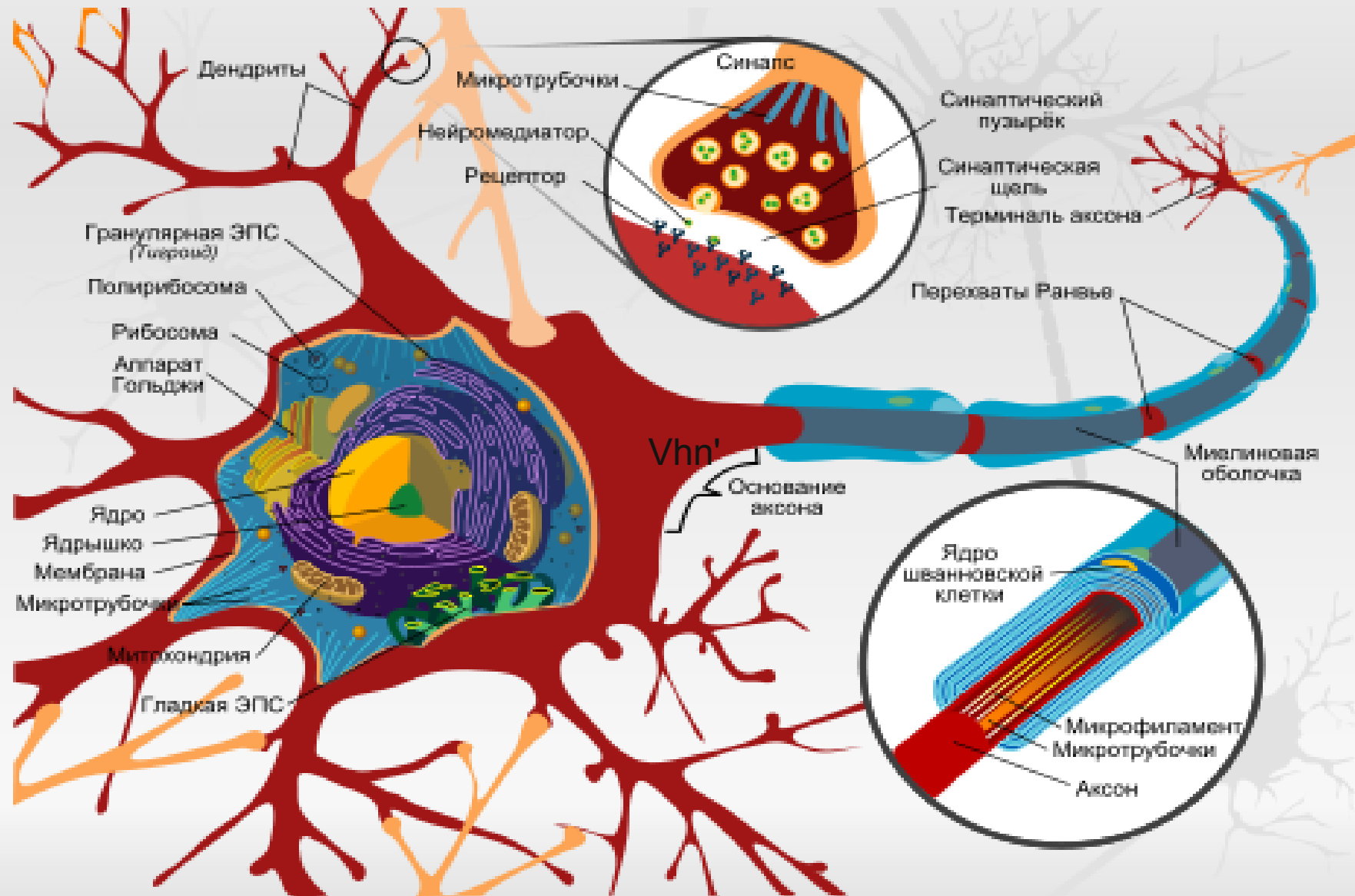


**Моделирование процессов  
распространения возбуждения в нейронах.  
Выводы и прикладное применение.**

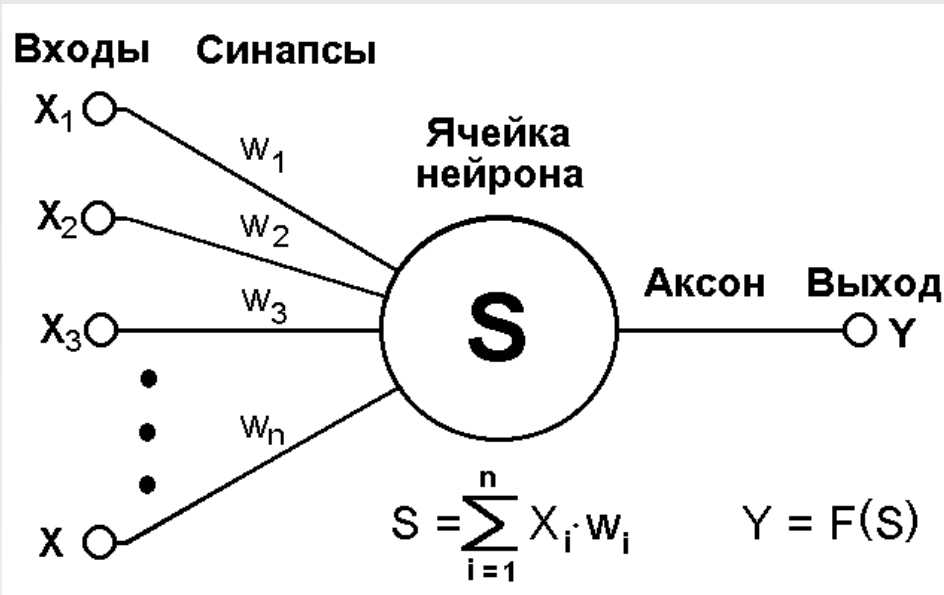
# Моделирование процессов распространения возбуждения в нейронах. Выводы и прикладное применение.

## Нервная клетка

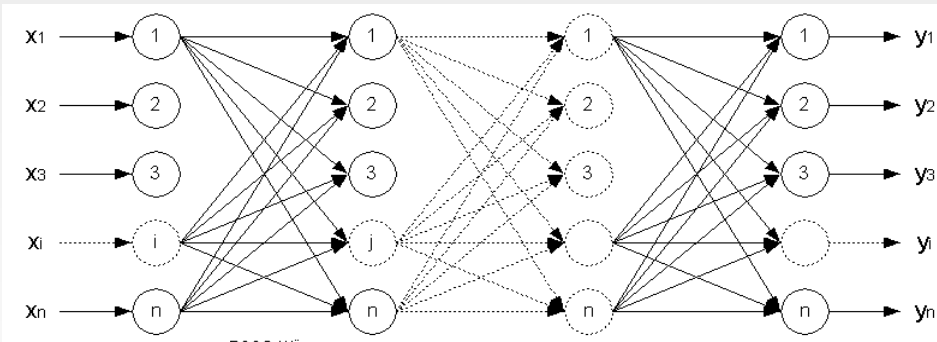


# Моделирование процессов распространения возбуждения в нейронах. Выводы и прикладное применение.

## Упрощенная модель



- Веса связей
- Сумматор
- Пороговая функция
- Аналоговый сигнал на выходе
- Матричное счисление



Общего между реальной клеткой и моделью только название

## **Недостатки "старой" модели**

- **Требовательные к ресурсам вычисления**
- **Низкое быстродействие**
- **Минимальное функциональное подобие**
- **Обязательное начальное обучение**
- **Плохо кластеризуемая топология**

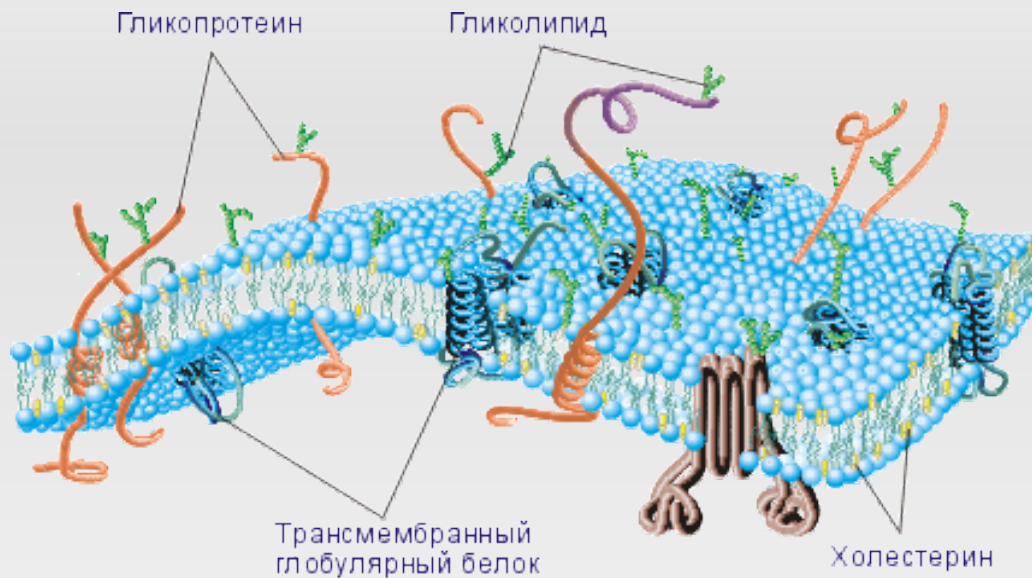
**Ограниченная применимость в реальных системах**

## Задачи новой модели

- Масштабируемость и кластеризация
- Быстродействие
- Максимальное функциональное подобие
- Минимальное использование ресурсов
- Отсутствие начального обучения
- Возможность классификации и адаптации
- Универсальность

# Моделирование процессов распространения возбуждения в нейронах. Выводы и прикладное применение.

## Клеточная мембрана



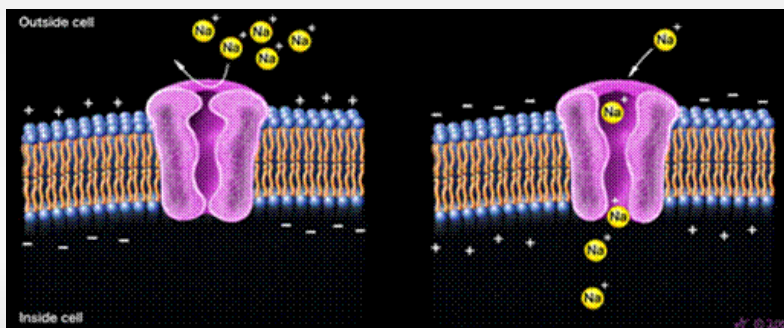
## Свойства клеточных мембран:

- пластичность,
- полу проницаемость,
- способность само замыкаться.

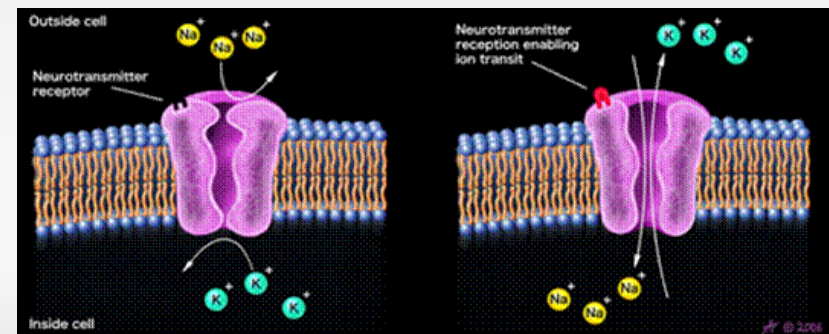
## Функции мембран:

- структурная – мембрана как структурный компонент входит в состав большинства органоидов;
- барьерная и регуляторная – поддерживает постоянство химического состава и регулирует все обменные процессы (реакции обмена веществ протекают на мембранах);
- защитная;
- рецепторная.

## Ионные каналы

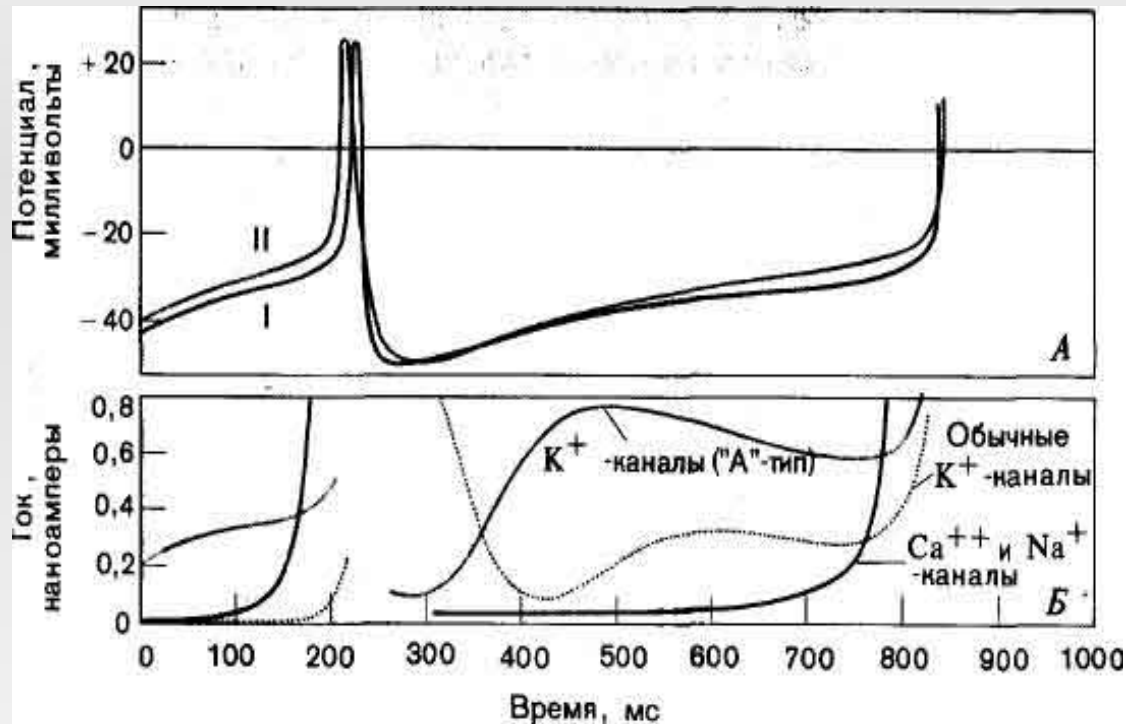


## Синаптические каналы



# Моделирование процессов распространения возбуждения в нейронах. Выводы и прикладное применение.

## Ионные токи



$$E_m = -\frac{RT}{nF} \ln\left(\frac{K^+_{\text{внутр}}}{K^+_{\text{внешн}}}\right)$$

где

$E_m$  - величина мембранного потенциала;

$R$  - газовая постоянная;

$T$  - абсолютная температура;

$n$  - валентность иона;

$F$  - число Фарадея;

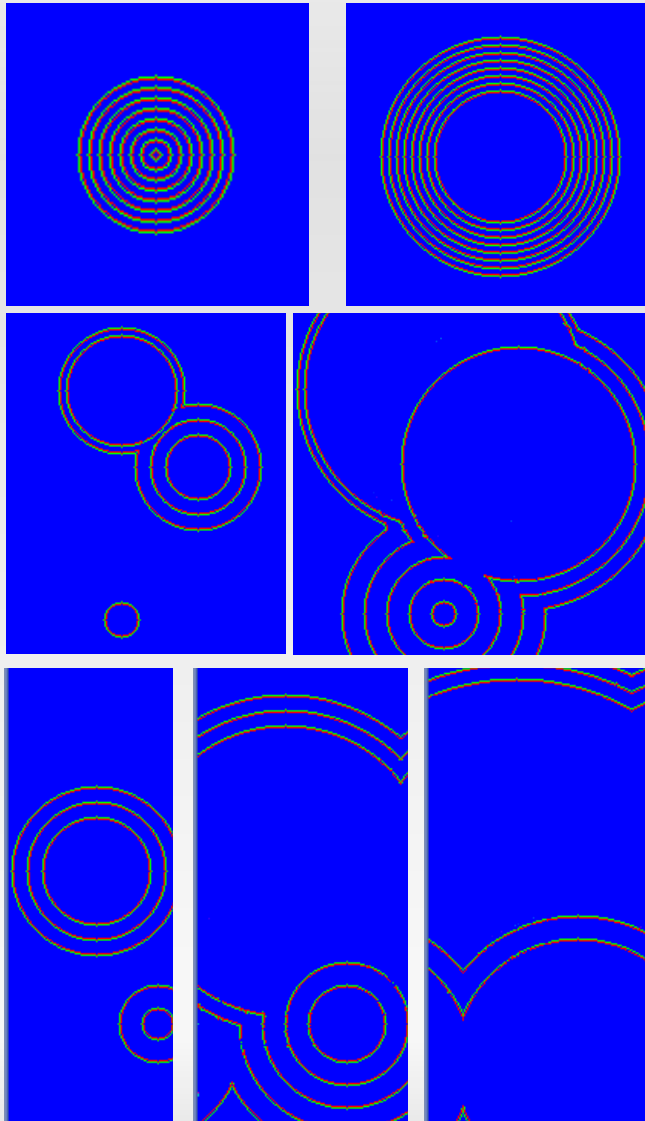
$K^+_{\text{внешн}}$  - концентрация ионов калия снаружи клетки;

$K^+_{\text{внутр}}$  - концентрация ионов калия внутри;

- Рефрактерность ионных каналов
- Мембрана это активная среда с распространением не затухающих возбуждений
- Специфичная интерференция и дифракция
- Концентрическая волна из точки возбуждения

# Моделирование процессов распространения возбуждения в нейронах. Выводы и прикладное применение.

## Моделирование распространения активности



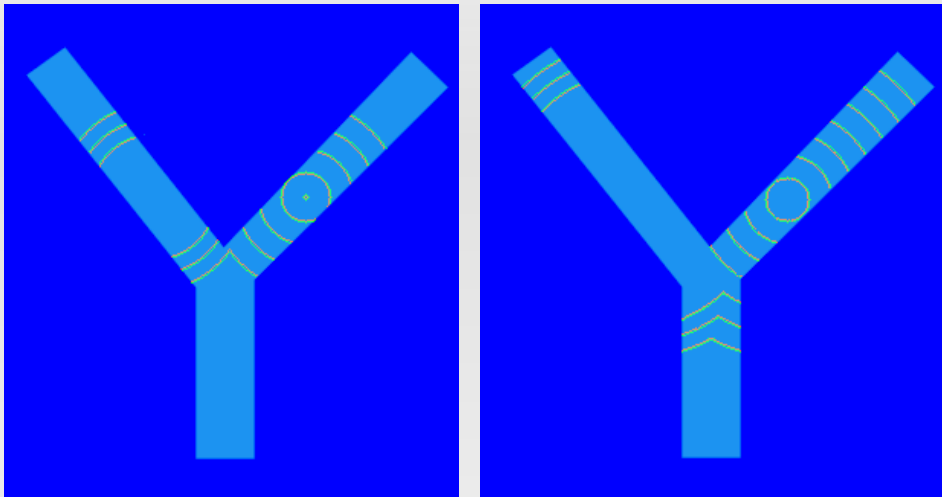
- Максимальная частота генерации зависит от периода абсолютной рефрактерности участка мембраны через которое распространяется волна.
- Так как скорость открытия и закрытия ионных каналов конечна, то скорость распространения фронта волны на участке мембраны тем выше, чем дальше расположены ионные каналы друг от друга.
- Ионные каналы расположены на мембране не регулярно и с разной плотностью на единицу поверхности, поэтому картинка распространения будет искажена. Т.е. окружности не будут иметь правильную форму. Наблюдается эффект дифракции – огибания волной возбуждения неоднородностей среды распространения.
- При одинаковой частоте встречных волн противоположенного источника возбуждения достигнут волны от источника с большей длительностью генерации.
- При различной частоте встречных волн на их частичное взаимное поглощение больше влияет длительность генерации и расстояние между источниками возбуждений, нежели частота генерируемых волн.





# Моделирование процессов распространения возбуждения в нейронах. Выводы и прикладное применение.

## Распространение активности в древовидной топологии



- В направлении стока будет распространяться не результат взаимного поглощения а сумма возбуждений от двух разных дендритов.
- Так как скорость открытия и закрытия ионных каналов конечна, то скорость распространения фронта волны на участке мембраны тем выше, чем дальше расположены ионные каналы друг от друга.

### На изменение параметров оригинального пакета влияет:

- удаленность синапса от начала (триггерной зоны) линейного сегмента дендрита его содержащего;
- сложность топологии ветвления дендритов;
- наличие/отсутствие возбуждения от других синапсов;
- наличие/отсутствие обратно распространяющегося возбуждения.

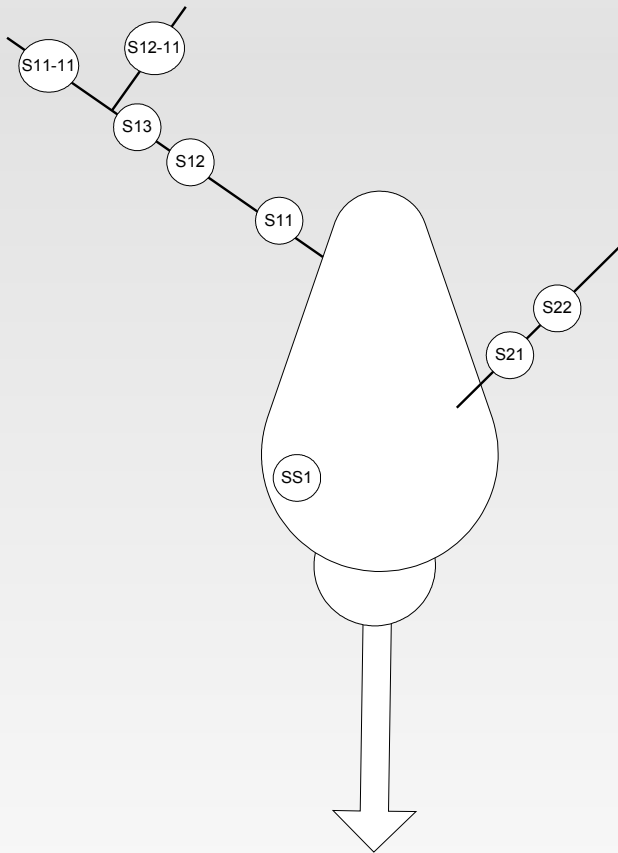
# Моделирование процессов распространения возбуждения в нейронах. Выводы и прикладное применение.

## Промежуточные выводы

- В роли “тормозного” синапса может выступать любой синапс по отношению к соседнему (более удаленному от стока) если частота и длительность возбуждения от него таковы, что в результате взаимного частичного поглощения возбуждение от удаленного так и не достигнет ни начала дендрита ни, уж тем более, тела нейрона. Однако, если рассматривать тормозной синапс как участок мембраны, возбуждение которого приводит к уменьшению суммарного потенциала на этом участке (при прохождении по нему очередной волны возбуждения), тогда, эта волна (ее часть) будет просто подавлена. Подавление произойдет только на участке вокруг тормозного синапса и приведет к эффекту рефрактерности. Т.е. фронт волны начнет “закручиваться” вокруг тормозного синапса.
- С позиции предложенной модели, можно мотивировано дать ответ на вопрос: “Если нейрон ‘большой’ (типа крупной пирамиды), то его удаленный нейропиль (совокупность синапсов на дендритных окончаниях высоких степеней ветвления) будет существенно электротонически неэффективен”. В этом один из парадоксов нейронной организации. Этот “парадокс”, легко объясним тем, что чем более удален синапс от сомы и чем “тернистее” (сложнее) путь, по которому проходит возбуждение от этого синапса до тела нейрона, тем больше вероятность, что это возбуждение будет сведено к нулю возбуждениями других синапсов (лежащих на его пути и расположенных ближе к соме). Т.е. чем выше “вес синапса” (в нашей терминологии), тем ниже его электротоническая эффективность.

# Моделирование процессов распространения возбуждения в нейронах. Выводы и прикладное применение.

## Абстрактный нейрон



- одновременное возбуждение всех синапсов различными пакетами;
- одновременное возбуждение всех синапсов одинаковыми пакетами;
- возбуждение всех синапсов различными пакетами в различное время;
- возбуждение одного синапса доминирующим пакетом (максимальной частоты и продолжительности);
- возбуждение только дендритных синапсов;
- возбуждение только соматического синапса;
- возбуждение шумом.



# Моделирование процессов распространения возбуждения в нейронах.

## Выводы и прикладное применение.

### Промежуточные выводы

- Паттерн ответа нейрона (пока только возбуждение на холме) сильно зависит от топологии дендритов. Т.е., если рассматривать возбуждение холма как функцию распознавания входных воздействий, то у каждого нейрона она будет своя и будет сильно зависеть от ветвлений нейропиля и мест расположения синапсов на нем.
- Можно предположить, что формальная модель нейрона, построенная на рассматриваемом принципе, будет значительно отличаться от различных перцептронов (в лучшую сторону). В части касающейся максимального функционального подобия.
- Наличие во входном возбуждении доминирующего синапса (с высокой частотой генерации и длительностью) приводит к эффекту “навязывания максимальной частоты”. Т.е. паттерн ответа нейрона будет состоять, в основном, из импульсов от этого синапса.
- Соматические синапсы и синапсы холма, вносят в ответ нейрона (в начало) большую составляющую, нежели дендритные синапсы. Исключение составляет доминантный синапс.
- Рассматриваемая модель нейрона нечувствительна к шуму. Т.е. если во входном возбуждении присутствуют общие составляющие, тогда в ответе появляются импульсы им соответствующие. Жалкое подобие (зачатки) классификационной функции.
- Можно так же утверждать, что взаимозаменяемость нейронов (одного типа) имеет место быть. Причем, любой нейрон может быть заменен однотипным (молодым), который станет его не полным аналогом. Полным (функциональным) же аналогом он станет только после того как прорастит нейропиль аналогичный тому который был у замещаемого нейрона. Конечно, если таковое (проращивание) физически возможно.

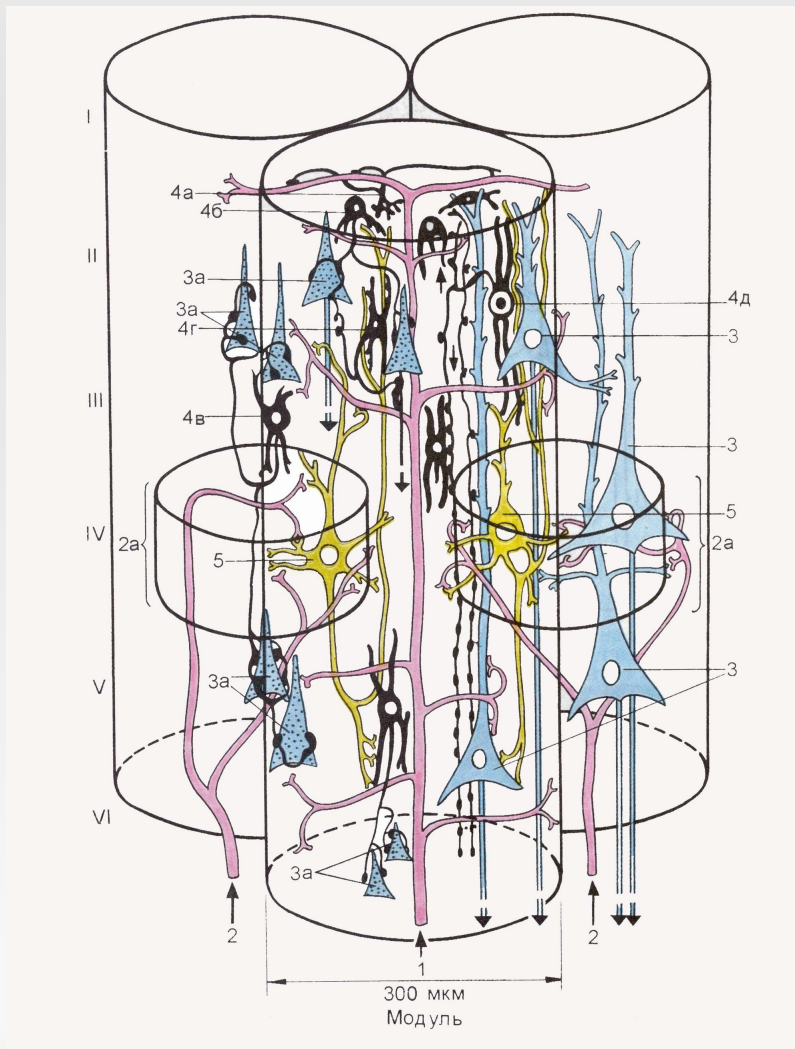
# Моделирование процессов распространения возбуждения в нейронах. Выводы и прикладное применение.

## Новая модель нейронных сетей

- Предложенный, новый взгляд на построение модели нейрона, существенно отличается от классических персептронов. Если в “классике”, существует сумма взвешенных воздействий в сравнении с пороговой функцией. “Новый” взгляд, предполагает наличие у нейрона сложной функции динамического изменения “значимости” синаптической связи, нелинейного суммирования возбуждений, постоянно изменяющееся значение порога возбудимости и ответ в виде последовательности импульсов.
- Модель, предписывает “новому” нейрону априорное наличие функций обучаемости и генерализации входных возбуждений – выделения в них общего. Т.е., именно отдельный нейрон способен обучаться, распознавать и классифицировать, а не сеть из них. Это основные свойства нейронов, а не сети. В сети же из таких элементов, эти способности приобретают качественно другой уровень.
- Кодирование рецепторной информации в такой модели, сильно зависит от начальной (специфической а не случайной) структуры связей рецепторов с нейропилем. Т.е. в зависимости от структуры сети, воспринимающей один и тот же факт окружающего мира, он (факт) будет кодироваться различными последовательностями импульсов. Например, если преобразовывать движение черной точки по белому полю, то это может быть как последовательное появление пачки импульсов на различных синапсах одного и того же нейрона, так и на разных синапсах разных нейронов. Очень важна начальная структура сети.
- Для сети из таких нейронов, специфично не абсолютное значение параметров возбуждений, но их временные характеристики.
- Паттерн ответа конкретного нейрона (возбуждение на холме) сильно зависит от топологии дендритов. Т.е., если рассматривать возбуждение холма как функцию распознавания входных воздействий, то у каждого нейрона она будет своя и будет сильно зависеть от ветвлений нейропиля и мест расположения синапсов на нем.

# Моделирование процессов распространения возбуждения в нейронах. Выводы и прикладное применение.

## Элемент сети – кортикальная колонка



- Максимально приближенная к оригиналу топология межнейронных связей и слоев.
- Сохранение паттернов активностей в РНК артефактах.
- **Глиальные клетки как средство управления "глупыми" нейронами.**
- Способность классификации и распознавания есть неотъемлемая часть элемента сети.
- Максимально возможное функциональное подобие оригиналу при минимальных затратах вычислительных ресурсов.



# Моделирование процессов распространения возбуждения в нейронах. Выводы и прикладное применение.

## Прикладное применение

- Алгоритмы быстрого поиска (индексации).
- Устойчивость к шумам при распознавании (исправление опечаток). Гораздо лучше в сравнении со скрытыми сетями Маркова.
- Эффективное выявление закономерностей в огромных массивах потоковых данных (кластеризация).
- Обучаемость и адаптивность. Без обязательного начального обучения.
- Одна и та же библиотека используется для исправления опечаток, для полнотекстового поиска, для распознавания речи, для формирования рекомендаций и для распознавания идентичности (похожести) фотографий.
- Псевдо-интеллект проекта ПИПС.

**Моделирование процессов распространения возбуждения в нейронах.  
Выводы и прикладное применение.**

**ВОПРОСЫ**