



Санкт-Петербургский
Государственный
Политехнический
Университет

Институт прикладной
математики и механики

Введение в профессиональную деятельность

Лекция 6

«Информационно-вычислительный натурализм - методология компьютерных наук»

20 марта 2017 г.

Что обсуждали на прошлой лекции

Современная наука опирается на метафору античной математики – «**все есть число**» (Пифагор).

В свое время синонимом науки были :

- **Физики существующего** (И. Ньютон) – детерминированная и обратимая зависимость между причиной и следствием (Принцип «**достаточного основания**» – у всех наблюдаемых явлений есть причина)
- **Физики возникающего** (И. Пригожин) –макроструктуры рассматривались как разновидность **порядка, который «оплачивается» ценой возрастания энтропии (мера беспорядка) внешней среды** (диссипативное становление)
- **Физики желаемого** (управляемого или того, что можно «вычислить»): - это **кибернетика** (Н. Винер) – «цель» рассматривается как причина «движения», а передача информации как **основа управления**.

В наше время происходит формирование новой **парадигмы** компьютерных наук - «**киберфизики**» , в которой физическая реальность лишь одна из форм т.н. «прото» информации. Метафора науки - **It from Bit** (А. Уильер)

Пояснения к слову «парадигма»

- **Парадигма** (от греч. παράδειγμα - «пример, модель, образец») - это определенная **схема понимания** и объяснения окружающей реальности.
- Общее значение слова парадигма - это **образ мышления**.

Научное мышление основано на «ВЫЧИСЛЕНИЯХ» ?!

Инструменты вычислений:

- Ноль $\Rightarrow 0=A-A$, тогда, если $A-B=0$, то $A=B$

- Единица $\Rightarrow 1=a^2+b^2+v^2+\dots+\varepsilon^2$, $p(\lambda_n) = |c_n|^2$

- Мнимая единица

$$e^{i\pi} + 1 = 0$$

- Бесконечность



Инструментализм или натурализм



Г. Гегель (1770 -1831): все, существующее в сознании, есть **данное в опыте и доступное познанию**. **Разум** и мышление — это нематериальные средства приспособления человека к среде, возникшее в ходе биологической эволюции, а именно:

интеллект – это «инструмент» разума,

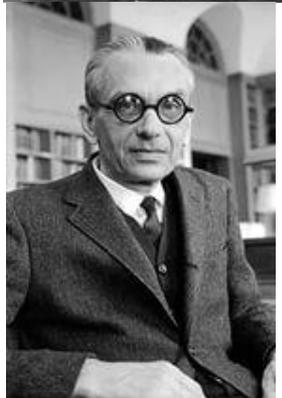
вычисления – это «инструмент» интеллекта,

числа – это «инструмент» вычислений



Д. Гильберт (1862 -1943) ... хотя каждое понятие имеет предел применимости, но в **Природа все доступно научному познанию**. Его лозунг - **«Мы должны знать. Мы будем знать!»** ..

К. Гедель (1906 -1978) всякий набор формальных «инструментов» описания проблем, которые встречаются в природе, **или не полон или противоречив**.



Если «ноль и актуальная бесконечность в природе не существует», тогда, где же «предел» эффективности применения **такого инструмента как «число»** ?

- Физика отвечает на вопрос «**что есть ?**»
- Кибернетика отвечает на вопрос «**что должно быть ?**»
- Компьютерные науки (КН) отвечают на вопрос «**что можно вычислить ?**»

- Построить «картину мира» в форме компьютерной программы
- Объяснить эволюции материи в терминах вычислений

Вычисления – это манипуляция с конечным числом символов (слов или мемов)

Наблюдения – это порождение конечного числа символов

Основная Теорема КН:

Доступные для наблюдения физические явления имеют компьютерную модель

Лемма: Компьютерная модель наблюдаемых физических явлений финитна (конечная) и «выводит нас за границу физического опыта».

Инструментализм как методология

- Методоло́гия — учение, в рамках принятой парадигмы, о методах, способах и МОДЕЛЯХ исследования предмета.

модель – дефиниция

представления – это понятия

числа – это слова

Числа физической реальности (уже состоявшейся материи)

- 7 таких «магических» чисел: 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126 . Вещества, состоящие из атомов, ядра которых дважды «магические» , т.е. количество и протонов, и нейтронов составляют магические числа, отличаются **особой стабильностью**.

- **«Фундаментальные» числа:**

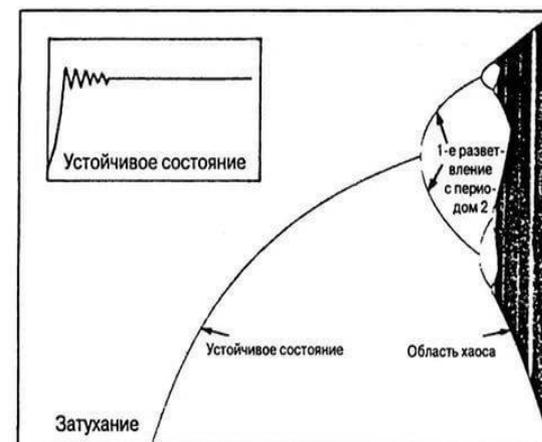
число Архимеда «пи» - 3,1415926535...,

константа хаоса удвоения периода: f - 4,66920016,

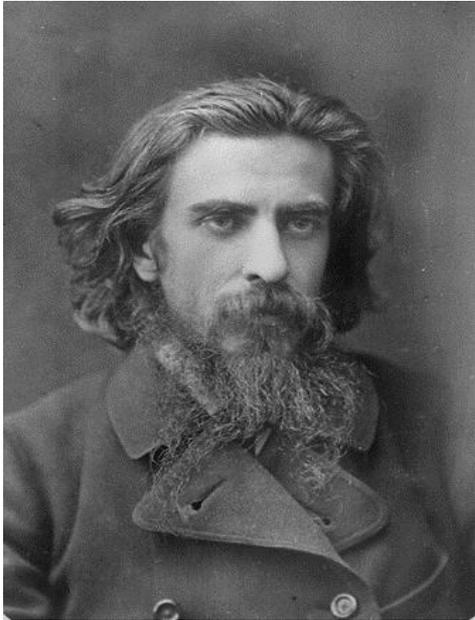
число Эйлера - 2,718281828...,

постоянная тонкой структуры - $1/137,0369990...$,

мнимая единица « i » - $\sqrt{-1}$, и.т.д.



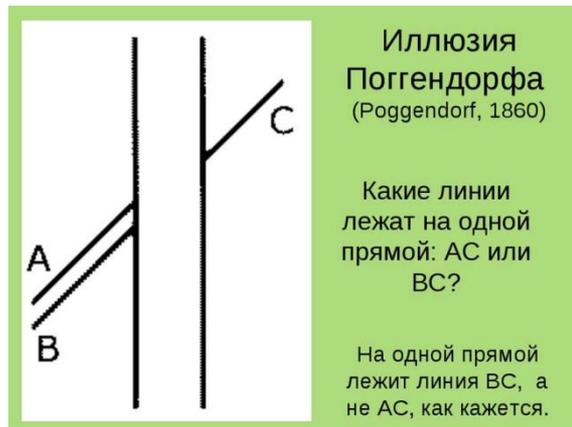
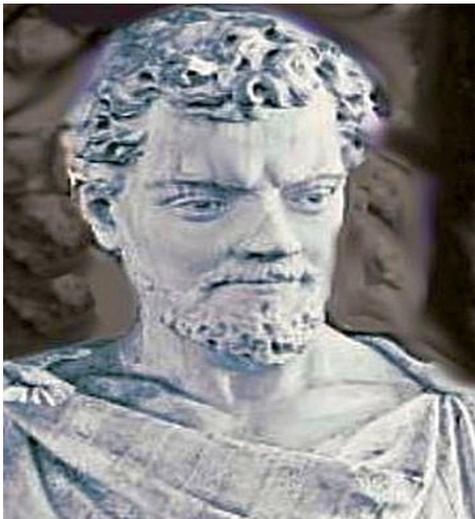
Числа как «тени» реальности



«Милый друг, иль ты не видишь, что всё видимое нами –
Только отблеск, только тени от незримого очами».

В.С. Соловьёв (1853 - 1900)
академик Императорской
Академии наук по разряду
изящной словесности

Наши глаза познать не умеют природу
предметов, а потому не навязывай им
заблуждений рассудка



Тит Лукреций (99 -55 лет д.н.э)

Числа «гармонии и порядка» - как отношение частей целого

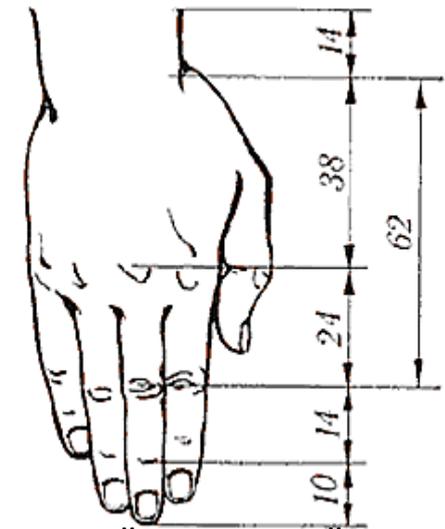
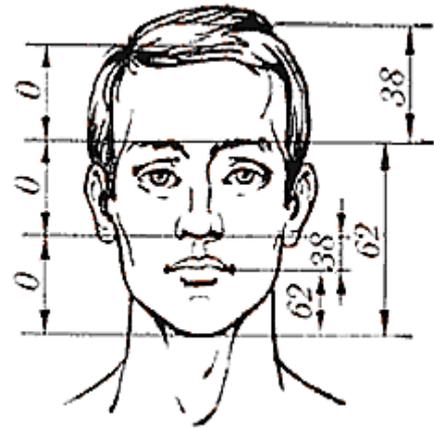
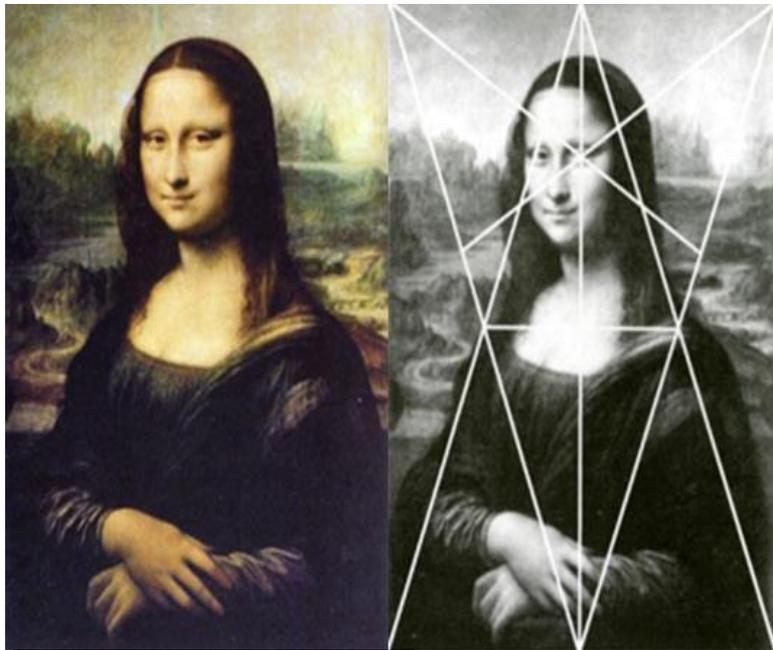


Рис. 2 числа ряда Фибоначчи, в котором каждый последующий член получаем из суммы двух предыдущих

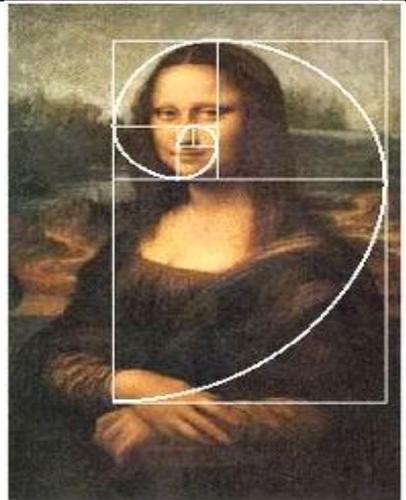


Рис. 1 Размерности человеческого тела соотносятся друг с другом в соответствии с множителем 1,618 033

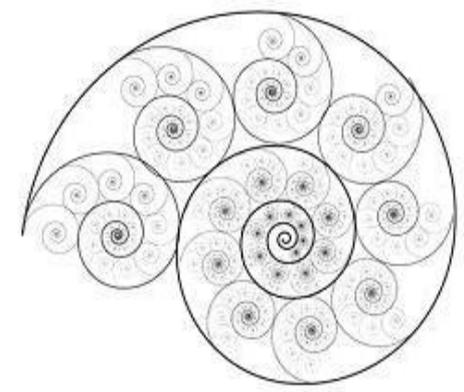
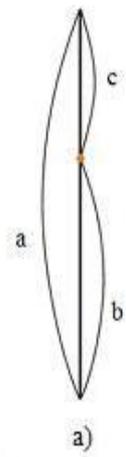


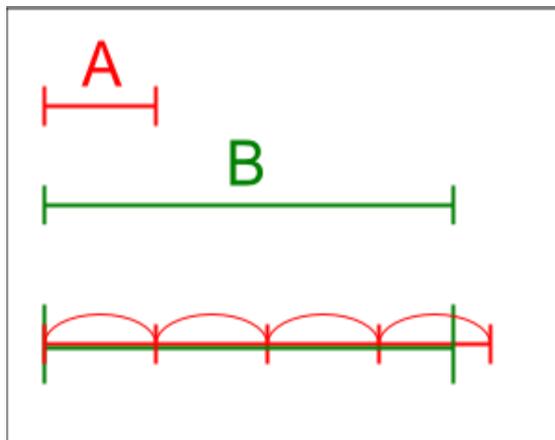
Рис.3 Золотое сечение на примере отрезка и многоплановость спиралей Фибоначчи

Описание «аддитивной» ИЛИ физической реальности

Аксиома Архимеда.

Формулировка : Имеется два отрезка. Отложив достаточное число раз меньший из двух отрезков, можно покрыть больший из них.

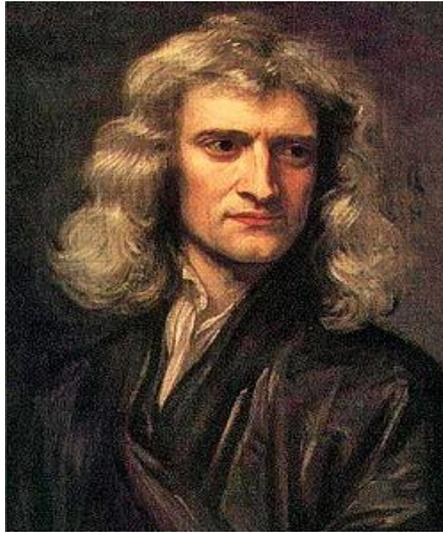
Суть аксиомы Архимеда заключается в отсутствии бесконечно малых величин, т.е. для любых двух элементов $A, B > 0$ существует целое число n такое, что.



$$n \cdot A > B$$

Число – количество «единиц» или отношение количеств

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



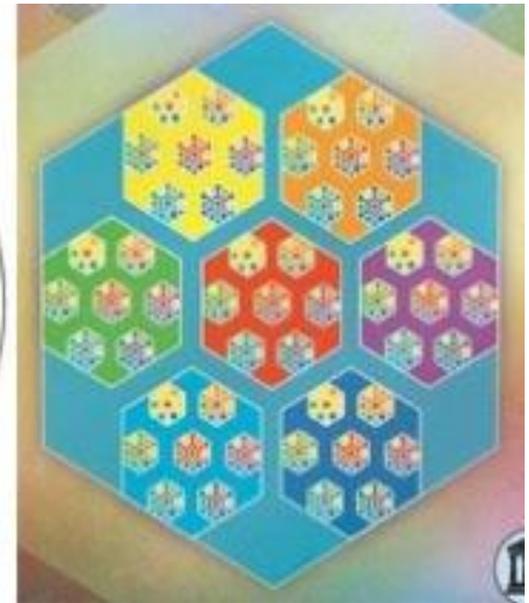
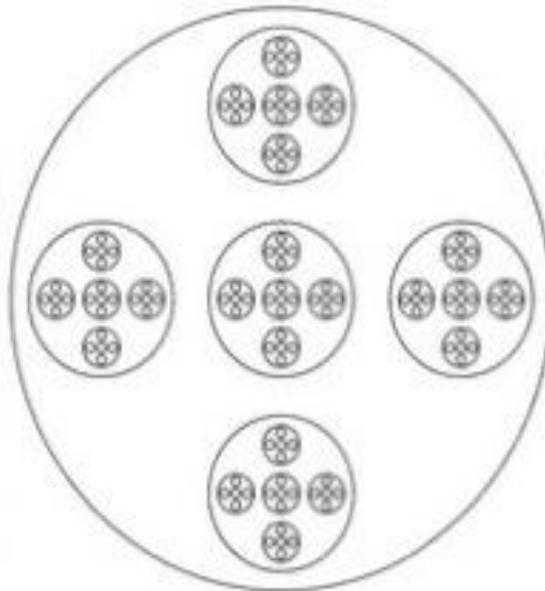
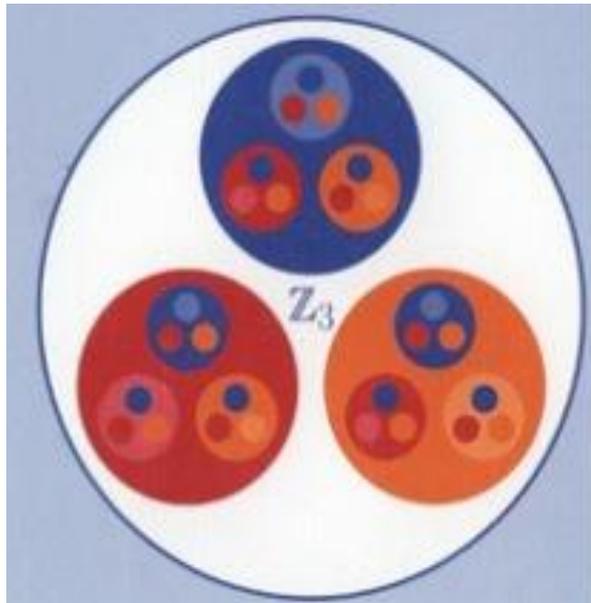
И. Ньютон
(1643 – 1727)

Но с античных времен **числа** изучаются как некие **объекты**, однако их никто «потрогать» не может, т.к. эти объекты не имеют физических носителей - веса или площади.

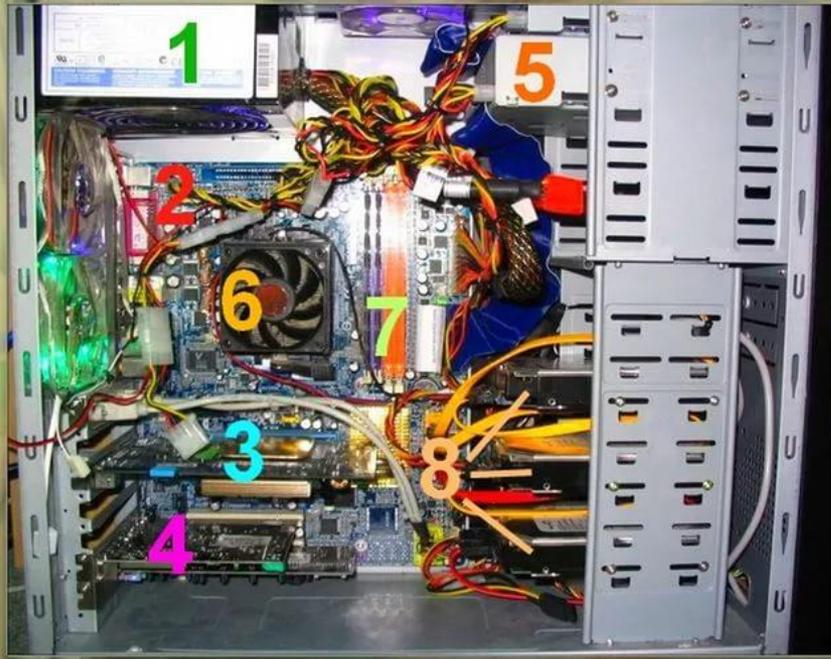
В компьютере «потрогать» число можно ! Но как это сделать ?

Все гораздо сложнее: какие числа можно использовать для
 числа для «**бесконечно вложенных структур**»

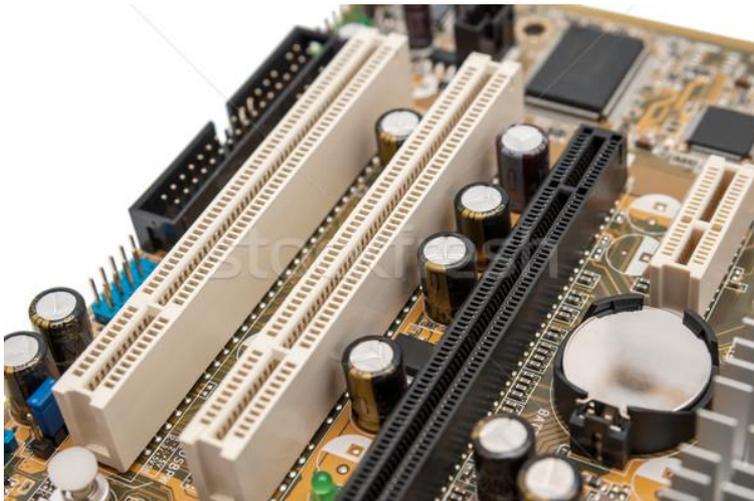
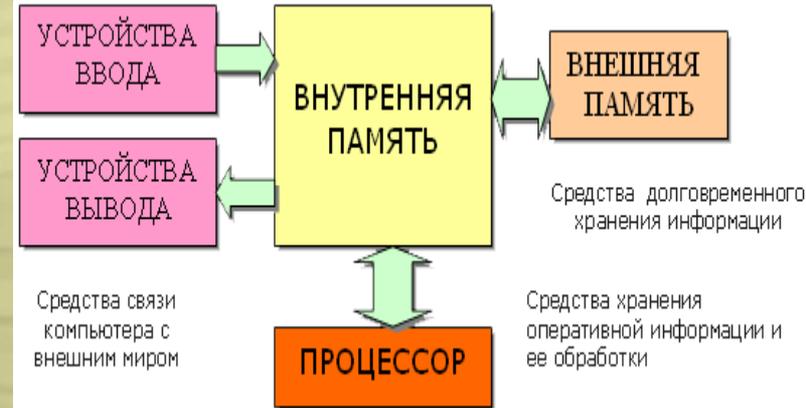
Разные системы счисления (множества чисел) неэквивалентны. Для описания т.н. **ультраметрических пространств** или систем бесконечно вложенных друг в друга объектов специальные **p-адические числа**



Где находятся числа в компьютере ?



- 1 Блок питания
- 2 Системная плата
- 3 Видеокарта
- 4 Звуковая карта
- 5 CD-DVD привод
- 6 Кулер
- 7 Модуль памяти
- 8 HDD (жесткий диск)

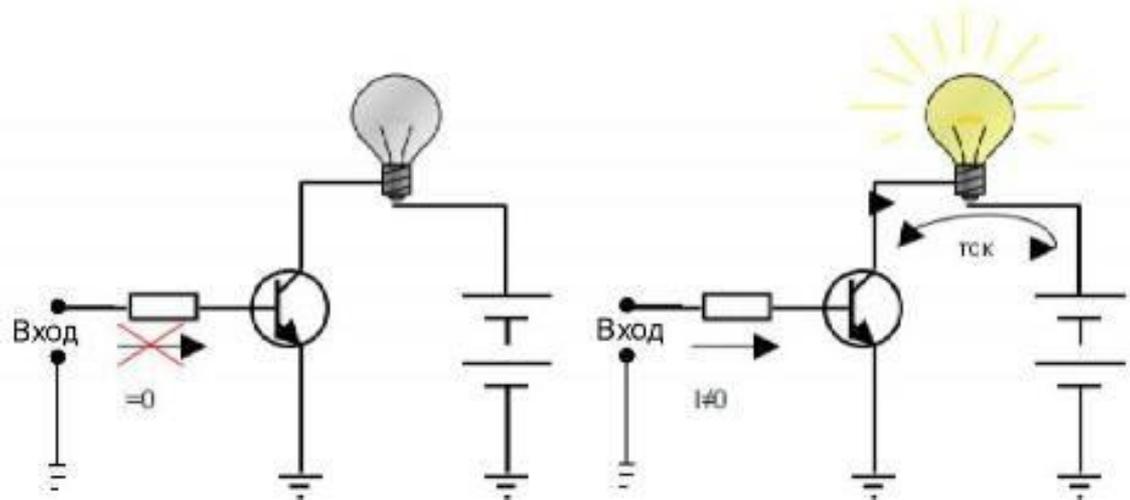
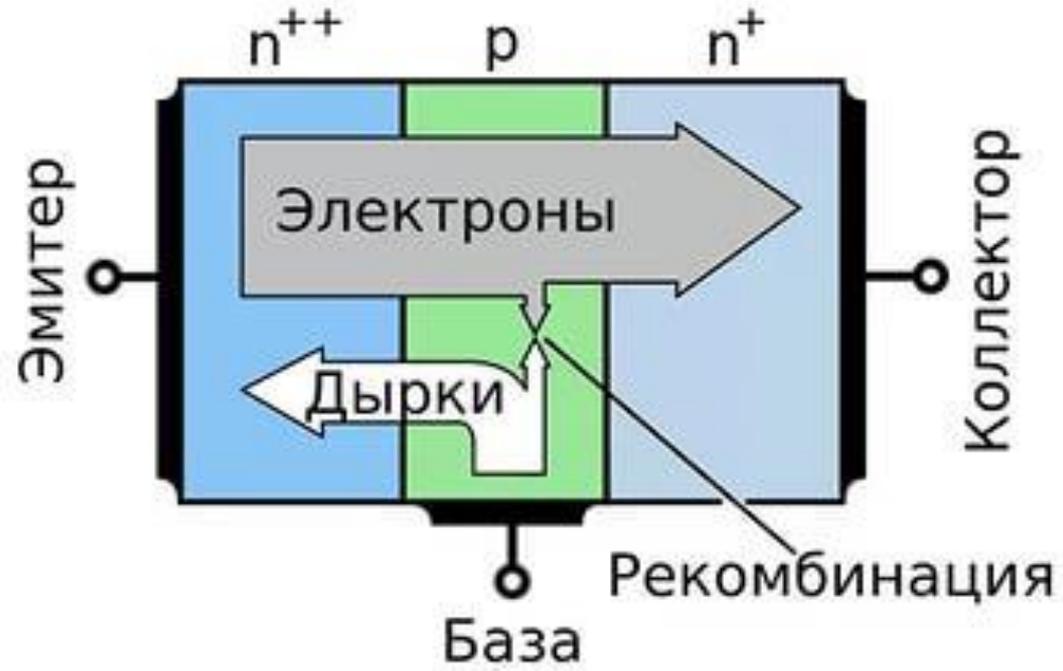


Физические начала «компьютерных наук»

- За прошедшие годы нормы техпроцессов производства транзисторов уменьшились со **180 до 13 нм**, но даже это не позволило существенно поднять «быстродействие» .
- Все компьютеры – это «счеты» :
- Производительность вычислений «упирается» в тепловыделение транзисторных элементов, так как второе начало термодинамики, запрещает уменьшение общей энтропии замкнутой системы, следовательно потеря информации в процессе вычислений, ведет к выделению тепла (энтропия **увеличилась**).



Электронный компонент компьютера – транзистор /ключ



Сколько транзисторов в микропроцессорах (CPU)

Сравнение характеристик CPU				
CPU	Техпроцесс	Число ядер	Число транзисторов	Площадь кристалла
AMD Bulldozer, 8 ядер	32 нм	8	1,2 млрд	315 мм ²
AMD Thuban, 6 ядер	45 нм	6	904 млн	346 мм ²
AMD Deneb, 4 ядра	45 нм	4	758 млн	258 мм ²
Intel Gulftown, 6 ядер	32 нм	6	1,17 млрд	240 мм ²
Intel Sandy Bridge E, 6 ядер	32 нм	6	2,27 млрд	435 мм ²
Intel Nehalem/ Bloomfield, 4 ядра	45 нм	4	731 млн	263 мм ²
Intel Sandy Bridge, 4 ядра	32 нм	4	995 млн	216 мм ²
Intel Lynnfield, 4 ядра	45 нм	4	774 млн	296 мм ²
Intel Clarkdale, 2 ядра	32 нм	2	384 млн	81 мм ²
Intel Sandy Bridge, 2 ядра (GT1)	32 нм	2	504 млн	131 мм ²
Intel Sandy Bridge, 2 ядра (GT2)	32 нм	2	624 млн	149 мм ²

Как оценить точность вычислений ?



Соотношение
неопределенностей
Гейзенберга

$$\Delta P \Delta X \geq \frac{h}{2\pi}$$

где $P = m \cdot dX/dt = m \cdot v$

Начала «цифровой физики» или законы (вычислимых) «возможностей»

- Соотношения неопределённостей Гейзенберга являются теоретическим пределом точности одновременных измерений двух некоммутирующих наблюдаемых

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

Физические «ограничения» компьютерных вычислений

Минимально возможные линейные размеры канала транзистора (x_{\min}) и максимальная рабочая частота ($f_{\max} = 1/t_{\min}$) ограничиваются соотношениями неопределенностей Гейзенберга:

$$\Delta x * \Delta p = x_{\min} * \Delta p \geq h/2\pi, \quad \text{где } \Delta p = \sqrt{2} * m * E_{\text{bit}} = \sqrt{2} * m * kT * \ln 2$$

$$\Delta t * \Delta E = t_{\min} * \Delta E \geq h/2\pi, \quad \text{где } \Delta E = kT * \ln 2$$

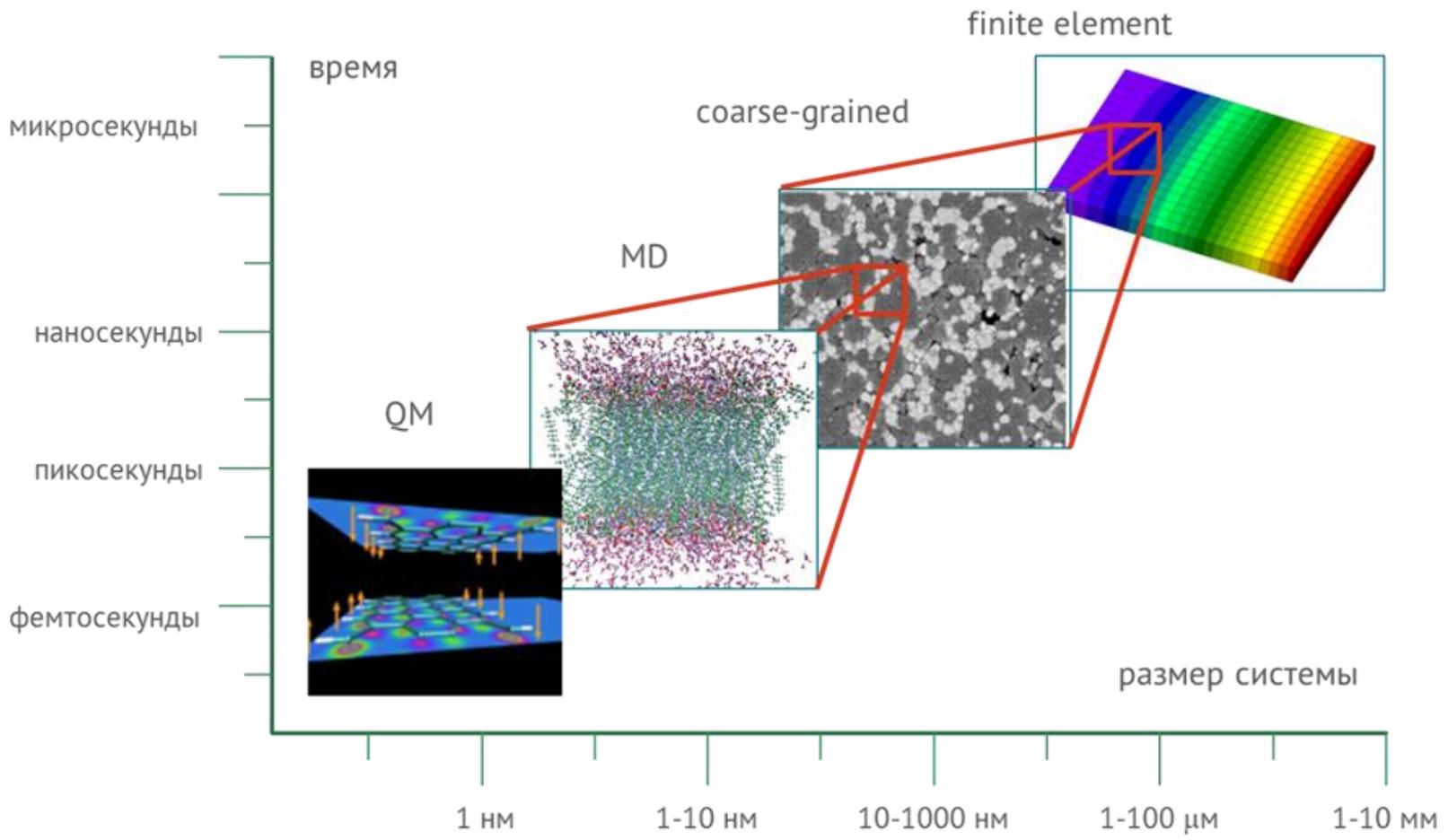
при $T=300$ К, получим $x_{\min} = 1.5$ нм, $t_{\min} = 4 * 10^{-14}$ с .

Поэтому, если создать компьютер, у которого одновременно будет и самая большая плотность упаковки n_{\max} , определяемая x_{\min} и максимально возможная частота (определяемая t_{\min}), и оценить, какая при таких условиях должна выделяться мощность P на единицу площади, получим:

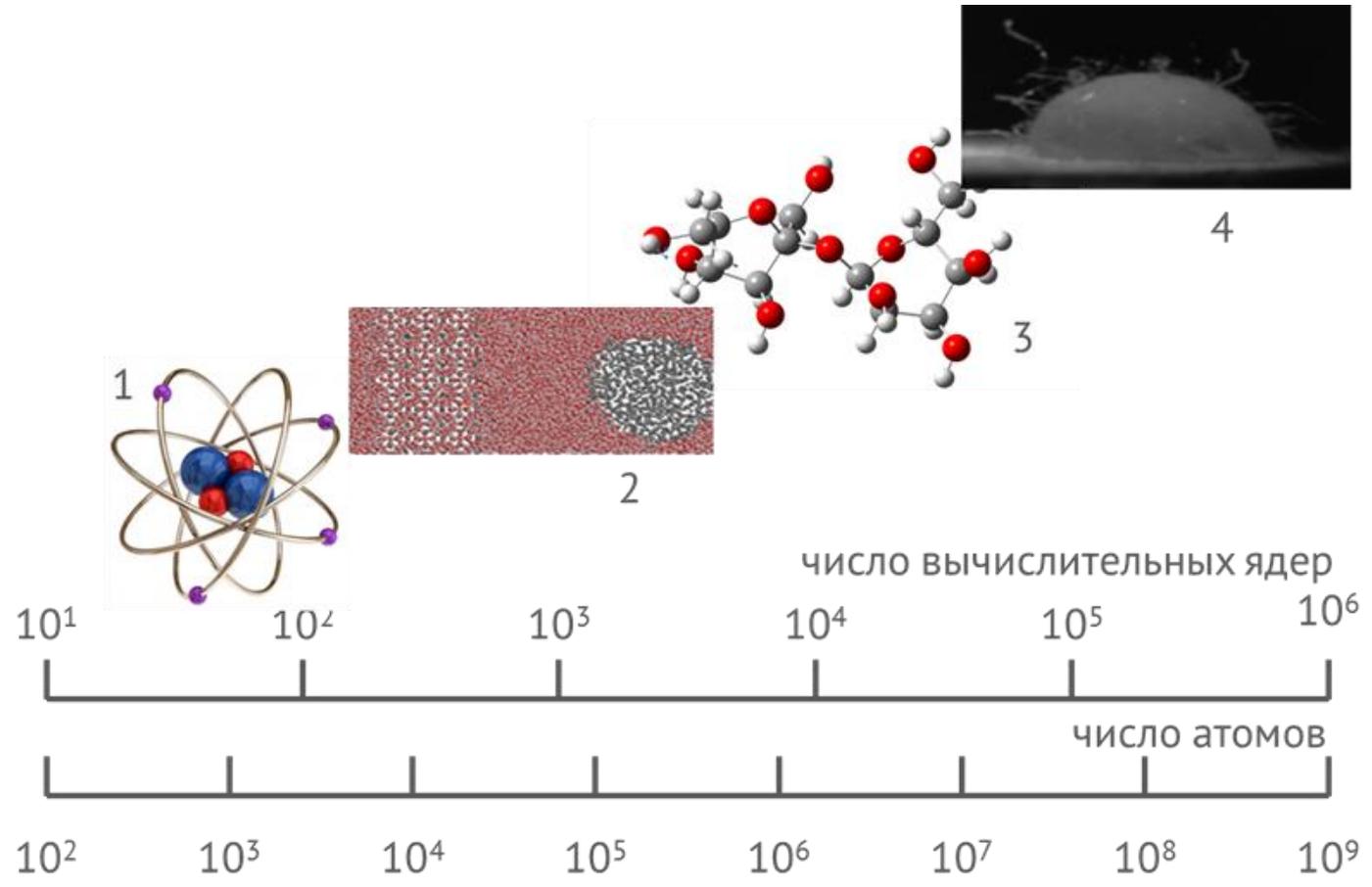
$$P = E/t = n_{\max} E_{\text{bit}}/t_{\min} = kT * \ln 2 / ((x_{\min})^2 * t_{\min}) = 3.2 * 10^6 \text{ Вт/см}^2,$$

Год внедрения	1997	1999	2001	2003	2005	2007	2009
Технологический процесс	250 нм	180 нм	130 нм	90 нм	65 нм	45 нм	32 нм
Длина затвора	200 нм	130 нм	70 нм	50 нм	35 нм	25 нм	15 нм

Соотношение «размер системы – время протекания процессов»



Ядра процессоров и атомы материи



Суть проблемы

- Рольф Ландауэр в 1961 году показал, что **потеря одного бита информации** должно приводить к выделению не менее $k \cdot T \cdot \ln 2$ джоулей энергии, где k – постоянная Больцмана и T – температура системы. Эта энергия невелика, но в пересчете на CPU в целом суммарная энергия вырастает уже до величин порядка одного Джоуля за каждую секунду работы, то есть порядка одного Ватта=Дж/с
- На практике этот теоретический минимум еще «умножается» на ненулевое сопротивление и прочие неидеальности реальных полупроводников. В результате мы получаем процессоры, которые по удельному тепловыделению «обгоняют» утюги, а к.п.д. – **хуже, чем у паровоза.**

Особенности «вычислительных процессов» в компьютере

- Вентили «И-НЕ», принимая на вход **два бита**, выдают результат размером всего **один бит**. По полученному результату, разумеется, нельзя восстановить значения исходных аргументов.
- Итак, каждая логическая операция (вычисление) вентиля «И-НЕ» уменьшает информационную энтропию системы (на 1.189 бита), и, соответственно, рассеивает не менее ~ 0.02 эВ тепла.
- Аналогично и с ячейками памяти ОЗУ - любая запись в ячейку приводит к стиранию предыдущих значений. На информационном уровне данные просто «теряются», но на физическом уровне потеряться «просто так» данным не позволяют законы сохранения заряда и энергии. **Фактически, «старая» информация не уничтожается, она рассеивается в пространстве в виде тепла и паразитных излучений.**

Из гипотезы следует концепция Digital physics Кónрада Цýзе :
Вселенная на фундаментальном уровне имеет «цифровую»
информационную природу, и, следовательно, **вычислима**, т.е.
математически **изоморфна** цифровому компьютеру - Digitus (лат.) – палец

Фундаментальные проблемы компьютерных наук:

- какую архитектуру имеет «натуральный» компьютер
- на каком языке написано ПО такого компьютера
- какие математические операции выполняет «цифровой» компьютер Природы

Konrad Zuse



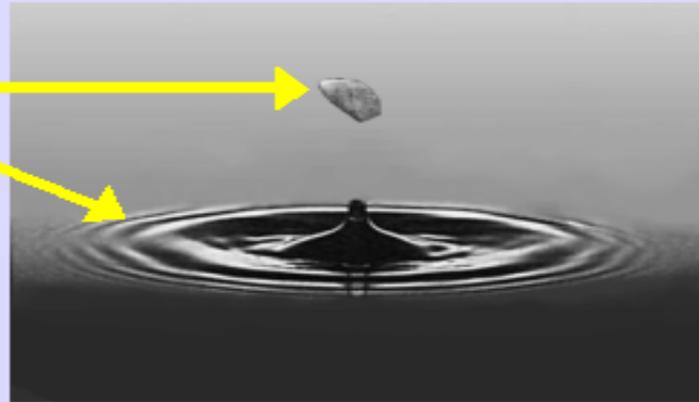
1910 –1995

1969, Кóнрад Цúзе в книге Calculating Space сформулировал гипотезу , что «Вселенная на фундаментальном уровне – цифровой процессор».

Example 1

*A stone and a water wave are of **different matter**.*

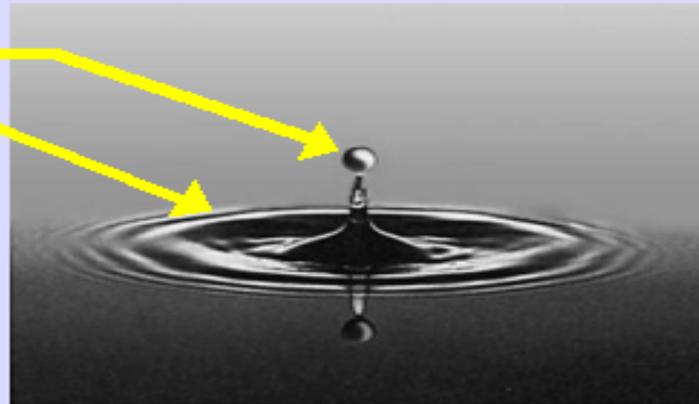
In this case, the wave-particle duality remains an enigma because a stone cannot become water and conversely.



Example 2

*A drop of water (corpuscle) and a water wave are of **identical matter**. Water has either a corpuscle behavior or a wave behavior.*

In this particular situation, wave-particle duality is explained with logic and consistency.



Логическое обоснование К-В дуальности проявляется там, где частица, волна и среда имеет одно и тоже строение

Примеры «дуальности» в макро реальности

Дуальность «требует» памяти о том, в каком состоянии находится объект

Particle	wood	stone	water	water	glass	plastic	carbon
Wave	water	water	water	water	water	water	water
Medium	air	water	air	water	water	water	air
Duality ?	No	No	No	YES	No	No	No

Impossibilities (under No cells)

Duality is fully explained in this particular case (under YES cell)

«Память» макрореальности реализуются через

инерционность и законы сохранения

ИТАК:

Физика имеет дело с объектами реальности , описание которых не могут быть сведены к следствиям, вытекающим из ПРИНЦИПА «достаточного основания» , где причины и следствия детерминированы связаны и обратимы.

Физическая реальность

замкнута относительно энергетических инвариантов, а для ее описания подходят «цифровые меры», которые выражаются через рациональные или вещественные числа.

порождает явления, которые можно наблюдать, прилагая к объекту с помощью приборов (инструментов) энергию в различных формах и получая **информацию** о том, какими характеристиками явление обладает.

Энерго-информационная сепарабельность природы

Контр пример

- «кинореальность» непосредственно не порождает физических явлений, так как **«энергетически» не замкнута**, но ... оказывает информационное воздействие на объекты, которые способны эту информацию воспринимать.
- «кинореальность» - это объекты, которые с точки зрения классической физики не образуют «состоявшуюся» реальность, поэтому являются лишь потенциально возможными (например, чертеж дома).
- К «потенциально возможным» относятся процессы, реализуемые объектами, которые наделены памятью и сознанием, т.е. живые организмы, наделенные «свободой воли», способные к «движению» к цели под воздействием не только энергии, но и информации.

Н. Бор - к физике относится только то, что мы можем сказать о природе – суть информационного натурализма

Классические (не квантовые) представления о информации исходят из того, **что информации – это «снятая» неопределенность**, которая характеризуется мерой случайности. Классическая случайность является «ненастоящей», а субъективной мерой для конкретного наблюдателя .



В макро реальности «случайный» объект обладает конкретным свойством или значением параметра до измерения. Само **измерение просто проявляет** то, что было ранее скрыто. ... от наблюдателя.

Итак

- В макро реальности наблюдаемые явления на информационном уровне рассмотрения - вычислимы .
- Взаимодействие между макроскопическими объектами, которые обладают памятью – киберфизическими объектами, может формировать информационные «корреляции» или **суперпозиции потенциально возможных состояний**.
- Такая **суперпозиция** не является физическим явлением, а есть **информационно-вычислительный феномен**, описывающий свойства объективной реальности .