



КАФЕДРА
ТЕЛЕМАТИКА

Санкт-Петербургский
Государственный
Политехнический
Университет

Институт прикладной
математики и механики

Введение в профессиональную деятельность

Лекция 5

**Компьютерные науки и физика
реальности**

10 Марта 2020 г.

Что было на прошлой лекции :

- **«В начале был закон»** - принцип синтеза систем. Для этого надо создать язык описания норм и законов взаимодействия частей системы, например, людей и интеллектуальных агентов-роботов, чтобы автоматически **«вычислять»** действия и операции, отвечающие принятым нормам, с помощью **рекурсивных функций** $X_{k+1}=f(X_k)$
- На основе законов модельных логик можно автоматически транслировать нормы **поведения групп** интеллектуальных агентов и людей непосредственно в операционные планы действий.
- Надо оценить возможности экзо-интеллектуальных систем, через возможность решения **«обратных задач»** в режиме **just in time**, т.е. вычисления алгоритмов действий на основе имеющихся на основе текущего контекста обработки данных и формально описанных «норм и законов» поведения.

Домашнее задание: Семантика и «миры» Крипке

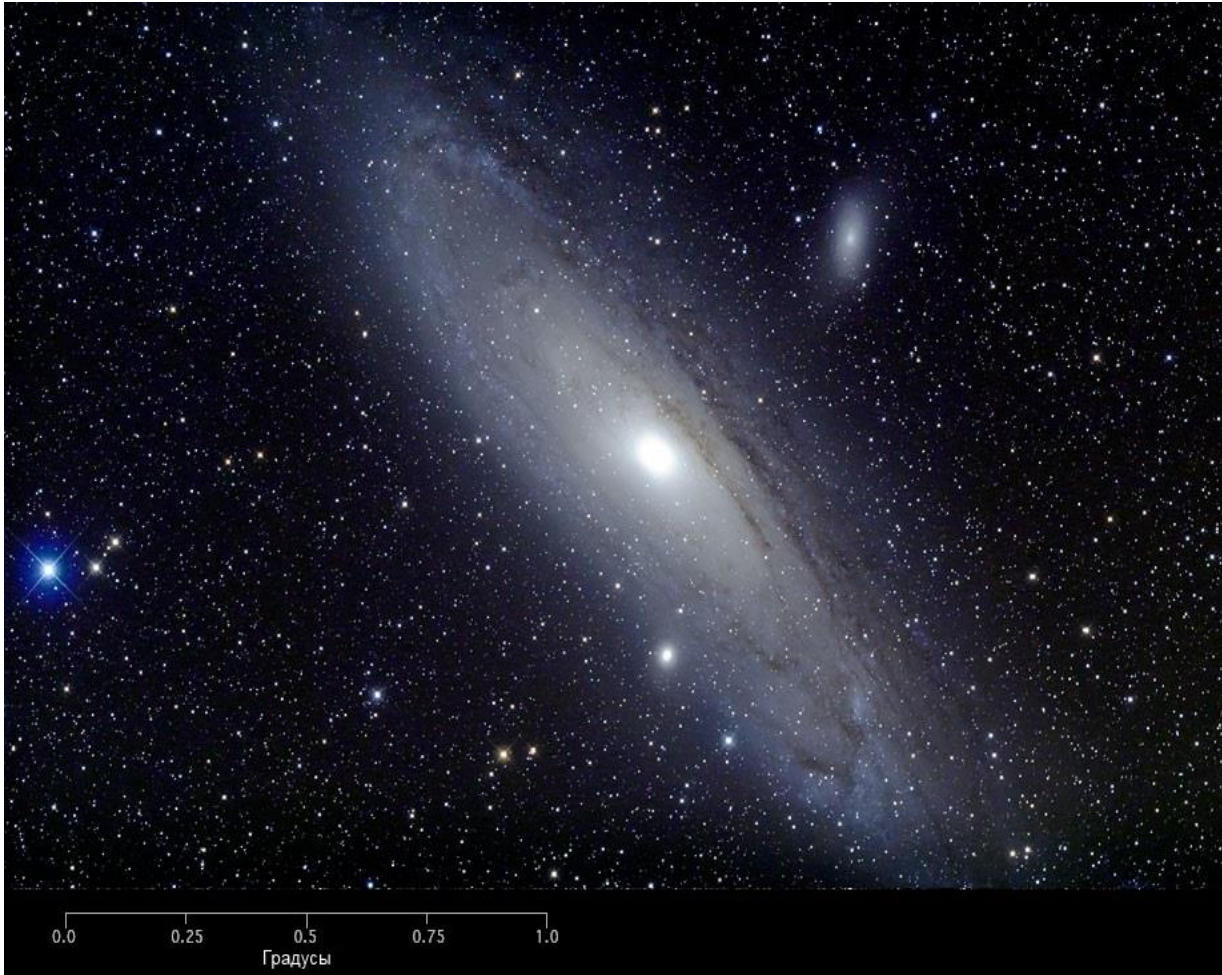
- Семантика Крипке соответствует интуитивному пониманию смысла утверждений нормативной логики

- $[]q$: “обязательно выполнение a ” Oq – obligation q
- $\diamond q$: “разрешено выполнение a ” Pq – permission q

“Миры” Крипке можно понимать как возможные альтернативные варианты реализации интеллектуальной системы, в которой реализуются «принятые нормы и законы» поведения интеллектуальных агентов.

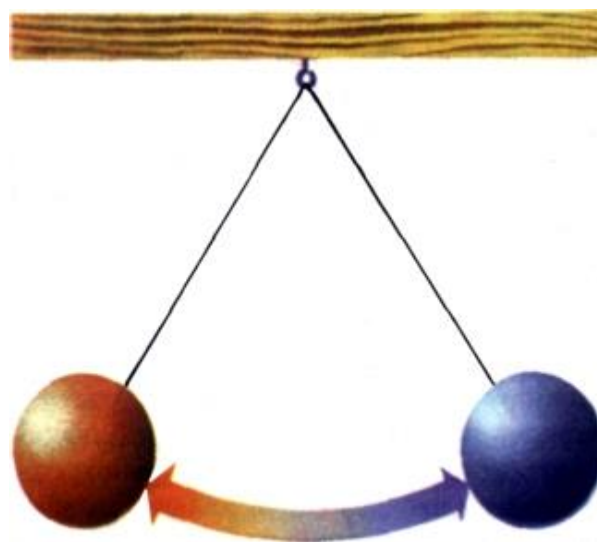
*Семантика Крипке: для действия q его выполнение обязательно (Oq) в мире w , iff утверждение о выполнении q присутствует во всех **альтернативах мира w .***

Альтернативные «Миры Крипке» физической реальности: они проявляются по разному на различных для масштабов

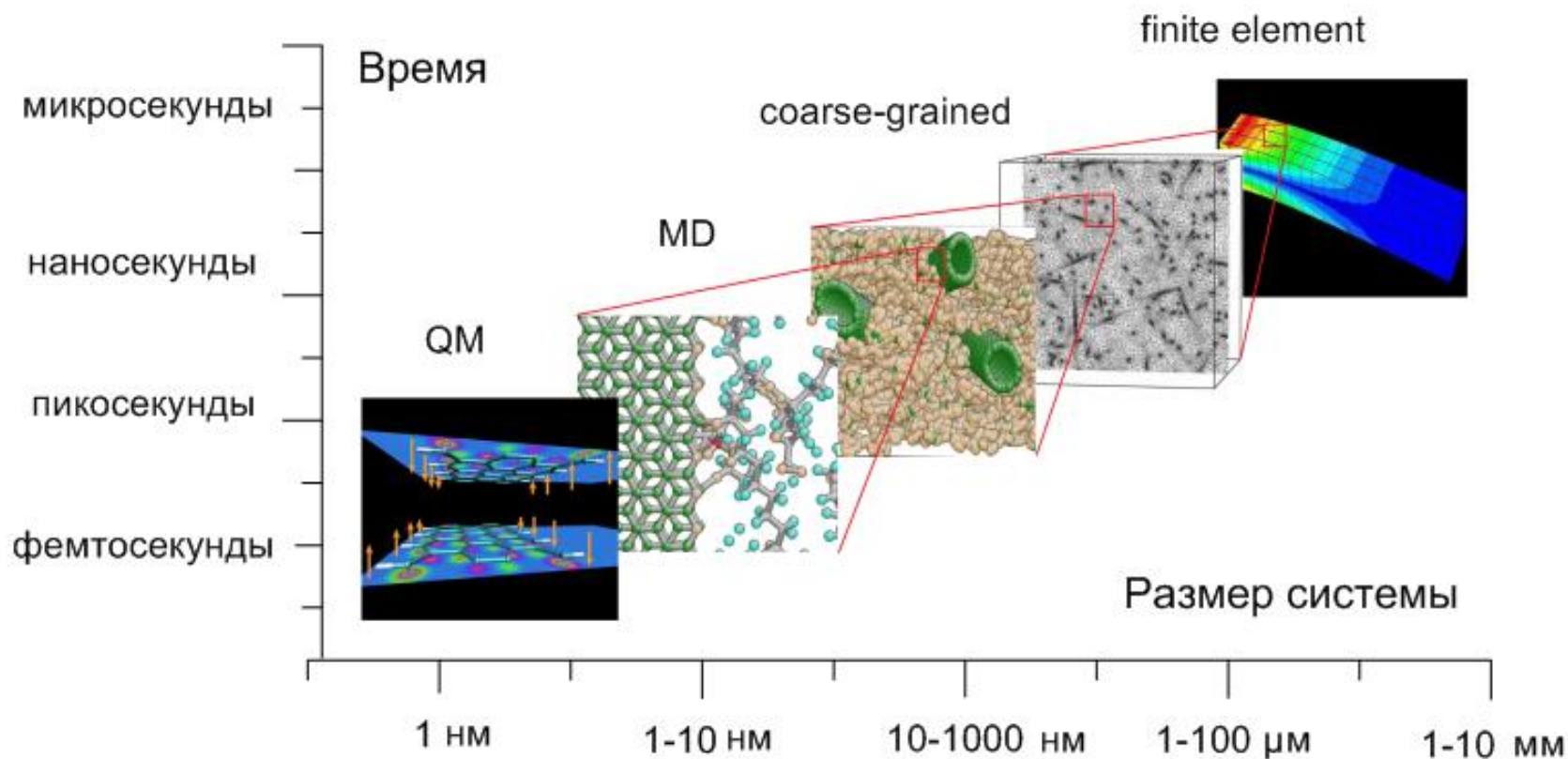


Современная математика имеет дело с тем, что «однородно и делимо». Можно ил в «пространстве компьютерных чисел» описать сложные неоднородные неделимые сущности и объекты.

«Простые» физические объекты – одномасштабны



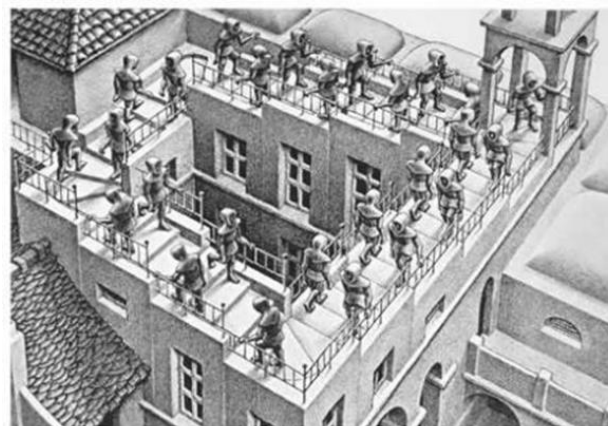
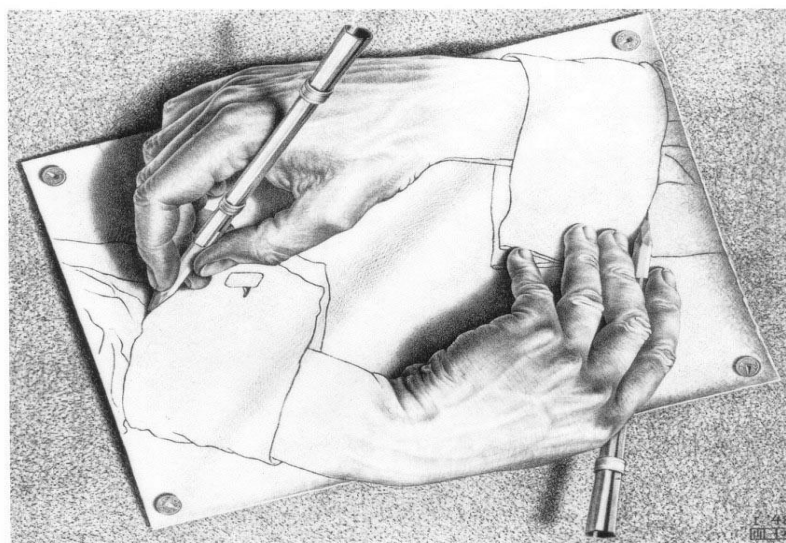
Отношение «время протекания процессов – масштаб системы»



Реальность сложна: от концепции «простой» физики $E=m*c^2$ к концепции информации «It from Bit»

1. Все объекты реальности являются носителями различных «информационных» свойств, некоторые из этих свойств выражаются через число, но точность чисел конечна (**финитна**).
2. Любой физический процесс, приводящий к изменению объекта, изменяет и его информационные свойства. Поэтому любые изменения можно рассматривать как **вычисление** и на оборот – *computo ergo sum*
3. Итак, передать информацию **между** различными уровнями описания физической системы (мирами Крипке) можно с помощью вычислений. Проблема вычислений в сложности и точности получаемого результата.

петля
Хофштадтера:



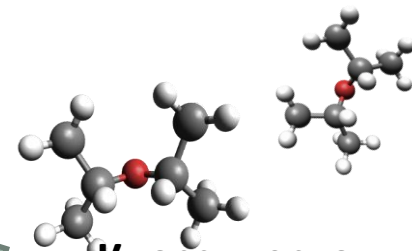
Дуглас Хофштадтер: **мы** — это наш мозг. Может ли **МОЗГ** быть сделан **из кремния** ?

Компьютерная (цифровая) «Призма» Науки 2.0

За последние 10 лет компьютеры более чем в 1000 раз повысили свою производительность. Все потенциально возможные состояния «окружающего нас мира» образуют в сознании человека «информационные» суперпозиции. Через вычисления они могут материализоваться ?!



Реальный мир – это что ?



Классическая наука :
Энергия, материя,
пространство



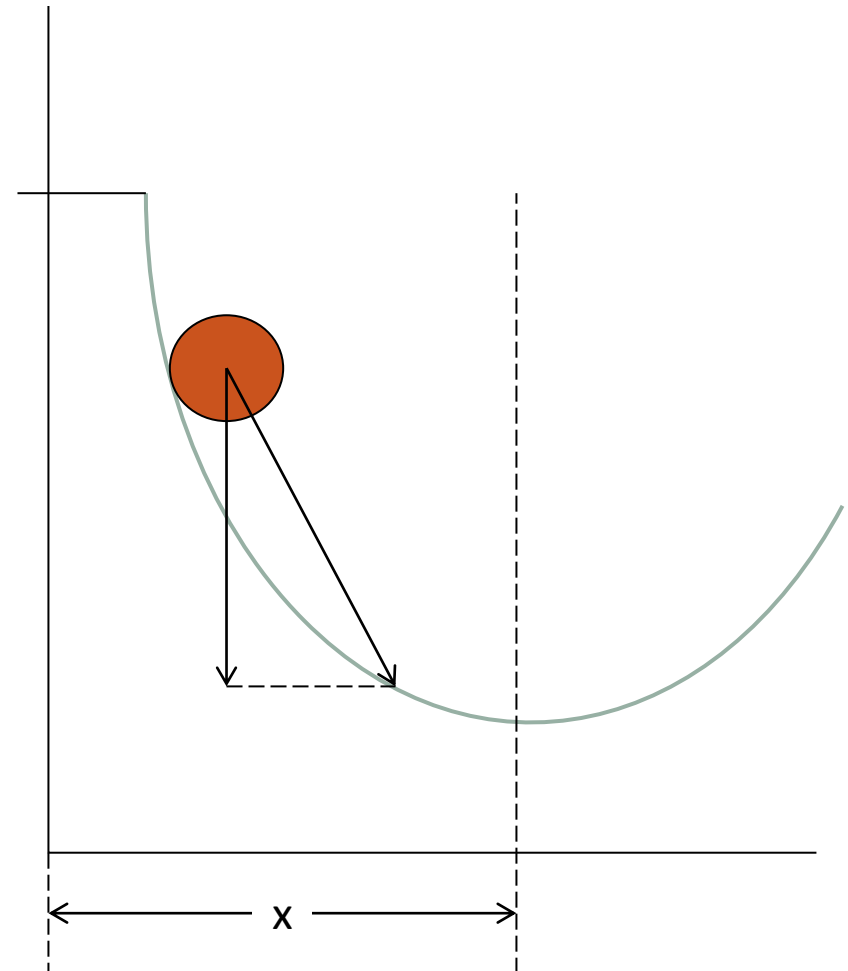
Компьютерные науки :
информационный «**пепел**» реальности

Классическая физико-механическая «теория мира» не содержит информацию

Онтологические сущности физическо-механической реальности - **силы**, которые порождают движение пространственно-временных структур.

Следствия:

- Все **свойства системы** могут быть получены как арифметическая «**сумма**» свойств составляющих ее **компонент** (с учетом их размерности)
- Все возможные изменения структур и процессов подчиняются законам, сформулированным по отношению к «**идеальным объектам**»
- «Наблюдатель» происходящих процессов находится вне наблюдаемой системы. О системе он получает только **информацию**, которая не входит в понятие физики.



Гипотеза, следующая из концепции it from bit: возможно то, что МОЖНО ВЫЧИСЛИТЬ

- Принцип «**познание через моделирование-вычисление**». Познание традиционно осуществляется посредством моделирования свойств **реальности** в **сознании (мозгу)** субъекта.
- В 20 веке компонентом познания стало **компьютерное моделирование** – носителями свойств стали **«компьютерные» модели** объектов реальности. Не ясно являются ли «познание» - цифровым двойником реальности.
- Компьютерное моделирование породило т.н. виртуальную реальность - **«цифровую тень» потенциально состоявшейся реальности**, которая воспринимается и мозгом человека и компьютерными системами.

Можно ли вычислить Вселенную как материальный объект ?



От Cogito, ergo sum (лат. — «Мыслю, следовательно, существую»)



Финитность «виртуальной реальности»: возможное vs состоявшееся



Моделью «возможного и состоявшегося» является река, вода в которой ускоряет свой бег на пути к водопаду. Существует граница, которая **разделяет ламинарный и турбулентный потоки**.

В макромире роль водопада играет, например, **«черная дыра»**. То место и тот момент, где/когда скорость потока вещества превышает скорость распространения гравитационных волн, называется **горизонтом событий**.

На основе т. Геделя: Можно ли построить компьютерную модель того, что происходит за этим горизонтом ?

Что есть дискретное, квантовое и непрерывное

Для пространственных координат и его импульса (произведение массы на скорость) действует соотношение неопределенности:

$$\Delta X \Delta P \geq \frac{\hbar}{2}$$



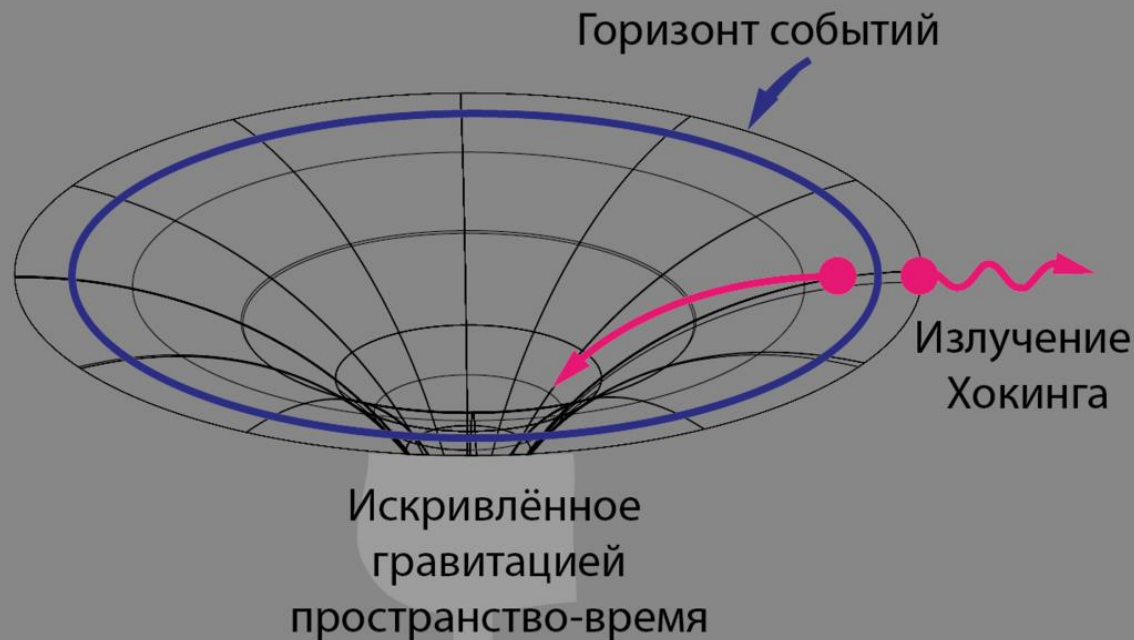
Постоянная Планка указывает нижний точности **знания** физических величин, после которого для описания физических процессов надо учитывать из «дискретность» или квантовые свойства, где $\hbar = h / 2\pi = (1,0545887 \pm 0,000007) * 10^{-27} \text{эрг} * \text{с}$

Судя по всему, на фундаментальном уровне материя (вещество и поле) «дискретны»:



... а «все что мы знаем о реальности «сделано» из составляющих, которые не могут считаться реальными» (Н. Бор)

Суть «принципа неопределенности»: все ли материя поглощается в «черной дыре» ?



Да, пока не учитываются «квантовые эффекты». В соответствии с принципом неопределенности «черные дыры» должны порождать излучение (излучение Хокинга) – происходит туннелирование через гравитационные барьеры.

Системные свойства, которых нет в описание фундаментальных взаимодействий : эмерджентность и ингерентность

Эмерджентность - феномен, который наделяет систему свойствами, которые не присущи ни одной из ее составных частей

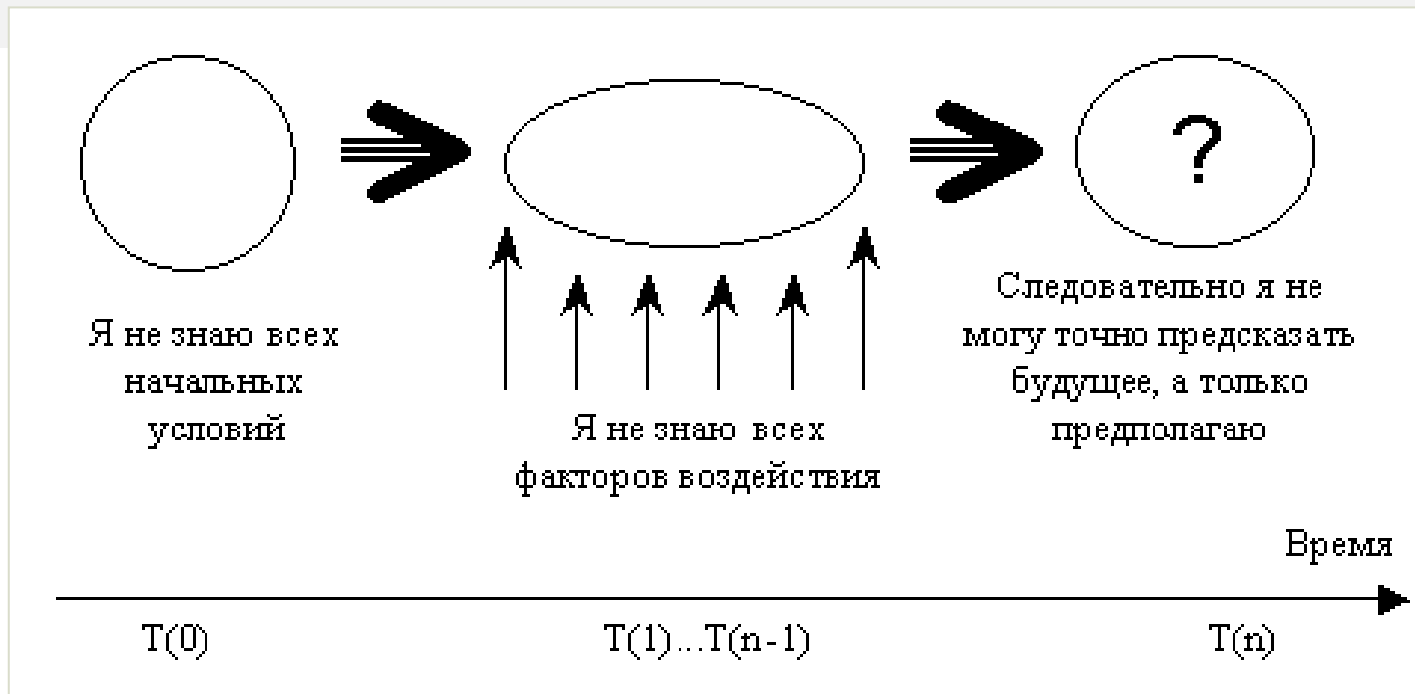
Ингерентность - способность системы выполнять заданную функцию в определенной окружающей среде (от англ. inherent -являющийся неотъемлемой частью чего-то.

Информационно-вычислительная «теория мира»

- Онтологические сущности И-В реальности: **вычисления**, которые порождают изменения информации (структуры) материи
- Системы наделяются эмерджентными свойствами, которые НЕ могут быть получены исключительно из свойств составляющих систему компонент
- Изменения материальных структур подчиняются законам «открытых систем», ингерентность которых есть следствие самоорганизации и адаптации.
- «Наблюдатель» процессов есть составная часть наблюдаемой системы



Две причины, приводящие к несоответствию реальных законов движения законам классической и квантовой динамики. Это внешний шум и погрешность начальных условий. Эти факторы приводят к разрешению парадоксов в квантовой механике и классической статистической физике.



Потенциальная возможность : классическая или квантовая

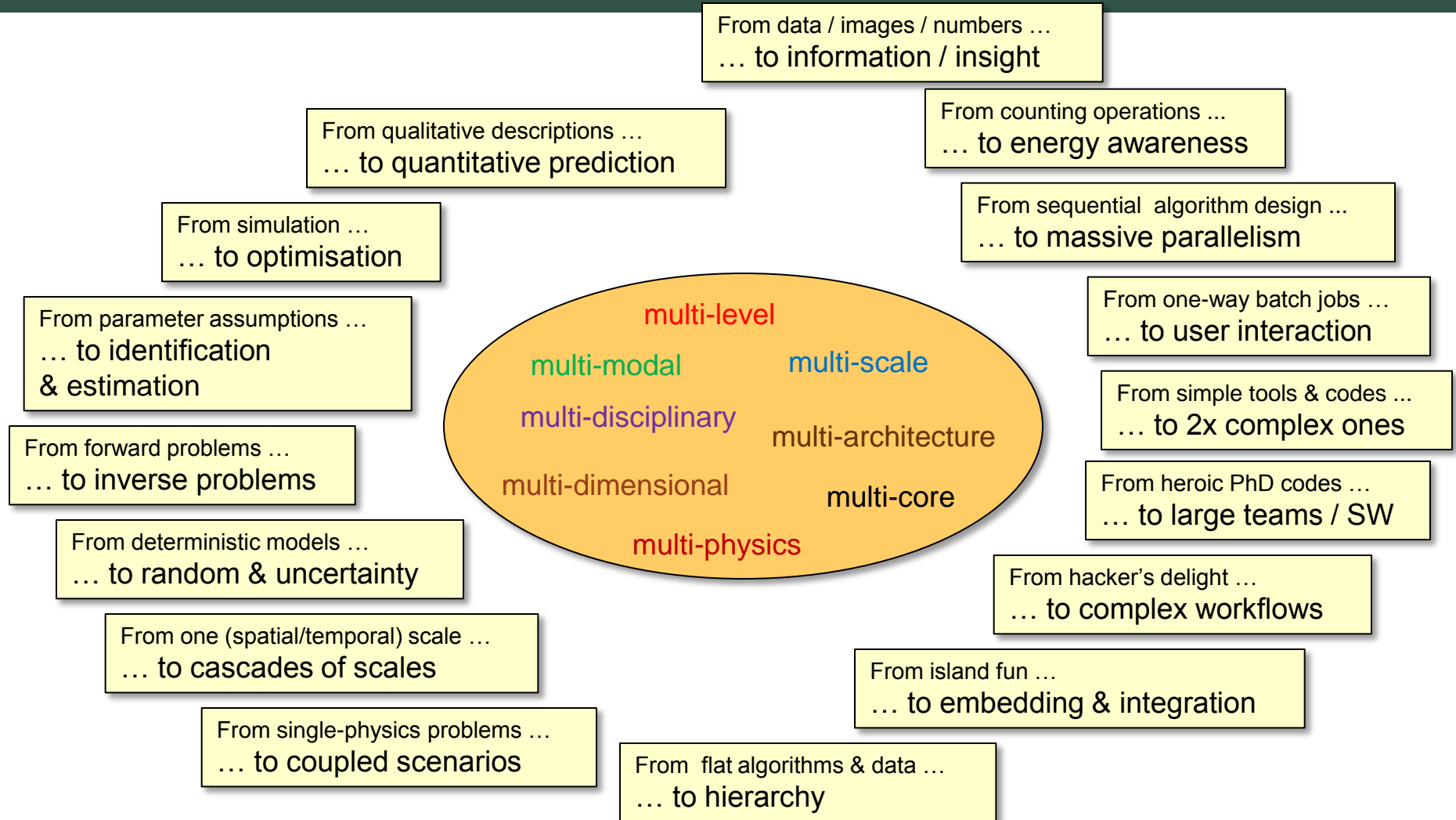
Классические (неквантовые) представления о возможном исходе исходят из того, что случайность является «ненастоящей» (субъективной).



На самом деле объект в любой момент времени обладает определенными значением параметра и до и после измерения, только до измерения это значение «скрыто от нас», а измерение просто проявляет то, что было ранее скрыто (кубик имел определенное «состояние» и до того как его вынули из урны). Хотя в урне кубики существуют «сепарабельно», но некоторые их свойства «спутаны», например, суммарное число граней или средний «выигрыш».

Спутанность проявляется не в физическом (функциональном гильбертовом), а в вероятностном или информационном пространстве.

...от механической простоты к “Multi” сложности Науки 2.0



Основная проблема компьютерных наук – вычислительная сложность алгоритмов вычислений

Суть проблемы – определить сколько времени (i.e., число базовых операций) требуется для решения «вычислительной» задачи ?

Пример: сложность решения задача «коммивояжера» - который должен посетить n городов.

Формальное точное решение требует $n!$ Операций

Нужно ли нам на практике «точное решение» ?

Если $n=49$, то число операций $>$ числа атомов во Вселенной.

Варианты сложности:

- 1) Полиномиальное «время» (от размерности) $\rightarrow n^3, n^7, \dots$
- 2) Экспоненциальное «время» $\rightarrow 2^n, n! \dots$

Сопутствующие проблемы

- **Редукция** - выявление условий, при выполнении которых появляется возможность использовать для решения полиномиальные алгоритмы
- **Эффективность** - сокращение объема используемой памяти, параллельность процессов вычислений,.....
- **Аппроксимация** - поиск приближенного ответа, который оптимален “most of the time and cases”,
- **Рандомизация** - разработка вероятностных алгоритмов поиска решений, протоколов, моделей или оценок.

Классы «сложности» задач

- Класс P - сложно решить, легко проверить (быть творческим)
- Класс NP - легко решить, сложно проверить (оценить творчество)

Если удастся доказать, что « $P = NP$ », то это будет эквивалентно тому, что всегда можно найти «удовлетворительное» решение за полиномиальное время

Задача поиска «удовлетворительного» решения

Дано: множество «ограничений»

Требуется: вычислить n -bit слово - «решение», которое удовлетворяет всем этим ограничениям

«Решение», должно быть таким, чтобы его можно было легко проверить на «удовлетворение заданным ограничениям»

“Пример задачи: «поиск иголки в стогу сена»



Поиск «удовлетворительного» решения - задача Boolean Satisfiability

Формализация задачи:

$$(A + B + C) \cdot (\bar{D} + F + G) \cdot (\bar{A} + G + K) \cdot (\bar{B} + P + Z) \cdot (C + \bar{U} + \bar{X})$$

Вопросы:

- Имеется ли алгоритм поиска «satisfying assignment»?
 - Что делать, если переменных будет не 3, а 100 или 1000?
 - Сколько «времени» надо затратить, чтобы найти «удовлетворительное назначение» - «satisfying assignment», т.н. удовлетворительное назначение?

Если все таки $P = NP$, то

- Доказательство любых математических теорем может быть найдено за полиномиальное время
- Любые последовательности (кодовые образцы) в множестве экспериментальных данных могут быть найдены за полиномиальное время от длины рассматриваемой последовательности данных
- Проблем Искусственного Интеллекта будут иметь полиномиально- эффективные алгоритмы.

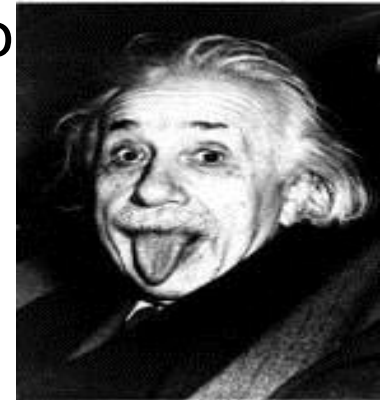
Вычисления в «теории «обучения машин»»

Что такое с точки зрения вычислений – процесс «обучение» машин – передача знаний для решения задач в «различных» условиях

Может ли робот



«обучится» до



С чем связать процесс обучения - с навыками выполнения отдельных операций, следование алгоритму или практическим опытом ?

Важные утверждения о сложности как мере физической целесообразности

(A. Yao) Computational complexity of physical theories (e.g., general relativity)?

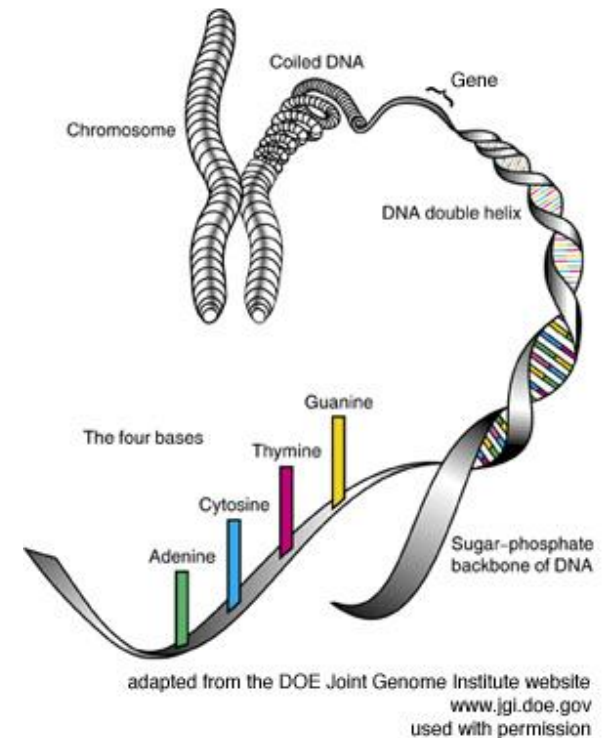
(Denek and Douglas): Computational complexity as a possible way to choose between various solutions (“landscapes”) in physical theory.

Пример: Вычислительная сложность физических проблем

Goal: расшифровка генома (long sequence of A,C,T,G)

Method:

- Extract many random fragments of selected sizes (2, 10, 50 150kb)
- For each fragment, read first and last 500-1000 nucleotides (*paired reads*)
- Computationally assemble genome from paired reads.



Новое понятие “Algorithm driven science”

Аксиомы “Algorithm driven science”

Предположение 1:

если вероятность обнаружить частицу в состоянии $|k\rangle$ равна 1, то частица *действительно* находится в состоянии $|k\rangle$.

Предположение 2:

любое унитарное преобразование можно «воплотить» в виде физического устройства.

Предположение 3 (об отсутствии скрытых параметров):

если система находится в чистом состоянии, то вся информация о вероятностях результатов измерений содержится в векторе состояния.

Предположение 4:

невозможно передать информацию от одной системы к другой без физического взаимодействия или ... вычисления

Количественное описание явлений природы опирается на метафору античной математики – «все есть число» (Пифагор).

- Физические модели «существующего», базируется на детерминированной, обратимой и измеримой зависимости между причиной и следствием (Принцип достаточного основания)

В науке рассматривается также:

- описание, восходящее к термодинамике («тепловая смерть» Вселенной) и физике возникающего (И. Пригожин) или «движения» к порядку отдельной макроструктуры, за счет возрастания энтропии внешней среды (диссипативное становление)
- физика управляемого обратной связью - кибернетика (Н. Винер) – в которой цель есть причина «движения», а передача информации - снова управления (It from Bit)