



Санкт-Петербургский  
Государственный  
Политехнический  
Университет

Институт прикладной  
математики и механики

КАФЕДРА

ТЕЛЕМАТИКА

## Семинар по специальности на английском языке

### Лекция 5

# Information is ....physical (информация физична)

---

30 September  
2020 г.

# Что обсуждали на прошлой лекции:

Мышление есть лишь расчет

Томас Гоббс (1588-1679)

- how to extract knowledge from the surrounding data

• brain  
• book  
• ..... ?

- is it possible converted human knowledge into algorithm for automata (automata can model automata)
- Skolem's paradox : relativity of set-theoretic notions expressed in first-order logic

# О чем будет лекция

- Будем обсуждать формулы
  - «It from bit»
  - difference that make the difference
- информация является объективным атрибутом материальных объектов и мерой изменений, которые связаны изменениями физических объектов, процессов или сообщений
- Попробуем определить как семантическую информацию можно выразить посредством оценки синтаксических свойств структур – носителей информации ? ( могут ли синтаксис и семантика носителей информации быть в отношении супервентности)
- Поймем как можно измерить количество семантической информации в сообщении используя, например, вероятностную меру изменения состояния приемника сообщений (через вероятностную меру истинности гипотезы = теория Р. Карнапа )?

## «difference that make the difference» ?!

**Тезис 4.** Информационная реальность это то, что «может обнаружить» себя в «пространстве-времени». Объекты такой реальности могут находиться как в «**ЧИСТЫХ**» состояниях, непосредственно доступных для измерения, так и в :

- в «**СМЕСИ**» состояний, т.е. **конкретном состоянии**, параметры которого зависят от параметров «чистых» состояний составных его частей (описываются т.н. матрицей плотности)
- в **суперпозиции** – линейной комбинации «чистых» состояний, т.е. находиться **одновременно во всех** «чистых» состояниях, но ... с различной вероятностью, результат измерения «коллапс» волновой функции дает случайный результат.
- **несепарабельной суперпозиции** «чистых» состояний, т.е. запутанной (взаимозависимой) суперпозиции, которая не факторизуется на тензорные произведения «чистых» состояний. В этих условиях возможен «обратный коллапс» волновой функции.

# Информационная суть физической реальности

«Физичность» информации заключается в том, что она:

- отражает как свойства физической системы, которые доступны для непосредственного измерения с помощью приборов (экстенционал в форме температуры, проводимости....), например

$$\Delta S_{ph} = \Delta Q/T \text{ [дж/К];}$$

- Так и выражается через число микросостояний системы (интенционал) :

$$S_{inf} = \Omega (k \ln 2)$$

- В итоге обобщенная энтропия «физической реальности» имеет вид

$$S_{ph} + S_{inf}$$

где  $\Delta S_{ph} = \Delta Q/T$  [дж/К] – функция состояния равновесной системы, а статистическая величина, связывающая микроскопические состояния и термодинамические свойства, равна  $S_{inf} = \Omega (k \ln 2)$ , где  $\Omega$  - число микросостояний (способов), с помощью которых можно составить рассматриваемое макроскопическое состояние

# Введение. Парадоксы анализа и дедукции

- Парадокс анализа: если между переданным и воспринятым сообщениями устанавливается синтаксическое тождество, то анализ тривиальный, если тождества нет, то синтаксический анализ неправильный.
- Парадокс дедукции : семантическое содержание логики (математики), следует из формальных дедуктивных рассуждений, т.е. из «тавтологий»

# Изоморфизма или равенство в «некотором смысле»

На практике строгое тождество  $2 + 2 = 4$  оказывается излишне “строгим” и не учитывает контекст:

На языке **Haskell** это равенство можно написать :

Программа 1

```
add :: (a, a) -> a
```

```
add (x, y) = x + y
```

а на языке **C#**:

Программа 2

```
int Add(Tuple<int, int> pair) {  
    return pair.Item1 + pair.Item2;
```

```
}
```

Эти программы «изоморфны», а не равны, т.к. всегда можно 1) взять программу 1 и синтаксически **преобразовать** ее в программу 2 и затем обратно программу 2 **преобразовать** в программу 1.

# Содержание и объем понятия

- содержание понятия - интенционал или совокупность мыслимых признаков обозначаемого **понятием** предмета или явления
- тождество интенционалов - совпадение признаков предмета или явления
- интенциональный изоморфизм
- объём понятия - экстенционал или множество объектов, способных именоваться данной языковой единицей (категорией)

# Теория, гипотеза, знание

- Теория информации -
- Семантика - наука о знаковых системах как средствах выражения смысла
- Гипотеза – это система умозаключений, посредством которой на основе ряда фактов делается вывод о существовании какого-либо объекта
- Знание – это продукт общественной и материальной деятельности людей, представляющий собой идеальное выражение в знаковой форме объективных свойств природного и человеческого мира

# «Классическая» теория информации

- Формула Шенона:
- Формула Хевисайда
- Формула Больцмана

# Простой пример

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 так:

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

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

Выделенная при этом энергия:

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

# Теория Р. Карнапа: Логическая вероятность или измерение содержания передаваемой информации

Логическая вероятность - величина, характеризующая степень подтверждения гипотезы

- эмпирическими фактами в определенной языковой системе
- степенью новизны гипотезы по сравнению с имеющимися у субъекта знаниями и представлениями о мире (количество семантической информации, содержащейся в гипотезе, возрастает по мере уменьшения значения логической вероятности)

Итого: Если гипотеза полностью «вытекает» из данных опыта, то ... ее новизна = 0!

Концепция Карнапа малоприспособлена для анализа содержания естественного языка. «На Луне есть нефть» - содержит информацию, а «На Земле есть нефть» лишено информации, поскольку это достоверное знание.

# Семантика сообщений – суть мера изменения объема знаний воспринимающей системы.

- Выражение «Волга впадает в Каспийское море» - не меняют степень неопределенности воспринимающих их «систем» (слушателей)



Мозг – система управления «химической машиной» организма человека. Научный факт: эмоции - производит в организме химический фермент. Это и есть «путь» преобразования «мысли» в физическую реальность.

Джо Диспенз (Joe Dispenza): мозг как «машина» не отличает физические переживания от душевных. Т.е. клетки «серого вещества» абсолютно не отличают реальное, т.е. материальное, от воображаемого, т.е. от мыслей!

Согласно Диспензе, наше прошлое «записано» в нейросетях мозга, которые формируют то, как мы воспринимаем и **ощущаем мир** в целом и его конкретные объекты в частности.

Нам лишь кажется, что наши реакции спонтанны - большинство из них запрограммировано устойчивыми нейронными связями. Каждый объект (стимул) активирует ту или иную нейронную сеть, которая в свою очередь вызывает набор **определенных химических реакций** в организме.

Эти химические реакции заставляют человека действовать или чувствовать себя определенным образом – бежать или застыть на месте, радоваться или огорчаться, возбуждаться или впадать в апатию и т.д. Эмоциональные реакции – не более чем **результат химических процессов**, обусловленных сложившимися нейросетями, и основываются они на прошлом опыте.

Итого: в 99% случаев мы воспринимаем реальность не такой, какая она есть, а интерпретируем ее на основе **готовых образов из прошлого**.

Основное правило нейрофизиологии звучит так: нервы, которые используются вместе, **соединяются**. Это значит, что нейросети образуются в результате повторения и закрепления опыта. Если же опыт долгое время не воспроизводится, то нейросети распадаются.

Так формируются **автоматические реакции** и условные рефлексy – вы еще не успели подумать и осознать, что происходит, а тело уже реагирует определенным образом.

**Личность** являются всего лишь набором устойчивых нейросетей, которые мы в любой момент можем ослабить или укрепить благодаря осознанному восприятию действительности

# Способность получать результаты в реальном масштабе времени

Исследования показывают, что абсолютно каждый опыт производит в мозгу тысячи и миллионы нейронных изменений, которые **отражаются** на организме в целом.

Т.е. каждая эмоция «ощущается» человеком вследствие выброса в тело определенного набора химических веществ, и организм просто становится в некотором роде **генератором устойчивых химических сочетаний**. Осознав эмоции как физиологическую зависимость от химических веществ, человек может от нее избавиться или ... развить...в направлении формирования осознанного поведения – интеллекта.

Скорее всего создание присуще только такой системе, которая **способна меняться** под воздействием новой информации.



Так, **чтение или письмо** – есть тренировка для головного мозга, в особенности если при этом вы узнаете или выражаете нечто новое. Это стимуляция гиппокампа – основной части , отвечающая за память

Итого: Изменение сознания в процессе мышления приводит к изменениям и в физическом теле.

# Мысли способны вызывать молекулярные изменения в ДНК ???



**Почти факт:** Мозг способен менять активность генов, которые связаны с генными программами, которые содержатся внутри ядра клетки.

Теоретически можно переписать или модифицировать генетические программы и изменить химию процессов, которые отвечают за формирование сознания. Но *от 95 до 99 процентов нашей жизни управляются подсознательными программами*

Факт: эффект **Ноцебо** (от лат. *nocebo* — «я поврежу») — средство, не обладающее реальным фармакологическим действием, но вызывающее отрицательную реакцию у пациента.

В чем особенность: Машины не ошибаются ?! , так как не обладают такой возможностью. Но машина может сломаться. Но машина не может создать что-либо действительно новое. Она выполняет то, что мы ей предписали

Обучение – это процесс включающий в себя поощрения и наказания. Интеллектуальное поведение предполагает отступление от полного детерминизма операций в .... процессе вычислений.

Так, в современном компьютере любой результат – есть итог большого числа элементарных операций – миллионы миллионов  $10^9$  операций. При этом каждая операция существенна, ошибки не допустимы...



«Общие умственные способности зависят от сети внутри мозга, это связь серого вещества, или клеток мозга, с белым веществом, или соединительными волокнами между нейронами

*Proceedings of the National Academy of Sciences*

Гипотеза: «мозг состоит из элементарных частиц, которые существуют как игра воображения, они воображаемы».

Вопрос: «Ум существует в мозге или мозг воображаем умом?»... человек в целом воображаемая конструкция ума - > по теореме Геделя «система познать саму себя не может» .... Ум — это то, из чего мы созданы.

# Создание – синхронизации «реального и виртуального» через принятия рациональных решений

Сознание – это способность субъекта самостоятельно принимать **рациональные и моральные решения**

Понятие **Супервентности** (англ. Supervenience) — отношение детерминированности состояния любой системы состоянием другой системы.

Итак, набор свойств одной системы **супервентен** относительно набора свойств другой системы в том случае, если существование различия между двумя фактами в свойствах первой системы невозможно без существования такого же различия между двумя фактами в свойствах второй системы.

Понятие супервентности является центральным понятием современной **теории сознания** - описания объективной зависимости ментальных явлений от физических явлений,

«supervenience» – это «действие, возникающее как следствие чего-либо другого»

примеры:

- **отсутствие различий** в ментальных свойствах при отсутствии различий в физических свойствах;
- **отсутствие различий** в компьютерной программе при отсутствии различий в аппаратной конфигурации компьютера;
- **отсутствие различий** в экономике при отсутствии различий в поведении экономических агентов.

# Физическое vs информационное

**Тезис 1.** Если имеется два физически тождественных состояния системы, но в одном случае **мы** ничего не знаем о ее состоянии, а во втором имеем какую-то информацию об этом, то эти два состояния системы различаются **фундаментально**.

**Суть различия:** Во втором случае мы можем «заставить» систему совершать «работу», а в первом – нет! Принцип Ландауэра: в процессе потери информации о состоянии совершается работа.

**Информация материальна:** связана с физическими объектами (носителями)

**Материя информационна:** информация атрибут структуры материи, которая является носителем отличий для физических объектов – difference that make the difference.

**Тезис. 2 ( антропный принцип).** То что называется **объективные** характеристики физического мира связано с **существованием наблюдателя**, который воспринимает **различия между** объектами материального мира или информацию

# Знания субъекта и объективная реальность мира

Следствие из **Тезиса 2**: У открытой физической системы есть внешний по отношению к ней **наблюдатель** (познающий субъект), который может иметь или не иметь **знания** об объективных (реальных) свойствах этой системы.

По отношению к познающему субъекту все **проявления реальности** должны явно или неявно учитывать **объем его знаний** о системе.

Принципиальное ограничение объема **доступных для познающего субъекта знаний** (ресурсы памяти) о изучаемой физической системе определяет модельный характер законов, с помощью которых изучается ее поведения. Эти законы, в частности, называются:

Термодинамика

Теория относительности

Квантовая механика

Эти законы, отражают ту точность наблюдения за природой, которую доставляют органы чувств или используемые средства измерений.

# Свойства информационной реальности – то, с чем «работает» интеллект субъекта познания

Все есть число  
Пифагор

Истина в неполноте  
Гедель

It from bit  
Арчибальд Уильер

В Природу можно понять, «рассмотрев» ее свойства либо с помощью органов чувств, либо приборов, (рентгеновских лучей ...) либо ... вычислить свойства с помощью математических моделей.

На прото-уровне материя обладает свойствами, которые непосредственно выражаются через числовые отношения, а эти выражения, в свою очередь, изоморфны программам вычислений.

**Тезис. 3.** Вычисления это физический процесс надо носителями информации – результат вычислений информационная реальность, существующая одновременно в физической и виртуальной (информационной) ипостасях.

# Проблема науки – кодирование знаний для «переноса» их во времени и пространстве.

Вплоть до XX века приборы, используемые физиками, давали информацию лишь о **экстенсиональных** или внешних признаках проявления отличий объектов природы. Экстенсивная мера информации **кодируется конечным набором цифр**, которые легко переносятся на:

- чернила на бумаге;
- электромагнитное поле;
- костяшки на счетах;
- положение стрелки прибора на шкале значений;

Однако объекты природы наделены также **интенсиональными** (скрытыми) характеристиками, **которые не могут непосредственно воздействовать на органы чувств**

- проницаемость мембран в нейронах;
- электрический потенциал;
- намагниченность;
- и т.д.

Можно ли и чем можно кодировать **скрытые** характеристики ?

# Принцип Ландауэра

**Принцип:** в процессе потери информации о состоянии системы совершается работа.

Потеря (стирание) одного бита информации сопровождается «потерей» свободной энергии по крайней мере  $kT \ln 2 = 0.693kT$  [Дж/К] ... ( $2.87 \cdot 10^{-21}$  Дж = 0.018 эВ при 300 К, где постоянная Больцмана  $k$  равна  $1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К.)

Одновременно с потерей одного бита информации происходит увеличение энтропии окружающей среды на  $k \ln 2 = 0.96 \cdot 10^{-23}$  Дж/К. [  $S=Q/T$  ]

При этом в окружающую среду «передается» определенное количество теплоты

**Эти количества не могут быть уменьшены, какие бы способы записи, хранения или стирания информации ни применялись**

# Комментарии к принципу Ландауэра

- Замечание 1 (теоретическое). Принцип Ландауэра связывает информацию с классическими физическими концепциями энергии и энтропии.
- Замечание 2 (практическое). В настоящее время в реальности затраты энергии на элементарные вычислительные операции, осуществляемые с помощью электронных микропроцессоров намного больше ландауэровского предела ( $2.87 \cdot 10^{-21}$  Дж = 0.018 эВ при 300 К), принцип подсказывает возможные пути и пределы минимизации энергопотребления компьютеров
- Замечание 3 (Принцип Ландауэра есть следствие логической необратимости процессов потери информации. Аналогичные выводы справедливы и в отношении других необратимых логических операций, например, И, ИЛИ: **диссипация энергии составляет как минимум  $kT \ln 2$  на каждый потерянный бит**

1. Надо ли всегда и как исправлять ошибки...чтобы получить правильный результат вычислений ?
2. Можно ли создать «новую» математику, с помощью которой используя много ошибочных результатов можно получить практически верный результат ?
3. Как можно «автоматизировать» процесс сравнения между собой «сложных» объектов, используя
  - интенционал – смысл понятия, сопоставляемого объекту
  - экстенционал – объем понятия, сопоставляемого объекту