

Моделирование работы мозга

Состояние и перспективы



30 млн. статей о мозге

Что мы знаем о мозге?

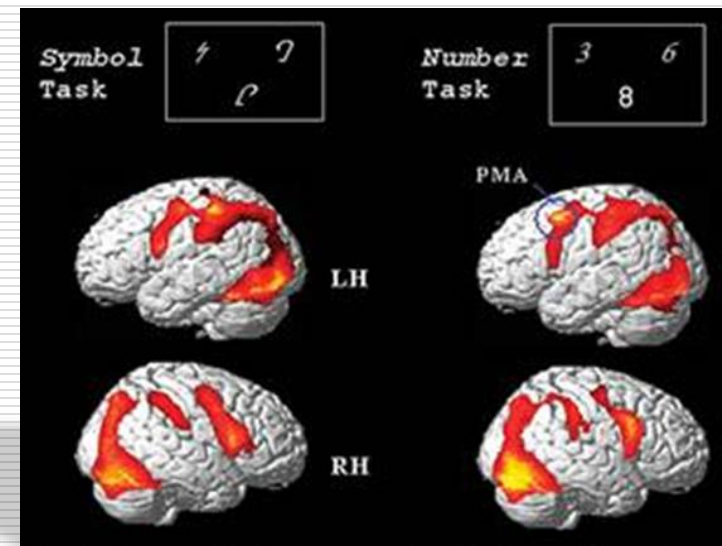
- Эксперимент
 - Что умеем измерять?

 - Теория
 - Что умеем моделировать?

 - Практика
 - Как это использовать?
-

Эксперимент

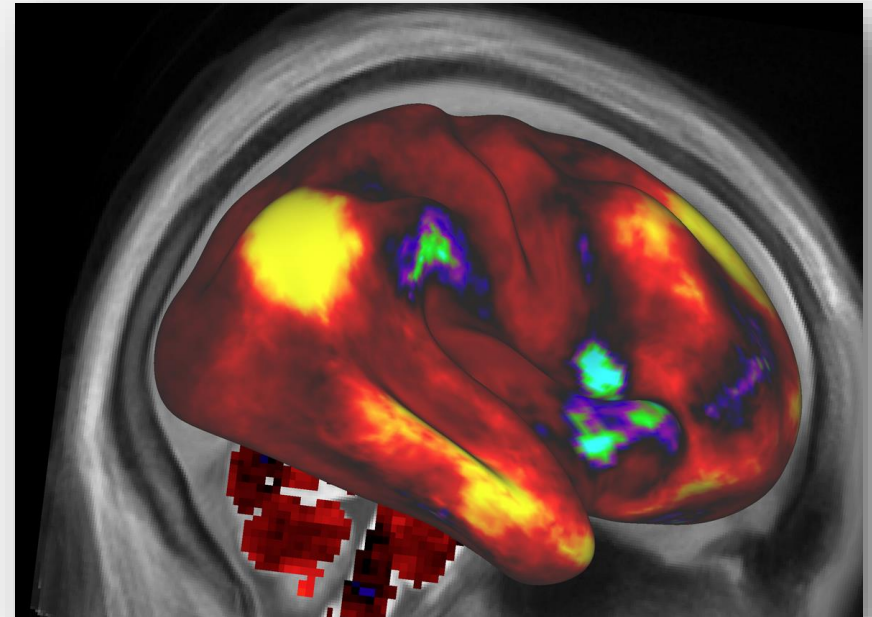
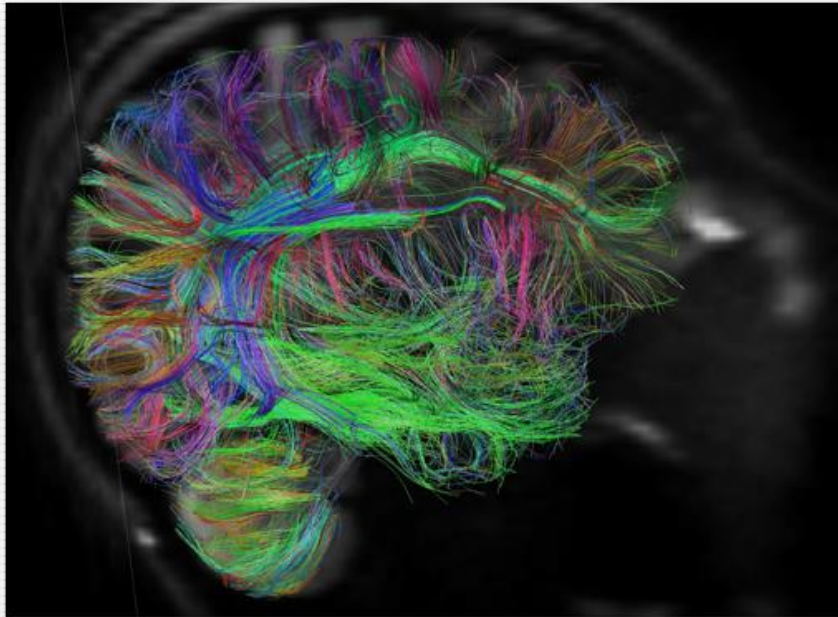
Что умеем измерять?



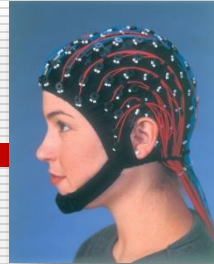
Революция в диагностике

□ Структуры

□ Процессы

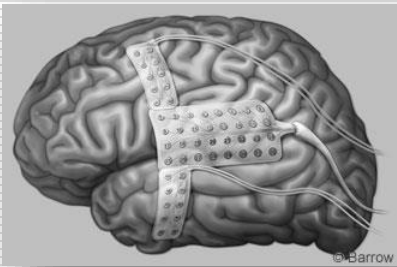
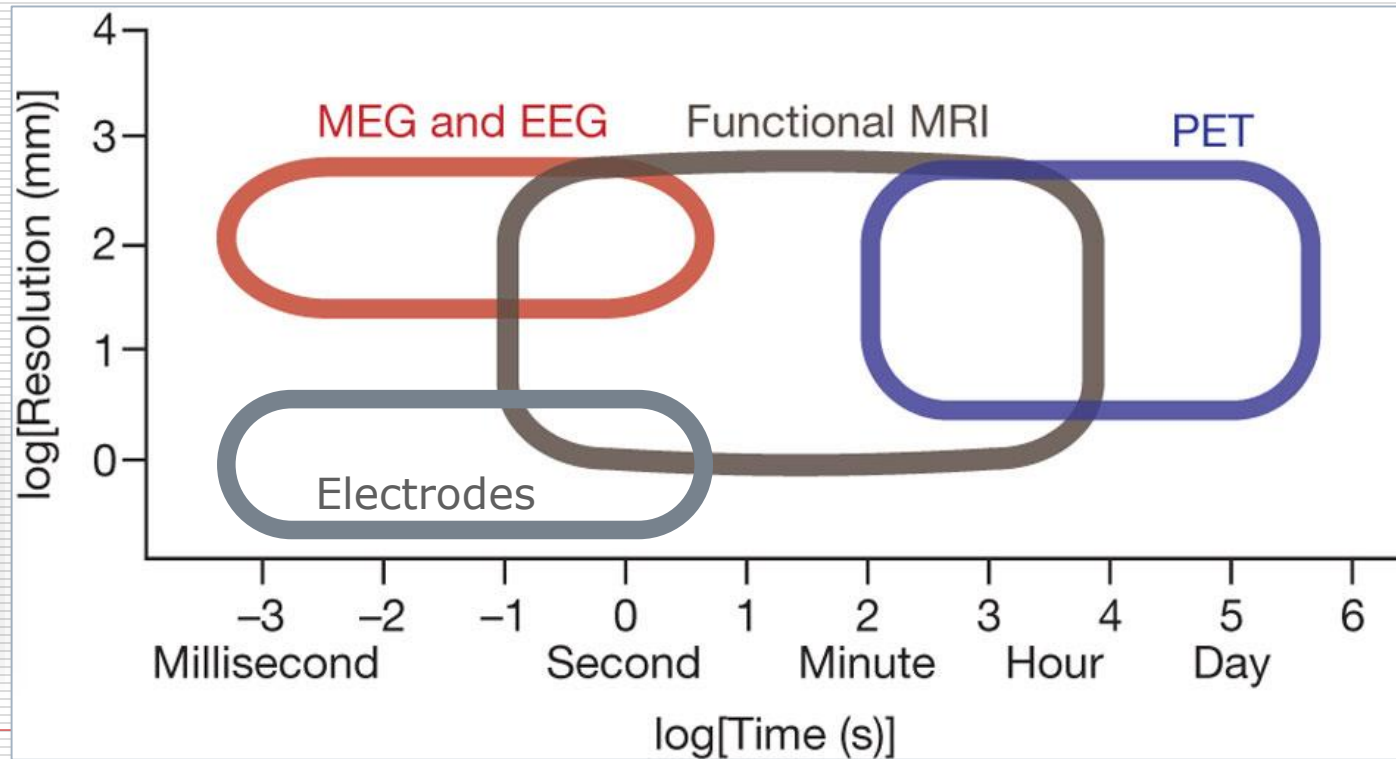


Процессы



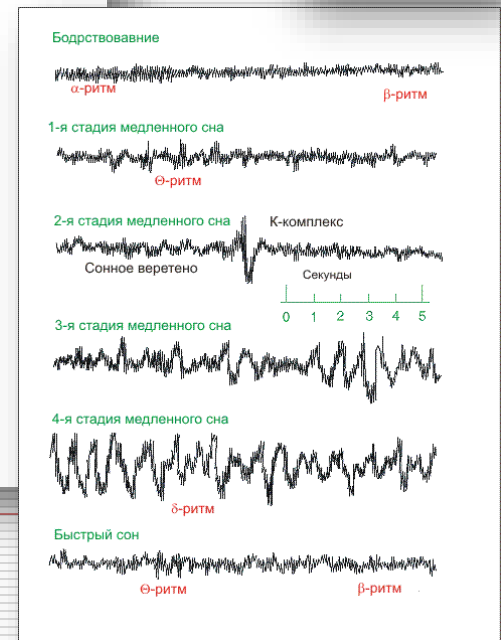
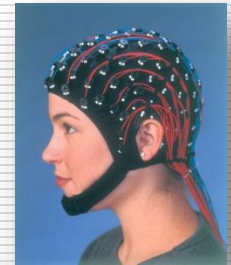
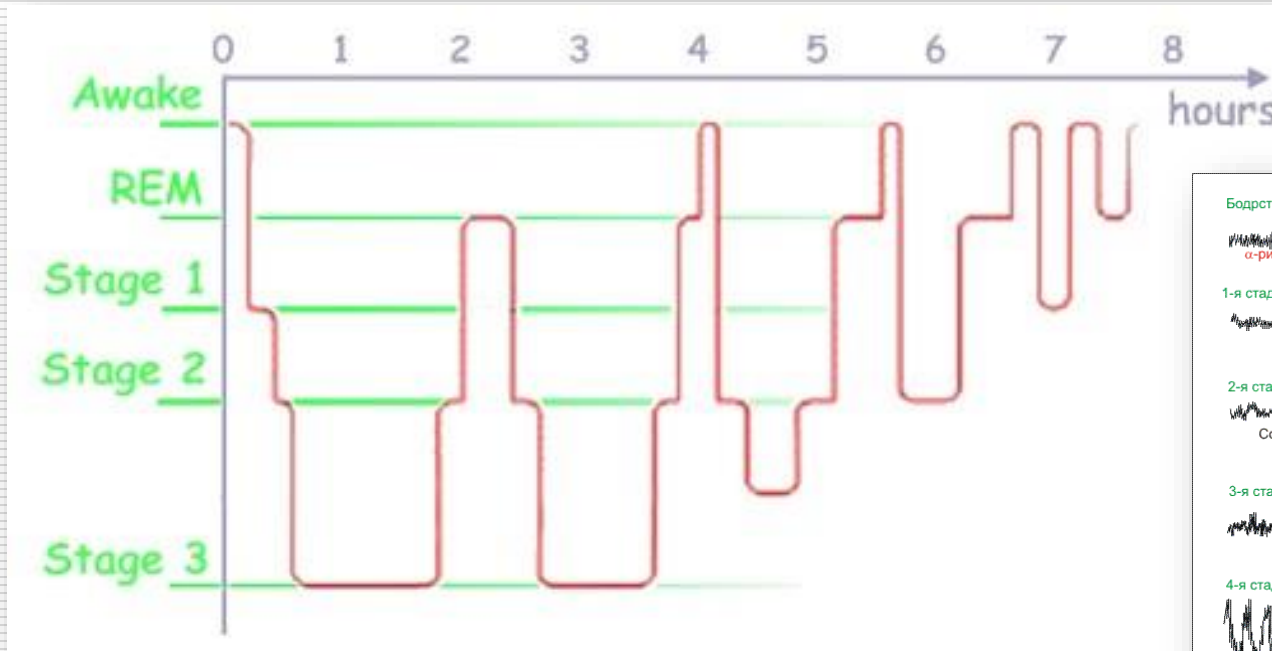
Что происходит

Где происходит



Что можно увидеть?

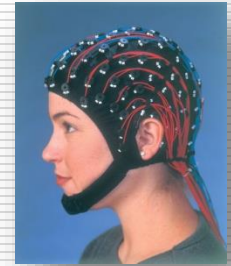
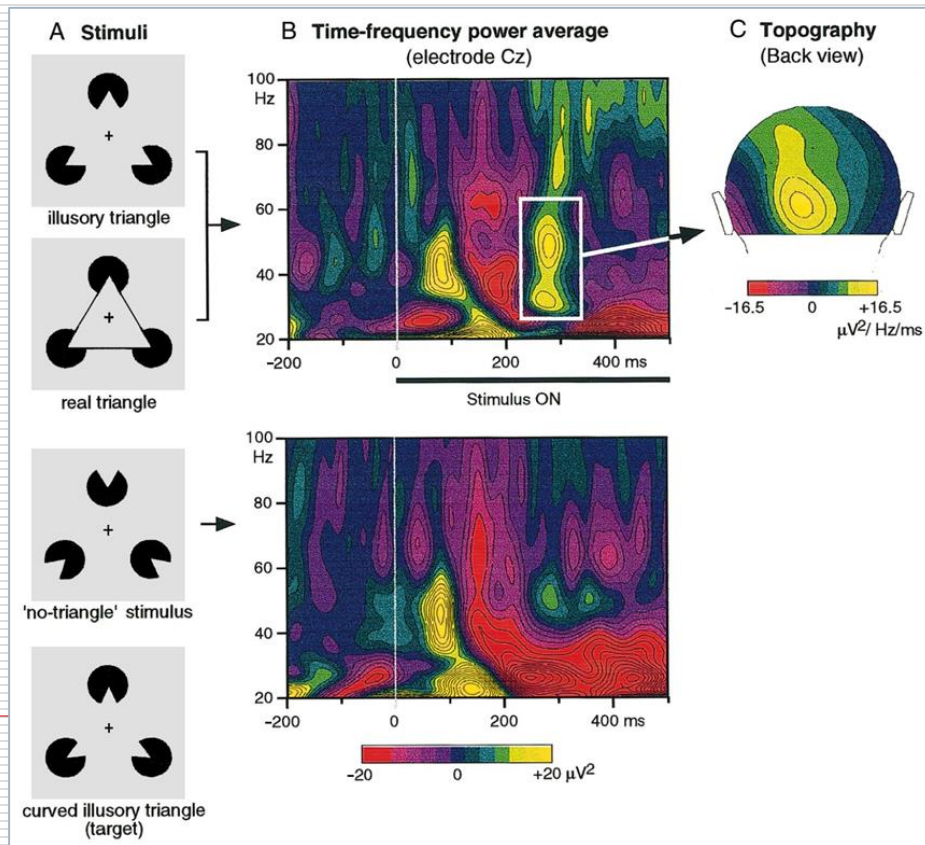
- Спит человек или нет
- Как крепко, видит ли сны



Что можно увидеть?

□ О чем думает

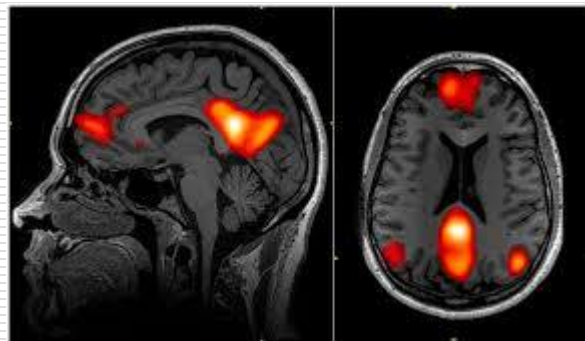
Видит / Не видит фигуру



Что можно увидеть?

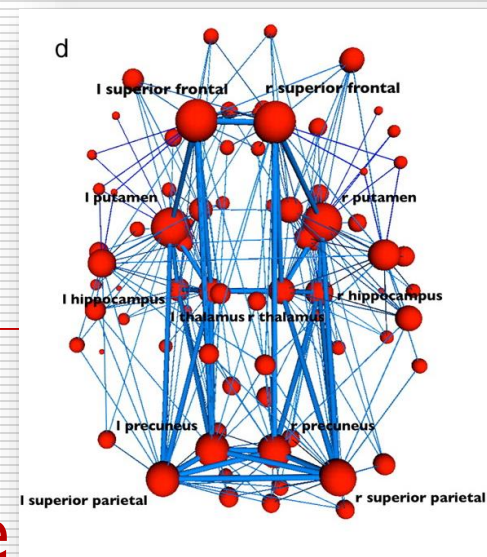
О чем думает

Какую именно фигуру видит

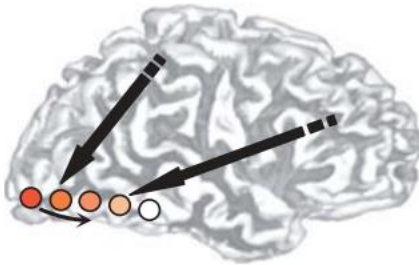


Что можно увидеть?

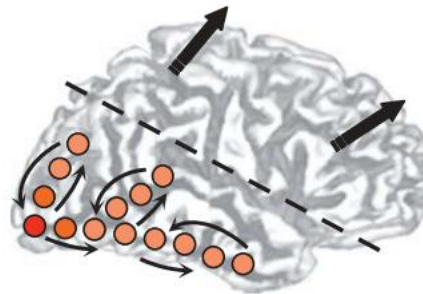
□ Знает ли об этом сам
Бессознательное - Сознательное



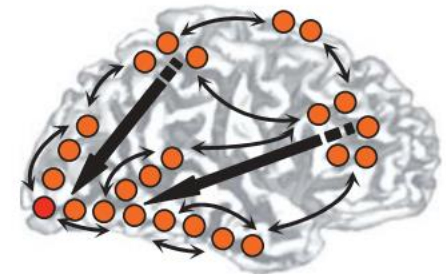
50-100 мс



100-200 мс



300-500 мс



Бессознательное

Подсознательное

Сознательное

Мимолетные ассоциации:

Предметы вне зоны внимания:

Предмет в зоне внимания:

25й кадр

Езда на автопилоте

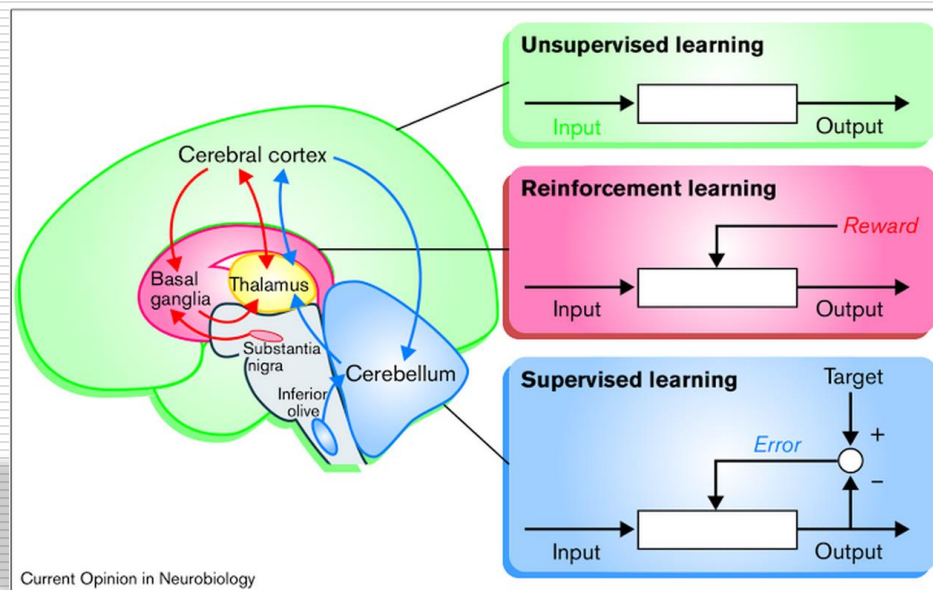
Решение задач

Сознание – молния
Мышление – гроза



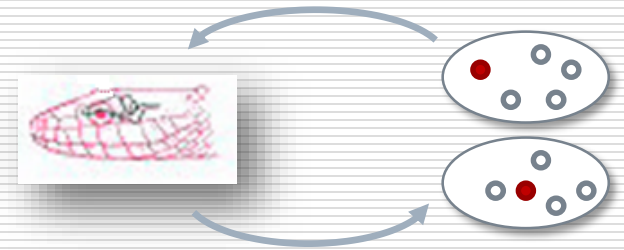
Теория

Что умеем моделировать?



Мозг - средство выживания

- Две задачи
 - Что происходит?
 - Что делать?



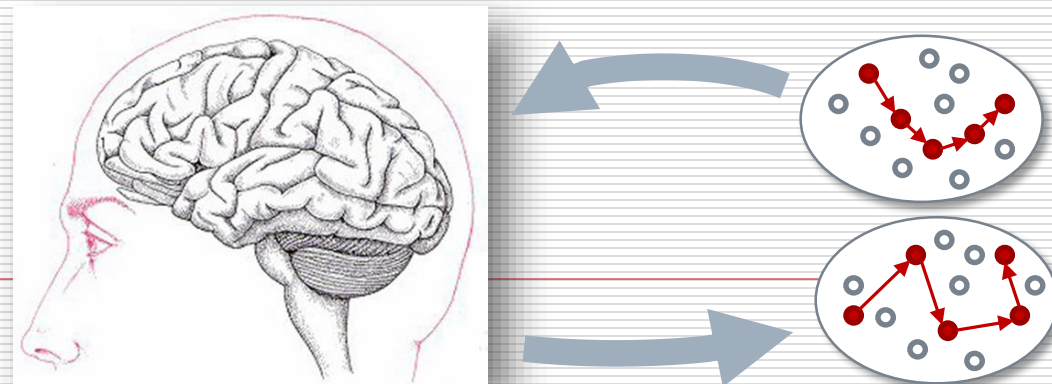
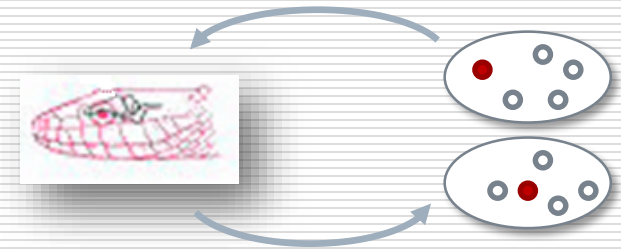
Мозг - средство ВЫЖИВАНИЯ

□ Две задачи

- Что происходит?
- Что делать?

□ ...

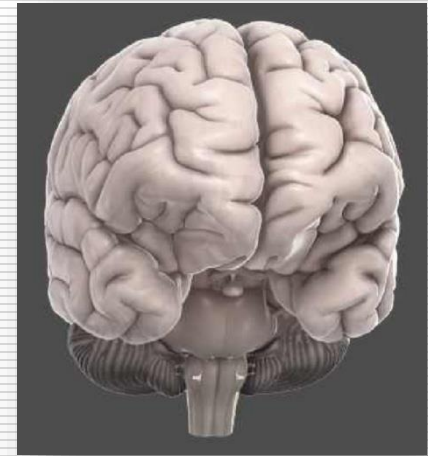
- Что будет?
- Что будем делать?



Археология мозга

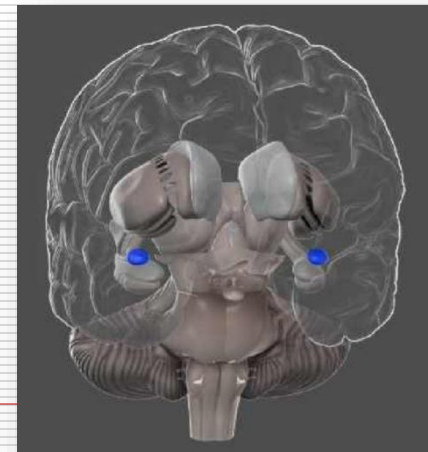
□ Новая кора: млекопитающие

- Память, Интеллект
- Модели мира и поведения

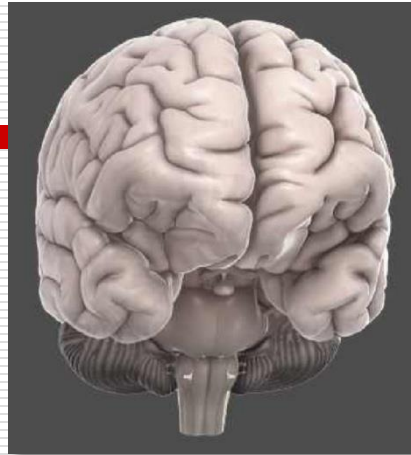


□ Древний мозг: рептилии

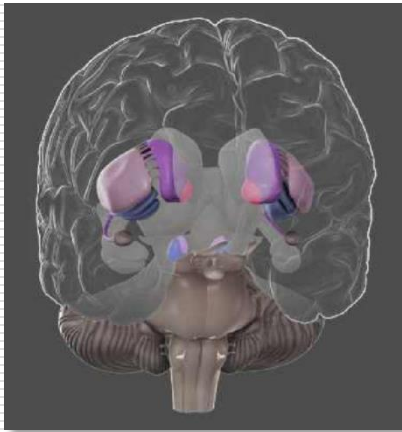
- Эмоции, Воля
- Выбор и преследование цели



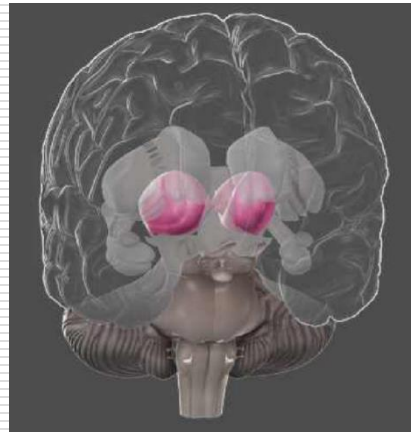
Действующие лица



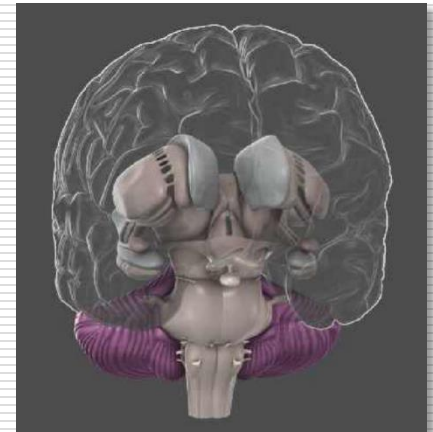
Неокортекс



Базальные ганглии



Таламус



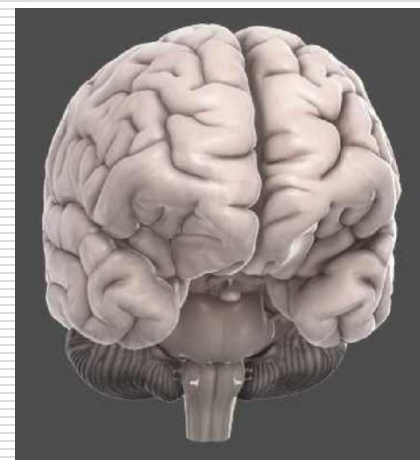
Мозжечок

Новая кора:

Что происходит? Что делать?

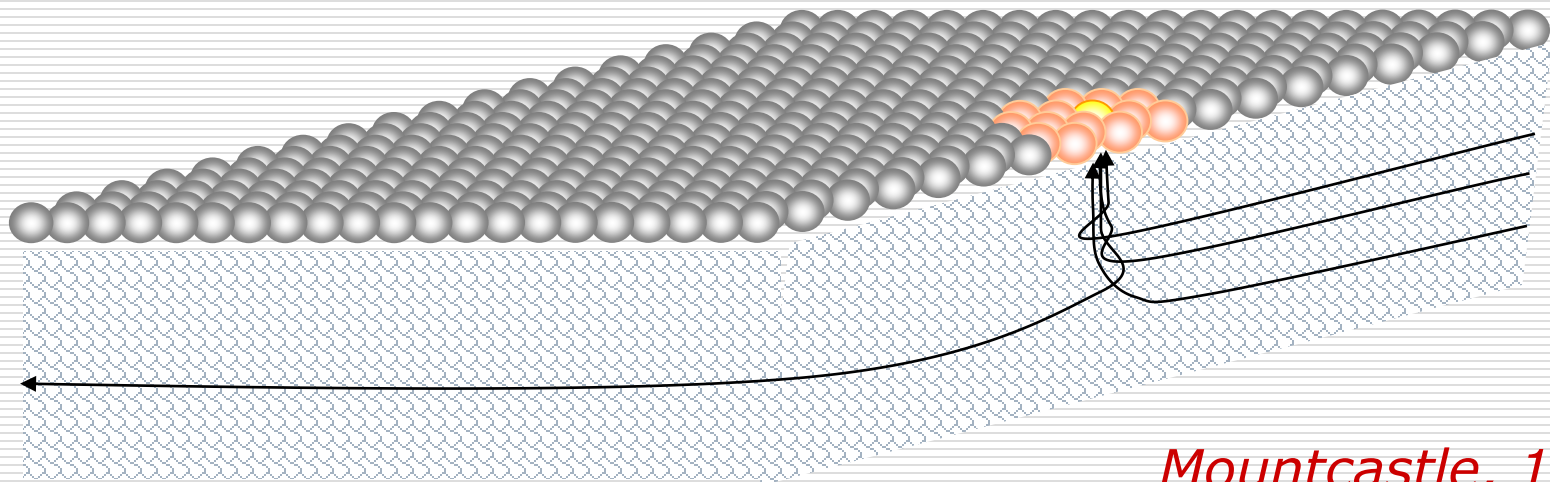
- Кора относительно проста
 - Однородная ткань ~ 2 мм (*мятая салфетка*)
 - У человека $\sim 4/5$ объема мозга

- 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

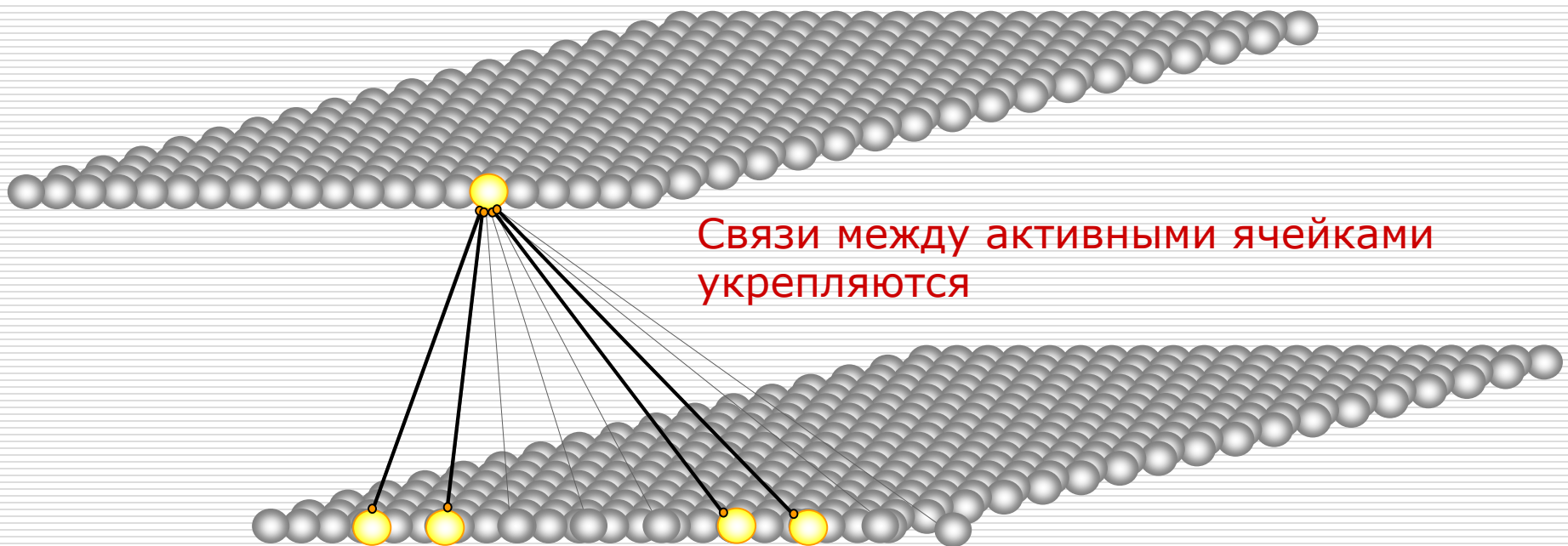


Mountcastle, 1978

Обучение «без учителя»

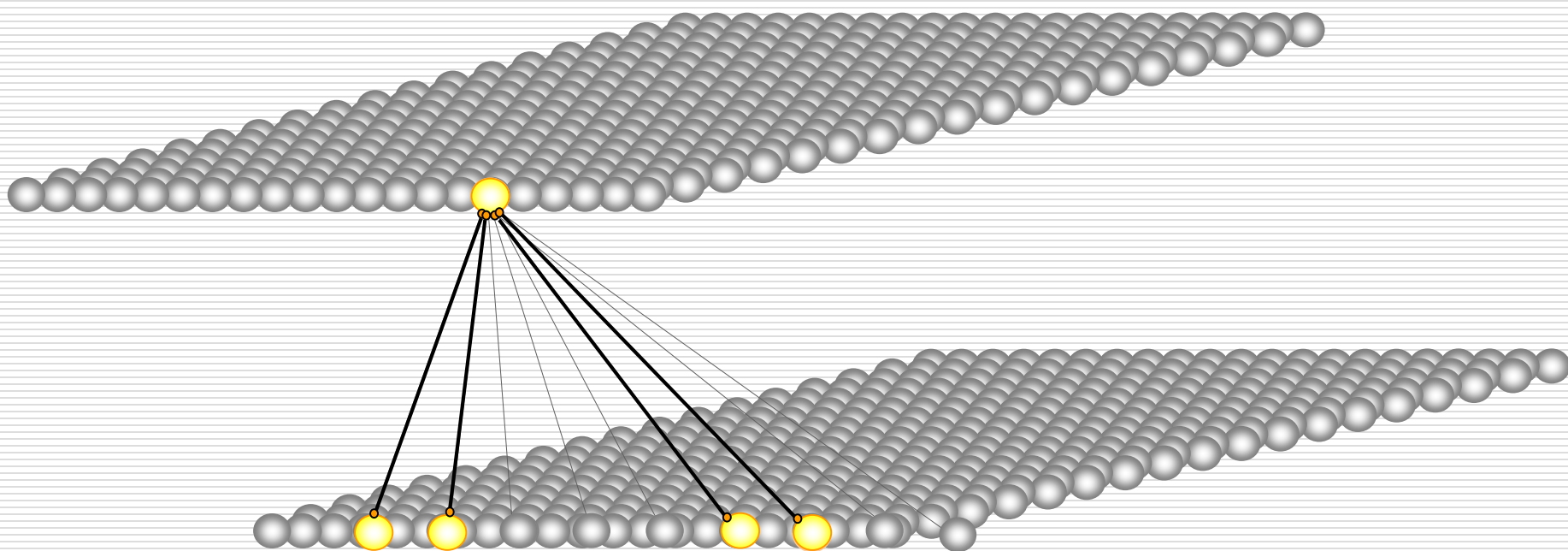
Hebb, 1949

Kohonen, 1981



Ячейки коры – детекторы **последовательностей**

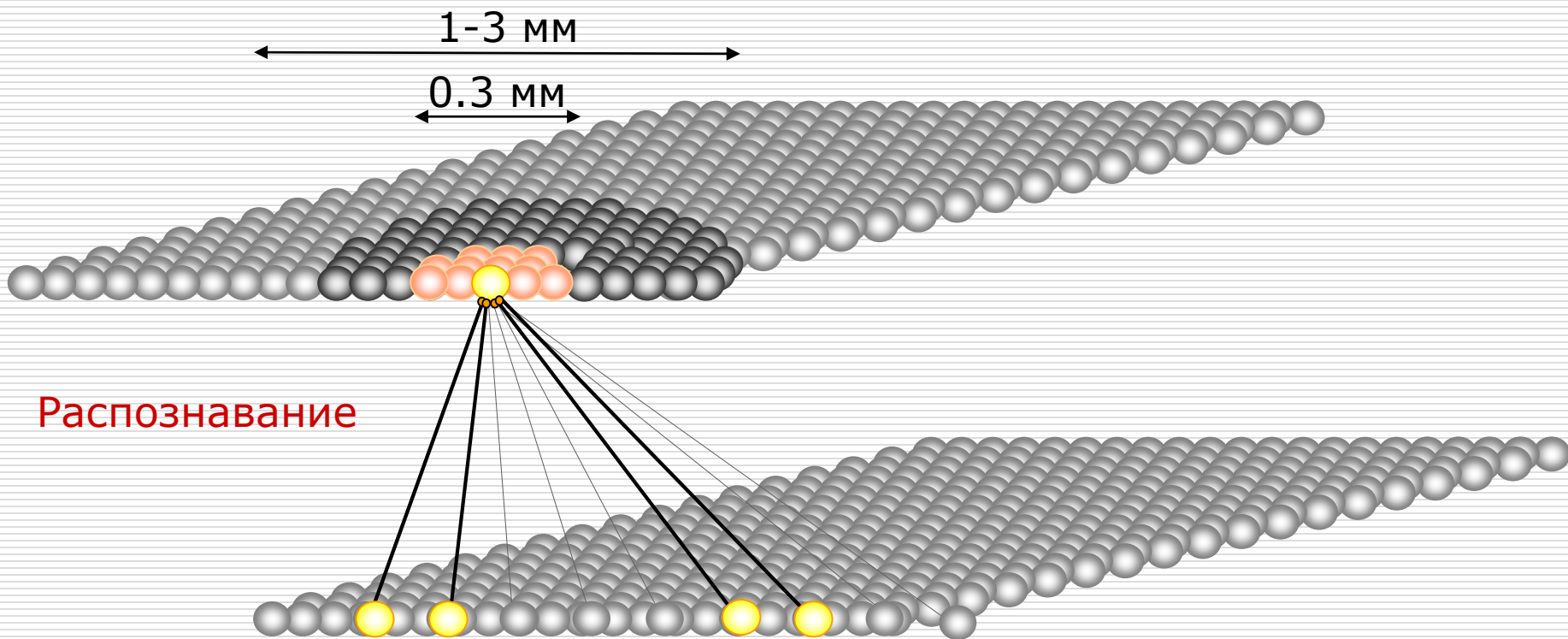
Предсказания коры



Распознавание последовательностей → **Проактивное поведение**

Победитель забирает все

Кохонен, 1981



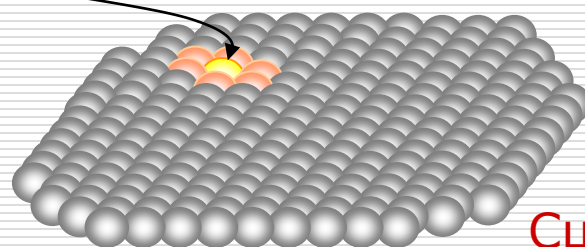
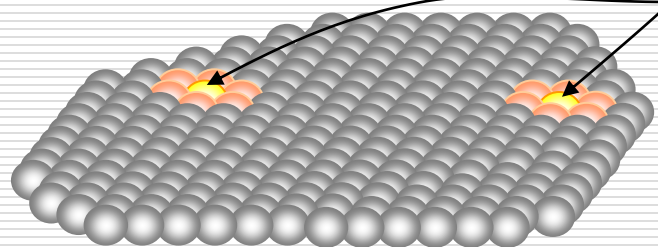
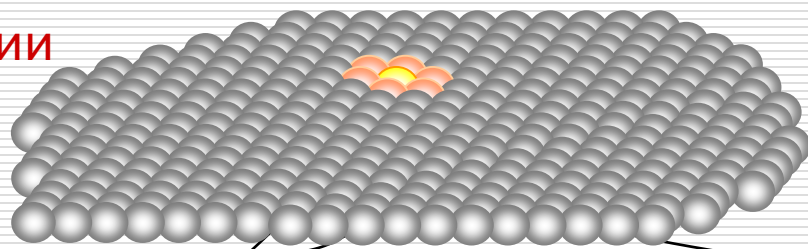
Активна ~ 1% коры: Признаки ситуации / компоненты действия

Целесообразное поведение: Восприятие → Осмысление → Действие



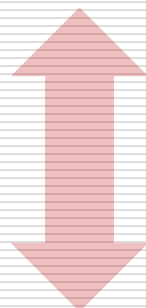
Обучение с подкреплением: сравнение вариантов действий

Стратегии



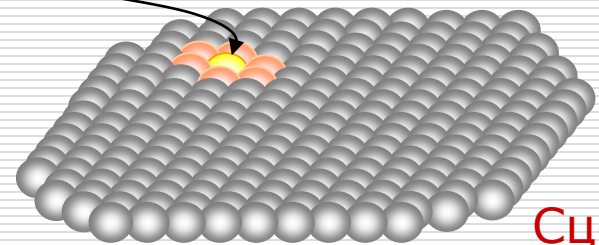
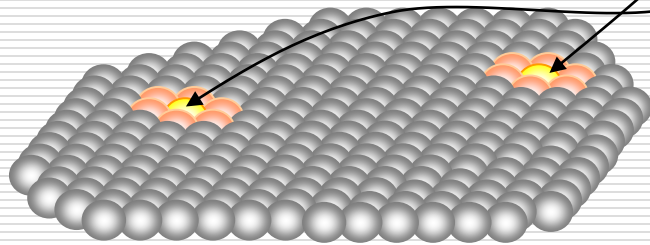
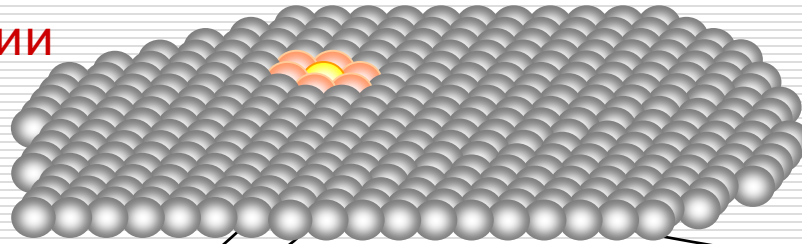
Сценарии

Планы действий



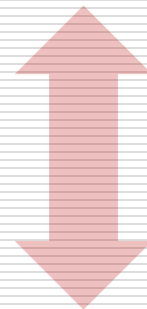
Обучение с подкреплением: сравнение вариантов действий

Стратегии



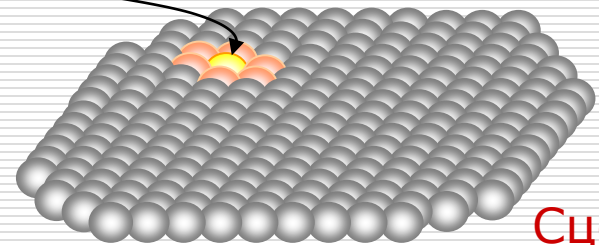
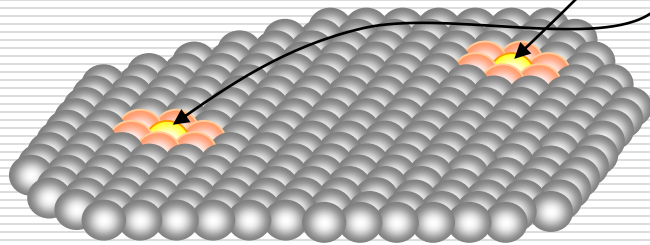
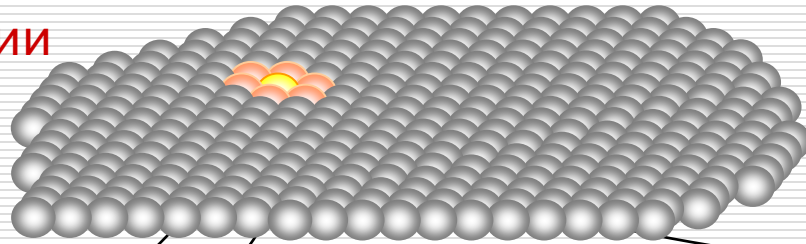
Сценарии

Планы действий



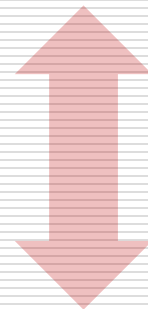
Обучение с подкреплением: сравнение вариантов действий

Стратегии



Сценарии

Планы действий

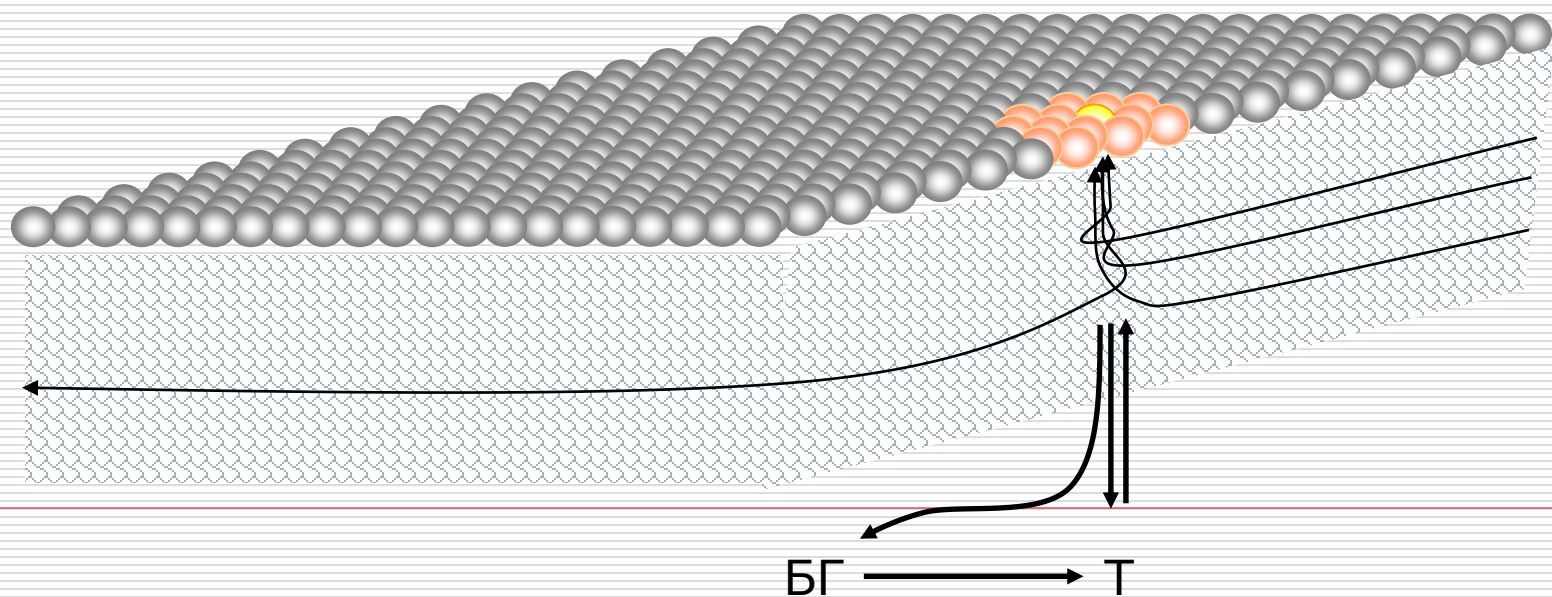


Обучение с подкреплением: управление ассоциациями



Связь коры с древним мозгом

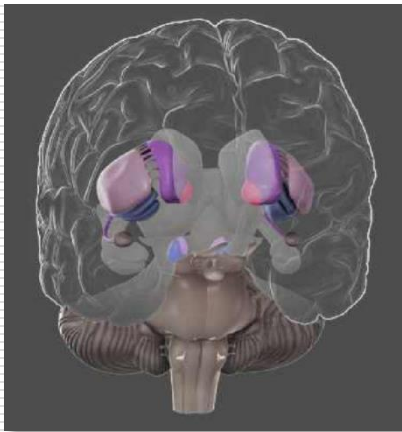
- Положительная обратная связь
Кора → Таламус → Кора
- Положительная обратная связь
Кора → Базальные Ганглии → Таламус → Кора
(Префронтальная кора)



Действующие лица



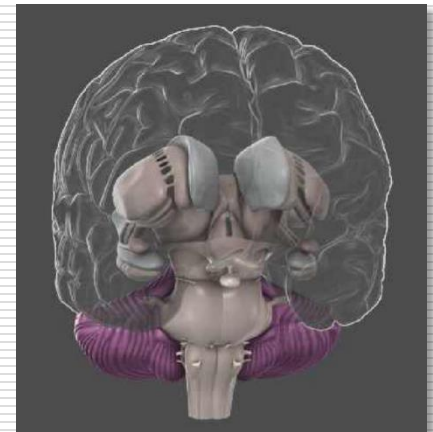
Неокортекс



Базальные ганглии



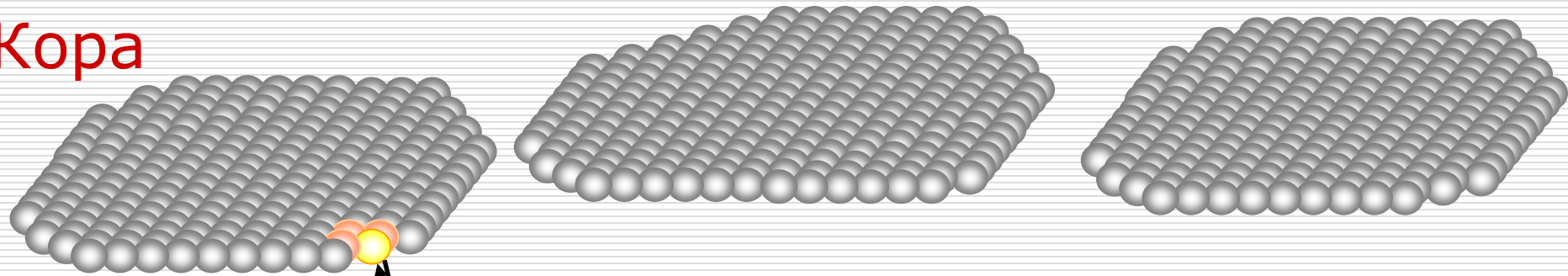
Таламус



Мозжечок

Таламус: Фокус внимания

Кора

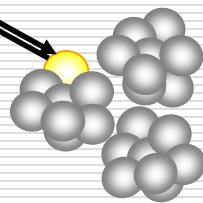


~ 40 Гц

Усилительный контур

→ Гамма-ритм

→ Длительное возбуждение

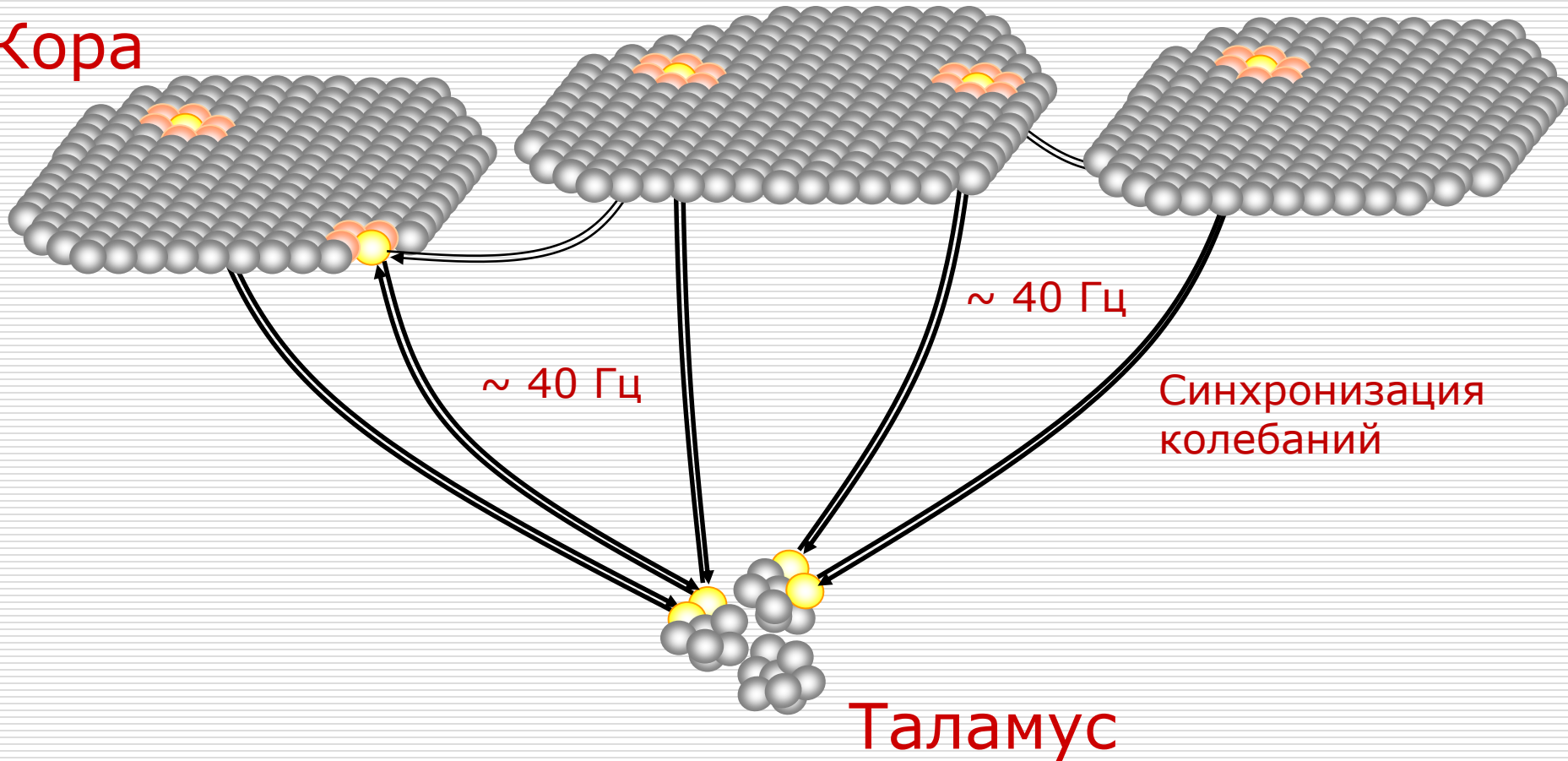


Таламус

Таламус:

Фокус внимания, связь ощущений

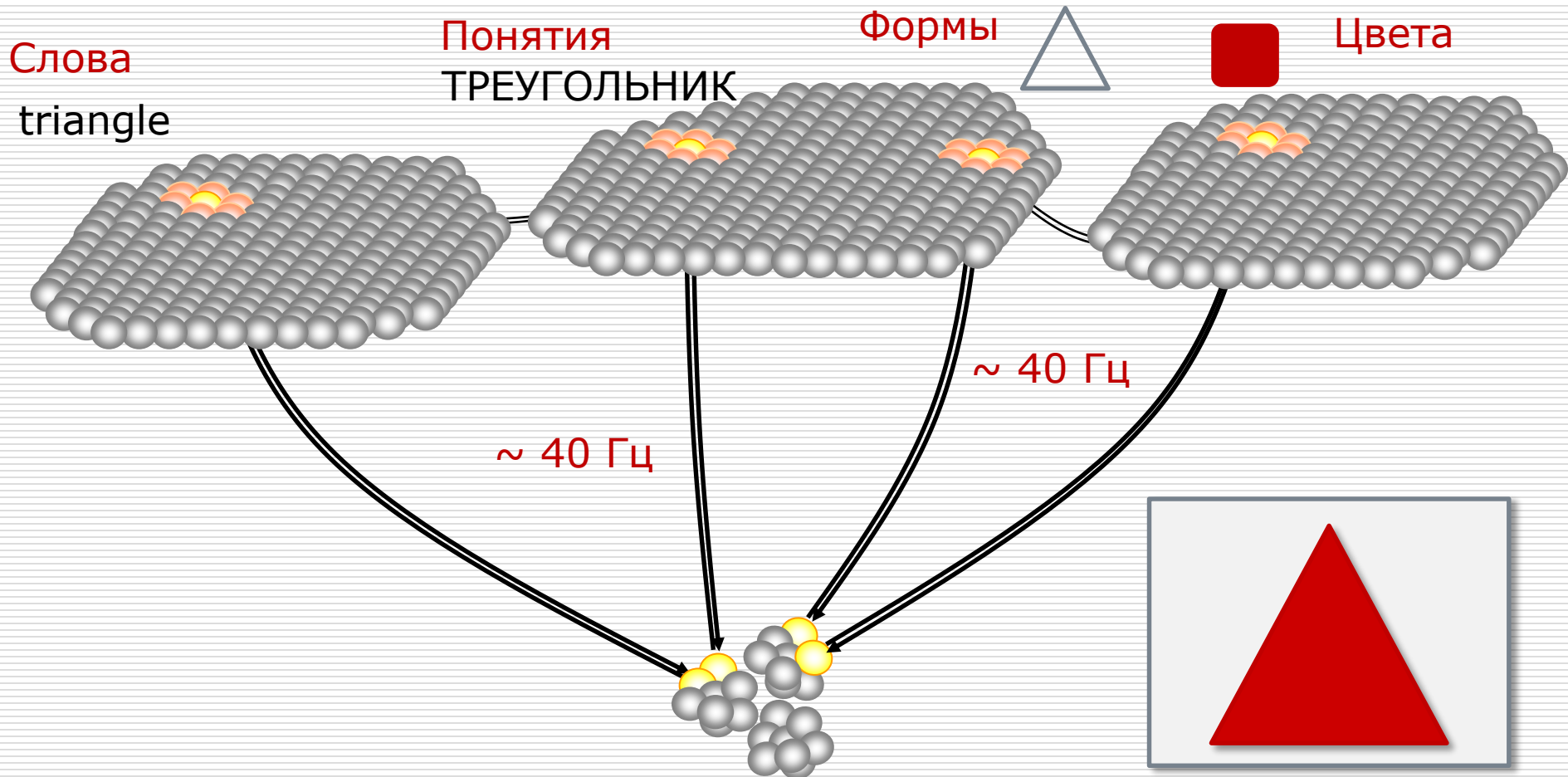
Кора



LaBerge (1998) "Triangular Circuit Theory of Attention"

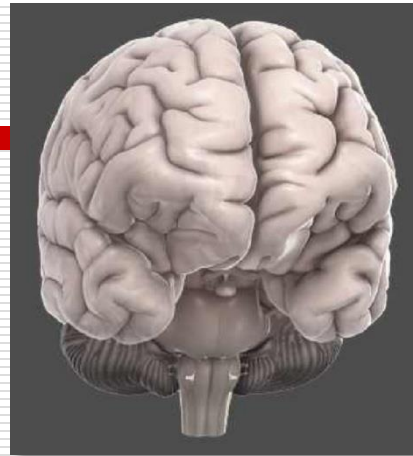
Таламус:

Фокус внимания, связь ощущений

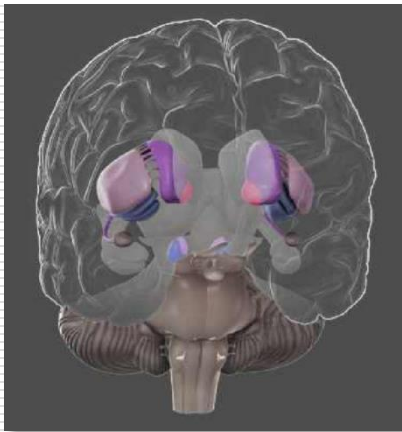


Таламус

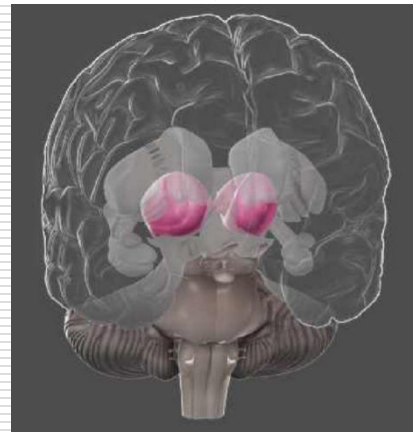
Действующие лица



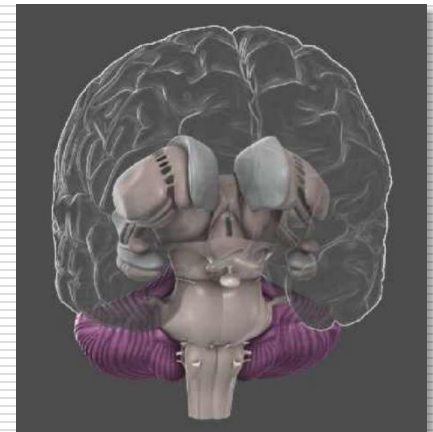
Неокортекс



Базальные ганглии



Таламус



Мозжечок

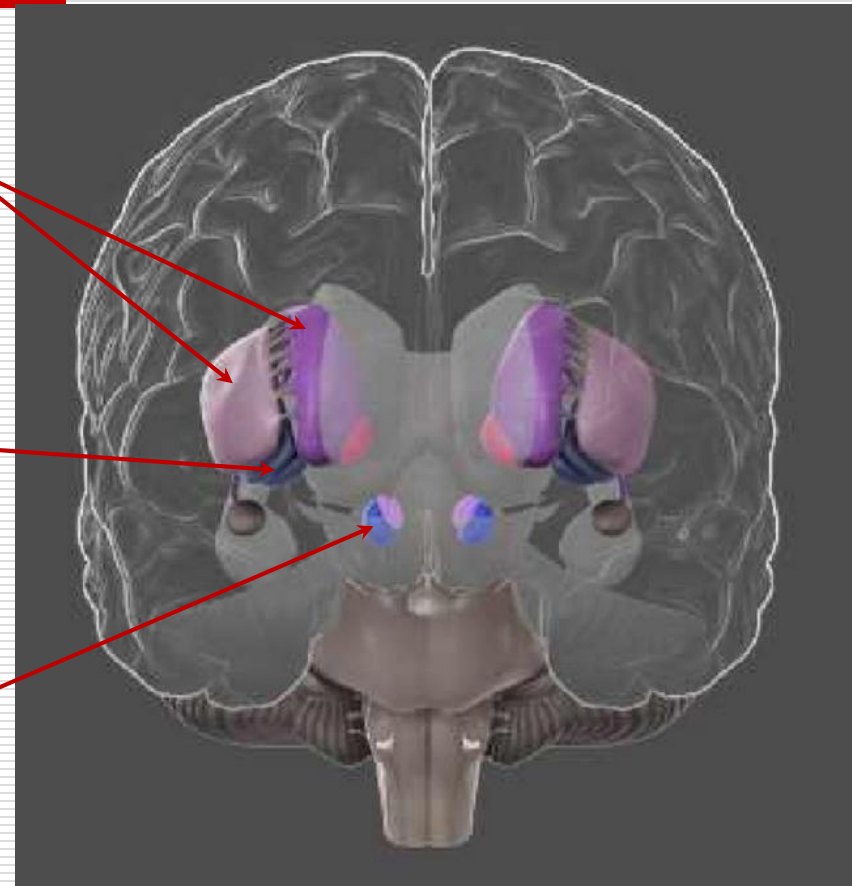


Базальные ганглии

Striatum – оценка ситуации

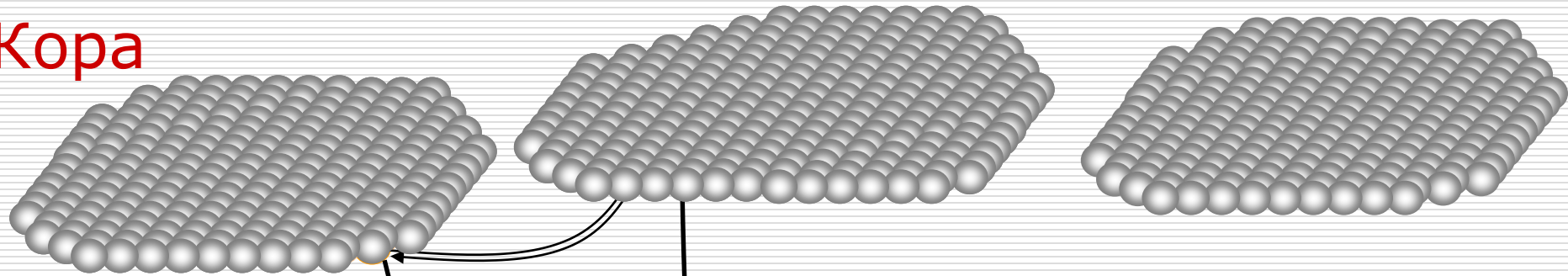
Pallidus – выбор поведения

Substantia Nigra – сигнал к обучению



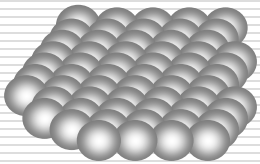
Базальные Ганглии: Контроль поведения

Кора

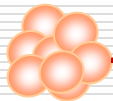


Затухание возбуждений
без санкции БГ

Striatum

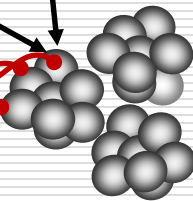


Pallidus



тормоз

Substantia Nigra

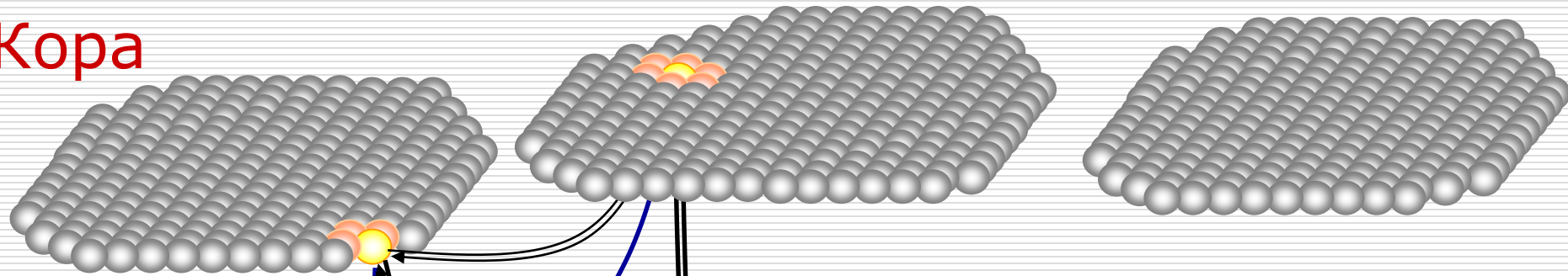


Таламус

Базальные Ганглии

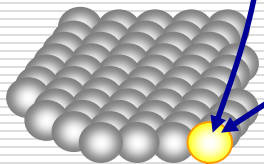
Базальные Ганглии: Контроль поведения

Кора

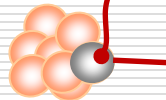


Поддержка возбуждений
с санкции БГ

Striatum

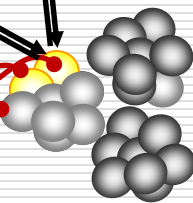


Pallidus



нет тормоза

Substantia Nigra

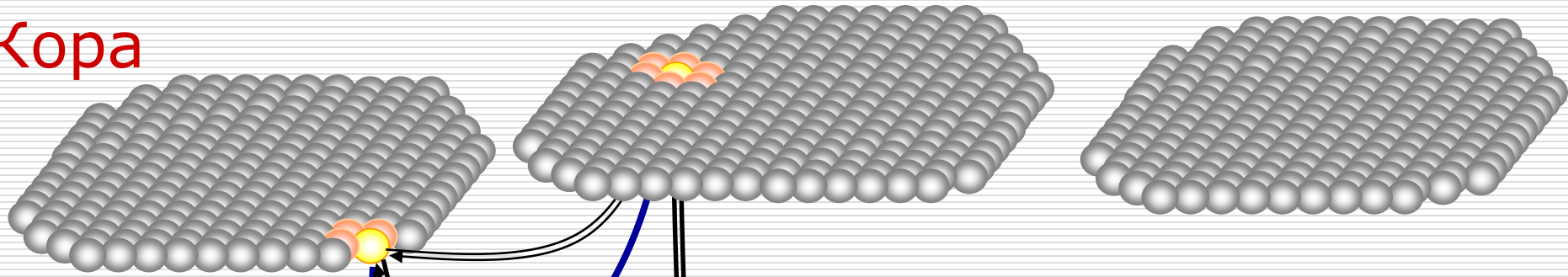


Таламус

Базальные Ганглии

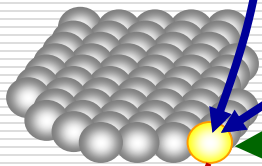
Базальные Ганглии: Обучение правильному поведению

Кора



Укрепление связей
по сигналу Substantia Nigra

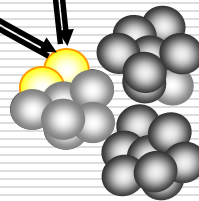
Striatum



Pallidus



Substantia Nigra

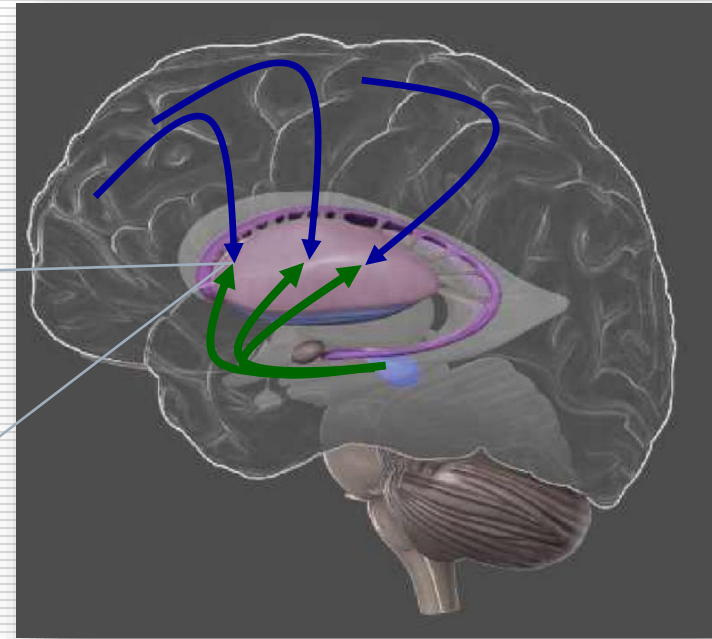
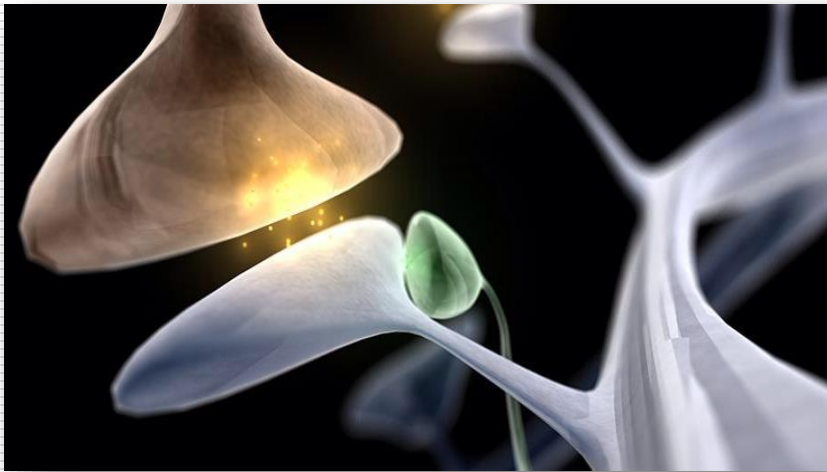


Таламус

Базальные Ганглии

Допамин – сигнал к обучению (гормон радости)

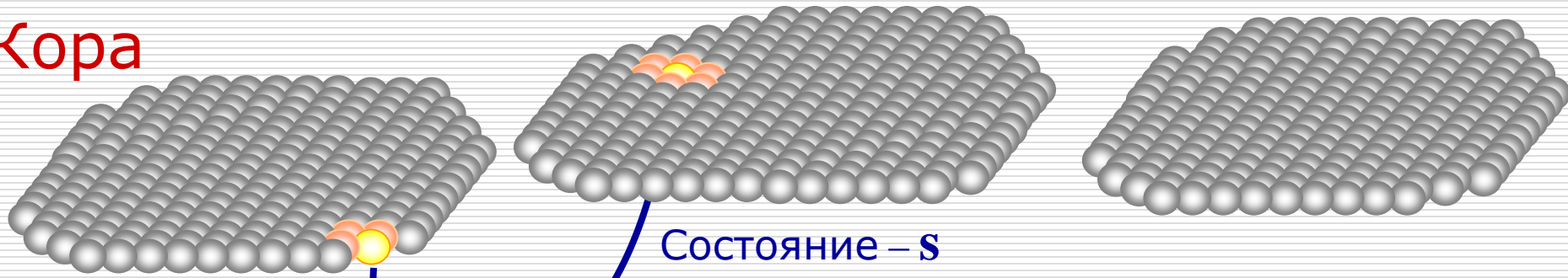
Из коры – оценка ситуации



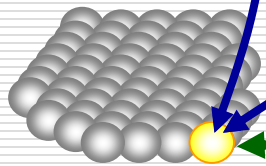
Из Substantia Nigra – сигнал к обучению

Базальные Ганглии: Обучение с подкреплением

Кора



Поведение – a



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

Предсказание награды



$$V_{t-1} - V_t$$

$\delta_t = R_t - V_{t-1} + V_t$ Ошибка предсказания



Реальная награда R_t

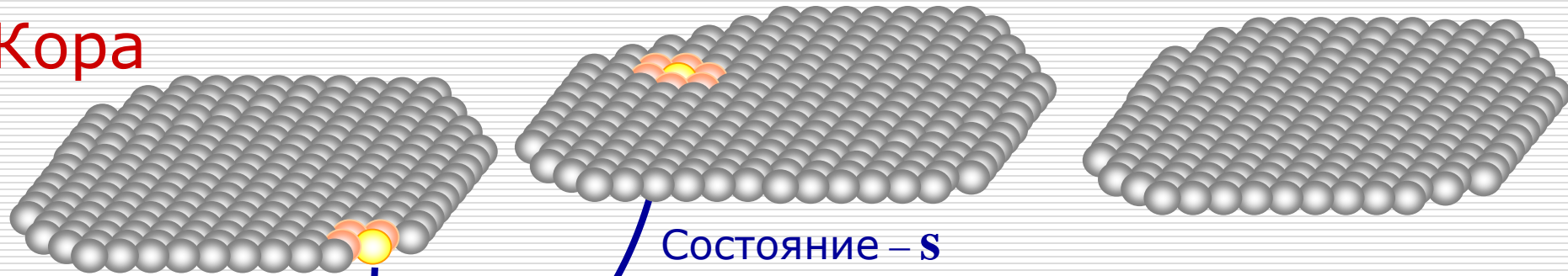


Гипоталамус,
Амигдала, ...

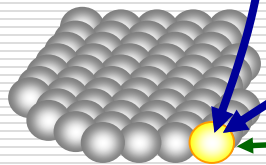
Базальные Ганглии

Базальные Ганглии: Обучение с подкреплением

Кора



Поведение – a



Результат обучения:
Интегральная оценка будущего

$$V_t(\mathbf{s}, \mathbf{a}) \rightarrow V_{t-1}(\mathbf{s}, \mathbf{a}) - R_t = \boxed{R_{t+1} + R_{t+2} + R_{t+3} \dots}$$

$$\delta_t = R_t - V_{t-1} + V_t \rightarrow 0$$



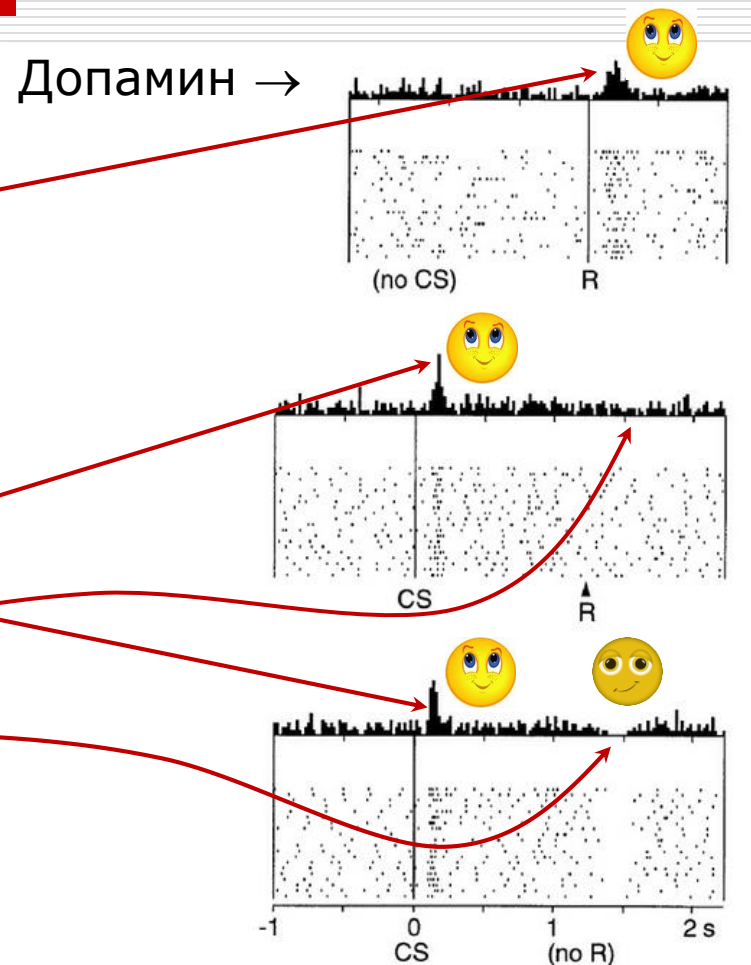
Базальные Ганглии

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!



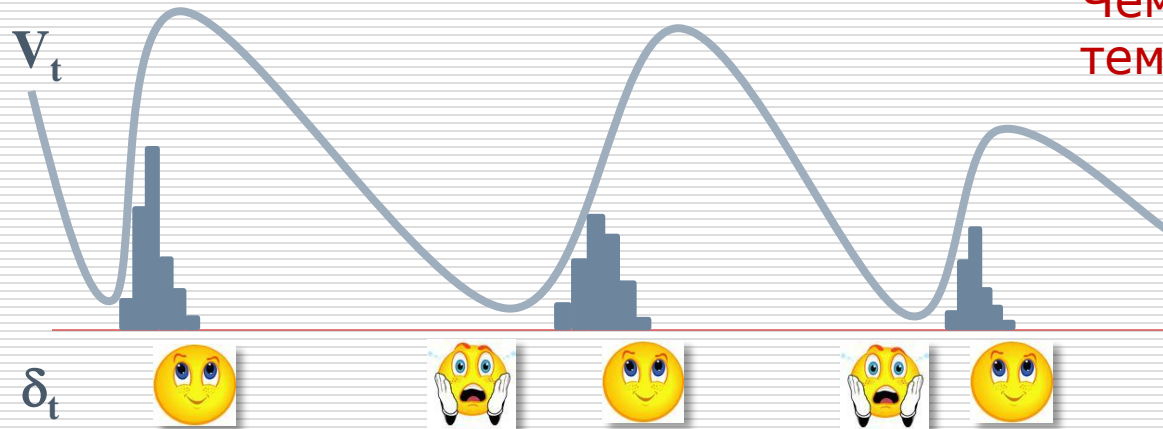
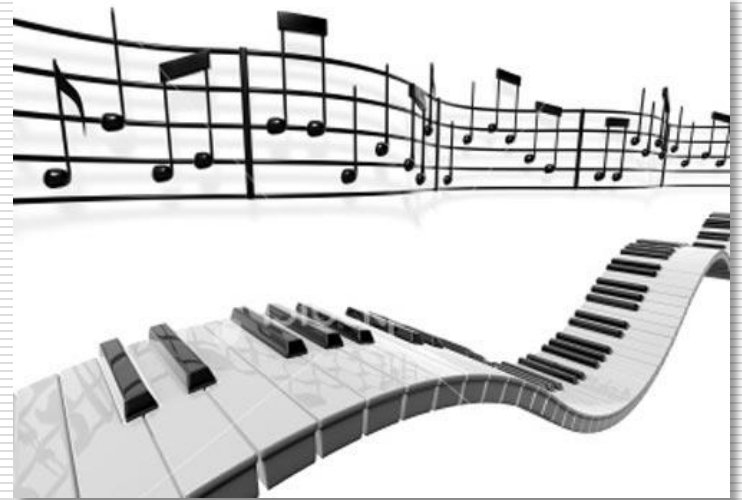
(Schultz et al. 1997)

Музыка: приятные сюрпризы

David Huron (2006) "Sweet Anticipation"

$R_t \rightarrow$ Удовольствие от угадывания ноты

$V_t \rightarrow \underbrace{R_{t+1} + R_{t+2} + R_{t+3} \dots + R_{t+N}}_{\text{Горизонт предсказания}}$

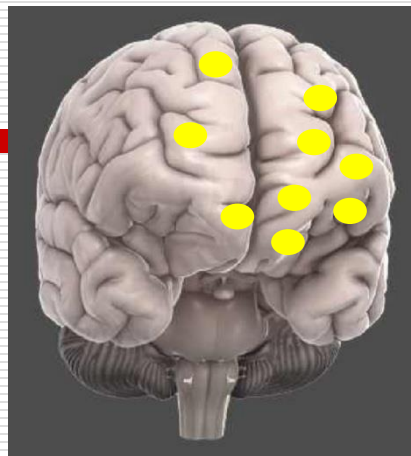


Чем лучше понимаешь –
тем больше удовольствия!

$$\delta \sim V_{\max}$$

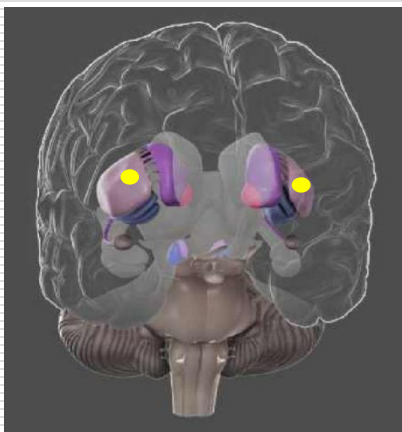


Управление мышлением



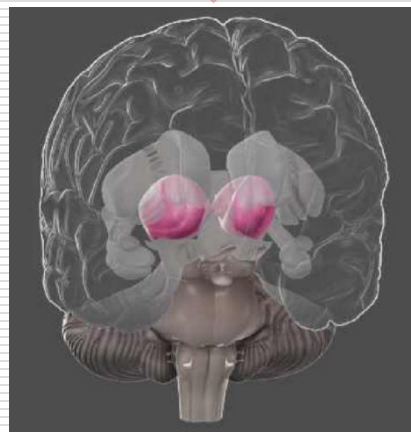
Неокортекс

Анализ ситуации
Варианты действий



Базальные ганглии

Оценка ситуации
Принятие решений

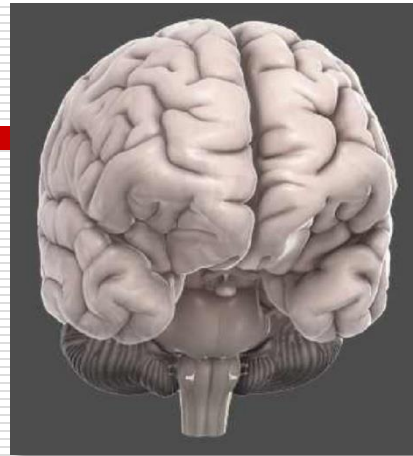


Таламус

Концентрация
внимания

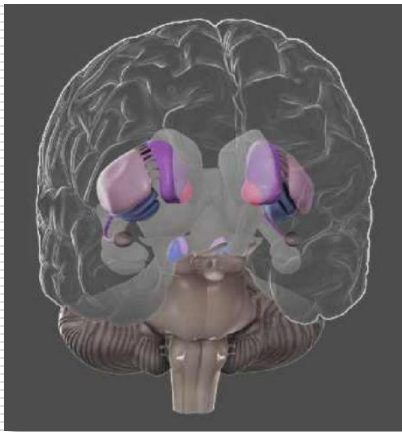


Действующие лица



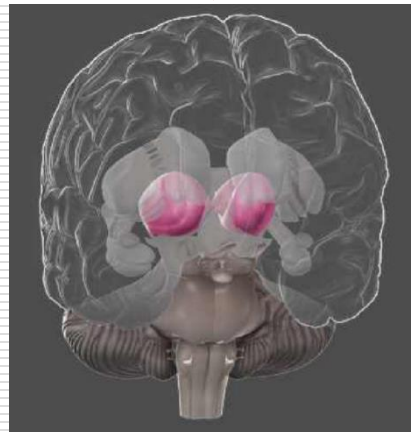
Неокортекс

Анализ ситуации
Варианты действий



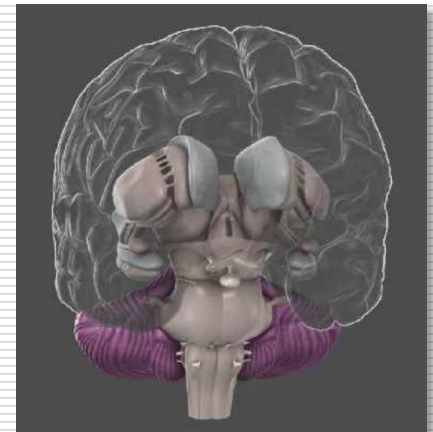
Базальные ганглии

Оценка ситуации
Принятие решений



Таламус

Концентрация
внимания



Мозжечок

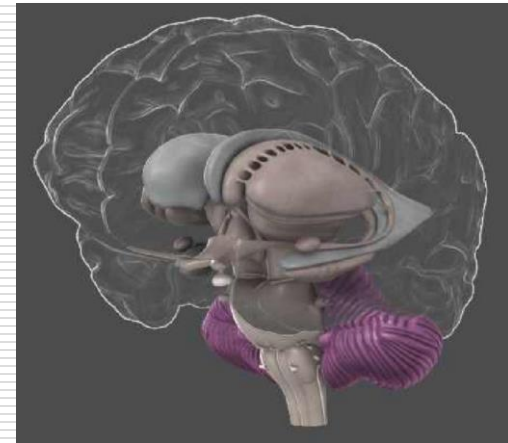
?



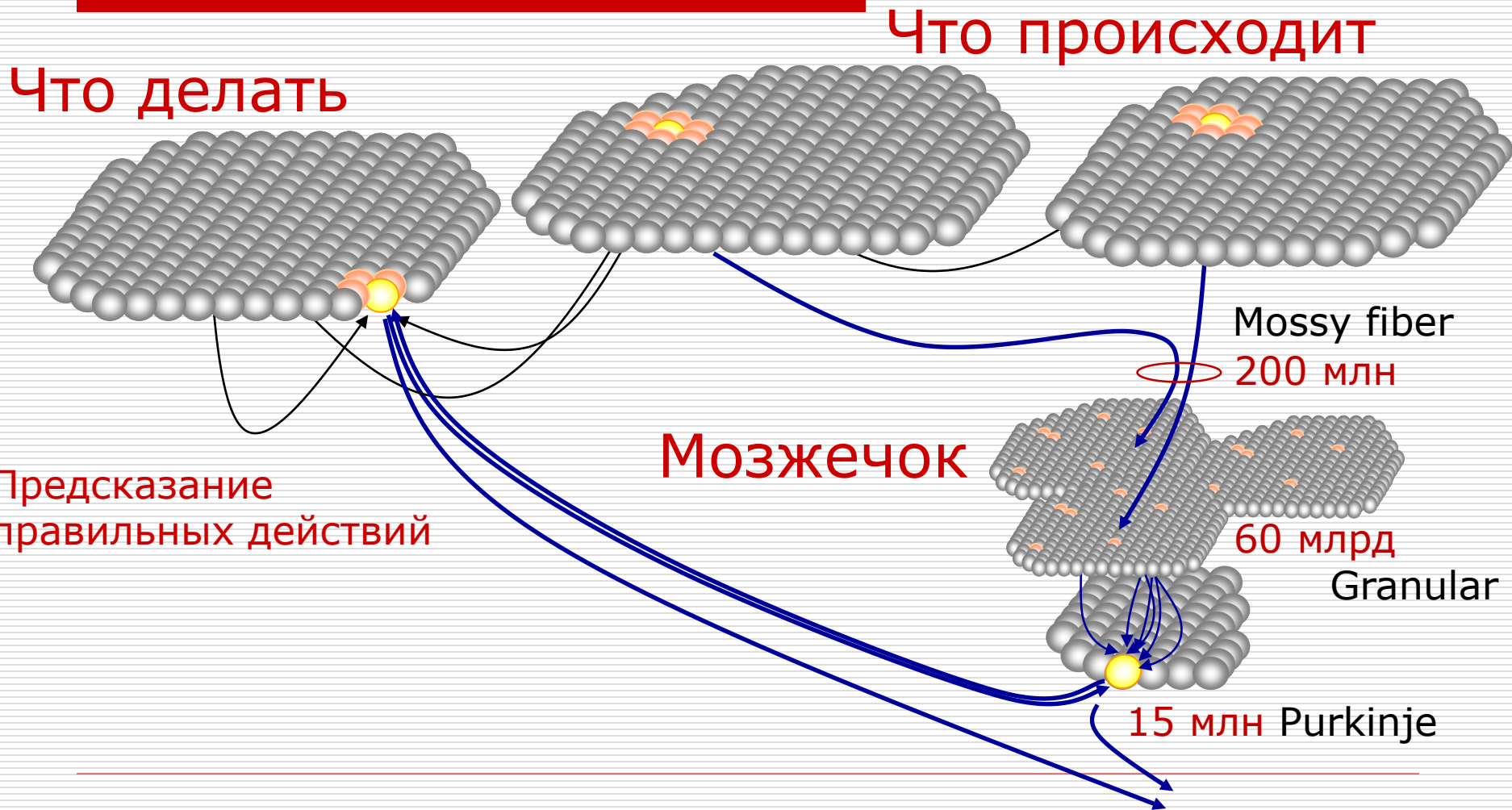
Мозжечок: Автопилот

- Плоская однородная ткань
 - *Очень мятая салфетка*
 - У человека **1/10** объема, **3/4** нейронов

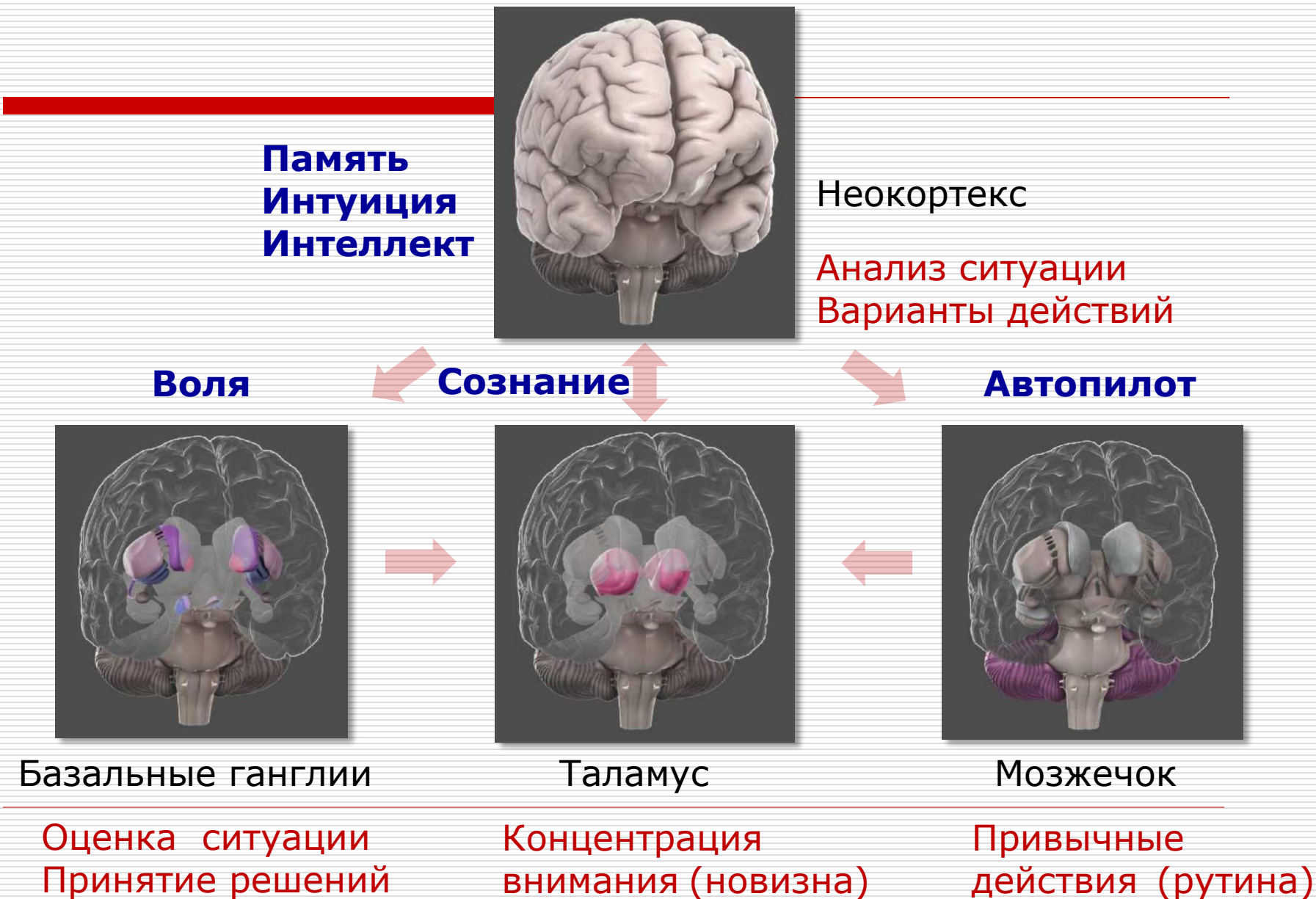
- **Единый алгоритм**
 - Обучения проактивному поведению (**с предсказанием**)



Мозжечок: Предсказание выбора. Обучение с учителем (Кора)



Действующие лица



Выводы

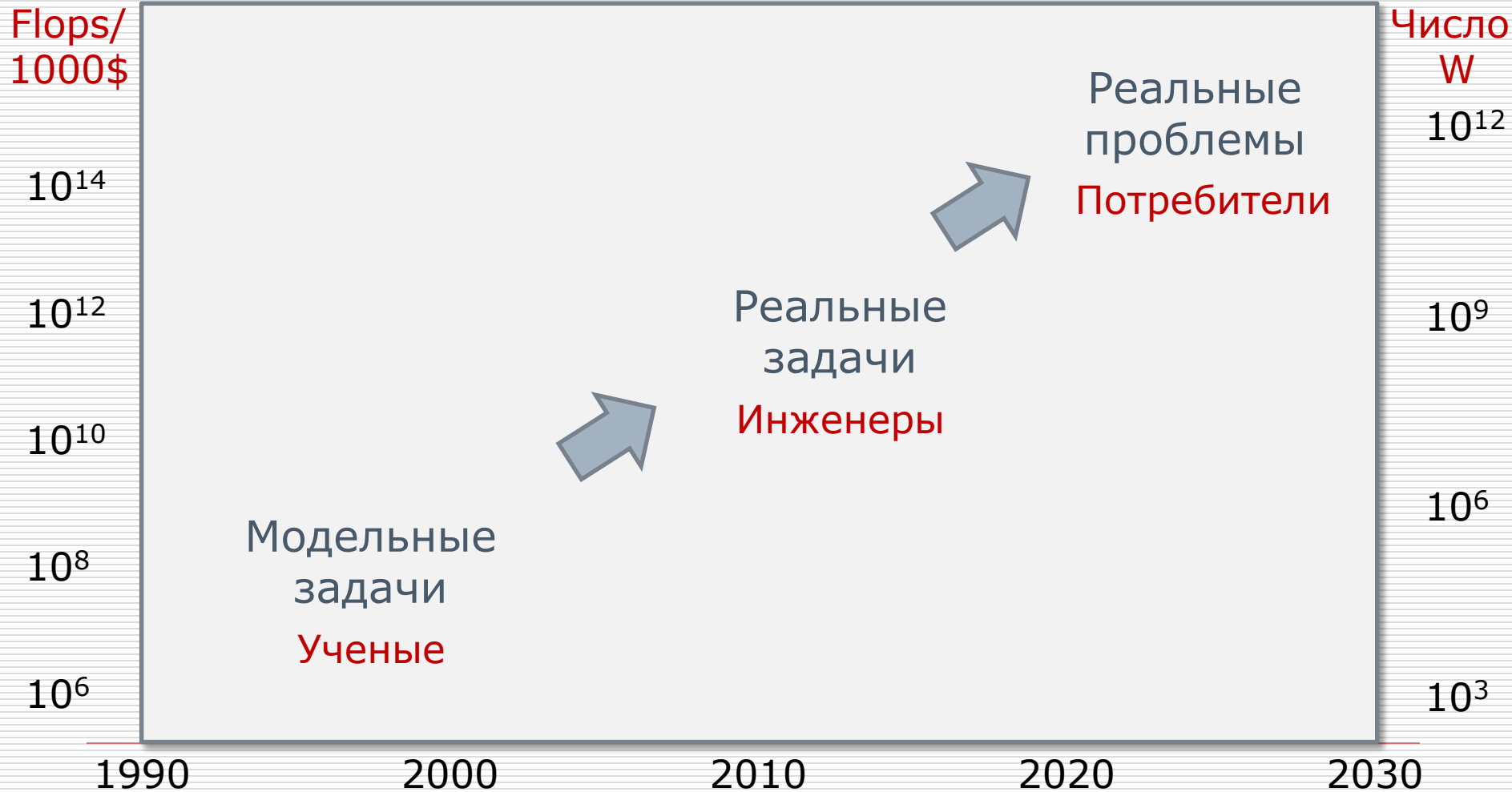
- Сознание и Подсознание
 - Не разные подсистемы
 - А разные динамические режимы
 - Новая Кора → Содержание мышления
 - Модели мира и поведения
 - Древний мозг → Навыки мышления
 - Привычное: Быстро (бессознательно)
 - Новое: Медленно (сознательно)
-

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

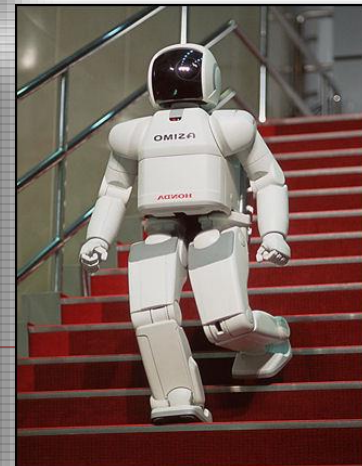
□ Агенты

- Личные помощники
- Роботы-трейдеры

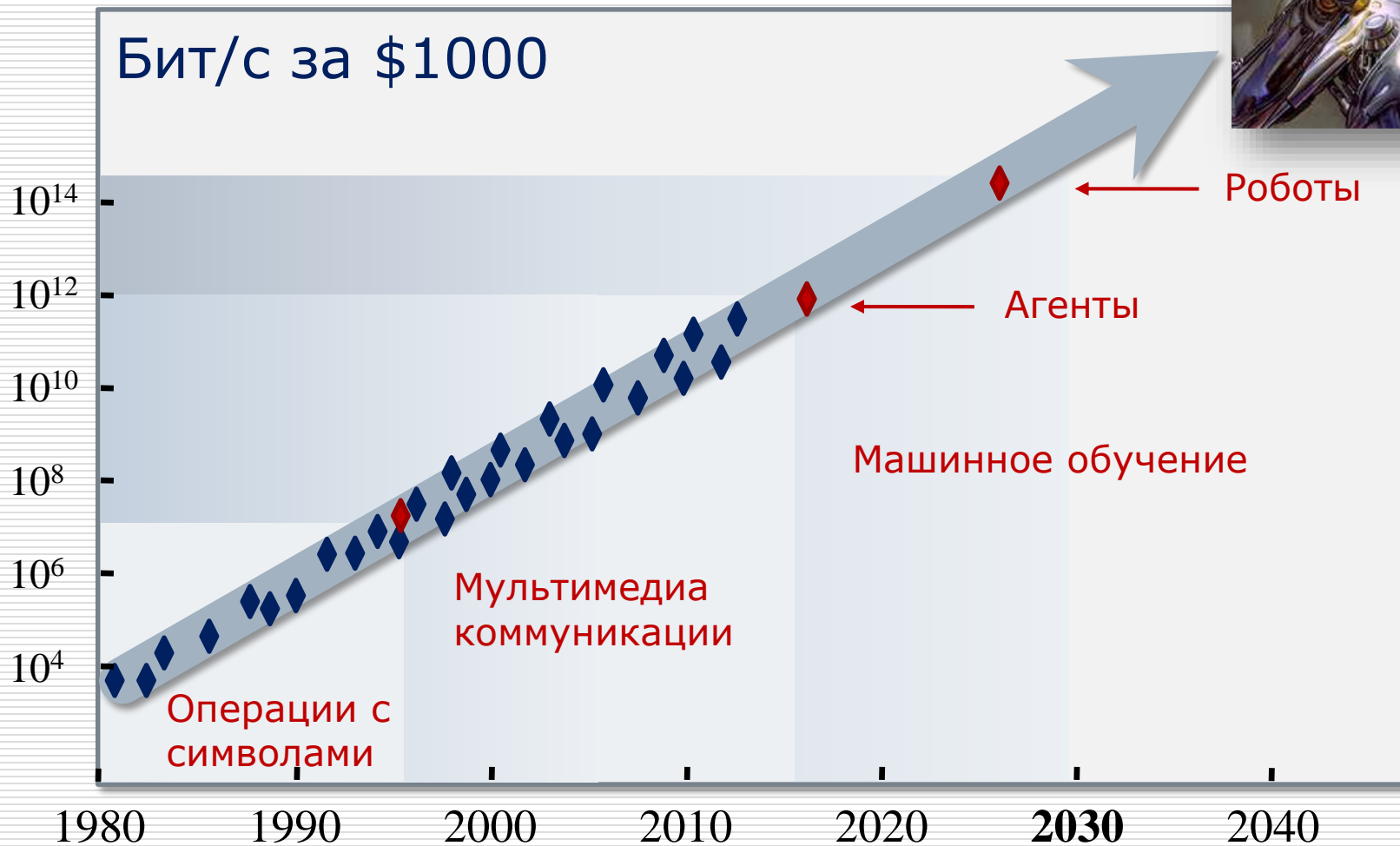


□ Роботы

- Робомобили
- Андроиды



Что нас ждет



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