

ВСИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

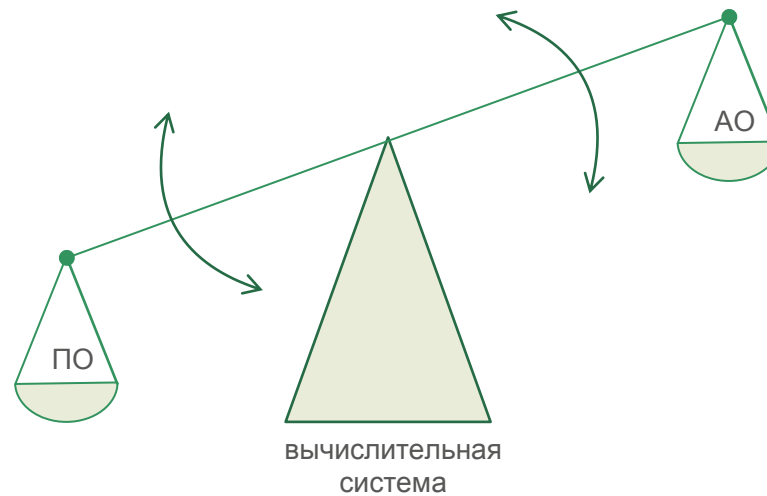
курс: **Архитектура суперкомпьютерных систем**

**ЛЕКЦИЯ 3: СУПЕРКОМПЬЮТЕРЫ КАК  
ВЫЧИСЛИТЕЛИ**

24.09.2024

Are there some questions that computer could never answer for us,  
**however beautifully made it might be?**

Ричард Фейнман



Что компьютер может вычислить в принципе ?  
Вычислимость по Тьюрингу!



классические подходы к организации программно-управляемых вычислений, известные как принципы фон Неймана, могут быть модифицированы, чтобы наделить МТ способностями к индуктивным выводам, а именно:

- **принцип однородности памяти** –
  - **трансформируется** в принцип организации вычислений в нейроморфном поле памяти, где хранятся ранее приобретенные ассоциативные знания,
- **принцип адресности**
  - **дополняется** принципом гиперконвергентности и ассоциативной маршрутизации,
- **принцип программного управления**
  - **расширяется** за счет возможности изменения порядка выполнения команд на основе результатов анализа предшествующих вычислений,
- **принцип двоичного кодирования**
  - **дополняется** кодированием категориальных признаков с использованием процедуры, которая представляет собой преобразование дескрипторов признаков в численное представление по заданным правилам.

## производительность СК – это просто !?

Производительность – что и как как надо мерить ? Реальную производительность работы гибридного СКЦ, работающего в режиме центра коллективного пользования (ЦКП, можно измерять количеством успешно завершённых задач пользователя за интервал времени, выделенный для нее диспетчером СК

Реальная производительность работы СКЦ оценивается через:

- Вероятность **успешного** (или не успешного) выполнения прикладной задачи за выделенное slurm время выполнения,
- Количество успешно выполненных задач пользователей за заданный интервал времени

Для этого требуются оценки параметров прикладных заданий и самого СК, которые используются для системой планирования slurm и влияют на реальную производительность работы СКЦ, **однако могут быть неизвестны пользователю на момент запуска задачи.**

Для **системы машинного обучения СКЦ** используется цензурированная выборка данных, включая

- $x_i \in \mathcal{X}$  – входной вектор параметров задания, задаваемых непосредственно самим пользователем
- $t_i \in [0, +\infty)$  – время до события (завершения задачи)
- $\delta_i \in \{0, 1\}$  – индикатор цензурирования (1, если задача завершена до истечения времени, 0 иначе)
- $y_i \in \mathcal{Y}$  – вектор параметров задачи, не известный на момент запуска (например, факторы изменения состояния системы slurm), в который могут входить индикаторы ошибки выполнения задачи (0 – успешное завершение, 1 – завершение с ошибкой)



ПОЛИТЕХ

# ЧТО РЕКОМЕНДУЕТСЯ НА ЭТУ ТЕМУ ПРОЧЕСТЬ

1. Ричардс М. Форд Н. Фундаментальный подход к программной архитектуре: паттерны, свойства, проверенные методы. — O'Reilly. СПб.: Питер, 2023. — 448 с.: ил. ISBN 978-5-4461-1842-7.
2. Холево А. С. Квантовые случайные процессы и открытые системы. М.: Мир, 1988. 223 с.
3. Кадомцев Б. Б. Динамика и информация. М.: Успехи физических наук, 1999. 394 с.
4. Воеводин В. С. Инфраструктура суперкомпьютерных технологий. Программирование, 2019, №3, с. 6-13
5. Список 500 самых мощных суперкомпьютеров мира. [www.Top500.org](http://www.Top500.org).
6. Системы высокопроизводительных вычислений в 2020–2021 годах: обзор достижений и анализ рынков. <http://www.cadcamcae.lv/N145/63-79.pdf>
7. Antonov A., Dongarra J., Voevodin V. Algowiki Project As an Extension of the Top500 Methodology. Supercomputing Frontiers and Innovations. 2018. V. 5. № 1. P. 4–10.
8. [Supercomputing Frontiers and Innovations. Том 10 No 2 \(2023\): Спецвыпуск о перспективных суперкомпьютерных технологиях | Суперкомпьютерные рубежи и инновации \(superfri.org\) https://doi.org/10.14529/jsfi2302](https://doi.org/10.14529/jsfi2302)
9. Fox G. Understanding ML driven HPC: Applications and Infrastructure, 15th International Conference eScience 2019,

O'REILLY



## Фундаментальный подход к программной архитектуре

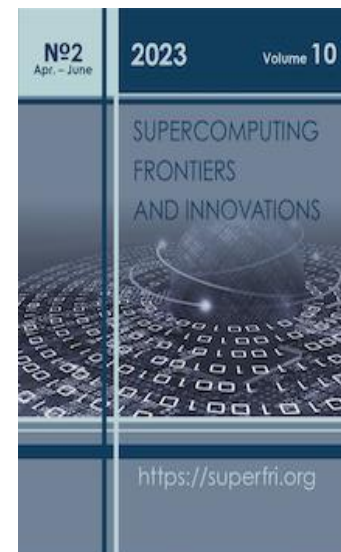
паттерны, свойства, проверенные методы



Марк Ричардс и Нил Форд



С. А. Жуматий, К. С. Стефанов  
СУПЕРКОМПЬЮТЕРЫ:  
АДМИНИСТРИРОВАНИЕ



**Вопрос 1.** Зачем вообще нужны суперкомпьютеры? До середины 20 в их ведь не было!

**Ответ:** Получение новых знаний всегда опиралось на два краеугольных камня - **теорию и опыт**. В настоящее время многие испытания стали практически невозможными - в некоторых случаях из-за своих масштабов, в других - дороговизны или опасности для здоровья и жизни людей. Поэтому реальный **эксперимент стремятся заменить на вычисления** с использованием «больших» компьютерных моделей. Для использования «больших моделей» нужны «большие» компьютеры или суперкомпьютеры.



## Вопрос 2.

**Вопрос 2.** Могут ли эти «большие» компьютерные модели и эксперименты на суперкомпьютерах стать «третьей опорой» современной науки и производства ?

**Ответ.** Только при определенных условиях... Тезис Черча-Тьюринга - **эквивалентность** между интуитивным понятием алгоритмической вычислимости и строго формализованными понятиями частично рекурсивной функции, вычислимой на машине Тьюринга имеет место **только для случая, когда обрабатываемая информация может быть представлена в виде цепочки символов некоторого алфавита.** Вычислить на машине Тьюринга можно любую функцию, но только если ... **промежуточные результаты можно записать в виде текста.** **Множество всех текстов счетное множество** ... Множество всех функций над натуральными числами имеет **мощность континуума.** Вывод: некоторые функции **формально не вычислимы,** даже если для них **можно составить алгоритм...!!!**



## ВОПРОС 3

**Вопрос 3.** Можно ли квантовый компьютер назвать «супер» компьютером ?

**Ответ.** Слово «супер» применительно к цифровым компьютерам это синоним – массивной **параллельной обработки** ( во времени или в «пространстве») данных и выполнения программ. С технической точки зрения это значит:

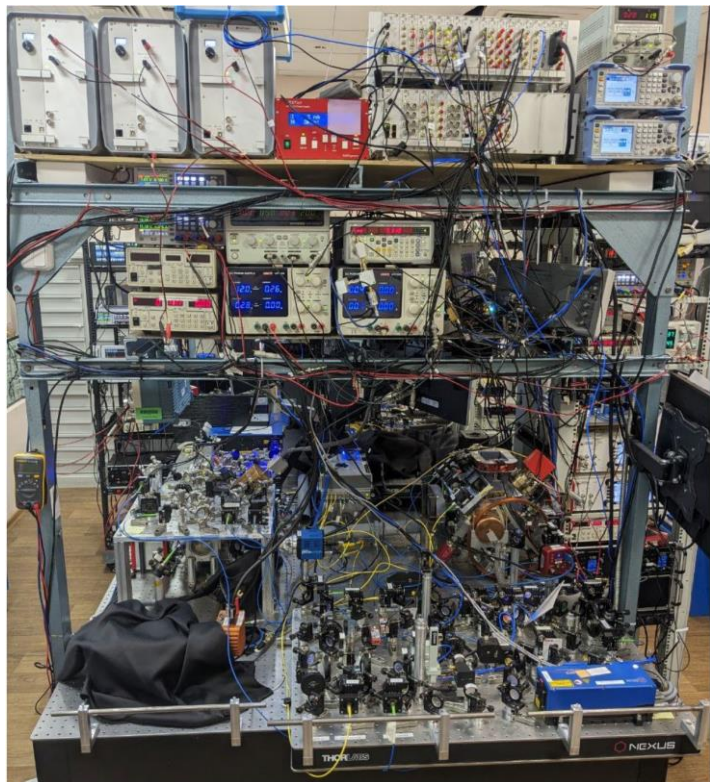
- а) **параллельное** выполнение машинных команд решения **одной задачи разными частями** используемого вычислительного устройства
- б) **одновременное** выполнение машинных команд решения большого числа разных вычислительных задач
- в) конвейеризация (векторизация – выполнение однотипной операции над упорядоченным массивом данных как в GPU) ) – разделение машинных команд на этапы, каждый из которых выполняется отдельным элементом аппаратуры процессора, а выполнение этих этапов происходит последовательно во времени друг за другом.

Квантовый компьютер формально не является «цифровым». Это аналоговое вычислительное устройство. Приставка «супер» к нему не применяется. Это новый класс так называемых high performance computer (HPC) , доставляющих решение прикладных задач с определенной вероятностью

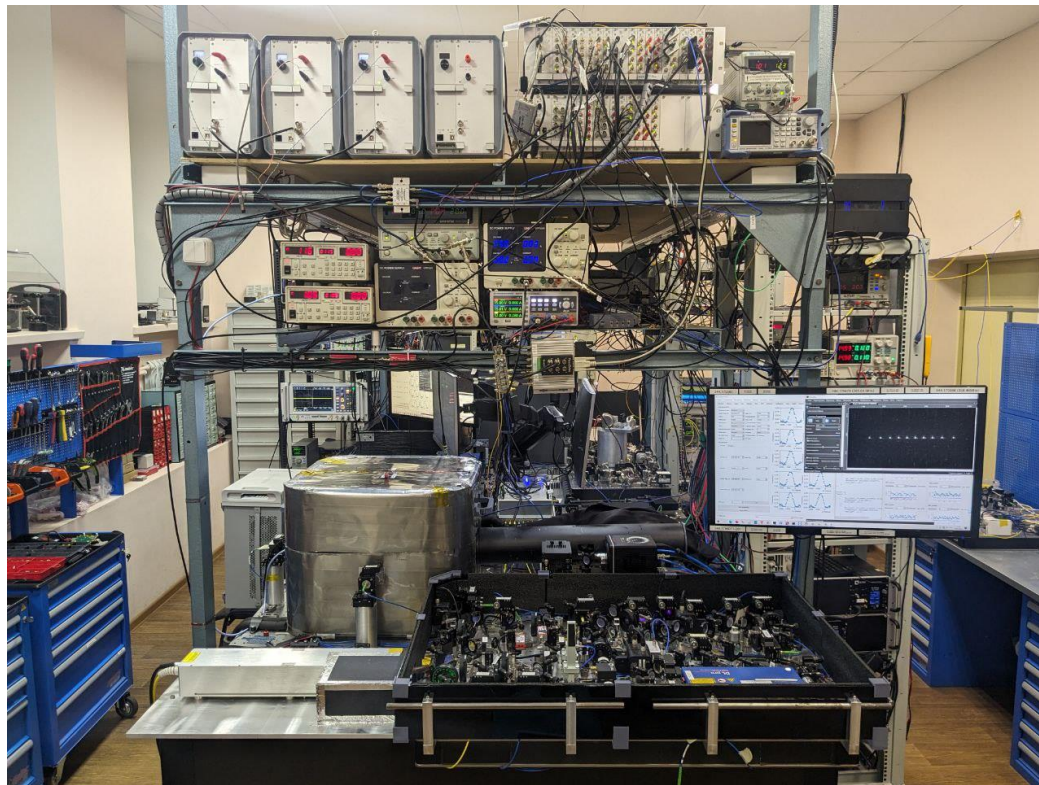


# Квантовый компьютер 20 кубитов

2022 год



2023 год



- **Имеем:** **Сейчас** «машинное обучение» – синоним извлечение имплицитных знаний (неявных, скрытых, латентных, некодифицированных ) из «больших данных». Без заранее размеченных данных современные алгоритмы машинного обучения не способны извлечь знания из данных, которые затем можно было бы перенести на новые данные
- **Вопрос:** как получить максимум знаний из минимума данных, то есть выявить суть явления или процесса из наблюдений и априорных знаний?
- **Ответ:** нужно **встроить в СК механизм самовнимания**, чтобы ... эффективно
  - использовать и сохранять в памяти всю имеющуюся информацию,
  - выявлять релевантные и контекстные связи между данными,
  - строить гипотезы и обобщать полученные данные,чтобы **оценивать вероятности** соответствия выбранных моделей вычислений и результатов экспериментальных наблюдений, извлекая из «сырых» данных **объяснительные абстракции**, которые можно переносить на другие ситуации  
.....
- задача программирования как принудительного «обучения» СК надо дополнить **процессом научения или поиска данных, обеспечивающих «наилучшее из возможных решений».**

- Число - конечный элемент поля : множества ( $N, Z, Q, R, C \dots$ ) с операциями...
- Прямые задачи цифровых вычислений: **алгоритм** - вычисления –**число**
- Обратные задачи цифровых вычислений: **число** – алгоритм – **объяснения**
- Как можно записать алгоритм «**объясния**» происходящего в Природе: число vs слово
- Как может быть решена проблема вычисления смысла текстов
- Почему квантовые вычисления стоят перед .проблемой вероятностность vs точность
- Суперкомпьютеры в контексте тезиса Тьюринга-Черча - всякий алгоритм может быть задан в виде соответствующей машины Тьюринга или частично рекурсивного определения, а машина Тьюринга - **простейшая вычислительная машина с линейной памятью**

**Задача 1.** условия вычисление решения задачи **за конечное время**, с наименьшими затратами энергии

**Задача 2.** Построение алгоритма (программы), содержащего **конечное число машинных операций для поиска** решения **как самой прикладной задачи**, так и **объяснения** полученных результатов

**«Классическая» проблема КН:**  
решение **прямых задач** путем вычисления **«единственного»** решения уравнений, используя алгоритмы ( программы), управляющие состоянием **«конечного автомата»**

**«Актуальная » проблема КН:**  
**решение обратных задач**, которые не имеют единственного решения и...выбор одного ( из счетного или даже несчетного множества) из возможных путем **регуляризации** – учета дополнительных ограничений, которые **формально** в задаче **не сформулированы**

# Теория СК вычислений: какую работу «совершает» компьютер

- СК – большой конечный автомат, в процессе вычислений переходящий из одного своего состояния в другое. Если изменение энтропии (неопределенности) при переходе из состояния 1 в состояние 2 обозначить  $\Delta S_{1 \rightarrow 2}$ , а изменение тепла  $\Delta Q = Q_{1 \rightarrow 2}$   
при  $T = \text{const}$  :  $\Delta S_{1 \rightarrow 2} = Q_{1 \rightarrow 2} / T$
- $Q_{1 \rightarrow 2}$  - количество тепла (энергии), полученное СК системой в ходе перехода из первого состояния во второе... в результате выполнения алгоритма «вычислений»

В изолированной системе общее **изменение свободной энергии всегда отрицательно** (то есть свободная энергия изолированной системы **всегда уменьшается**, а возможность совершения работы **сокращается**).

- Вопросы:
  - Как это надо учитывать при выборе компьютерных технологий ???
  - Как изменяется энтропия компьютера в процесс выполнения прикладного алгоритма вычислений

# От термодинамической к информации энтропии

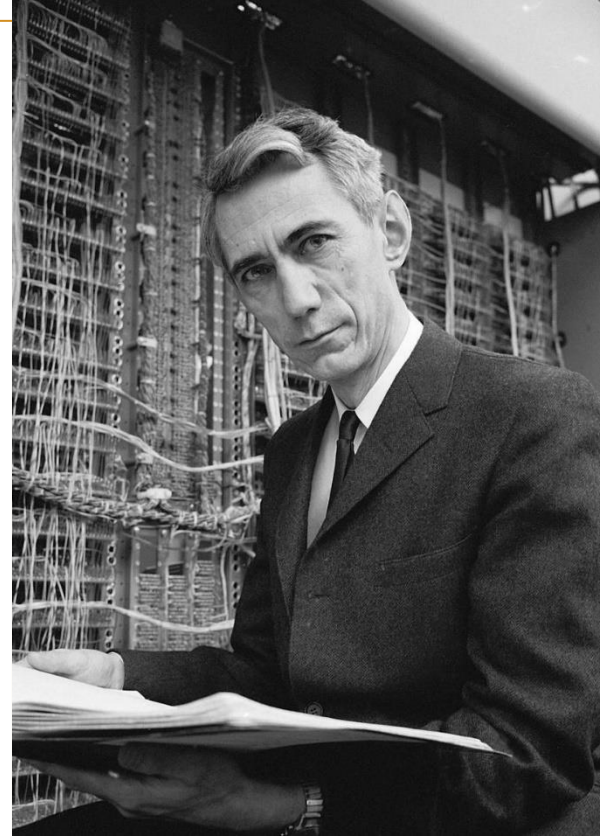
- **Дано** – вычислитель, **состоящий** из отдельных узлов, соединенных в сеть .  
Макро-состоянию вычислителя сопоставляется **мера** – это количество **связанной с ним энергии**, которую нельзя превратить в работу по реализации алгоритма
- **Идея:** вместо «тела состоящего из вещества» рассмотрим «сообщение», состоящее из символов. **Убывание неопределённости состояния вещества (убывание энтропии) приводит к приросту «чего-то» другого, что будем называть «информация»**

$$I = K \log_2 N$$

- Формула Хартли (1928 г.):  
логарифмическая мера информации, которая определяет **количество информации**, содержащееся в сообщении, где  $N$  — количество символов (букв) в используемом **алфавите** (**мощность алфавита**),  $K$  — длина сообщения (количество символов в сообщении),  $I$  — количество информации в сообщении в битах. Количество возможных вариантов разных сообщений  $M=N^K$
- **Пример:** Цепь ДНК состоит из 4-х азотистых оснований: Аденин, Гуанин, Тимин, Цитозин. Мощность алфавита ДНК  $N$  равна 4. Каждое основание (буква в сообщении ДНК) несет  **$i=\log_2 4=2$  бита информации**

## Про сообщение, которое передается через канал связи

- В 1948 г. Клод Шеннон (Claud E. Shannon) ввел меру информационного **содержания сообщения** как «объекта состоящего из различных символов» и, который надо передать **по каналу связи**, но с помехами.
- По аналогии с термодинамикой, Шеннон ввел понятие **информационной энтропии**, которую определил не через
  - макросостояние тела ( у отдельной молекулы такого состояния нет) – его **температуру**, а **через другое**
  - **макросостояние сообщения-вероятность** того, что конкретный символ из известного алфавита входит в передаваемое сообщение.



# Энтропия в физике и СК системах

- В концептуальном отношении термодинамическая энтропия и энтропия Шеннона эквивалентны: число распределений молекул, выражаемое энтропией Больцмана, отражает количество Шенноновской информации, необходимое для реализации конкретного алгоритма вычислений. Но есть различия:
- Во-первых, энтропия, которой пользуются физики, выражается отношением энергии к температуре [ Дж\*К<sup>-1</sup>], а энтропия Шеннона, используемая специалистами по системам передачи информации, – числом битов, т.е. величиной принципиально безразмерной.
- Во-вторых, приведенные к одним и тем же единицам измерения численные значения этих величин будут различны. Например, информационная энтропия микросхемы, хранящей один гигабайт данных, составляет около  $10^{10}$  бит (1 байт = 8 бит), а термодинамическая энтропия той же микросхемы при комнатной температуре имеет порядок  $10^{23}$  бит.



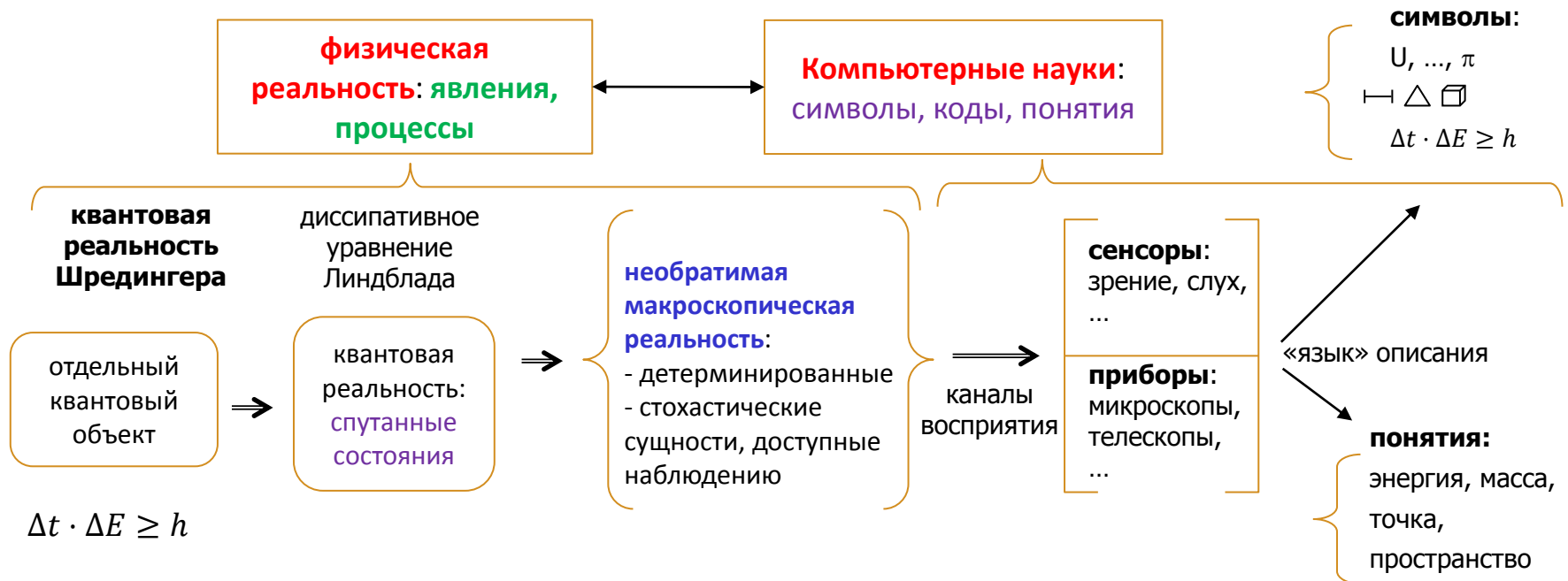
# Проблема формализации: описания модели СК системы

- **аксиома модели:**

- Окружающая человека физическая реальность – есть **целостная система**, состоящая из совместимых, но разных элементов-сущностей. Система имеет **модель**

- **аксиома системы:**

- Система обладает **эмерджентными свойствами**, которых ее отдельные элементы не имеют. Система имеет эмерджентные свойства



# Эволюция «языка науки»

- **А. Тарский, А. Тьюринг, А. Колмогоров:**
  - {синтаксис понятий, семантика отношений} + программная модель из конечного числа операторов

информационный  
аспект языка  
науки с мире  
субъектов



## К. Поппер:

Научную теорию нельзя проверить на окончательную истинность, но ее можно опровергнуть (**фальсифицировать**):  
«мир» объектов + «мир» субъектов  $\Rightarrow$  «мир» научных знаний

материальный аспект  
явлений в «мире» объектов

Информация по Шеннону - мера уменьшения неопределенности, непосредственно связанная с воздействием, которое уменьшает **количество равновероятных состояний наблюдаемой системы**. Таким образом, поступление информации в систему – это уменьшение ее энтропии:

$$\Delta I = -\Delta S$$

Соответственно, для системы с фиксированным количеством состояний (частей) и их степеней свободы

$$|I| + |S| = \text{const}$$

Величина константы определяется внутренней структурой системы.

Далее будем называть информационным такое воздействие на систему, которое :

- **изменяет количество равновероятных состояний** в системе,  
**но при этом**
  - не изменяет количество частиц системы;
  - не изменяет общую энергию системы;
  - не изменяет температуру системы.

Обозначим первоначальную энтропию системы как  $S_0$ , а энтропию после информационного воздействия  $S_1$ . Таким образом,

$$\Delta I = S_0 - S_1$$

В случае отсутствия новых информационных воздействий на систему и ее изоляции от обмена энергией справедлива формула:

$$E = \Delta G + T\Delta S$$

Эта формула выражает известный нам из термодинамики закон не убывания энтропии. Величина энтропийной составляющей при отсутствии внешних воздействий всегда неотрицательна, приращение свободной энергии – соответственно всегда не положительна. Учитывая зависимость информации от свободной энергии, формула связи будет выглядеть так:

$$E = T(\Delta I + \Delta S)$$

Если слагаемое энтропии неотрицательно, то слагаемое информации соответственно будет неположительным. Поэтому из второго закона термодинамики можно вывести закон не возрастания информации без внешнего информационного воздействия.

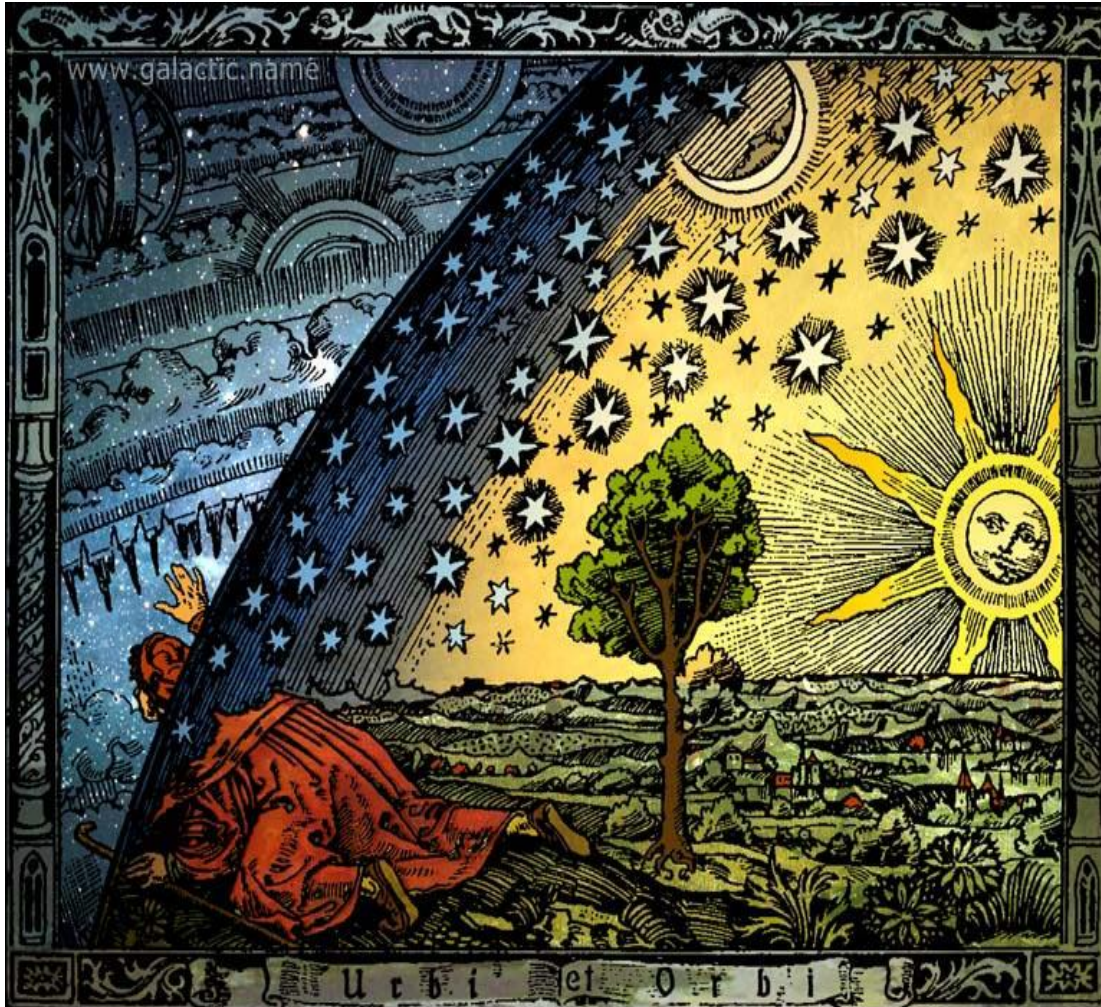
# ОБУЧЕНИЕ КАК ПРОГРАММИРОВАНИЕ И НАУЧЕНИЕ КАК САМОПРИМЕНИМОСТЬ ИТ

- Реальность состоит из уже состоявшейся, настоящего и потенциально возможного, в котором происходит процесс «обучения». Время – трехмерно мерно  $T^3$ 
  - *Различие между прошлым, настоящим и будущим – лишь необычайно устойчивая иллюзия.*

А. Эйнштейн.

- Мышление и сознание являются феноменом реальности, который может проявляться в случае, когда «вещество» находится в особом фазовом состоянии – способно накапливать и обрабатывать информацию с использованием вычислительных технологий (символьных процессов).

[Насколько ВИРТУАЛЕН наш мир? - YouTube](#)



Суть подхода  
компьютерных наук  
СОСТОИТ В ПОИСКЕ  
«количественные» модели  
«потенциально  
возможного» ?

- Эксперименты с роботизированной машиной показали, если она действует исключительно по правилам, то способна создать большую опасность, чем лихачи.
- Автопилот «не видит» разницы между картонной коробкой и бетонным блоком. **Следуя «машинной логике», авто никогда не покинет кругового перекрестка, ведь для этого требуется формальное нарушение правил. ...**
- На круге действуют некие джентельменские соглашения, не понятные электронному разуму, так как не имеет формального описания. Компьютер не распознаёт контекст реализации правил принятия решений.. .