

Игорь Михайлов  
ИФРАН

# ПОНЯТИЕ ВЫЧИСЛЕНИЙ И ЕГО РОЛЬ В КОГНИТИВНЫХ ТЕОРИЯХ

Конструктивное знание – 6 : мышление и вычисление

6 июня 2018

ИФ РАН, Москва

# МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

ФОРМАЛЬНАЯ ЭПИСТЕМОЛОГИЯ vs. КОГНИТИВНАЯ НАУКА =  
НОРМАТИВНАЯ vs. ДЕСКРИПТИВНАЯ ТЕОРИИ

# МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

ФИЛОСОФИЯ СОЗНАНИЯ — МЕЖДУ ФЭ И КН.  
ОДНА ИЗ ГЛАВНЫХ ПРОБЛЕМ: ФУНКЦИОНАЛИЗМ VS.  
НАТУРАЛИЗМ — СОЗНАНИЕ КАК ВЫЧИСЛЕНИЕ VS.  
СОЗНАНИЕ КАК ФИЗИОЛОГИЧЕСКИ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЙ  
ЭФФЕКТ.



# О ВЫЧИСЛЕНИЯХ

ВЫЧИСЛЕНИЯ:

- (1) АЛГОРИТМИЧНЫ
- (2) СУБСТРАТОНЕЗАВИСИМЫ

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ МАТЕРИАЛЬНОГО ПРОЦЕССА КАК  
ВЫЧИСЛЕНИЯ ЗНАЧИТЕЛЬНО УПРОЩАЕТ ЕГО  
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ, А ТАКЖЕ ОНТОЛОГИЮ  
(квазары и биосистемы могут оказаться в одной группе).

# УРОВНИ ВЫЧИСЛЕНИЙ

СОГЛАСНО ДЭВИДУ МАРРУ [MARR, 2010], ЛЮБАЯ  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА МОЖЕТ БЫТЬ ОПИСАНА НА  
ТРЕХ УРОВНЯХ:

- (1) ТЕОРИЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ, ОПИСЫВАЮЩАЯ ЕГО ЦЕЛЬ,  
ПРИЕМЛЕМОСТЬ И СТРАТЕГИЮ,
- (2) РЕПРЕЗЕНТАЦИЯ И АЛГОРИТМ, ГДЕ ОПРЕДЕЛЯЮТСЯ  
ФОРМЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ВХОДНЫХ И ВЫХОДНЫХ  
ДААННЫХ, А ТАКЖЕ АЛГОРИТМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ  
ОДНОГО В ДРУГОЕ, И
- (3) ФИЗИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА И  
РЕПРЕЗЕНТАЦИЙ.

# УРОВНИ ВЫЧИСЛЕНИЙ

ТОММАЗО ПОДЖИО [ROGGIO, 2012] ПРЕДЛАГАЕТ  
СЛЕДУЮЩИЙ АПДЕЙТ МАРРОВСКОЙ СХЕМЫ:

- (1) ЭВОЛЮЦИЯ,
- (2) ОБУЧЕНИЕ И РАЗВИТИЕ,
- (3) ВЫЧИСЛЕНИЯ,
- (4) АЛГОРИТМЫ,
- (5) БИОЛОГИЧЕСКИЙ СУБСТРАТ (WETWARE), ФИЗИЧЕСКИЙ СУБСТРАТ (HARDWARE), СХЕМЫ И КОМПОНЕНТЫ.

# О ВЫЧИСЛЕНИЯХ

*[McLennan, 2004]* NATURAL COMPUTATION, SUCH AS OCCURS  
IN NEURAL NETWORKS, REQUIRES NON-TURING MODELS OF  
COMPUTATION.



# О ВЫЧИСЛЕНИЯХ

[*McLennan, 2004*] IN THE MID-20TH CENTURY MANY SCIENTISTS EMBRACED COMPUTATION AND INFORMATION PROCESSING AS WAYS OF UNDERSTANDING PHENOMENA IN THEIR OWN DISCIPLINES. A NOTABLE EXAMPLE IS THE USE OF COMPUTATIONAL MODELS IN COGNITIVE SCIENCE, BUT LINGUISTICS, SOCIOLOGY, GENETICS, AND EVOLUTIONARY BIOLOGY MAY ALSO BE MENTIONED.



# О ВЫЧИСЛЕНИЯХ

*[McLennan, 2004]* DEFINITION 1. COMPUTATION IS A PHYSICAL PROCESS THE PURPOSE OF WHICH IS THE ABSTRACT MANIPULATION OF ABSTRACT OBJECTS. HOWEVER, BECAUSE ABSTRACT OBJECTS DO NOT EXIST PHYSICALLY, THE MANIPULATIONS MUST BE ACCOMPLISHED INDIRECTLY, BY PHYSICAL MANIPULATION OF PHYSICAL SURROGATES.

# О ВЫЧИСЛЕНИЯХ

[*McLennan, 2004*] IF THE PURPOSE OR FUNCTION OF THAT SYSTEM WOULD BE FULFILLED AS WELL BY ANOTHER SYSTEM USING DIFFERENT PHYSICAL SURROGATES WITH THE SAME FORMAL PROPERTIES, THEN THE SYSTEM IS COMPUTATIONAL.

IN CONTRAST, THE DIGESTIVE SYSTEM IS NOT COMPUTATIONAL, SINCE IT WILL NOT FULFIL ITS FUNCTION IF, FOR EXAMPLE, ENZYME CONCENTRATIONS ARE REPLACED BY OTHER QUANTITIES (E.G., ELECTRICAL CHARGE DENSITY), HAVING THE SAME FORMAL PROPERTIES.

# О ВЫЧИСЛЕНИЯХ

[*McLennan, 2004*] THERE ARE THREE IMPORTANT CLASSES:

- A CONTINUOUS-TIME PROCESS OVER CONTINUOUS STATE-SPACE,
- A DISCRETE-TIME PROCESS OVER CONTINUOUS STATE-SPACE,
- A DISCRETE-TIME PROCESS OVER A DISCRETE STATE-SPACE.



# ЕСТЕСТВЕННЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

[*McLennan, 2004*] ONE OF THE MOST OBVIOUS REQUIREMENTS OF NATURAL COMPUTATIONAL SYSTEMS IS REAL-TIME RESPONSE.

FURTHERMORE, NATURAL COMPUTATION ITSELF IS NOISY AND IMPRECISE.

A PRINCIPAL REASON FOR USING COMPUTATIONAL MODELS IN THE NATURAL SCIENCES IS TO BANISH THE “GHOST IN THE MACHINE” FROM OUR SCIENTIFIC EXPLANATIONS.

CONTINUOUS MODELS ARE OFTEN BETTER MATCHES TO THE RELEVANT PHENOMENA THAN DISCRETE MODELS.

IT IS NOT USUALLY USEFUL TO THINK OF NATURAL COMPUTATION AS COMPUTING A FUNCTION. RATHER, MOST NATURAL COMPUTATION SYSTEMS ARE BETTER VIEWED AS REAL-TIME CONTROL SYSTEMS.

# ЕСТЕСТВЕННЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

[*McLennan, 2004*]

From the perspective of continuous computation, a rule projects a complex image through a low-dimensional subspace. Further, any function that can be decomposed into a finite set of such projections will act as though it is obeying a finite set of rules even if the actual intermediate space is not physically represented. That is, if a function  $F : \Phi \rightarrow \Psi$  between high-dimensional spaces  $\Phi$  and  $\Psi$ , can be decomposed,  $F = \bigcup_{k=1}^N Q_k \circ P_k$ , where  $P_k : \Phi \rightarrow I_k$  and  $Q_k : I_k \rightarrow \Psi$ , for low-dimensional intermediate spaces  $I_k$ , then the system will appear to be following rules, even if the physical computation is not structured in this way. That is, a system may appear to be following rules even though it is not; in effect the rules are illusory.

# О ВЫЧИСЛЕНИЯХ

ВЫЧИСЛЕНИЯ: GENERIC, ЦИФРОВЫЕ (ТЬЮРИНГОВЫ И НЕ-),  
АНАЛОГОВЫЕ, НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ, КВАНТОВЫЕ И Т.  
Д.



# GENERIC ВЫЧИСЛЕНИЯ

*[Piccinini and Bahar, 2013]* A FUNCTIONALLY ORGANIZED MECHANISM IS A SYSTEM OF ORGANIZED COMPONENTS, EACH OF WHICH HAS FUNCTIONS TO PERFORM. THE RESULT IS A MECHANISTIC EXPLANATION OF THE MECHANISM'S CAPACITIES—AN EXPLANATORY STRATEGY FAMILIAR TO BOTH BIOLOGISTS AND ENGINEERS.

# GENERIC ВЫЧИСЛЕНИЯ

*[Piccinini and Bahar, 2013]* COMPUTATION IN THE GENERIC SENSE IS THE PROCESSING OF VEHICLES (DEFINED AS ENTITIES OR VARIABLES THAT CAN CHANGE STATE) IN ACCORDANCE WITH RULES THAT ARE SENSITIVE TO CERTAIN VEHICLE PROPERTIES AND, SPECIFICALLY, TO DIFFERENCES BETWEEN DIFFERENT PORTIONS (I.E., SPATIOTEMPORAL PARTS) OF THE VEHICLES. A RULE IN THE PRESENT SENSE IS JUST A MAP FROM INPUTS TO OUTPUTS; IT NEED NOT BE REPRESENTED WITHIN THE COMPUTING SYSTEM.

# GENERIC ВЫЧИСЛЕНИЯ

*[Piccinini and Bahar, 2013]* VEHICLES ARE MEDIUM INDEPENDENT IF AND ONLY IF THE RULE (I.E., THE INPUT-OUTPUT MAP) THAT DEFINES A COMPUTATION IS SENSITIVE ONLY TO DIFFERENCES BETWEEN PORTIONS OF THE VEHICLES ALONG SPECIFIC DIMENSIONS OF VARIATION—IT IS INSENSITIVE TO ANY MORE CONCRETE PHYSICAL PROPERTIES OF THE VEHICLES.

THE RULES ARE FUNCTIONS OF STATE VARIABLES ASSOCIATED WITH A SET OF FUNCTIONALLY RELEVANT DEGREES OF FREEDOM, WHICH CAN BE IMPLEMENTED DIFFERENTLY IN DIFFERENT PHYSICAL MEDIA.



# GENERIC ВЫЧИСЛЕНИЯ

*[Piccinini and Bahar, 2013]* A GIVEN COMPUTATION CAN BE IMPLEMENTED IN MULTIPLE PHYSICAL MEDIA (E.G., MECHANICAL, ELECTRO-MECHANICAL, ELECTRONIC, AND MAGNETIC), PROVIDED THAT THE MEDIA POSSESS A SUFFICIENT NUMBER OF DIMENSIONS OF VARIATION (OR DEGREES OF FREEDOM) THAT CAN BE APPROPRIATELY ACCESSED AND MANIPULATED AND THAT THE COMPONENTS OF THE MECHANISM ARE FUNCTIONALLY ORGANIZED IN THE APPROPRIATE WAY.

# GENERIC ВЫЧИСЛЕНИЯ

*[Piccinini and Bahar, 2013]* BY CONTRAST, MANY PROCESSES, SUCH AS COOKING, CLEANING, AND EXPLODING, ARE DEFINED IN TERMS OF SPECIFIC PHYSICAL ALTERATIONS OF SPECIFIC SUBSTANCES. THEY ARE NOT MEDIUM INDEPENDENT; HENCE, THEY ARE NOT COMPUTATIONS.

# GENERIC ВЫЧИСЛЕНИЯ

*[Piccinini and Bahar, 2013]* GENERIC COMPUTATION INCLUDES  
DIGITAL COMPUTATION, ANALOG COMPUTATION, QUANTUM  
COMPUTATION, AND MORE.



# ЦИФРОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

*[Piccinini and Bahar, 2013]* ABSTRACT DIGITAL COMPUTATION IS THE MANIPULATION OF STRINGS OF DISCRETE ELEMENTS, THAT IS, STRINGS OF LETTERS FROM A FINITE ALPHABET. CONCRETE DIGITAL COMPUTATION IS THE PROCESSING OF SEQUENCES OF DIGITS ACCORDING TO GENERAL RULES DEFINED OVER THE DIGITS.

# ЦИФРОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

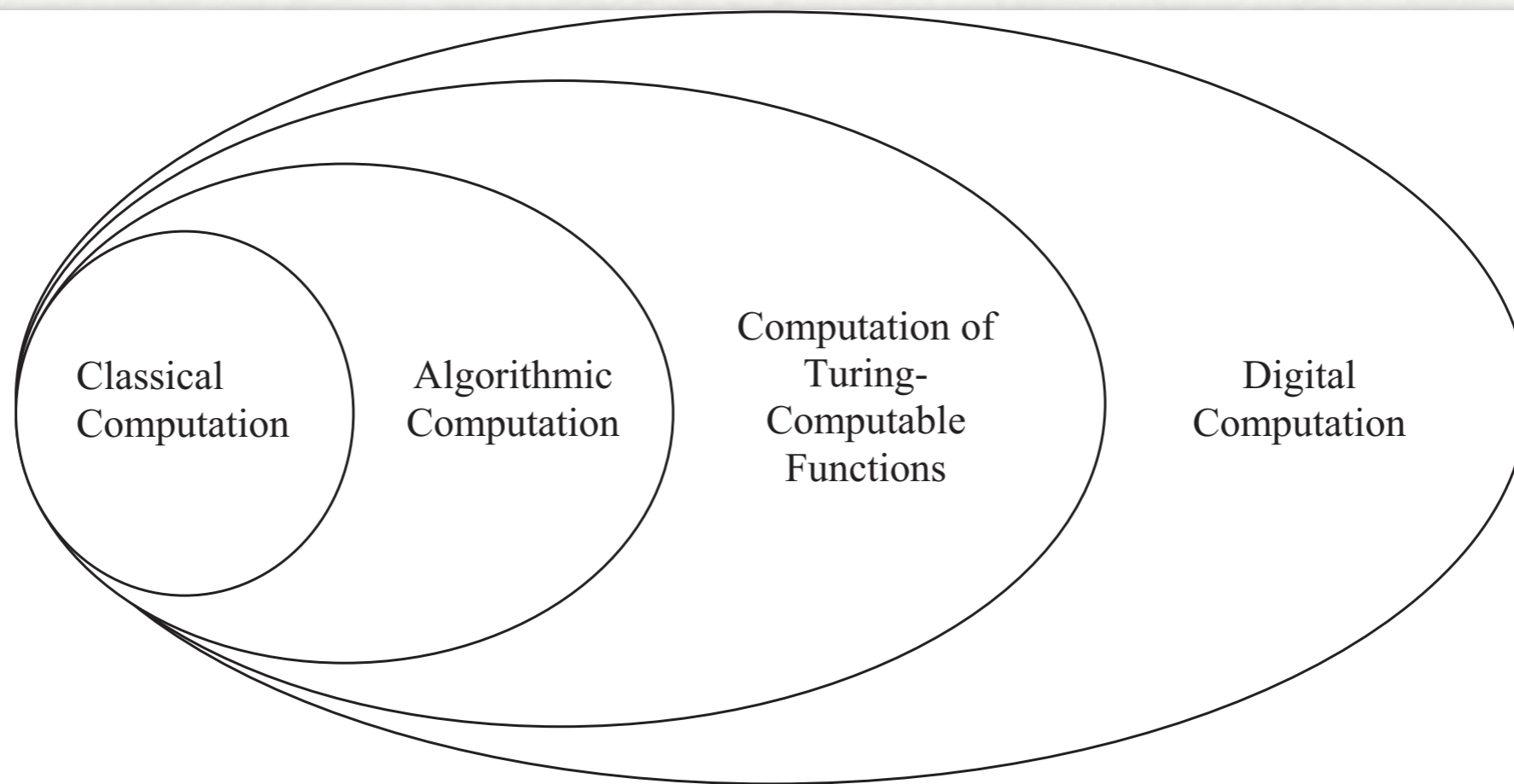
[*Piccinini and Bahar, 2013*] TO ENSURE RELIABLE MANIPULATION OF DIGITS BASED ON THEIR TYPE, A PHYSICAL SYSTEM MUST MANIPULATE AT MOST A FINITE NUMBER OF DIGIT TYPES.

DIGITS CAN BE CONCATENATED (I.E., ORDERED) TO FORM SEQUENCES OR STRINGS, WHICH SERVE AS THE VEHICLES OF DIGITAL COMPUTATIONS. A DIGITAL COMPUTATION CONSISTS IN THE PROCESSING OF STRINGS OF DIGITS IN ACCORDANCE WITH A RULE, WHICH IS SIMPLY A MAP FROM INPUT STRINGS, PLUS POSSIBLY INTERNAL STATES, TO OUTPUT STRINGS.

DIGITAL COMPUTATIONS CAN BE IMPLEMENTED BY ANY PHYSICAL MEDIUM WITH THE RIGHT DEGREES OF FREEDOM.

# ЦИФРОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

[*Piccinini and Bahar, 2013*]





# ЦИФРОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

*[Piccinini and Bahar, 2013]* NEURAL NETWORKS THAT ARE CHARACTERIZED IN TERMS OF THE PROCESSING OF STRINGS OF DISCRETE INPUTS AND OUTPUTS ARE DIGITAL AT EVERY PROCESSING STEP.

OTHER NEURAL NETWORKS ARE DIGITAL IN THEIR INPUTS AND OUTPUTS BUT NOT IN THEIR INTERNAL DYNAMICS.

# ЦИФРОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

[*Piccinini and Bahar, 2013*] FOR INSTANCE, SOME HOPFIELD NETS (HOPFIELD, 1982) AND PARALLEL DISTRIBUTED PROCESSING NETWORKS (RUMELHART & MCCLELLAND, 1986), AMONG OTHERS, ARE DEFINED MATHEMATICALLY SO THAT THE ACTIVATION PATTERNS OF THEIR INPUT AND OUTPUT LAYERS MAY BE CHARACTERIZED AS STRINGS OF DIGITS, BUT THEIR INTERNAL DYNAMICS ARE IRREDUCIBLY CONTINUOUS AND HENCE MAY ONLY BE CHARACTERIZED IN TERMS OF SYSTEMS OF DIFFERENTIAL EQUATIONS DEFINED OVER CONTINUOUS VARIABLES.

# АНАЛОГОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

*[Piccinini and Bahar, 2013]* ABSTRACT ANALOG COMPUTERS ARE SYSTEMS WHOSE FUNCTION IS TO MANIPULATE CONTINUOUS VARIABLES – VARIABLES THAT CAN VARY CONTINUOUSLY OVER TIME AND TAKE ANY REAL VALUES WITHIN CERTAIN INTERVALS – SPECIFIED BY DIFFERENTIAL EQUATIONS, SO AS TO INSTANTIATE APPROPRIATE FUNCTIONAL RELATIONSHIPS BETWEEN THE VARIABLES.



# АНАЛОГОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

*[Piccinini and Bahar, 2013]* NEVERTHELESS, LIKE DIGITAL COMPUTERS, ANALOG COMPUTERS OPERATE ON MEDIUM-INDEPENDENT VEHICLES.

# НЕЙРОННЫЕ (NEURAL) ВЫЧИСЛЕНИЯ

*[Piccinini and Bahar, 2013]* THE VEHICLES MANIPULATED BY NEURAL PROCESSES INCLUDE VOLTAGE CHANGES IN THE DENDRITES, NEURONAL SPIKES (ACTION POTENTIALS), NEUROTRANSMITTERS, AND HORMONES. THE FUNCTIONALLY RELEVANT ASPECTS OF NEURAL PROCESSES DEPEND ON DYNAMICAL ASPECTS OF THE VEHICLES—MOST RELEVANTLY, SPIKE RATES AND SPIKE TIMING.

# НЕЙРОННЫЕ (NEURAL) ВЫЧИСЛЕНИЯ

[*Piccinini and Bahar, 2013*] WHILE IT HAS BEEN SUGGESTED THAT INFORMATION IS PRIMARILY ENCODED IN SPIKE RATES, MUCH RECENT EVIDENCE SUGGESTS THAT PRECISE SPIKE TIMING CAN ALSO PLAY A ROLE IN INFORMATION TRANSMISSION (TEMPORAL CODING).

THUS, SPIKE TRAINS—SEQUENCES OF SPIKES SUCH AS THOSE PRODUCED BY NEURONS IN REAL TIME—APPEAR TO BE MEDIUM-INDEPENDENT VEHICLES, THEREBY QUALIFYING AS PROPER VEHICLES FOR GENERIC COMPUTATION.



# НЕЙРОННЫЕ (NEURAL) ВЫЧИСЛЕНИЯ

*[Piccinini and Bahar, 2013]* NEURONAL INPUTS—THAT IS, NEUROTRANSMITTERS AND HORMONES—ARE MOST USEFULLY MODELED AS CONTINUOUS VARIABLES; IN ADDITION, THEIR RELEASE AND UPTAKE IS MODULATED BY CHEMICAL RECEPTORS THAT OPERATE CONTINUOUSLY IN REAL TIME. ALSO, DENDRITES AND SOME AXONS TRANSMIT GRADED POTENTIALS—THAT IS, MORE OR LESS CONTINUOUSLY VARYING VOLTAGE CHANGES.

# НЕЙРОННЫЕ (NEURAL) ВЫЧИСЛЕНИЯ

*[Piccinini and Bahar, 2013]* SPIKES ARE THE MOST FUNCTIONALLY SIGNIFICANT SIGNALS TRANSMITTED BY NEURONS, AND WHAT IS FUNCTIONALLY SIGNIFICANT IS NOT THE ABSOLUTE VALUE OF THE VOLTAGE OR THE EXACT SHAPE OF THE VOLTAGE CURVE BUT SIMPLY WHETHER A SPIKE IS PRESENT OR ABSENT.

# О КОГНИТИВНОЙ НАУКЕ

[*Piccinini and Bahar, 2013*] ACCORDING TO A TRADITIONAL VIEW, PSYCHOLOGICAL THEORIES ARE NOT DIRECTLY CONSTRAINED BY NEURAL STRUCTURES; PSYCHOLOGY OFFERS FUNCTIONAL ANALYSES, NOT MECHANISTIC EXPLANATIONS LIKE NEUROSCIENCE. COMPUTATIONAL THEORIES IN PSYCHOLOGY ARE OFTEN OUR CURRENT BEST WAY OF CAPTURING AND EXPLAINING PSYCHOLOGICAL PHENOMENA.



# О КОГНИТИВНОЙ НАУКЕ

*[Piccinini and Bahar, 2013]* WHAT NEEDS TO BE DONE, INSTEAD, IS TO TAKE PSYCHOLOGICAL CONSTRUCTS THAT RELY ON DIGITAL COMPUTATION AND GRADUALLY REINTERPRET OR REPLACE THEM WITH THEORETICAL CONSTRUCTS THAT CAN BE REALIZED BY KNOWN NEURAL PROCESSES, SUCH AS THE SPIKE TRAINS OF NEURONAL ENSEMBLES. THE SHIFT THAT PSYCHOLOGY IS CURRENTLY UNDERGOING, FROM CLASSICAL COGNITIVE PSYCHOLOGY TO COGNITIVE NEUROSCIENCE, GOES IN THIS DIRECTION.

# НЕЙРОННЫЕ (NEURAL) ВЫЧИСЛЕНИЯ

[*Piccinini and Bahar, 2013*] WHILE THE FIRING THRESHOLD IS SUBJECT TO MODULATION BY CONTINUOUS VARIABLES (E.G., ION CONCENTRATIONS), GRADED POTENTIALS VARY CONTINUOUSLY, AND SPIKE TIMING (IN REAL TIME) MAY BE FUNCTIONALLY SIGNIFICANT, NONE OF THESE ASPECTS OF NEURAL SIGNALS ARE SIMILAR ENOUGH TO THE PROCESSES USED BY TRADITIONAL ARTIFICIAL ANALOG COMPUTERS FOR THE MATHEMATICS OF ANALOG COMPUTERS TO BE DIRECTLY APPLIED IN UNDERSTANDING BRAIN PROCESSES.

**NEW MATHEMATICAL THEORY – SPECIFIC TO NEURAL PROCESSES – HAD TO BE INVENTED FOR THIS PURPOSE.**

# О ВЫЧИСЛЕНИЯХ

НУЖНА ТЕОРИЯ *Generic* ВЫЧИСЛЕНИЙ.



# О ВЫЧИСЛЕНИЯХ

ТЮРИНГОВЫ ВЫЧИСЛЕНИЯ В КАКОМ-ТО ОТНОШЕНИИ БОЛЕЕ УНИВЕРСАЛЬНЫ, ЧЕМ СПЕЦИФИЦИРОВАННЫЕ (АНАЛОГОВЫЕ) МОДЕЛИ, НО И БОЛЕЕ РЕСУРСОЁМКИ В СПЕЦИФИЧЕСКИХ СЛУЧАЯХ, ЧТО, ВИДИМО, ЯВЛЯЕТСЯ ПЛАТОЙ ЗА УНИВЕРСАЛЬНОСТЬ.

# РОЖДЕНИЕ КОГНИТИВНОЙ НАУКИ

- Полемика Н. Хомского и Б.Ф. Скиннера в конце 1950-х:
- (Нео)бихевиоризм с опорой на запоминание стимула и закрепление реакции не способен объяснить, каким образом человек способен понять  $10^{20}$  осмысленных предложений языка.
- Введение «правил» вместо ассоциаций.
- Врождённая генеративной грамматики. Назад к Декарту.

# ПРЕИМУЩЕСТВА КОМПЬЮТЕРНОЙ МЕТАФОРЫ

- Управление сложными процессами не должно подчиняться закону сохранения энергии (в отличие от динамических систем)
- Простое и ясное представление сложных процессов
- Математическое и компьютерное моделирование



# КОМПЬЮТАЦИОНАЛИЗМ

- В 1976 г. Ньюэлл и Саймон выдвинули гипотезу «физической символической системы» как машины, которая развивает во времени некий набор символических структур. «Такая машина (будь то человек или цифровой компьютер) имеет необходимые и достаточные условия для общей разумной деятельности» [Newell Simon 1976, 116].

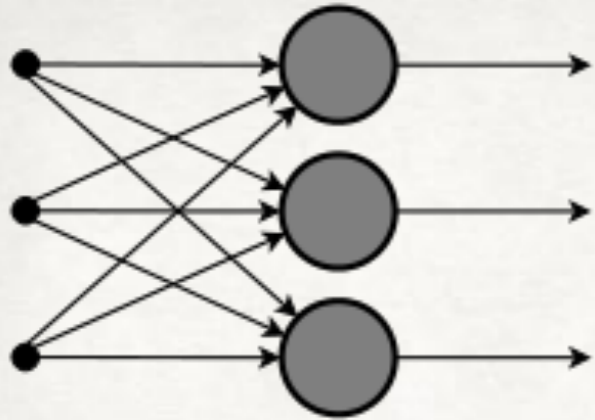
# КОМПЬЮТАЦИОНАЛИЗМ

- Зенон Пилишин писал в 1984 г.: «Люди способны... действовать на основе репрезентаций, потому что они физически формируют такие репрезентации как когнитивные коды, и потому что их поведение является каузальным следствием операций, произведённых на основе этих кодов. Поскольку это именно то, что делают компьютеры, отсюда следует, что познание является разновидностью вычисления» [Pylyshyn 1984, xiii].

# СЕТЕВОЙ ПОДХОД

- В 1958 г. Фрэнк Розенблатт создал машину под названием «Перцептрон». Эта машина своей архитектурой имитировала человеческий мозг.
- Марвин Минский и Сеймур Пейперт в 1969 г. доказали ограниченность этого устройства.
- И только в 1980-е годы, с прогрессом технологий, начался ренессанс искусственных нейронных сетей, что было связано с задачами обороны, а также с ростом интереса к экспертным системам.





# КОННЕКЦИОНИЗМ

- В середине 1980-х гг. появляется **коннекционизм** как направление в когнитивной науке, альтернативное символизму и компьютеризации.
- Параллельные распределенные вычисления (PDP) [Rumelhart et al. 1984].
- Коннекционизм – это рабочая рамка для изучения когнитивных явлений с использованием архитектуры простых процессоров, соединенных между собой с помощью взвешенных связей.
- Каждый нейрон получает множество входящих сигналов от других нейронов, интегрируя сигналы путем вычисления взвешенной суммы активации. На полученной величине некоторая пороговая функция определяет уровень исходящей активации нейрона, которая распространяется на последующие нейроны.

# ДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

- Этот подход предполагает описание когнитивной деятельности в терминах «пространства» состояний системы, определяемых переменными, зависимиыми от времени.
- Замена теоретического языка, связанного с вычислениями и репрезентациями, языком, связанным с геометрией и динамическими состояниями.
- В динамических объяснениях возрастает роль математики за счёт роли логики.
- Используется в неопиажеттанских направлениях.
- Smith, Linda B.; Thelen, Esther (2003). "Development as a dynamic system". *Trends in Cognitive Sciences*. 7 (8): 343–348. doi:10.1016/S1364-6613(03)00156-6. PMID 12907229.

# EMBODIED MIND

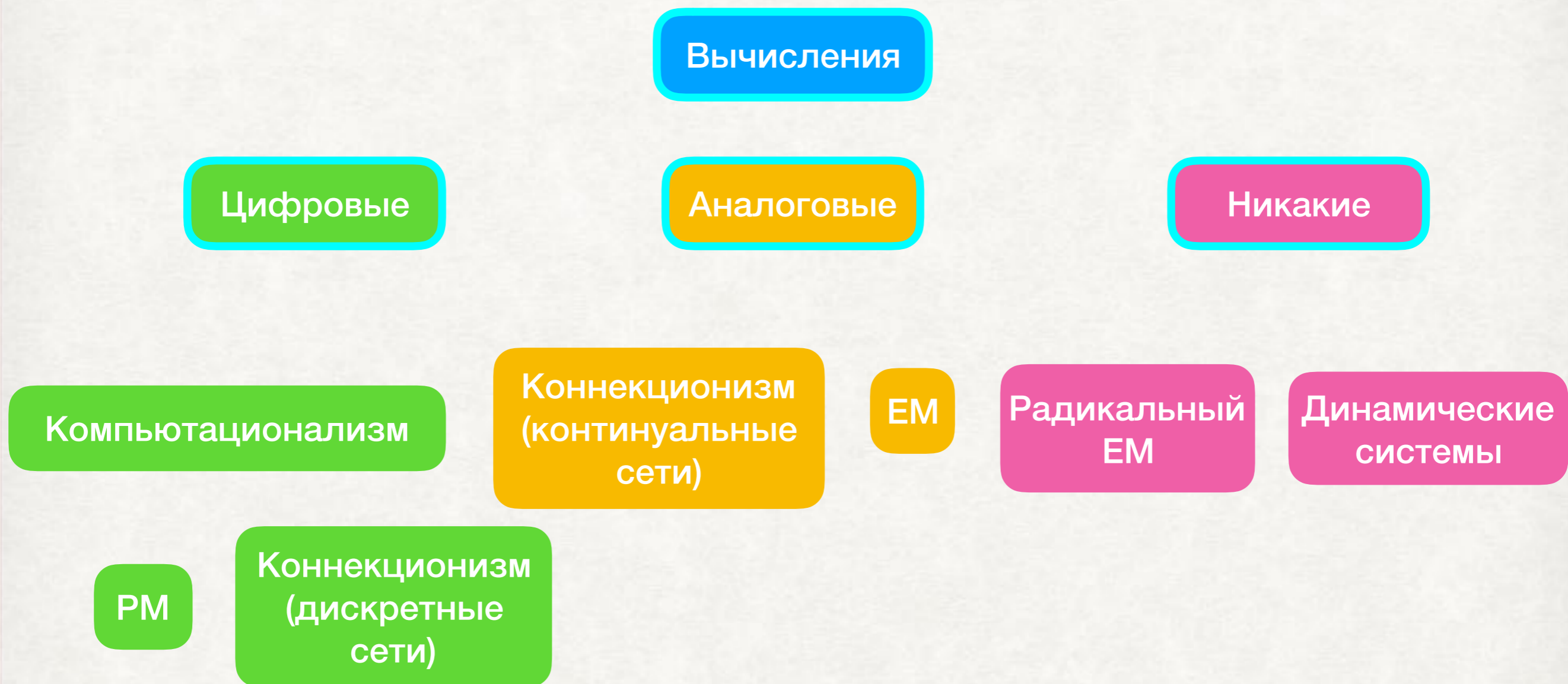
- «Воплощённый» (situated) подход предлагает понимание интеллекта (mind) как отелесненного (embodied), встроенного (embedded) и распределённого (distributed).
- Когнитивные процессы протекают не в мозге, а между мозгом, остальным телом и средой.
- Классцистские подходы в ИИ пытаются создать искусственного эксперта или искусственного физика, тогда как начинать следовало бы с уровня «интеллигентности» насекомых, с тем чтобы на основе этих работающих моделей перейти к воссозданию языка и абстрактного мышления.
- Научиться завязывать шнурки машине труднее, чем научиться решать математические задачи или играть в шахматы, а ведь эволюции понадобились миллиарды лет для появления чувствительности и мобильности и только миллионы лет для выработки собственно человеческих способностей.
- Francisco J. Varela, Evan T. Thompson, Eleanor Rosch. The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience. MIT Press, 1993.



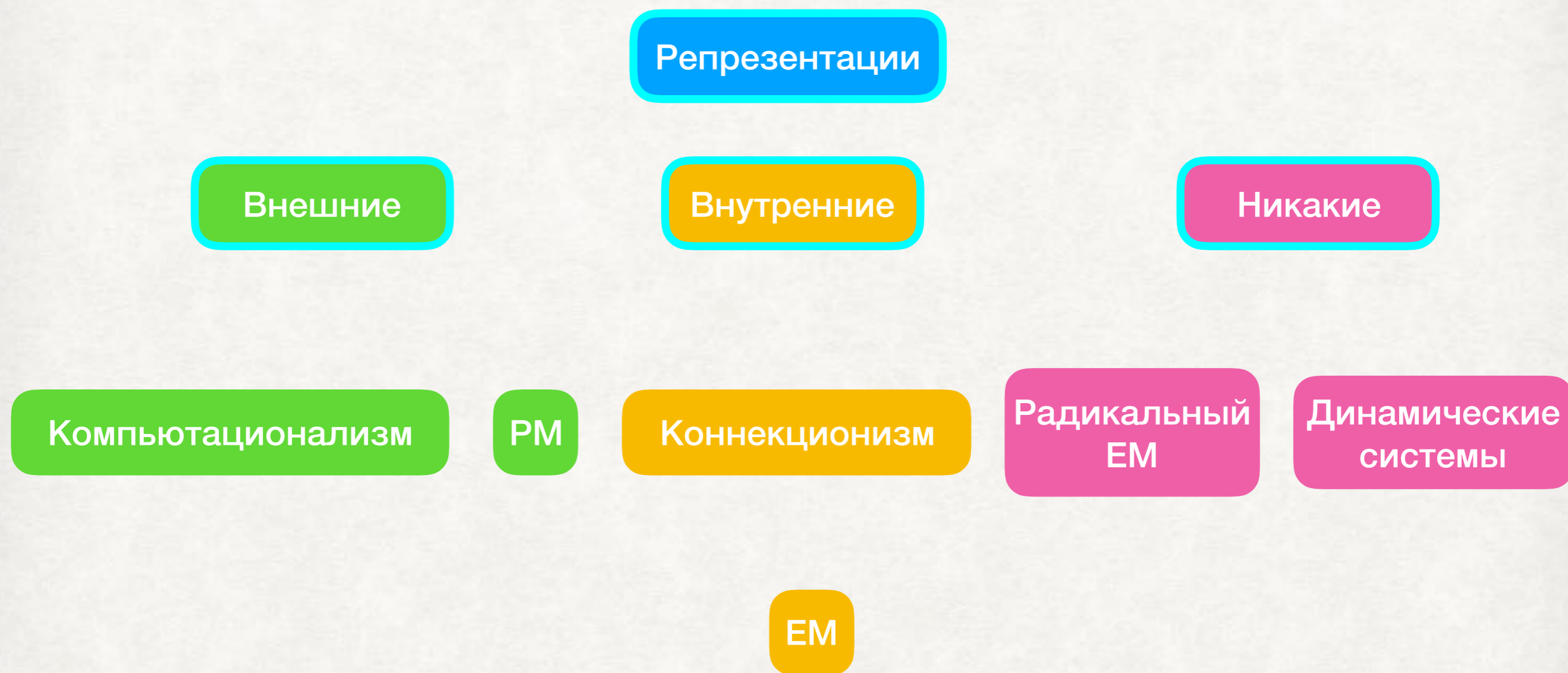
# PREDICTIVE MIND

- сознание постоянно производит модели реальности, которые корректируются входящими данными
- в качестве математического аппарата используется байесовская статистика
- Jakob Hohwy. The Predictive Mind. Oxford, 2013

# ВЫЧИСЛЕНИЯ В КОГНИТИВИСТСКИХ ПАРАДИГМАХ



# РЕПРЕЗЕНТАЦИИ В КОГНИТИВИСТСКИХ ПАРАДИГМАХ





# АРГУМЕНТЫ ПРОТИВ ВНЕШНИХ РЕПРЕЗЕНТАЦИЙ

- **Пансемантизм**: в основе наших языковых способностей лежит «язык мысли» (Фодор).
- **Двусмысленность**: что является репрезентацией – состояние когнитивного аппарата или психическое (феноменальное) состояние?
- **Парадокс гомункула**: чтобы распознать внешнее содержание в символе, необходимо сознание. Но именно его мы пытаемся объяснить с помощью этой схемы!

# АРГУМЕНТЫ ПРОТИВ ВНЕШНИХ РЕПРЕЗЕНТАЦИЙ

Если мы отказываемся от внешних репрезентаций, то

Компьютационализм

Символизм

Механицизм

остаёмся с  
внутренними  
репрезентациями

ТОЛЬКО  
цифровой  
компьютер

обширный  
класс  
систем

переходим к  
антирепрезентационализму

Антикомпьютационализм

малая объяснительная сила

# ИТАК, ПОБЕДИТЕЛЬ...

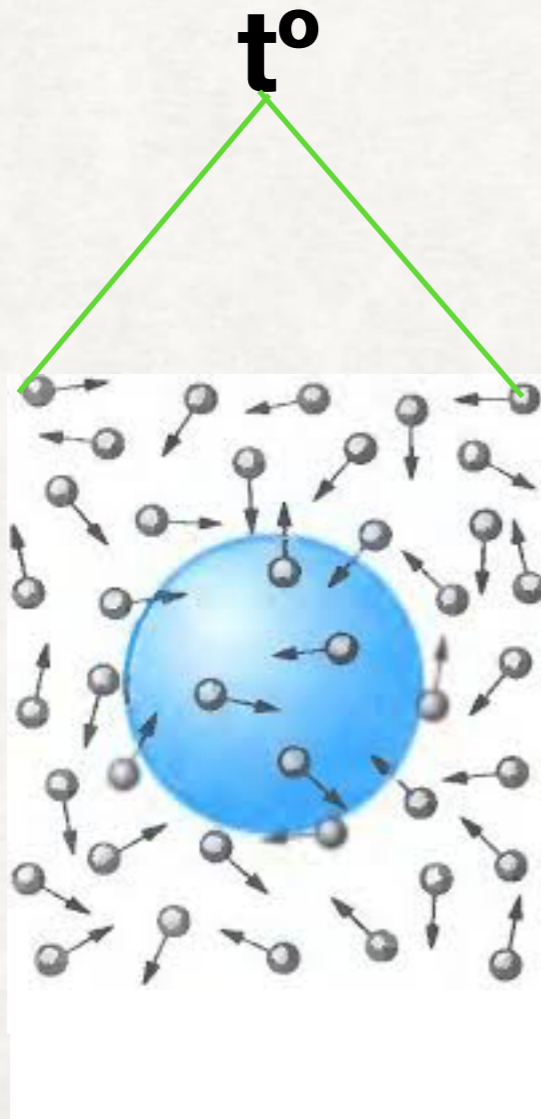
- Механицистский (слабый) вариант компьютеризации, признающий только внутренние репрезентации

Механическая система	Внутренние репрезентации
<ul style="list-style-type: none"><li>• выполняет задачу</li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• состоит из компонентов</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• компоненты системы представляют другие компоненты</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• компоненты функционально различны и причинно взаимосвязаны</li></ul>	



# ПРИРОДА ВНУТРЕННИХ РЕПРЕЗЕНТАЦИЙ

Coarse-graining = укрупнение (?)



# ТЕЛЕОЛОГИЯ 'COARSE-GRAINING'

- снижение термодинамической «стоимости» вычислений
- надстраивание и интеграция верхнего уровня (эмерджентность)
- нисходящая причинность (downward causation)

# О КОГНИТИВНОЙ НАУКЕ

КОГНИТИВНАЯ ТЕОРИЯ, ОСНОВАННАЯ НА ТЬЮРИНГОВОЙ  
МОДЕЛИ ВЫЧИСЛЕНИЙ ОСНОВАНА НА НЕ СОВСЕМ  
ОПРАВДААННОЙ АНАЛОГИИ И ВЕДЁТ К ПАРАДОКСАМ ТИПА  
ПАРАДОКСА ГОМУНКУЛА.



# О КОГНИТИВНОЙ НАУКЕ

КОМПЬЮТЕРНОЙ МЕТАФОРЕ В ОТНОШЕНИИ ЧЕЛОВЕКА  
ПРЕДШЕСТВОВАЛИ АНТРОПОМОРФНЫЕ МЕТАФОРЫ В  
ОТНОШЕНИИ КОМПЬЮТЕРА.

# О КОГНИТИВНОЙ НАУКЕ

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ТЕОРИИ ИСПОЛЬЗУЮТ ДРУГИЕ МОДЕЛИ  
ВЫЧИСЛЕНИЙ: ПАРАЛЛЕЛЬНУЮ ЦИФРОВУЮ,  
ПАРАЛЛЕЛЬНУЮ АНАЛОГОВУЮ, СТАТИСТИЧЕСКИЕ И ДР.

# СНОВА О ВЫЧИСЛЕНИЯХ

*Вычислительные системы* — ТАКИЕ ПРИРОДНЫЕ ИЛИ ИСКУССТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ, КОТОРЫЕ ИСПОЛЬЗУЮТ ЕСТЕСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ НА НИЖНИХ УРОВНЯХ В КАЧЕСТВЕ АТОМАРНЫХ ОПЕРАЦИЙ ДЛЯ АЛГОРИТМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ВЫСШИХ УРОВНЯХ.



# СНОВА О ВЫЧИСЛЕНИЯХ

*Компьютер* – МНОГОУРОВНЕВЫЙ МЕХАНИЗМ, ГДЕ НА НИЖНИХ УРОВНЯХ *процессор* ВЫЧИСЛЯЕТ, В КАКИЕ ЯЧЕЙКИ ПАМЯТИ ЗАПИСАТЬ *информацию*, А НА ВЕРХНИХ ПРОИСХОДИТ *репрезентация* ТЕКСТА И ИЗОБРАЖЕНИЙ. НО ПОСЛЕДНИЕ АДРЕСУЮТСЯ *когнитивной системе* ЧЕЛОВЕКА, КОТОРАЯ ТАКЖЕ ПРЕДСТАВЛЯЕТ СОБОЙ МНОГОУРОВНЕВЫЙ МЕХАНИЗМ, В КОТОРОМ ЯЗЫКОВОЙ И ВИЗУАЛЬНЫЙ *процессоры* НАДСТРАИВАЮТСЯ НАД МНОГОЧИСЛЕННЫМИ УРОВНЯМИ БОЛЕЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ *операций*, КОТОРЫЕ В КОНЦЕ КОНЦОВ СВОДЯТСЯ К АТОМАРНЫМ – НЕЙРОННЫМ СПАЙКАМ. В ЭТОМ СИМБИОЗЕ ОЧЕВИДНО ЕСТЬ ЛИШНИЕ ЗВЕНЬЯ.

# СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ.

- [ifmikhailov@gmail.com](mailto:ifmikhailov@gmail.com)



«Междисциплинарные  
проблемы когнитивных наук»

# ЛИТЕРАТУРА

- Nir Fresco. [The Explanatory Role of Computation in Cognitive Science](#) // Minds & Machines (2012) 22:353-380 DOI 10.1007/s11023-012-9286-y
- Kempes CP, Wolpert D, Cohen Z, Pérez-Mercader J. (2017) [The thermodynamic efficiency of computations made in cells across the range of life](#). Phil. Trans. R. Soc. A 375: 20160343. <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2016.0343>
- Flack JC. 2017 [Coarse-graining as a downward causation mechanism](#). Phil. Trans. R. Soc. A 375: 20160338. <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2016.0338>
- Robert B. Laughlin. [The Physical Basis of Computability](#) // Computing in Science & Engineering, May/June 2002 – P. 27-30
- Matthew M. Botvinick, Jonathan D. Cohen. [The Computational and Neural Basis of Cognitive Control: Charted Territory and New Frontiers](#) // Cognitive Science 38 (2014) 1249-1285. DOI: 10.1111/Cogs.12126
- Michael Rescorla. [Computational Modeling of the Mind: What Role for Mental Representation?](#) // WIREs Cogn Sci 2015, 6:65-73. Doi: 10.1002/Wcs.1325
- Bruce J. MacLennan. [Natural Computation and non-Turing Models of Computation](#) // Theoretical Computer Science 317 (2004) 115-145
- Ed Blakey. [Computational Complexity in Non-Turing Models of Computation: the What, the Why and the How](#) // Electronic Notes in Theoretical Computer Science 270 (1) (2011) 17-28
- Gualtiero Piccinini, Sonya Bahar. [Neural Computation and the Computational Theory of Cognition](#) // Cognitive Science 34 (2013) 453-488. DOI: 10.1111/Cogs.12012
- Poggio, T. [The Levels of Understanding Framework, Revised](#) // Perception, 2012, Volume 41, Pages 1017-1023. Doi:10.1068/P7299
- Marr D. [Vision : a Computational Investigation Into the Human Representation and Processing of Visual Information](#). Cambridge: MIT Press, 2010. – 429 P.