

Когнитом: разум как физическая и математическая структура

К.В. Анохин

Отдел нейронаук, НИЦ «Курчатовский институт»

Центр нейронаук и когнитивных наук МГУ имени М.В.Ломоносова

Лаборатория нейробиологии памяти, Институт нормальной физиологии имени П.К. Анохина



**MAIN
problem**

Три вопроса о природе перед когнитивной наукой

1. Что такое **мозг**?
2. Что такое **разум** (*mind*)?
3. Как соотносятся мозг и разум - какова природа **‘И’**?

Нас интересует как устроен МИР

1. Эта проблема является одной из самых глубоких и важных нерешенных проблем современной науки.
2. Для ее решения необходима фундаментальная естественнонаучная теория.

Изъятие разума из природы в XVII веке



“At the very beginnings of the Western science in the XVIIth century two figures removed the mind from nature. The first was Galileo and the second was Descartes.”

Alfred North Whitehead
Science and the Modern World (1925)

Изъятие разума из природы в XVII веке: Галилей



Галилео Галилей



По поводу этого чувства [зрения] и всего к нему относящегося я предпочитаю делать вид, что знаю лишь самую малость, а поскольку ... времени оказалось недостаточно, ... то я обойду её молчанием.

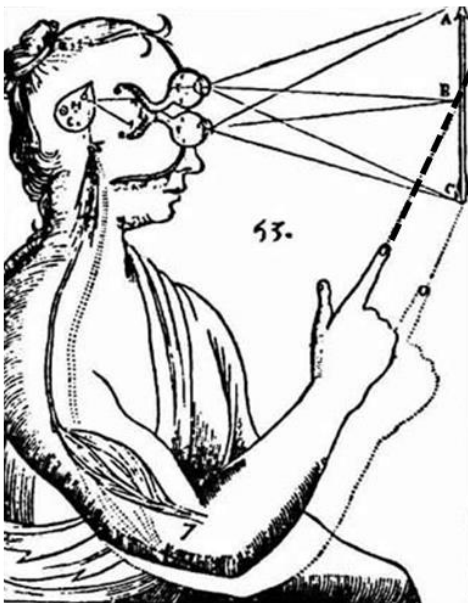
«Пробирных дел мастер» (1623)

Изъятие разума из природы в XVII веке: Декарт

Проблема дуализма: как нематериальный разум взаимодействует с материальным мозгом и приводит тело в движение?

ЖИВОТНЫЕ

Протяженная
материальная
субстанция
(res extensa)



ЧЕЛОВЕК

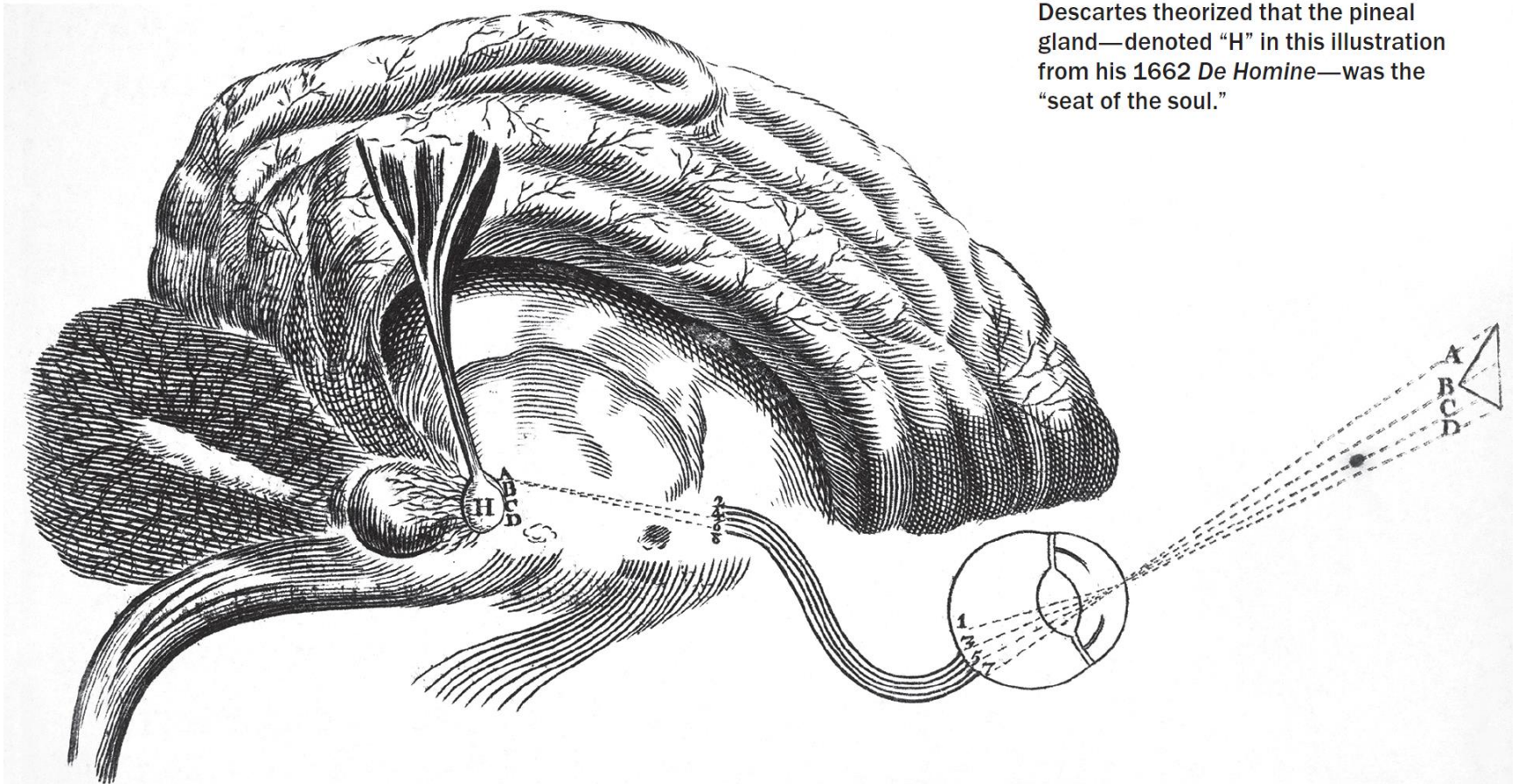
Непротяженная
духовная
субстанция
(res cogitans)

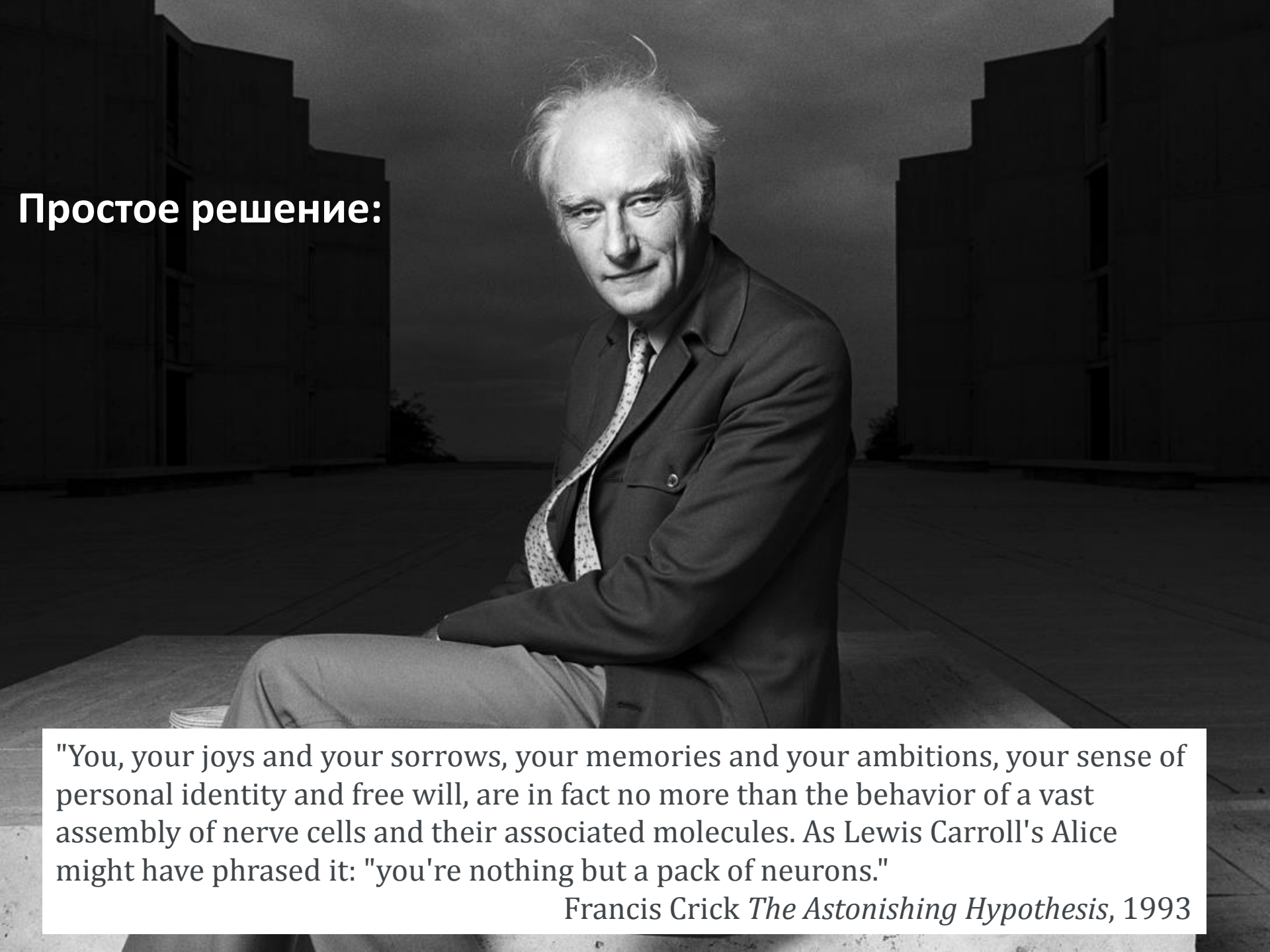
Рене Декарт



Изъятие разума из природы в XVII веке: Декарт

Проблема для дуализма: как нематериальный разум взаимодействует с материальным мозгом и приводит тело в движение?



A black and white photograph of Francis Crick, an older man with white hair, sitting on a concrete ledge. He is wearing a dark jacket over a light-colored shirt and a patterned tie. He is looking towards the camera with a slight smile. The background shows a modern building with large windows and a courtyard area.

Простое решение:

"You, your joys and your sorrows, your memories and your ambitions, your sense of personal identity and free will, are in fact no more than the behavior of a vast assembly of nerve cells and their associated molecules. As Lewis Carroll's Alice might have phrased it: "you're nothing but a pack of neurons."

Francis Crick *The Astonishing Hypothesis*, 1993



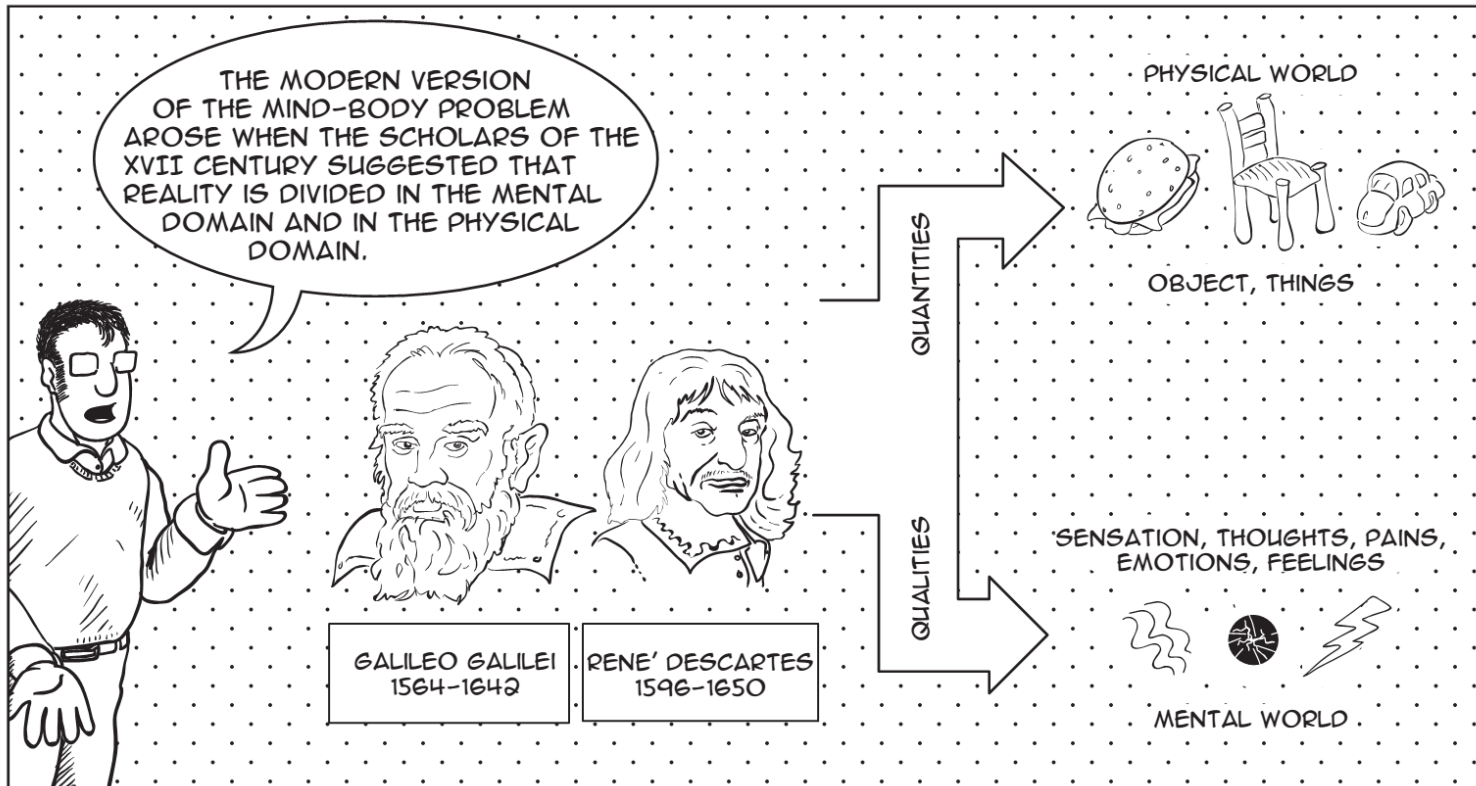
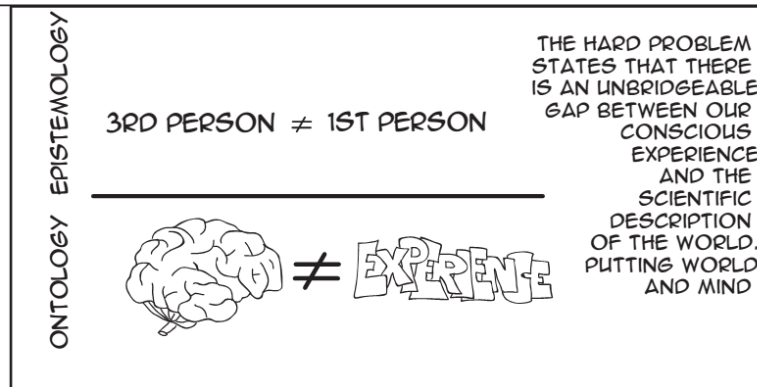
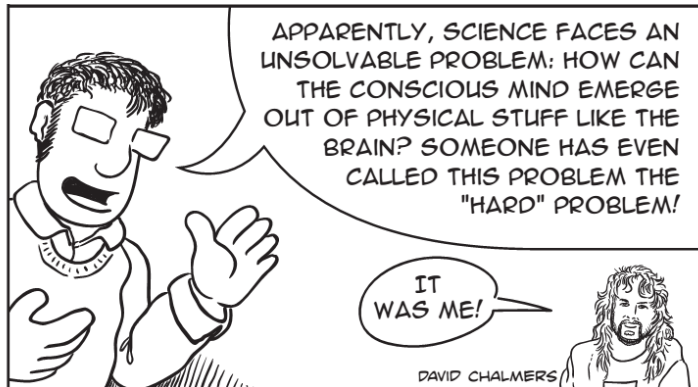
Готфрид Вильгельм Лейбниц

«Мельница Лейбница»

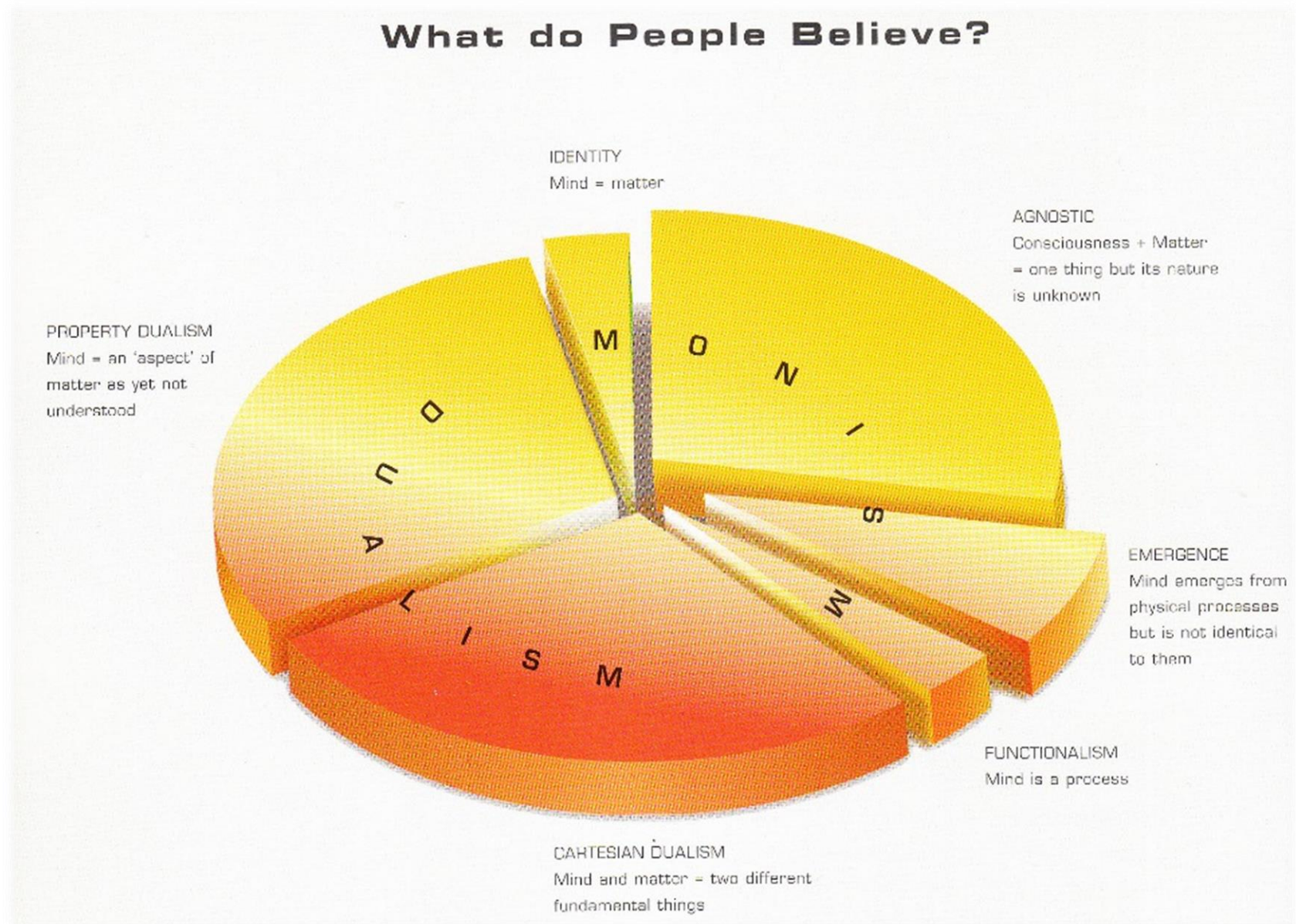
«Если мы вообразим себе машину, устройство которой производит мысль, чувство и восприятие, то можно будет представить ее себе в увеличенном виде с сохранением тех же отношений, так что можно будет входить в нее, как в мельницу. Предположив это, мы при осмотре ее не найдем ничего внутри ее, кроме частей, толкающих одна другую, и никогда не найдем ничего такого, чем можно было бы объяснить восприятие.»

«Монадология», 1714

Изъятие разума из природы: итоговое состояние дел



Изъятие разума из природы: итоговое состояние дел



Изъятие разума из природы: проблема для физики



The old division of the world into objective processes in space and time and the mind in which these processes are mirrored – in other words, the Cartesian difference between *res cogitans* and *res extensa* – is no longer a suitable starting point for our understanding of modern science.

W. Heisenberg

I believe that the present laws of physics are at least incomplete without a translation into terms of mental phenomena.

E.P. Wigner



В. Гейзенберг - Нобелевская премия 1932 г. «за создание квантовой механики»

Ю. Вигнер - Нобелевская премия 1963 г. «за вклад в теорию атомного ядра и элементарных частиц»

Проблема физических основ разума и сознания



«Сознание – величайшая тайна. Это, возможно, наибольшее из громадных препятствий на пути к нашему научному пониманию мира. Физика еще не завершена, но хорошо понята, биология разгадала многие древний тайны, окружавшие природу жизни. Наше понимание в этих областях не лишено пробелов, но оно не выглядит неустранимым. Сознание, однако, остается таким же загадочным, как и раньше. По-прежнему кажется совершенно таинственными то, что продуцирование поведения должно сопровождаться внутренней жизнью.

Эта загадочность делает проблему сознания одним из наиболее волнующих интеллектуальных вызовов нашего времени.

Д.Чалмерс, *Сознающий мозг* (2013)



«Трудная
проблема»
сознания:

Как нервные
процессы в мозге
приводят к
возникновению
субъективного
опыта?

**Две главные проблемы, которые науке предстоит
решить в следующие 25 лет*:**

WHAT DON'T WE KNOW?

In Praise of Hard Questions

Special Section

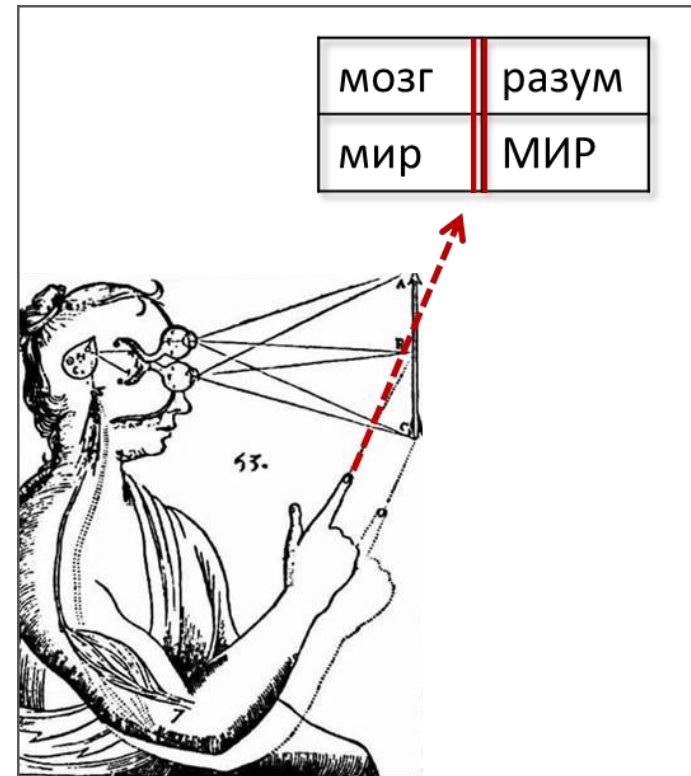
**What Is the
Universe Made Of**

**What Is the Biological
Basis of Consciousness**

* Опрос авторов
журнала *Science*
в связи с его
125-летием
(*Science*, v.309,
2005)

Уроки, которые можно извлечь из данного анализа

1. **Мозг и разум** остаются разделенными в современной картине мире. У нас нет сегодня приемлемой естественнонаучной теории, объединяющей их – **единой теории МИРа**.
2. **МИР** и **мир** также разделены. Нерешенность проблемы органических основ разума не позволяет решить и «проблему наблюдателя» в физике – построить удовлетворительную научную картину неорганического мира.
3. Нам необходимо встроить разум и сознание в естественнонаучную картину мира - **вернуть разум в природу**.



«Как подчеркивал Джозеф Нидэм, западноевропейская мысль всегда испытывала колебания между миром-автоматом и теологией с ее миром, безраздельно подвластным богу. В этой раздвоенности – суть того, что Нидэм называет «характерной европейской шизофренией». В действительности оба взгляда на мир взаимосвязаны. Автомату необходим внешний бог.»

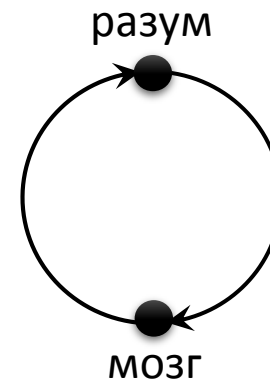
И.Пригожин, И. Стенгерс *«Порядок из хаоса»*, 1986

Программа возвращения разума в природу

Проблема физических основ разума и сознания

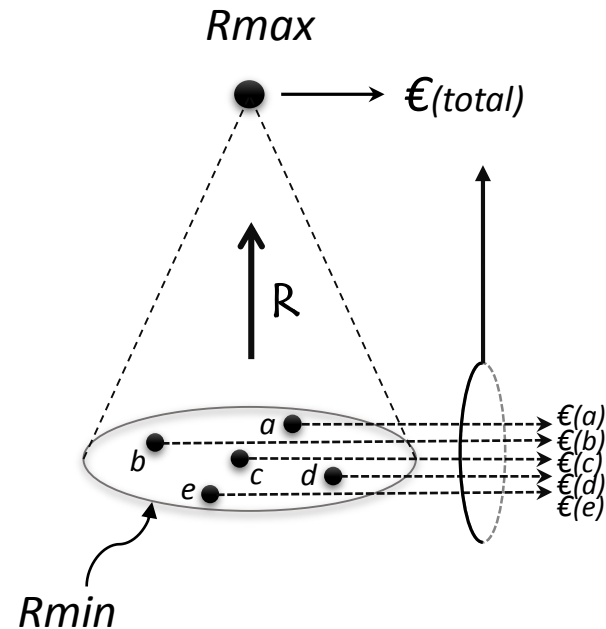
Три необходимых идеи:

- Циркулярная ловушка



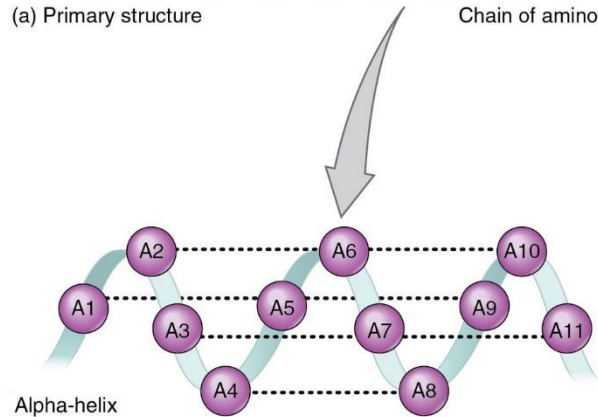
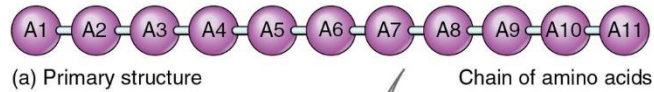
- «Дуалы»

- R_{min} и R_{max}

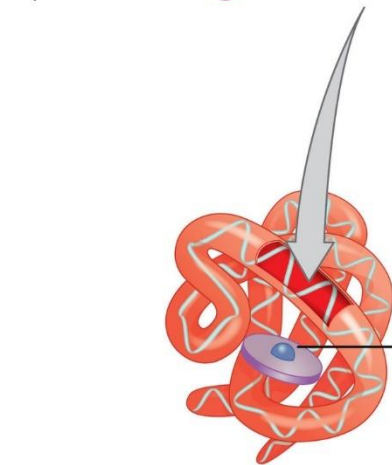


Дуалы – объекты на пограничных уровнях организации материи

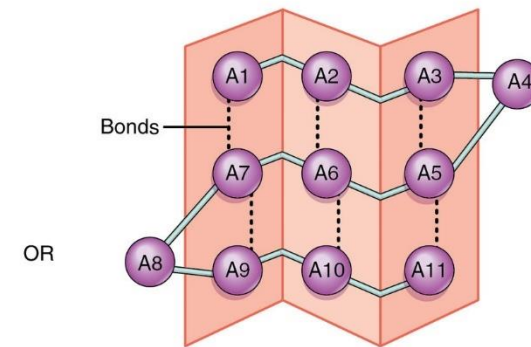
Белок как дуал:



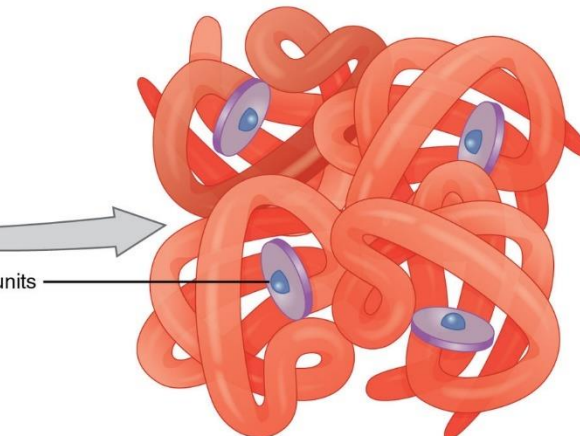
(b) Secondary structure (pleated sheet)



(c) Tertiary structure

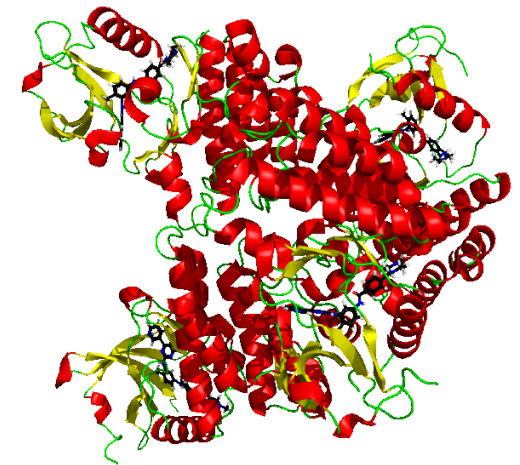
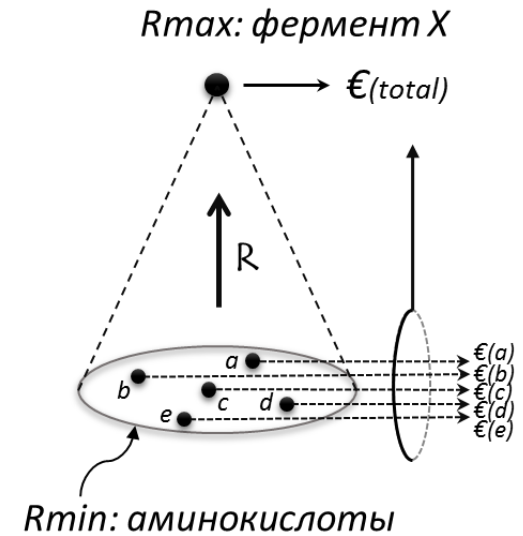


OR



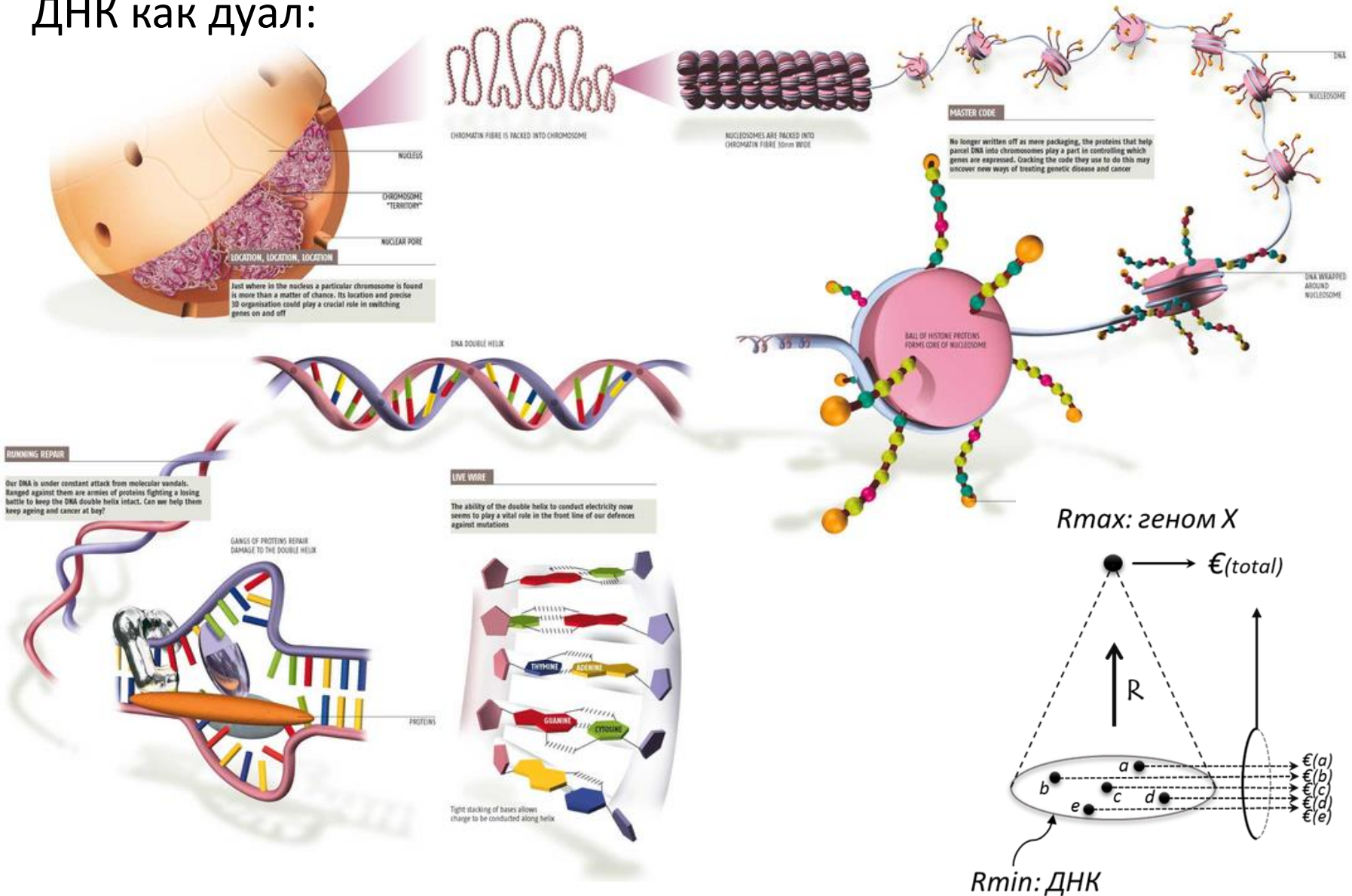
(d) Quaternary structure

Hemoglobin
(globular protein)



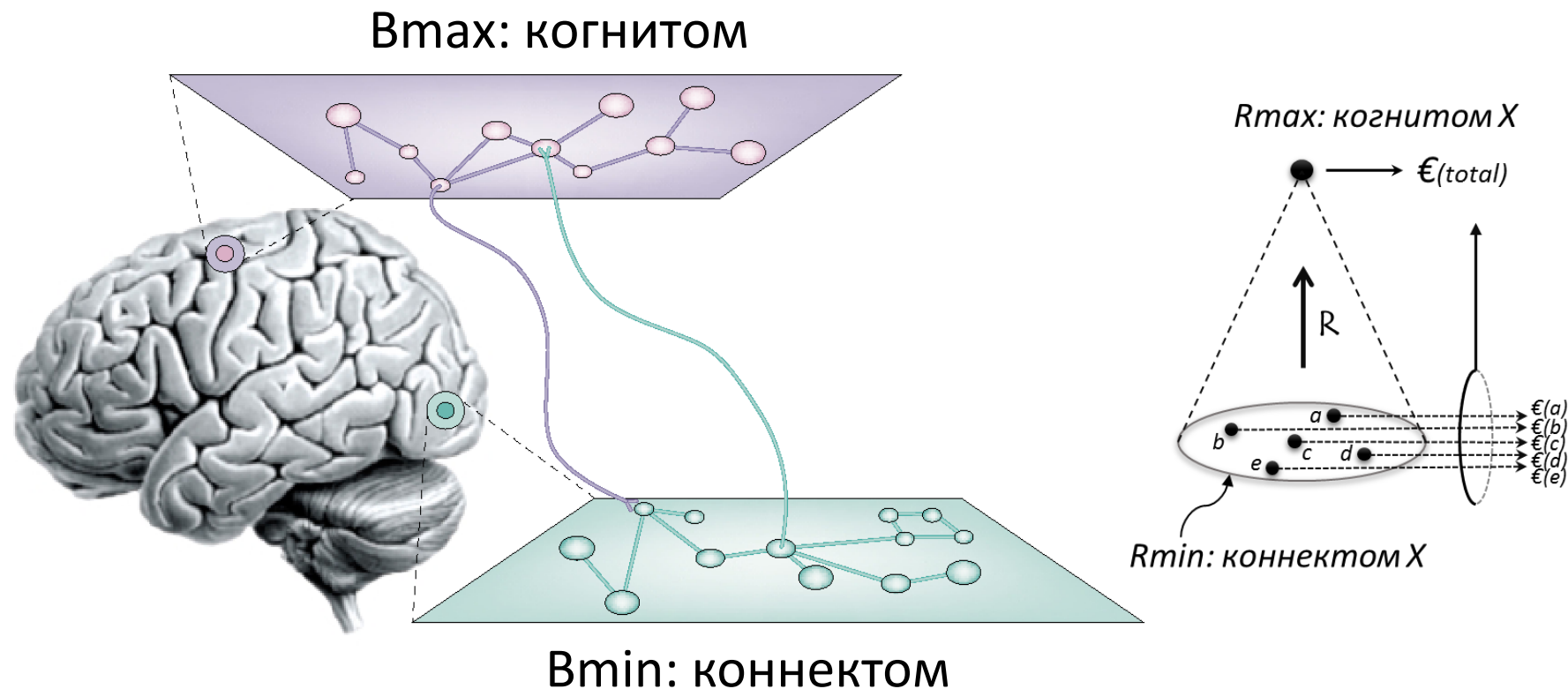
Дуалы – объекты на пограничных уровнях организации материи

ДНК как дуал:



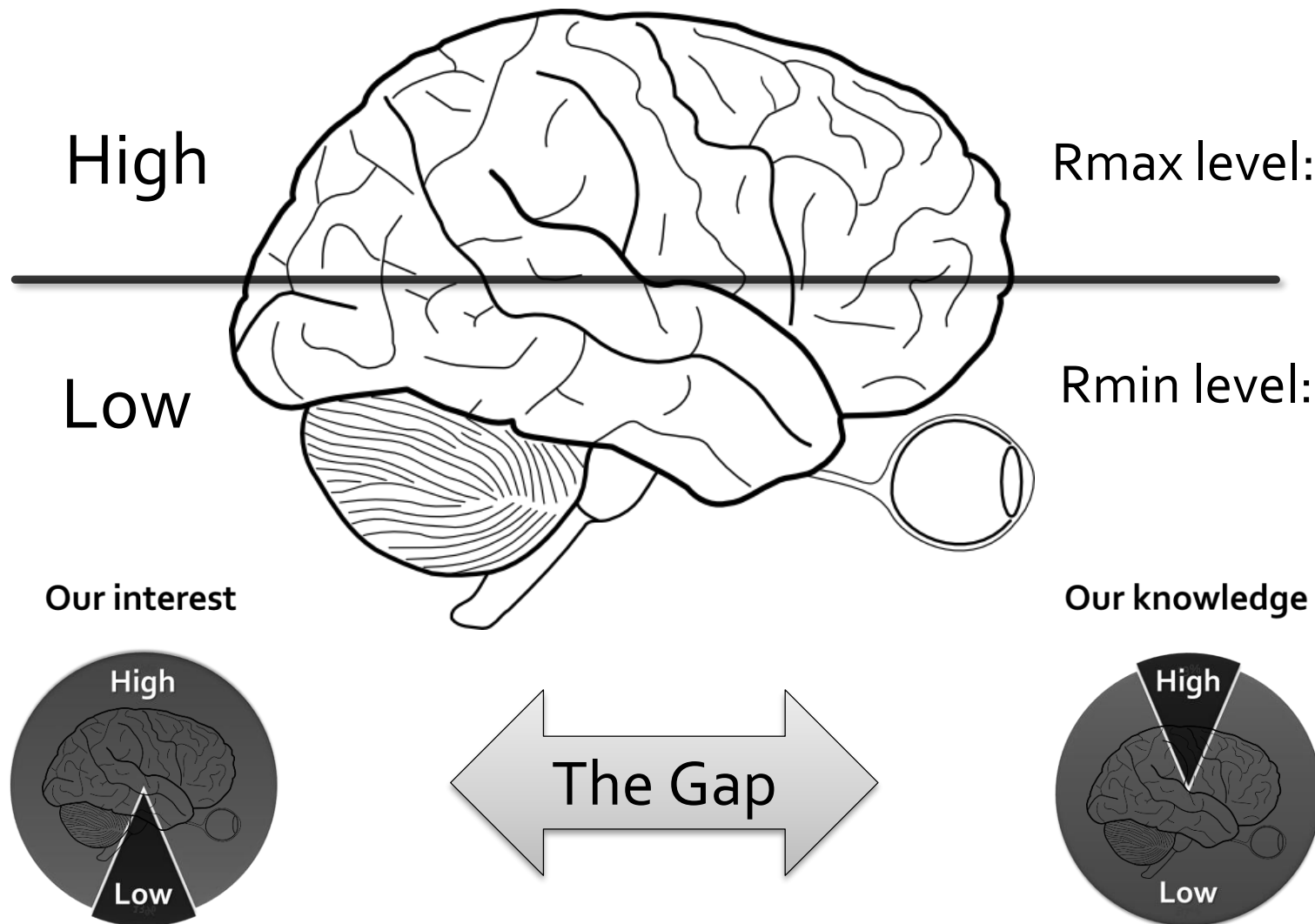
Дуалы – объекты на пограничных уровнях организации материи

Мозг как дуал:



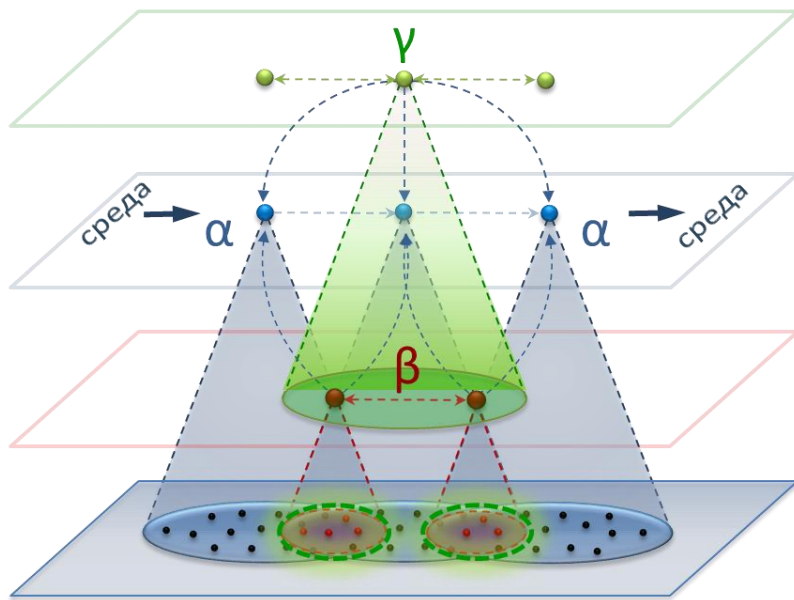
Любой мозг представляет собой *дуал* – органическую структуру, имеющую как физиологический (Vmin), так и психологический (Vmax) уровни организации

Разум - это мозг на R_{max}



Гипересетевая теория мозга: три главных тезиса

№	Принципиальный вопрос	Принципиальный ответ
1	Что такое мозг?	Любой мозг – это сеть
2	Что такое разум?	Любой разум – это сеть
3	Как соотносятся мозг и разум?	Разум – это гиперсеть мозга



- Разум – это СТРУКТУРА;
- Разум – это многослойная макроструктура мозга: сеть нейрональных сетей;
- Мышление и сознание – это особые виды процессов в этой макроструктуре.

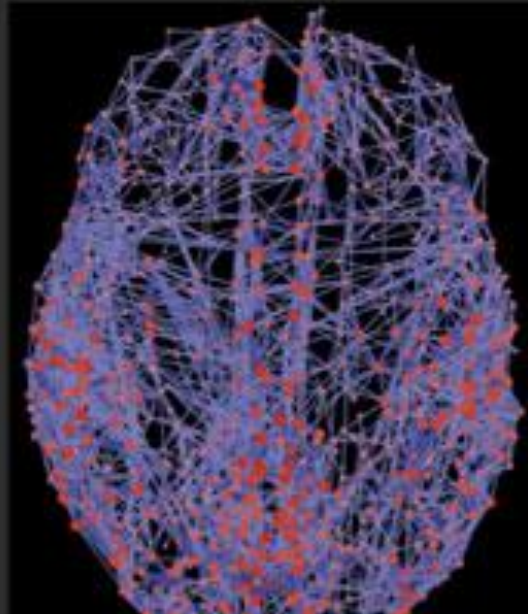
Задачи теории – описание этих структур, их происхождения, функций и процессов в них.

The Human Connectome



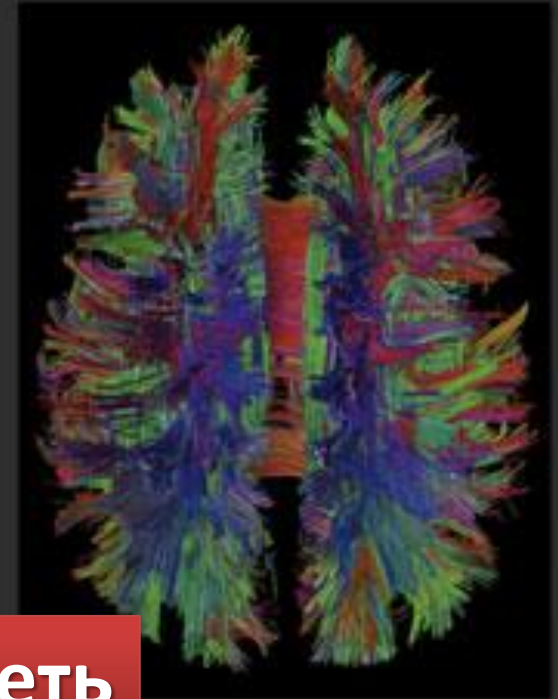
Anatomy

Klingler's method for fiber tract dissection uses freezing of brain matter to spread nerve fibers apart. Afterwards, tissue is carefully scratched away to reveal a relief-like surface in which the desired nerve tracts are naturally surrounded by their anatomical brain areas.



Connectome

Shown are the connections of brain regions together with "hubs" that connect signals among different brain areas and a central "core" or backbone of connections, which relays commands for our thoughts and behaviors.



Neuronal Pathways

A new MRI technique called diffusion spectrum imaging (DSI) analyzes how water molecules move along nerve fibers. DSI can show a brain's major neuron pathways and will help neurologists relate structure to function.

1. Любoй мозг - это сеть

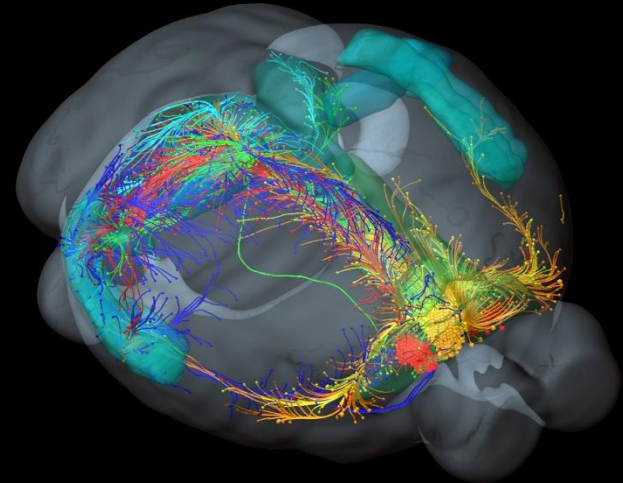
Структурное и функциональное картирование мозга

Человек



Структурное MTR картирование мозга человека

Животные



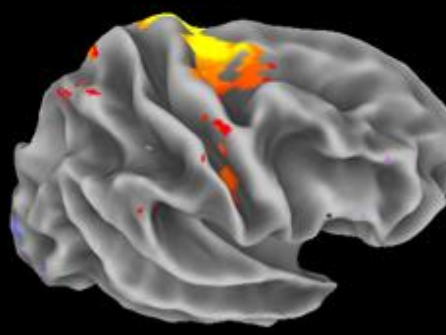
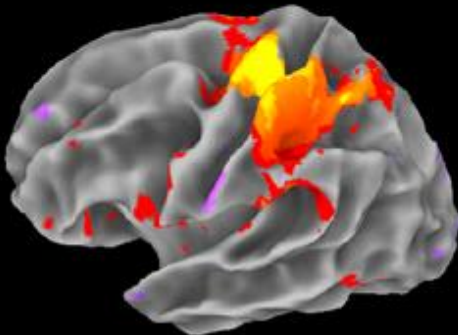
Структурное картирование мозга мыши

Cortical Activity during Hand Movement

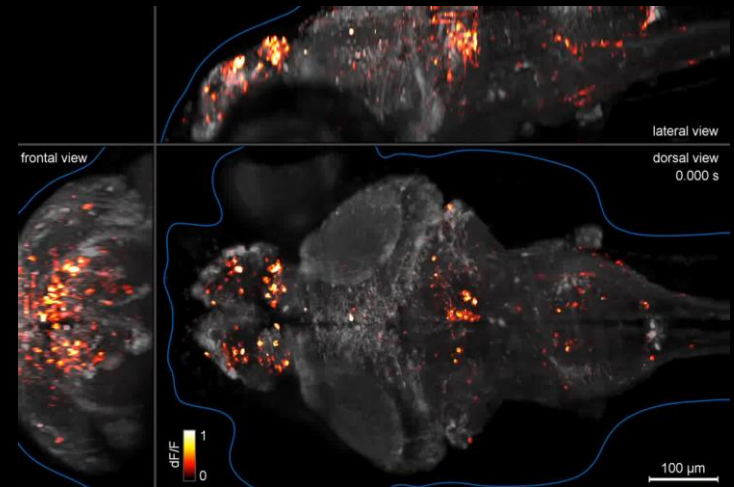
Contralateral Hemisphere

Ipsilateral Hemisphere

Healthy Subjects
(Right Hand)

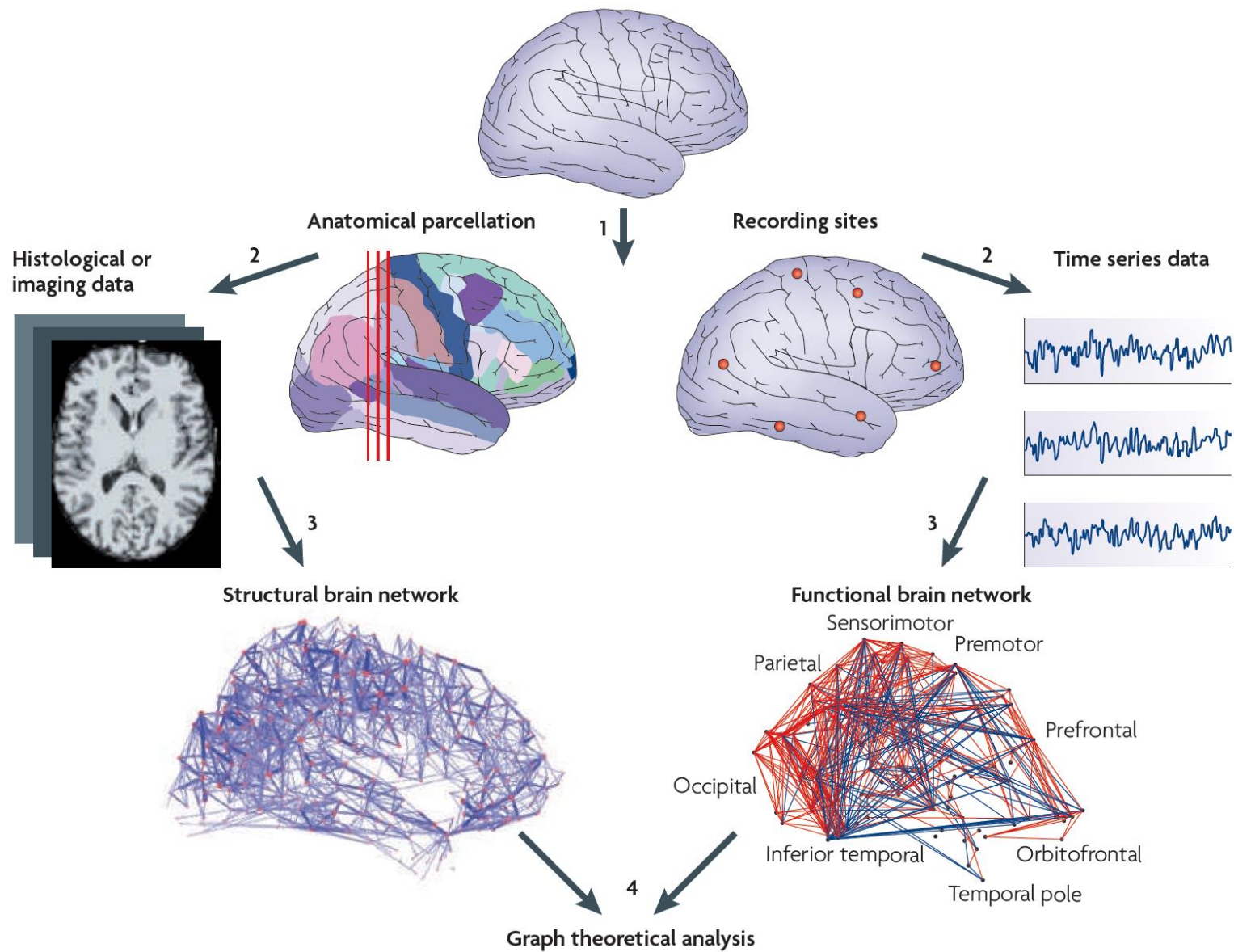


Функциональное MTR картирование мозга человека



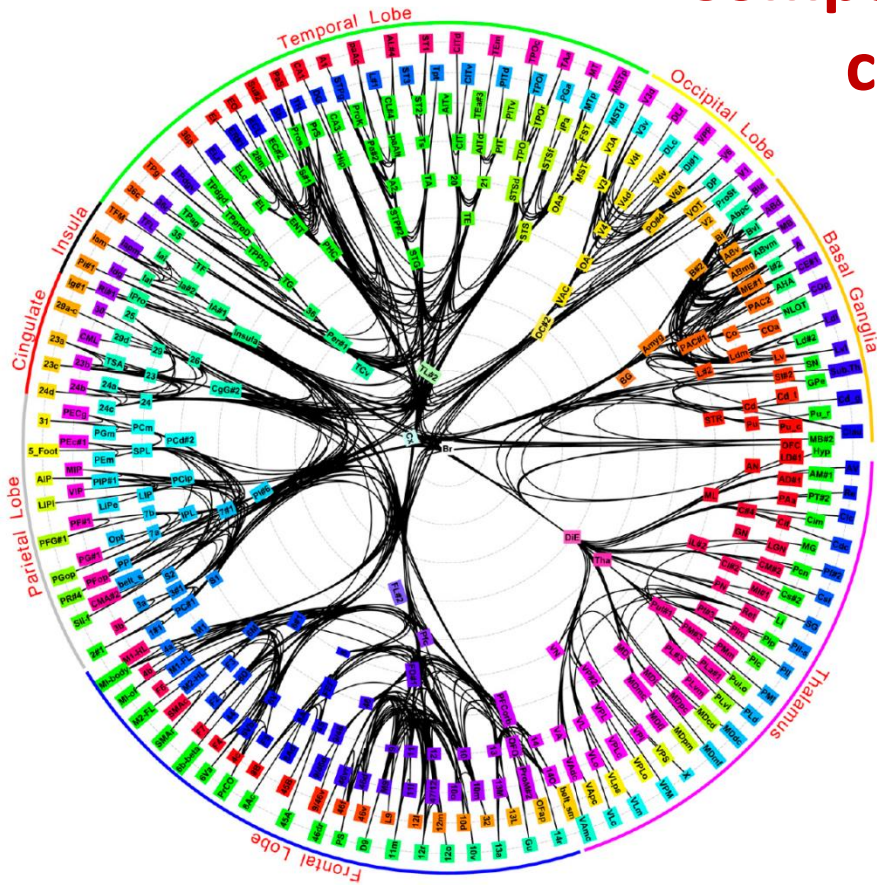
Функциональное картирование мозга D.reio

Подходы к реконструкции макроконнектома человека



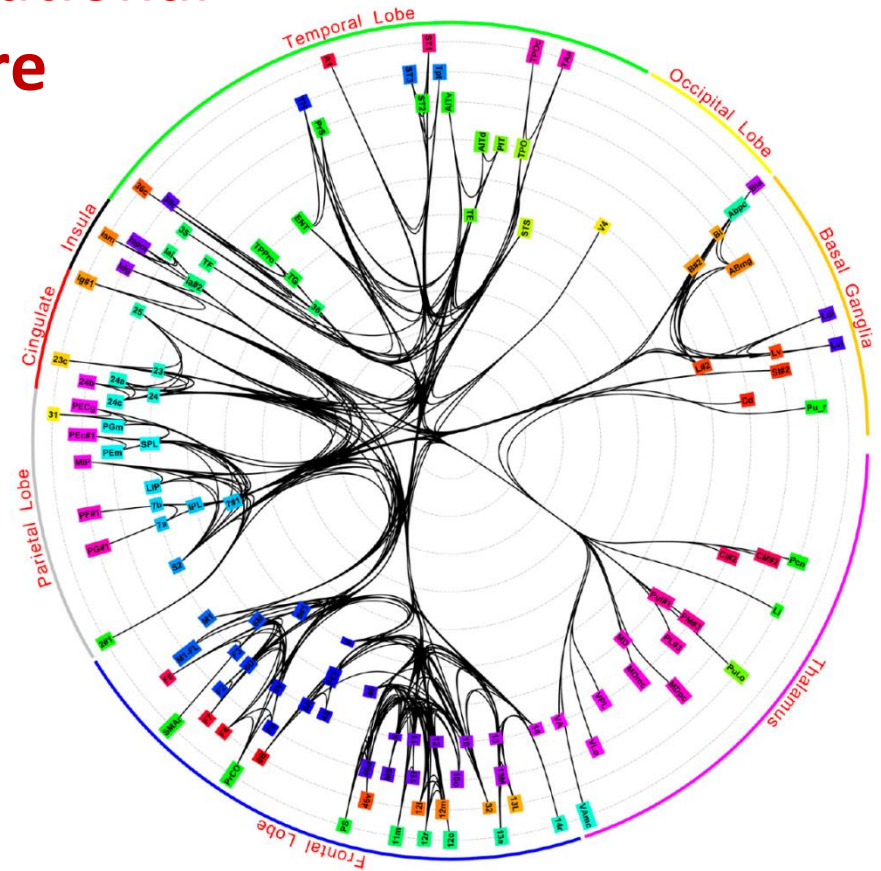
Коннектом и когнитивные вычислительные сети мозга

Computational core



областей: 383
связей: 6,602

диаметр: 6
ср. расстояние: 2.62



областей: 122
связей: 2,872

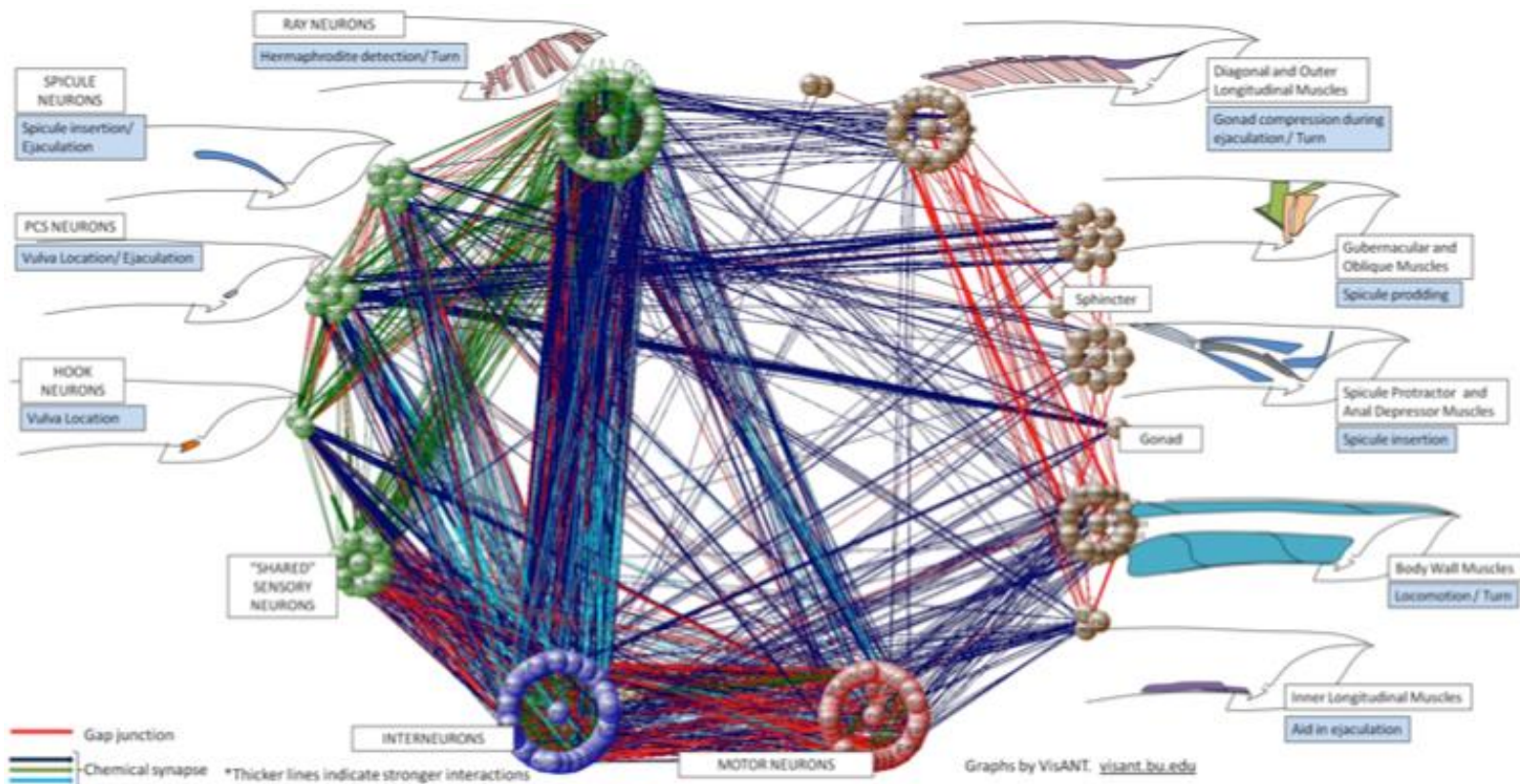
диаметр: 4
ср. расстояние: 1.95

Топология связей в коннектоме макаки

Реконструкция клеточного коннектома

Коннектóм — полное описание структуры связей в нервной системе организма.

Коннектомика — область исследований, включающая в себя картографирование и анализ архитектуры нейрональных связей.

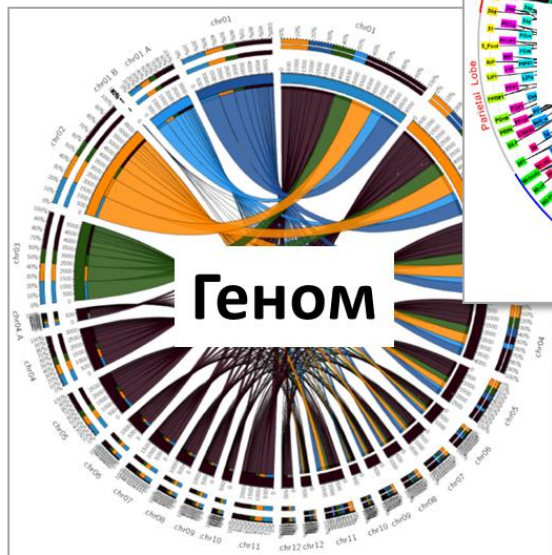


Полностью реконструированный клеточный коннектом червя *C.elegans*: 302 нейрона, ~ 8000 связей

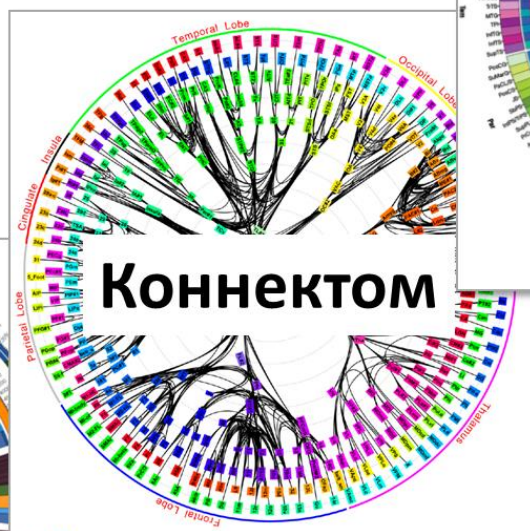
Важность теории сетей для анализа высших функций мозга

“To represent an empirical phenomenon as a network is a theoretical act.”

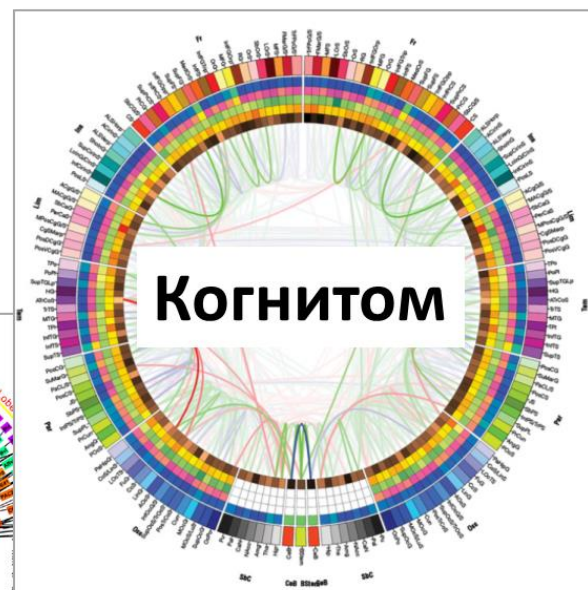
Butts CT. Revisiting the foundations of network analysis. *Science* 2009;**325**:414–6.



гены



нейроны



КОГИ



2. Любый разум - это сеть

Когнитом: теория нейронных гиперсетей

Гиперсетевая теория мозга

Теория
когнитивного
(ТКГ)

Принципиальная
модель

АКСИОМАТИЧЕСКАЯ

больше
содержания

Теория
нейронных
гиперсетей

Формальная
модель

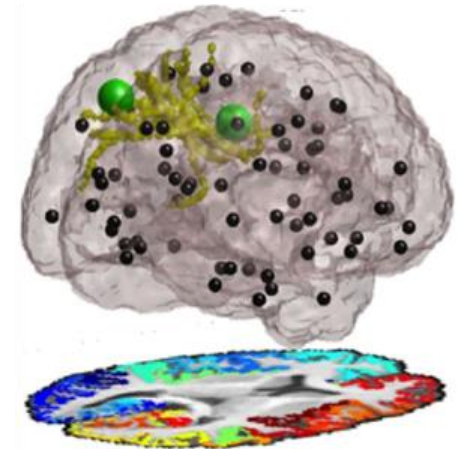
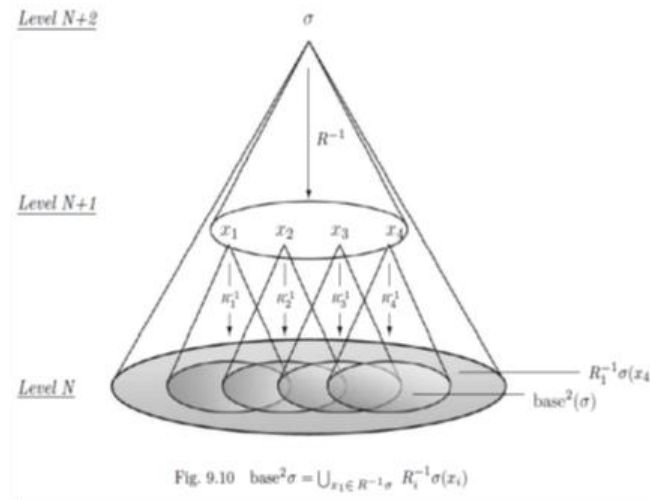
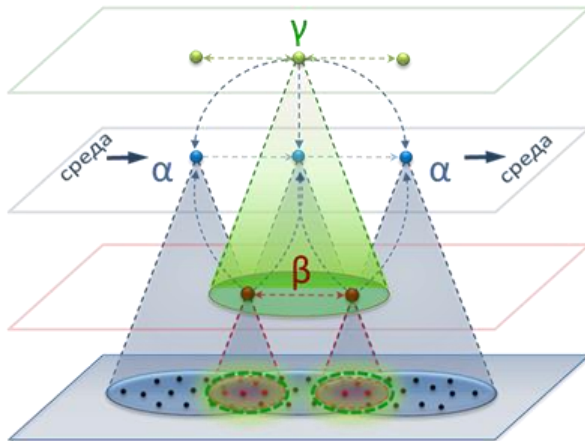
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ

больше
содержания

Гиперсетевая
теория
мозга

Субстанциальная
модель

БИОЛОГИЧЕСКАЯ



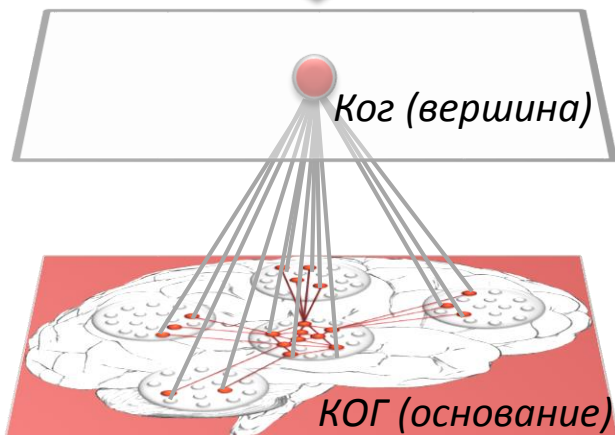
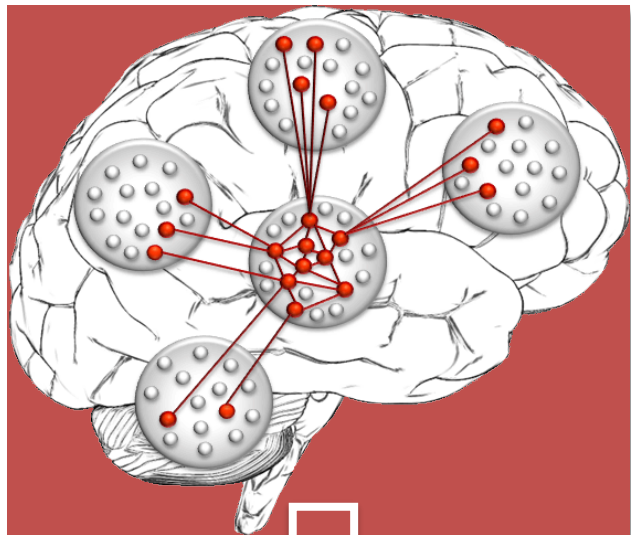
Разум как мозг на Rmax

Разум **реален** – он образует Rmax уровень когнитивного агента, опосредующий его информационные соотношения со средой.

№	Понятия	Утверждения	Следствия
1	КОГ <i>(cog)</i> cognitive group	Разум обладает зернистой структурой, он состоит из когов - элементов опыта, кодирующих соотношение когнитивного агента с теми или иными аспектами среды.	Разум гранулярен
2	ЛОК <i>(loc)</i> link of cogs	Коги , образуют между собой устойчивые связи – локи .	Разум увязан
3	КОГНИТОМ <i>(cognitome)</i> cognitive network	Коги и локи образуют единую сеть – когнитом . Когнитом является носителем субъективного опыта когнитивного агента.	Разум целостен

Ключевые понятия теории: *ког* и *когнитом*

Ког – когнитивная группа



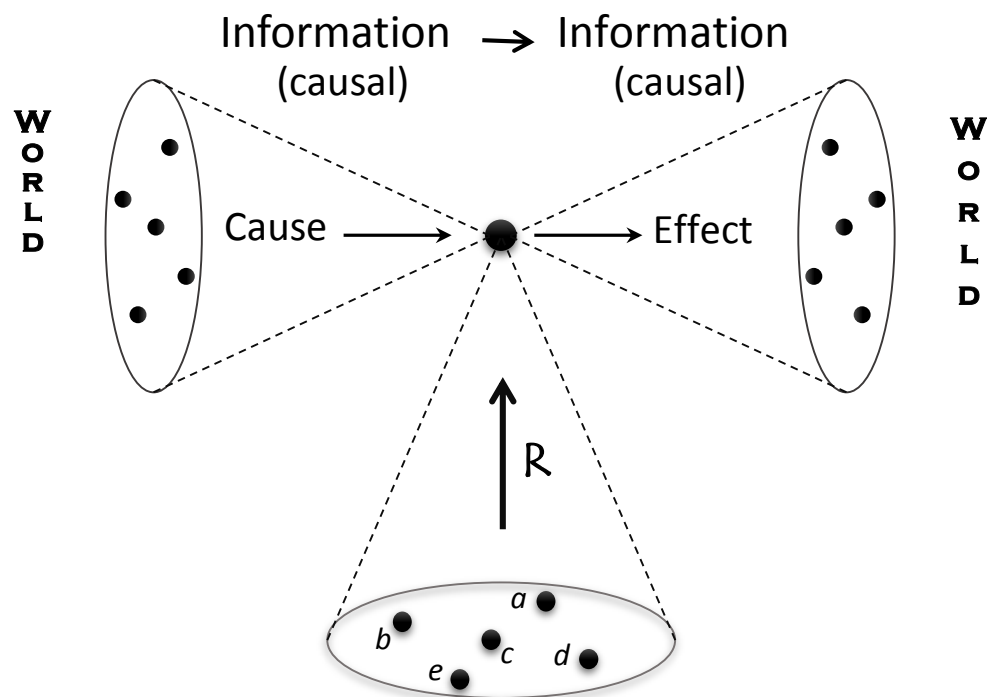
“Cog” -

1. *A. any of a series of teeth on the rim of a wheel, for transmitting or receiving motion by fitting between the teeth of another wheel;*
B. a cogwheel
2. *a person or thing regarded as a minor but necessary part of the structure of an activity or organization.*

Ког - распределенная группа нейронов, сцепленная единым когнитивным опытом.

Когнитом – сеть из всех когнитивных элементов (КОГов) в нервной системе адаптивного агента.

Каузальные свойства *когда*

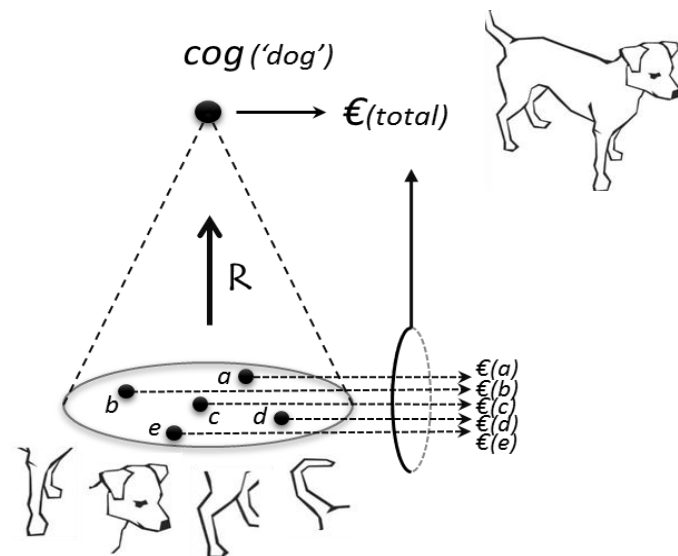
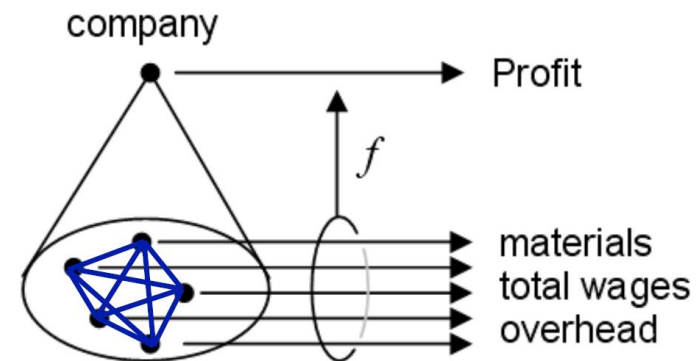


Ког как гиперсимплекс в гиперсети

Гиперсети – адекватный математический формализм для описания организации высших функций мозга.

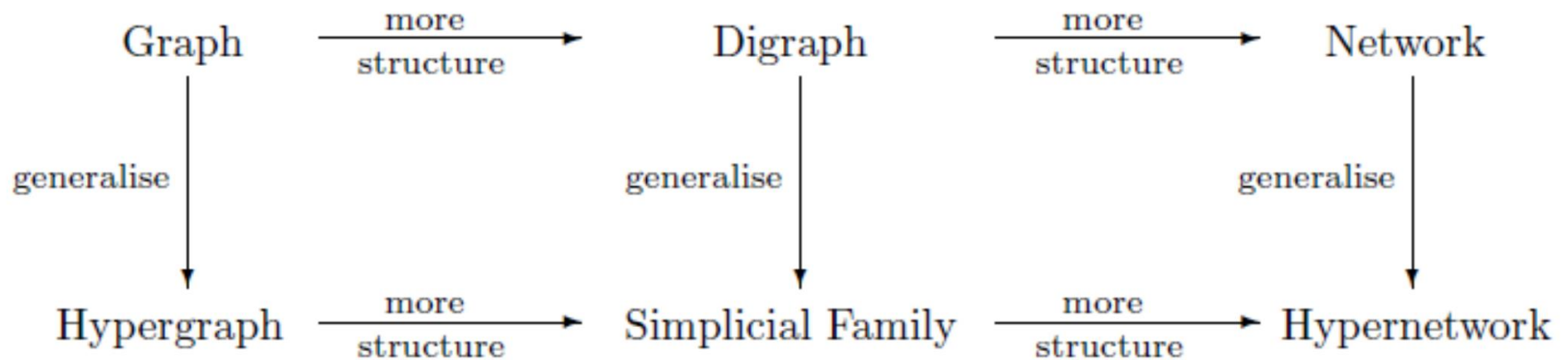
Гиперсети состоят из геометрических структур, известных как **гиперсимплексы**. Основание гиперсимплекса содержит множество элементов одного уровня, а его вершина образуется описанием их отношений и приобретает интегральные свойства, делающие ее элементом сети более высокого уровня – гиперсети. Реляционным такое структурированное множество элементов называется потому, что их отношения эксплицитно заданы. Гиперсеть представляет собой совокупность связанных гиперсимплексов.

Гиперсети являются инструментом формализации структуры и динамики в многоуровневых системах.



Гиперсети это:

Гиперсети представляют собой естественное расширение графов, гиперграфов и сетей



Гиперсети характеризуются тремя основными идеями: (1) «реляционного симплекса» или «гиперсимплекса», (2) того, что гиперсимплексы являются однозначным средством различения уровней в многоуровневых системах и (3) того, что они могут поддерживать устойчивую структуру (backcloth) и динамику активности (traffic) в многоуровневых системах.

Гиперсети это:

Гиперсети – это сети сетей сетей...

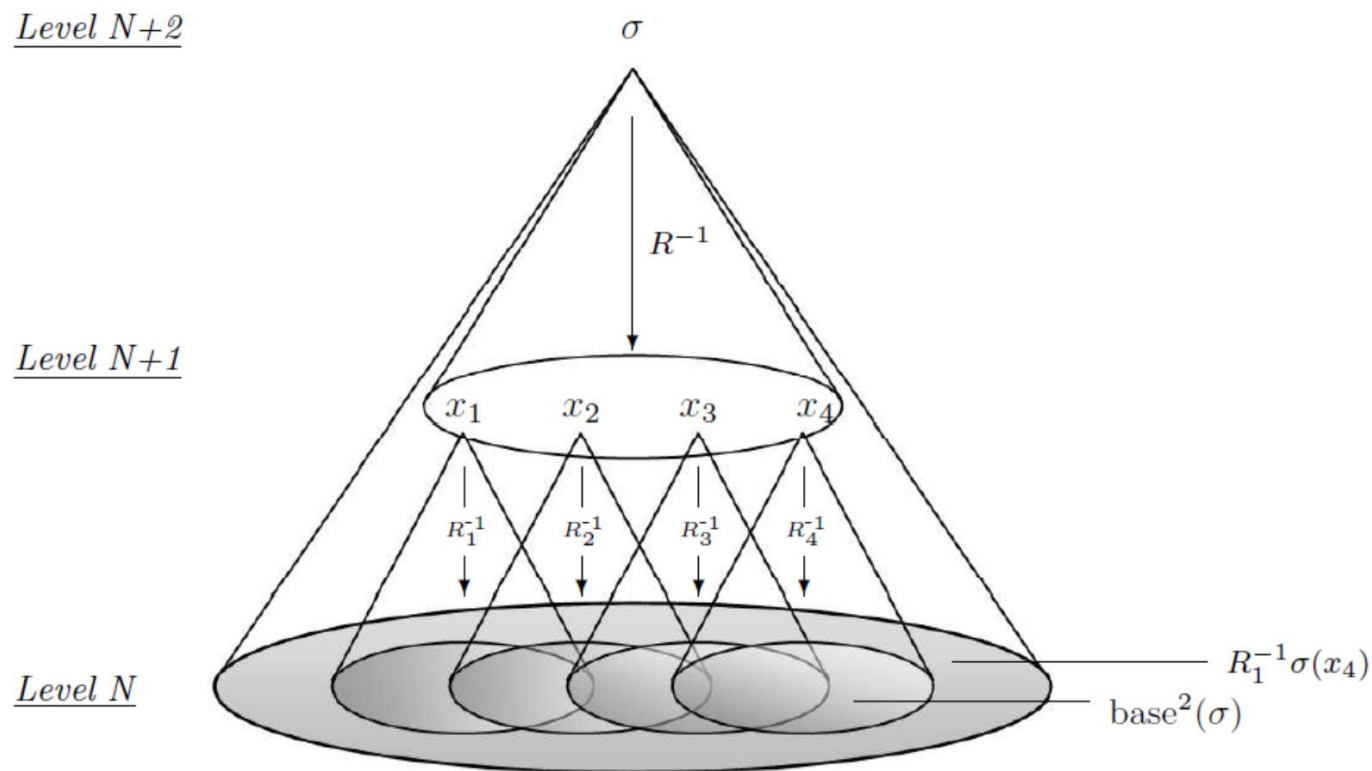


Fig. 9.10 $\text{base}^2\sigma = \bigcup_{x_i \in R^{-1}\sigma} R_i^{-1}\sigma(x_i)$

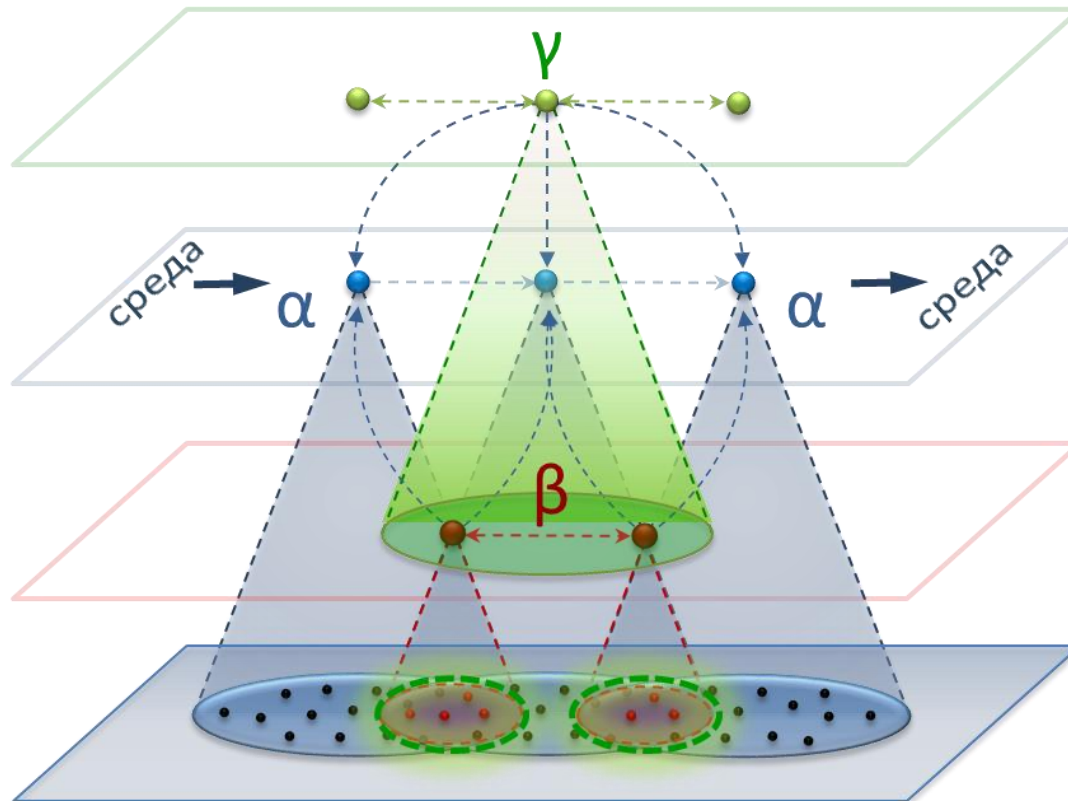
Когнитом состоит из трех видов когов

Уровень K+1
(гипергруппы)

Уровень K
(протогруппы)

Уровень K-1
(интергруппы)

Уровень N
(нейронная сеть)



Холоны
(гиперкоги)

Опероны
(протокоги)

Квалоны
(интеркоги)

Нейроны

Когнитивная специализация нейронов



Готфрид Вильгельм Лейбниц

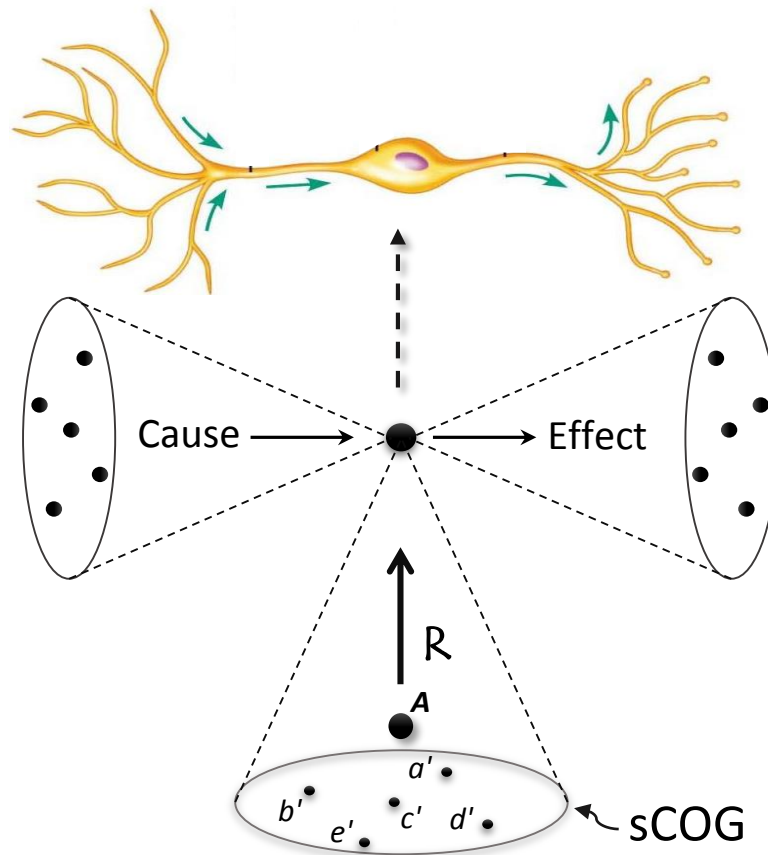
«Мельница Лейбница»

«Если мы вообразим себе машину, устройство которой производит мысль, чувство и восприятие, то можно будет представить ее себе в увеличенном виде с сохранением тех же отношений, так что можно будет входить в нее, как в мельницу. Предположив это, мы при осмотре ее не найдем ничего внутри ее, кроме частей, толкающих одна другую, и никогда не найдем ничего такого, чем можно было бы объяснить восприятие.»

«Монадология»

Однако Лейбниц удивительным образом ошибался...

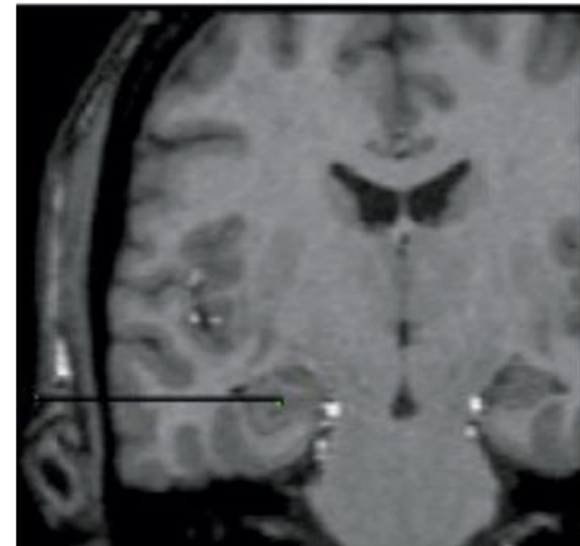
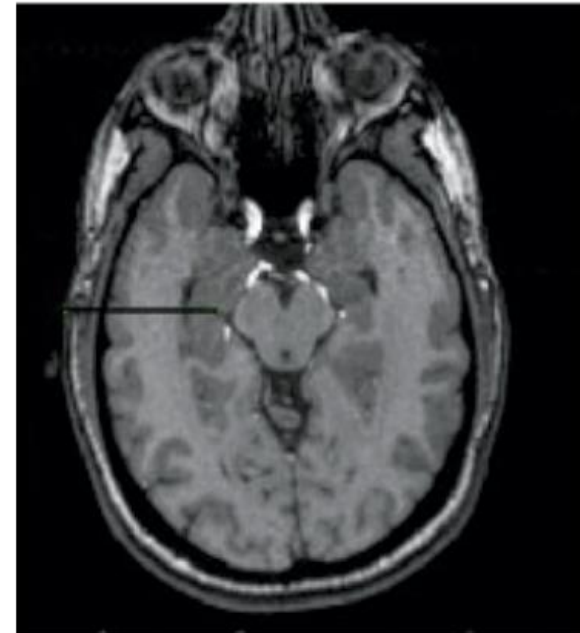
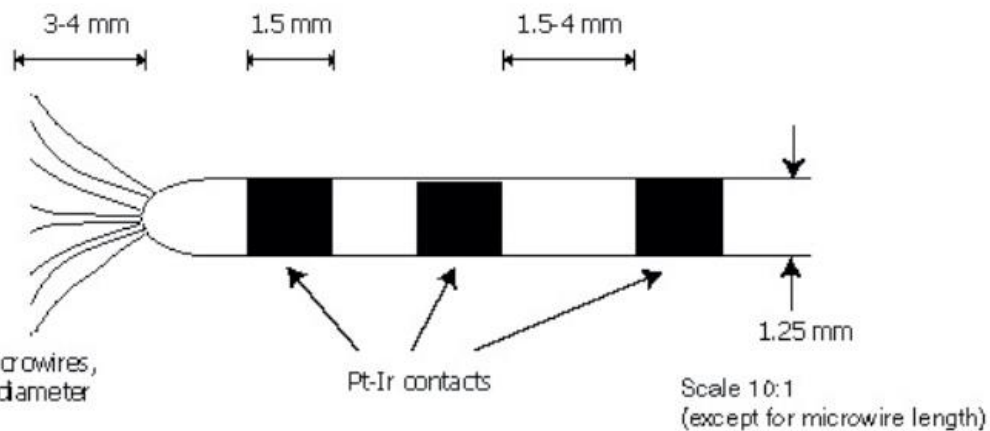
Минимальный ког: когнитивно специализированный нейрон



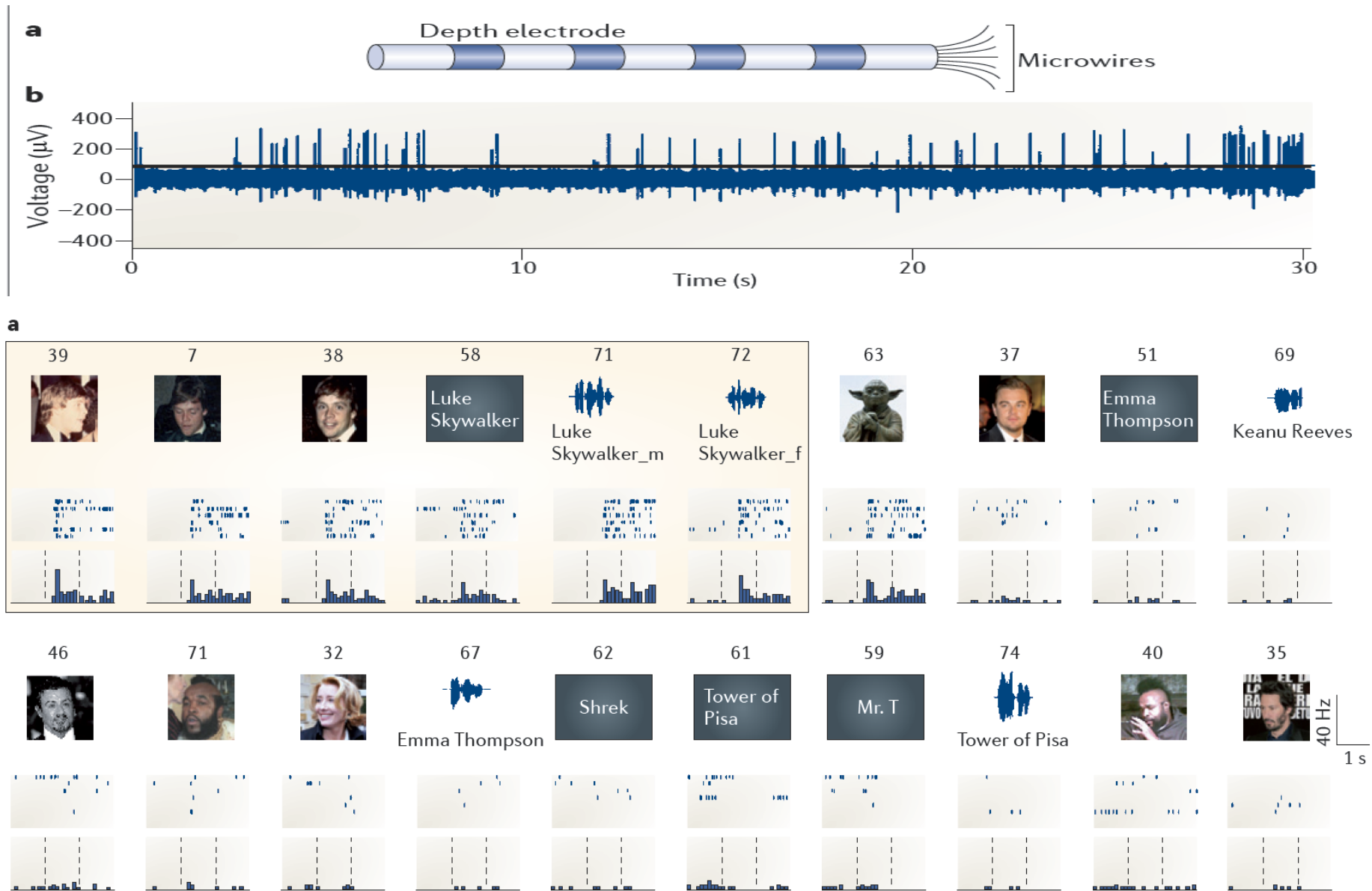
- Минимальным **когом** (когнитивным элементом) является одна когнитивно специализированная нервная клетка.
- Совокупность нейронов, активирующих эту клетку, является **‘причиной’** для этого кога.
- Группа нейронов, в активацию которых вносит вклад эта клетка, является ее **‘эффе́ктом’** как кога.

Регистрация отдельных нейронов в мозге человека

Around 100 microwires per patient
Data is acquired at 28.7 kHz via 64 electrode Neuralynx system



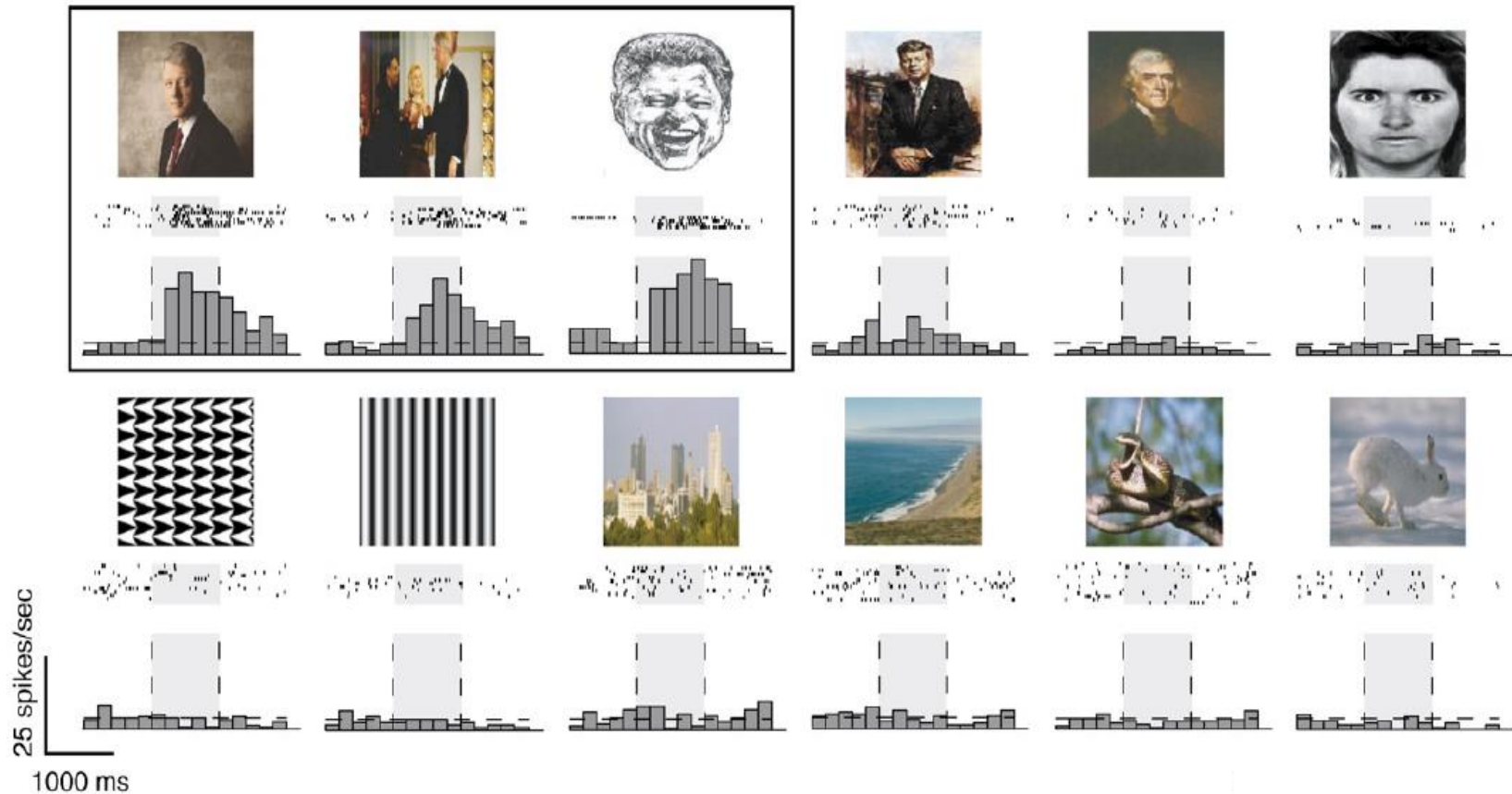
Когнитивная специализация нейронов в мозге человека



From: R.Q. Quiroga (2012) Nat.Rev. Neurosci

Когнитивная специализация нейронов в мозге человека

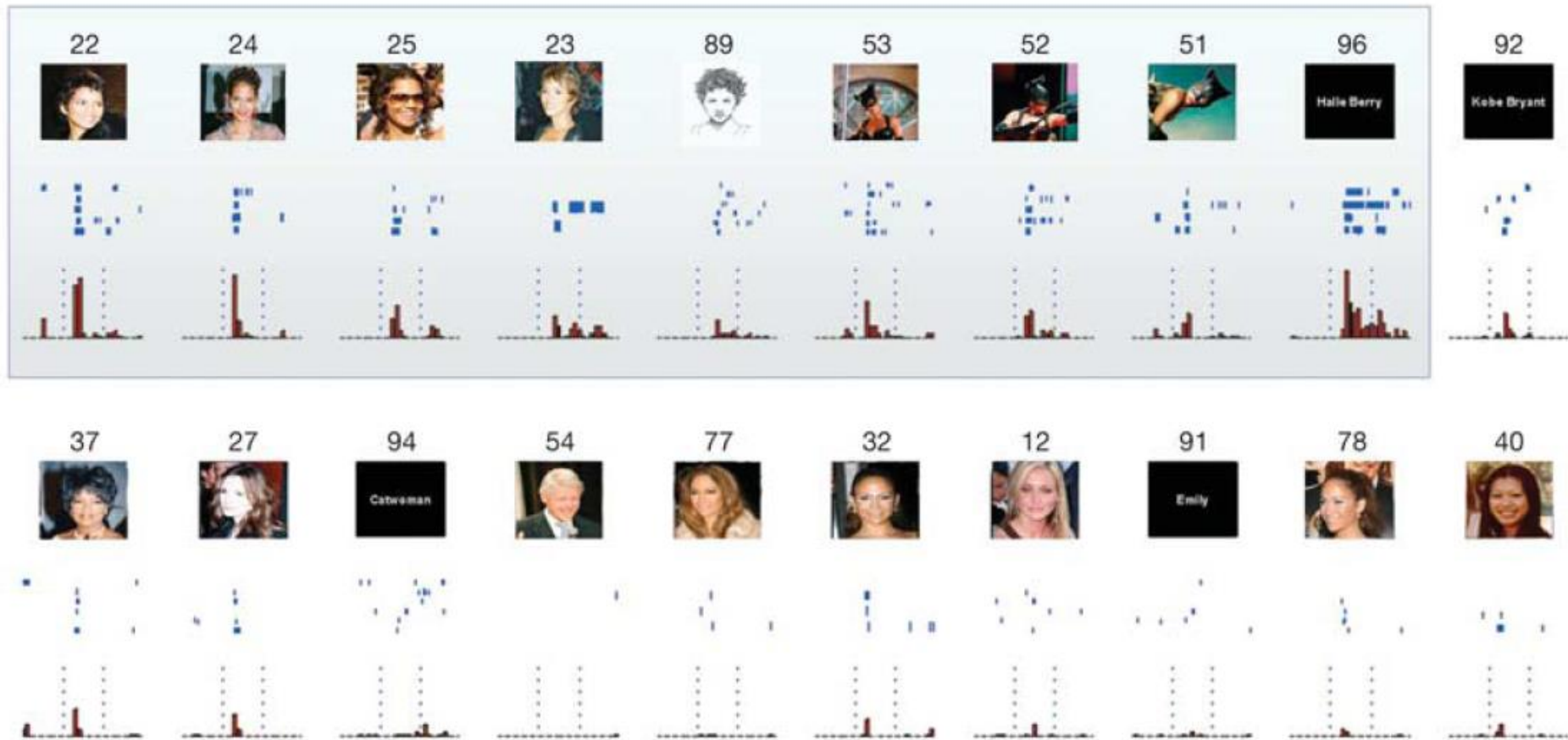
“Bill Clinton” neuron



Kreiman et al., Proc Natl Acad Sci U S A. 2002. 99(12):8378-83.

Когнитивная специализация нейронов в мозге человека

“Halle Berry” neuron

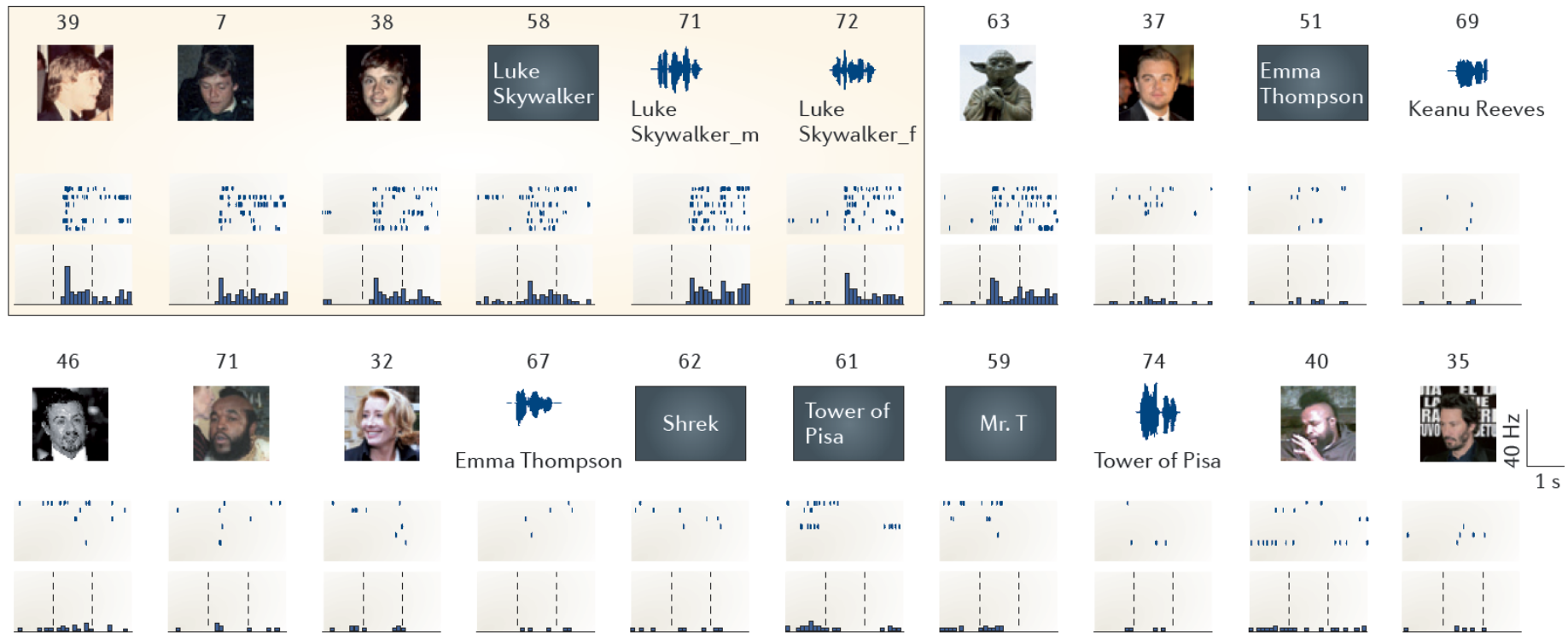


A unit in the right anterior hippocampus that responds to pictures of the actress Halle Berry. This cell also responds to a drawing of her, to herself dressed as Catwoman (a movie in which she played the lead role) and to the letter string 'Halle Berry' (picture no. 96).

Когнитивная специализация нейронов в мозге человека

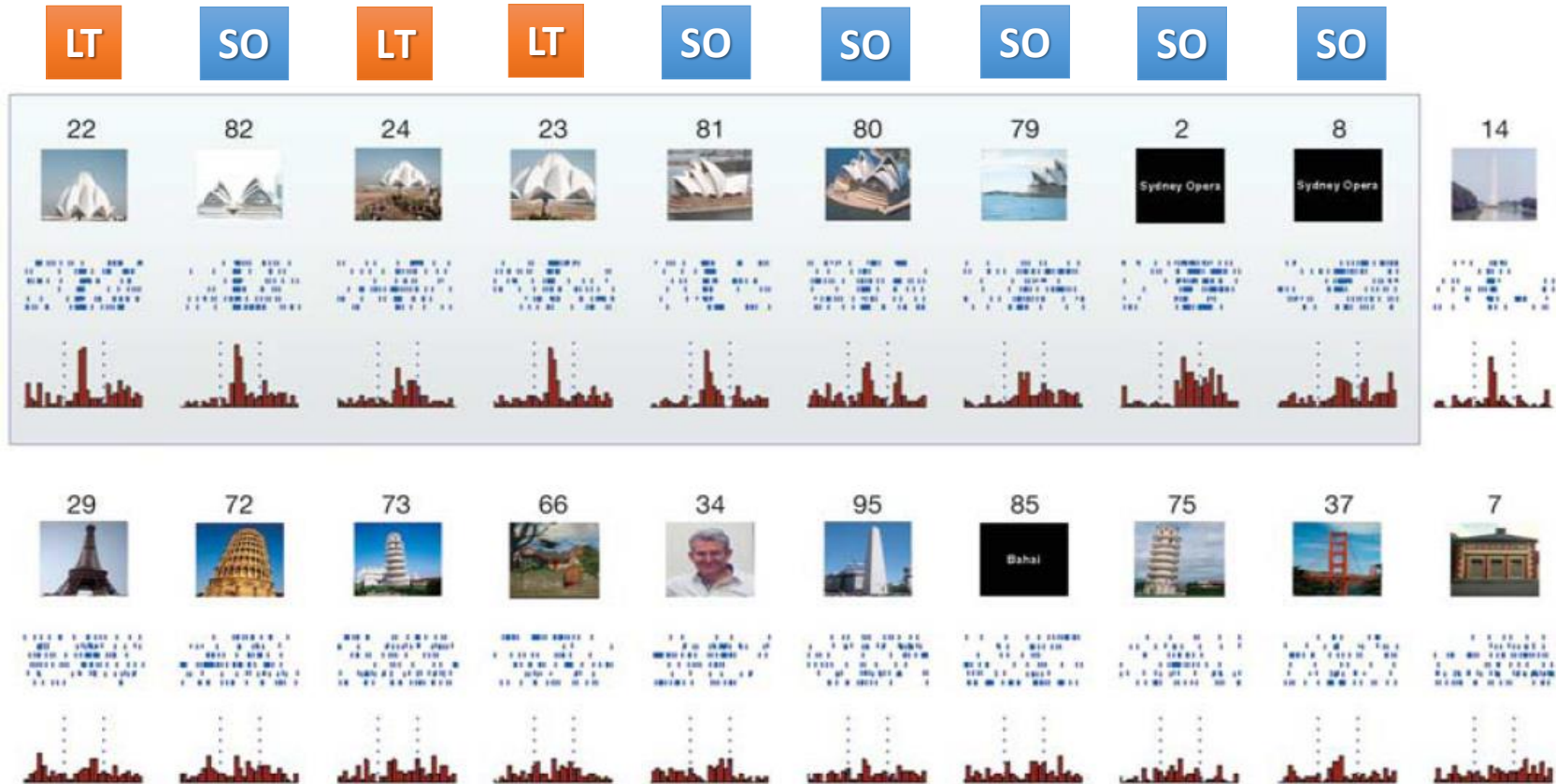
“Luke Skywalker” neuron

a



Когнитивная специализация нейронов в мозге человека

“Sydney Opera” neuron



SO

Sydney Opera

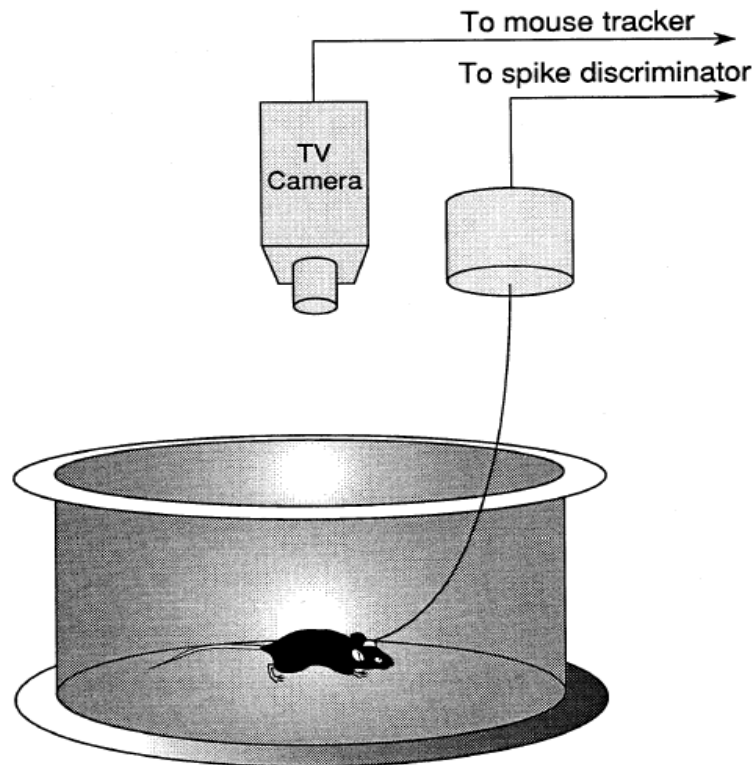
LT

Lotus Temple New Delhi

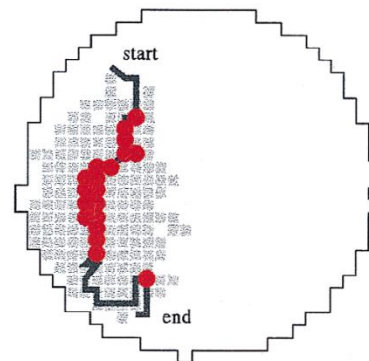
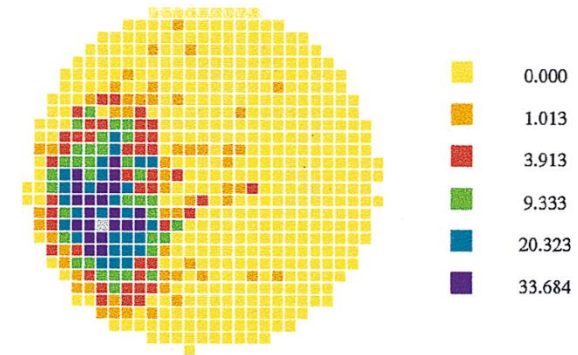
Quiroga et al., Nature. 2005. 435 (7045) 1102-7

Когнитивная специализация нейронов в мозге животных

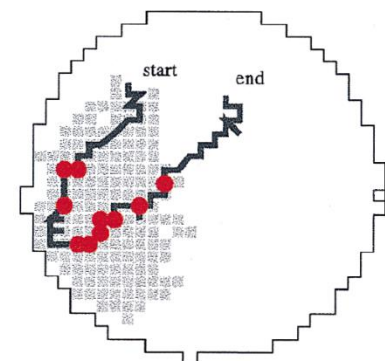
“Place” neurons in the rat brain



Rate Map



Path 1



Path 2

Muller, 1996

“Little green crocodile” neuron in the rat brain

EXPERIMENTAL NEUROLOGY 41, 461-555 (1973)

Studies on Single Neurons in Dorsal Hippocampal Formation and Septum in Unrestrained Rats

Part I. Behavioral Correlates and Firing Repertoires

JAMES B. RANCK, JR.



Crocodile toy

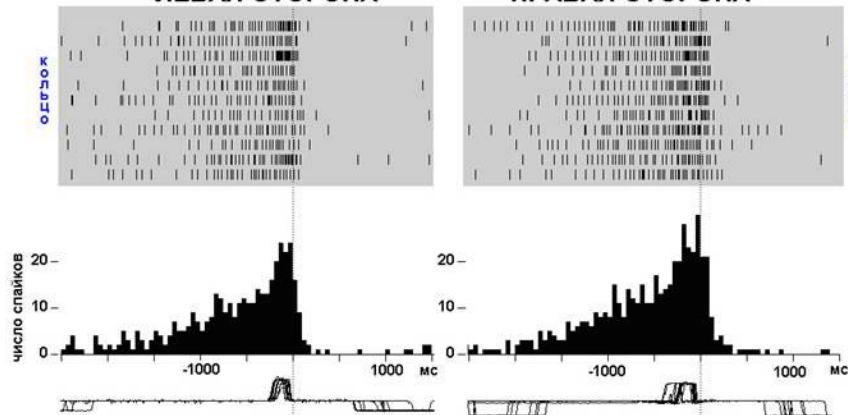




Лаб. нейрональных основ психики им. В.Б.Швыркова

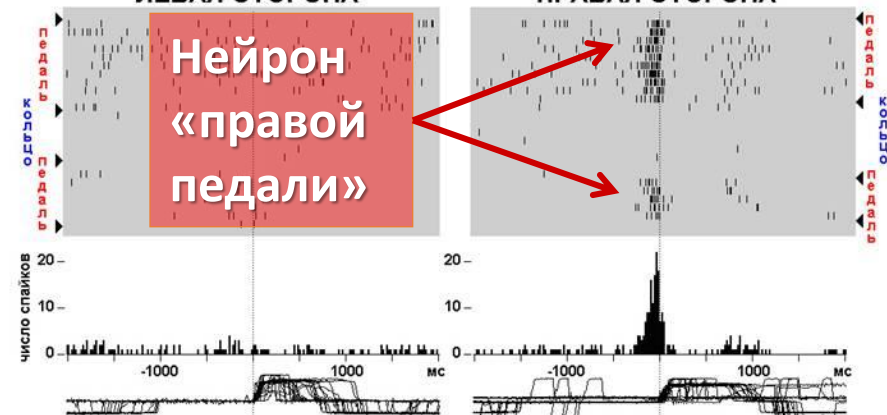
ЛЕВАЯ СТОРОНА

ПРАВАЯ СТОРОНА



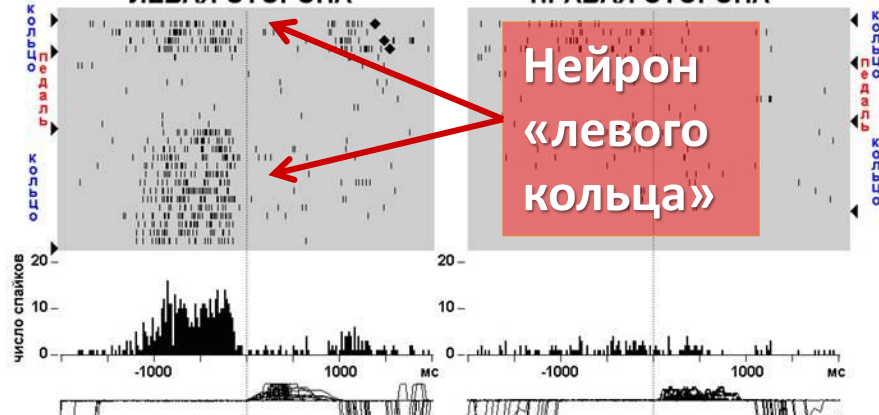
ЛЕВАЯ СТОРОНА

ПРАВАЯ СТОРОНА



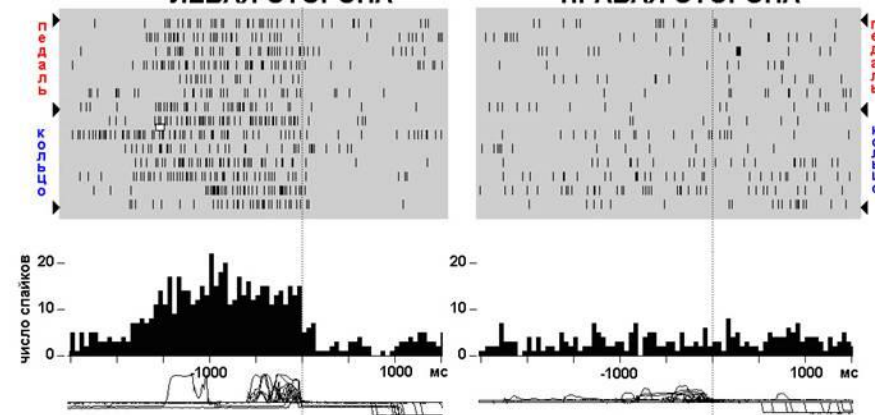
ЛЕВАЯ СТОРОНА

ПРАВАЯ СТОРОНА

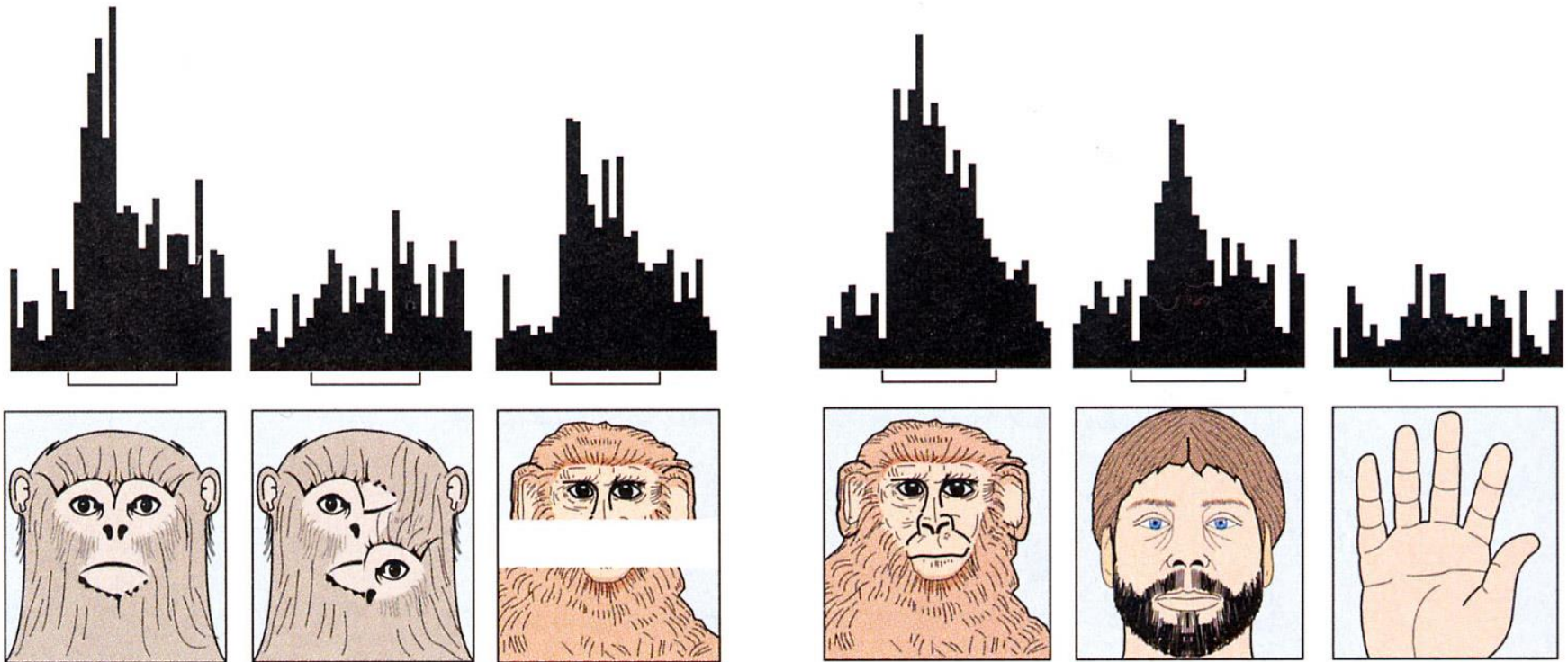


ЛЕВАЯ СТОРОНА

ПРАВАЯ СТОРОНА

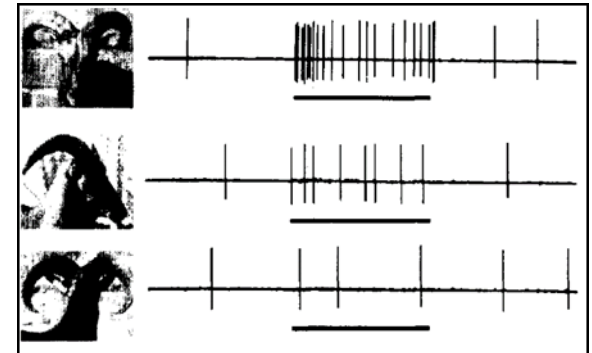
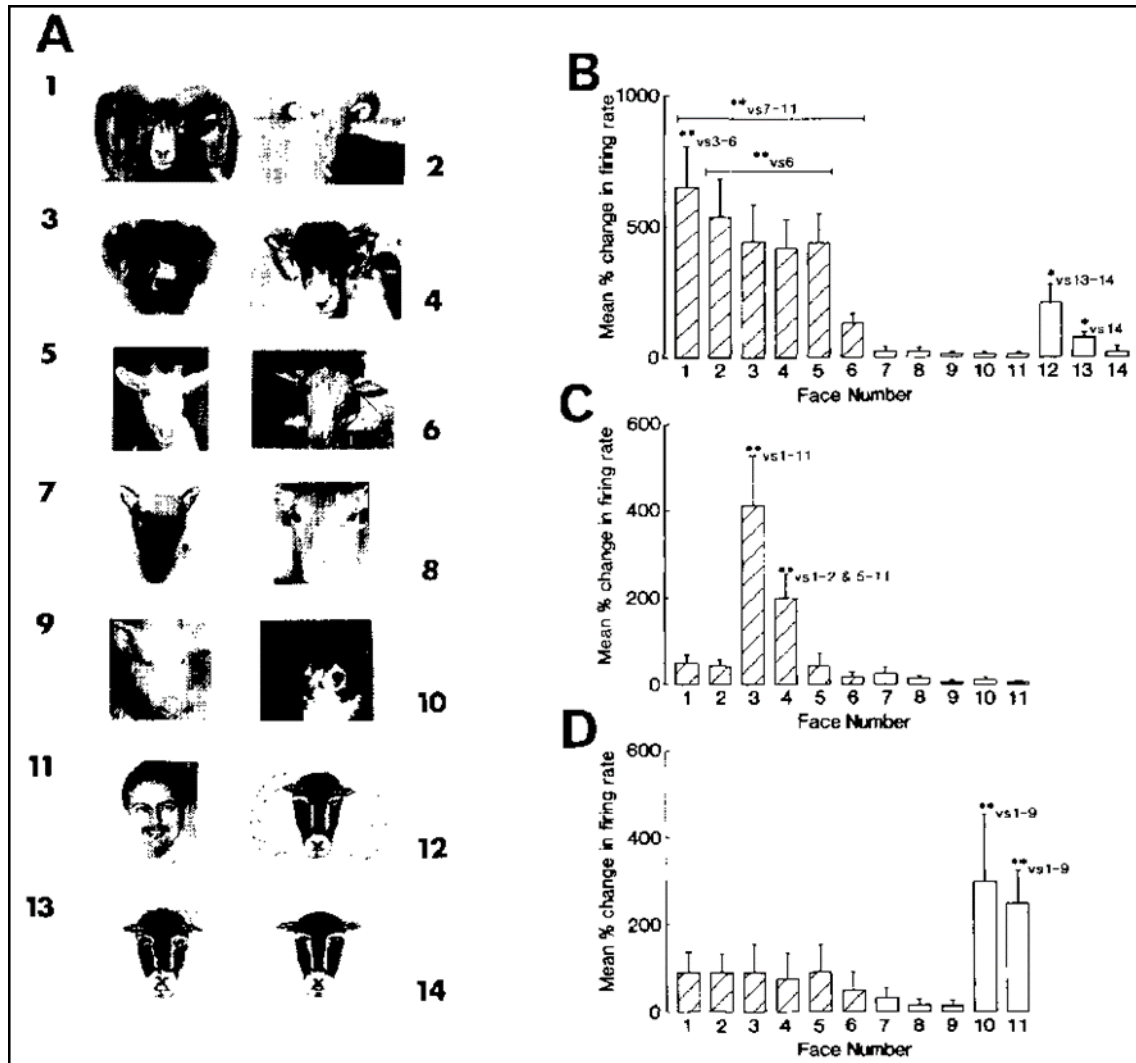


“Face neurons” in monkey



Когнитивная специализация нейронов в мозге животных

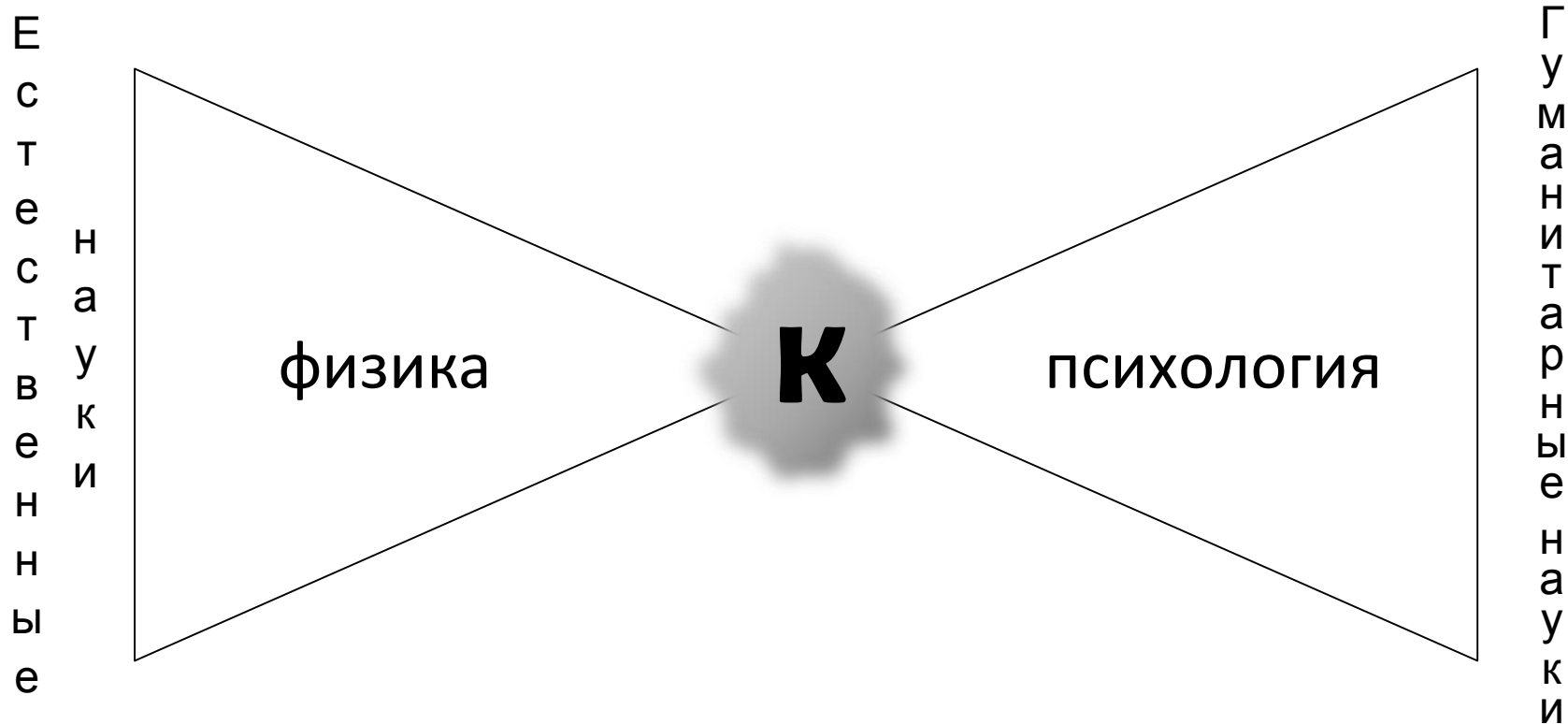
“Face neurons” in the sheep brain



Kendrick & Baldwin, 1987

Задача:
понять когнитивную
специализацию
нейронов

Физика, разум и сознание



**Благодарю за
внимание!**