



Санкт-Петербургский  
Государственный  
Политехнический  
Университет

Институт прикладной  
математики и механики

**Введение в профессиональную деятельность**

Лекция 3

**Тема: Информация или  
ПОТЕНЦИАЛЬНО ВОЗМОЖНОЕ**

---

20 февраля 2018 г.

# О чем шла речь на прошлой лекции (1)

Логической основой современной науки является Закон «исключенного третьего» :

$$A \vee \bar{A} = 1$$

Современная наука упрощает реальность, изучая «целое» по отдельным частям. Суть закона: Объект обладает либо свойство А, либо свойство «не А». Других знаний наука о «простых вещах» не предоставляет.

В этой формуле «1» это цифровой код «всезнания», но применительно к «замкнутым» объектам реальности.

# Информация мера «различимости» состояний (2)

Согласно принципу неопределенности Гейзенберга

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq h, \text{ где}$$

$\Delta E$  — точность определения энергии;  $\Delta t$  — длительность интервала наблюдения,  $h = 6,25 \cdot 10^{-27}$  эрг/с — постоянная Планка.

Из этого следует, что число потенциально различимых энергетических состояний:  $N = E/\Delta E = N \geq E \cdot \Delta t/h = mc^2 \cdot \Delta t/h$ ,

то есть «вычислитель» состояния объекта массой 1 г за время 1 сек может обработать  $N = 1,36 \cdot 10^{47}$  бит данных.

В любой системе, независимо от ее физической природы, **при потере 1 бита информации** выделяется теплота в количестве :

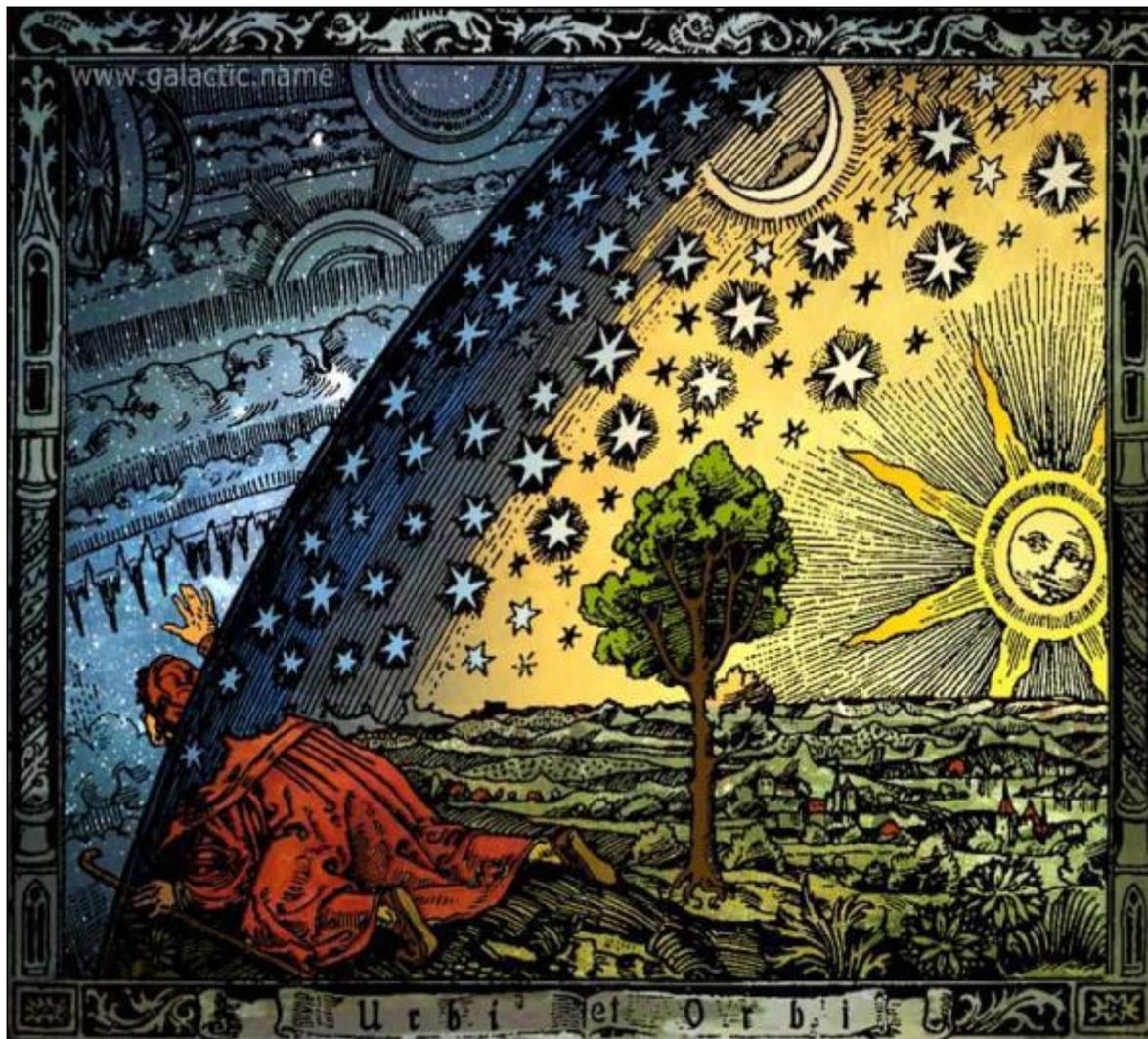
$$W = k_B T \ln 2$$

где  $k_B$  — константа Больцмана,  $T$  — абсолютная температура вычислительной системы.

## Выводы из прошлой лекции

- Мир – **сложная открытая система**. Математика – количественная метафора такой системы. Феномен информации – феномен возможного, но еще не состоявшегося, связан с натуральными **вычислениями** и компьютерным моделированием
- Феномен **сложности** проявляется в форме суперпозиции «потенциально несовместных состояний». В квантовой физике этот феномен связывают с **принципом дополнительности** Дирака. *(Согласно этому принципу, для полного описания квантовомеханических явлений необходимо применять два **взаимоисключающих** («дополнительных») **набора понятий**, совокупность которых даёт исчерпывающую информацию об этих явлениях как о целостных)*
- В макромире носителем «дополнительности» выступает сознание человека, которое за счет когнитивных (информационных) свойств может осуществлять **преобразование «возможное – состоявшееся»**.

# На этой лекции обсуждаем «Потенциально возможное»



И ищем ответ на вопрос:

Существуют ли математические операции, которые позволят построить «количественные» модели «потенциально возможного»?

Что такое «математика больших данных»?

гравюра Фламариона

# Границы физической реальности



привычное представление о наличии одного и только одного исхода у любого эксперимента — в корне неверно, т.е. закон исключенного третьего не является универсальной основой научного понимания мира

$$A \vee \bar{A} = 1$$

## Потенциально возможно то, что можно вычислить

- **Принцип «познание через *моделирование*».** Познание традиционно осуществляется посредством моделирования свойств реальности в сознании субъекта, то есть выполнения операций и анализа их последствий не с самими объектами реальности, а с символами-понятиями или носителями «познанных» свойств объектов.
- **В 20 веке** неотъемлемым компонентом познания стало **компьютерное моделирование** - описание объектов реальности с помощью программ количественной характеристики потенциально возможных свойств объектов и систем. Компьютерное моделирование породило т.н. виртуальную реальность – «цифровую тень» физической реальности.

# Как может выглядеть «потенциально возможное»



# Горизонт событий - что разделяет «возможное» и «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 макром мире роль водопада играет, например, «черная дыра». То место и тот момент, где/когда скорость потока вещества превышает скорость распространения гравитационных волн, называется **горизонтом событий**. Можно ли построить компьютерную модель того, что происходит за этим горизонтом ?

# Системные свойства: эмерджентность и ингерентность

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

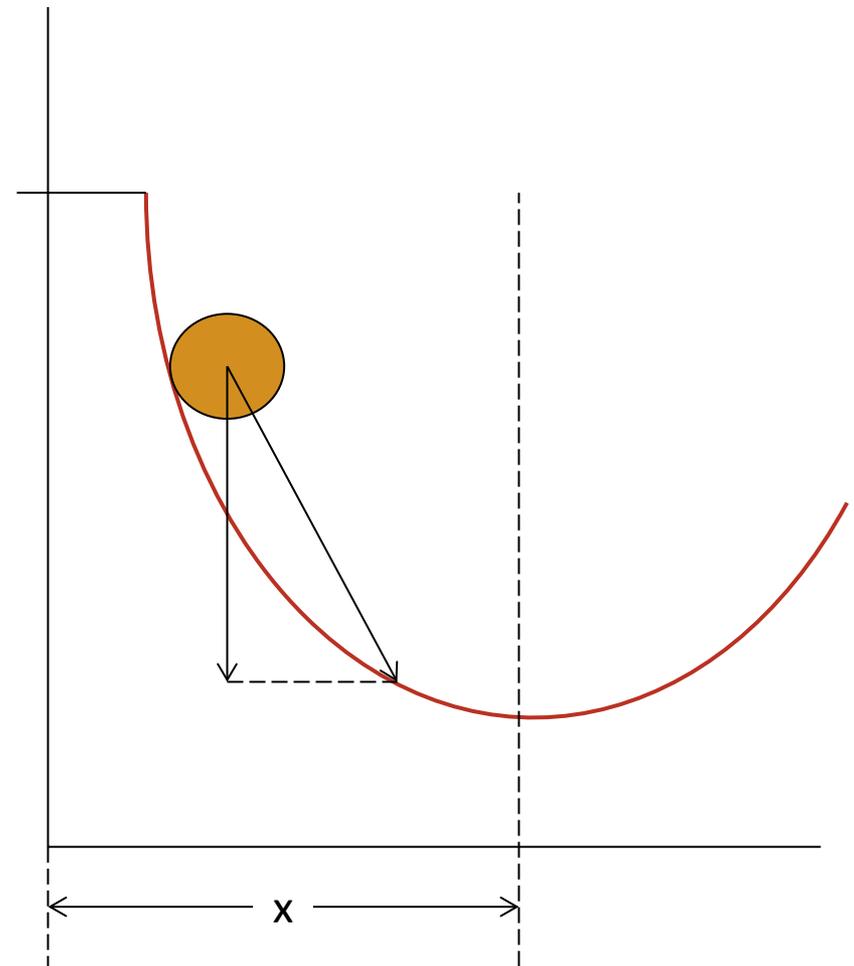
**Ингерентность** - способность системы выполнять заданную функцию в определенной окружающей среде (от англ. inherent -являющийся неотъемлемой частью чего-то).

# Физико-механическая «теория мира»

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



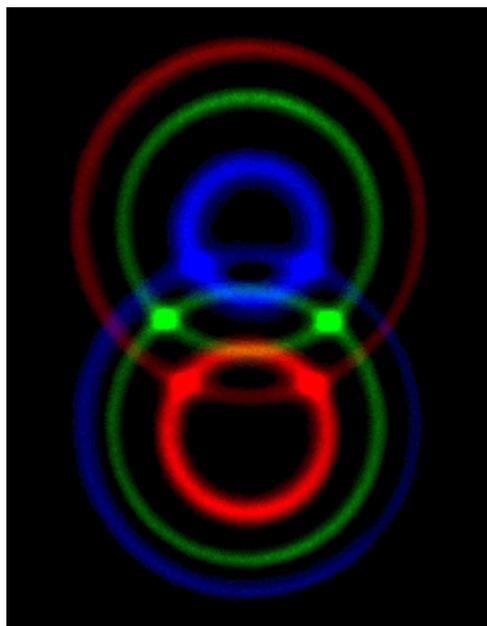
# Информационно-вычислительная «теория мира»

- 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

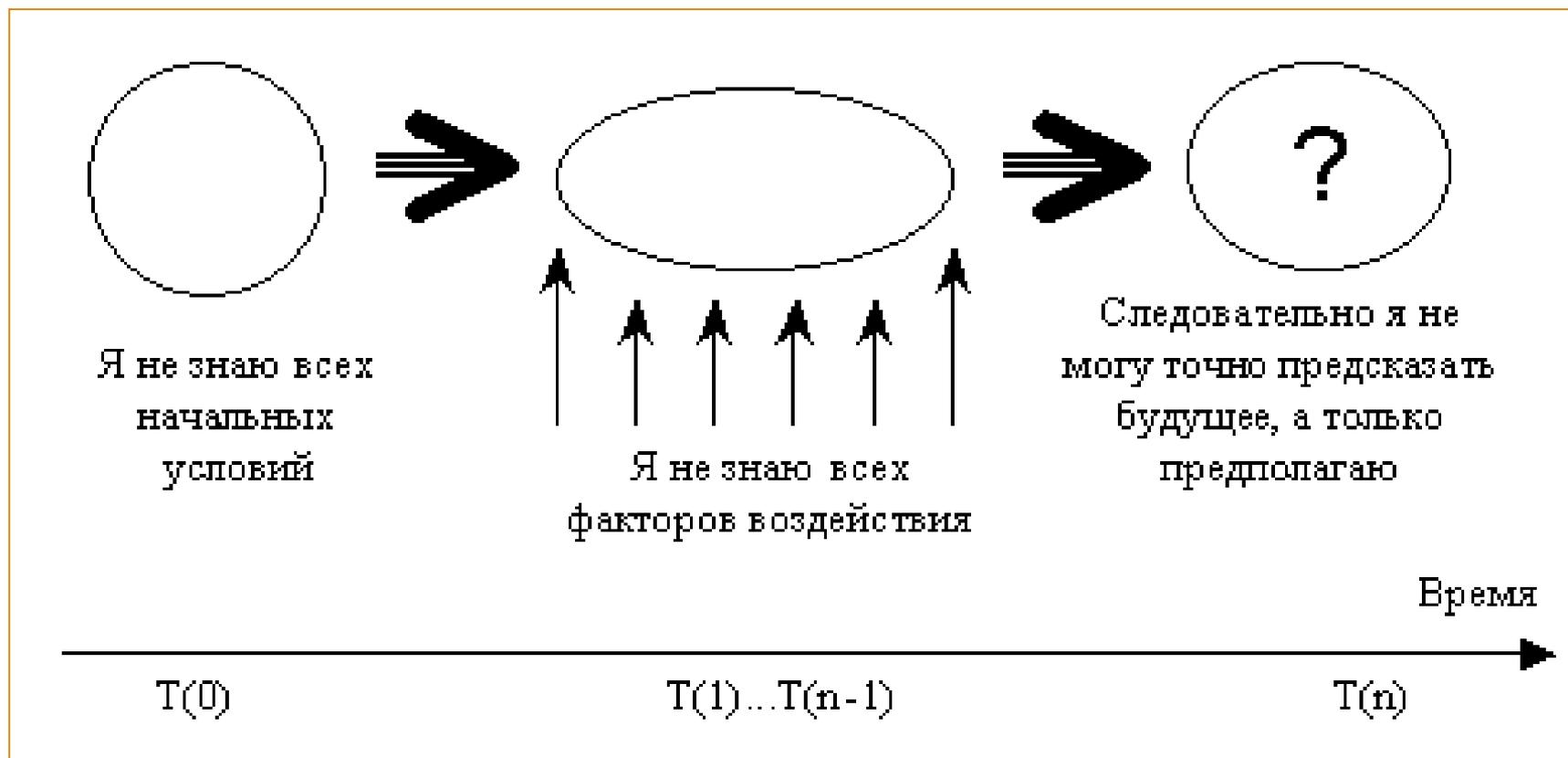


# Рефлексия реальности

Невозможно вывести свойства реальности исходя только из аддитивного объединения свойств отдельных подсистем.



# Концепция возможного vs состоявшегося



# 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.

# Потенциально дискретное, квантовое и непрерывное

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

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

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

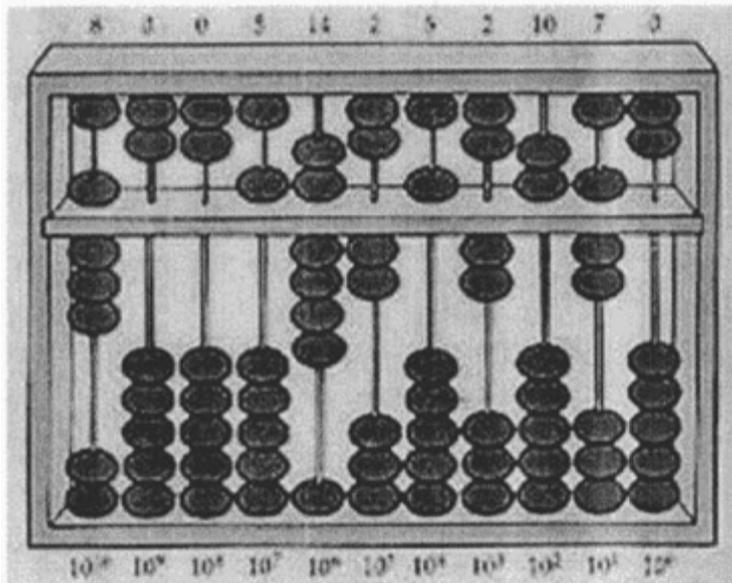
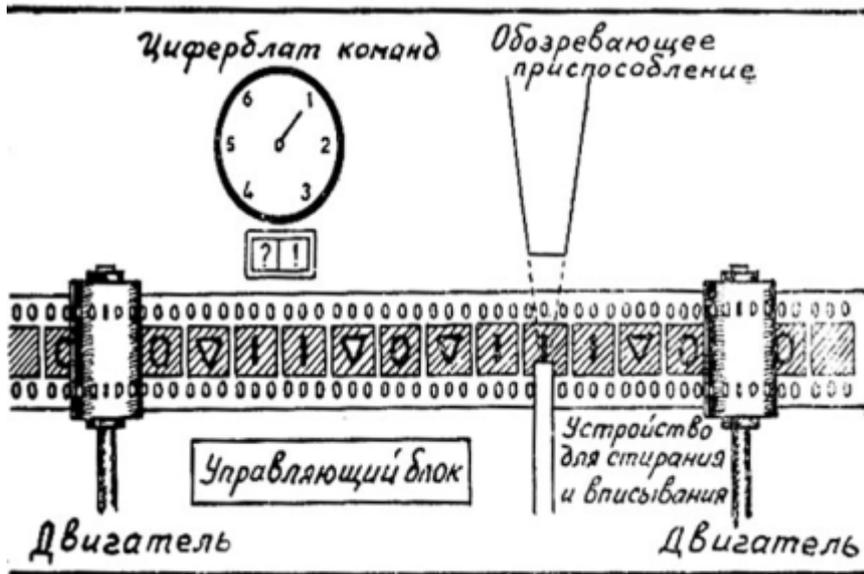


Постоянная Планка указывает нижний точности **знания** физических величин, после которого для описания физических процессов надо учитывать из «дискретность» или квантовые свойства, где  $\hbar = h / 2\pi = (1,0545887 \pm 0,000007) * 10^{-27}$  эрг \* с



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

# Вычисления устраняющие неопределенность - машина Тьюринга (МТ)



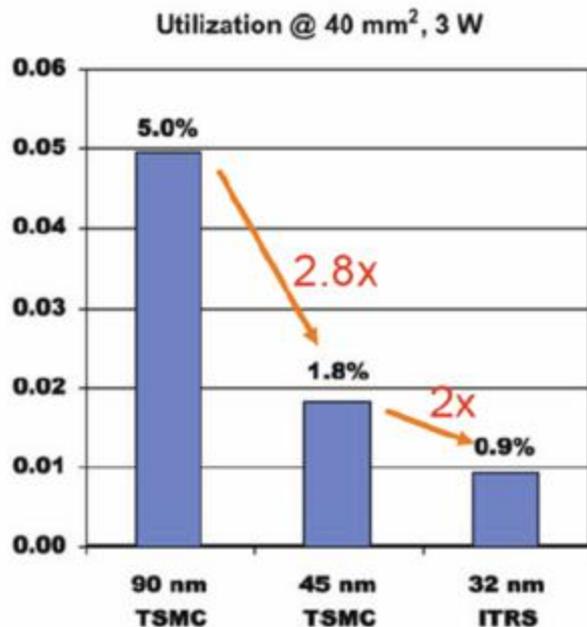
МТ - это автомат с «бесконечной» цифровой лентой, движение которой есть «вычисление» нового символа, который кодирует полученный результат.

Физическое «поведение» МТ – основано на работе двигателей, которые осуществляют «перемещение ленты», на которой расположены символы «алфавита», подсчете количества перемещений, устройства «обозревающего» результат и запоминания, полученных результатов.

# Системные ограничения процессов вычислений

- Закон Мура и теория Деннарда: при масштабном уменьшении параметров вычислительных процессов в  $S$  раз, «объемная» вычислительная мощность (в идеальных условиях) возрастает в  $S^3$ .
- При сохранении удельных энергетических затрат на вычисления **доля площади кристалла микропроцессора, задействованной в активной работе** (область кристалла, где могут переключаться транзисторы) **убывает экспоненциально**.
- В современных условиях «активная» кристалла микропроцессора площадь измеряется единицами или даже долями процентов от всей площади. Оставшаяся большая часть кристалла, не задействованная в данный момент в работе, получила название **«тёмный» кремний** («Dark» Silicon).

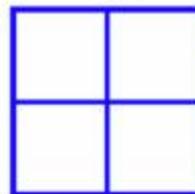
# «Стена утилизации»



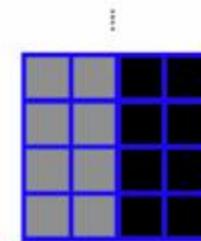
Spectrum of tradeoffs  
between # of cores and  
frequency

Example:  
65 nm → 32 nm (S = 2)

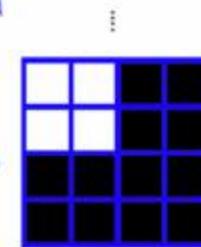
4 cores @ 1.8 GHz



65 nm



2x4 cores @ 1.8 GHz  
(8 cores dark, 8 dim)  
*(Industry's Choice)*

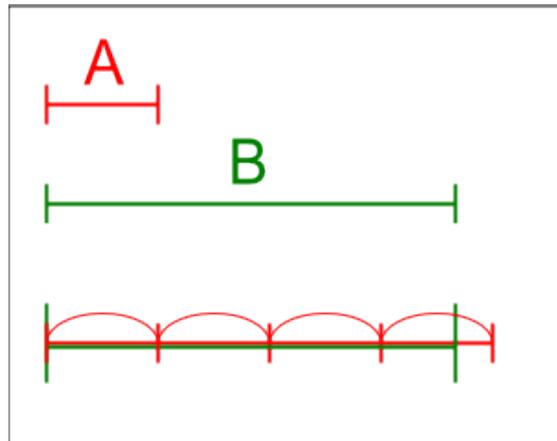


4 cores @ 2x1.8 GHz  
(12 cores dark)  
*75% dark after 2 generations;  
93% dark after 4 generations*

В многоядерных микропроцессорах в любой момент работы большая часть кристалла является «темным» кремнием – бездействует или работает на значительно пониженной тактовой частоте.

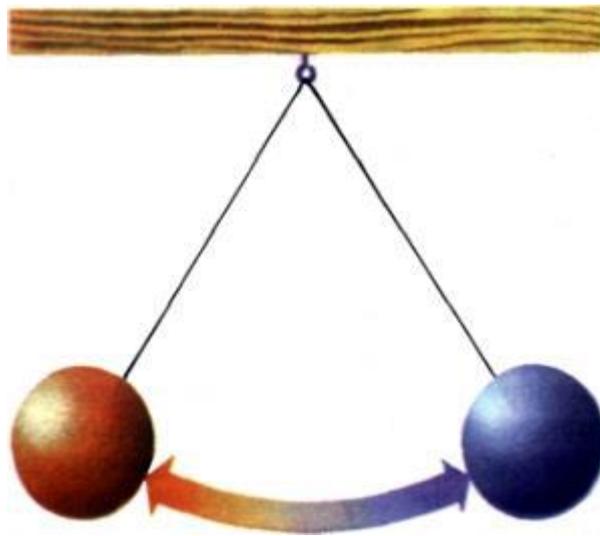
# Аксиома Архимеда «классической вычислительной математика»

Аксиомой Архимеда называется такое утверждение: если даны отрезки  $A$  ( масштаб) и  $B$  ( объект измерения) , то можно так отложить отрезок  $A$  несколько раз, что сумма будет равна или «немного» превосходить отрезок  $B$



Утверждение : изучаемое математикой ПРОСТРАНСТВО-ВРЕМЯ архимедово то есть **одномасштабно**, значит гладко, «делимо и однородно».

# «Простые» физические объекты – одномасштабны

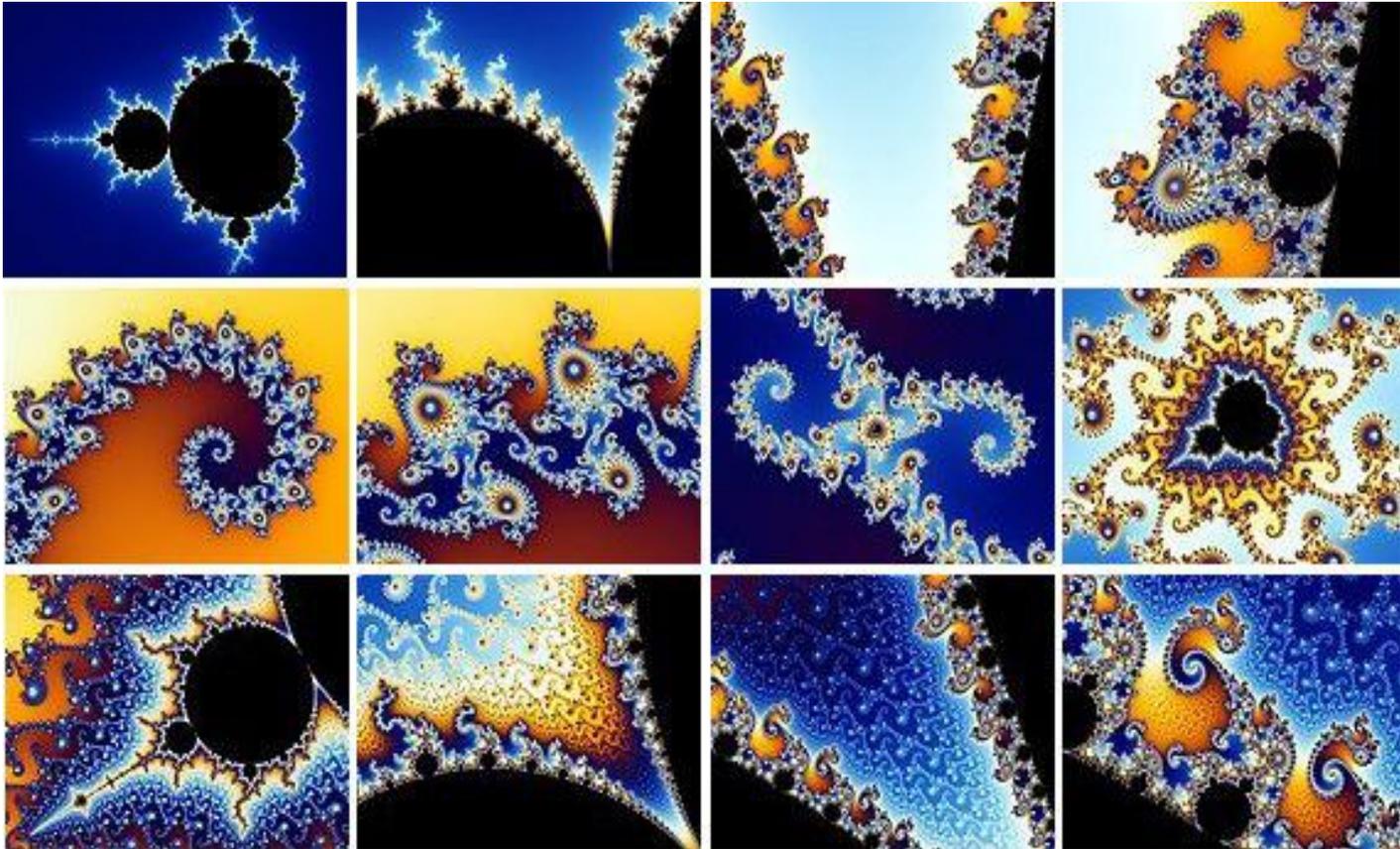


# «Сложные» объекты классической физики мультимасштабны, но ...их состояния не спутаны

Сложные структуры  
не однородны

они не имеют одного  
масштаба, поэтому  
связаны

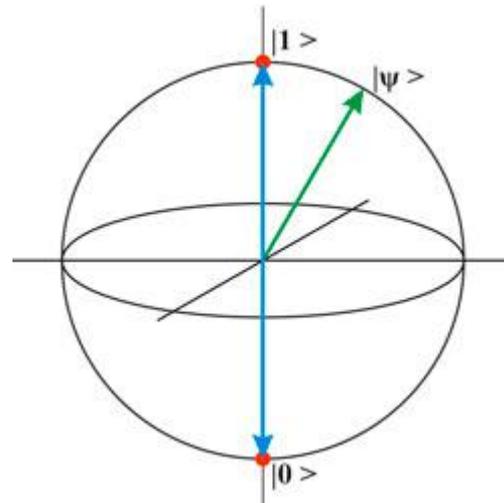
это значит, что «деление»  
на «подобъекты»  
невозможно



# Спутанные состояния квантового объекта

23

Если квантовая система имеет хотя бы два физически различных состояния, то мощность множества возможных векторов состояния бесконечна.



Под количеством состояний квантовой системы подразумевается количество линейно независимых состояний, то есть размерность пространства состояний.

Это количество описывает число **возможных исходов измерения состояния** квантового объекта. В случае конечномерного пространства число уровней энергии (и соответствующих им состояний) будет равно размерности пространства состояний.

# Закон исключенного третьего «исключает» спутанность состояний макрообъекта

В «реальном» мире суперпозиции нет - происходит коллапс «вектора состояний» или редукция «волновой функции» к одной из возможностей

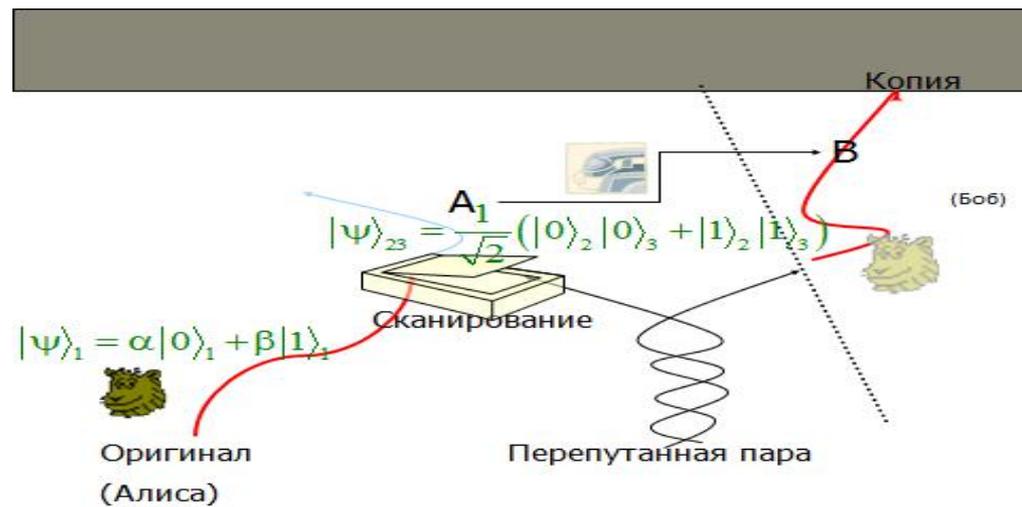
Пример:  
«Кот Шредингера»:



Ключевой вопрос: можно ли «остановить» редукцию волновой функции и, если да, то на какое время?

# Телепортации квантового объекта – использование спутанности как информационного феномена

Состояние квантового объекта можно представить как цифровой код – совокупность состояний, например, нескольких 2-х уровневых квантовых объектов - кубитов. Чтобы **«телепортировать» состояние квантового объекта** из одного места в другое надо: 1) у «телепортируемого» кубита д.б. «кубит-партнер»; 2) эти два кубита надо перевести в «запутанное состояние», 3) произвести измерение состояния «оригинала», т.е «разрушить» его квантовое состояние; 3) передать по классическому каналу результат измерения «партнеру»; 4) применить к кубиту «приемника» унитарные преобразования.



# Итого

- Основная идея «математики возможных состояний» в том, что вычисления с квантовыми объектами – кубитами, позволяют использовать информацию о состоянии этого объекта передать эту информацию из одного места в другое за конечное время
- Всем прочитать **S. Lomonaco**, “A Rosetta Stone for Quantum Computation”