



Санкт-Петербургский
Государственный
Политехнический
Университет

Институт прикладной
математики и механики

Введение в профессиональную деятельность

Лекция 4

**Информационно-
вычислительная парадигма
и деонтическая логика**

17 февраля 2021 г.

Что было на прошлой лекции. Темы докладов. Часть 1.

1. Компьютерные науки в свете материалов книги Д. Гильберта: «Познание природы и логика».
2. Теорема Геделя и ее значение для развития компьютерных наук
3. Аксиома Архимеда: метрики и суперметрики цифровых пространств и виртуальных объектов.
4. Машина Корсакова-Тьюринга:
5. Компьютер-сознание-мозг: в чем разница. По материалам лекции Т.В. Черниговской
<https://www.youtube.com/watch?v=EyUwnFzjXXU&t=9s>

Что обсуждали

А также:

- **Истина** не формализуема, математика – это метафора. основанная на **информационном сравнении** объектов, т.е. на основе «вычислимого» и «семантически» подобного.
- **То что логично можно вычислить** помощью компьютера. А все ли в **реальности** формально логично ? Что есть логика разумного ?
- Исходя из-за теоремы Геделя «К.П.Д. Логико-арифметическая формализации» $< 100\%$. Другими словами, какова бы ни была совокупность аксиом теории, содержащей арифметику, если теория непротиворечива , существует такое утверждение A , что ни A , ни его отрицание ($\neg A$) – в рамках этой теории не **доказуемы**.
- Фундаментальный вопрос, а почему так ? Ответа нет ?!

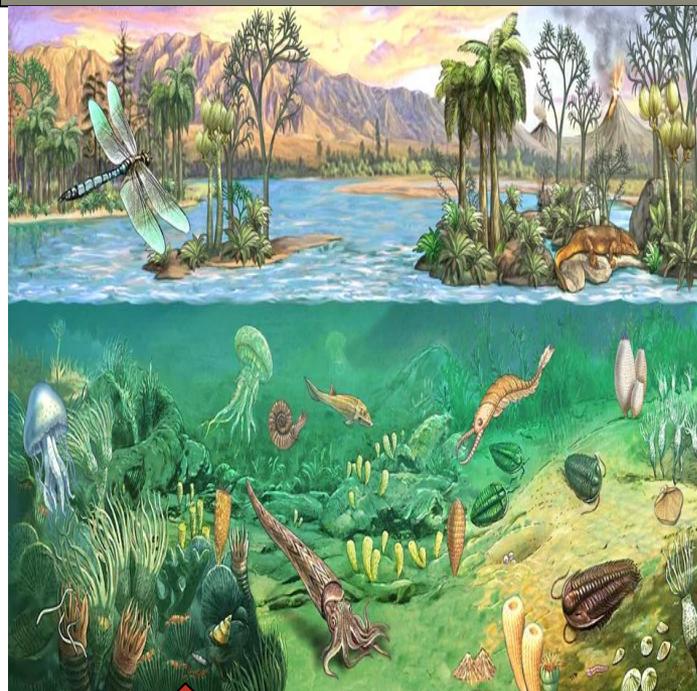
На лекции будем искать ответ на этот вопрос....

Парадигма соотношения неопределенности и принцип дополнительности.

Суть – неопределенность не свойство измерения, а состояние «сложного объекта».

- в каждом измерении/сравнения любого объекта имеется неанализируемый элемент – это наблюдатель. (Так в квантовой механике волновой функцией частицы помимо непрерывного **каузального** изменения, которое подчиняется уравнению Шредингера, связывают также **акаузальное**, мгновенное изменение, обусловленное «получением» информации о состоянии частицы, т.е. измерение состояние, результатом которого «владеет» наблюдатель.
- Измерение - суть **антиэнтропийный процесс**, который описывается как мгновенный переход волновой функции системы из состояния суперпозиции $\Phi = C_1\Phi_1^u + C_2\Phi_2^u + C_3\Phi_3^u + \dots$, где совокупность $\{\Phi_k^u\}$ представляет собой «множество возможных состояний» измеряемой величины U , к одному из возможных состояний $\Phi_{k_0}^u$ с вероятностью $|C_{k_0}|^2$
- До сих пор **процессы измерения, как и процессы вычисления**, рассматриваются вне формализма физических теорий, как некие технические операции. Это положение надо менять!!! **Надо понять, в чем суть информации как атрибута и функции** и как она соотносится с формализмом современных физических теорий ?

Физическая реальность или сознание, что, как почему ?



Существуют
разные
виды
организмов,
но не все они
имеют мозг и
наделены
сознанием !?

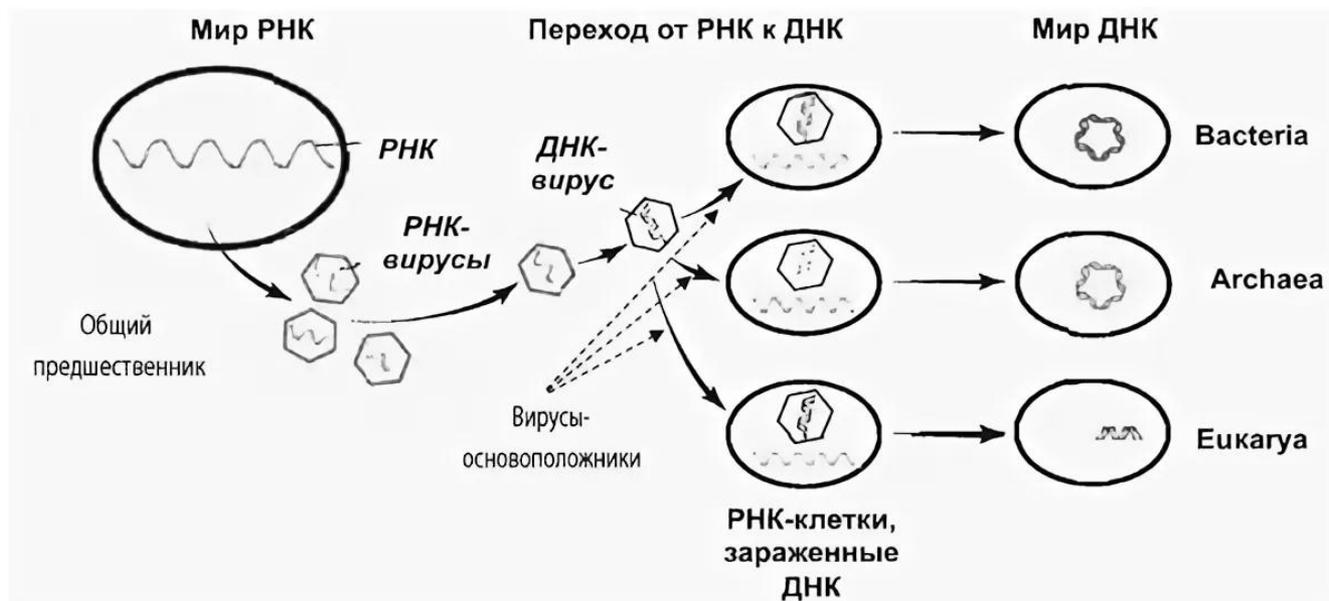


Философия: Существует ли реальность, которую наблюдать нельзя, а можно лишь мыслить или **вычислить** ?



Компьютерные науки: Как непротиворечиво объяснить связь реальности физического плана (движение в пространстве-времени => координата/скорость) и **сознания** (информация о...)?

Эволюция - результат «накопления» информации?!



РНК – хранилище информации. РНК является весьма сложной молекулой, и вероятность её **случайного** возникновения из отдельных атомов или фрагментов крайне низка. Гипотетически, существует множество вариантов соединения рибонуклеотидов друг с другом. Согласно «соотношению неопределенности» для выделения молекул, способных к катализу, требуется около 10^{13} – 10^{14} молекул РНК. Альтернатива случайности – **целенаправленные вычисления!** Именно на этом пути были открыты **РНК-переключатели**, которые реализуют логический элемент NOR [N. Sudarsan, M. C. Hammond, K. F. Block, R. Welz, J. E. Barrick, et. al.. (2006). Tandem Riboswitch Architectures Exhibit Complex Gene Control Functions. Science. 314, 300-304]

Исходим из того, что 1) информация – атрибут физической реальности



Джон Арчибальд Уилер
(John Archibald Wheeler
(1911 – 2008))

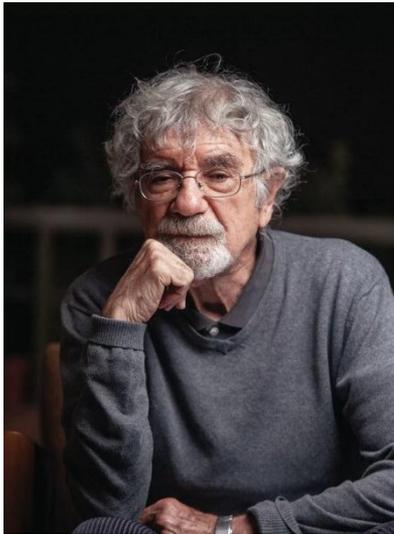
Д. А. Уилер высказал предположение, что информация является фундаментальной концепцией физики. Согласно его доктрине «**it from bit**» все физические сущности являются информационно-теоретическими в своей основе

А логика законов, описывающих реальность следует 2) принципу «дополнительности» - причина/намерение

Умберто Матурана: жизнь как процесс представляет собой процесс познания – понижения энтропии мира. А познано то, что логически доказуемо...или вычислимо, «познано» и «о-сознано» т.е. стало частью «сознанию». «Биология познания» (1970)

Модель знаний основана на понятии «**доказуемо**» и «переносимо во времени», которое следует законам логики:

- если высказывание доказуемо, оно истинно (доказать можно только истину, доказательств лжи не существует);
- логические следствия доказуемого также являются доказуемыми;
- логическое противоречие недоказуемо и т.п.
- если высказывание истинно, то неверно, что его отрицание также истинно («Если истинно, что Земля круглая, то неверно, что истинно, будто Земля плоская» и др.



Логика «законов вычислимой реальности»

Мы исходим из того, что **«по-знание»** супервентно **процессу «со-знания»**.

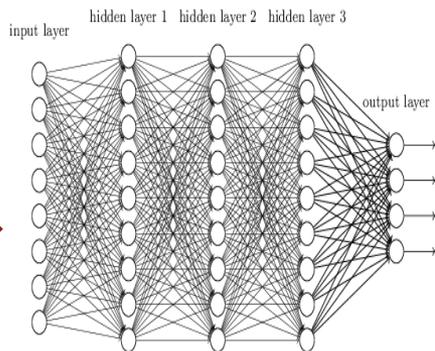
- Поэтому , если мы хотим **моделировать** «сознание», включая различные аспекты когнитивных процессов с помощью компьютерных систем, мы должны начать процесса **«объективизации»** используемых **понятий**, которые используются людьми для **описания реальности**, а затем перейти к конструированию вычислительных структур, в которых **«понятия»** физически воспроизводимы.

Пример: объективизация формальной логики физического «мира» с помощью Булевой алгебре в соответствии с законом «исключенного третьего»).

Эволюция компьютерных структур или гибридизация МТ – от «дедуктивных» к «индуктивным» вычислениям.

Суть подхода МТ: реализация дедуктивного процесса с использованием автомата, управляемого алгоритмом, состоящим из команд «МТ»

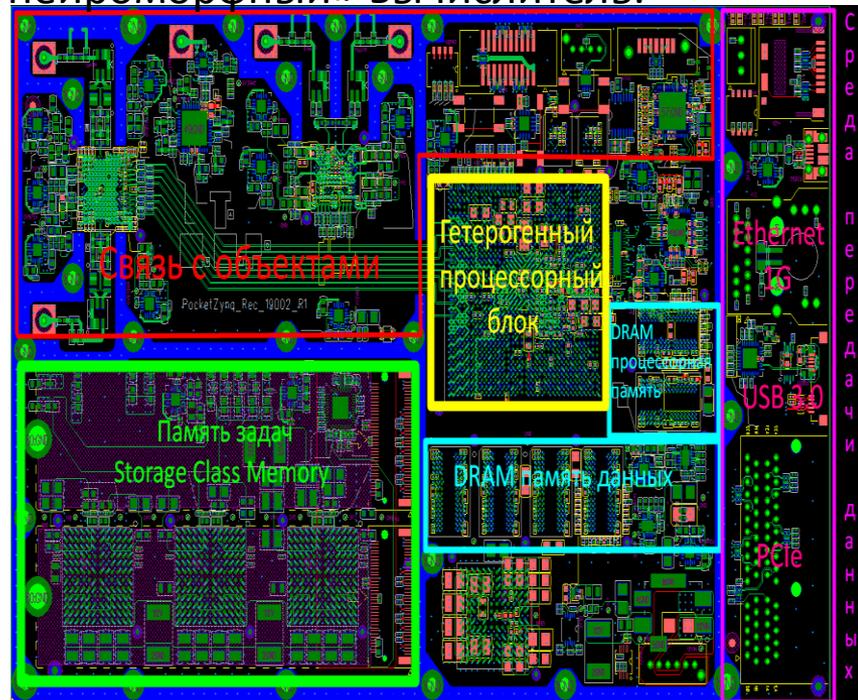
МТ



$$\begin{aligned}\nabla \cdot \nabla \psi &= \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} \\ &= \frac{1}{r^2 \sin \theta} \left[\sin \theta \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial \psi}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial^2 \psi}{\partial \varphi^2} \right]\end{aligned}$$



Гетерогенный «программно-нейроморфный» вычислитель:



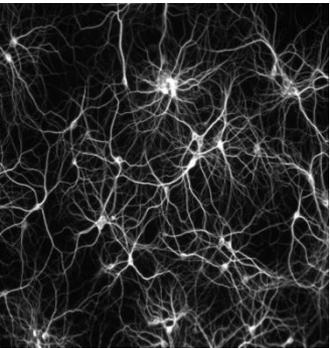
Суть нейроморфного подхода:

- Индуктивное непроцедурное отображение множества входных данных на **множество заданных классов, элементы которых кодируются вектором данных.**
- Это МТ, но без явно заданного команд алгоритма выполнения операций; В основе идея: движение «ленты» супервентно «движению данных».

Суть гетерогенного подхода:

- Реализация возможностей **алгоритмического** решения задачи и
- **индукции** на основе «обучения» **неявного** алгоритма на **заданном классе примеров**

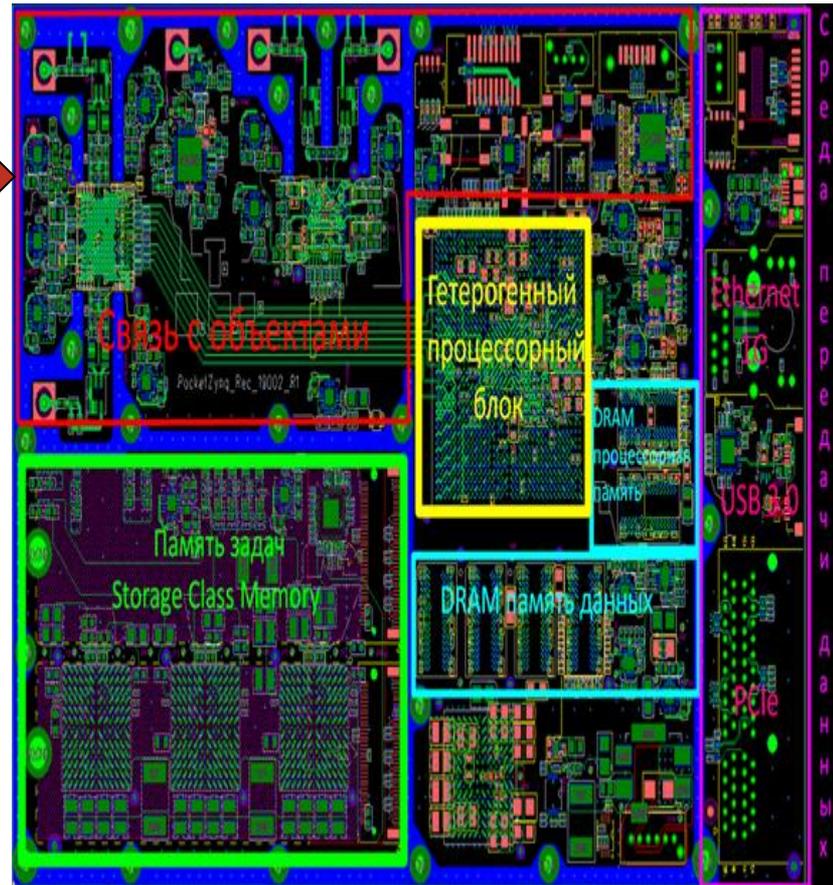
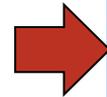
Характеристики «нейро» и электронных «вычислительных» сетей



МРТ снимок мозга

Формирование
нейронных
колонок,
цепей,
сетей

Число нейронов (коммутаторов) 10^{11} шт.
Число синапсов 10^{14} их длина более 10^6 км
Объем памяти $> 10^{15}$ байт



Структура вычислителя:

Число процессорных ядер 10^4
Длина соединительных линий 50 см
Объем памяти 10^{13} байт

Метафоры vs синтаксические характеристики :

- Основные логические понятия «современной математики и компьютерных наук»:

Точное равенство, перечислимость, вычислимость, разрешимость.

- В эти понятия-метафоры применимы для объектов, которые кодируются рядом расположенными символами знаками, образующих грамматику слов, с далеко отстоящими друг от друга семантическими свойствами (железный, ... человек, «1», «0»....).
- В семантическом синтаксисе заключается ключевая роль метафоры, например: «гладкая функция», «мягкое условие», «грубая оценка» и «жесткое условие». «странный аттрактор», «мнимое число»...

Итого: т.к. логическое противоречие (равенство логических несовместных переменных) недоказуемо, поэтому истина «реальности» не формализуема, а значит объекты не **перечислимы**, все их характеристики не **вычислимы**, а их совокупности не **разрешимы**, если ...не учитывается контекст или **модальный** аспект (законы и нормы, которым следуют **все** субъекты и объекты реальности)

Ментальное и физическое - концепция «дуала» К. В. Анохина



Мы знаем, что 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



Код физического
процесса



Интеллектуальный
субъект,
«понимающий» код



Инструмент
«расшифровки»
кода



физический
«процесс»

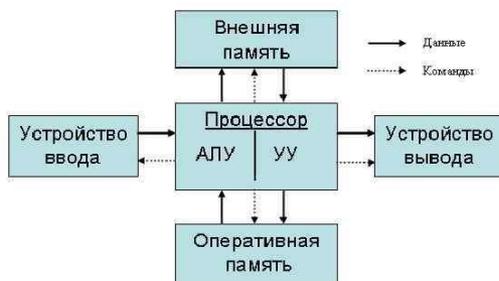
Все объекты в сознании человека образуют «дуал» - отображение физической реальности в ментальную (метафорическую) форму. Это и есть процесс «объективизации». Можем ли мы этот процесс реализовать «технически» с помощью ИТ ?

«Физика» процесса объективизации

фон-Неймана [1964]:

«Я же утверждаю: измеримая “физическая величина” имеет объективную вероятность “определенных значений”, а ее “наблюдатель” может быть заменен автоматом».

Архитектура фон Неймана



Джон фон Нейман (1903-1957)

С его именем которого связывают архитектуру большинства современных компьютеров (так называемая архитектура фон Неймана), применение теории операторов к квантовой механике (алгебра фон Неймана)

С точки зрения информационного описания конкретного материального объекта физической реальности все возможные «равновесные» состояния не различимы (в равновесном состоянии игнорируются микроскопические сущности, например, движение молекул и атомов, из которых состоит



Гипотеза 1. Сущности, которые нельзя измерить, а их характеристики вычислить - нельзя арифметизировать, они имеют числовой меры или харатеризации.

Гипотеза 2. Знания, которые можно арифметизировать, обладают свойством аддитивности (их можно складывать и накапливать).

Гипотеза 3. Любые знания, которые можно арифмитизировать, можно представить в форме компьютерных программ

Суть новой парадигмы: Реальность – это и то, что уже **состоялось** и... то, что в принципе **ВОЗМОЖНО**.

- **Математика всей физической реальности до конца еще не создана.** В Природе действуют не только **количественные**, но другие математические закономерности, а это приводит к «**не идеальности**» наблюдаемых физических процессов и «**отклонению**» от строгих математических формул.
- Законы, которые непосредственно выражаются математическими формулами, применимы к объектам, которые имеют «идеальную» цифровую модель, т.е. уже «реализовались». Но объекты реальности следуют «принципу дополнительности»...поэтому истинная модель реальности формирует «двойственные» пары :

число - слово,
модель - дефиниция,
представления - ощущения

...

Информация как мера «неоднородности» :

Физическая информация - объективное свойство реальности, которое проявляется в **неоднородности** распределения материи (вещества и энергии) в пространстве, а также в неравномерности протекания динамических процессов в неживой природе, технических и биологических системах.

$$H = K \cdot \sum_{i=1}^n P_i \log P_i$$

Формула Шеннона (1949 г.)

где H — среднее количество информации в системе с выбором сообщений, с вероятностями $(P_1, P_2 \dots P_n)$, K — константа, зависящая от единицы измерения

Модели 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

Дуал «модели мира» объединяет описания

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

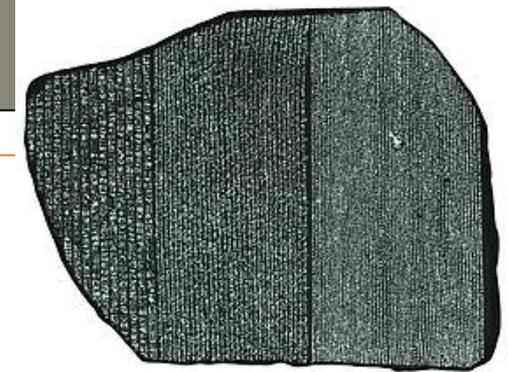
Однако остается вопрос , а достижимо ли прошлое «**информационно**» ?

Логика знаний: Истинность или доказанность ... услышанного, произнесенного и вычисленного.

Ключевая идея логики знаний - истина «относительна» и
зависит от

- Авторитета того, чьи слова услышаны
- Убежденности в истинности того говорит
- Правильности формул, которые используются для вычисления

Деонтическая логика – ЭТО Rosetta Stone ОПИСАНИЯ природы на различных «языках»



В настоящее время эти «языки» математические:

- метафора физики **существующего** (И. Ньютон) – классическая математика или обратимая зависимость между причиной и следствием. **Сила и инерция есть причины движения**, результат – траектории движения есть функции начальных условий (Принцип достаточного основания)
- Метафора физики **возникающего** (И. Пригожин) – появления новых макроструктур или объектов более высокого порядка. **Причина «движения» к порядку - возрастание энтропии** внешней среды (диссипативное становление)
- Метафора физики **управляемого**:
 - кибернетика (Н. Винер) **Цель - причина движения , результат – алгоритм управления «движением», основанный на передачи информации (Bit from It),**
 - киберфизика - **причина движения - передача информация, результат движения - процесс вычисления цели (It from Bit)**

Нормативная (деонтическая) логика - разновидность модальной логики

Логика	Модальность необходимого $\Box p$	Модальность возможного $\Diamond p$
Алетическая alethic	необходимо, что p истинно (p is necessary true)	возможно, что p истинно (p is possible true)
Доксастическая doxastic	p обязательно истинно (p is believed to be true)	предположительно, p истинно (p is supposed to be true)
Темпоральная temporal	всегда в будущем p истинно (p is always true)	иногда в будущем p истинно (p is sometimes true)
Деонтическая deontic	p обязательно выполнить (p is obligatory)	p разрешено выполнить (p is permitted)
Эпистемическая epistemic	знаю, что p истинно (p is known to be true)	думаю (полагаю), что p истинно (p is believed to be true)

Деонтическая логика – это ветвь модальной логики, которая формализует рассуждения о нормах, обязательствах, запретах и разрешениях

Пример. Модальная «надстройка» над логикой высказываний

- Простейшая модальная логика – расширение обычной логики высказываний.
- Грамматика (рекурсивное определение ППФ):

$\varphi ::= p \mid \neg\varphi \mid \varphi \vee \varphi \mid \boxed{\varphi}$

Как обычно, выводимые операции:

$\varphi \wedge \psi$ для $\neg(\neg\varphi \vee \neg\psi)$;

$\varphi \rightarrow \psi$ для $\neg\varphi \vee \psi$;

$\varphi \leftrightarrow \psi$ для $(\varphi \rightarrow \psi) \wedge (\psi \rightarrow \varphi)$;

True для $\varphi \vee \neg\varphi$;

False для $\neg\text{True}$;

$\diamond\varphi$ для $\neg\boxed{\neg\varphi}$

Формулы модальной логики

= формулы логики

высказываний +

один унарный оператор :

$\boxed{}$ – необходимо **ИЛИ** \diamond – возможно

$\boxed{}$ - бокс (*box*) - необходимо,

\diamond - ромб (*diamond*) - возможно

Пример **правильно** построенной формулы: $\boxed{\varphi} \rightarrow \diamond\varphi \vee \boxed{\varphi} \rightarrow \neg\diamond\neg\varphi$

Пример **НЕправильно** построенной формулы: $\boxed{\varphi} \vee \rightarrow (p \diamond \rightarrow q)$

- Семантика операторов $\boxed{}$ и \diamond в разных **ЛОГИКАХ** различается.

Деонтическая логика – основа для построения «электронных» институтов цифровой экономики

- Понятия законов и норм, ответственность за их нарушение – все это было **СОЦИАЛЬНЫМИ** понятиями, эти понятия были применимы только к людям, функционирующим в **ОБЩЕСТВЕ** людей.

Цифровая трансформация и создание активных автономных адаптивных агентов придало новое направление **ДЕОНТИЧЕСКОЙ МОДАЛЬНОЙ ЛОГИКЕ** – создание **коллективов ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ агентов**, в которых гарантированно выполняются “социальные” нормы и правила поведения

Деонтическая логика формализует нормативные высказывания **независимо от того, относятся они к биологическим или искусственным агентам.**

Поэтому на основе ДЛ можно создать базис для построения коллективов автономных агентов, **гарантированно** функционирующих в соответствии с заданным набором норм, законов и правил.

Нормы для построения 'электронных сообществ'

- Рационально построенная нормативно–правовая система «новой цифровой реальности» должна удовлетворять следующему минимальному набору требований:
 - **непротиворечивость**: в системе права отсутствуют несовместимые нормы.
 - **сбалансированность**: для всякой правопредоставляющей нормы предусмотрена соответствующая ей правообязывающая норма.
 - **полнота**: все возможные в данной предметной области действия в системе регулируются (т.е. в каждой ситуации можно определить, является ли конкретное действие конкретного агента необходимым, допустимым, разрешенным или запрещенным), нерегулируемых действий нет.

Проблема: как строить новое цифровое общество , в котором *определены и выполняются* непротиворечивые, сбалансированные системы норм?

Дополнительные операторы

- Кроме модальностей ‘ромб’ и ‘бокс’ нужны дополнительные модальные операторы для выражения модальностей.

Пусть: q – “студенты учатся”

$O q$ – “студенты **обязаны (должны)** учиться” ($[] q$) ‘сильная’ истина

$P q$ – “студентам **разрешено** учиться” ($\Diamond q$) ‘слабая’ истина

$F q$ – “студентам **запрещено** учиться” $F q = O \neg q$

$W q$ – “студентам **необязательно** учиться” $W q = \neg O q$

- Все модальности выражаются через ‘сильную’ модальность:
 - $P q = \neg O \neg q$ “**разрешено** спать” = “**неверно, что обязан не** спать”
 - $F q = O \neg q$ “**запрещено** сидеть” = “**обязан не** сидеть”
 - $W q = \neg O q$ “**необязательно** петь” = “**неверно, что обязан** петь”

Формальные определения модальностей должны согласовываться с интуицией

Заключение: «в начале был закон»

Надо

- создать формальный метафорический язык для спецификации норм, которым следуют как люди, так и интеллектуальные агенты-роботы . Семантика такого языка должна , позволяющая строить структуры, используемые для синтеза планов действий, которые следуют этим нормам.
- формировать нормы на основе законов модельных логик, которые, в свою очередь, можно транслировать в операционную семантику планов поведения групп интеллектуальных агентов. На основе этой семантики агенты САМИ могут строить и анализировать свои планы действий.
- Создавать только таких интеллектуальных агентов, которые действуют и планируют свои действия на основе заранее заданных и формально описанных модельных норм.

Тема нового доклада: Семантика Крипке

- Семантика Крипке соответствует интуитивному пониманию смысла утверждений нормативной логики
 - $[]q$: “обязательно выполнение a ” Oq – obligation q
 - $\Diamond q$: “разрешено выполнение a ” Pq – permission q

“Возможные миры” Крипке следует можно понимать как возможные альтернативы документа или альтернативные варианты реализации системы.

Интуитивное понимание смысла утверждений согласуется с семантикой Крипке: для действия q его выполнение обязательно (Oq) в мире w , iff утверждение о выполнении q присутствует во всех альтернативах мира w .