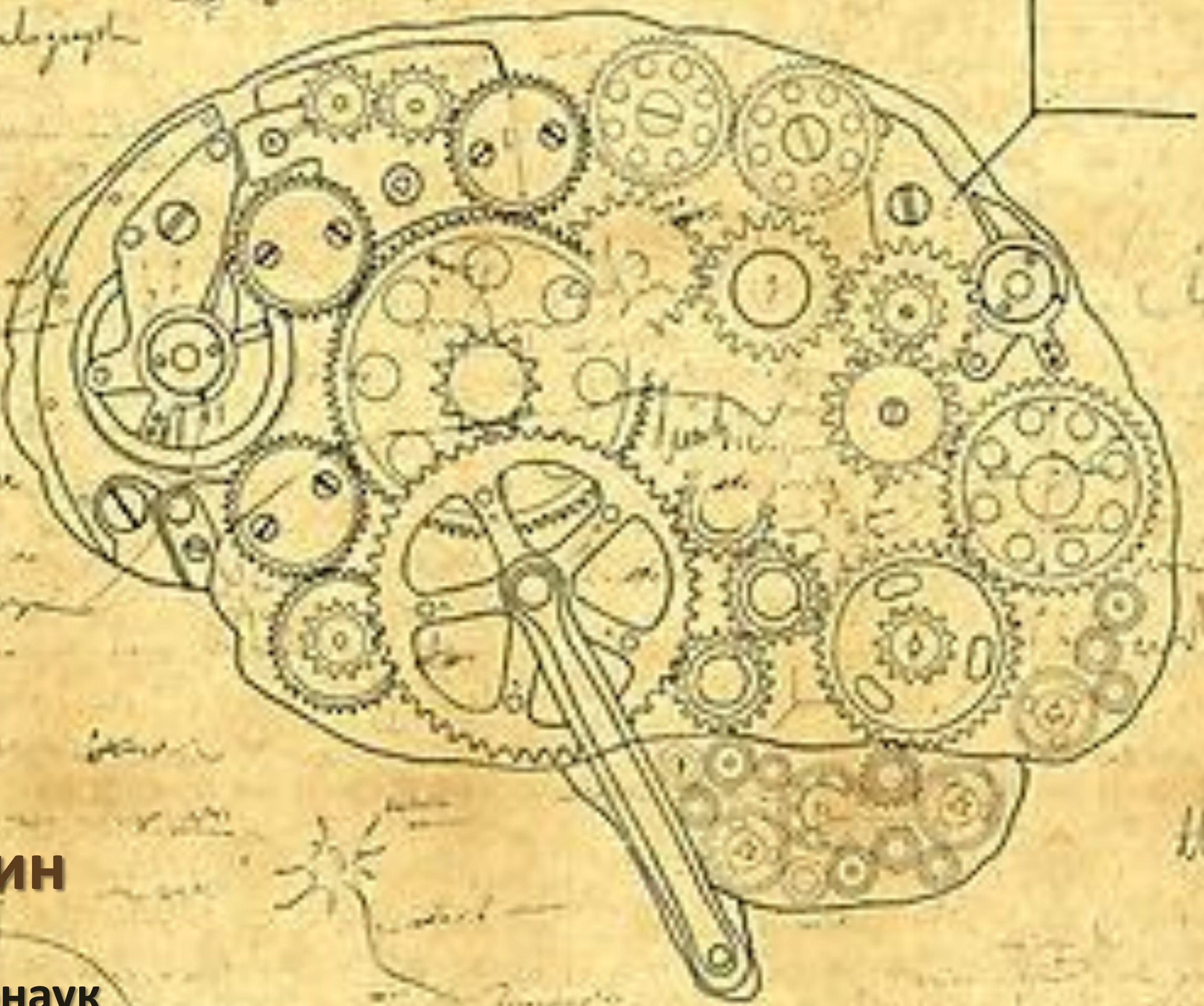
Когнитом – гиперсетевая модель мозга



К.В.Анохин

Отдел нейронаук
НИЦ «Курчатовский институт»

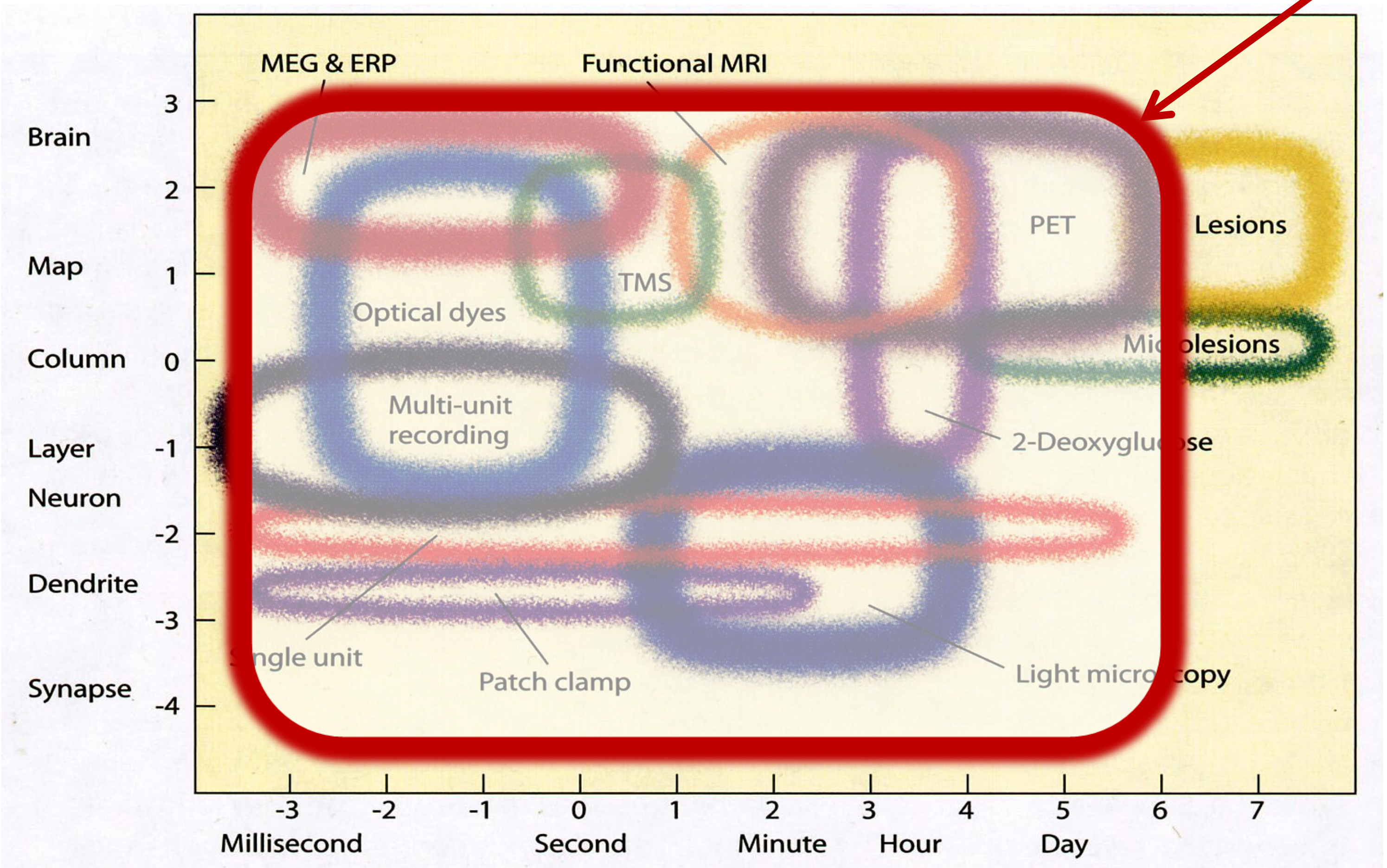
Три главных идеи доклада

МИР един	**Мозг («М») и разум («Р») должны быть описаны единой теорией, центральный вопрос которой - природа «И» - соотношение «М» и «Р».**
Разум – это гиперсеть мозга	**Любой разум - это гиперсетевая структура мозга.** **Любой мозг - это сетевая структура, обладающая когнитивной гиперсетевой функцией - когнитомом.**
Фундаментальная теория МИРа возможна	**Все ключевые свойства мозга и разума можно вывести из небольшого числа базовых понятий и принципов.**

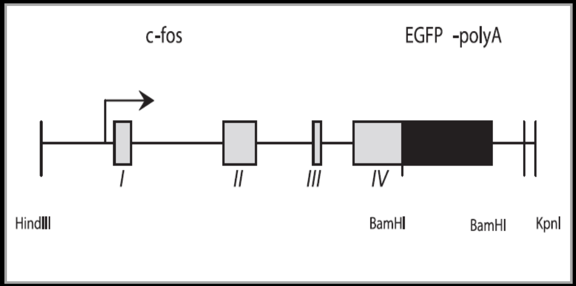
Требования к подходам, необходимым для исследования функциональных систем мозга

Разрешение - индивидуальные нейроны
Масштаб - весь мозг
Динамика - в ходе поведения и когнитивной активности

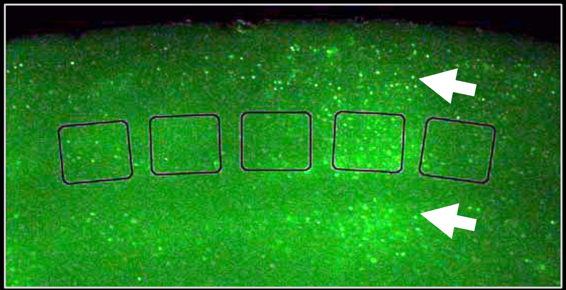
недостающая технология



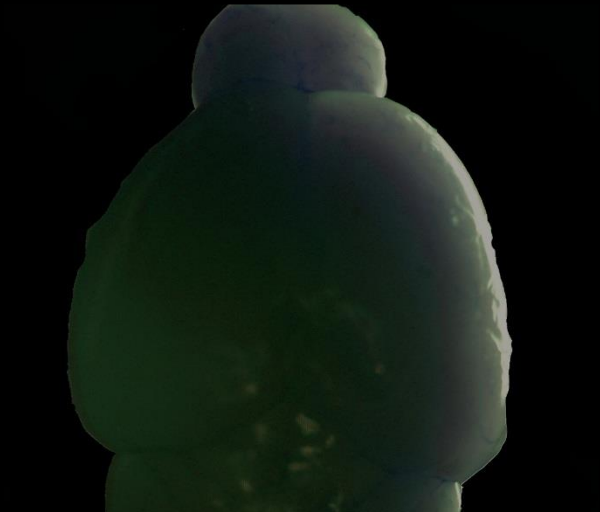
Трансгенные мыши с GFP-”индикаторами” экспрессии ранних генов в нейронах мозга



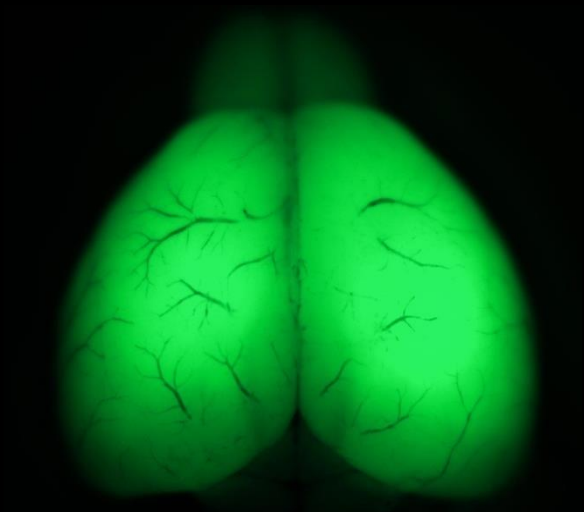
Генетический "индикаторный" конструкт Fos-EGFP, вводимый в геном мыши



Отдельные нейроны, экспрессирующие Fos-EGFP в коре мозга мыши при обучении



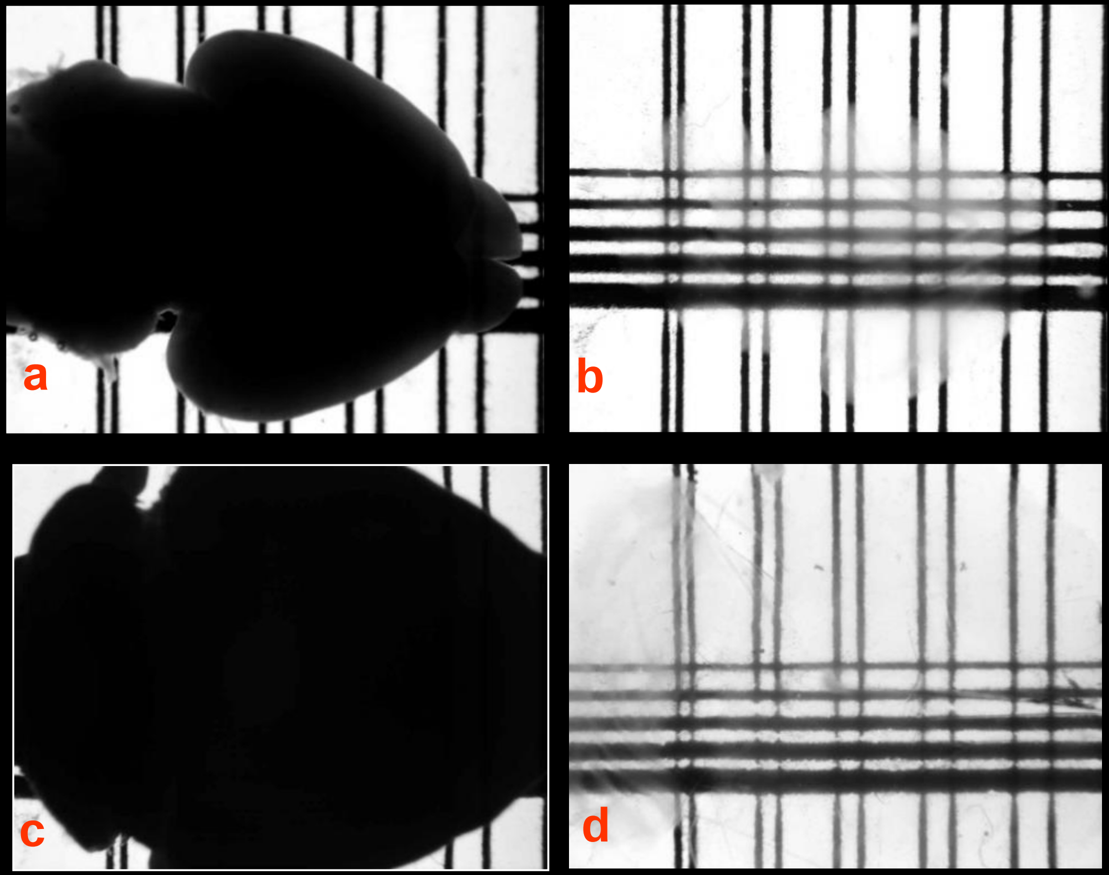
Мозг контрольной мыши не экспрессирующий Fos-EGFP



Мозг трансгенной мыши с экспрессией Fos-EGFP после обучения

Методы оптического просветления ткани мозга

Принцип: замещение воды на жидкости, имеющие равные показатели оптического преломления с тканями мозга



Мозг новорожденной и взрослой мыши до и после просветления

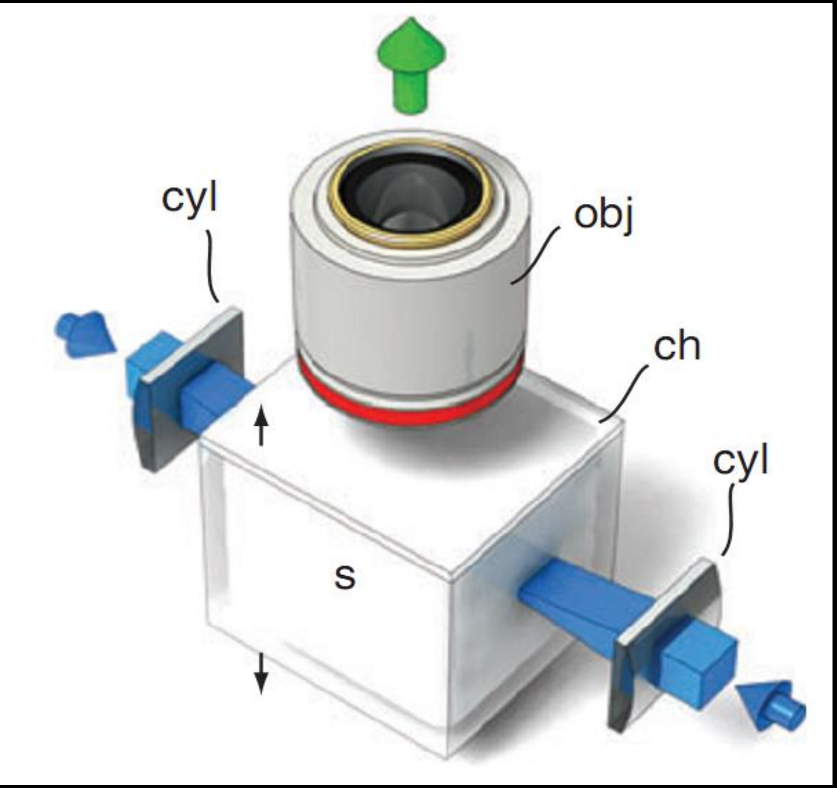
Коэффициент пропускания

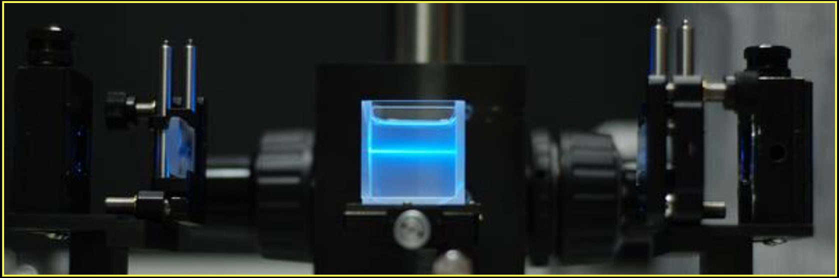
white light	0.87
535nm	0.88
600 nm	0.94
700 nm	0.97
790 nm	0.97

Возможности:

- Оптическое просветление целого мозга животного (мышь, крыса, цыпленок);
- Возможность микроскопии на глубину до 15-20 мм.

Метод флуоресцентной ультрамикроскопии





Плоский луч лазера

Siedentopf, H. & Zsigmondy, R.
Annalen der Physik **10**, 1–39 (1903).

Получение оптических срезов возбуждением флуоресцентной метки в плоскости фокуса образца и построение трехмерной реконструкции

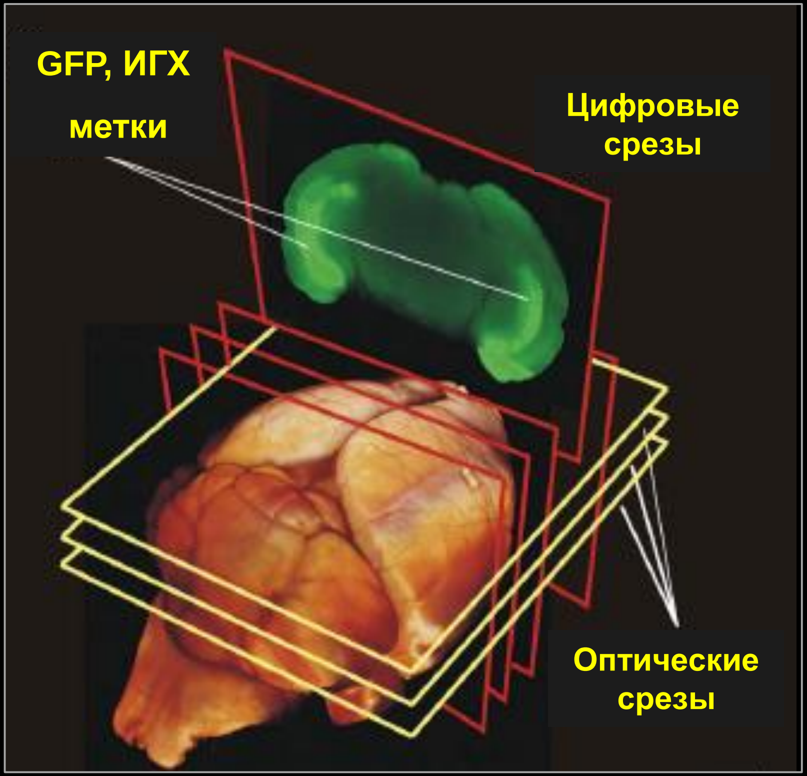
Высокое разрешение (до 0,5 мкм) в объеме целого мозга

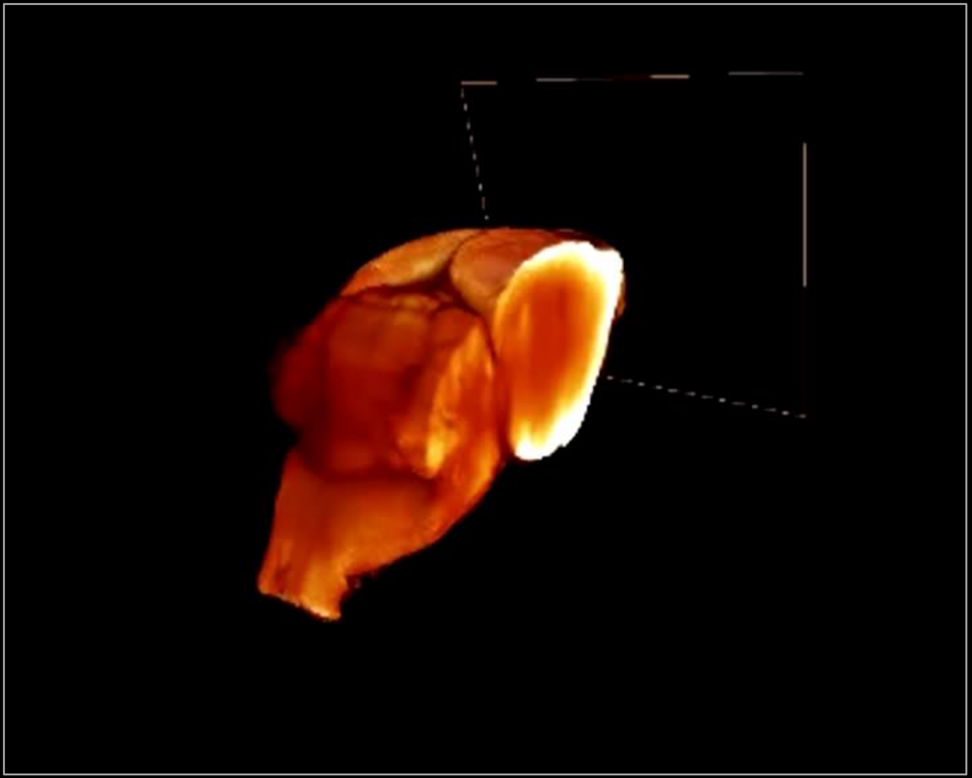
образцы большого размера (до 2 см)

возможность исследовать образец при разном разрешении

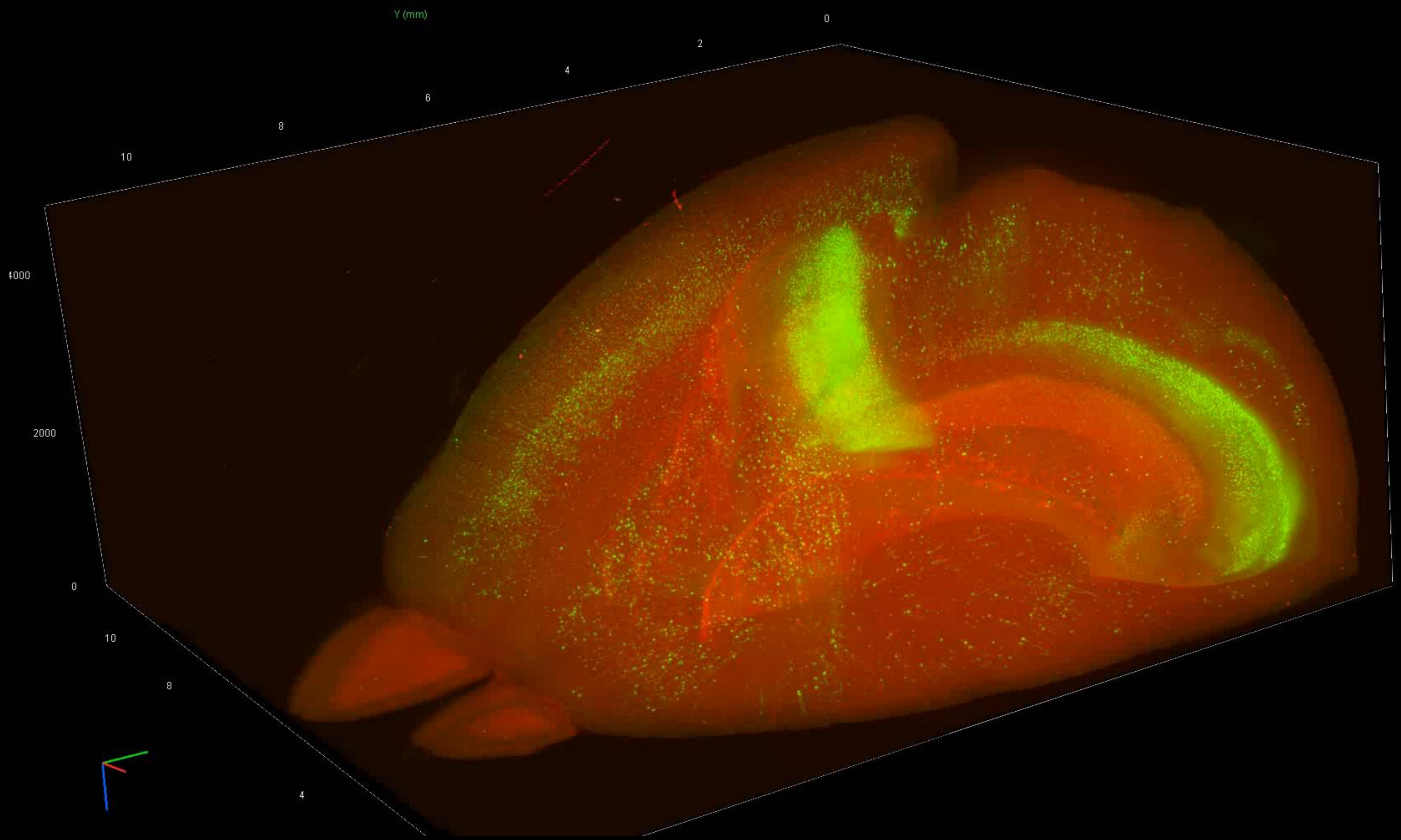
Метод флуоресцентной ультрамикроскопии

Ультрамикроскопия целого мозга трансгенной мыши, экспрессирующей ген Thy1-GFP



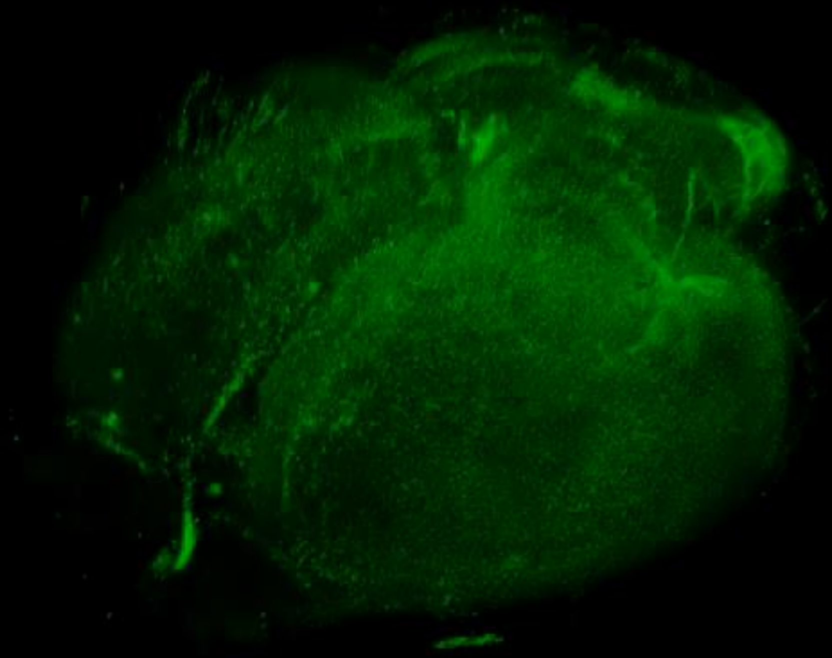


Проект "прозрачный мозг"



Визуализация детальной нейронной сети целого мозга мыши
с клеточным разрешением

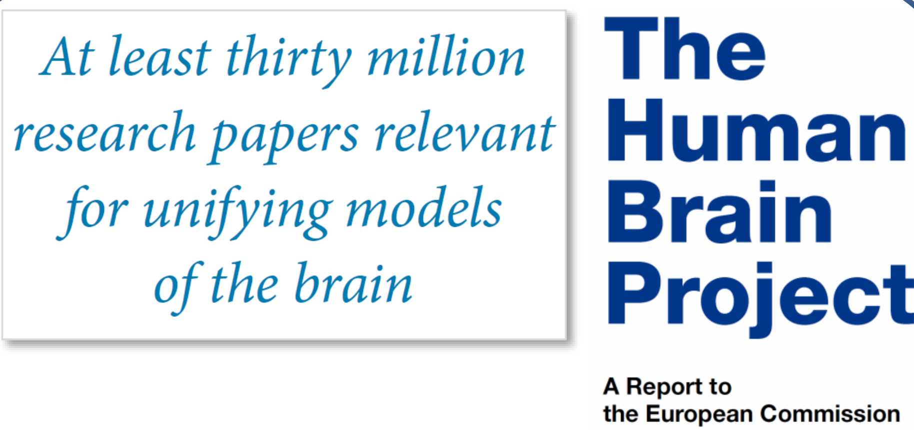
Проект "прозрачный мозг"

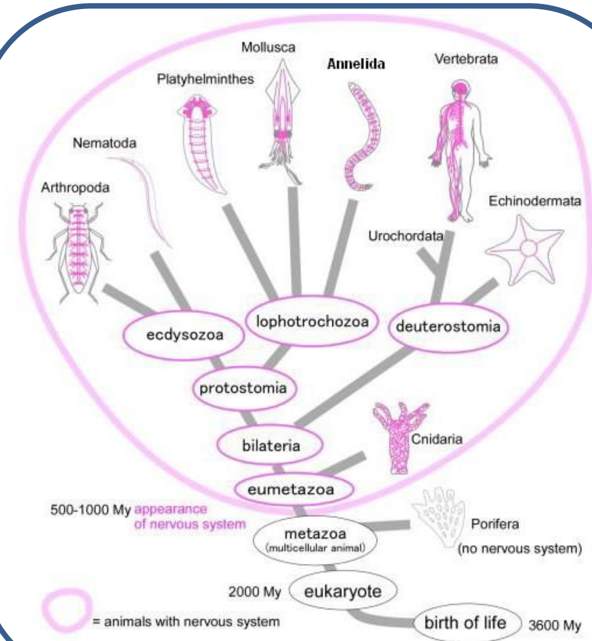


Сеть нейронов в мозге мыши,
экспрессирующая индуцированный обучением ген Zif-GFP

I. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

1. Нам нужна фундаментальная теория мозга





принципиальная + универсальная

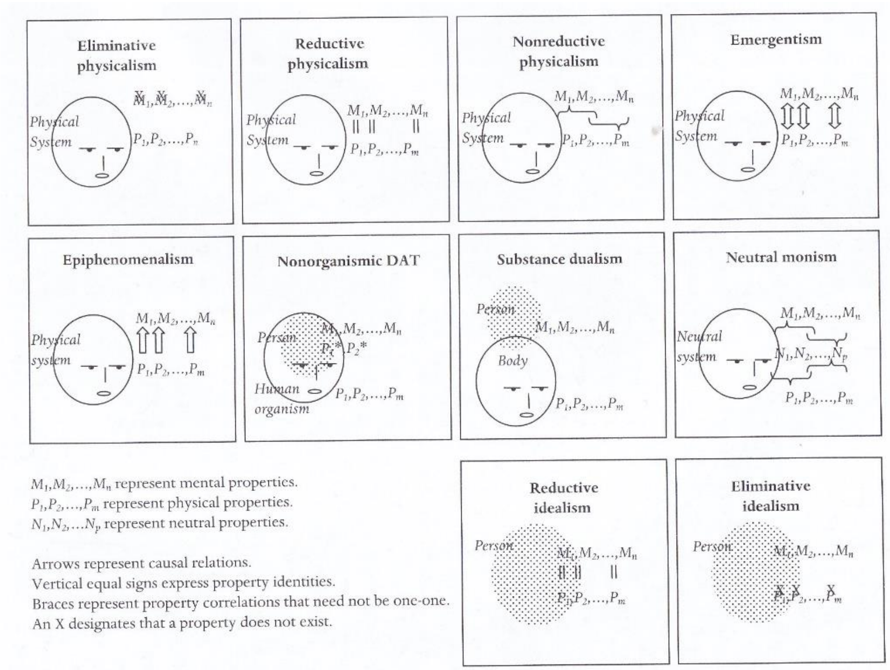
= фундаментальная

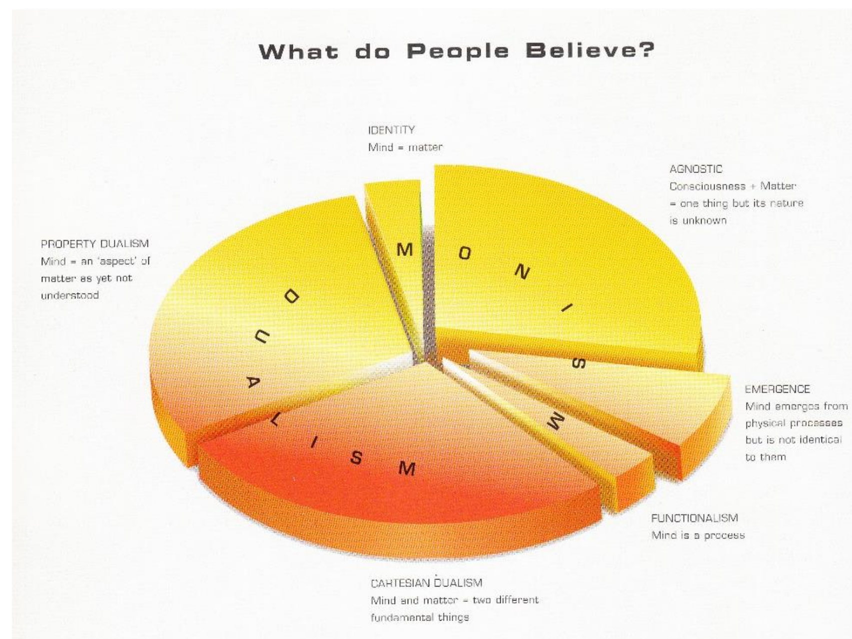
I. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

1. Нам нужна фундаментальная теория мозга;
2. Нам нужна фундаментальная теория разума;
3. Нам нужна фундаментальная теория, описывающая соотношение мозга и разума;

I. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

1. Нам нужна фундаментальная теория мозга;
2. Нам нужна фундаментальная теория разума;
3. Нам нужна фундаментальная теория, описывающая соотношение мозга и разума;





I. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

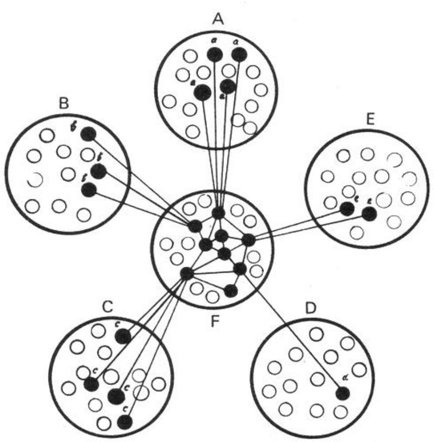
1. Нам нужна фундаментальная теория мозга;
2. Нам нужна фундаментальная теория разума;
3. Нам нужна фундаментальная теория, описывающая соотношение мозга и разума;

1. Теория должна выводить основные феноменологические свойства разума;
2. Теория должна выводить основные биологические функции разума;
3. Теория должна выводить разум филогенетически;
4. Теория должна выводить разум эмбриогенетически;
5. Теория должна выводить разум как результат обучения и опыта;

II. СУЩЕСТВУЮЩИЕ РЕШЕНИЯ

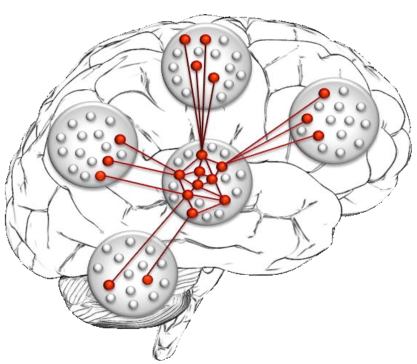
Functional systems:

complexes of co-active elements of distributed anatomical localization that co-operate towards the common adaptive result by the whole organism
(P.K.Anokhin, 1937).



Related concepts:

- Neuronal assemblies (D.O.Hebb, 1949)
- Distributed systems (V.Mountcastle, 1977)
- Dynamic core (G.Edelman, 1987)
- Neuronal coalitions (C.Koch & F.Crick, 2001)



DYNAMIC PREDICTIONS: OSCILLATIONS AND SYNCHRONY IN TOP–DOWN PROCESSING

A.K. Engel, P. Fries and W. Singer

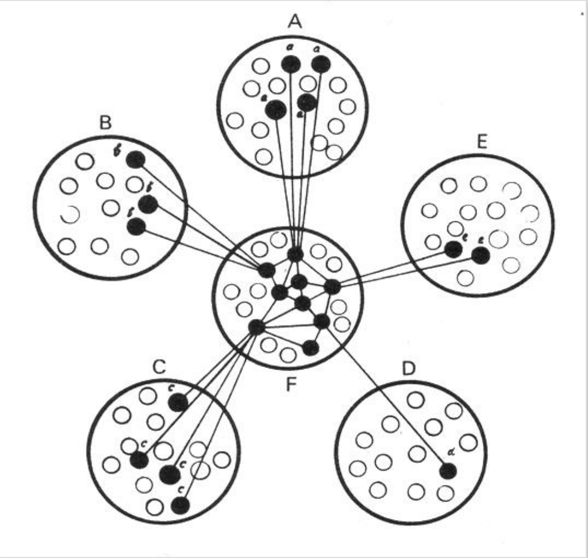
Nature Rev. Neurosci. 2001 **2:** 704-716.

"In cognitive neuroscience, we are witnessing a fundamental paradigm shift (1–3) … towards explaining cognitive functions in terms of the coherent behaviour of large neuronal populations (12,16–18) that are dynamically bound within and across subsystems. As a consequence of this conceptual reorientation, new research strategies are being developed to analyse the dynamic interactions between large numbers of neurons and to monitor the formation of functionally coherent ASSEMBLIES (21) in complex sensorimotor contexts."

Теория функциональных систем

«Основной единицей нервной деятельности, начиная с самых ранних этапов развития, является функциональная система. Она служит организующим ядром, обеспечивающим выполнение целостной, вполне очерченной функции и биологически определяет приспособление … к внешним условиям существования.»

П.К.Анохин (1937)



«Функциональной системой мы называем комплекс нервных образований с соответствующими им периферическими рабочими органами, объединенный на основе выполнения какой-либо вполне очерченной и специфической функции организма.

Состав функциональной системы не может быть определен каким-либо анатомическим принципом. Наоборот, **самые разнообразные «анатомические системы»** могут принимать участие и объединяться на базе **одновременного возбуждения** при выполнении той или иной функции организма.»

П.К.Анохин (1937)

«Каждый поведенческий акт, приносящий какой-то результат, большой или малый, неизбежно формируется по принципу функциональной системы.»

П.К.Анохин (1973)

«Даже самые сложные формы высшей нервной деятельности могут быть объяснены с точки зрения этих общих нейродинамических принципов, вскрытых нами при изучении изменчивости нервных центров.”

П.К.Анохин (1936)

Теория системогенеза

Как функциональные системы возникают в эволюции, развитии и при обучении

VI ВСЕСОЮЗНЫЙ СЪЕЗД ФИЗИОЛОГОВ, БИОХИМИКОВ И ФАРМАКОЛОГОВ

ფიზიოლოგთა, ბიოქიმიკოსთა და ფარმაკოლოგთა VI სრულიად საკავშირო ყრილობა

ТБИЛИСИ 12–18 X 1937 თბილისი

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА, КАК ОСНОВА ИНТЕГРАЦИИ НЕРВНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭМБРИОГЕНЕЗЕ

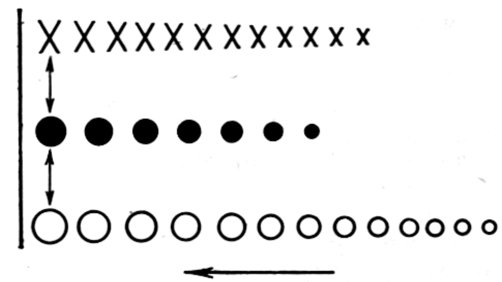
Анохин П., Шумилина Н., Анохина А., Милягин Я., Голубева Е. Зачиняева И., Никишин Г., Панцхава А.

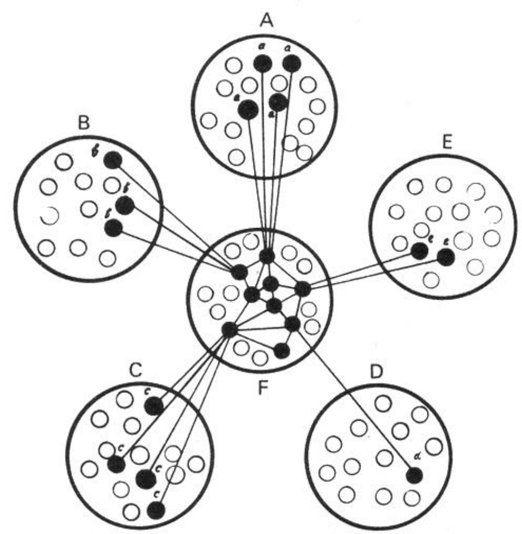
Докладчик проф. П. АНОХИН

Отдел общей физиологии высшей нервной деятельности ВИЭМ, Завед. проф. П. К. Анохин

СИСТЕМОГЕНЕЗ КАК ОБЩАЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЬ ЭВОЛЮЦИОННОГО ПРОЦЕССА[1]

П. К. Анохин





Расширение теории функциональных систем

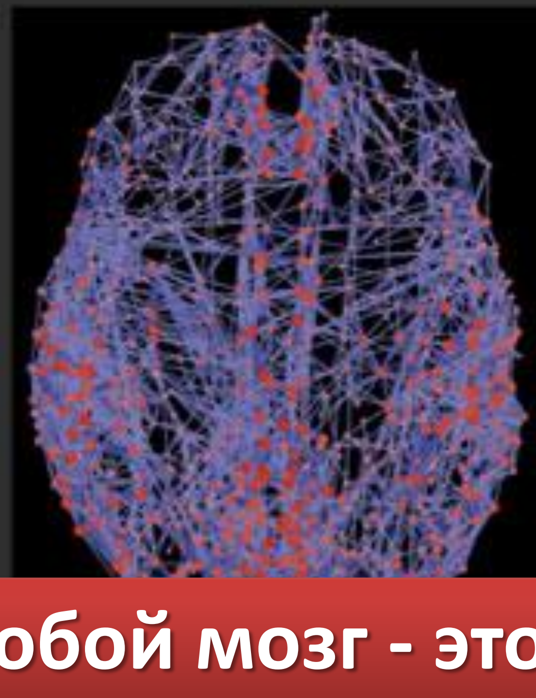
Гиперсетевая теория мозга (ГСТМ)

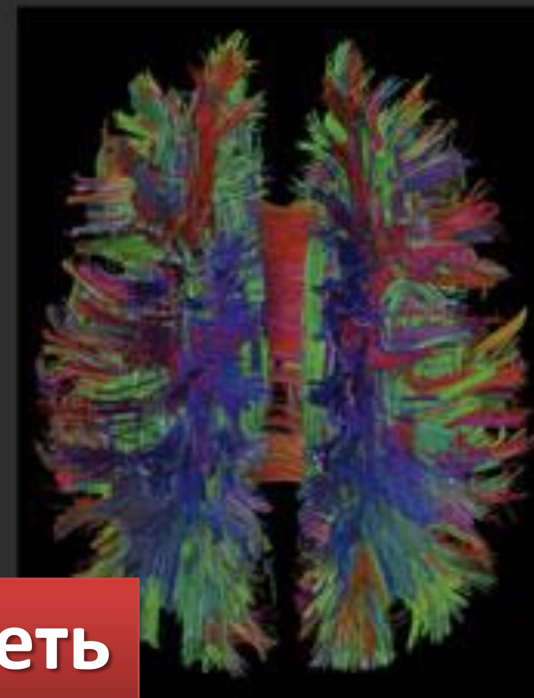
Новые предсказания
Новые объяснения
Новые вопросы
ГИПЕРСЕТЕВАЯ ТЕОРИЯ МОЗГА
Динамика и функции когнитивных сетей
Происхождение когнитивных сетей
Структура когнитивных сетей
Три раздела теории
Что такое мозг?
Что такое разум?
Как соотносятся мозг и разум?
Три основных вопроса теории
Метасистемный
Эписистемный
Системный
Три уровня когнитивных сетей
теория
Феноменология (от первого лица)
Психология (от третьего лица)
Нейробиология
Три предмета теории
Три вида когнитивных элементов
Метагруппа
Эпигруппа
Протогруппа
Три группы объясняемых феноменов
Сознание
Психика
Мозг
Три вида моделей
Физическая (материальная)
Математическая (формальная)
Семантическая (принципиальная)
Три установки познания
Галилеевский стиль
Эйнштейновская модель теории
Дарвиновский подход

III. ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Гиперсетевой принцип организации высших функций мозга

The Human Connectome





1. Любой мозг - это сеть

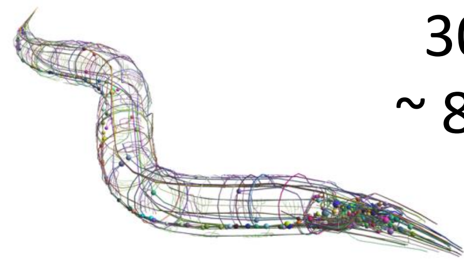
Anatomy
Klingler's method for fiber tract dissection uses freezing of brain matter to spread nerve fibers apart. Afterwards, tissue is carefully scratched away to reveal a relief-like surface in which the desired nerve tracts are naturally surrounded by their anatomical brain areas.

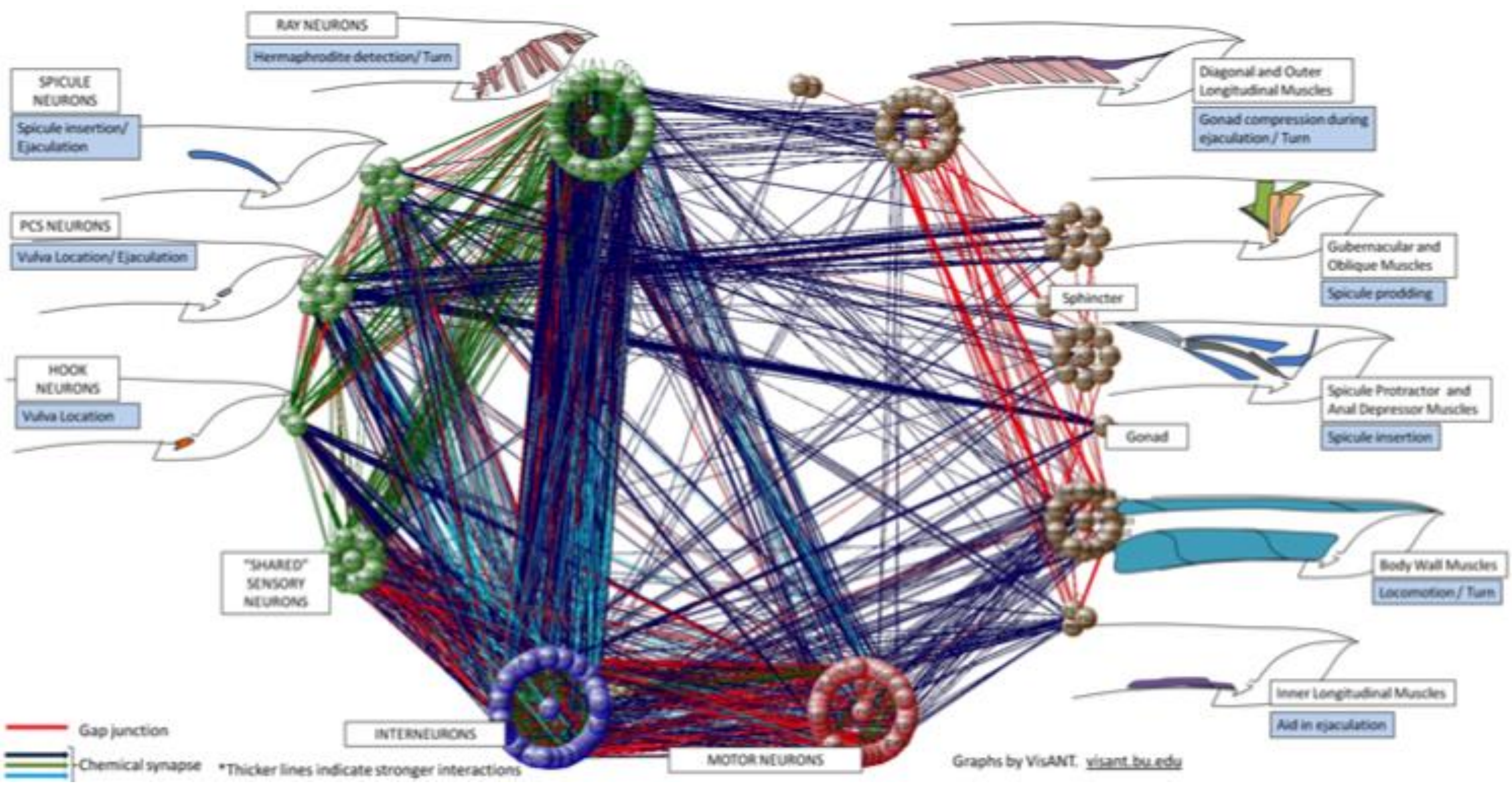
Connectome
Shown are the connections of brain regions together with "hubs" that connect signals among different brain areas and a central "core" or backbone of connections, which relays commands for our thoughts and behaviors.

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 neurolo-gists relate structure to function.

C. elegance neuronal connectome

302 neurons;
~ 8000 chemical synapses

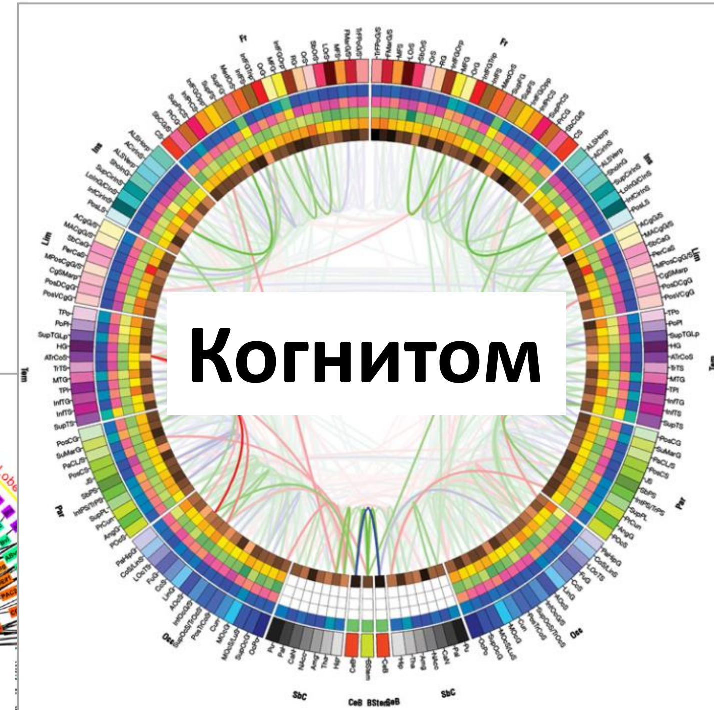




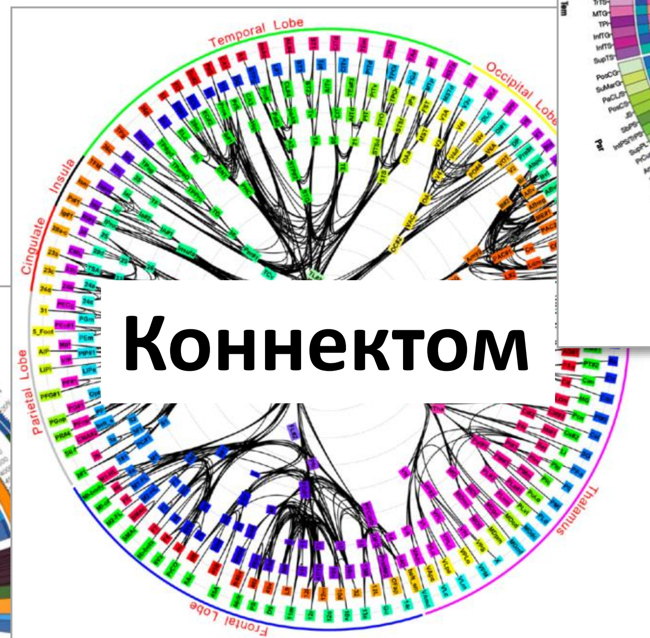
Почему сети - это так важно?

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

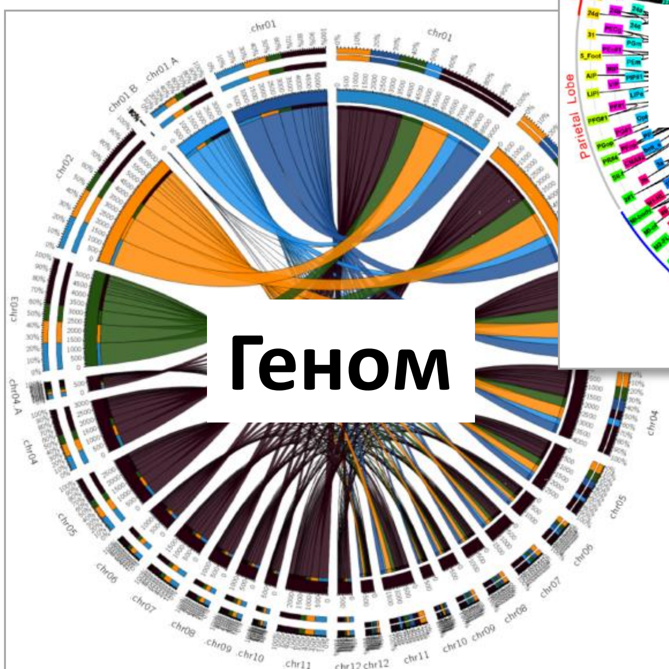
Butts CT. Revisiting the foundations of network analysis. *Science* 2009;**325**:414–6.



коги



нейроны



гены

2. Любой разум - это сеть

Ключевые принципы и понятия сетевой организации разума

№	Утверждения	Принципы	Понятия
1	Разум **гранулярен**	Разум обладает зернистой структурой и состоит *когов* - элементарных единиц опыта, кодирующих соотношение целого организма с теми или иными аспектами мира.	**ког**
2	Разум **увязан**	Элементы разума, *коги*, имеют между собой устойчивые связи – *коммы*, по которым осуществляются их коммуникации.	**комм**
3	Разом **целостен**	*Коги* и *коммы* образуют сеть – *когнитом*. Когнитом является субстратом субъективного опыта организма, опосредующего его соотношения со средой.	**когнитом**

Разум **реален** – он способен вступать в информационно-каузальные взаимодействия, опосредующие соотношения организма с проблемной средой.

Ведение представления об элементах когнитома - **когах** (когнитивных группах)

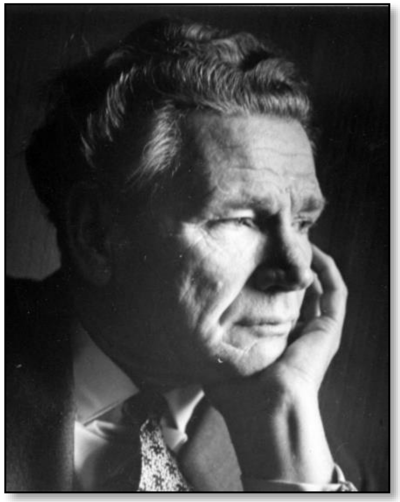
Когнитом состоит из когнитивных частиц, **когов.**

Понятие «ког» имеет двойной смысл.

- В английском языке «**cog**» – это подчиненная, но интегральная часть целой системы. **Ког** –такая единица качественно специфического опыта, ментальный квант в совокупной системе когнитома.
- КОГ – это когнитивная группа нейронов (**COgnitive Group** – COG), активность которой обуславливает данный специфический опыт.

Коги (когнитивные группы) в когнитоме

Концепция **когов** обобщает представления теории **функциональных систем** П.К.Анохина (1935) и теории **клеточных ансамблей** Д. Хебба (1949), выводя возникновение вторых из активности и эволюции первых.



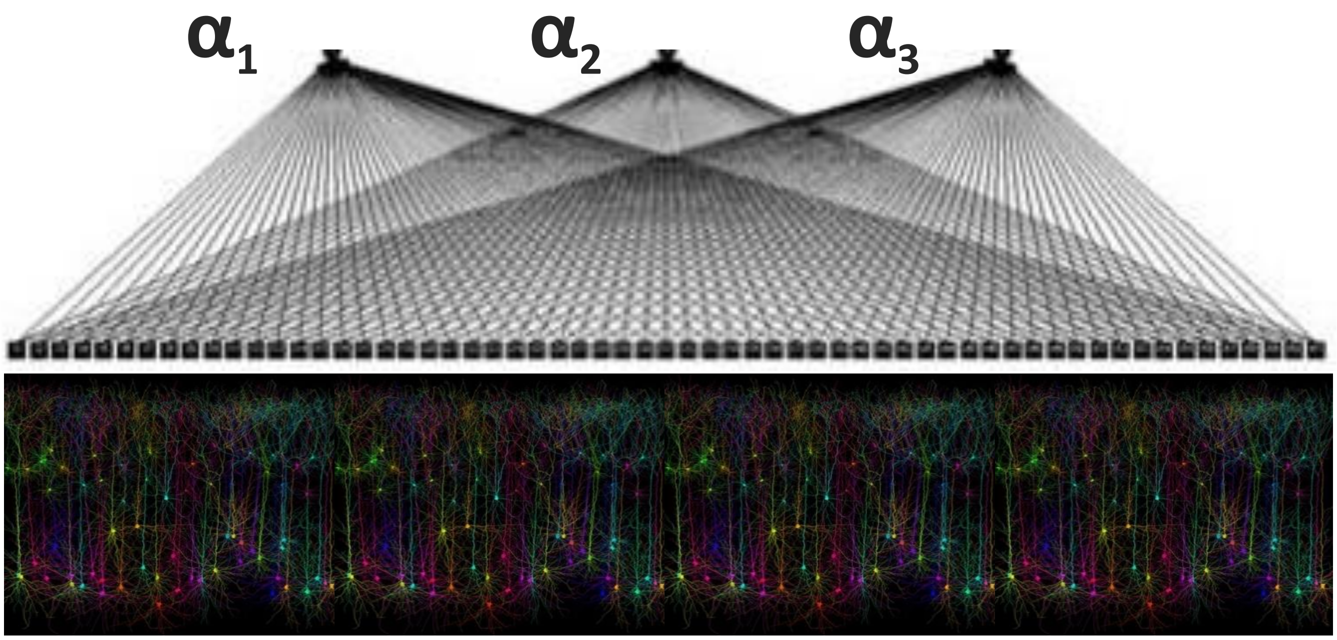
П.К.Анохин
(1898-1974)

D.O.Hebb
(1904-1985)

Этим она также объединяет традиции движения к когнитивным структурам с одной стороны от биологии и адаптивных физиологических интеграций (*русские психофизиологические школы*), а с другой – от психологических феноменов и функций (*англо-американские психофизиологические школы*).

Нейронное кодирование когов

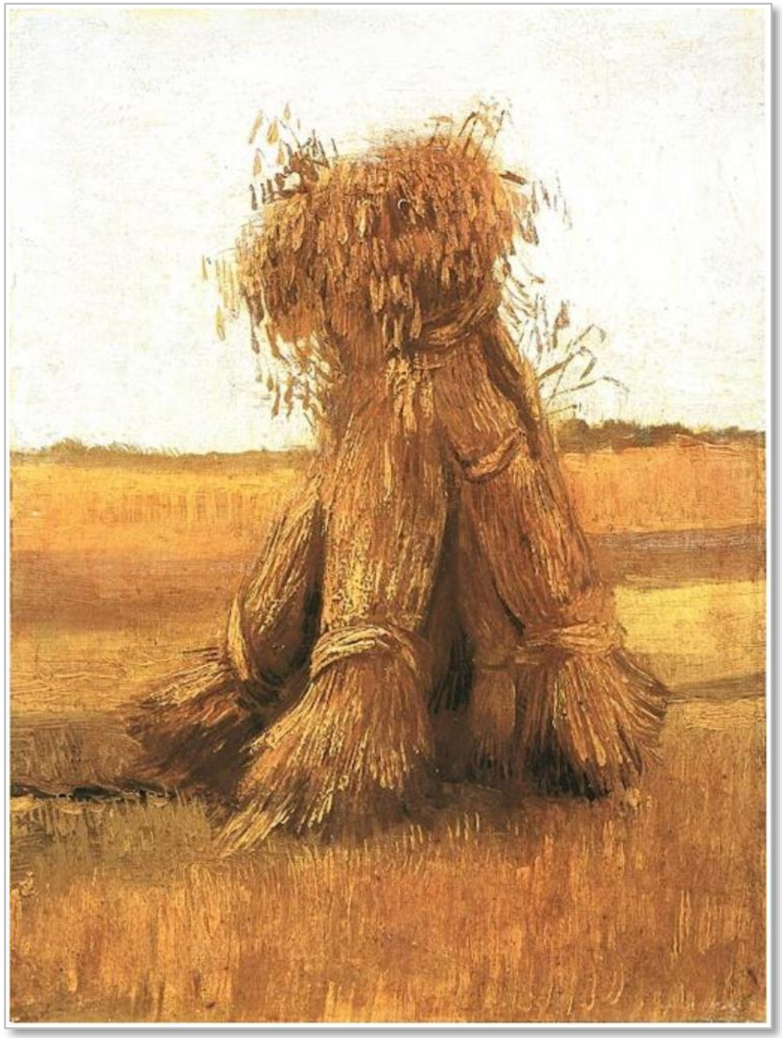
Ког как нейронная **КО**гнитивная **Г**руппа (**КОГ**)

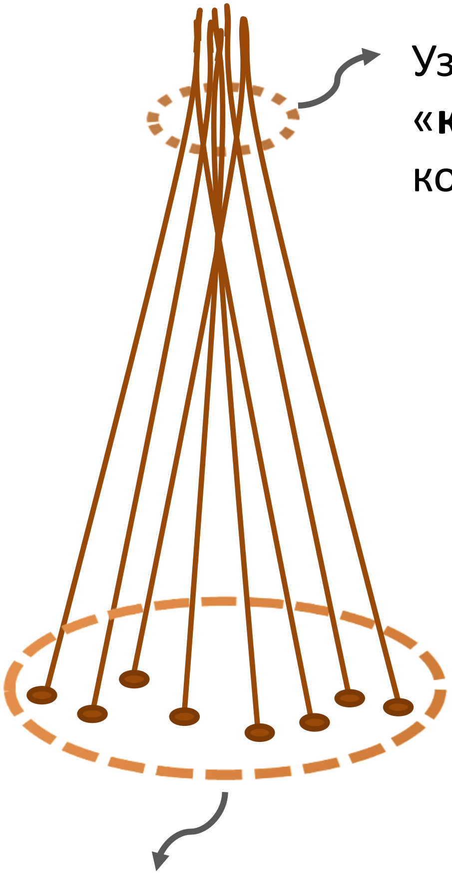


Когнитом:
α-коги
(функциональные системы)

Коннектом:
нейроны

Любой ког может быть описан как сноп …



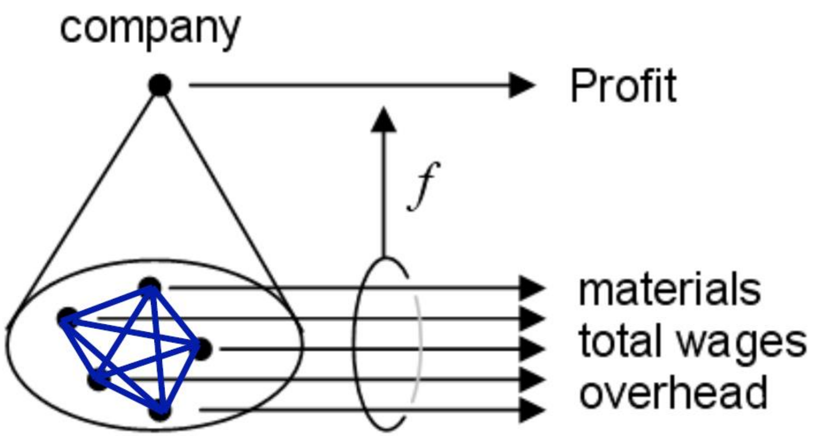


Узел:
«**ког**» - элемент
когнитома

Основание: нейронная
КОгнитивная Группа (**КОГ**)

…или как гиперсимплекс в гиперсети

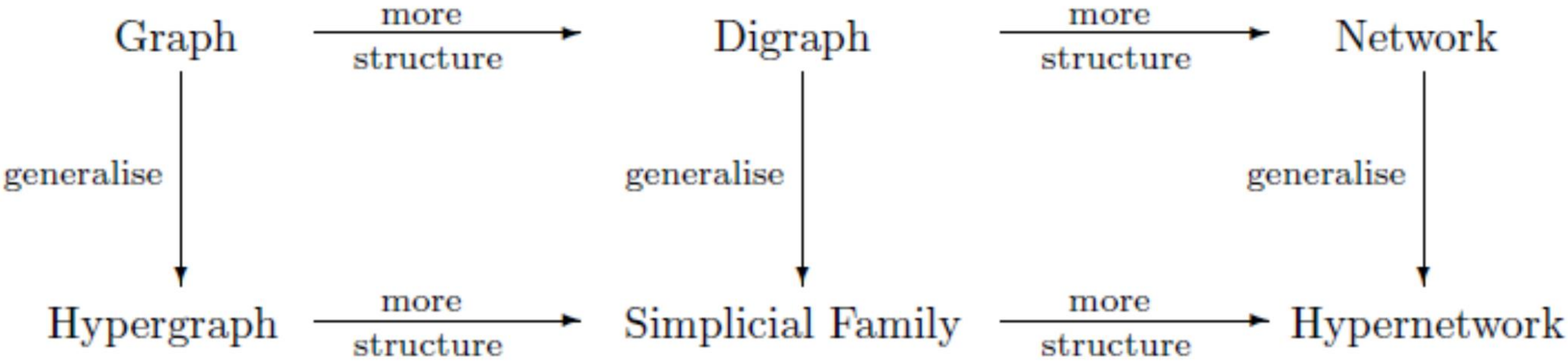
Гиперсети обобщают понятия сетей и гиперграфов и состоят из геометрических структур, известных как **реляционные симплексы** или **гиперсимплексы.**



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 это:

Hypernetworks are a natural extension of graphs, hypergraphs and networks



Также как **когнитом** не является результатом сложения представлений различных дисциплин когнитивной науки, также и **гиперсети** не вытекают из синтеза различных представлений науки о сетях. Это качественно иная теория.

Гиперсети это:

Гиперсети – это сети, сетей, сетей…

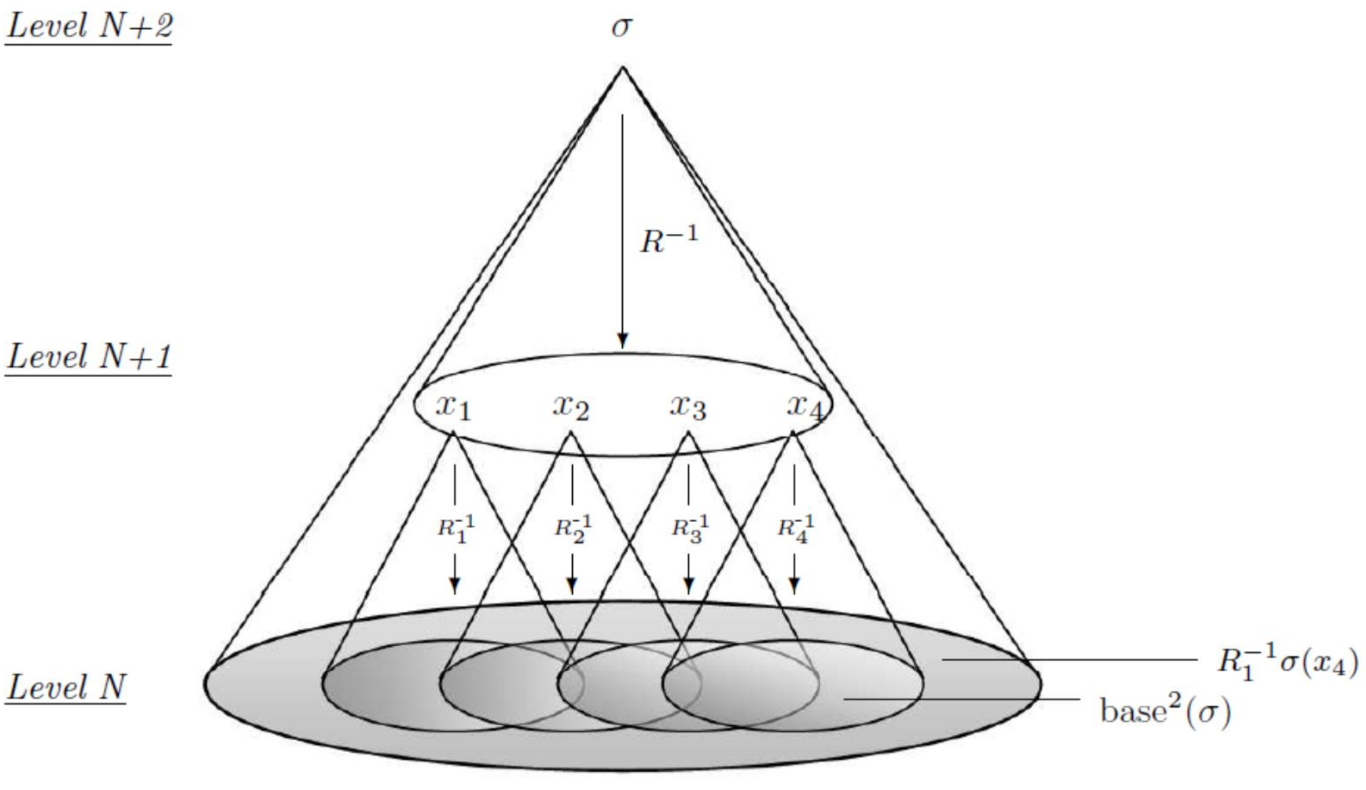


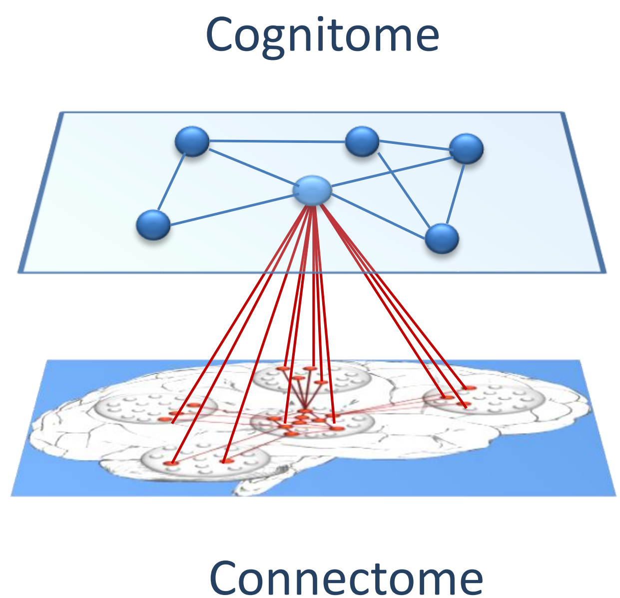
Fig. 9.10 $\text{base}^2\sigma = \bigcup_{x_1 \in R^{-1}\sigma} R_i^{-1}\sigma(x_i)$

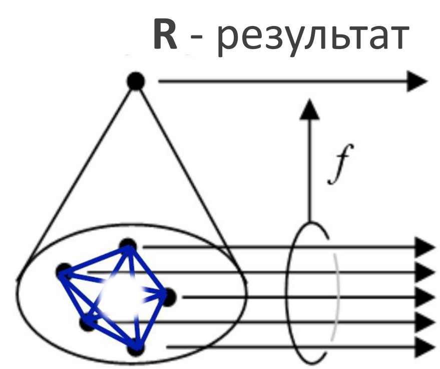
Когнитом как гиперсеть

Когнитом можно теоретически описать как **когнитивную гиперсеть головного мозга**

Ког представляет из себя гиперсимплекс, основание которого образовано нейронной когнитивной группой, а вершины образует узел в когнитивной гиперсети – **когнитоме**.

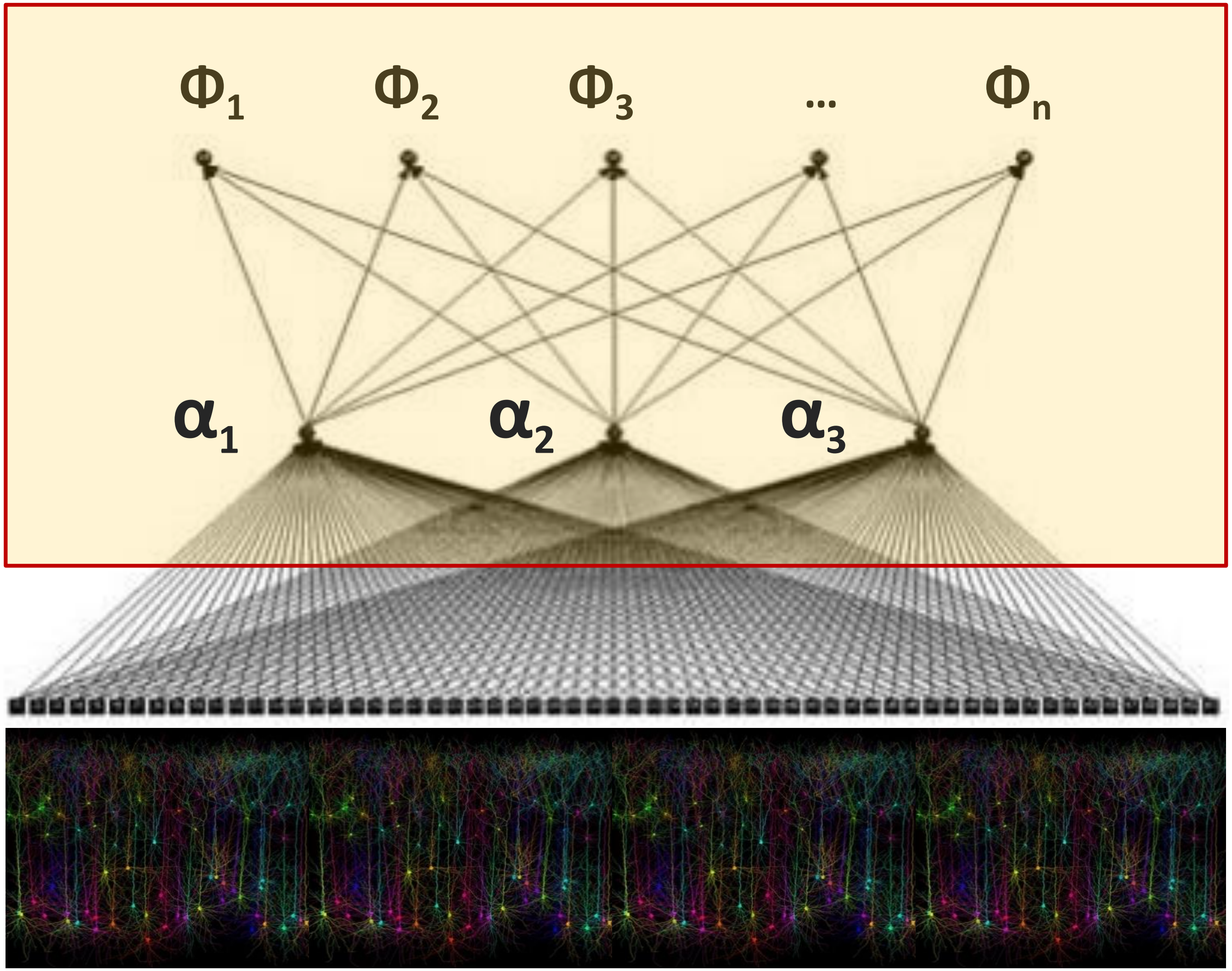
Вершина кога приобретает *имя*. Оно соответствует *когнитивной информации*, несомой данным когом.





3. Разум - это гиперсеть мозга

Когнитом имеет многослойную структуру



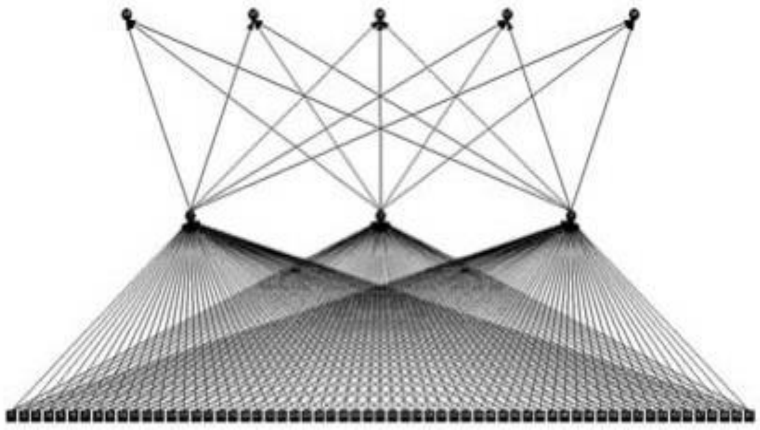
Когнитом, слой II:
φ-коги
(элементы феноменального опыта)

Когнитом, слой I:
α-коги
(функциональные системы)

Коннектом:
нейроны

Три главных ответа теории

№	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 человека** – это МНОГОУРОВНЕВАЯ структура: сеть сетей нейрональных сетей;
- **Сознание** – это ТРАФФИК в этой структуре.

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

Исследовательские вопросы

	α	ψ	ϕ
ВОПРОСЫ СТРУКТУРЫ			
Ког и его специфические когнитивные свойства	+	+	+
Кодирование когов как нейронных когнитивных групп	+	+	+
Какова природа связей между когами?	+	+	+
ВОПРОСЫ ПРОИСХОЖДЕНИЯ			
Как новые коги возникают при обучении?	+	+	+
Как коги возникают при развитии нервной системы?	+	+	
Как коги возникают в эволюции?	+	+	
Как устанавливаются связи между когами в когнитоме?	+	+	+

Благодарю
за внимание!