


**ПАССИВНЫЕ И АКТИВНЫЕ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА
БИООБЪЕКТОВ**

1. Электропроводность биологических объектов для постоянного и переменного тока.
2. Раздражимость и возбудимость биообъектов. Зависимость «сила - длительность».
3. Формирование электрических потенциалов в электролитно-коллоидных системах.
4. Потенциал покоя. Электротонический потенциал и локальный ответ.
5. Потенциал действия и его фазы.
6. Проведение возбуждения по нерву.
7. Синапсы, их виды. Механизм передачи возбуждения в химическом синапсе.

По электрическим свойствам вещества делят



Проводники-

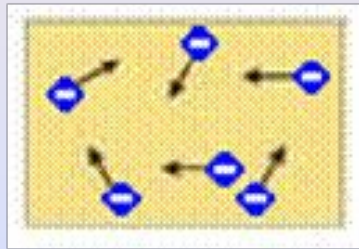
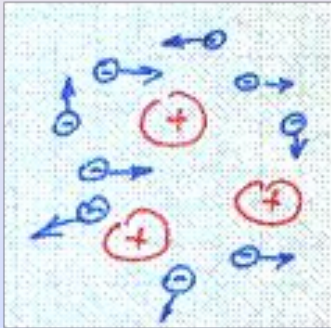
вещества, в которых
свободные заряды
перемещаются по всему
объёму.

**** Диэлектрики-***

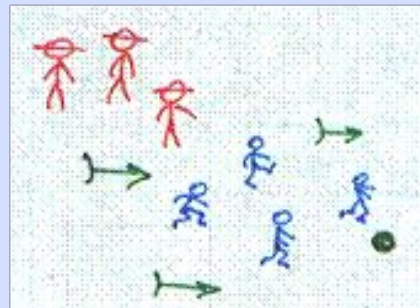
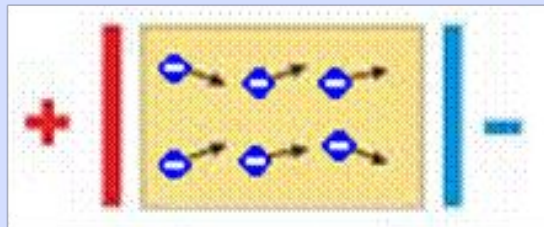
вещества, содержащие
только связанные заряды.

СВОБОДНЫЕ ЗАРЯДЫ

Хаотично движущиеся электроны



Свободные заряды - заряженные частицы одного знака, способные перемещаться под действием электрического поля.



Направленное движение зарядов

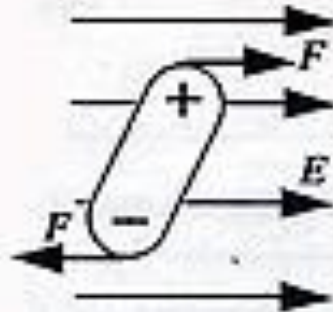
ПЕРЕМЕЩЕНИЕ **СВОБОДНЫХ ЗАРЯДОВ** ПОД
ДЕЙСТВИЕМ ПОЛЯ СОЗДАЕТ **ТОК**
ПРОВОДИМОСТИ

СВЯЗАННЫЕ ЗАРЯДЫ

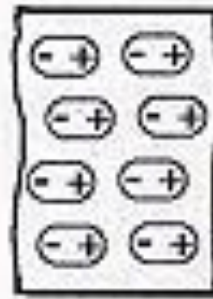
Связанные заряды-
разноимённые заряды,
входящие в состав атомов
и молекул, которые не
могут перемещаться под
действием поля
независимо друг от друга.



Поля нет



Поляризация



Поле есть

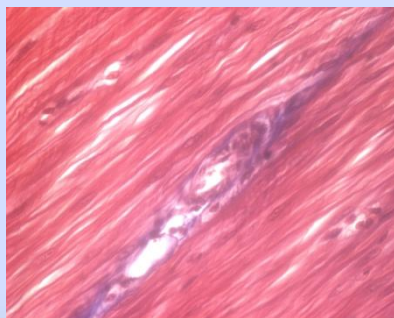
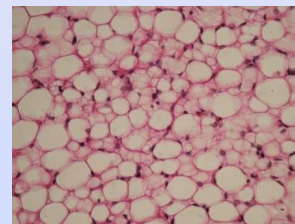
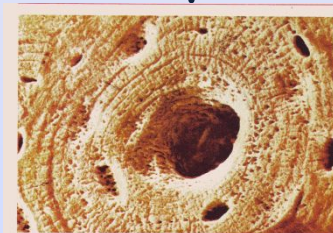
ПЕРЕМЕЩЕНИЕ **СВЯЗАННЫХ ЗАРЯДОВ** СОЗДАЕТ
ТОКИ СМЕЩЕНИЯ

ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ – СВОЙСТВО
живого тела пропускать электрический ток под
воздействием электрического поля.

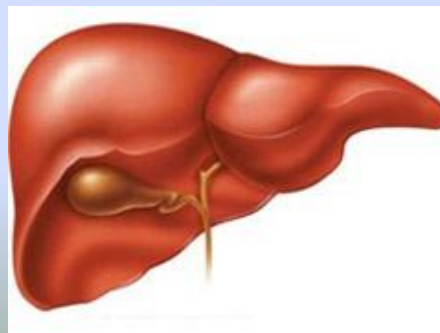
ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ обусловлена наличием
свободных зарядов в ткани.

Существенно зависит от содержания в ткани воды.

0,02 – 0,03 См/м
Воды 15%

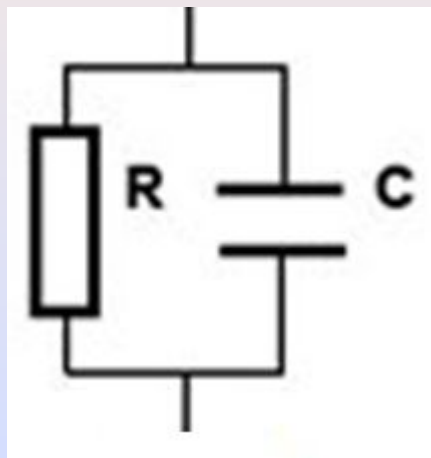


До 1 См/м
Воды 70 – 80%



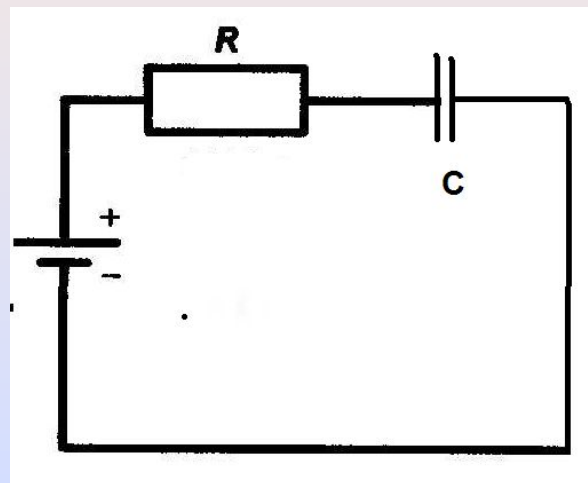
1 См (сименс) = 1/Ом

ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ БИООбЪЕКТОВ



Параллельное

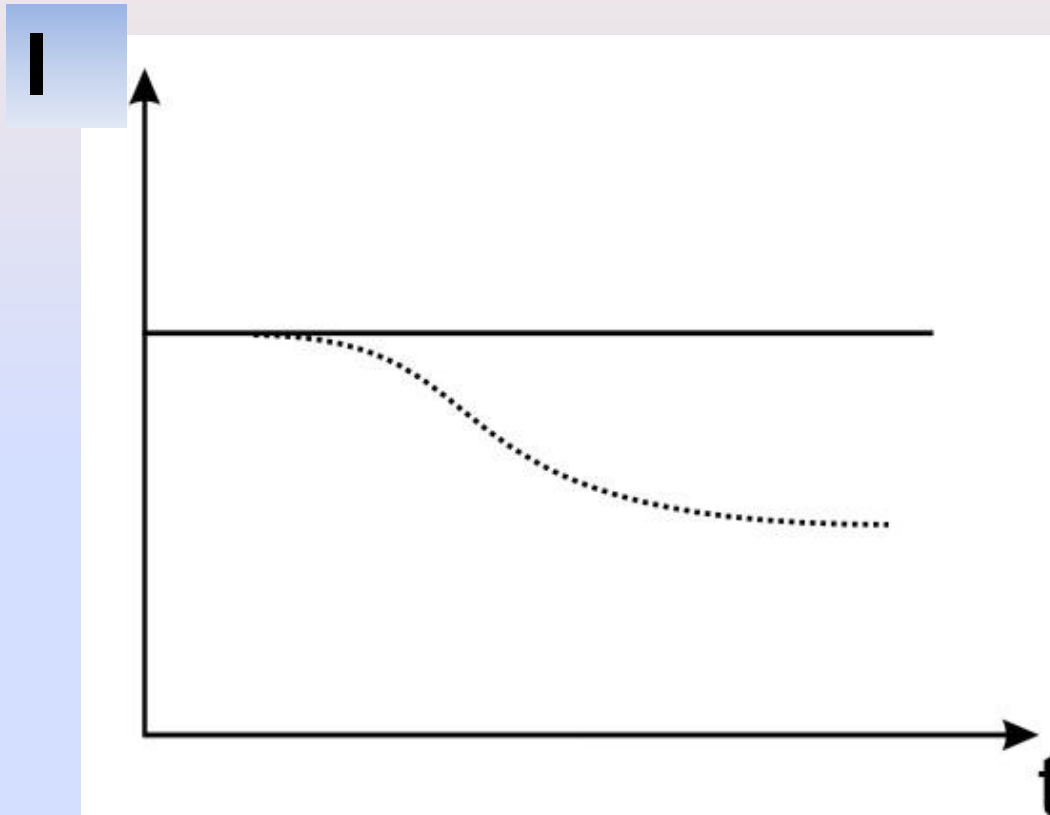
соединение



Последовательное

R – сопротивление, C – электрическая емкость

ПРИ ПРОПУСКАНИИ **ПОСТОЯННОГО ТОКА** ЧЕРЕЗ БИООбЪЕКТ НАБЛЮДАЕТСЯ ВИДИМОЕ ОТКЛОНЕНИЕ ОТ ЗАКОНА ОМА



$$I = \frac{U - P(t)}{R}$$

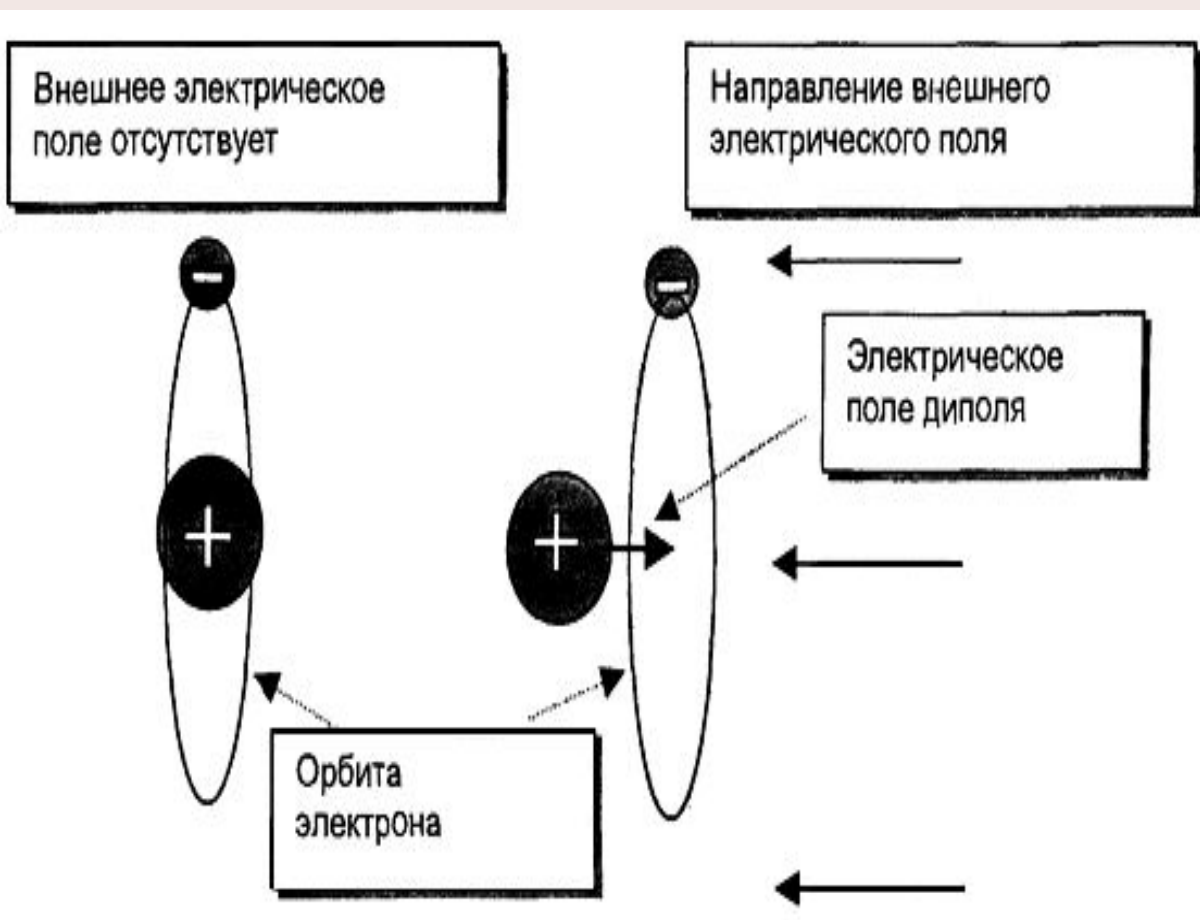
ПРИЧИНА: При пропускании тока через объект, содержащий связанные заряды, развивается явление **ПОЛЯРИЗАЦИИ**.

ПОЛЯРИЗАЦИЯ - процесс перемещения связанных зарядов под действием внешнего электрического поля и создание вследствие этого ЭДС, направленной против внешнего поля.

Явление поляризации наиболее выражено при измерении сопротивления на **ПОСТОЯННОМ ТОКЕ**.

ВИДЫ ПОЛЯРИЗАЦИИ

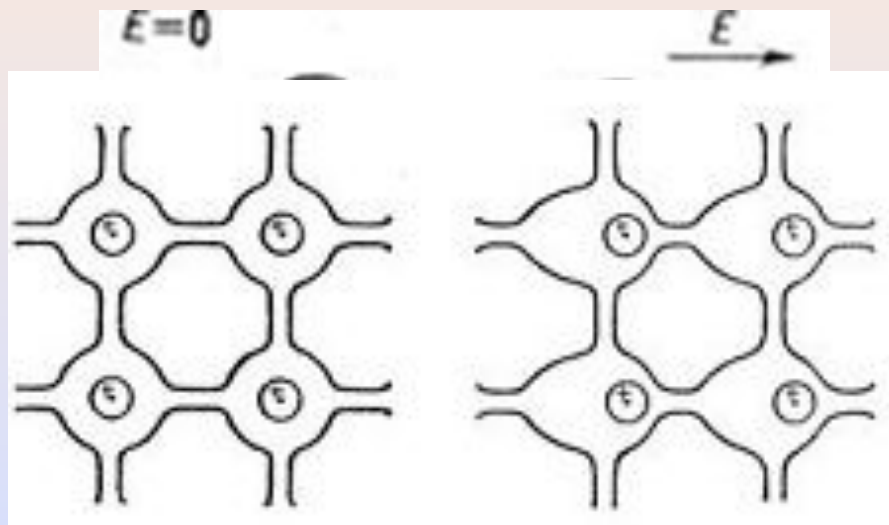
ЭЛЕКТРОННАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ



упругое смещение электронных орбит относительно ядер в атомах и молекулах под действием внешнего электрического поля.

Время релаксации $10^{-16} - 10^{-14}$ с

ИОННАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ



Время релаксации

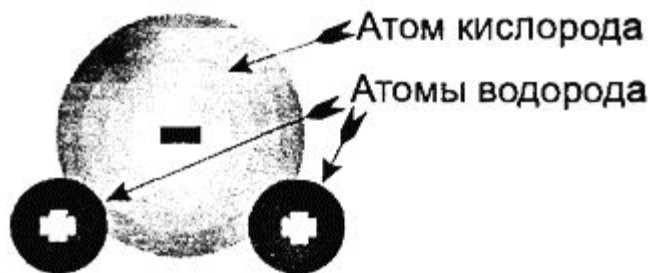
$$10^{-16} - 10^{-12} \text{ с}$$

Упругое смещение противоположно заряженных ионов в узлах кристаллической решетки.

Присутствует в кристаллических веществах.

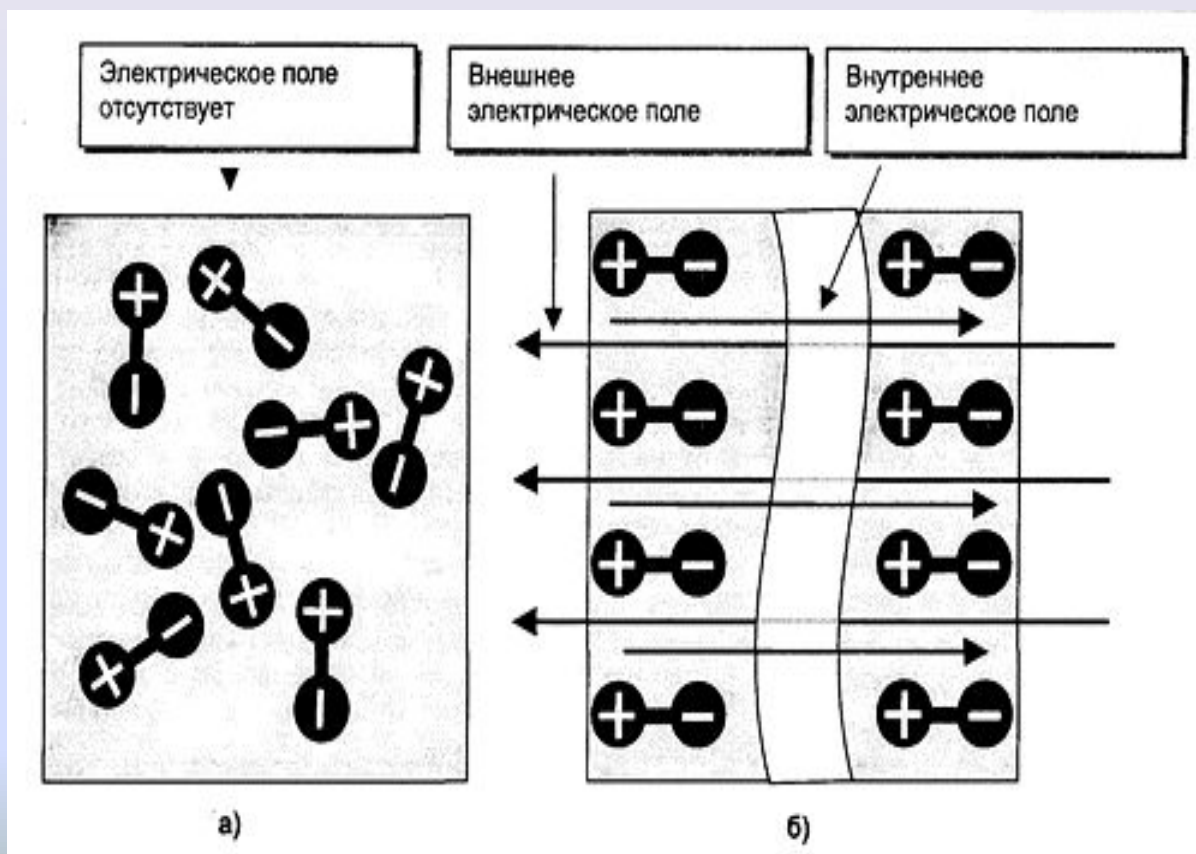
Ионная и электронная поляризации происходят без потерь энергии.

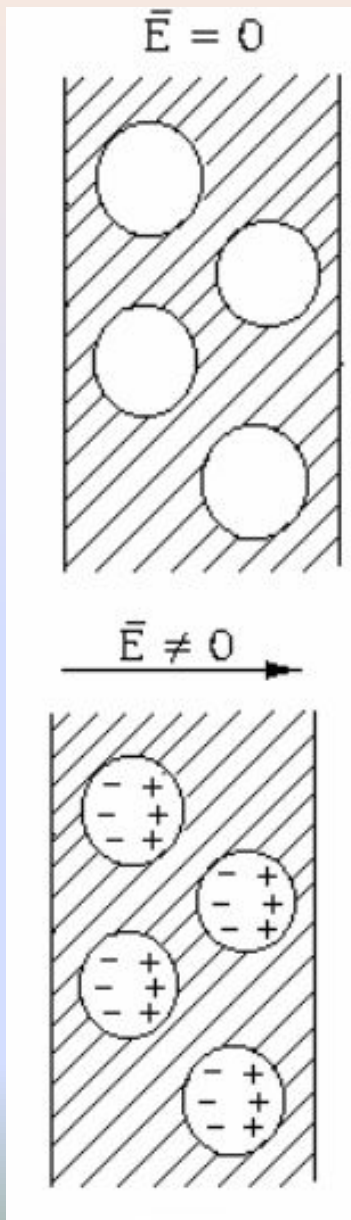
ДИПОЛЬНАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ



Время релаксации

$$10^{-13} - 10^{-7} \text{ с}$$





МАКРОСТРУКТУРНАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ

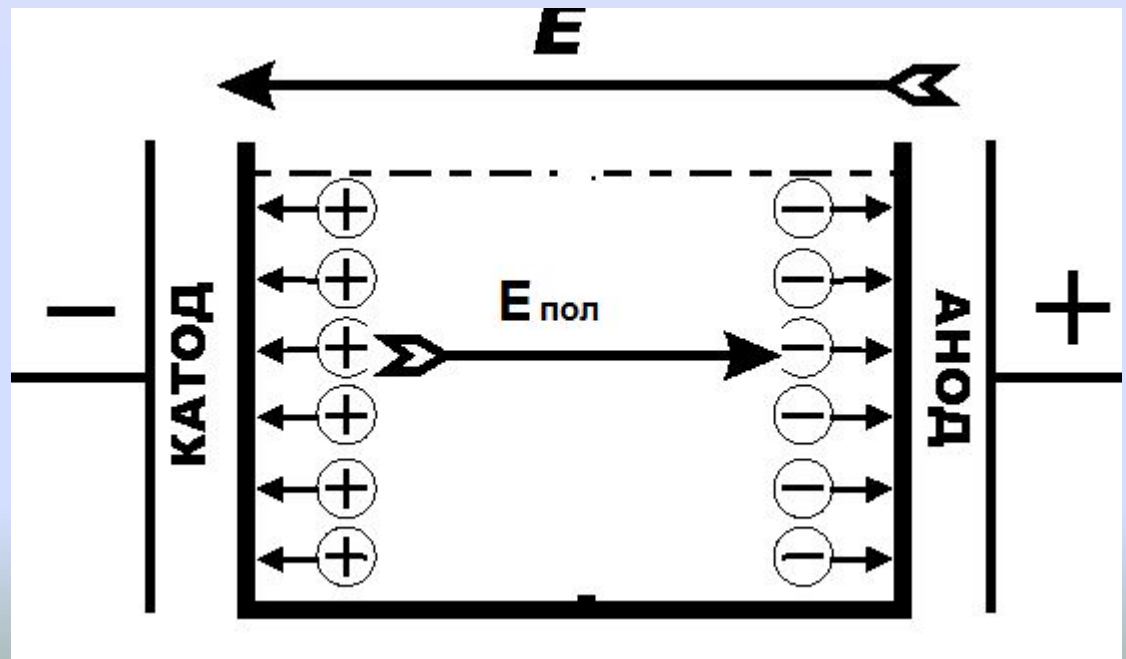
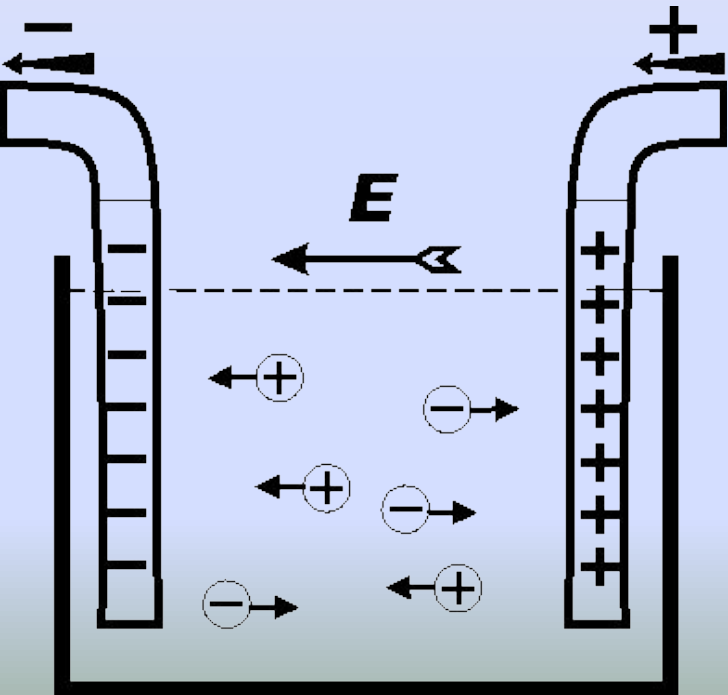
Время релаксации

$10^{-8} - 10^{-3} \text{ с}$

Электролитическая поляризация

связана с поляризацией электродов, опущенных в раствор электролита при пропускании через них тока.

Время релаксации до нескольких секунд



СОПРОТИВЛЕНИЕ БИООБЪЕКТОВ ПЕРЕМЕННОМУ ТОКУ

ИМПЕДАНС – СУММАРНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ОБЪЕКТА

$$|Z| = \sqrt{R^2 + R_c^2}$$

R – АКТИВНОЕ (омическое)
СОПРОТИВЛЕНИЕ

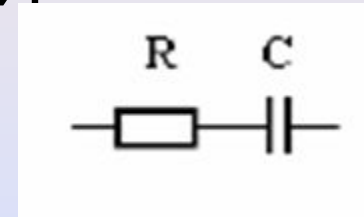
$$R = \frac{\rho \cdot l}{S},$$

R_c – РЕАКТИВНОЕ (емкостное)
СОПРОТИВЛЕНИЕ

$$R_c = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

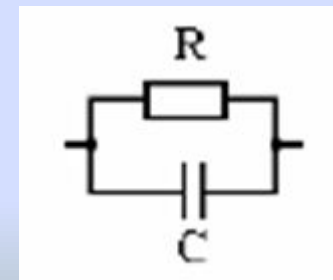
ПРИ **ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ**
СОЕДИНЕНИИ ОМИЧЕСКОГО И
ЕМКОСТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЙ

$$Z = \sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}},$$



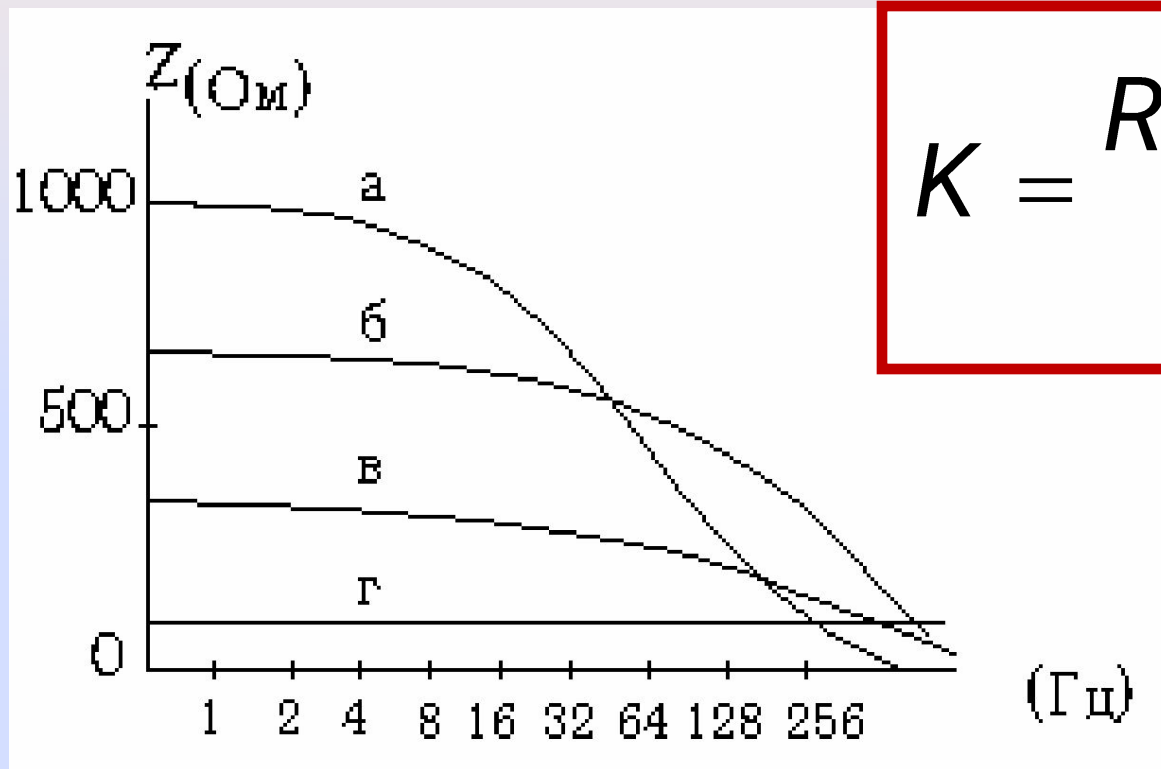
ПРИ **ПАРАЛЛЕЛЬНОМ** СОЕДИНЕНИИ
ОМИЧЕСКОГО И ЕМКОСТНОГО
СОПРОТИВЛЕНИЙ

$$Z = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \omega^2 C^2}}$$



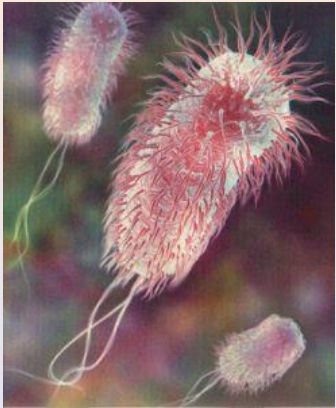
ДИСПЕРСИЯ ИМПЕДАНСА – зависимость
суммарного сопротивления от частоты
переменного тока

ДИСПЕРСИЯ ИМПЕДАНСА ПРИ ОТМИРАНИИ ТКАНИ



$$K = \frac{R_{10^4}}{R_{10^6}}$$

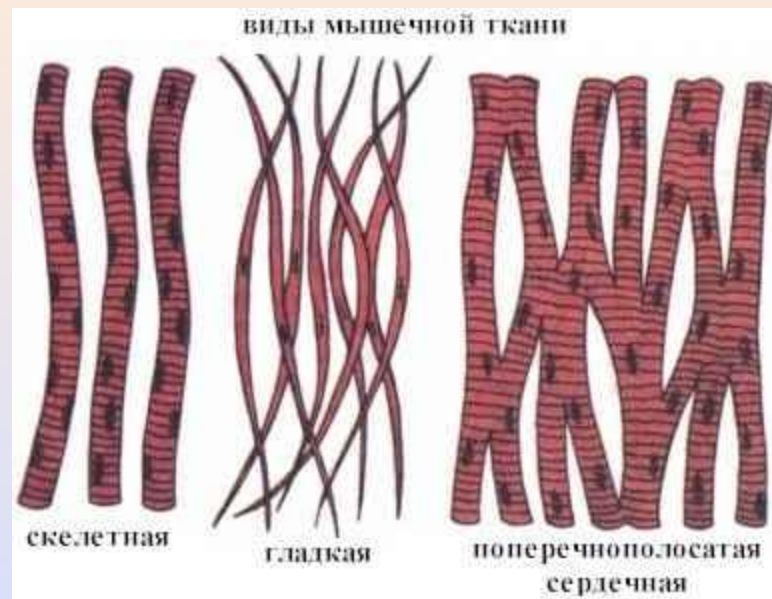
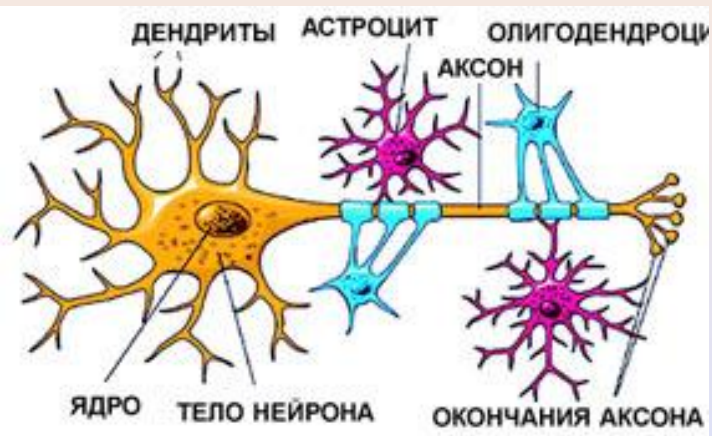
K – коэффициент Тарусова



2006 © Игорь Торгачкин

**РАЗДРАЖИМОСТЬ - ОБЩЕЕ СВОЙСТВО ВСЕХ
ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ, СПОСОБНОСТЬ
РЕАГИРОВАТЬ НА ФАКТОРЫ СРЕДЫ**





ВОЗБУДИМЫЕ ТКАНИ СПОСОБНЫ РЕАГИРОВАТЬ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИГНАЛЫ



Beauty Women

РАЗДРАЖИТЕЛИ

□ **ФИЗИЧЕСКИЕ** (механические, звуковые, световые, температурные, **электрические**)

□ **ХИМИЧЕСКИЕ** (щелочи, кислоты, гормоны, продукты обмена веществ)

□ **ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ** (изменения осмотического давления, pH и т.п.)

РАЗДРАЖИТЕЛИ
(по силе)

```
graph TD; A["РАЗДРАЖИТЕЛИ (по силе)"] --> B["ПОДПОРОГОВЫЕ"]; A --> C["ПОРОГОВЫЕ"]; A --> D["СВЕРХПОРОГОВЫЕ"];
```

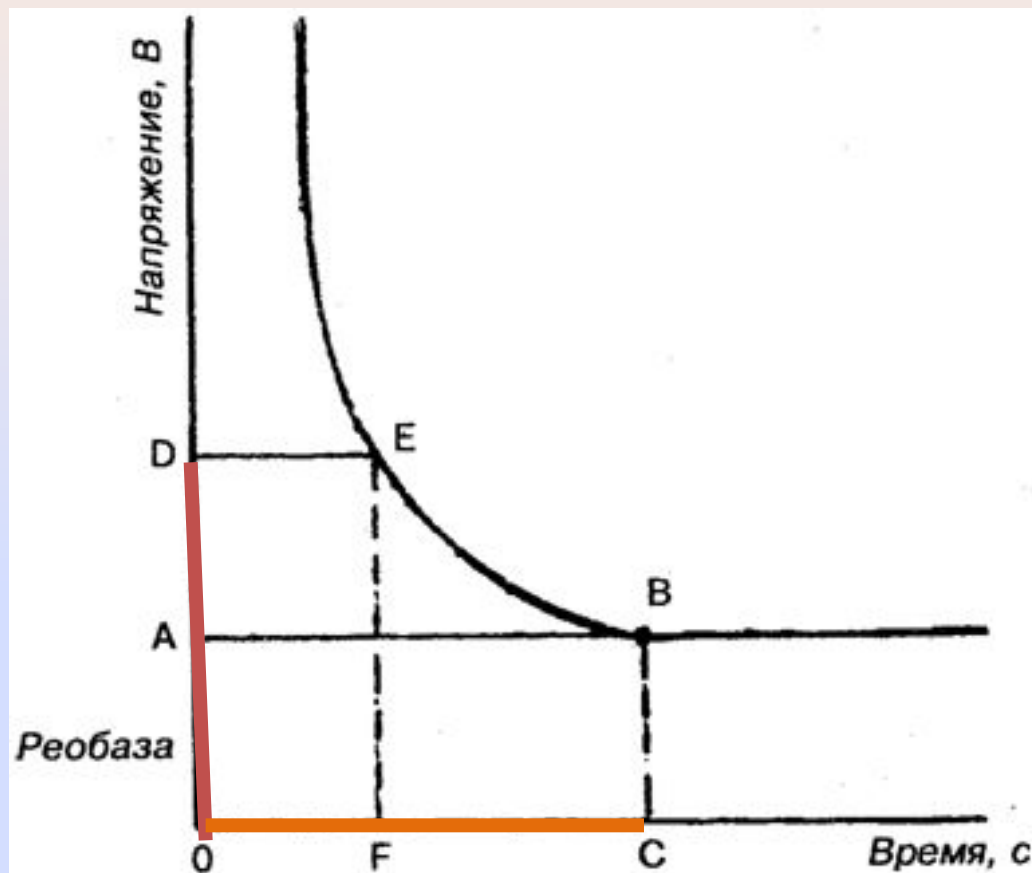
ПОДПОРОГОВЫЕ

ПОРОГОВЫЕ

СВЕРХПОРОГОВЫЕ

СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ПОРОГОВОЙ СИЛОЙ
РАЗДРАЖЕНИЯ И ЕГО ДЛИТЕЛЬНОСТЬЮ

КРИВАЯ «СИЛА –



OA – реобаза

OC – полезное время

время

OD – 2 реобазы

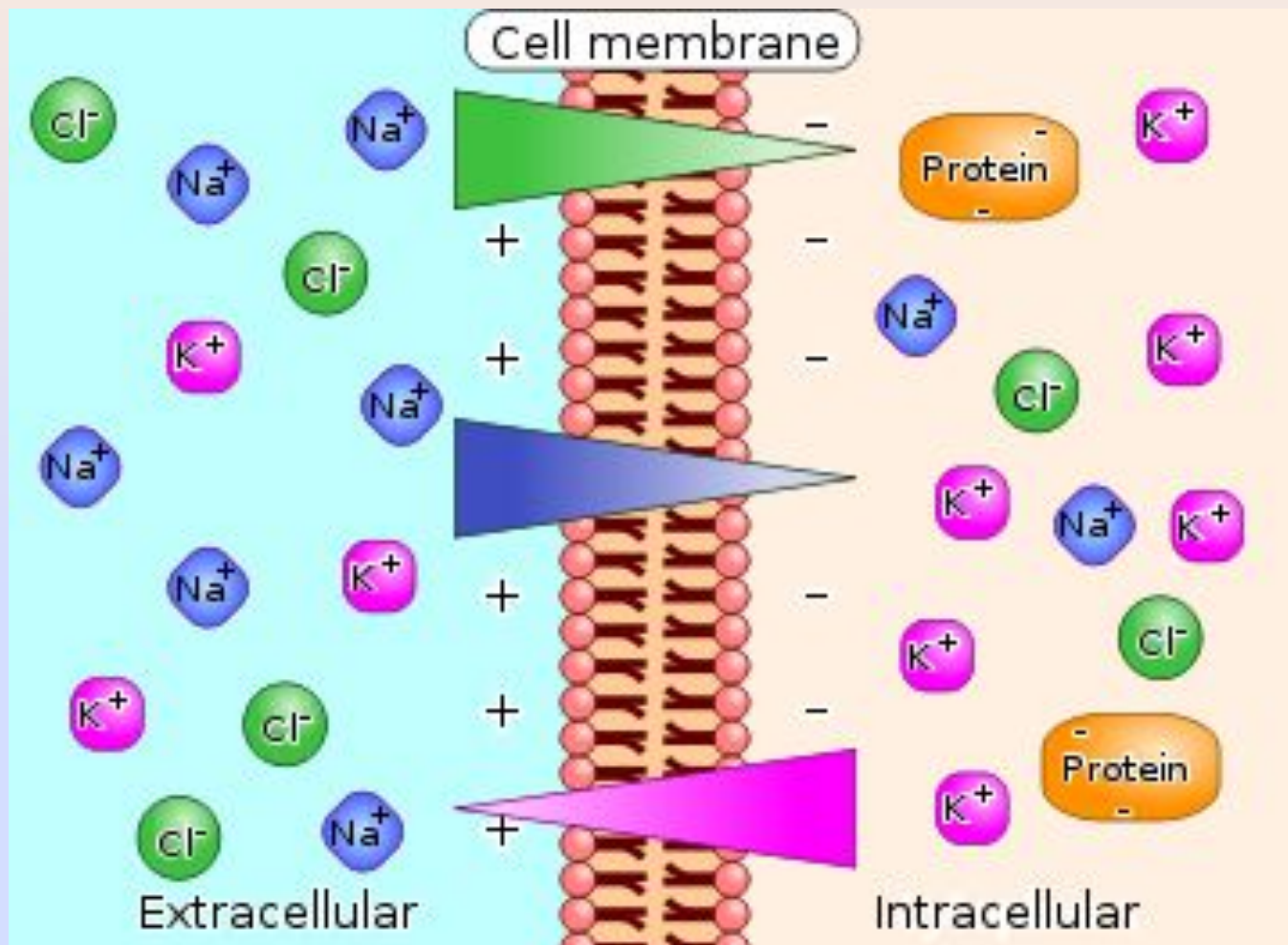
OF – хронаксия

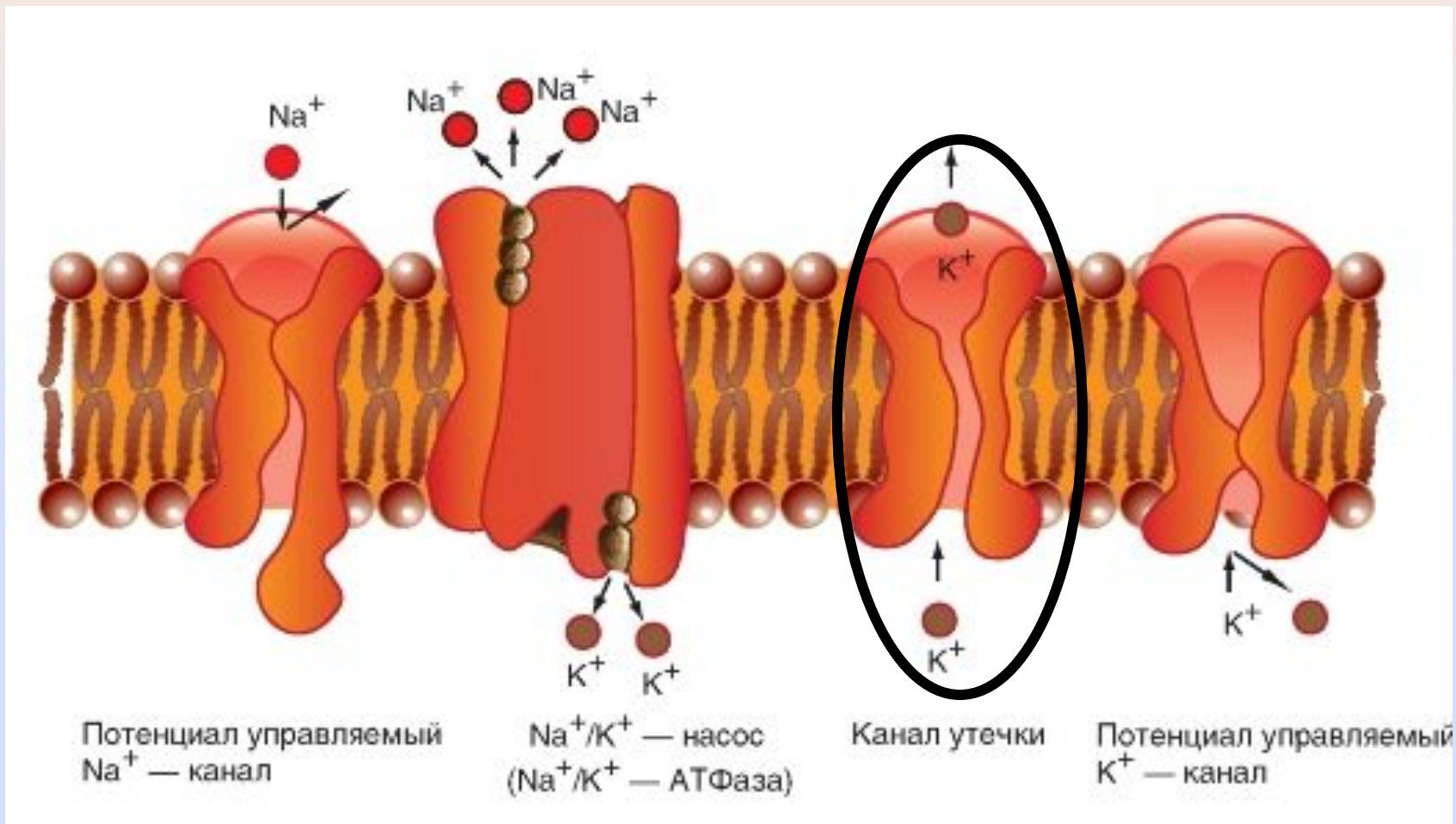
Мембранная теория возбуждения:

при раздражении возбудимой клетки происходит изменение проницаемости мембраны и появление трансмембранных ионных токов.

Потенциал покоя, механизм его формирования

ИОННЫЕ ГРАДИЕНТЫ





В состоянии покоя мембрана наиболее проницаема для ионов калия.

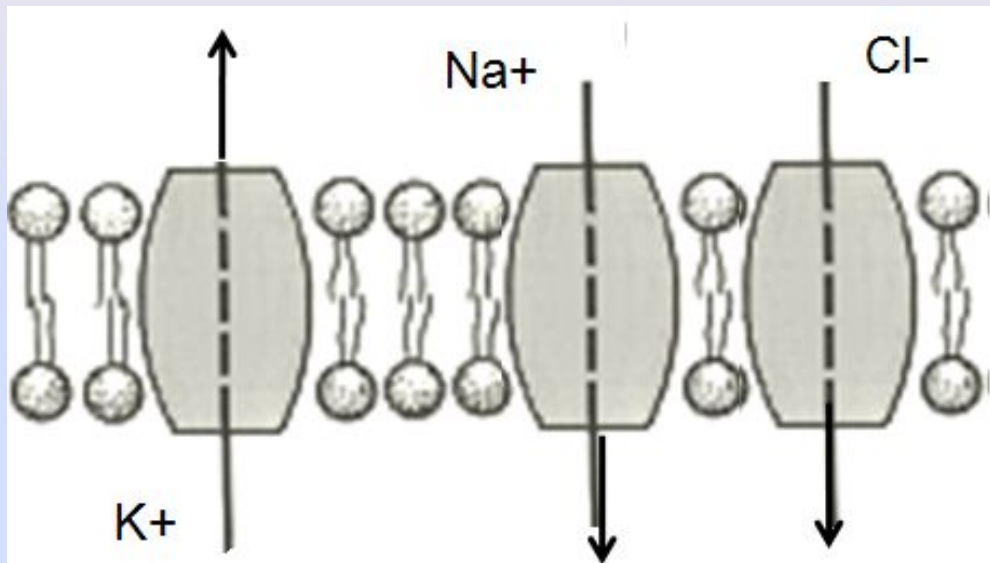
ПП гигантского аксона кальмара,
рассчитанный по уравнению, равен -75мВ

УРАВНЕНИЕ НЕРНСТА

$$E = \frac{RT}{F} \ln \left[\frac{K^+{}_e}{K^+{}_i} \right]$$

ПП гигантского аксона кальмара, измеренный в эксперименте, равен **-70 мВ**

ПРИЧИНА: ПП формируется не только за счет ионов K^+ , но и других ионов: Na^+ , Cl^- .



$$P_K : P_{Na} : P_{Cl} = 1 : 0,04 : 0,45$$

Соотношение проницаемостей потенциалобразующих ионов в состоянии покоя

Итоговая величина ПП, обусловленного переносом многих ионов, может быть достаточно точно рассчитана по формуле Гольдмана.

УРАВНЕНИЕ ГОЛЬДМАНА

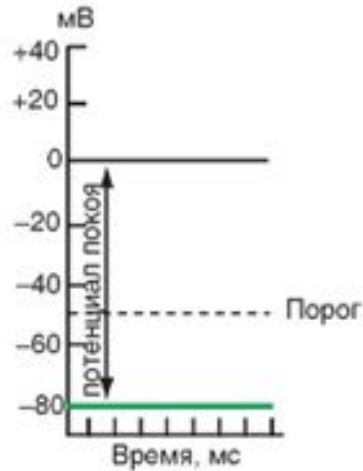
$$ПП = E_p = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_K [K^+_e] + P_{Na} [Na^+_e] + P_{Cl} [Cl^-_i]}{P_K [K^+_i] + P_{Na} [Na^+_i] + P_{Cl} [Cl^-_e]}$$

роль **Na/K** НАСОСА В ГЕНЕРАЦИИ **ПП**

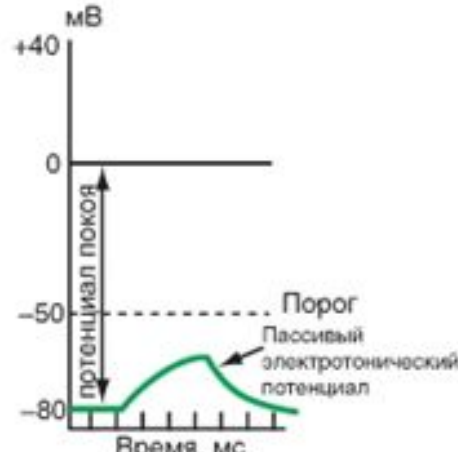
- Поддержание высокой концентрации K^+ внутри клетки, что обеспечивает постоянство величины ПП. Электрогенность насоса: вклад в ПП.
- Поддержание низкой концентрации Na^+ внутри клетки, что, с одной стороны, обеспечивает **генерацию потенциала действия**, с другой — обеспечивает сохранение нормальных осмолярности и объема клетки.

Изменение мембранного потенциала клетки при действии электрического тока различной силы

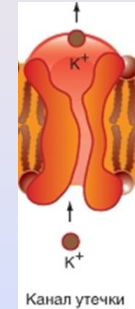
А



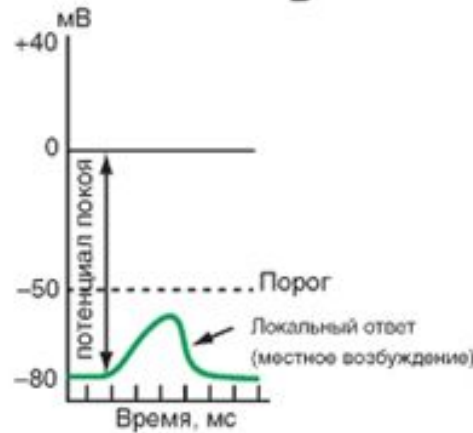
Б



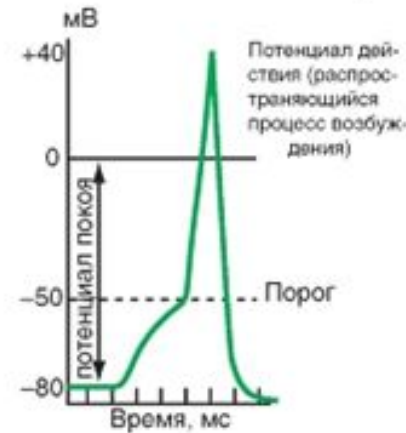
Действие допорогового стимула



В



Г



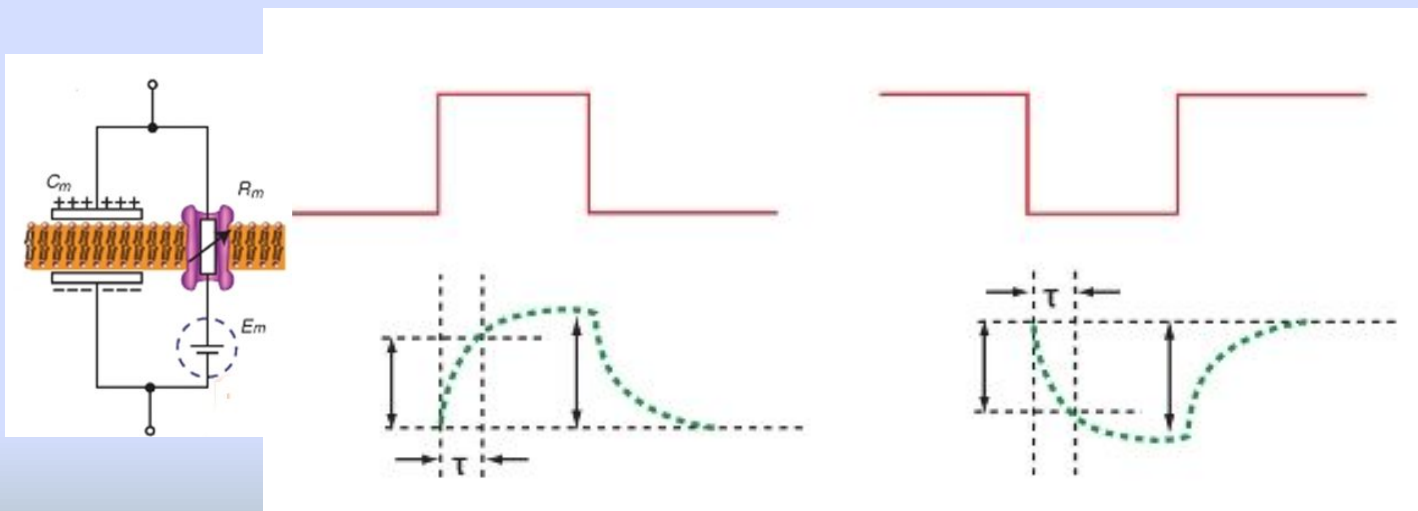
Действие подпорогового стимула

Действие порогового стимула

Пассивный электротонический потенциал возникает в ответ на подпороговый импульс электрического тока, который **не**

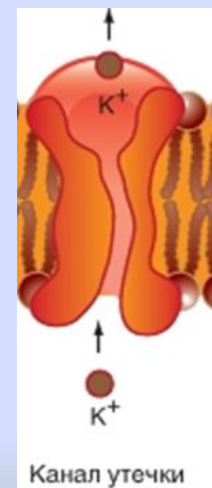
приводит к открытию потенциалозависимых ионных каналов и определяется только **емкостными** и **резистивными** свойствами мембраны клетки.

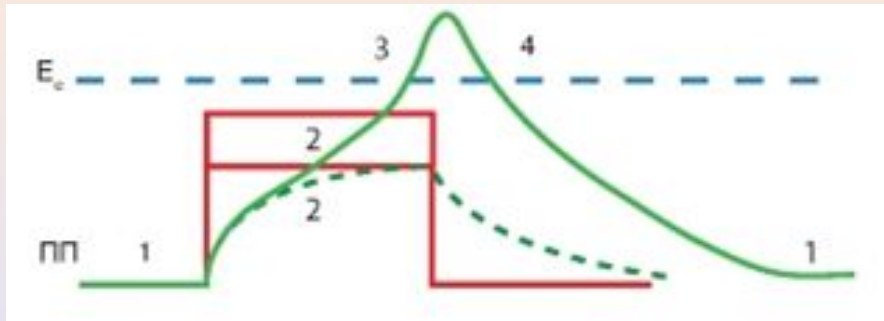
Емкость в основном определяется липидным бислоем, а сопротивление клетки зависит от сопротивления, которое определяется открытыми каналами утечки.



Катэлектротон

анэлектротон

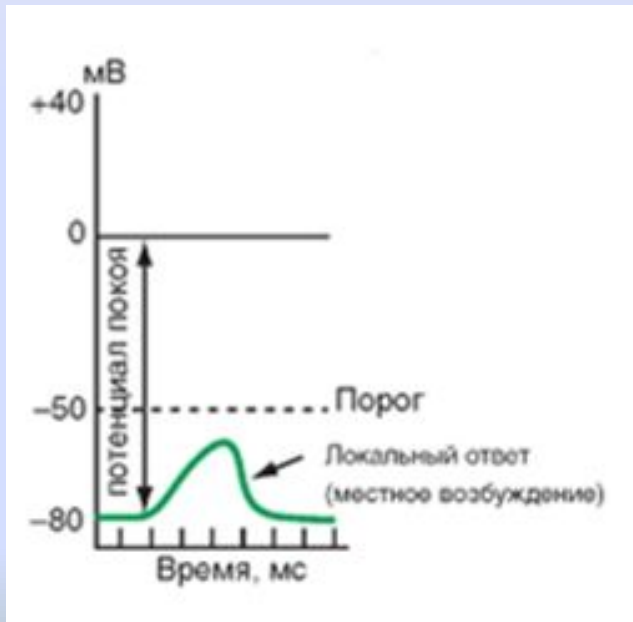




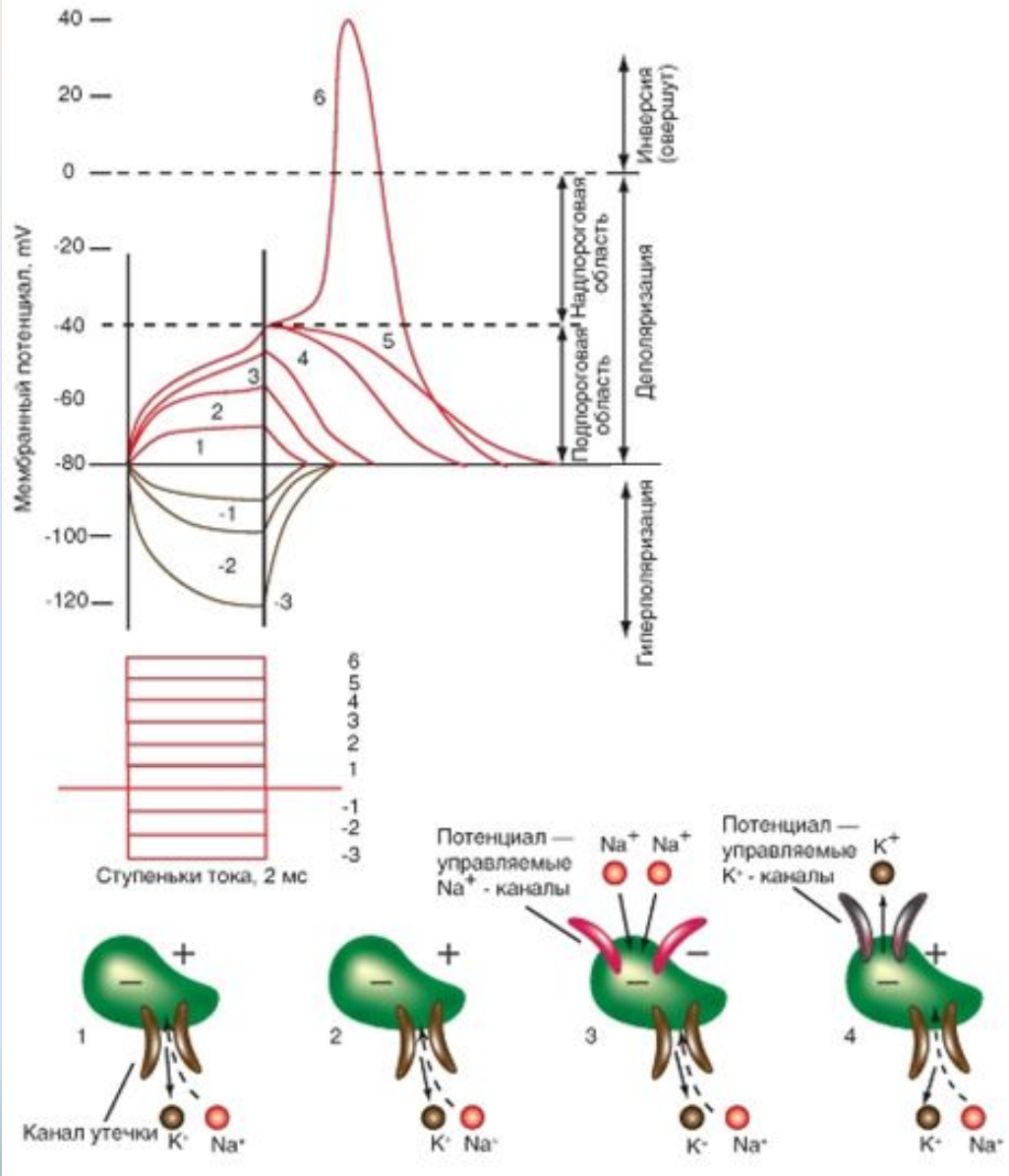
При увеличении силы раздражителя появляется **локальный ответ**

мембраны.

Происходит изменение формы пассивного электротонического потенциала и появлении самостоятельно развивающегося пика относительно небольшой амплитуды, по форме напоминающего **S-образную кривую**.

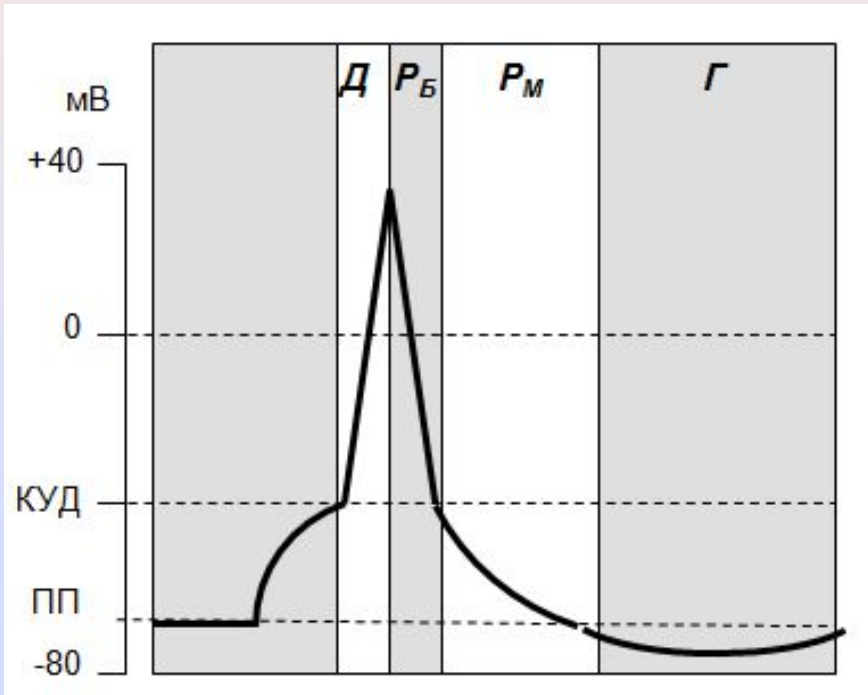


Пороговый стимул приводит к развитию **потенциала действия**

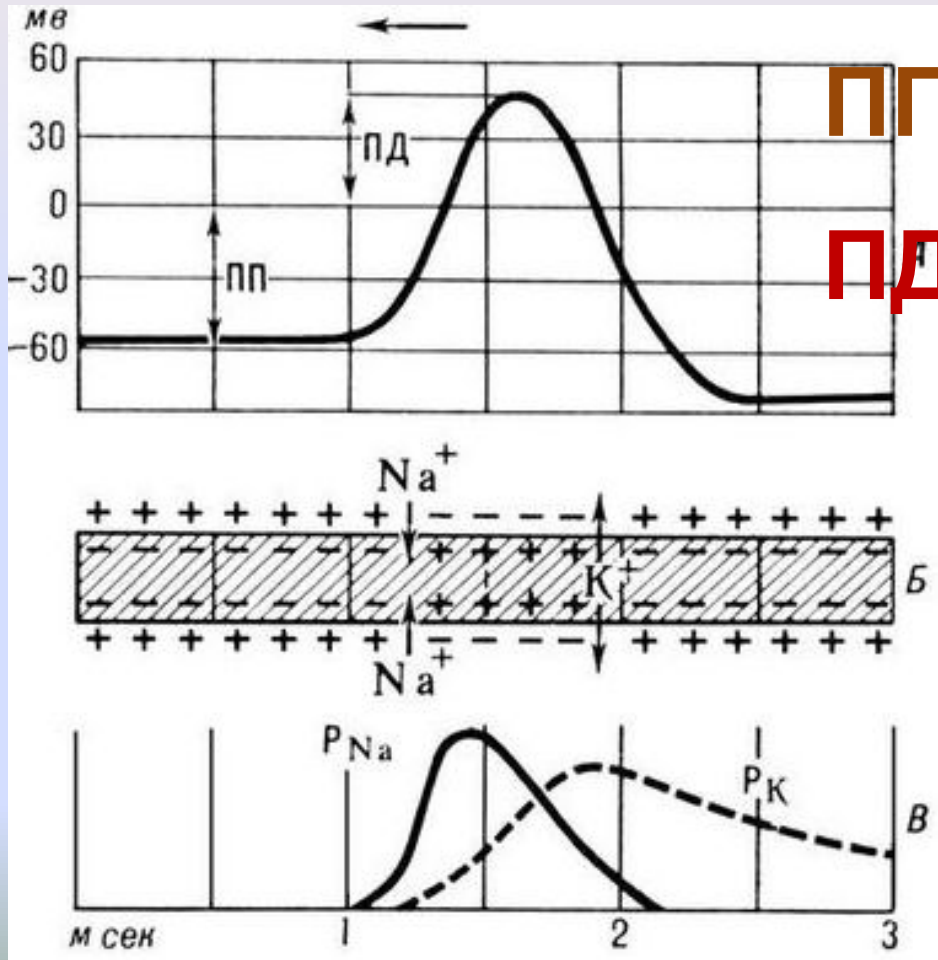


Изменение мембранного потенциала

Д – фаза деполяризации,
Р_Б – фаза быстрой реполяризации,
Р_М – фаза медленной реполяризации,
Г – фаза гиперполяризации.



ИЗМЕНЕНИЕ ИОННОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ВО ВРЕМЯ РАЗВИТИЯ ПОТЕНЦИАЛА ДЕЙСТВИЯ



пп $P_K : P_{Na} : P_{Cl} = 1 : 0,04 : 0,45$

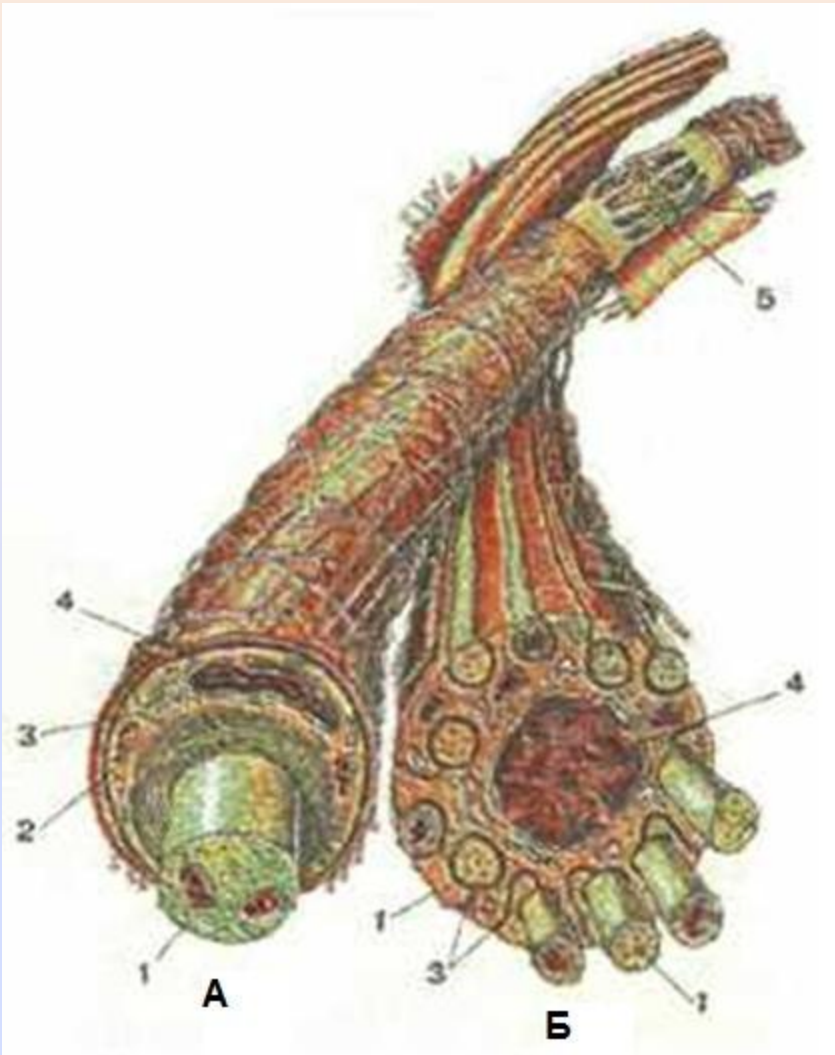
пд $P_K : P_{Na} : P_{Cl} = 1 : 20 : 0,45$



**РЕГЕНЕРАТИВНЫЕ СВЯЗИ МЕЖДУ ДЕПОЛЯРИЗАЦИЕЙ
МЕМБРАНЫ, УВЕЛИЧЕНИЕМ НАТРИЕВОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ
И И ВХОДЯЩИМ ТОКОМ ИОНОВ НАТРИЯ**

ПРОВЕДЕНИЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ

Типы нервных волокон

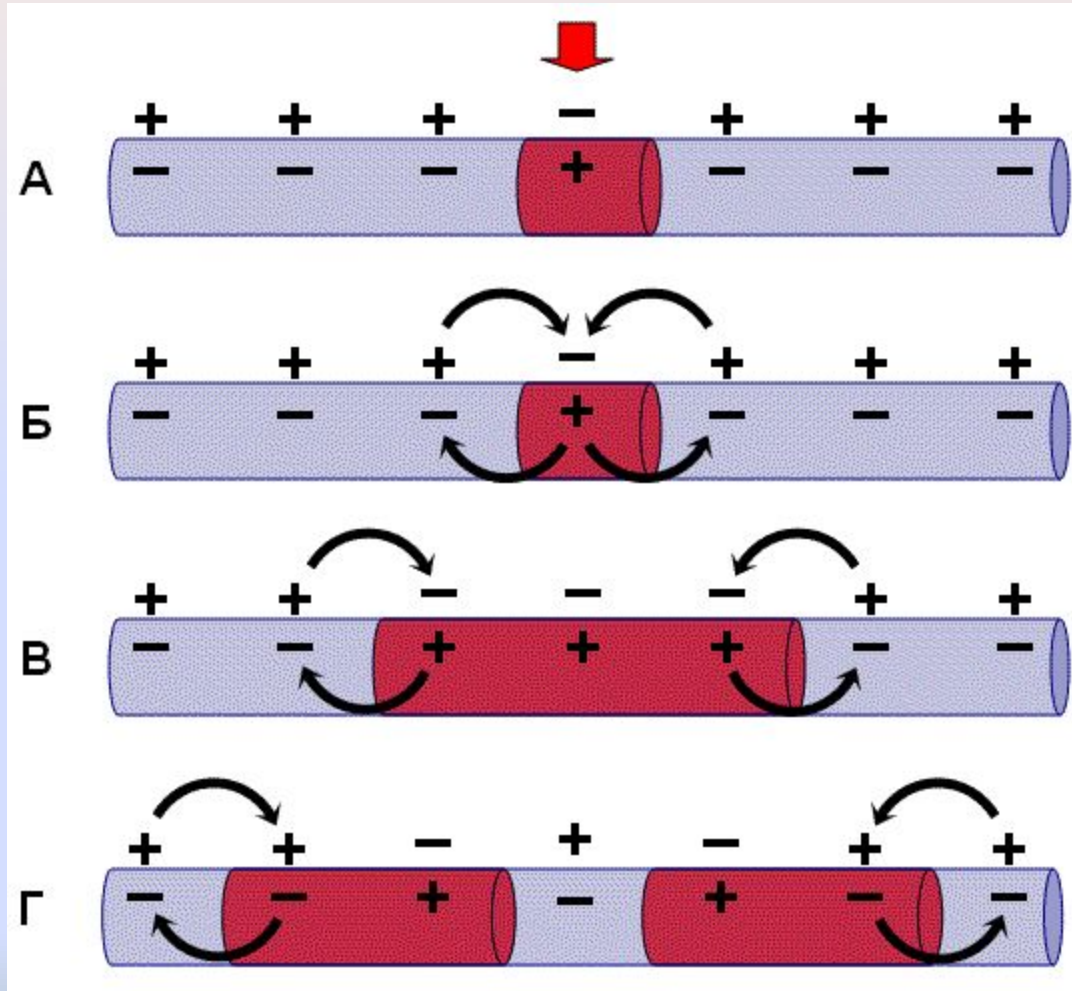


А - миелиновое волокно,
Б - безмиелиновое волокно.

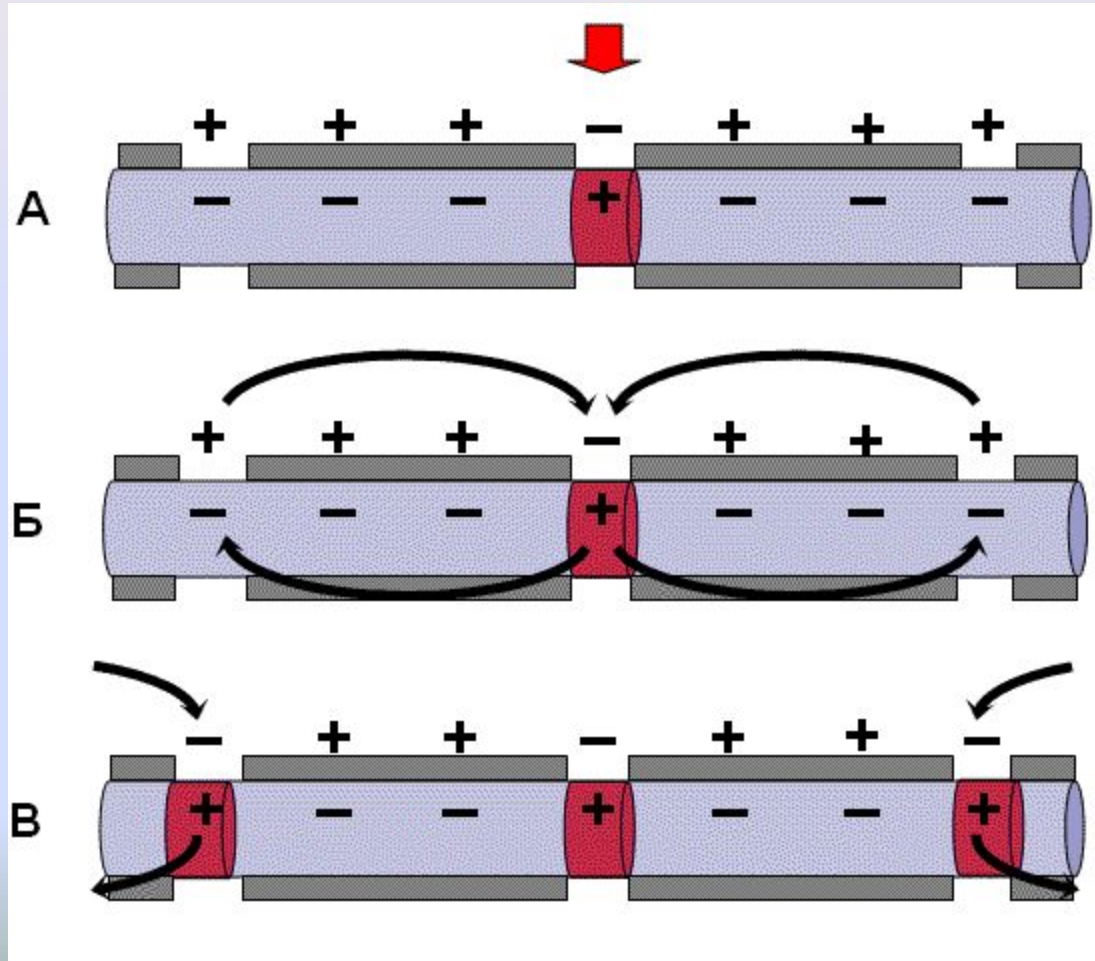
1 - осевой цилиндр,
2 - миелиновый слой,
3 - мезаксон,
4 - ядро нейролеммоцита
(шванновской клетки),
5 - узловой перехват (перехват
Ранвье).

Электрические характеристики миелина
 $R = 0,16 \text{ МОм} \cdot \text{см}$, $C = 0,005 \text{ мкФ/см}$.

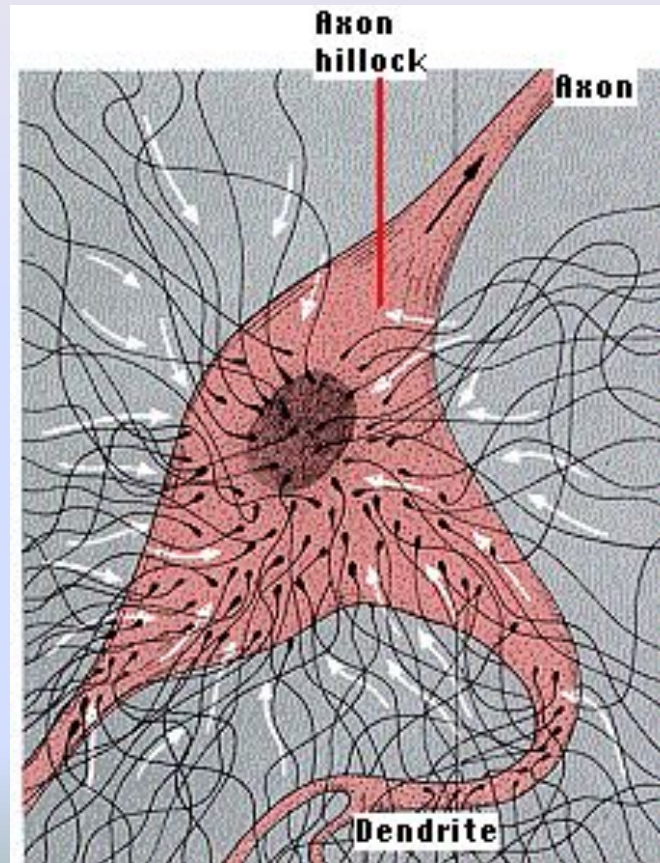
Механизм распространения возбуждения по безмиелиновому нервному волокну



Механизм распространения возбуждения по миелиновому нервному волокну



СИНАПС – место функционального контакта между нейронами или нейронами и другими клетками



В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИРОДЫ ПРОХОДЯЩЕГО СИГНАЛА:

- Электрические
- Химические

В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЭФФЕКТА:

- Возбуждающие
- Тормозные

ХИМИЧЕСКИЙ СИНАПС



