

Biofizică

# CURS 7

1. Membrana celulară (organizare și funcții, compoziție, modele membranare, mecanisme și sisteme de comunicare intercelulară, fenomene de transport prin membrană)
2. Bioelectricitate și biomagnetism, aplicații terapeutice; proprietăți ale transmiterii impulsurilor în celule nervoase și musculare

# Membrana celulară

## Transport activ

Necesită consum de energie

- primar (pompe ionice)
- secundar (cotransport)

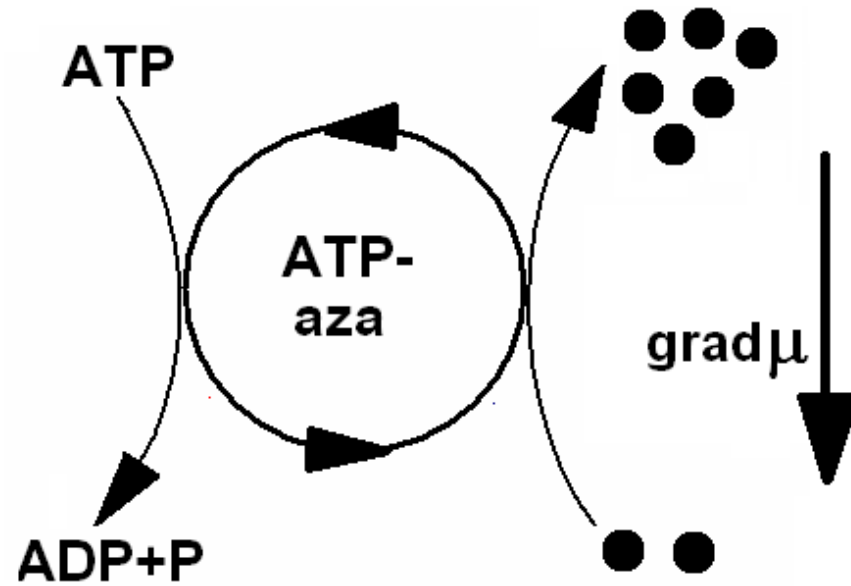
# Membrana celulară

## Transport activ primar

*Caracteristici:*

- se realizează în scopul menținerii gradientilor membranari
- este cuplat cu o reacție exoenergetică:  $\text{ATP} \rightarrow \text{ADP} + \text{P} + \text{E}$

# Membrana celulară



# Membrana celulară

## Tipuri de pompe ionice

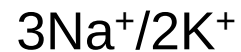
- simple:  $\text{Ca}^{2+}$
- cuplate:  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  ;  $\text{H}^+/\text{K}^+$

# Membrana celulară

## Pompe cuplate

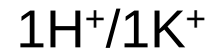
**a) electrogenice:**

cu transfer net de sarcină electrică



**b) neelectrogenice:**

fără transfer net de sarcină electrică



# Membrana celulară

## Transport activ secundar

Cuplează mișcarea unui ion/molecule în sensul gradientului de concentrație cu mișcarea unui ion/molecule în sens opus gradientului de concentrație

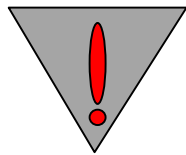
- ***Electroneutral***: transport de solviți (glucide, aminoacizi)
- ***Electrogenic***: transport de solviți cuplați cu ioni
  - simport (în același sens)
  - antiport (în sensuri opuse)



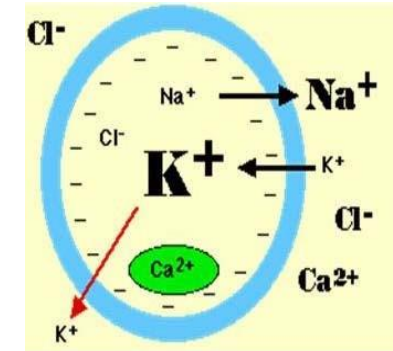
# Membrana celulară

## Potențial de repaus

- există o diferență de potențial electric între fețele membranei celulare în repaus (– 50 mV) – (–100) mV



Interior, exterior - în total NEUTRU



| <u>Inside axon</u>         | <u>Membrane</u> |   | <u>Extracellular fluid</u> | $n_o/n_i$ |
|----------------------------|-----------------|---|----------------------------|-----------|
|                            | ↓               |   |                            |           |
| [Na <sup>+</sup> ] = 15    | -               | + | [Na <sup>+</sup> ] = 145   | 9.7       |
| [K <sup>+</sup> ] = 150    | -               | + | [K <sup>+</sup> ] = 5      | 0.03      |
|                            | -               | + | [Misc <sup>+</sup> ] = 5   |           |
| [Cl <sup>-</sup> ] = 9     | -               | + | [Cl <sup>-</sup> ] = 125   | 13.9      |
| [Misc <sup>-</sup> ] = 156 | -               | + | [Misc <sup>-</sup> ] = 30  | 0.2       |
|                            | -               | + |                            |           |
| V = - 70 mV                | -               | + | V = 0 mV                   |           |
| Charge neutrality          | -               | + | Charge neutrality          |           |

# Membrana celulară

## Potentialul membranar de repaus

$V_m^0$  = diferența de potential dintre fețele membranei, corespunzătoare echilibrului dinamic al diverselor fluxuri ionice ce strabat membrana, ( fluxul net de ioni se anulează ).

# Membrana celulară

## Potențialul electrochimic

- Membrana: barieră ionică selectivă → apar:
  - gradienti de concentrație (grad  $c$ )
  - gradienti de potențial electric (grad  $V$ )



Lucru mecanic chimic + lucru mecanic electric



***Potențialul electrochimic  $\tilde{\mu}$***

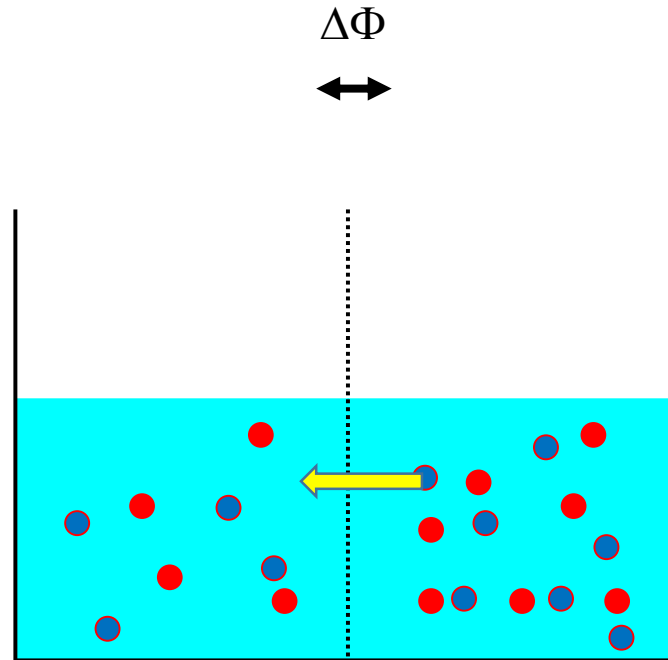
$$\tilde{\mu} = \mu + z \cdot F \cdot V$$

unde  $z$  este valența,  $V$  este potențialul electric și  $F$  este constanta lui Faraday

# Membrana celulară

## Legea Nernst

● ioni;  
●



Membrană semipermeabilă    ● pot trece

există o diferență  $\Delta\Phi$  de potențial electric

# Membrana celulară

$$\tilde{\mu}_1 = \tilde{\mu}_2$$

$$\mu_1 + z \cdot F \cdot V_1 = \mu_2 + z \cdot F \cdot V_2$$

$$\mu_1^0 + RT \ln c_1 + z \cdot F \cdot V_1 = \mu_2^0 + RT \ln c_2 + z \cdot F \cdot V_2$$

$$RT \ln c_1 - RT \ln c_2 = z \cdot F \cdot V_2 - z \cdot F \cdot V_1$$

# Membrana celulară

$$RT(\ln c_1 - \ln c_2) = z \cdot F(V_2 - V_1)$$

Legea Nernst

$$\Phi = V_2 - V_1 = -\frac{RT}{zF} \ln \frac{c_2}{c_1}$$

$V_1$  si  $V_2$  sunt potențialele exteriorului respectiv interiorului celulei  
(prin definiție diferența de potențial transmembranar este data de:  $\Phi, = V_2 - V_1$ )

# Membrana celulară

Ecuția Goldman pentru Na, K și Cl

$$V_m = \frac{RT}{F} \ln \left( \frac{P_{\text{Na}}[\text{Na}]_{\text{out}} + P_{\text{K}}[\text{K}]_{\text{out}} + P_{\text{Cl}}[\text{Cl}]_{\text{in}}}{P_{\text{Na}}[\text{Na}]_{\text{in}} + P_{\text{K}}[\text{K}]_{\text{in}} + P_{\text{Cl}}[\text{Cl}]_{\text{out}}} \right).$$

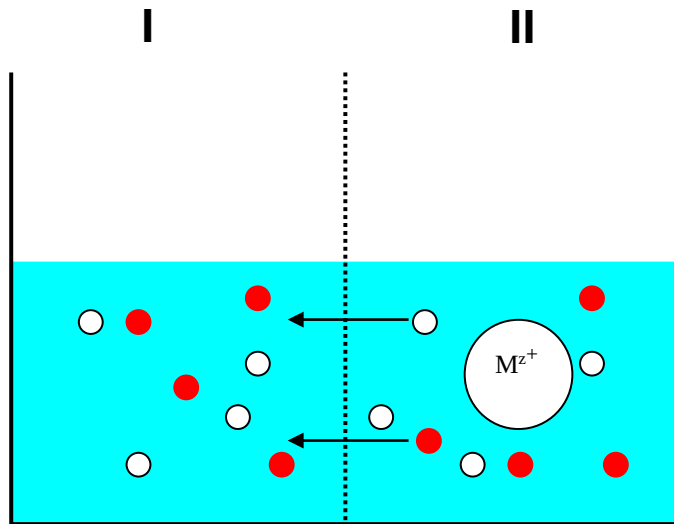
Unde P este permeabilitatea speciei respective

# Membrana celulară

## Echilibrul Donnan

Prezența ionilor/macromoleculelor nedifuzibile impune o repartiție nesimetrică a cationilor difuzibili față de anioni ( $K^+$ ,  $Cl^-$ )

●  $A^{+1}$   
○  $B^{-1}$



Macromolecula are valența  $z$



# Membrana celulară

## CONDIȚII:

$$C_A^I - C_B^I = C_A^{II} - C_B^{II} + ZC_m^{II}$$

electroneutralitate

$$\Phi = -\frac{RT}{F} \ln \frac{C_1}{C_2}$$

Ionii difuzabili respectă Nernst

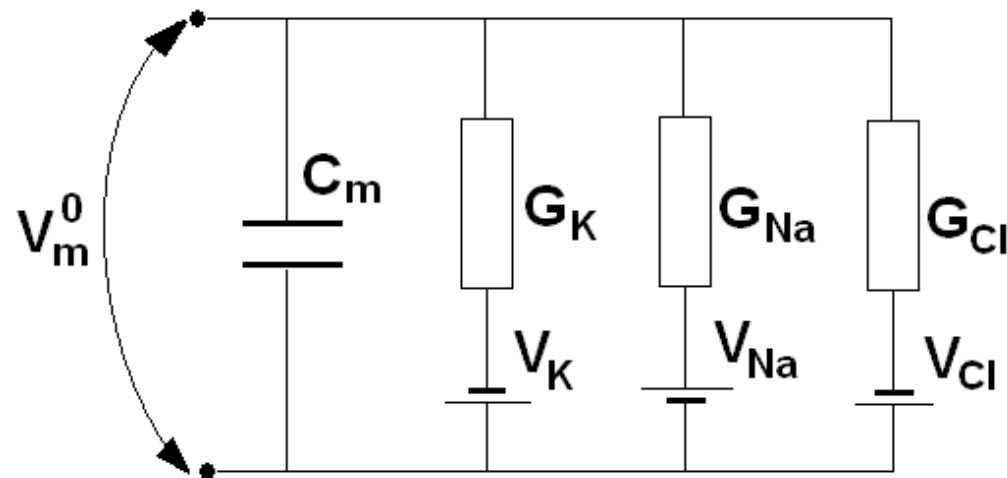
$$r = \frac{C_A^{II}}{C_A^I} = \frac{C_B^I}{C_B^{II}}$$

Raportul lui Donnan

# Membrana celulară

Circuitul electric echivalent al membranei celulare este circuitul în derivație (paralel) format din patru ramuri:

- o ramura capacitivă  $C_m$  (capacitatea membranei de a înmagazina sarcina electrică)
- trei ramuri rezistive  $R_K$ ,  $R_{Na}$ ,  $R_{Cl}$  (parcuse de curenți ionici)



# Membrana celulară

Legea lui **Ohm** pentru potențialul membranar de repaus

$$V_m^0 = I \cdot R = \frac{I}{G},$$

$$G = G_K + G_{Na} + G_{Cl},$$

$$I = I_K + I_{Na} + I_{Cl}$$

$$\Rightarrow V_m^0 = \frac{V_K G_K + V_{Na} G_{Na} + V_{Cl} G_{Cl}}{G_K + G_{Na} + G_{Cl}}$$

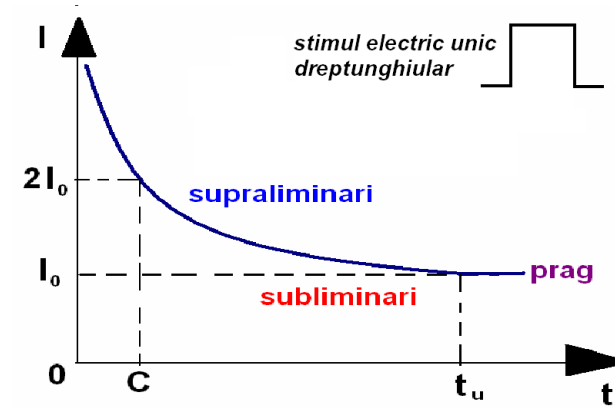
# Membrana celulară

**PA:** modificarea tranzitorie a potențialului membranal sub acțiunea factorilor externi (stimuli)

- stimulul fiziologic:  
*chimic* (mediatori chimici)
- stimulul experimental:  
*electric* (impuls geometric)

# Membrana celulară

## Generarea PA



**Reobază** – intensitatea minimă a stimulului pentru a produce un potențial de acțiune

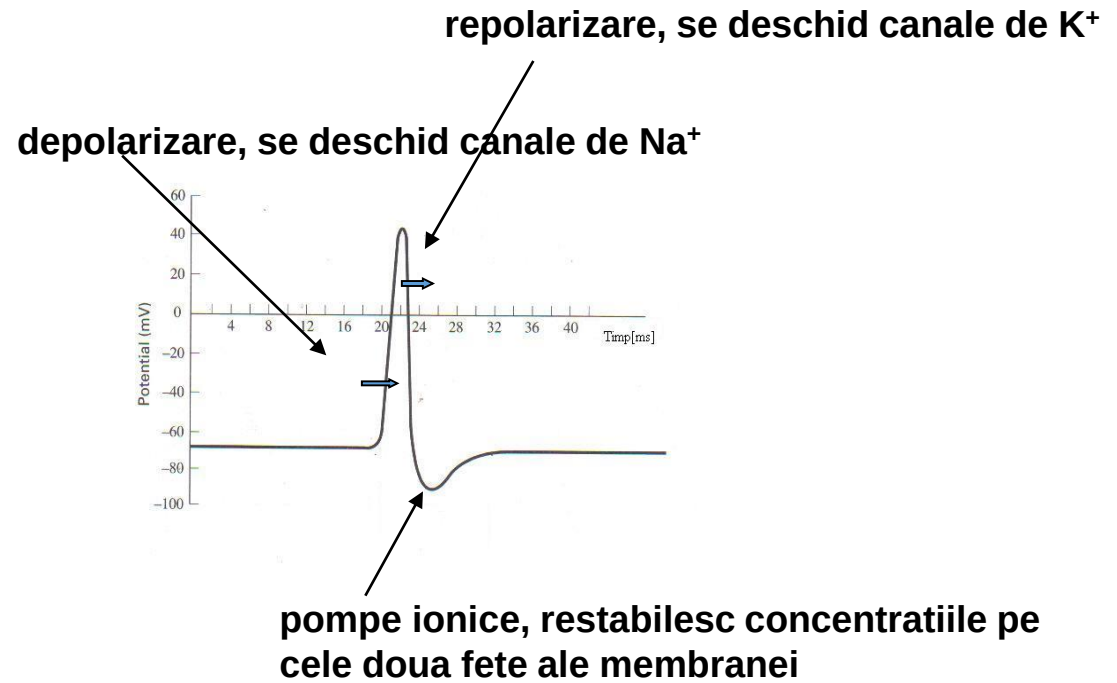
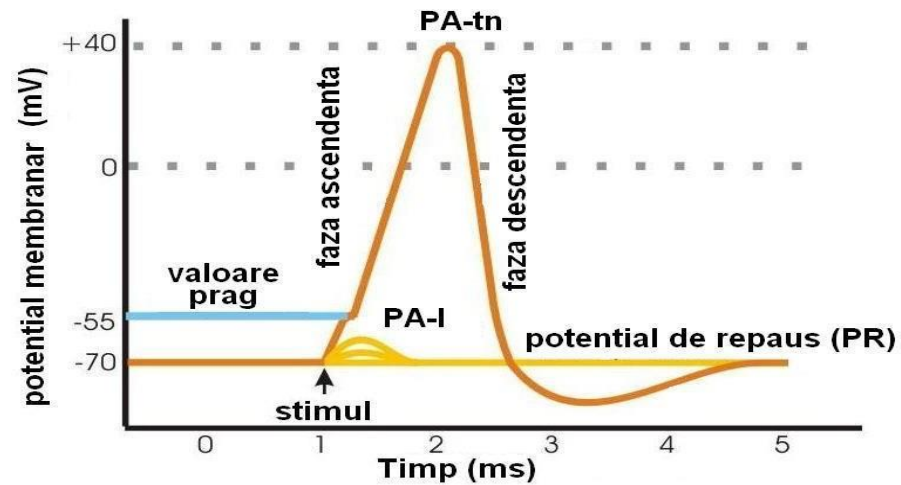
**Cronaxie** – timpul necesar unui stimul cu intensitatea egală cu dublul reobazei pentru a produce un răspuns

# Membrana celulară

## Propagarea

- stimuli subliminari:
  - propagare pasivă  
(potențiale locale)
- stimuli supraliminari:
  - propagare activă  
(potențiale de acțiune)

# Membrana celulară



- *I: faza rapidă/ascendentă (depolarizare)* : influx pasiv de Na<sup>+</sup>
- *II: faza lentă (repolarizare)/descendentă* : eflux pasiv de K<sup>+</sup>
- *III: faza de refacere (hiperpolarizare)* :  
pompe ionice (Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>) refac configurația ionică de echilibru

# Membrana celulară

## Propagarea pasivă

- Variație nespecifică a ***potențialului transmembranar***
- ***Potențialului transmembranar*** scade exponențial cu distanța (propagare cu decrement)
- ***Depolarizare redusă a membranei***, proporțională cu amplitudinea stimulului
- Amplitudinea scade ***exponențial*** cu distanța

$$V_m(x) = V_m(0) e^{-x/\lambda}$$

$\lambda$  - constanta spațială a axonului



# Membrana celulară

## Propagarea activă (lege totul sau nimic)

- Variație specifică a *potențialului transmembranar*
- Are amplitudine constantă
- Se propagă pe *distanțe mari, nedecremental*, cu viteze mari
- *Amplitudinea potențialului de vârf, pragul și viteza de propagare* sunt caracteristici ale celulei

# Membrana celulară

## Conducerea PA

- Viteza de conducere:

$$v = \frac{d}{L} = k\Phi,$$

unde  $L$  este **latența** (timpul necesar propagării excitației pe distanța  $d$ )

**Latența** depinde de:

- diametrul fibrei ( $\Phi$ )
- tipul fibrei (mielinizată/nemielinizată)

# Membrana celulară

## Dependența de diametrul fibrei

fibre groase ( $\Phi > 1 \text{ mm}$ ):

- rapide
- ușor excitabile

fibre subțiri ( $\Phi < 1 \text{ mm}$ ):

- lente
- greu excitabile

# Membrana celulară

## Dependența de tipul fibrei

fibre nemielinizate

-propagare recurentă (lentă):

din punct în punct

$\Phi$ : (0,2 – 1,2)mm

$v$ : (0,5 – 5)m/s

fibre mielinizate

-propagare saltatorie (rapidă):

din nod Ranvier în nod Ranvier

$\Phi$ : (1,2 – 22)mm

$v$ : (5 – 120)m/s