

ВСИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

курс: Введение в профессиональную  
деятельность

## ЛЕКЦИЯ 2: МАТЕМАТИКА ФИЗИЧЕСКОЙ РЕАЛЬНОСТИ.

9.02.2023

Есть две одинаково удобные позиции:  
либо **верить** во все, либо во всем сомневаться;  
то и другое избавляет от необходимости **думать**.

**А. Пуанкаре**

- **Используемые в лекции понятия:**
  - Число – элемент поля (Пифагор – «все есть число»)
  - Поле, кольцо, группа – множества с заданными на них операциями
  - Прямые задачи: алгоритм-данные-результат
  - Обратные задачи: данные-алгоритм-результат
  - Реификация данных
  - Аксиома Архимеда
  - Natural вычисления
  - Искусственные нейронные сети
  - Информация
  - It from bit
  - Эмерджентность
  - Тезаурус

1. Бриллюэн Л. Научная неопределенность и информация. М.: Мир, 1966. 271 с.
2. Кадомцев Б. Б. Динамика и информация. М.: Успехи физических наук, 1999. 394 с.
3. Менский М. Б. Квантовые измерения и декогеренция. М.: Физматлит, 2001. 232 с.
4. Тарасов В. Е. Квантовые диссипативные системы. Определение и алгебраическая структура // Теоретическая и математическая физика. 1997. Т. 110. № 1. С. 73–85.
5. Холево А. С. Квантовые случайные процессы и открытые системы. М.: Мир, 1988. 223 с.

# Фундаментальная проблема точности описания физического мира: ЧИСЛО vs СЛОВО

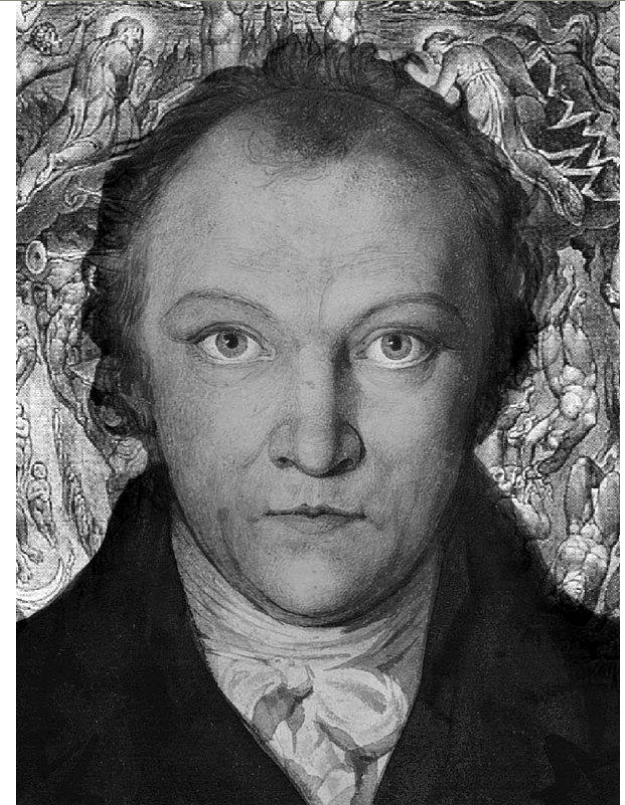
В одном мгновенье видеть **вечность**,  
 Огромный мир - в зерне песка,  
 В **единой** горсти - **бесконечность**  
 И небо в чашечке цветка.

- Уильям Блейк (1757-1827)
- Йсвм

**=, 1, 0, +/-∞**

«похоже», единица, ноль, бесконечность

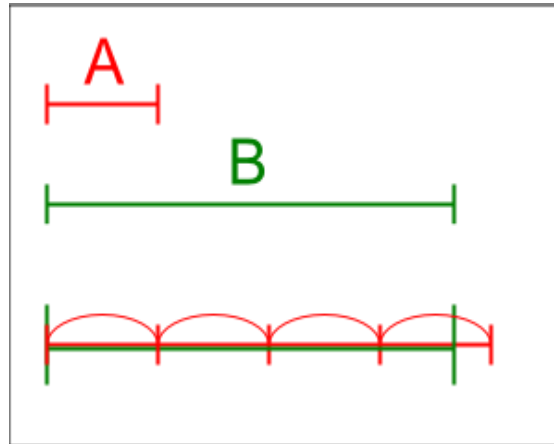
$e^{-i\omega t}$ ,  $\sqrt{a^2 + b^2}$ ,  $\frac{dy}{dx}$  ... ..



To see a world in a grain of sand  
 And a heaven in a wild flower,  
 Hold infinity in the palm of your hand  
 And eternity in an hour.

# Аксиома Архимеда в описании физической реальности

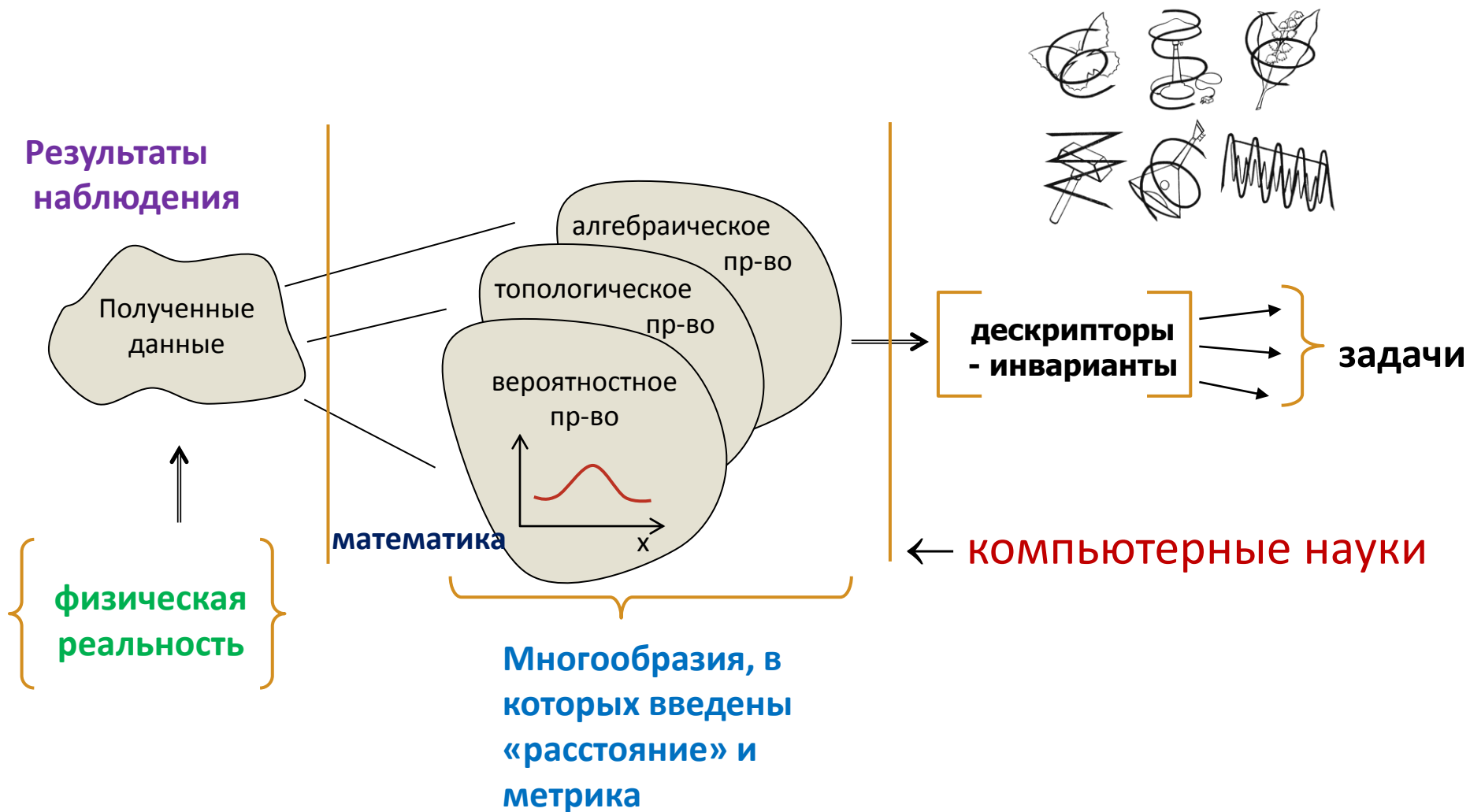
Аксиомой Архимеда называется такое утверждение: если даны отрезки А ( масштаб) и В ( объект измерения) , то можно так отложить отрезок А несколько раз, что сумма будет равна или «немного» превосходить отрезок В ,



Утверждение : если изучаемое воспринимаемое многообразие точек или ПРОСТРАНСТВО-ВРЕМЯ архимедово, то оно одномасштабно, значит гладко, «делимо и однородно».

**Только к такому многообразию можно применять методы современной математики.**

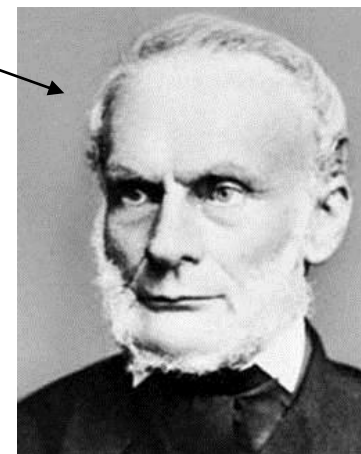
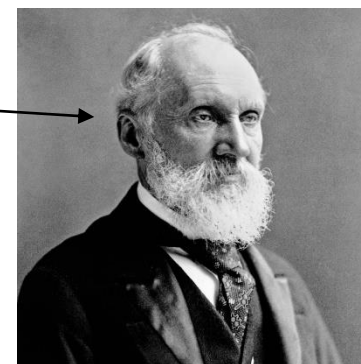
# Подходы к описанию «мира» с точки зрения математических наук



# Исторический экскурс в эволюцию научных понятий, которые описывают физический мир: *энергия-энтропия-информация*

- Слово «энергия» введено Аристотелем в трактате «Физика», однако там оно обозначало деятельность человека.
- Термин «**энергия**» в современном понимании впервые появился в начале XIX в. в работах Т. Юнга.
- В 1853 г. впервые было применено словосочетание «**потенциальная энергия**» в смысле запасенная энергия. А в 1870 г. У. Томсон (Кельвин), ввел термин «кинетическая энергия»
- В 1865 Р. Клаузиусом было введено понятие «**связанная**» **энергия  $W_{\text{связ}}$**  - это та часть **внутренней энергии тела (системы из молекул)**, которую нельзя использовать для совершения механической работы.

Было показано, что число различных **микроскопических состояний**, которые может принимать совокупность молекул, оставаясь при этом **целостным макроскопическим «объектом»**, огромно, поэтому **фактически не определено** (введена мера или энтропия - мера неупорядоченности или неопределенности состояния физической системы).



Энтропия (др.греч. «превращение» - «**чего**» во «**что-то**» ? )  
 Эне́ргия (др.-греч. «действие»- «**на что**» и « **как**» ?)

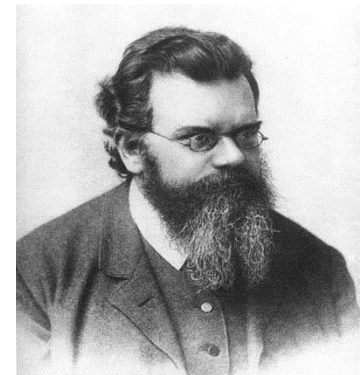
- Дано; Каждое физическое тело, оказывает «действие» на другие тела и у каждого тела есть особое состояние, которое называется **температура**. Чтобы связать действие (энергию) с температурой в 1877 г. **Людвиг Больцман** ввел понятие **термодинамической энтропии S** размерностью  $[Дж \cdot К^{-1}]$  ;

- Эта величина **S** входит в выражение для **связанной энергии** тела  $W_{связ} = T \cdot S$ , в результате полная энергия системы имеет вид  $U = G + W_{связ} = G + T \cdot S$ ,

где **G** - «**свободная энергия**», которую можно исп. для **совершения работы**. На практике обычно интересуются изменением **свободной энергии**. Так, если температура постоянна (процесс изотермический – нет взаимодействия с внешней средой), то

$$\Delta G = \Delta U - T \cdot \Delta S$$

- Итак, можно сказать «энтропии» характеризует «превращения» «**чего**» ? - **свободной энергии**, «**во что-то**» - в **работу**.





Уточнение: с ростом энтропии уменьшается «свободная энергия» и ... возможность «совершать» работу

- Если изменение энтропии при переходе из состояния 1 в состояние 2 обозначить  $\Delta S_{1 \rightarrow 2}$ , а изменение тепла  $\Delta Q = Q_{1 \rightarrow 2}$  то:

а) при изотермическом процессе ( $T = \text{const}$ ):  $\Delta S_{1 \rightarrow 2} = Q_{1 \rightarrow 2} / T$

- $Q_{1 \rightarrow 2}$  - количество тепла, полученное системой в ходе перехода из первого состояния во второе

б) в случае изменения температуры:  $\Delta S_{1 \rightarrow 2} = \int_1^2 dQ / T$

Из формулы  $\Delta G = \Delta U - T \cdot \Delta S$  видно, что если **энтропия возрастает** ( $\Delta S > 0$ ), то **свободная энергия системы уменьшается** ( $\Delta G < 0$ ).

- В изолированной системе общее **изменение свободной энергии всегда отрицательно** (то есть свободная энергия изолированной системы **всегда уменьшается**, а возможность совершения работы **сокращается**).

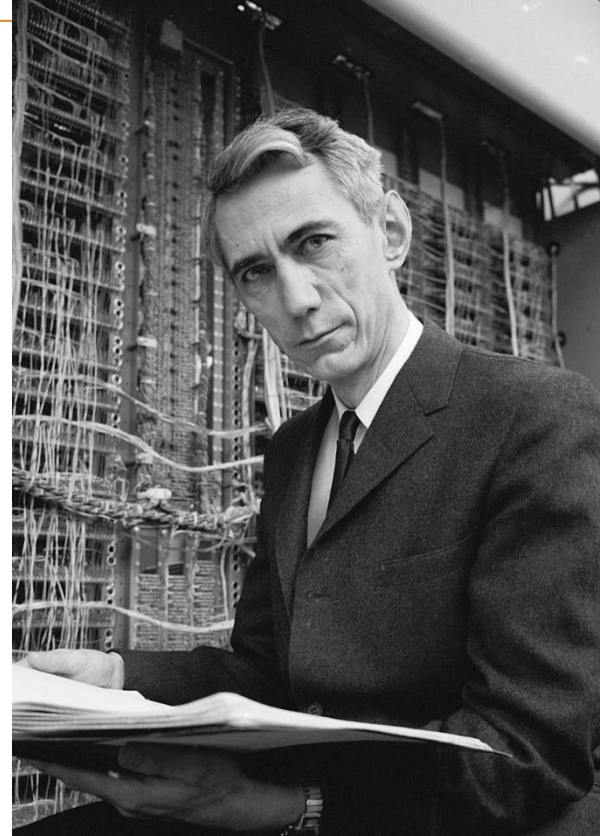
# От термодинамической энтропии к информации по аналогии

- Термодинамика Больцмана: **Дано** – вещество, **состоящее из молекул**.  
Макро-состоянию вещества – физическое тело, которому сопоставляется **мера** - количество **связанной энергии** (это та часть энергии молекул, которую нельзя превратить в работу) **на единицу температуры**.
  - **Идея:** вместо «тела состоящего из вещества» рассмотрим «сообщение», состоящее из символов. **Убывание неопределённости состояния вещества (убывание энтропии) приводит к приросту «чего-то» другого, что будем называть «информация»**
  - Формула Хартли (1928 г.): 
$$I = K \log_2 N$$

логарифмическая мера информации, которая определяет **количество информации**, содержащееся в сообщении, где  $N$  — количество символов (букв) в используемом **алфавите** (**мощность алфавита**),  $K$  — длина сообщения (количество символов в сообщении),  $I$  — количество информации в сообщении **в битах**. Количество возможных вариантов разных сообщений  $M=N^K$
  - **Пример:** Цепь ДНК состоит из 4-х азотистых оснований: Аденин, Гуанин, Тимин, Цитозин. Мощность алфавита ДНК  $N$  равна 4. Каждое основание (буква в сообщении ДНК) несет  **$i=\log_2 4=2$  бита информации**

## Про сообщение, которое передается в канале связи

- В 1948 г. Клод Шеннон (Claud E. Shannon) ввел меру информационного **содержания сообщения** как реального «объекта состоящего из различных символов» и, который надо передать **по каналу связи**, но с помехами.
- По аналогии с термодинамикой, Шеннон ввел понятие **информационной энтропии**, которую определил не через
  - макросостояние тела ( у отдельной молекулы такого состояния нет) – его **температуру**, а **через другое**
  - **макросостояние сообщения-вероятность** того, что конкретный символ из известного алфавита входит в передаваемое сообщение.



# Теория передачи информации :

- **Дано** - **сообщение**, состоящее из символов, которое надо передать через канал связи. **Смысл сообщение не имеет значения**. В канале на сообщение воздействуют помехи. Вероятность появления  $i$ -ого символа из алфавита  $A$  в передаваемом сообщении ( появление рассматривается как событие) равна  $p_i$
- Макро-состояние источника сообщений характеризуется **некоторой неопределенностью** – эту неопределенность называют информационной энтропией: среднее количество информации, приходящееся на одно сообщение:

$$H(x) = - \sum_{i=1}^n p(i) \log_2 p(i). \quad \sum_{i=1}^n p_i = 1$$

- Энтропия определяет величину пропускной способности канала связи требуемой для «надежной» передачи информации. Энтропии источника данных характеризует среднее число битов на элемент данных, требуемых для её кодирования без потери информации:
  - $H(X) \geq 0$ ,  $H(X) = \log_2 X$ , если элементы  $X$  равновероятны,
  - $H(X*Y) = H(X) + H(Y)$ , если  $X, Y$  – независимы.

## Уточнения : b-арная энтропия (b=2,3,...)

- Если есть источник сообщений  $S=(A, P)$  с алфавитом  $A=(a_1, a_2, \dots, a_n)$  и **распределением вероятности**  $(p_1, p_2, \dots, p_n)$ , где  $p_i = p(a_i)$

$$H_b(S) = - \sum_{i=1}^n p_i \log_b p_i.$$

- Когда следование символов алфавита в сообщении не независимо (например, во французском языке после буквы «q» почти всегда следует «u») количество информации, которую несёт последовательность таких символов (а, следовательно, и энтропия), очевидно, меньше. Для учёта таких фактов используется условная энтропия. Для вероятности двухбуквенных сочетаний

$$H_1(S) = - \sum_i p_i \sum_j p_i(j) \log_2 p_i(j),$$

- где  $i$  - это состояние, зависящее от предшествующего символа, и  $p_i(j)$  - это вероятность  $j$  при условии, что  $i$  был предыдущим символом. Для русского языка

$$H_0 = 5, \quad H_1 = 4,358, \quad H_2 = 3,52, \quad H_3 = 3,01$$

# Энтропия в физике и информационных системах

- В концептуальном отношении термодинамическая энтропия и энтропия Шеннона эквивалентны: число распределений молекул, выражаемое энтропией Больцмана, отражает количество Шенноновской информации, необходимое для реализации конкретного распределения молекул. Но есть различия:
- Во-первых, энтропия, которой пользуются физики, выражается отношением энергии к температуре [ Дж\*К<sup>-1</sup>], а энтропия Шеннона, используемая специалистами по системам передачи информации, – числом битов, т.е. величиной принципиально безразмерной.
- Во-вторых, приведенные к одним и тем же единицам измерения численные значения этих величин будут различны. Например, информационная энтропия микросхемы, хранящей один гигабайт данных, составляет около  $10^{10}$  бит (1 байт = 8 бит), а термодинамическая энтропия той же микросхемы при комнатной температуре имеет порядок  $10^{23}$  бит.

# Информационная мера (емкость) различных кодов: множества - молекул вещества, чисел и слов натурального языка

- Фундаментальный вопрос: Какое количество информации необходимо для полного описания Вселенной?
- Технический вопрос: Может ли этот объем информации уместиться в памяти компьютера?
- Философский вопрос: Что точнее описывает «мир» – число или поэтический образ?

Рассмотрим логику того, как физики вывели **абсолютный предел объема информации ( it from bit)**, которую может хранить определенная область физического пространства или заданное количество вещества = энергии.

# Логика науки: явления – события – сообщения - понятия

- Определения:
  - **явления**, сопровождаемые актом наблюдения – есть **события**
  - события, о которых есть сообщения – суть феномены
  - феномены факторизуют физическую реальность на дискретное множество **понятий** – сущности языка науки
- Требования к понятиям:
  - валидируемость (верификация) с помощью наблюдений
  - фальсифицируемость – возможность экспериментального опровержения

к. Поппер: *утверждения, полученные путем индуктивного обобщения, делают их лишь **весьма вероятными**. Одного факта достаточно, чтобы это утверждение **опровергнуть**.*



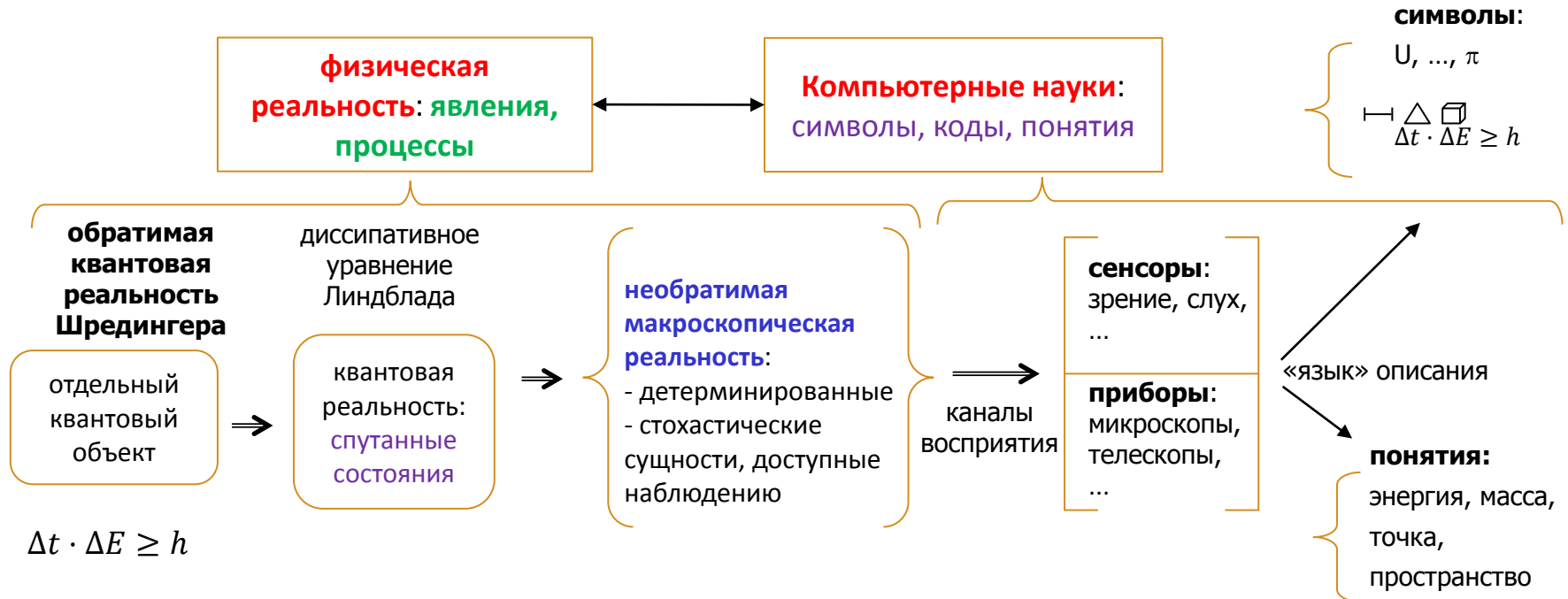
# Перевод проблем описания «мира» в научные теории - аксиоматические «плоскости»

- **аксиома модели:**

- Окружающая человека физическая реальность – есть **целостная система**, состоящая из совместимых, но разных элементов-сущностей. Система имеет **модель**

- **аксиома системы:**

- Система обладает **эмерджентными свойствами**, которых ее отдельные элементы не имеют. Система имеет эмерджентные свойства



# Эволюция «языка науки»

- **Гегель, Кант, Аристотель:**
  - метафизика и логика = философские аргументы
- **К. Гёдель, Р. Карнап:**
  - формальный синтаксис понятий vs философские аргументы
- **А. Тарский, А. Тьюринг, А. Колмогоров:**
  - {синтаксис понятий, семантика отношений} + программная модель из конечного числа операторов

информационный  
аспект языка  
науки с мире  
субъектов



## К. Поппер:

Научную теорию нельзя проверить на окончательную истинность, но ее можно опровергнуть (**фальсифицировать**):  
«мир» объектов + «мир» субъектов  $\Rightarrow$  «мир» научных знаний

материальный аспект  
явлений в «мире» объектов

**Задача 1.** Вычисление решения задачи **за конечное время** с использованием алгоритма (требования: быстрее, точнее, с меньшими затратами, операции: +/-, >, = )

**Задача 2.** Построение алгоритма (программы), содержащего **конечное число операций**, решения прикладной задачи.

**Требование к алгоритму:** понимание задачи, объяснение результата решения, обобщение результатов, анализ физической реализуемости ....? )

**«Классическая» проблема КН:**  
решение **прямых задач** путем вычисления **«единственного»** решения уравнений, используя алгоритмы ( программы), управляющие состоянием **«конечного автомата»**

**«Актуальная » проблема КН:**  
**решение обратных задач**, которые не имеют единственного решения и...выбор одного ( из счетного или даже несчетного множества) из возможных путем **регуляризации** – учета дополнительных ограничений, которые **формально** в задаче **не сформулированы**

Упорядочить представления о **конечной** (**мыслимой**) и **бесконечной** (немыслимой) частях реальности введением **меры информации**, считая ее **атрибутом** той части реальности, которая является **вычислимой**. Все **мыслимое имеет символьное представление**

Аксиома. **Символьное представление вычислимо. используя:**

- **Императивное программирование** (от машины к человеку) описывает процесс вычисления в виде конечного набора инструкций над символами-кодами
- **Декларативное программирование** (от человека к машине) задает спецификацию (описание) цели от человека к машине (CREATE TABLE if NOT EXIST staff...)
- **Функциональное программирование** (от функции к функции) вычисляет функции, аргументы которых есть другие функции ...

# МОДЕЛИ РЕАЛЬНОСТИ ФИЗИЧЕСКОГО И ИНФОРМАЦИОННОГО ПЛАНОВ

## Модели «Мира»:

- **физического плана** описывают реальность, в которой:
  - «стрела» времени физически не обратима (прошлое и будущее не «симметричны»),
  - действует принцип «относительности» (СТО, ОТО) и
  - принцип «неопределенности» (например, произведение длительности сигнала на ширину спектра равно/больше  $2 \cdot \pi$ . или  $(f_2 - f_1) < C/(Tt)$ )
- **информационного плана** – глобальные и открытые. В таких моделях «стрела времени» информационно обратима, поэтому «прошлое» и «будущее» информационно достижимо, но действует принцип относительности по отношению к знаниям субъекта.

# ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ОПИСАНИЯ РЕАЛЬНОСТИ: ПАРАДОКС ДЕ ФИНЕТТИ:

Существуют статистически независимые во времени, но не заменяемые последовательности, **ИМЕЮЩИЕ одинаковые** вероятностные **распределения**, но **разные информационные** сущности: Определение бесконечная последовательность

$$X_1, X_2, X_3, \dots$$

случайных величин состоит из переставляемых (exchangeable) **подпоследовательностей, если**

$$X_{i_1}, \dots, X_{i_n} \text{ and } X_{j_1}, \dots, X_{j_m}$$

оба эти подпоследовательности имеют одинаковое **совместное распределение вероятностей.....** (в физике используется понятие эргодичность)

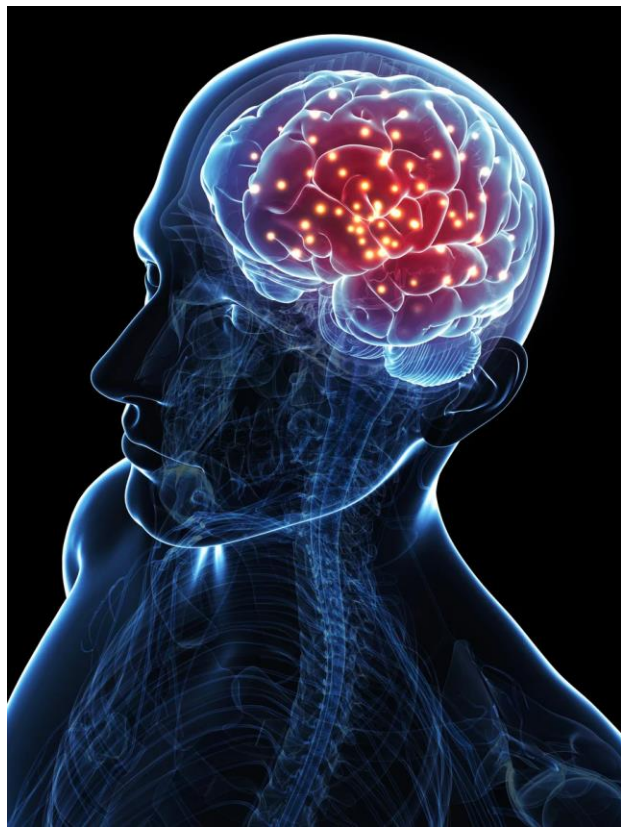
Вопрос: содержат ли **процессы эволюции** неживой и живой материи переставляемые под-последовательности **наблюдаемых данных?** **Если вероятность события не равно нулю, то это событие обязательно произойдет.....**

**Пример;** Парадокс де Финетти: если капитал страховой компании ограничен, то вероятность её разорения за **бесконечное время** равна единице.

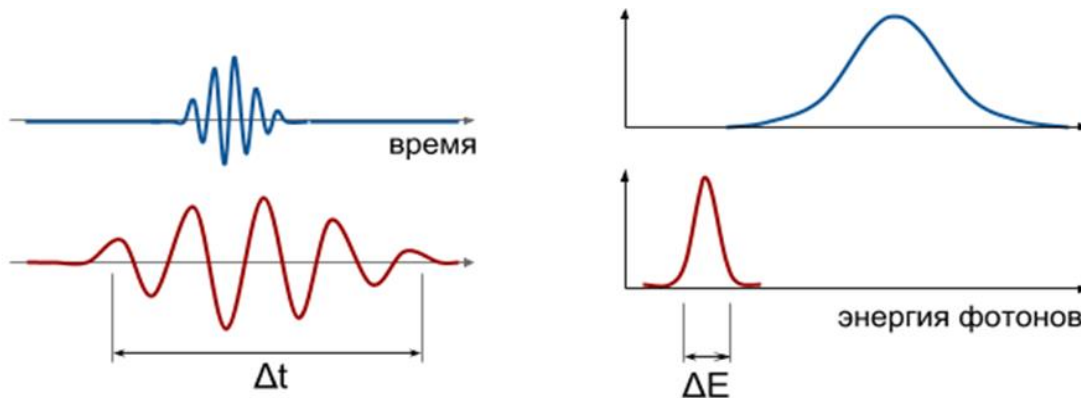


## КАК ВЫЧИСЛЯЕТСЯ МЕРА «РАЗЛИЧИЯ» ?

Мозг высших организмов — наиболее эффективный продукт дифференциации материи. Он возник как итог интеграции большого числа нервных элементов эволюция которых была направлена на обеспечение выживания сложных организмов в сложной среде.



Соотношение неопределенностей энергия–время чем короче световой импульс, тем больше разброс энергий у фотонов:  $\Delta t \cdot \Delta E \sim \hbar$ , где  $\hbar$  — постоянная Планка,  $\hbar \approx 10^{-34}$  Дж·с. Чтобы «реальность» длилось время  $t$ , нужно, чтобы «реальность» обладала энергией **как минимум равной**  $\hbar/t$ .



Информация по Шеннону - мера уменьшения неопределенности, непосредственно связанная с воздействием, которое уменьшает **количество равновероятных состояний наблюдаемой системы**. Таким образом, поступление информации в систему – это уменьшение ее энтропии:

$$\Delta I = -\Delta S$$

Соответственно, для системы с фиксированным количеством состояний (частей) и их степеней свободы

$$|I| + |S| = \text{const}$$

Величина константы определяется внутренней структурой системы.



Далее будем называть информационным такое воздействие на систему, которое :

- **изменяет количество равновероятных состояний** в системе,  
**но при этом**
  - не изменяет количество частиц системы;
  - не изменяет общую энергию системы;
  - не изменяет температуру системы.

Обозначим первоначальную энтропию системы как  $S_0$ , а энтропию после информационного воздействия  $S_1$ . Таким образом,

$$\Delta I = S_0 - S_1$$

Возвращаясь снова к физике : свободная энергия системы равна общей энергии за вычетом связанной энергии, которая определяется как произведение энтропии системы на ее температуру:

$$G = E - TS$$

Обозначим изначальную свободную энергию системы как  $G_0$ , а свободную энергию после информационного воздействия как  $G_1$ .

Тогда:

$$G_0 = E - TS_0$$

$$G_1 = E - TS_1$$

Вычтем второе уравнение из первого, получим изменение свободной энергии системы:

$$\Delta G = TS_0 - TS_1$$

$$\Delta G = T(S_0 - S_1) = T\Delta I \quad \Delta I = \frac{\Delta G}{T}$$

Приращение информации в системе **прямо пропорционально свободной энергии и обратно пропорционально температуре**. Термодинамическая суть температуры – мера средней кинетической энергии одной частицы в системе, которую можно **преобразовать в работу**

$$T = \frac{3mv_0^2}{k}$$

В случае отсутствия новых информационных воздействий на систему и ее изоляции от обмена энергией справедлива формула:

$$E = \Delta G + T\Delta S$$

Эта формула выражает известный нам из термодинамики закон не убывания энтропии. Величина энтропийной составляющей при отсутствии внешних воздействий всегда неотрицательна, приращение свободной энергии – соответственно всегда не положительна. Учитывая зависимость информации от свободной энергии, формула связи будет выглядеть так:

$$E = T(\Delta I + \Delta S)$$

Если слагаемое энтропии неотрицательно, то слагаемое информации соответственно будет неположительным. Поэтому из второго закона термодинамики можно вывести закон не возрастания информации без внешнего информационного воздействия.

Энтропия напрямую может рассматриваться как **неизбежный недостаток информации о поведении системы**, что соответствует **тезису Колмогорова о том, что термодинамика и статистическая физика являются следствиями теории информации.**

В случае **обмена системы энергией с внешней средой** будет применимо уравнение Пригожина:

$$\Delta S = \Delta S_i + \Delta S_e$$

Итак, **любое энергетическое воздействие** на систему с постоянным количеством частиц и их степеней свободы, не являющееся информационным, **приводит к увеличению энтропии и соответственно – к потере информации.**

Для получения системой информации нужно увеличить свободную энергию системы, а **связанное с получением энергии увеличение энтропии компенсировать** ее отводом вовне системы – например, отводом тепла.

- Реальность состоит из состоявшейся и потенциально возможной материи. Пространство состояний «интеллектуального» субъекта в котором происходит «обучение» –  $L^3T^3$  Время – многомерно  $T^3$ 
  - *Различие между прошлым, настоящим и будущем – лишь необычайно устойчивая иллюзия.*

А. Эйнштейн.

- Мышление и сознание являются феноменом реальности, который может проявляться в случае, когда «вещество» находится в особом фазовом состоянии – способно накапливать и обрабатывать информацию с использованием вычислительных технологий (символьных процессов).

[Насколько ВИРТУАЛЕН наш мир? - YouTube](#)

Тот факт, что в физике и астрономии возможны и фактически встречаются скорости, превосходящие скорость света в вакууме, конечно, давно и хорошо известен.

**Академик В. Л. Гинзбург**

**Гинзбург:** Световое пятно (т. н. «солнечный зайчик») или точка пересечения лезвий гильотинных ножниц могут изменять свое положение со сверхсветовой скоростью.

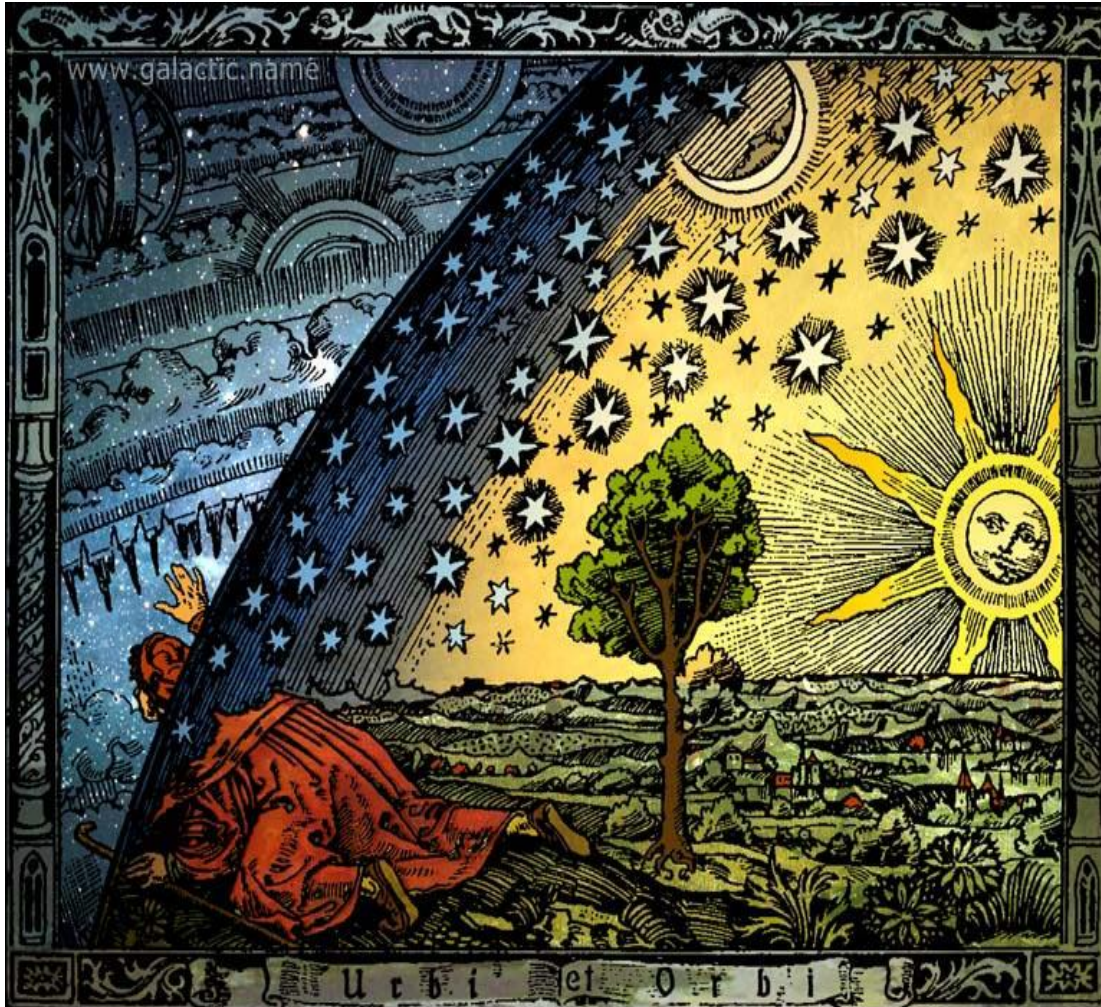
Однако при этом **информация и энергия** передаются в направлении, не совпадающем с направлением движения солнечного зайчика (со скоростью, меньшей или равной с.

**Вопрос:** является ли со-знание аналогом тени и если да, то возможно ли передача мысли со скоростью больше с ?

**Если – да, то как**

**Если нет – объяснить почему**

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ИНФОРМАЦИОННОЕ – ЗНАЧИТ «ПОТЕНЦИАЛЬНО ВОЗМОЖНОЕ»



Суть подхода  
компьютерных наук  
СОСТОИТ В ПОИСКЕ  
ответа на вопрос:

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

- С помощью компьютерных технологий МОЖНО использовать информацию о состоянии объекта ТАКИМ ОБРАЗОМ, чтобы этот объект стал частью системы, которая способна совершать работу
- Прочитать **S. Lomonaco**, “A Rosetta Stone for Quantum Computation”



# ПАРАДОКС АВТОПИЛОТА: ТОЧНОЕ СЛЕДОВАНИЕ РОБОТАМИ ИНСТРУКЦИЙ ПРИВОДИТ К АВАРИЯМ?

- Tesla начала продажи Model S с встроенным роботом. Автомобиль Tesla в 2018 г. попал под прицеп разворачивающегося грузовика. Водитель погиб на месте. Причиной ДТП стало ослепление датчиков прямыми лучами солнца. *Компьютер не смог понять, что за объект вырос рядом – «под носом».*
- Эксперименты Google - роботизированная машина, едущая исключительно по правилам, способна создать еще большую опасность, чем лихачи.
- Автопилот «не видит» разницы между картонной коробкой и бетонным блоком. **Следуя «машинной логике», авто никогда не покинет кругового перекрестка, ведь для этого требуется формальное нарушение правил. ...**
- На круге действуют некие джентельменские соглашения, не понятные электронному разуму, так как не имеет формального описания. Компьютер не распознаёт контекст реализации правил принятия решений.. .

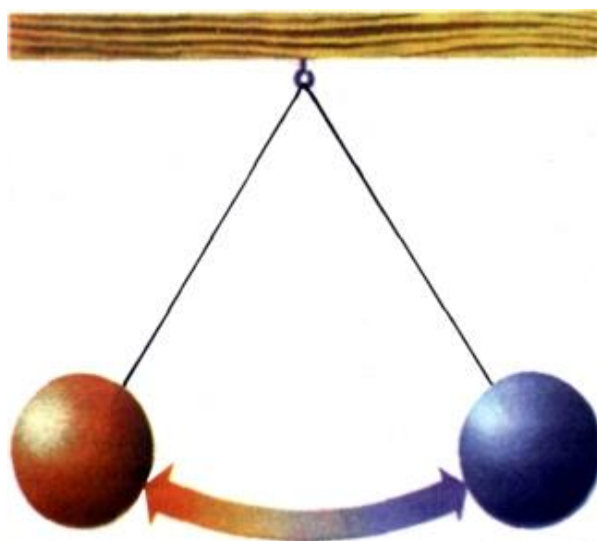
- Классические (не квантовые) представления о возможном исходе из того, что случайность является «ненастоящей» (субъективной).



Физический объект в любой момент времени обладает определенными значением параметра и до и после измерения, только до измерения это значение «скрыто от нас».

Измерение 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.



# Закон исключенного третьего «исключает» спутанность состояний макрообъекта

В «реальном» ФИЗИЧЕСКОМ 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?

- Чтобы рассчитать предельную информационную емкость некоего количества вещества или, что эквивалентно, его истинную термодинамическую энтропию, необходимо знать природу фундаментальных составляющих вещества или самого глубокого уровня его структуры, который называется уровнем  $X$ .

## Из информации «обратно» в физику

- изучение сложных физических объектов, например, «черных дыр» показывает, что максимальное информационное содержание любой области пространства определяется не его объемом, а площадью ограничивающей ее поверхности, то есть тем, что доступно для восприятия «внешним наблюдателем»
- Физическая теория, называемая голографическим принципом, утверждает, что Вселенная подобна голограмме:
  - подобно тому, как луч света позволяет «записать» трехмерное изображение на плоской пленке, так и воспринимаемая нами трехмерная Вселенная может быть эквивалентна иной **системе** квантовых полей и законов, «**нарисованной**» на далекой огромной поверхности.

## Картинка «черной дыры»

- гравитации стремятся сжать звезду, а силы давления горячего газа и излучения противостоят этому сжатию. Поэтому звезда находится в гидростатическом равновесии. звезда обладает удивительным свойством — отрицательной теплоемкостью. Обычные тела имеют положительную теплоемкость: нагретый кусок железа, остывая, то есть, теряя энергию, понижает свою температуру. У звезды же все наоборот: чем больше она теряет энергии в виде излучения, тем выше становится температура в ее центре.

звезда, излучая, медленно сжимается. При сжатии потенциальная энергия превращается в кинетическую энергию падения слоев звезды, и ее недра разогреваются.

Для того, чтобы образовалась черная дыра, нужно сжать тело до некоторой критической плотности так, чтобы радиус сжатого тела оказался равным его гравитационному радиусу. Величина этой критической плотности обратно пропорциональна квадрату массы черной дыры. Для черной дыры звездной массы ( $M=10M_{\text{sun}}$ ) гравитационный радиус равен 30 км, а критическая плотность  $2 \cdot 10^{14} \text{ г/см}^3$ , то есть двести миллионов тонн в кубическом сантиметре. (средней плотность Земли ( $5,5 \text{ г/см}^3$ ))

Для Земли ( $M=3 \cdot 10^{-6} M_{\text{sun}}$ ) гравитационный радиус близок к 9 мм, (радиус Земли (6370 км) ), а соответствующая критическая плотность :  $\rho_{\text{кр}} = 2 \cdot 10^{27} \text{ г/см}^3$ ,

В этом случае вторая космическая скорость примет значение, равное скорости света  $c = 300000 \text{ км/с}$ .

# Термодинамика черных дыр

- Согласно уравнениям общей теории относительности, достаточно большая концентрация вещества может искривить пространство-время настолько, что оно «разорвется», образовав черную дыру.
- Законы относительности не позволяют чему бы то ни было, попавшему внутрь нее, появиться вновь, по крайней мере, в рамках представлений классической (не квантовой) физики. Важнейшее значение имеет рубеж невозврата, называемый горизонтом событий черной дыры. В простейшем варианте он представляет собой сферу, радиус которой тем больше, чем больше масса черной дыры. Узнать, что находится внутри нее, невозможно, т.к. никакая информация не может преодолеть этот горизонт.
- Однако, исчезая навсегда, вещество оставляет некоторые следы: его энергия (в соответствии с уравнением Эйнштейна  $E=mc^2$  мы считаем массу энергией) увеличивает ее массу. Куда исчезает информация ?