

## ВШ ИСКУСТВЕННОГО 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*

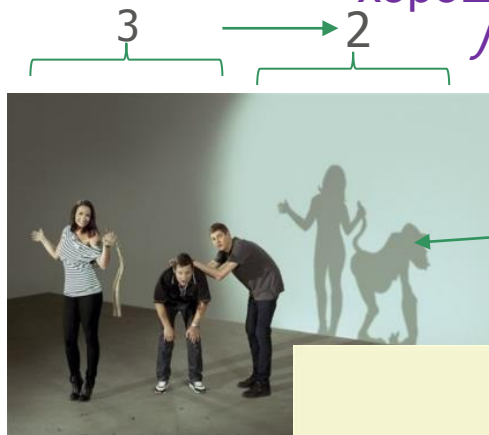
2.10.2025

## Что было на прошлой лекции

- Введение к лекции «2»
- Использование научных знаний: как понимать что такое **реификация в КН**
- Что значит **МЫСЛИТЬ СИСТЕМНО**
- Заключение

# ЧТО БЫЛО НА ПРОШЛОЙ ЛЕКЦИИ ГДЕ НАХОДИТЬСЯ ИСТОЧНИК СВЕТА В КН ?

Проблема КН: «где  
найти источник  
света» ?



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

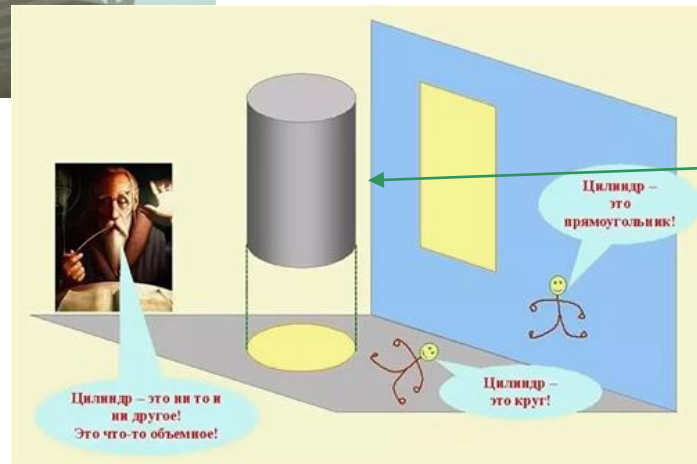
*Л. Больцман*  $i^2 = -1$

Суть «понимания» -  
решение задачи  
«обратного  
моделирования»  
объектов Природы

Символ/как  
«тень»  
объекта

**Объекты**

**задача «обратного  
моделирования»**  
имеет множество  
решений !!! ???



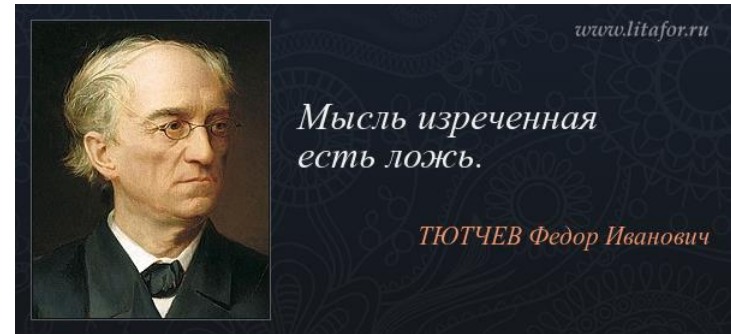
Триплеты научных знаний:

- материя, энергия, **информация**
- числа, слова, **смыслы**
- модели, вычисления, **понятия**

умение формулировать вопрос так, чтобы «обратные задачи» имели «вычисляемое» решение («пром프트»-инжиниринг, «prompt» - суть подсказка)

Примеры:

- Неправильный вопрос: **Что есть информация?**
- Правильная формулировка вопроса: Как нужно рассуждать об **inFORMATION**, чтобы эти рассуждения имели смысл?



**Суть профессионального «компьютерного» подхода в том, чтобы не допускать обсуждение проблем, для которых не существует алгоритмов «вычисления» логически непротиворечивых (?) **объяснений**(решения **суть объяснения**)**

- «Если **значения слов (объем воплощенного в слове понятия)** не определены, то нет и **смыслов**. Если нет **смыслов, то действия** не происходят».

(Конфуций, 551-479 г. до н.э.).

- «**Определите содержание слов**, и вы избавите человечество от половины его заблуждений».

(Рене Декарт, 1596 -1650).

- «Информация – это **не материя и не энергия**. Это третье».

(Норберт Винер)

Кибернетика, или Управление и связь  
в животном и машине. 1958 г.)

- Вопрос: можно ли .... увидеть смысл ??? (надо реализовать процесс .....реификации)

## ПРИМЕР РЕИФИКАЦИИ:

Понятие реификация или «информационно-воздействие» можно определить формально как **уменьшение количества равновероятных исходов**. Большинство определений не конструктивно до тех пор, пока нет возможности точно определить, что является **информационной сущностью** объекта: **код**, субъект воспринимающий код, инструмент реализующий код, физический процесс (сигнал), как **воплощенный код**.



**Пример:** Музыка – это определенный набор звуков. Но ни каждый набор частот колебаний струн инструмента можно связать с **понятием музыка**. Каждому музыкальному произведению сопоставляется **мыслимый нотный код**, а также **дискриптор** – название и автор.

### Что планируем обсудить:

ключевые слова

Понимание информации: как «кривое зеркало» физической реальности.

Смыслы: вычислимые числа и функции, невычислимые понятия.

Энтропия, информация, данные, знания: основы современной концепции компьютерных наук (КН).

- Информация – **inFORMATION** ....  $I_i = -\log_2 p_i$ , где  $\sum p_i = 1$ 
  - (в данном случае - **форма** вероятностного пространства  $\sum p_i = 1$  )
- **энтропия**
- **знание**, понимание, **экзо-интеллект**
- **реификация** (от лат. res — вещь ) — процесс, в ходе которого продукты мышления (знания) облекаются (воплощаются) в материально-вещественные формы



# Понимание «информация» - как меры «формы»

- *in**FORMA**tio*: абстрактная «форма», которая получила воплощение.
  - Цицероном: *in**FORMA**tio* воплощение слова в **идею**
  - Евангелие от Иоанна **«слово плоть бысть»** (слово стало плотью)
    - Фома Аквинский: *in**FORMA**tio materiae* = **формирование материи**  
в теории передачи информации К. Шеннона  
информация - **мера сообщения**  $I = -\log P$
- Физический аспект : **информация мера сложности структуры**:
- в КН мера сложности алгоритма (P, NP, NPC...), которая **имеет бесконечное число** различных программных реализаций, но
  - существуют **алгоритмически неразрешимые задачи**, например, **задача самоприменимости машины Тьюринга**, **задача «останова» алгоритма**

## ЧТО ЗНАЧИТ МЫСЛИТЬ СИСТЕМНО ОТ НАБЛЮДЕНИЯ ЯВЛЕНИЙ И ПРОЦЕССОВ К АБСТРАКТНЫМ МОДЕЛЯМ

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
- **объяснить** почему, система **имеет/не** имеет определенное число состояний ( как, например, в квантовой механике)
- **предложить** «конструктивное» решение проблемы с использованием **меры неопределенности** (решить с точностью до вероятности) наблюдаемых событий

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

*Леопольд Кронекер*



**Каждая профессия использует специальную знаковую систему,**  
способной к реификации в процессы или логически не противоречивую модель.

**Реификация в компьютерных науках начинается с:**

0, 1, 2, 3... **натуральные. числа...**

$\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{3}$ , .... **рациональные. числа .**

$1/(1+x^2) = 1 - x^2 + x^4 - \dots$  **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  $3 \pmod{2} = 1 \Rightarrow 11 = 3 \text{ ???}$

$a_n \dots a_1 a_0 = a_n \times 10^n + \dots a_1 \times 10 + a_0 \times 10^0$  **поз. система счисления.**

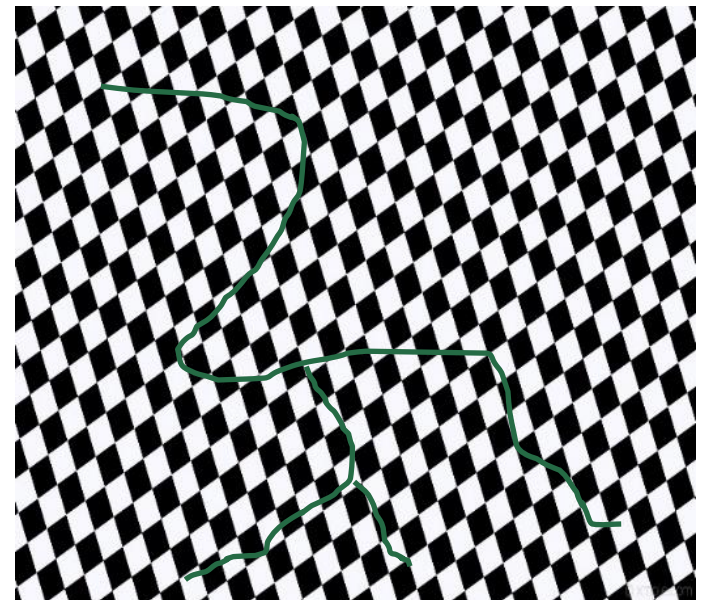
Абстрагирование порождает  
побочные эффекты –  
информационные «тени»  
вычислимой реальности

## Реальный физический процесс



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

Черно-белый экран из «пикселей», отображающий траекторию

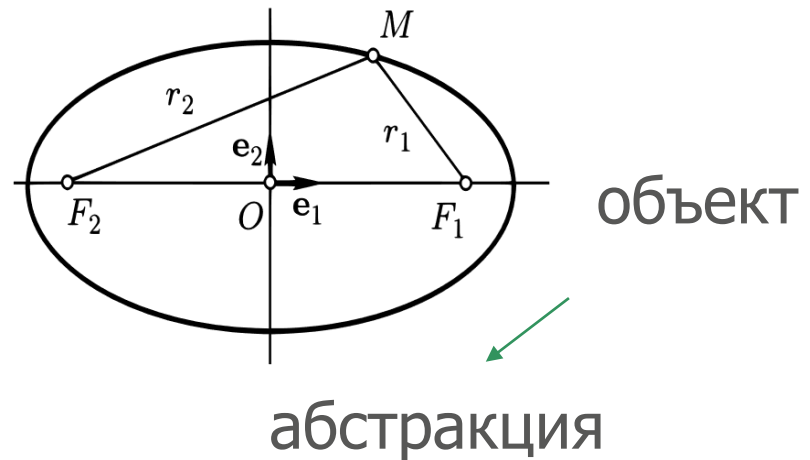


1) уметь: «информацию» о увиденном физическом процессе использовать для описания и объяснения наблюдаемого события


2) Знать как «вычислить» то, что может произойти:

- **скорость движения молнии ?**
- произвести расчет траектории?
- построить теорию «молнии» как физического объекта ?

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



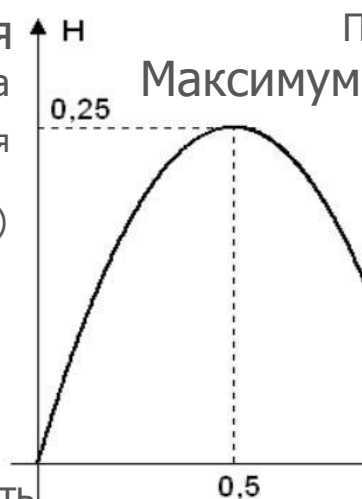
на плоскости  $xu$  есть множество  $E$   
точек  $(x, y)$ , заданное квадратным уравнением  
 $ax^2 + 2bxy + cy^2 = 1$ ,



Пример: Если число пикселей на экране  $10^5 \times 10^5$ , то количество **равновероятных** черно-белых «фигур» из **пикселей** :  $2^{10000} = (1000)^{1000} = (10)^{3000}$  (число нуклонов во Вселенной  $10^{80}$ )....

- информация имеет статистическую природу и выражает степень неопределённости передаваемого символа, а **количество информации** определяются **вероятностью**

повзления символа в сообщении 1, бит repeat (0)



Пример:

[illegible]

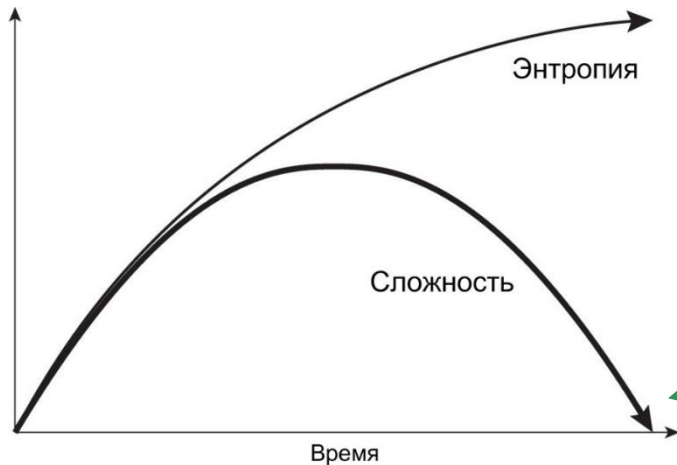
Эти три сообщения используют одинаковый объем памяти – 50 бит,  
но количество информации в них различается.

«бит» – единица информации

# ЧТО ОБЩЕГО В ФИЗИКЕ И ТЕОРИИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ? -> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОНЯТИЯ « ЭНТРОПИИ »

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

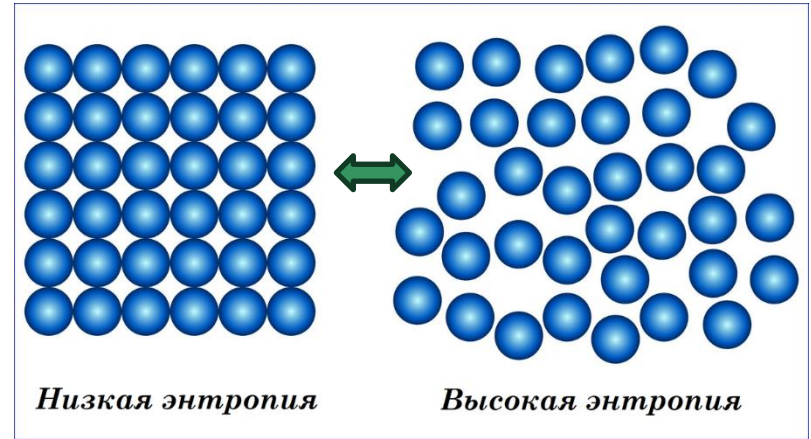
Энтропия в термодинамике — мера рассеяния энергии.



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

Энтропия в теории К. Шеннона

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



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

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

Второй закон термодинамики: в замкнутой системе энтропия не уменьшается

# КАК НАУЧИТЬСЯ ОТВЕЧАТЬ НА ВОПРОСЫ «СИСТЕМНО»



Вероятность отгадать результат  $p=1/2$

Как из «1/2» получить «1» ?

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

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

→ ? Убывание энтропии – рост информации ?

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

entrop

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**, либо ....в **сознании**

Примеры:

- Лингвистика – сложнее, чем химия и физика. Есть слова амони́мы – 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 того, что событие все таки не 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.

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

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

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

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

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,

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

$$\log_2 x = -1$$

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


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

- 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)**

то есть 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

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ КОДЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ПРИРОДЕ

- **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 четырех «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)

gatcaacactacttgacttcaagacttaccataaagaaaactatagtgtgggtattggcaa  
aagacaagacaaaatagatcaacataacaaaataaagggccatgaaatagaccatagat  
caattgatttttgacaaagaaggattggcaatagaatggggtaaagatagtcttctcaac  
aaacggtaccagaatgactgaataccacatgcaaaaagaaaaagaaatgaacctagaca  
cagatcttatacagttcacaaaaatgtaactcaaaatgaatcatagacctaaatataata  
ttcaagactataaaaccctaaaatataacataggggaaaatctaacaatcttgagtttg  
ttaatgacttttttagatacaataccaaaggcaggatccaggaaagaatcgataagctggg  
cttcattaaaattaaaatattttctgctctatgaagccactgtcaagagaaggaaaaggca  
agccatagactgggagaaaaatatttacaaaagacatacatgataaaggactattatccaa  
aatgtacaaagaactctaaaaaacttaacaataagaaaaacaaacccaactaaaaactggg  
ccaaagatcttaacagatatattaccaagaagatacacagatggcaaataagcataaaa  
agattaaccacatcatcgtcattaagaaattgcaaattaaaacaacaatgagacaccat  
tatacactagtagaatgacccaaatccagattactgacataatcaaatgctgacaagga  
tgtggagaaacaggaactgccattcttgggttggtgggaatgccaaatggatatgcctgctt  
tggaagacagcttggtggttttcttacaacactaagcatactcttaccaaaagatcgagca

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.**

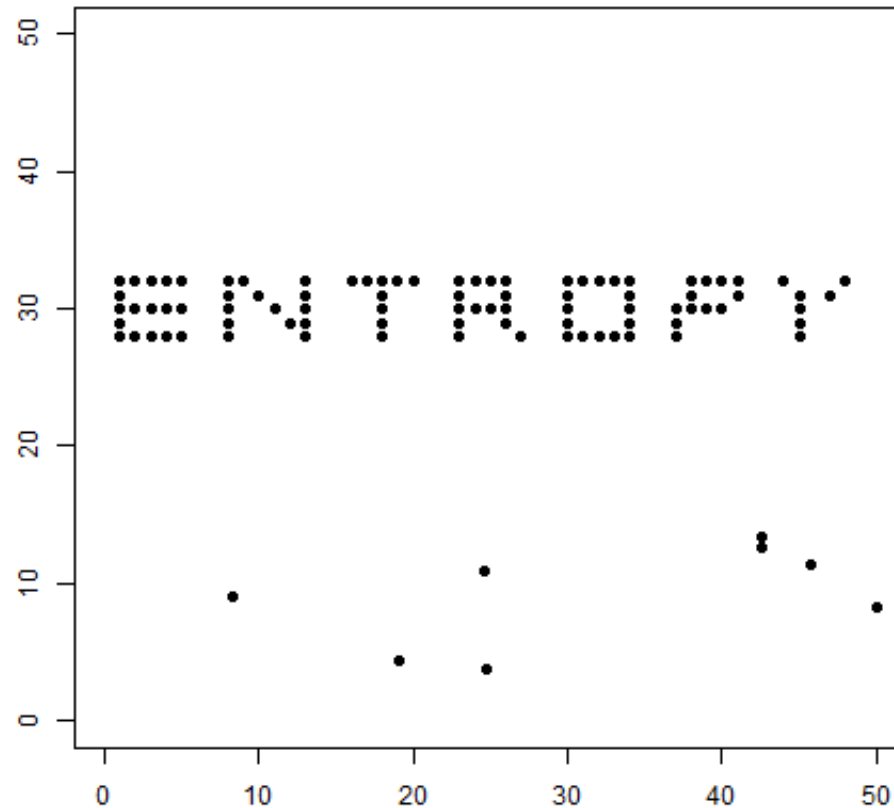
**Вопрос: как можно ли «бороться» с генетической энтропией, если скорость накопления вредных мутаций равна «3 мутации на 1 событие деления клетки» ?**

**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.**

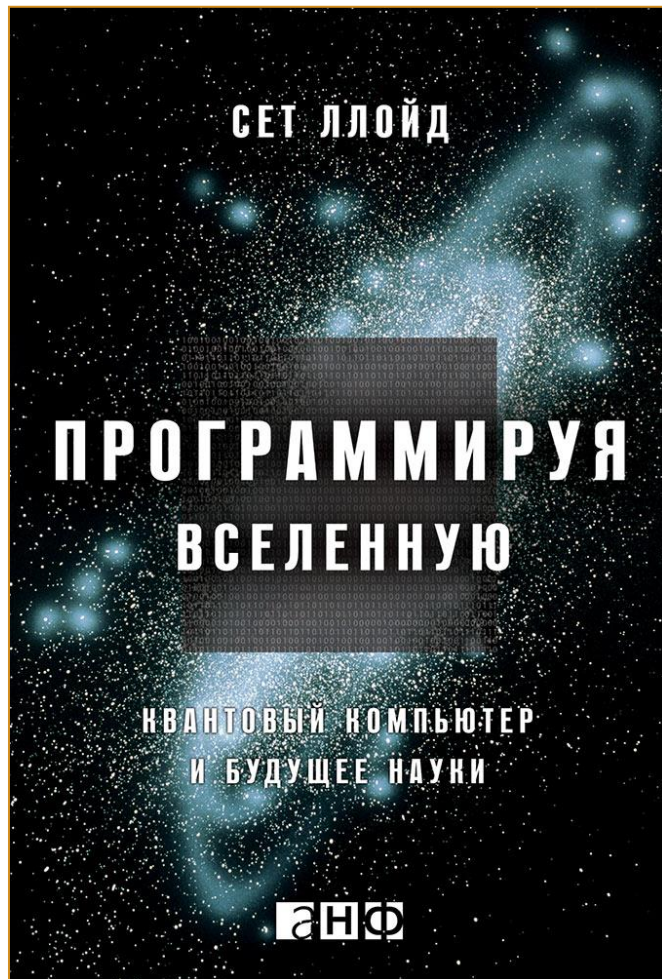
Энтропия - количества информации, которую можно получить о системе, взаимодействуя с ней



# 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