

**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-***

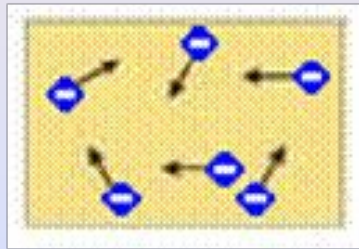
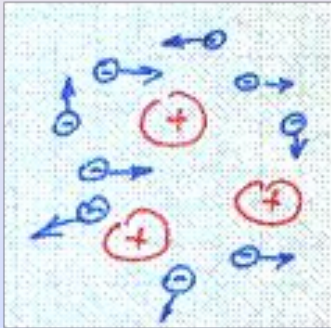
вещества, в которых  
свободные заряды  
перемещаются по всему  
объёму.

***\* Диэлектрики-***

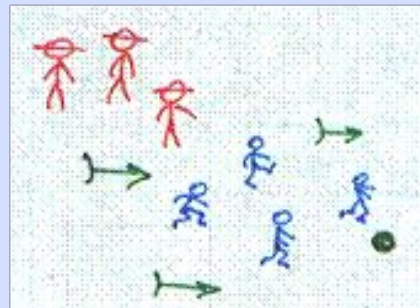
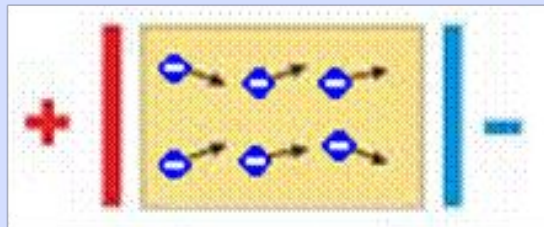
вещества, содержащие  
только связанные заряды.

# СВОБОДНЫЕ ЗАРЯДЫ

Хаотично движущиеся электроны



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



Направленное движение зарядов

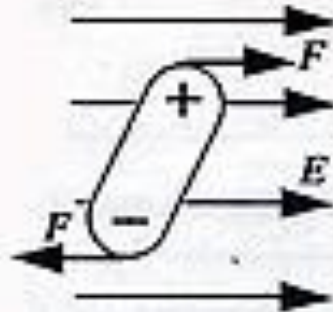
ПЕРЕМЕЩЕНИЕ **СВОБОДНЫХ ЗАРЯДОВ** ПОД  
ДЕЙСТВИЕМ ПОЛЯ СОЗДАЕТ **ТОК**  
**ПРОВОДИМОСТИ**

# СВЯЗАННЫЕ ЗАРЯДЫ

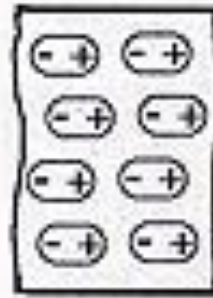
Связанные заряды-  
разноимённые заряды,  
входящие в состав атомов  
и молекул, которые не  
могут перемещаться под  
действием поля  
независимо друг от друга.



Поля нет



Поляризация



Поле есть

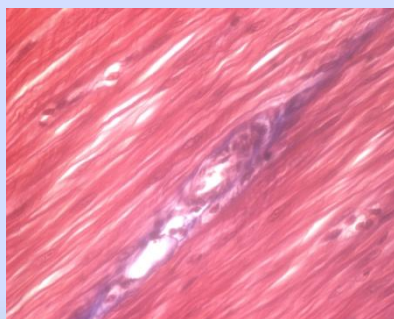
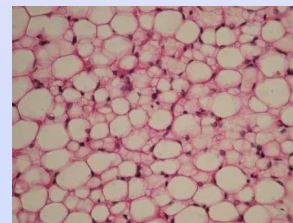
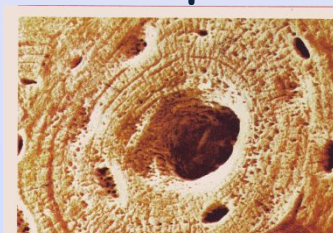
ПЕРЕМЕЩЕНИЕ **СВЯЗАННЫХ ЗАРЯДОВ** СОЗДАЕТ  
**ТОКИ СМЕЩЕНИЯ**

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

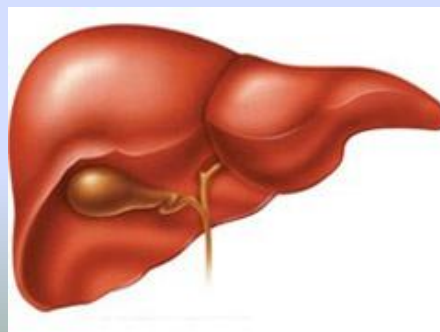
**ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ** обусловлена наличием  
**свободных зарядов** в ткани.

Существенно зависит от содержания в ткани воды.

0,02 – 0,03 См/м  
Воды 15%

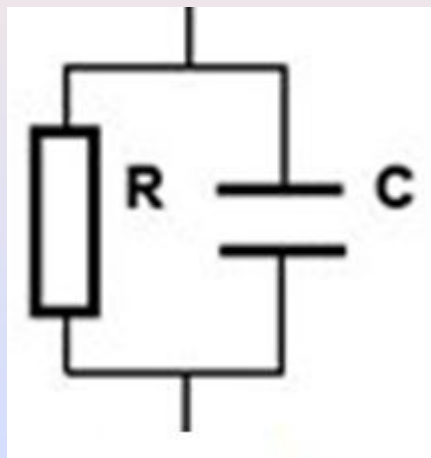


До 1 См/м  
Воды 70 – 80%



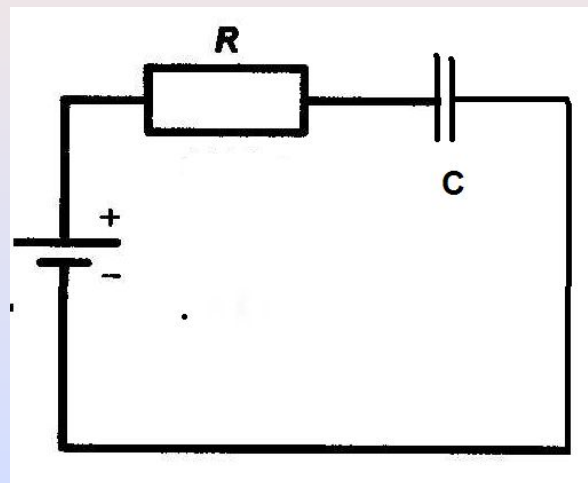
**1 См (сименс) = 1/Ом**

# ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ БИООбЪЕКТОВ



Параллельное

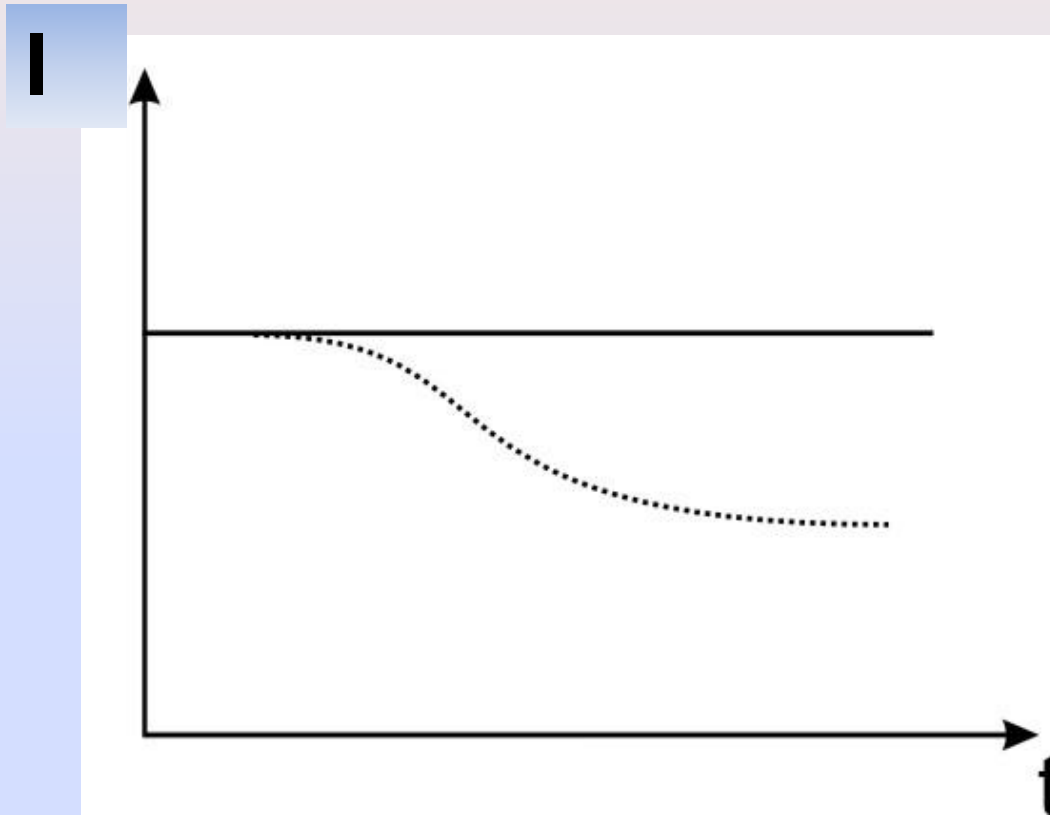
соединение



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**.

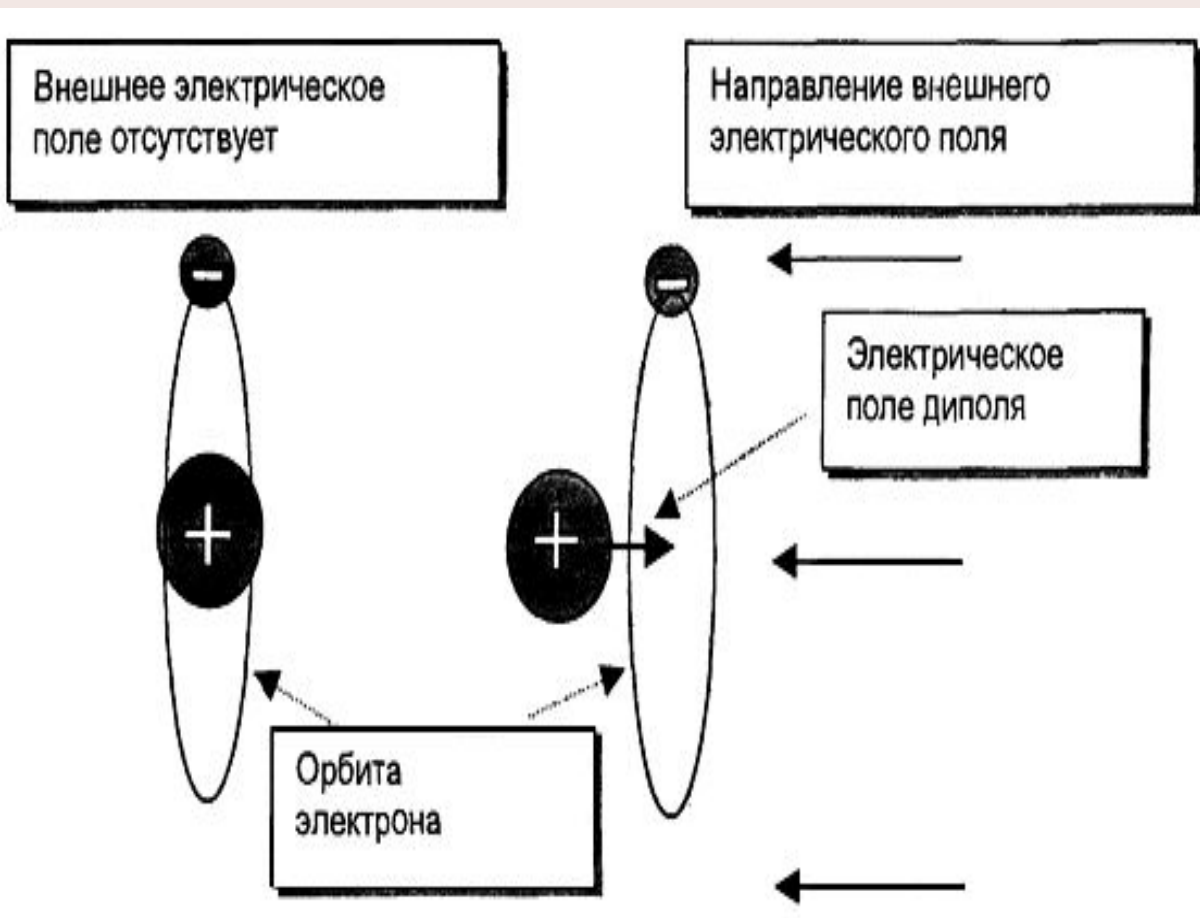


**ПОЛЯРИЗАЦИЯ** - процесс перемещения связанных зарядов под действием внешнего электрического поля и создание вследствие этого ЭДС, направленной против внешнего поля.

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

# ВИДЫ ПОЛЯРИЗАЦИИ

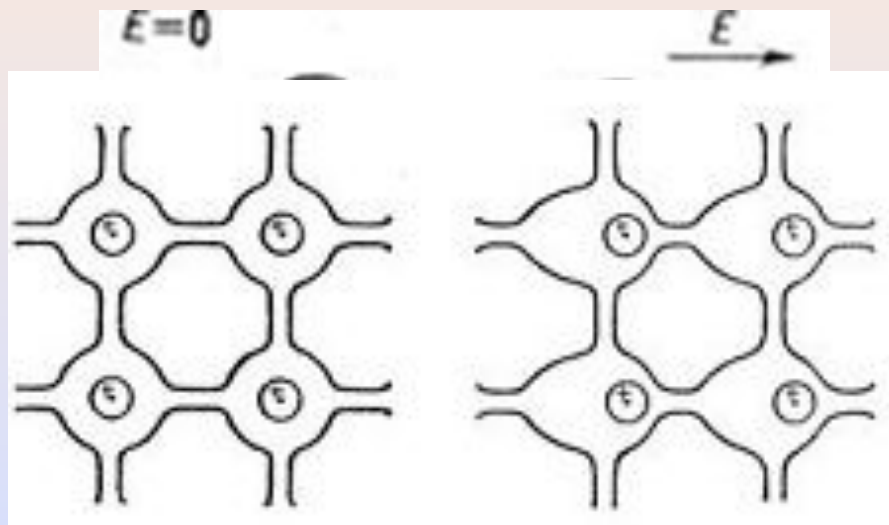
# ЭЛЕКТРОННАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ



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

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

# ИОННАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ



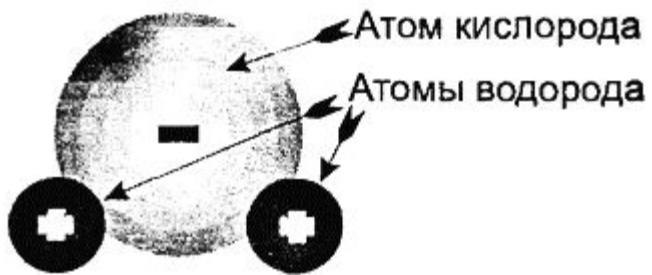
Время релаксации

$$10^{-16} - 10^{-12} \text{ с}$$

Упругое смещение противоположно заряженных ионов в узлах кристаллической решетки.

Присутствует в кристаллических веществах.

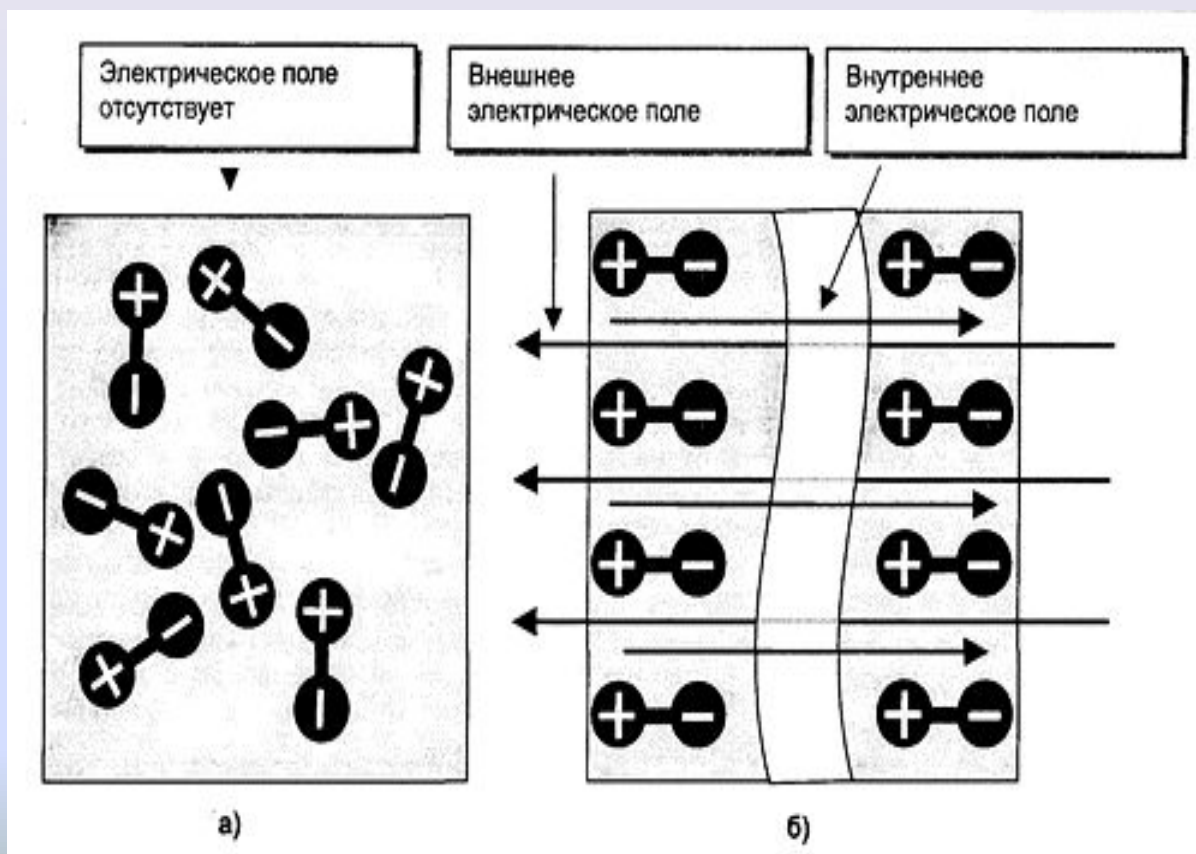
Ионная и электронная поляризации происходят без потерь энергии.

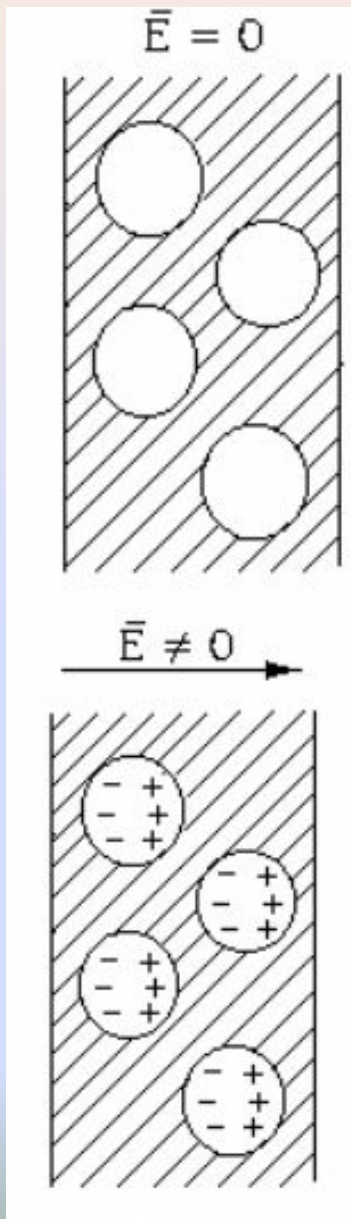


# ДИПОЛЬНАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ

Время релаксации

$10^{-13} - 10^{-7} \text{ c}$





## МАКРОСТРУКТУРНАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ

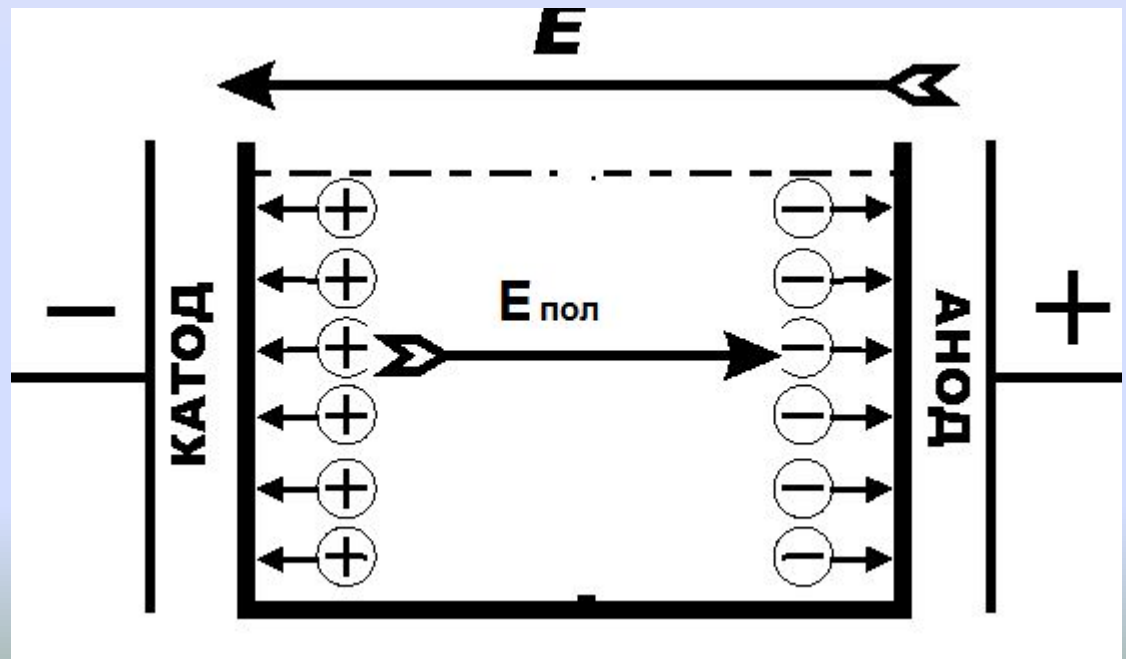
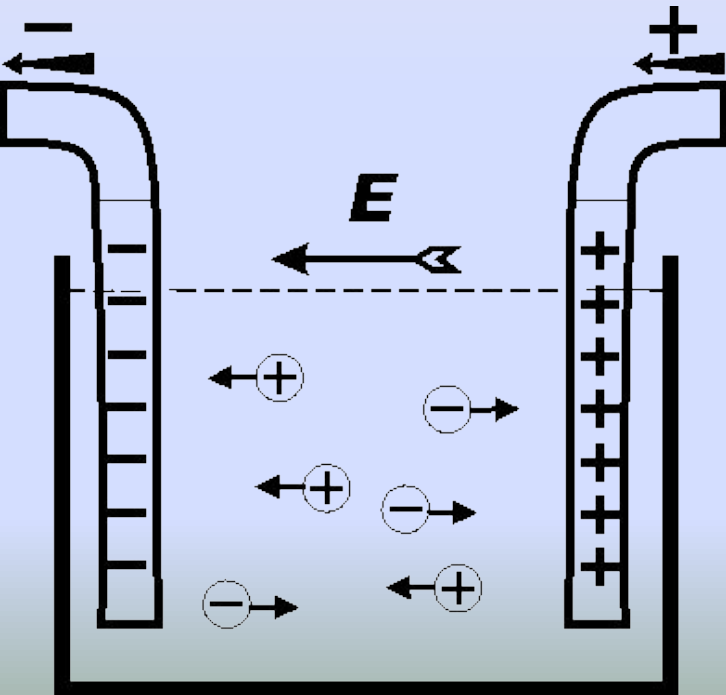
Время релаксации

$10^{-8} - 10^{-3} \text{ с}$

# 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

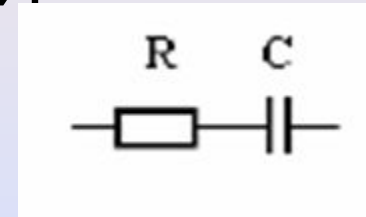
$$R = \frac{\rho \cdot l}{S},$$

R<sub>c</sub> – РЕАКТИВНОЕ (емкостное)  
СОПРОТИВЛЕНИЕ

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

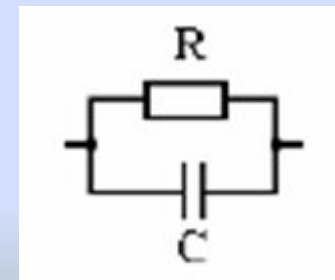
ПРИ **ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ**  
СОЕДИНЕНИИ ОМИЧЕСКОГО И  
ЕМКОСТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЙ

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



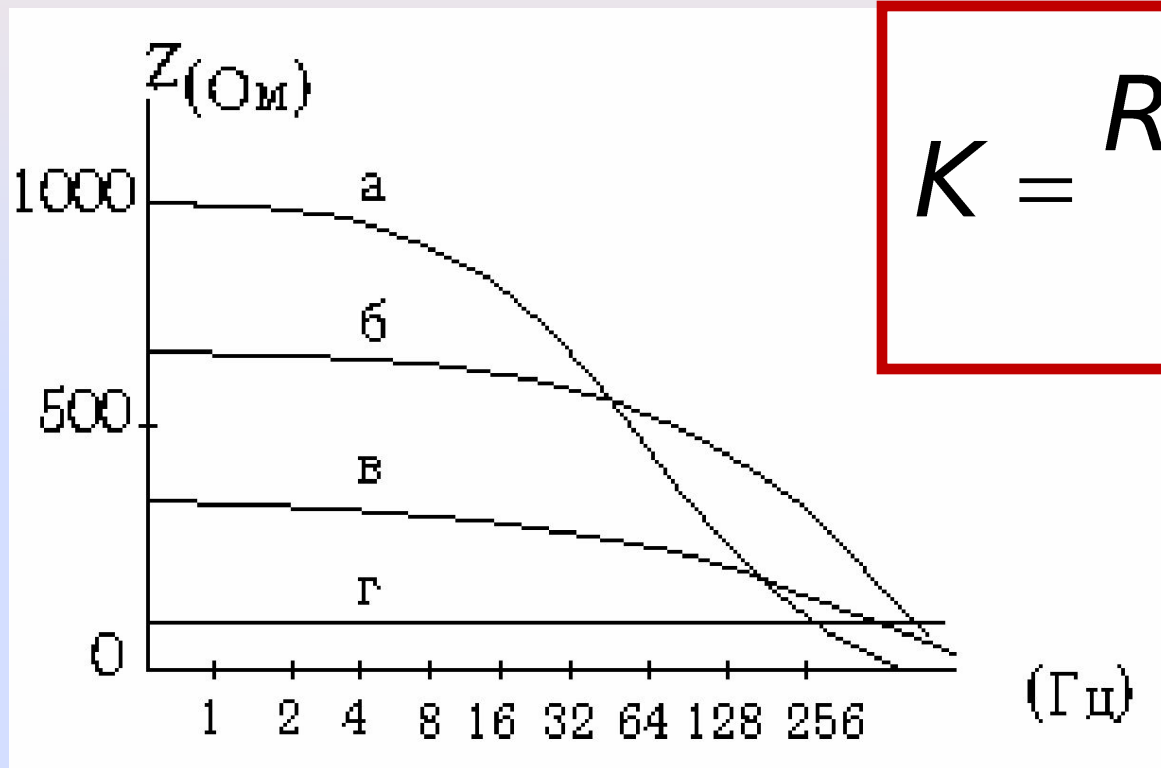
ПРИ **ПАРАЛЛЕЛЬНОМ** СОЕДИНЕНИИ  
ОМИЧЕСКОГО И ЕМКОСТНОГО  
СОПРОТИВЛЕНИЙ

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



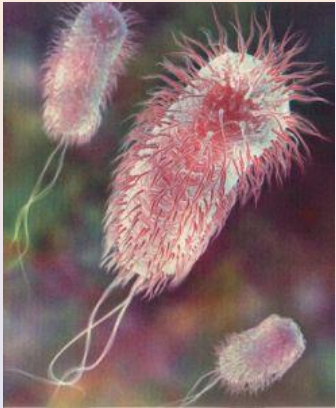
**ДИСПЕРСИЯ ИМПЕДАНСА** – зависимость  
суммарного сопротивления от частоты  
переменного тока

# ДИСПЕРСИЯ ИМПЕДАНСА ПРИ ОТМИРАНИИ ТКАНИ



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

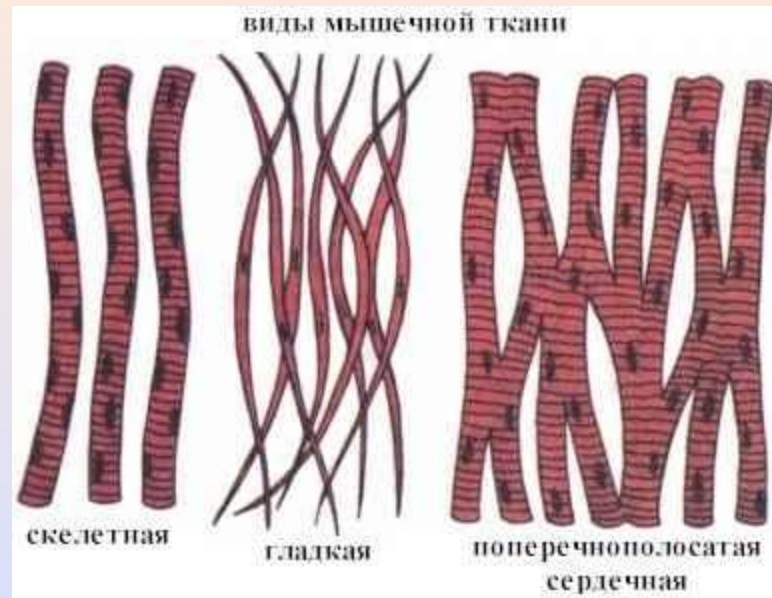
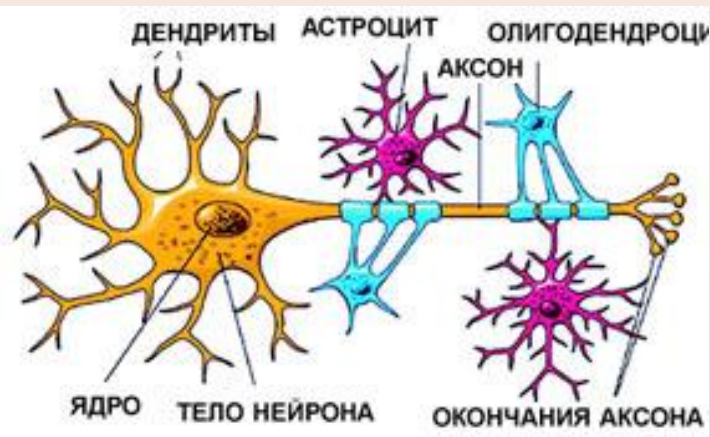
**K** – коэффициент Тарусова



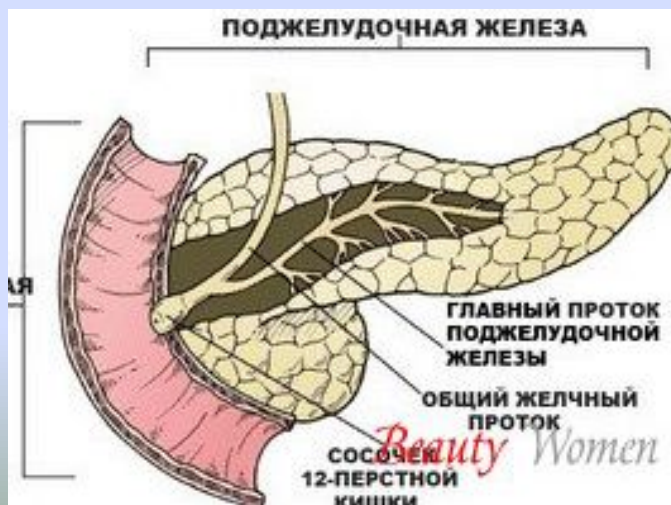
2006 © Игорь Торвачкин

**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**

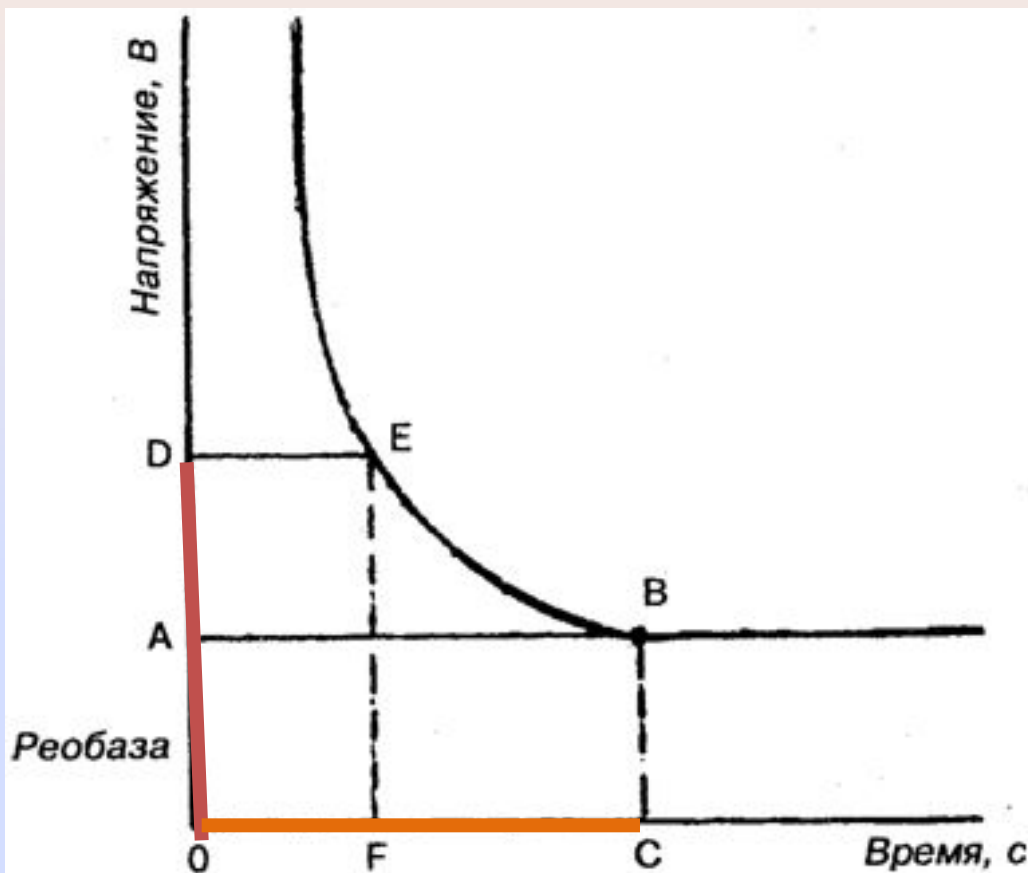
**ПОРОГОВЫЕ**

**СВЕРХПОРОГОВЫЕ**



СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ПОРОГОВОЙ СИЛОЙ  
РАЗДРАЖЕНИЯ И ЕГО ДЛИТЕЛЬНОСТЬЮ

# КРИВАЯ «СИЛА –



**OA** – реобаза

**OC** – полезное

время

**OD** – 2 реобазы

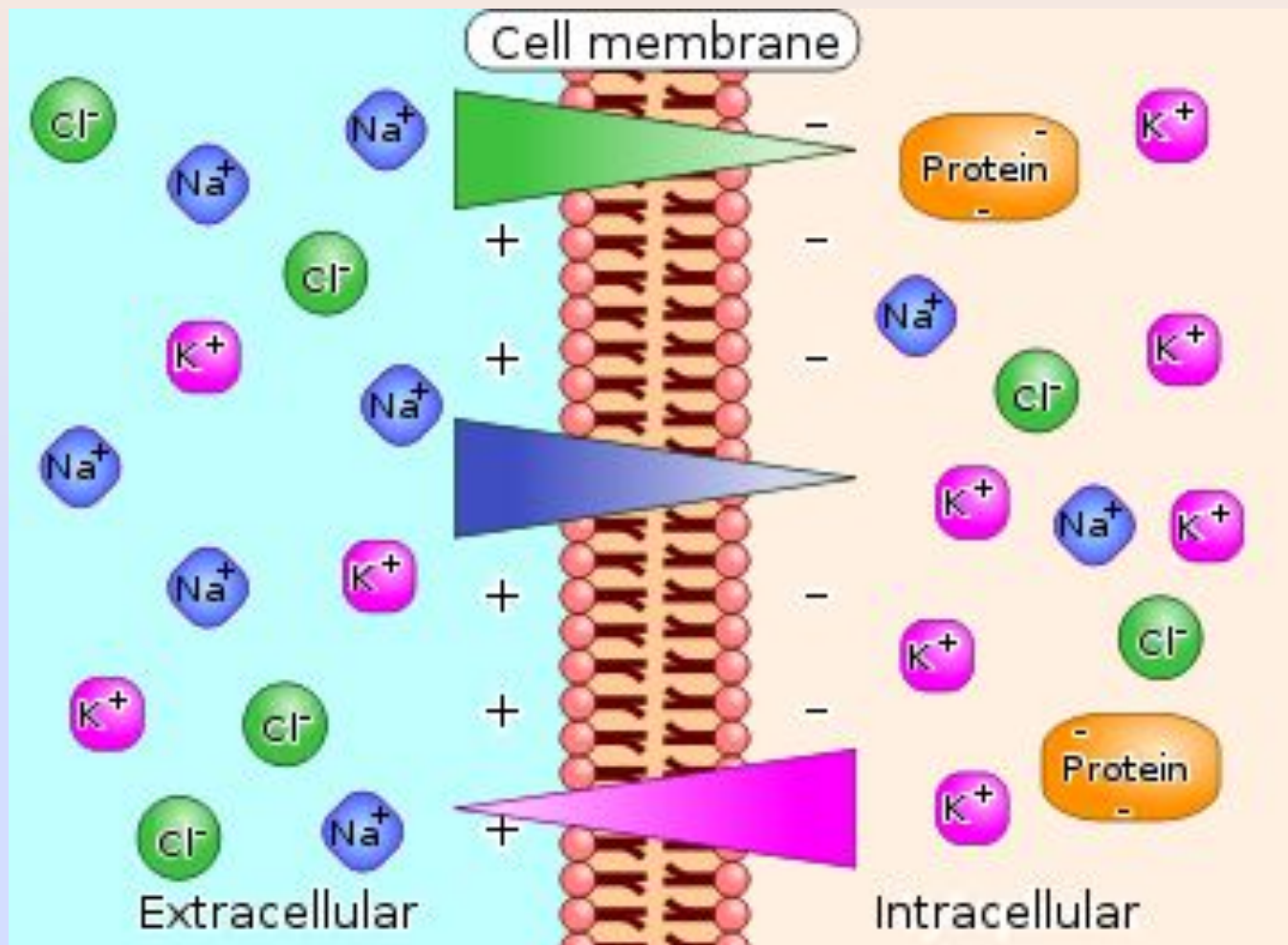
**OF** – хронаксия

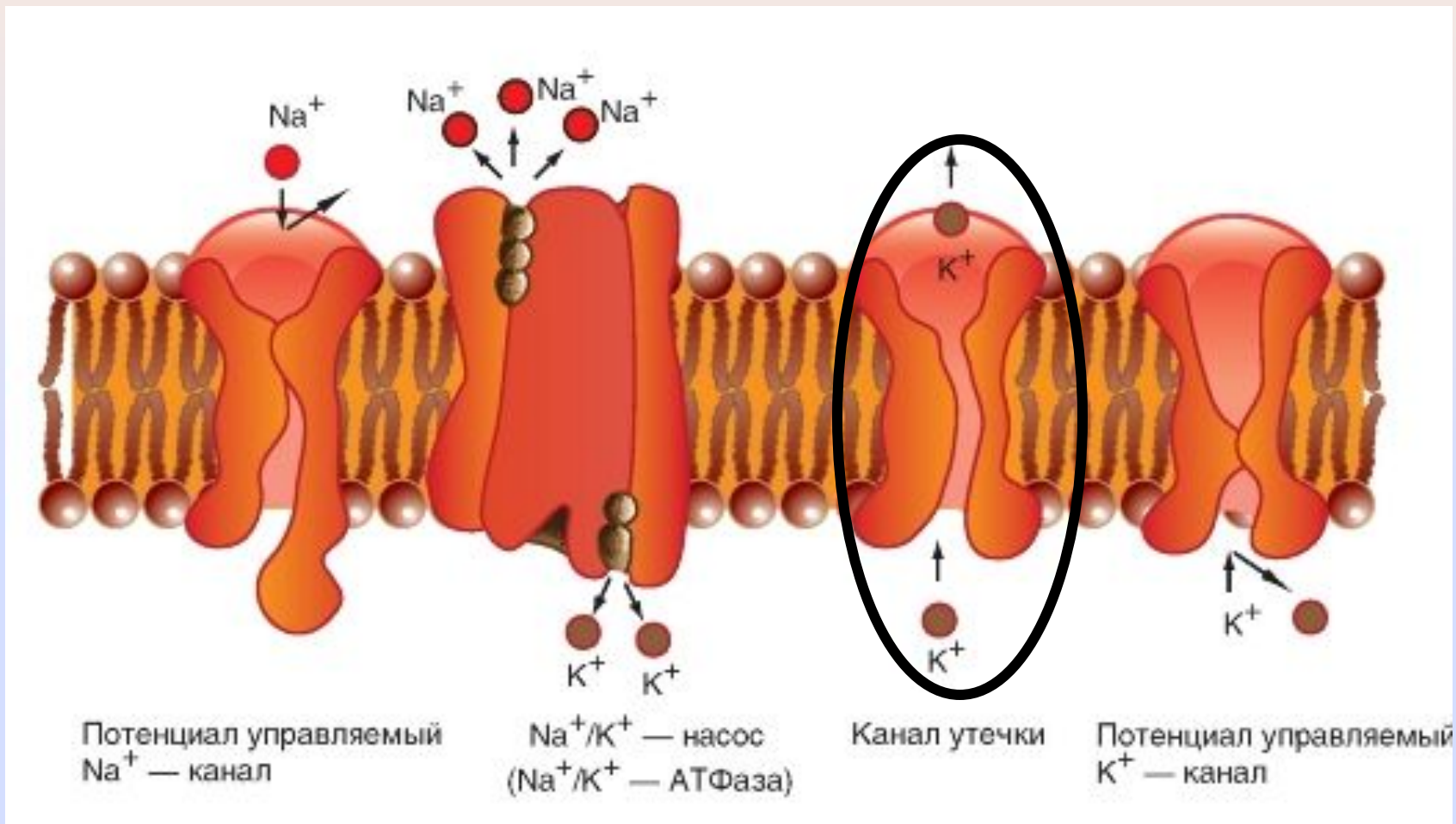
# **Мембранная теория возбуждения:**

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.

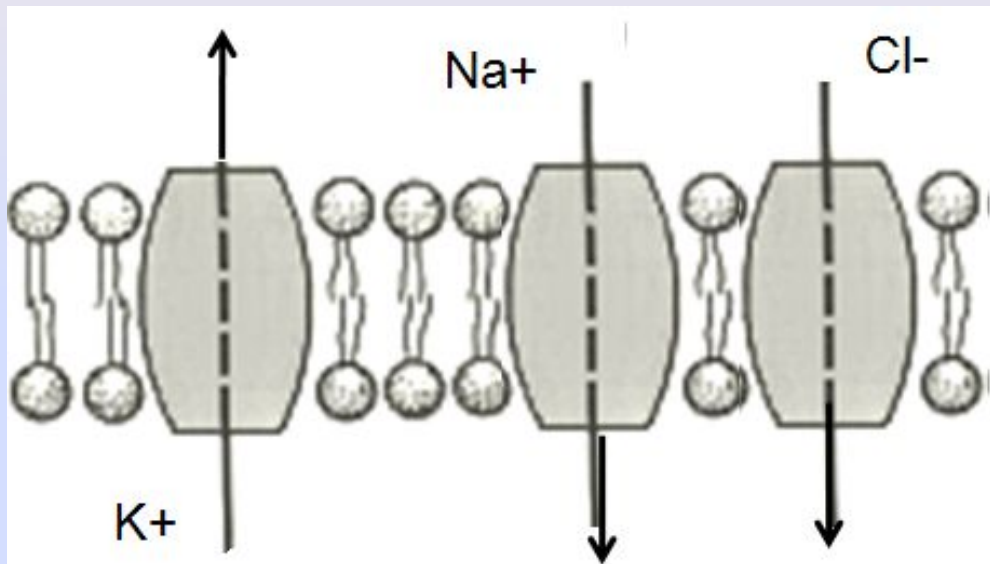
**ПП гигантского аксона** кальмара,  
рассчитанный по уравнению, равен -75мВ

## 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

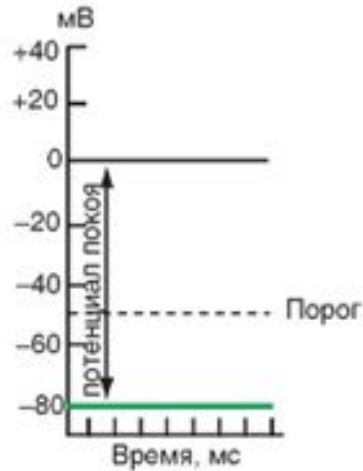
$$ПП = E_p = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_K [K^+_e] + P_{Na} [Na^+_e] + P_{Cl} [Cl^-_i]}{P_K [K^+_i] + P_{Na} [Na^+_i] + P_{Cl} [Cl^-_e]}$$

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

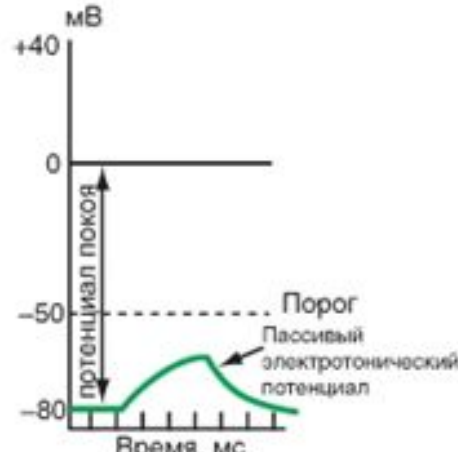
- Поддержание высокой концентрации  $K^+$  внутри клетки, что обеспечивает постоянство величины ПП. Электрогенность насоса: вклад в ПП.
- Поддержание низкой концентрации  $Na^+$  внутри клетки, что, с одной стороны, обеспечивает **генерацию потенциала действия**, с другой — обеспечивает сохранение нормальных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

# Изменение мембранного потенциала клетки при действии электрического тока различной силы

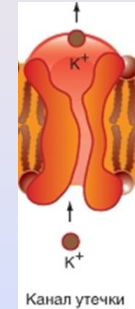
А



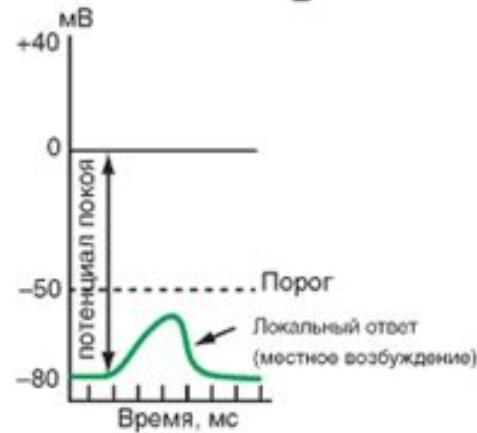
Б



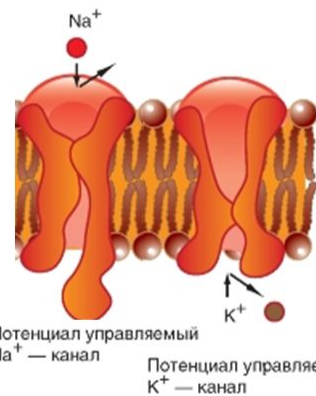
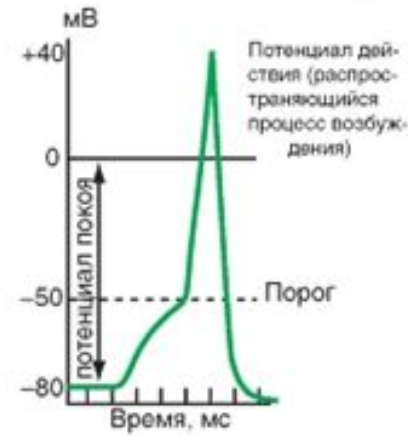
Действие допорогового стимула



В



Г



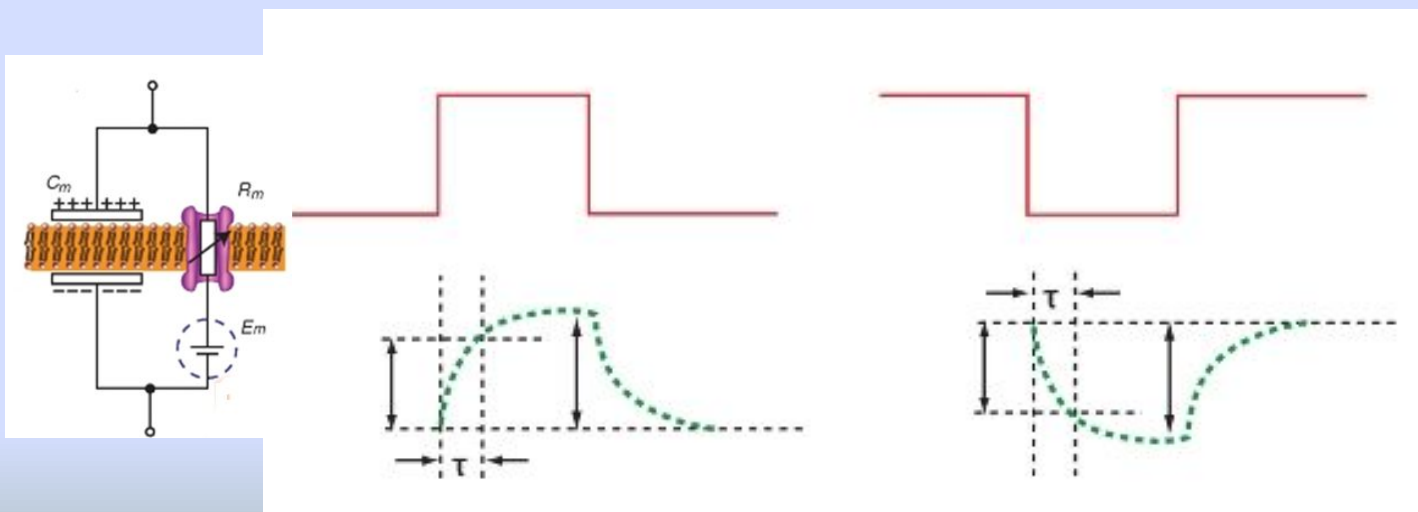
Действие подпорогового стимула

Действие порогового стимула

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

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

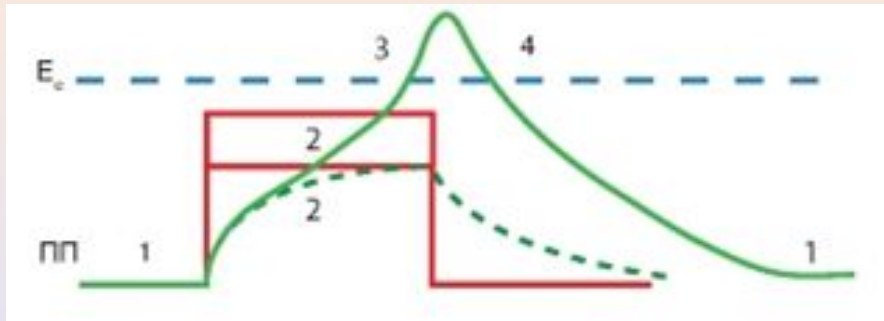
Емкость в основном определяется липидным бислоем, а сопротивление клетки зависит от сопротивления, которое определяется открытыми каналами утечки.



Катэлектротон

анэлектротон

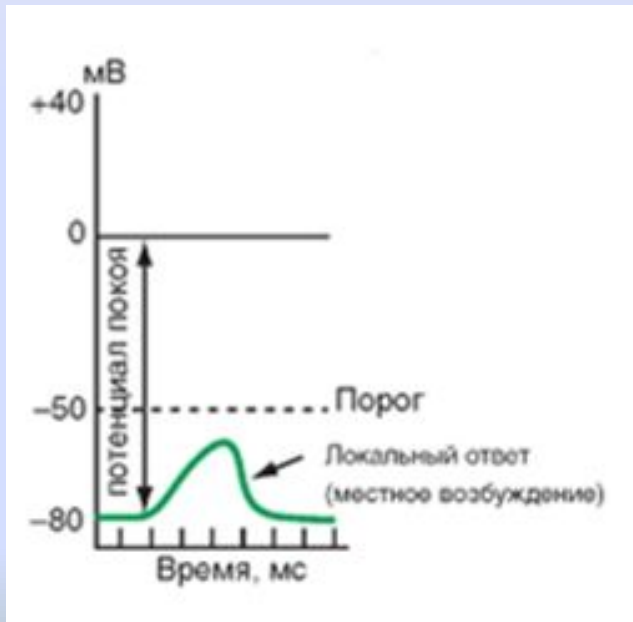




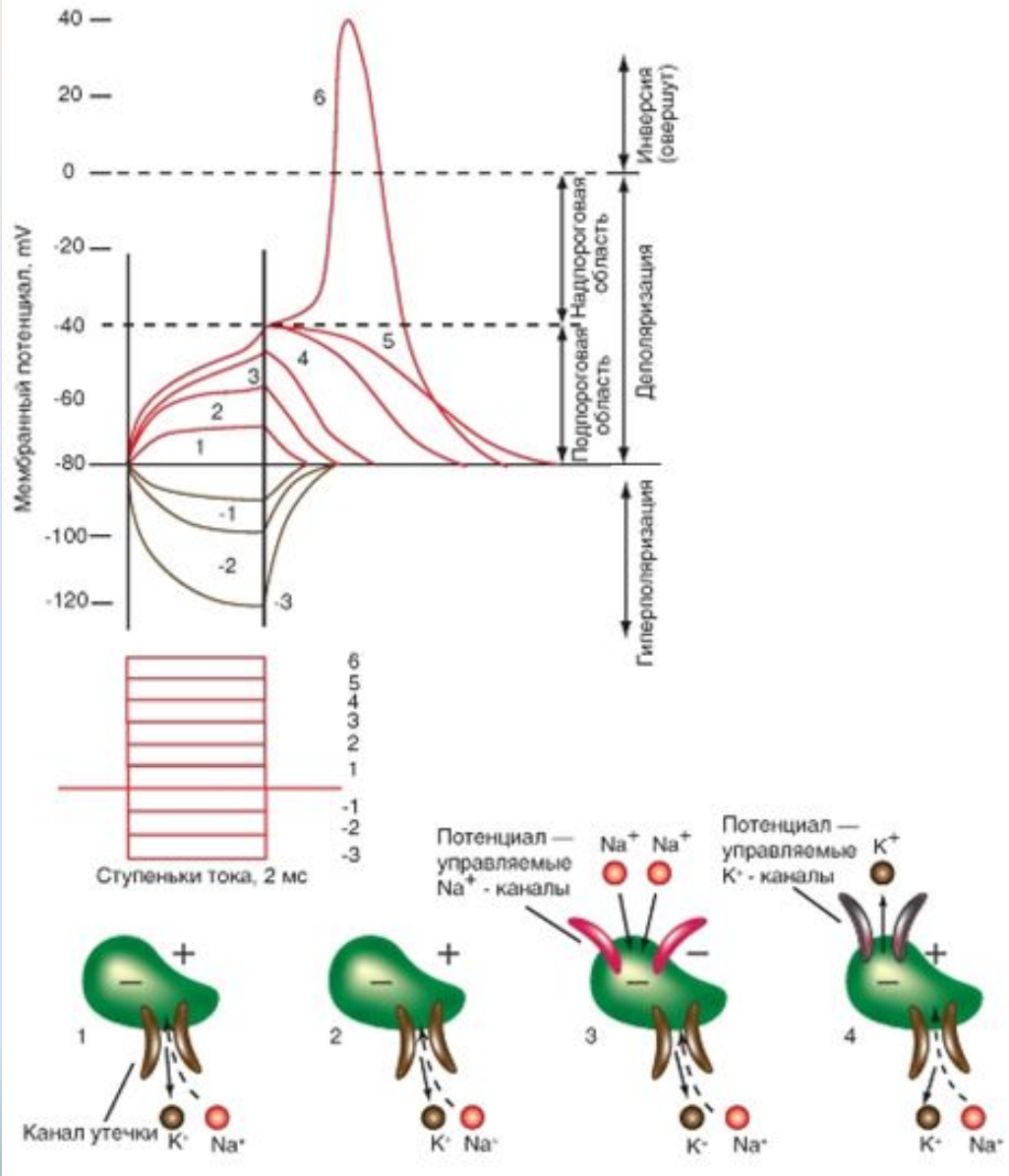
При увеличении силы раздражителя появляется **локальный ответ**

мембраны.

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

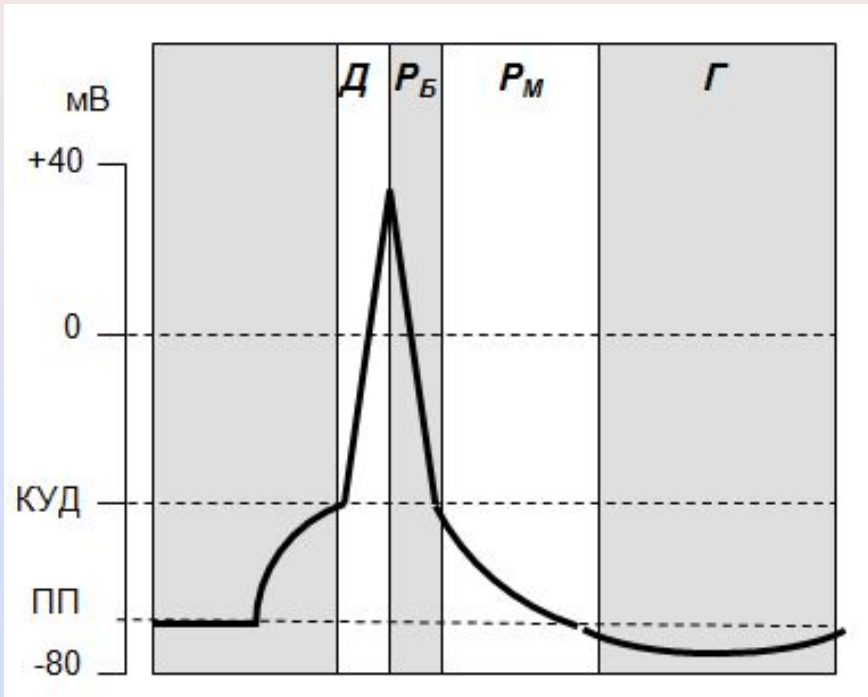


Пороговый стимул приводит к развитию **потенциала действия**

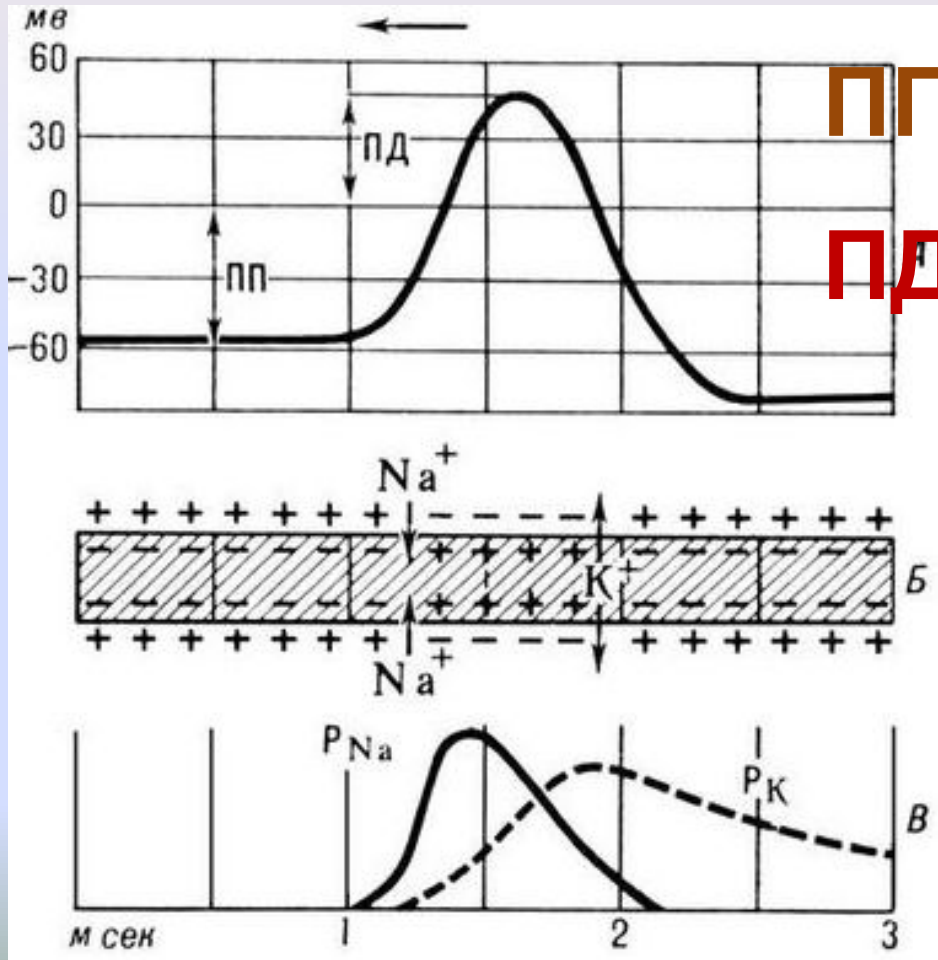


## Изменение мембранного потенциала

***Д*** – фаза деполяризации,  
***Р<sub>Б</sub>*** – фаза быстрой реполяризации,  
***Р<sub>М</sub>*** – 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**  $P_K : P_{Na} : P_{Cl} = 1 : 20 : 0,45$

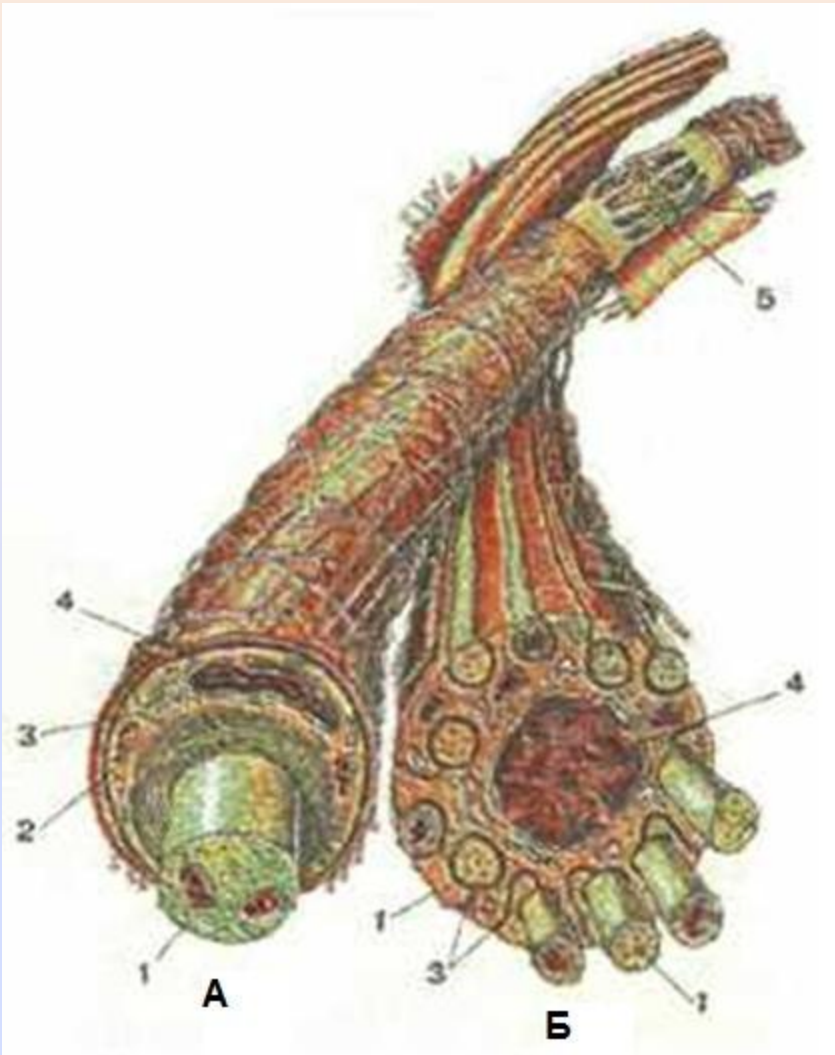




**РЕГЕНЕРАТИВНЫЕ СВЯЗИ МЕЖДУ ДЕПОЛЯРИЗАЦИЕЙ  
МЕМБРАНЫ, УВЕЛИЧЕНИЕМ НАТРИЕВОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ  
И И ВХОДЯЩИМ ТОКОМ ИОНОВ НАТРИЯ**

# **ПРОВЕДЕНИЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ**

## Типы нервных волокон

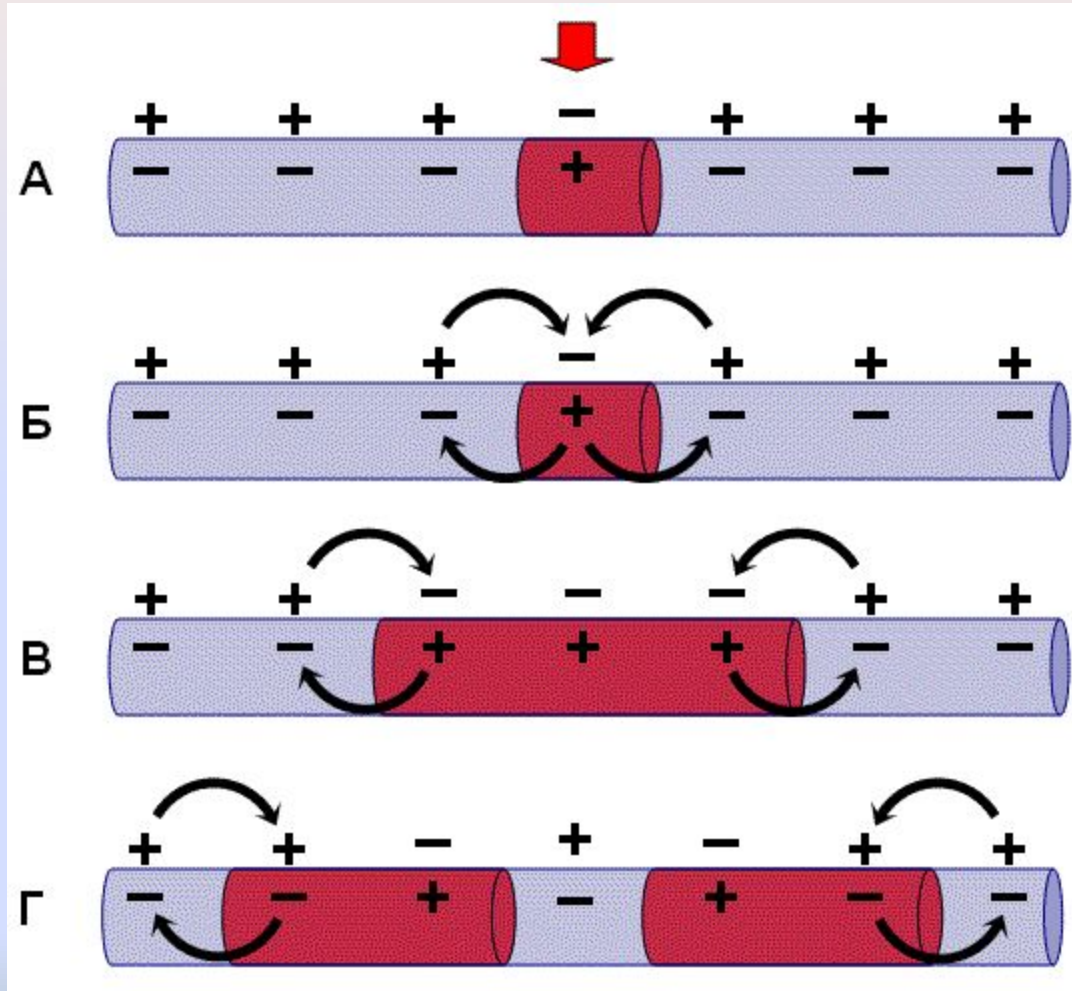


А - миелиновое волокно,  
Б - безмиелиновое волокно.

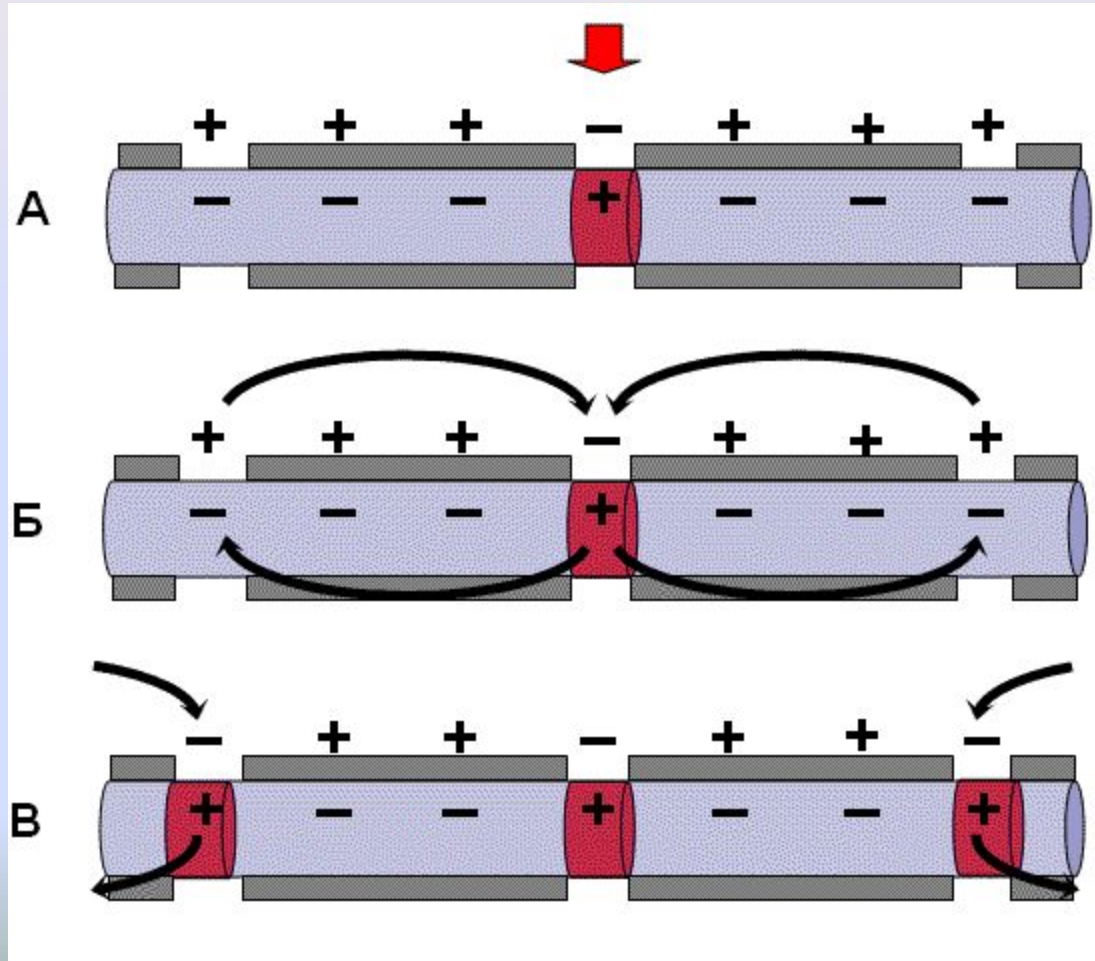
1 - осевой цилиндр,  
2 - миелиновый слой,  
3 - мезаксон,  
4 - ядро нейролеммоцита  
(шванновской клетки),  
5 - узловой перехват (перехват  
Ранвье).

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

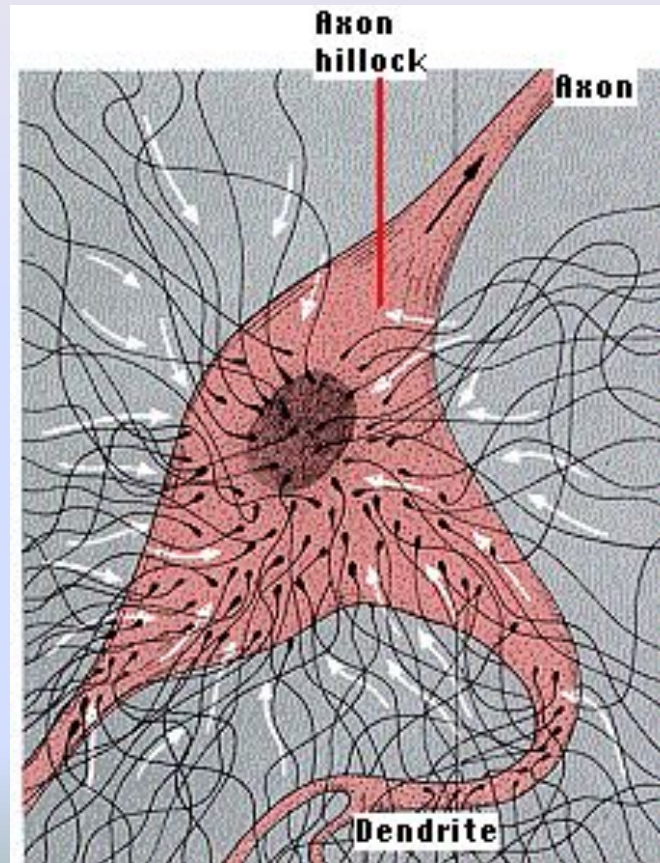
# Механизм распространения возбуждения по безмиелиновому нервному волокну



# 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





