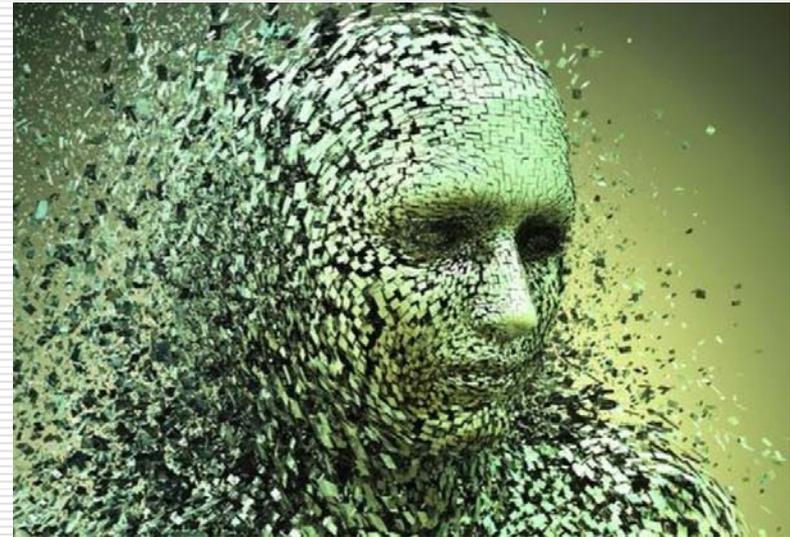


# Моделирование работы мозга

---

Состояние и перспективы



30 млн. статей о мозге

# Что мы знаем о мозге?

---

## Эксперимент

- Что умеем измерять?

## Теория

- Что умеем моделировать?

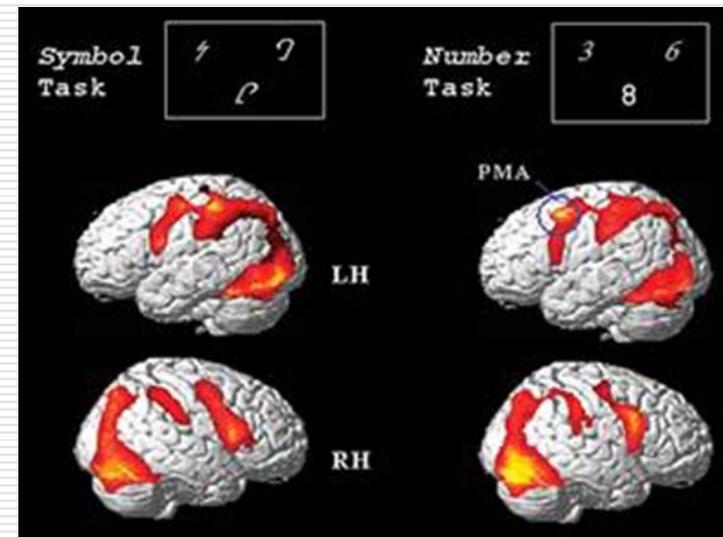
## Практика

- Как это использовать?
-

# Эксперимент

---

Что умеем измерять?

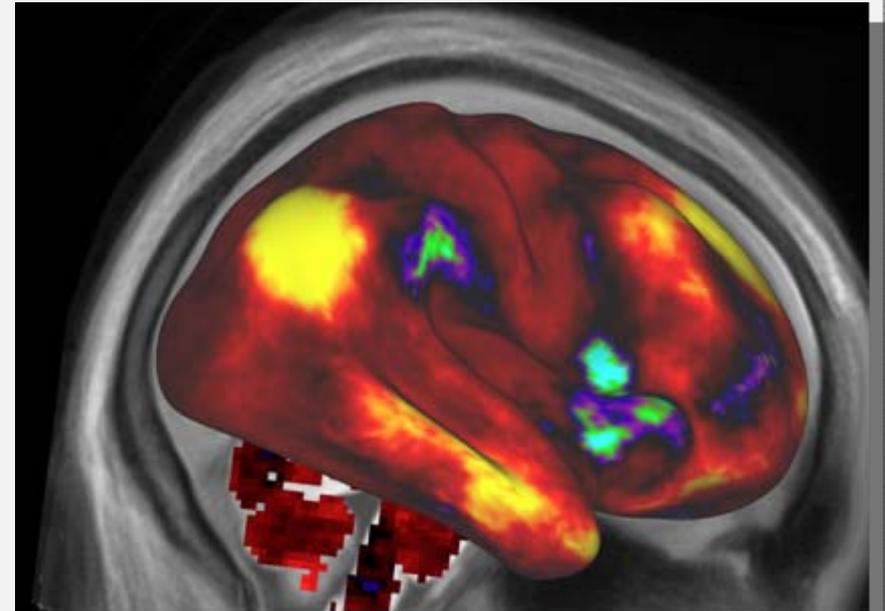
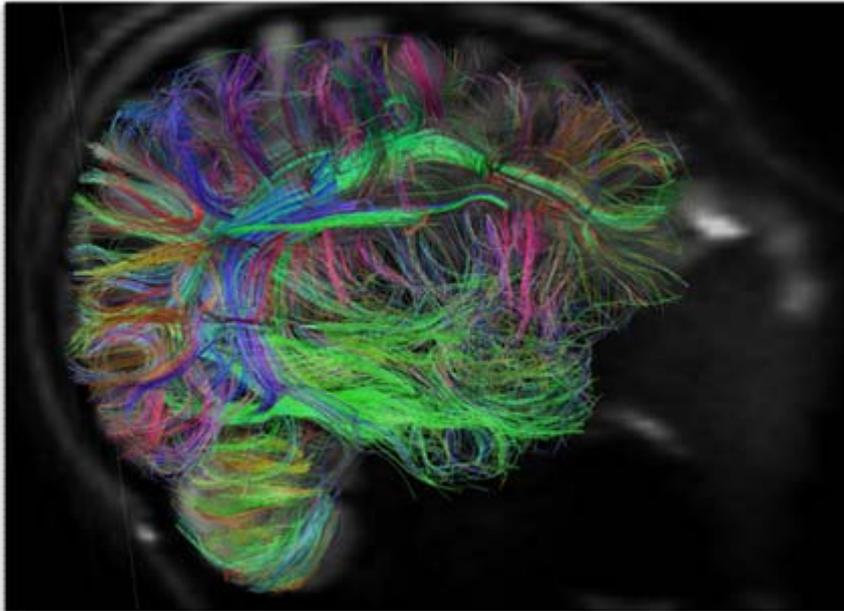


# Революция в диагностике

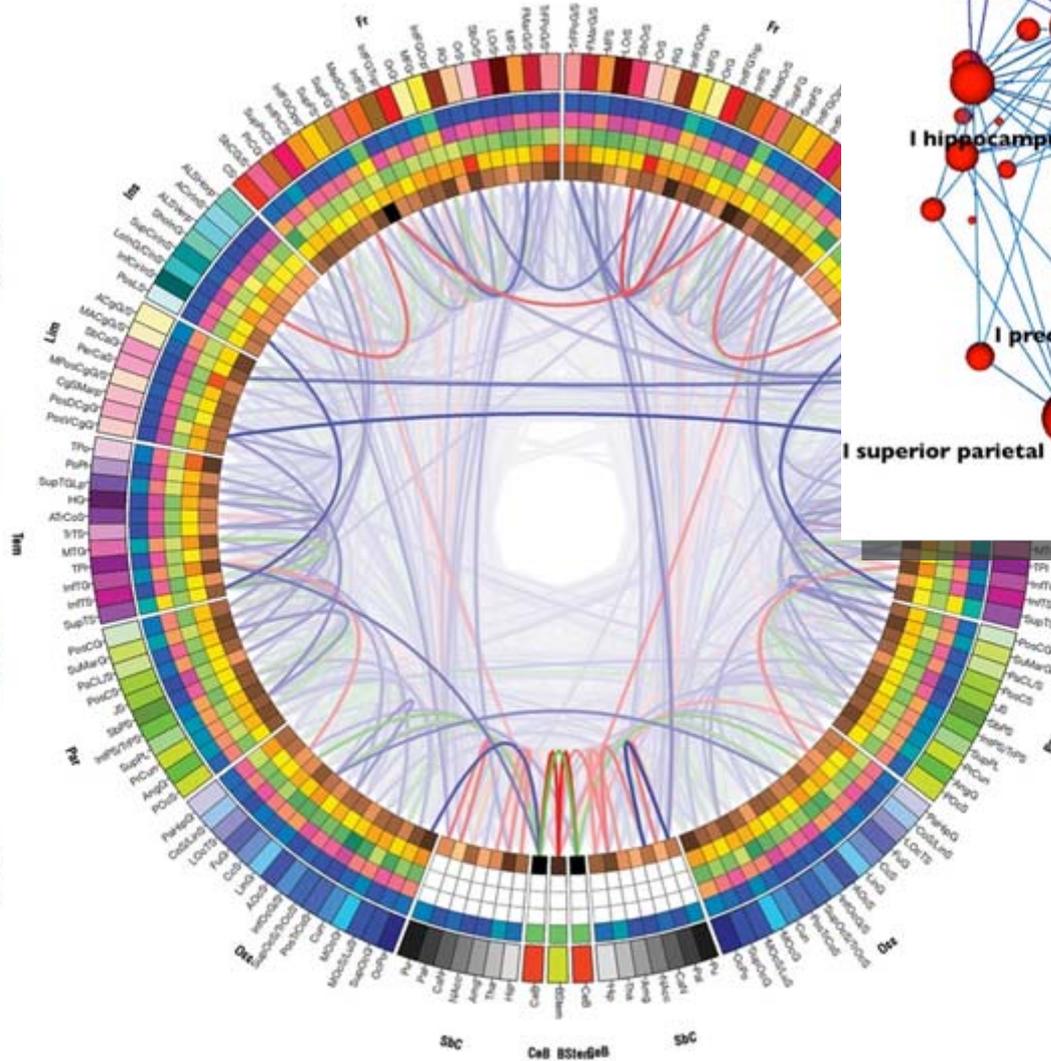
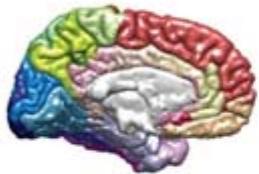
---

□ Структуры

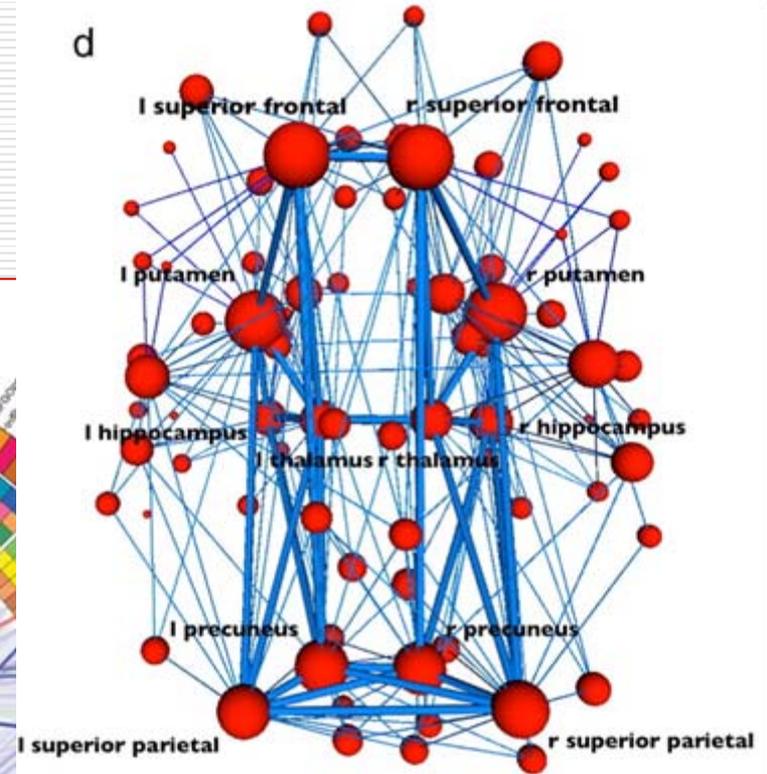
□ Процессы



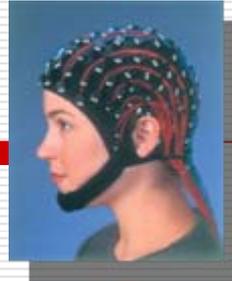
# Структуры



d

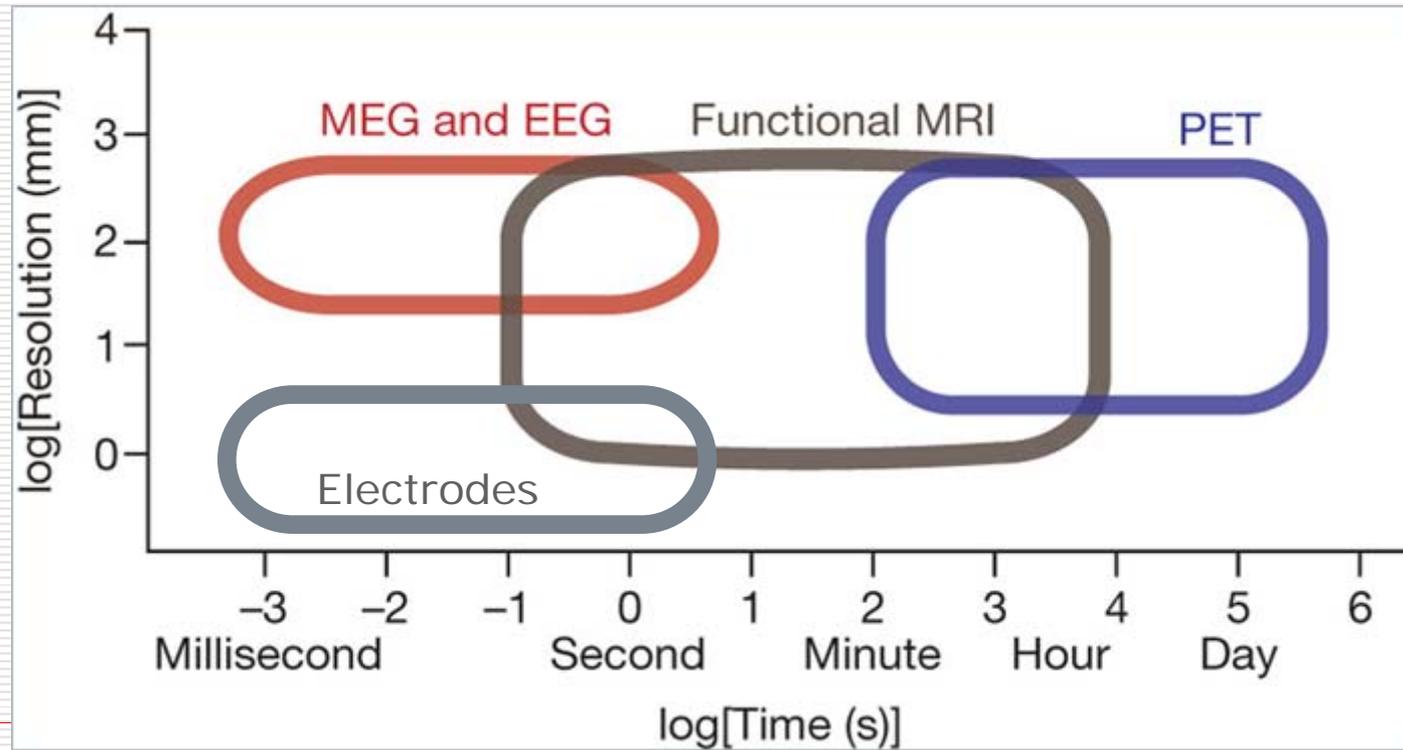
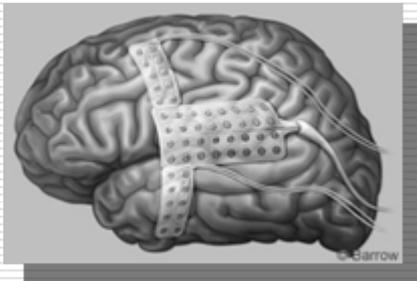


# Процессы



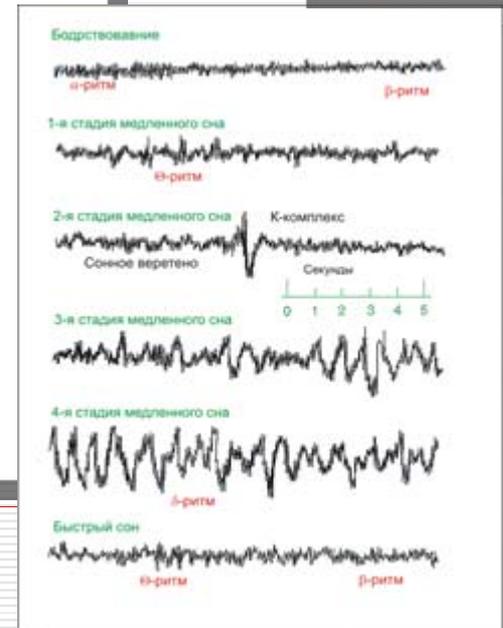
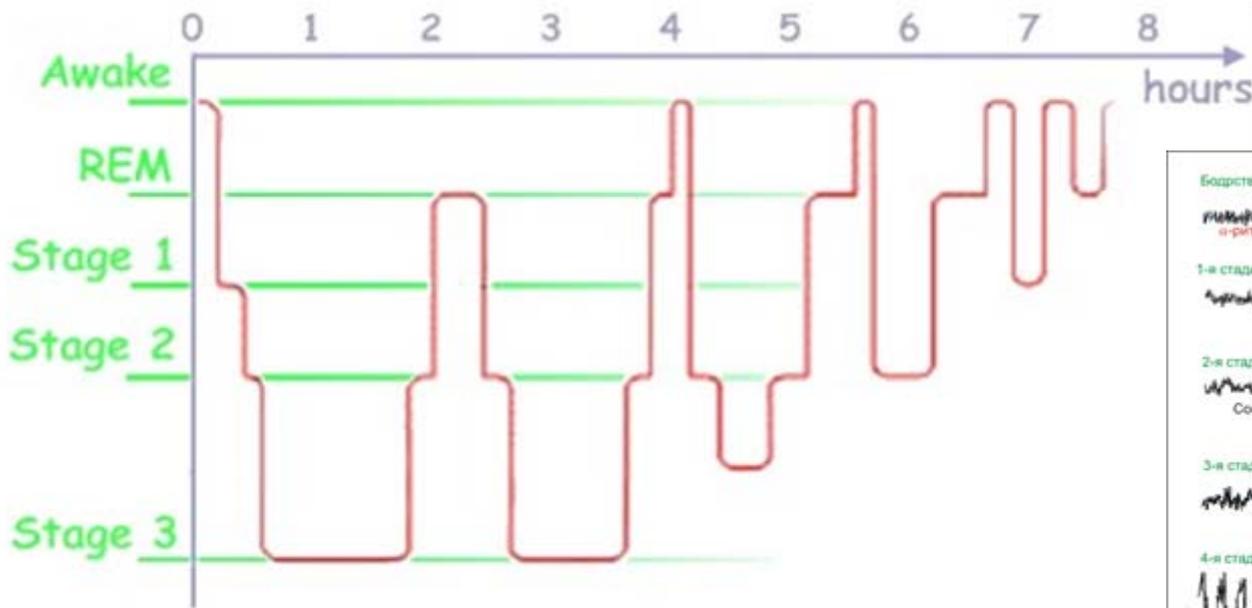
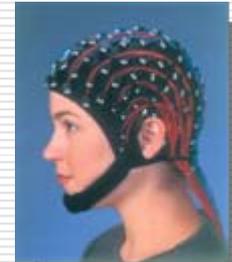
Что происходит

Где происходит



# Что можно увидеть?

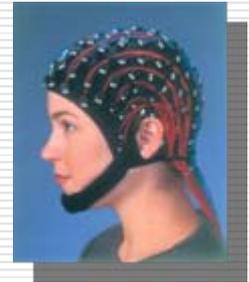
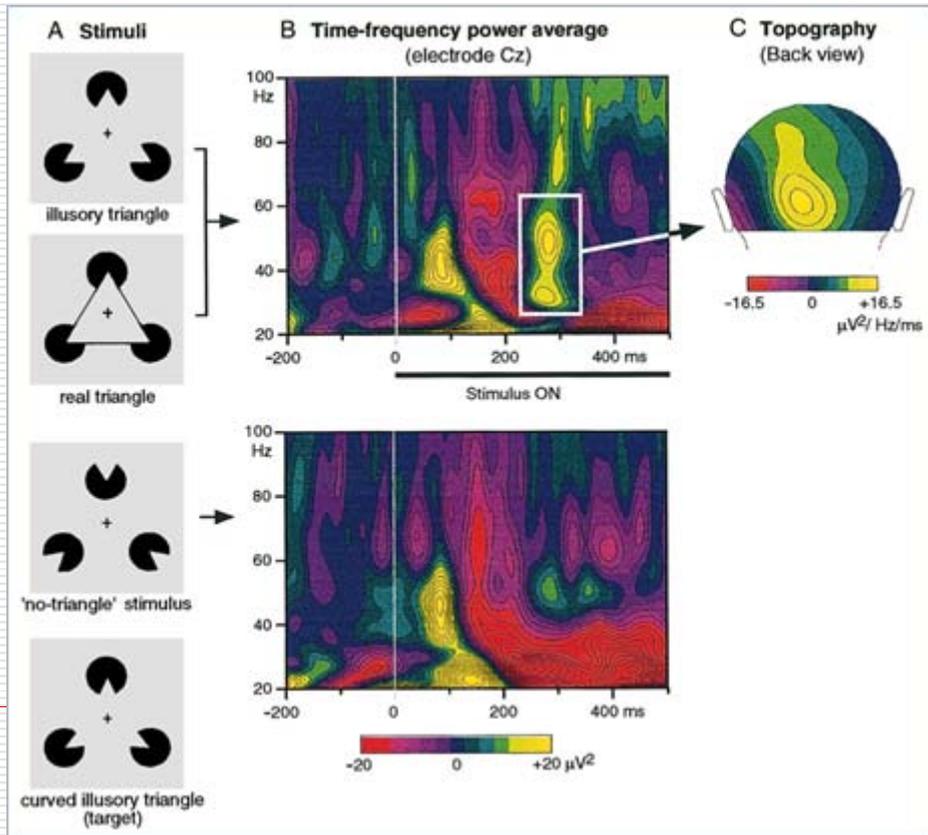
- Спит человек или нет
- Как крепко, видит ли сны



# Что можно увидеть?

□ О чем думает

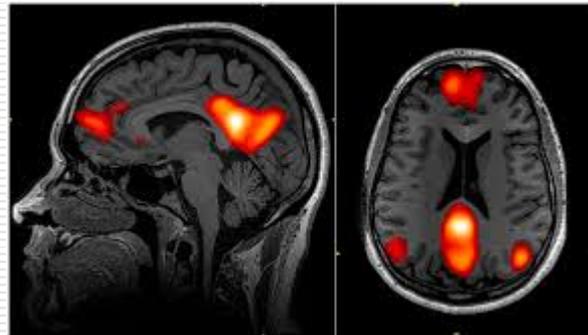
Видит / Не видит фигуру



# Что можно увидеть?

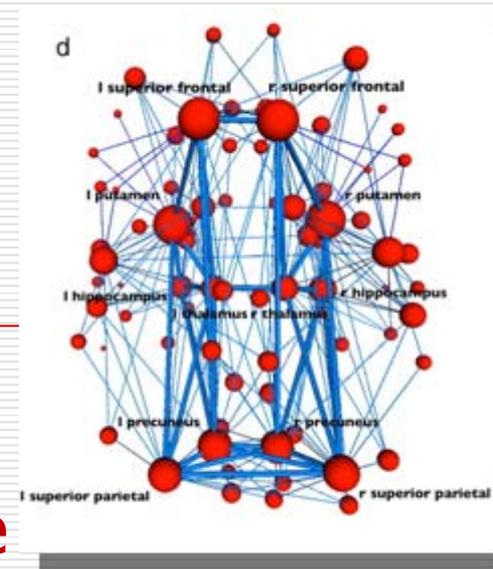
О чем думает

Какую именно фигуру видит



# Что можно увидеть?

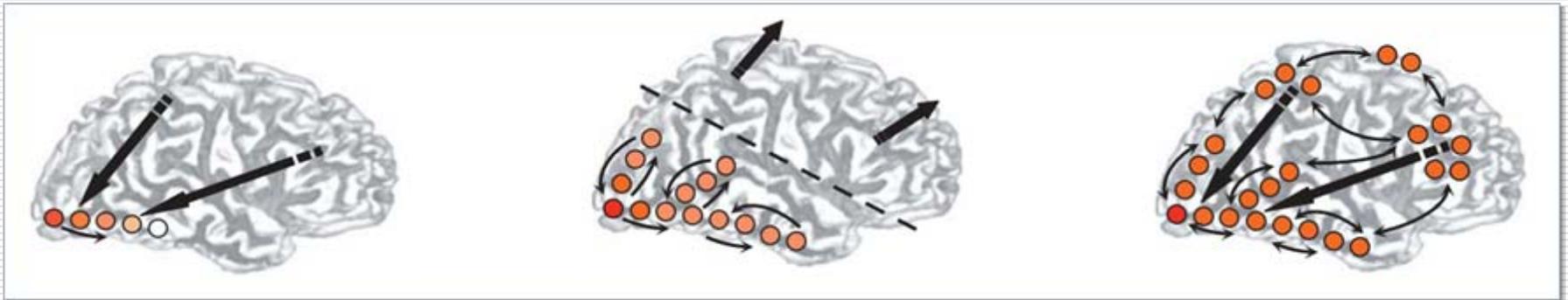
□ Знает ли об этом сам  
Бессознательное - Сознательное



50-100 мс

100-200 мс

300-500 мс



Бессознательное

Подсознательное

Сознательное

Мимолетные  
ассоциации:

Предметы вне  
зоны внимания:

Предмет в  
зоне внимания:

25й кадр

Езда на автопилоте

Решение задач

Сознание – молния  
Мышление – гроза

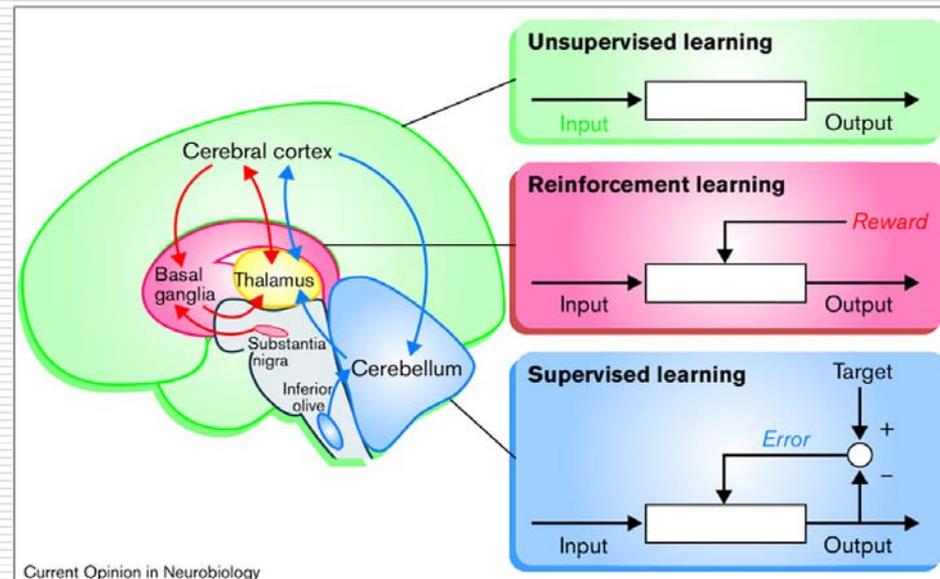
---

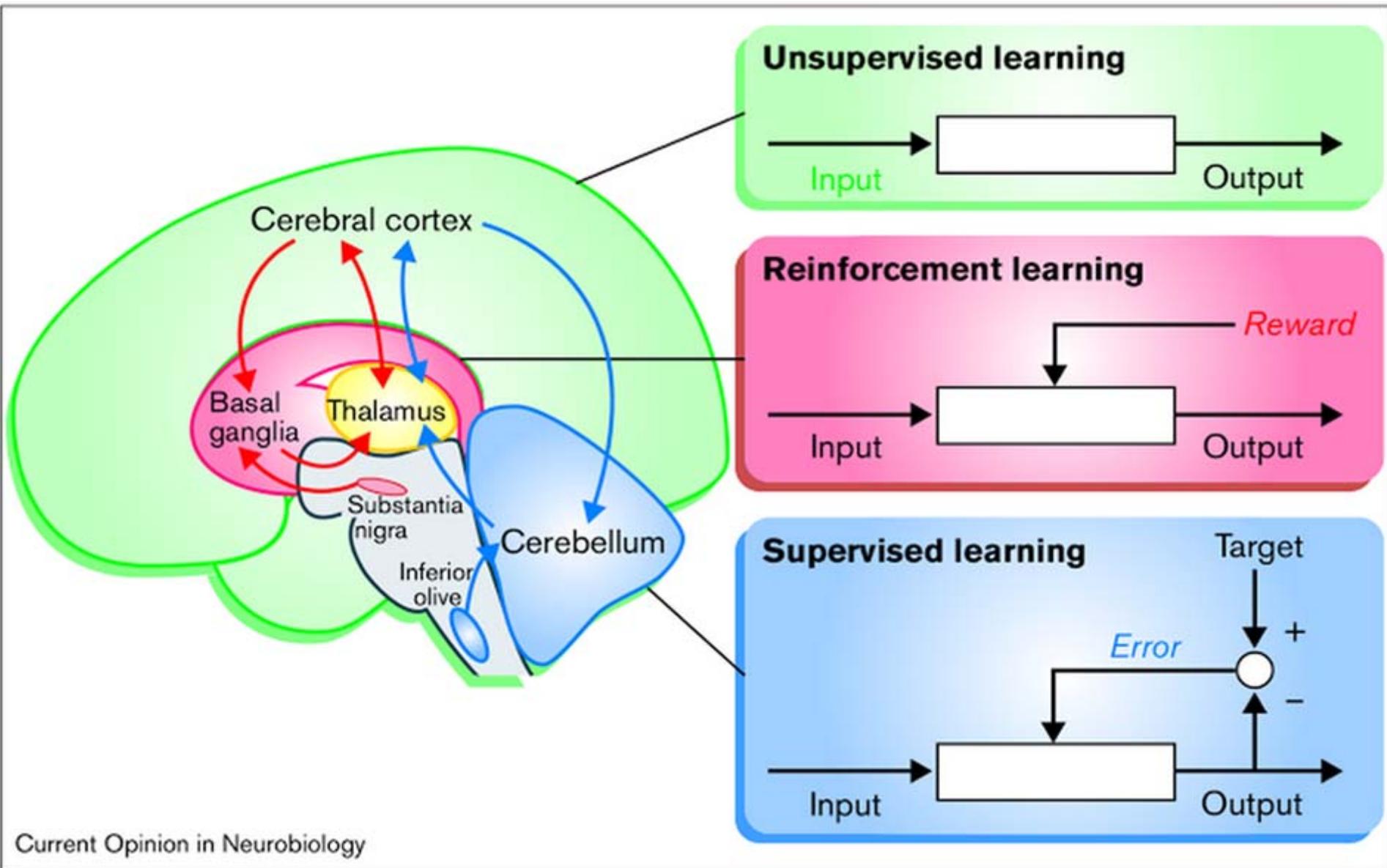


# Теория

---

Что умеем моделировать?

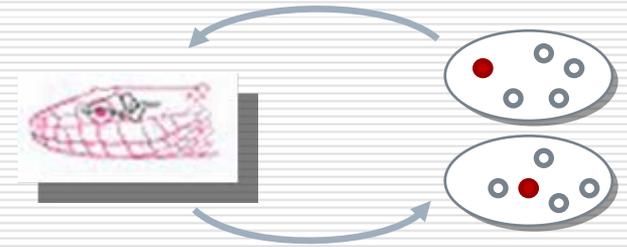




# Мозг - средство выживания

---

- Две задачи
  - Что происходит?
  - Что делать?



# Мозг - средство ВЫЖИВАНИЯ

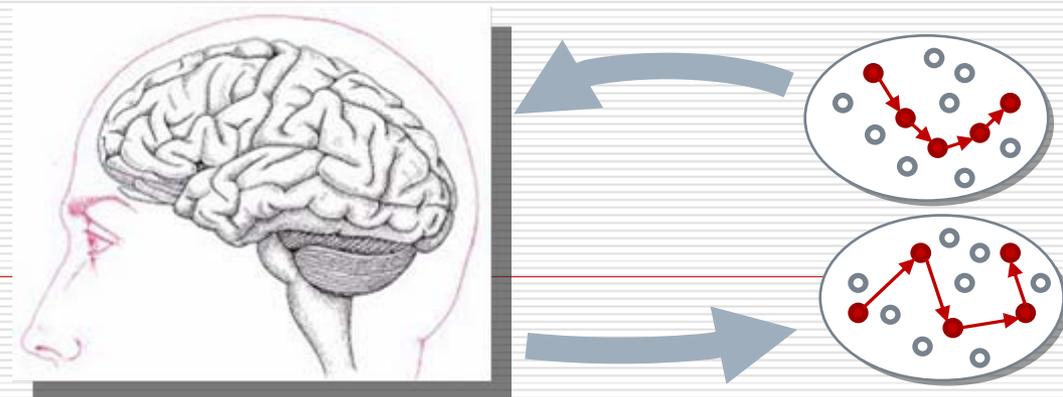
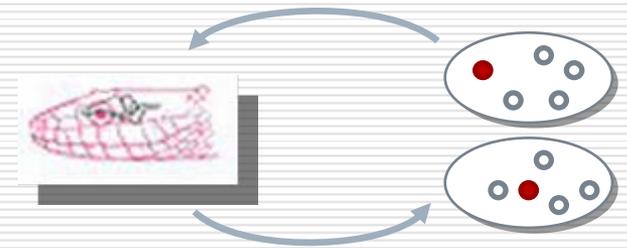
---

## □ Две задачи

- Что происходит?
- Что делать?

## □ ...

- Что будет?
- Что будем делать?

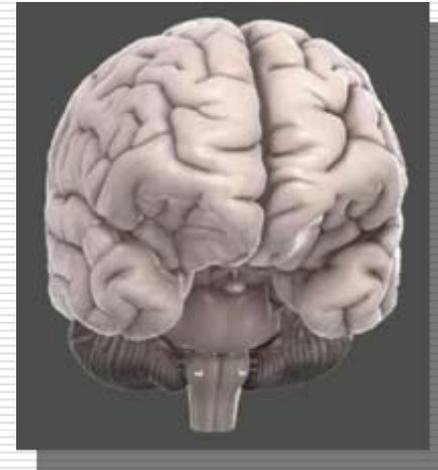


# Археология мозга

---

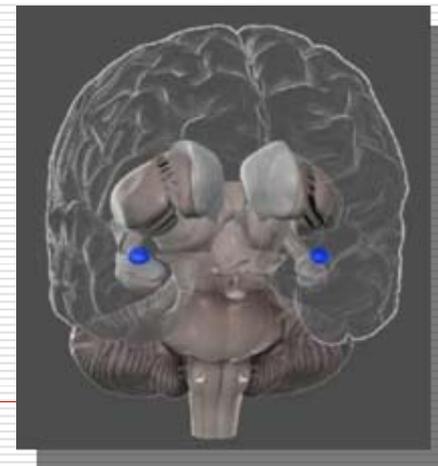
## □ Новая кора: млекопитающие

- Память, Интеллект
- Модели мира и поведения



## □ Древний мозг: рептилии

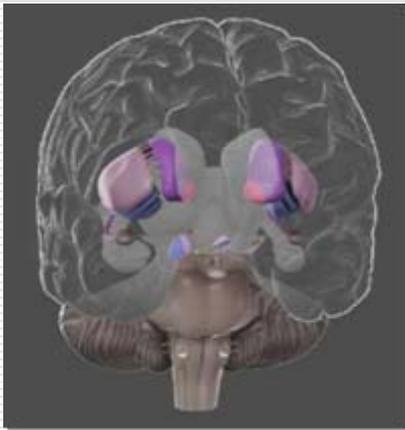
- Эмоции, Воля
- Выбор и преследование цели



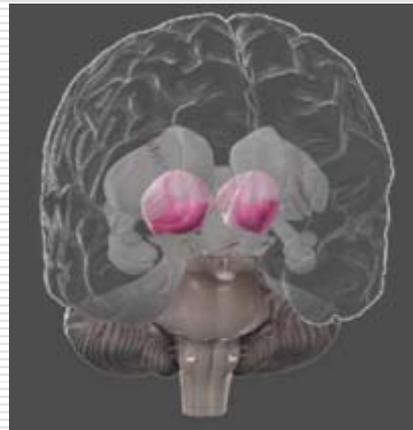
# Действующие лица



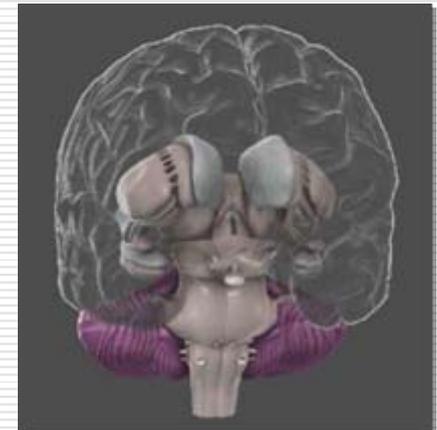
Неокортекс



Базальные ганглии



Таламус



Мозжечок

# Новая кора:

## Что происходит? Что делать?

---

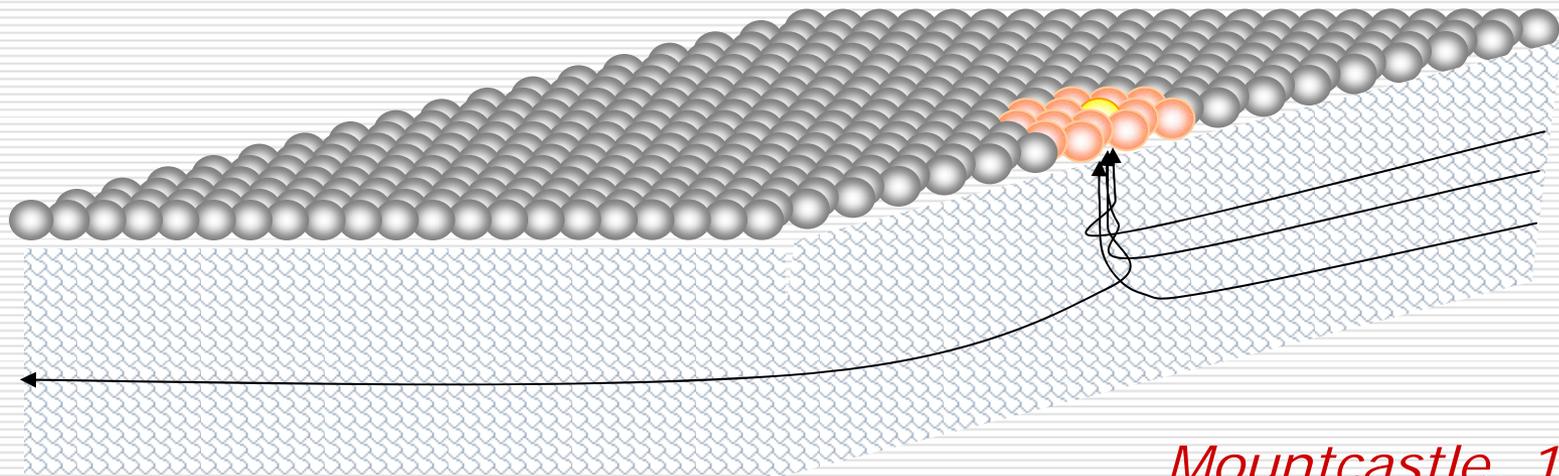
- Кора относительно проста
  - Однородная ткань ~ 2 мм (*мятая салфетка*)
  - У человека ~ **4/5** объема мозга
  
- **Единый алгоритм**
  - Ассоциативного мышления  
(с **предсказанием**)



# Модель коры: сеть обучающихся детекторов

---

- Каждая ячейка распознает «свой» входной сигнал
- Подкрепляет свою «память»
- Распространяет активность на соседей и далее



*Mountcastle, 1978*

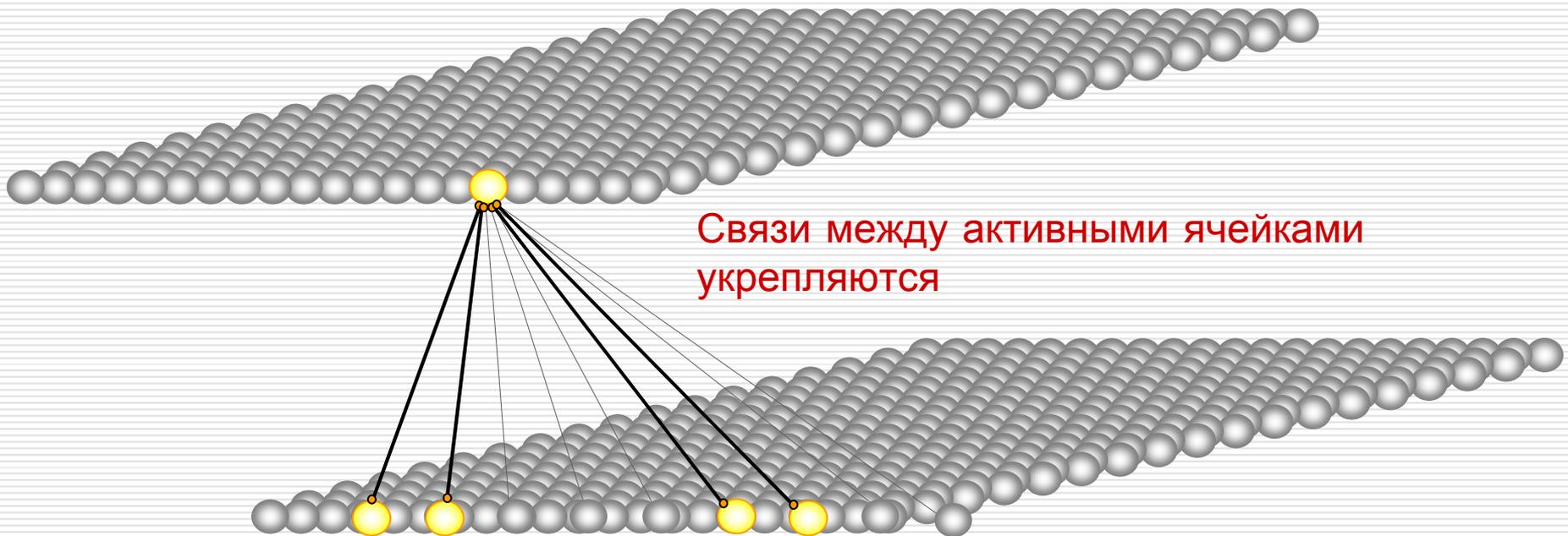
---

# Обучение «без учителя»

---

*Hebb, 1949*

*Kohonen, 1981*

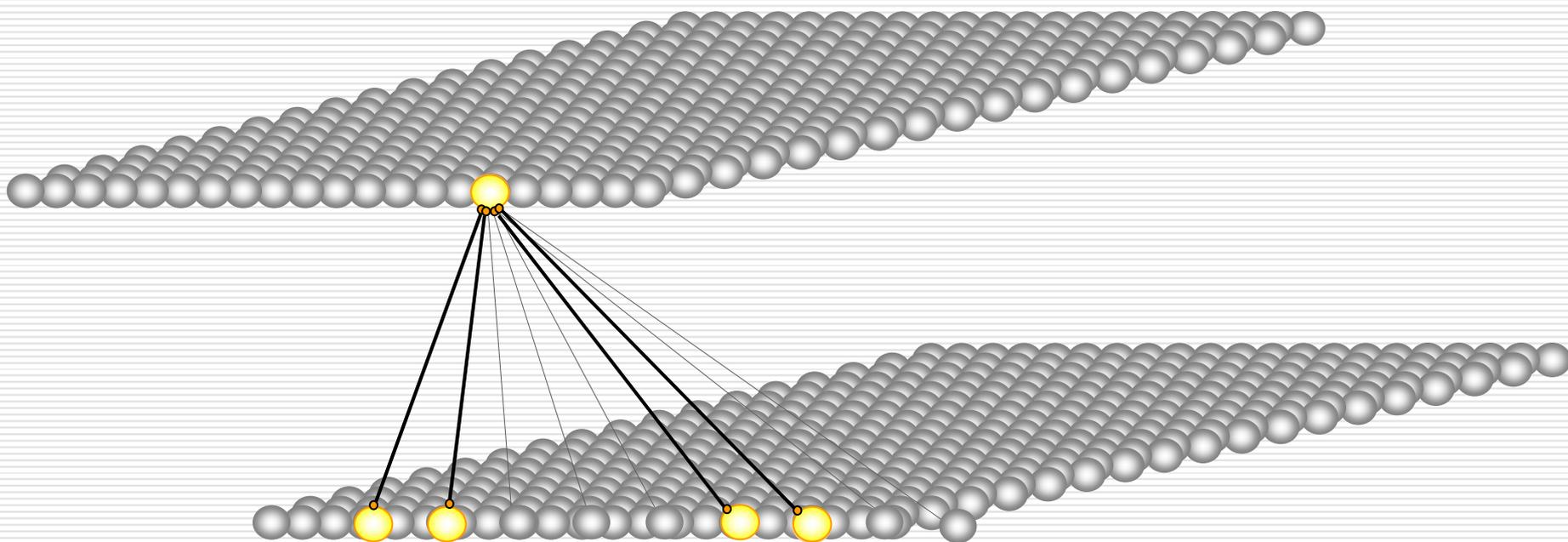


---

Ячейки коры – детекторы **последовательностей**

# Предсказания коры

---

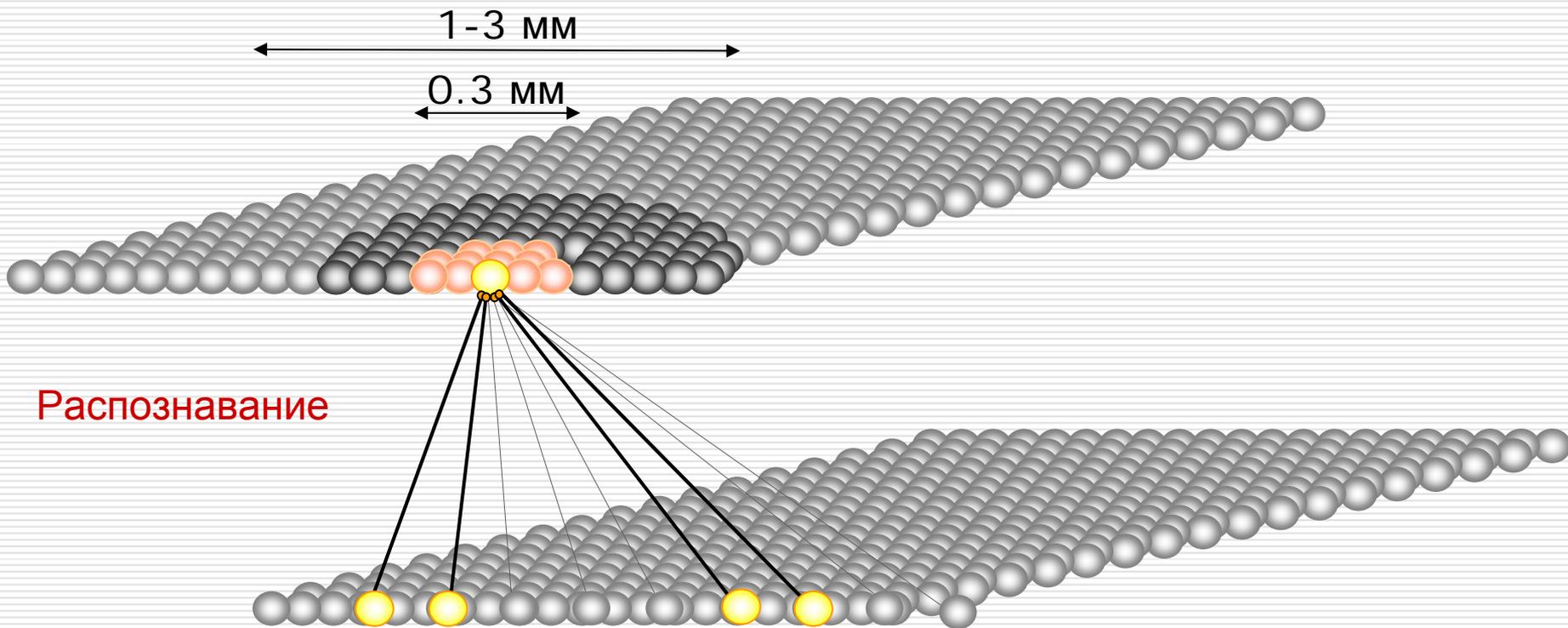


---

Распознавание последовательностей → **Проактивное поведение**

# Победитель забирает все

*Кохонен, 1981*

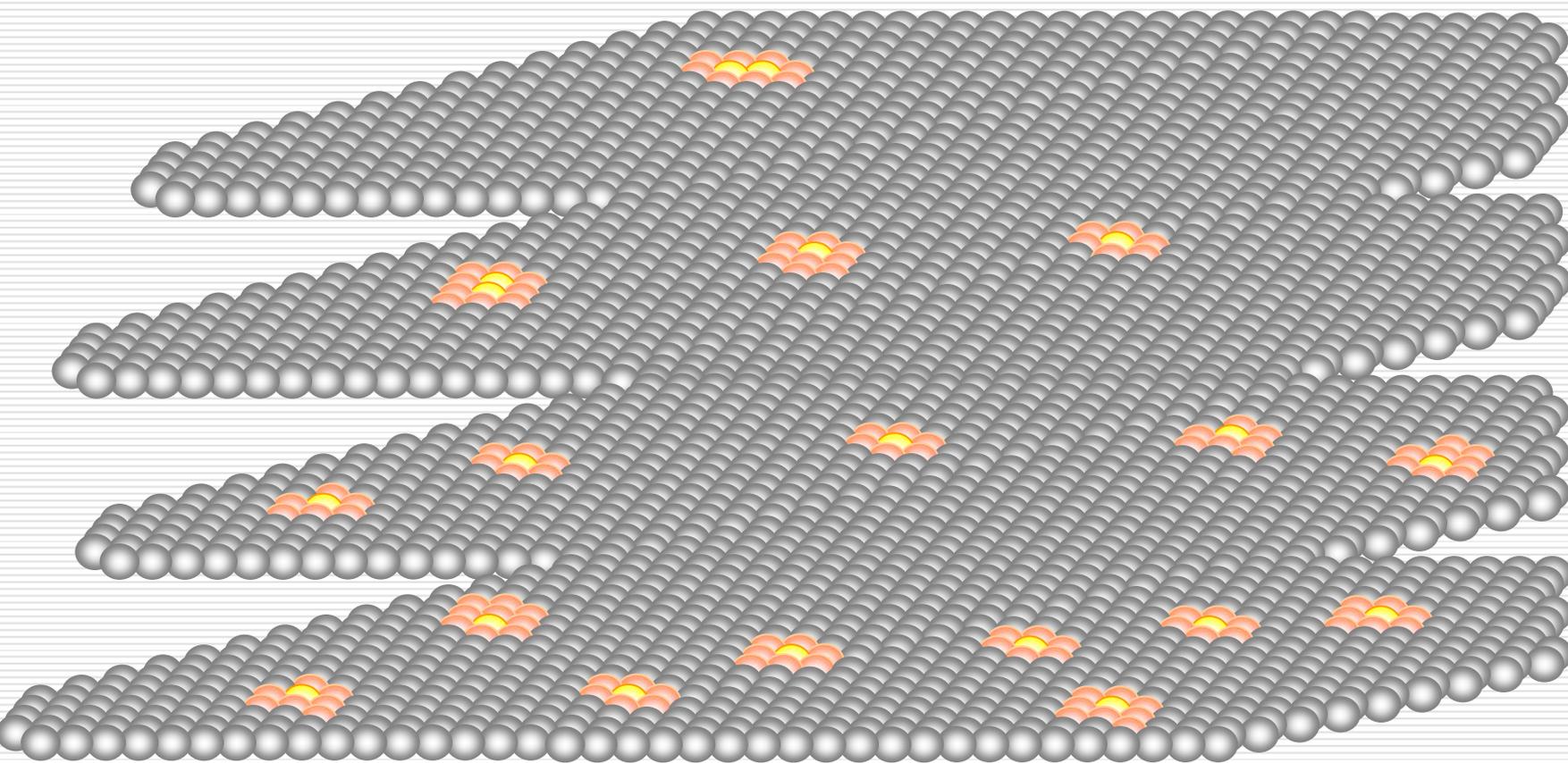


Активна ~ 1% коры: Признаки ситуации / компоненты действия

# Иерархия связей

---

*Лурия, Поляков, 1962*

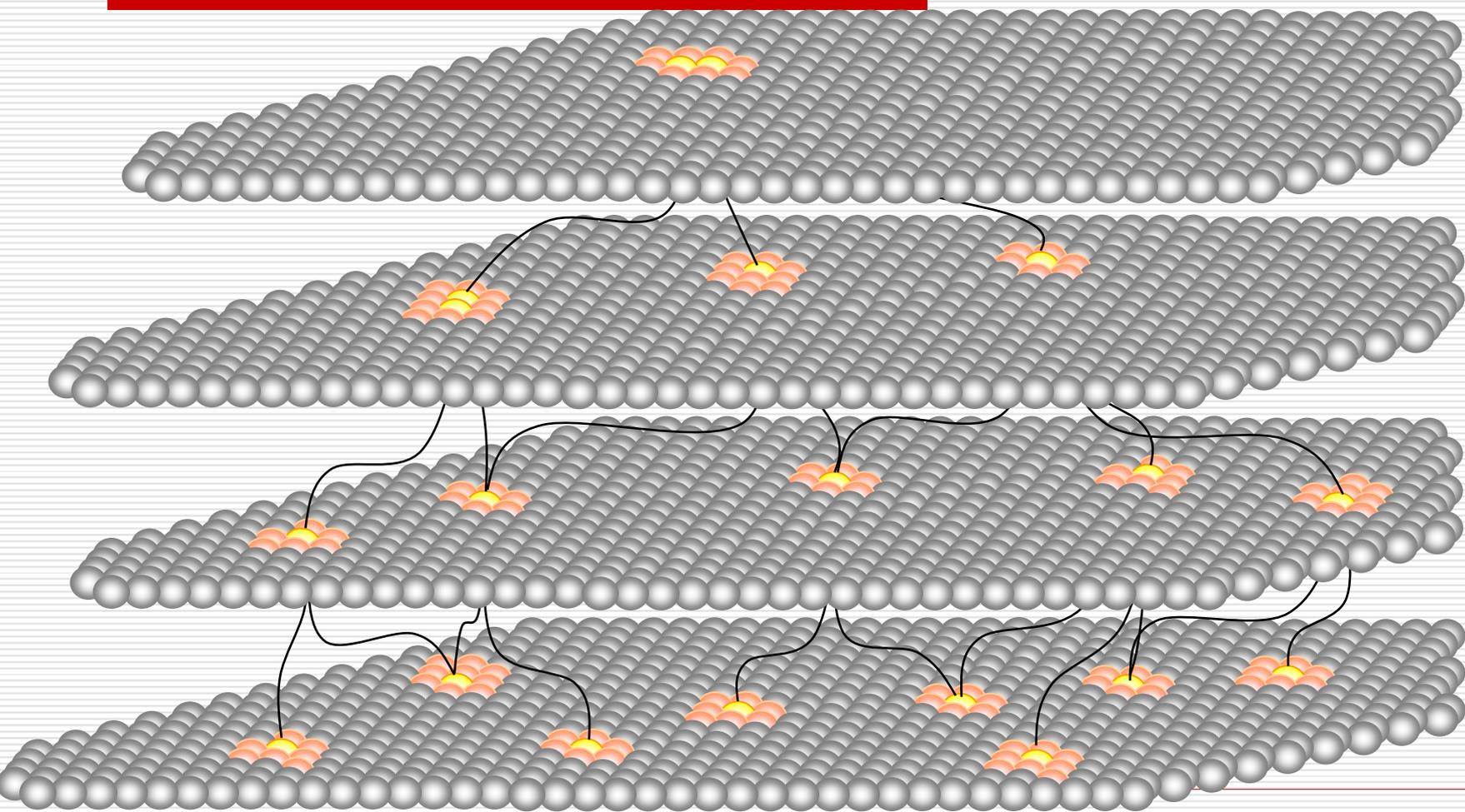


---

Первичные, вторичные, третичные области коры

# Иерархия связей

*Лурия, Поляков, 1962*



Первичные, вторичные, третичные области коры

# Deep Neural Networks.

## Пример

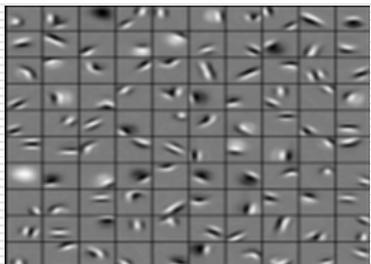
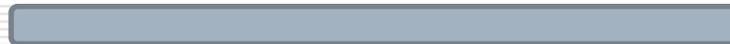
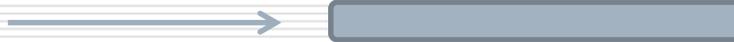
*Le, et.al (Google, 2012)*



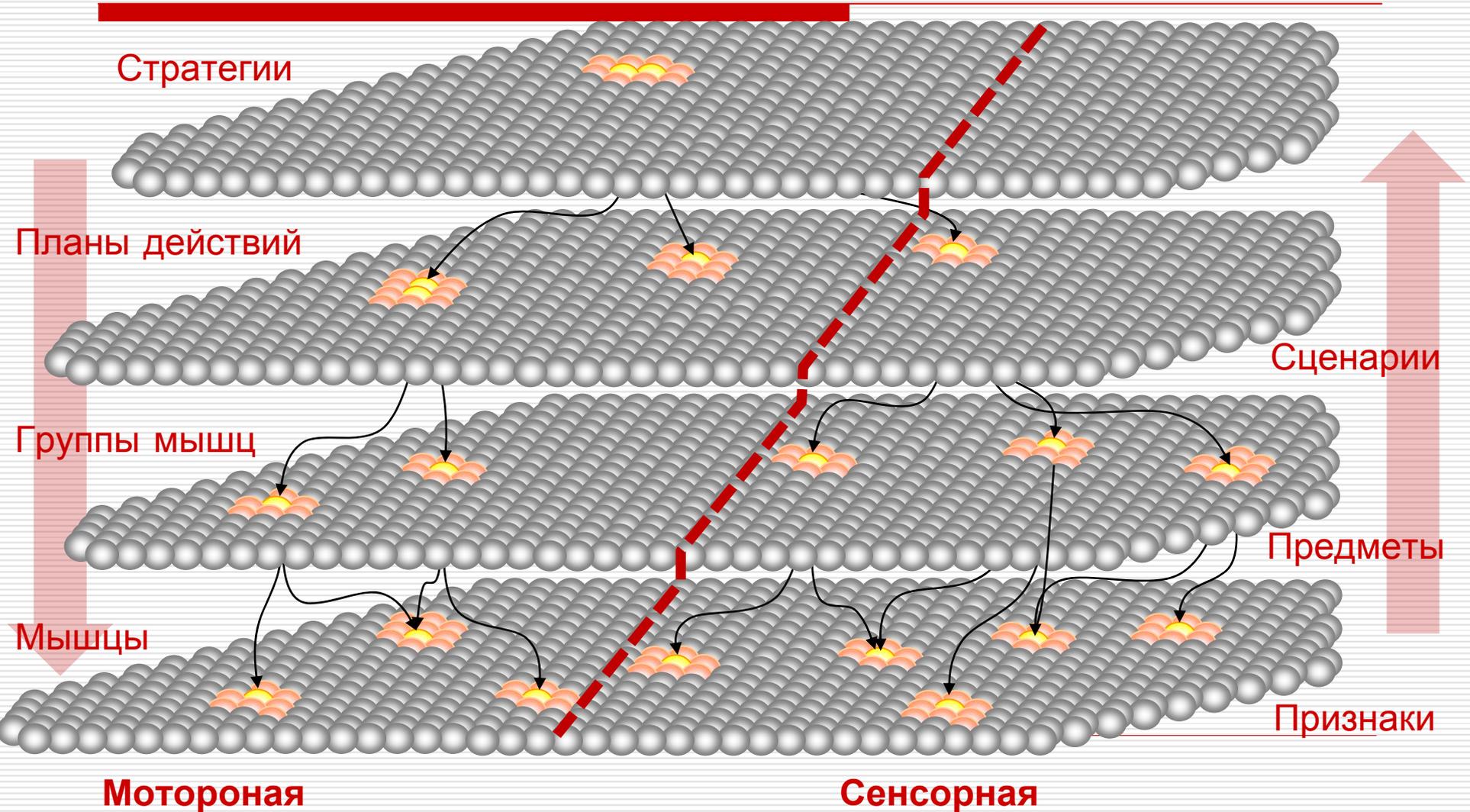
**$10^9$  весов**

**9 слоев**

**$10^7$  фото  $200 \times 200$**



# Восприятие → Осмысление → Действие



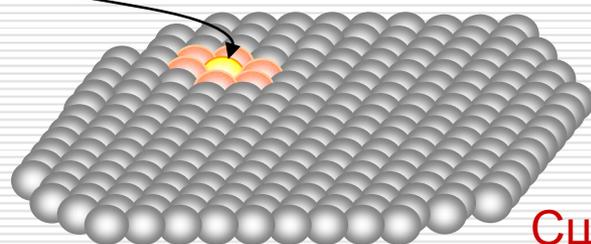
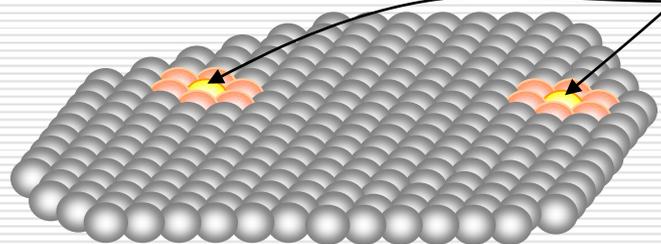
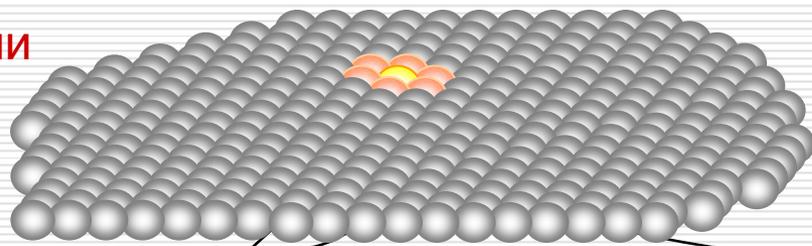
# Целесообразное поведение: Восприятие → Осмысление → Действие



# Обучение с подкреплением: сравнение вариантов действий

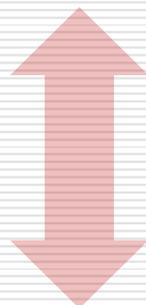
---

Стратегии



Сценарии

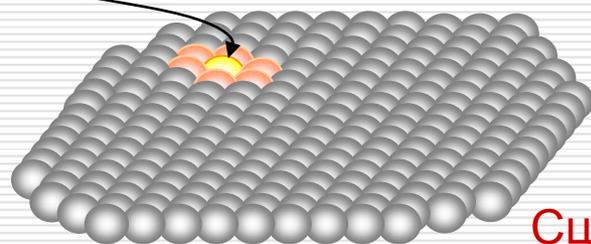
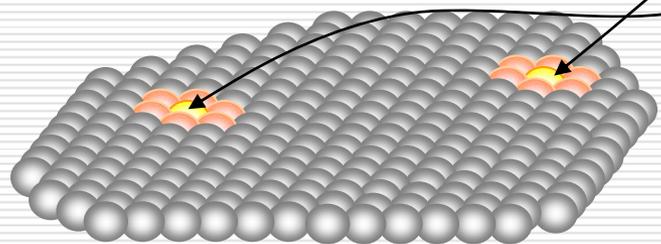
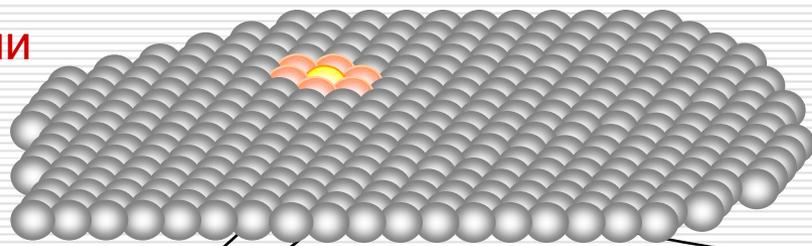
Планы действий



# Обучение с подкреплением: сравнение вариантов действий

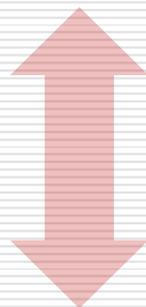
---

Стратегии



Сценарии

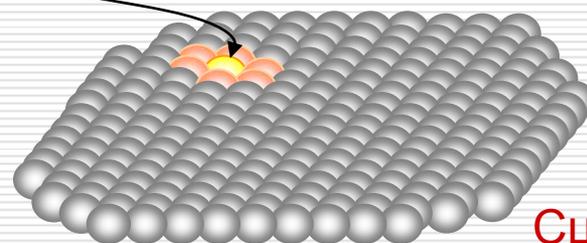
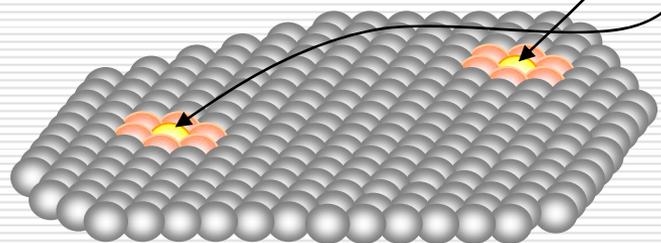
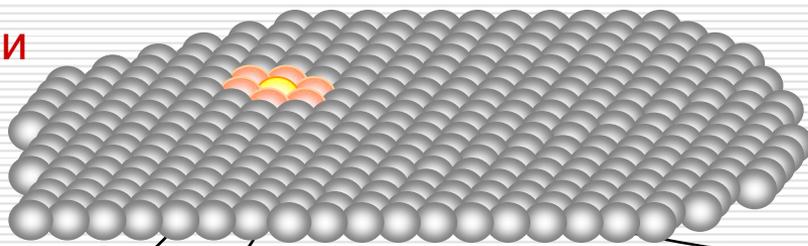
Планы действий



# Обучение с подкреплением: сравнение вариантов действий

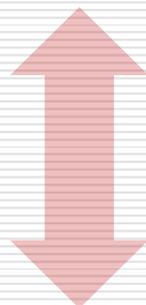
---

Стратегии



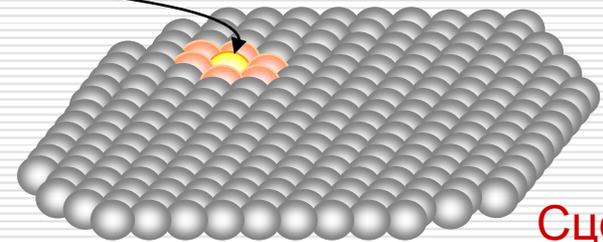
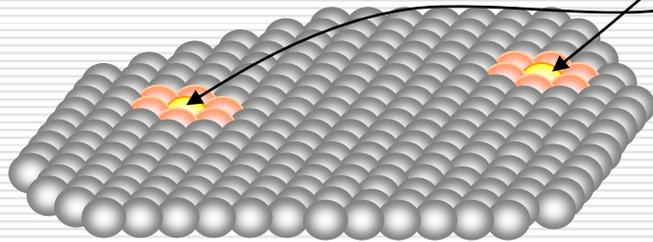
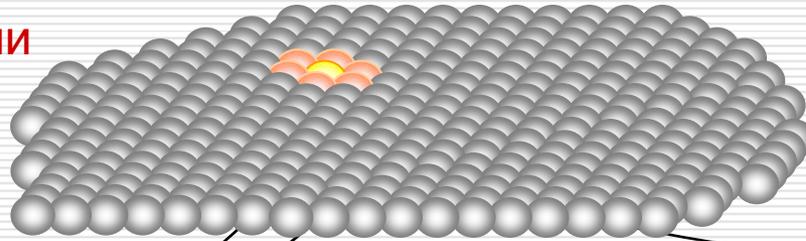
Сценарии

Планы действий

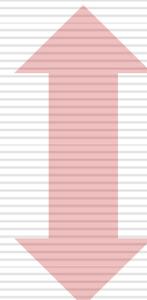


# Обучение с подкреплением: управление ассоциациями

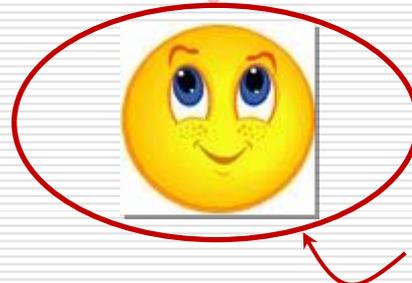
Стратегии



Сценарии



Планы действий



Кто и как сравнивает стратегии?

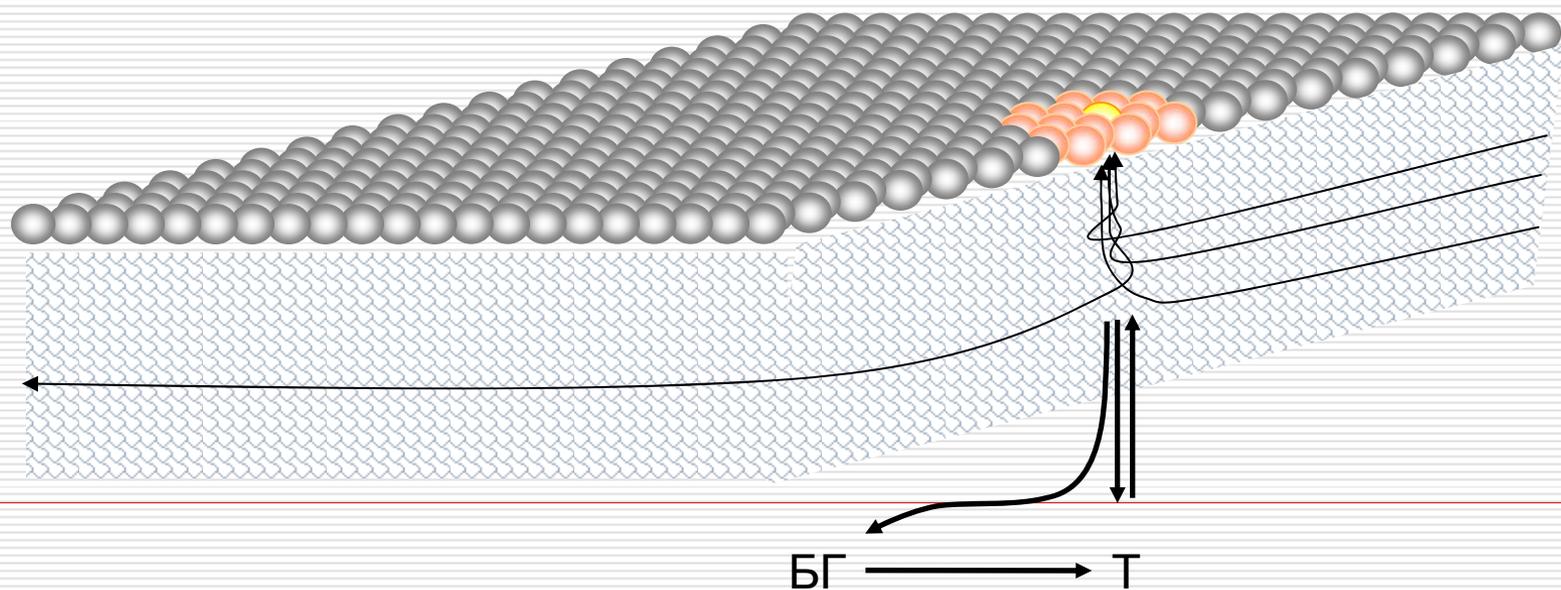
Кто обеспечивает внимание?



# Связь коры с древним мозгом

---

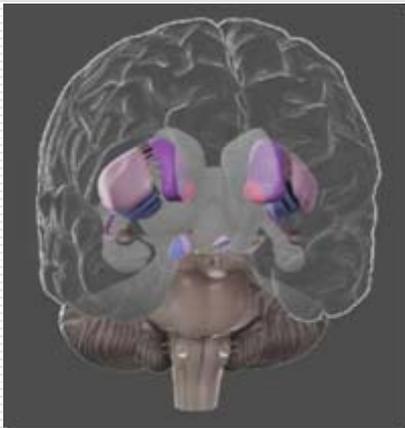
- Положительная обратная связь  
Кора → Таламус → Кора
- Положительная обратная связь  
Кора → Базальные Ганглии → Таламус → Кора  
(Префронтальная кора)



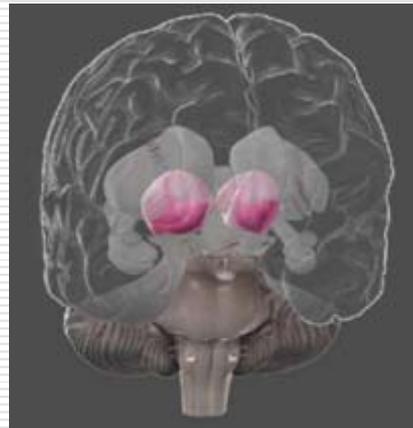
# Действующие лица



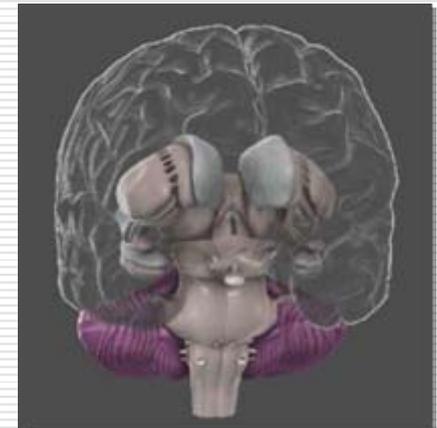
Неокортекс



Базальные ганглии



Таламус

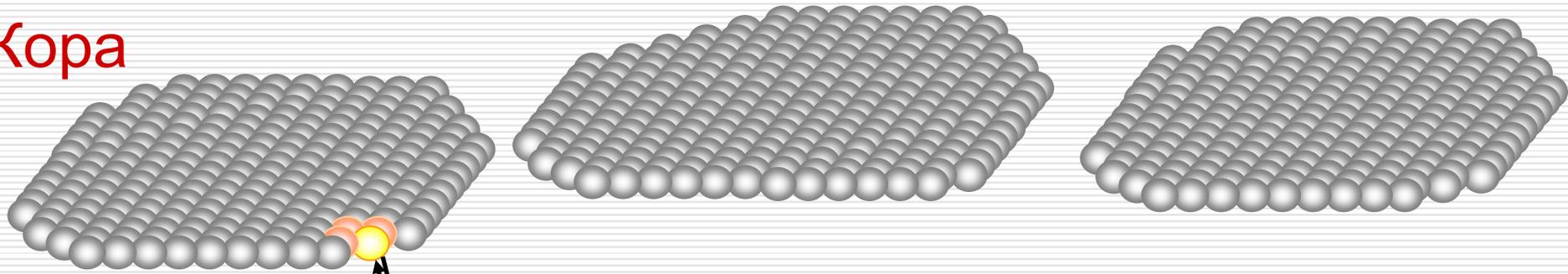


Мозжечок

# Таламус: Фокус внимания

---

Кора

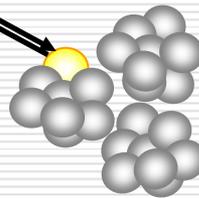


~ 40 Гц

Усилительный контур

→ Гамма-ритм

→ Длительное возбуждение



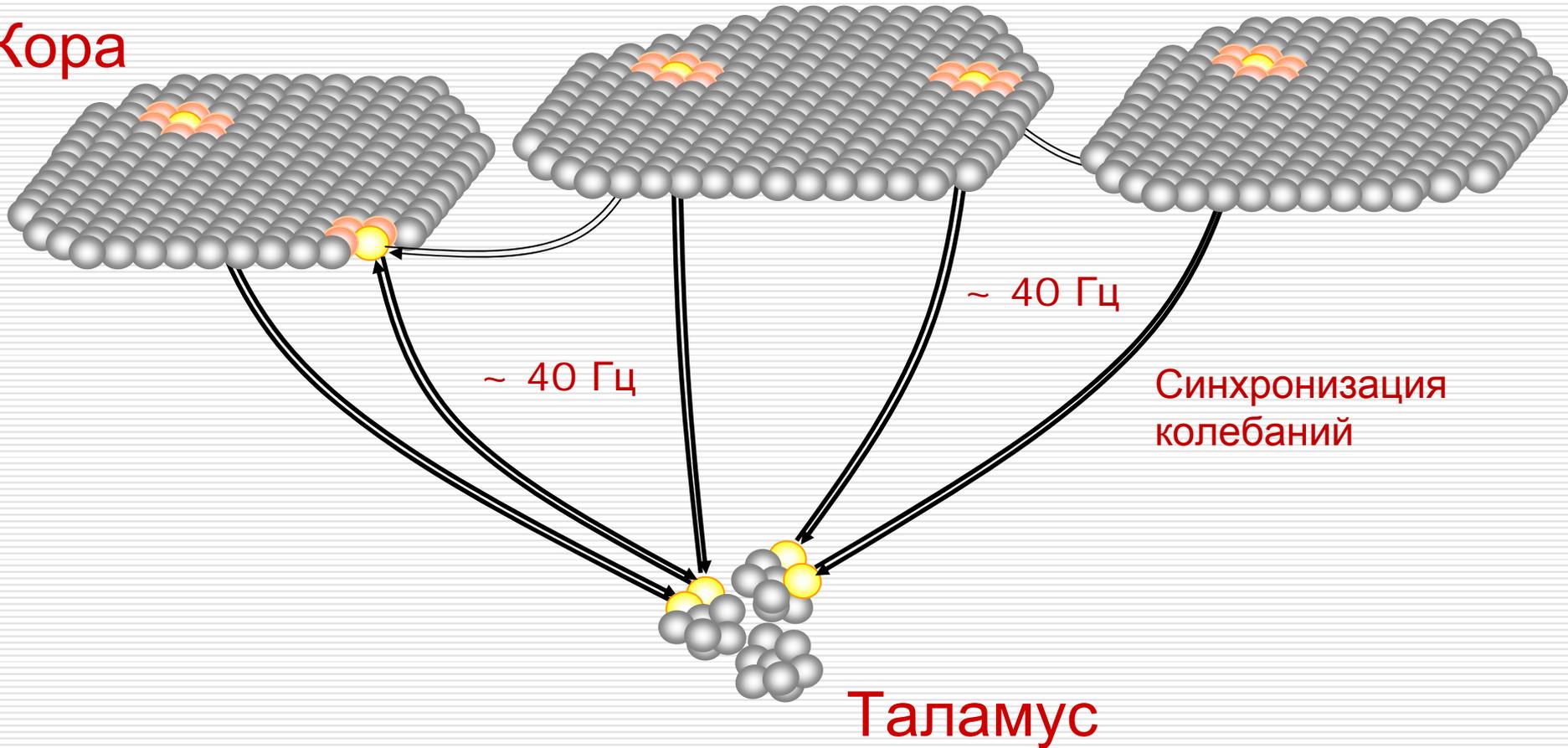
Таламус

---

# Таламус:

## Фокус внимания, связь ощущений

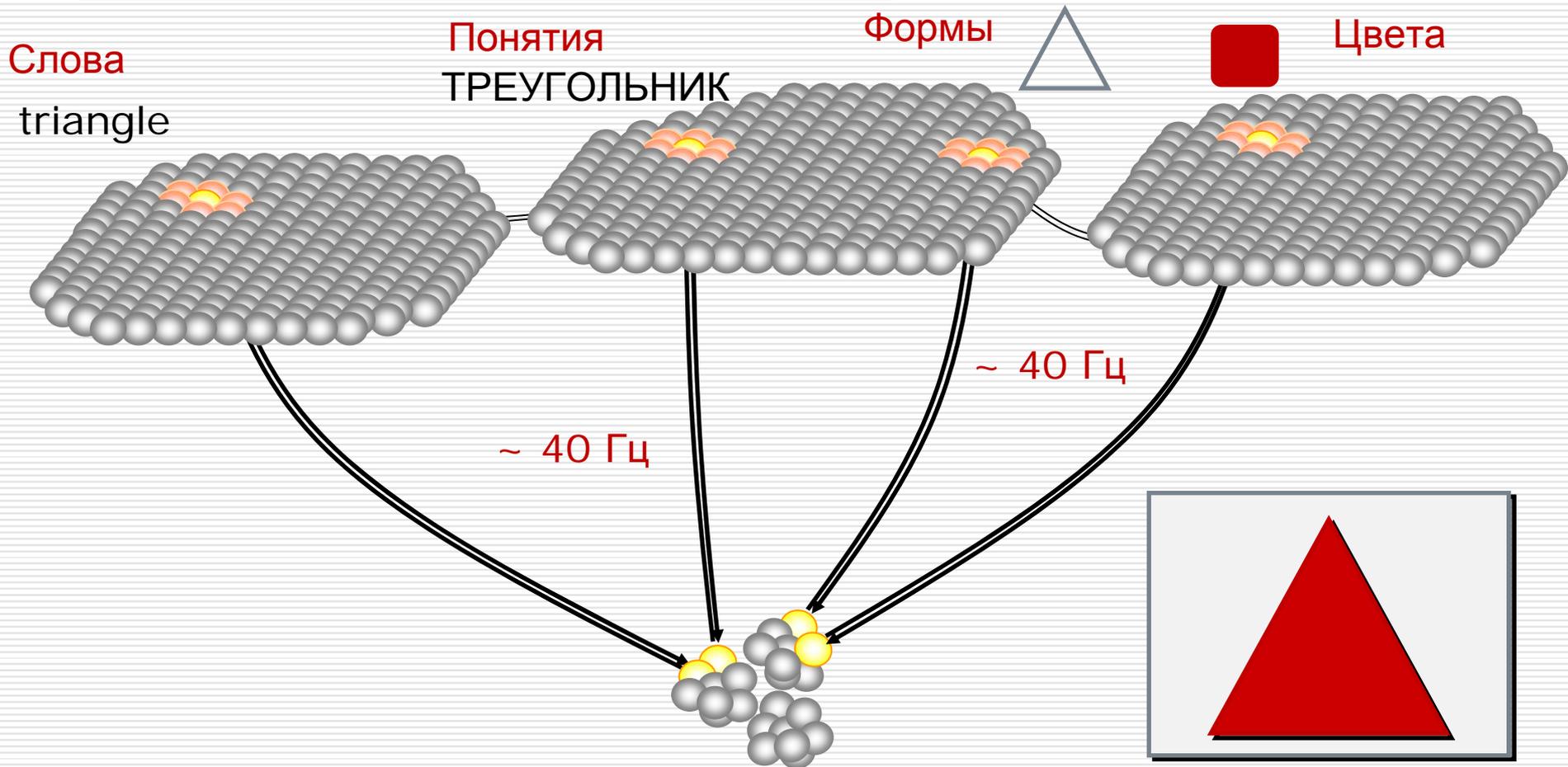
Кора



*LaBerge (1998) "Triangular Circuit Theory of Attention"*

# Таламус:

## Фокус внимания, связь ощущений

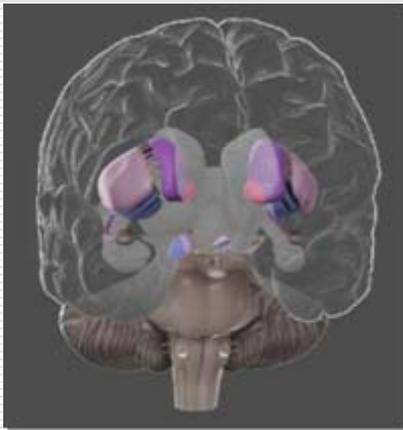


Таламус

# Действующие лица



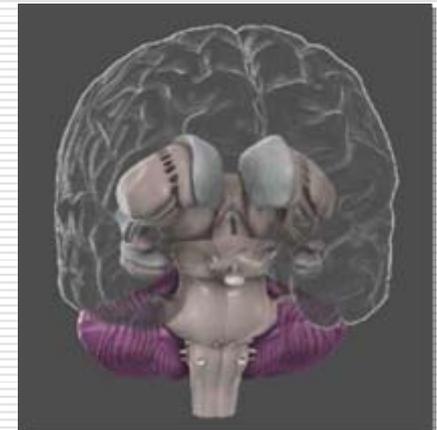
Неокортекс



Базальные ганглии



Таламус



Мозжечок

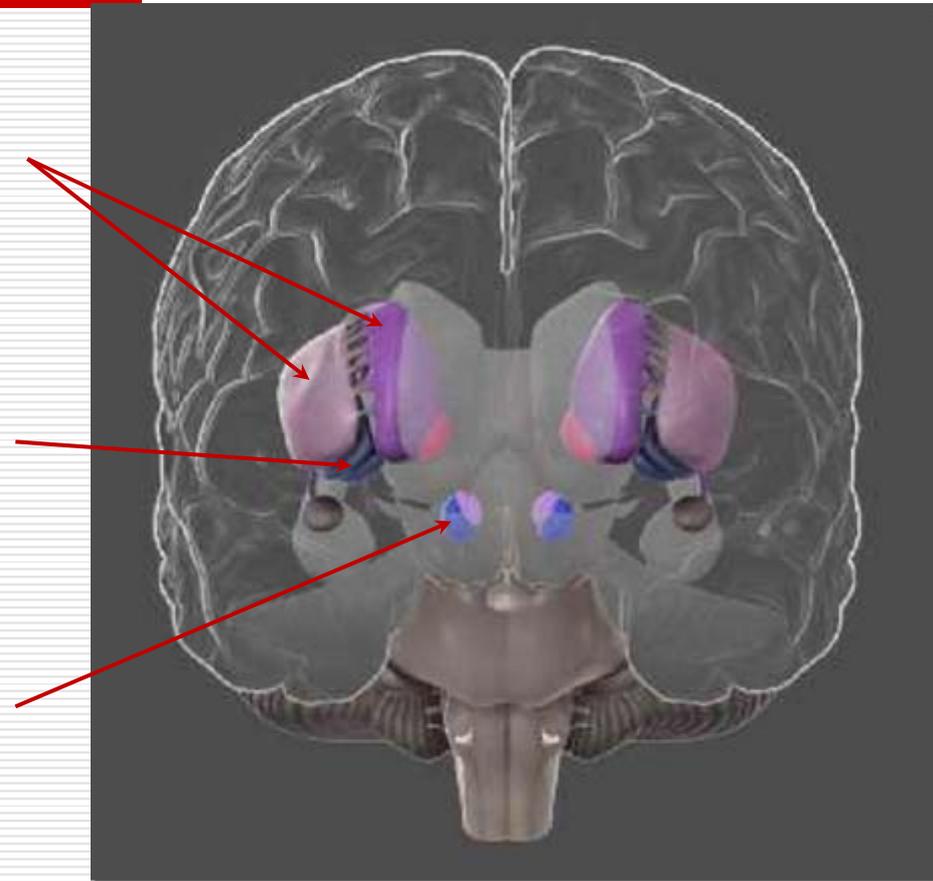
# Базальные ганглии

---

**Striatum** – оценка ситуации

**Pallidus** – выбор поведения

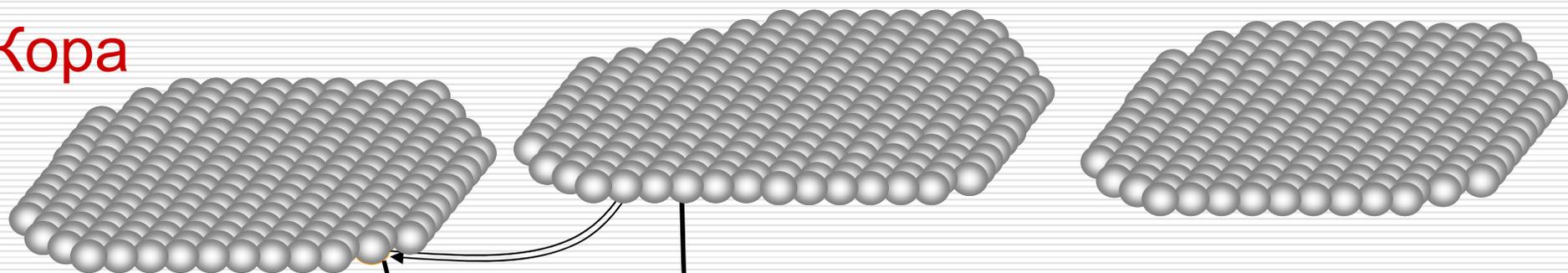
**Substantia Nigra** – сигнал к обучению



# Базальные Ганглии: Контроль поведения

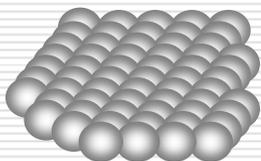
---

Кора



Затухание возбуждений  
без санкции БГ

Striatum



Pallidus

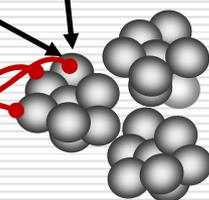


тормоз

Substantia Nigra



Таламус



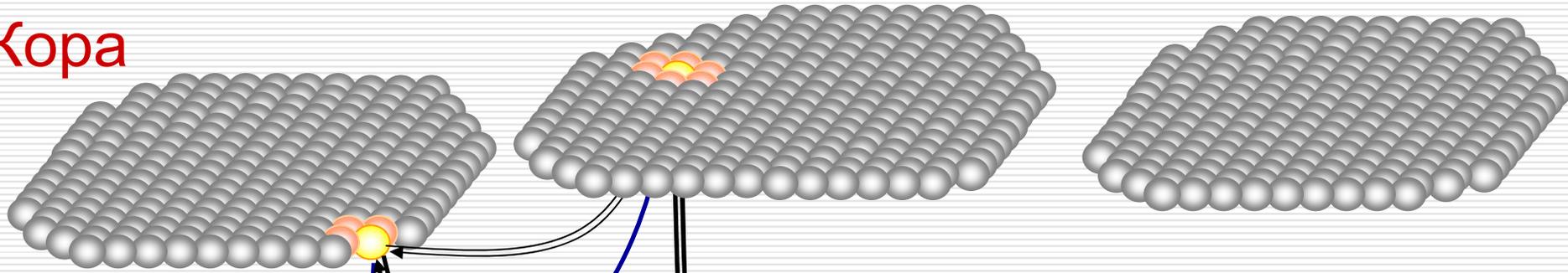
---

Базальные Ганглии

# Базальные Ганглии: Контроль поведения

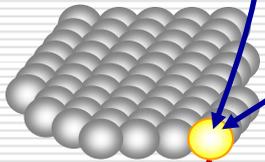
---

Кора

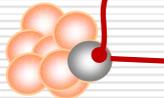


Поддержка возбуждений  
с санкции БГ

Striatum



Pallidus

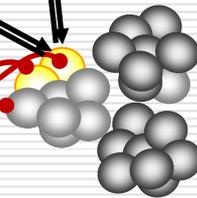


нет тормоза

Substantia Nigra



Таламус



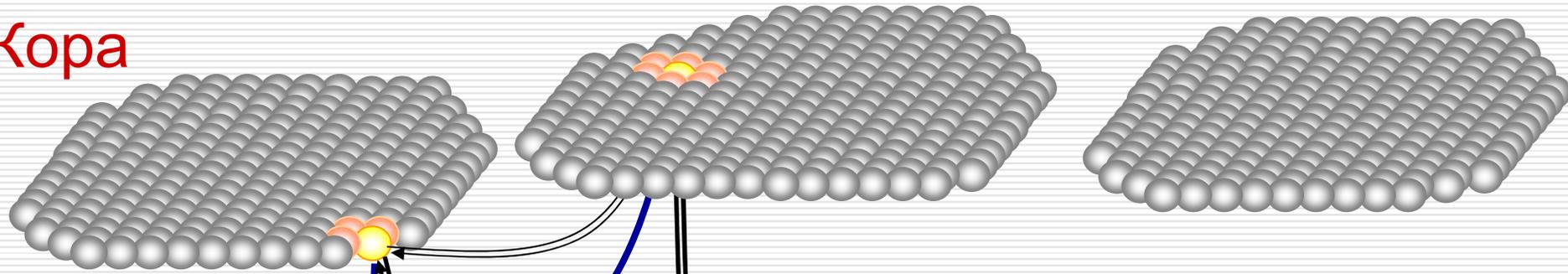
---

Базальные Ганглии

# Базальные Ганглии: Обучение правильному поведению

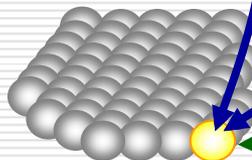
---

Кора



Укрепление связей  
по сигналу Substantia Nigra

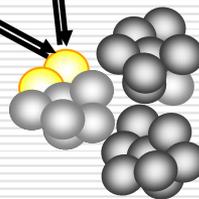
Striatum



Pallidus



Substantia Nigra



Таламус

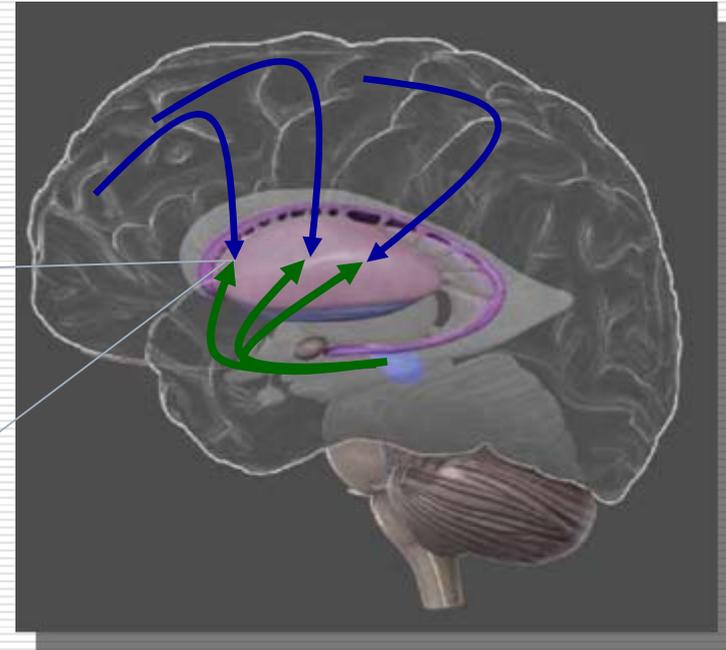
---

Базальные Ганглии

# Допамин – сигнал к обучению (гормон радости)

---

Из коры – оценка ситуации

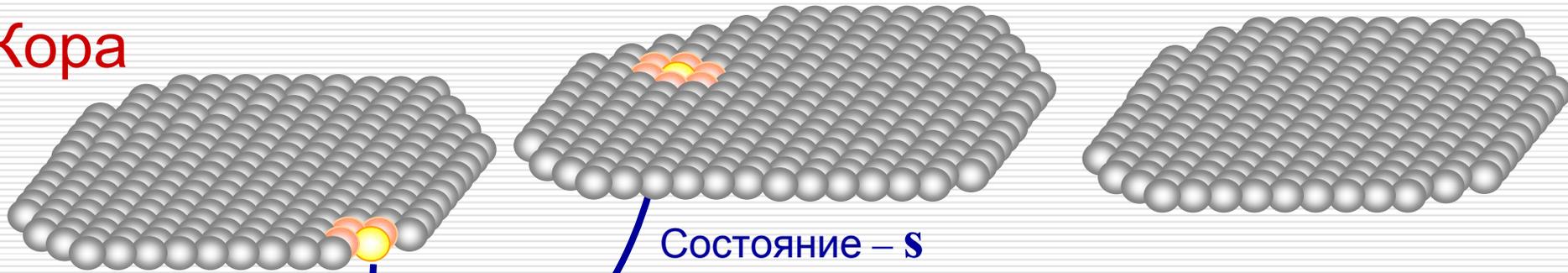


Из Substantia Nigra – сигнал к обучению

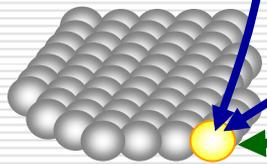
---

# Базальные Ганглии: Обучение с подкреплением

Кора



Поведение –  $a$



$V_t(s, a)$  – Оценка поведения  $a$  в состоянии  $s$

Предсказание награды  
 $\langle R_t \rangle$



$\delta_t = R_t - \langle R_t \rangle$  Ошибка предсказания



Реальная награда  $R_t$

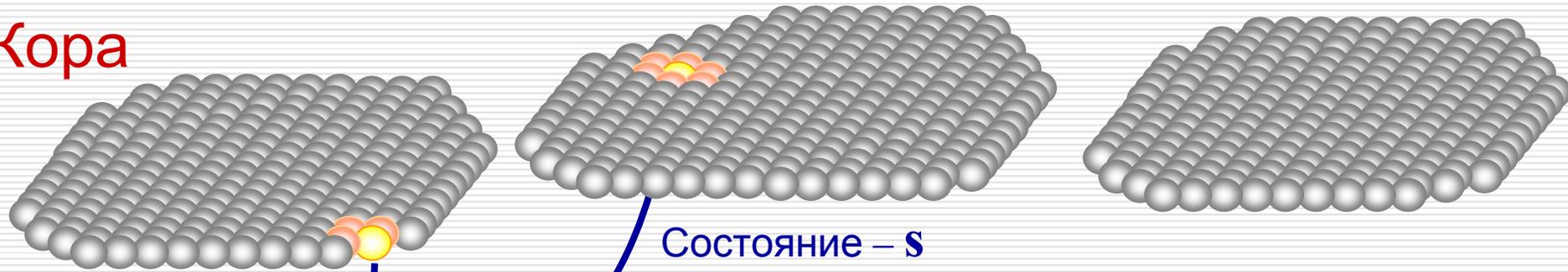


Гипоталамус,  
Амигдала, ...

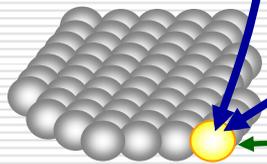
Базальные Ганглии

# Базальные Ганглии: Обучение с подкреплением

Кора



Поведение –  $a$



Результат обучения: **Ценность** =  
Интегральная оценка будущего

$$V_t(\mathbf{s}, \mathbf{a}) \rightarrow V_{t-1}(\mathbf{s}, \mathbf{a}) + \delta_t = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \dots + \delta_t$$

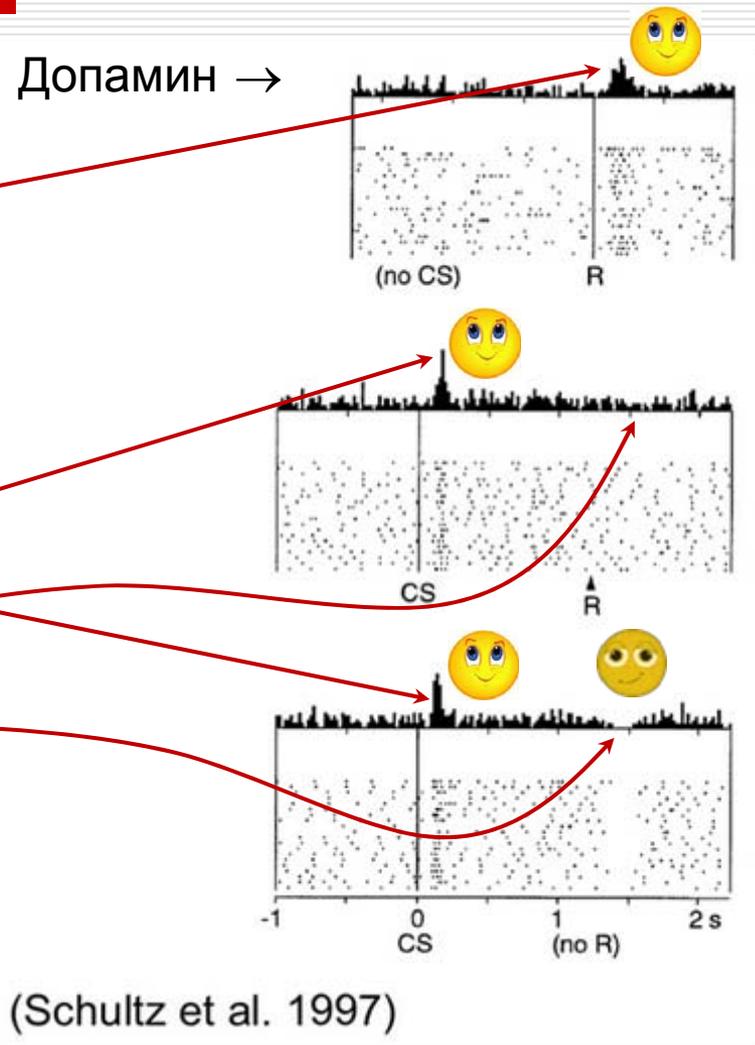
$$\delta_t = R_t - \langle R_t \rangle$$



Базальные Ганглии

# Мозг учится, когда он приятно удивлен $\delta_t > 0$

- Банан без сигнала
  - Банан - Сюрприз!
  
- Банан с сигналом
  - Сигнал - Сюрприз!
  - Банан - Ждали ...
  - Нет банана – Бывает ...
  
- Учиться приятно!



# Музыка: приятные сюрпризы

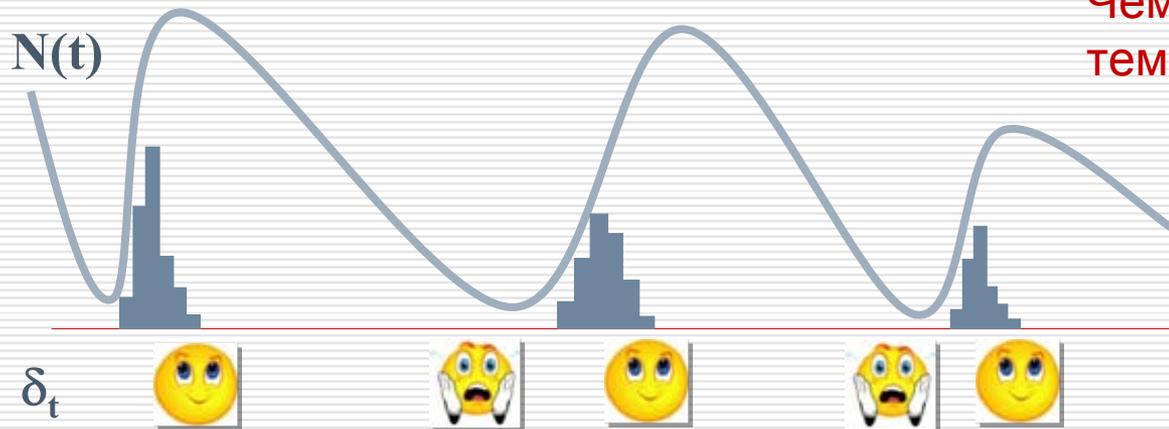
*David Huron (2006) "Sweet Anticipation"*

$R_t \rightarrow$  Удовольствие от угадывания ноты

$\delta_t \rightarrow dN(t)/dt$



Горизонт предсказания

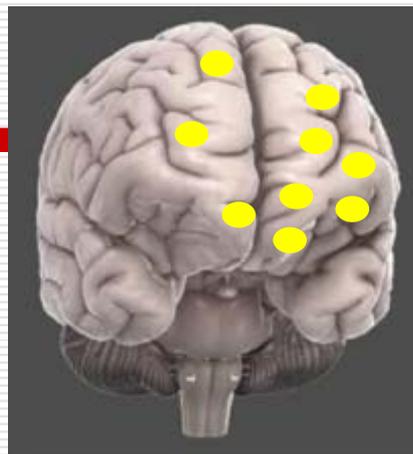


Чем лучше понимаешь –  
тем больше удовольствия!

$$\delta \sim N_{\max}$$

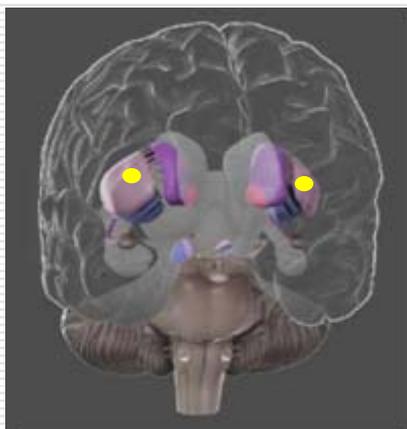


# Управление мышлением



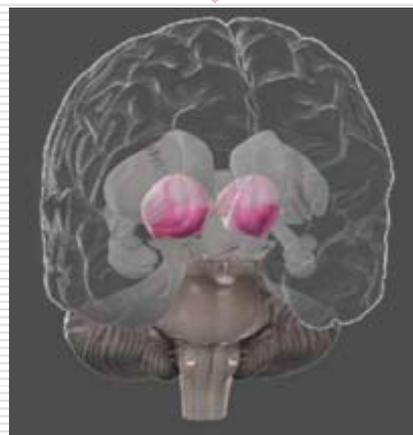
Неокортекс

Анализ ситуации  
Варианты действий



Базальные ганглии

Оценка ситуации  
Принятие решений



Таламус

Концентрация  
внимания

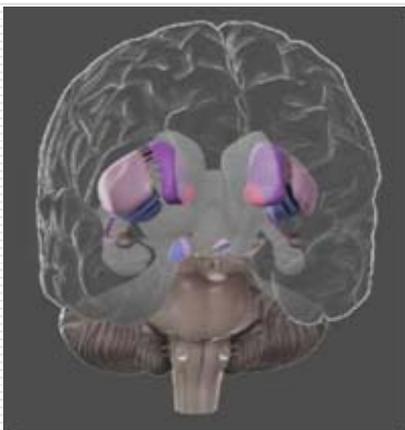


# Действующие лица



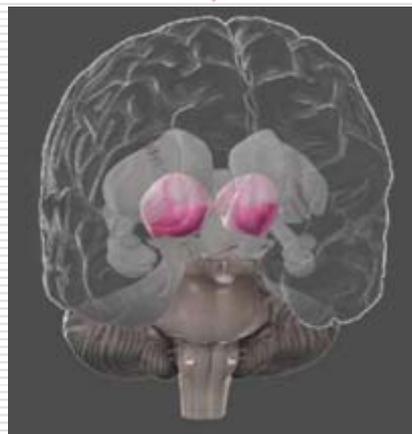
Неокортекс

Анализ ситуации  
Варианты действий



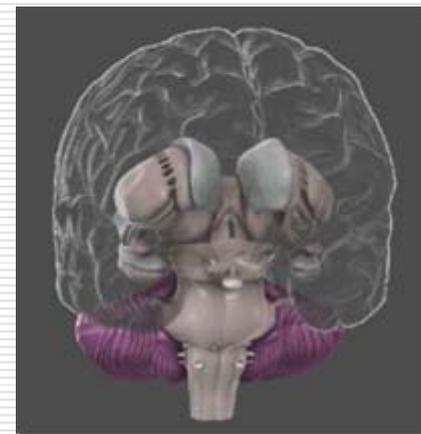
Базальные ганглии

Оценка ситуации  
Принятие решений



Таламус

Концентрация  
внимания



Мозжечок

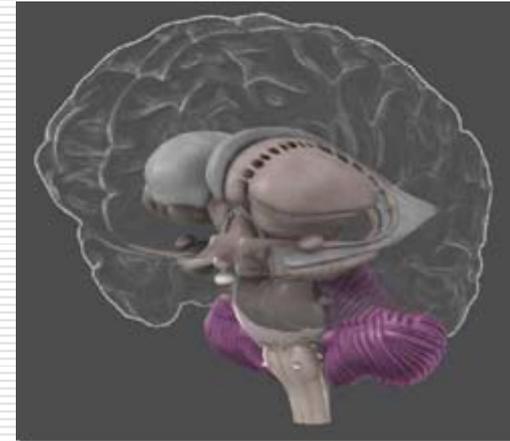
?



# Мозжечок: Автопилот

---

- Плоская однородная ткань
  - *Очень мятая салфетка*
  - У человека **1/10** объема, **3/4** нейронов
  
- **Единый алгоритм**
  - Обучения проактивному поведению (**с предсказанием**)



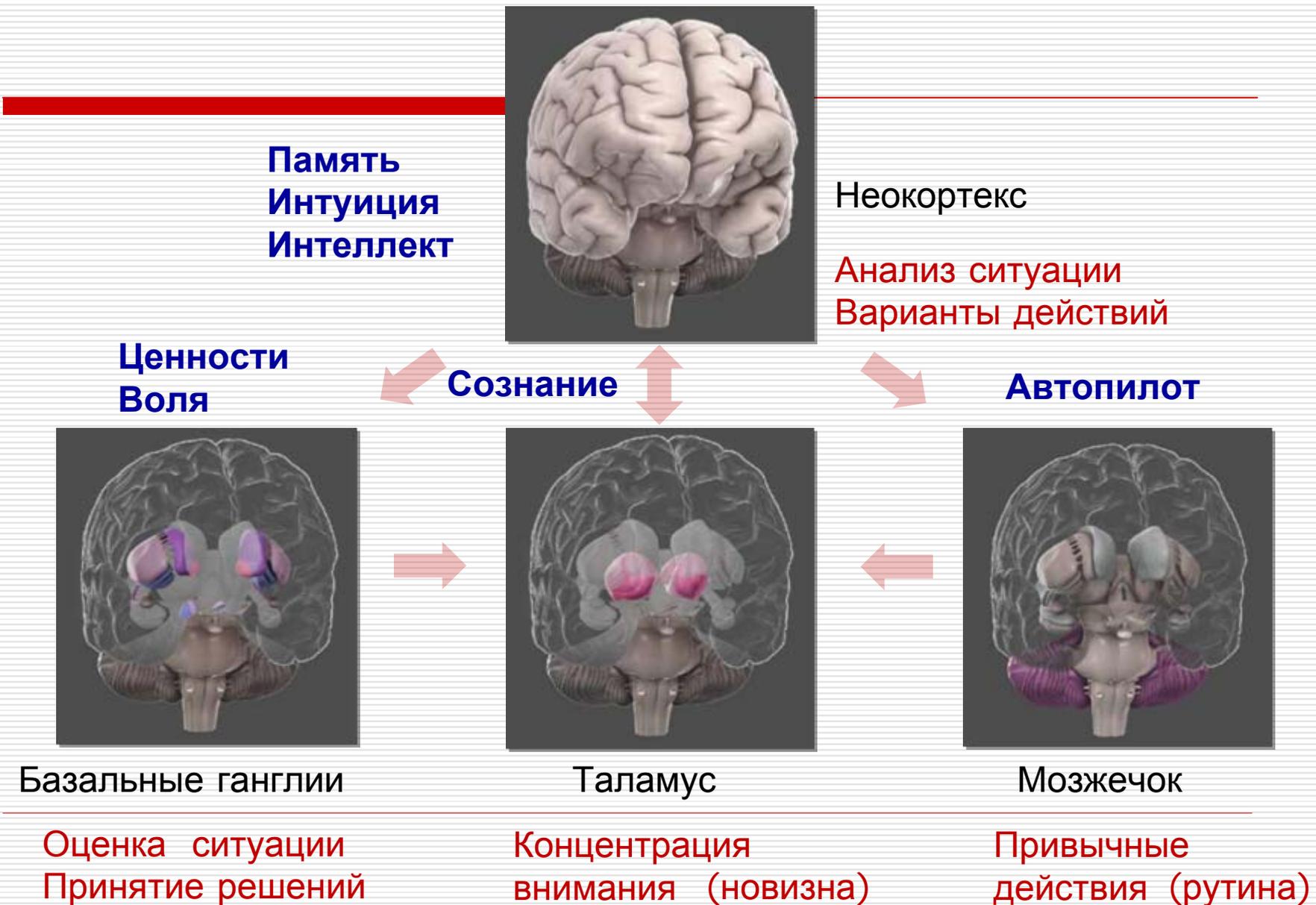
# Мозжечок: Предсказание выбора. Обучение с учителем (Кора)

Что делать

Что происходит



# Действующие лица



# Выводы

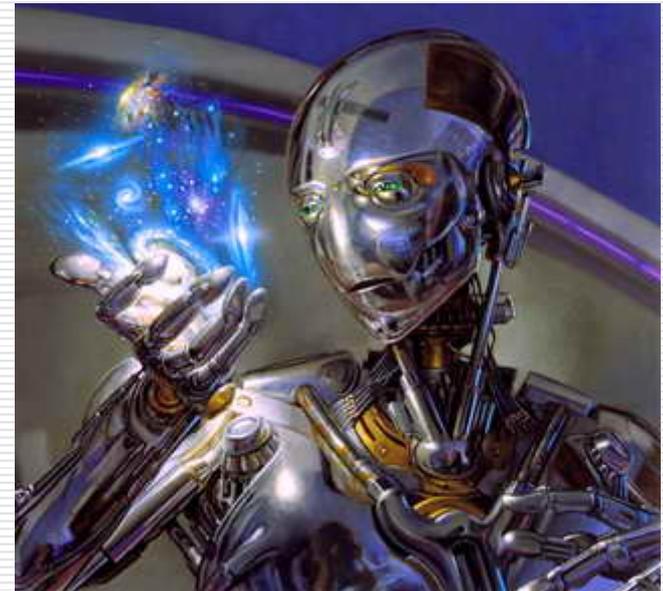
---

- Сознание и Подсознание
    - Не разные подсистемы
    - А разные динамические режимы
  - Новая Кора → Содержание мышления
    - Модели мира и поведения
  - Древний мозг → Навыки мышления
    - Привычное: Быстро (бессознательно)
    - Новое: Медленно (сознательно)
-

# Практика

---

## Машинный интеллект



# Машинное обучение



# Реальные задачи

---

- Распознавание образов в промышленных масштабах
  - Фото, речь, рукописи, интересы ...
  - ... на уровне человека
  
- Затраты на R&D
  - Google: \$9.8 млрд
  - Microsoft: \$11.7 млрд
  - IBM, Apple, Facebook, Amazon, Baidu, ...

---

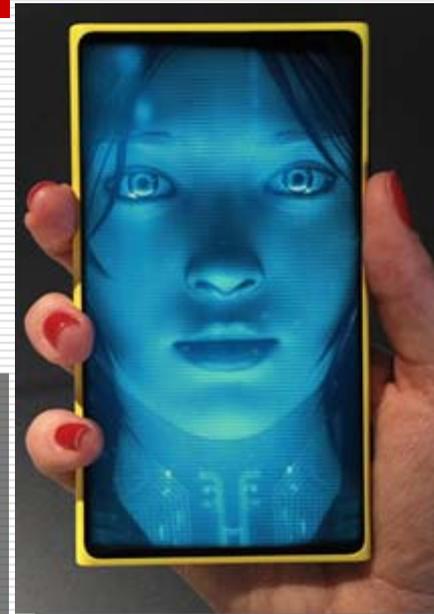
Программа Аполлон (6 лунных экспедиций): \$140 млрд. за 10 лет

# Реальные проблемы

---

## □ Агенты

- Личные помощники
- Роботы-трейдеры



## □ Роботы

- Робомобили
- Андроиды



# Что нас ждет



*«О чем невозможно говорить, о том следует молчать» Л.Витгенштейн*