

*Центр нейронаук и когнитивных наук
МГУ*



Теория сложных сетей как мост между физикой и нейронаукой

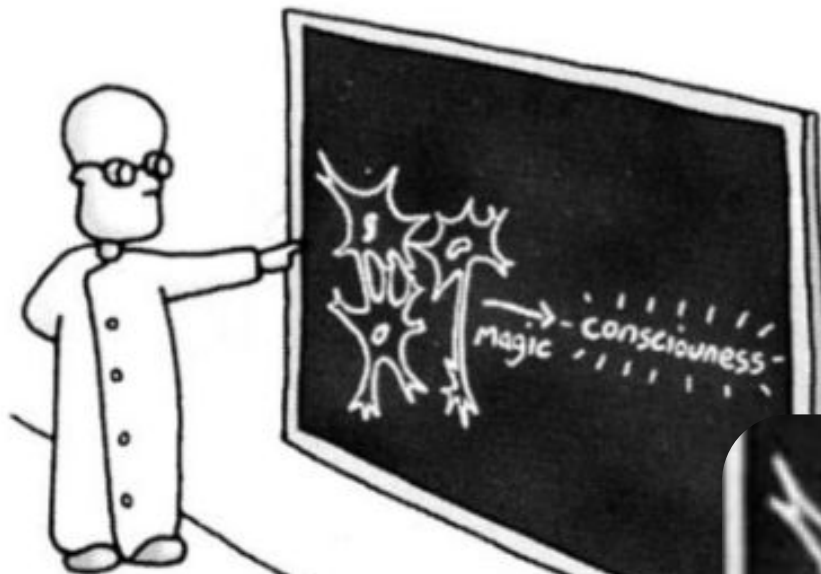
Поспелов Никита Андреевич

Физический факультет МГУ им. М.В.
Ломоносова

Санаторий РАН «Звенигородский»

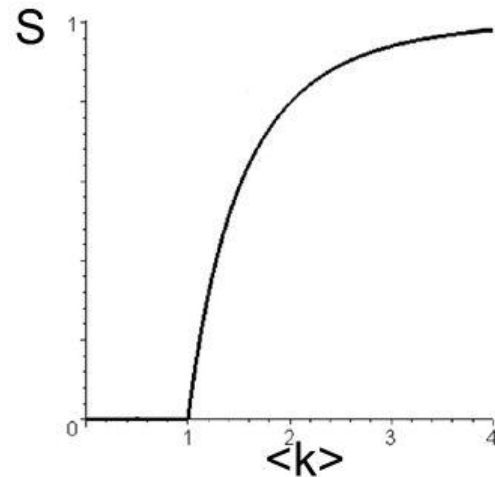
21.10.2018

Нейробиология и теория сознания

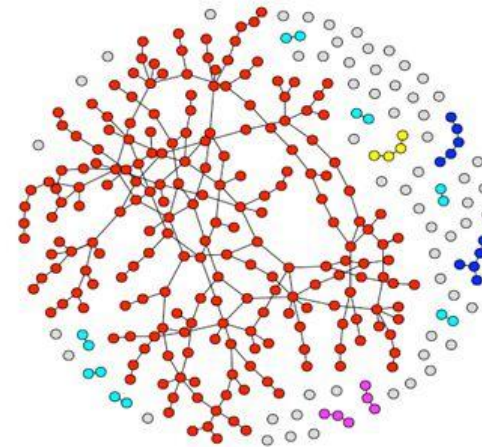


0. Фазовый переход в графе Эрдеша - Реньи

Connectivity ("Percolation") of Random Graphs



S : the fraction of nodes in the giant component, $S=N_{GC}/N$

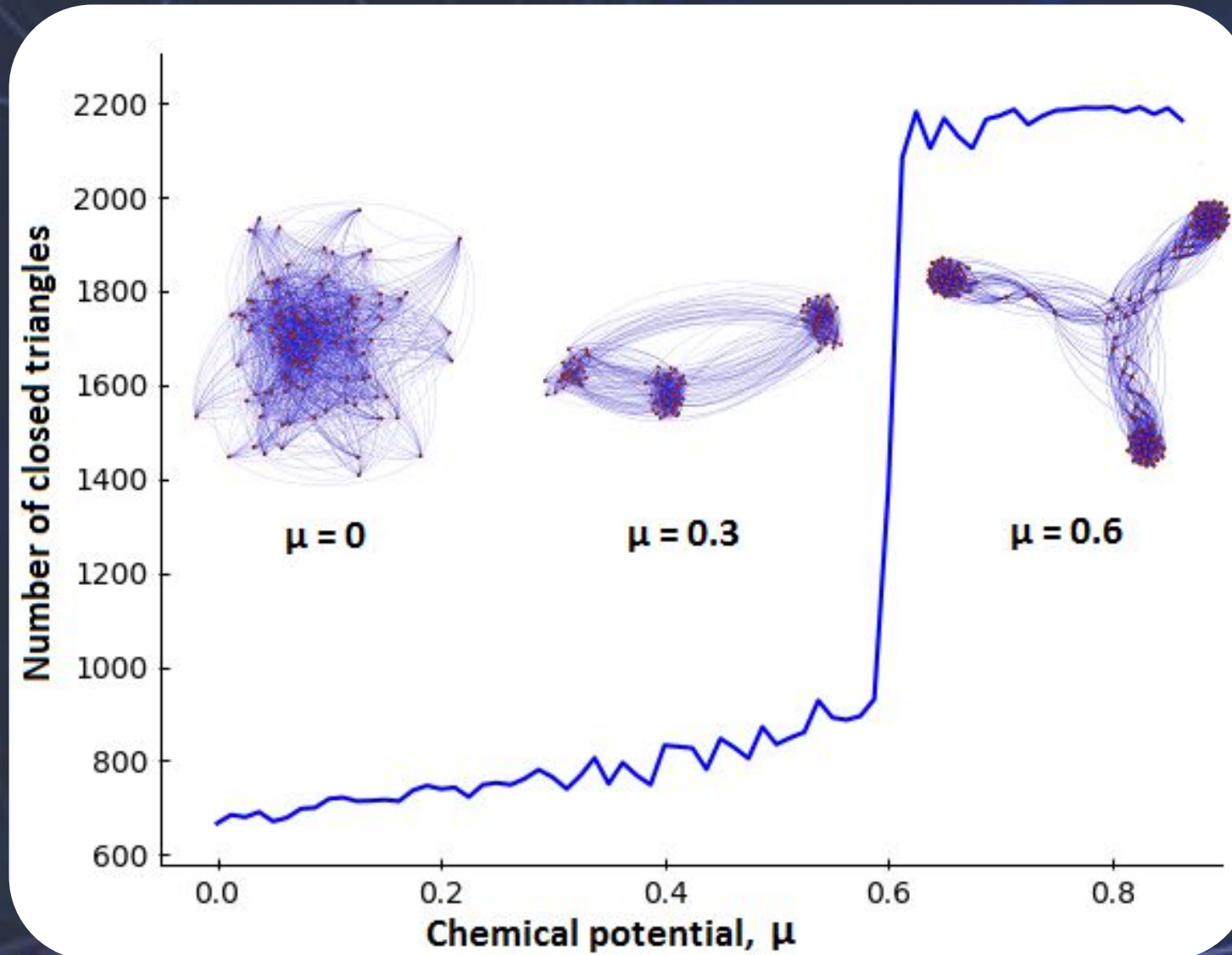


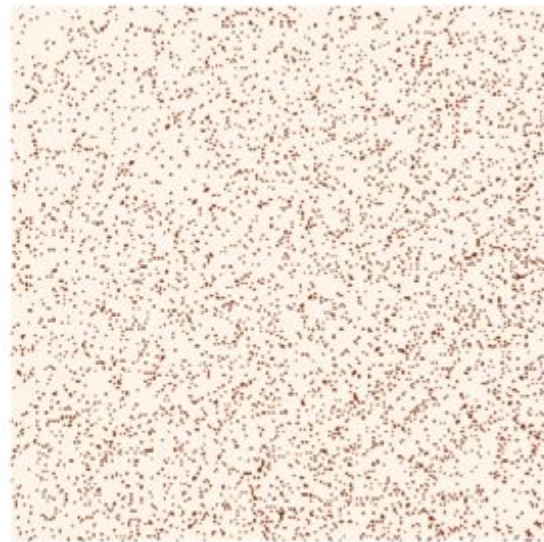
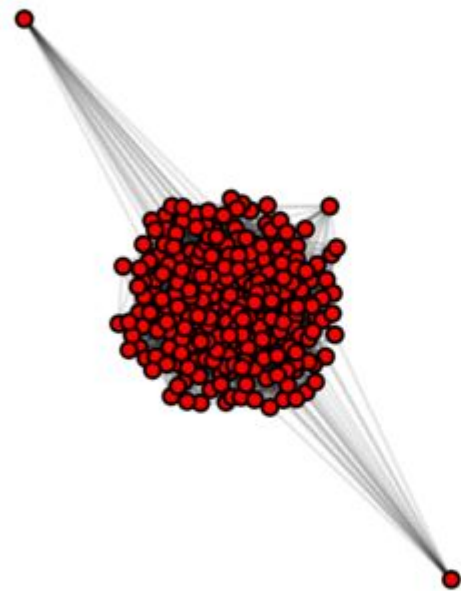
there is a phase transition at $\langle k \rangle = 1$:

- ❖ for $\langle k \rangle < 1$ there is no giant component
- ❖ for $\langle k \rangle > 1$ there is a giant component
- ❖ for large $\langle k \rangle$ the giant component contains all nodes ($S=1$)

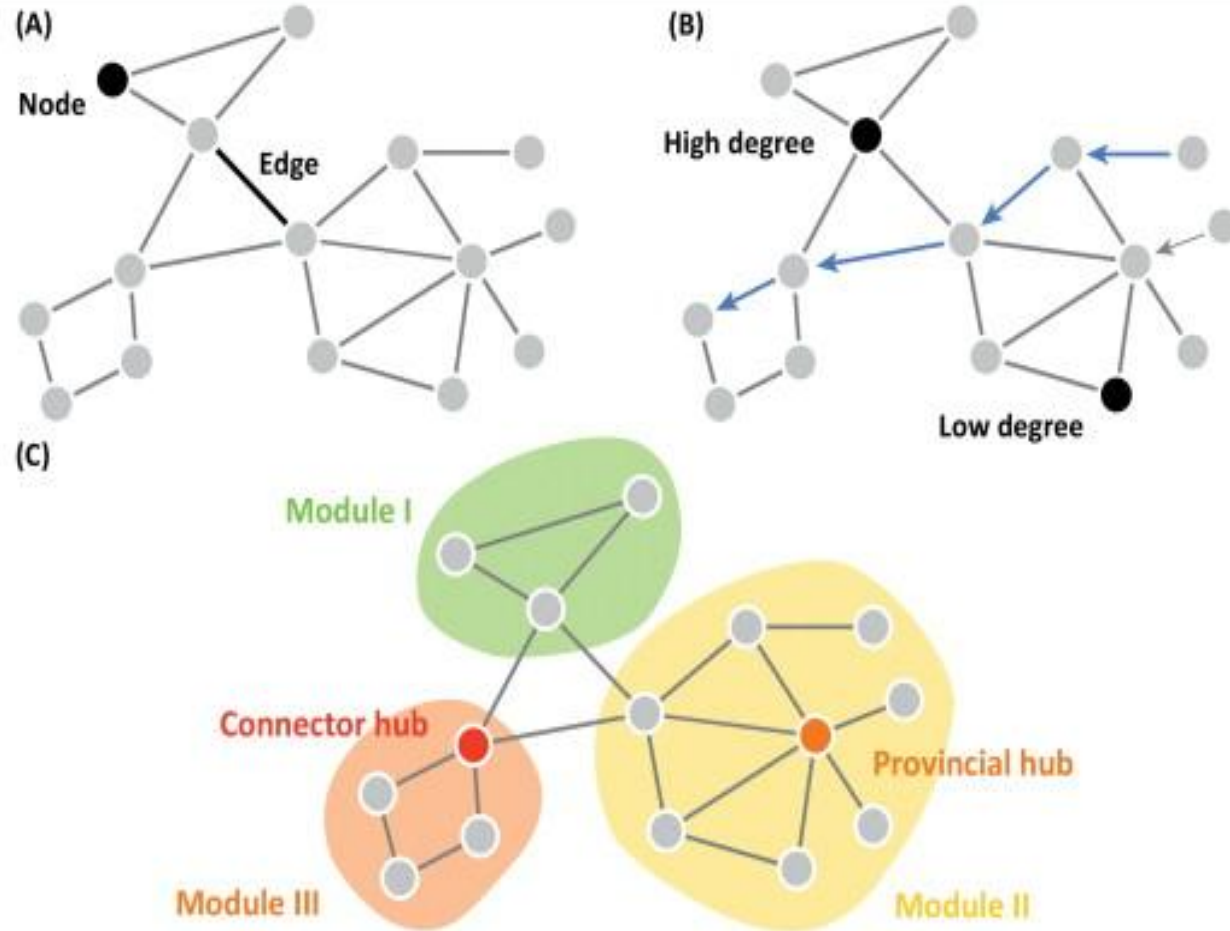
<http://linbaba.files.wordpress.com/2010/10/erdos-renyi.png>

1. Эволюция случайной сети в сторону увеличения кластеризации

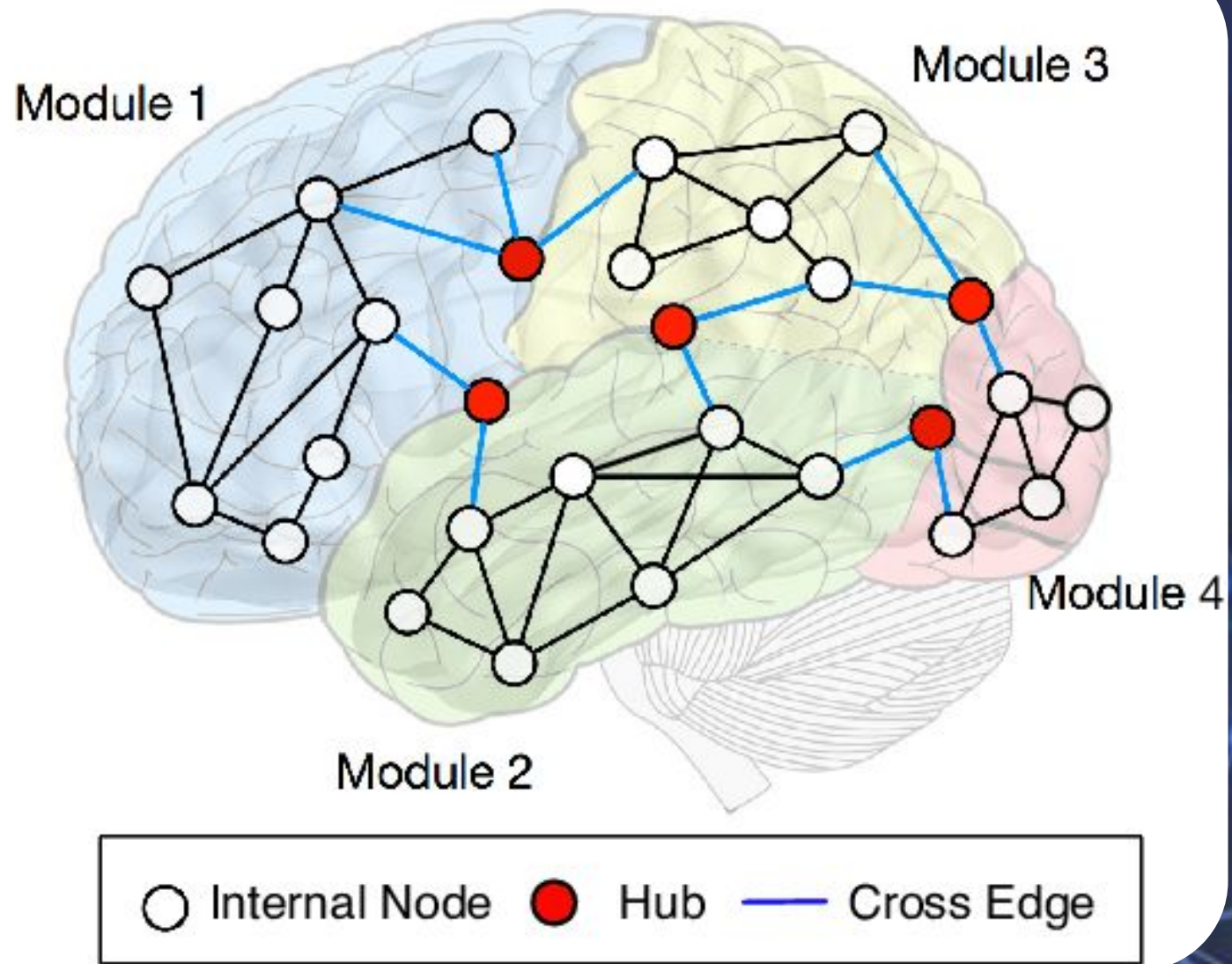




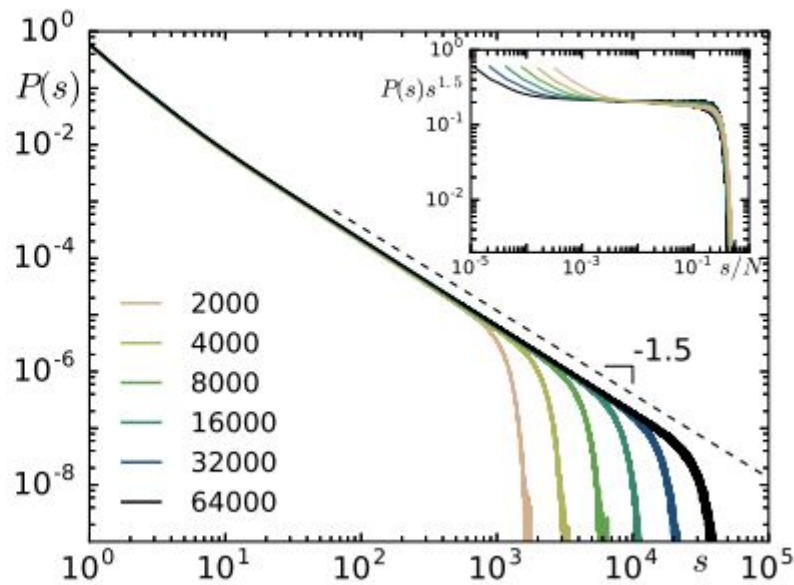
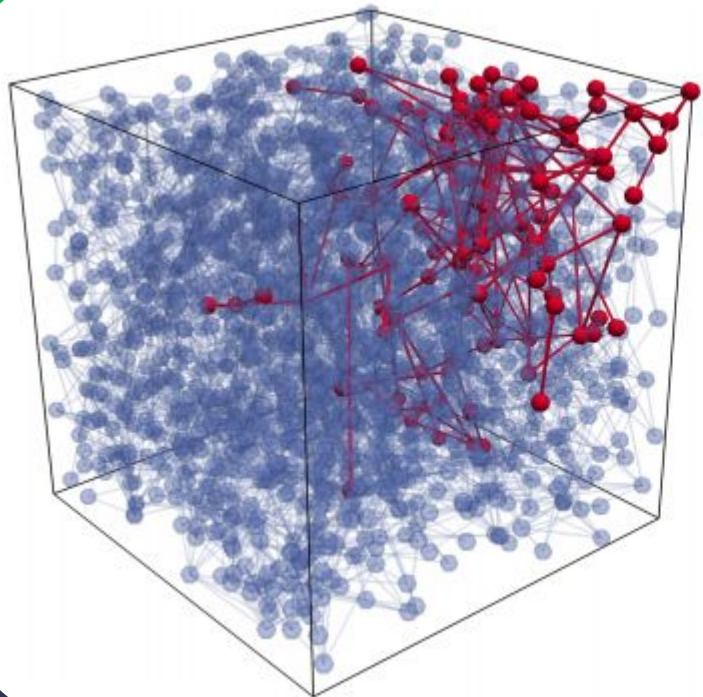
Структура кластеризованной сети мозга



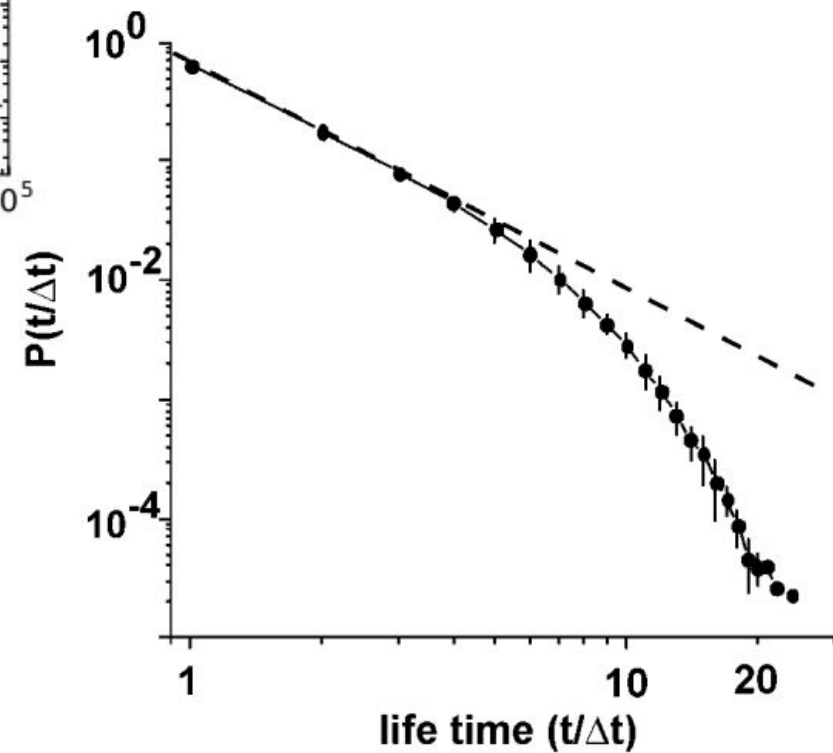
Структура кластеризованной сети мозга



2. Распределение лавин в модельной и реальной сети

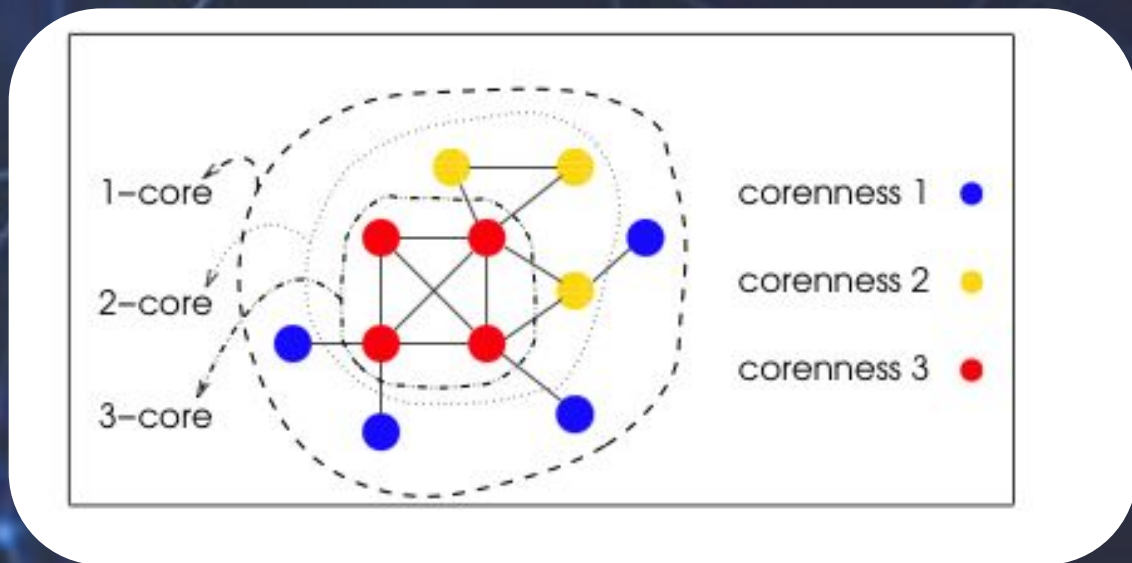


Avalanches in Barabashi-Albert networks

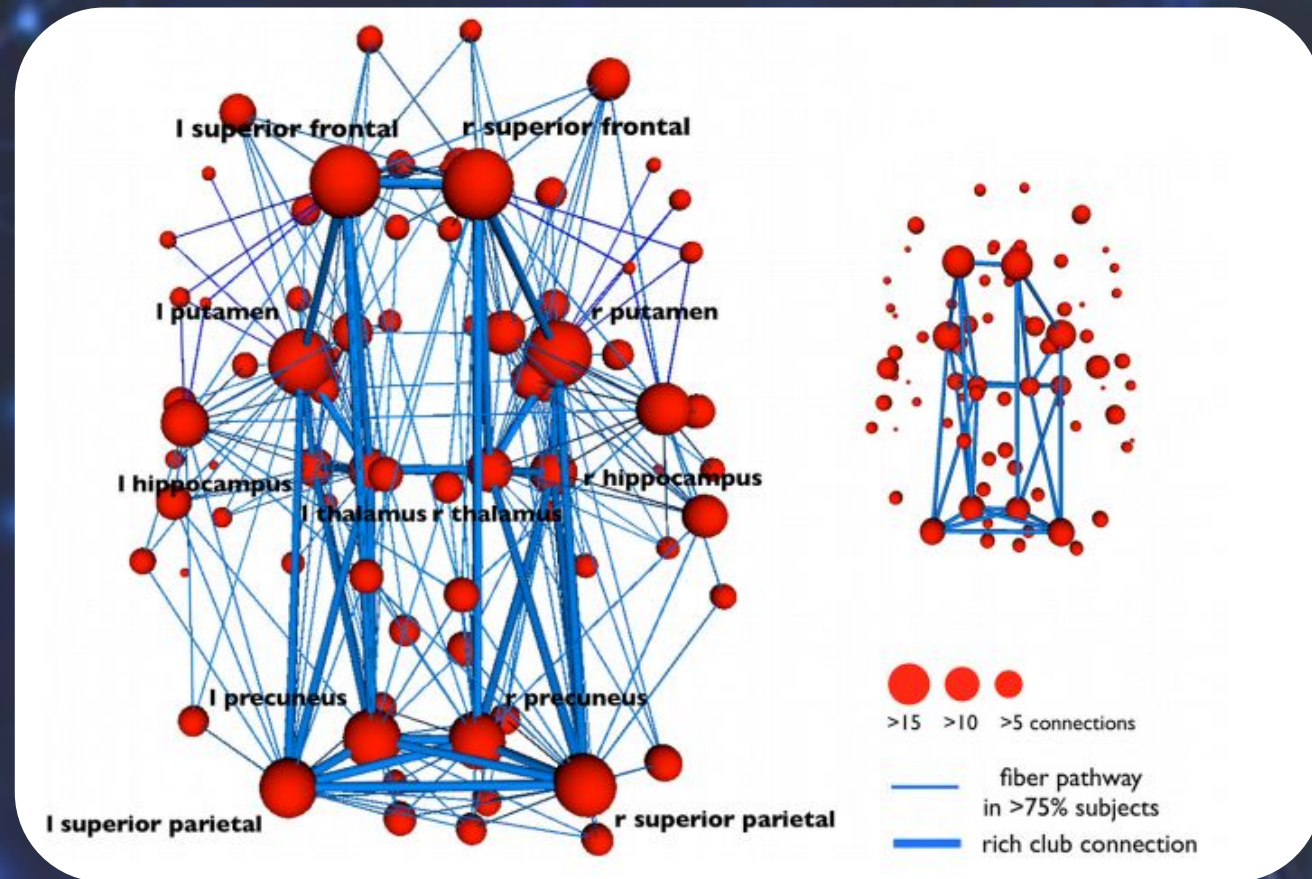


Avalanches in neuronal cultures

3. «Клуб избранных» в сетях



K-core



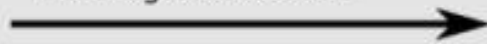
Rich club

A.

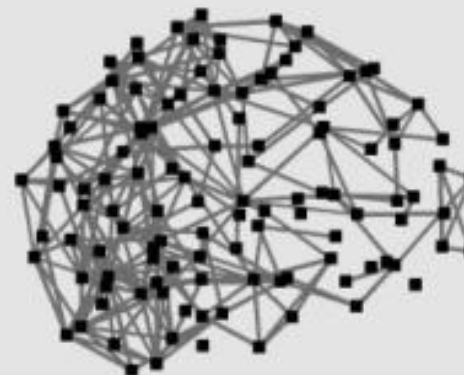
Parcellation



Gray-matter correlation
Diffusion-imaging tractography
BOLD-signal correlation



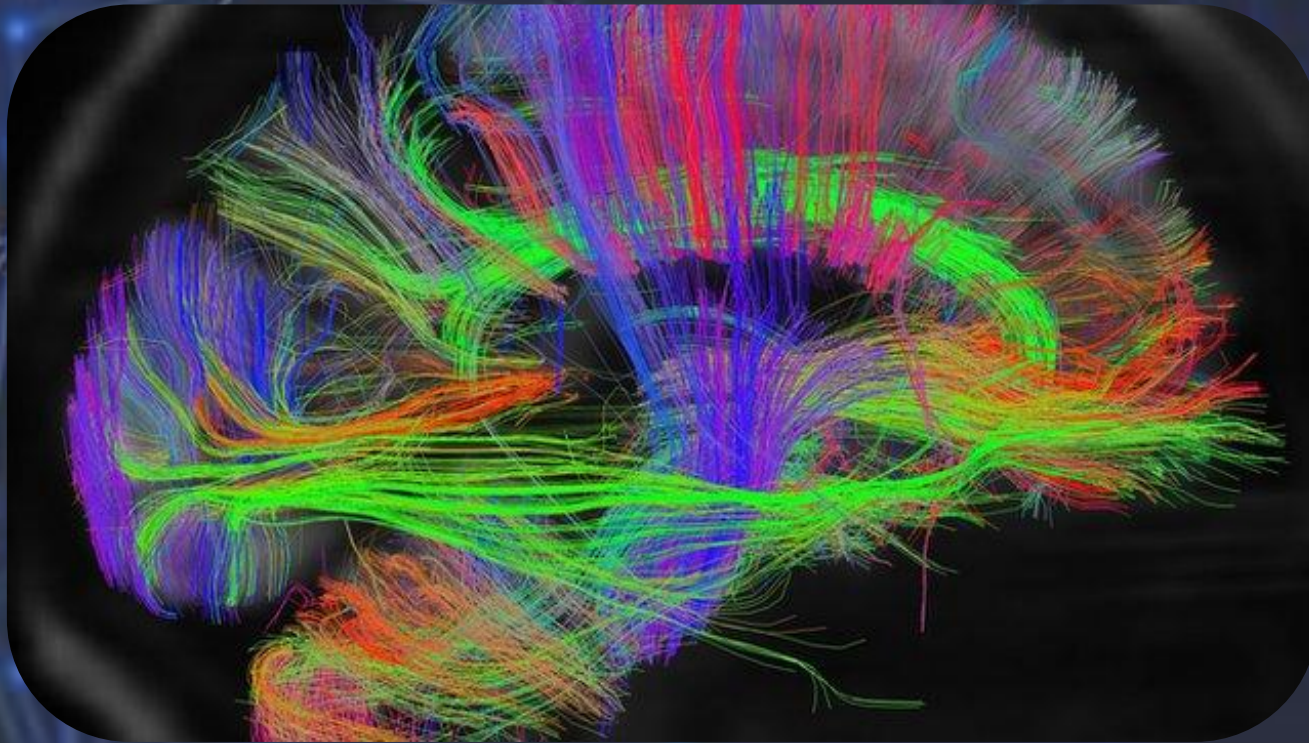
Network



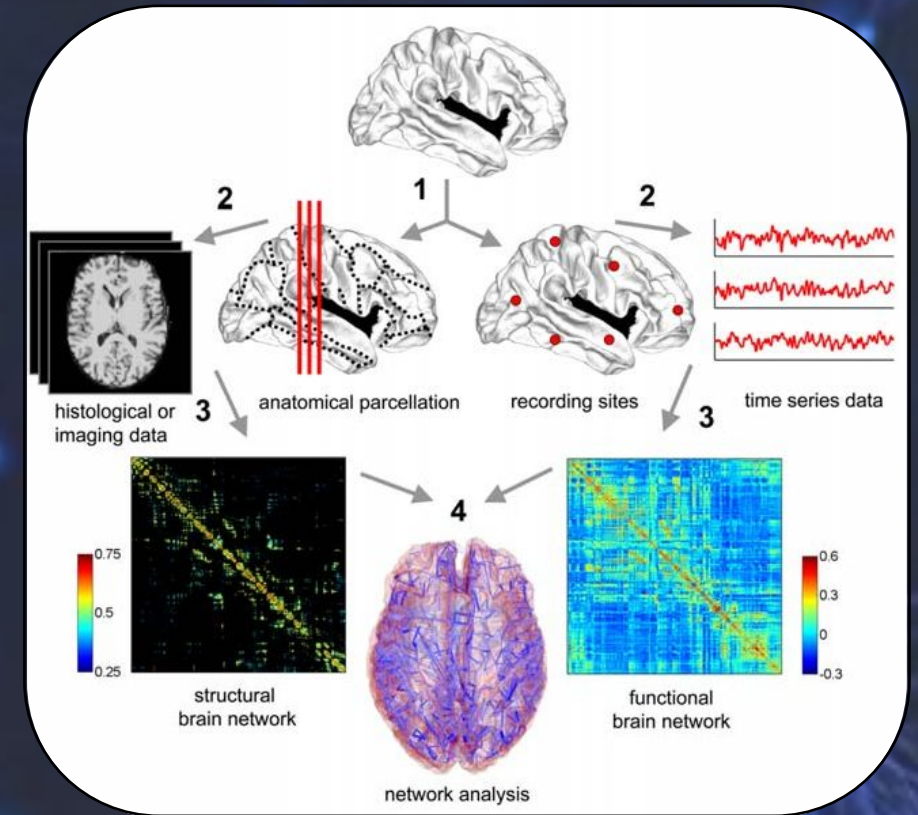
Структурные (анатомические) сети – массив структурных связей между нейронами, их группами или большими областями мозга

Функциональные сети – массив статистических корреляций между областями, на которые разбивается мозг или его часть

Сетевой анализ мозга



Визуализация
коннектома



Получение сетей разного типа

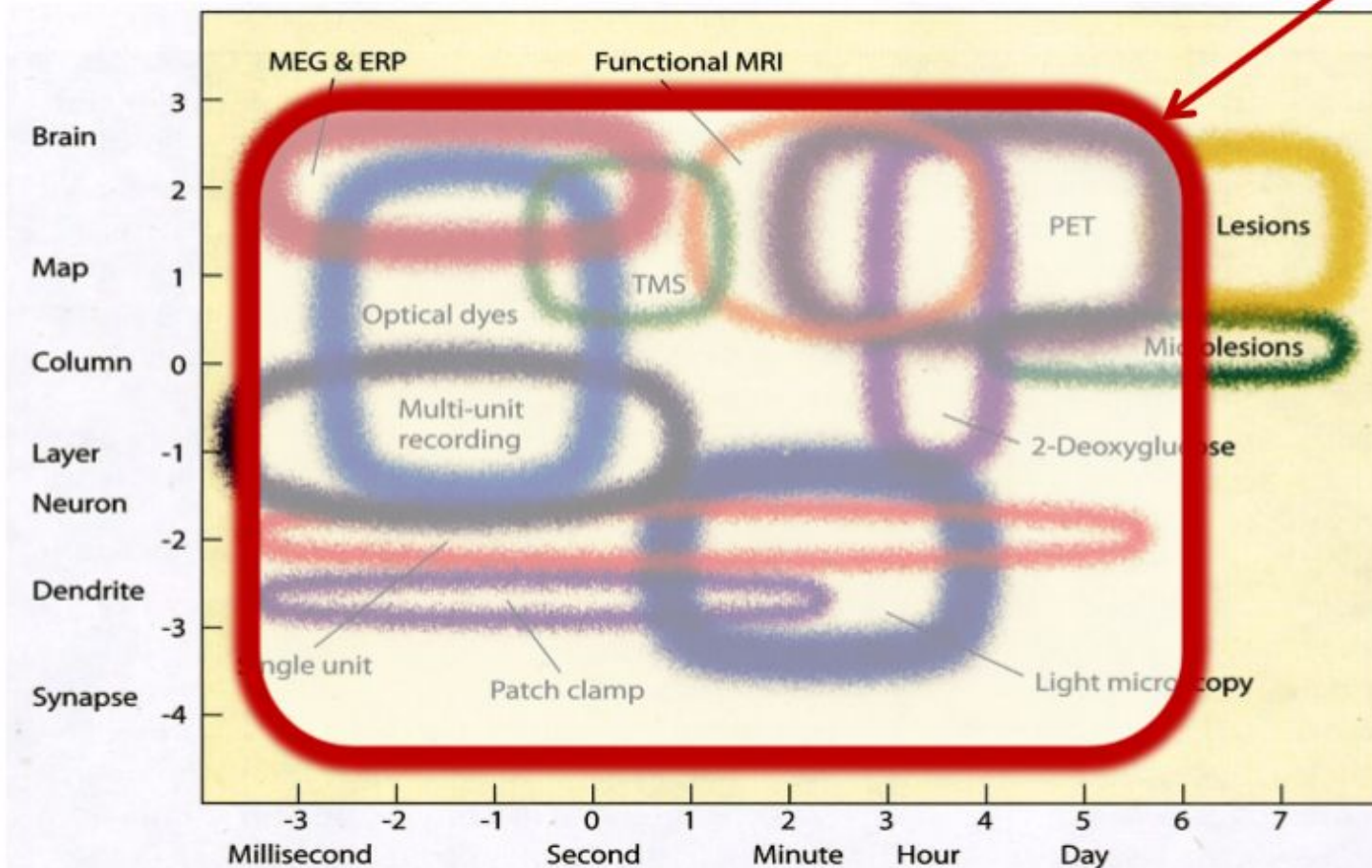
Современное состояние методов регистрации

Разрешение - индивидуальные нейроны

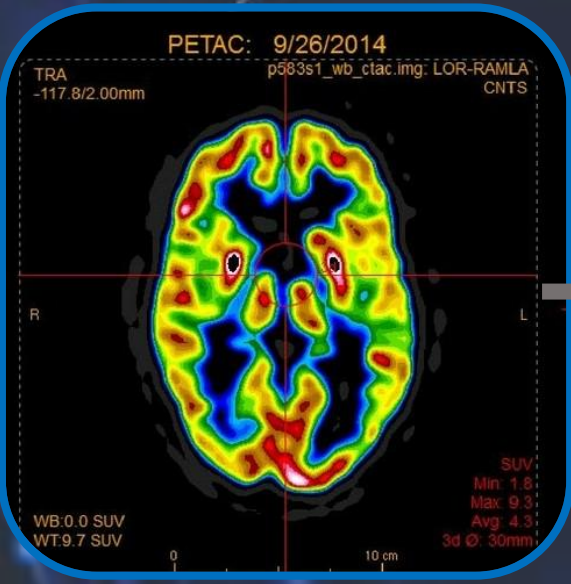
Масштаб - весь мозг

Динамика - в ходе поведения и когнитивной активности

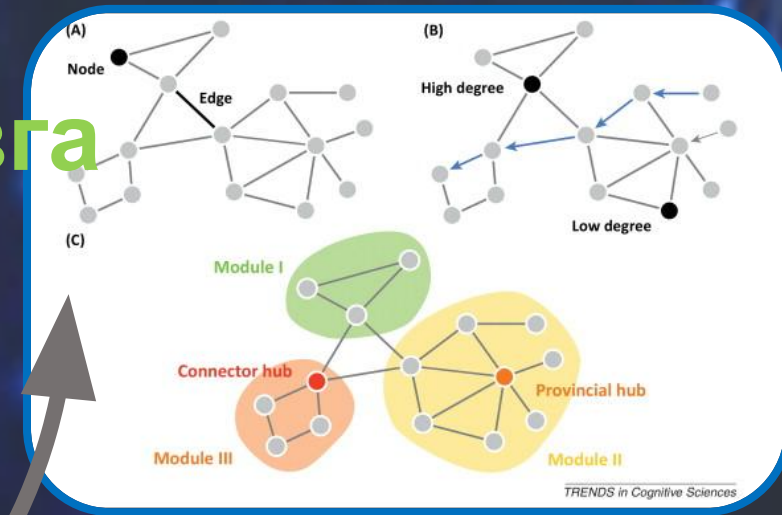
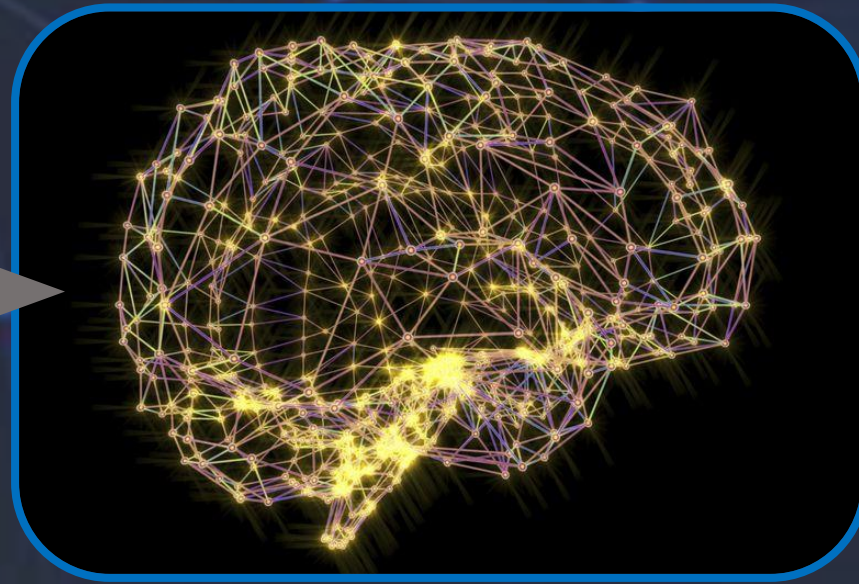
недостающая технология



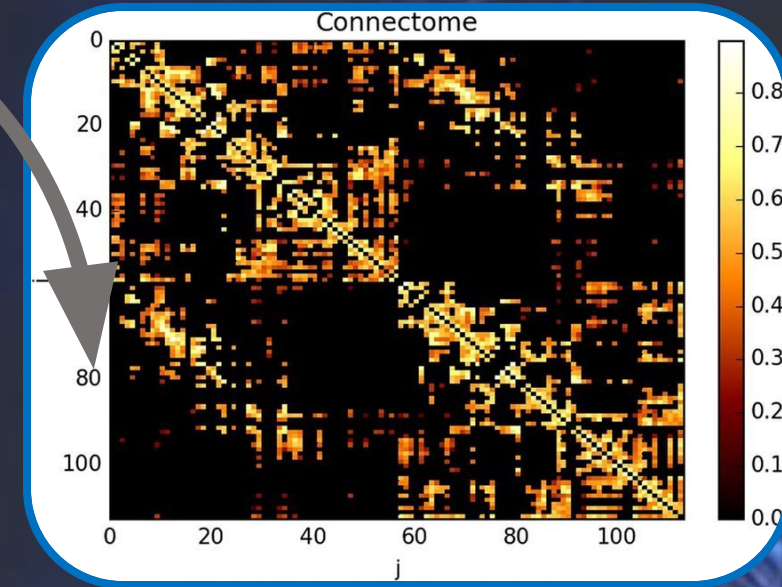
Математический анализ сетей мозга



Набор изображений или анатомических данных

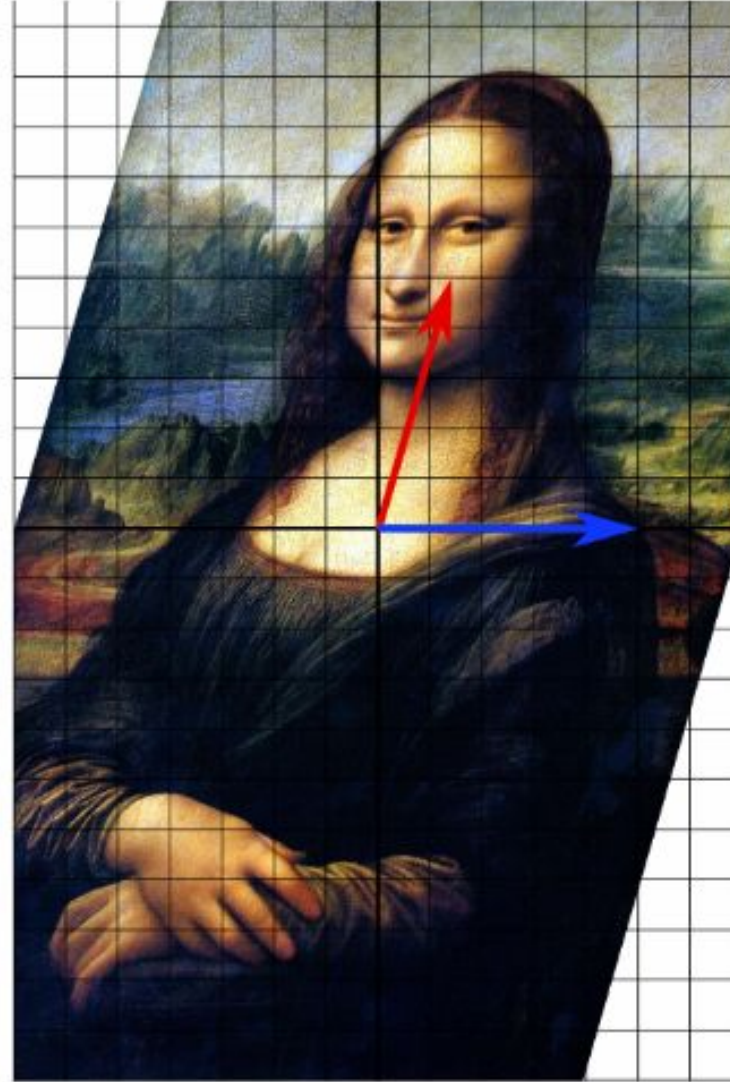
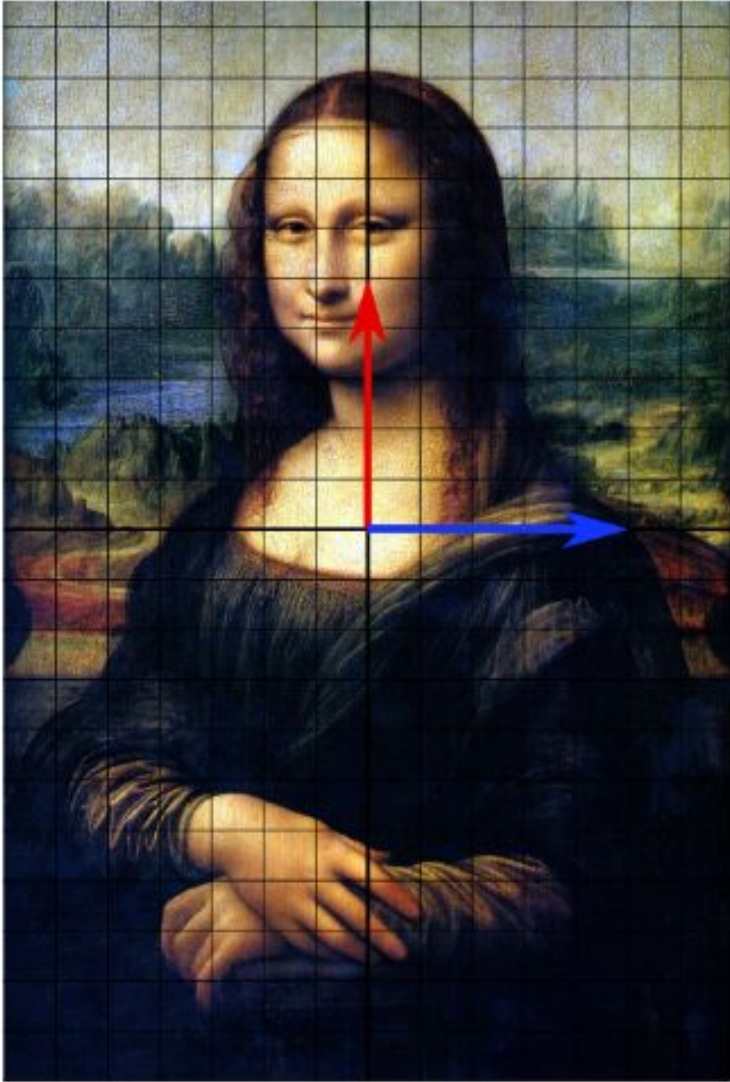


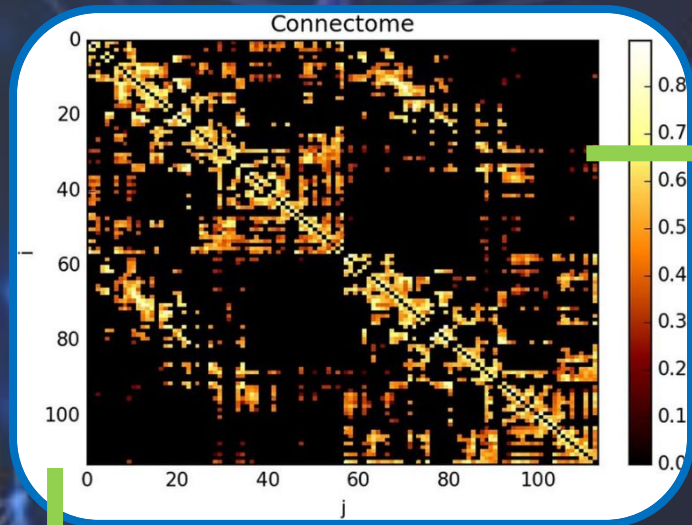
Теория сложных сетей (локальные свойства)



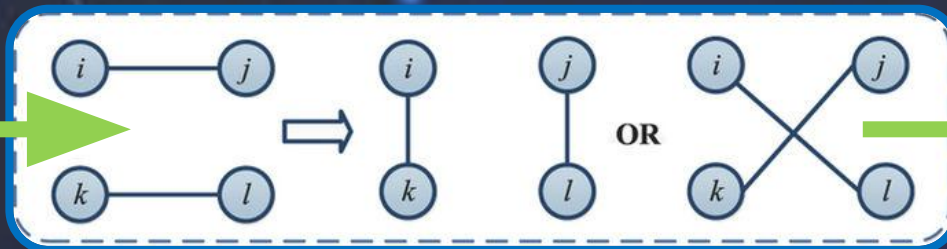
Спектральная теория графов (глобальные свойства)

Собственные вектора & собственные значения





Матрица A
исходной сети



Алгоритмы
рандомизации



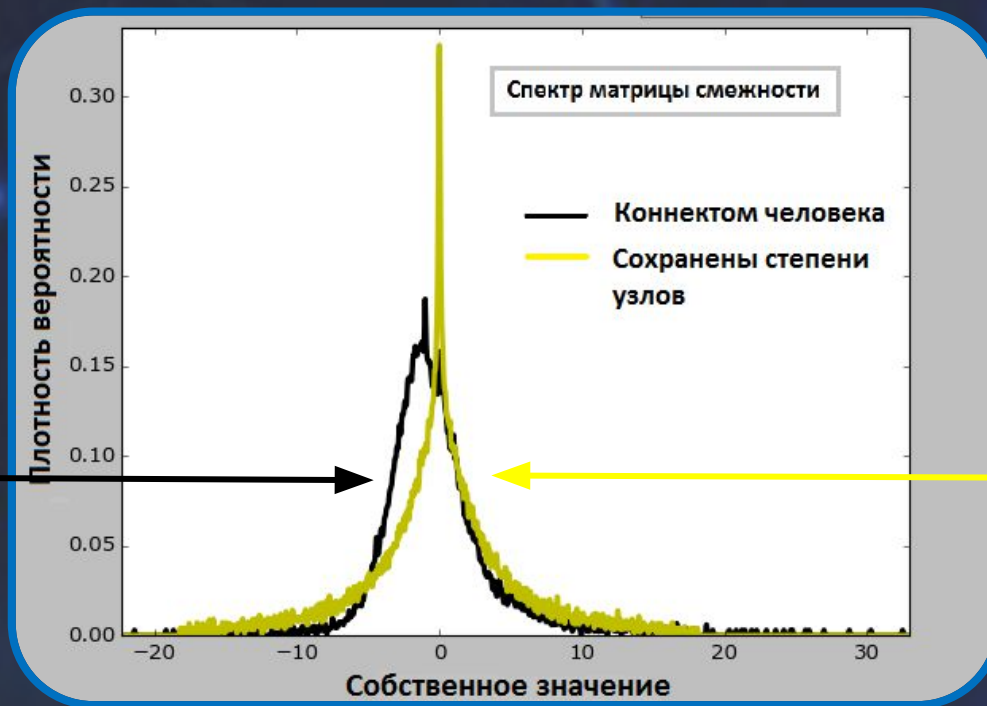
Матрица A'
рандомизированной сети

$$\det(A - \lambda I) = 0$$

$$\det(A' - \lambda I) = 0$$

Собственные
значения

Собственные
значения



Спектр
сети

Полученные результаты

1. Сильные отличия коннектома человека от рандомизированной копии (в ср. с другими)



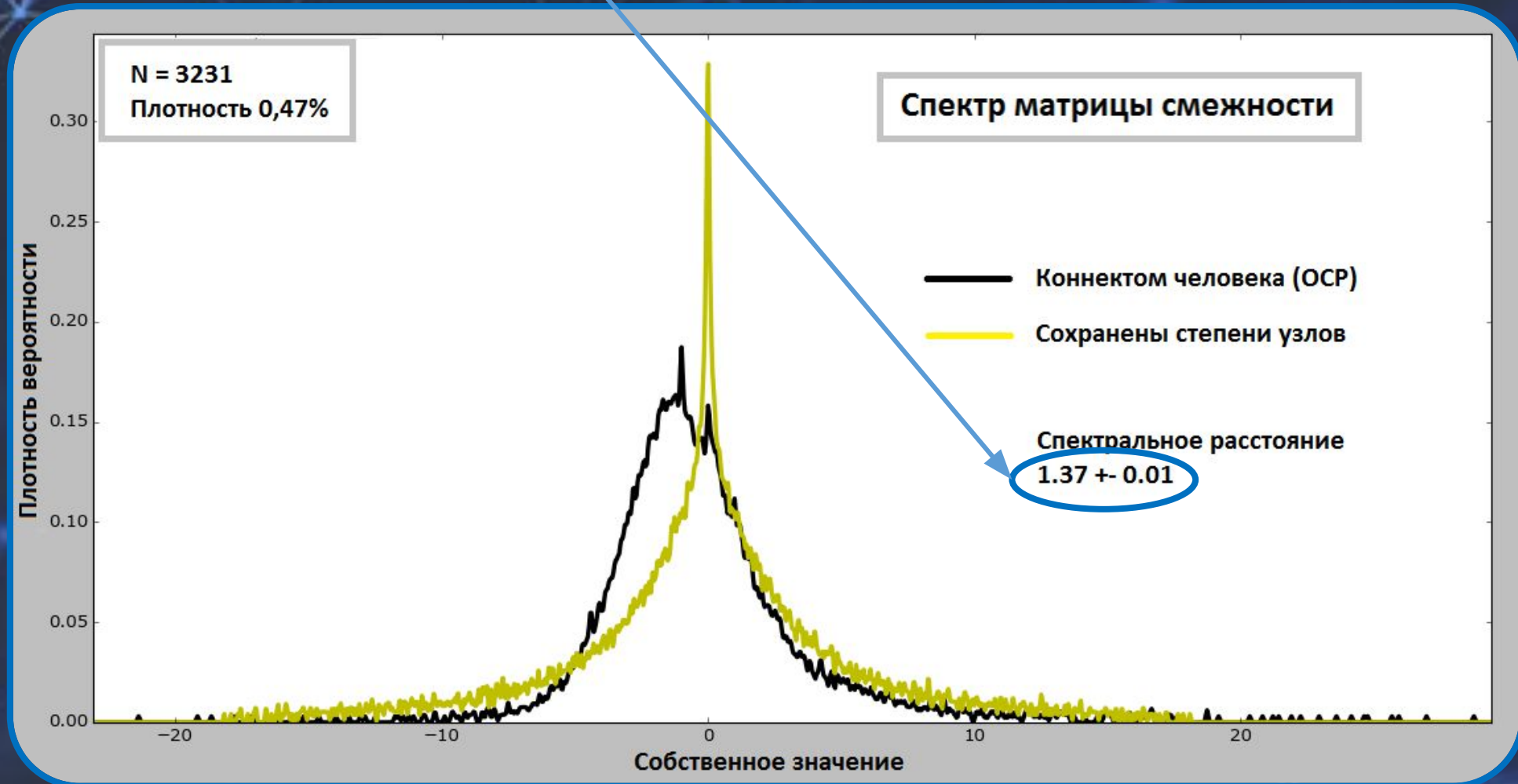
Спектр коннектома макаки и его рандомизированной копии

Сильно ли отличаются ли спектры сетей разных организмов от своих случайных аналогов?



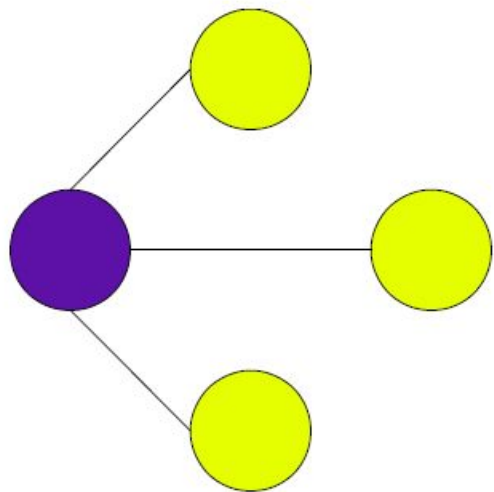
Спектр коннектома нематоды C.elegans и его рандомизированной копии

Коннектом человека сильнее отличается от своей случайной копии

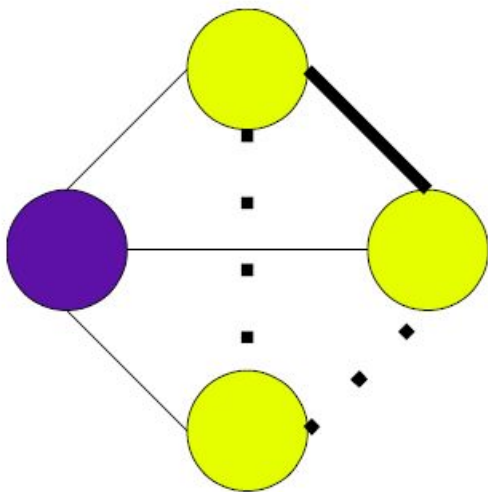


Спектр коннектома человека и его рандомизированного аналога

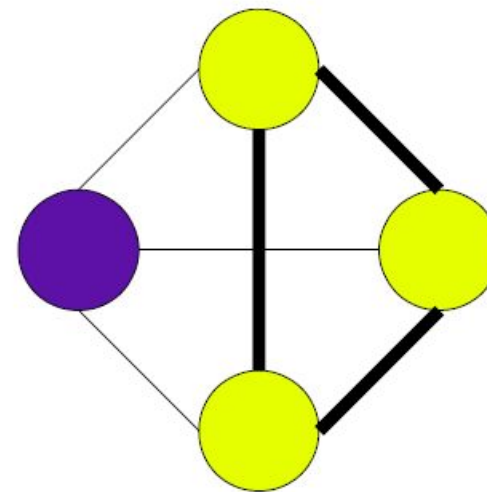
2. Локальная кластеризация оказывает важное влияние на спектр



(a) Нет связей между соседями: $C = 0$



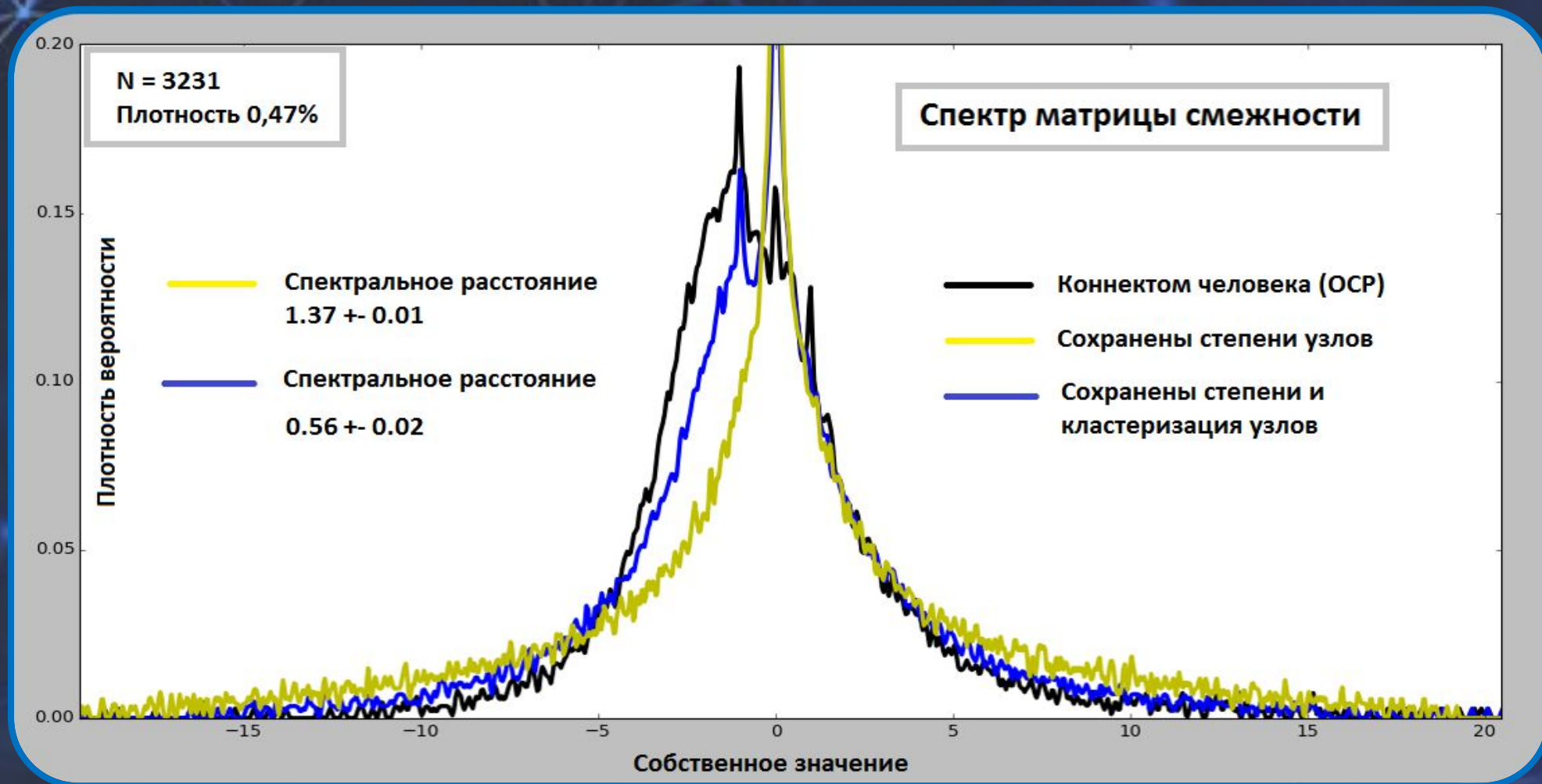
(b) Одна связь между соседями: $C = 1/3$



(c) Три связи между соседями: $C = 3/3$

Локальный коэффициент кластеризации

2. Локальная кластеризация оказывает важное влияние на спектр



Спектр коннектома человека и его рандомизированных аналогов

Выводы

1. Коннектом человека демонстрирует существенную неслучайность по сравнению с сетями других животных. Это может быть следствием эволюционного отбора, действующего на нервную сеть.
2. Локальная кластеризация во многом определяет форму спектра коннектома и, следовательно, играет важную роль в структуре исследуемых сетей.

Контакты

- Никита Поспелов:
nik-pos@yandex.ru; VK, TG @niveous_dragon
- Сергей Константинович Нечаев, д. ф.-м. н., Directeur de Recherche au CNRS Université Paris-Sud:
sergei.nechaev@gmail.com
- Константин Владимирович Анохин, член-корреспондент РАН, директор Центра нейронаук и когнитивных наук МГУ:
k.anokhin@gmail.com



Спасибо за внимание!

Синхронизация подсетей

