



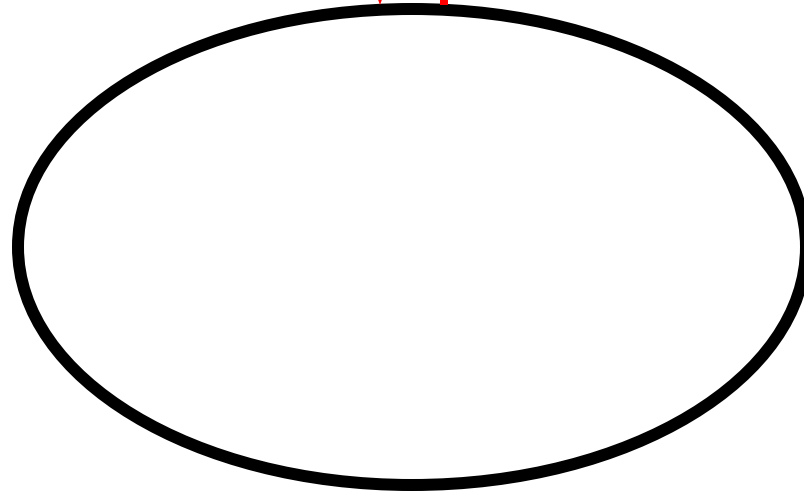
# ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Равновесное (безжизненное) состояние

# Функции клеточной мембраны:

# 1. Барьерная

Вредное воздействие



## 2. Управление обменом веществ

Нужное



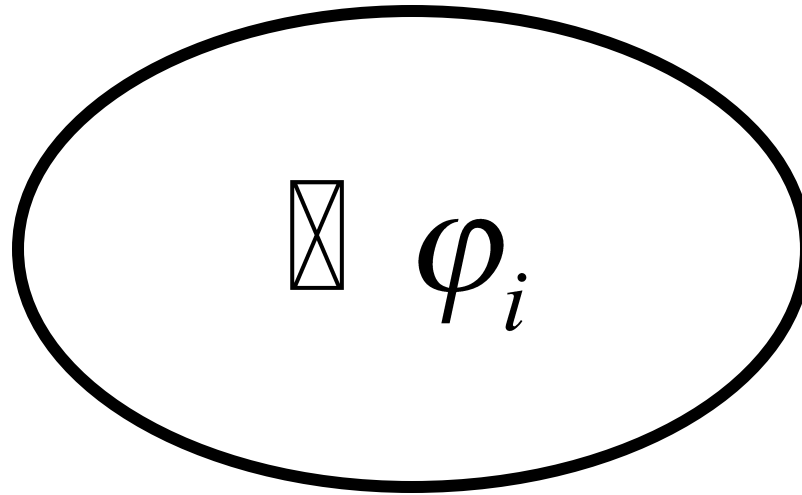
Ненужн

ое

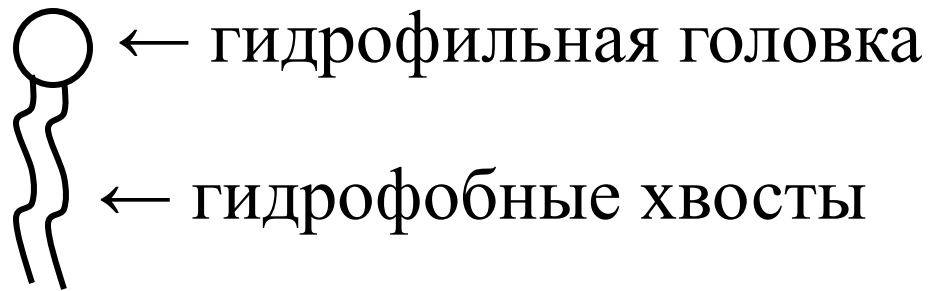


### 3. Генерация электрических сигналов

$$\varphi_0 = 0$$



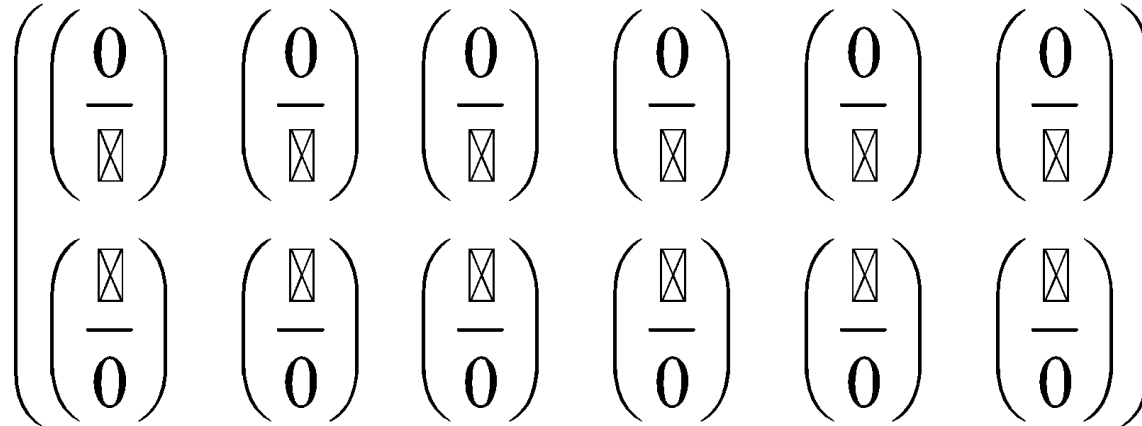
## Молекула липида:



Амфифильность (дифильность) свойств  
молекул фосфолипида

# «Сэндвич» - модель строения мембран

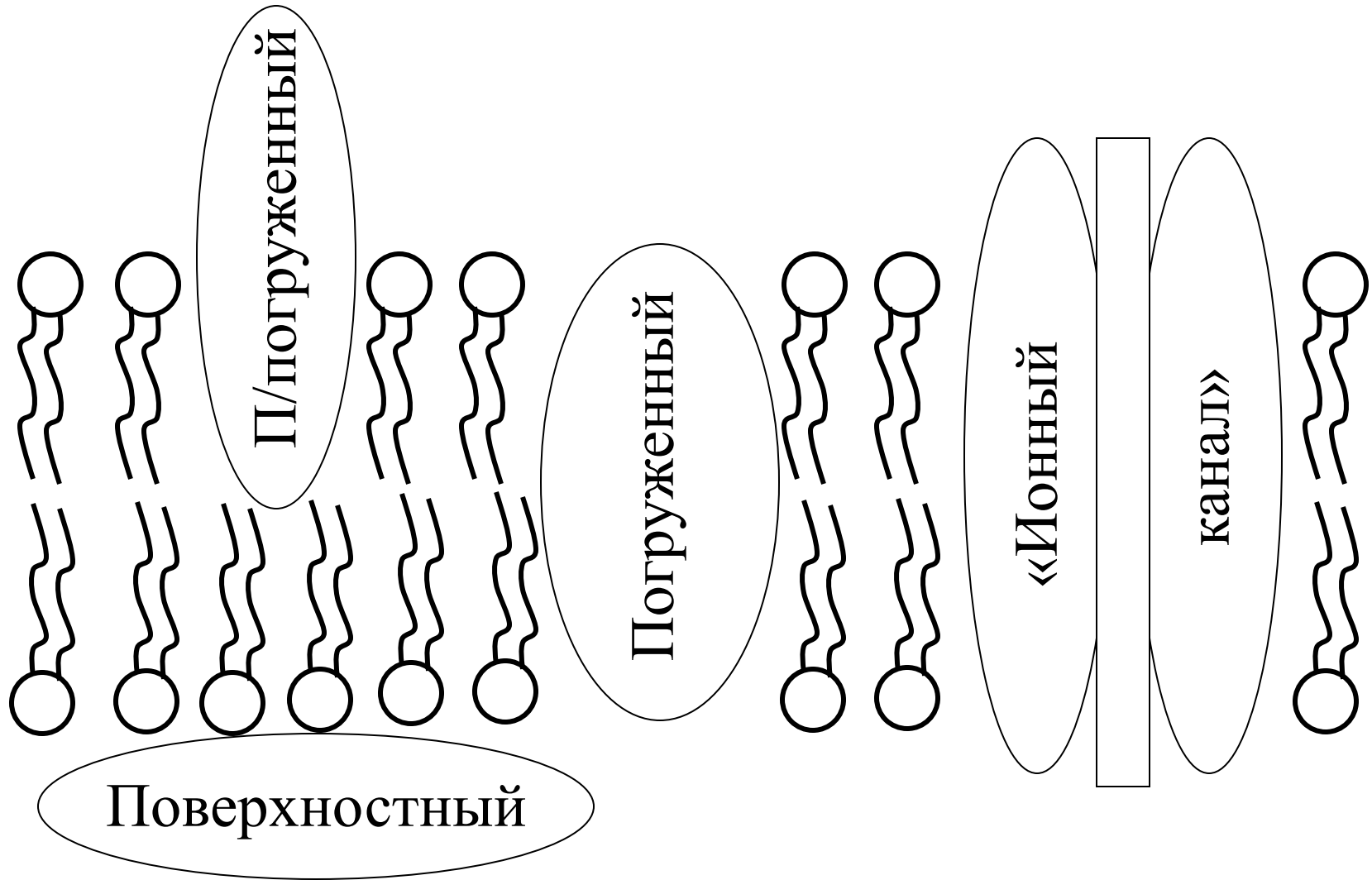
Поверхностные белки



Поверхностные белки

# Жидкомозаичная модель строения мембран

Липидная матрица + различно погруженные белки





Пассивный транспорт веществ через мембрану  
(нейтральных молекул и ионов)

Антиградиентный самопроизвольный процесс  
без энергетических затрат

# Простая диффузия

$$\frac{[K^+]_i}{[K^+]_o} \approx 40$$



$$\frac{[Na^+]_o}{[Na^+]_i} \approx 15$$

Очень  
медленный процесс



Уравнение Нернста – Планка:

$$J_{\pm N} = -D \left( \frac{dc}{dx} + \frac{ZFc}{RT} \frac{d\varphi}{dx} \right)$$

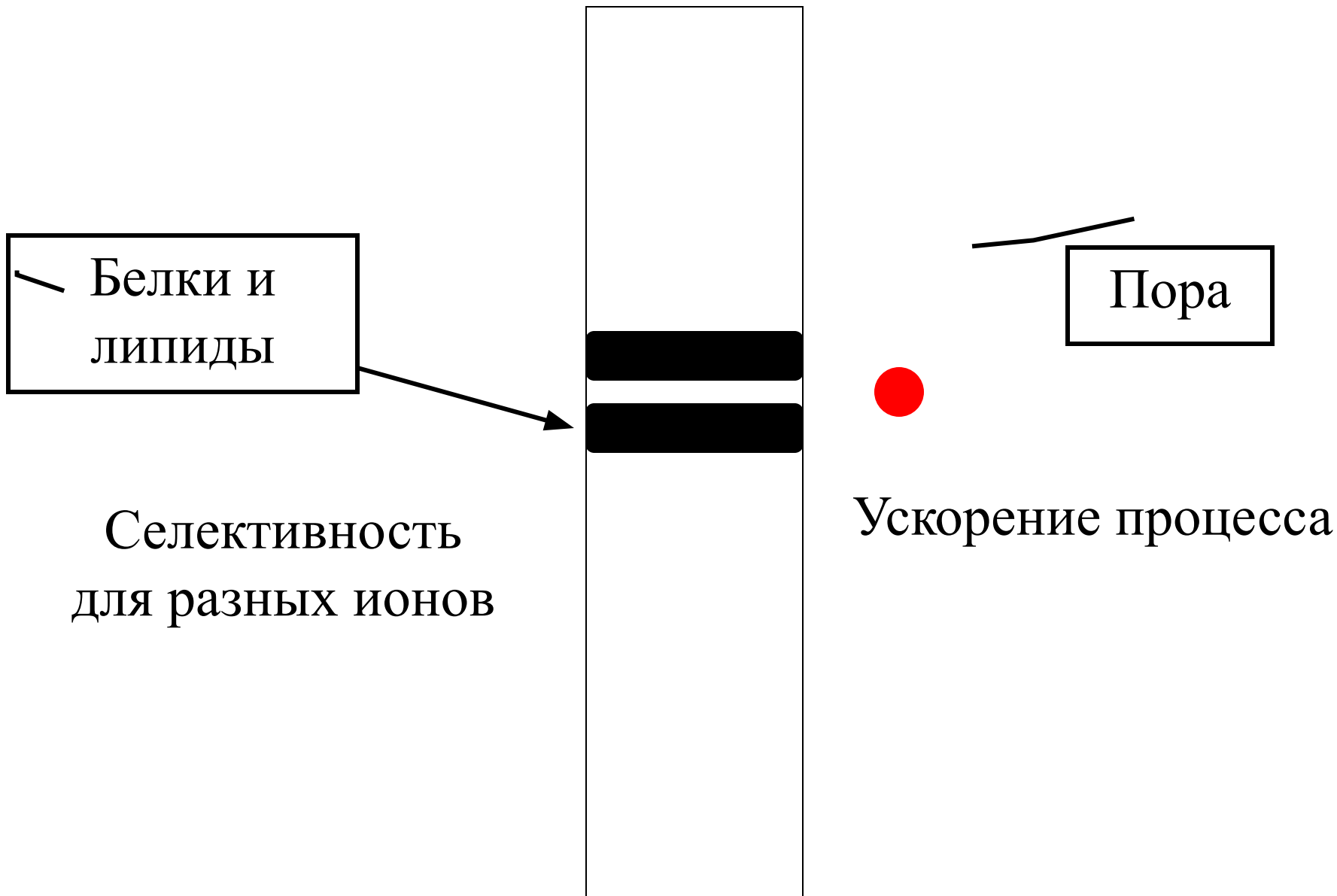
Градиент  
концентрации  
(химического  
потенциала)

+

Градиент  
электрического  
потенциала

= Градиент электрохимического потенциала

# Диффузия через канал (пору)

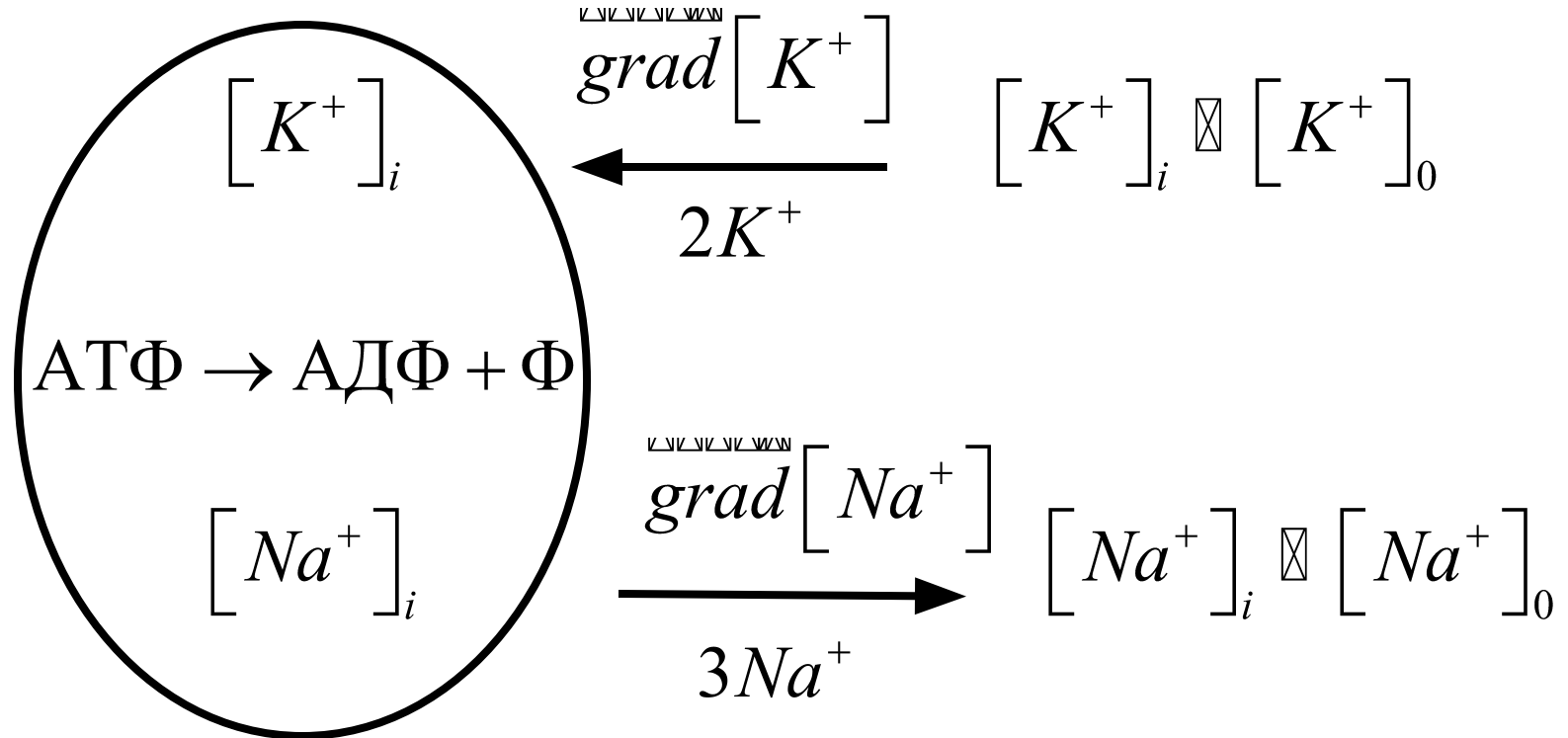


# Облегченная диффузия



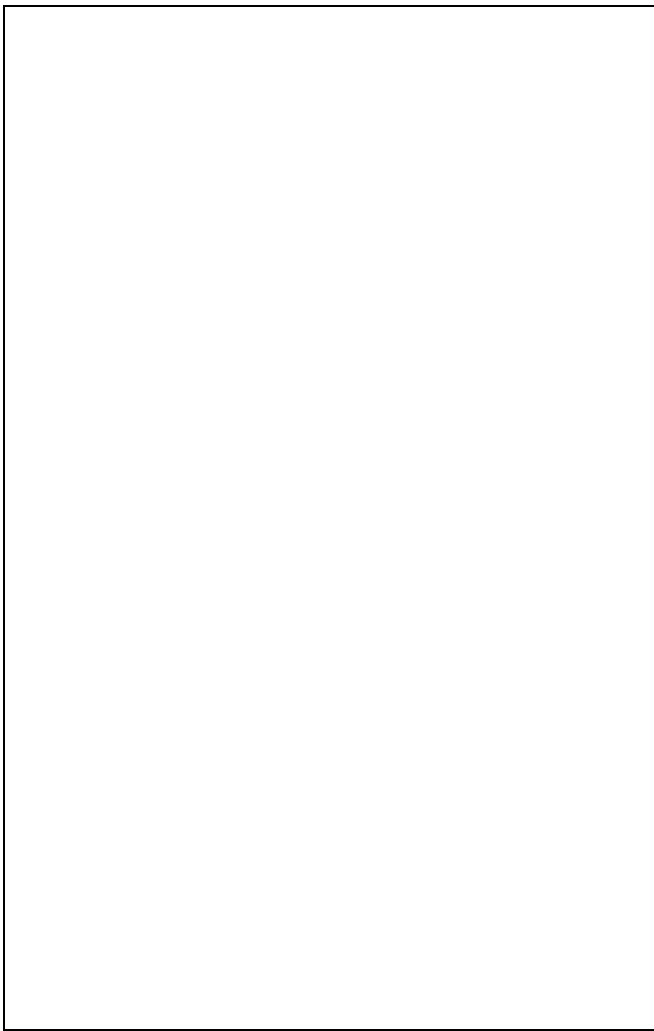
# Активный транспорт – градиентный энергозатратный процесс

Классический пример: натрий – калиевый насос:



$$\left[ K^+ \right]_i \boxtimes \left[ K^+ \right]_0$$

$$\left[ K^+ \right]_i$$



$$\Phi_{\Pi 0}$$



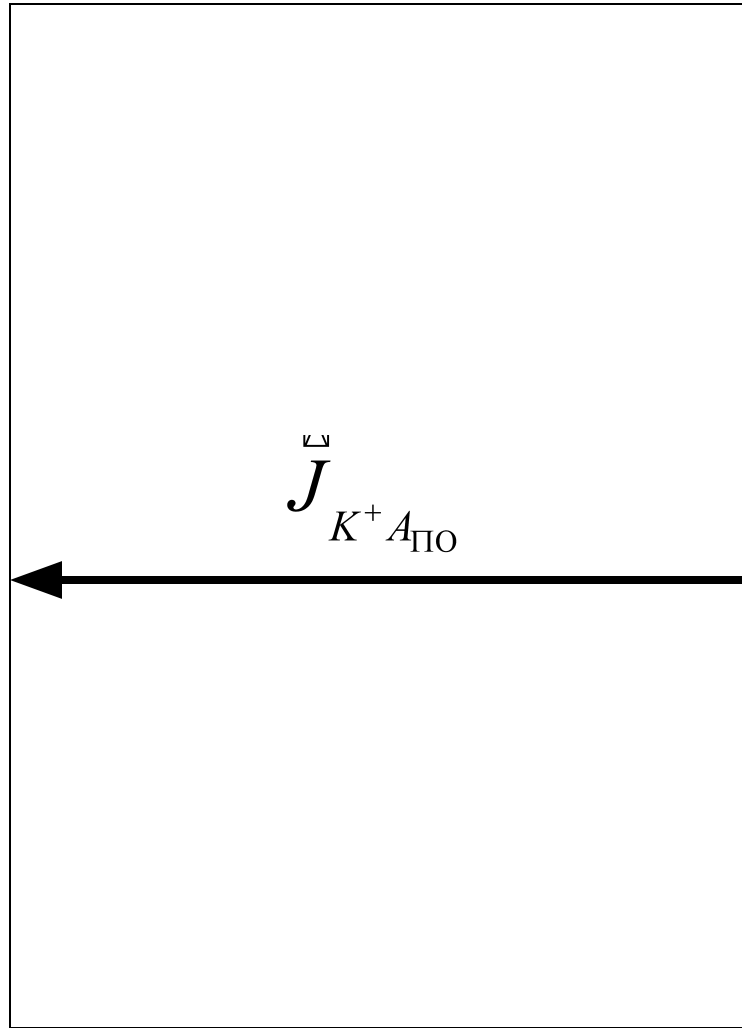
$$\left[ K^+ \right]_0$$

$$K^+ A_{\Pi 0}$$

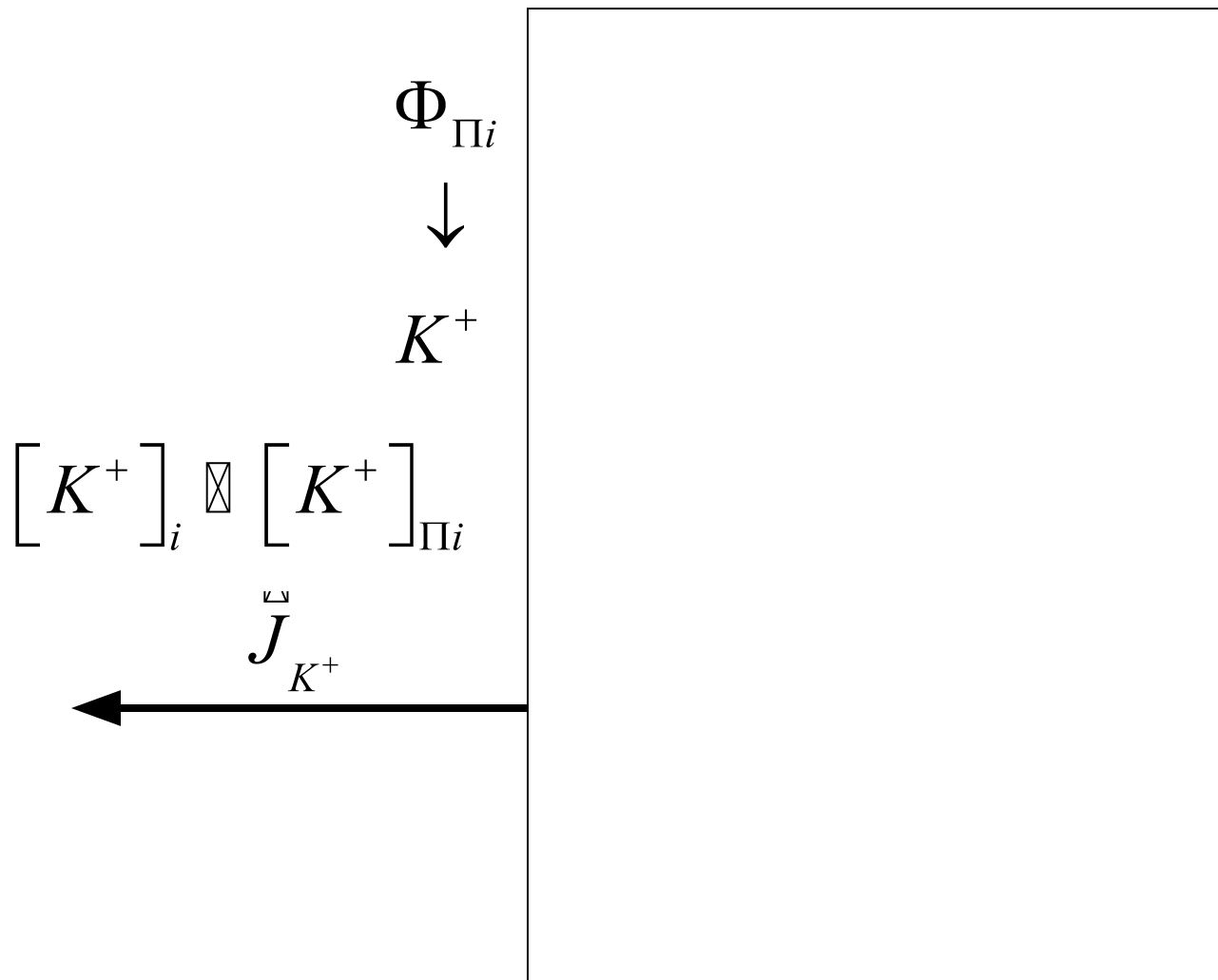
$$\left[ K^+ \right]_{\Pi 0} \boxtimes \left[ K^+ \right]_0$$

$$\overset{\leftarrow}{J}_{K^+}$$



 $\Phi_{\Pi i}$  $K^+$  $\left[ K^+ A_{\Pi O} \right]_0$  $\overset{\leftarrow}{J}_{K^+ A_{\Pi O}}$  $\left[ K^+ A_{\Pi O} \right]_i \boxtimes \left[ K^+ A_{\Pi O} \right]_0$





Натрий – калиевый насос обеспечивает:

1. Различие концентраций ионов внутри и вне клетки
2. Возникновение потенциала покоя между цитоплазмой и межклеточной жидкостью (электрогенен)

Локализован в клеточной мембране

## Кальциевый насос:

1. Действует в мышечных клетках, располагается в мембранах саркоплазматического ретикулума.
2. Транспортирует внутрь цистерн ретикулума два иона кальция при гидролизе одной молекулы АТФ.
3. Понижает концентрацию  $Ca^{2+}$  в саркоплазме и обеспечивает нормальную работу мышечных белков.  
Неэлектрогенен.

## Протонный насос:

1. Действует в митохондриях и обеспечивает процессы клеточного дыхания.
  2. Синтезирует АТФ за счет энергии трансмембранного переноса ионов  $H^+$  против их градиентов, возникающих при работе дыхательной цепи митохондрий
- Электрогенен

Основной вклад:



$$J = J_{K^+} + J_{Na^+} - J_{Cl^-}$$

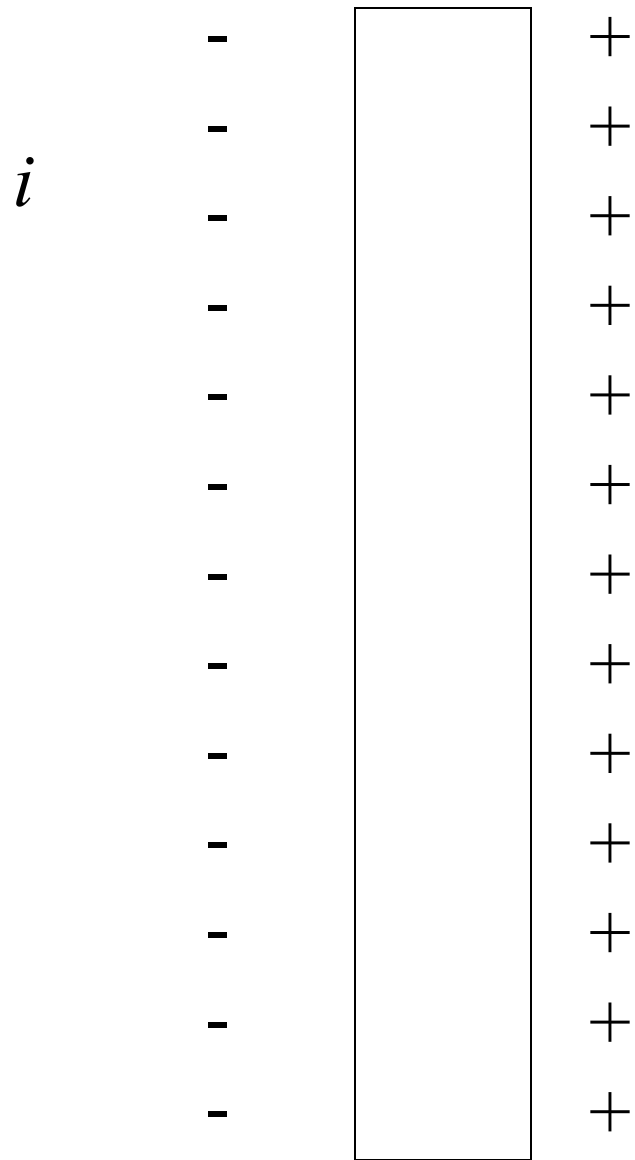
Уравнение Гольдмана – Ходжкина – Катца:

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

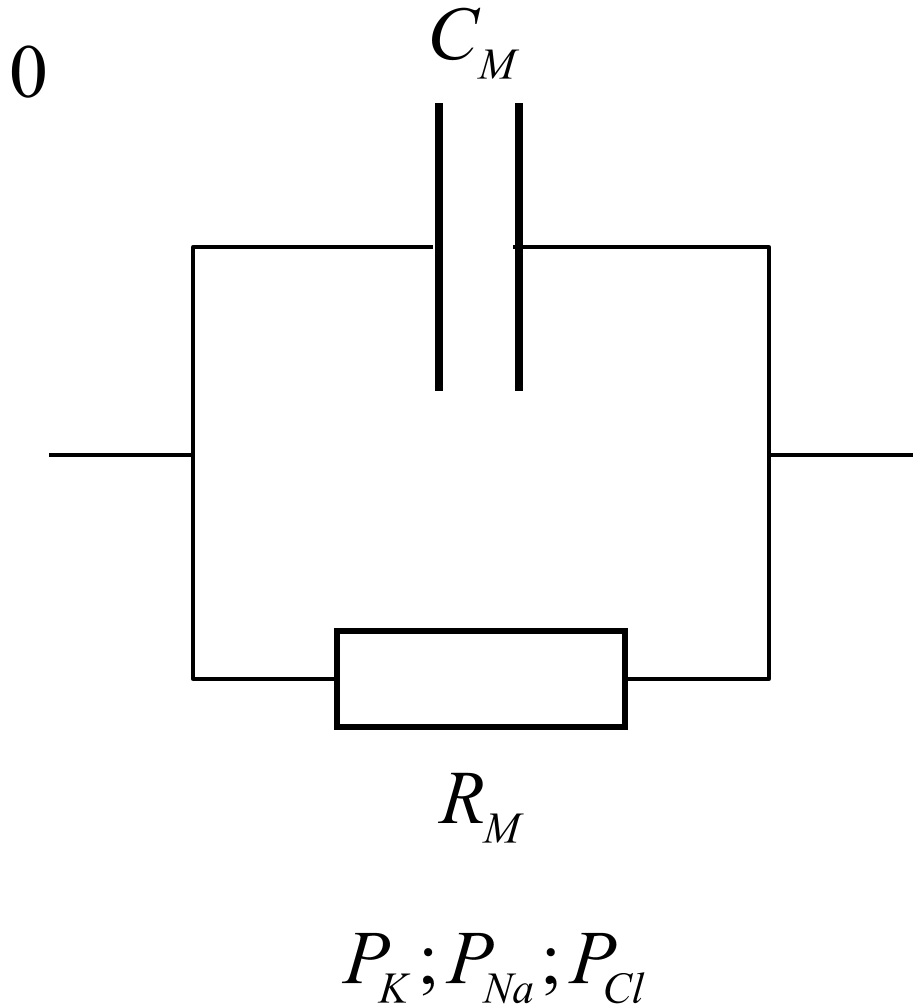
$$P_K : P_{Na} : P_{Cl} = 1 : 0,04 : 0,45$$

$$\varphi_M \approx -60 \cdot 10^{-3} B$$

Стационарное состояние покоя мембраны:



Электрическая аналогия:



При возбуждении изменяется разность потенциалов между клеткой и окружающей средой:

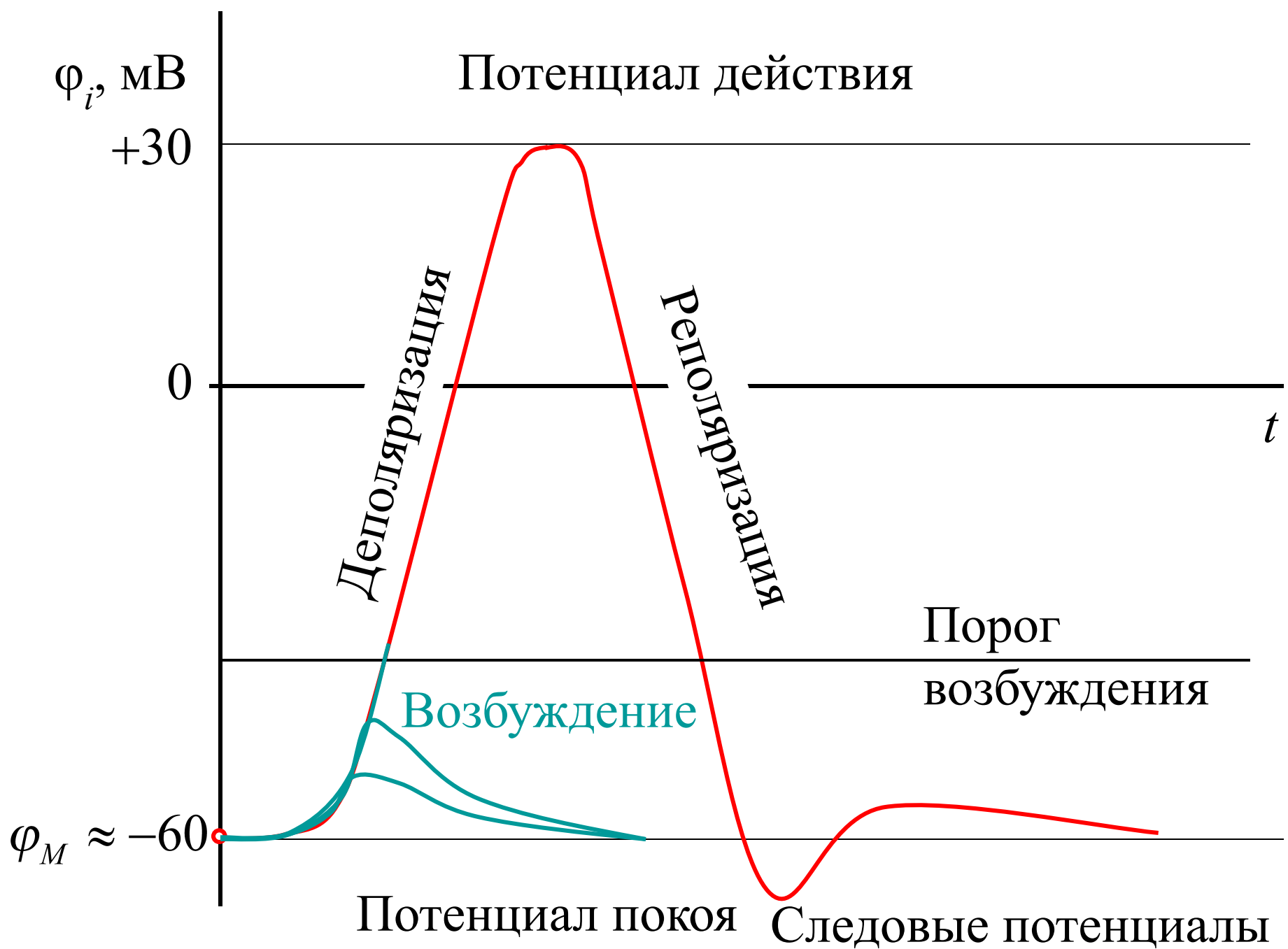
$$\Delta\varphi = \varphi_i - \varphi_0 = \varphi_i = \text{var}$$

↓

0

Возникает и распространяется потенциал действия — скачок потенциала





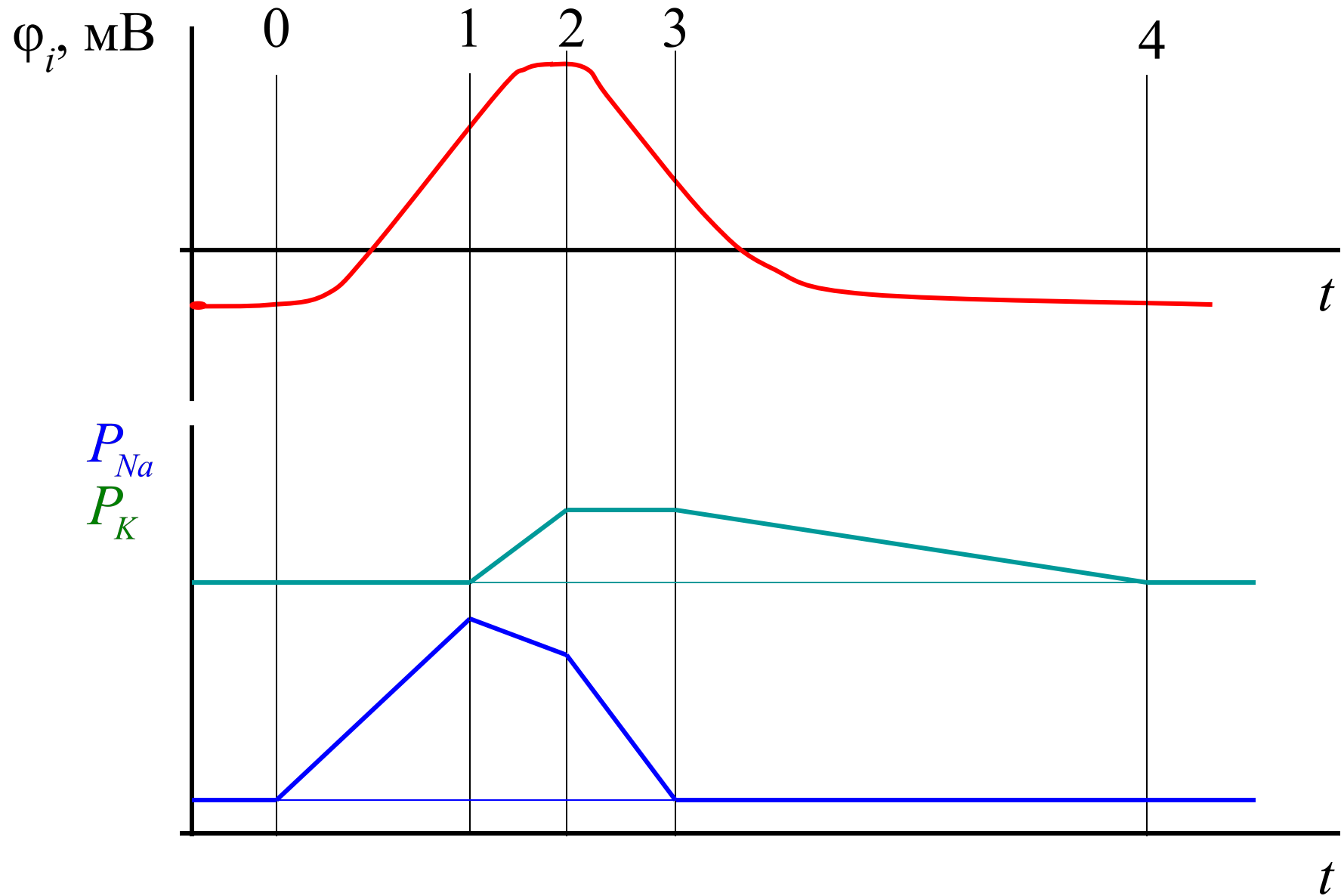
Принцип «все или ничего»:

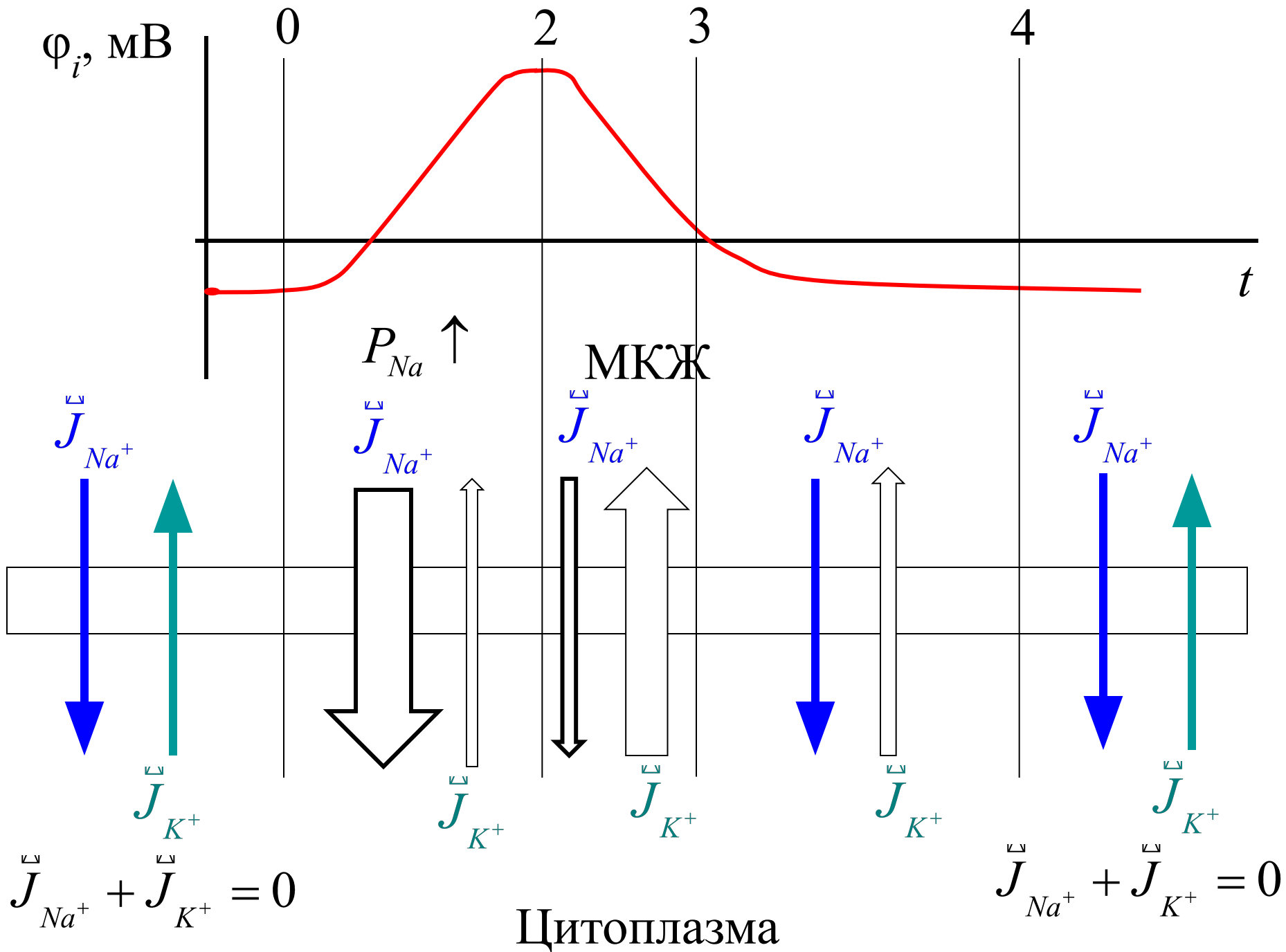
Мембрана клетки возбудимой ткани  
либо не отвечает на стимул,  
либо отвечает с максимальным откликом

Амплитуда потенциала действия не зависит  
от порогового стимула при условии:

$$\varphi_c \geq \varphi_{\text{порог}}$$

Потенциал возбуждения =  
= потенциал действия – потенциал покоя

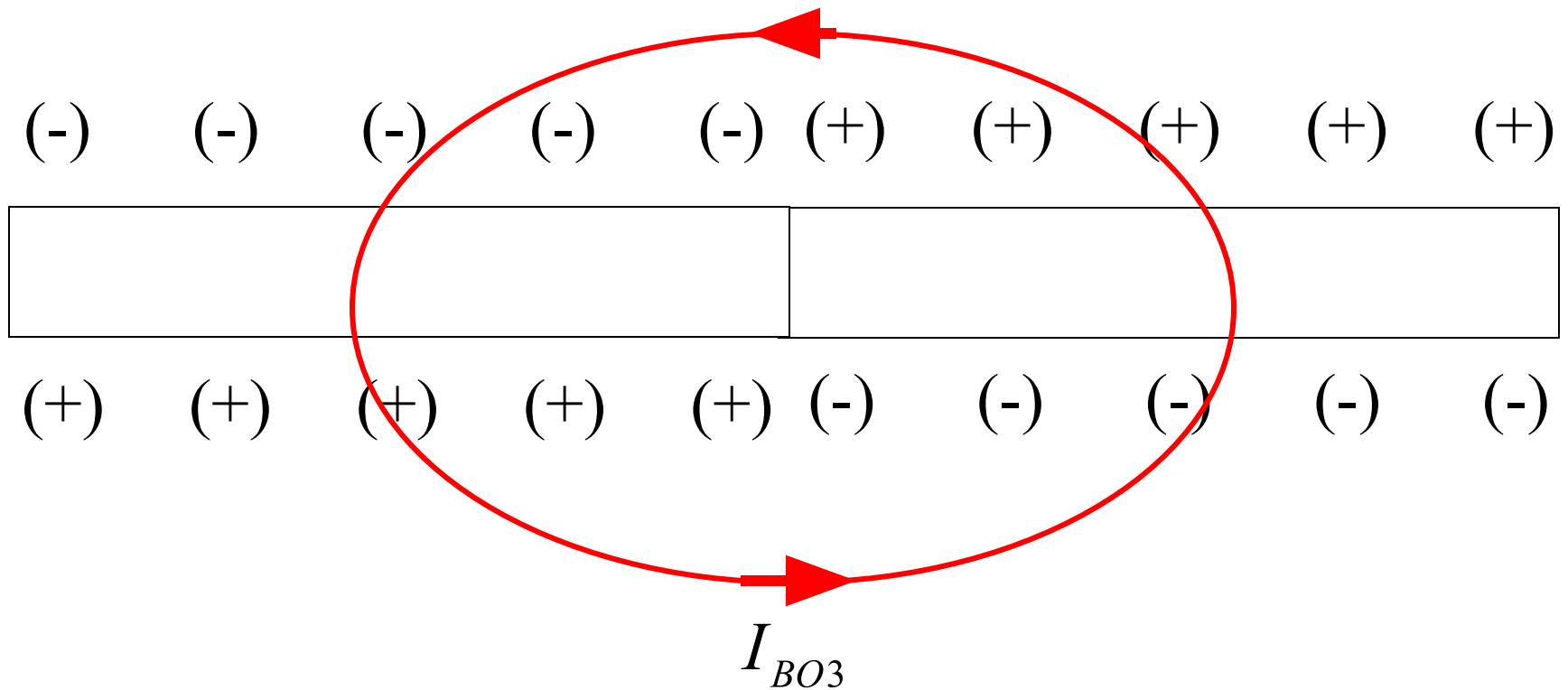




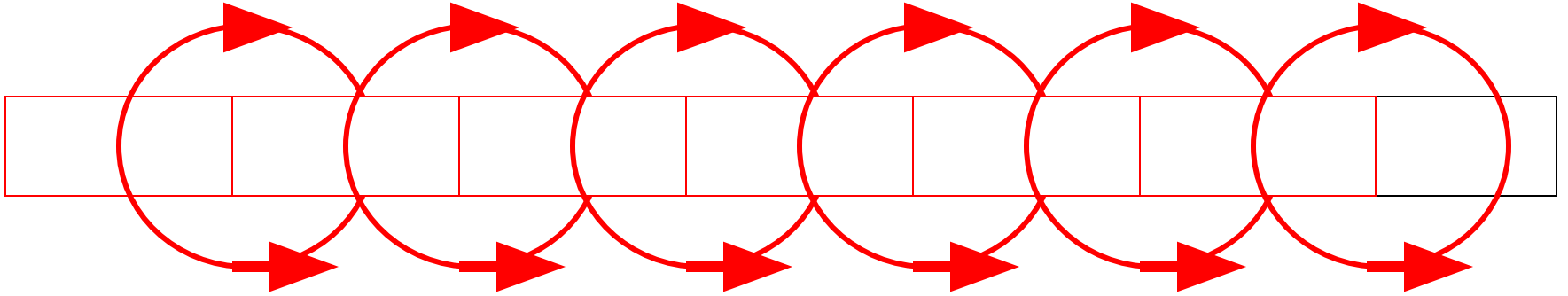
# Распространение возбуждения

Возбужденный участок

Соседний  
невозбужденный участок



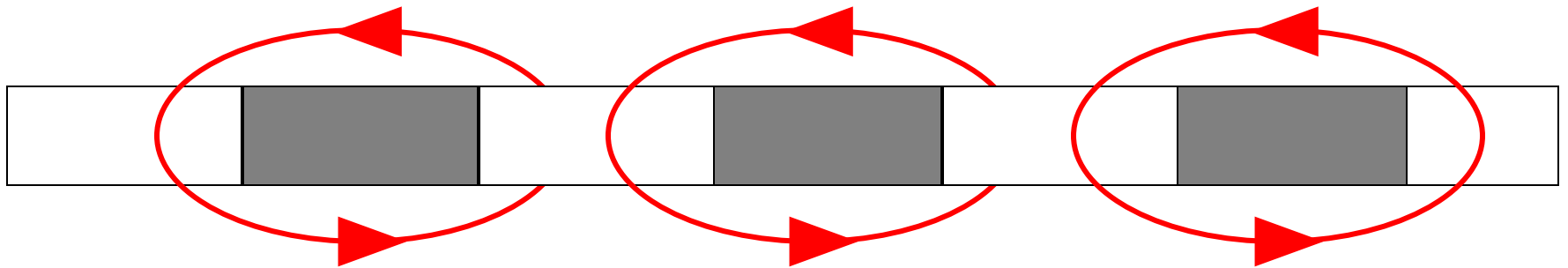




$$v = 20 - 30 \frac{\mathcal{M}}{c}$$

$$v = f(\sqrt{r})$$

Перехват Ранвье



Миелиновая оболочка

$$v = 100 - 140 \frac{m}{s}$$



## Общие выводы:

1. Мембраны одновременно изолируют клетку от окружающей среды и обеспечивают обмен веществ между клеткой и средой
2. Обмен веществ осуществляется механизмами пассивного и активного транспорта
3. Вследствие действия этих механизмов клетка находится в неравновесном состоянии с окружающей средой

4. Различия проницаемостей мембран для различных ионов определяет потенциал покоя клетки и проведение возбуждения