



# КАФЕДРА ТЕЛЕМАТИКА

Санкт-Петербургский  
Государственный  
Политехнический  
Университет

Институт прикладной  
математики и механики

**Введение в профессиональную деятельность**

**Лекция 6-1:**

**МОЖНО ЛИ «ВЫЧИСЛИТЬ» ЗНАНИЯ ?**

---

СПб,  
9 марта, 2021 г.



машины скорее обнаруживают наличие беспорядка, чем наводят порядок

А. Перлис.

Известно, что:

- **Истина** не формализуема, но .... познаваема.
- Согласно парадигме компьютерных наук .... познать – это значит уметь «**ВЫЧИСЛИТЬ**»...

.....вопрос только в том - вычислить **что и как ?!**

Информация относительна – не все можно «измерить»

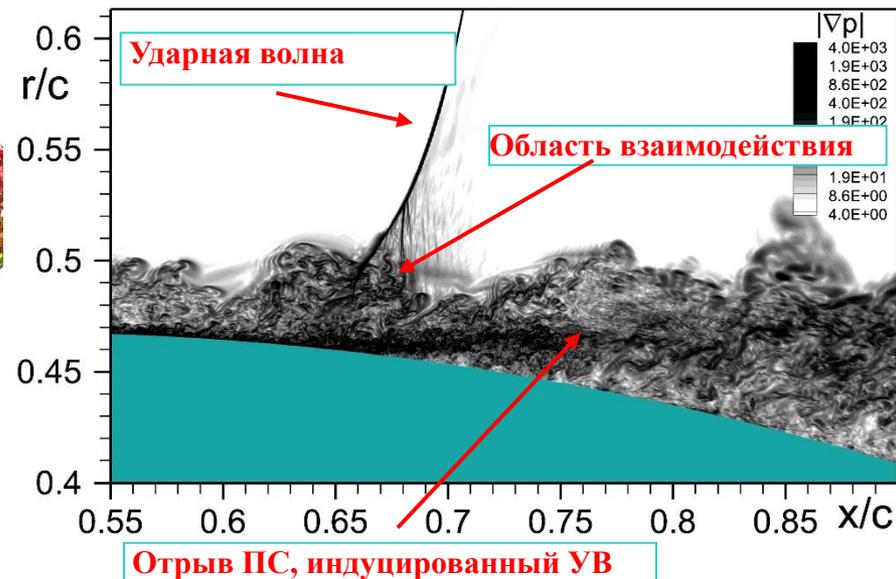
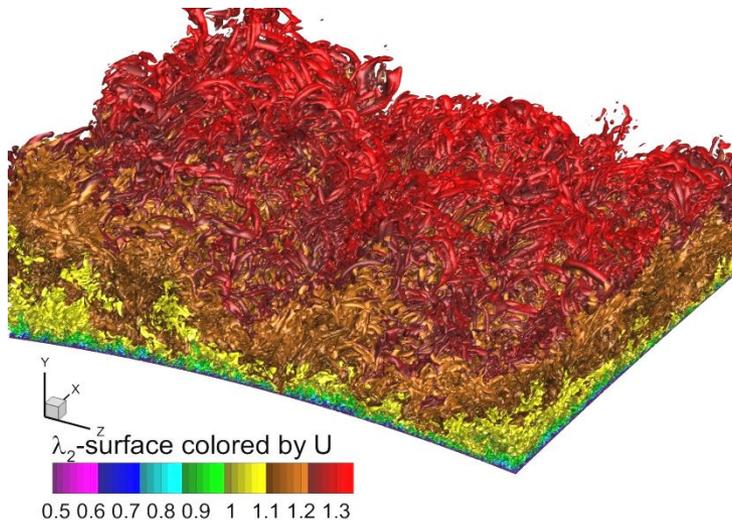
# Удивительный парадокс!



в трёхмерном пространстве существуют **неизмеримые множества**, которые не имеют объёма, если под объёмом мы понимаем то, что обладает свойством аддитивности, и предполагаем, что объёмы двух конгруэнтных множеств совпадают

# Пример «что»: Взаимодействие ударной волны с трансзвуковым турбулентным пограничным слоем

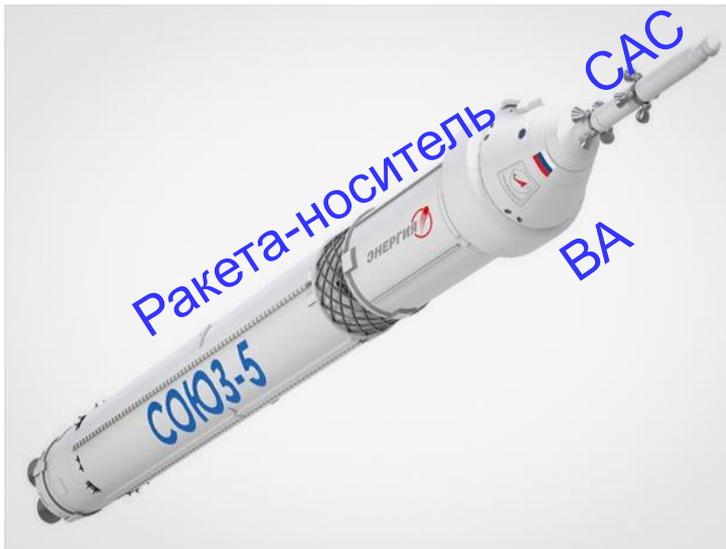
- Размер расчетной сетки: **8.7 миллиардов ячеек** (расчеты на сетках подобного размера в России не проводились)
- Время решения на кластере Tornado СКЦ: **11 500 000 ядро-часов** (800 астрономических часов)
- Получены уникальные данные о механизме взаимодействия ударной волны с трансзвуковым пограничным слоем и вызванного им отрыва потока



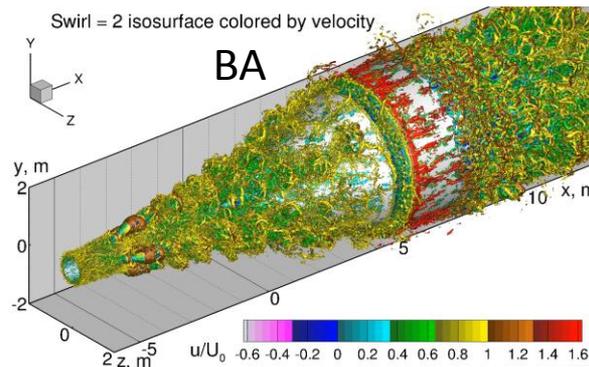
Турбулентные структуры в области взаимодействия ударной волны с пограничным слоем

# Пример «как»: Аэроакустические нагрузки на возвращаемый аппарат при срабатывании системы аварийного спасения (САС) экипажа

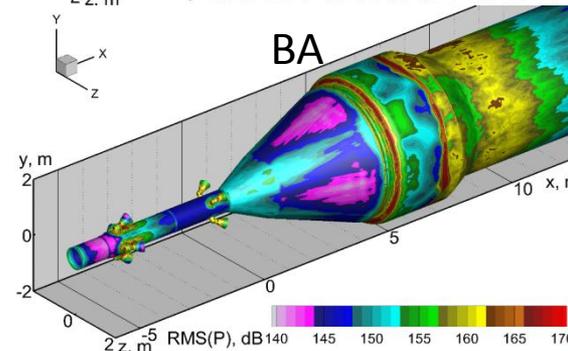
- С помощью разработанной высокоточной модели турбулентности



- Расчет одного варианта требует использования 35 узлов кластера Tornado в течение 30 суток

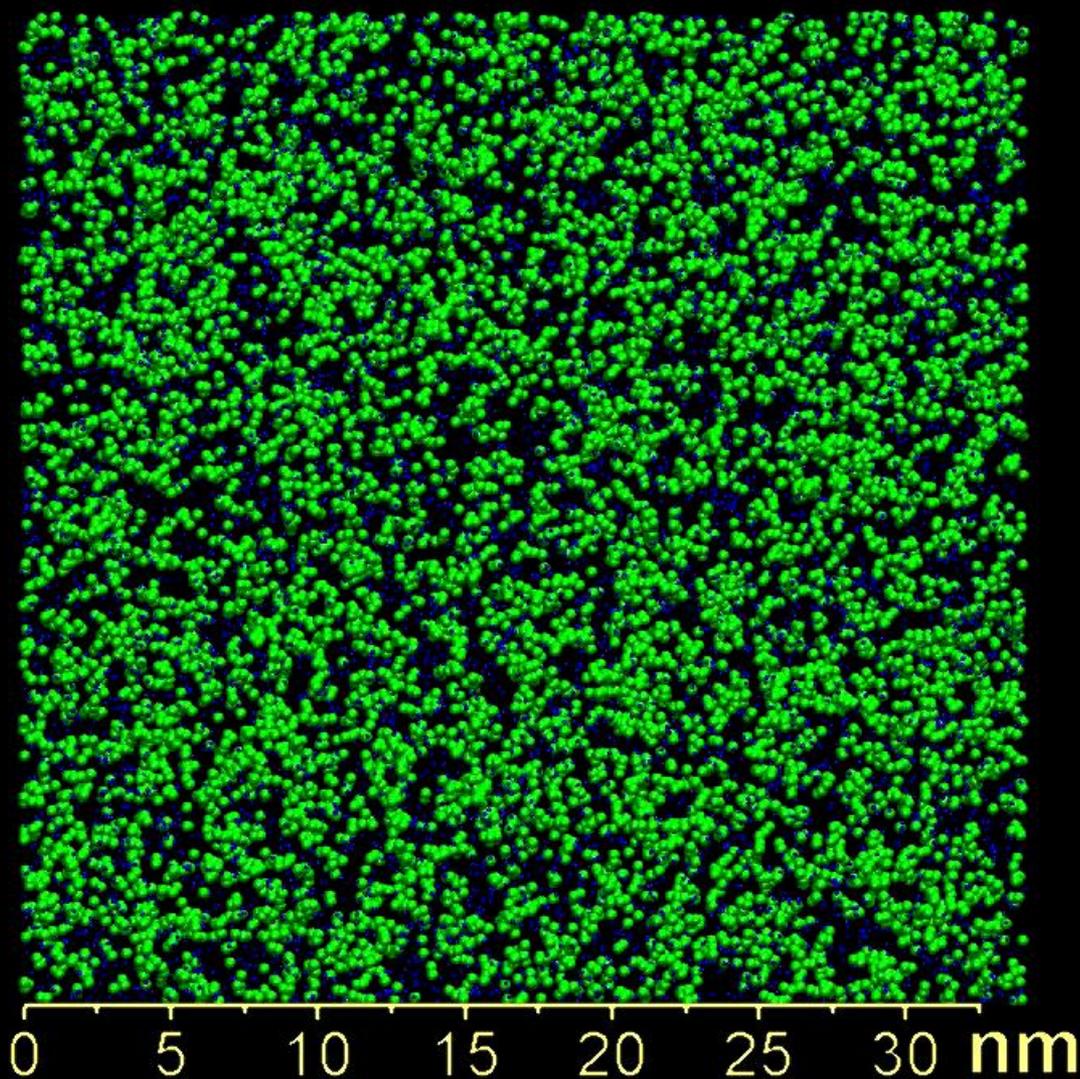


Визуализация  
вихревых структур



Распределение  
нагрузок по  
поверхности  
аппарата  
(до 170 дБ!)

# Компьютерная модель процесса формирования наночастиц меди



# Имена, которые надо знать



Д. Гильберт  
Сторонник  
**полной  
формализации  
математики** и ее  
единства с  
естествознанием

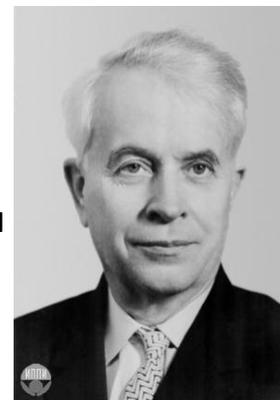


К. Гедель  
Теоремы о  
**неполноте  
формальных  
систем**



А. Тьюринг  
**(абстрактная машина  
вычислений, тест на ИИ)**

А. Черч  
показал  
существование  
**алгоритмически  
«неразрешим  
ых задач»**



А. А. Марков -  
теория  
нормальных  
алгоритмов



А. Н. Колмогоров  
Ввел понятие  
**алгоритмическая  
энтропия или сложность.**

# Знания : от «наблюдения за» к пониманию как»

8

Мир, окружающий человека, состоит из объектов **неживой** и **живой** природы. Изучение **первых** – основа **естественных** наук (математика, физика, химия...), которые описывают мир с помощью **формул над** числовыми, топологическими и логическими **структурами**. (суть наук – задание структуры и законов, приводящих к росту энтропии)



Изучение **вторых** – основа **феноменологических** наук, которые связаны с изучением феноменов жизни, «свободы воли» индивидуумов и социальных **явлений** (суть наук – феномен явления и законов «убывания» энтропии)

Компьютерные науки исходят из того, что **познать** – **значит уметь вычислить**, используя ....алгоритм... Кто же и с помощью чего «вычисляет» сам алгоритм ?

«Истина – это не то, что можно убедительно **доказать**, а это то, что делает мир **проще и понятнее**».

*А. Сент-Экзюпери*

# Подходы к обретению знаний

- **Дедукция** — «выведение» или **логический** вывод, истинность которого гарантируется истинностью посылок.
- **Индукция** — «наведение» или умозаключение, которое вытекает из принятых посылок не с логической необходимостью, а только с некоторой **вероятностью**.
- **Абдукция** - процедура выдвижения гипотез для открытия эмпирических законов, которые устанавливают **необходимые** (супервентные) **отношения** между наблюдаемыми свойствами и явлениями Природы

**Вычислительный эксперимент** - можно ли доверять результатам таких экспериментов, если они лишь имитация свойств физической реальности?

# Что не так с логическим выводом ?

10

## Пример абдукции

**Посылка 1:** Все тигры с четырьмя лапами

**Посылка 2:** Собака имеет четыре лапы

**Заключение:** Собака – это тигр

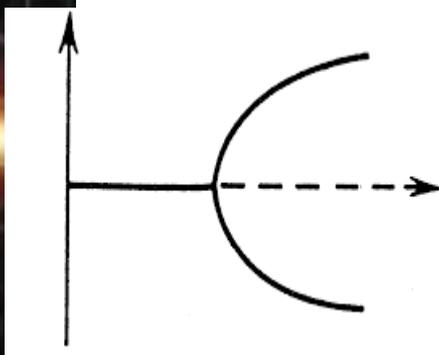
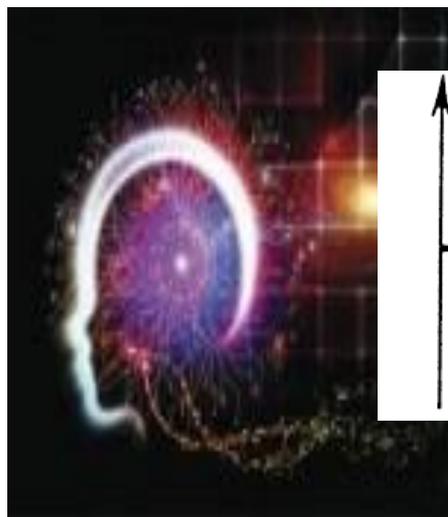


=

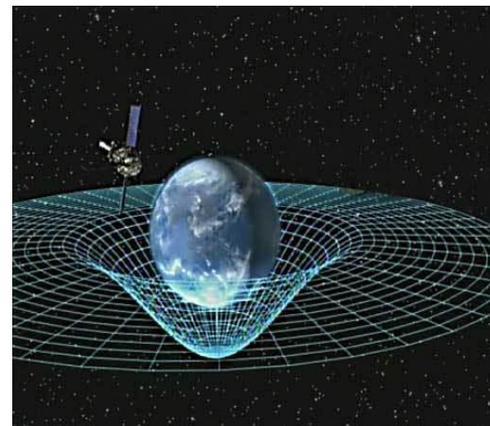


# «Бифуркация» Природы

Лишенная мысли и смысла  
физическая реальность



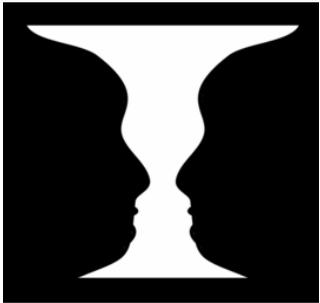
Осознающая себя, сложно  
организованная материя



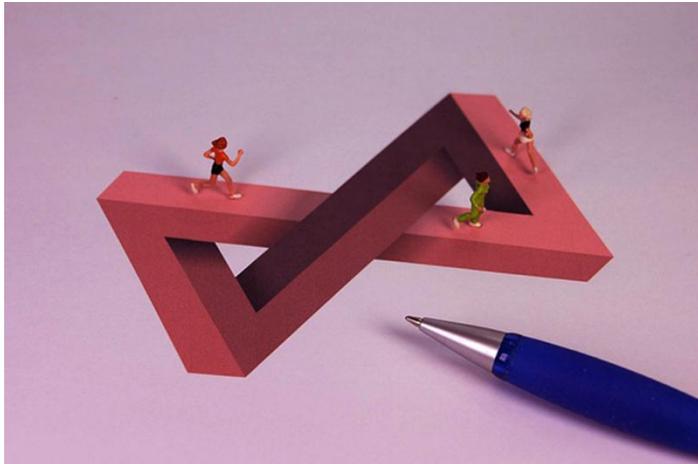
# Понимание – это восприятие данных в сознания человека.

**Актуальные вопросы** : можно ли «цифровым способом» смоделировать «понимание», т.е. является ли «понимание» вычислимой функцией. Можно ли запрограммировать «понимание» и доверять результатам таких «вычислений» ?

Артефакт - рисунок



Фотография реального объекта



**Суть проблемы:** **Целостность** восприятия и **согласованность** частей, составляющих «образ» воспринимаемого **объекта**

# Фактор множество воспринимаемой реальности

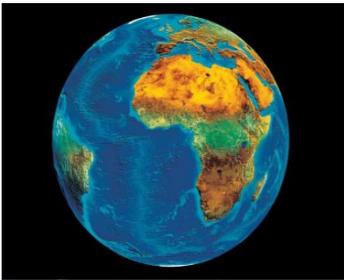
**Объекты** реальности –  
неисчерпаемый «резервуар»  
математических аксиом

лес  
Городской  
трафик  
класс  
Планета



# Отношение «эквивалентности» объектов В ->А->R

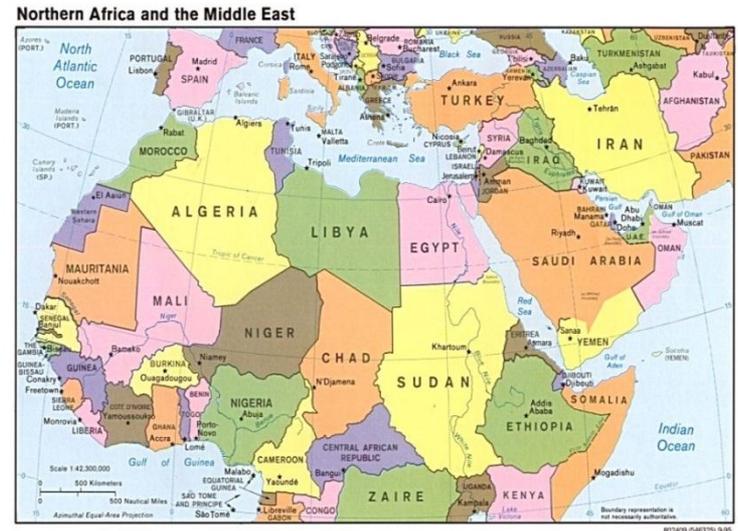
В



А:



Р:



**Гомоморфизм ( Homomorphism )** : отображение объекта А в R таким образом, что отношения  $\geq$  операции «+» сохраняются. В результате кратчайшее расстояние между точками на «глобусе» уже **не прямая**, а ... «кривая» = «геодезическая линия»

**Изоморфизм (Isomorphism)** – это  $a \rightarrow 1$  **homomorphism** -  
◆  $h(01010) = ababab$

# Пример отношения эквивалентности

**Утверждение.** Любое отношение эквивалентности  $\vartheta(x,y)$ , заданное на множестве  $M$ , определяет множество классов эквивалентности: два элемента  $x, y \in M$  попадают в один класс тогда и только тогда, когда  $x \sim y$  (эти классы непересекающиеся).

**Пример 1.** Рассмотрим множество выражений:  
 $\{1+5, 2+1, 2+3, 2+4, 1+2, 1+4, 3+3, 1+1+1, 4+2, 1+3\}$ .

Сколько всего классов эквивалентности по отношению «числовое равенство»?

такие классы эквивалентности:

$[\{1+5, 2+4, 3+3, 4+2\}, \quad \{2+1, 1+2, 1+1+1\},$   
 $\{2+3, 1+4\}, \quad \{1+3\}]$ .

# Картина Арчимбальдо Чудесного



Проблема эквивалентности «образа» и «оригинала» :

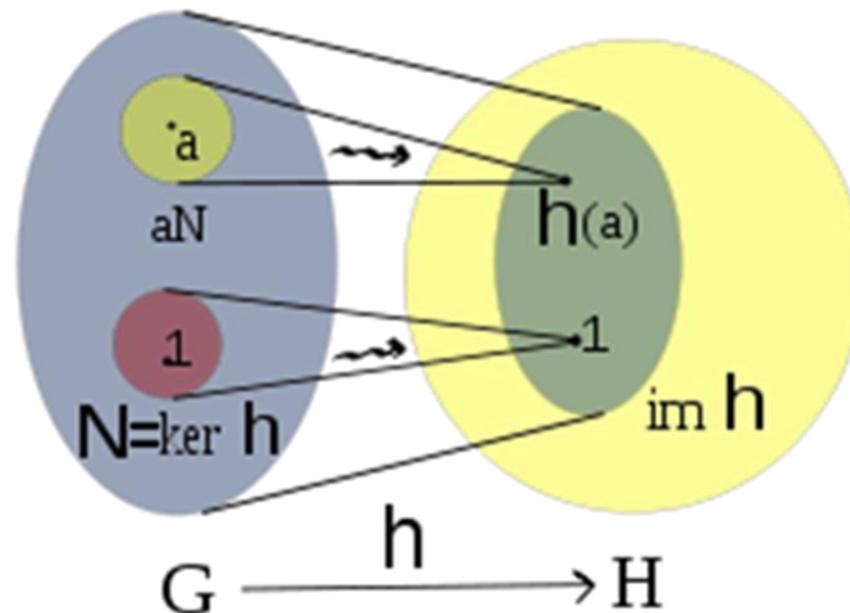
- если «**целое**» состоит из конечного количества составляющих, то .....существуют ли эти составляющие «сами по себе» ?
- Какие новые качества приобретает «целое» по отношению к своим «частям» ?
- **Есть ли у «целого» вычислимый признак или дискриптор ?**

Например, в организме есть «составляющие»: самый нижний -**гуморальный**, реализуемый с помощью молекул. Второй - контакты между клетками — (лейкоциты макрофаги и пр.) Третий уровень — нервная система (вегетативная и ЦНС).

**На каком из уровней из отдельных клеток образуется «целое» или живой организм ?**

# Гомоморфизм ( Homomorphism)

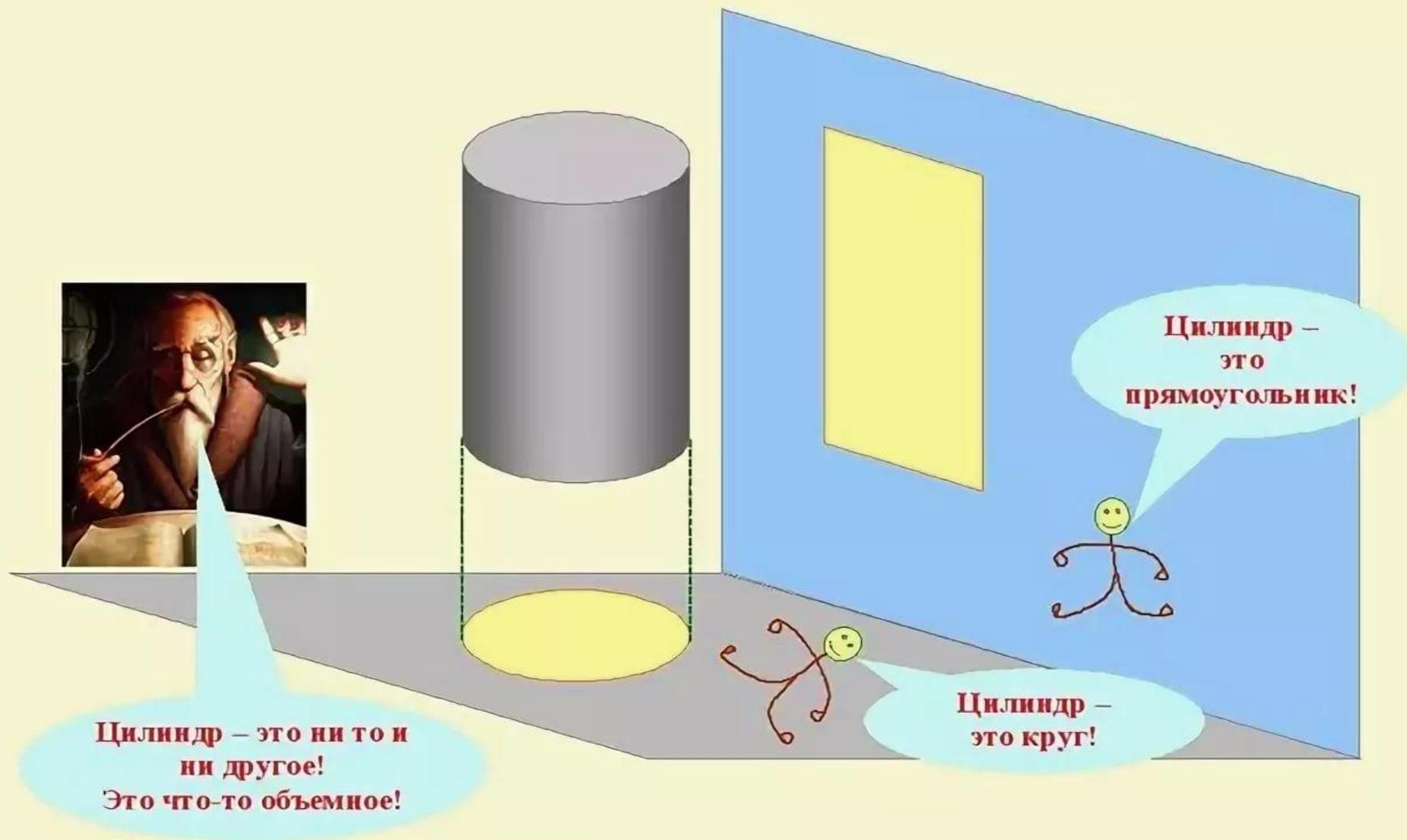
Основа компьютерного моделирования: отображение **алгебраической системы A**, сохраняющее основные операции и основные отношения.



Алгебраическая система: непустое множество  $G$  (носитель) с заданным на нём набором **операций** и **отношений** (сигнатурой). Алгебраическая система с пустым множеством **отношений** называется алгеброй...

# Сигнатура (отношения)

- Отноше́ние — математическая структура, которая формально определяет свойства различных объектов и их взаимосвязи. Распространёнными примерами отношений в математике являются равенство ( $=$ ), делимость, подобие, параллельность
- Отношения обычно классифицируются по количеству связываемых объектов (арность) и собственным свойствам, таким как симметричность, транзитивность, рефлексивность.

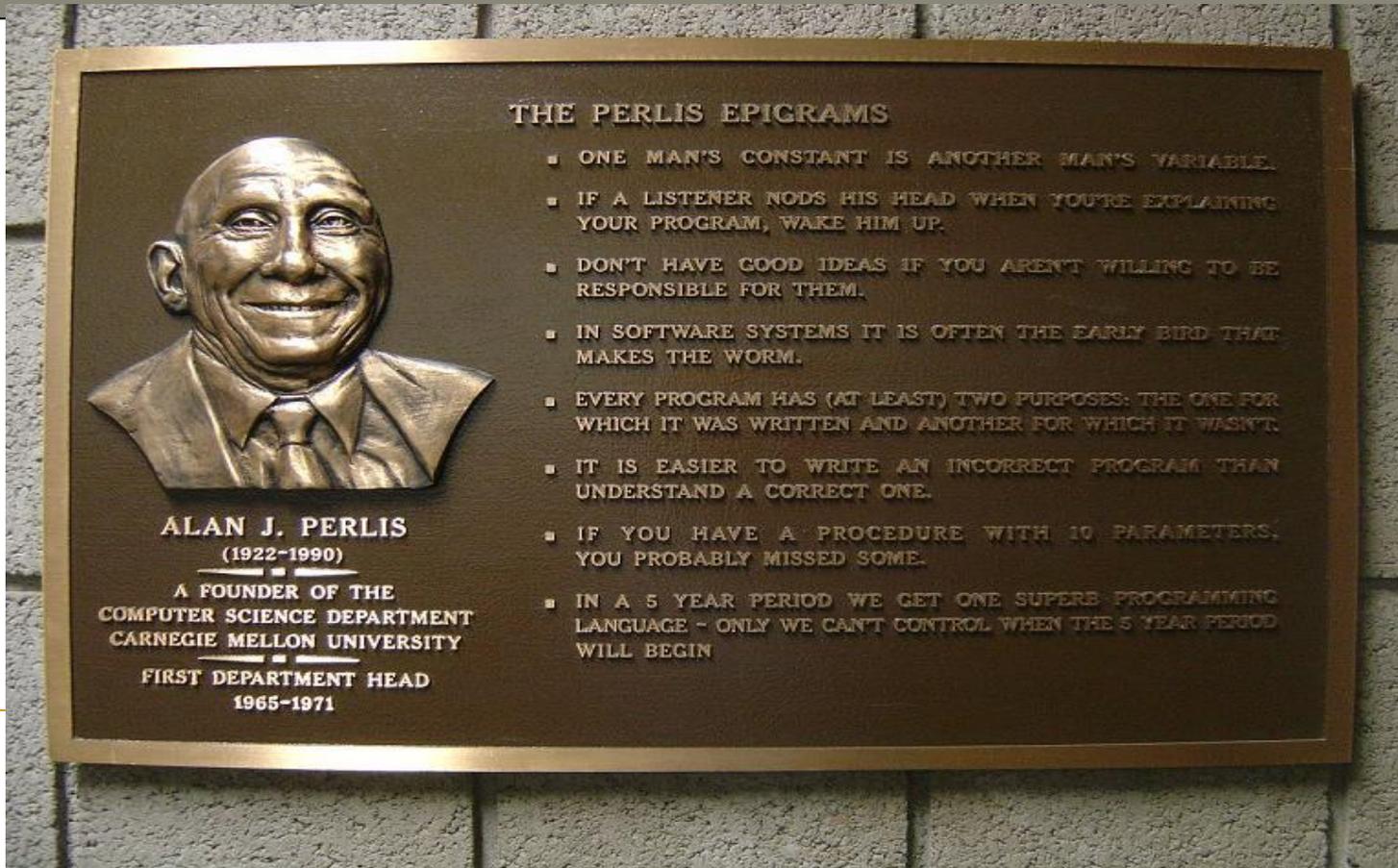


# Модель как конечная интерпретация

Модель – это поиск **конечного** в **бесконечном**  
**Д. И. Менделеев**

Наблюдая за шахматной партией можно изучить  
правила (отношения фигур), но понять **смысл** игры  
невозможно.  
**В. Смыслов**

# А. Перлис о том, что можно ожидать от компьютерных наук ( первый лауреат премии А. Тьюринга)



У каждой программы два **назначения**: что она **должна** делать и чего **не должна**.

Как и каламбур, **программирование** — это игра слов.

**Простота** не предшествует сложности, а **вытекает** из нее.

Строка — это застывшая структура **данных** - средство для **сокрытия информации**

# Проблема конечности текстового описания и бесконечного разнообразия интерпретаций

- Г. Кантор - бесконечное множество обладает свойством быть количественно ( по «мощности») **эквивалентной одной из своих частей**, а конечное множество может быть определено лишь посредством того факта, что оно не обладает частью, равномошной **целому**.
- Именно **бесконечное** является первичным и конструктивным понятием, так что **конечное может быть понято** лишь посредством **отрицания** бесконечного.

# Онтологии – структуры, описывающие знания

Онтология – это спецификация концептуализации»

Томас Роберт Грубер,

«Логика» компьютерных наук:

- «существует» то, что можно представить с помощью вычислений (what "exists" is that which can be represented).
- Если «объект» или «процесс» **существует**, то он «имеет» имя, представленное в «толковом» (human-readable text ) словаре, объясняющим толкование и значение понятия, которое обозначено этим именем (reflected in the representational vocabulary)
- Взаимодействие объектов может быть **феноменом** или может быть основано на **знаниях**. В последнем случае взаимодействие сводится к использованию «общего» словаря, с помощью которого **согласованным и последовательным** образом формируются ответы на запросы с помощью слов, входящих в общий «толковый» словарь.

# Формальное представление знаний базируется на концептуализации,

Концептуализация – это абстрактное, **упрощенное** для каких-то целей, описание «мира» .

Суть концептуализации: «расчленение» какой-либо области знаний на отдельные **объекты-понятия (фактор-множества)**, а также задание отношений (сигнатур), свойственных объектам в данной области.

Две трактовки «упрощения»:

- (экстенсиональная) каждое понятие и отношение исчерпывающе описываются перечислением **индивидуальных сущностей**
- (интенсиональная) каждое понятие описывается заданным **ТИПОМ ОТНОШЕНИЙ**

- **Математика** описывает только абстрактные (метафорические) объекты, которые интерпретируются сознанием человека в контексте условий применения.
- Так как законы природы, которые непосредственно выражаются **математическими формулами**, применимы не к самим объектам реальности, а к их «идеальным» моделям, то приоритетной задачей **«когнитивной» теории** является поиск путей переноса «идеальных» моделей на электронное исполнительное устройство (компьютер).
- «Дуал» динамическая структура, которая обладает **способностью к «обучению» и объяснению** своего «поведения».

# Когнитивная модель физического и информационного планов

Дуальная когнитивная «модели мира» имеет структуру виртуального гиперграфа, ребра которого соединяют узлы, которые образуют

- замкнутые описания **физического плана** или модели объектов/процессов, в которых стрела времени направлена из прошлого и будущее, указывая на термодинамическую необратимость процессов физической реальности;
- открытые описания **информационного (ментального) плана** или модели в которых «стрела времени» необратима за счет феномена «памяти», поэтому **«прошлое» ментально достижимо, но действует принцип субъективности знаний субъекта.**

Фундаментальный вопрос теории сознания: если прошлое физическое не достижимо, то достижимо ли оно **«информационно»** ?

# Физический vs Ментальный гештальт (целостный объект)

- Не всякое **движение** порождает физическую реальность. Так совокупность **кадров «кино-реальности»** не порождает физических явлений, потому, что «энергетически» такое движение не замкнуто, Однако.... «кино» оказывает информационное воздействие на тех, кто эту информацию способен воспринимать и затем «перевести» в физическое действие.
- Итак, изменение физической реальности возможно как в следствии «физических сил или **причин**», так и путем передачи чисел - **информации**. В последнем случае **необходим субъект, способный воспринимать информацию**. Такой субъект должен быть наделен не только не только физической или «инерционной» памятью (сохранять направление движения как проявление свойств инерции), но и способностью не к «инерционному», а к целенаправленному «движению» на основе обработки чисел-информации, хранящейся в форме кода или мема «оперативной памяти».

# Физика вычислительных процессов: все ли можно измерить и вычислить

«Истина всегда рождается как ересь, а умирает как предрассудок»  
(Гегель).

Вопросы физика:

Можно ли то, **чего нет** физически, представить с помощью «модели» ?!

**Да** , например, числа

Если процессы обладают **нулевой энергией** то можно ли их **измерить** ?!

( «нуль» – это, либо нечто, либо разность двух одинаковых количеств )

Согласно современным представлениям физики - виртуальные частицы с нулевой энергией наблюдать нельзя. Но они могут оказывать действие на внесённые в физический вакуум реальные объекты. Это воздействие нефизическое, а информационное .

# Виртуальные объекты и подходы к их координатизации

Все числа состоят из некоторого количества единиц»

Диафант

Под числом мы понимаем не столько множество единиц, сколько **отвлеченное отношение** какой-нибудь величины к другой величине того же рода, принятой **нами за единицу**.

И. Ньютон

Идея координатизации - «**цифрового представления знаний о мире**» основана на отношении гомоморфизма между объектами **состоявшейся реальности** и «**числоподобных**» объектов - носителей операций и отношений свойств физических объектов или процессов.

- «Координаты» объектов – это суть числа, которые должны обладать свойствами общего характера, вытекающими из принципов:
  - Индивидуализации
  - Абстракции ( обобщения)
  - Порождающих операций ( сложение, умножение, ...)

# Ментальная реальность # «вычисленное» понимание

**Все есть число**

Пифагор  
(2000 лет назад)

**Истина в неполноте**

Гедель  
(100 лет назад)

**It from bit**

Арчибальд Уильер  
(50 лет назад)

Любые вычисления суть физический процесс над носителями информации.

**Вопрос:** можно ли «вычислить» чем физический процесс, связанный с вычислениями, отличается от такового, не связанного с вычислениями. Являются ли вычисления, как и цвет, не физическим, а антропоцентричным понятием ?

# Заключение

Путь от физического феномена к «пониманию» и знаниям лежит через процессы восприятия (получения информации) и вычислений (координатизации – сопоставления понятию – численного значения). При этом число рассматривается:

- как точная информационная характеристика
- как способ отражения экстенциональных свойств («параметр» объекта)
- как код записи интенциональных свойств («смысл» описания)

Любая компьютерная арифметика на регистровом уровне – физический процесс над классами целых чисел (модулярная арифметика).

Вычисления можно рассматривать как преобразование информации в соответствии с моделью (т.е. описанием) процесса. Понимание – это модель реальности, оно субъективно и объективизируется алгоритмом.

*"Информация есть информация, а не материя и не энергия.*

*Н. Винер*

# Тема доклада

- Онтологии в компьютерных науках
- Парадокс Банаха — Тарского (парадокс удвоения 3D шара и парадоксом Хаусдорфа — Банаха — Тарского)