



Санкт-Петербургский  
Государственный  
Политехнический  
Университет

Институт прикладной  
математики и механики

## **История и методология математики и компьютерных наук**

**Тема 3. Методология компьютерных наук.  
Лекция 10. Новая методология компьютерного  
моделирования: переход от «алгоритмических» к  
«интеллектуальным» вычислениям**

---

10 ноября 2022 г.

# Что было на прошлой лекции – суть отличия между «незнанием» и «вероятностью»

- Концепция информации Шеннона **изоморфна алгебре множеств**, а мера информации вычисляется на **основе вероятности** того, что произойдет **одно из возможных событий**, которое «состоит» из известного **множества «элементарных событий»**. Однако можно построить и другие **теории информации**, алгебра которых использует, например, формализм термодинамики или «квантовые» правила сложения амплитуд вероятностей.
- Такая теория определяет расширенное описание информационного пространства, состоящее из суперпозиции формально несовместных случайных событий (состояний).
- Принцип суперпозиции отменяет, однако, **основополагающий закон современной науки** - «**закон исключенного третьего**», а именно- макроскопический объект не может одновременно пребывать в несовместных состояниях, находясь в 4-х мерном пространстве-времени.
- **Суперпозиция несовместных, но физически реализуемых (возможных) состояний**, составляет основу модели реальности, которая соответствует описанию взаимодействия «сложных» систем, **обладающих памятью**.

## Что будем обсуждать на лекции – «в начале было слово»

- Почему требуются новая не причинная, а информационно-ориентированная методология моделирования реальности, в которой базовое понятие теории вероятности Колмогорова - «событие», рассматривалась бы не как обусловленная силовым воздействием причина «движения», а как высказывание **р о системе S модели «мира» M ? ( высказывание – это логически согласованная последовательность слов)**
- Какими свойствами должно обладать то, где **события-высказывания** могут находиться (происходить) ?
- То, где «что-то может происходить» называется **пространство**.
  - Определение. **Пространство** это логически мыслимая структура, служащая средой, в которой осуществляются те или иные события или находятся объектв.

# Потребность в расширении содержания используемых понятий:

- Логическая **согласованность понятий** теории вероятности Колмогорова базируется на теории меры, которая имеет модель  $M_k$  описания сущности, называемой «событием». Модель задается с помощью аксиом:
  - Аксиома 1. Имеется множество элементарных событий  $\Omega$ , причем мера всех этих событий или  $P(\Omega) = 1$ , т.е. пространство **элементарных событий нормировано**
  - Аксиома 2. На множестве элементарных событий с помощью алгебраических операций создается множество  $A$  или **алгебра событий**, операции которой аналогичны операциям над подмножествами «пространства элементарных событий»  $\Omega$
  - Аксиома 3. Каждому событию  $x$  из  $A$  сопоставляется неотрицательное вещественное число  $P(x)$  – **мера события**, которая называется вероятностью. **Причем для событий  $x$  и  $y$  из  $\Omega$  используемая мера аддитивна  $P(x+y) = P(x) + P(y)$**
  - Совокупность  $\{ \Omega, A, P \}$  – это **вероятностное пространство** ( поле вероятностей или носитель **информационной меры событий**)

# Методологическое аналогии: множественность «моделей Мира»

- Пример пространства – это евклидово пространство, множество, где «располагаются» геометрические фигуры и между каждой точкой можно «вычислить» расстояние.
- В классической термодинамике так поступают, вводя особые метрики когда отказываются использовать заимствованные из механики **метрические понятия** скорость и траектория движения объекта. Вместо этих понятий **вводится функция распределения вероятности значения скорости частицы**. (определенное значение имеет лишь средний квадрат скорости движения молекул :  $\langle v^2 \rangle = 3kT/m$ , где  $v$  при  $T=300$  С около 500 м/с).  
Итак: модель мира  $M$ , которая используется в термодинамике -  $M_T$   
отличается от модели мира, используемой в механике -  $M_M$

# «Информационная» методология

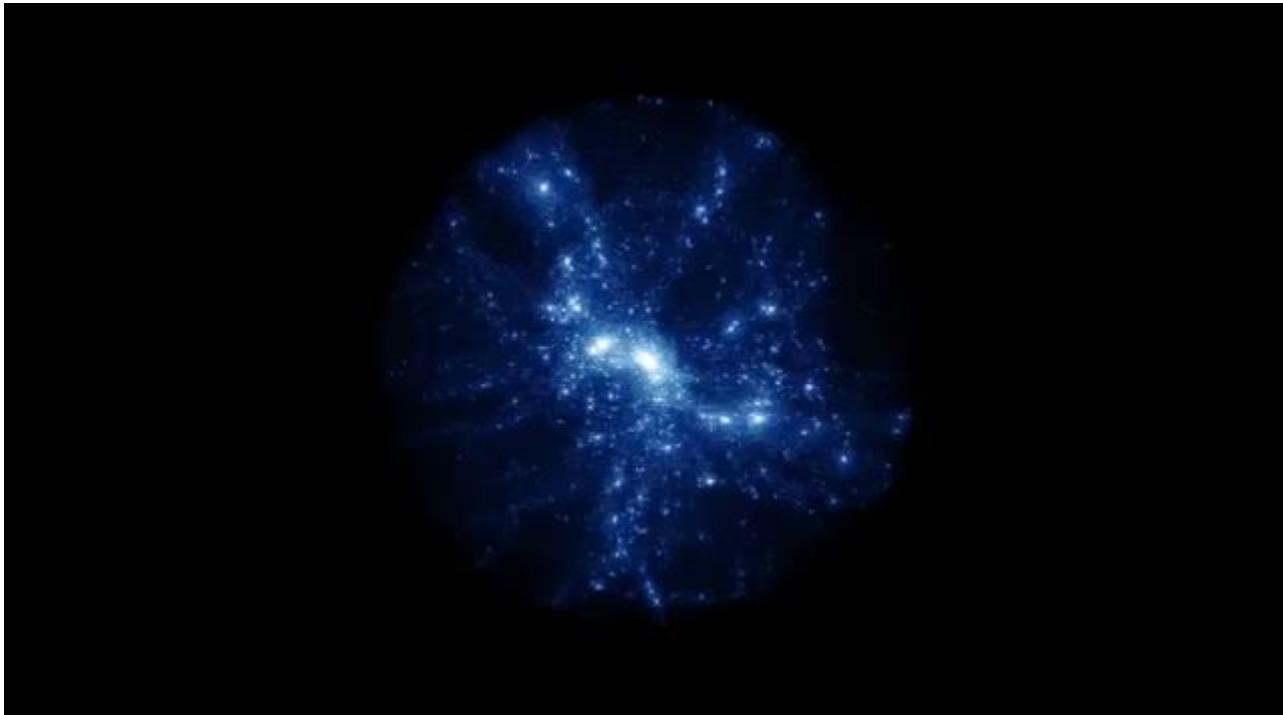
**Теория информации** должна предшествовать теории вероятностей, а не опираться на нее.  
Основы **теории информации** имеют по **самому существу этой дисциплины** **финитный комбинаторный характер**  
**А.Н. Колмогоров**

- Моделирование мира с помощью **вероятностного пространства событий** позволяет понять механизм «извлечения» и «использования» информации из окружающей среды (пространства), а также оценить какие сущности могут быть измерены и, значит, «вычислены».
- Очевидно, что «добывание информации» может носить:
  - характер «измерения» (активного воздействия) и
  - восприятия (пассивного наблюдения),
- Передачи данных (носителей информации) от «передатчика к приемнику» может быть организована **как перемещение материальных объектов, так и носить кодовый (символьный) характер – передача символов**. В последнем случае информация отделима от материального носителя, поэтому не следует фундаментальным «физическим законам сохранения» и, поэтому, может неограниченное число раз копироваться ????

# Эволюции как способ борьбы с термодинамической энтропией (эволюция галактик)

7

Согласно модели мира М, которая используется в термодинамике, энтропия любых систем должна возрастать. Однако, «сложные системы» существуют, значит они как то могут «бороться» с разрушающим воздействием энтропии.



# Система, которая умеет бороться» с энтропией должна стать «открытой

Открытая система должна состоять из объектов, находящихся в «особом пространстве», собранном из открытых множеств.

Например, биологическая клетка «производит» компоненты для формирования своей «границы» - клеточной мембраны, получая информацию и материалы из внешней среды.

Суть процесса в том, что «живая» система имеет модель  $M_{ж}$ , которая обладает каузальной непроницаемостью в рамках своей локальной границы, внутри которой процессы выступают как носители

- действий по поддержанию целостности системы,
- информационных сообщений, уменьшающих энтропию системы

Феномен самоорганизации составляет основу перехода системы в новое фазовое состояние, которое характеризуется появлением целевой активности (такая система рассматривается как активное состояние материи) по поддержанию своей структурной устойчивости.

# Топологическое пространство

- Обобщим понятие пространства на случай, когда оно является носителем «случайных событий», порождающих «потоки информации».
- В таком пространстве нас будут интересовать только **свойства непрерывности**, которое определяется через понятие "окрестности"
- У любойц окрестности имеются:
  - "внутренность" (множество внутренних точек),
  - "граница" (граничные точки) и
  - все остальные точки пространства.
- Окрестность может быть **открытой и замкнутой**. Открытая окрестность не имеет граничных точек, граница состоит из граничных точек, которые могут принадлежать/не принадлежать ей, а замкнутая окрестность включает в себя всю границу.

# Фундаментальные понятия топологии

- Понятие окрестности – фундаментальное понятие топологии. Каждая точка топологического пространства **обладает окрестностью**.
- Можно сказать так, окрестность точки – это любое подмножество пространства, содержащее эту точку **в качестве внутренней**.
  - Точка считается внутренней по отношению к подмножеству, если она обладает **открытой окрестностью**, принадлежащей этому подмножеству.
  - Точка считается внешней по отношению к подмножеству, если она обладает открытой окрестностью, не пересекающейся с этим подмножеством.
  - Граничная точка подмножества – это точка, любая окрестность которой пересекается как с этим подмножеством, так и с его дополнением.

# И из этого следует

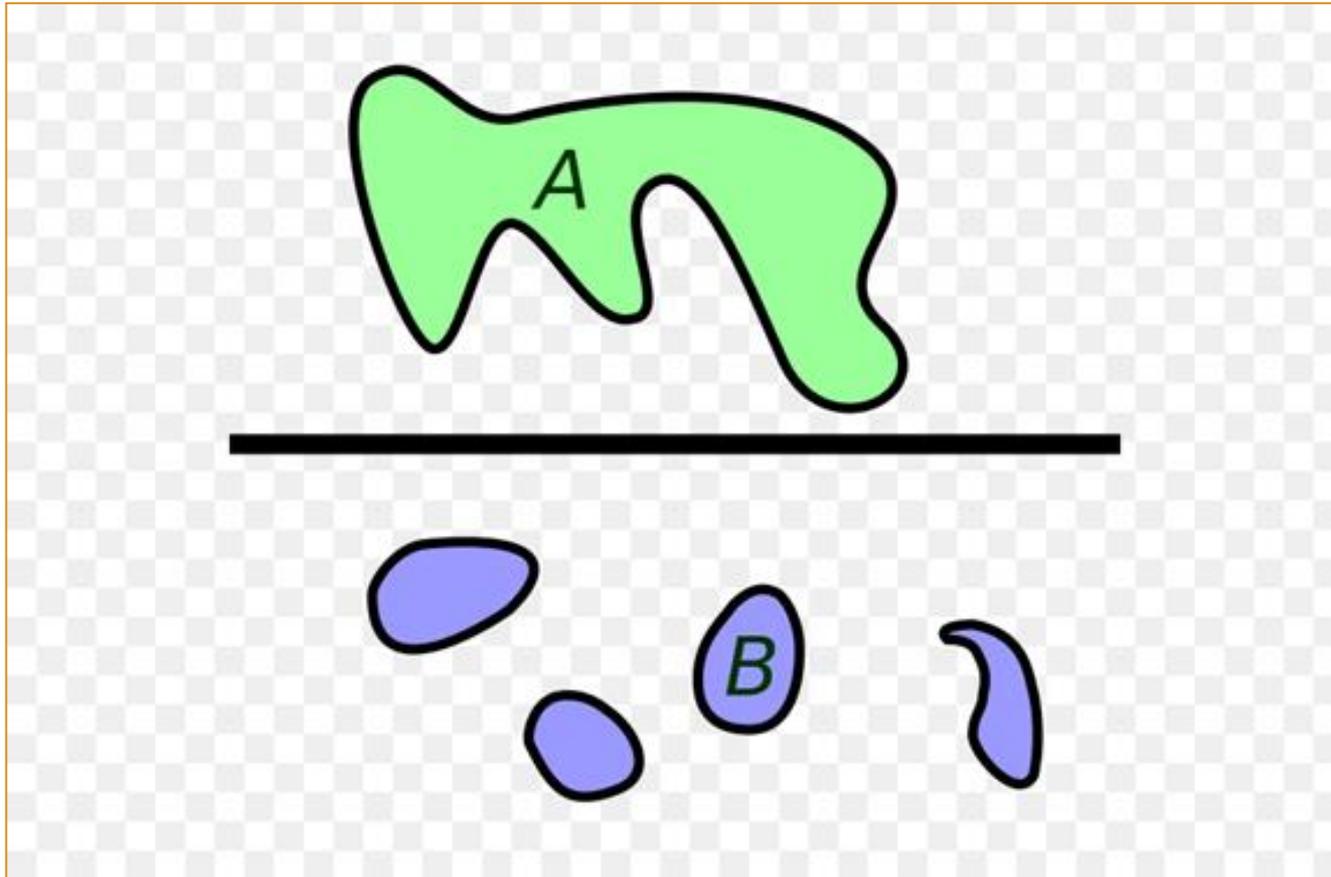
- Информационная модель «мира» должна описывать процесс непрерывного не только «извлечения», но и «использования» информации из окружающей среды. Поэтому информация может рассматриваться и как функция вероятности состояния и как атрибут системы.
- Процесс «добывание информации» может носить характер как
  - «измерения» (активного воздействия)
  - так и
  - восприятия (пассивного наблюдения),
- Сам процесс передачи данных - носителей информации от «передатчика» к «приемнику» может носить как материальный, так и кодовый (символьный) характер. В последнем случае информация отделима от материального носителя. Причем сложные системы используют обе формы передачи информации

Что из всего этого следует с точки зрения методологии компьютерных наук ?

# Связанность пространства

- Связность пространства означает, что любые две точки пространства можно соединить непрерывной последовательностью преобразований, например, соединить непрерывной линией.
- Непрерывное преобразование означает, что существует множество преобразований, зависящих от непрерывного параметра  $u$ :  
 $u \in [u_{\min}, u_{\max}]$  такое, что малому изменению параметра  $u$  соответствует малое изменение координат преобразовываемой точки:  $\lim_{u' \rightarrow u} dq = q(u') - q(u) = 0$ .  
 Непрерывность сродни **несвязности** "пространства", образованного не связанными друг с другом несколькими островами.

# Примеры связного (А) и несвязного (В) топологического пространств.



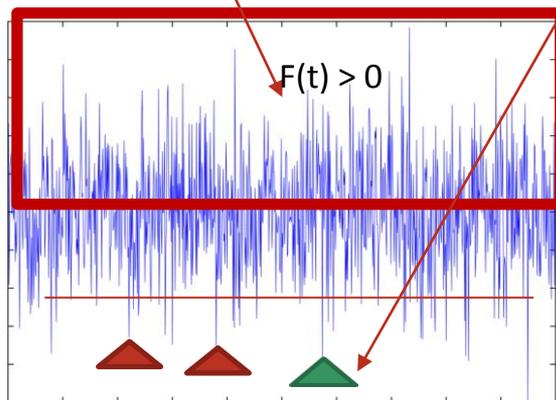
Несвязанные множества (моделей «Вселенных») принципиально недоступных взаимному «наблюдению»

# Связанность может быть топологической и информационной

- Топологическая связанность осуществляется существованием непрерывной линии между точками пространства.
  - Пример островов в «океане» связан с другим островом если существует «лодка», которая эту "связность" осуществят.
- "Информационная связанность" осуществляется через общую внешнюю границу. Общность границы определяется биективным отображением "сшивания" их между собой с определением общих приграничных окрестностей
  - При этом движение физических объектов через границу невозможно, но перенос информации возможен, т.к. свойства общей границы – общие

# расширенный «принцип дополнительности»: дополнение результатов вычисления или наблюдений их объяснением в терминах понятий

Сложный физический процесс – как суперпозиция отдельных составляющих, доступных для наблюдения в случайные моменты

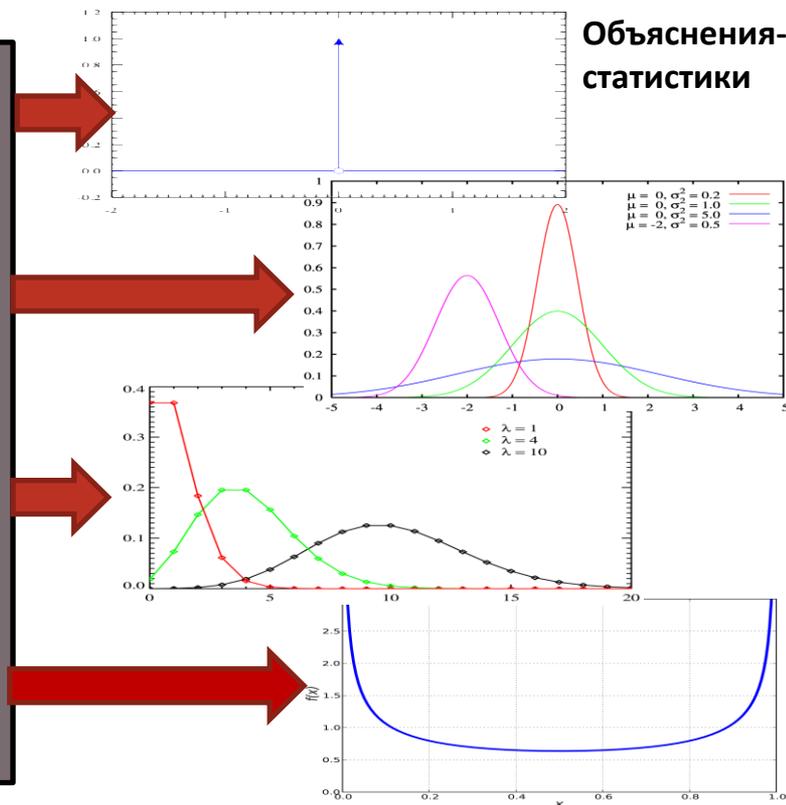


Случайные точки наблюдения процесса

Интеллектуальный наблюдатель – видим то, что понимает



Принятие решения, какими данными можно пренебречь



# Машина Тьюринга vs Искусственные Нейронные Сети

## Машина Тьюринга (МТ)

## Нейронные сети (НС)

Процессор	Сложный	Простой
	Высокоскоростной	Низкоскоростной
	Один или несколько	Большое количество
Память	Отделена от процессора Локализована Адресация по расположению	<b>Интегрирована в процессор</b> <b>Адресация по содержанию</b>
Вычисления	<b>Централизованные</b>	Распределенные
	<b>Последовательные</b>	<b>Параллельные</b>
	<b>Хранимые программы</b>	<b>Способность к обучению</b>
Надежность	Высокая уязвимость	Высокая устойчивость (робастность)
Специализация	Численные и символьные операции	Задачи классификации, управления и восприятия
Среда функционирования	Строго определенная и ограниченная	<b>Не определенная и без ограничений</b>

связи между нейронами н/с играют роль "памяти» для хранения «программы» и настраиваются в процессе обучения или функционирования.

# Феномен активных «Natural calculation»

17



# Требования к интеллектуальным вычислительным платформам

- Платформа реализуют связанность пространства входных и выходных данных с использованием средств «научения», машинного обучения и реконфигурации, которые непосредственно реализуются с помощью:
  - накопления информации о «внешней среде», используемых ресурсах и результатах ранее проведенных вычислений
  - использования полученных данных для «адаптации» архитектуры и отдельных с целью синтеза ускорителей процессов вычислений
  - организация процессов обработки данных происходит путем объединения методов программного и управления с обратной связью в рамках концепции «натуральных вычислений», направленных на решение «обратных алгоритмических задач» )

# Поиск "фундаментальной аксиоматики" интеллектуальных вычислительных процессов

19

Какие аксиоматика операций распознавания требуются, чтобы любому **многообразию физико-химических элементов**, находящаяся под воздействием энтропийных процессов, **можно было бы сопоставить непрерывный антиэнтропийный процесс отображения на пространство понятий**

Входными данными для них являются

- результат отображения воспринимаемых физических данных на многообразии символьных понятий

носителями процессов вычислений являются

- Полученное многообразие символьных данных, «опыт» предыдущих решений аналогичных задач в формате «базы знаний» и прогноз последствий от использования вычисленных значений.

Выходными данным - **«решение обратной задачи достижения цели в некотором будущем на основе текущих данных и полученного опыта»**

Чтобы говорить о «машине» с точки зрения компьютерных наук (КН) надо понимать суть проблемы

Физики, под термином «время» обычно понимают видимый ход событий, процесс непрерывного изменения окружающего мира. При этом «любое изменение» в природе является

- носителем информации – difference that make the difference.
- направлено в сторону «термодинамической стрелы времени»
- связано с реализацией «каскада» законов управляющих материальным миром

Фундаментальный вопрос состоит в том: в каком направлении изменения идут - от простого к сложному или наоборот ?

Итак, если время - это то, благодаря чему происходят целенаправленные изменения, то что такое пространство? Пространство - это структура, а время – динамика изменений.

С точки зрения компьютерных наук логично соотнести эти понятия следующим образом:

**Space is data, time is code.**

Аналогия в том, что как «**время**» **меняет пространство**, так же как «**код**» **меняет данные**

Но время не просто меняет, а целенаправленно структурирует пространство, снижая его энтропию (хаос) и порождая новые данные, т.е. что-то качественно новое.

пример:

- сортировка массива данных методом «пузырька». Код сортировки описывает динамику приведения структуры массива к более упорядоченному виду.
- некий код, в квантовом процессоре Вселенной, за 4.6 млрд лет преобразовал облако межгалактического газа и пыли нашу солнечную систему.....

# Время – это механизм развития, управляющий ходом событий.

Сравним Вселенную с детской игрушкой — калейдоскопом



Пример – иллюстрация «минимальной программы»

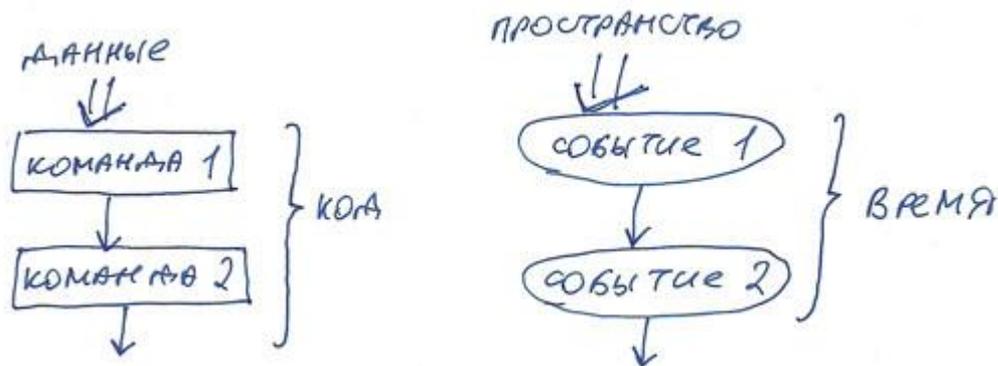
```
x; // что x? Нет действия  
++; // что инкрементировать? Нет  
данных  
x++; // пример минимальной  
программы
```

Основа любой программы – это связка «данные + действие» или пространство (данные) существует только в процессе хода времени (выполнения кода).

**Атом:** единицей «кода» будем считать команду (содержащую действие над данными). Единицей потока времени является событие. Команда меняет данные. Событие меняет пространство. Команды «складываются» в код, события складываются в непрерывный «цепной комплекс»

**Причинность:** команды имеют «границы» (команды квантованы), но логически связаны - чтобы выполняются последовательно, результат одной часто является входными данными для другой. Также у события, есть входные и выходные данные (структура пространства до и после).

**Сообщение** - код+данные: в физике это последовательность существования некоего объекта, которому соответствует поток выполнения некоего квантового кода.



An event is an "action on data," i.e. a change in space under the control of time. The input data for it is the previous state of space (which, as we remember, is "data"), at the output we get again the changed space.

# Фрактальность пространства – одновременность процессов во времени

26



В виде диаграммы действий можно изобразить мировую линию любого объекта.

Within this stream or "world line" there are many event chains running in parallel. But each of these streams also has its own nested streams; you can trace this all the way back to the movement of molecules, etc.

Принцип самоподобия или фрактальность применим как к пространственной структуре, так и к динамике изменений.

Поэтому Вселенная «изначально многопоточный» квантовый компьютер, т.к. содержит бесконечное количество параллельно происходящих событий. И все эти события естественным образом представимы в виде иерархического дерева, точно так же как большинство программ не сводятся к линейной последовательности команд и, как правило, состоит из различных структурных единиц, вложенных друг в друга.

С точки зрения КН у интеллектуальных вычислительных платформ д.б. **свойства**, вытекающие из формулы «высказывания **р о системе S модели «мира» M**» образуют события, которые

1. **следуют** в строгом порядке, а именно **событие-причина** высказывания предшествует последующим действиям – **событию-следствию**.
2. Принцип альтернативности – у любого события есть несколько вариантов исхода.
3. Принцип цикличности: «события-причины» образуют классы эквивалентности по отношению к «событиям – следствиям». Классы событий конечных и **повторяются**.

## **ВОЗМОЖНОСТИ**

4. управлять виртуальной скоростью течения времени
5. использовать «прошлое» для «предсказания» будущего
6. изменять «настоящее», используя прогноз будущего.