



**ОМСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ МЕДИЦИНСКАЯ АКАДЕМИЯ**

**КАФЕДРА ХИМИИ**

# **Лекция «Биопотенциалы»**

**Лектор: доктор биологических наук, профессор, зав.  
кафедрой химии Степанова Ирина Петровна**

# Биопотенциалы

**В клетках, тканях и органах животных и растений между отдельными их участками возникает определённая разность потенциалов. Так называемые биопотенциалы связаны с процессами обмена веществ в организме.**

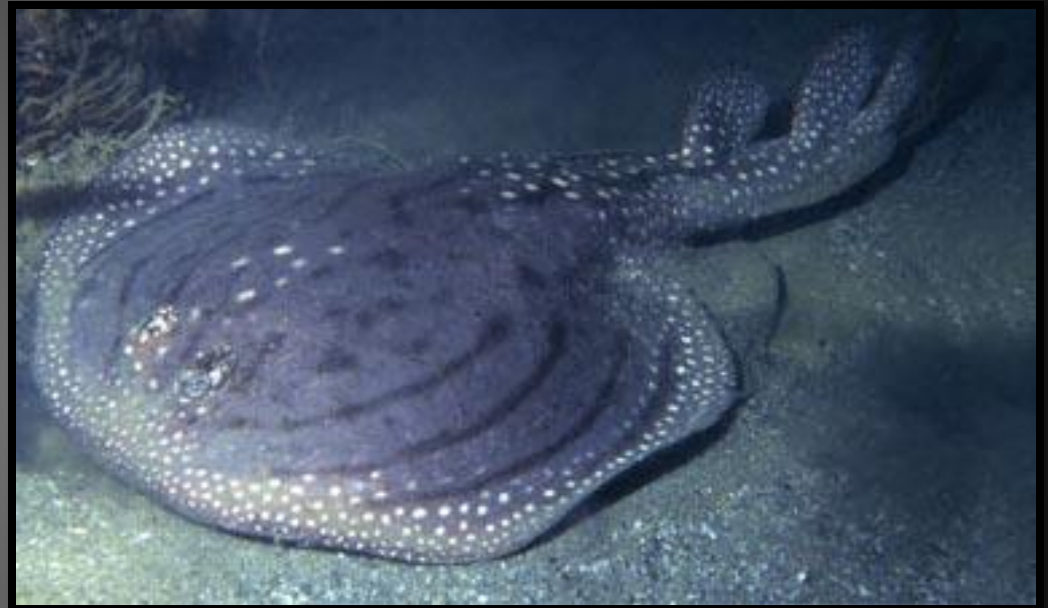


**Электрическая активность наиболее развита у рыб.**

# Биопотенциалы

**Рыбы используют разряды:**

- чтобы освещать свой путь;**
- для защиты, нападения и оглушения жертвы;**
- передают сигналы друг другу и обнаруживают заблаговременно препятствия.**



# «Живые электростанции»

Электрический угорь



Электрический сом



Электрический скат



# Электрические скаты



Каждый орган состоит из множества «колодцев», вертикальных по отношению к поверхности тела и сгруппированных

В каждом колодце, заполненном пчелиным студенистым веществом, располагается столбик из 350-400 лежащих друг на друге дисков. Диски выполняют роль электродов в электрической батарее. Вся система приводится в действие особой электрической долей мозга.

# Электрический угорь



Напряжения тока, вырабатываемого угрем, достаточно, чтобы убить в воде рыбу или лягушку. Он может произвести удар мощностью больше чем в 500 вольт! Угорь создает особенно сильное напряжение тока, когда изогнется дугой так, что жертва находится между его хвостом и головой: получается замкнутое электрическое кольцо.

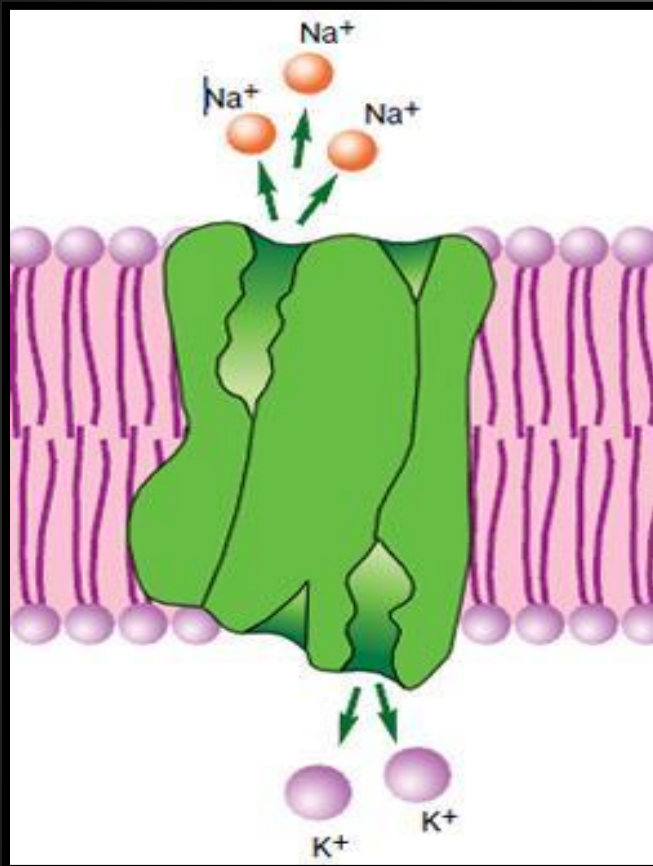
# Африканский речной сом



Тело африканского речного сома обернуто, как шубой, студенистым слоем, в котором образуется электрический ток. На долю электрических органов приходится около четверти веса всего сома.

Напряжение разрядов его достигает 360 В, оно опасно даже для человека и, конечно, губительно для рыб.

# Биохимия электричества

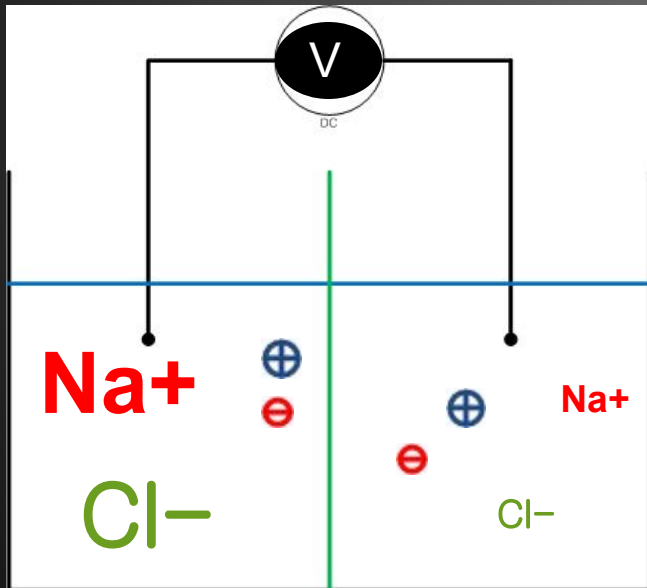


Заряд на мембране клетки существует тогда, когда есть разность между концентрациями ионов  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ , определяемая перемещением этих ионов. Когда клетка работает, она теряет свой заряд.



## Мембранный потенциал

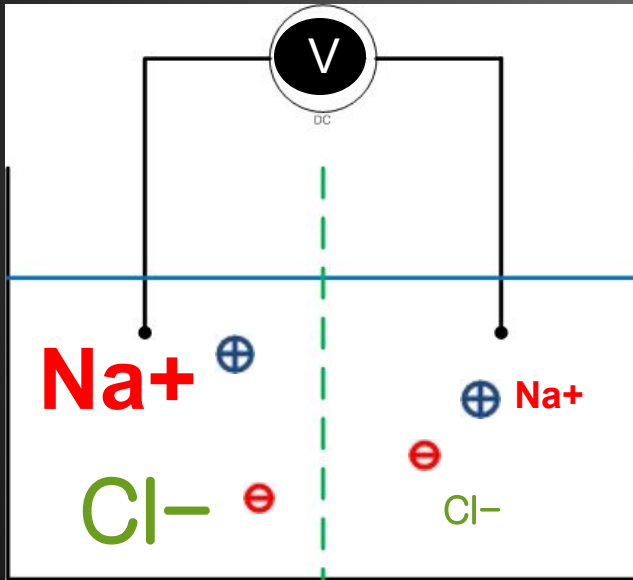
### Непроницаемая мембрана



Напряжение равно нулю.

## Мембранный потенциал

### Проницаемая мембрана

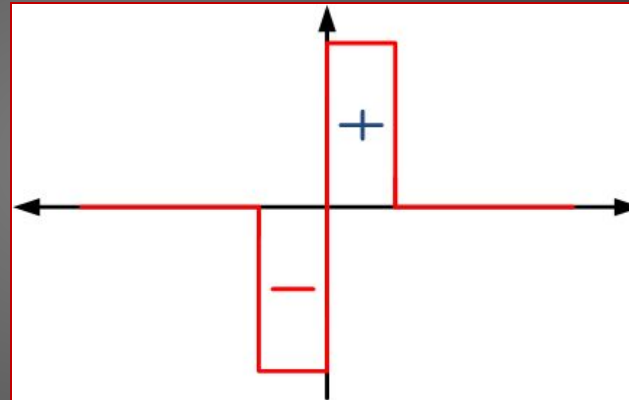
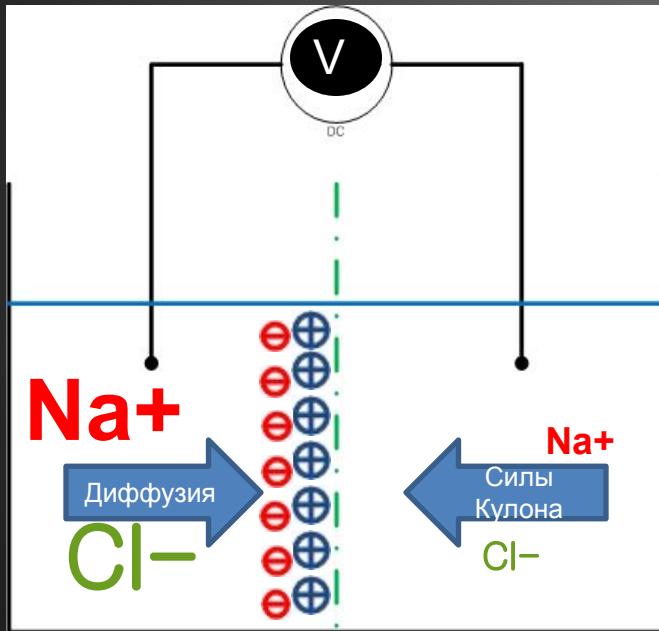


Напряжение равно нулю.

**Мембрана проницаема для обоих ионов.**

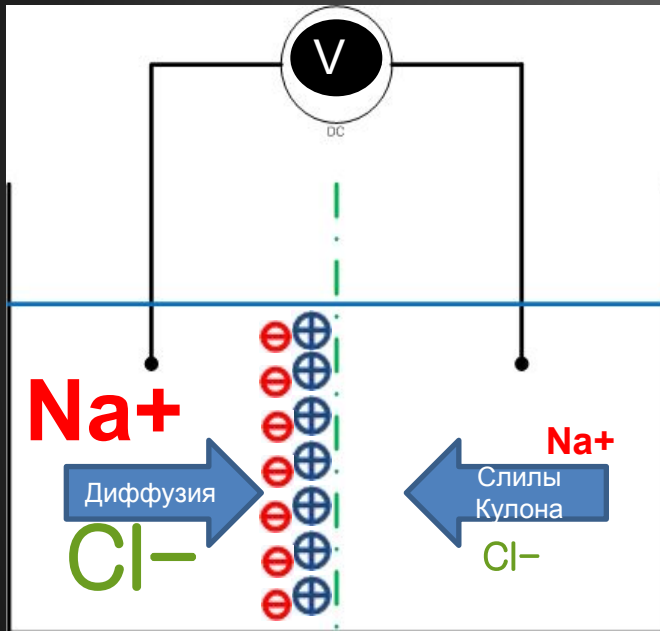
# Мембранный потенциал

## Полупроницаемая мембрана



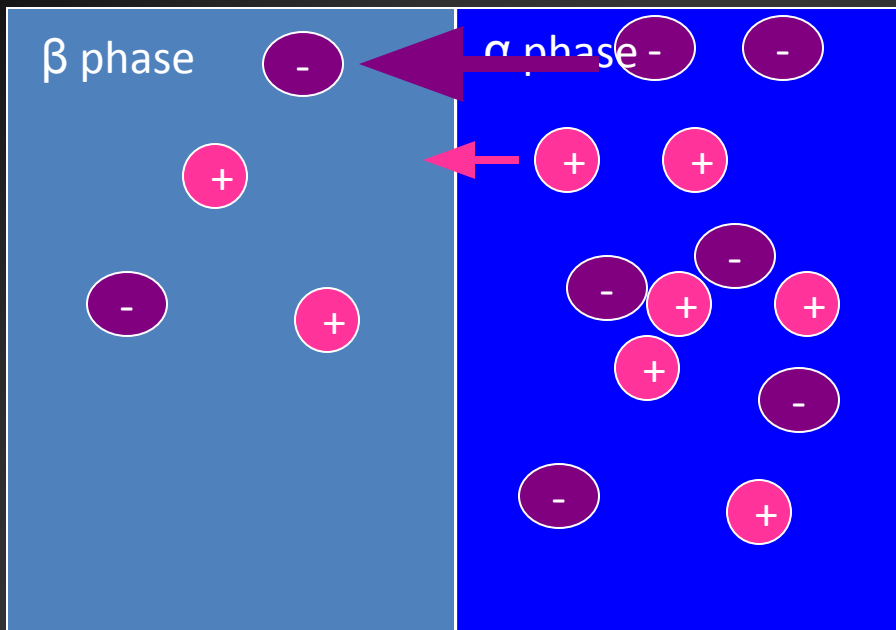
Мембрана проницаема  
только для  $\text{Na}^+$

## Мембранный потенциал

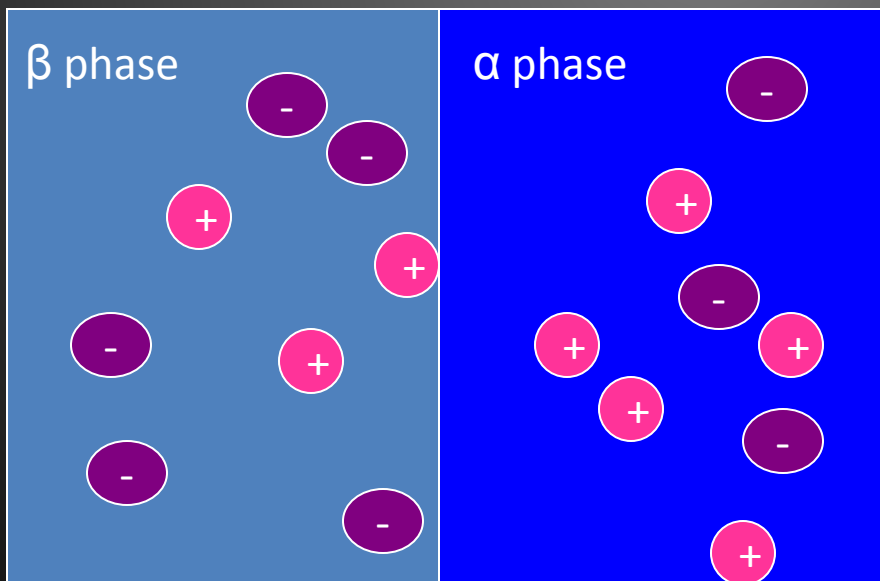


Электростатические силы Кулона меньше силы диффузии.

Динамическое равновесие:  
Электростатические силы Кулона равны силе диффузии.

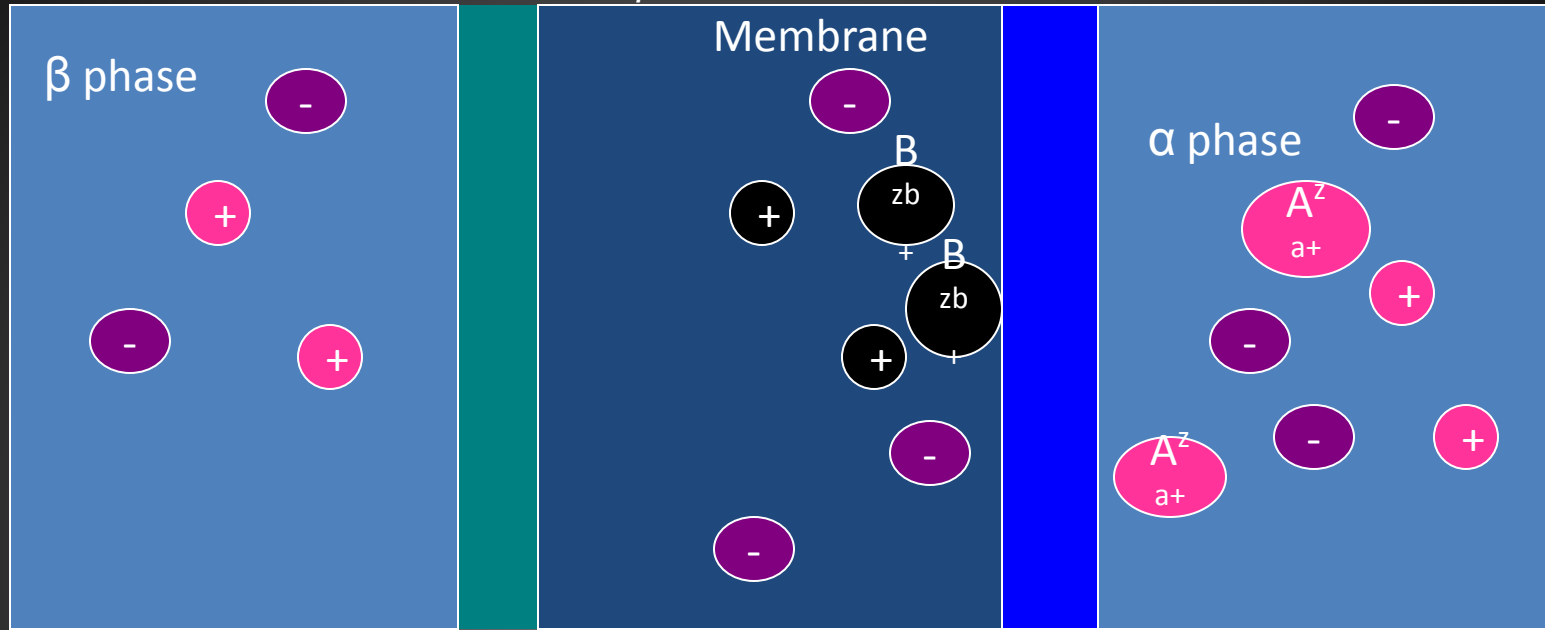


Градиент

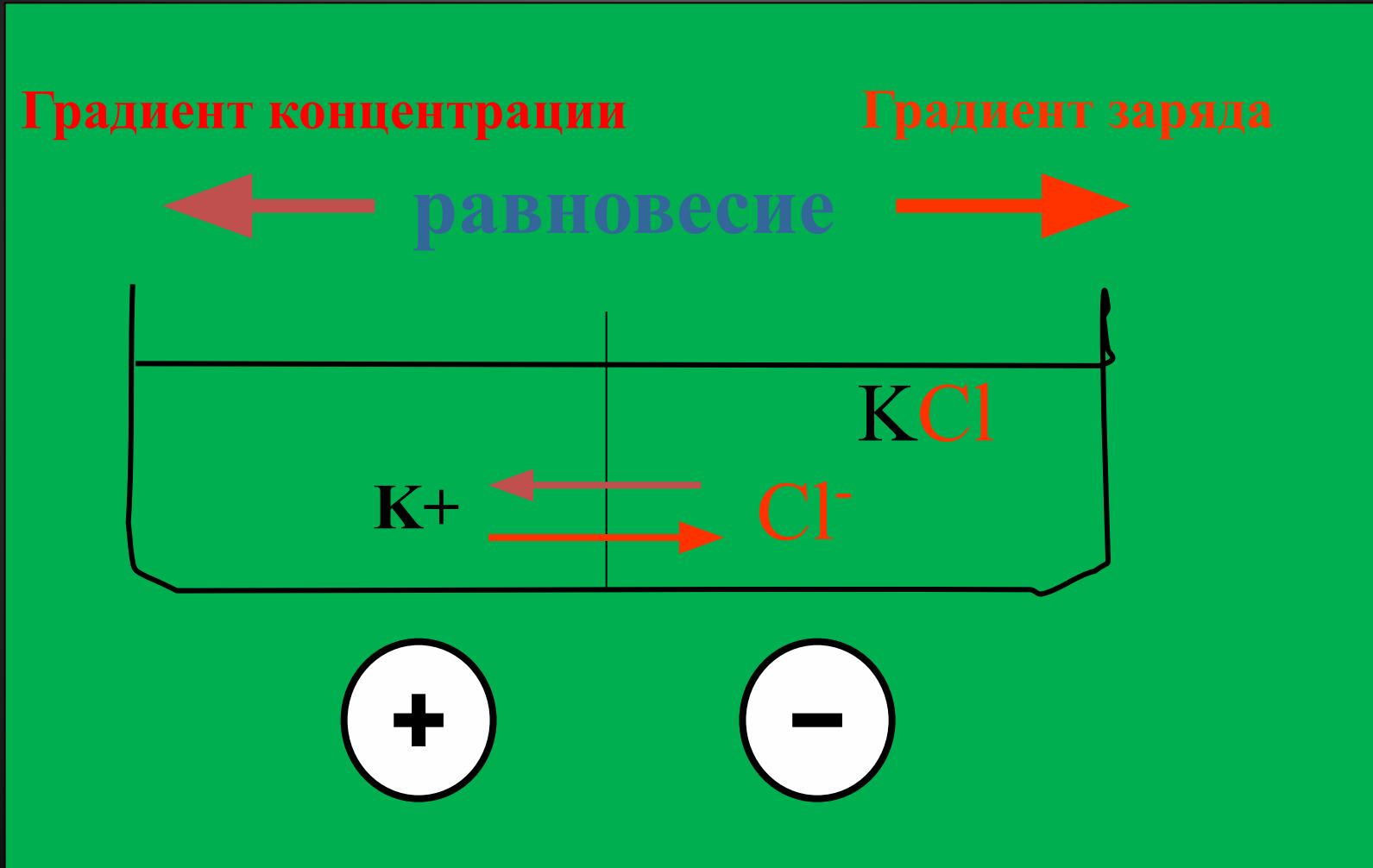


$$V = \frac{Q}{C}$$

# Мембранный потенциал



# Формирование мембранного потенциала в чашке Петри



## Расчет заряда на мембране

- Равновесный потенциал для какого-либо иона  $X$  по обе стороны мембраны, проницаемой для данного иона, рассчитывают по **уравнению Нернста**.

$$E_R = \frac{RT}{zF} \ln \frac{[X]_o}{[X]_i}$$

Где

$z$  – валентность иона,

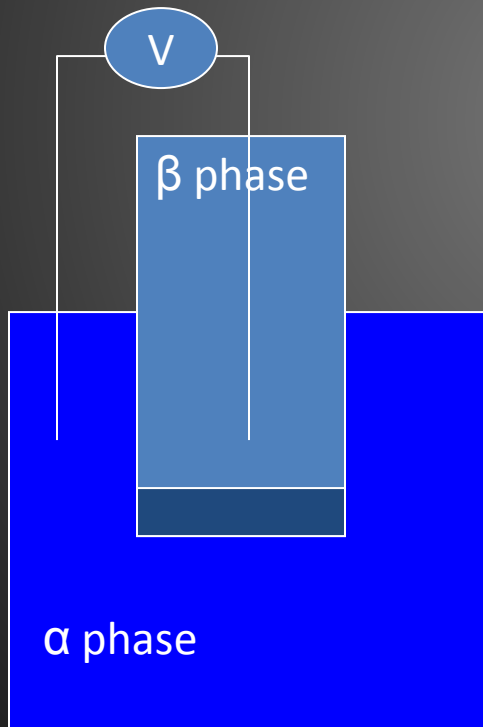
$[X]_o$  и  $[X]_i$  – концентрации ионов по разные стороны мембраны.

$E_K = -85$  мВ при  $K^+$  соотношении 1\30

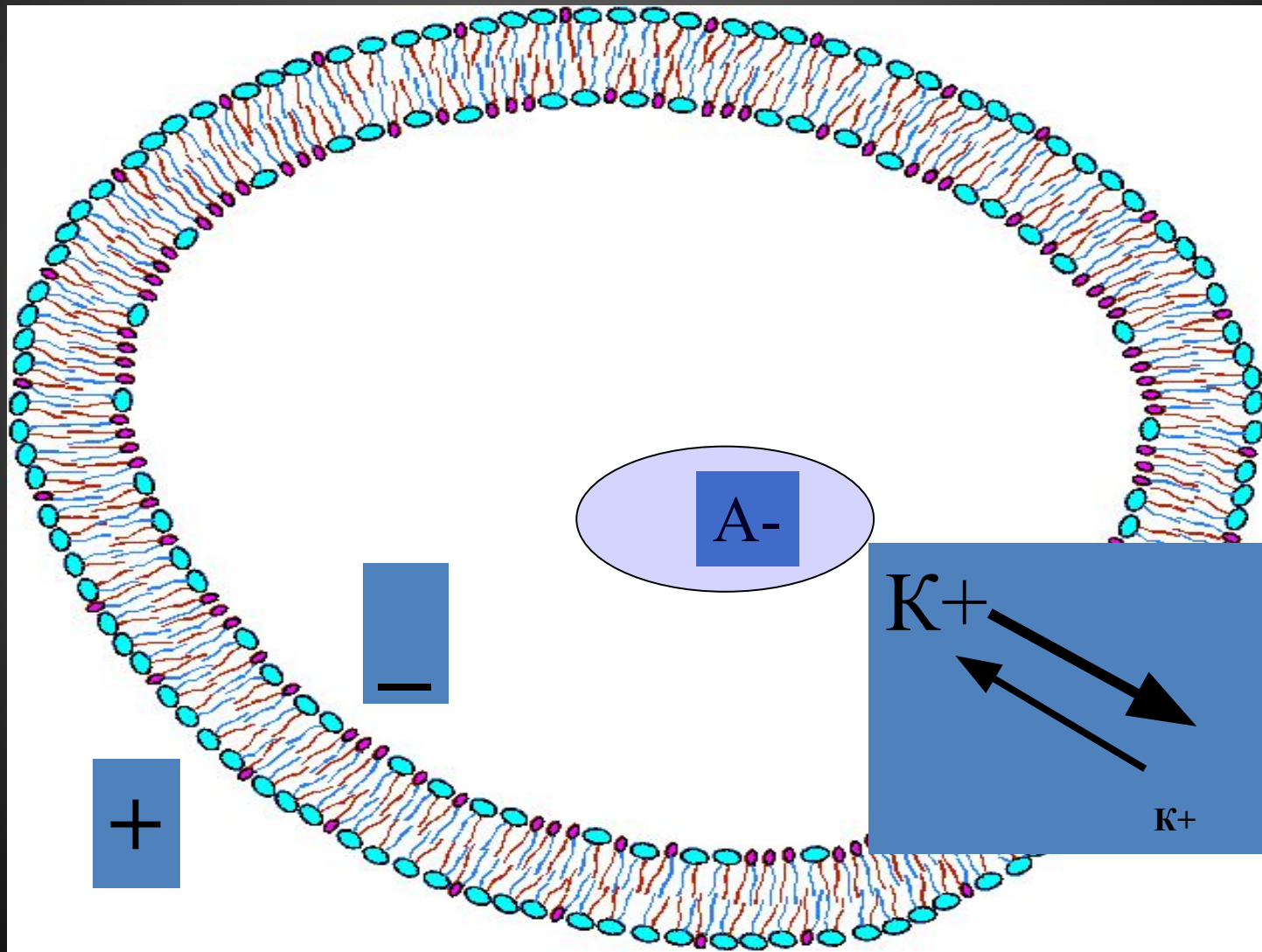


# Мембранный потенциал

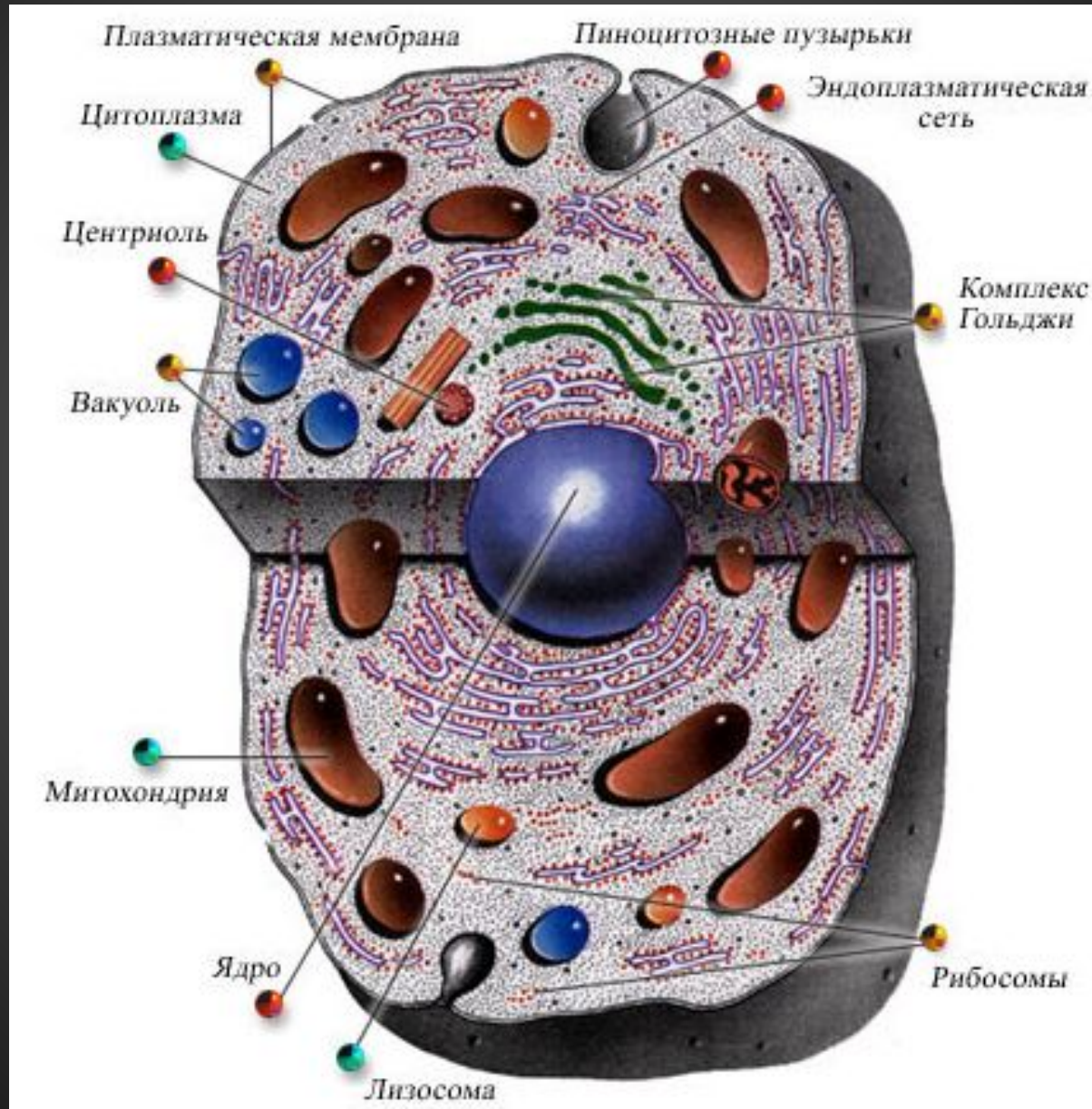
$$E_{\text{membrane}} = \frac{-\mu_A^\alpha}{z_A F} + \frac{RT 2.303}{z_A F} \log \frac{a_A^\alpha}{a_A^\beta}$$



# Фосфолипидная мицелла – синтетический прообраз клетки

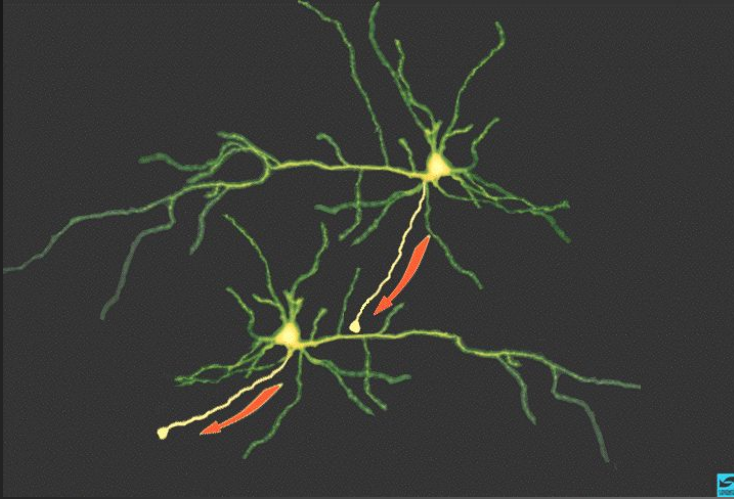


# Строение клетки

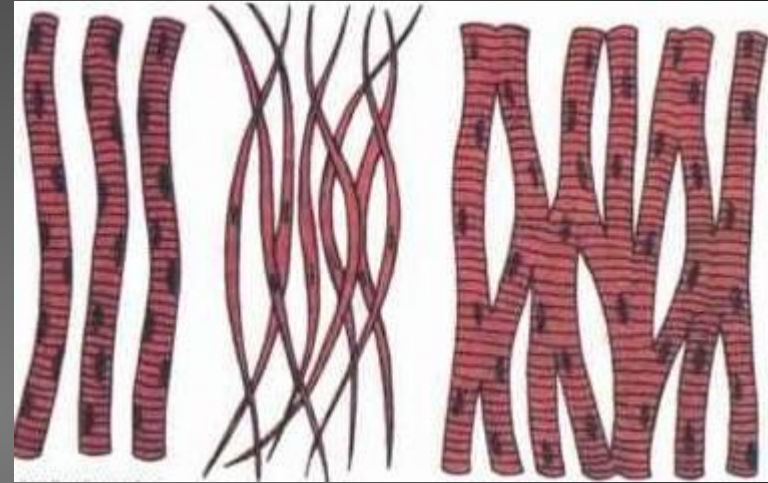


# Типы возбудимых клеток

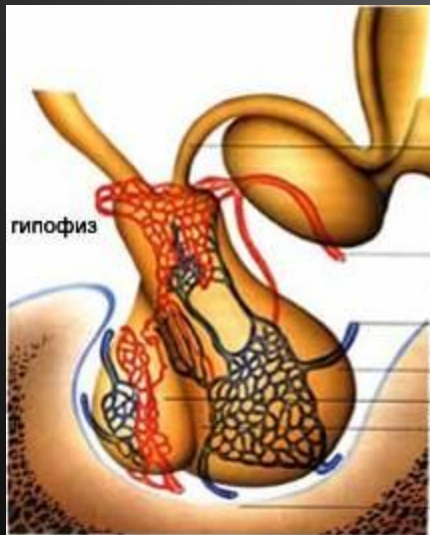
## Нейроны



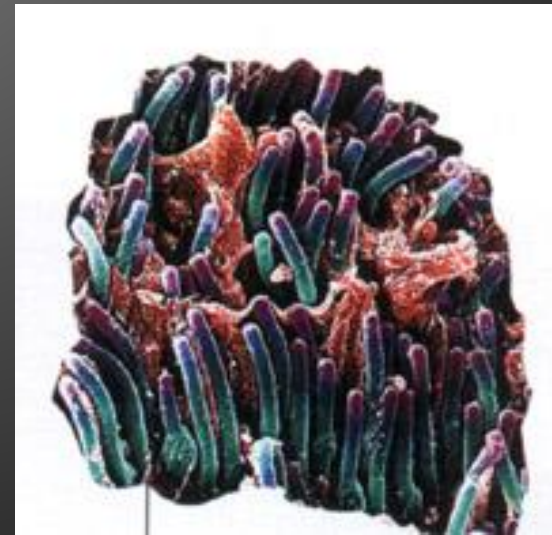
## Мышечные клетки



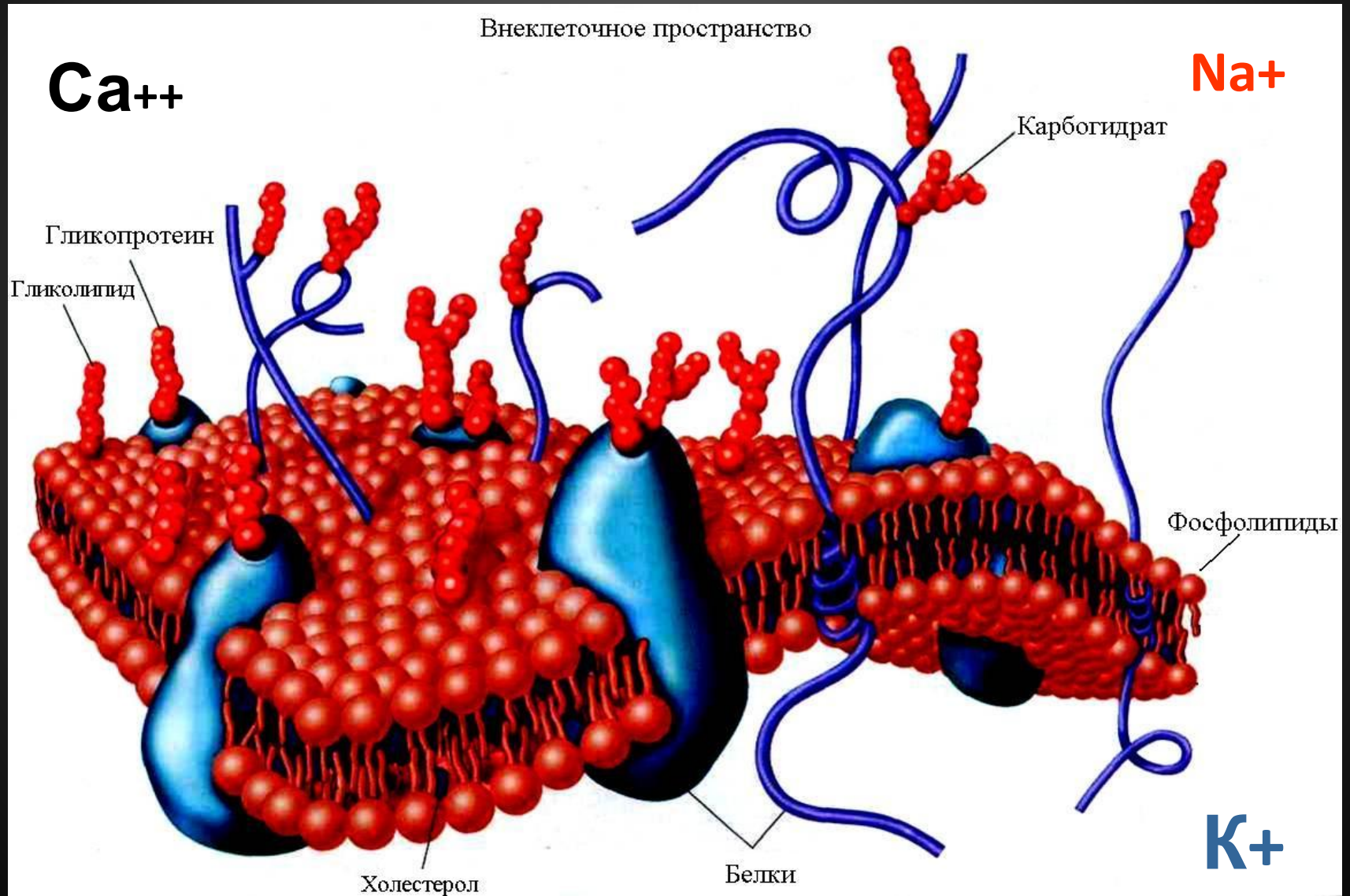
## Секреторные клетки



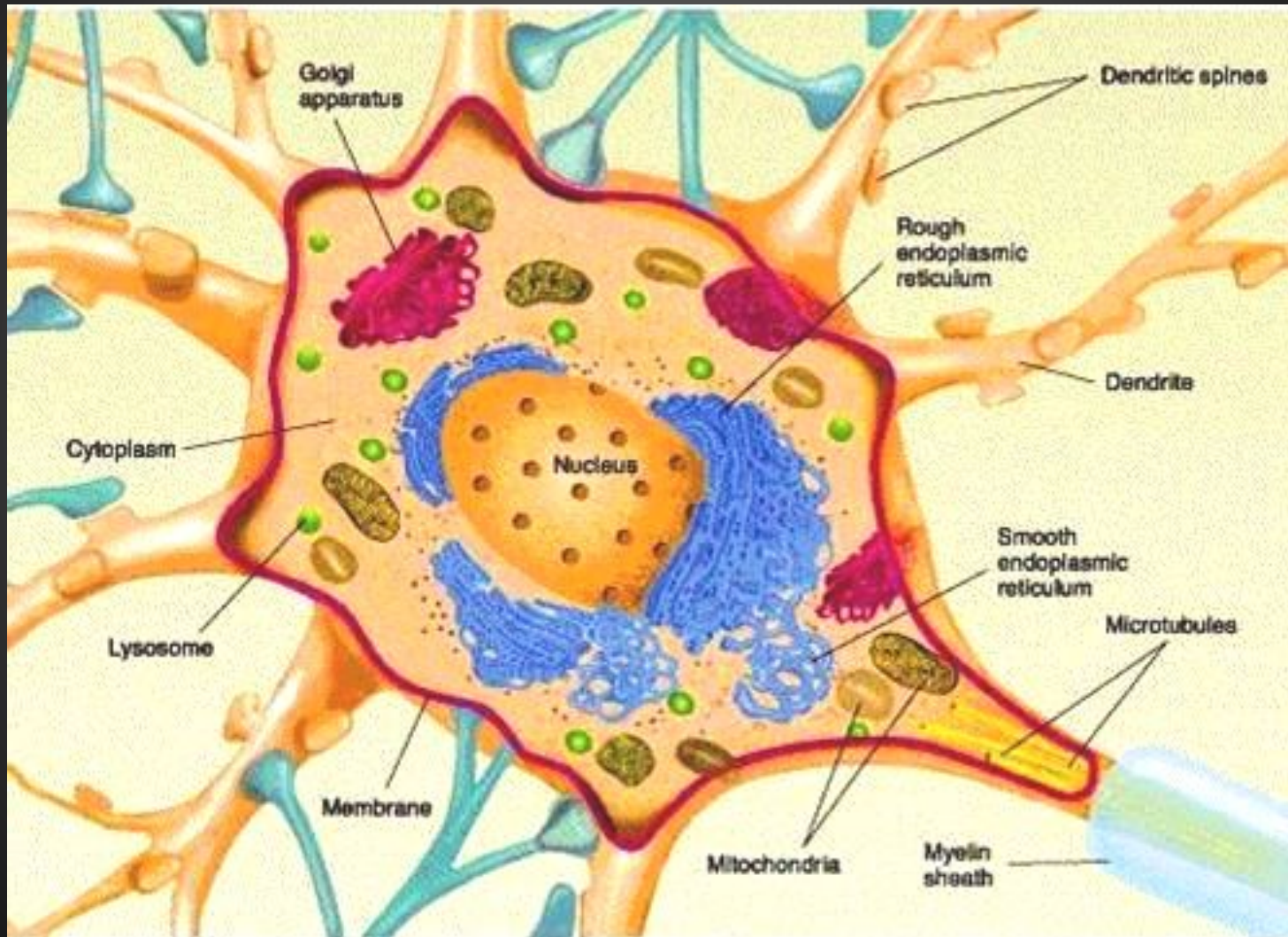
## Рецепторные клетки

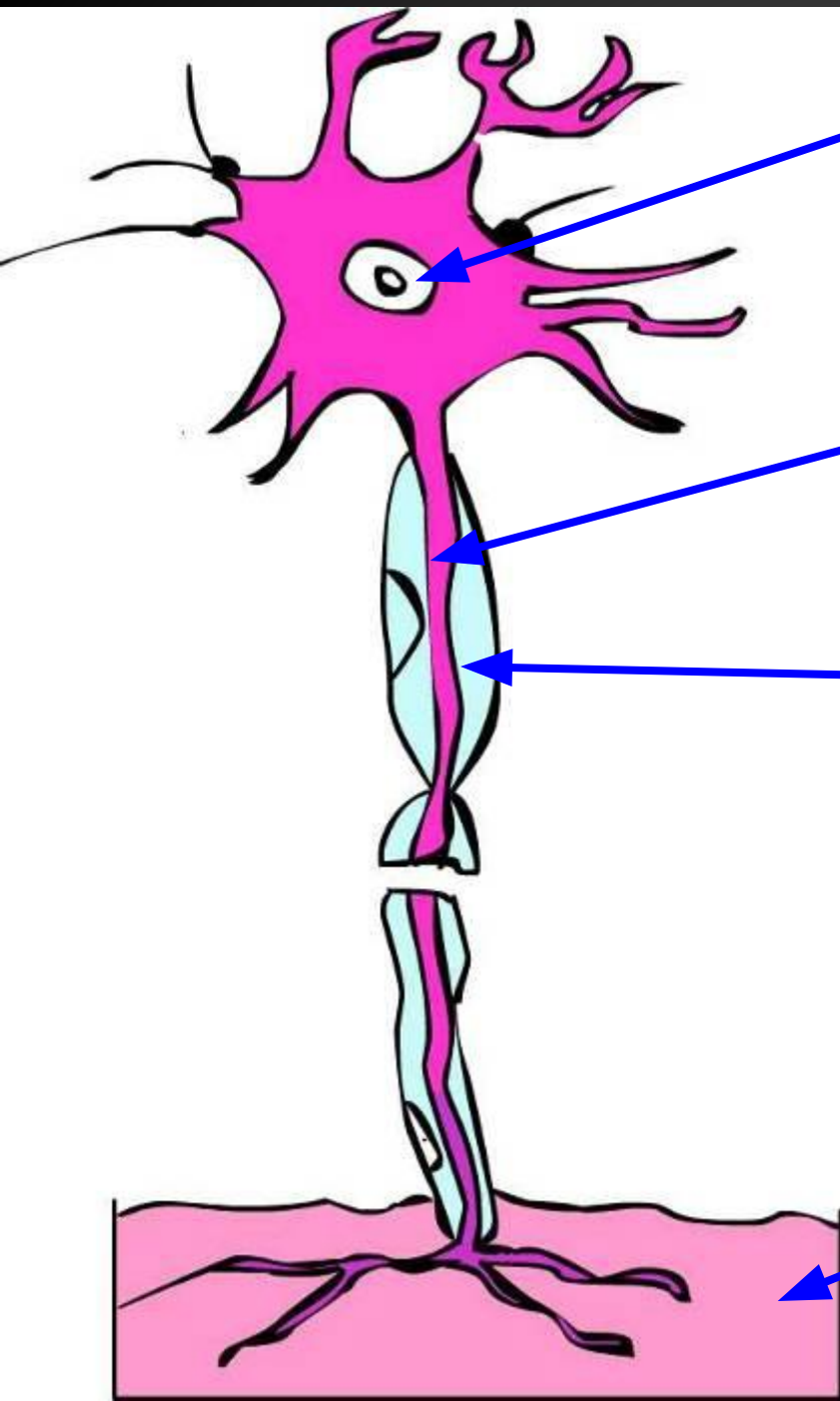


# Мембрана живой клетки



# Особенности строения нейрона



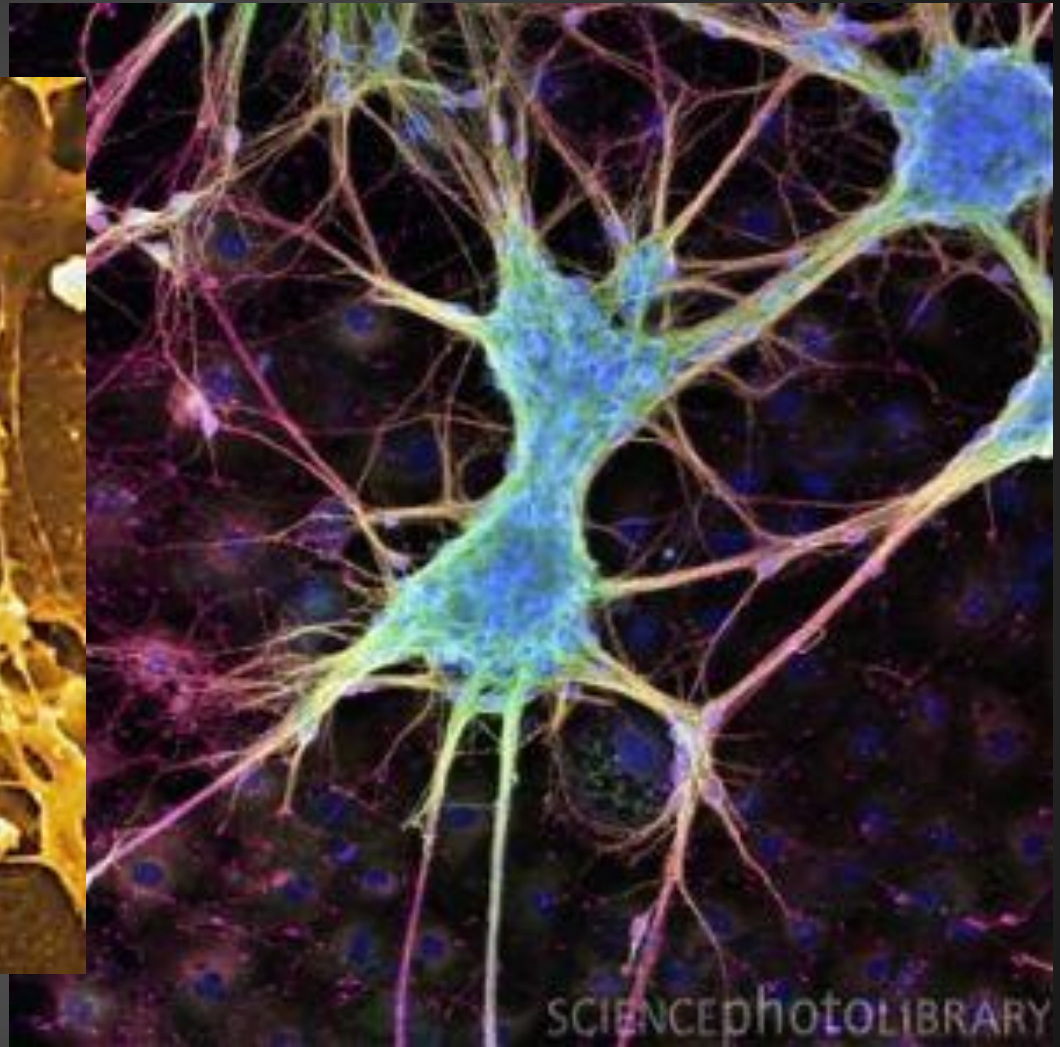


ядро клетки

вытянутый  
отросток (аксон)

миелиновая  
оболочка

мышечное  
волокно

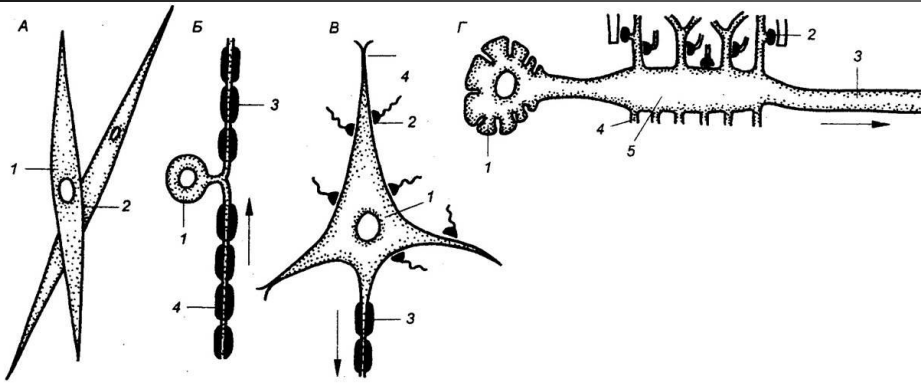


**Строение  
нейрона**

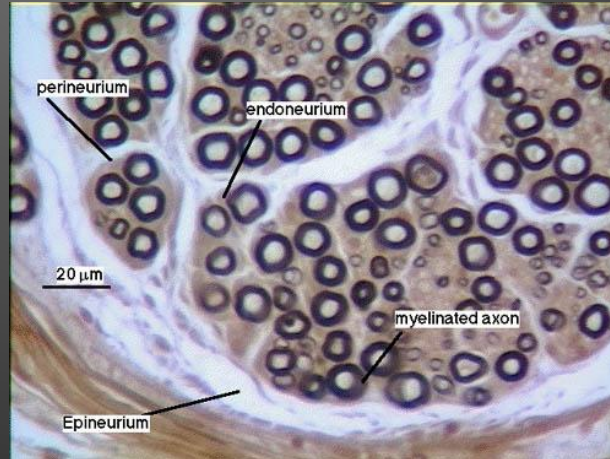
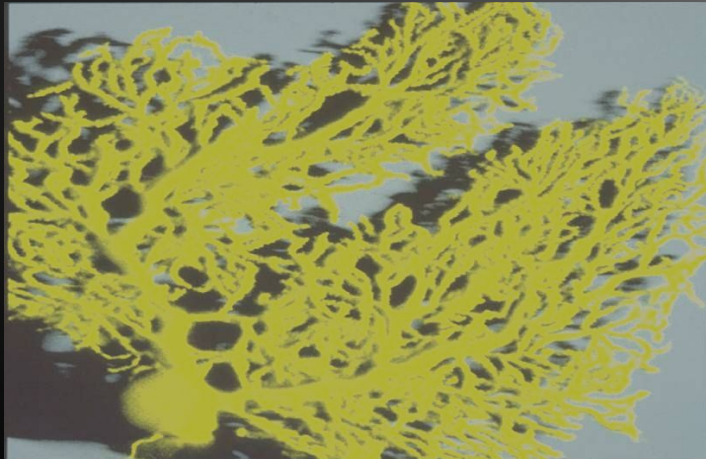
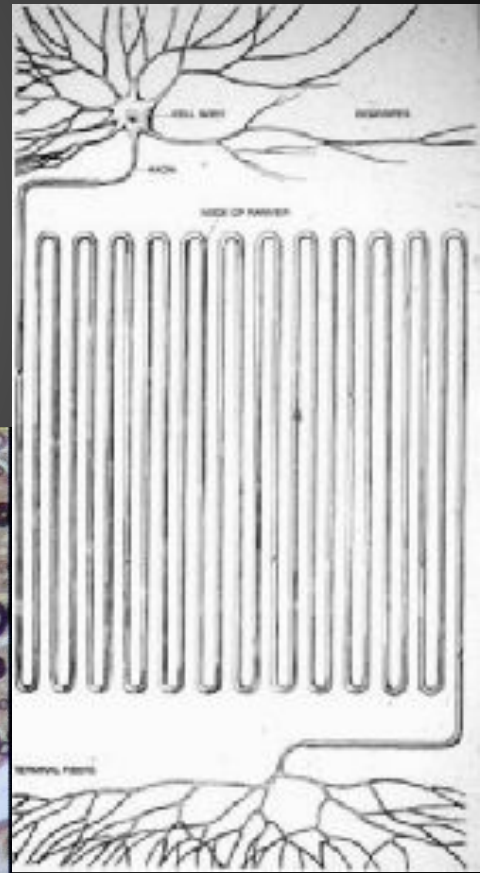


# Виды нейронов

- А — веретенообразный (кишечнополостные);
- Б — псевдоуниполярный (сенсорный нейрон позвоночных);
- В — мультиполярный (позвоночные);
- Г — типичный нейрон центральной нервной системы беспозвоночных

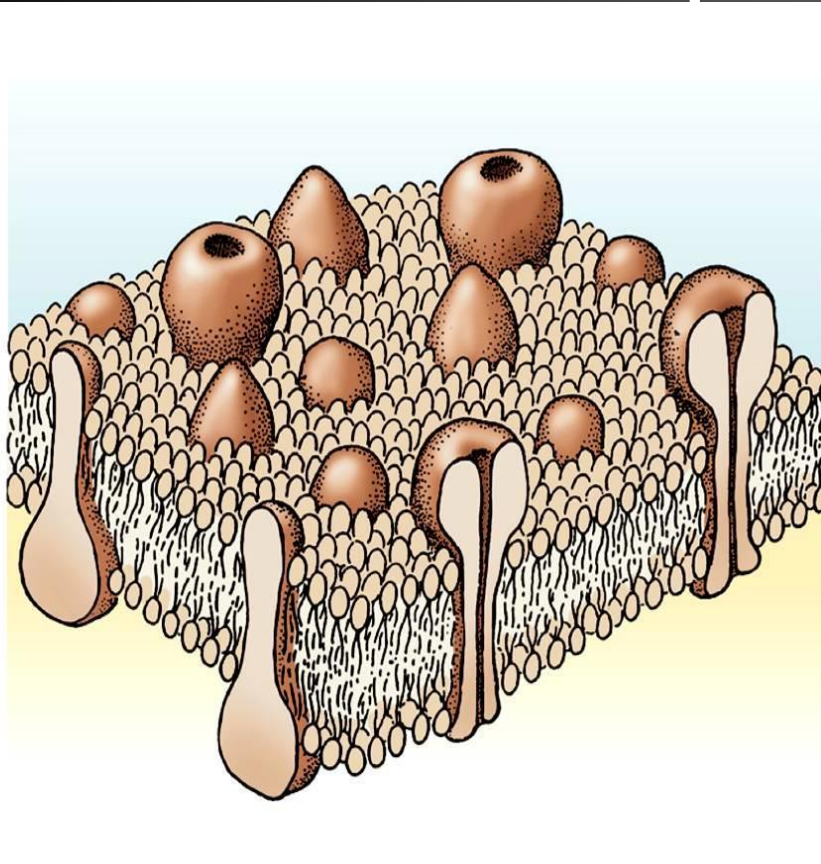


Срез  
нервного волокна



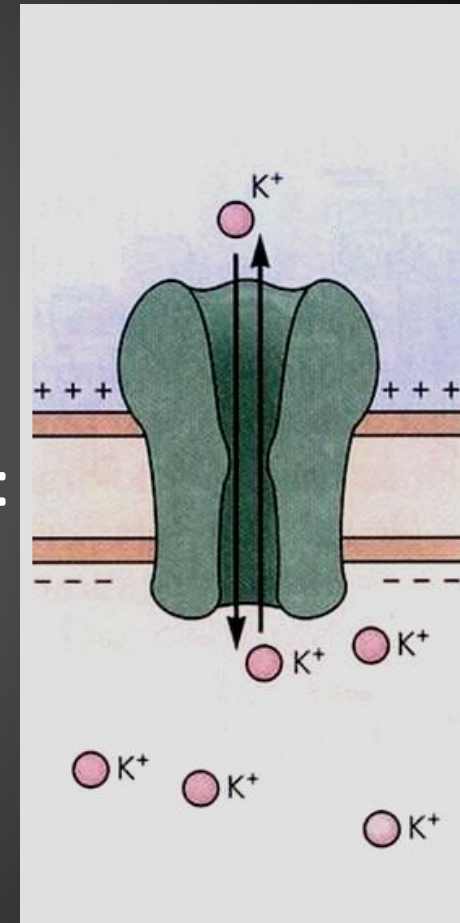
*Мембранный  
потенциал*

# Проницаемость обеспечена ионными каналами мембраны



1-1000 каналов на квадратный  
микромметр мембраны

- Центральная водная пора
- Устья канала: селективный фильтр
- Ворота: проницаемость может меняться!





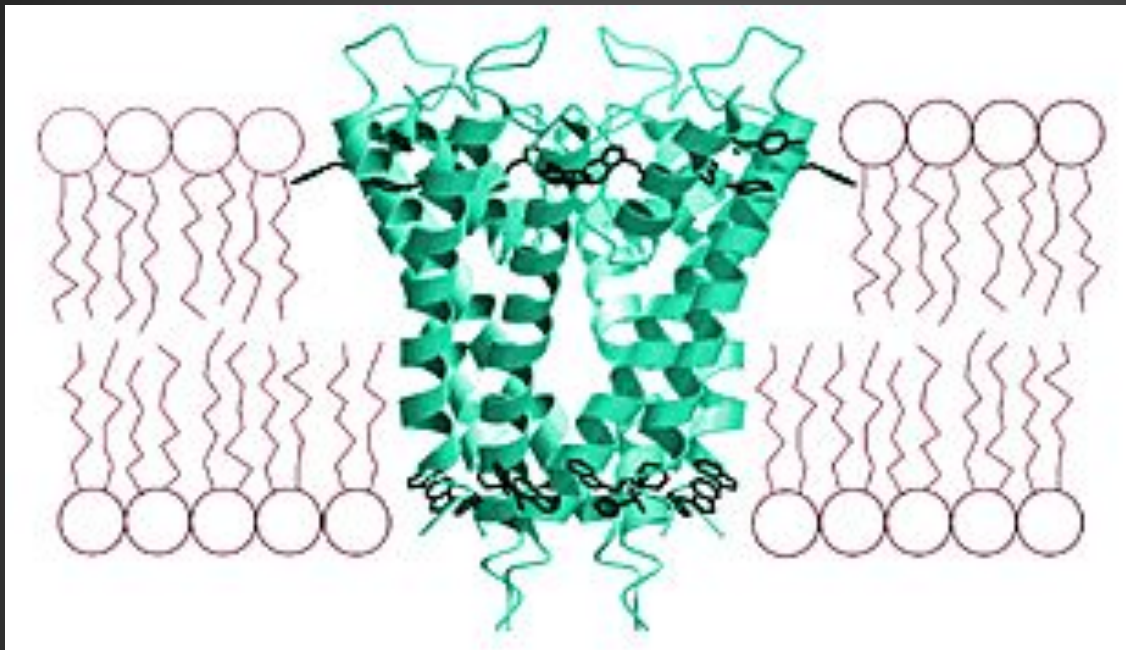
# Нобелевская премия 1991 года в области физиологии и медицины



Эрвин Нейер и Берт Сакманн

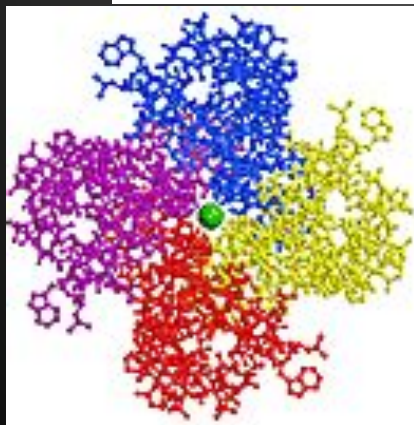
«за открытия в области работы одиночных ионных каналов»

## Ионные каналы в клеточных мембранах



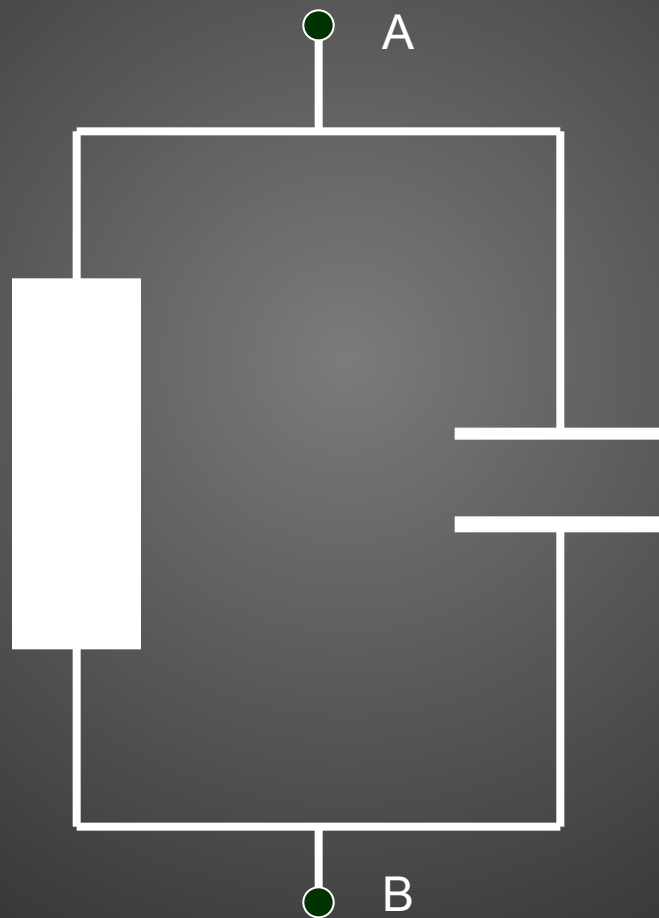
Roderick MacKinnon

Нобелевская премия по  
химии, 2003



Ионный канал для К (бактерия *Streptomyces lividans*)

# Эквивалентная схема клеточной мембраны



# Мембрана живой клетки полупроницаема

Goldman Equation  
written for Na & K

$$E_m = -61 \log \frac{(P_K K_{in} + P_{Na} Na_{in})}{(P_K K_{out} + P_{Na} Na_{out})}$$

$P_K$  = permeability of potassium

$P_{Na}$  = permeability of Na = 0,023  $P_K$

$pCa^{++} = 0$

$Ca^{++}$



$Na^+$

GLYCOLIPID

ALPHA-HELIX PROTEIN

OLIGOSACCHARIDE SIDE CHAIN

PHOSPHOLIPID

GLOBULAR PROTEIN

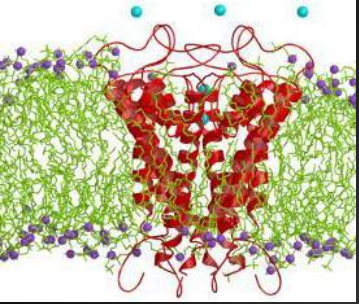
HYDROPHOBIC SEGMENT OF ALPHA-HELIX PROTEIN

CHOLESTEROL

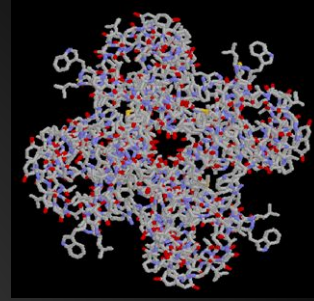
$Cl^-$



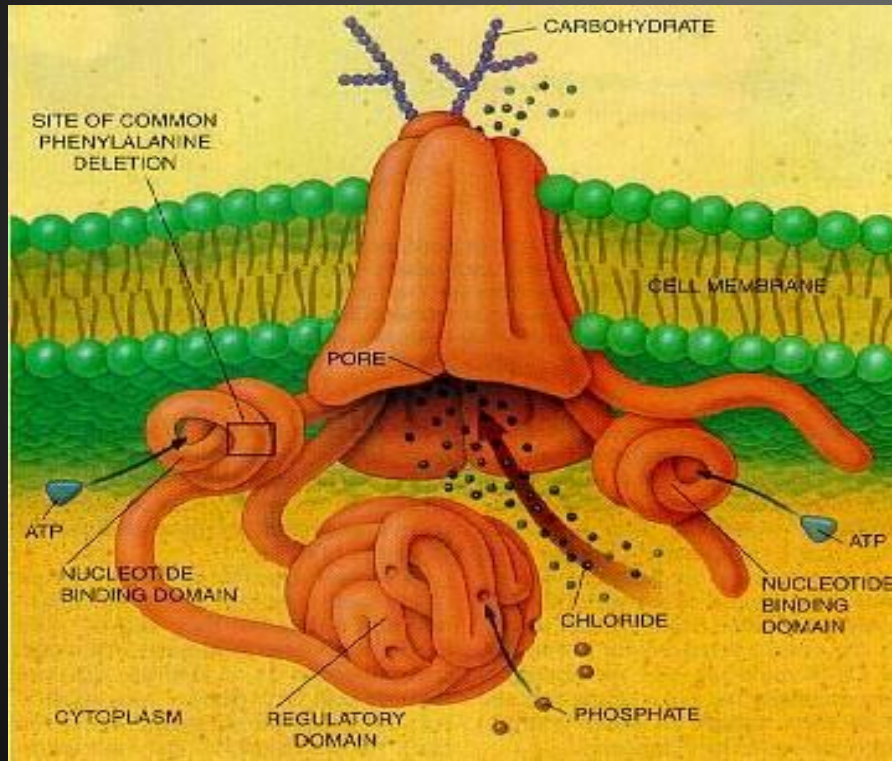
$K^+$



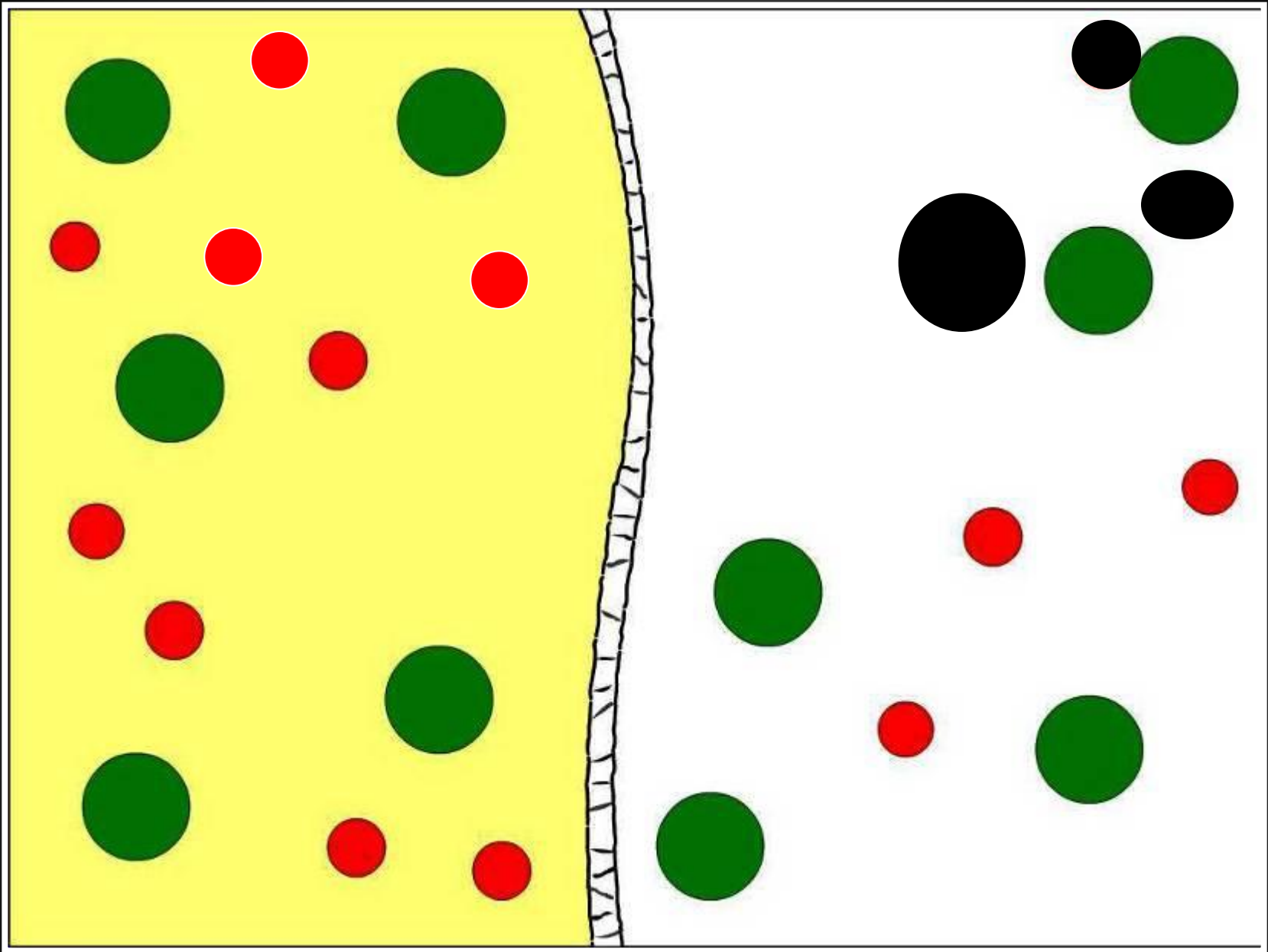
Белковая структура канала:  
4 домена из 6 сегментов каждый



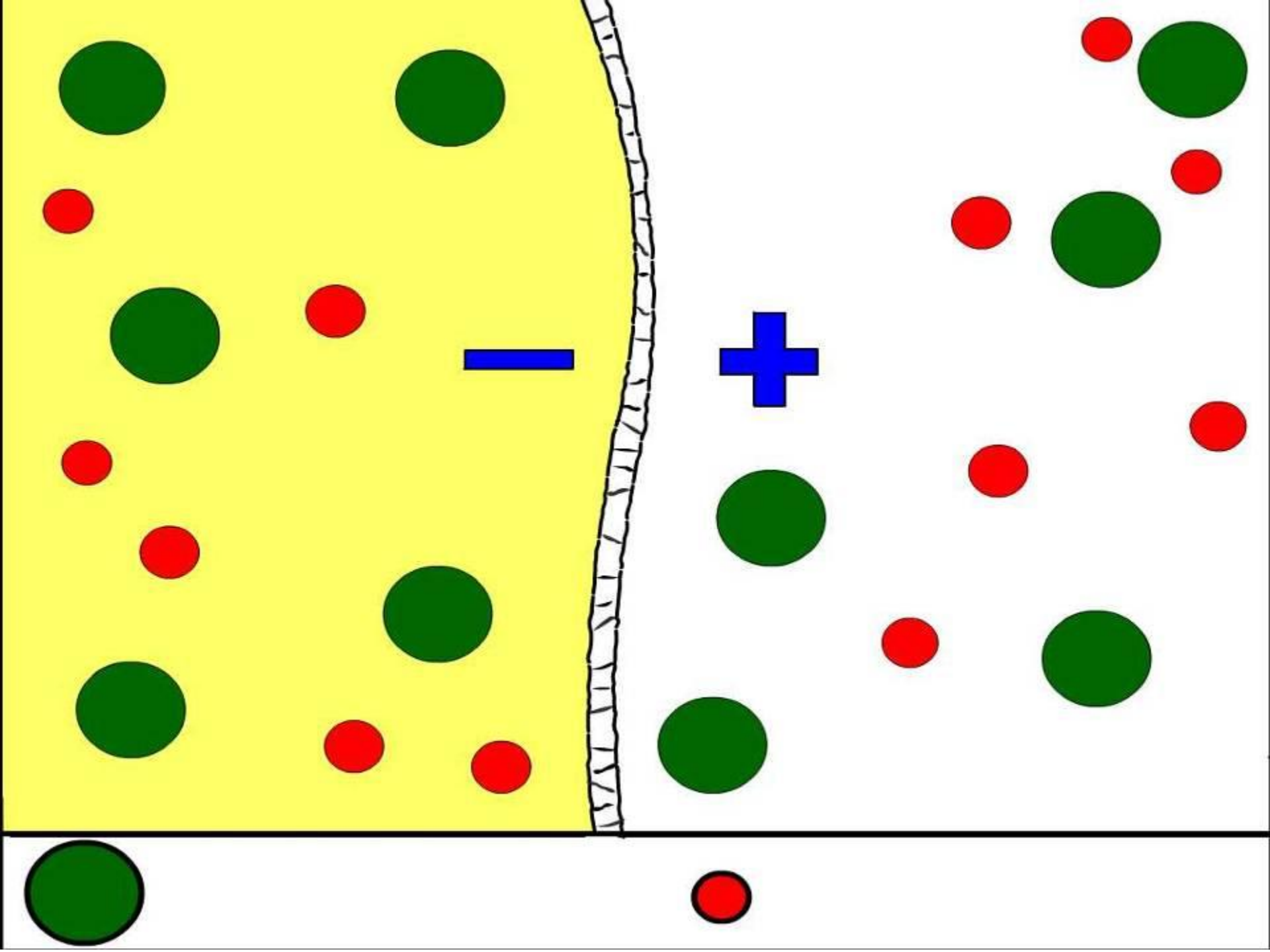
## Структура Cl<sup>-</sup> канала



S4-воротный механизм,  
S5 и S6 – пора, между 3 и  
4 доменом – «шар на  
цепи»



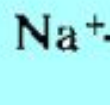
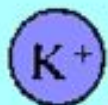
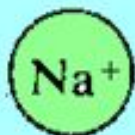
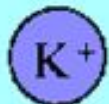
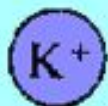
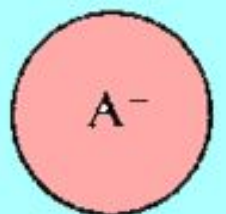
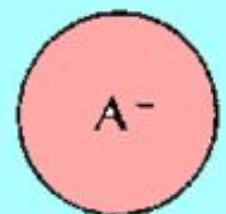
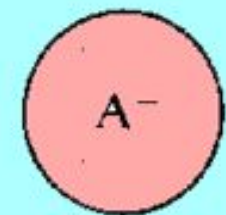




Внутренняя среда

Мембрана

Наружная среда

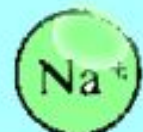
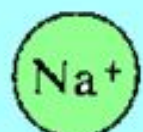
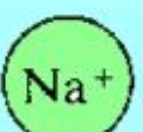
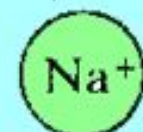
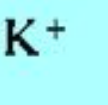


+

+

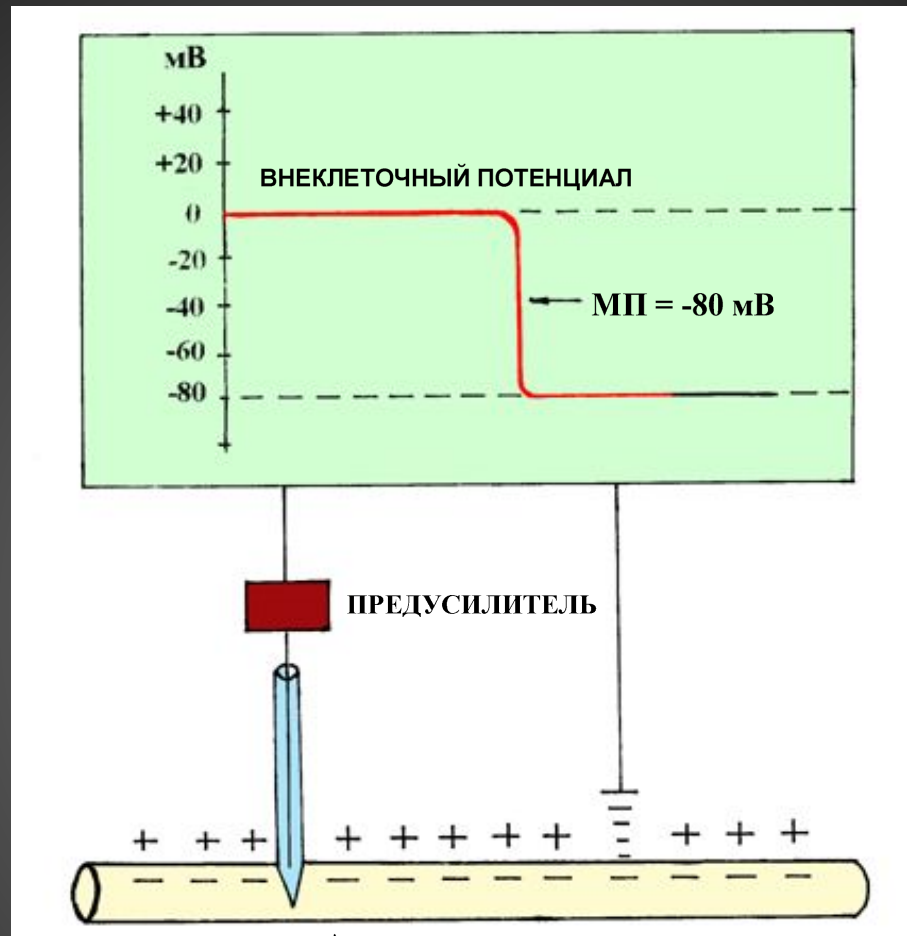
+

+



Насос, зависящий от метаболизма

# МЕМБРАННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ (МП)



Аксон кальмара

## УРАВНЕНИЕ НЕРНСТА

$$E_K = RT/nF \ln [K^+]_{вн} / [K^+]_{вн} \approx -80 \text{ мВ}$$

R — газовая постоянная; T — абсолютная температура; n — валентность ионов; F — число Фарадея, К;  $[K^+]_{вн}$  — калий внутриклеточный

# Равновесные потенциалы (E)

## Движущая сила (V - E)

К-каналы

-95 K+

Na-каналы

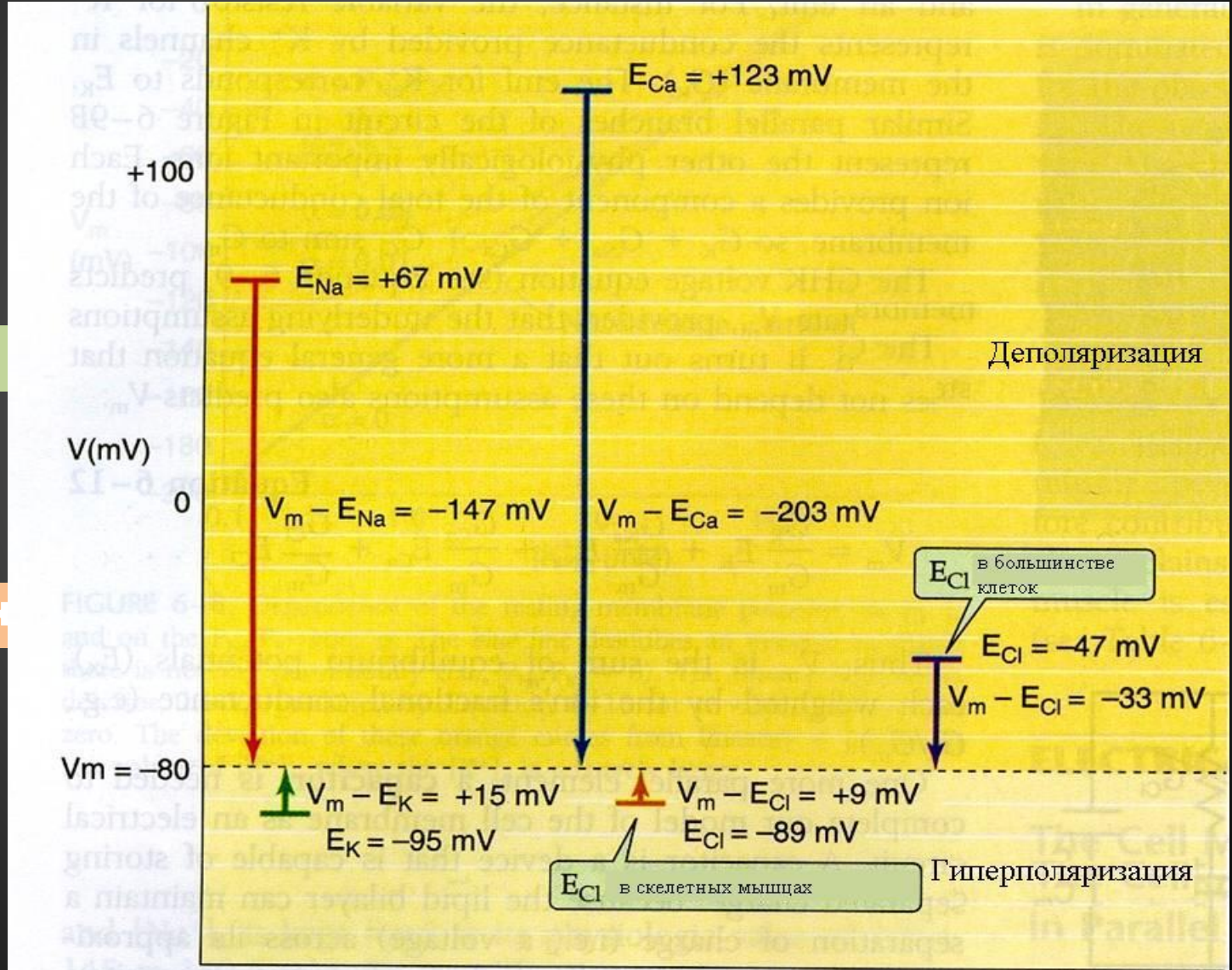
+67 Na+

Ca-каналы

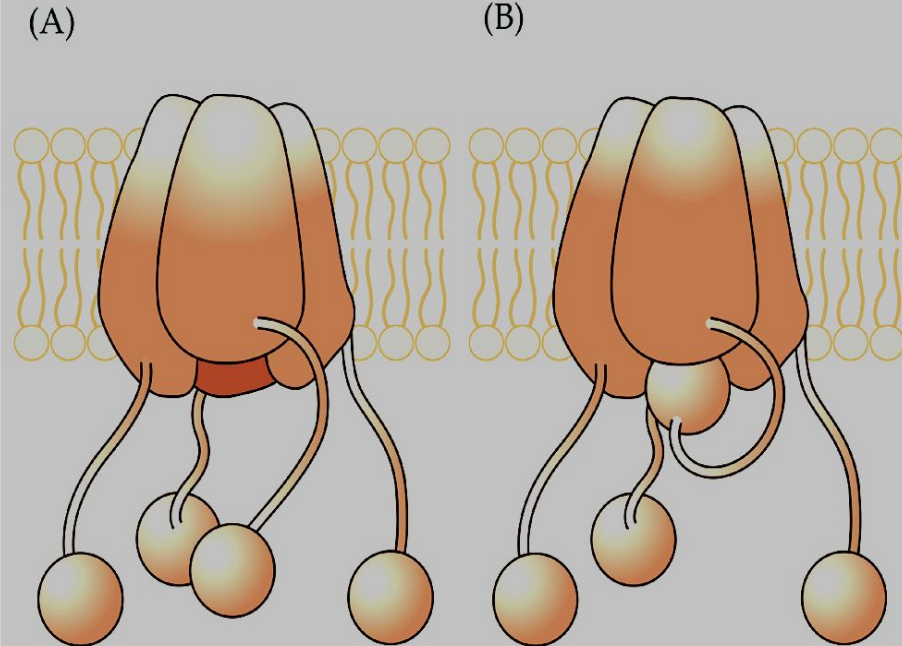
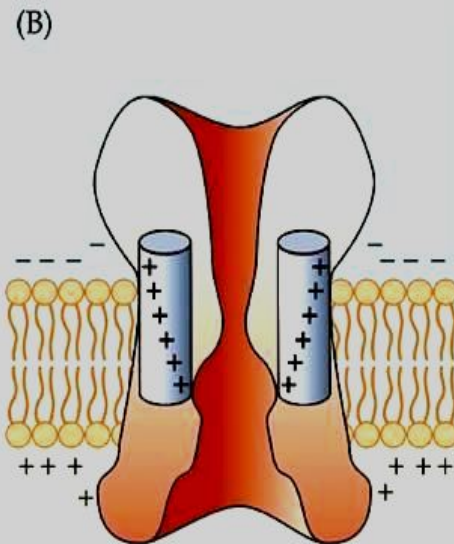
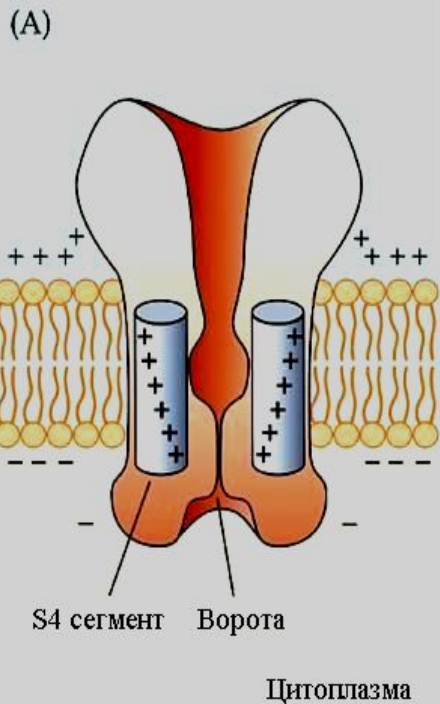
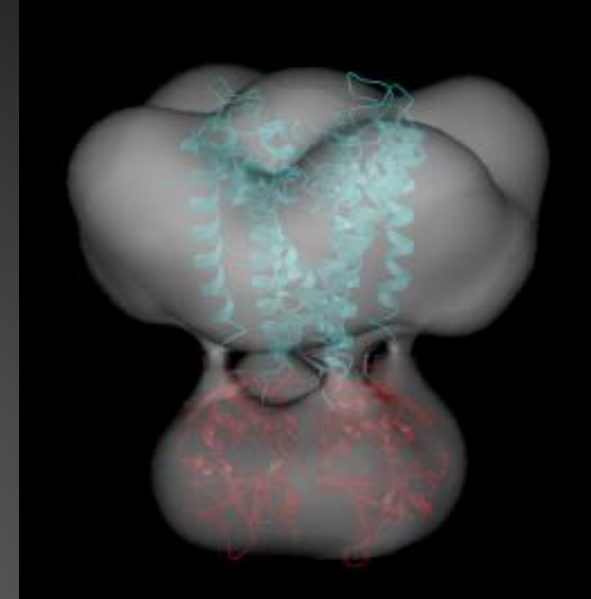
+123 Ca++

Cl-каналы

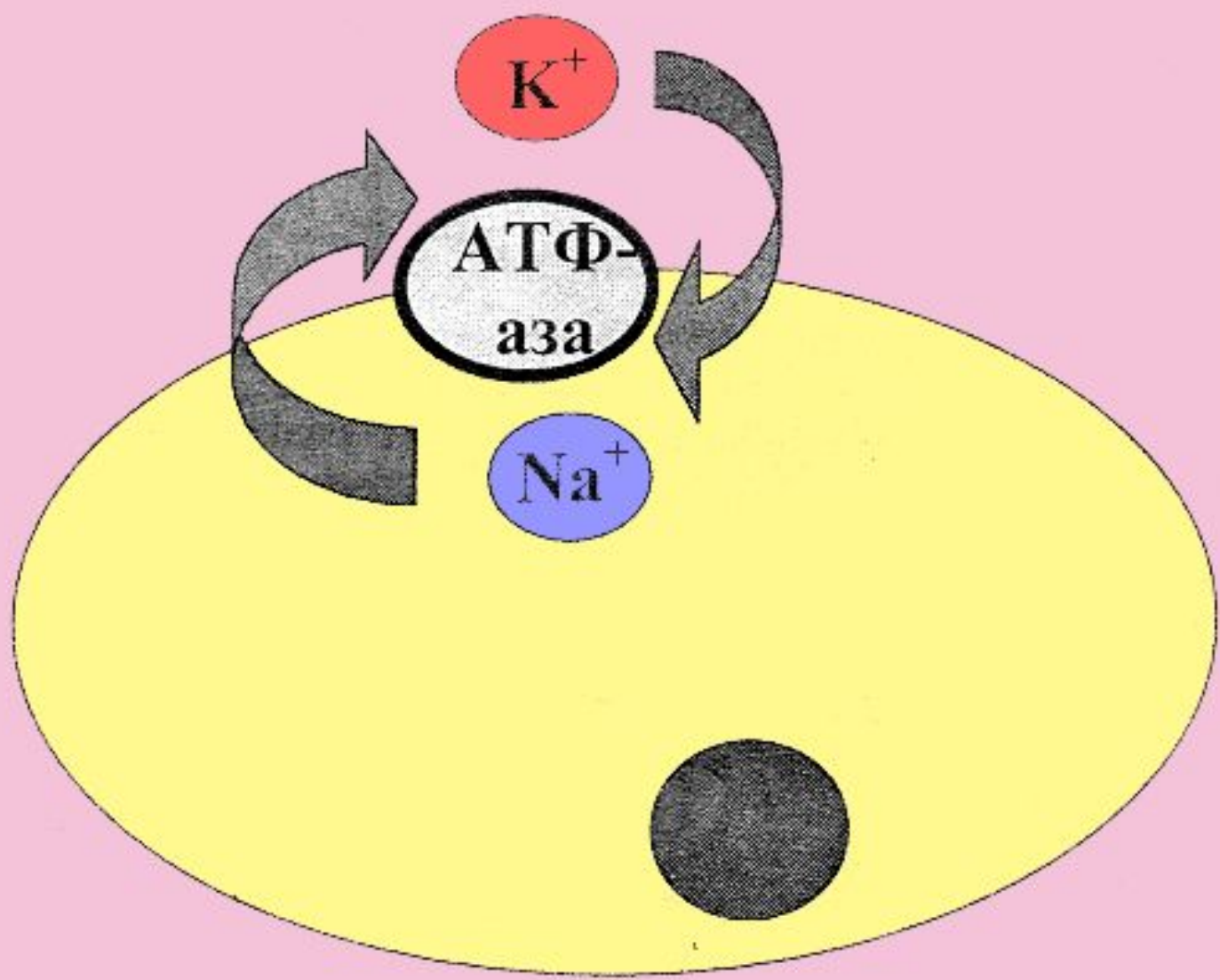
-89 - 47 Cl-



# Молекулярные механизмы активации и инактивации у большинства каналов общие



$\text{Na}^+ - \text{K}^+$  — НАСОС МЕМБРАНЫ

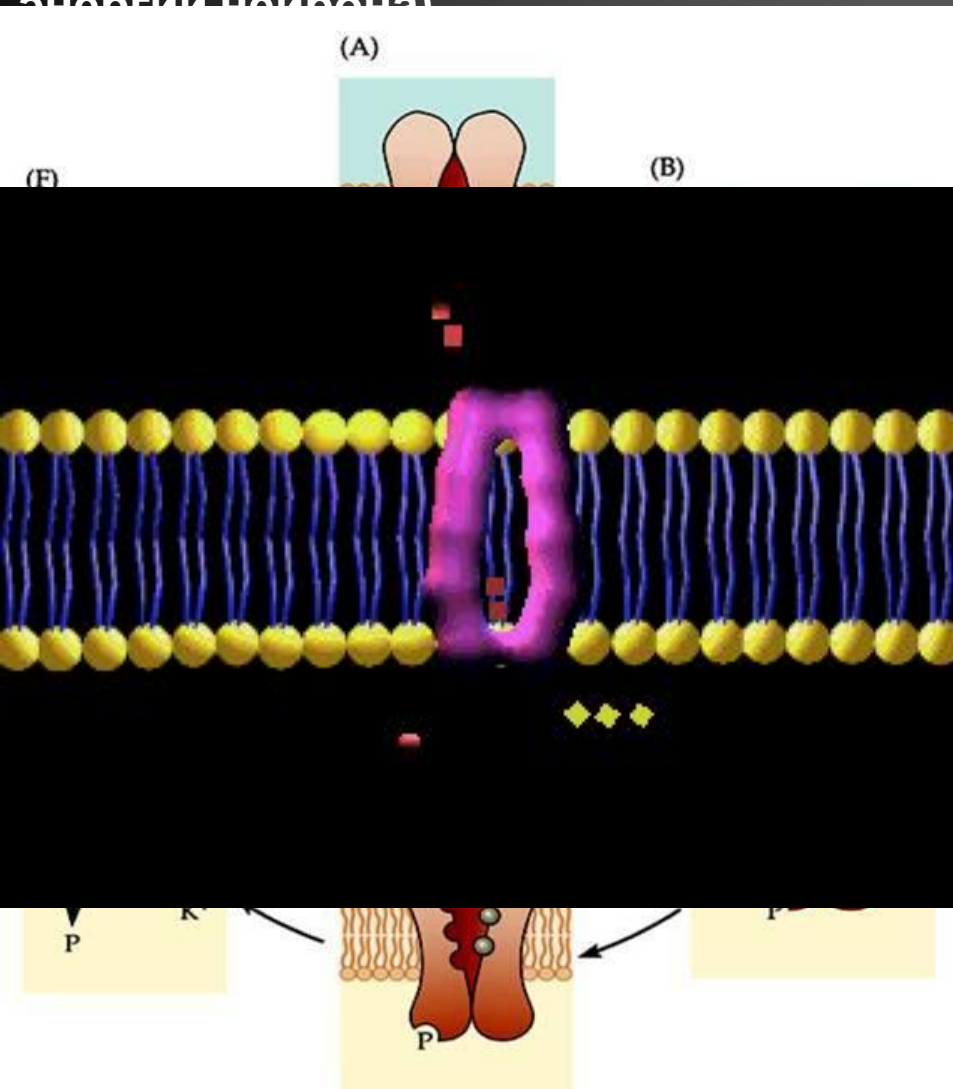


# Создание градиента концентрации:

1. Na-K АТФ-аза

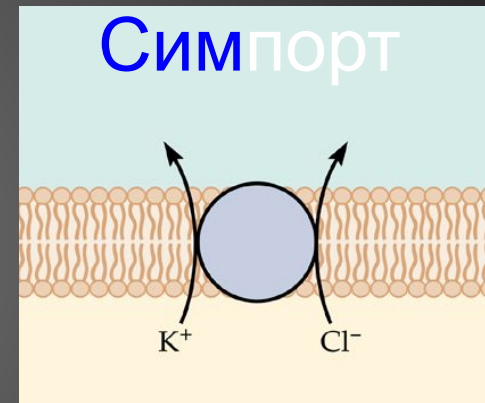
2. ионные обменники

Транспорт 3 Na/2K за счет энергии 1 АТФ (расход до 1/2 энергии нейрона)

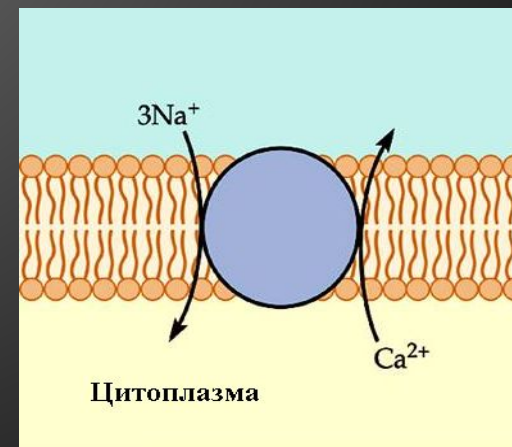


а.

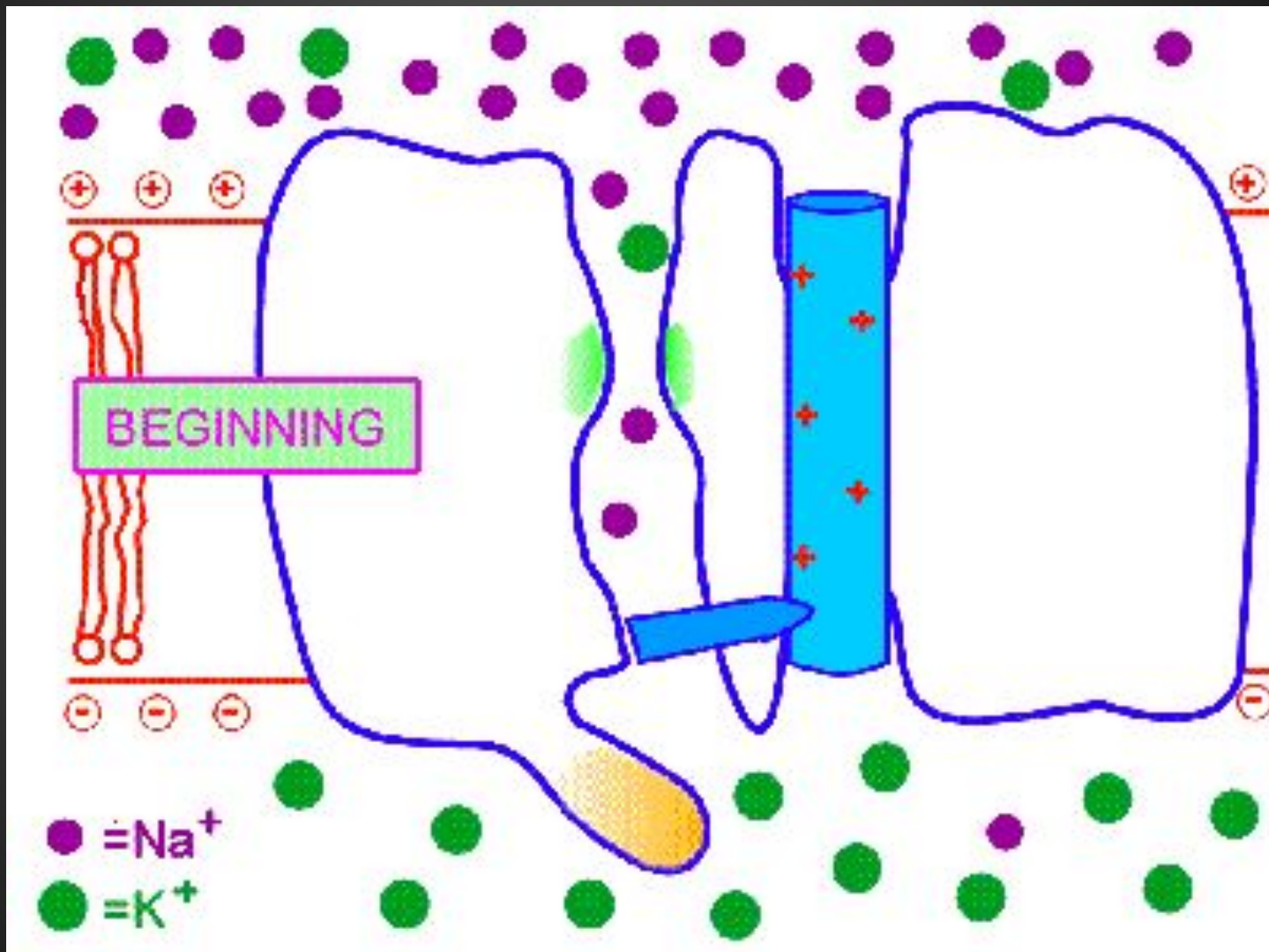
Симпорт



б.



# Транспорт ионов через клеточные мембраны





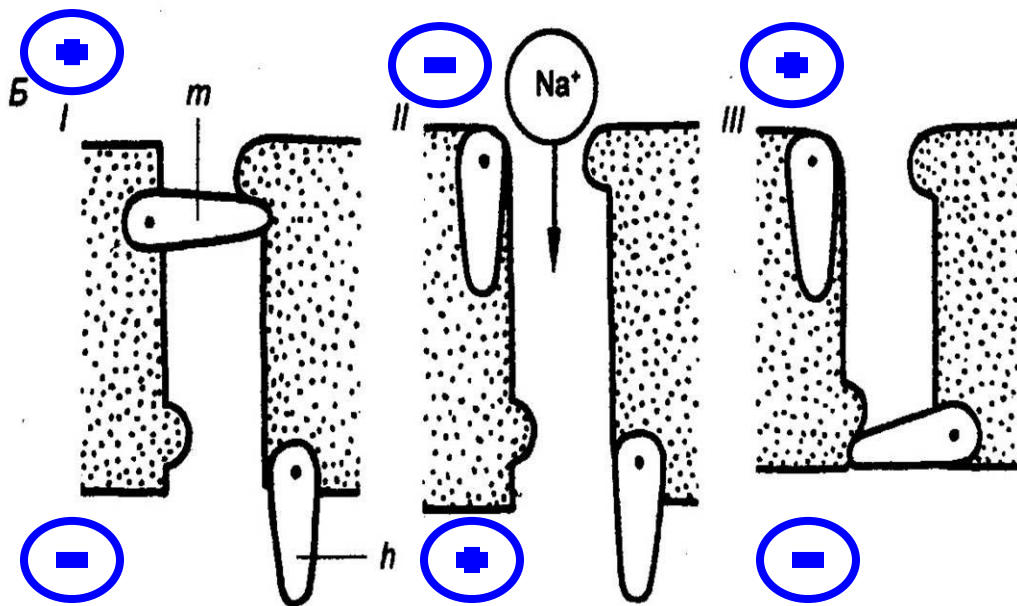
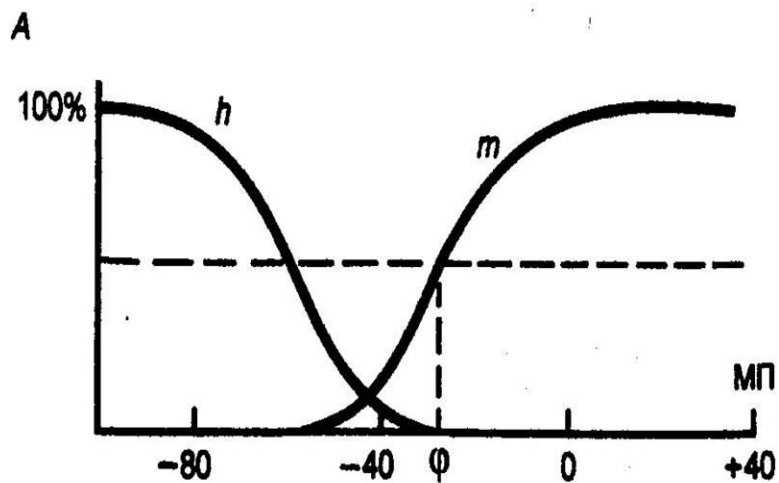
# Канал имеет воротный механизм

Динамика открытия ворот

1

2

3



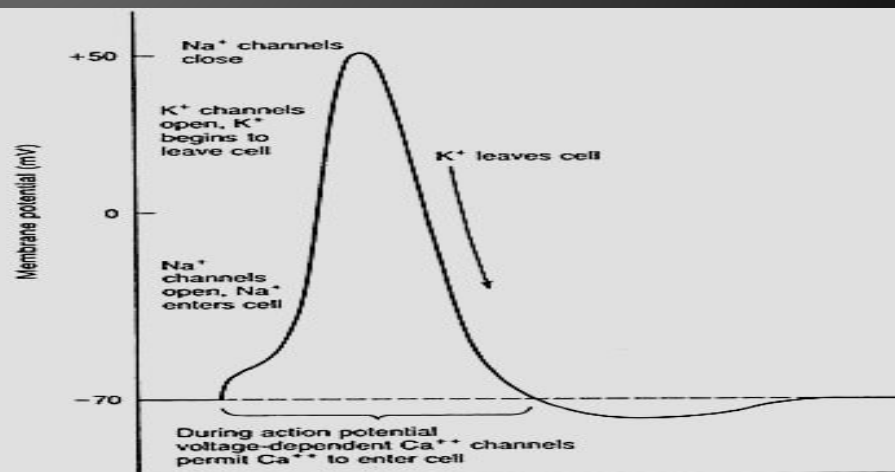
1- покой

2-деполяризация

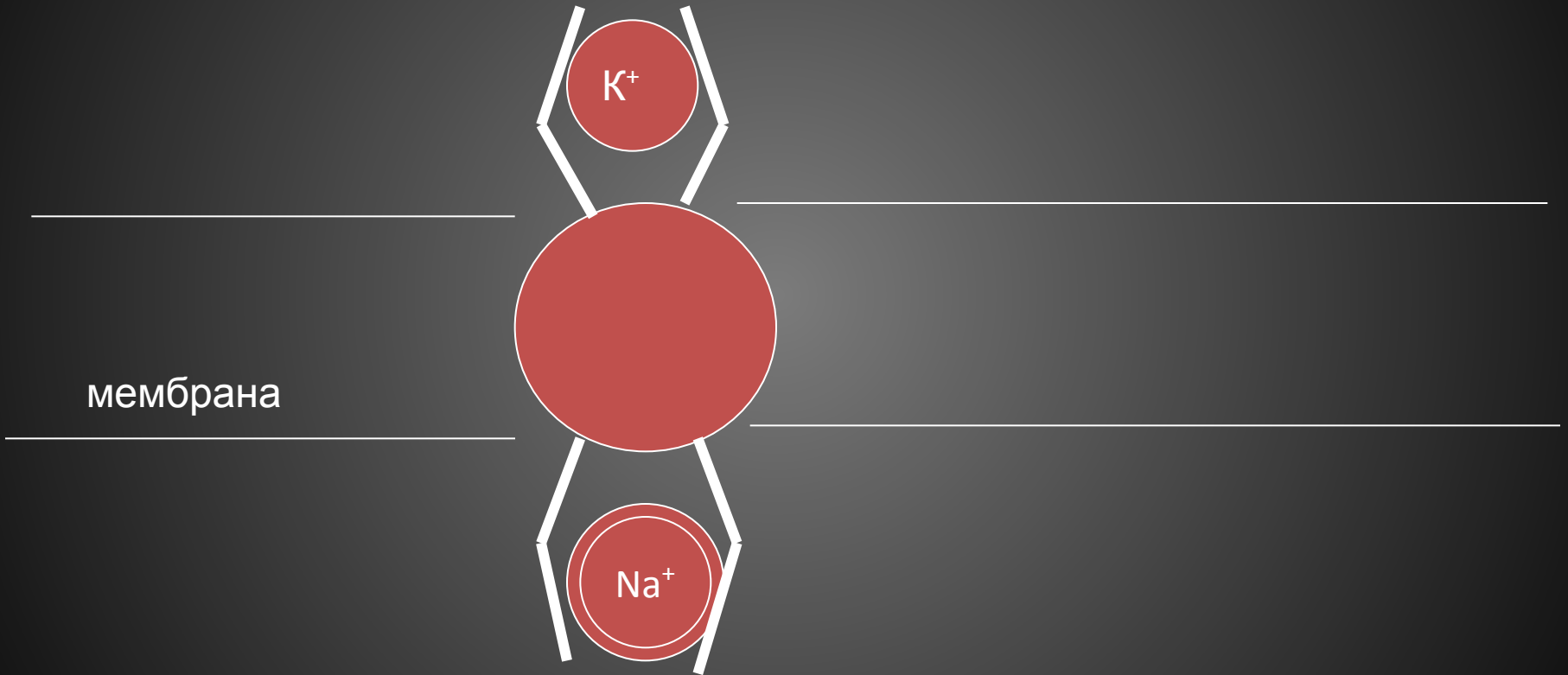
Зрефрактерность

За один ПД входит в клетку  $10^{12}$  ионов Na<sup>+</sup>

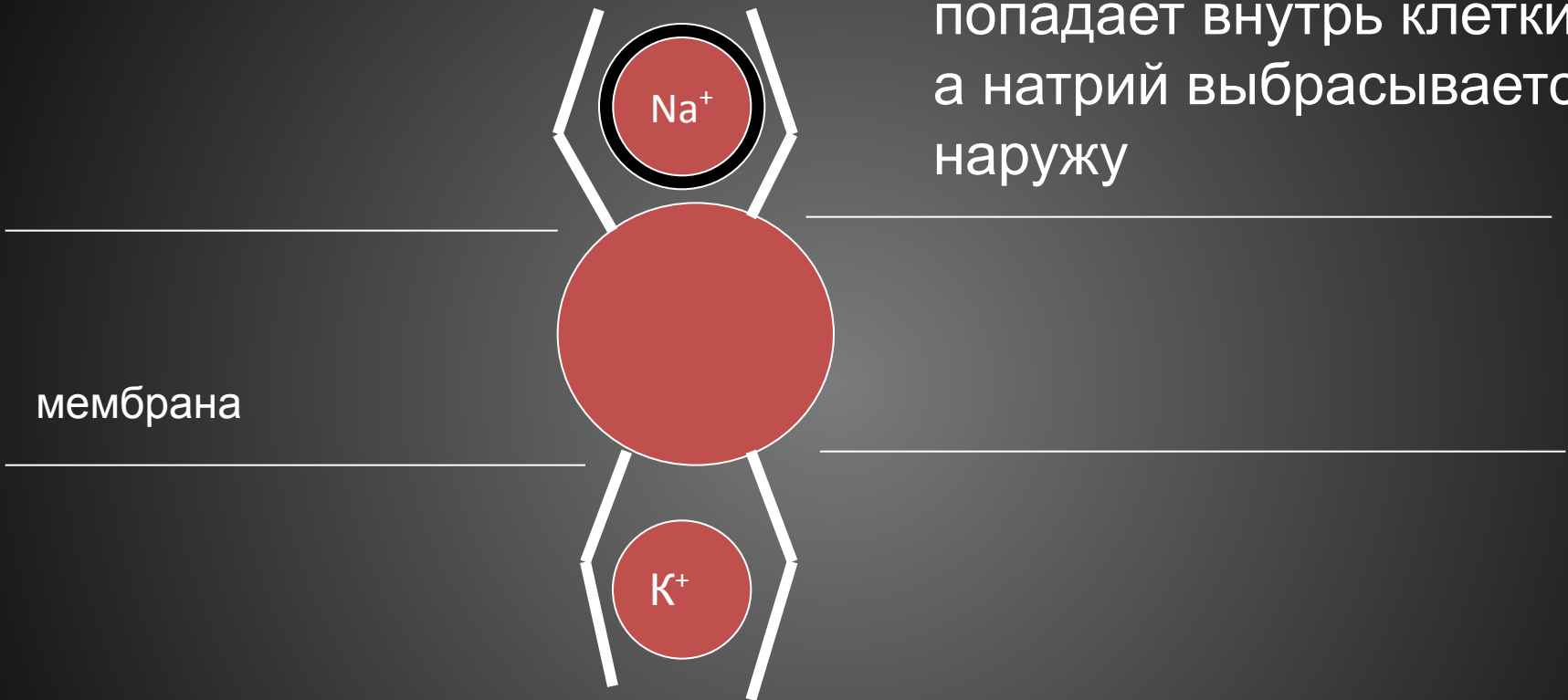
(рост внутриклеточной концентрации 0,7%)



- Захват активными центрами ионов калия и натрия
- Поворот белковой молекулы на  $180^\circ$  за счёт энергии АТФ



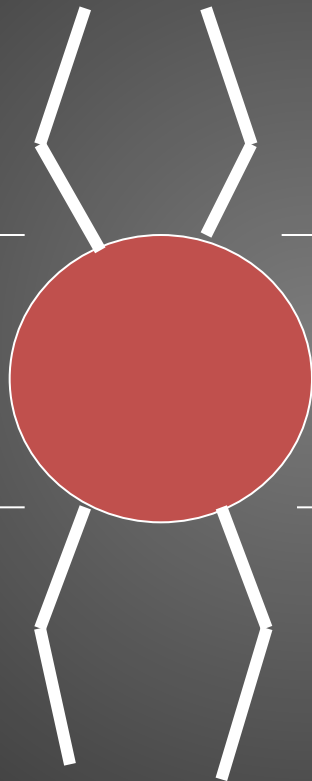
Выброс захваченных ионов, причём калий попадает внутрь клетки, а натрий выбрасывается наружу



мембрана



Молекула вновь  
поворачивается на  
180<sup>0</sup> и готова к  
захвату НОВЫХ  
ИОНОВ



мембрана

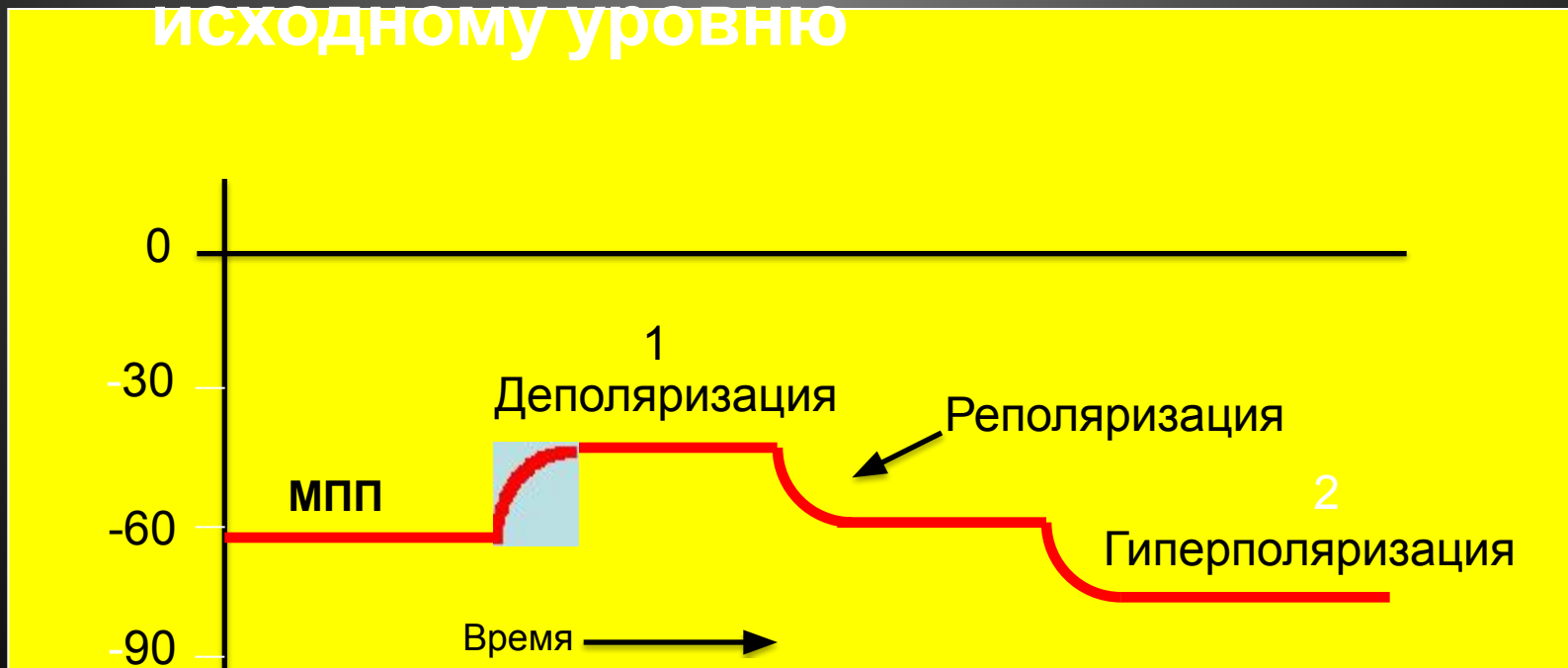


## Мембранный потенциал

### Изменения мембранного потенциала покоя:

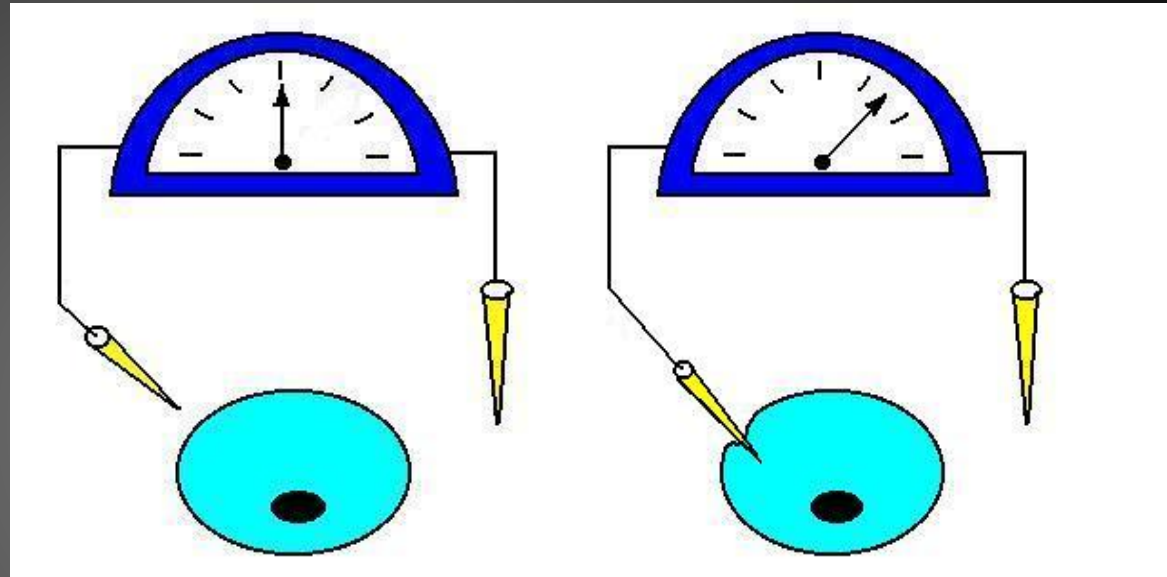
- 1. Деполяризация - уменьшение
- 2. Гиперполяризация- увеличение
- 3. Реполаризация - возвращение к

исходному уровню

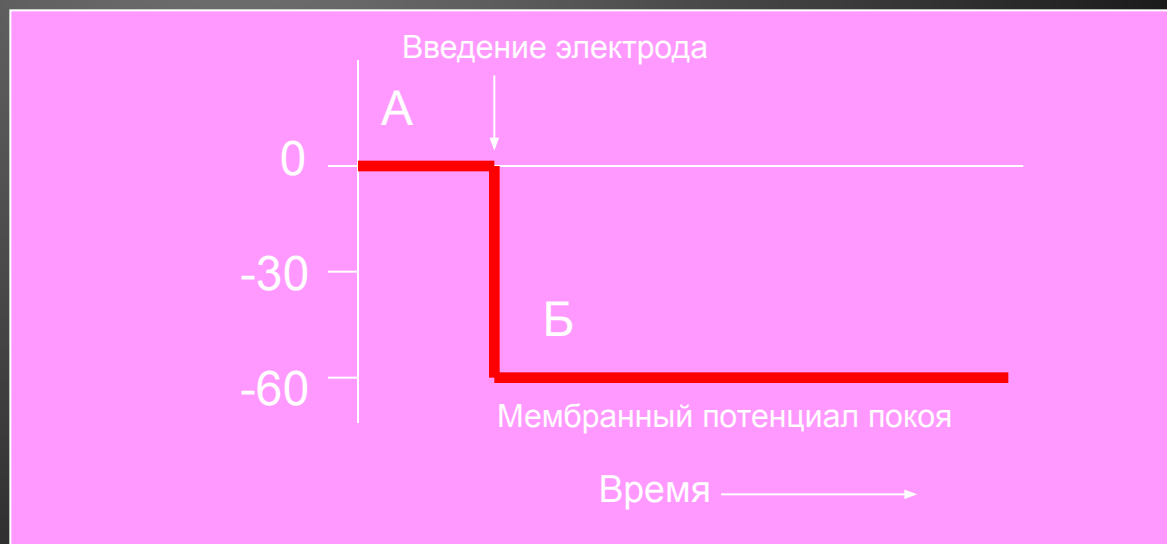


## Мембранный потенциал

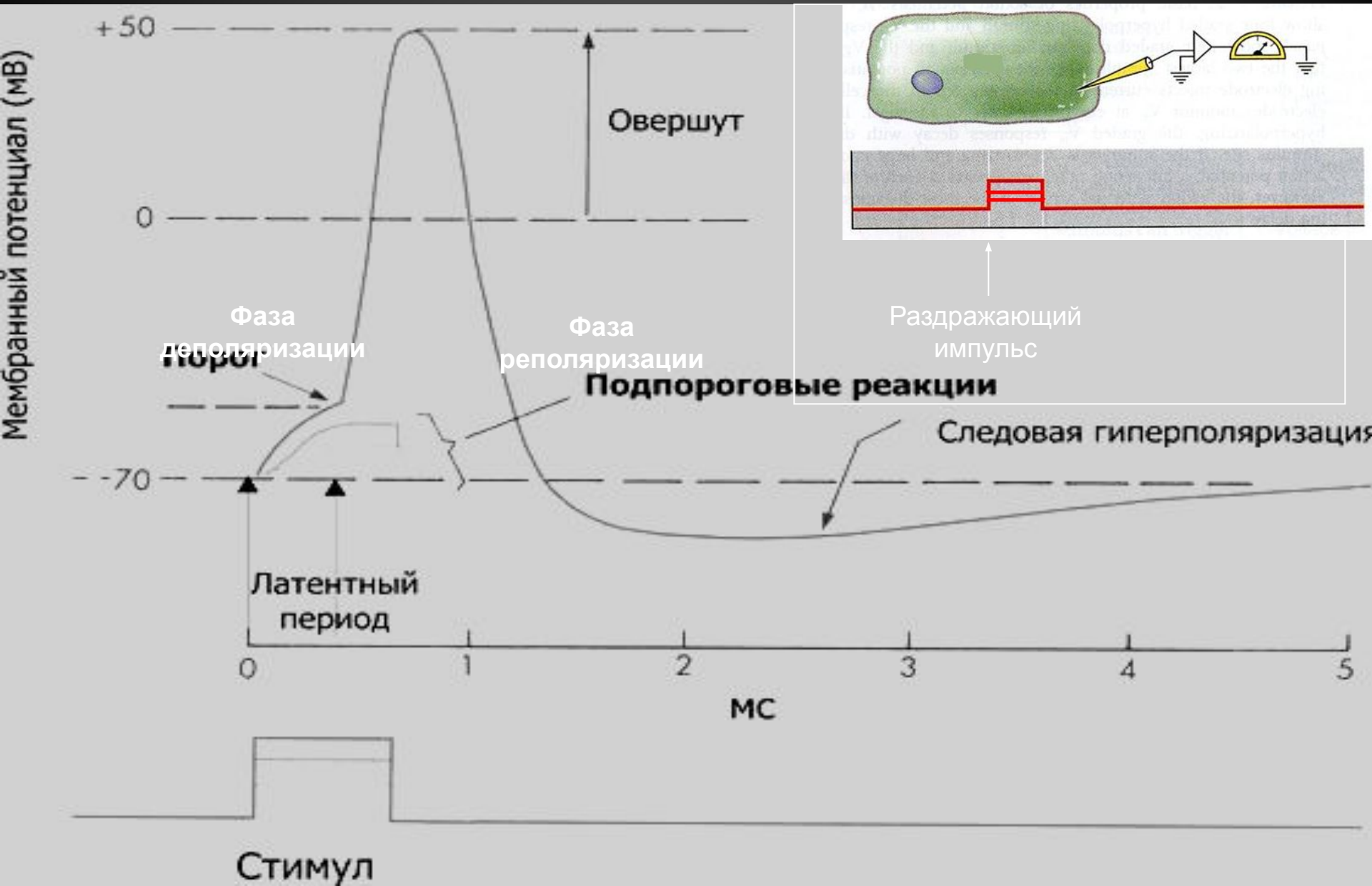
Внутриклеточная  
микроэлектродная  
регистрация



Величина МПП в  
возбудимых  
клетках – от -60 до  
-90мВ



# Потенциал действия



# Фазы потенциала действия

1- порог (около 50 мВ, ток  $Na > K$ )

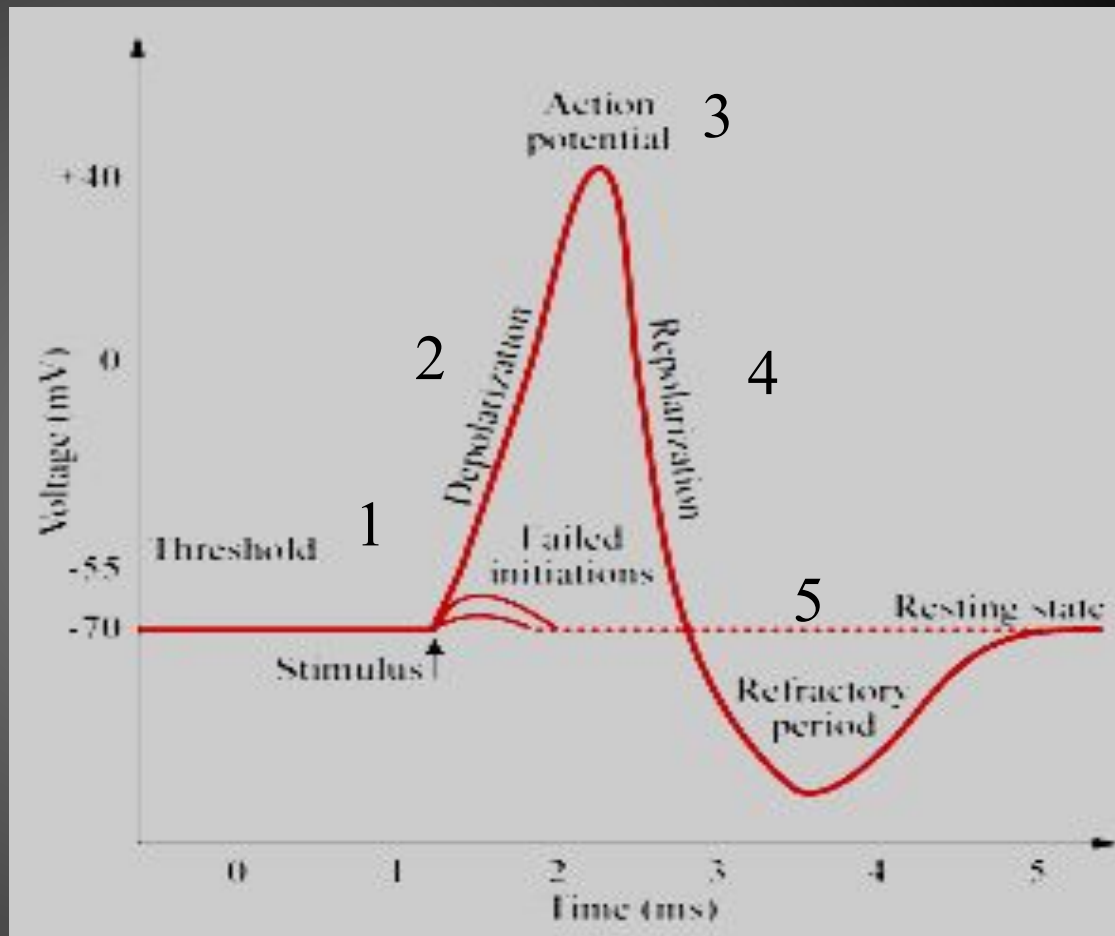
2- деполяризация 0,5 мс (вход  $Na$ )

3- овершут (перелет)

4- реполяризация 0,5- 1мс (блок  $Na$ , активация  $K$  токов)

5- следовая гиперполяризация, до 3 мс (ток  $K$ )

3-5 - период рефрактерности (блок  $Na$ , активация  $K$  токов)



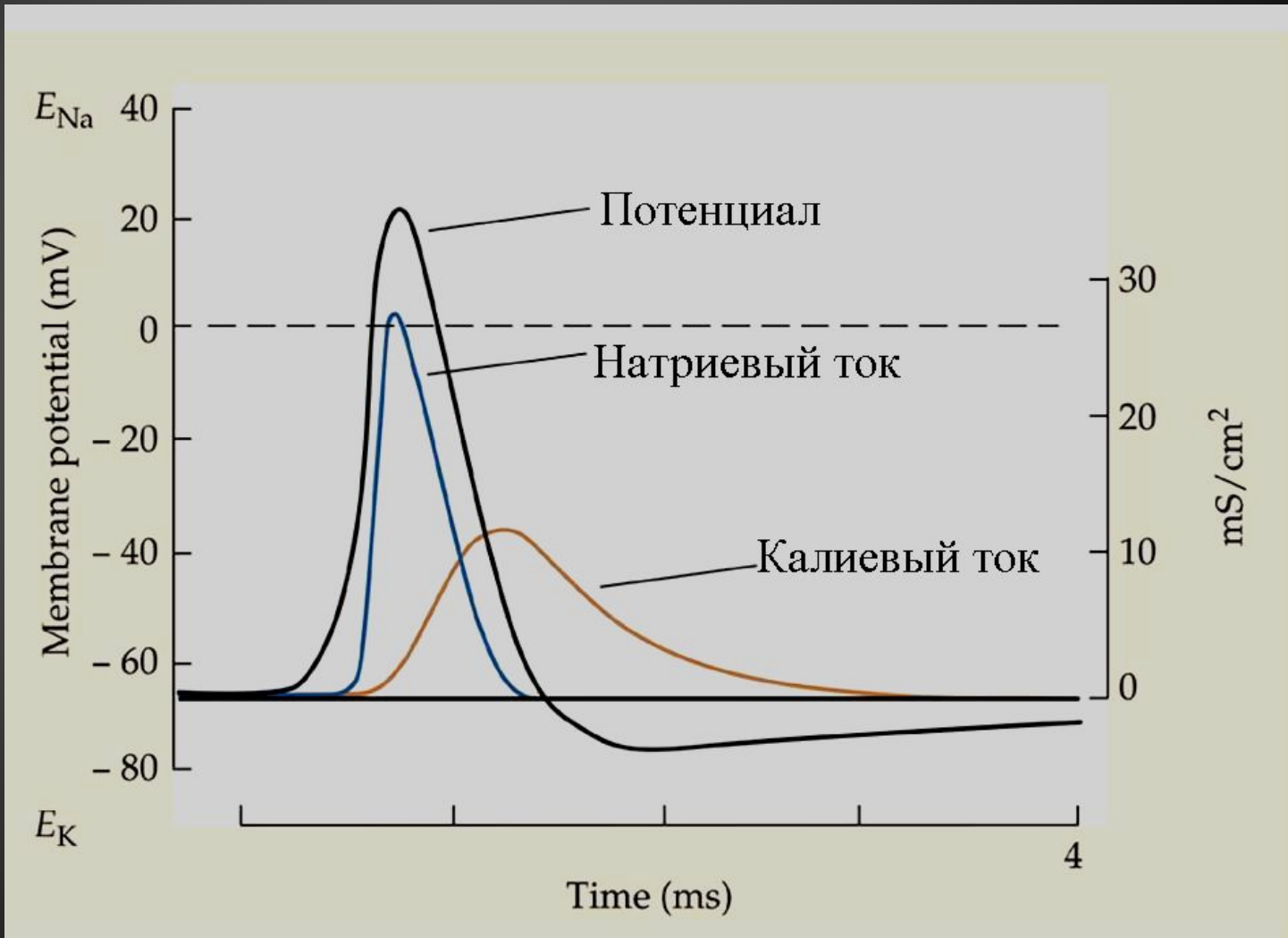
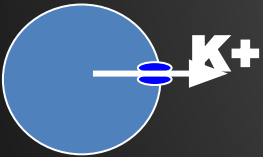
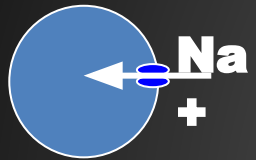
Амплитуда ПД  
нейрона – около 110 мВ



## **Свойства потенциала действия**

- **Вызывается сверхпороговым раздражением**
- **Амплитуда не зависит от силы раздражения**
- **Распространяется по всей мембране не затухая**
- **Связан с увеличением ионной проницаемости мембраны (открытием ионных каналов)**
- **Не суммируется**

# Временной ход ионных токов во время потенциала действия



**БЛАГОДАРЮ ЗА  
ВАШЕ ВНИМАНИЕ!**