



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.

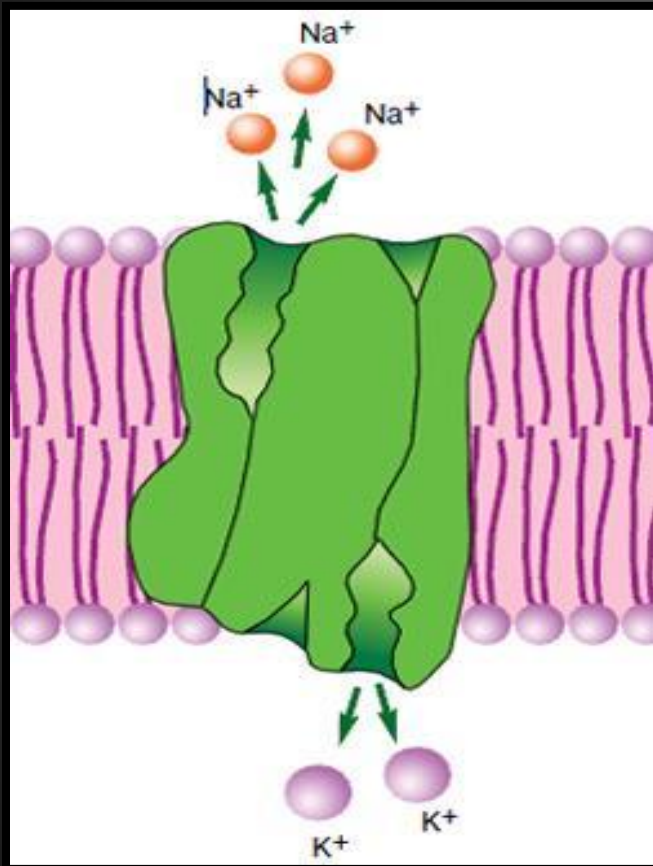
Африканский речной сом



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.

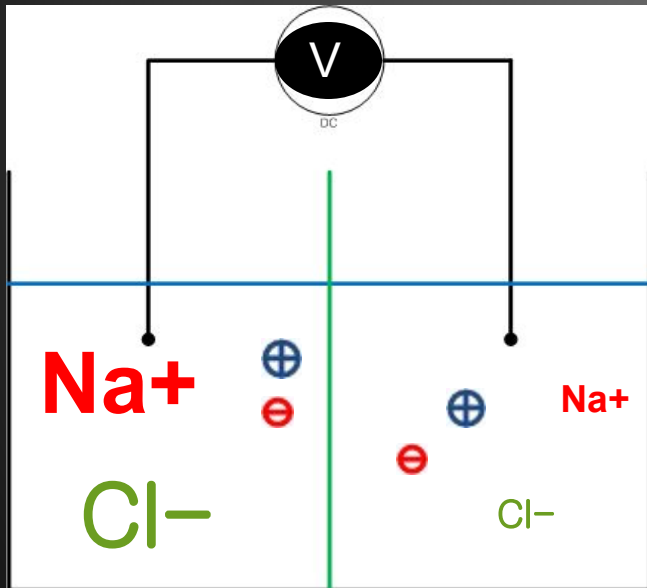
Биохимия электричества



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

Мембранный потенциал

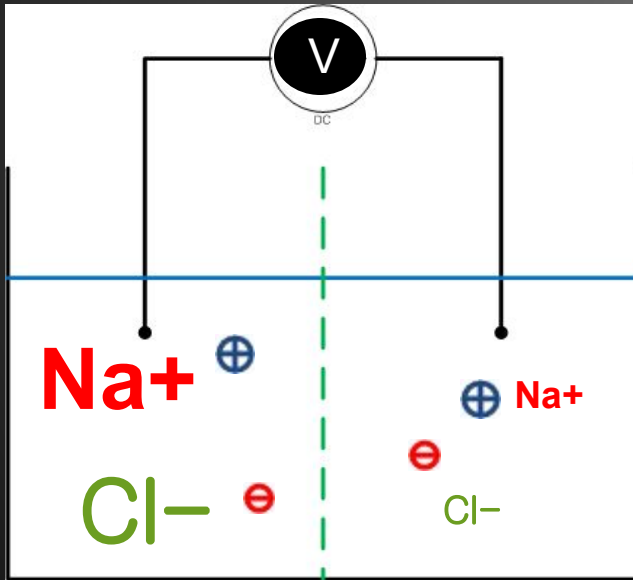
Непроницаемая мембрана



Напряжение равно нулю.

Мембранный потенциал

Проницаемая мембрана

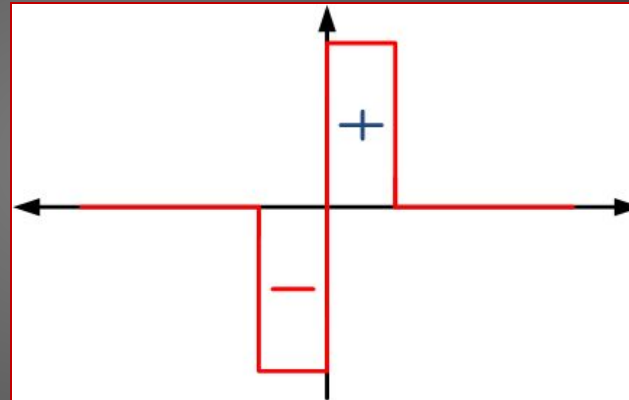
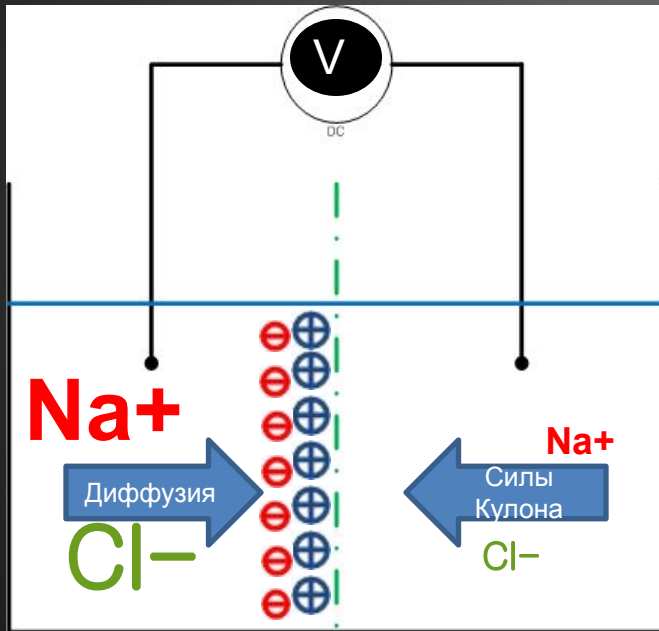


Напряжение равно нулю.

**Мембрана проницаема
для обоих ионов.**

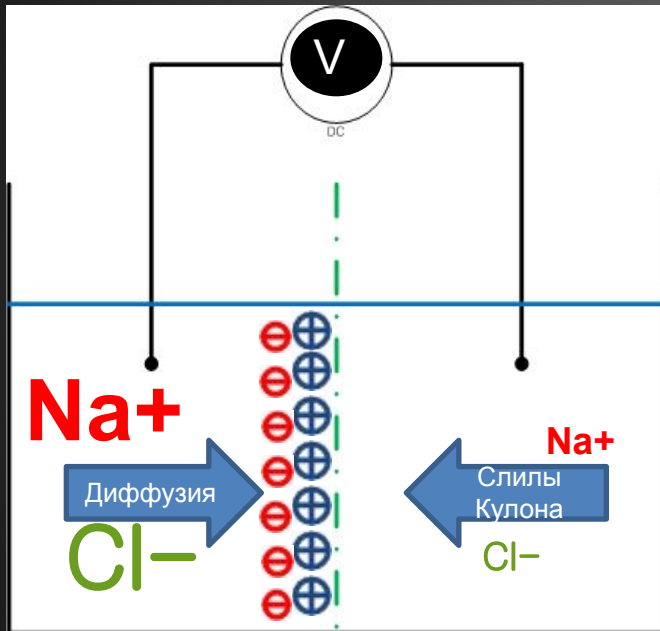
Мембранный потенциал

Полупроницаемая мембрана



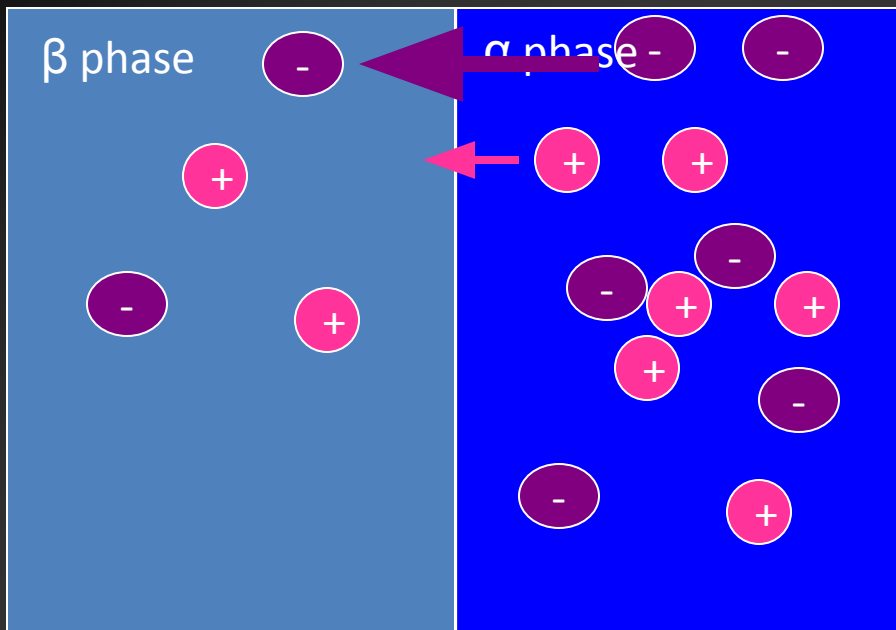
Мембрана проницаема
только для Na^+

Мембранный потенциал

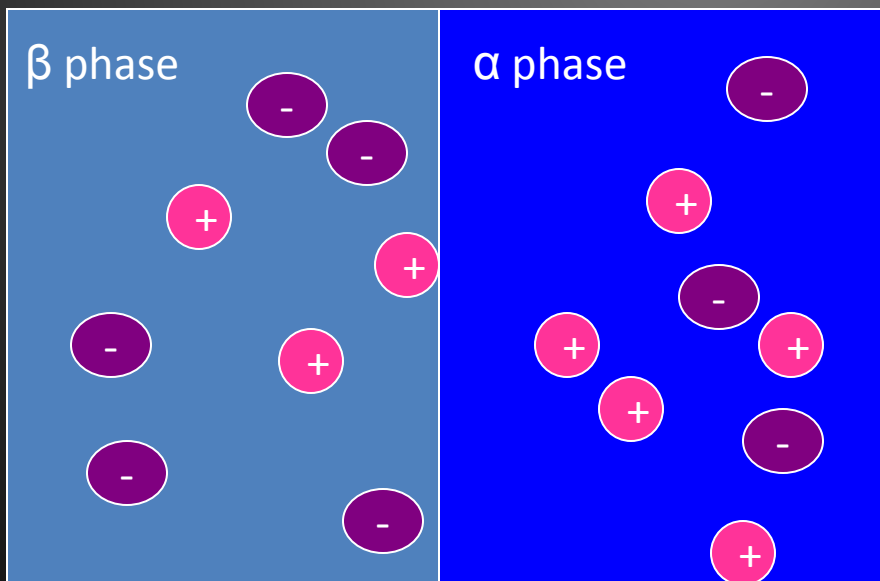


Электростатические силы Кулона
меньше силы диффузии.

Динамическое
равновесие:
Электростатические силы Кулона
равны силе диффузии.

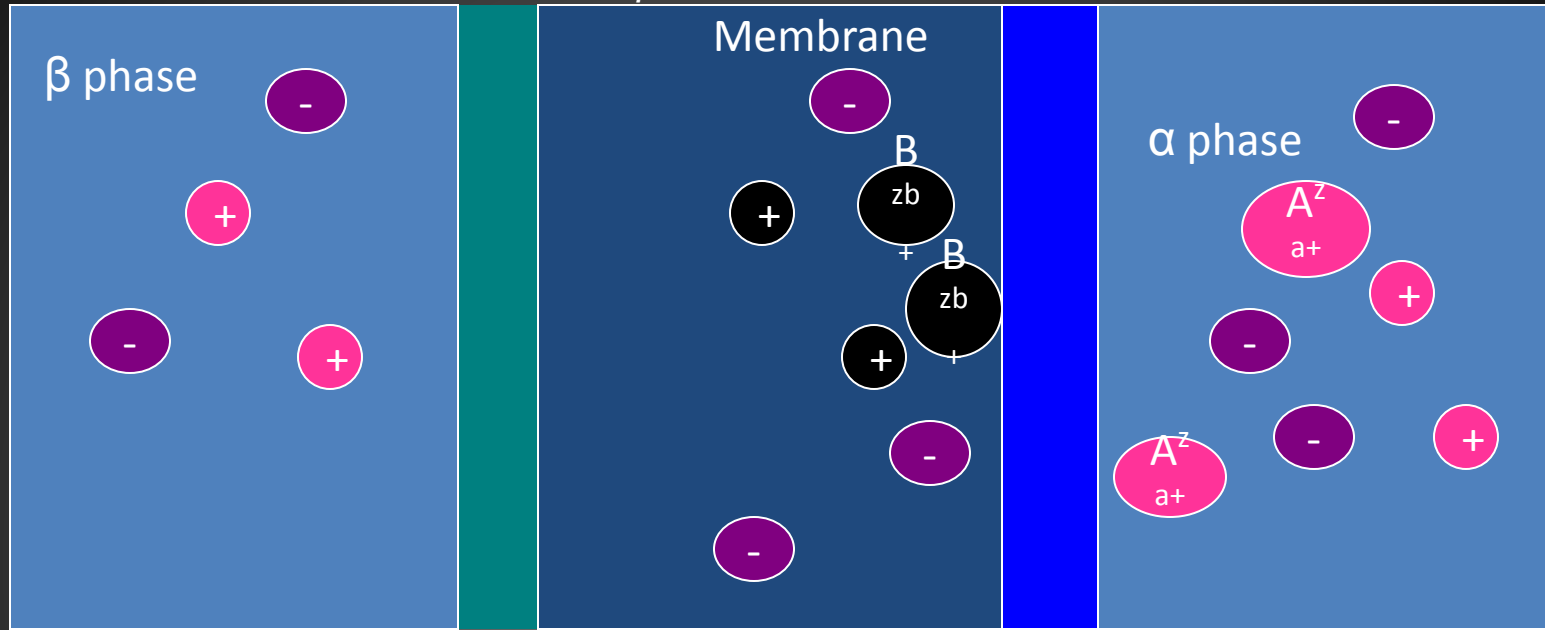


Градиент

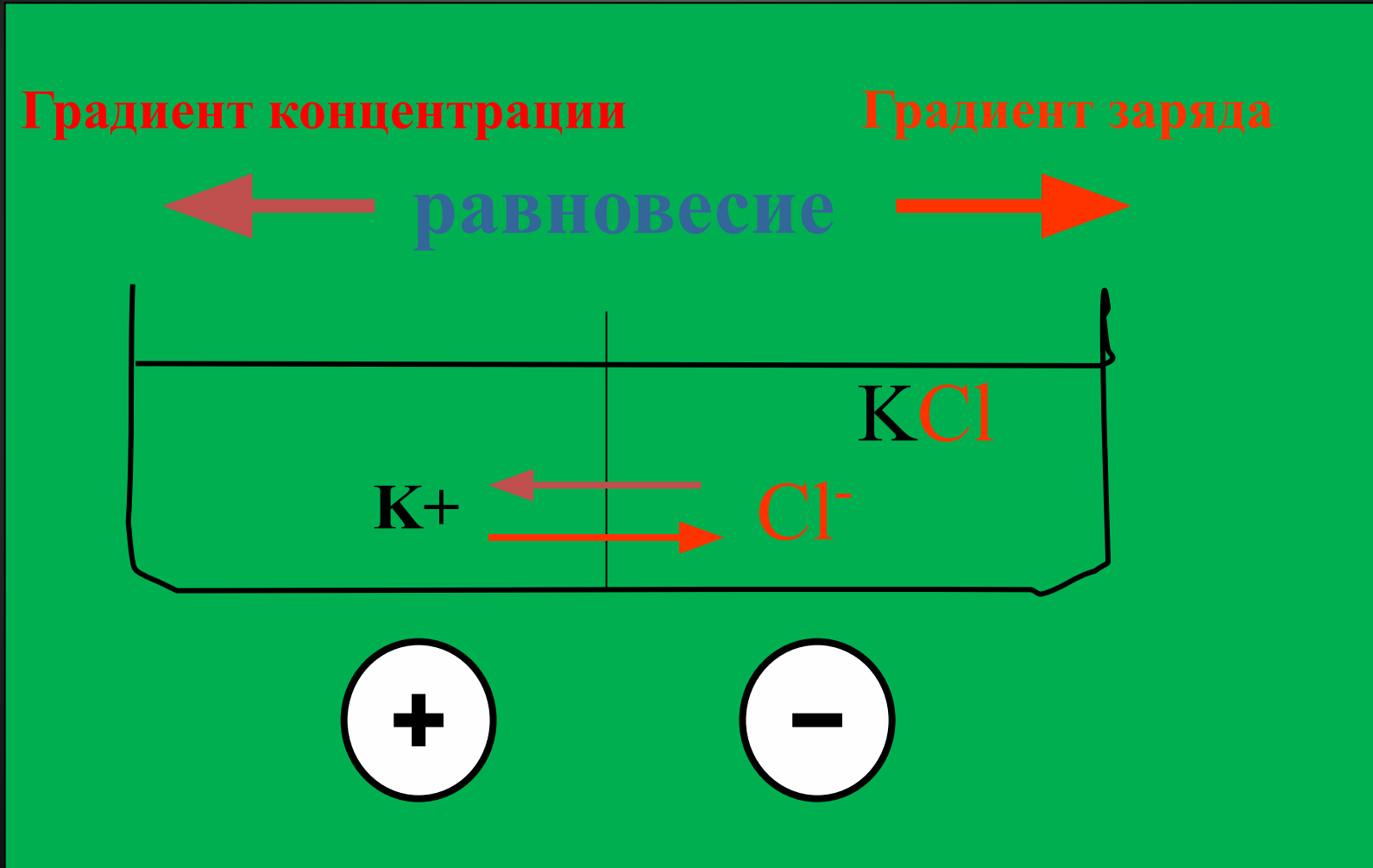


$$V = \frac{Q}{C}$$

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

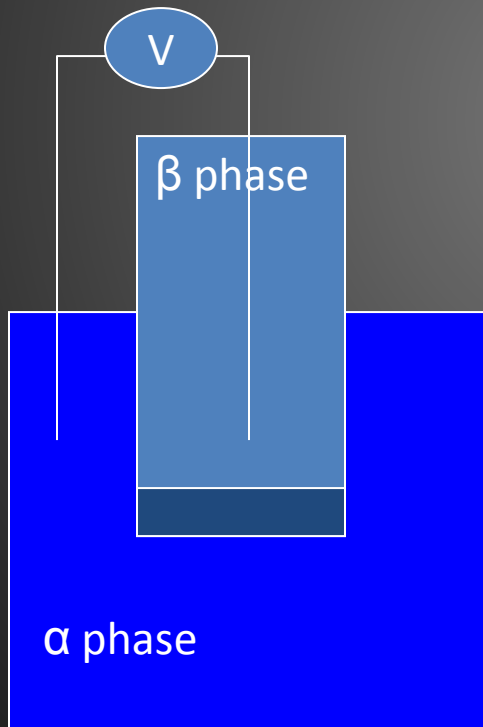
z – валентность иона,

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

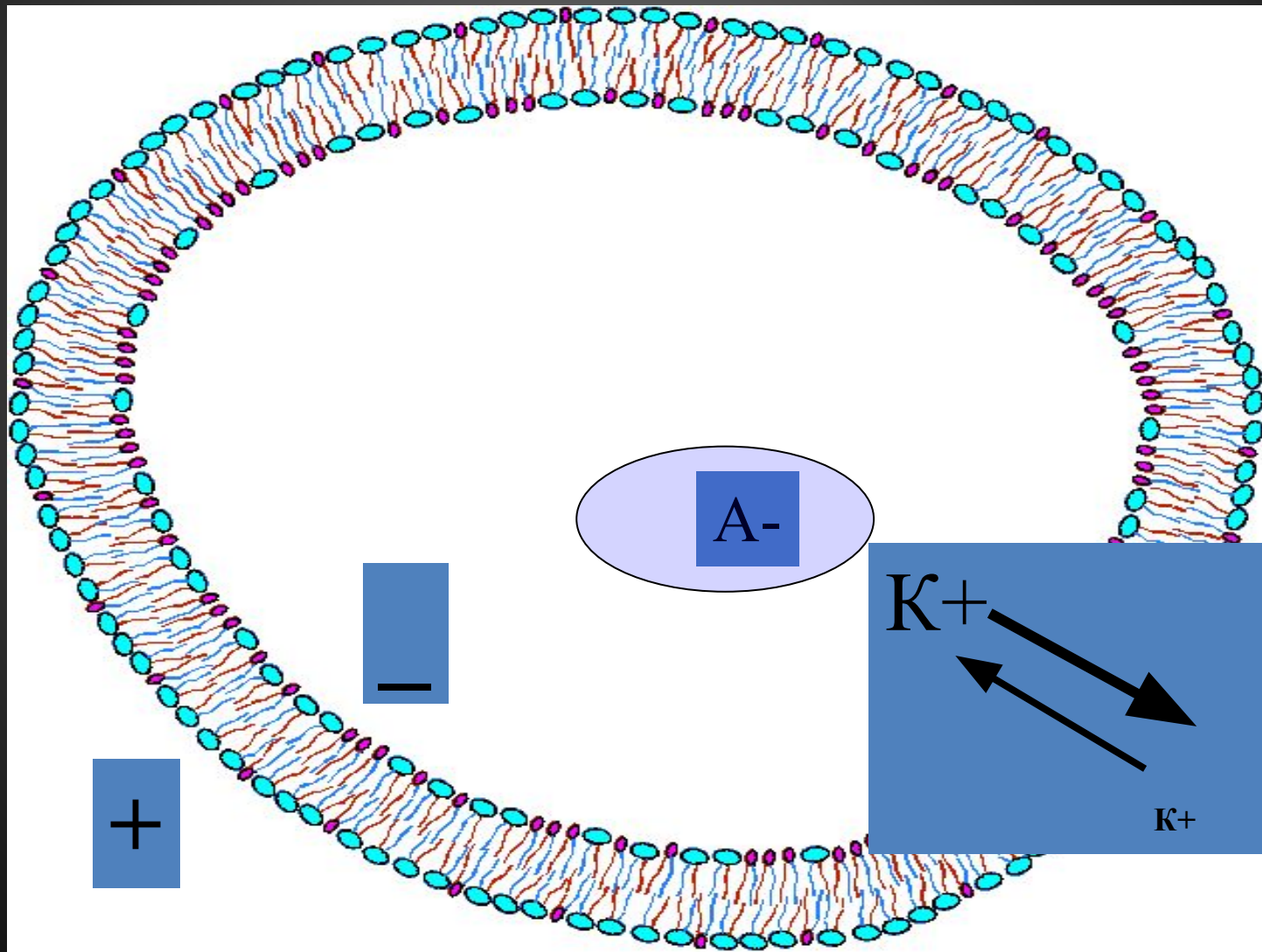
$E_K = -85$ мв при K^+ соотношении 1\30

Мембранный потенциал

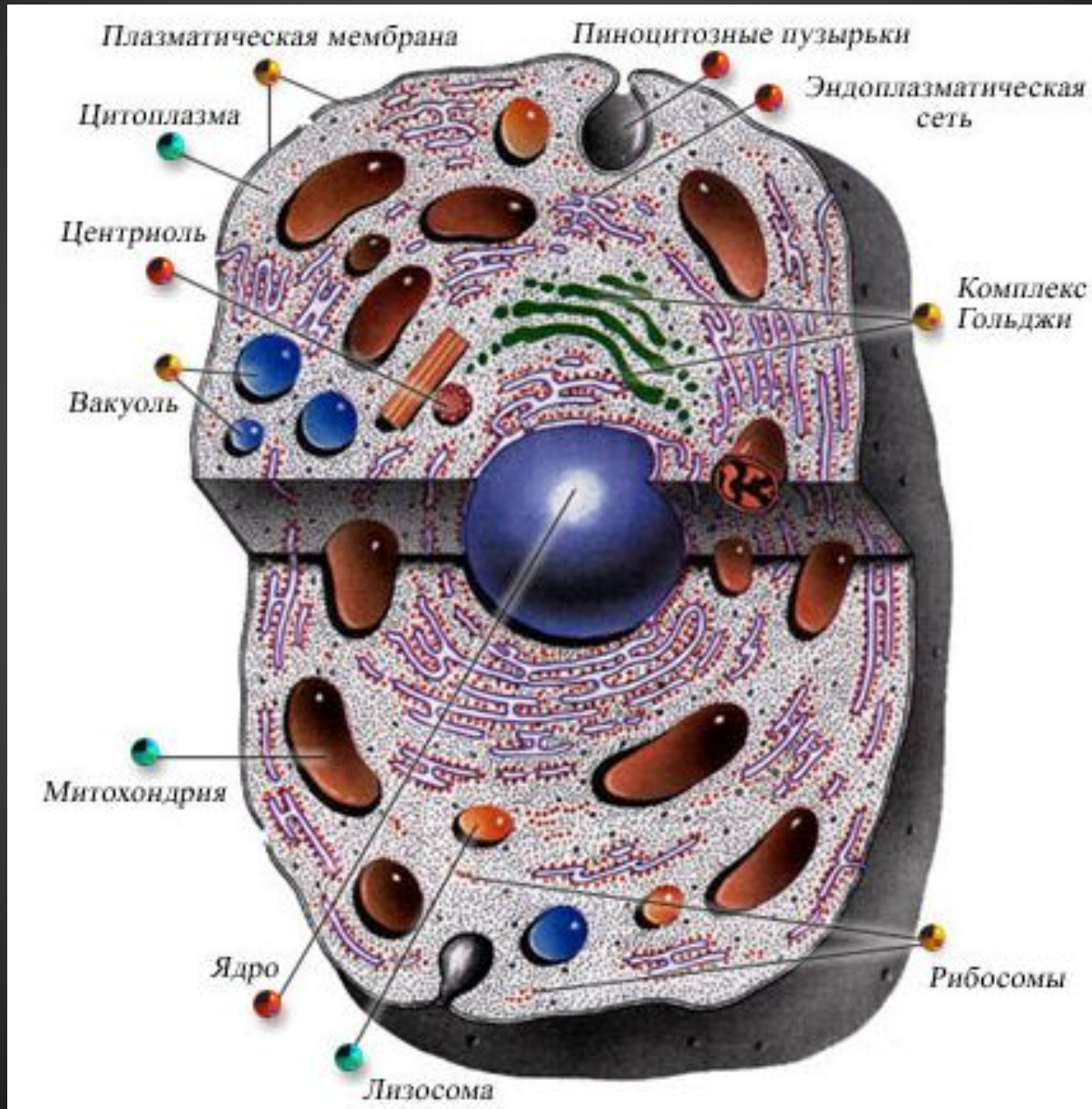
$$E_{\text{membrane}} = \frac{-\mu_A^\alpha}{z_A F} + \frac{RT 2.303}{z_A F} \log \frac{a_A^\alpha}{a_A^\beta}$$



Фосфолипидная мицелла – синтетический прообраз клетки

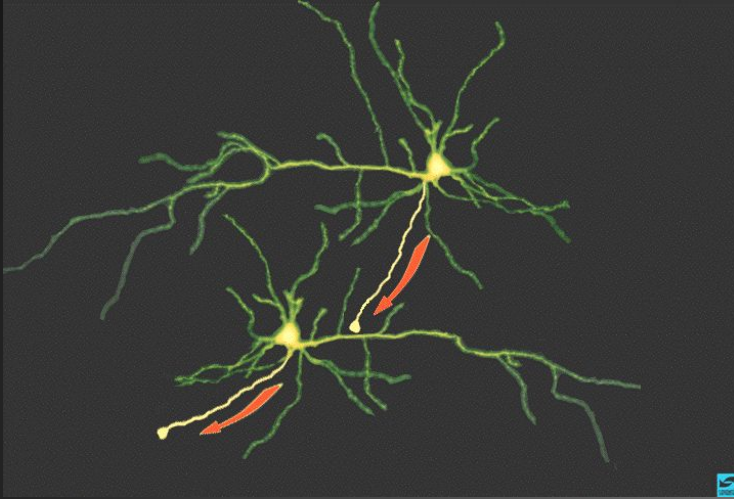


Строение клетки

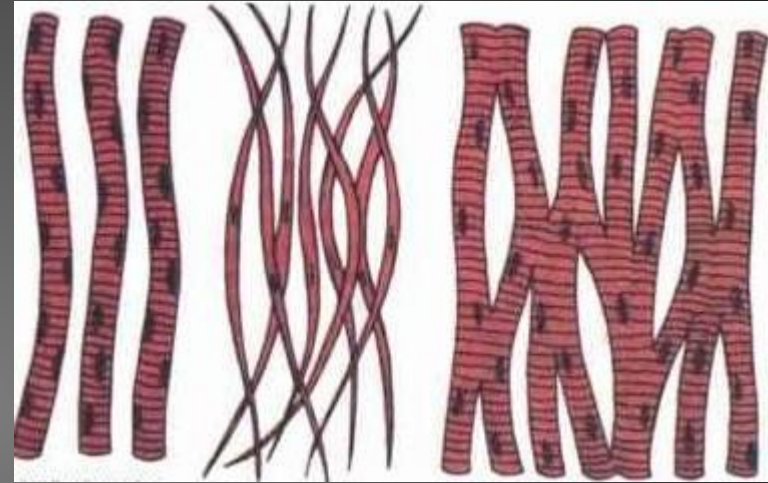


Типы возбудимых клеток

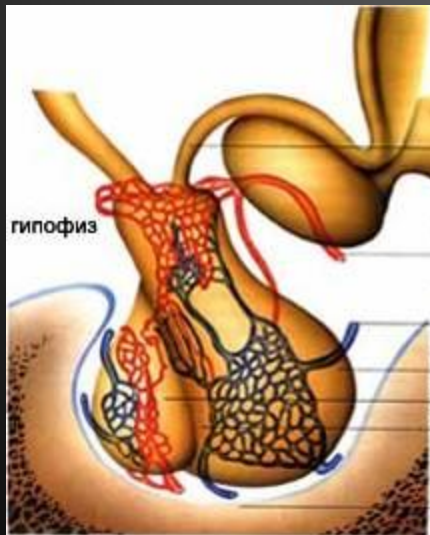
Нейроны



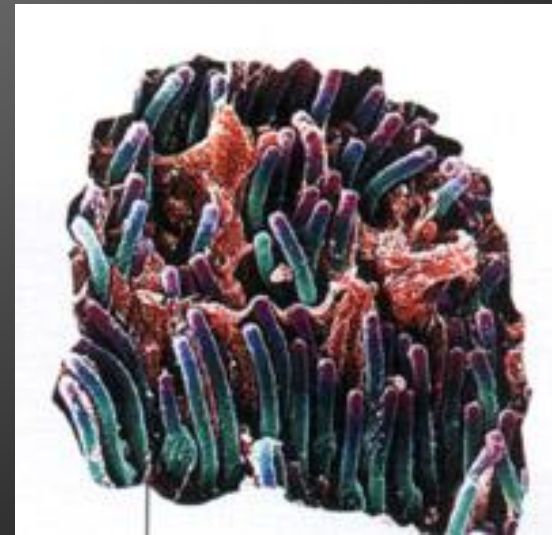
Мышечные клетки



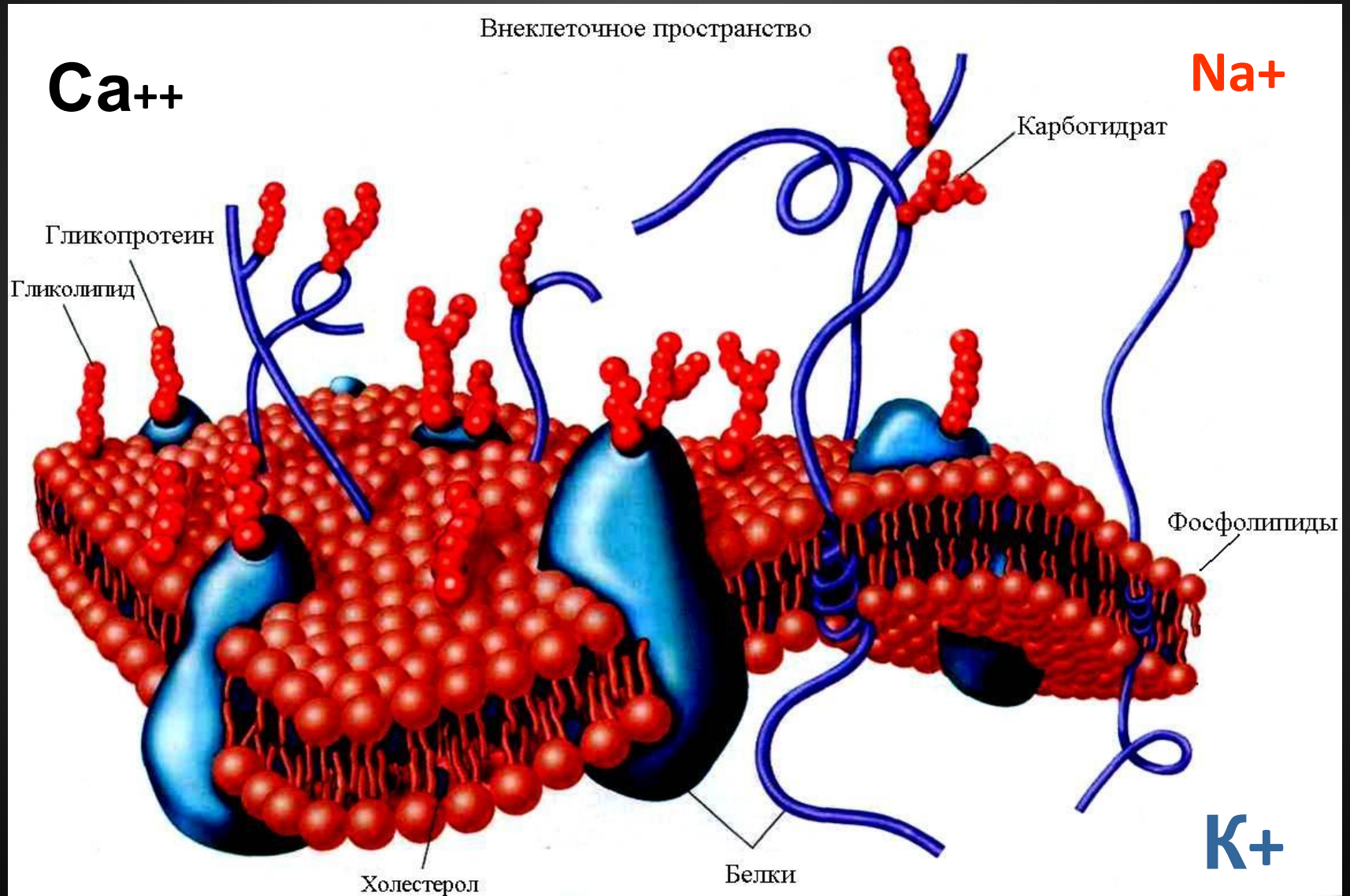
Секреторные клетки



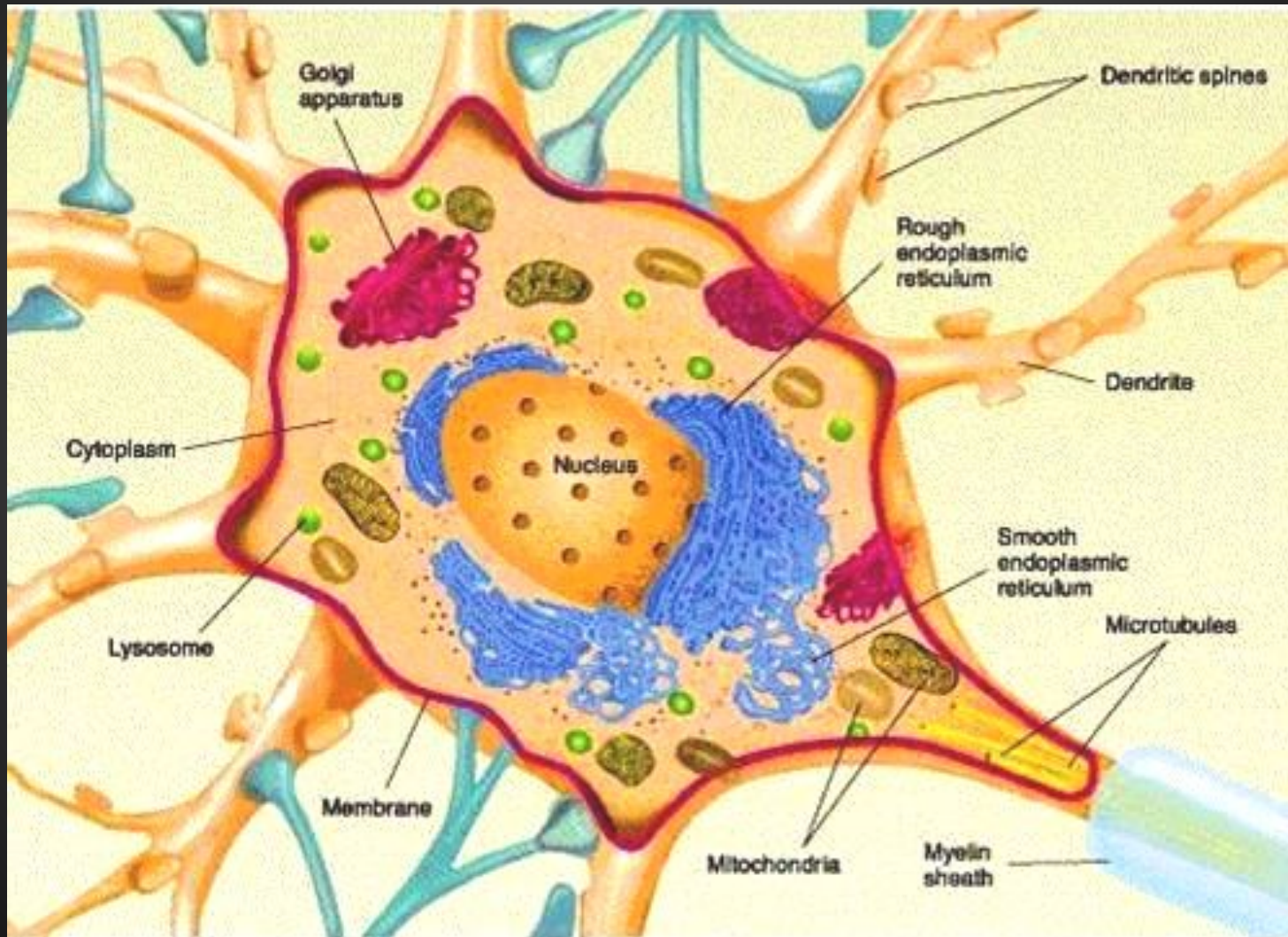
Рецепторные клетки

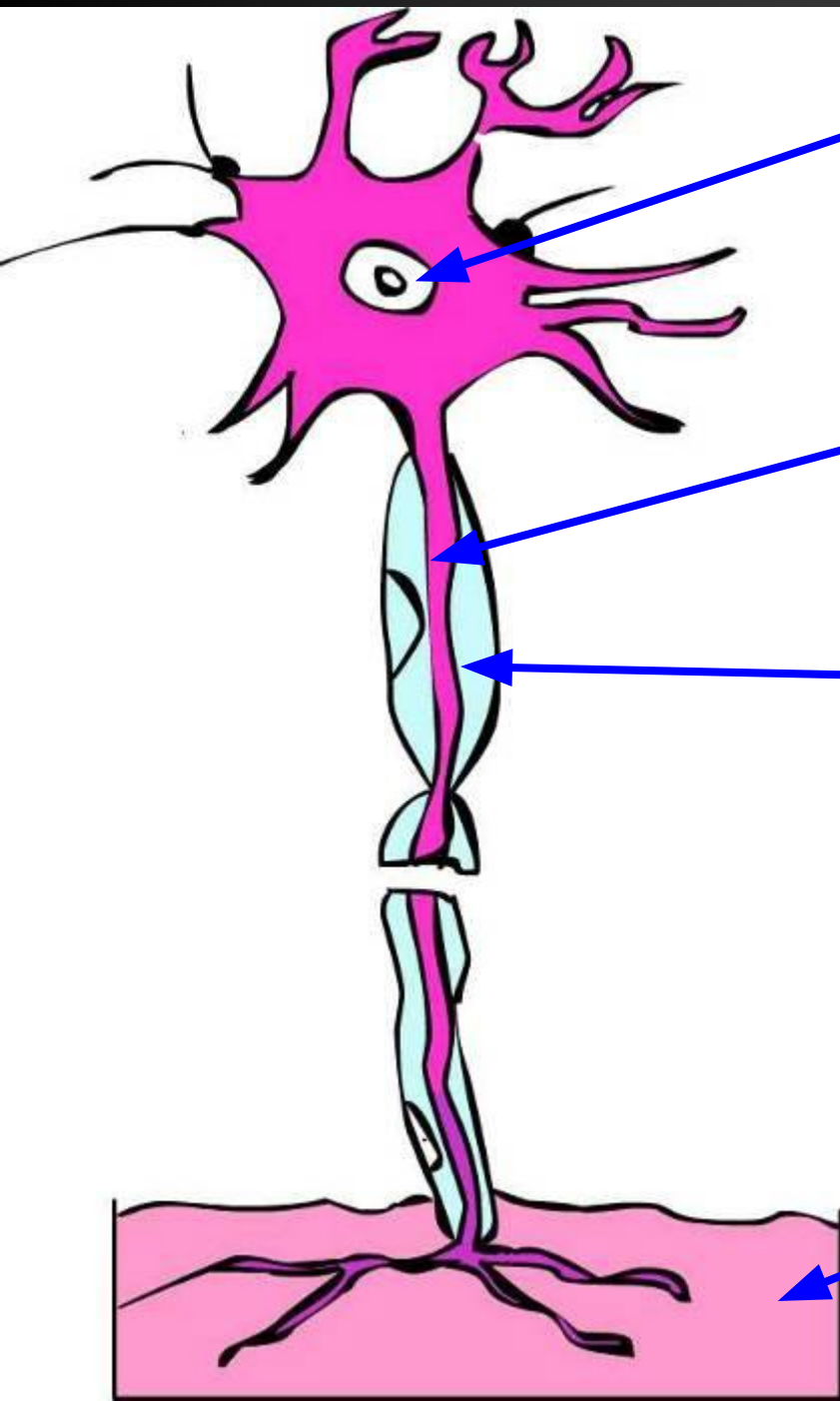


Мембрана живой клетки



Особенности строения нейрона



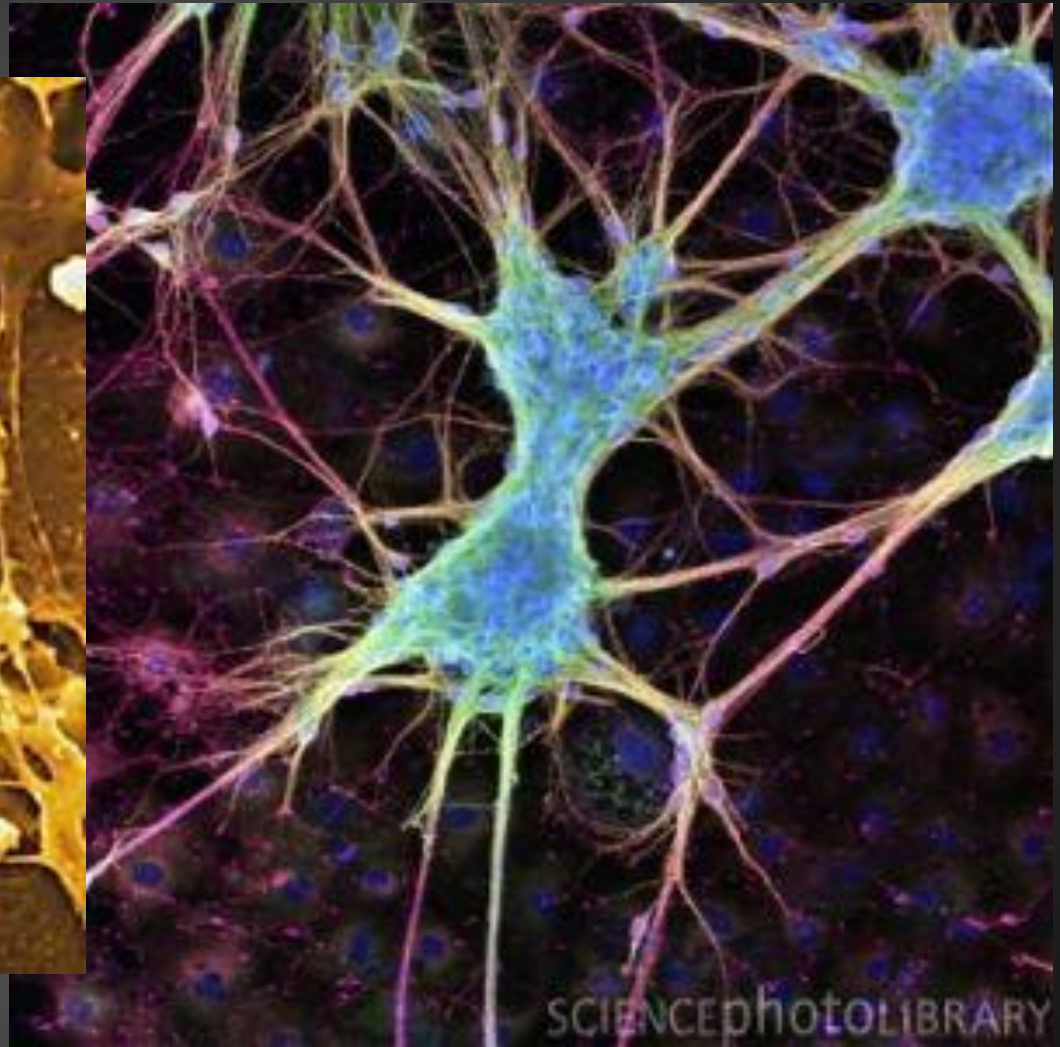


ядро клетки

вытянутый
отросток (аксон)

миелиновая
оболочка

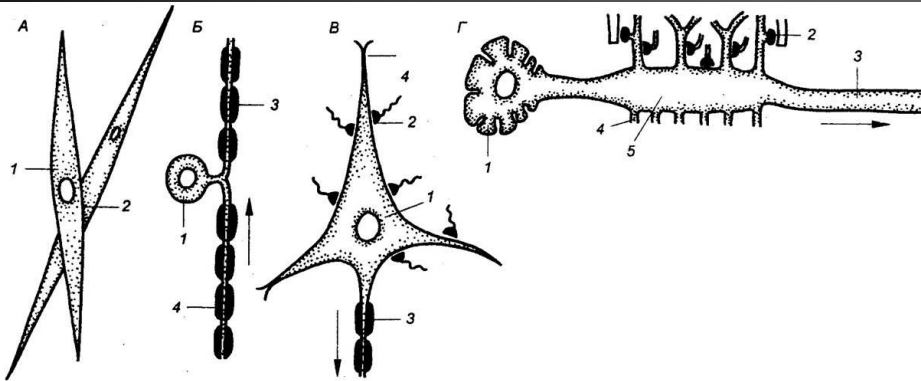
мышечное
волокно



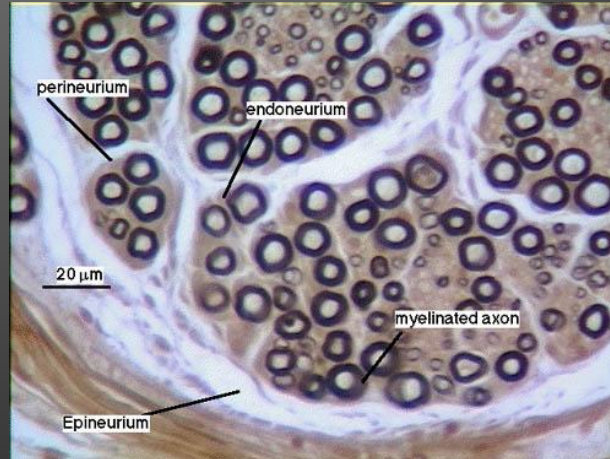
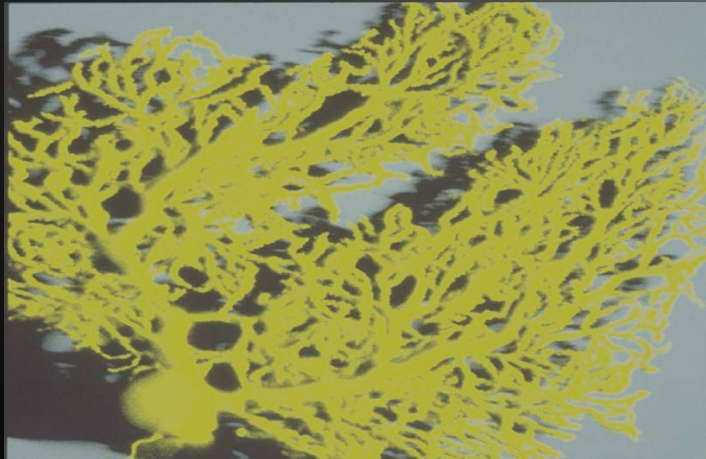
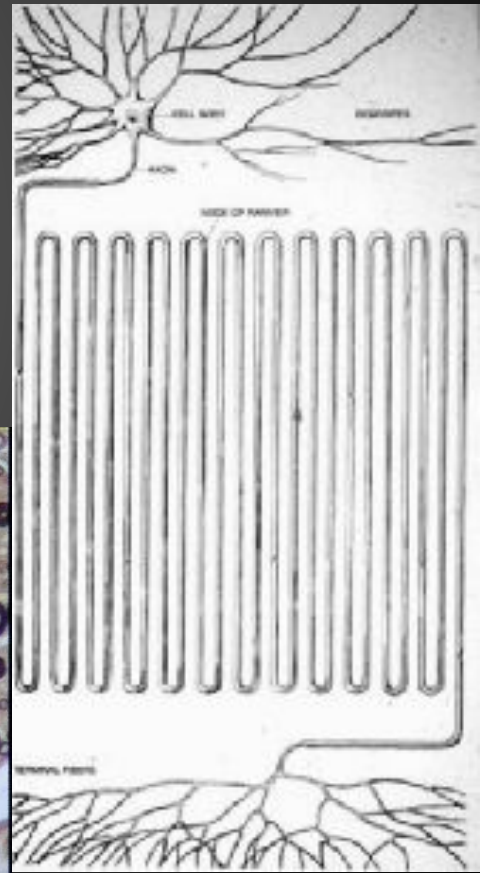
**Строение
нейрона**

Виды нейронов

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

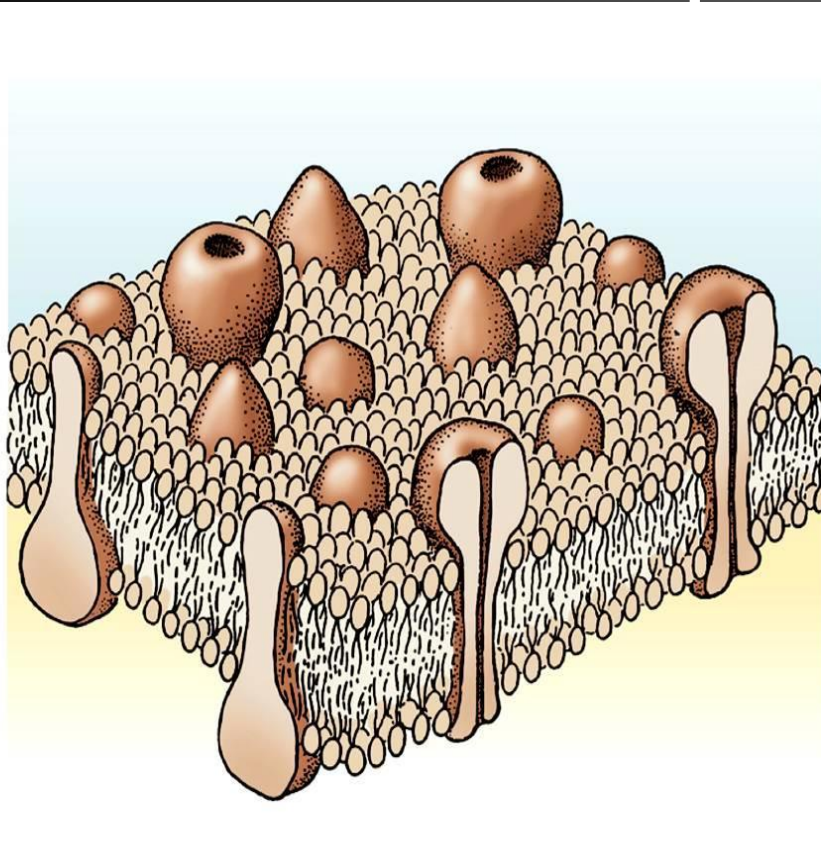


Срез
нервного волокна



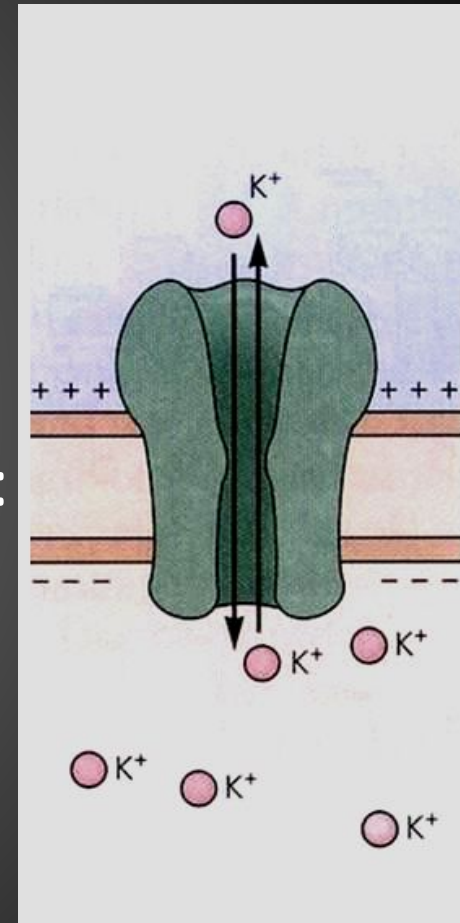
*Мембранный
потенциал*

Проницаемость обеспечена ионными каналами мембраны



1-1000 каналов на квадратный
микромметр мембраны

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





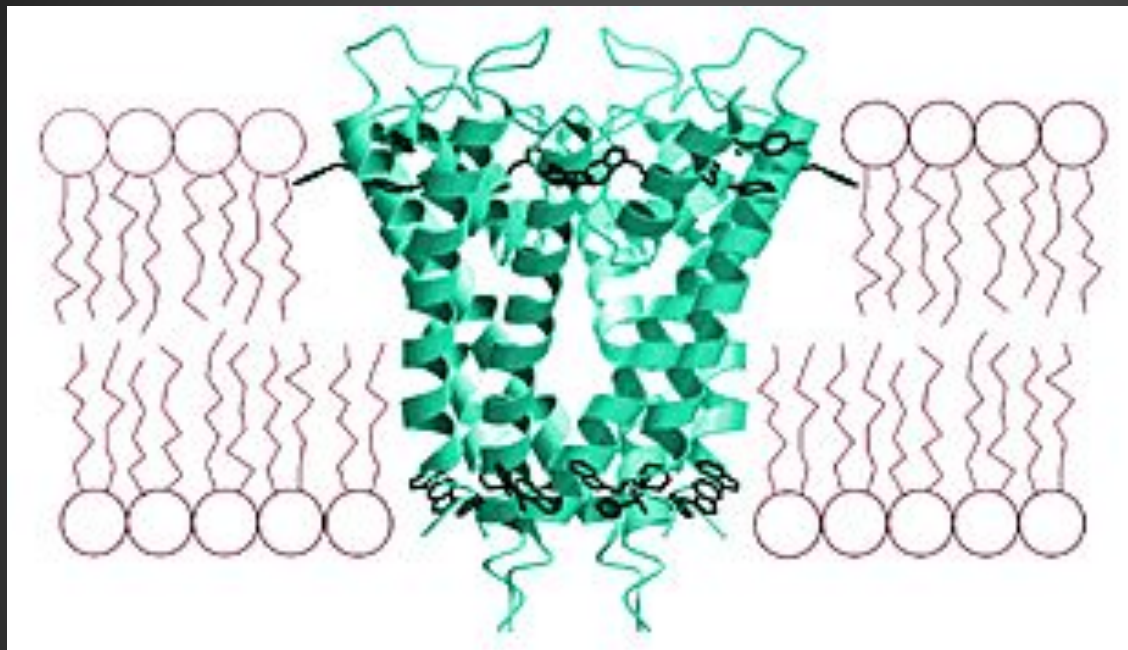
Нобелевская премия 1991 года в области физиологии и медицины



Эрвин Нейер и Берт Сакманн

«за открытия в области работы одиночных ионных каналов»

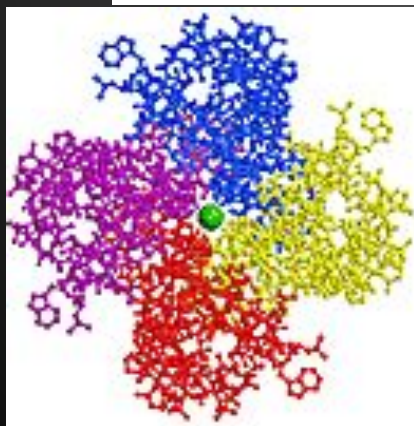
Ионные каналы в клеточных мембранах



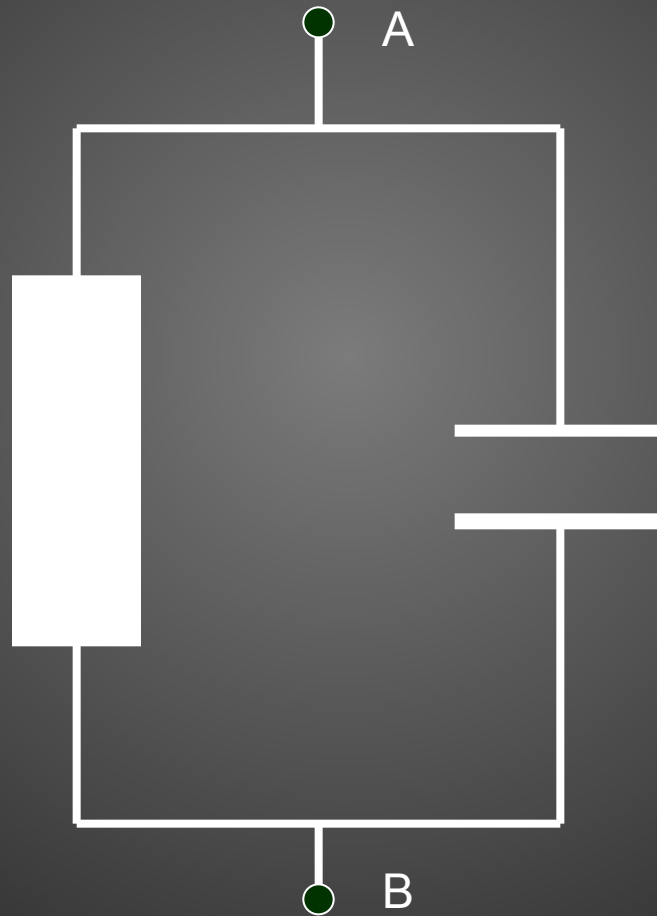
Roderick MacKinnon

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 pK

$pCa_{++} = 0$

Ca^{++}



Na^+

GLYCOLIPID

ALPHA-HELIX PROTEIN

OLIGOSACCHARIDE SIDE CHAIN

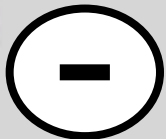
PHOSPHOLIPID

GLOBULAR PROTEIN

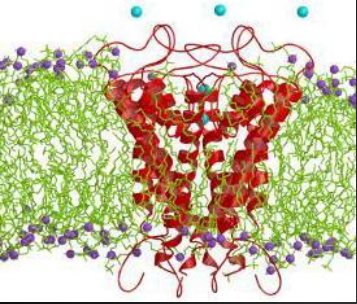
HYDROPHOBIC SEGMENT OF ALPHA-HELIX PROTEIN

CHOLESTEROL

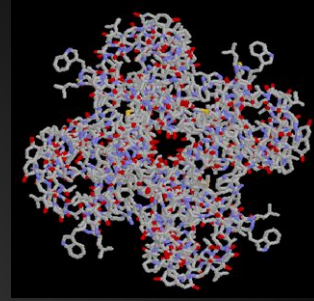
Cl^-



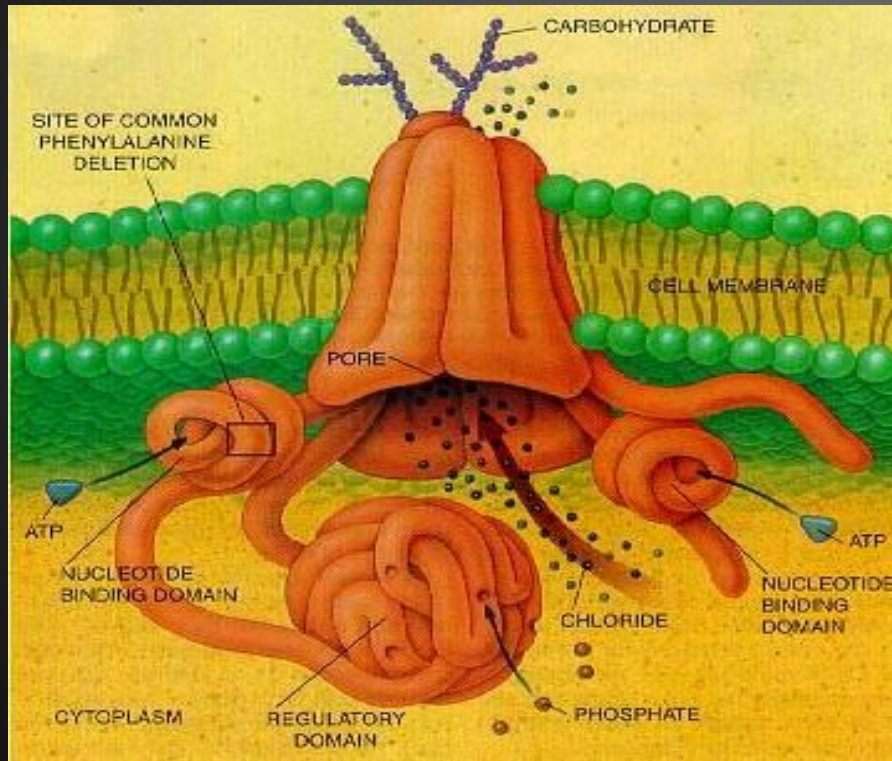
K^+



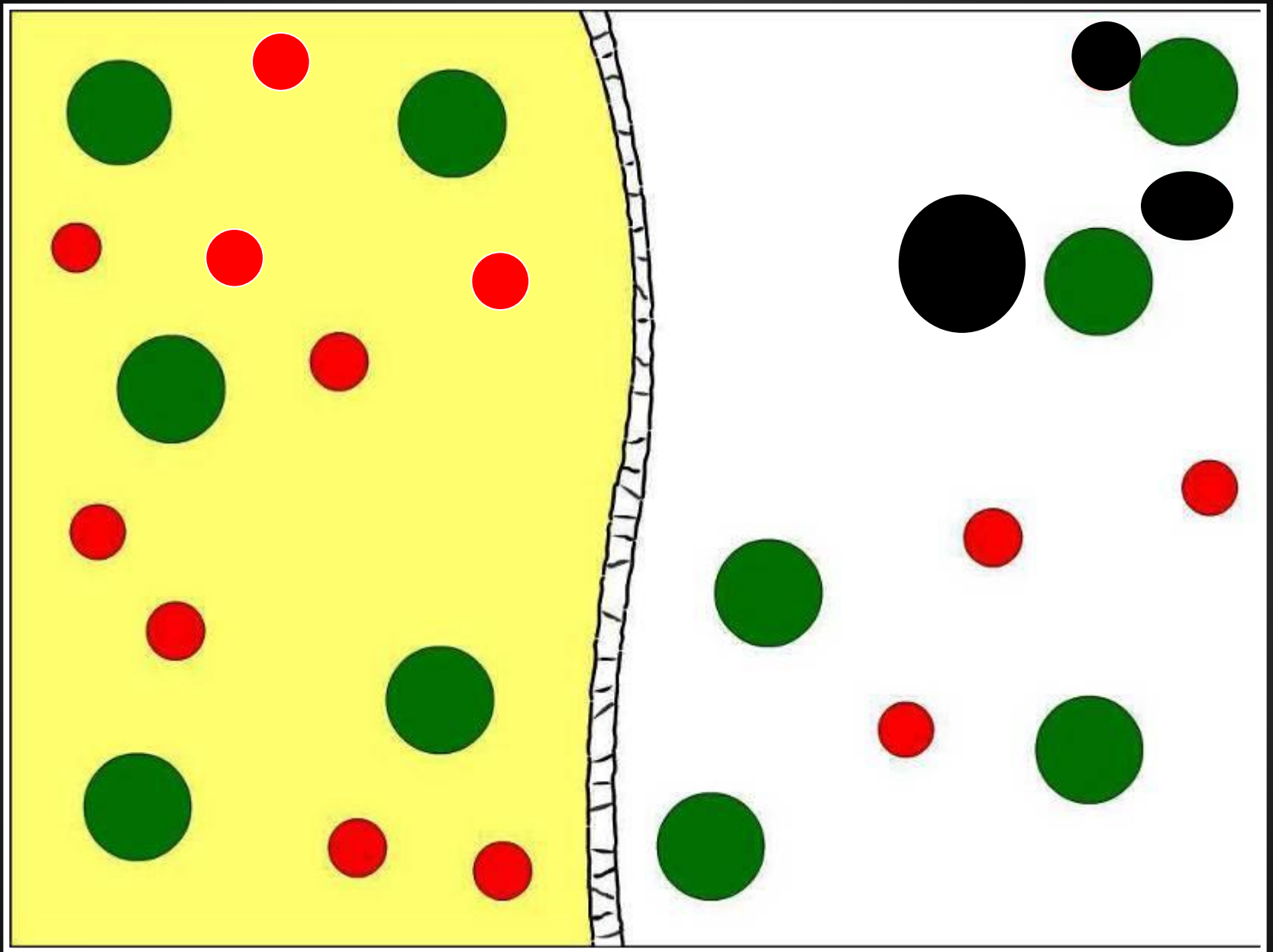
Белковая структура канала:
4 домена из 6 сегментов каждый

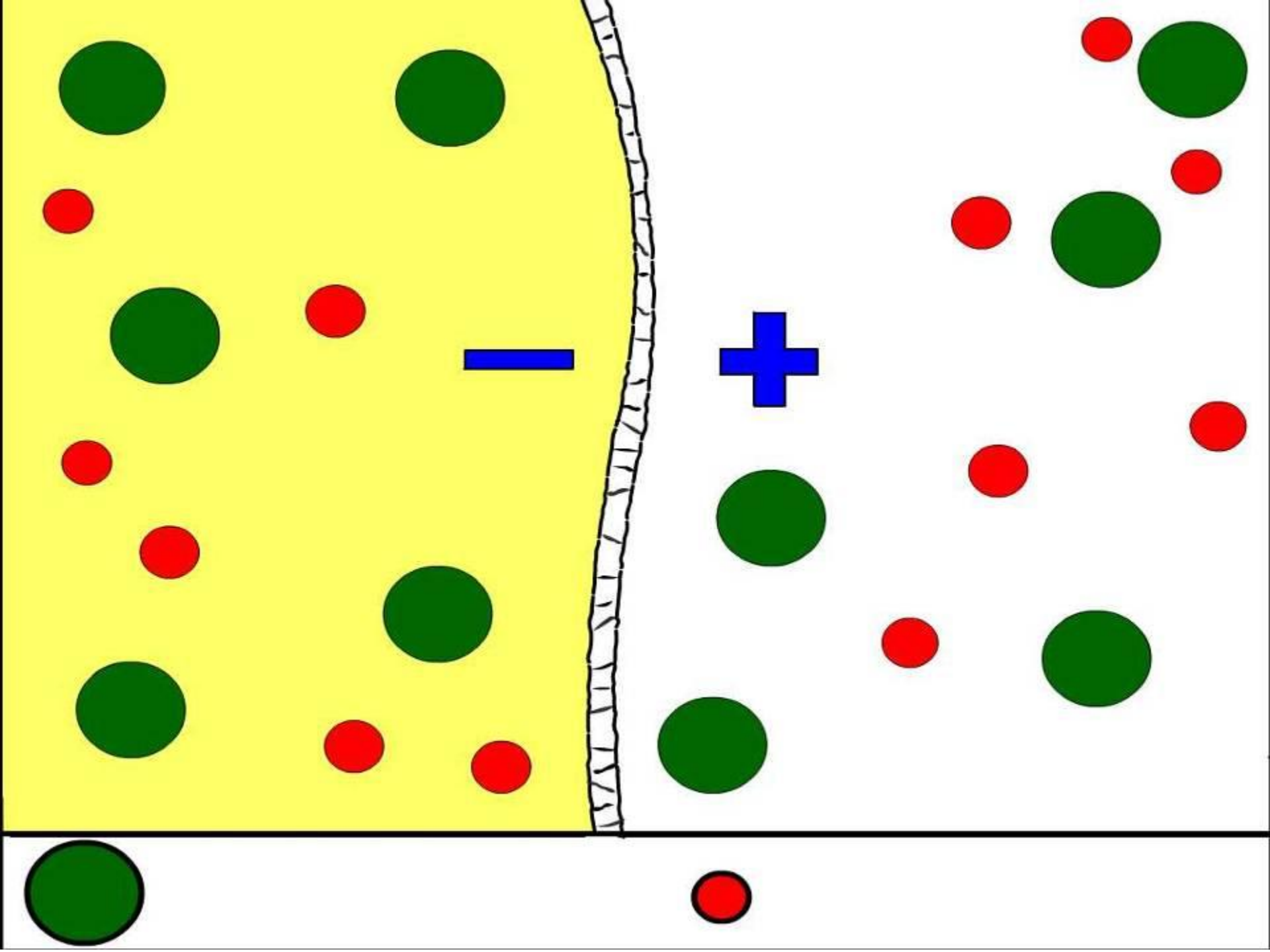


Структура Cl⁻ канала



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

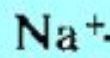
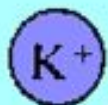
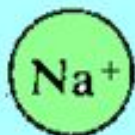
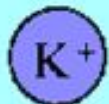
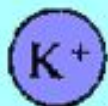
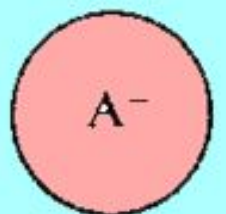
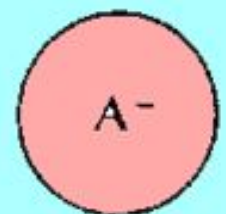
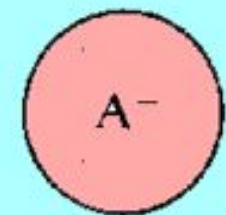




Внутренняя среда

Мембрана

Наружная среда

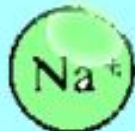
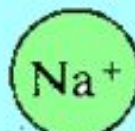
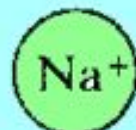


+

+

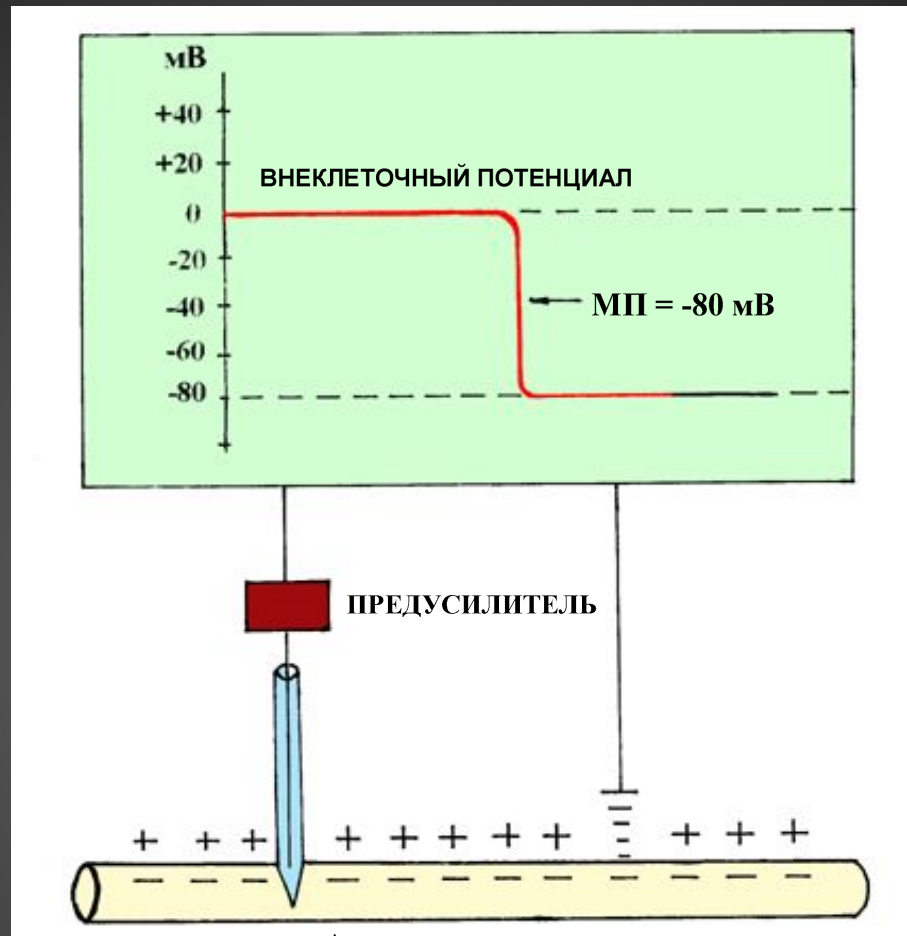
+

+



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
вн - калий внутриклеточный

Равновесные потенциалы (E)

Движущая сила (V- E)

К-каналы

-95 K+

Na-каналы

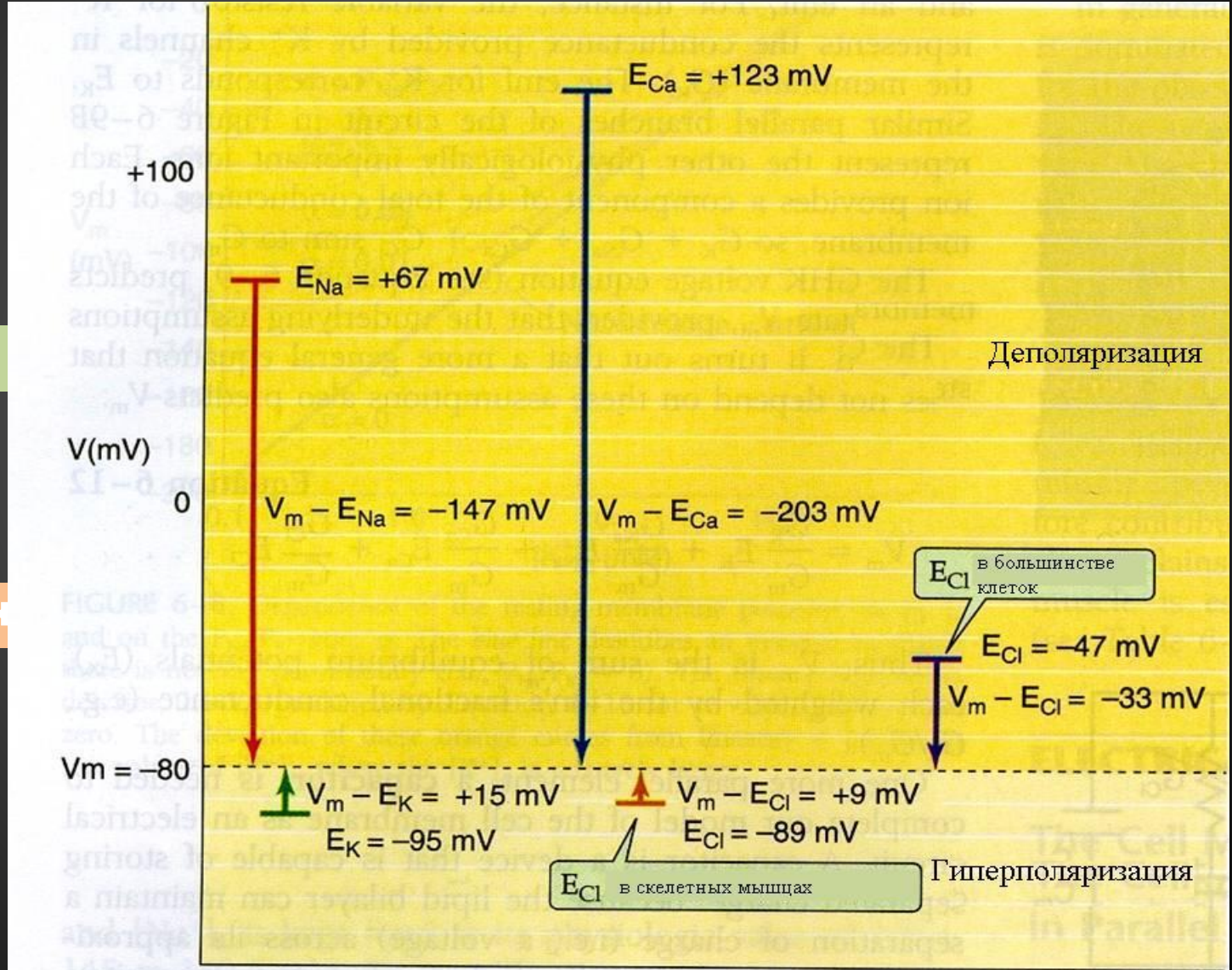
+67 Na+

Ca-каналы

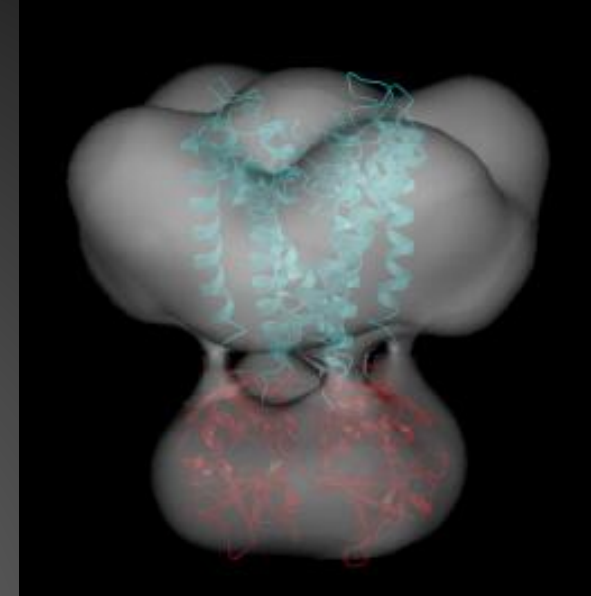
+123 Ca++

Cl-каналы

-89 - 47 Cl-



Молекулярные механизмы активации и инактивации у большинства каналов общие

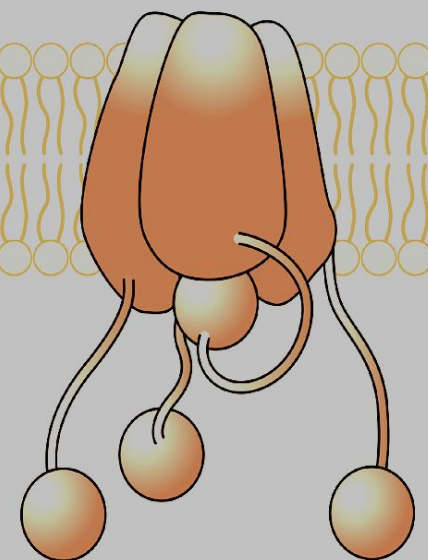
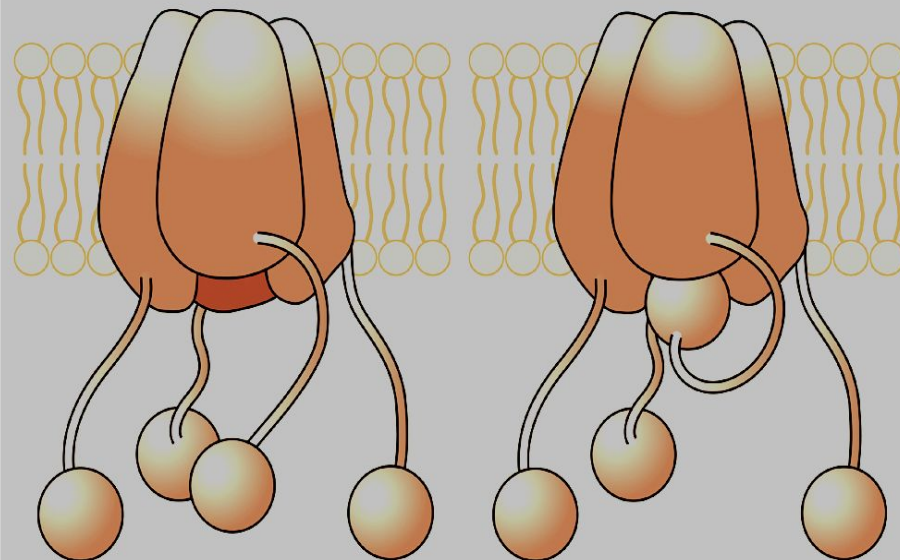
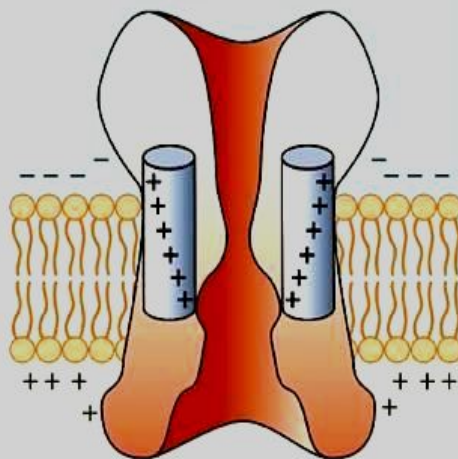
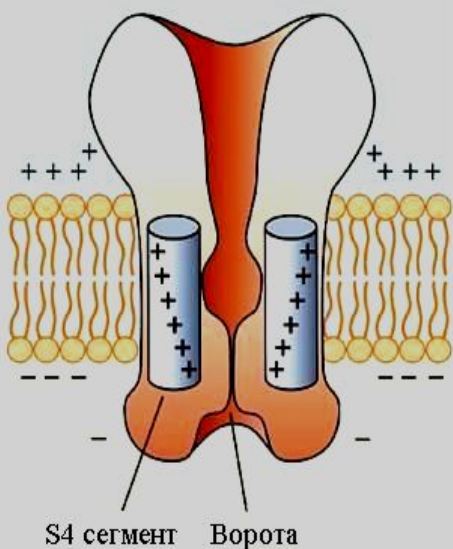


(A)

(B)

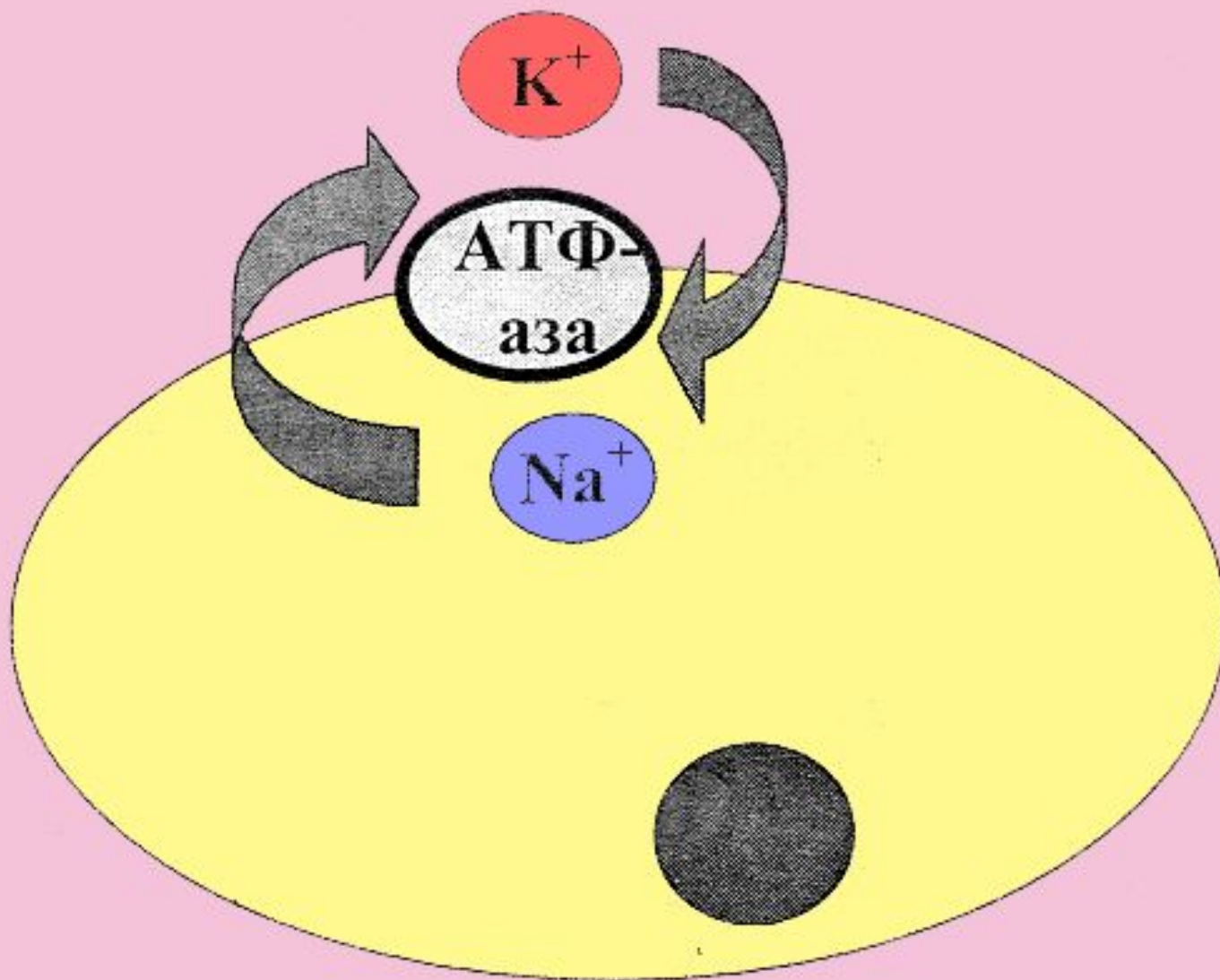
(A)

(B)



Цитоплазма

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

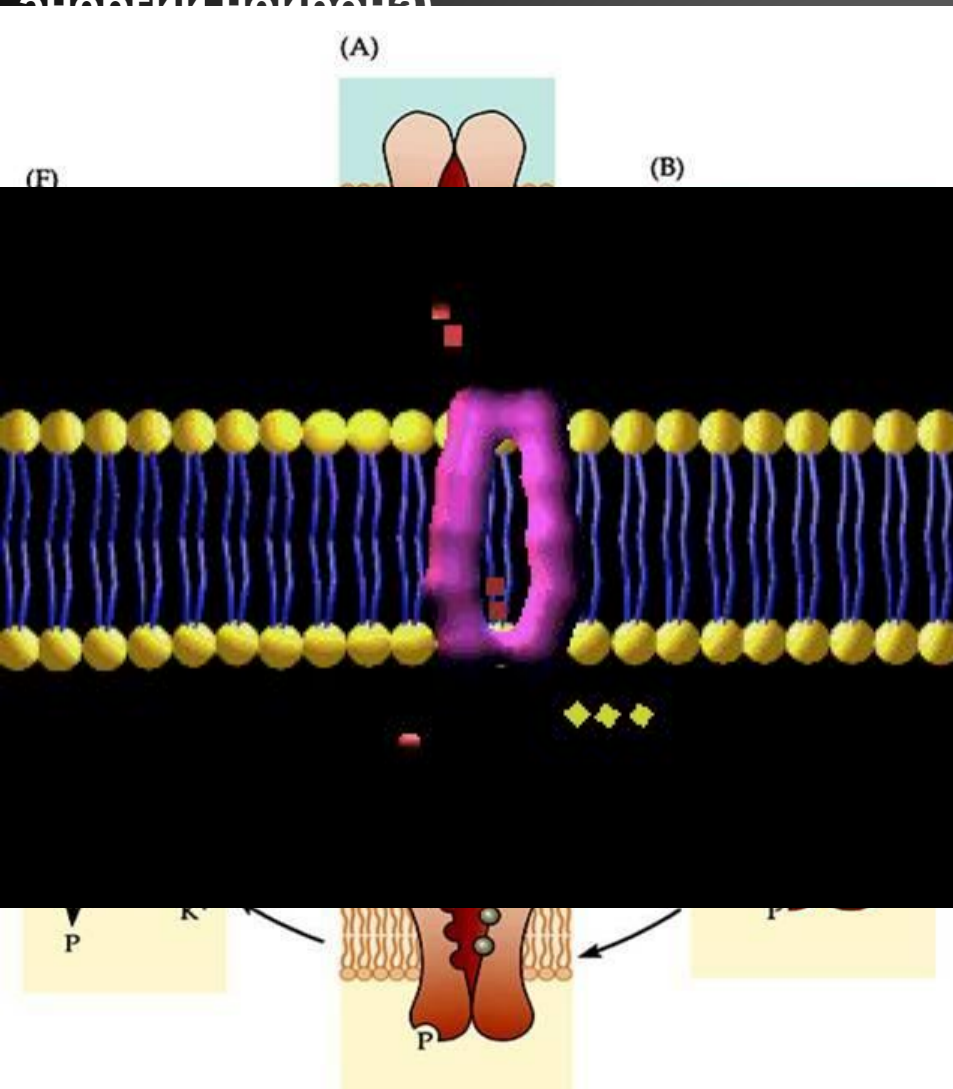


Создание градиента концентрации:

1. Na-K АТФ-аза

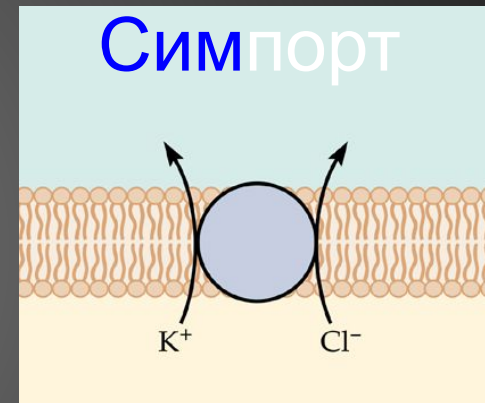
2. ионные обменники

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

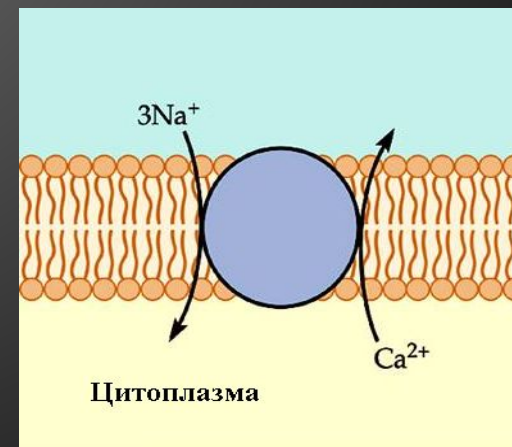


а.

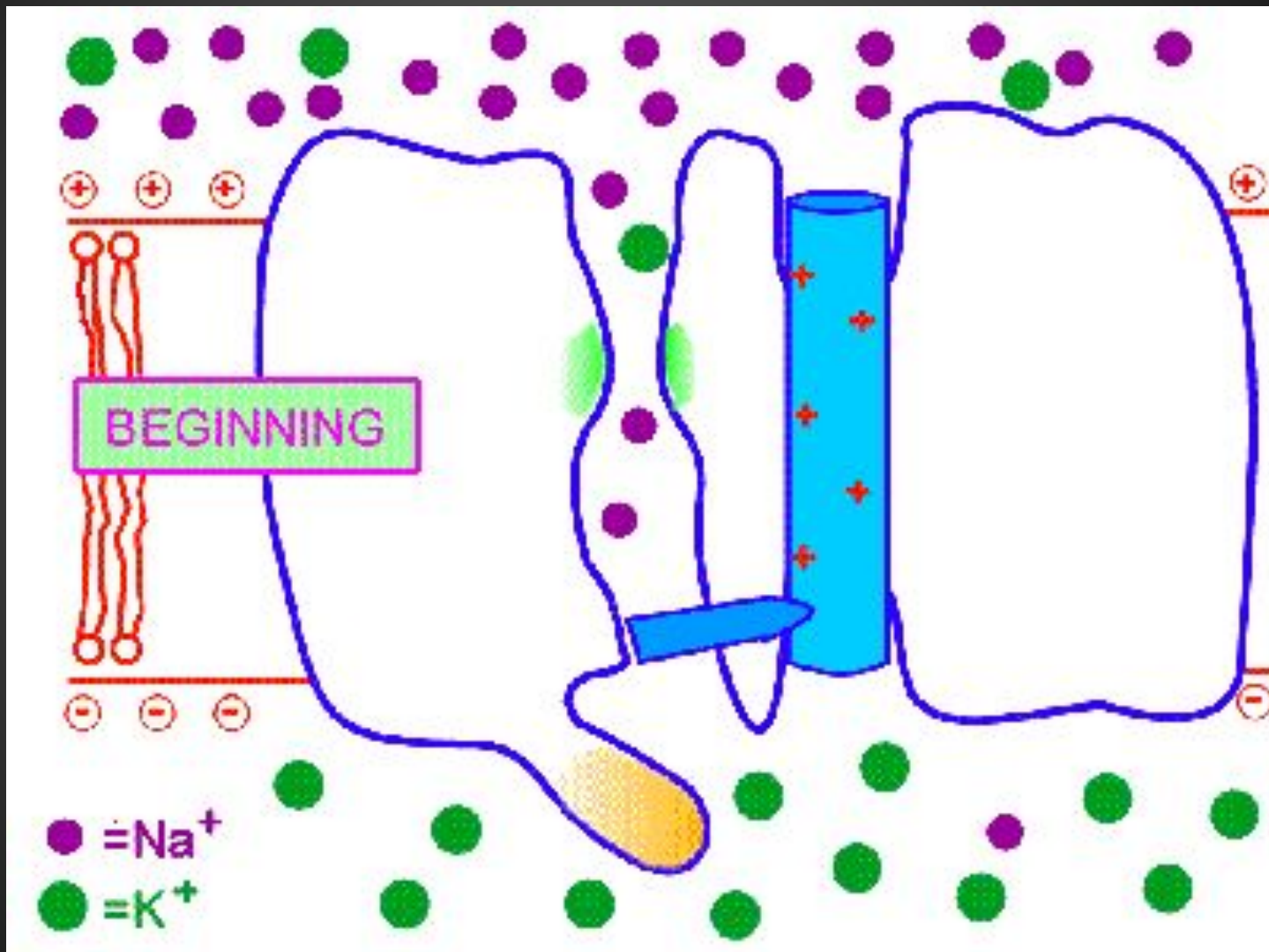
Симпорт



б.



Транспорт ионов через клеточные мембраны



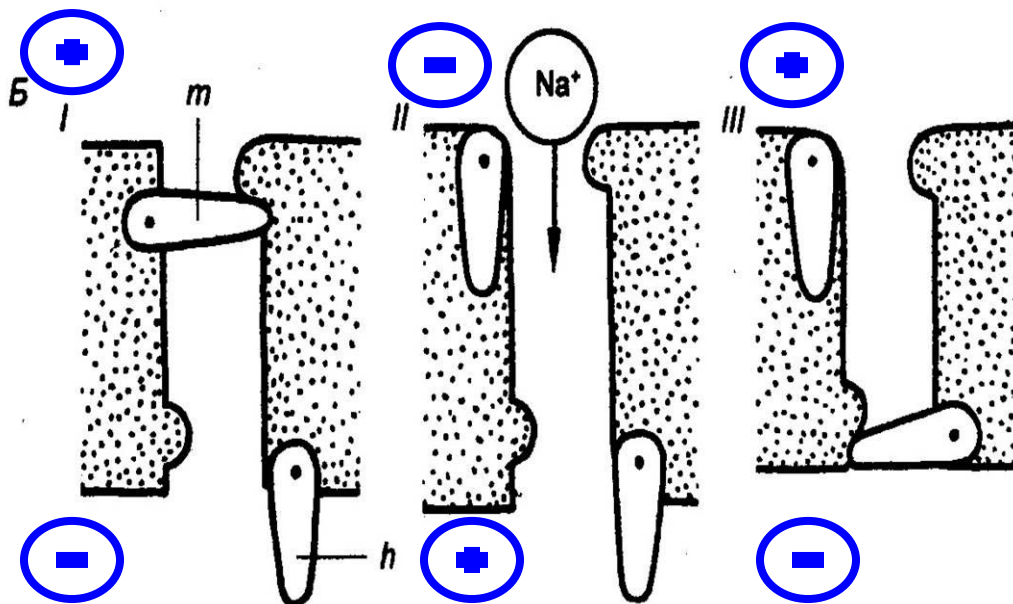
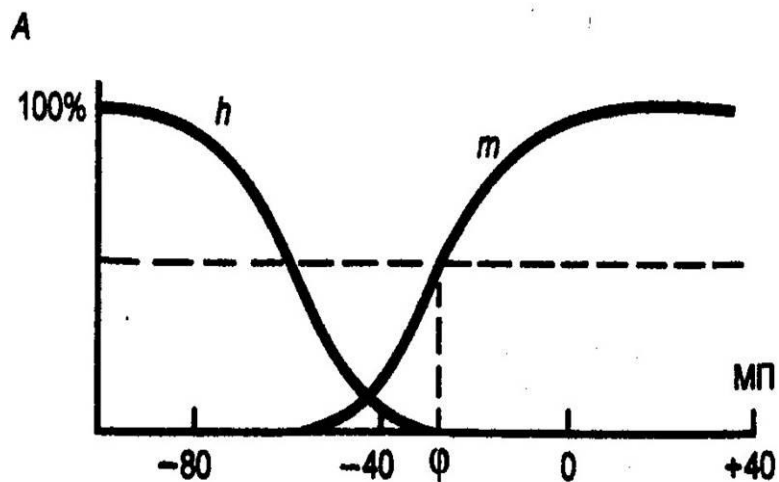
Канал имеет воротный механизм

Динамика открытия ворот

1

2

3



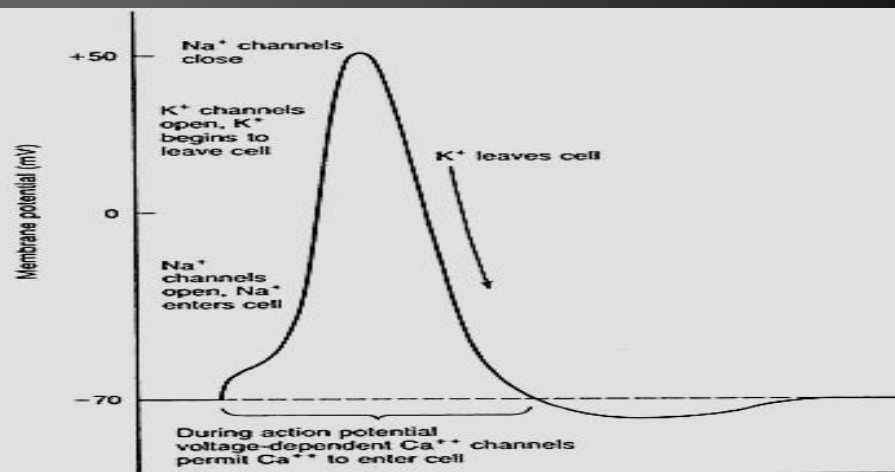
1- покой

2-деполяризация

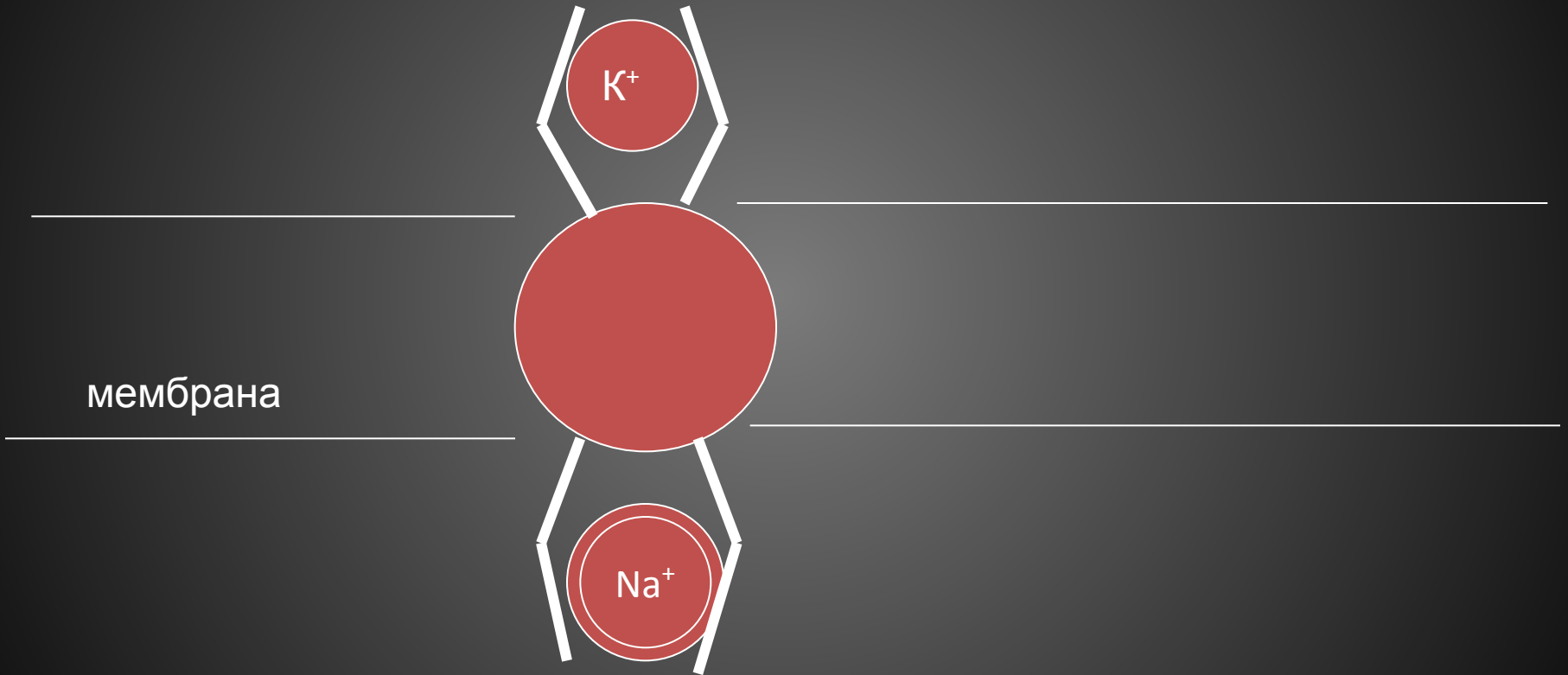
Зрефрактерность

За один ПД входит в клетку 10^{12} ионов Na^+

(рост внутриклеточной концентрации 0,7%)



- Захват активными центрами ионов калия и натрия
- Поворот белковой молекулы на 180° за счёт энергии АТФ



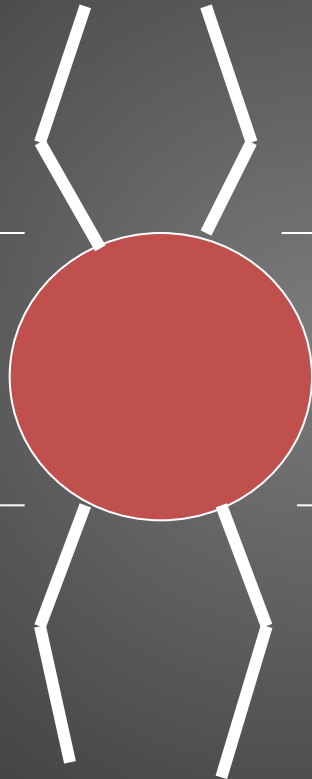
Выброс захваченных ионов, причём калий попадает внутрь клетки, а натрий выбрасывается наружу



мембрана



Молекула вновь
поворачивается на
180⁰ и готова к
захвату НОВЫХ
ИОНОВ



мембрана



Мембранный потенциал

Изменения мембранного потенциала покоя:

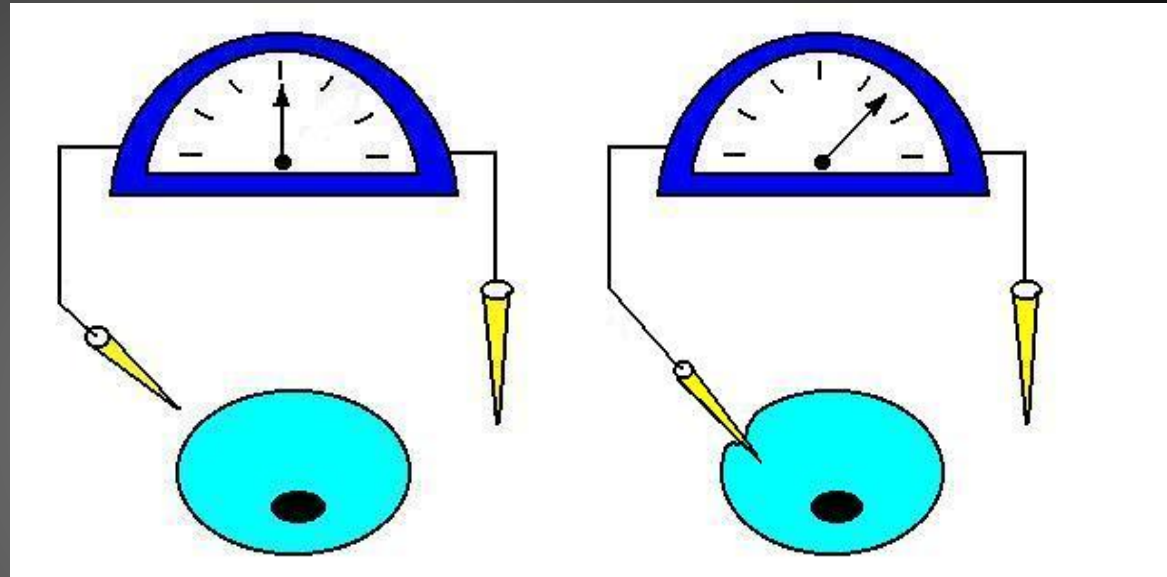
- 1. Деполяризация - уменьшение
- 2. Гиперполяризация- увеличение
- 3. Реполяризация - возвращение к

исходному уровню

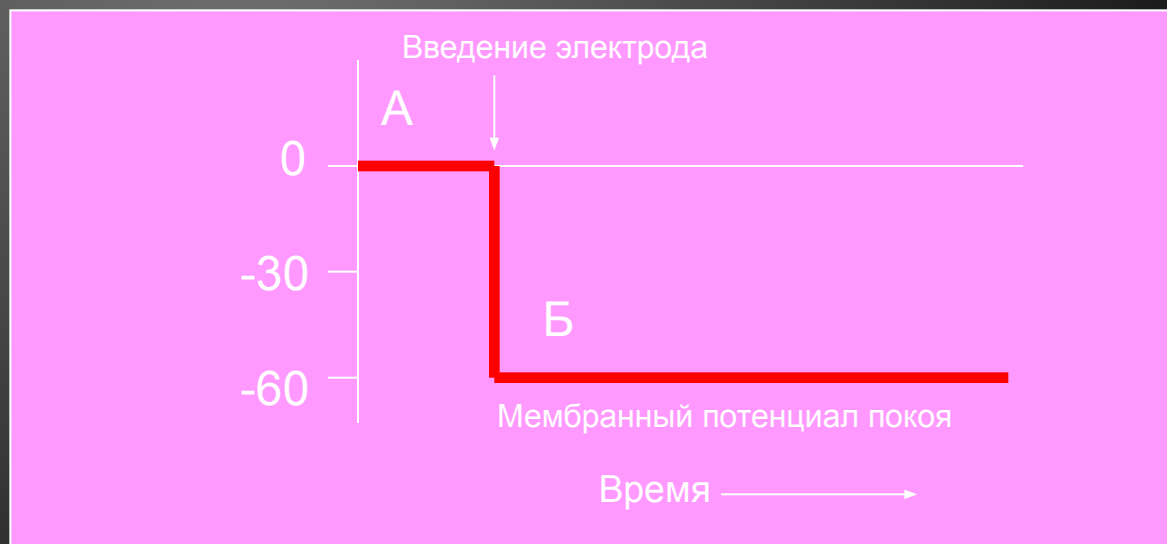


Мембранный потенциал

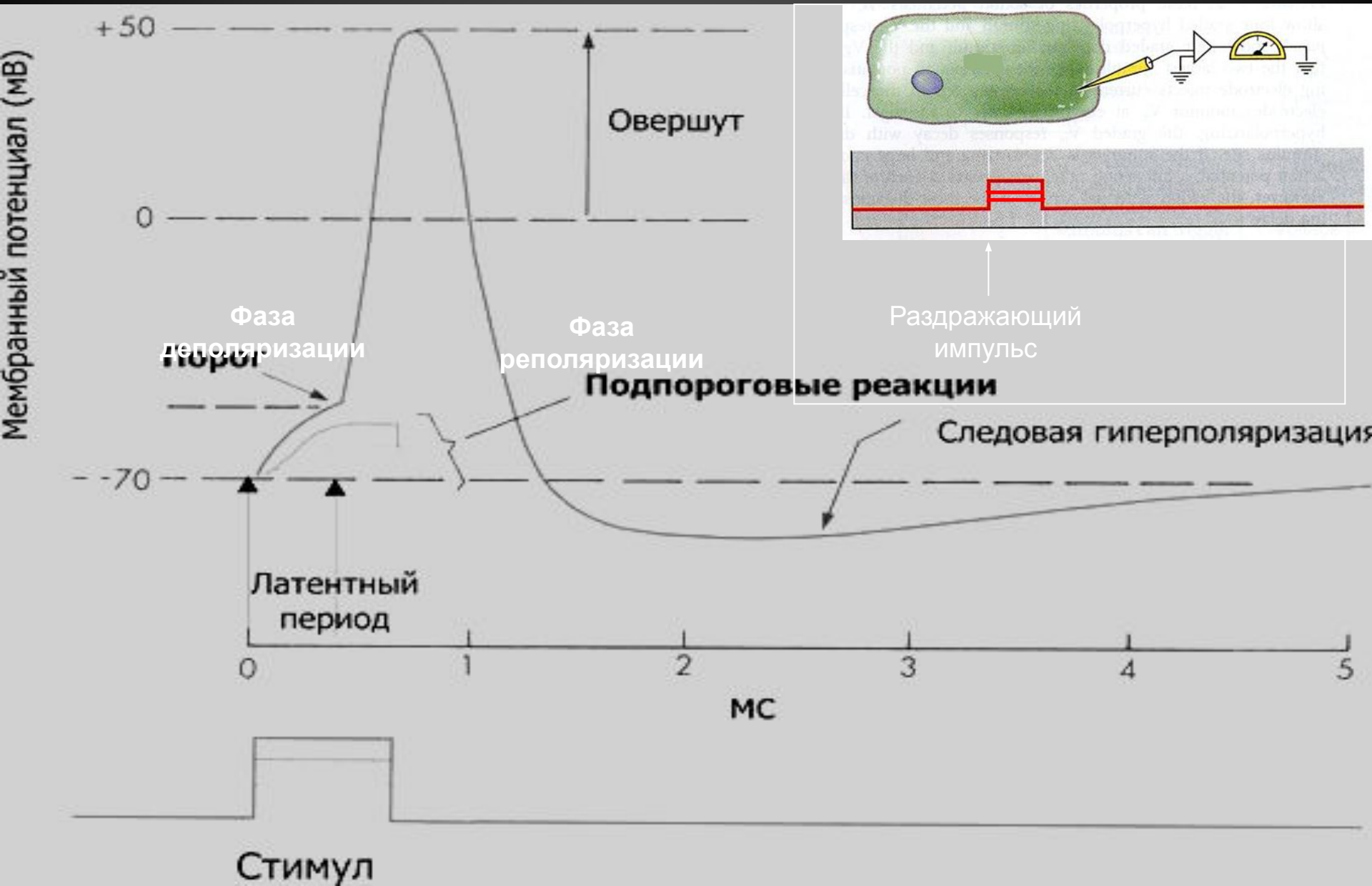
Внутриклеточная
микроэлектродная
регистрация



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



Потенциал действия



Фазы потенциала действия

1- порог (около 50 мВ, ток $Na > K$)

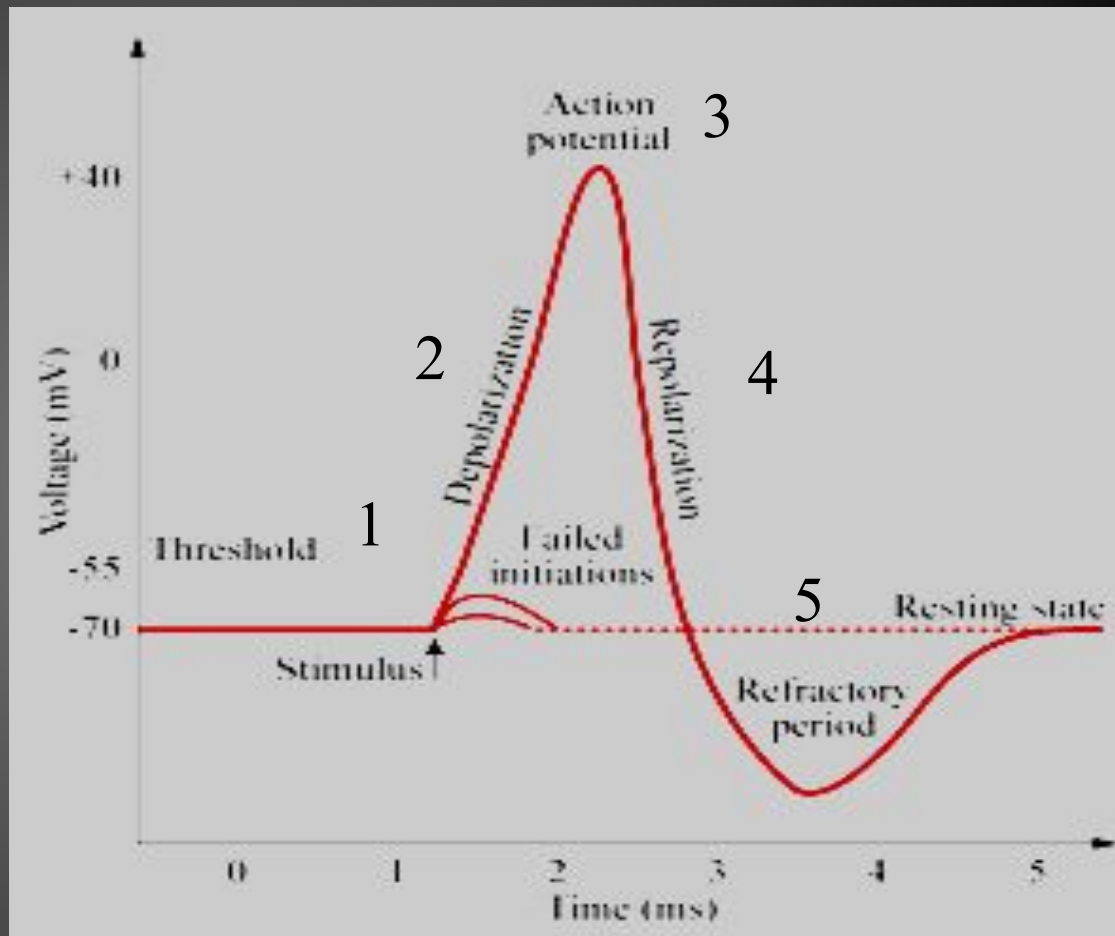
2- деполяризация 0,5 мс (вход Na)

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)

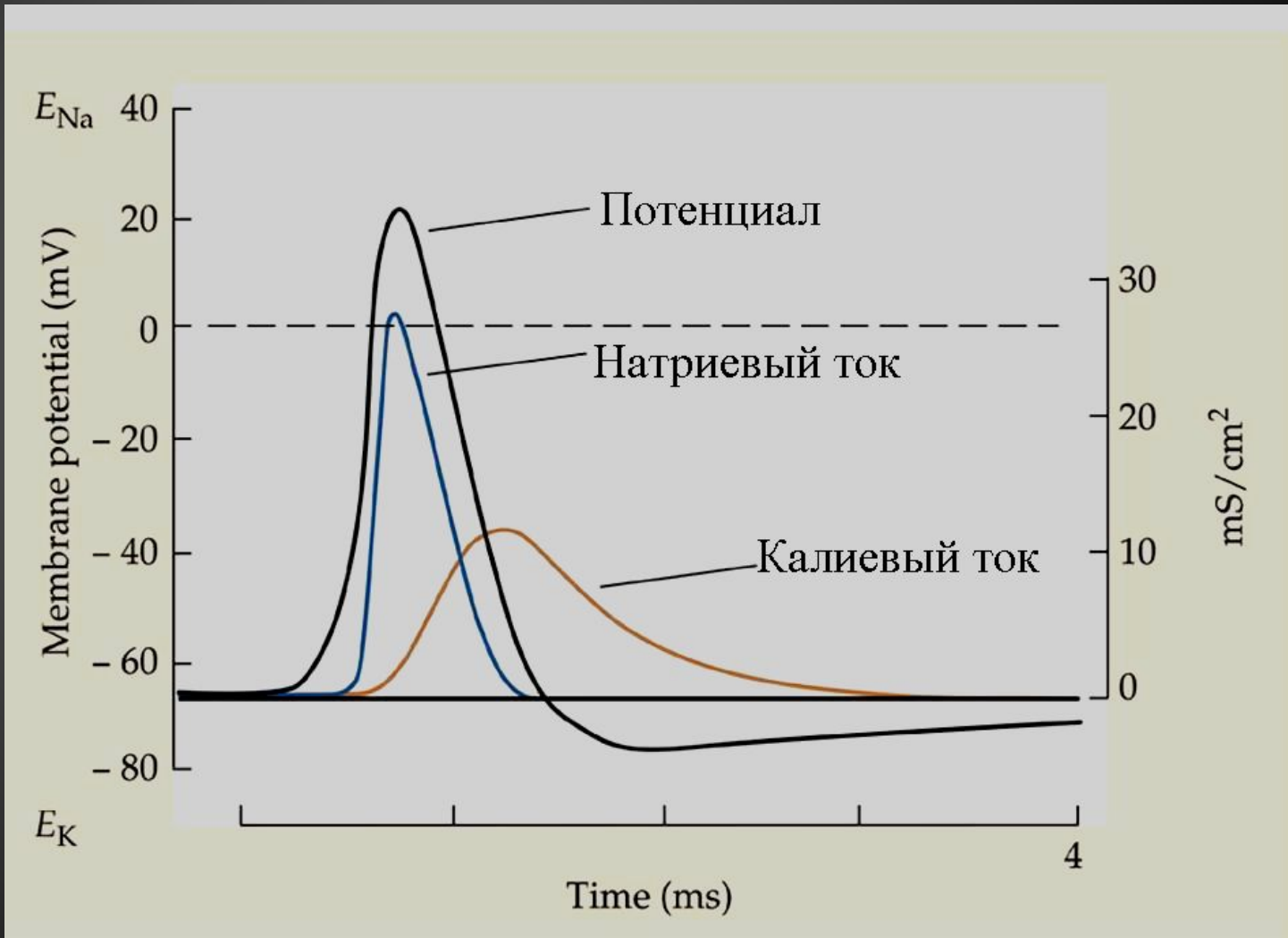
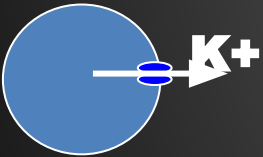
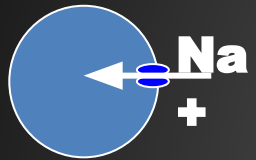


Амплитуда ПД
нейрона – около 110 мВ

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!**