



**Введение в профессиональную деятельность**

Санкт-Петербургский  
Государственный  
Политехнический  
Университет

Институт прикладной  
математики и механики

Лекция 4

**Деонтическая логика  
– логика законов и норм**

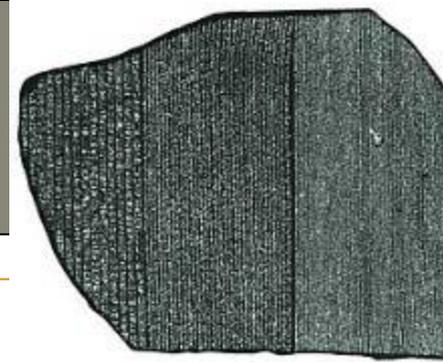
---

6 марта 2018 г.

## Что важно запомнить из прошлой лекции

- Согласно S. Lomonaco, “A Rosetta Stone for Quantum Computation” основная идея Науки 2.0 - в решении проблемы «сложности» с помощью принципа «цифровой» относительности - один и тот же объект физической реальности может иметь различные, но «объективно» правильные цифровые описания-модели.
- Относительность описания отражает различные уровни наблюдения или «понимания» физической реальности ( механика, твердое тело, молекулярное представление, квантовая механика...).

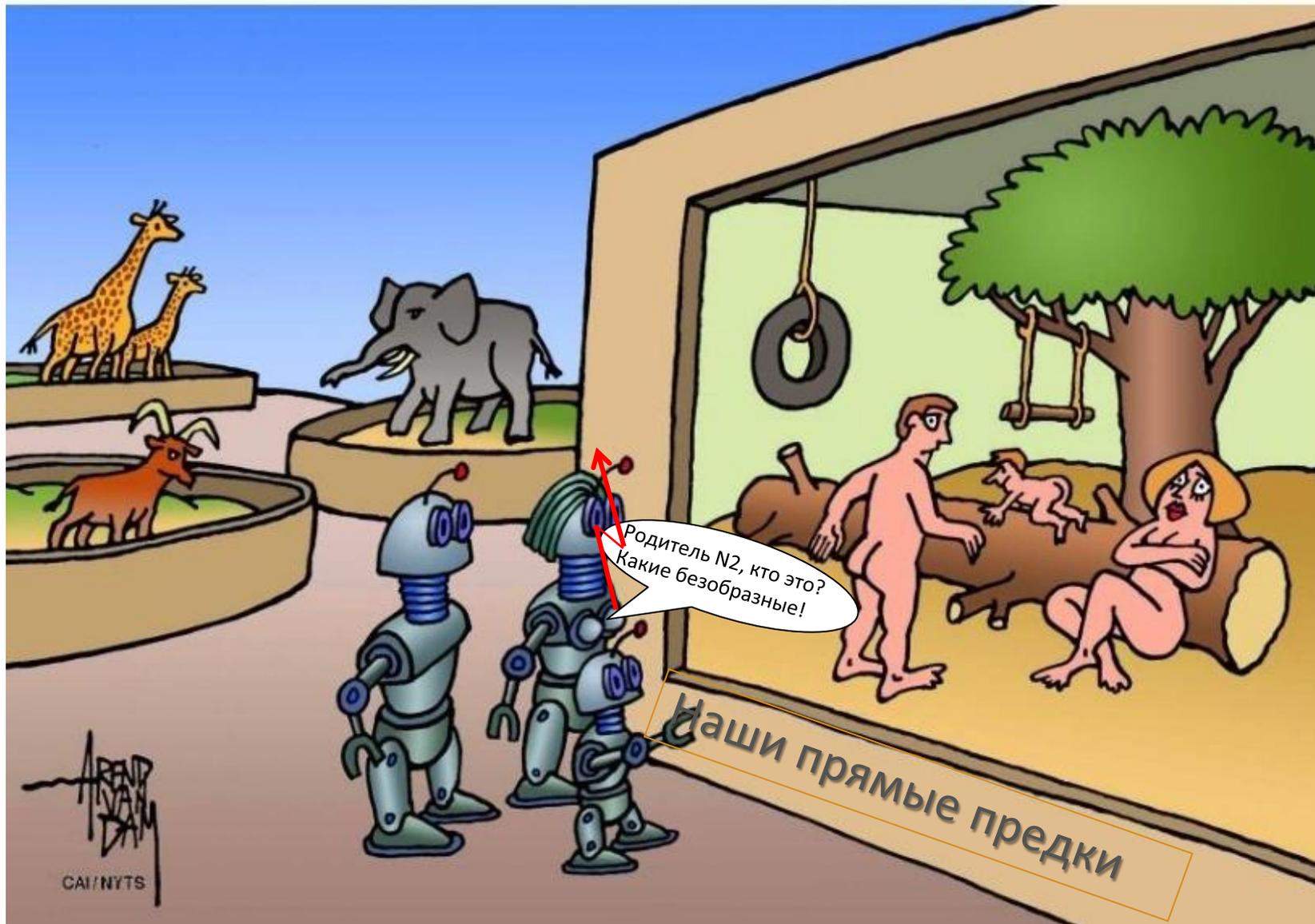
# Наука 2.0 – это Rosetta Stone описания свойств природы возможно различных «языках»



В настоящее время эти «языки» сугубо 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)**

# Что мы будем делать дальше, если ...



# Какой следует вывод: Приоритетная задача компьютерных наук: включение концепции НОРМ в информационные и мультиагентные системы

- В глобальных информационных системах НОРМЫ должны играть роль ограничений на поведение не только всех типов интеллектуальных агентов, но и для коллектива агентов в целом.
- В литературе существует несколько подходов к определению норм:
  - as a rule or standard of behaviour shared by members of a social group,
  - as an authoritative rule or standard by which something is judged, approved or disapproved,
  - as standards of right and wrong, beauty and ugliness, and truth and falsehood,
  - or even as a model of what should exist or be followed, or an average of what currently does exist in some context.
- Формально нормы и их свойства описываются ДЕОНТИЧЕСКОЙ модальной логикой- нормативной логикой.

# Проблема, которую надо срочно решить: современный человек не понимает структуры и правил функционирования среды, в которой живет

- Человек уже сегодня оказался в новом «цифровом» мире, в котором принятие основных решений не является ТОЛЬКО его прерогативой.
- Среда вокруг нас заполнена сложнейшими техническими системами, правила функционирования которых не могут быть поняты ДО КОНЦА ни одним человеком.
- Решения по управлению сложными системами вокруг нас принимаются все в большей степени автономно, без непосредственного участия ЧЕЛОВЕКА.
- **Это порождает новые вызовы и проблемы: как существовать, как выжить человеку в этих новых «цифровых» условиях?**

# 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

# Модальная логика – 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  $\neg\boxed{\neg\varphi}$

Пример **правильно** построенной формулы:  $\boxed{(p \rightarrow \diamond q) \vee \boxed{\neg\diamond(p \wedge \neg q)}}$

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

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

Формулы модальной логики  
= формулы логики высказываний

+

один унарный оператор :

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

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

$\diamond$  - ромб ( *diamond* ) - возможно

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

- Исторически утверждения с деонтическими модальностями понимались только относительно деятельности людей в **ЧЕЛОВЕЧЕСКОМ ОБЩЕСТВЕ**.
- 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 революция 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, приемлемые для сообществ, в которых сосуществуют как биологические, так и искусственные агенты.

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.

# Зачем нужны МОДАЛЬНЫЕ логики?

- Модальной логики позволяют сделать *точными и недвусмысленными* рассуждения на естественном языке, включающие модальные понятия.
- Рассуждения о необходимом и возможном, о разрешенном и запрещенном, о знаниях и предположениях должны быть **ЛОГИЧНЫМИ**, т.е. **последовательными, непротиворечивыми и убедительными**, интуитивно **согласованными с нашим пониманием** причинно-следственных связей, с пониманием того, **ЧТО** является истинным в различных областях.
- Например, НЕ противоречат интуиции:
  - формула  $K(p \wedge q) \rightarrow Kp \wedge Kq$  - это *тавтология* модальной логики **знаний**. В рассуждениях о знаниях очевидно, что *если я знаю  $p$ , и  $q$ , то это значит, что я знаю  $p$  И я знаю  $q$* ;
  - в рассуждениях о нормах, законах, предписаниях в деонтической логике обязанности и запрещения могут быть *выражены друг через друга очевидным образом*:
    - норма “платить налоги **обязательно**” должна быть эквивалентна норме “**не** платить налоги **НЕ разрешено**”;

# Нормы для построения 'электронных институтов'

- 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?

# Формализма модальных логик для решения проблем реальной жизни

Для применения конкретных модальных логик к реальной проблеме необходимо выяснить следующие вопросы:

- *Какие аксиомы и правила вывода МЛ справедливы для данной логики?*
- *Являются ли эти аксиомы и правила вывода адекватными в конкретной области приложений?*
- *Какие парадоксы данной логики обнаружены и как их избежать?*
- *При каких ограничениях применение данного формализма гарантирует адекватность полученных выводов?*
- *Как можно **обеспечить** требуемые ограничения при использовании этой логики и ее результатов в реальной жизни?*
- *Какие проблемы конкретной области приложения и как могут решаться в рамках данной логики?*

## 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

# Компьютерные науки в процессе «правильного цифрового общества» - «в начале было слово»

- Надо создать формальный язык для спецификации норм . Семантика такого языка должна , позволяющая строить структуры, используемые для сохраняющих нормы планов действий для построения практических механизмов рассуждений в области норм социального характера.
- Сведение деонтических норм на основе 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.
- Строить только таких агентов, которые планируют свои дальнейшие действия на основе предварительно формально заданных модельных норм.

# Деонтическая логика - теория нормативных умозаключений

- Деонтическая логика (от древнегреческого δέον — долг) - логика норм, нормативная логика) анализирует высказывания и рассуждения, посылками и заключениями которых являются высказывания о нормах (правилах) в терминах обязательства, разрешений, запрещений, опциональности, иммунитета, ...
- Как и любая логика, ДЛ отличает правильные (логически обоснованные) рассуждения о нормах от неправильных, логически не обоснованных.
- В логике, которая анализирует высказывания о нормах, должны быть справедливы законы:
  - закон непротиворечивости (выполнение действия и воздержание от него не могут быть вместе обязательными),
  - закон полноты (всякое действие или обязательно, или безразлично, или запрещено),
  - логические следствия обязательного — обязательны;
  - если действие с необходимостью ведет к запрещенному следствию, то само действие запрещено, ...

Существуют *десятки* деонтических логик. Иногда ДЛ строят с ‘*диадическими*’ модальностями:  $O(q/r)$  – “*Обязательно выполнить q при условии r*”.

# Примеры модальных операторов

Obligatory – “*сильная*” истина  
Permitted – “*слабая*” истина

$$[]q \leftrightarrow \neg \Diamond \neg q$$

## Модальные операторы SDL

- $Oq$  - *обязательно*  $q$  (obligation) -  $q$  должно быть выполнено,  $q$  необходимо выполнить;
- $Pq$  - *разрешено*  $q$  (permission) -  $q$  может быть выполнено;
- $Fq$  - *запрещено*  $q$  (prohibition) - выполнение  $q$  запрещено;
- $Wq$  - *необязательно*  $q$  (?перевод) - выполнение  $q$  необязательно.

## Все модальные операторы выражаются через $O$ :

$$Oq \leftrightarrow \neg P \neg q$$

- $Pq =_{df} \neg O \neg q$  - нечто разрешено – значит, его невыполнение не обязательно;
- $Fq =_{df} O \neg q$  - нечто запрещено, значит, его невыполнение обязательно;
- $Wq =_{df} \neg Oq$  - нечто необязательно – значит, его выполнение не является обязательным.

## Очевидно, соблюдаются принципы:

- «то, что не запрещено, то разрешено»:  $\neg Fq = Pq$
- «то, что не разрешено, то запрещено»:  $\neg Pq = Fq$

## Переход к логике знаний

- $O(q) = F(\neg q)$  “выполнение некоторого действия обязательно – это то же самое, что запрещено его невыполнение”
- $F(\neg q) \rightarrow O(q)$  “если невыполнение некоторого действия запрещено, то его выполнение является обязательным”

Например:

- $\neg (Pa \wedge Fa)$  “выгуливание собаки без намордника не может быть одновременно **И разрешено**, **И запрещено**”
- $\neg (Oa \wedge \neg Pa)$  “выгуливание крокодила без намордника не может быть одновременно **И обязательным**, **И не разрешенным**”

# 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  $w$ .*

## Как найти правильное решение :

Nous ne discutons pas, nous allons compter

JL Lagrange

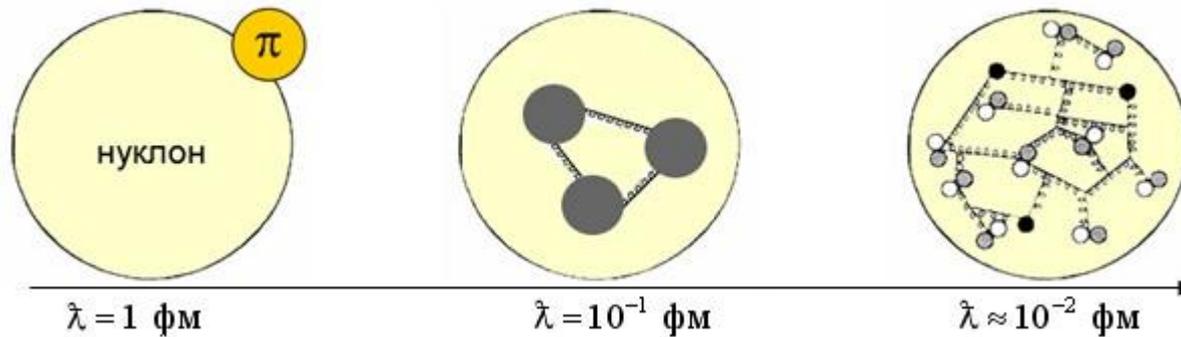
Не будем спорить, давайте посчитаем

Ж. Л. Лагранж

Will not argue, let's count

JL Lagrange

## ... Многомасштабные гибридные киберфизические модели



- Компьютерная модель реального объекта зависит от масштаба и контекста использования.
- Нужна «теория относительности» для новой компьютерной реальности



**ПОЛИТЕХ**  
Санкт-Петербургский  
Политехнический  
Университет

## Эко система СКЦ Политехнический»

**1) Кластер с глобально адресуемой памятью**

**2) Кластер с графическими ускорителями**

**3) гомогенная система с массовым параллелизмом**

**4) Облачная среда**

3D-Torus for inter-node communication

Interconnect - hybrid "fat tree"

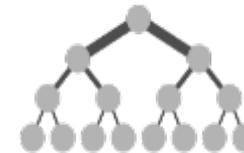
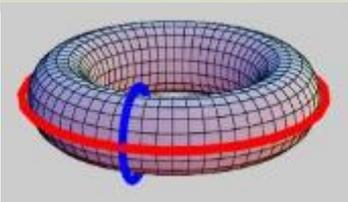
Scalable hierarchical structure

Reconfigurable virtual infrastructure

IB (FDR)

ETH- IB (FDR)

IB – ETH



Сетевая инфраструктура доступа

## Как это выглядит



# Система визуализации расчетов

