

ВСИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Введение в профессиональную деятельность

ЛЕКЦИЯ 1_2: МОТИВАЦИОННАЯ.

10.02.2022

Акад. В.М. Глушков: «Информация, в самом общем ее понимании, представляет собой меру неоднородности распределения материи и энергии в пространстве и времени, меру изменений, которыми сопровождаются все протекающие в мире процессы».

(Глушков В.М. О кибернетике как науке. Кибернетика, мышление, жизнь. – М.: 1964.)

- **Мера снятой неопределенности**, которая имеет вероятностную природу (т.е. - $\log_2 p$, где p – вероятность произошедшего «события» - вероятностная концепция) – К. Шенон
- **Мера сложности** системы или «длина» программы, с помощью которой «рассчитывается» объект - ак. А. Н. Колмогоров
- **Мера неоднородности, разнообразия или изменений** – ак. В.М. Глушков

- Существует ли информация как объективная реальность?
- Какова сущностная природа информации?
- Как возникает и как описывается феномен информации?
- Где возникает информация?
- Куда «пропадает» информация?
- Как происходит восприятие информации?
- Как передается информация?
- Как связана информация с материей и энергией?
- Как связана информация с сознанием?



Сотворение
Адама
Микеланджело
Сикстинская
капелла

- Информация – «проекция возможного (будущего) на состоявшееся (настоящее), стрела времени....
- Что общего и в чем разница между «СЛОВОМ» и “BIT” –ом ?

Мышление (представление о Мире через понятия) есть лишь расчет.

Томас Гоббс (1588-1679)

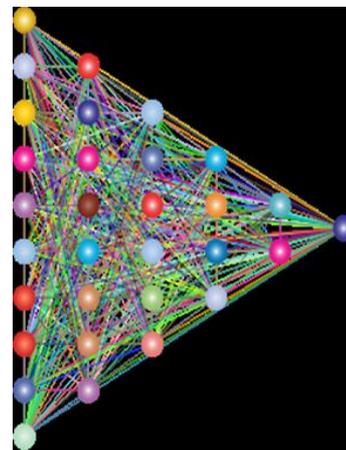
Не будем спорить — давайте посчитаем.

Жозеф Лагранж (1736-1813)

- Задача 1.** Вычисление результата с использованием алгоритма (требования: быстрее, точнее, с меньшими затратами, операции: $+/-, >, =$)
- Задача 2.** Построение алгоритма (программы) решения проблемы (требование: понимание, объяснение, обобщение, операции:?)

«Классическая» цель КН:
решение прямых задач –
доказательство существования
«**единственного**» решения
уравнений, используя алгоритмы(
программы)

«Новая» цель КН:
решение обратных задач, которые
не имеют единственного решения
и...выбор одного из возможных





Привычное представление о наличии единственного или одного исхода у любого эксперимента — **в корне неверно**, т.е. закон исключенного третьего не является универсальной основой научного **понимания** мира

$$A \vee \bar{A} = 1$$



ПОЛИТЕХ

ГЛОБАЛЬНЫЙ ВЫЗОВ



В начале было слово

It from bit ?!

Теперь люди сами способны:

- создать новый информационный мир цифровых объектов.
и
- реализовать в нем «свои» законы поведения абстрактных объектов, информационных сущностей и агентов.

В окружающем человека мире есть вещи/объекты/предметы, которым можно сопоставить **мыслимые понятия**.

Предметы, о которых люди ничего не **мыслят** или не знают находятся **за границей возможностей их** целенаправленного использования.

При этом вещи по другую сторону **границы мыслимого** по определению являются **немыслимыми**.

Упорядочить представления о мыслимой и немыслимой частях реальности можно путем введения понятия информация, считая ее **атрибутом** лишь той части окружающей человека реальности, которая для них является **мыслимой**.

МЫСЛИМОЕ О МАТЕРИАЛЬНОМ - «СИМВОЛЬНЫЙ КОД ФИЗИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС»

Понятие «материальное» можно определить через «обратное» как все, что отличается от психического и духовного, т.е. информационного. Такое определение не конструктивно, но пока мы не можем точно определить, что является информационной сущностью объекта реальности, а что таковой не является.



Интеллектуальный субъект, «понимающий» код



Инструмент «расшифровки»

кода



восприятие музыки



Код физического процесса

Инструмент записи



физический «процесс»

кода

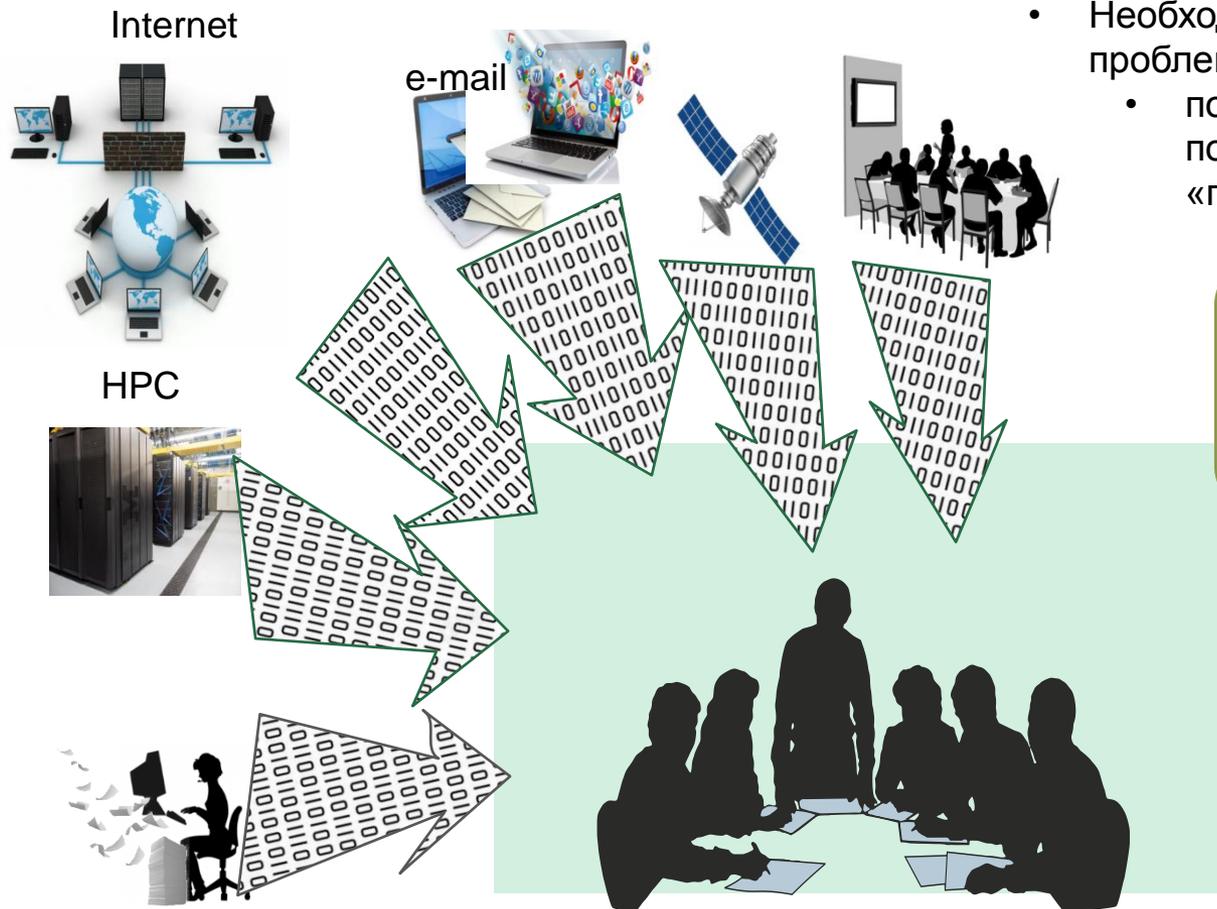
Атрибутивный характер понятия «музыка» очевиден. Музыка – это атрибут, который присущ определенным наборам звуков. Ни каждый набор частот колебаний струн можно связать с понятием музыка, а только если свойства набора колебаний струн инструмента, отвечают пропорции, порождаемой гармоническим рядом. Каждому музыкальному произведению сопоставляется некий дискриптор – название и автор



ПОЛИТЕХ

Что такое "DIGITAL FLOOD" ?

Проблема Digital flood : нет времени построить «правильный алгоритм» , решение надо принимать on the basis of **experience** т.е. **out of habit** (по привычке)



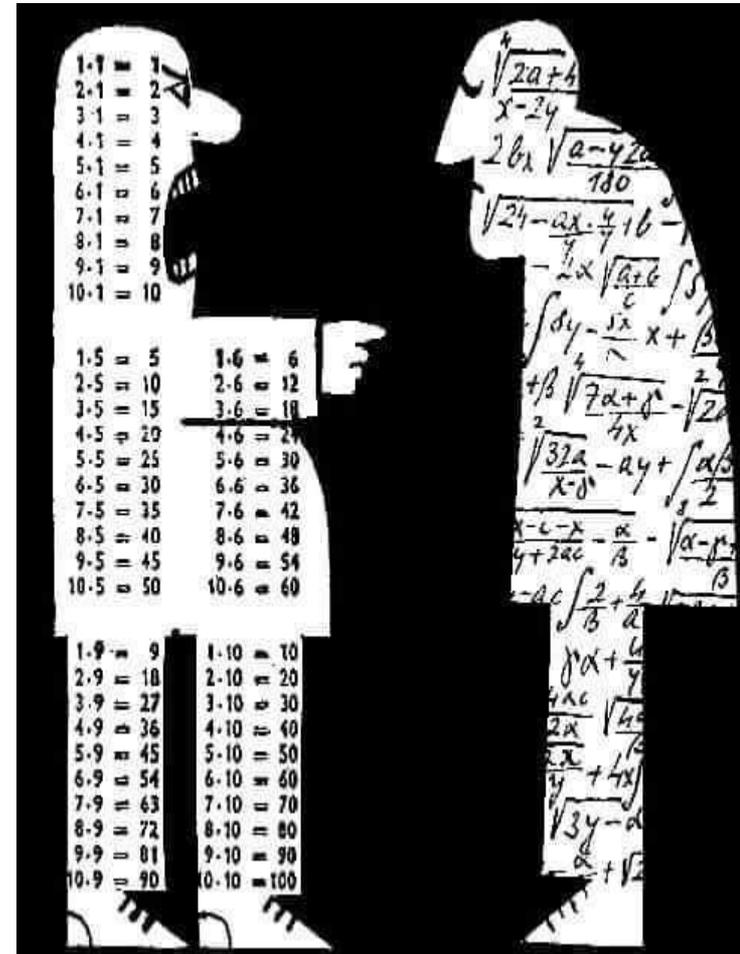
- Необходимо понимать проблему
- помнить ранее полученное «правильное» решение

что для этого надо?



- **Императивное программирование** (от англ. imperative — приказ, языки C, Fortran, Java) — это парадигма, которая описывает процесс вычисления в виде набора инструкций, изменяющих состояние данных так, чтобы решать задачу (подвиды и.п..... процедурное и объектно-ориентированное программирование) **от машины к человеку** (>>> 3-4, >>>3*4)
- **Декларативное программирование** (языки SQL, Prolog)— это парадигма, в которой задается спецификация (описание) цели (что хотим получить в результате) задачи, которые не содержат переменных и операторов присваивания... **от человека к машине** (CREATE TABLE if NOT EXIST staff...)
- **Функциональное программирование** — программирование которое использует результаты вычисления функций, аргументы которых есть данные или другие функции (**от функции к функции**... что-то получает на вход и всегда что-то возвращает ... $\text{const } f = (x) \Rightarrow x * \text{Math.sin}(1 / x)$).
 - знак = в функциональных языках называется “связывание“, что есть специальная форма записи функций, ликвидирующая неоднозначности типа функция/значение функции...

ИНФОРМАЦИЯ – АТРИБУТ ИЛИ ФУНКЦИЯ ?!



- Согласно фундаментальным физическим теориям все возможные состояния физических процессов находятся в 4-х мерном псевдо евклидовом пространстве Минковского X^3T .
- Состоянию информационных процессов соответствует пространство размерности 6, а именно: L^3T^3 , в котором время трехмерно - «прошлое-настоящее-будущее».
- Если информационная система наделена когнитивными возможностями, то прогноз «будущего» влияет на «настоящее», чего нет в случае классических «физических процессов».
- В информационных системах и прошлое и будущее «случайно», т.е. не определено до детерминированного причинного описания (**Лагранжев принцип достаточного основания не работает**)
- При этом мощность множества задач, имеющих решение и множество задач, имеющих алгоритм вычисления решения существенно различны

- Физик Стивен Хокинг:
 - "ИИ - возможный убийца человеческой цивилизации"



- С. Рассел и П. Норвиг. Искусственный интеллект. //2002. Стр.1286:
 - “ ... системы ИИ могут создать угрозу самоопределению, свободе и даже выживанию людей. По этим причинам нельзя рассматривать исследования в области ИИ в отрыве от их этических последствий.”



МОДЕЛИ РЕАЛЬНОСТИ ФИЗИЧЕСКОГО И ИНФОРМАЦИОННОГО ПЛАНОВ

«Модель мира» - это научная абстракция 5-ого порядка, следующая за такими абстракциями как:

- Понятие (сущность естественного языка,)
- Число (носитель количественной меры)
- Алгебра (структура и свойства операций)
- Топология и отношения порядка

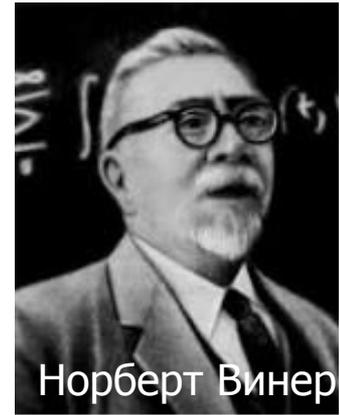
Модели «Мира»:

- **физического плана** – локальные и замкнутые. Такие модели описывают реальность, в которой прошлое и будущее формально **«симметрично»**, действует принцип физической **«относительности»**.
- **информационного плана** – глобальные и открытые. В них «стрела времени» физически необратима, поэтому **«прошлое» физически недостижимо**, действует принцип относительности по отношению к знаниям субъекта.

Вопрос , достижимо ли прошлое **«информационно»** ?

Вопрос – исполнители «чего» ?

“Если **магия** вообще способна **даровать** что-либо, то она дарует именно то, что вы **попросили**, а не то, что вы подразумевали, но не сумели **точно сформулировать**.”



*«Компьютеры похожи на ветхозаветных богов:
сплошные правила и ни капли жалости».*

(Дж. Кэмпбелл)

- «Информация – это не материя и не энергия. Это третье».
(Норберт Винер)
- Человек - субъект воспринимающий информацию, способный использовать ее для «совершения работы»
- Однако сознание человека и процессы мышления, использующие информацию, не является объектом, который подчиняется классическим законом физики.
- В системах передачи данных информация непосредственно связана с вероятностной мерой передачи сигнала (
- Сознание как объективный феномен способно управлять процессам изменения реальности (коэволюции), обрабатывая информацию и преобразуя ее в ментальные (инженерные) образы, которые затем воплощаются в объекты реальности



ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПЕРСОНАЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ

- Часть 1. Введение в информационного описания реальности. байесовский вывод. (Файл присоединен к заданию).
 - Что такое информация. Как понятие информация используется технологиях связи и в машинном обучении. Краткая история развития концепции искусственного интеллекта. Суть машинного обучения.
 - Байесовский подход к описанию случайных процессов. Понятие энтропии. Основные определения. Байесовский вывод для задачи «бросания монетки».
 - Априорные и апостериорные распределения вероятности
- Часть 2. Количественные характеристики информации
 - Мера информации по Шеннону, Колмогорову, Хартли, Харкечиву, Глушкову. Классификация мер информации. Энтропия системы по Шеннону. Семантическая информация. Экстенциональные и интенциональные семантические сети.
 - Квантовая информация. Квантовые компьютеры. Машина Тьюринга. Тезис Чёрча — Тьюринга. Теоремы Геделя.



Материал №1 к практическим занятиям

ПОНЯТИЕ ИНФОРМАЦИЯ ФИЗИКЕ, ТЕХНИКЕ И КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУКАХ

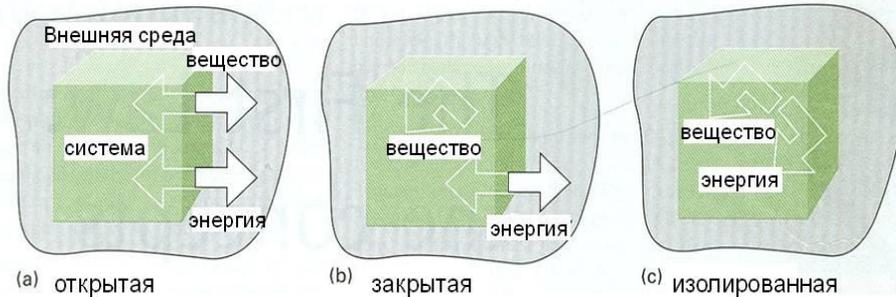
10 февраля, 2022 г.

ИНФОРМАЦИИ КАК МЕРА

- **снятой неопределенности**, которая сопоставляет вероятностную веру некоторому событию, связанному с получением сообщения (т.е. $I = -\log_2 p$, где p – вероятность произошедшего «события» - вероятностная концепция) – К. Шеннон
- **сложности**, которая измеряется минимальной длиной компьютерной программы (количеством команд), с помощью которой можно преобразовать один объект (множество) в другой (множество). - ак. А. Н. Колмогоров
- **разнообразия объективного существования объектов, создающих неоднородность (разнообразия или изменений)** в распределении распределения энергии и вещества. - ак. В.М. Глушков
- **числа** N сообщений длиной m символов, содержащихся в алфавите из n символов, ($I = \log_2 N$, где $N = m^n$) – Ральф Хартли (1988 -1970 гг.)
- мера **целесообразности** информации P_0 – вероятность достижения цели до получения информации, P_1 – вероятность достижения цели после получения и использования информации ($I = \log P_0/P_1$) - А. А. Харкевич (1904- 1965 гг.)

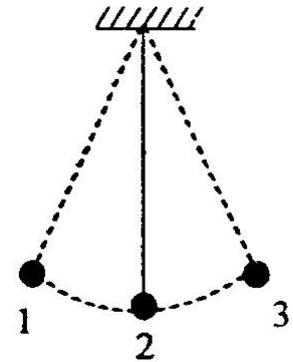
- Энтропия и **информации** с точки зрения физики (физическая, термодинамическая,.....)
- Энтропия и **информации с точки техники** (информационная, **it from bit**)
- Феномен информационного взаимодействие в биологии и социальных науках– **difference that make the difference**

Типы термодинамических систем



Энергия системы - это ее способность совершать работу

$$dS = \frac{\delta Q}{T}$$



dS – изменение энтропии
 dQ – изменение тепла
 T – температура

7

Энтропия системы (от др.-греч. ἐν «в» + τροπή) суть - «обращение; превращение» энергии. Энтропии бывают разные: в физике - характеризует меру сложности, хаотичности или неопределённости состояния системы, в термодинамике - характеризует меру необратимой диссипации энергии, в статистической физике - характеризует вероятность осуществления какого-либо макроскопического состояния.

- Согласно второму закону термодинамики (или H-теорема Больцмана), энтропия замкнутой системы $\Delta S_T = \Delta Q/T$ не может уменьшаться со временем.
- Однако термодинамическая энтропия может **изменяется** из-за обмена теплом ΔQ между системой и **внешним резервуаром**. При этом **информация** о состоянии системы может конвертироваться в **энтропию** ΔS_S это т.н. (информационную энтропию)

По формуле Хартли $\Delta S_S = i$, где

$$i = \log_2 N \quad (1)$$

где N — мощность алфавита i — количество информации в каждом символе сообщения

или информационную энтропию Шеннона, которая равна $\Delta S_S =$

$$H(x) = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i. \quad (2)$$

где n — число переменных, которые принимают значения x_i с вероятностью p_i

Формула Шеннона позволяет вычислить **математическое ожидание (среднее)** «количества информации», т.е.

$$E[X] = \int_{-\infty}^{\infty} x dF_X(x)$$

содержащегося в одной цифре (элементе кода передаваемого сообщения) – бит/символ.

Поэтому, если сообщения А, В имеют одинаковое распределение вероятностей символов (элементов), то энтропия этих сообщений одинакова

$$H(X)=H(Y) \quad (3)$$

Можно определить взаимную энтропию (бит/два символа)

$$H(AB) = H(A) + H(B | A) = H(B) + H(A | B). \quad (4)$$

(взаимная энтропия описывает неопределённость на пару символов: например, отправленного и полученного)

- При этом всегда для $f(g_i) = \log_2 g_i$, и $g_i = 1/p_i$

$$H(X) = -\mathbb{E}(\log_2 p_i) = \sum_{i=1}^n p_i \log_2 \frac{1}{p_i} = \sum_{i=1}^n p_i f(g_i) \leq f\left(\sum_{i=1}^n p_i g_i\right) = \log_2 n \quad (5)$$

т.е. энтропия переменных, имеющих «равномерное распределение», максимальна

- Итак, энтропия Шеннона выражает неопределенность (неуверенность) реализации случайной переменной. Другими словами, энтропия является **разницей** между **информацией, содержащейся в сообщении**, и той частью **информации**, которая **точно известна** (т.е. **уверенно предсказуема**) в сообщении. Можно сказать, что энтропия источника данных равна **среднему числу битов** на один элемент данных (символ), требуемых для их кодирования этих данных без потери информации при передаче.
- Если состояние бита заранее неизвестно, то есть с одинаковой вероятностью может равняться 0 или 1, **информационная энтропия равна $\Delta S_S = k \cdot \ln 2$** , а при стирании информации (переведении бита в конкретное состояние, например, в 0) она падает до нуля. **В результате получается, что при стирании информации энтропия ΔS_S уменьшается.** Поскольку суммарная энтропия уменьшиться не может: $S = Q/T + \Delta S_S \geq 0$, то получается, что вычислитель должен **передать резервуару тепло**

$$\bullet \quad Q \geq k \cdot T \cdot \ln 2 \quad (6)$$

Если у нас есть распределение вероятностей того, где находится частица, оно описывается "состоянием«

$$\sum_x \rho(x) |x\rangle$$

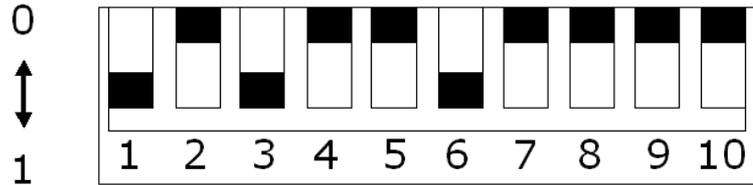

Функция плотности вероятности – измеряет вероятность того, что частица (символ) находится в определенном месте. В общем случае его волновая функция квантовой частицы имеет вид

$$c_0 |0\rangle + c_1 |1\rangle$$

где c_0, c_1 – амплитуды вероятностей (комплексные числа)
 c_i^2 – вероятность того, что частица находится в состоянии $|0\rangle$ или $|1\rangle$



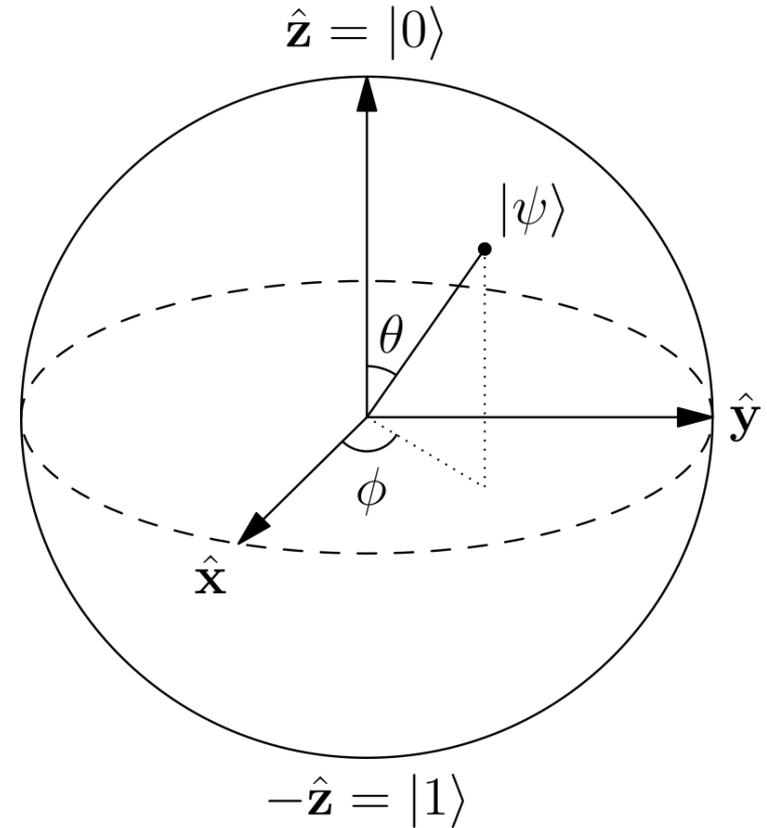
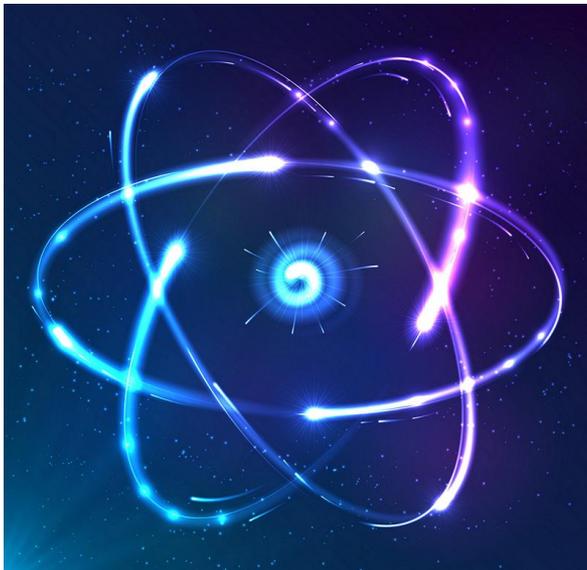
НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ: БИТ VS КУБИТ



001 002 004 008 016 032 064 128 256 512



Двоичный битовый регистр



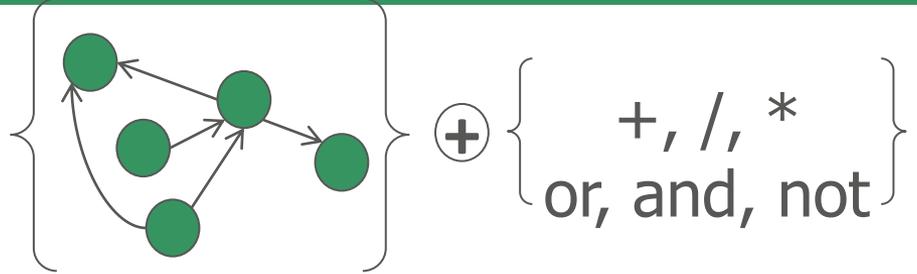
- Кубиты – квантовые биты, можно рассматривать как **тепловые машины**, выделяющие тепловую энергию при стирании информации, но для них формула Ландауэра не работает, поскольку квантовые системы могут находиться одновременно в **суперпозиции сразу нескольких состояний**, и понятия энтропии, энергии и температуры необходимо переопределять.
- Состояние квантовой системы задается с помощью матрицы **плотности вероятности ρ** , которая описывает, с какой вероятностью система находится в некотором **состоянии**.
- «Смешенные состояния» в русских сказках описываются фразами «долго ли коротко ли», «видимо – невидимо» или как у кота Шрёдингера - «ни жив» ни мертв». Если смешанных состояний нет, то матрица принимает диагональный вид и сводится к обычному набору вероятностей p_i — скажем, кота Шредингера можно описать набором «с вероятностью 0,75 кот жив, а с вероятностью 0,25 мертв», — однако в квантовых системах возможны более сложные конфигурации (**кот ни «жив» ни «мертв»**).
- С помощью ρ можно вычислить среднее значение величины, задаваемой оператором \hat{A} - информационную **энтропию фон Неймана** можно записать

$$\hat{A} = \ln[\rho] \quad (7).$$

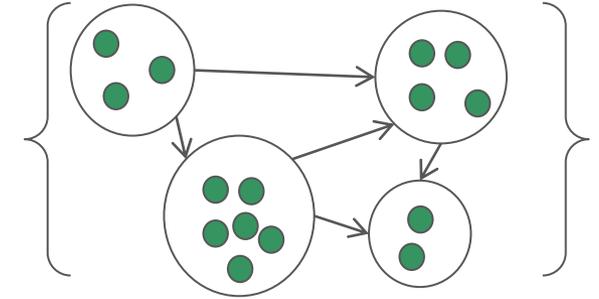
- В квантовых системах суть принципа Ландауэра не меняется, т.е.
 - количество теплоты (определяется по числу фононов, которые отвечают колебаниям квантовых частиц), выделяемой при стирании одного бита, ограничено снизу,
- но необходимо учитывать так называемую
 - взаимную энтропию между вычислителем и резервуаром D ,
 - изменение свободной энергии резервуара I .
- «квантовое неравенств Ландауэра» зависит от 4-х переменных (Q , S , D , I) и характеризует количество тепла, которое получает резервуар. Это количество действительно пропорционально температуре и изменению энтропии вычислительной системы.

ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ О ФИЗИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ

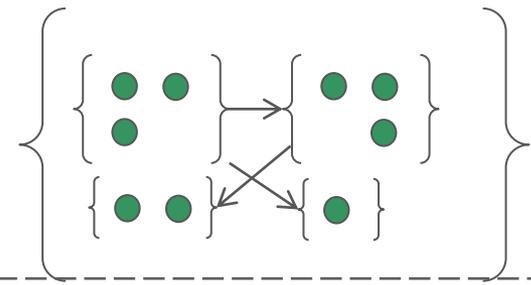
1 Физический мир – это **логико-алгебраическая система**: множество объектов и операций над объектами



2 Физический мир – это **частичная алгебраическая система**: совокупность подмножеств. Внутри подмножеств действуют свои операции. Модель строится с помощью операций над выбранными подмножествами.



3 Физический мир – объединение алгебраических подсистем и мета-операций. Внутри «малых» подсистем объекты неразличимы.



партитура  музыкант  инструмент  звуки музыки  слушатели 

квантовая реальность

описание в терминах функций (структур) в пространстве состояний

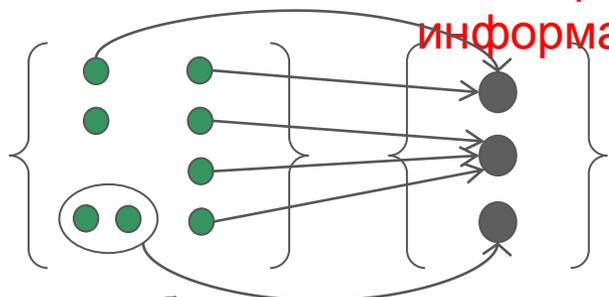
∃

физическая реальность

описание в терминах математических операций и переменных-объектов

операции над объектами
- классическая математика

операции над структурами
- «теория» информации



объекты физической реальности

классы объектов носители алгебр и моделей

физика

↓
это что

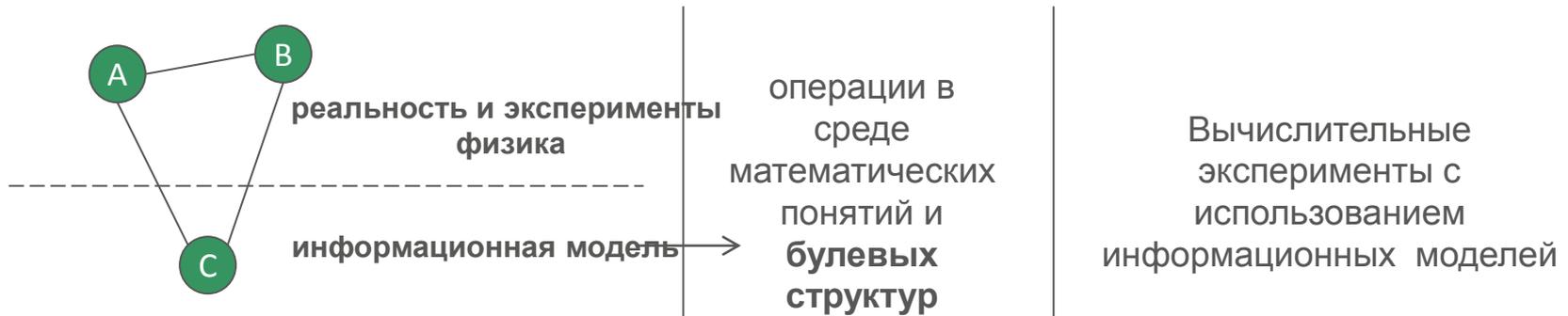
вычисления

↓
я
↓
это как

информаци

↓
я
↓
это кому

Физика – это гомоморфный образ объектов реального мира, который рассматривается с точки зрения свойств **однородности, делимости и аддитивности**



Что имеет место: Если «большие» системы A и B физически разделимы, то (проявляется свойство делимости и однородности) «математические» операции над моделью C адекватно отображают свойства «большой» системы A+B. Однако, существуют физические объекты, которые находятся в «связанном» состоянии.

1. Все, что имеет структуру физического объекта и образует «булеву структуру», может быть вычислено.
2. Физическую реальность можно измерить с точностью «до достоверности», но с точностью до неравенства Гейзенберга

$$\Delta t \cdot \Delta E \geq \hbar$$
, т.е. t и E одновременно не $\in R$ - физическому пространству (реальности)
3. «информация» – это атрибут, который не имеет булевой структуры, поэтому может быть описана с помощью аппарата теории вероятности + теория категорий

| Вход | | Выход |
|------|---|-------|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

| Вход | | Выход |
|------|---|-------|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 |

Количество информации по Шеннону $I = -\sum_{i=1}^N p_i \log_2 p_i$

Пусть на входе гейта имеется 4 равновероятных состояния

Тогда, входная информационная емкость гейта $I_{in} = 2$ бита

На выходе гейта: состояние 0 появляется с вероятностью $3/4$,
а состояние 1 - с вероятностью $1/4$

Выходную информационную емкость гейта можно оценить

$$\begin{aligned} \text{так: } I_{out} &= -[(3/4)\log_2(3/4) + (1/4)\log_2(1/4)] = \\ &= -[(3/4)\log_2 3 - (3/4)\log_2 4 - (1/4)\log_2 4] = \\ &= -(3/4)\log_2 3 + 2 \end{aligned}$$

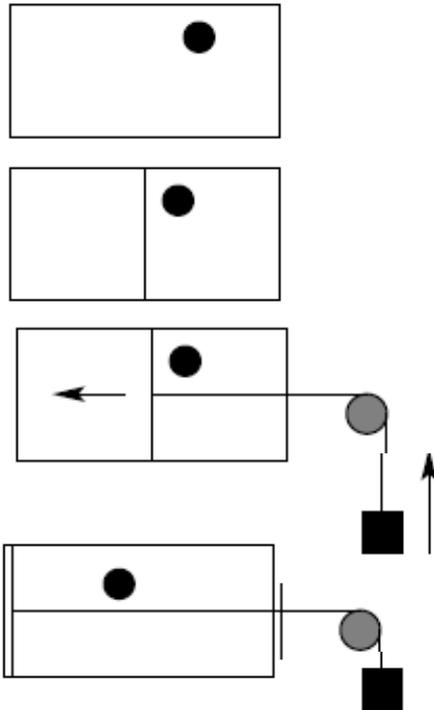
Потерянная информация $(I_{in} - I_{out}) = (3/4)\log_2 3 = 1.1887$ бит

Выделенная при этом энергия:

$$\Delta E = kT \ln 2 \cdot (I_{in} - I_{out}) = kT \ln 2 (3/4) \log_2 3 = 0.824 kT$$



Есть ящик с "одномолекулярным" газом и Демон (Д) – интеллектуальное устройство, способное измерять, хранить и использовать информацию.



Сначала положение молекулы неизвестно.

Д ставит перегородку, делящую ящик пополам, и **определяет**, в какой половине находится молекула.

В зависимости от результата измерения, Д размещает в ящике поршень с грузом таким образом, чтобы удары молекулы его поднимали. Газ «расширяется» и совершает работу.

При постоянной температуре $\Delta A = kT \ln(V_2/V_1) = kT \ln 2$.

После того, как поршень сдвинулся и груз был поднят, его удаляют.

Система вернулась к исходному состоянию... но будет совершена работа за счет теплового резервуара при **постоянной температуре**.

Нарушено второе начало термодинамики?

Нет: Демон для этого был наделен памятью, в памяти осталась информация о состоянии ячейки, которой в начале цикла не было.

Если вернуть систему к исходному состоянию – значит надо стереть информацию в памяти Демона для чего затратить энергию $kT \ln 2$.



Если память "демона" Максвелла явно в состав системы не включать, но можно учесть "знание" о системе в описании ее состояния можно так:

полученное от резервуара количество **теплоты** ↓

Произведенная механическая работа $\Delta A = kT \ln 2 = \Delta Q = T\Delta S$

изменение термодинамической **энтропии** ячейки ↓

Работа, затраченная на стирание информации равна $\Delta A_e = -kT \ln 2$

Полная совершенная в процессе работа $\Delta A + \Delta A_e = T\Delta S - kT \ln 2 = T\Delta S_g$
где $\Delta S_g = \Delta S - k \ln 2 = 0$

Можно сохранить обычное выражение для второго закона термодинамики ($T\Delta S \geq 0$ в замкнутом цикле), если ввести **эффективную энтропию** системы

$$\Delta S_g = \Delta S - k \ln 2 = \Delta(S + S_i)$$

S – **термодинамическая энтропия**, зависящая только от ее состояния

S_i зависит от того, что знает о системе наблюдатель: **информационная энтропия**

где $S_i = -k \ln 2$ (на один бит). Наличие информации о системе может быть учтено, если рассматривать эффективную энтропии системы.

Если **информация** включается в общее **описание состояния системы** наравне с ее физическими параметрами, то оказывается, что

- Одна и та же система **имеет различные физические свойства** в зависимости от имеющейся информации (в одном случае она способна совершить работу, в другом – нет)
- Мера **информации** оказывается согласованной с общефизическими **понятиями энергии и энтропии**
- «Обращение» принципа Ландауэра (не стирание, а получение бита информации): любая неслучайная комбинация битов может быть использована для **производства работы**.
- Информация как объективное описание состояния системы наравне с ее физическими параметрами меняет ее свойства. Т.е. в зависимости от имеющейся информации о системе систему можно или нельзя использовать для совершения работы. (в одном случае система способна совершить работу, в другом – нет)

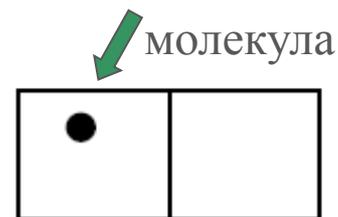
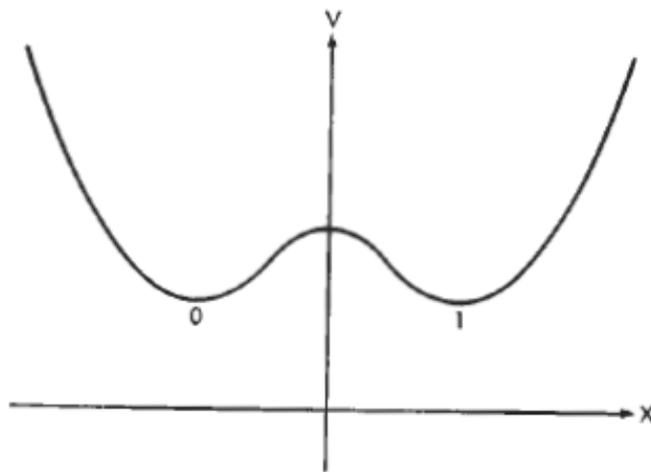
числовая информация $a_0 2^0 + a_1 2^1 + a_2 2^2 + \dots + a_{n-1} 2^{n-1} = \underbrace{\{a_{n-1} a_{n-2} \dots a_1 a_0\}}_{n \text{ разрядов}}$

$5 = 1 \cdot 2^0 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^2 = \{101\}$

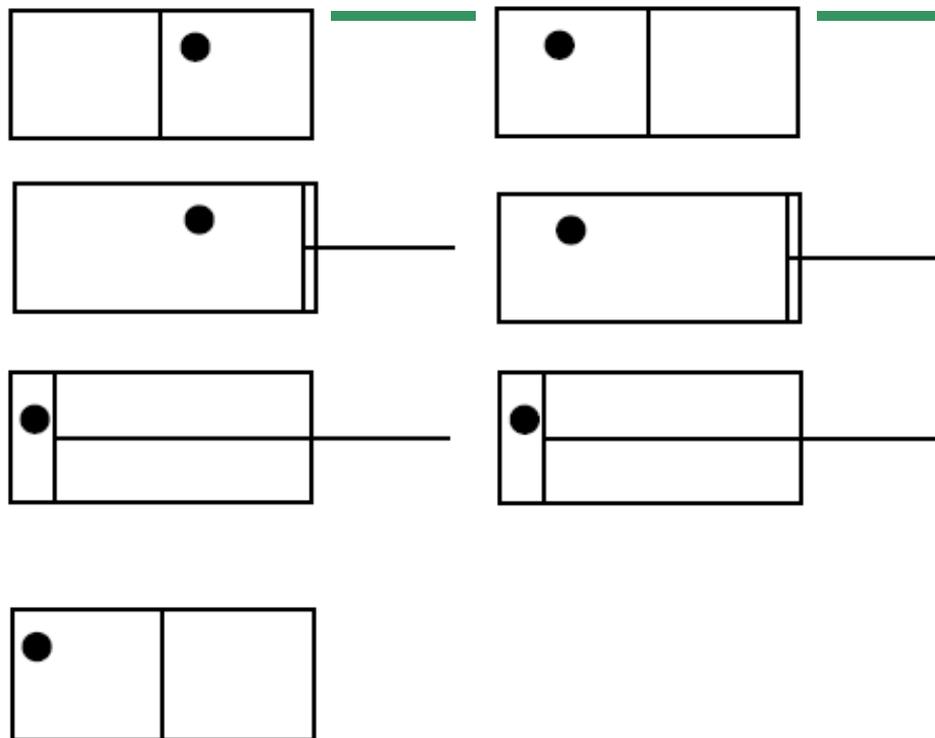
Реализация бинарных элементов: любая **Физическая** система с двумя устойчивыми состояниями

Потенциальная энергия

Обобщенная модель системы включает потенциальные барьеры (стенки)



Основные операции с мерой информации: запись (копирование) и стирание



Битовая ячейка находится в одном из двух состояний

Удаляется перегородка, и вставляется поршень

Поршень сдвигается так, что независимо от начального состояния молекула оказывается в левой половине

Перегорodka восстанавливается
Узнать, где была молекула раньше, невозможно

Информация потеряна! В процессе стирания поршень совершает работу;

$$\Delta E = kT \ln(V_1/V_2) = kT \ln 2$$

Соответствующее количество теплоты передается в среду

Энтропия окружающей среды возрастает на $\Delta S = \Delta E/T = k \ln 2$

Энтропия однобитовой ячейки уменьшается на ту же величину $\Delta S = \Delta E/T = k \ln 2$

Энтропия и информация это одна и та же величина, но измеренная в других единицах.

$$S = -k \sum p_i \ln p_i = k \ln 2 \cdot \underbrace{(-\sum p_i \log_2 p_i)}_{I_T} = k \ln 2 \cdot I_T$$

количество "отсутствующей" информации о термодинамическом состоянии (то, что можно было бы извлечь, если знать состояние точно)

Отличие информации от энтропии в знаке. Информация о системе уменьшает ее энтропию.

Энтропия есть **мера незнания** точного микросостояния системы

Система может совершать работу, если ее энтропия не максимальна.
Информация → меньше энтропия → больше возможности совершать работу

Вывод: За каждый бит можно получить до $k \ln 2$ полезной работы

С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ КЛАССИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ - СУТЬ ИНФОРМАЦИОННОГО ПОДХОДА

поиск отношения «код - физический процесс - работа»



Код физического
«процесса»



Сам физический
«процесс»

Основной вопрос: Всем ли физическим процессам и объектам природы отвечает информационный «код» (дескриптор) ?

Будем рассматривать компьютеры – это тепловые машины, которые **потребляют энергию E** и совершают “работу” W , решая «вычислительную» задачу. Выполняя работу компьютеры рассеивают (т.е. выделяют) тепло Q в **окружающую среду**. Тепло есть теряемая «даром» энергия, которая равна разности между **потребляемой энергией** и совершаемой работой: $E - W = Q$. Это фундаментальное - суть **первое начало термодинамики**.

Вопрос: можно ли проводить вычисления и не тратить при этом энергию? т.е. $E=0$. Да, если добиться, чтобы $-W = Q$? Чтобы тепло полностью переходило бы в работу надо ... **не терять информацию о скорости** движения частиц **окружающей среды** (тепло преобразовать в работу без потерь нельзя - **второе начало термодинамики**). Если информация теряется, то выделяется **тепло**. Нижняя граница выделения тепла (потерь) равна (формула Ландауэра):

$$Q \geq k_B T \ln 2,$$



Полная энергия сохраняется.

первое начало термодинамики описывает закон сохранения энергии в системе,

второе начало характеризует то, как различные виды энергии могут трансформироваться в любые другие.

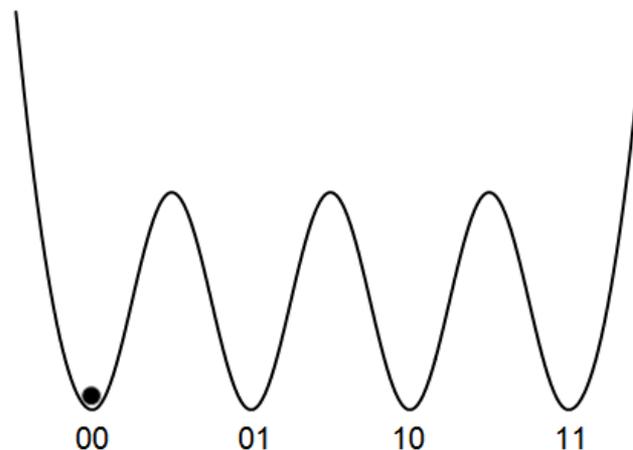
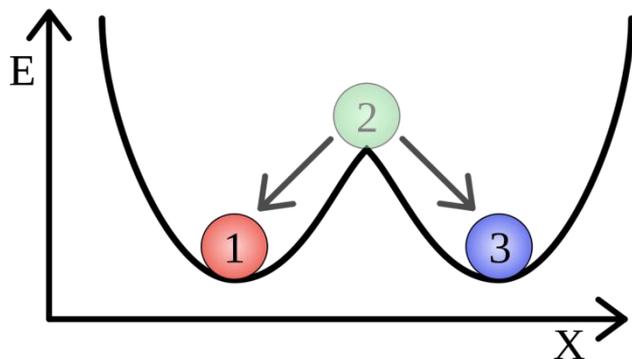
Вопрос: Какое это имеет отношение к информации ?

Из термодинамики следует, что тепло Q , полученное системой при температуре T , не может превысить изменения **энтропии системы ΔS** , умноженной на температуру,

$$Q \leq k_B T \Delta S$$

знак '=' для обратимых процессов

Цифровое вычислительное устройство состоит из частицы «в энергетически стабильном состоянии - потенциальной яме» с кодом состояния, например, «0» в состояние «1» (или наоборот). Чтобы изменить состояние надо:



1. **Придать** частице энергию, достаточную для преодоления энерго барьера.
2. **Отобрать** у частицы энергию для того, чтобы она зафиксировалась в новом положении.

Если используются обратимые вычисления, то **отбираемая** от частицы энергия передаётся следующему элементу в цепочке вычислений, но если вычисления необратимы, **излишек энергии д.б. рассеян** в окружающее пространство в виде не утилизируемой теплоты.

ИНФОРМАЦИЯ КАК МЕРА ЗНАНИЯ

Базовая идея - надо накапливать информацию, снижая меру неопределенности (формула Байеса)

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) * P(A)}{P(B)} \quad (8)$$

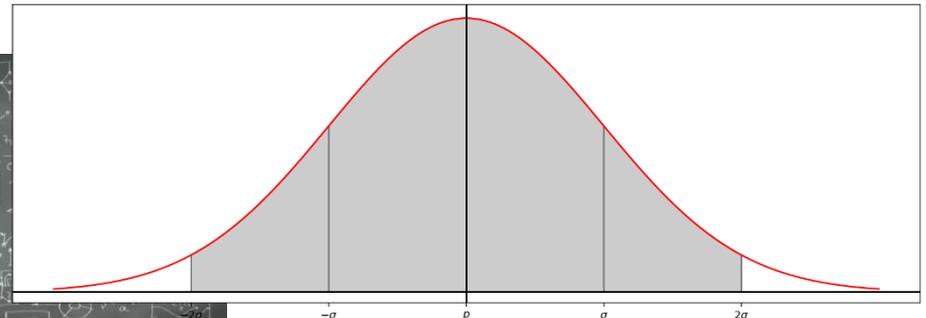
Левая часть уравнения — **апостериорная** (после опыта) оценка вероятности события А при условии наступления события В (т. н. условная вероятность).

$P(A)$ — вероятность события А (**априорная** оценка);

$P(B|A)$ — вероятность (условная), которую мы получаем из наших данных;

$P(B)$ — константа нормировки, которая ограничивает вероятность значением 1.

Функция распределение вероятности



МОДЕЛИ ФИЗИЧЕСКОГО И ИНФОРМАЦИОННОГО ПЛАНОВ

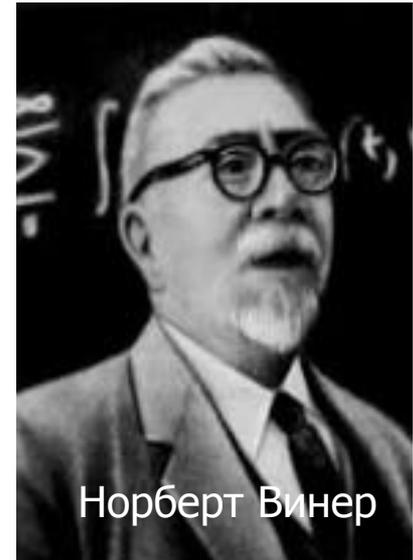
Модели «Мира»:

- **физического плана** – локальные и замкнутые. Такие модели описывают реальность, в которой прошлое и будущее формально «**симметрично**», действует принцип физической «**относительности**».
- **информационного плана** – глобальные и открытые. В них «стрела времени» физически необратима, поэтому «**прошрое**» **физически недостижимо**, действует принцип относительности по отношению к знаниям субъекта.

Вопрос , достижимо ли прошлое «**информационно**» ?

Вопрос – исполнители «чего» ?

“Если магия вообще способна **даровать** что-либо, то она дарует именно то, что вы **попросили**, а не то, что вы подразумевали, но не сумели точно **сформулировать**.”



Норберт Винер

*«Компьютеры похожи на ветхозаветных богов:
сплошные правила и ни капли жалости».*

(Дж. Кэмпбелл)

- Человек - субъект воспринимающий **информацию** способный перевести ее в полезную работу, используя феномен «понимания» и сознания .
- Однако понимание/сознание как результат деятельности мозга человека не является объектом, который подчиняется законом классической и квантовой физики.
- Сознание - объективный феномен способный эффективно обрабатывать **информацию**, преобразуя ее в информационные структуры, отражающие опыт взаимодействия с реальностью. Информационные структуры затем могут физически воплощаться в объекты реальности – it from bit.
-