

ВСИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

курс: **Архитектура суперкомпьютерных систем**

**ЛЕКЦИЯ 1 МОТИВАЦИОННАЯ: КОМПЬЮТЕРЫ,
СУПЕРКОМПЬЮТЕРЫ, КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛИ**

5.09.2023



ЧТО РЕКОМЕНДУЕТСЯ ПРОЧЕСТЬ

1. Ричардс М. Форд Н. Фундаментальный подход к программной архитектуре: паттерны, свойства, проверенные методы. — О’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.
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. **1 сентября 2023 г. В МГУ ОТКРЫЛИ НОВЫЙ СУПЕРКОМПЬЮТЕР, РЕШАЮЩИЙ ЗАДАЧИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА (400 Пф)** <https://scientificrussia.ru/>
10. Fox G. Understanding ML driven HPC: Applications and Infrastructure, 15th International Conference eScience 2019,

O'REILLY®

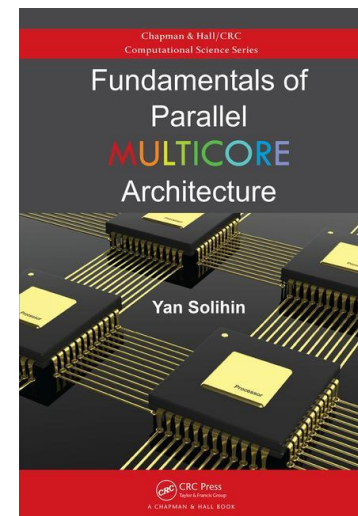


Фундаментальный подход к программной архитектуре

паттерны, свойства, проверенные методы



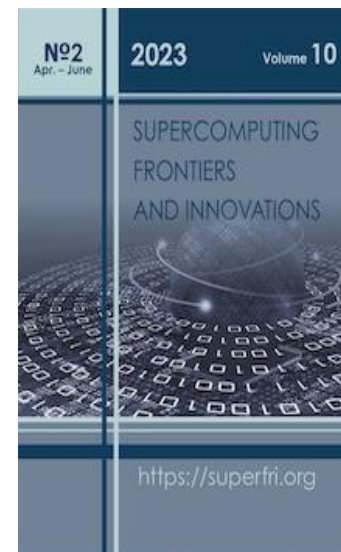
Марк Ричардс и Нил Форд



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



Суперкомпьютерный консорциум
университетов России



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. 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 об эквивалентности между интуитивным понятием алгоритмической вычислимости и 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. Как понимать «супер»? Можно ли квантовый компьютер назвать «супер»?

Ответ. Обычно в настоящее время «супер» применительно к цифровым компьютерам это синоним – параллельной обработки (во времени или в «пространстве») данных и выполнения программ. С физическо-технической точки зрения это число выч. операций /1 Вт , с программной :

а) параллельное выполнение машинных команд разными устройствами.

б) конвейеризация (векторизация – выполнение однотипной операции над упорядоченным массивом данных как в GPU)) – разделение команд на этапы, каждый из которых выполняется быстро отдельным элементом аппаратуры, а выполнение этих этапов происходит друг за другом.

Квантовый компьютер формально «цифровым» не является. Приставка «супер» к нему обычно не применяется. Это новый класс особой вычислительной архитектуры high performance computer (HPC)

Задача 1. Вычисление решения формализованной прикладной задачи **за конечное время** с использованием заданного алгоритма (требования: быстрее, точнее, с меньшими затратами, операции: $+/-, >, =$)

Задача 2. Построение алгоритма (программы), содержащего **конечное число операций**, решения прикладной задачи.

Требование к алгоритму: формализация задачи, объяснение результата решения, анализ физической реализуемости решения

«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**

- Число как конечный элемент поля (Пифагор – «все есть число»). В математике «поле» – множество ($\mathbb{N}, \mathbb{Z}, \mathbb{Q}, \mathbb{R}, \mathbb{C} \dots$) с операциями...
- Цифровые программно-управляемые автоматы обработки чисел
- Прямые задачи цифровых вычислений: **алгоритм** - вычисления – **число**
- Обратные задачи цифровых вычислений: **число** – алгоритм – **объяснения**
- **Программное управляемые параллельные вычисления,**
- Гибридные кластеры и Квантовые компьютеры
- Natural вычисления и законы физики: энергия, материя, информация, ...энтропия. Как можно записать «**объясния**» Природы: число vs слово.
- Проблема вычисления чисел и объяснения смысла текста
- Квантовые вычисления. Вероятность vs точность
- Современные суперкомпьютеры в контексте тезис Тьюринга-Черча

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, +/-∞

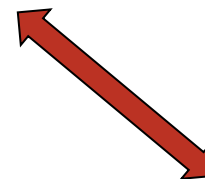
«похоже», единица, ноль,
бесконечность

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

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

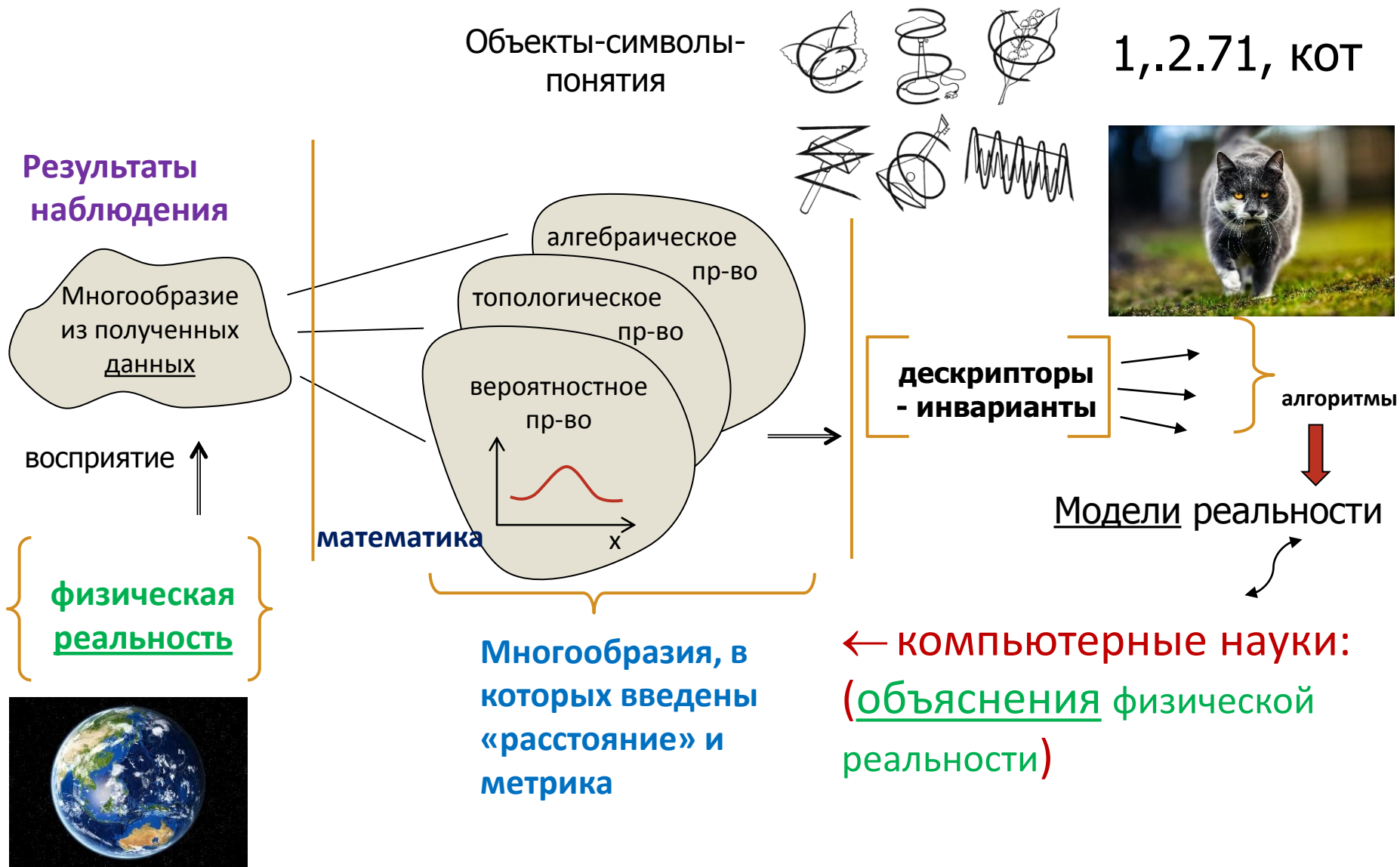


(1757-1827)



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.

Подходы к описанию «мира» с точки зрения математических наук

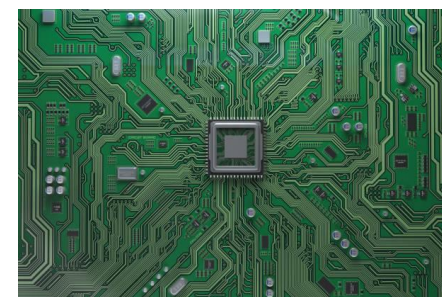
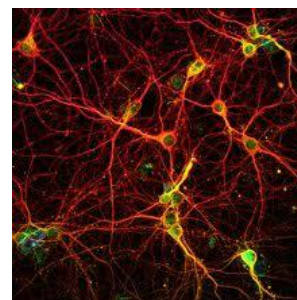
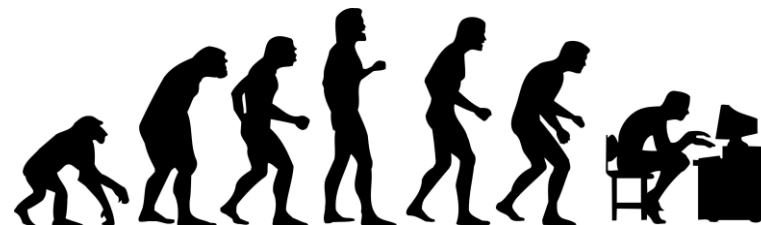




ПРОЦЕССЫ «ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ» НАУЧНЫХ ЗНАНИЙ

Фундаментальная проблема

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





ЭВОЛЮЦИЯ - ОТ ЦИФРОВЫХ АВТОМАТОВ К ЯЗЫКОВЫМ ТРАНСФОРМЕРАМ-ИНТЕРПРЕТАТОРАМ

«... в начале было Слово»
Евангелия от
Иоанна

Вычисления чисел → Вычисление СМЫСЛОВ

Эра
механических автоматов,
исполняющих один
алгоритм, вычисления



Алгоритм
записанный на
естественном
языке, понятном
человеку



Алгоритм
вычисления записанный
человеком на языке
«ПОНЯТНЫМ»
компьютерам

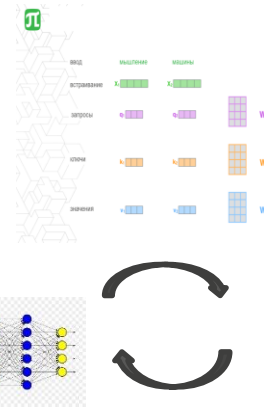


«все есть число»
Пифагор
570-490 до н.э.

эра
электронных автоматов,
вычисляющих числа с помощью
программ-алгоритмов

эра
«интеллектуальных»
вычислительных платформ
«трансформер-интерпретатор»

X-
входные
данные и
описание
заданий



описание
процессов на «языке
данных»

у – выходные
данные -
результаты

Описание процессов
на «языке алгоритмов»



«СОВРЕМЕННЫЕ ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»: ПРОБЛЕМА №1

«Углеродный след» компьютерных технологий :

год	число ядер	$R_{\text{реак}}$, ПФлопс	R_{max} , ПФлопс	эл. мощность, МВт
2022 Frontier	8,700,XXX	1680.XX	1100.XX	21
2020 Fugaku	7,300,XXX	513.XX	415.XX	28
2010 Tianhe-1	186,XXX	4.7X	2.6X	4
2000 ASCI Intel	9,6XX	0.03	0.02	-

- 1 кг угля -> 3 кВтч =0.003 МВтч
- 1 тонна угля -> 3 МВтч

21 МВт -> $21/3 =$
7 тонн угля в час
168 тонн угля в день
60480 тонн угля в год

Причины:

- **Большая** потребляемая мощность
- **Сложность** УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ планирования вычислений
- **Низкая** масштабируемость вычислительных ресурсов при решении прикладных задач



СОВРЕМЕННЫЕ ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ПРОБЛЕМА №2

«Сложность программирования и эффективного использования суперкомпьютеров»

Для пользователей почти всегда СК «**черный ящик**», а для самого «СК» – задачи пользователей - «каждый раз совершенно «новые».

Задачи
пользователей

Input

ВХОД



ВЫХОД

Output

Результаты
вычислений

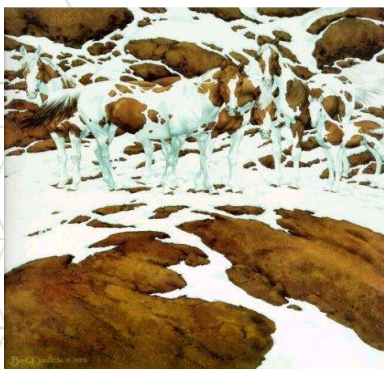
Типичный вопрос пользователя - как повысить скорость решения своих прикладных задач?
Решение проблемы: сделать так, чтобы на вопрос пользователей мог ответить «сам СК» ?



СОВРЕМЕННЫЕ ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ : ПРОБЛЕМА №3:

« У ЧЕЛОВЕКА НЕТ ИНТУИЦИИ ЧИСЛА, ВЫЧИСЛЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАДО ... ОБЪЯСНИТЬ»

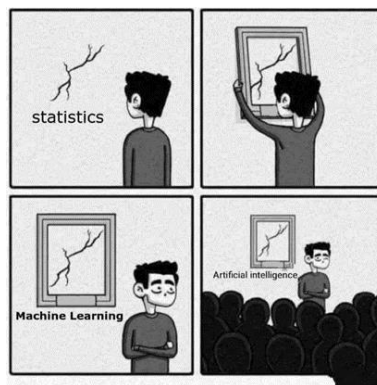
- **РЕШЕНИЕ** — **ОБЪЕДИНЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЕСТЕСТВЕННОГО И ИИ** -> **СОЗДАНИЕ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ЭКЗО-ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ**, ИНТЕГРИРУЮЩИХ ВОЗМОЖНОСТИ ФОРМАЛЬНОГО И ИНТУИТИВНОГО НАЧАЛ



Скрытность языка
смыслов

Дескрипторы «похожести»:

числовое равенство /с точностью до количеств $1+2=3$
эквивалентность /с точностью до значения $1.0000=1$
гомеоморфность /с точностью до инвариантов классов



Ограниченность объема
знаний субъекта

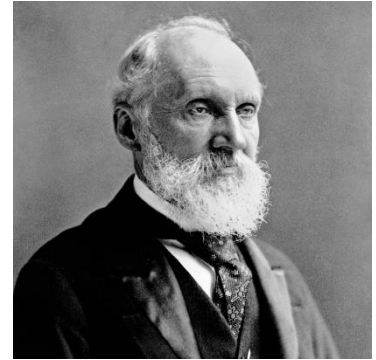


Мультимодальность
принимаемых
решений



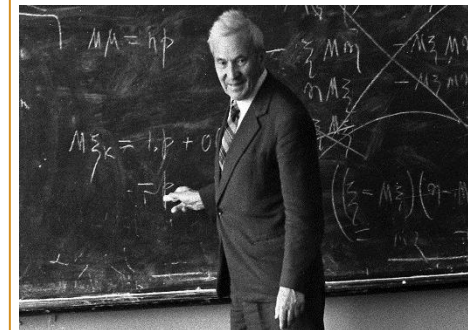
Понятия для описания физического мира: энергия-энтропия-информация

- 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**.

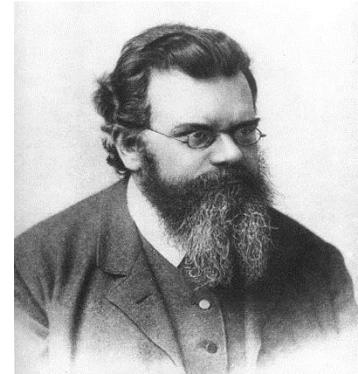
- А. Н. Колмогоров создал аксиоматику теории вероятности, а К. Шеннон формализовал понятие информация и информационная **энтропия**



Энтропия (др.греч. «превращение» - «**чего**» во «**что-то**» ?)
 Эне́ргия (др.-греч. «действие»- «**на что**» и « **как**» ?)

- Каждое физическое тело, оказывает «действие» на другие тела и у каждого тела есть особое состояние, которое называется температура. Чтобы связать действие (энергию) с температурой используется понятие **термодинамической энтропии S** размерностью [Дж*К⁻¹] ;
- Величина **S** входит в выражение для **связанной энергии** тела $W_{\text{связ}} = T \cdot S$, в результате полная энергия системы имеет вид $U = G + W_{\text{связ}} = G + T \cdot S$,
 где **G** - «**свободная энергия**», которую можно исп. для **совершения работы**. На практике обычно интересуются изменением **свободной энергии**. Если температура постоянна (процесс изотермический – нет взаимодействия с внешней средой), то

$$\Delta G = \Delta U - T \cdot \Delta S$$
- Итак, можно сказать «энтропии» характеризует «превращения» «**чего**» ? - **свободной энергии**, «**во что-то**» - в **работу**. Какое действие производит процесс вычисления ???



Итак: с ростом энтропии уменьшается «свободная энергия» и ...
возможность «совершать» работу

- Если изменение энтропии при переходе из состояния 1 в состояние 2 обозначить $\Delta S_{1 \rightarrow 2}$, а изменение тепла $\Delta Q = Q_{1 \rightarrow 2}$ при $T = \text{const}$: $\Delta S_{1 \rightarrow 2} = Q_{1 \rightarrow 2} / T$
- Вопросы:
 - Как такие процессы надо учитывать в компьютерных технологиях ???
 - Как изменяется энтропия компьютера в результате выполнения алгоритма вычислений

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 :

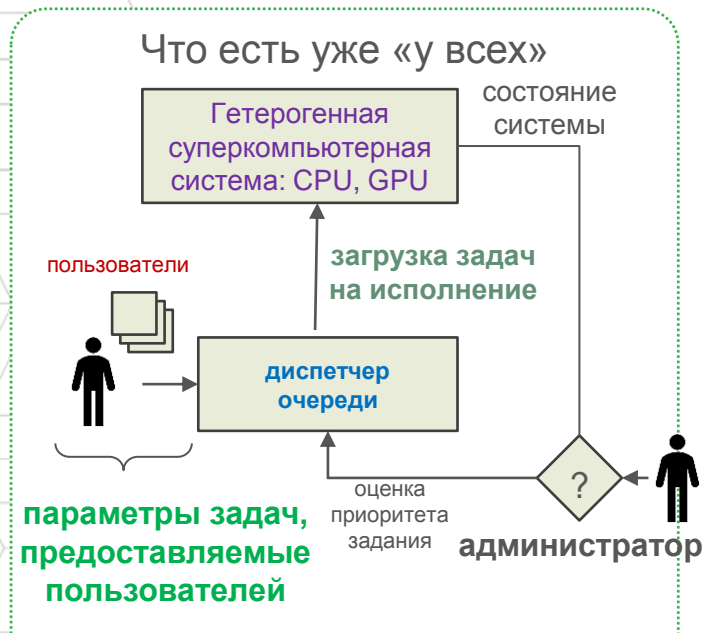
- **изменяет количество равновероятных состояний** в системе,
но при этом
 - не изменяет количество частиц системы;
 - не изменяет общую энергию системы;
 - не изменяет температуру системы.

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

$$\Delta I = S_0 - S_1$$

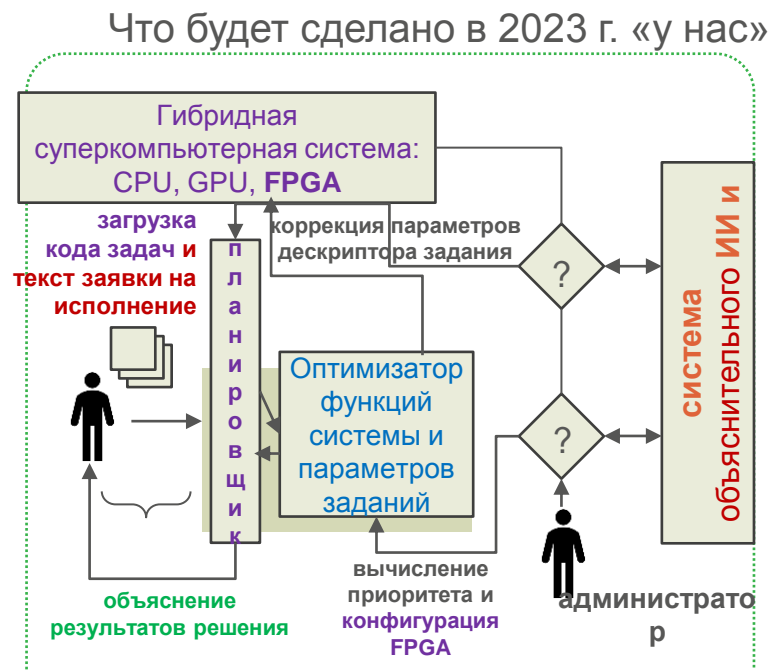


ПЕРСПЕКТИВЫ «МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ» СУПЕРКОМПЬЮТЕРОВ



Проблемы:

- неточность оценок параметров заданий, которые формирует пользователи
- «ошибки» диспетчера в оценке времени исполнения заданий



Задачи: Создание системы ИИ, которая способна не только к «машинному обучению» планировщика заданий, но и «объяснению» результатов выполнения заданий, включая формирования сообщений планировщику заданий, администратору и пользователю



АРХИТЕКТУРА «ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО» СУПЕР КОМПЬЮТЕРА

Уровень «объяснения» и доказательства правильности результатов моделирования

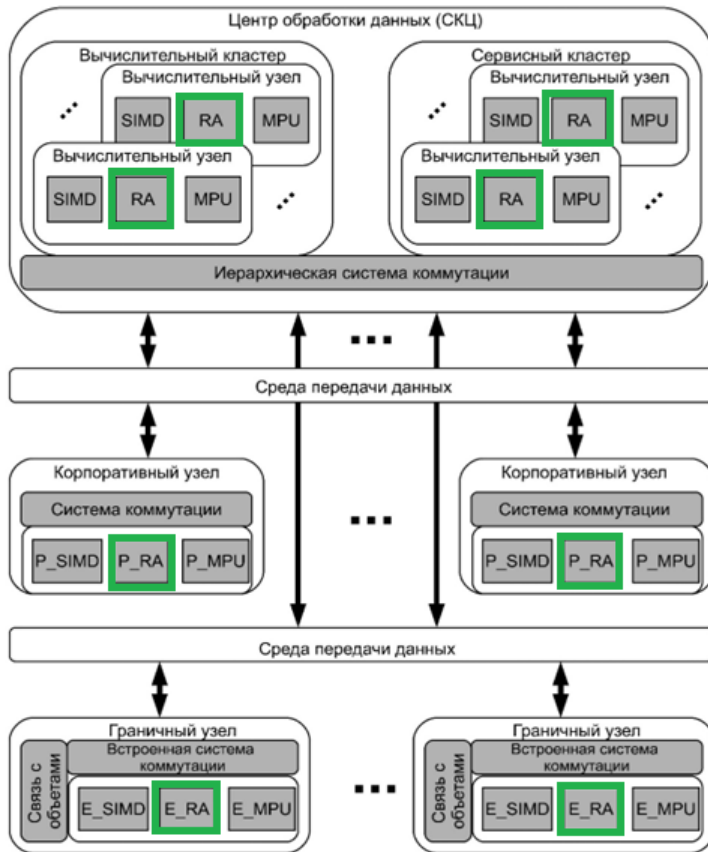
Энерго-вычислительная эффективность >4 Гфлопс/Вт

Уровень «агрегации» и машинного обучения путем разделения задач классы эквивалентности и факторно-множества вычислительной сложности

Энерго-вычислительная эффективность >10 Гфлопс/Вт

Уровень CPU/GPU вычисления «данных»

Энерго-вычислительная эффективность >20 Гфлопс/Вт



- Реальность состоит из состоявшейся и потенциально возможной материи. Пространство состояний «интеллектуального» субъекта в котором происходит «обучение» – L^3T^3 Время – многомерно T^3
 - *Различие между прошлым, настоящим и будущем – лишь необычайно устойчивая иллюзия.*

А. Эйнштейн.

Насколько ВИРТУАЛЕН и ВЫЧИСЛИМ наш мир? -
YouTube

ПАРАДОКС АВТОПИЛОТА: ТОЧНОЕ СЛЕДОВАНИЕ РОБОТАМИ ИНСТРУКЦИЙ ПРИВОДИТ К АВАРИЯМ?

- Tesla начала продажи Model S с встроенным роботом. Автомобиль Tesla в 2018 г. попал под прицеп разворачивающегося грузовика. Водитель погиб на месте. Причиной ДТП стало ослепление датчиков прямыми лучами солнца. *Компьютер не смог понять, что за объект вырос рядом – «под носом».*
- Эксперименты Google - роботизированная машина, едущая исключительно по правилам, способна создать еще 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.. .