

КИБЕРНЕТИКА И НЕЙРОНАУКИ: математические модели мозга



д.т.н., проф. А.Л.Фрадков (fradkov@mail.ru)

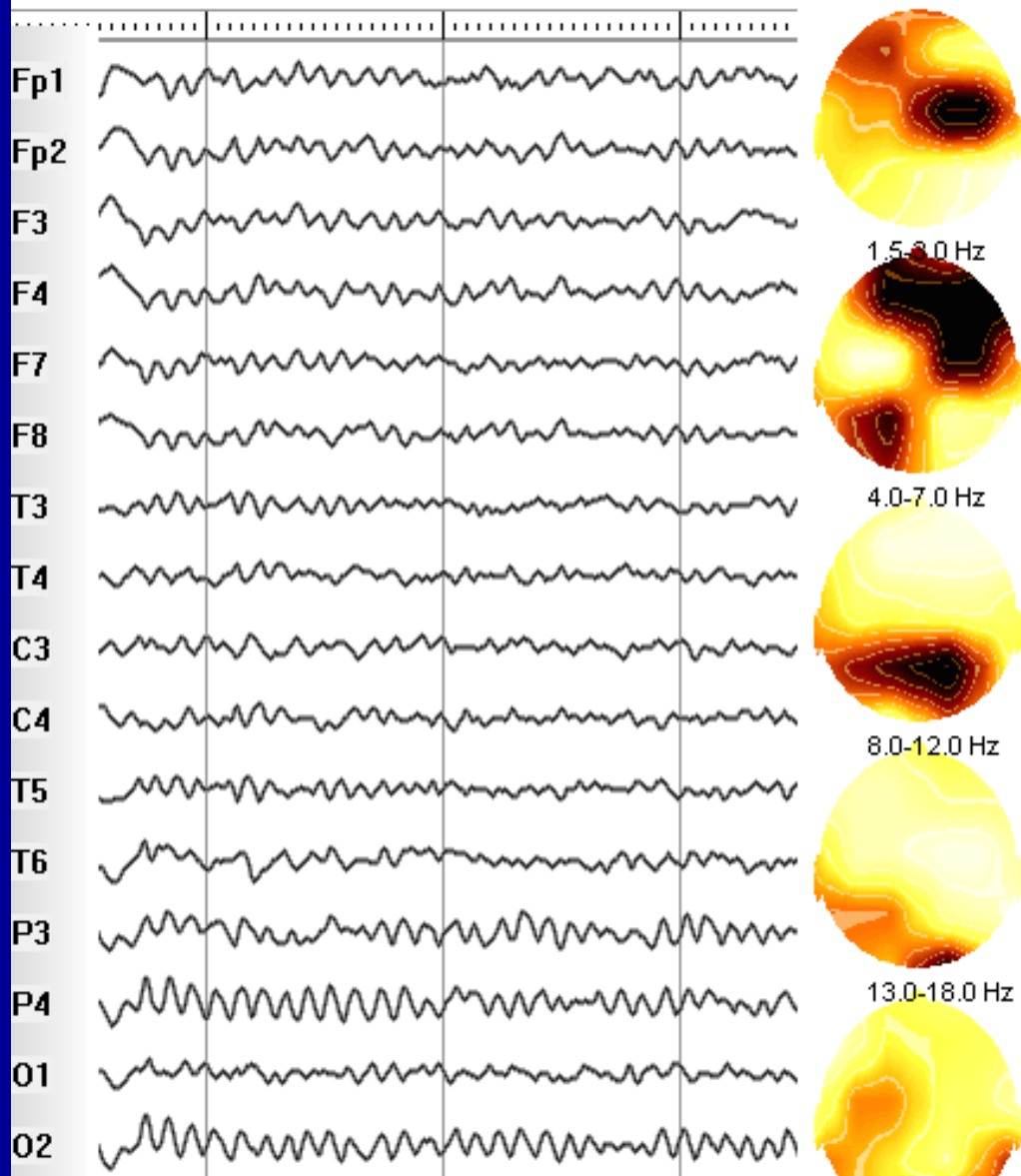
Встреча со студентами ОП МиКН 07.10.24

Сайт «МиКН»: <http://rusycon.ru/spbu/mikn/>

ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИЯ

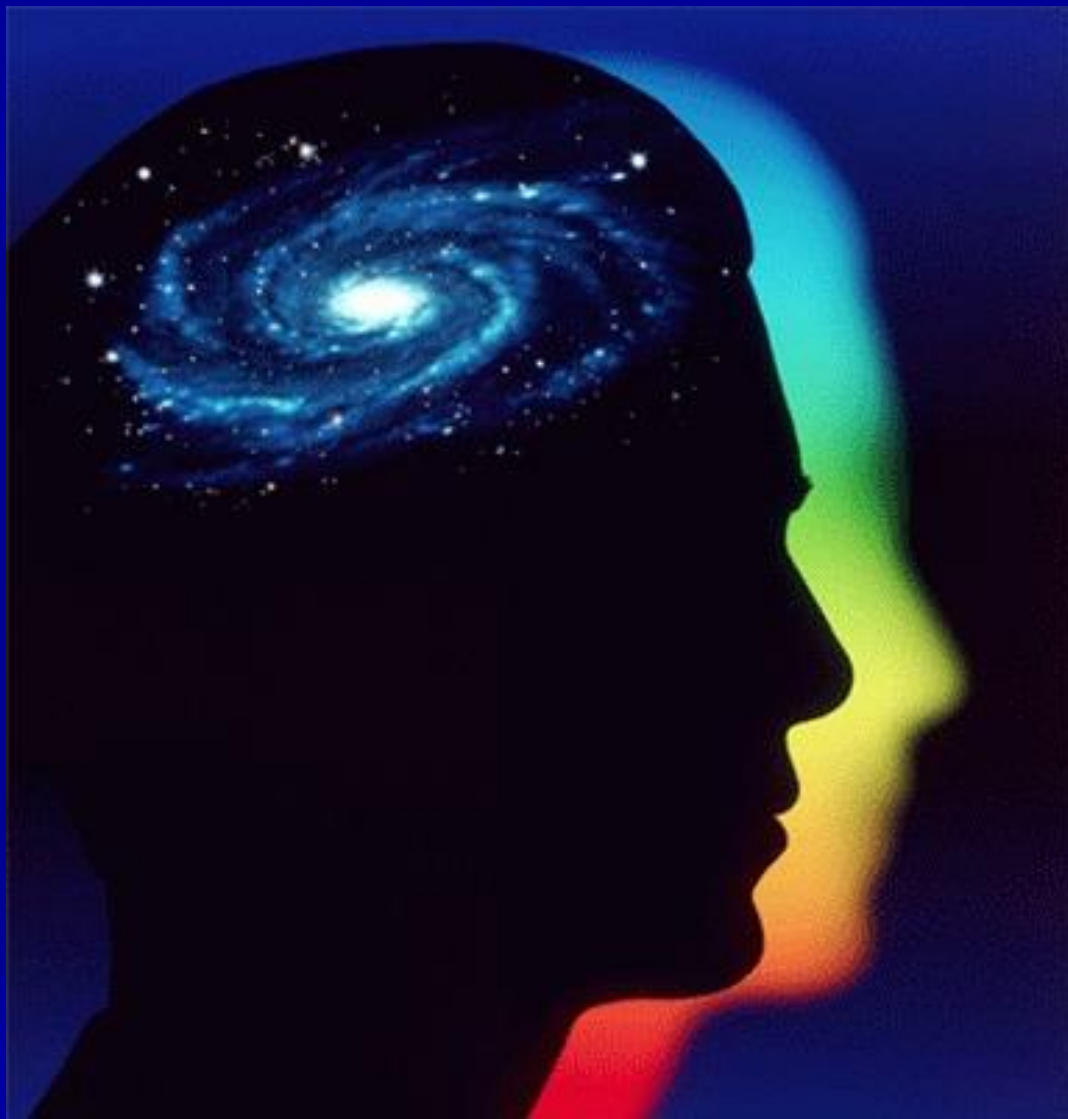


ЭЭГ-покоя, 16-канальная регистрация

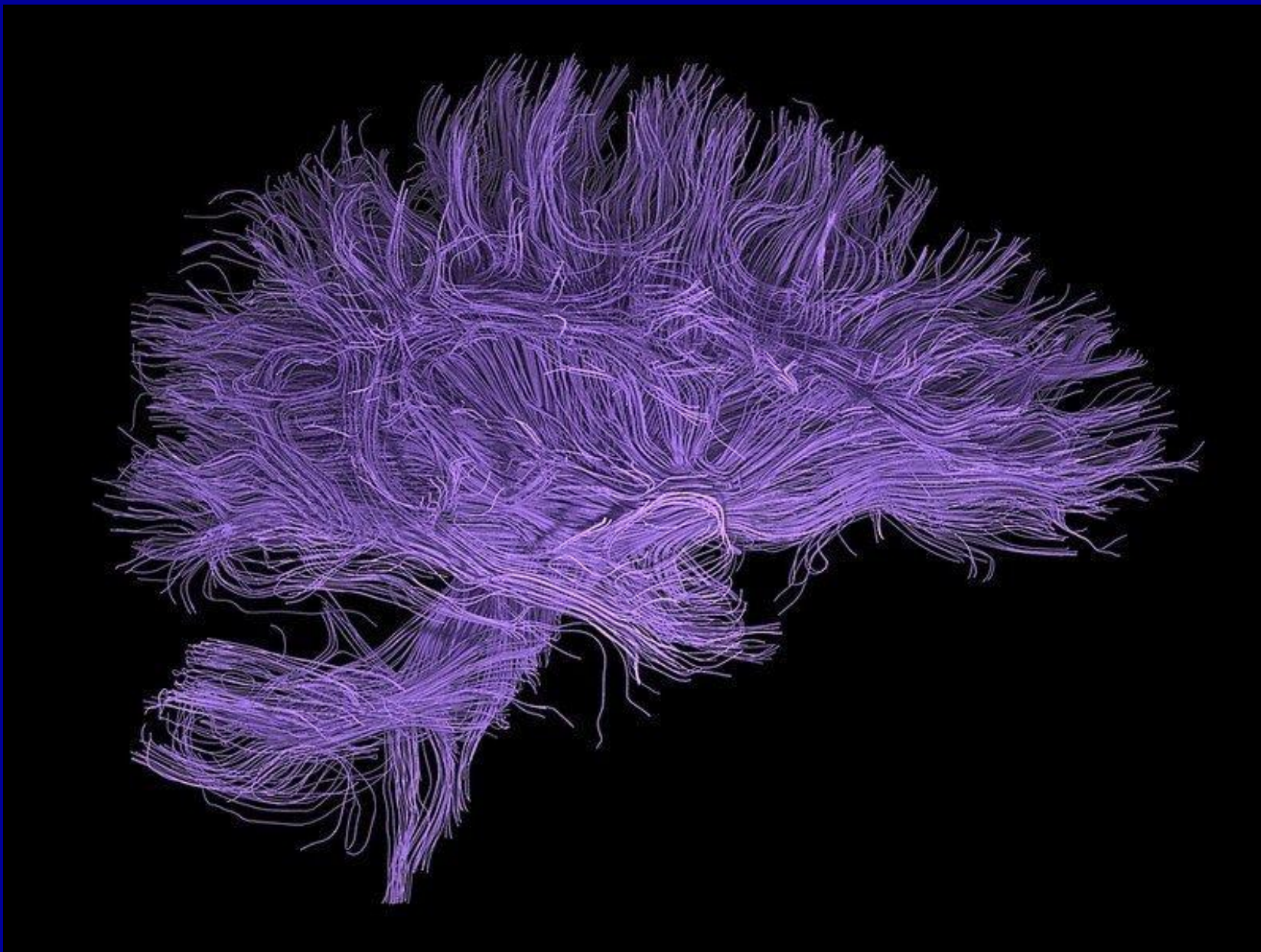


Анализ ЭЭГ
затруднен из-за
зашумленности
данных и
сложности
математических
моделей
активности
головного мозга

В головном мозге человека
>80 млрд. нейронов



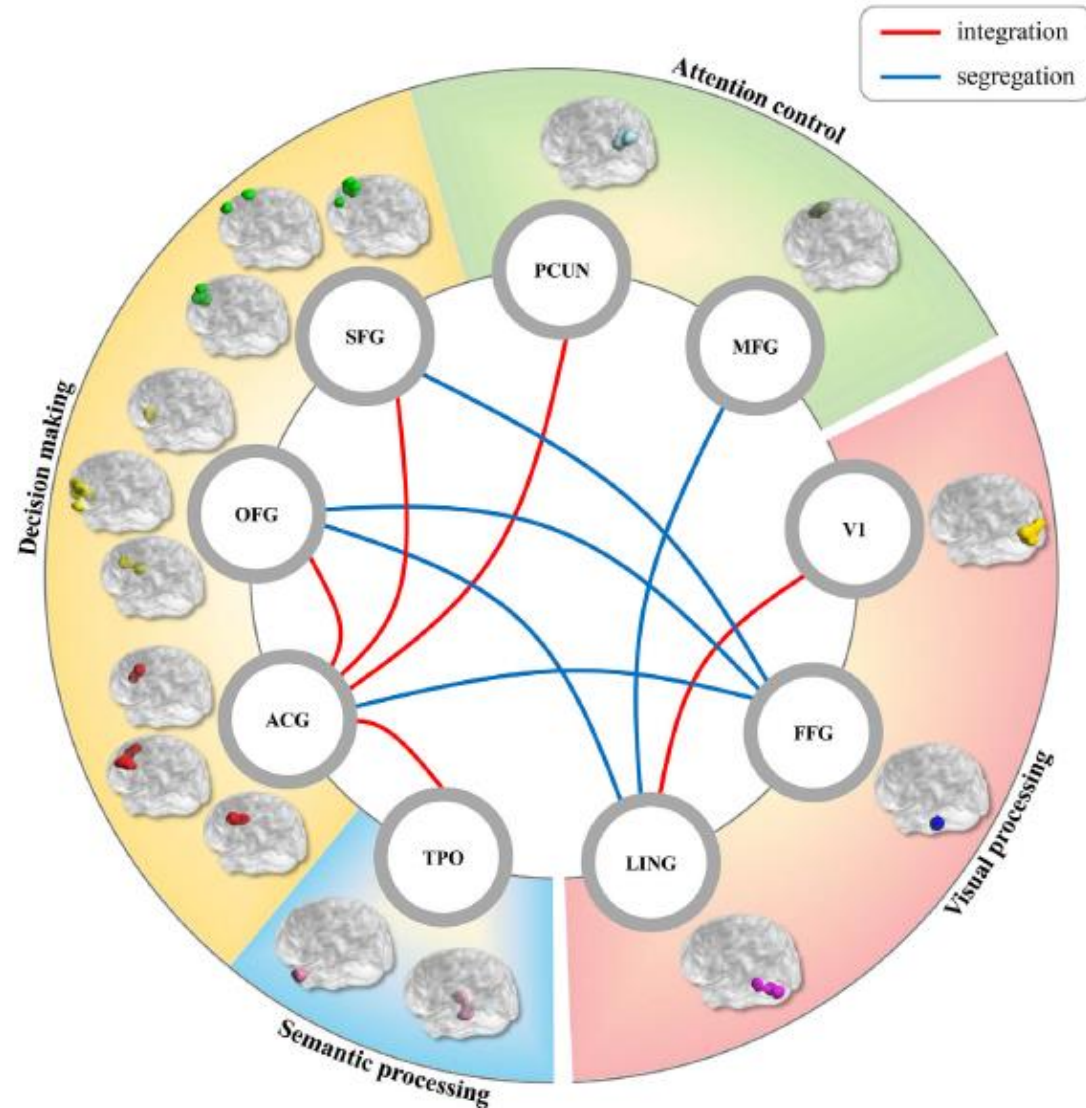
Волокна мозга (коннектом)



Human Connectome Project - Mapping human brain

<http://www.humanconnectomeproject.org>

FIGURE 4 Altered functional connectivity with their possible corresponding functional integration (red lines) or segregation (blue lines) in the IR group. The locations of ACG, SFG, OFG, and TPO are represented by multiple images for two reasons: (1) the sub-regions of TPO are disconnected and located in different hemispheres; and (2) changed functional connections in the ACG, SFG, or OFG were observed in different sub-regions. Detailed brain region connections are shown in Figures S1–S3



Анатомический атлас мозга (2002) – 90 зон:

Label L/R	Region	Lobe
1/46	Precentral	Central region
2/47	Frontal Sup	Frontal lobe
3/48	Frontal Sup Orb	Frontal lobe
4/49	Frontal Mid	Frontal lobe
5/50	Frontal Mid Orb	Frontal lobe
6/51	Frontal Inf Oper	Frontal lobe
7/52	Frontal Inf Tri	Frontal lobe
8/53	Frontal Inf Orb	Frontal lobe
9/54	Rolandic Oper	Central Region
10/55	Supp Motor Area	Frontal lobe
11/56	Olfactory	Frontal lobe
12/57	Frontal Sup Medial	Frontal lobe
13/58	Frontal Med Orb	Frontal lobe
14/59	Rectus	Frontal lobe
15/60	Insula	Insula
16/61	Cingulum Ant	Limbic lobe
17/62	Cingulum Mid	Limbic lobe
18/63	Cingulum Post	Limbic lobe
19/64	Hippocampus	Limbic lobe
20/65	ParaHippocampal	Limbic lobe
21/66	Amygdala	Sub cort. gray nuc.
22/67	Calcarine	Occipital lobe
23/68	Cuneus	Occipital lobe

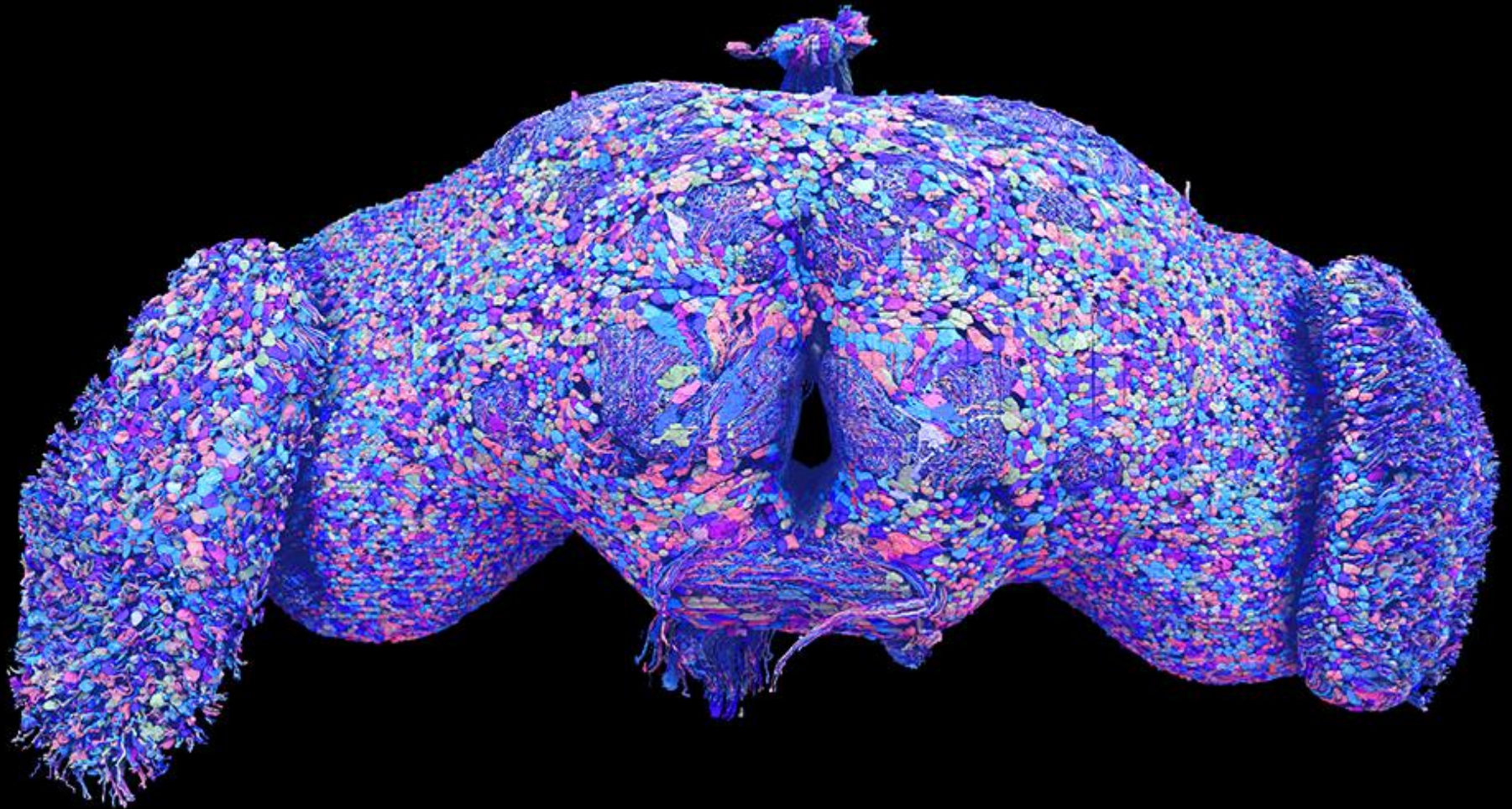
24/69	Lingual	Occipital lobe
25/70	Occipital Sup	Occipital lobe
26/71	Occipital Mid	Occipital lobe
27/72	Occipital Inf	Occipital lobe
28/73	Fusiform	Occipital lobe
29/74	Postcentral	Central region
30/75	Parietal Sup	Parietal lobe
31/76	Parietal Inf	Parietal lobe
32/77	Supramarginal	Parietal lobe
33/78	Angular	Parietal lobe
34/79	Precuneus	Parietal lobe
35/80	Paracentral Lobule	Frontal lobe
36/81	Caudate	Sub cort. gray nuc.
37/82	Putamen	Sub cort. gray nuc.
38/83	Pallidum	Sub cort. gray nuc.
39/84	Thalamus	Sub cort. gray nuc.
40/85	Heschl	Temporal lobe
41/86	Temporal Sup	Temporal lobe
42/87	Temporal Pole Sup	Limbic lobe
43/88	Temporal Mid	Temporal lobe
44/89	Temporal Pole Mid	Limbic lobe
45/90	Temporal Inf	Temporal lobe

Коннектом червя *C.elegans* (1986): 302 нейрона



Busbice T.
Extending the
C. Elegans
Connectome
to Robotics //
BioCoder. 2014.
pp.31-37.

**Коннектом мушки-дрозофилы (2024) -
139555 нейронов, 55 млн. связей:**



СЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ МОЗГА

Модель нейрона ФитцХью-Нагумо (ФХН):

$$\begin{cases} \dot{u} = u - u^3/3 - v + I_{ext}, \\ \dot{v} = \varepsilon(u - a - bv). \end{cases} \quad (10)$$

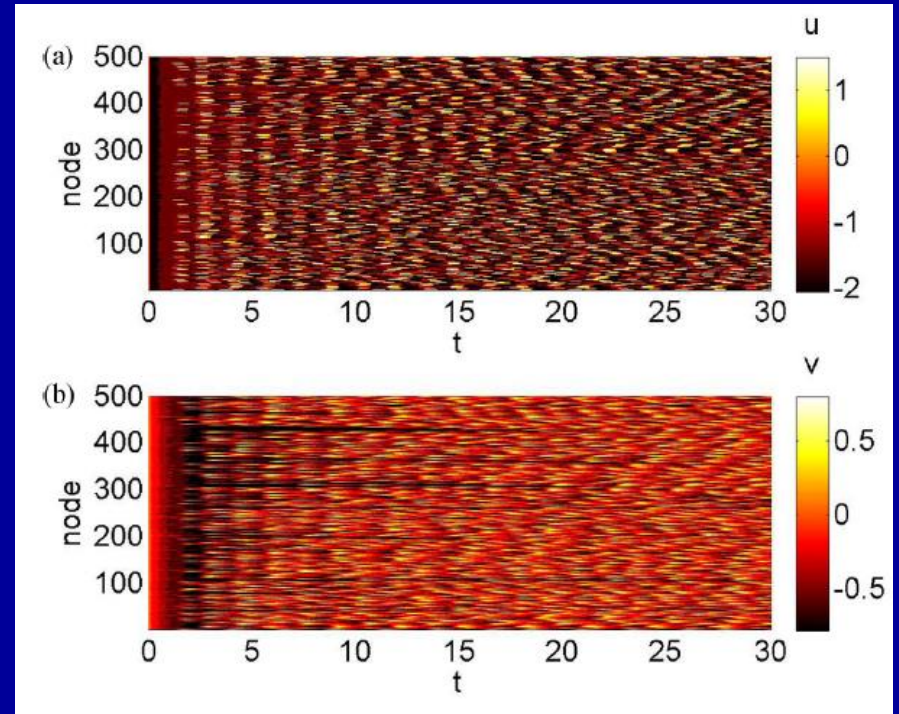
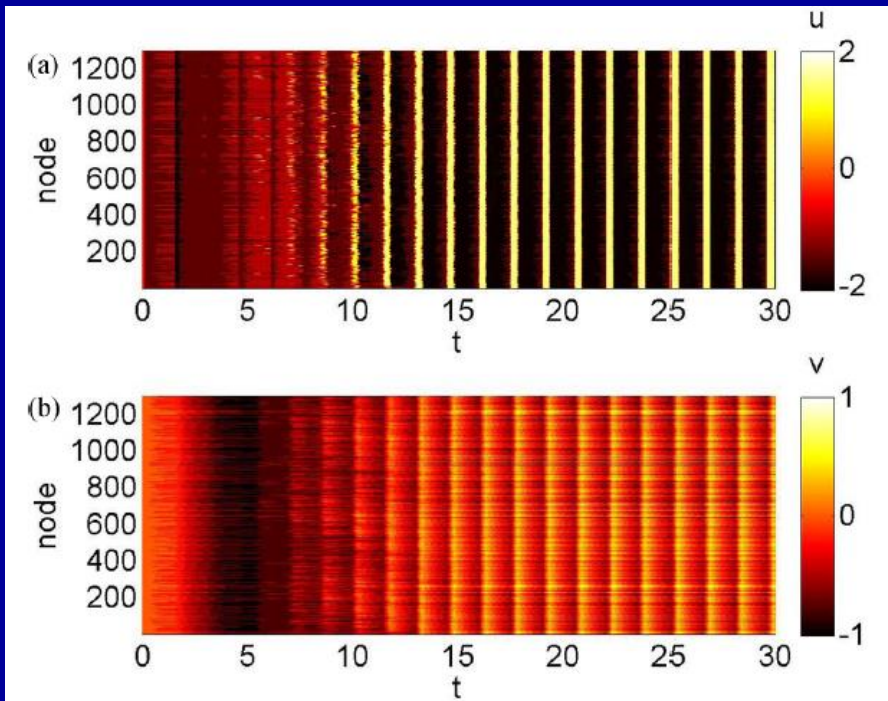
Здесь u описывает динамику мембранного потенциала нейрона; v – совокупное действие всех медленных ионных токов, отвечающих за восстановление потенциала покоя мембраны. Параметры a и b определяют проводимостные характеристики ионных каналов, а ε ($\varepsilon > 0$) – относительную скорость изменения медленных ионных токов.

Модель сети ФХН-нейронов (C , G_{ij} - к-нты связи. τ - задержка:

$$\varepsilon \dot{u}_i = u_i - \frac{u_i^3}{3} - v_i + C \sum_{j=1}^N G_{ij} [u_j(t - \tau) - u_i(t)],$$
$$\dot{v}_i = u_i + a_i, \quad i = 1, \dots, N,$$

СЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ МОЗГА

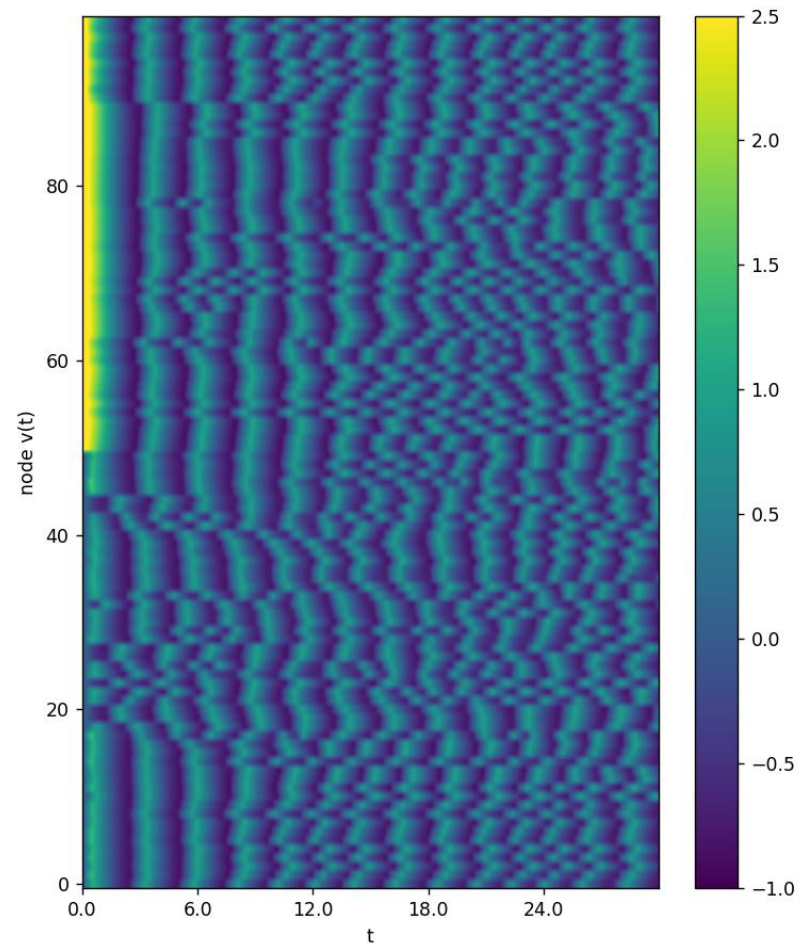
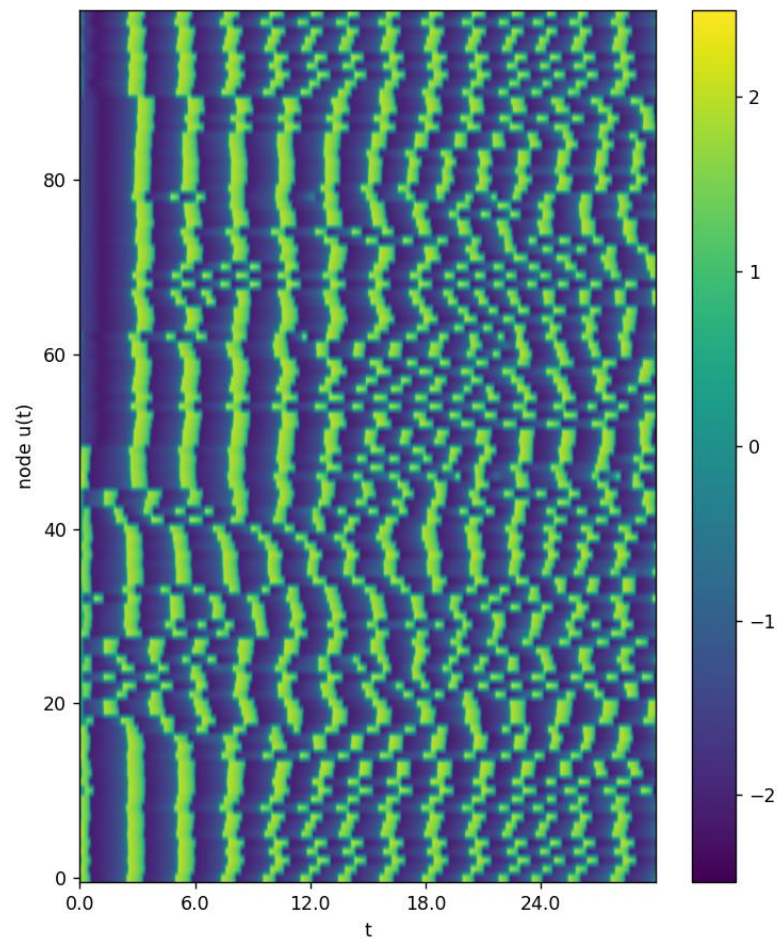
Синхронизация моделей ФитцХью-Нагумо:



S. A. Plotnikov, J. Lehnert, A. L. Fradkov, E. Schöll.
Synchronization in heterogeneous FitzHugh-Nagumo networks with hierarchical architecture. Phys. Rev. E 94, 012203 (2016),

Plotnikov S.A., Fradkov A.L.
Synchronization of nonlinearly coupled networks based on circle criterion. Chaos 31, 103110 (2021)

СЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ МОЗГА – 90 зон



Курсовая В.Соболевой, гр.21.Б13-мм, 2024 г.

Работы по нейроуправлению в ИПМаш РАН и СПбГУ



Рис. 1: Внешний вид нейросетевого стенда «НС-1»

Схема нейросетевого стенда «НС-1»

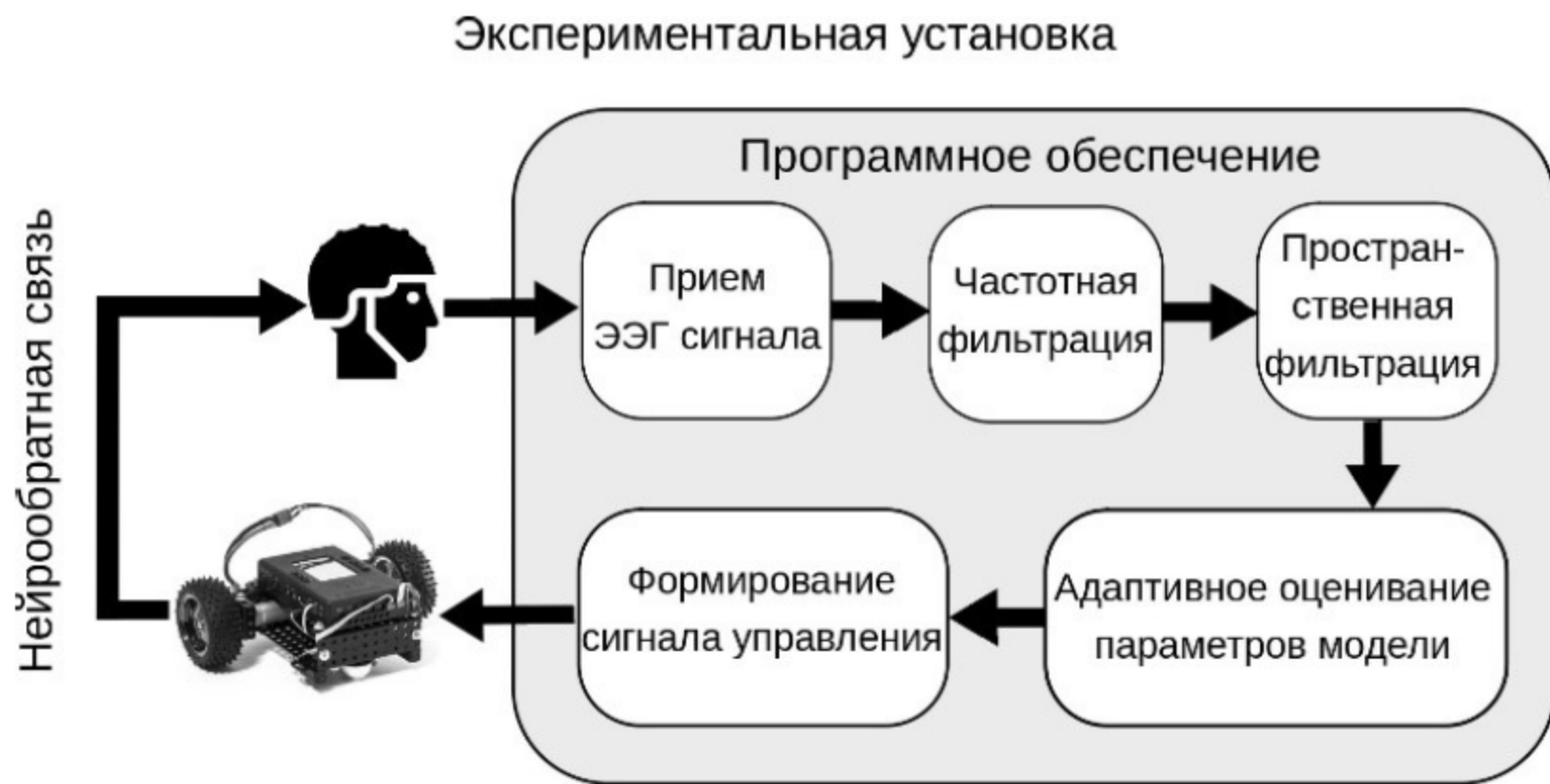


Рис. 2: Схема экспериментальной установки и программного обеспечения.

НЕЙРОИНТЕРФЕЙСНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МАШИНАМИ



N.Babich, A.Fradkov. Brain controlled wheelchair: system description and fuzzy almost nearest neighbors classification. 2024 International Conference Neurotechnologies and Neurointerfaces (CNN), Kaliningrad, 2024.

ТЕМЫ СТУДЕНЧЕСКИХ НАУЧНЫХ РАБОТ ДЛЯ 2 КУРСА:

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ НЕЙРОНОВ

Как выбрать конкретную тему?

- 1. Выберите, что вас интересует из учебных материалов по ссылкам на следующей странице.**
- 2. Напишите на fradkov@mail.ru о своем выборе и интересах.**

ИСТОЧНИКИ - ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Нелинейные динамические модели нейронов: Обзор.

А. С. Дмитричев и др. ИПФ РАН, 2018.

<https://andjournal.sgu.ru/ru/articles/nelineynye-dinamicheskie-modeli-neuronov-obzor>

2. Математическое моделирование нейродинамических систем.

Прокин И.С., Симонов А.Ю., Казанцев В.Б Учебное пособие.

ННГУ, 2012, <http://window.edu.ru/resource/465/79465>

3. Моделируем электрическую активность нейронов

<https://habr.com/ru/post/201220/> (для 1-2 курса)

4. Human Brain Project <https://www.humanbrainproject.eu/en/>

5. Лебедева Н.Н., Майорова Л.А., Каримова Е.Д., Казимирова Е.А.

Коннектомика: нейрофизиология, достижения и перспективы.

Успехи физиологических наук, 2015, том 46, №3, с. 17-45.

ИСТОЧНИКИ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

6. Коннектом — полное описание структуры связей в нервной системе организма. <https://intellect.icu/konnektom-polnoe-opisanie-struktury-svyazej-8034>

7. Cofré, R., Herzog, R., Mediano, P.A.M., (...), Perl, Y.S., Tagliazucchi, E. Whole-brain models to explore altered states of consciousness from the bottom up (Открытый доступ) 2020 Brain Sciences, 10(9), 626, с. 1-29.

8. Rabinovich M. I. Varona P. Selverston A. I. Abarbanel. Dynamical principles in neuroscience (биб-ка СПбГУ).
Reviews of Modern Physics. 2006, V. 78, 1213-1265.

9. D.Nikitin, I. Omelchenko, A.Zakharova, M.Avetyan, A.L. Fradkov, E. Scholl. Complex partial synchronization patterns in networks of delay-coupled neurons. Philosophic Trans. Royal Society A, 2019, A 377 (2153), 20180128.