза современной науки – it from Qubit

Гипотеза : **информационное содержание** суть основа способности человека к мышлению, познанию, обучению, восприятию, запоминанию, обобщению и принятию решений . Это способность реализуется как результат преобразования информации (процессы вычислений) в среде «нейроструктур мозга.

Следствия :

Сознание - «вычисляемая» функция «встраиваемого ПО» нейрокompьютера мозга человека.

Однако в силу **супервентности** (отношения детерминированности состояния любой системы состоянием другой системы) **ментальные проявления и образы сознания** объективно синхронизированы свойствами физических явлений, **однако .... не сводятся только к ним.**

Вывод: при отсутствии различий в свойствах окружающих их физической реальности отсутствуют принципиальные различия в **ментальных моделях интеллектуальных** субъектов

Что такое информация ? → difference that make the difference

# Информационная (ментальная) реальность – с чем «работает» сознание

**Все есть число**

Пифагор  
(2000 лет назад)

**Истина в неполноте**

Гедель  
(100 лет назад)

**It from bit**

Арчибальд Уильер  
(50 лет назад)

Любые вычисления рассматриваются как физический процесс над носителями информации. Результат вычислений - ментальная (виртуальная) реальность, существующая, в силу принципа дополненности, одновременно в физической и информационной формах. Между физической и информационной формах реальности нет изоморфизма или взаимно однозначного отображения – информация теряется, энергия рассеивается.

# Фундаментальная проблема описания физического мира:

ЧИСЛО vs СЛОВО

В одном мгновенье видеть **вечность**,  
 Огромный мир - в зерне песка,  
 В **единой** горсти - **бесконечность**  
 И небо в чашечке цветка.

- Уильям Блейк  
(1757-1827)
- 

**=, 1, 0, +/-∞**

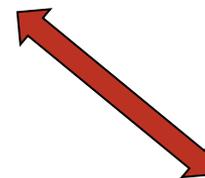
«похоже», единица, ноль,  
 бесконечность

$e^{-i\omega t}$ ,  $\sqrt{a^2 + b^2}$ ,  $\frac{dy}{dx}$  ... ..

Что есть  
 «инвариант текста  
 описания»: его  
 смысл или его  
 синтаксис ?



(1757-1827)



To see a world in a grain of sand  
 And a heaven in a wild flower,  
 Hold infinity in the palm of your hand  
 And eternity in an hour.

# Возможна ли интерпретация без моделей

(model agnostic interpretation):

**Люди** – «потребители» результатов восприятия.....

**Методы** восприятия – «непрозрачность» алгоритмов интерпретации ( [the opacity of machine learning models and methods of explanations](#) )

**Модель** «черного ящика» где физические процессы/данные превращаются в слова/понятия

**Данные** экспериментов - цифровые двойники («digital twins») сигналов, изображений, текстов

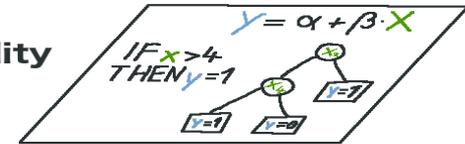
**Реальный мир**, в котором протекают реальные процессы.

Humans



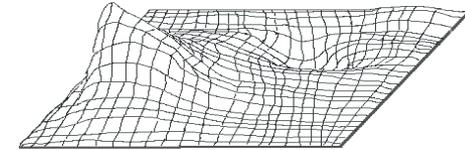
↑ inform

Interpretability Methods



↑ extract

Black Box Model



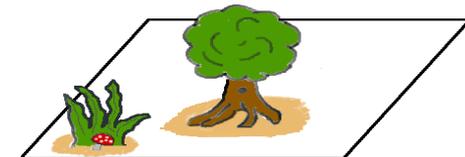
↑ learn

Data

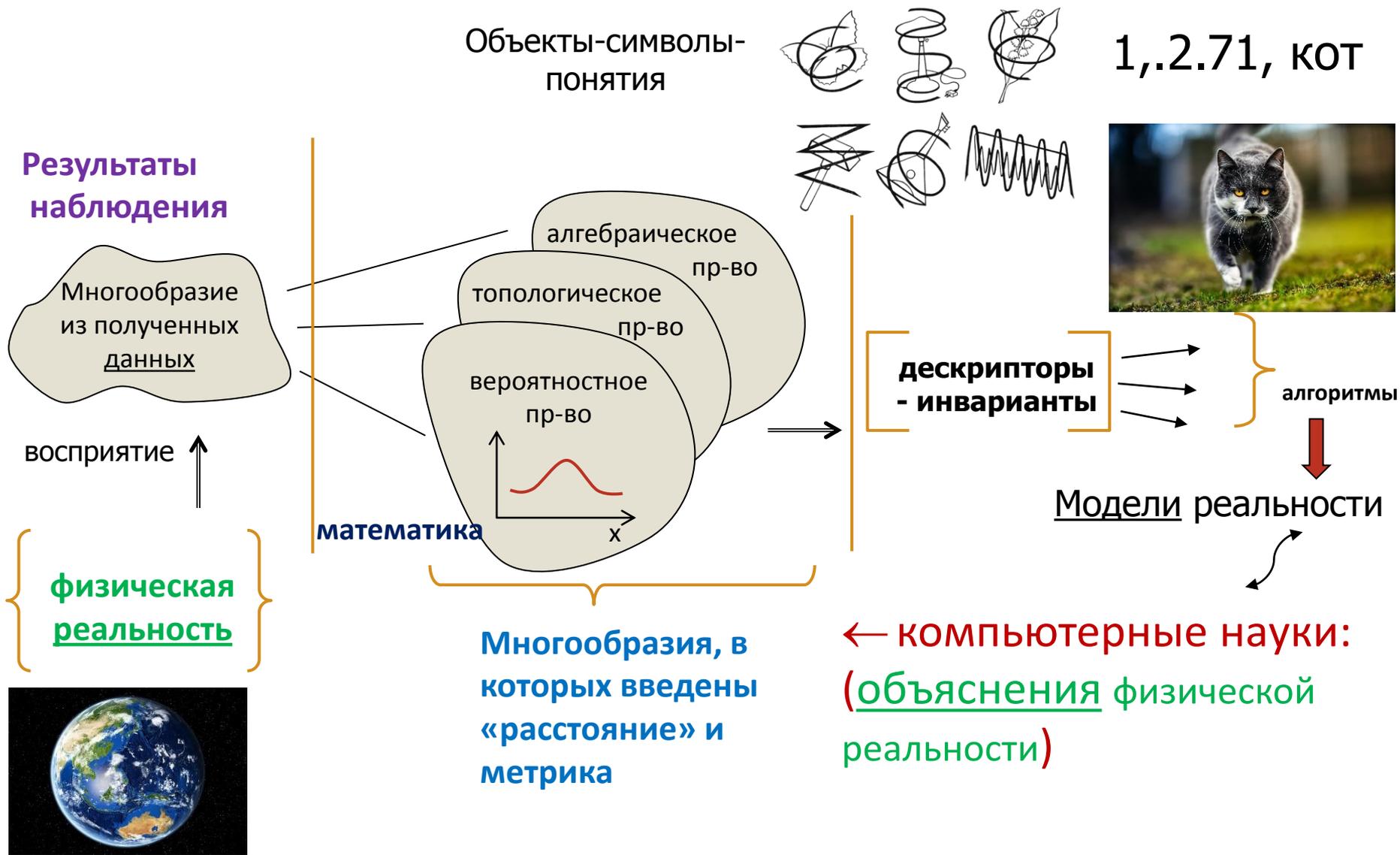
$X_1$	$X_2$	$X_3$	...	$X_n$
10	2	0		
5	4	0		
1	-1	0		
				0.10
				0.20
				0.30
				0.40
				0.50

↑ capture

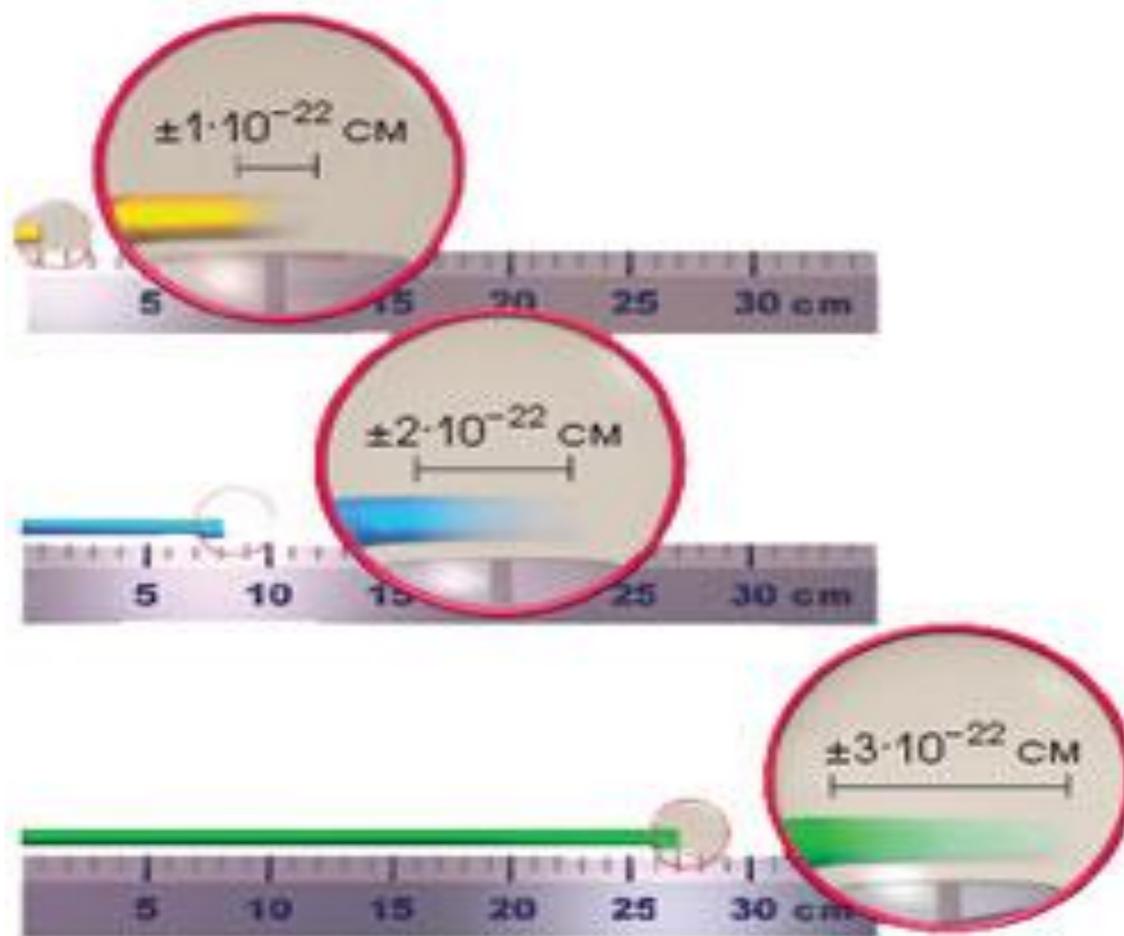
World



# Подходы к описанию «мира» с точки зрения математических наук



# Точность измерений и коды атрибутов зависят от размеров объектов

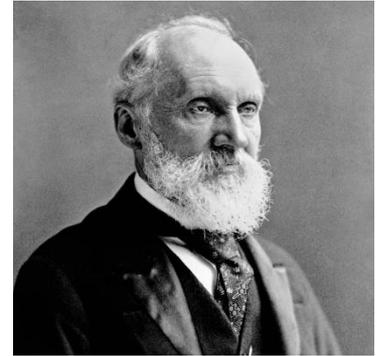


# Роль «наблюдателя» в формировании приближенной картины Мира

- Поскольку полнота и точность воспроизведения физического мира в сознании человека всегда **относительны** (а о «взаимной однозначности» т.е. изоморфизме вообще не может быть речи), то соответствия между предметами внешнего мира и их образами в человеческом сознании **носят гомоморфный** (приближенный) характер.
- В каждый момент времени, каждый человек использует «картину мира», с характерными для данной ситуации операциями и отношениями.
- Учет роли наблюдателя заключается в логически непротиворечивой для текущей «картины мира» **свертке всей доступной в результате измерения информации** об объектах или, процессах в удобную для последующих «вычислений» форму.

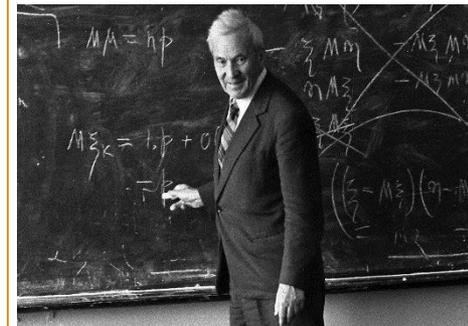
# Понятия для описания результатов наблюдения физического мира: энергия-энтропия-информация

- Слово «энергия» введено Аристотелем в трактате «Физика», однако там оно было привязано к деятельности человека.
- Термин «**энергия**» в современном понимании впервые появился в начале XIX в. в работах Т. Юнга.
- В 1853 г. впервые было применено словосочетание «**потенциальная энергия**» в смысле запасенная энергия. А в 1870 г. У. Томсон (Кельвин), ввел термин «кинетическая энергия»
- В конце 19 века физик Л. Больцман ввел понятие **энтропия** – как числовую характеристику сложности/хаотичности **вещества, состоящего из молекул**. Энтропия характеризует ту часть внутренней энергии вещества, которую нельзя использовать для совершения механической работы.



Согласно Больцману число различных **микроскопических состояний**, которые может принимать совокупность молекул вещества, оставаясь при этом **целостным макроскопическим «объектом»**, образует множество **мощности континуум**.

- А. Н. Колмогоров создал аксиоматику теории вероятности, а К. Шеннон формализовал понятие информация и информационная **энтропия**

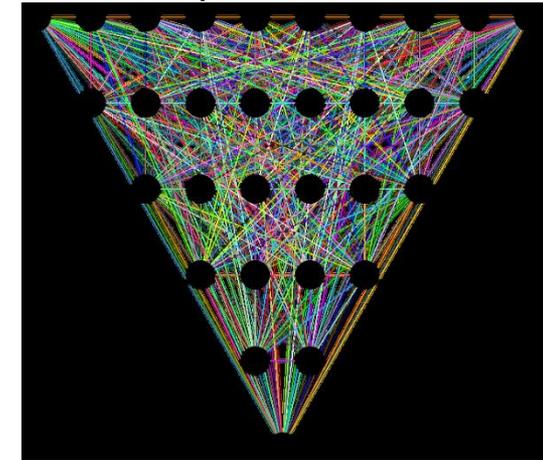


# Радикальный способ экономически эффективно увеличить производительность труда

- 1) создать интеллектуальную САМ систему основанную на “вычисление” с помощью специализированной на определенных технологиях промышленной нейронной сети оптимальных производственных решений;
- 2) сократить штат посредников, менеджеров, и др. так называемых организаторов производства



## Промышленная «нейронная» сеть



# Простой пример

Вход		Выход
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Вход		Выход
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Количество информации по Шеннону

$$I = -\sum_{i=1}^N p_i \log_2 p_i$$

Пусть на входе «гейта» имеется 4 равновероятных состояния

Тогда, входная информационная емкость гейта  $I_{in} = 2$  бита

На выходе гейта: состояние 0 появляется с вероятностью  $3/4$ , а состояние 1 - с вероятностью  $1/4$

Выходную информационную емкость гейта можно оценить так:  $I_{out} = -[(3/4)\log_2(3/4) + (1/4)\log_2(1/4)] =$   
 $= -[(3/4)\log_2 3 - (3/4)\log_2 4 - (1/4)\log_2 4] =$   
 $= -(3/4)\log_2 3 + 2$

Информация **теряется**  $(I_{in} - I_{out}) = (3/4)\log_2 3 = 1.1887$  бит  
а энергия **рассеивается** :

$$\Delta E = kT \ln 2 \cdot (I_{in} - I_{out}) = kT \ln 2 \cdot (3/4)\log_2 3 = 0.824 kT$$

# Фундаментальная проблема ограниченности знаний: неполнота формальных моделей

**Ключевой вопрос Критики** — это исследование познавательной возможности разума, в отрыве от знаний, получаемых эмпирическим, то есть опытным путем.

**Первая Теорема Геделя:**

если формальная арифметика непротиворечива, то в ней существует невыводимая и непроверяемая формула

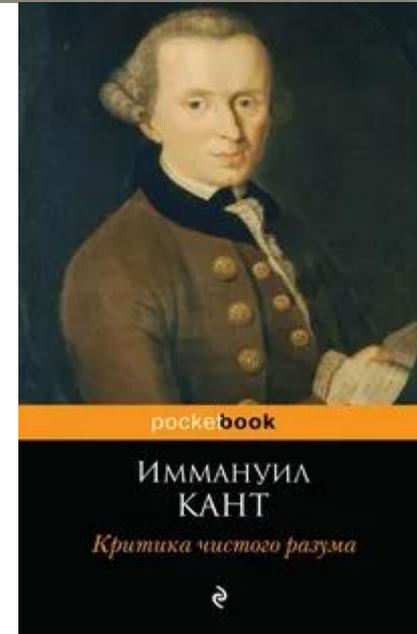
**Вторая Теорема Геделя:**

если формальная арифметика непротиворечива, то в ней невыводима некоторая формула, содержательно утверждающая непротиворечивость этой арифметики

**Вывод:**

Формализация природы как целостной системы невозможна ?!

Как быть с гипотезой о «вычислимом сознании» ?

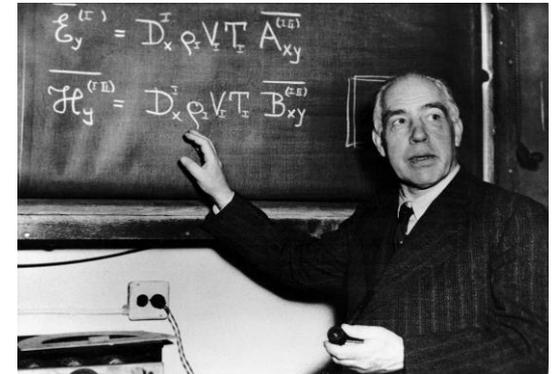


Легко можно сформулировать вопросы на которые не возможно ответить так как они превосходят возможности человеческого разума

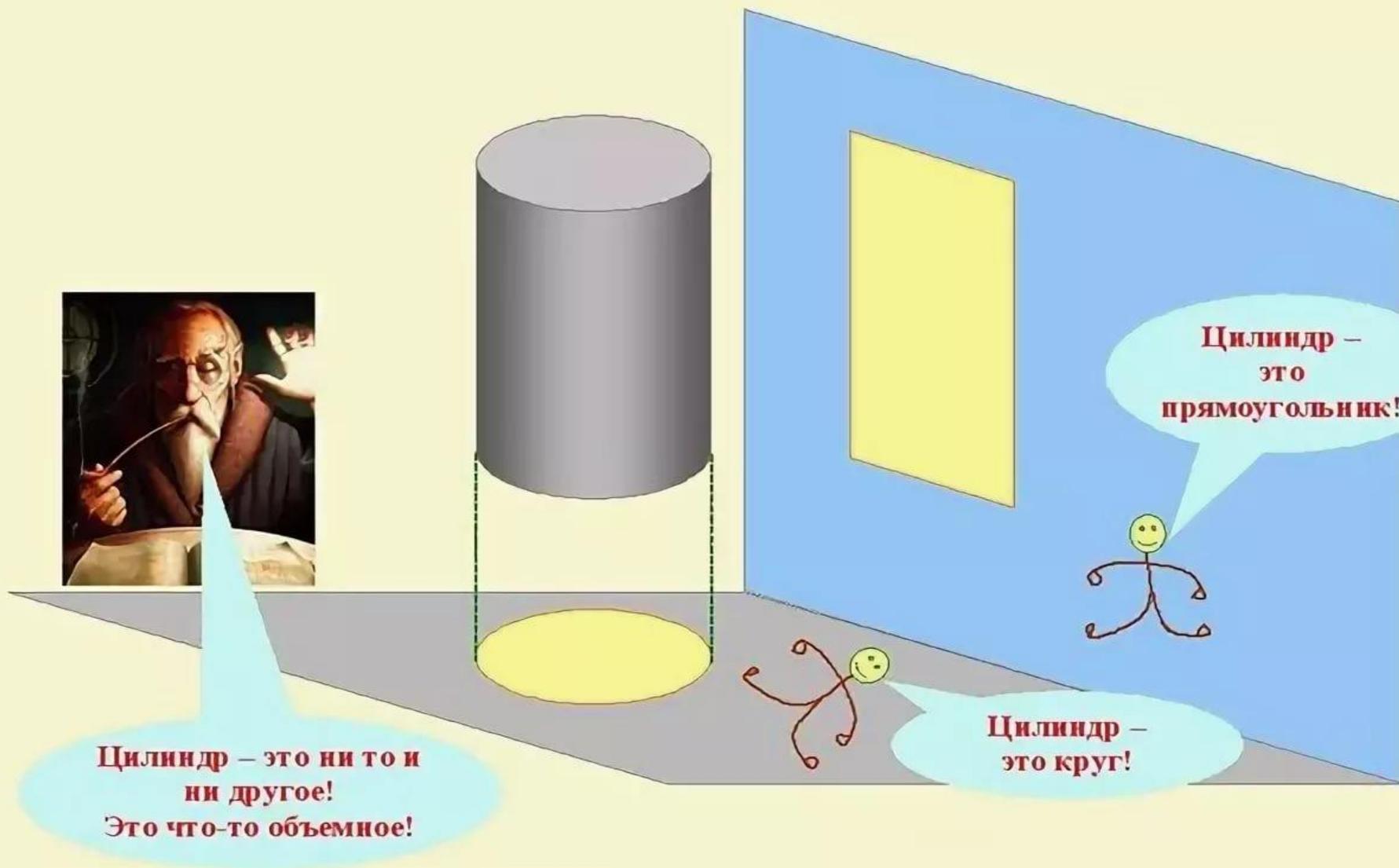
Принцип дополнительности (также принцип комплементарности) — один из важнейших методологических и эвристических принципов науки, а также один из важнейших принципов квантовой механики, сформулированный в 1927 году Нильсом Бором

Согласно этому принципу, для полного описания сложных квантовомеханических явлений необходимо применять два взаимоисключающих («дополнительных») набора классических понятий, совокупность которых даёт исчерпывающую информацию об этих явлениях как о целостных.

Суть принципа — использовать взаимоисключающие классы понятий, каждый из которых применим в особых условиях, но их совокупность позволяет воспроизведение целостности данных объектов.

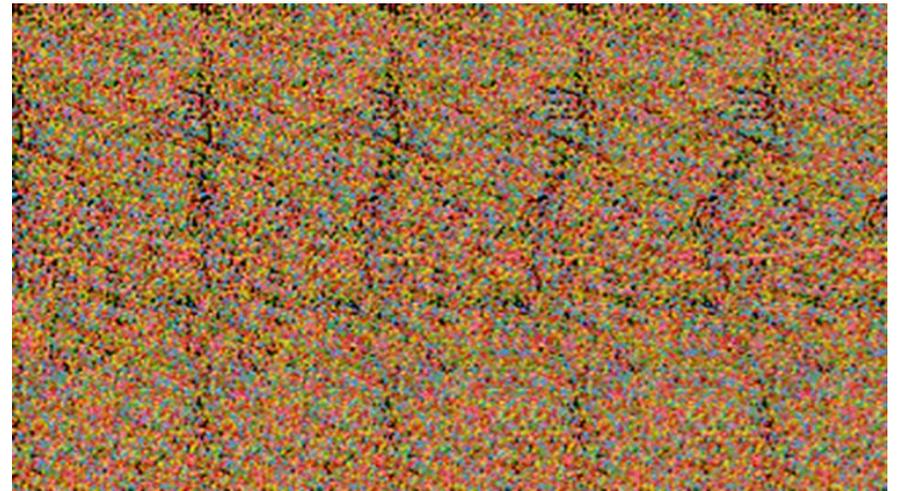
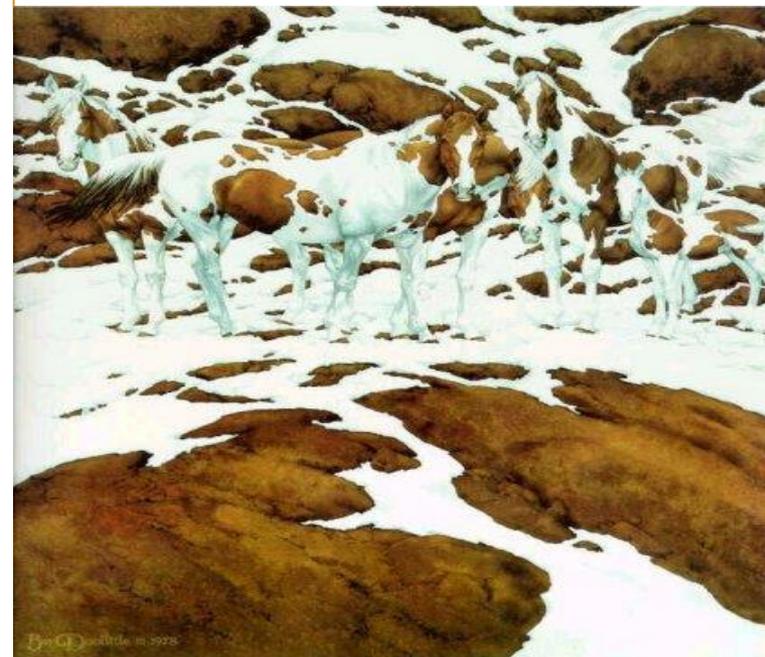


физическая картина явления и его математическое описание дополнительны. Создание физической картины мира требует пренебрежения деталями и уводит от математической точности, а попытка точного математического описания явления затрудняет ясное понимание.



# Математика «больших данных» отвечает на вопросы:

- Как научить вычислительные системы находить «похожее в различном»
- Что надо знать, чтобы выделить «целостное» в наборе фрагментов, образующих поток «больших данных»

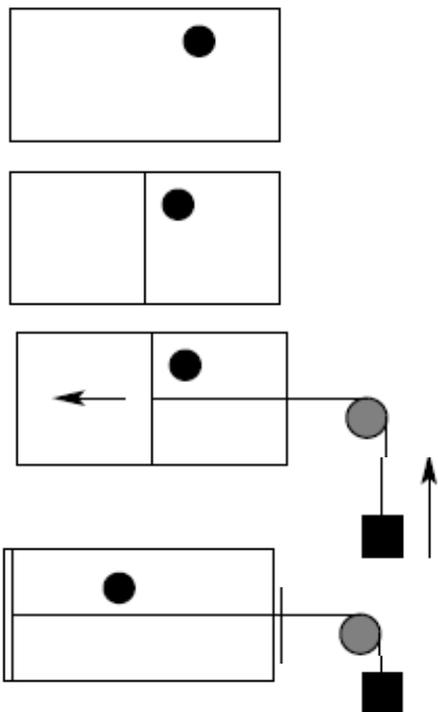


# Обучение – использование фактов для формулировки принципов ?

20



Есть ящик с "одно-молекулярным" газом и А демон (Д) – интеллектуальное устройство, способное измерять, хранить и использовать **информацию**.



Сначала положение **молекулы** неизвестно.

Д ставит перегородку, делящую ящик пополам, и **определяет**, в какой половине находится молекула.

В зависимости от результата измерения, Д размещает в ящике поршень с грузом таким образом, чтобы удары молекулы его поднимали. Газ «расширяется» и совершает работу.

При постоянной температуре  $\Delta A = kT \ln(V_2/V_1) = kT \ln 2$ .

После того, как поршень сдвинулся и груз был поднят, его удаляют.

Система вернулась к исходному состоянию... В итоге совершена работа за счет теплового резервуара при **постоянной температуре**.

**Нарушено второе начало термодинамики?**

**Нет:** Д был наделен памятью, в памяти осталась информация о состоянии ячейки, которой в начале цикла не было. Если вернуть систему к исходному состоянию – значит надо **стереть информацию** и затратить на это энергию  $kT \ln 2$ .

Если память "демона" явно в описание рассматриваемой системы не включать, то можно учесть «информацию» о системе в описании модели ее состояния

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

Изменение обычной термодинамической **энтропии** ячейки

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

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

Можно сохранить обычное выражение для второго закона термодинамики (т.е.  $T\Delta S \geq 0$  в замкнутом цикле), если ввести понятие **эффективной энтропии**:

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

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

$S_i$  зависит от того, что знает о системе наблюдатель: **информационная энтропия**

$S_i = -k \ln 2$  (на один бит).

Наличие информации о физической системе должно быть учтено и это и есть ментальная модель объекта

Если **информация** включается в общее **описание состояния системы** наравне с ее физическими параметрами, то оказывается, что

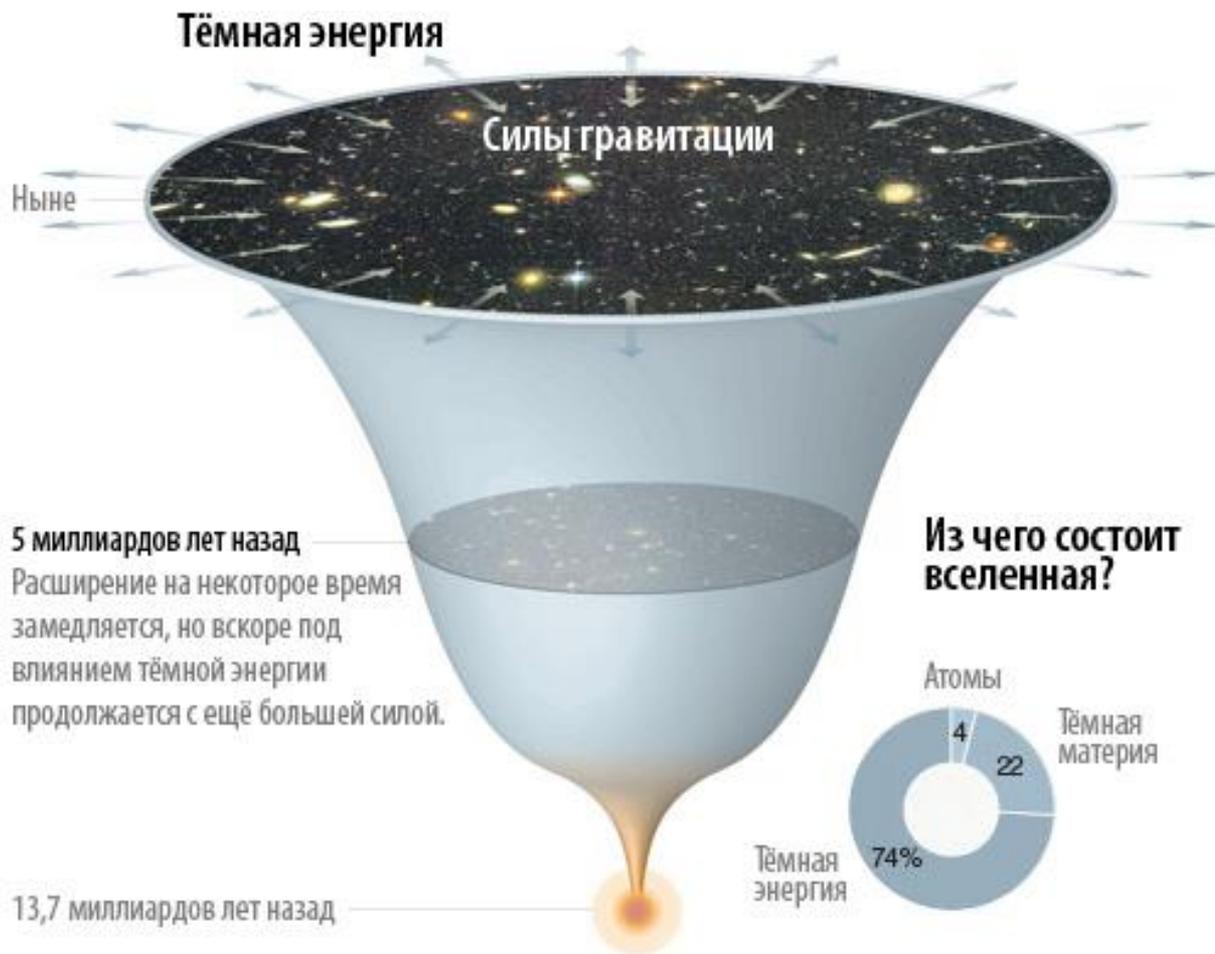
- Одна и та же система **имеет различные физические свойства** в зависимости от имеющейся информации (в одном случае она способна совершить работу, в другом – нет)
- Мера **информации** оказывается согласованной с общефизическими **понятиями энергии и энтропии**
- «Обращение» принципа Ландауэра ( не стирание, а получение бита информации): любая неслучайная комбинация битов может быть использована для **производства работы**.
- Информация как атрибут объекта наравне с его физическими параметрами ( размер, вес...) меняет ментальную модель мира.
- В зависимости от имеющейся информации о системе систему можно или нельзя использовать для совершения работы. (в одном случае система способна совершить работу, в другом – нет)

# Проблема «материализации» знаний в структурах мозга и интуитивное понимание мира

- «Наше» прошлое «записано» в нейросетях мозга, которые формируют то, как мы воспринимаем мир в целом и его конкретные объекты в частности.
- «Наши» реакции не спонтанны - большинство из них запрограммировано устойчивыми нейронными связями. Каждый объект (стимул) активирует ту или иную нейронную сеть, которая в свою очередь вызывает набор определенных химических реакций в организме.
- Эти химические реакции заставляют человека действовать или чувствовать себя определенным образом. Эмоциональные реакции – не более чем результат химических процессов, обусловленных сложившимися нейросетями, и основываются они на прошлом опыте.

Итого: в 99% случаев мы воспринимаем реальность не такой, какая она есть, а интерпретируем ее на основе готовых образов из прошлого.

# Физическая vs информационная модель реальности



Сколько информации содержится во Вселенной ?



Обработка информации, проводимая в режиме «мягких вычислений», например, «1 полюс два=3 миллиона рублей» требует создания принципиально новых технических устройств, воплощающих возможности работы информационно открытых систем.

## Итого:

- Интеллектуализация вычислителя на основе обучения приводит к изменениям в его физической структуре и программном обеспечении
- Обученная «Машина» обретет способность моделировать процессы мышления, если реализует свойства «процессора управляемого данными», решающего «обратные алгоритмические задачи» с использованием методов интеллектуальной регуляризации