



Чем больше  
различий, тем больше информации  
*Р. Эшби*

## Теория информации

# ЛЕКЦИЯ 8: ПОНЯТИЕ И ВИДЫ ИНФОРМАЦИИ

18.11.2021

Д/З:

- Комментарии к книге

интуиция о природе  
абстрактных структур

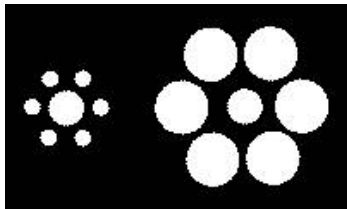


## Что было на прошлой лекции

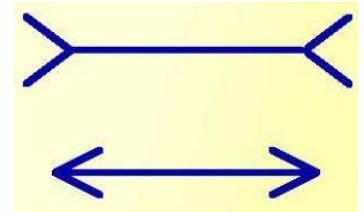
- Большое количество связей в Природе не носят причинно-следственный характер, а являются носителями ассоциативных (вероятностных) т.е. информационных отношений.
- Ассоциация – это не процесс, а корреляции (вероятностные, т.е. «энергетически» не замкнутые связи) между множеством фактов, которые хранятся в памяти субъекта отношений (пример ассоциации: если, качаются деревья, то дует ветер...!?)
- Разные подходы к формализации ассоциаций приводят к фундаментально разным по смыслу понятиям и «вероятность» и, следовательно, ... информация.
- Имеет место парадокс «Монте Карло»: делая случайные ошибки в процессе вывода или вычислений, мы получаем шанс прийти к правильному заключению. ( $P=NP$  ?!)

# О чем лекция : информация – объем и содержание

- Информация – **объем** понятия (наполнить) -> отраженное **разнообразие**  
- **содержание** понятия (извлечь) -> снятая **неразличимость**.
- Информация **как атрибут** – любая **неоднородность** (материальная, структурная, ...функциональная...), формирующая(выделяющая объекта.  
- **как функция** от **меры неоднородности** системы (например, вероятность выбора одного из возможных состояний системы)
- Неоднородности могут иметь различные формы представления, которые в процессе восприятия могут искажаться. Существует ли объективная мера информации ?



Устраненная энтропия –  
это и есть информация



# Информационный аспект восприятия как отражение меры происходящих изменений

Информация может рассматриваться как набор сведений (сообщений) которые делится на виды в зависимости оттого каким способом информация воспринимается

- Аудиальная — воспринимается органами слуха или приборами
- Визуальная — воспринимается органами зрения видео регистраторами.
- Вкусовая — воспринимается вкусовыми рецепторами.....
- Тактильная — воспринимается тактильными рецепторами или датчиками
- Обонятельная — воспринимается обонятельными рецепторами.....

Вопрос: Изменяется ли объем (наполнить) и содержание (извлечь) информации , если одна и та же информация воспринимается

- или человеком (интеллектуальным субъектом)
- или прибором (компьютером) ?

# Информационное следствие и сущность развития систем

Логический вывод сентенции *it form bit*. Развитие (эволюция) системы – это форма движения, которая приводит к изменениям системы связанных между собой объектов реальности. Однако, не все происходящие изменения доступны восприятию. То, что воспринимается и понимается – *суррогатная информационная модель* .

Суррогатная модель - это сущность, которая отражает доступный для восприятия результат изменений, но так как

- сущность объекта проявляется в *виде его свойств*, а процесс развития (например, живых организмов) отражается на этих свойствах и воспринимается в форме информация, поэтому информация и есть сущность реальности...
  - как это трактовалось «физиками»
    - Все есть материя !
    - Все есть энергия !!
    - Все есть информация ? !!

# Принцип «дополнительности»



- Н. Бор: Проблема интерпретации квантовой механики "имеет далеко идущую аналогию с общими трудностями образования понятий, возникающими из разделения **субъекта и объекта**".
- Считается, что элементарные частицы (электроны, нейтроны, фотоны и т. д.) и микрочастицы (атомы и молекулы) тождественны (неразличимы). С этими объектами связаны
  - 1) феномен «корпускулярно-волнового» дуализма.
  - 2) «волны вероятности», определяющие плотность вероятности обнаружения объекта в определенной точки конфигурационного пространства.

**Кто же субъект и объект квантовой реальности ?**

# Информационные проблемы интерпретации



- Квантовый (...любой сложный) объект проявляет совокупность альтернативных состояний.
- Анализ взаимодействия таких объектов основан на векторе состояния из уравнения Шредингера  $|\psi\rangle$  и  $|\phi\rangle$ , а сложная система из может находиться в состоянии их суперпозиции

$$a|\psi\rangle + b|\phi\rangle,$$

где коэффициенты  $a$ ,  $b$  – это комплексные числа, такие что  $|a|^2 + |b|^2 = 1$ .

- «Состояние» системы обозначим  $q$ , то величина  $q$  «вычисляется» как **собственные значения** оператора энергии  $Q$  квантовой системы ( $Q$  – это гамильтониана системы или оператор ее полной энергии). СЗ вычисляются как решение уравнения:

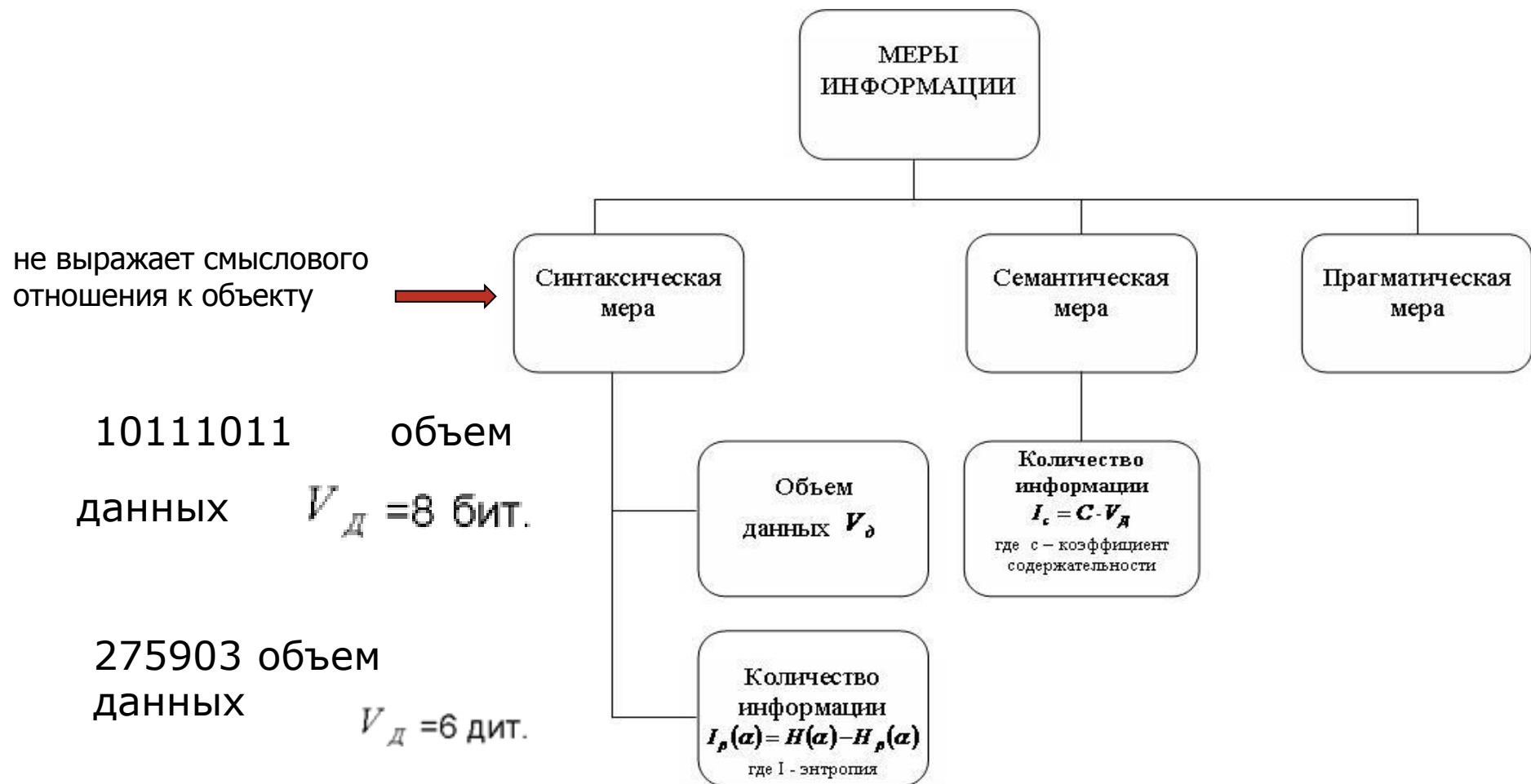
$$Q|\psi\rangle = q|\psi\rangle$$

- Собственный вектор оператора  $Q$  образуют базис комплексного гильбертова пространства состояний квантовой системы

$$|\phi\rangle = \sum a_j |\psi_j\rangle \quad \sum |a_j|^2 = 1$$



# Меры информации



мера неосведомленности о системе a - функция  $H(a)$   
которая меняется при получении сообщения b -  $H_b(a)$

# Различие меры информации в зависимости от способа представления

- Текстовая информация
- Числовая информация
- Графическая информация
- Музыкальная (звуковая) информация
- Мультимедийная (многосредовая, комбинированная)

# Как сформировать меру «разнообразия»?

есть несколько возможностей.

- Первая – это сформировать **количественную меру** информации, которая важна для систем связи и передачи информации
- Вторая – сформировать **смысловую меру** информации, которая связана с «моделью мира».

● Итак, знания об окружающем мире состояются из

● Тип знания	Область
● 1	физический мир
● 2	мыслимое
● 3	исчислимое

Сколько и какой информации содержится в формуле:

$$e^{**}(-i * \pi i) = 1.$$

# Вероятностная мера разнообразия

- Двоичная информационная **энтропия** (суть средняя энтропией) для независимых случайных событий  $x$  с  $n$  возможными состояниями (от 1 до  $n$ ,  $p$  - функция вероятности) рассчитывается по формуле:

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

- энтропия, характеризующая только  $i$ -е состояние это

$$\log_2 \frac{1}{p(i)}$$

# Эволюция вектора состояний - детерминированный процесс, характеризующий «вероятность» события

Оператор  $U$  порождает «движение» в соответствии с формулой :

$$|\phi(t)\rangle = U|\phi(0)\rangle,$$

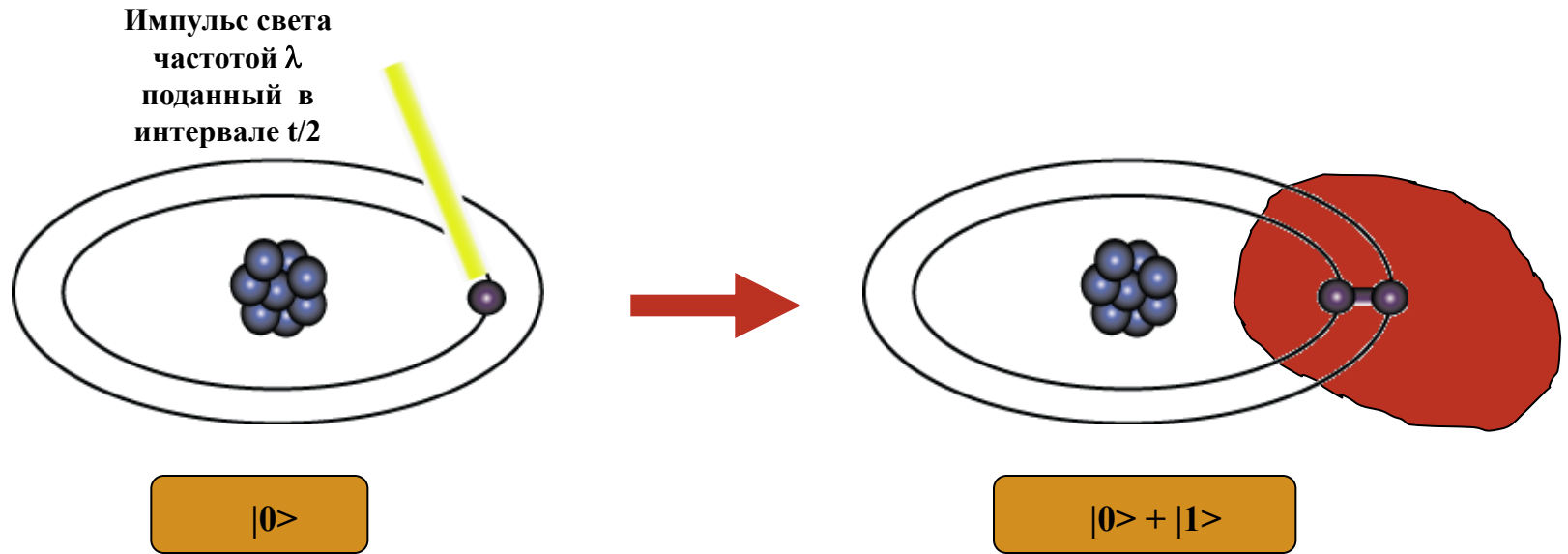
где  $U$  отвечает уравнению Шредингера

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} |\phi\rangle = H |\phi\rangle \quad U = \exp\left(\frac{i}{\hbar} \int H dt\right)$$

# «Запутывание» атома в силовом поле



# Как возникает суперпозиция



В случае, когда кубитов 3, то суперпозицию всех 8 ВОЗМОЖНЫХ СОСТОЯНИЙ МОЖНО ЗАПИСАТЬ КАК:

$$|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{8}} |000\rangle + \frac{1}{\sqrt{8}} |001\rangle + \dots + \frac{1}{\sqrt{8}} |111\rangle$$

# Физика «информационного взаимодействия»

- Суперпозиция является не столько физическим, но и **информационно-вычислительным феноменом**.
- «Носителем» этого феномена является **«физическое» вероятностное пространство**, потенциально возможных «чистых» состояний. Для существования такого «пространства» необходимо материю наделить особым ресурсом, а именно память – механизмом переноса состояний во времени.
- Рассматривая информацию как феномен реальности, можно предложить «формулу» физической реальности :

**материя= (вещество + энергия) + информация.**



# Пример: информационно обусловленных процессов Макроскопическая МНОГОЧАСТИЧНАЯ информационная ЗАПУТАННОСТЬ



Случай политическая  
«полигамия»



случай  
классическая  
«моногамия»:



- Вероятностная модель восприятия реальности ( результат того, куда перейдет суперпозиция – случаен) открывает новые возможности не только описания, но и формирования «объяснительной» модели реальности – суррогатной модели.
- Стабильные и самоподдерживающимся суперпозиции могут существовать как на квантовом уровне (в «пространстве-времени» так и на макроскопическом уровне (информационно-вычислительное пространство)

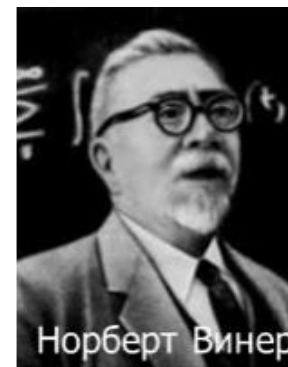
# Развитая технология неотличима от магии

Артур Кларк

Фундаментальная проблема компьютерных наук: как сформулировать прикладную задачу так, чтобы она всегда **имела решение**, которое компьютер может ...не только **вычислить**, но проверить и «**объяснить**» ?



«знание -сила»



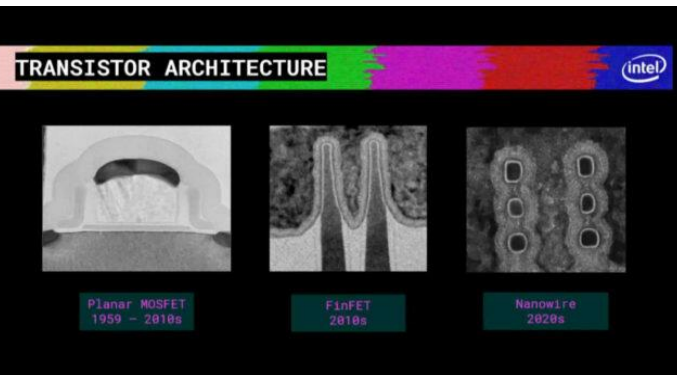
Если магия вообще способна даровать что-либо, то она дарует именно то, что вы **попросили**, а не то, что вы **подразумевали**. Н. Винер

# Почему нужна «новая физика информационных процессов» - компьютерные науки

Примеры, когда правдоподобное объяснение процессов в рамках классической физики найти невозможно:

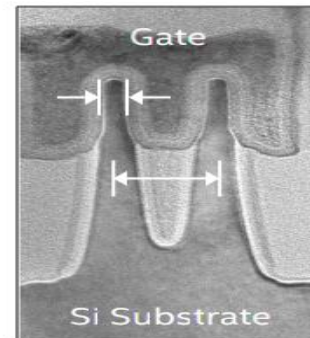
- поведение косяка мелких рыбешек или мелких птиц перед отлетом их на юг;
- поведение толпы людей на концерте популярного ансамбля;
- явления предшествующие землетрясению: поведение животных, заряженные частицы в атмосфере, свечение воды, образование облаков и пр.;
- кооперативные явления в природе и обществе, самоорганизация, фликкер-шум и пр.;
- .....

# Пространство возможностей современных компьютерных систем

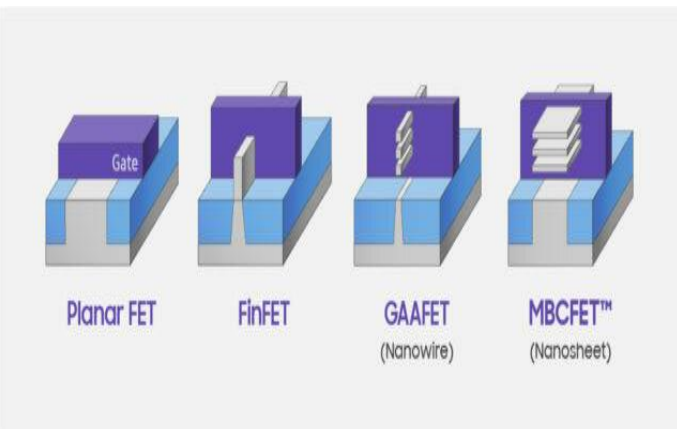


8 nm Fin Width

42 nm Fin Pitch



3-5 нм МП  
содержит от 8 до  
50 млрд.  
транзисторов это  
>>, чем все  
население Земли

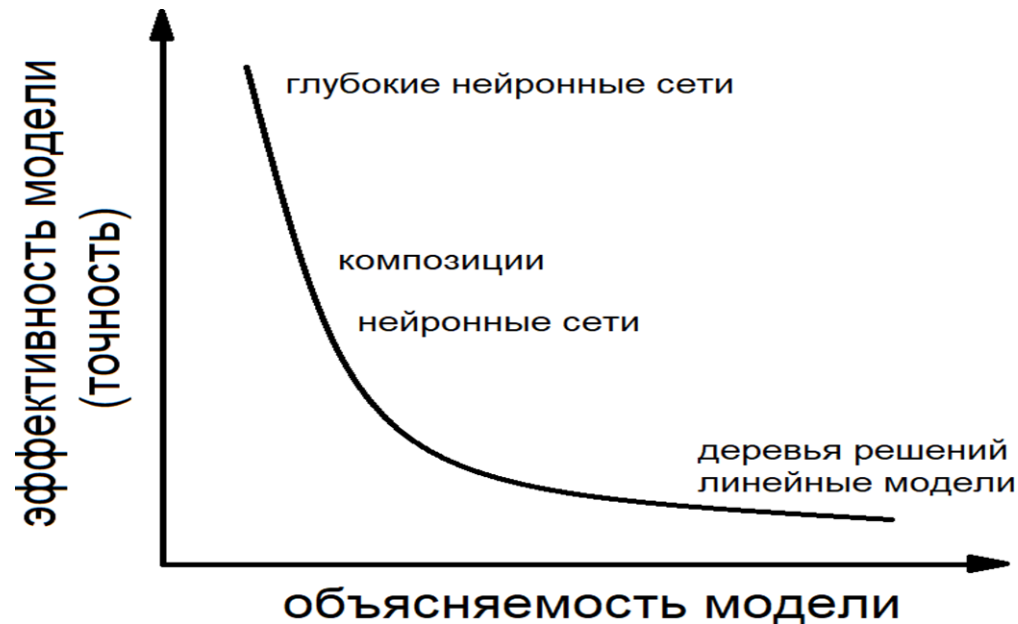


эволюция конструкций  
планарных  
транзисторов

**В «лабиринтах» нового пространства вычислительных возможностей можно найти «траекторию» для реализации любого эффективного алгоритма. Вопрос: на что же лучше «потратить» имеющиеся ресурсы ?**  
**Варианты:**

- 1. (было) Гетерогенность** архитектуры МП и расширение **шины данных** между компонентами
- 2. (есть) Реконфигурируемость** структуры МП «под задачу»
- 3. (д. быть) Встроенная в МП система «машинного обучения»**, которая обеспечить «накопление» знаний как решать задачи

# Чему «учить» МП и нужно ли открывать «черный ящик»

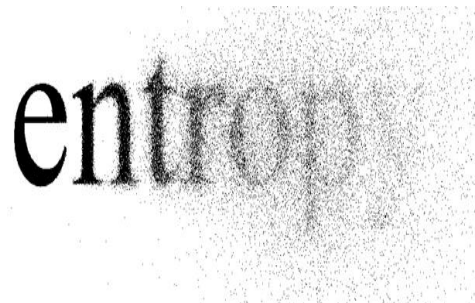


- Чему «учить»: **как** гетерогенный МП из 50 млрд транзисторов может управлять своими ресурсами
- Нужно ли «открывать»: **да**, так как системы «**вычислители + программы**» как правило сложны для понимания, не реализуют функционал **самообъяснения**, поэтому ... **не робастны** к определенному классу ошибок и воздействий (например, **атака «одного пикселя**»), что снижает уровень доверия к ним

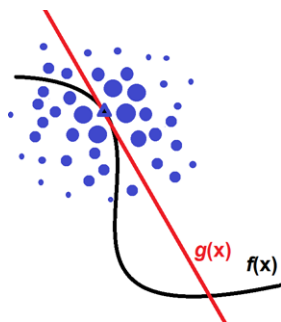
# Направление разработок : от GPU вычислений (ММД структур) к платформам объяснительного интеллекта – «правильному» ИИ

Суть интеллектуализации компьютерных технологий:

1) Способность **накапливать информацию о произведенных вычисленных** и адаптировать свою функциональность к тому, чтобы **объяснять полученные результаты** и производить поиск вариантов их используя для повышения собственной «эффективности»



Неопределенность  
данных и сложность  
алгоритмов



Модели  
объяснения  
решения

2) «**объяснения**» – суть новый метод повышения «доверия» к результатам вычислений или **способ регуляризации решения «обратных алгоритмических задач»** (использование знаний не отраженных в самом алгоритме решения)

**Итак:** умение **решать обратные задачи – основа «правильного» ИИ**, с помощью которого «поиск» решений реализуется в «пространстве возможностей», в котором **вычислитель может сформировать интерпретацию полученного численного результата**

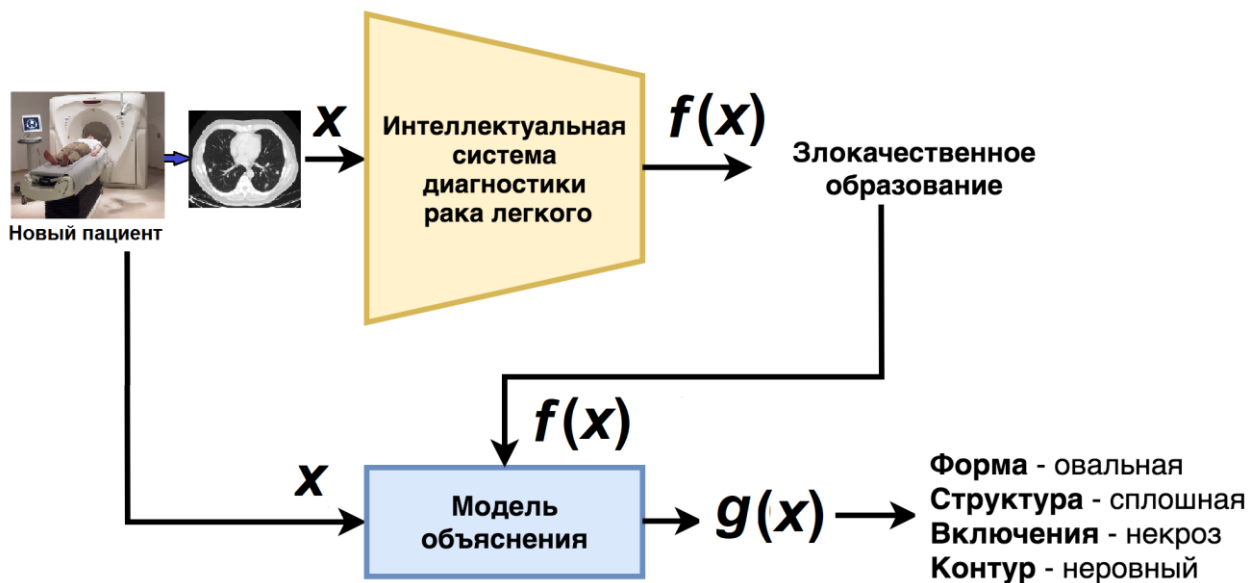
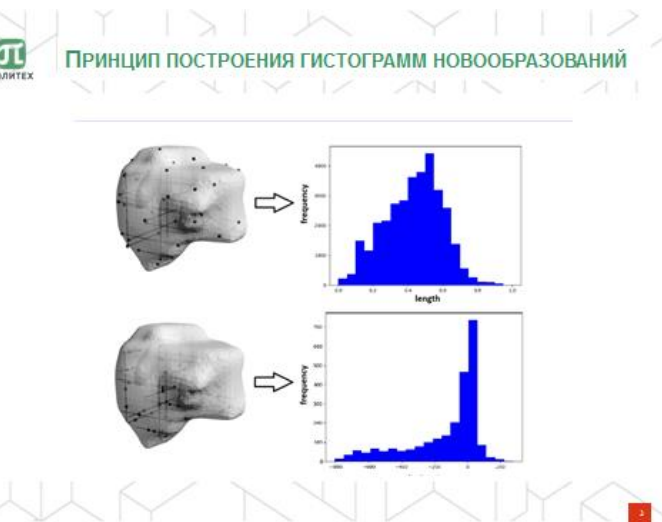
# Пример: модель машинного обучения с подсистемой объяснения





# Пример: система объяснительного интеллекта для медицинской диагностики

Необходимо построить объяснения на основе объективных (не зависящих от данных) **инвариантов-паттернов** (например, топологических) и модели МО (глубокая нейронная сеть, случайный лес, SVM и т.д.), которая **«аппроксимирует» свойства сложной модели** реальности **в окрестности конкретного примера**



# Реализуемое направления научения СК

Создание систем **интеллектуального диспетчерского управления** ресурсами гетерогенных СК, включая возможность их реконфигурации **с учетом** метрик/целевых требований:

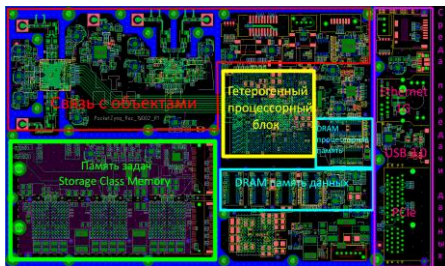
1. **минимальное среднее время ожидания  $mat_i$**  – интервал между временем постановки в очередь и началом исполнения прикладной задачи  $I$
2. **минимальный цикл ответа  $art_i$**  – среднее время ожидания и время проведения расчетов
3. **минимальное среднее замедление** выполнение  **$mas = (mat_i + art_i) / art_i$** ,  $i=1,2,\dots,N$
4. **максимальное использование ресурсов** – средняя доля используемых гетерогенных узлов к общему числу узлов суперкомпьютерной платформы за заданный период времени
5. **максимизация отношения энерго-вычислительной эффективности вычислений (Гфлопс/Вт)**, включая интерпретацию полученной оценки для различных классов прикладных задач и выработка рекомендаций по оптимизации параметров вычислительной платформы с использованием методов объяснительного интеллекта ХАИ

# Новая иерархия «уровней и функций» перспективной вычислительной платформы

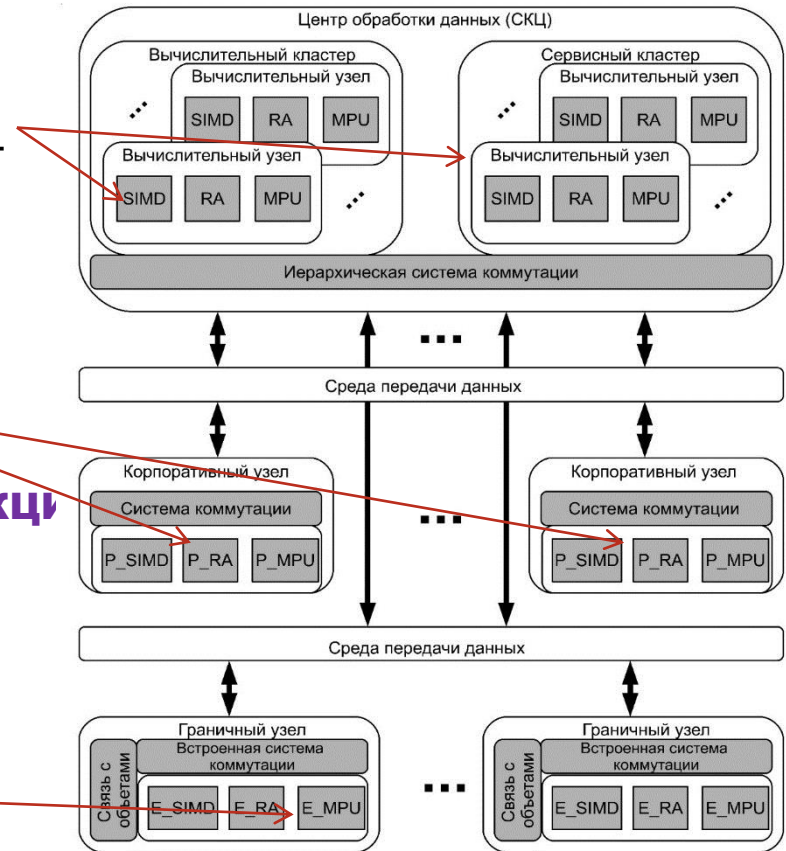
Уровень **«объяснения»** результатов ;  
функция оценка параметров >4 Гфлопс/Вт



Уровень **обобщения** результатов ; функция  
«машинного обучения» >10 Гфлопс/Вт



Уровень **моделирования**; функция алгоритм  
вычисления , >20 Гфлопс/Вт



# Заключение : код содержания и объем понятия – лекции

*Не бойтесь расти медленно, бойтесь остановиться*  
*/Будда/*

$$H(X \cdot Y) = H(X) + H(Y)$$

$$H(AB) = H(A) + H(B | A) = H(B) + H(A | B).$$