

ВС ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

: курс: Введение в профессиональную деятельность

«математика и компьютерные науки»

«математическое обеспечение и администрирование информационных систем»

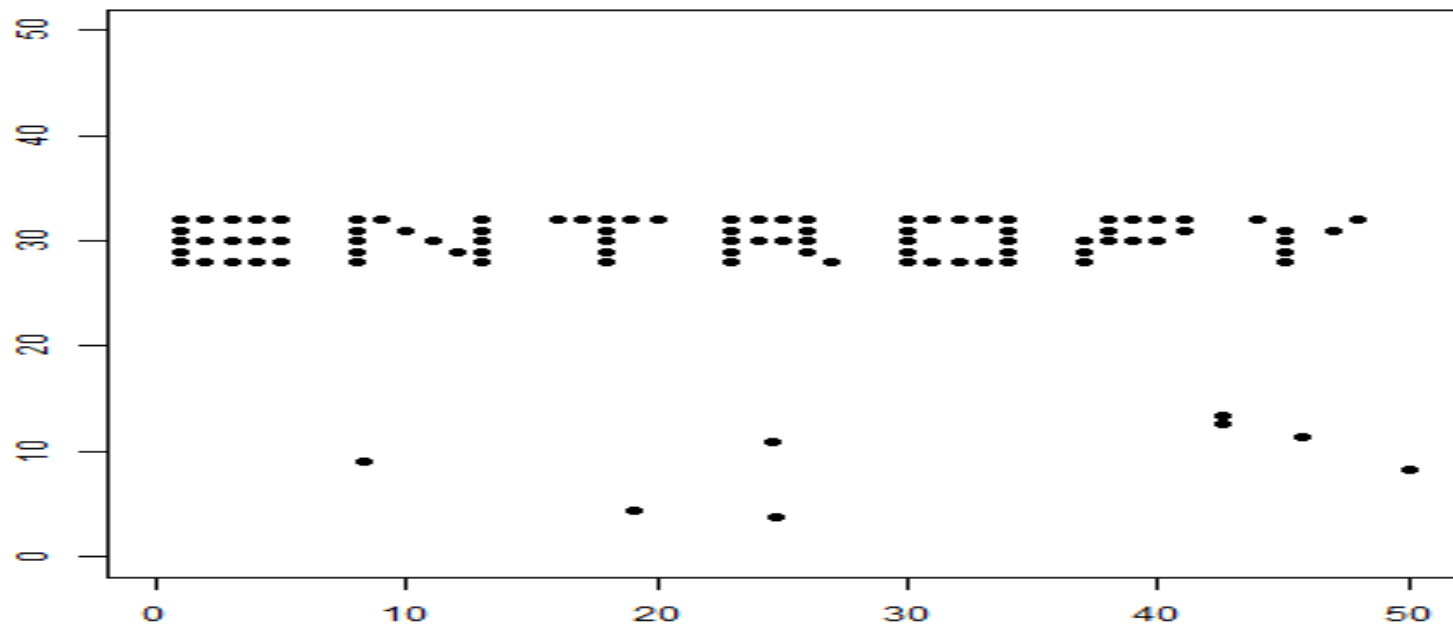
ЛЕКЦИЯ 4

НАБЛЮДЕНИЕ VS ВЫЧИСЛЕНИЕ :

«ОТ ХОМО САПИЕНС К ХОМО ИНФОРМАТИКУС»

20.02.2025

мы обсуждали, что усложнять просто, упрощать сложно.



понятие «энтропия» события можно интерпретировать как произведение **меры уверенности** в том, что некоторое событие произойдет (вероятность события) **на меру неопределенности** того, что произойдет именно это событие

- что «память» марковской системы не имеет предпочтений в отношении прошлого или будущего.
- некоторые законы физики действительно необратимы. Но на квантовом масштабе в термодинамике нет особенного предпочтения в одном направлении времени по сравнению с противоположным
- Как повернуть «СТРЕЛУ» времени ?

- Применяя марковскую динамику, в которой система не имеет памяти за пределами настоящего времени, каждое новое квантовое состояние в системе будет зависеть только от одного предыдущего состояния, что может означать путешествие в один конец или колебания, которые так же легко уводят частицы назад.

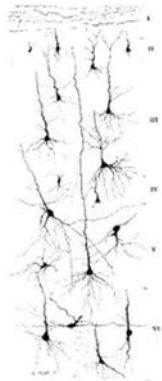


Существует ли «компьютер», способный думать за других

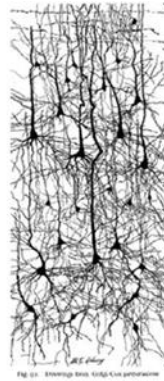
для этого надо, чтобы компьютер «отделял» себя от среды и знал как ответить на вопросы:

что на нем хотят «рассчитать» ?

что он сам может ?



Birth



2 years

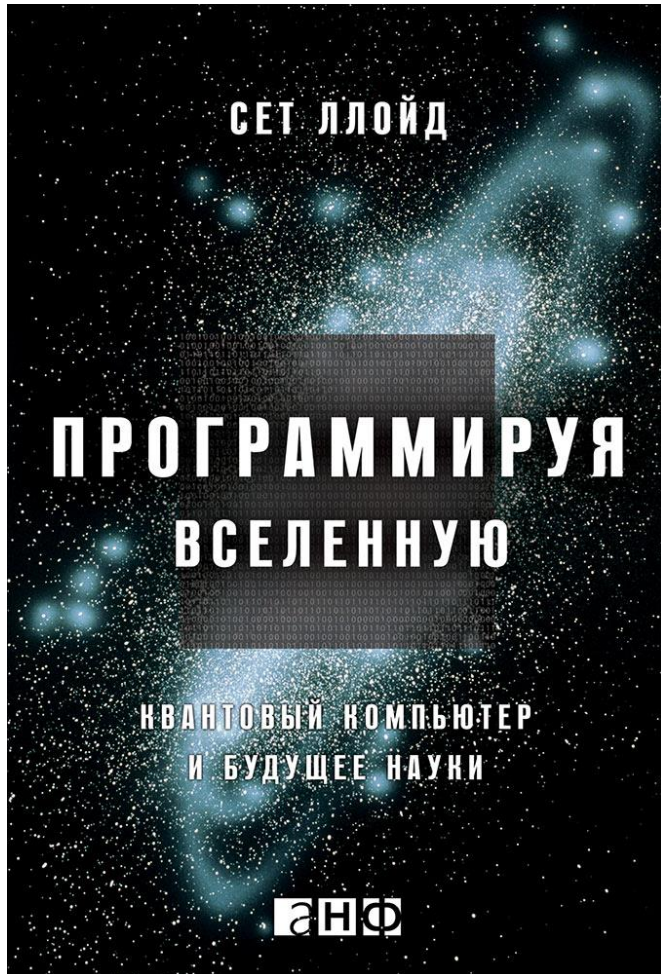


6 Years



*Я оглянулся посмотреть,
не оглянулась ли она,
чтоб посмотреть,
не оглянулся ли я*

Проблема рефлексии: «расщепления» реальности на себя и не-себя/**материи-информации**/

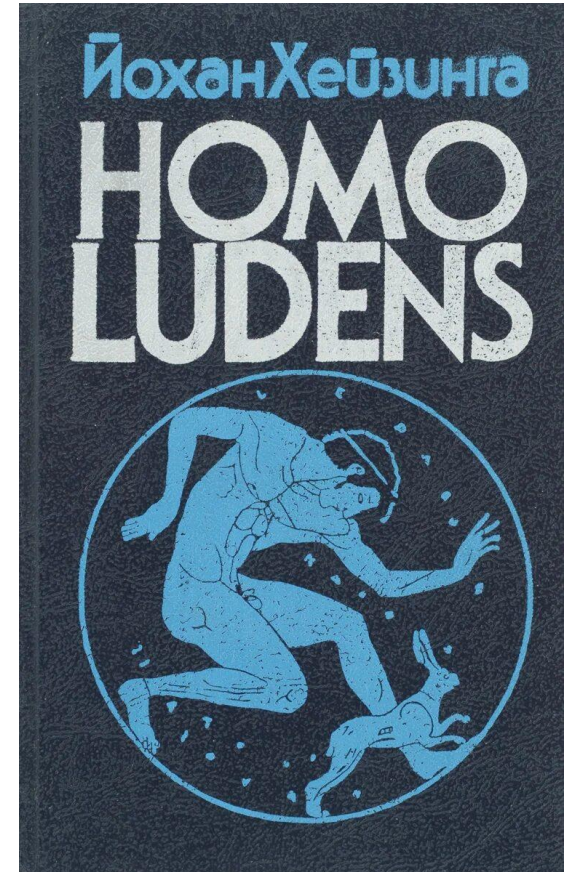
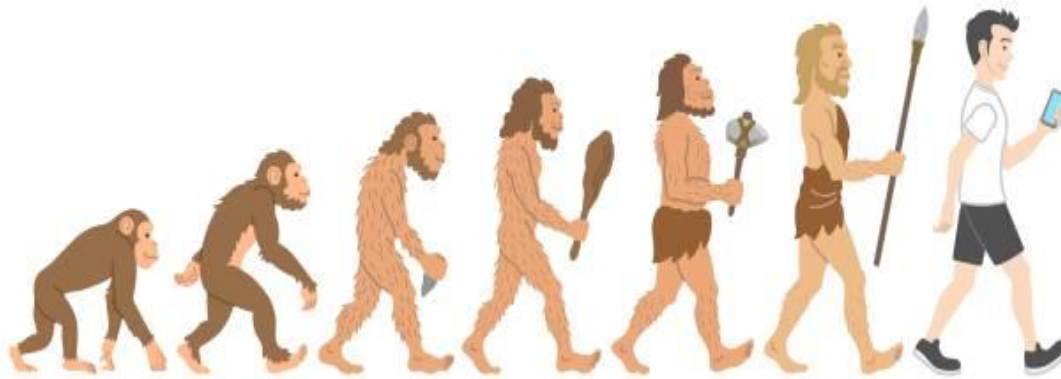


Идея: Вселенная постоянно обрабатывает информацию (?) – будучи квантовым компьютером, она все время вычисляет собственное будущее.

Каждый атом Вселенной, а не только различные макроскопические объекты, способен хранить информацию.

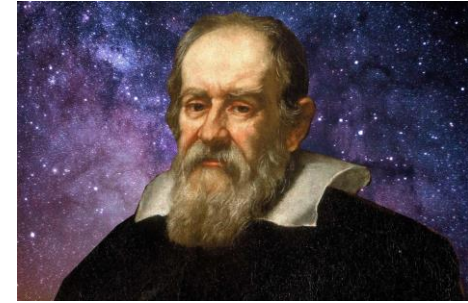
Вопрос: Может ли в изолированной системе самопроизвольно (только за счет внутренней энергии) происходить процесс вычислений? Если «да», то увеличивается ли при этом энтропия вычислительной системы ?

Эволюция от
Номо “разумный” до Номо «знающий»



... через фазу «человек играющий»
(**homo ludens**)

- Исаак Ньютон хотел основать «храм науки» на чистом эмпирическом эксперименте, поэтому большая часть его научных трудов посвящены **лженауки – алхимии**
- Девиз новой науки «от Ньютона»: **ничего, кроме материи, ее свойств, объектов и протяженности, не существует**
- **Материя это что ?**
- Как материя связана с **информацией**, как информация «**трансформируется**» через процессы **вычислений** и почему вычисления «открывают дверь» в **мир знаний (где этот «мир» находится???)**,
-на эти вопросы наука давно ищет ответы попробуем и мы в этом разобраться с **позиций компьютерных наук**

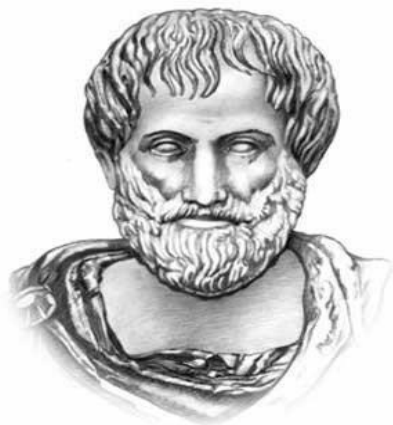


«книга природы
написана на языке
математики»

Г. Галилей



384-322 до н. э.



Третьего не дано

«не может быть ничего посередине между двумя противоречащими суждениями ...»

Иначе говоря, один из двух членов противоречия (p или $\sim p$) с необходимостью должен

быть истинным.

$$A \text{ или } \bar{A} \equiv 1$$

Фатальность

- Суждения: «завтра морское сражение произойдет» и «завтра морское сражение не произойдет» одно суждение должно быть с необходимостью **ИСТИННЫМ** «ничего не существует и не происходит случайно и как попало, и всё совершается по необходимости».

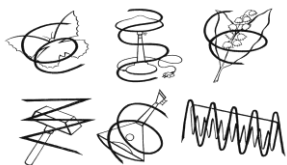
$$p + q \equiv 1$$

Когда энтропия достигает «максимума»? Это должно быть событие с наибольшей неопределенностью, то есть **вероятности всех возможных событий одинаковые**

- **Нужен ли** для вычислений АЛГОРИТМ – то есть **заранее** сформированная совокупность операций в большинстве своем логических или арифметических и.... не обратимых.
- **Что такое** процесс «обратимых» вычислений с точки зрения физики ? Выбор одного решения из множества возможных, но такой который не уменьшает ЭНТРОПИЮ ? (сохраняет ИНФОРМАЦИЮ)
- (может быть «энтропия + информация» = const ????)
- **Как** энтропия «управляет» количеством информации, которую может обрабатывать вычислительная система, а температура этой вычислительной системы управляет скоростью выполнения вычислительных операций «на бит на секунду» - максимум $5.4258 \cdot 10^{50}$ операций за секунду.

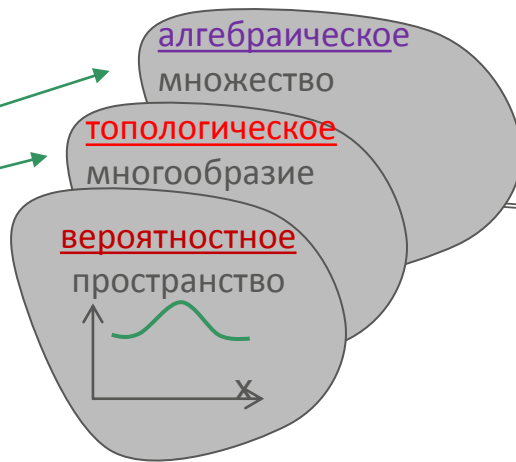


Исчислимы понятия



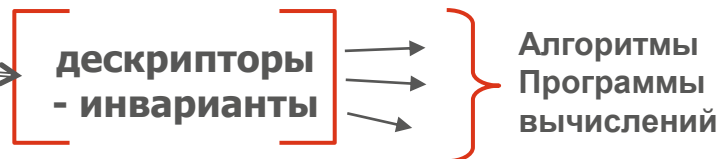
Объекты
воспринимаемой
физической
реальности

Абстрагирование



Математика – факторизация
реальности на множества исчислимых
понятий

«прямое» кодирование понятий



- компьютерные науки –
решение 3-х задач:

- перечислимость (множеств)
- вычислимость (функций)
- разрешимость (множеств)

КН начинается с того, что воспринимаемые объекты реальности – рассматриваются как многообразия исчислимых понятий, для которых введены отношения порядка и «расстояния»

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ ПРОБЛЕМА МАТЕМАТИКИ «ТОЧНОСТИ» КОДИРОВАНИЯ РЕАЛЬНОСТИ : ЧИСЛО VS СЛОВО

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

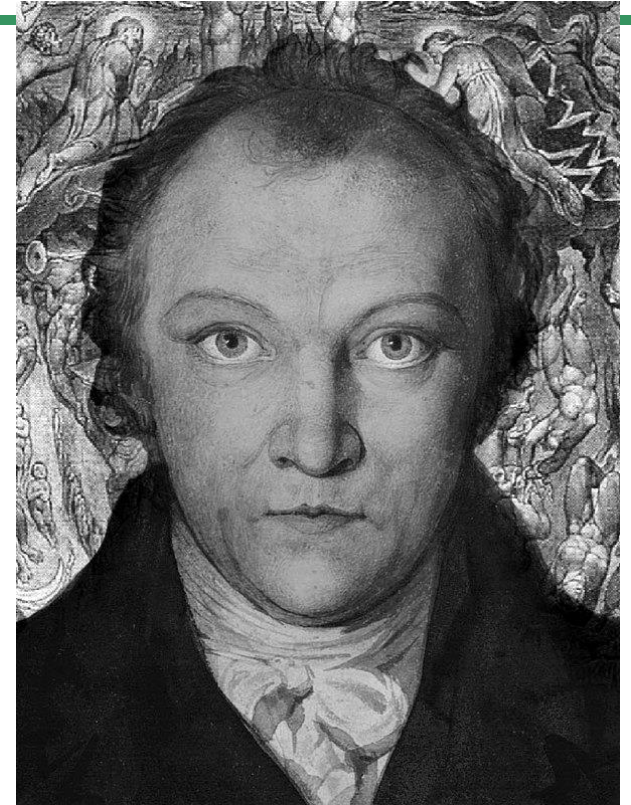
Уильям Блейк
(1757-1827)
цифровые коды:

=, 1, 0, +/-∞

слова

«похоже», единица, ноль, бесконечность

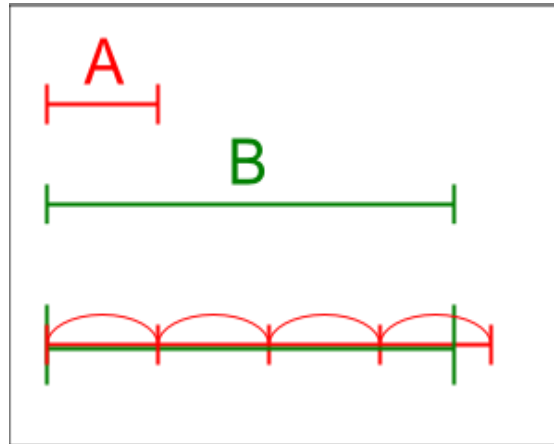
$e^{-i\omega t}$, $\sqrt{a^2 + b^2}$, $\frac{dy}{dx}$



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 – ОСНОВА ОПИСАНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ РЕАЛЬНОСТИ (НУЛЯ И БЕСКОНЕЧНОСТИ НЕ СУЩЕСТВУЕТ)

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 ,



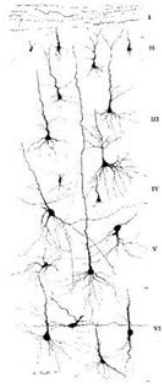
Итого, если многообразие из объектов физической реальности «архимедово», то оно:

одно-масштабно, гладко, **«делимо» и «однородно»**.

поэтому оно «исчислимо» и его **можно описать, используя методы «абстрактной» математики.**

ФИЗИЧЕСКАЯ РЕАЛЬНОСТЬ УСТРОЕНА МАТЕМАТИЧЕСКИ ?!





Birth

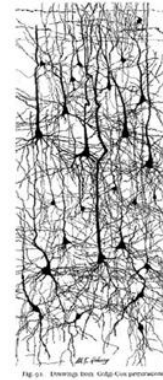


Fig. 24. Drawings from Golgi-Cox preparation

2 years


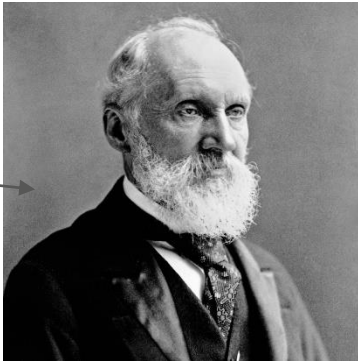
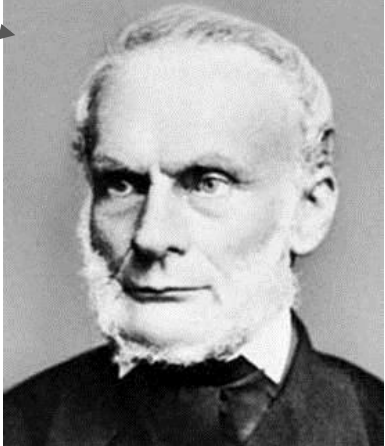



Fig. 25. Drawings from Golgi-Cox preparation

6 Years



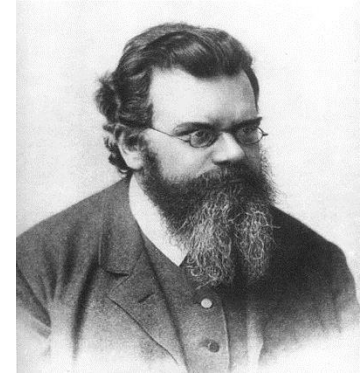
ЭКСКУРС В ИСТОРИЮ НАУЧНЫХ ПОНЯТИЙ

- Слово «энергия» введено Аристотелем в трактате «Физика», однако там оно обозначало деятельность человека.
- Термин «**энергия**» впервые появился в начале XIX в. в работах Т. Юнга. 
- В 1853 г. впервые было применено словосочетание «**потенциальная энергия**» в смысле запасенная энергия. В 1870 г. У. Томсон (Кельвин), ввел термин «**кинетическая энергия**» 
- В 1865 Р. Клаузиусом было введено понятие «**связанная энергия** $W_{\text{связ}}$ - та часть **внутренней энергии тела (системы из молекул)**, которую нельзя использовать для совершения механической работы. 
- В 1882 году физиолог Г. Гельмгольц **ввел** понятие "**свободная энергия**" – то есть "**свободная**" для совершения работы. 

Что из этих понятий
используется в КН ?

ЭНТРОПИЯ (ДР. ГРЕЧ. «ПРЕВРАЩЕНИЕ» - ЭНЕРГИЯ (ДР.-ГРЕЧ.) «ДЕЙСТВИЕ»

- в 1877 г. **Людвиг Больцман** ввел понятие **термодинамической энтропии S** размерностью $[\text{Дж} \cdot \text{К}^{-1}]$. Каждое физическое тело, оказывает тепловое «воздействие» на другие тела
- **энтропия S** входит в выражение для **связанной энергии** тела $W_{\text{связ}} = T \cdot S$, а полная энергия системы имеет вид $U = G + W_{\text{связ}} = G + T \cdot S$,
где U – полная энергия системы, G - **«свободная энергия»**, которую можно использовать для совершения работы.



Итак: «энтропии» Больцмана характеризует **«превращение»** свободной энергии в работу.

А как свободная энергия «превращается» в вычисления ???

С ростом энтропии системы уменьшается ее возможность «совершать» работу. А «вычисления» – это полезная работа ? ??

Из формулы $U = G + W_{\text{связ}} = G + T \cdot S$,

следует , что приращение $\Delta G = \Delta U - T \cdot \Delta S$

Вывод: 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**.



Homo sapiens - активные «трансформеры» - преобразующие воспринимаемые данные о физической реальности в абстрактные понятия, а саму окружающую реальность в среду «понятий», годную для обитания... система «человек – мир – отношения»



«homo informaticus»

активные «трансформеры» информации в физической среде, которая дополнена виртуальной реальностью система «человек – компьютер – интерактивность»



Искусство состоит в умении
отсекать лишнее.
Микеланджело Буонарроти
(1475 — 1564)



В июне 2017 года, вышла статья «**Attention is All You Need**» инженеров Google. В ней авторы представили и подробно разобрали архитектуру т.н. «трансформера» с механизмом «внимания»

Transformer был разработан для одной узкой и конкретной задачи — **машинный перевод текстов**



Пока только люди способны не только думать о том, что видят, но ещё и думать о том, как они думают о том, что видят.

проф. СПбГУ Татьяна Черниговская

Термодинамика Больцмана: **Дано** – вещество, **состоящее** из молекул. Одному и тому же макро состоянию вещества соответствует N различных конфигураций молекул.

Идея: вместо «тела состоящего из молекул» рассмотреть как **«сообщение»**, состоящее из символов, кодирующих **это состояние**.

Описание вещества это процесс убывание его энтропии и увеличения «информация» $I = \log_2 N$

Формализм Хартли (1928 г.):

логарифмическая мера информации определяет **количество информации**, содержащееся **в таком сообщении**, где N — количество символов (букв) в используемом **алфавите** (**мощность алфавита**), K — длина сообщения

Количество возможных вариантов разных сообщений $M = N^K$

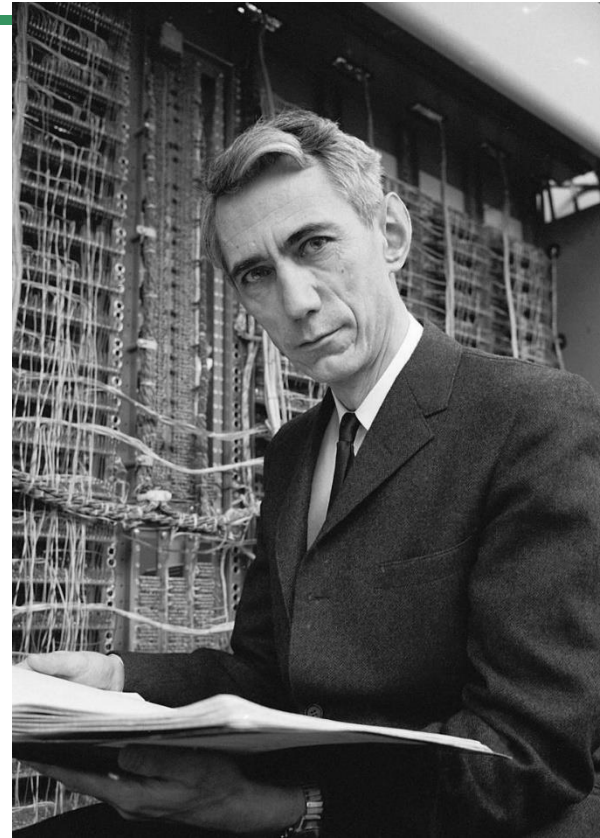
Пример: **Мощность алфавита ДНК N равна 4**. Каждое основание (буква в сообщении ДНК) несет **$i = \log_2 4 = 2$ бита информации**



ПОЛИТЕХ

ИНФОРМАЦИОННАЯ «РЕВОЛЮЦИЯ» В КАНАЛЕ СВЯЗИ

- В 1948 г. Клод Шеннон (Claud E. Shannon) ввел меру информационного содержания сообщения. Он предложил сообщение считать реальным «объектом» состоящим из конечного числа различных символов»
- По аналогии с термодинамикой Больцмана, Шеннон ввел понятие **информационной энтропии**, которую определил не через
 - макросостояние тела - **температуру** (у отдельной молекулы температуры нет) , а **через другое макросостояние сообщения, а именно через вероятность** того, что **конкретный символ** из **известного и конечного алфавита** входит в передаваемое сообщение.



К. Шеннон - первый «хороший информатик»

Постановка задачи:

Дано - **сообщение**, состоящее из символов, которое надо передать через канал связи.

- **Смысл сообщения не имеет значения**. В канале на сообщение воздействуют помехи. **Вероятность** появления i -ого символа из алфавита A в передаваемом сообщении (появление символа в сообщении **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:

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

- **Энтропии** источника данных характеризует среднее число битов на элемент данных, требуемых для её кодирования без потери информации

- 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⁻¹], а энтропия Шеннона, используемая специалистами по связи, – 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 **10¹⁰** бит (1 байт = 8 бит), а термодинамическая энтропия той же микросхемы при комнатной температуре имеет порядок **10²³** бит.

- **Логика процесса:**

- **явления**, которое сопровождается актом восприятия или наблюдения – есть **событие**
- события формируют **сообщения**, которые можно передать по «каналу» связи
- сообщение состоит из **символов алфавита**, с помощью которого кодируется информация о событии
- принятое по каналу связи сообщение разделяет воспринимаемую реальность на дискретное множество **понятий, которые получены путем обобщения воспринимаемых данных делают эти понятия весьма вероятными** : $I = -\log_2 p$
- Итого: **it from bit** (понятиям, используемым для описания физической реальности сопоставляется информационная мера)

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**

МОДЕЛИ РЕАЛЬНОСТИ ФИЗИЧЕСКОГО И ИНФОРМАЦИОННОГО ПЛАНОВ

Модели

- **физического плана** – локальные и замкнутые. Такие модели 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 $2 \cdot \pi \cdot \Delta t \cdot \Delta f$ или $(f_2 - f_1) < C / (\Delta t)$)
- **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.

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 можно сформулировать новый фундаментальный закон

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

Величина константы в этой формуле определяется внутренней структурой рассматриваемой **физической системы**.

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. Холево А. С. Квантовые случайные процессы и открытые системы. М.: Мир, 1988. 223 с.