

ВС ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

курс: Введение в профессиональную деятельность

«математика и компьютерные науки»

«математическое обеспечение и администрирование информационных систем»

ЛЕКЦИЯ 2 «КОМПЬЮТЕРНЫЙ ПРОФЕССИОНАЛИЗМ»:

*ВЫЧИСЛЕНИЯ ЗАМЕНИТЬ ИДЕЯМИ,
ЭНТРОПИЮ - ИНФОРМАЦИЕЙ
ИНФОРМАЦИЮ – ЗНАНИЯМИ*

13.02.2025

Что было на прошлой лекции

- Введение к лекции «2»
- Что значит **МЫСЛИТЬ СИСТЕМНО**
- Фундаментальные понятия профессиональных знаний (энергия, энтропия, информация, алгоритм...)
- Использование научных знаний: **реификация** информации в объекты реальности
- Заключение

Что было на прошлой лекции МАТЕМАТИКА КАК МЕТАФОРА

(В. И. МАНИН),

КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ - «МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ТЕНИ РЕАЛЬНОСТИ» ?!

Нет
ничего **практичнее**
хорошей **теории**.

Л. Больцман

$$i^2 = -1$$



Проблема
сложности
«обратного
моделирования»
объектов Природы

Символ

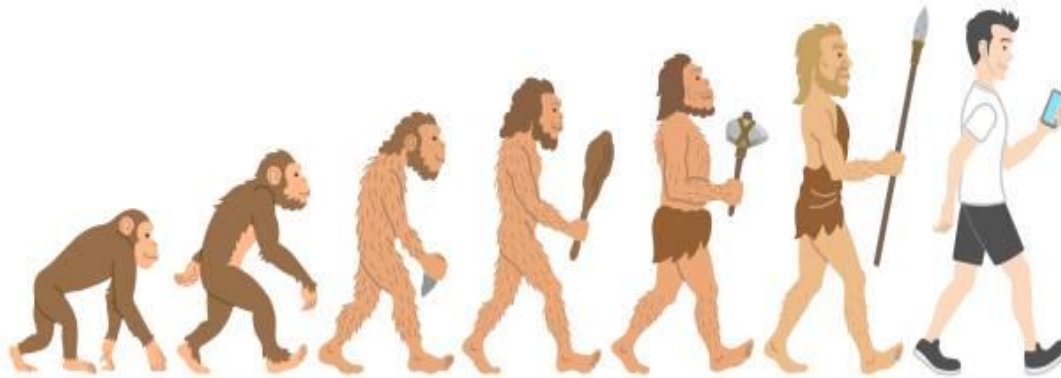
Объекты

Триплеты научных знаний:

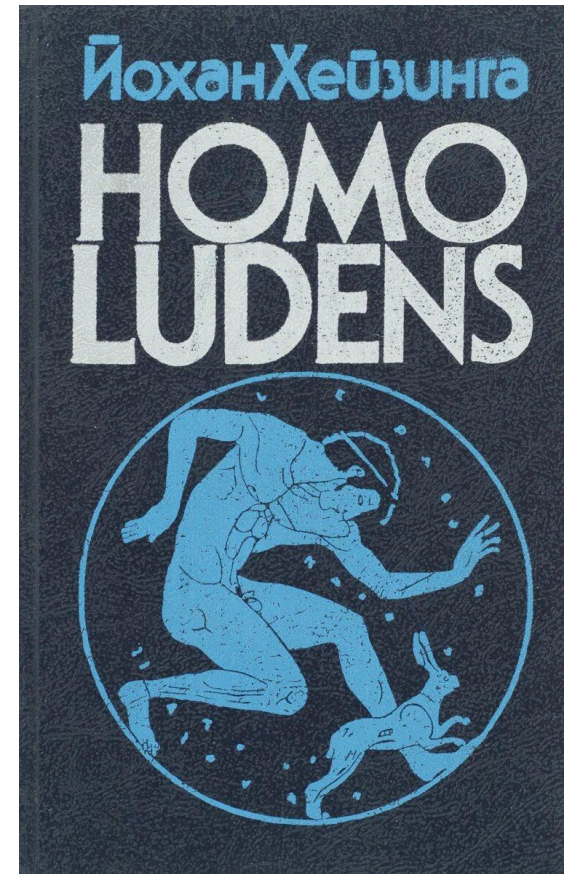
- материя, энергия, **информация**
 - числа, слова, **СМЫСЛЫ**
 - модели, вычисления, **ПОНЯТИЯ**

книге «Unification of Artificial Intelligence описана новая
стадия развития **Homo knowledge** наряду с

Номо “разумный”



«Человек юзер (**homo user**)
обитатель соцсетей



Человек играющий (**homo ludens**)

Примеры:

Неправильно сформулированный вопрос: Существуют ли объективные законы, управляющие миром?

Правильная формулировка вопроса: Каким образом нужно говорить о существовании законов мироздания, чтобы это «говорение» не было пустой тратой времени?

Неправильный вопрос: **Что есть информация?**

Правильная формулировка вопроса: Как нужно рассуждать об информации, чтобы эти рассуждения имели научную ценность/смысл?

Когда мы говорим, что Солнце восходит на востоке, а заходит на западе, мы неявно подразумеваем, что Солнце «движется», хотя с точки зрения гелиоцентрической системы это не так!



Суть профессионального «компьютерного» подхода в том, чтобы не допускать обсуждение проблем, для которых не существует способов построения («вычисления») логически непротиворечивых (?) объяснений.



- В. Бетелин: конструктивная роль ошибки заложена в самой сути современных нейросетей и технологий ИИ.....
- Но... ИИ эффективен, лишь тогда, когда имеет дело с **конечномерными упорядоченными множествами объектов**, а если объект принадлежит к бесконечномерным множествам ...то ...ИИ может быть лишь помощником человеку быть его **экзо-интеллектом**

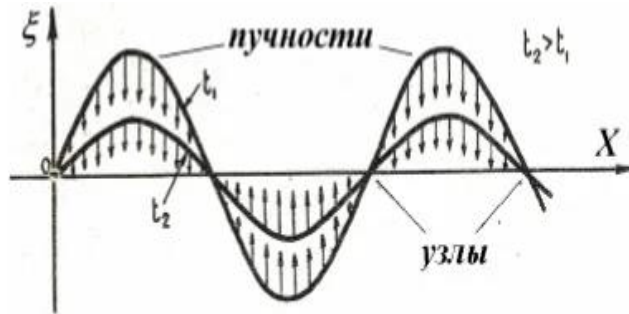
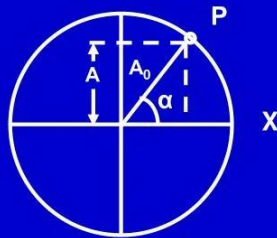
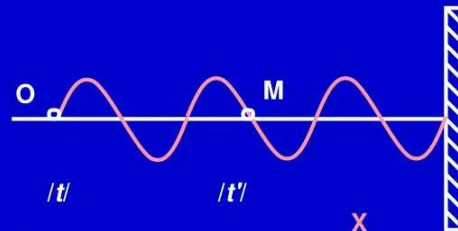


Рис. 1.

УРАВНЕНИЕ КОЛЕБАНИЙ СТРУНЫ (СТОЯЧАЯ ВОЛНА)



$$A = A_0 \cdot \sin \alpha$$

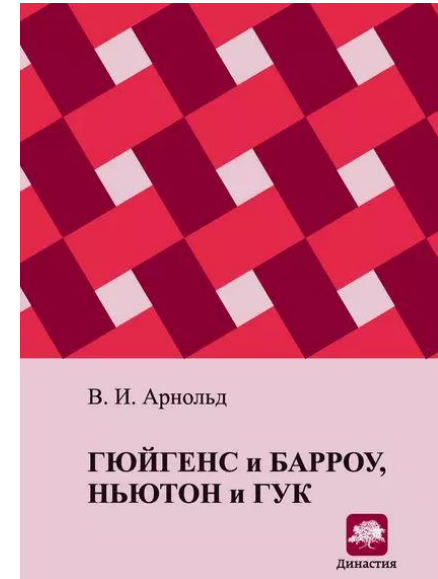


амплитуда для точки М:

$$A = A_0 \cdot \sin 2\pi \left[\nu \cdot t - \frac{X}{\lambda} \right] \quad \text{или} \quad \frac{d^2 A}{d x^2} = - \frac{4 \pi^2}{\lambda^2} A$$

Математики, которые всё открывают, всё устанавливают и всё доказывают, должны довольствоваться ролью сухих вычислителей

И. Ньютон о подходах математика и физика к естествознанию (цитата по книге



Колебания струны **непрерывно**, но точек ее пересечения с осью **счетное число** ...

$$\infty / 0 = ???$$

Что планируем обсудить:

- Цифровое «зеркало» физической реальности.
- Вычислимые числа и функции, невычислимые понятия.
- Энтропия, информация, данные, знания: основы современной концепции компьютерных наук.

Знание немногих **принципов** освобождает
от знания многих **фактов**

Рене Декарт

- Профессионал должен «мыслить и системно и конкретно», то есть уметь «материализовать» (воплощать, **реифицировать**) абстрактные понятия, представляя их через множество конструктивных понятий - *функций, алгоритмов, множеств, категорий, вероятностей...и др.*,

(см. Г. Вейль **Математический способ мышления**
<https://studfile.net/preview/3213032/>)

Что для этого надо уметь:

- **Логически доказать**, что рассматриваемая проблема имеет/не имеет алгоритма решения (как, например, 10 проблема Гильберта, а именно алгоритма решения в «целых числах» любых диофантовых уравнений)
- **объяснить** почему, изучаемая система имеет/не имеет определенных значений переменных состояния (как, например, в квантовой механике)
- **предложить** «конструктивное» решение проблемы с использованием **меры неопределенности** (с точностью до вероятности) наблюдаемых событий

Бог создал **целые числа**,
всё остальное — дело рук человека

Леопольд Кронекер



Каждая профессия использует абстрактную, специальную

для каждой процессии, знаковую систему, объединяющую воспринимаемые факты и события в **объяснимую и логически не противоречивую модель.**

Математика и компьютерные науки начинаются с:

0, 1, 2, 3...натуральные. числа..., $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$,**рациональные. числа** .
 $\frac{1}{1/(1+x^2)} = 1-x^2+x^4...$ **ряды**; $(a-b)(a+b)=a^2-b^2$ **алгебры** $z=x+iy$, $i=(-1)^{1/2}$
числа-вектора, матрицы, $11 \pmod{2}=1$ и $3 \pmod{2}=1 \Rightarrow 11=3 ???$

$a_n \dots a_1 a_0 = a_n \times 10^n + \dots a_1 \times 10 + a_0 \times 10^0$ поз. сист. счисл.

А ЧТО ПРОИСХОДИТ С ЧИСЛАМИ В КОМПЬЮТЕРЕ ? Можно ли делить на «ноль» ? Почему компьютер «умеет» только складывать ? Операция $10 - 12$ реализуется как $10 + (-12)$.

восьми разрядное число -127: 11111111 код модуля 01111111 обратный код 10000000 доп. дод 10000001

Абстрагирование и их физическая реализация порождает побочные эффекты – информационные «тени» вычислимой реальности



Представление в памяти компьютера целых положительных чисел

$$42_{10} = 101010_2$$

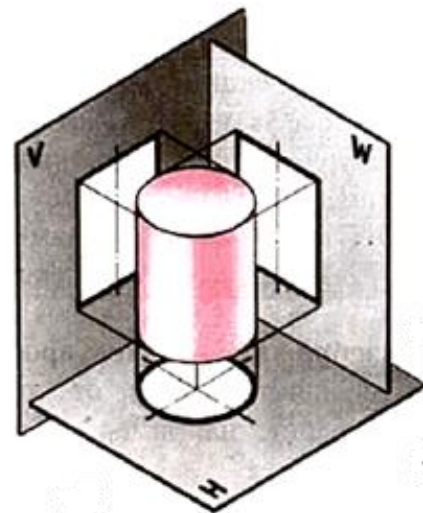
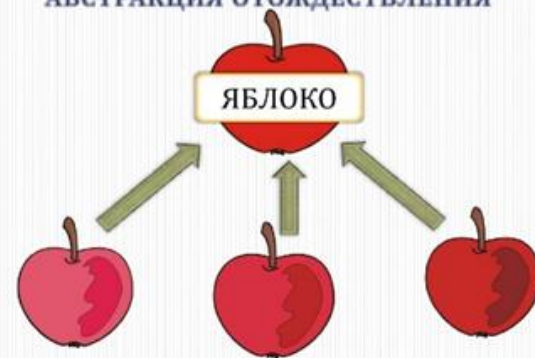


Знак числа.

У положительного числа – 0, у отрицательного – 1.

Приемы абстракции

АБСТРАКЦИЯ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ

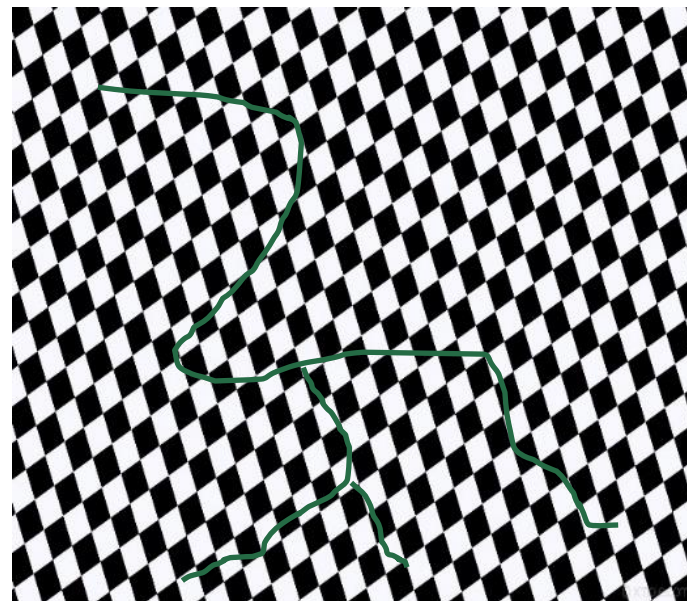


Реальный физический процесс



Какие абстракции можно использовать , чтобы описать и понять это физический процесс ?

Черно-белый экран из «пикселей», отображающий траекторию



«информацию» о увиденном физическом процессе можно было бы использовать для описания и объяснения наблюдаемого события ?

Что нужно, чтобы «вычислить» то, что может произойти, включая:

- прогноз **траектории новой молнии ?**
- написать программу расчета увиденной траектории?
- построение теории «молнии» как физического объекта ?

Ответ – нужна абстрактная модель «процесса»

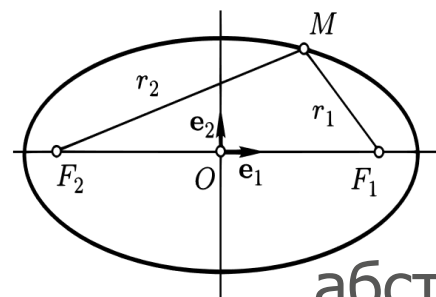
Процесс «абстрагирование» начинается с :

введения а) числового базиса “0”, “1”, “2”,

б) базиса операций (+, -) и в) «законов сохранения» (уравнений).....



Надо понимать, что абстрактные модели (множества, функции, операторы) реализуют принцип минимума неопределенности (энтропии) описания, поэтому не учитывают «детали»



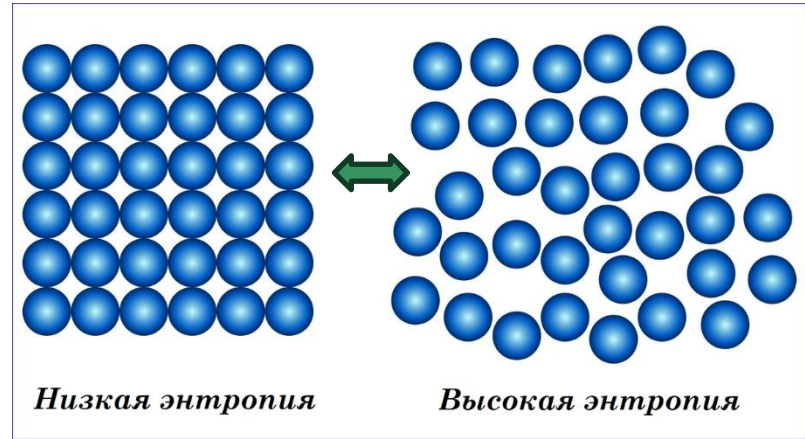
объект

абстракция

на плоскости xu есть множество E точек (x, y) , заданное квадратным уравнением $ax^2 + 2bxy + cy^2 = 1$,

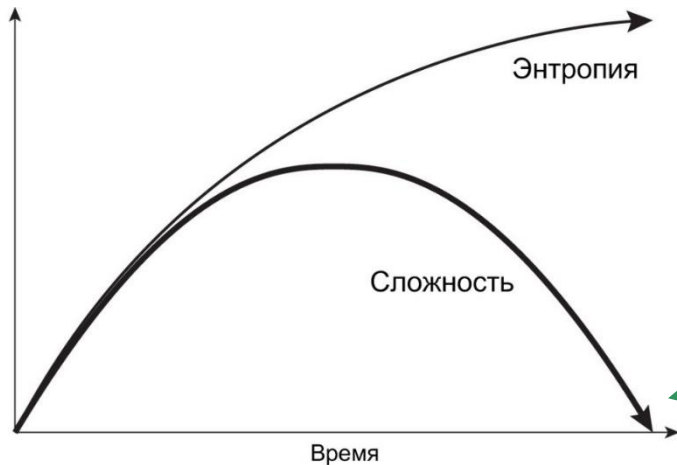
$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$$

Энтропия в термодинамике — мера рассеяния энергии.



Вопрос: «сложность» описания объекта растет по мере роста энтропии ?!

изменение внутренней энергии системы всегда отрицательно (энергия **рассеивается**), а изменение энтропии всегда положительно (**неопределенность растет**).



Количество данных $K \ll N$ — число возможных комбинаций данных

Энтропия в теории К. Шеннона

$$E = \sum -p_i \log_2(p_i) \Rightarrow \sum p_i \log_2 \frac{1}{p_i}$$

Второй закон термодинамики: в замкнутой системе энтропия не уменьшается



ПОЛИТЕХ

КАК ОТВЕЧАТЬ НА ВОПРОСЫ ПРО ИНФОРМАЦИЮ «СИСТЕМНО»



Вероятность отгадать результат $p=1/2$

Как из «1/2» получить «1» ?

$$I = -\log(1/2) = \log 1/p$$

Гипотез
я не измышляю.

И. Ньютон.

(потому, что ответ
уже известен ?!)

- Ответить «системно» - это значит учесть в ответе неопределенность самого вопроса и неоднозначность («простейшая» неопределенность $=1/2$) имеющихся у нас знаний.
- Системный принцип 1: если ничего не известно то различные причины **следует считать равновозможными (равновероятными)**.
- Системный принцип 2. рассматривать проблемы, используя принцип «суперпозиции противоположностей» (**принцип дополнительности Н. Бора**), **например, если:**
 - **мыслить «0»** , надо как **-1+1**, а не «отсутствие чего либо
 - если есть закон, описывающий процессы «**роста энтропии S**», то должен быть и **закон антиэнтропии**, который описывает процессы «**убывания энтропии S**»:

$S \min$ (когда имеет место рост «полезной» (свободной) энергии, то есть происходит убывание энтропии

entropy

→ ? Убывание **энтропии** – рост **информации** ?

$S \max$ (убывание «полезной» (свободной) энергии, рост энтропии)

Математики имеют дело только
с каталогом знаков
Г. Вейль

Рассматривая художественную картину ясно ,



что дело не в холсте или краске
(материальных субстанциях), а в образе, то
есть в визуальном описании , то есть **коде
мыслимых представлений** или в пояснениях
к этим представлениям в форме
слов/понятий

Код – всегда обозначает нечто **мыслимое**, а значит, согласно Декарту –
существующее либо в **реальности**, либов **сознании**

Примеры:

- Лингвистика – сложнее, чем химия и физика. Есть слова амонимы –
знаки, обозначающие разных сущности: «коса», «ключ» ...
- Биология - тексты молекулы ДНК это описание реального объекта с
помощью $64 = 2^5$ кадонов, которые кодируют 32+32 аминокислоты.
Код ДНК не однозначен – один кадон кодирует две аминокислоты

Энтропию как «системный параметр» можно интерпретировать как **произведение**

меры, характеризующей уверенность в том, что событие произойдет (вероятность события) и меры неопределенности, что событие все таки произойдет

Можно считать вероятность p_i мерой **уверенности**, что произойдет событие « i », а обратное значение вероятности, то есть $1/p_i$ мерой **неуверенности (неопределенность)** в том, что событие « i » произойдет.

$$E = -x \log_2(x)$$

$$\frac{dE}{dx} = -\frac{d}{dx} x \log_2(x)$$

$$= -\left(\log_2(x) + x \left(\frac{1}{x}\right)\right)$$

$$= -\left(\log_2(x) + 1\right)$$

Вопрос: Когда энтропия системы достигает «максимума»?

Это должно быть состояние с **наибольшей неопределенностью**, то есть состояние, когда вероятности всех возможных событий одинаковы

Приравнивая найденную производную к 0,

$$-\left(\log_2(x) + 1\right) = 0$$

$$\log_2 x = -1$$

$$x = \frac{1}{2}$$


$$-\log_2(x=1/2) = \log_2 2 = 1 \text{ бит}$$

- Определение понятия реификации (reification)
 - процесс , в котором абстрактная идея (например, программа) или результат вычислений по программе (число) превращается в данные, другой реальный (программа) или мыслимый объект

По сути реификация – это процесс «овеществления» продуктов мыслительной деятельности (абстрактных утверждений), например,

- описание языка программирования с помощью другого языка программирования
- трансформация понятий в материально-вещественные формы или объекты

Посредством реификации то, что ранее было неявным, невыраженным и невыразимым, теперь **эксплицитно (явным образом)** формулируется и становится доступным для физических, логических или вычислительных манипуляций (например, с помощью рефлексивных языков программирования).

Поэтому, овеществление является одной из часто используемых техник программирования, например:

- «овеществление» адреса памяти для его непосредственного использования в каком либо специальном контроллере

```
char* buffer = (char*) 0xB8000000;
```

```
buffer[0] = 10;
```

- описания некоторого утверждения, не указывая его явно

- **ген** — это биологический «код», по которому организм воспроизводит ферменты и протеины для построения белковых тканей. У человека около 20 тысяч генов и **23 пары хромосом** — носителей генов, которые хранятся в ядрах всех клеток и участвуют в делении клеток;

Цепочка генетического кода состоит из **четырёх «букв»**, а именно из **молекул** — гуанина (G), цитозина (C), тимина (T) и аденина (A).

- Геном человека это «слово», составленное из 4-х букв (нуклеотидов). Геном человека в 2022 г. расшифрован на 100%, то есть определен порядок расположения нуклеотидов в цепочке ДНК, но интерпретация последовательностей пока находится в начальной стадии.

Вопрос: сколько информации в битах содержит цепочка ДНК человека, состоящая из **$1,5 \times 10^{23}$ нуклеотидов**

Дано: $N=4$, $K= 1,5 \times 10^{23}$

Найти: объем информации I в цепочке ДНК

Решение $I = K \times i$ $N = 2^i$,

- $i=2$,
- $1,5 \times 10^{23} \times 2 = 3 \times 10^{23}$ бит



Последовательность ДНК (пример)

gatcaacactacttgacttcaagacttaccataaagaaaactatagtggtgattggcaa
aagacaagacaaatagatcaacataacaaaataaagggccatgaaatagaccatagtg
caattgatttttgacaaagaaggattggcaatagaatggggtaaagatagtgcttctcaac
aaacgggtaccagaatgactgaataccsacatgcaaaaagaaaagaaatgaacctagaca
cagatcttatacagttcacaaaaatgtaactcaaaatgaatcatagacctaaatataata
ttcaagactataaaaccctaaaatataacataggggaaaatctaacaatcttgagtttg
ttaatgactttttagatacaataccaaaggcaggatccaggaaagaatcgataagctggg
cttcattaaaattaaaatatttctgctctatgaagccactgtcaagagaaggaaaaggca
agccatagactgggagaaaaatatttacaaaaagacatacatgataaaggactattatccaa
aatgtacaaagaactctaaaaacttaacaataagaaaaacaaaccctaataaaactggg
cscagatcttaacagatatattaccsaagaagatacacagatggcaataagcataaaa
agattaaccacatcatacgtcattaagaaattgcaaaattaaaacaacatgagacaccat
tatacacctagtagaatgaccsaaatccagattactgacataatcaaatgctgacaagga
tgtggagaaacaggaactgccattcttgggttggtgggaatgccaatgggatgcctgctt
tggaagacagcttggtggttttcttacaacactaagcatactcttaccsaaagatcgagca

Код ДНК един для всех организмов живущих на Земле. Во всех геномах живых организмов используется одни и те же наборы кодовых комбинаций.

По формуле Шеннона можно вычислить энтропию ДНК.

Как в любой «замкнутой» системе энтропия ДНК будет расти.

Вопрос: как можно ли «бороться» с генетической энтропией, если скорость накопления вредных мутаций равна «3 мутации на 1 событие деления клетки» ?

Усложнять просто, упрощать сложно.

Закон Мейера

- Если в **какой-то подсистеме** уменьшить энтропию (неопределенность), **то энтропия всей системы** в целом возрастает ?!
- Чтобы привнести в **систему отрицательную энтропию**, надо где-то взять вещество, «обогащенное» свободной энергией (сложно-организованное антиэнтропийное вещество) и переместить его внутрь исследуемой системы.
- Передача в систему **потока энергии без переноса «антиэнтропийного» вещества** лишь поднимет температуру системы, то есть увеличит ее тепловую энергию и уменьшит свободную энергию. **В результате сложность всей системы снизится.**

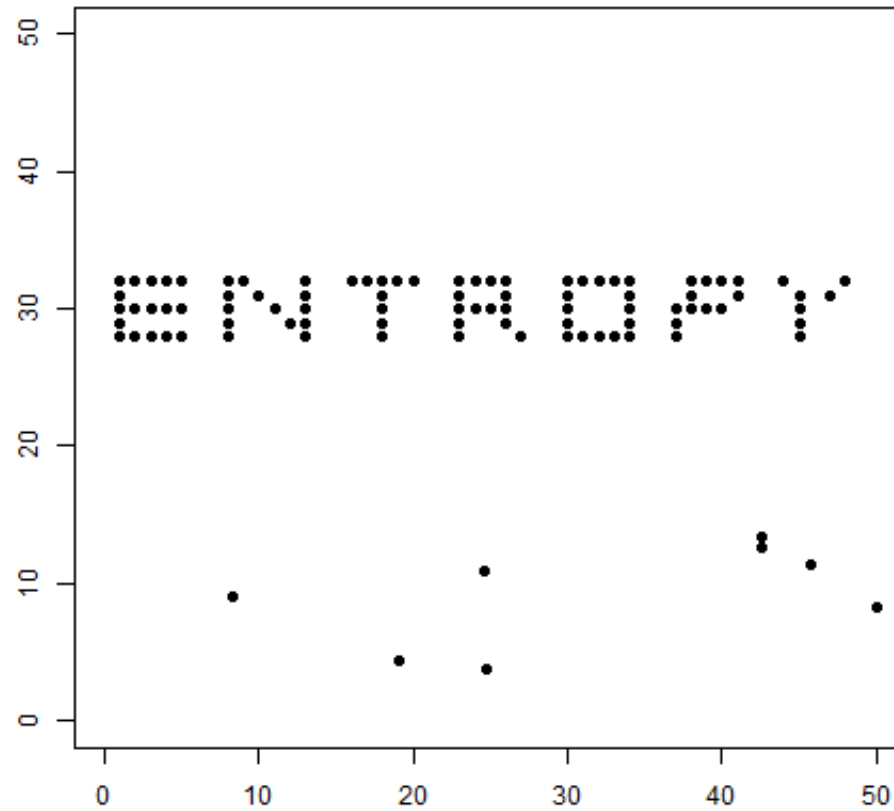
- **АЛГОРИТМ** – заранее сформированная **совокупность вычислительных операций (в большинстве своем логических и не обратимых), используемых для получения конкретного решения рассматриваемой проблемы, то есть выбора одного решения из множества возможных, что приводит систему к снижению ее ЭНТРОПИИ .**
- Компьютеры, выполняющие предписания алгоритмов, это физические системы, поэтому возможности реализации логики работы алгоритмов определяют законы физики. Вопрос:
 - Чем ограничена скорость работы алгоритма ?
 - Что происходит в окружающей компьютер среде?
 - Можно ли уменьшить выделение тепла при работе компьютера ?
(1+2=3)
- В природе, обработка информации **не сводится только к вычислениям с использованием алгоритмов...** а существуют и «не алгоритмические вычислительные технологии», такие как: **интуиция, импатия, ощущения....В чем же разница ?**

Итак, законы физики ограничивают скорость компьютерных вычислений и обмена информацией. Произведем оценки:

- Согласно принципу неопределенности Гейзенберга, а именно $\Delta E \Delta t \geq \hbar$, чтобы совершить логическую операцию перехода из одного состояния в другое, которые отличаются на величину энергии ΔE требует по меньшей мере время $\Delta t = \pi \hbar / 2 \Delta E$.
- Итак, вычислительная система со средней энергией E может производить максимум $2E / \pi \hbar$ логических операций в секунду (то есть за время $1 / \Delta t = \pi \hbar / 2 \Delta E$).
- Если мы используем компьютер массой 1 кг, то его полная энергия может быть вычислена по формуле $E = m \cdot c^2$.
- Следовательно компьютера с массой в 1 кг обладает энергией $E = mc^2 = 8.9874 \cdot 10^{16}$ Дж., значит может производить максимум $5.4258 \cdot 10^{50}$ операций за секунду.

- Количество информации – это **количество** различных состояний физической системы (потенциальное количество информации). Эта количество W , связано с термодинамической энтропией системы формулой
$$S = k_B \ln W$$
, где k_B - постоянная Больцмана.
- Итак, энтропия управляет количеством информации, которую может обработать вычислительная система, а температура системы управляет скоростью выполнения вычислительных операций «на бит на секунду» - **максимум $5.4258 \cdot 10^{50}$ операций за секунду.**

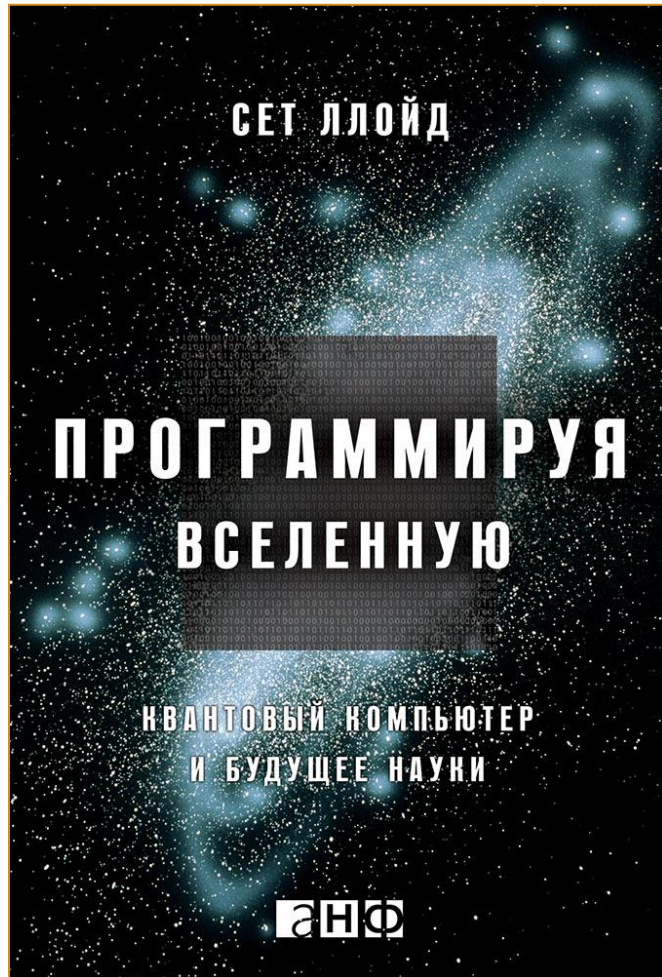
Энтропия - количества информации, которую можно получить о системе, взаимодействуя с ней



Выводы

- Энтропия и информация – одни из самых важных и в то же время трудных для понимания научных концепций, без которой невозможно представить себе объективную картину мира.
- Энтропия является неотъемлемым свойством макроскопических и информационных систем, но, в отличие от известных физических переменных таких как температуры, давления или объёма, её нельзя измерить с помощью приборов, но можно ВЫЧИСЛИТЬ
- итак:
 - в термодинамике мера необратимого рассеяния энергии,
 - в статистической физике – вероятность осуществления некоторого макроскопического состояния,
 - в теории динамических систем – мера хаоса в поведении системы,
 - в теории информации – мера неопределённости источника сообщений, определяемая вероятностями появления тех или иных символов при их передаче.

Что рекомендуется прочитать



Идея: Вселенная постоянно обрабатывает информацию — будучи квантовым компьютером огромного размера, она все время вычисляет собственное будущее.

Каждый атом Вселенной, а не только различные макроскопические объекты, способен хранить информацию. чтобы процесс в изолированной системе происходил самопроизвольно (за счет внутренней энергии) , он должен увеличивать энтропию