



Санкт-Петербургский  
Государственный  
Политехнический  
Университет

Институт прикладной  
математики и механики

# КАФЕДРА ТЕЛЕМАТИКА

**семинар**  
**экспериментальные исследования в области**  
**компьютерных наук и математики:**  
**Эксперименты, их интерпретация и**  
**объективная истина**

(анализ экспериментальных данных путем их «сравнения» с  
выводами фундаментальных теорий и  
субъективными моделями)

**занятие 2**

---

16 Февраля 2022 г.

# Тема: Эксперименты и истина

NATURA CUPIDITATEM INGENUIT HOMINI VERI VIDENDI

Marcus Tullius Cicero

(Природа наделила человека стремлением к познанию истины)

Марк Тулий Цицерон



## Что было на прошлой лекции

- Полнота и точность воспроизведения в сознании человека (феномен восприятия) физической реальности всегда **относительны, поэтому все полученные знания** носят субъективный характер, в котором выделяются два аспекта: количественная характеристика явлений на основе теории меры и семантическая интерпретация (**эпифеномен** – (побочное явление) или истолкование сознанием содержания результатов восприятия, например, частота эл.маг. излучения – «красный цвет»).
- Отсутствие объективной модели материальной реальности («субъективность» объяснительных знаний) может компенсироваться возможностью проведение различных экспериментов и их интерпретации с помощью формально непротиворечивых математических теорий, т.е. валидации конкретной модели воспринимаемой реальности на основе «количественных результатов», полученных в ходе экспериментов. Фундаментальный вопрос: какова скорость процесса «физический процесс – эпифеномен»
- **Первейшая задача экспериментальных исследований – построение вычислимой функции** соответствия экспериментальных результатов и модельных прогнозов. Количественные меры соответствия могут быть разными: , детерминированные, вероятностные, топологические, информационные, ...., но все они отвечают аксиоме арифметики – **«всякое число равно самому себе»**.

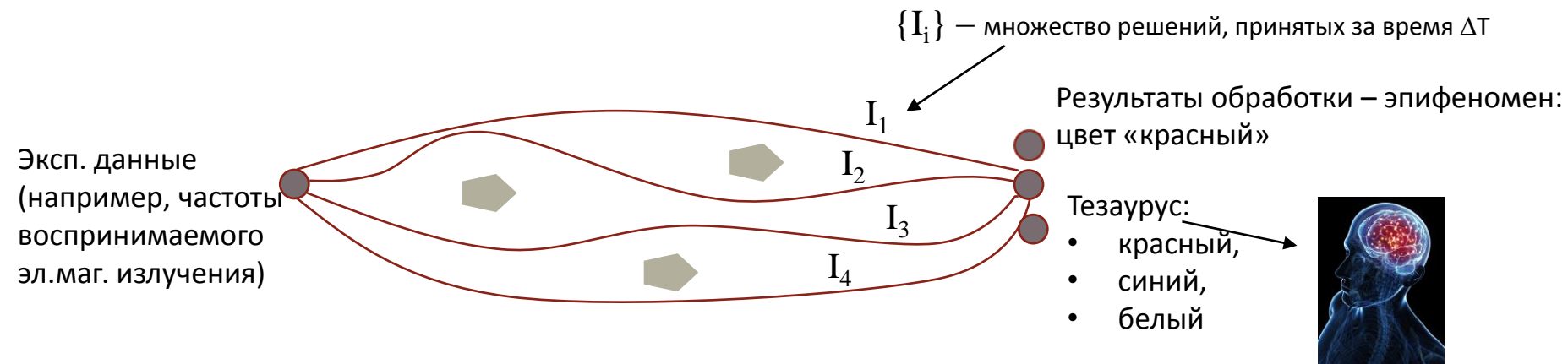
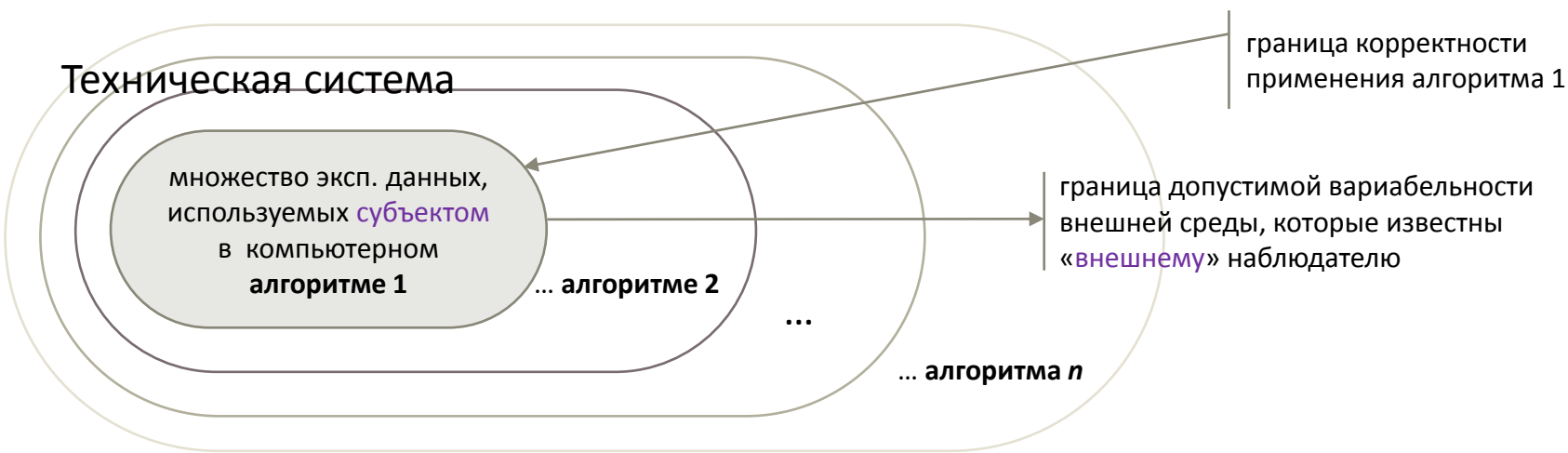
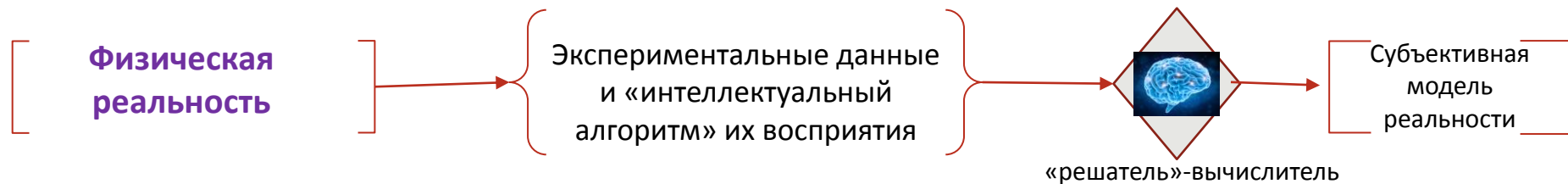
# Реальность & сознание

- подход гештальт-психологии: окружающий человека мир имеет двойственную природу: это и реальный мир, и перцептивный мир. Люди контактируют только со своим внутренним феноменальным миром – виртуальной реальностью, которая построена на базе нейросетей коры головного мозга и паттернов сознания!
- теория косвенного восприятия: когда люди воспринимают мир, на самом деле они вступают в контакт не с внешними физическими объектами самими по себе, а только с их феноменальными репрезентациями, паттерными или образами, созданными в виртуальной реальности мозга, т.е. в сознании.
- Томас Метцингер - Теория само-моделирования субъективности (self-model subjectivity). Суть теории - органы чувств воспринимают только крошечную долю физической информации, которая нас окружает, и мозг может репрезентировать феноменально лишь часть реальности, которая включает феноменальную модель личности. При этом модель личности в воспринимаемой модели мира формирует «Эго-центр».

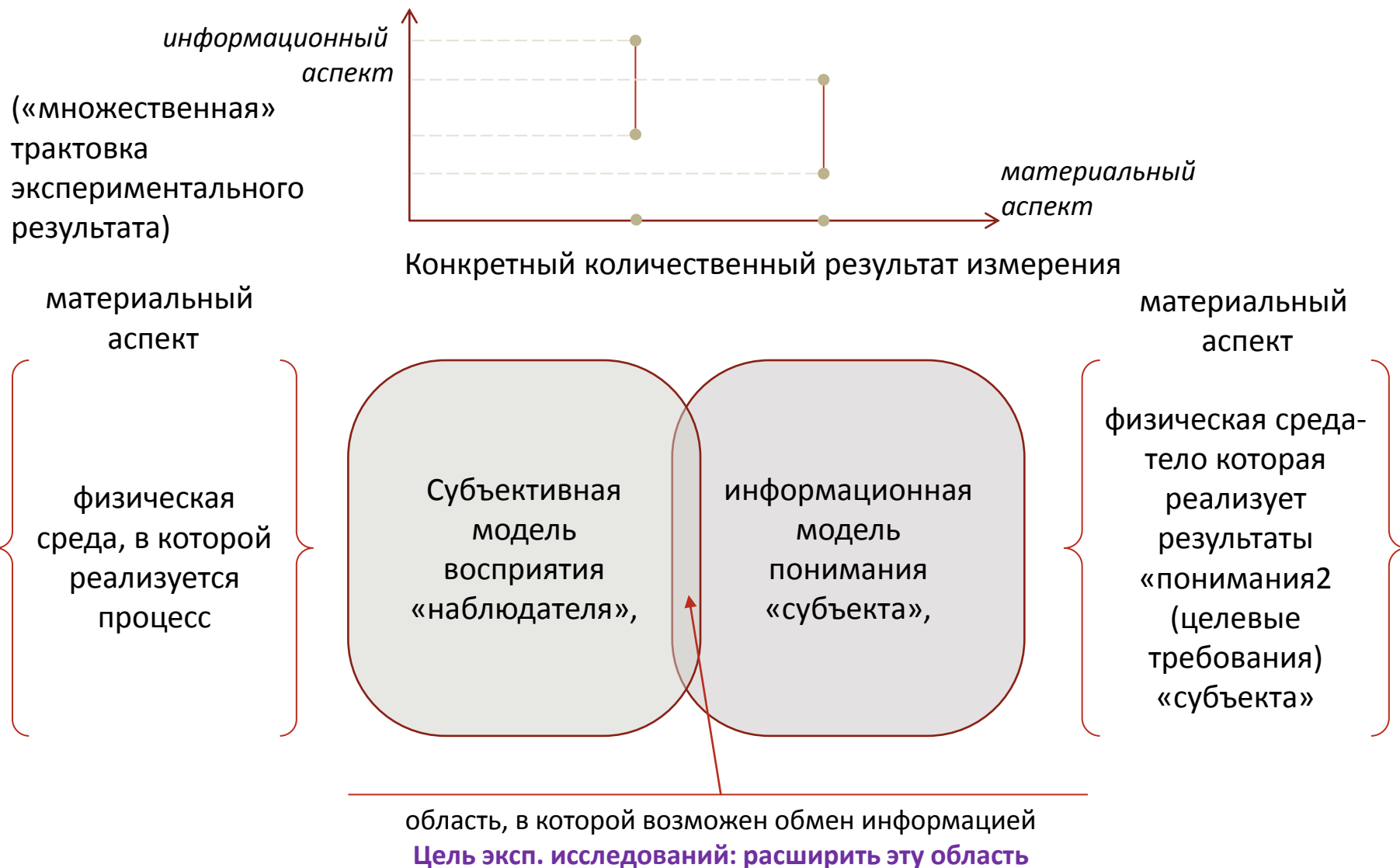
# Что из этого следует

- Люди не видят реальных физических объектов такими, какие они есть: в противном случае они казались бы нам просто бесцветными облаками элементарных физических частиц и полей, отражающих электромагнитную энергию, которую воспринимают наши органы чувств.
- Мы воспринимаем только феноменальные образы объектов – образы, созданные мозгом. Личность тоже лишь один из феноменальных образов, созданных мозгом и помещенных в центр модели мира. Этот феноменальный образ, вмещающий в себя физические ощущения, зрительный образ тела и мысли, моделирует реальную личность, как неизменный и целостный субъект.

# Информационная структура экспериментальной системы



# характер взаимосвязи материального и информационного аспектов реальности



# Направление экспериментальных исследований

**Проблема:** создания систем, обладающих заданными функциями и свойствами, включая те, которые формируются в процессе обучения.

Вопрос 1: минимально возможная структура, порождающая стабильные формы интерпретации результатов без обращения к возможностям человеческого сознания.

Вопрос 2: особенности восприятия с использованием искусственных сенсоров, систем измерений (в том числе и с новыми функциями и свойствами); компьютерной (искусственной) памятью (гибридной, ассоциативно, распределенной и воплощенной в информационные среды и т.д.).



# Современная парадигма экспериментальных исследований

суть парадигмы.

- Неопределенность (энтропия) состояние исследуемой системы объективно возрастает и определяется не значениями ее координат, массы и энергии, а распределениями вероятностей этих значений как меры, которая характеризует «пространство возможностей» проводимых экспериментов.
- Антиэнтропийная парадигма: одно измерение (наблюдение, вычисление) не характеризует состояние системы, а чтобы определить распределение вероятностей состояния, требуется серия измерений, в результате чего случайное значение измеряемой величины заменяется соответствующей функцией распределения вероятностей ее значений.
- При определенных условиях реальные физические эксперименты можно заменить компьютерным моделированием. Тогда, зная начальные условия и программируя работу аппаратной части компьютера на выходе в момент времени  $t_{ex}$  можно получить некоторый неизвестный до момента времени  $t_{ex}$  результат. Для работы аппаратной части компьютера требуется время и затраты энергии, а полученные числовые значения требуют объяснения.

# Фундаментальные аксиомы, константы и принципы

- **Аксиома** выбора  $\forall X \left[ \emptyset \notin X \Rightarrow \exists f: X \rightarrow \bigcup X \quad \forall A \in X (f(A) \in A) \right] .$

- **Конечность** скорости света  $c = \text{const}$

- **Принцип** неопределенности (теоретический предел точности одновременных измерений двух некоммутирующих наблюдаемых)

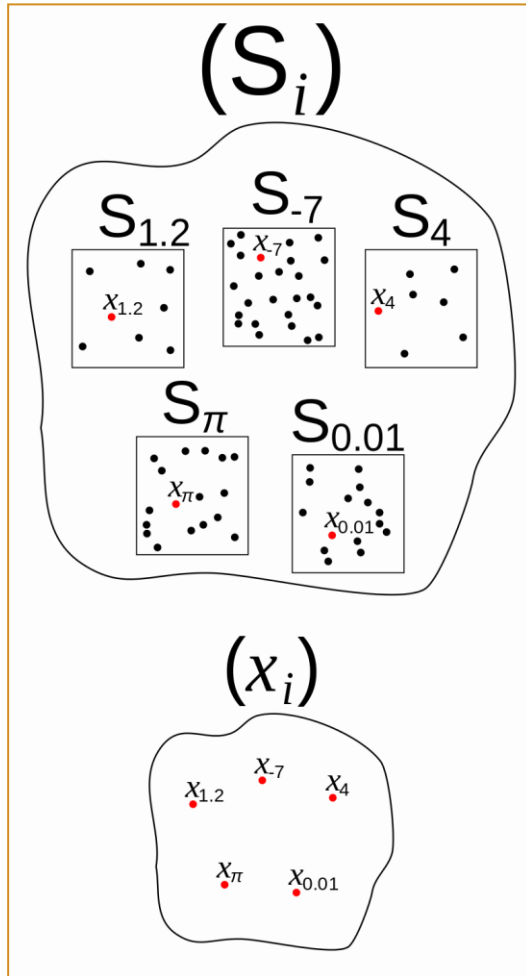
$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2} \quad \text{или} \quad \Delta E \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$$

(в нерелятивистской физике  $x$  – координата,  $p$ - импульс. Состояние объекта  $x$  может быть измерено со сколь угодно большой точностью, но тогда  $p$  будет измерено только приблизительно; или, наоборот. При этом  **$x$** , и  **$p$**  могут быть измерены с «разумной» (но не произвольно высокой) точностью.

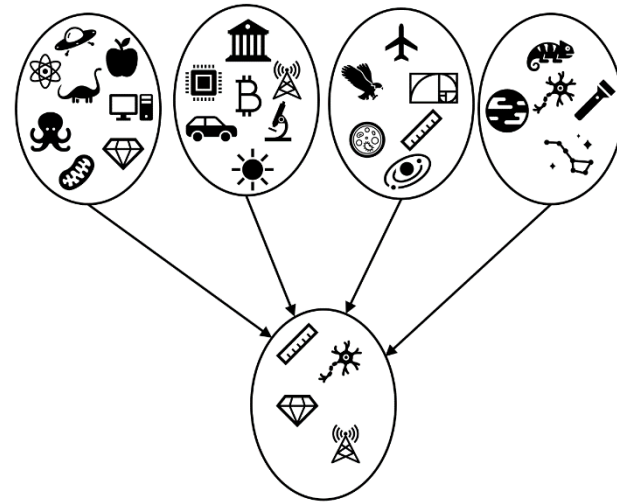
Для квантовых же объектов погрешность измерения координаты совпадает с де-бройлевской длиной волны микрообъекта

$$\Delta q \sim \frac{\hbar}{p}$$

# Пояснения к аксиоме выбора



Дано  $S_i$  - семейство непустых множеств, проиндексированных множеством действительных чисел  $\mathbb{R}$ . То есть для каждого действительного числа  $i$  существует множество  $S^i$ . На рисунке приведен пример выбора элементов множеств. Каждое такое множество  $S_i$  непусто, а возможно и бесконечно. Аксиома выбора позволяет нам произвольно выбирать один элемент из каждого множества, формируя соответствующее семейство элементов  $(x_i)$ , также проиндексированных множеством действительных чисел  $\mathbb{R}$ , где  $x_i$  выбраны из  $S_i$ .



# Пояснения к принципу (ам) неопределенности

- Соотношения неопределённости являются теоретическим пределом точности одновременных измерений двух некоммутирующих наблюдаемых. Общая форма принципа неопределённости, впервые выведенная в 1930 г. Говардом Робертсоном и Эрвином Шрёдингером имеет вид:

$$\frac{1}{4} |\langle x | AB - BA | x \rangle|^2 \leq \|Ax\|^2 \|Bx\|^2.$$

где оператор  $AB - BA$  – называется «коммутатор» для операторов  $A: H \rightarrow H$ ,  $B: H \rightarrow H$  таких, что  $ABx$  и  $BAx$  определены. Если  $AB - BA \neq 0$ ,  $A$  и  $B$  некоммутирующие величины.

- Классическая теория оценивания описывает состояния системы как точки в многомерном фазовом пространстве. Статистически **неопределенные** состояния описываются **вероятностными распределениями** в **фазовом пространстве**.

## .... Классическая и квантовая неопределенности

Так, целью **классической теории статистики** является нахождение наилучшего ( с точки зрения теории меры) вероятностного распределения для описания системы с помощью вещественных функций.

Квантовая теория оценивания описывает состояния системы как векторы в **гильбертовом пространстве**, преобразующиеся с помощью линейных операторов. Статистически неопределенные состояния описываются линейным оператором (оператор плотности).

Целью **квантовой теории статистики** является поиск наилучшего оператора плотности с точки зрения вероятностно-операторной меры. [См. Холево А. С. О квантовых характеристических функциях // Проблемы передачи информации. — 1970. — т. 6, № 4. — с. 44-48 ]

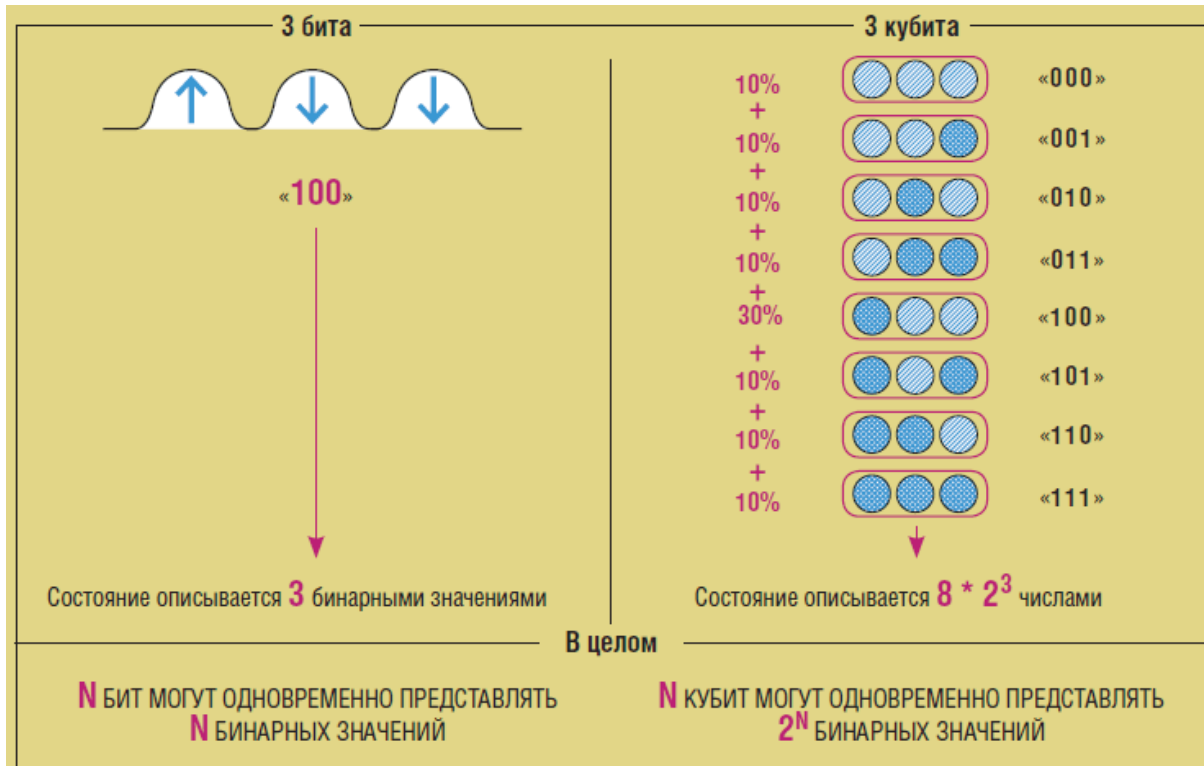
# Эксперименты в «физическом мультиверсе».

- Принцип неопределенности Гейзенберга утверждает, что квантовая система (физический объект) не может находиться лишь в одном положении без всякого движения. Но у каждого физического движения есть «инвариант» - некое «обобщенное знание» об объекте и среде, где он движется». Инварианты могут принимать различные формы, а именно : закон сохранения, симметрия, функция распределения...
- Если вычислить такой инвариант, то если **исходное** состояние было, например, **симметричным** относительно некоторого направления, то **симметричным** должно быть и **окончательное** состояние. Это подразумевает, что в процессе движения все возможные состояния находятся в суперпозиции, а каждое измерение состояния (наблюдение) разрушает суперпозицию, «предъявляя» нам лишь одно из возможных состояний.

# Суть идей цифровых vs квантовых вычислений

- Идея восходящая к Р. Лулий, С.Н. Корсаков, Ч. Бебидж, А. Тьюринг,...) – заменить физические процессы их имитацией путем подбора «программы» работы конечного автомата обрабатывающего наборы абстрактных символов (понятий-чисел).
- Суть идеи (1980 г. Ю. Манин/1981 Р. Фейнман ) о квантовом компьютере состояла в том, чтобы имитировать поведение изучаемой квантовой системы - путем подбора параметров другой квантовой системы, состояния которой управляемы и измеряемы.
- Квантовый компьютер, как и традиционный, будет работает с «нулями» и «единицами», однако, в отличие от детерминированного компьютера, в нем присутствует стохастический элемент — кубит, который может находиться в состоянии квантовой запутанности и суперпозиции.

# Аксиома выбора и квантовые вычислители





# Вычисления с «оракулом» + квантовый компьютер

Оракул – это абстракция, которая используется, чтобы не вычислить, а «**угадать**» решение проблемы, после чего «машине Тьюринга» останется лишь это решение проверить.

В теории вычислимости сведение по Тьюрингу задачи  $A$  к задаче  $B$  — это сведение, которое решает  $A$ , предполагая, что  $B$  уже известно. Более формально, сведение по Тьюрингу является условием, когда  $B$  решена (угадана) машиной с оракулом.

Оракул может принимать форму квантового компьютера, который не может дать точный ответ, а способен оперировать вероятностями. Задача программирования КК - стремиться сделать так, чтобы с вероятностью единица решение задачи  $B$  позволяет решить задачу  $A$ .

Цель такого формирования: синтез методов, одновременно использующих законы

- физики (законы сохранения),
- квантовой механики (вероятностные свойства),
- машинного обучения («объективная» статистика).
- компьютерных наук (информационные взаимодействия)

## Темы сообщений для занятия 3

1) Динамические модели развития сложных физических систем с точки зрения методов «машинного обучения».

Статья **Toward a theory of evolution as multilevel learning.**

2) Термодинамика процессов обучения

Статья **Thermodynamics of evolution and the origin of life**