

UNIVERZITET U BIHAĆU  
FAKULTET ZDRAVSTVENIH STUDIJA  
KATEDRA ZA BIOFIZIKU



# TRANSPORTNE POJAVE

## **TRANSPORTNE POJAVE**

- ☐ **Stacionarno stanje biološkog sistema**
- ☐ **Transport u gradijentu pritiska i koncentracije**
- ☐ **Difuzija**
- ☐ **Difuzija čestica kroz polupropusnu membranu**
- ☐ **Transport čestica kroz polupropusnu membranu**
- ☐ **Transport nabijenih čestica kroz polupropusnu membranu**

## **STACIONARNO STANJE BIOLOŠKOG SISTEMA**

- ☐ I zakon termodinamike uz određena ograničenja možemo primjeniti na proučavanje procesa u ljudskom organizmu.
- ☐ Čovjek je otvoreni sistem (izmjenjuje energiju i supstance), pa su sve njegove interakcije sa okolinom ireverzibilne.
- ☐ Zašto je veoma složeno čovjeka posmatrati kao otvoreni sistem putem termodinamičkih zakona??
- ☐ Koje pretpostavke moramo uvesti da bi čovjeka posmatrali kao zatvoreni sistem u stacionarnom stanju.
- ✓ koristiti srednje termodinamičke parametre (mjerenih tokom 10 dana)
- ✓ faza zrelosti ( $25^{\circ}\text{C}$ ,  $10^5\text{ Pa}$ , temperatura kože  $34^{\circ}\text{C}$ )
- ✓ faza biološke zrelosti podrazumjeva da se čovjekova entropija ne mijenja

❑ Preko čega određujemo brzinu promjene unutrašnje energije sistema??

$$\overline{P} = \frac{Q}{t}$$

➤ srednja snaga toplotnih i mehaničkih interakcija

❑ Promjena unutrašnje energije čovjeka u posmatranom periodu zavisi od svih vrsta interakcija:

$$\frac{\Delta U}{t} = \overline{P}_{mehanička} + \overline{P}_{toplinska} + \overline{P}_{metabolizma} + \overline{P}_{mišići}.$$

- ❑ Čovjeka posmatramo u stacionarnom stanju, što znači da nema promjene unutrašnje energije.

$$\bar{P}_{metabolizma} = \bar{P}_{mehanička} + \bar{P}_{toplinska} + \bar{P}_{mišići}$$

- ❑ Kalorimetrijskom metodom izmjerenu srednju snagu metabolizma od oko 100 W, biološki sistem 30 % koristi za mehanički rad i 70 % pretvara se u toplotu.

- ❑ Šta je uzrok slabe mehaničke interakcije biološkog sistema sa okolinom??

Mali je koeficijent korisnosti mehaničkog rada mišića, najviše 0,2.

- ❑ Na čemu se zasniva prilagođavanje živog organizma vanjskim uslovima?!

Stacionarnom stanju, tj. održavanju stalne temperature.

## Toplotna interakcija sistema sa okolinom

□ Tropski uslovi:

$$T_{OKOLINE} > T_{\check{C}OVJEKA}$$

□ Član  $P_{toplote}$  se mjenja !!!

□  $q_{znoj} = 2,2 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$

□ Troši se toplota iz organizma, te se on hladi !!!

## ❑ Uslovi velike hladnoće

$$T_{OKOLINE} \ll T_{\check{C}OVJEKA}$$

❑  $P_{\text{toplote}} \ll 0$ , sistemu se brzo smanjuje temperatura.

❑ Organizam se brani drhtanjem i stezanjem krvnih žila od gubitka energije.

## Primjena II zakona termodinamike na biološki sistem

- ☐ Primjenljiv na cijeli životni ciklus čovjeka.
- ☐ Tokom cijelog života entropija se povećava.
- ☐ Entropija biološkog sistema je maksimalan u trenutku smrti.
- ☐ Doba zrelosti (entropija konstantna)

unos hrane i izbacivanje metaboličkih produkata



## Transport u gradijentu pritiska i koncentracije

☐ Gibbsova energija ravnotežnog sistema je minimalana.

☐ Šta se dešava kod bioloških sistema??

rastvori

razlika hemijskih potencijala

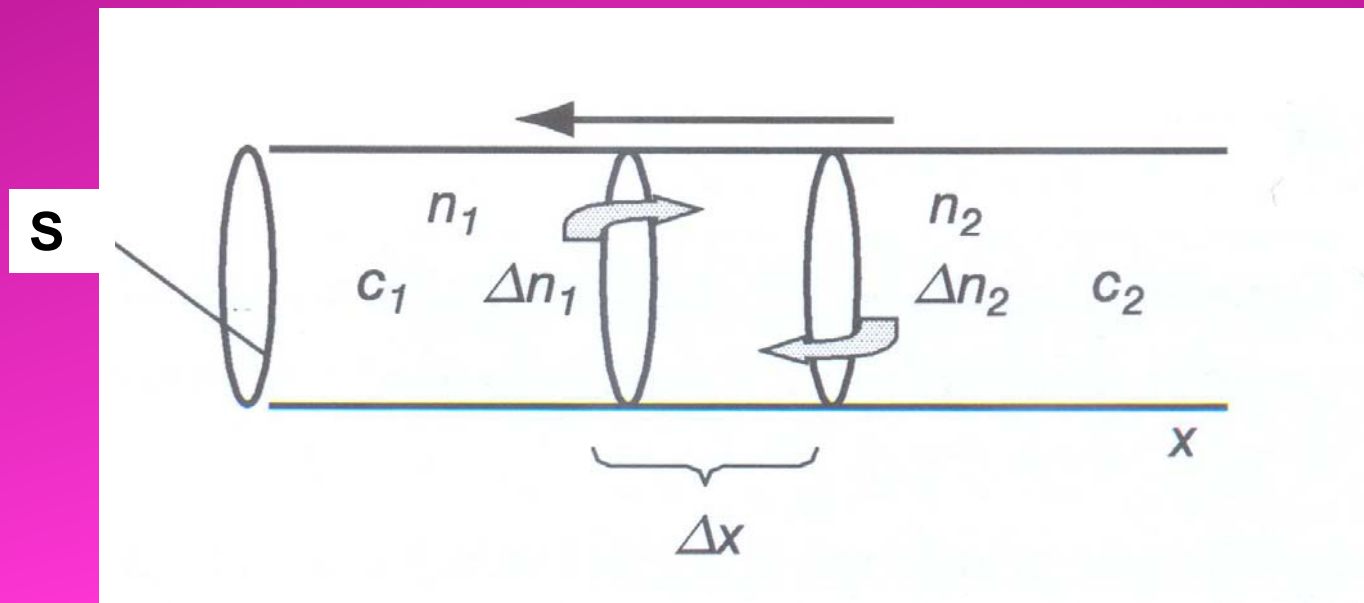
☐ Koji su procesi karakteristični za biološki sistem ??

✓ gradijent pritiska – protok;

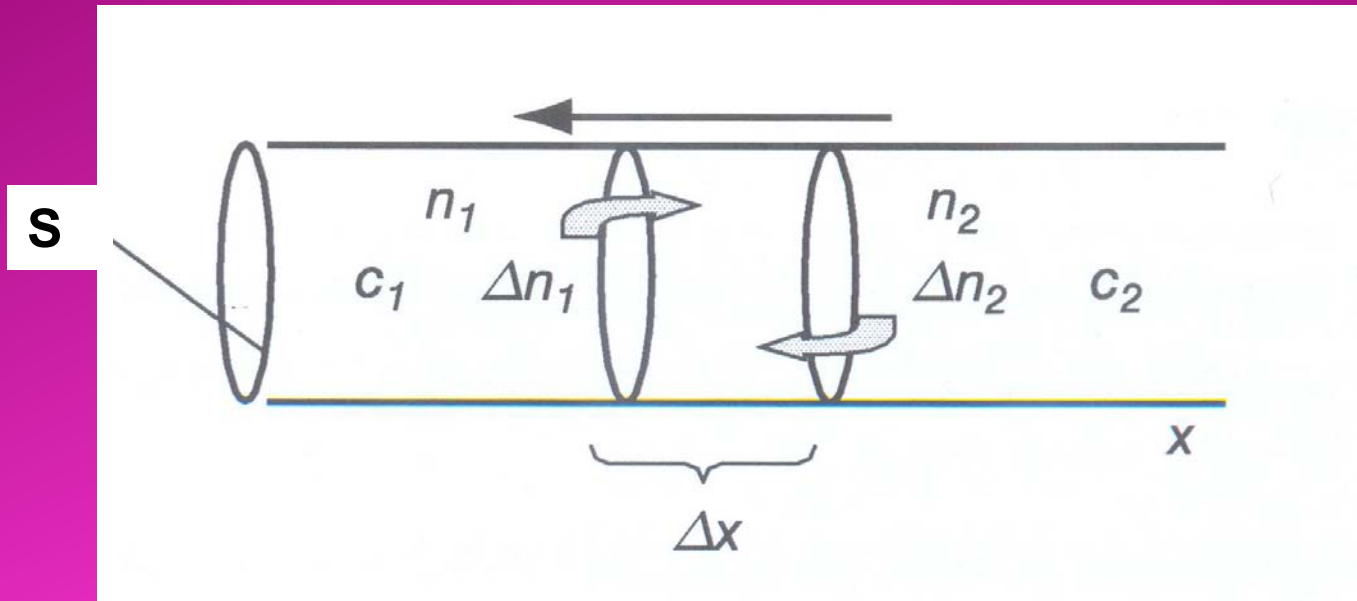
✓ gradijent koncentracije – difuzija.

## Difuzija

- ❑ Rastvor glukoze u posudi.
- ❑ Slobodna difuzija (smanjenje gradijenta koncentracije, homogena koncentracija)



$$\square C_1 > C_2 \Rightarrow \Delta n_1 > \Delta n_2$$



- ☐ Uz pretpostavku stacionarnog toka, protok čestica je opisan I Fickovim zakonom:

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = -D \frac{\Delta c}{\Delta x} S$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = -D \frac{\Delta c}{\Delta x} S$$

➤ Brzina difuzije  $\frac{\Delta n}{\Delta t}$

➤ Koeficijent difuzije  $D$

❑ Pri stacionarnoj difuziji stalni je tok čestica, gradijent koncentracije se ne mjenja.

❑ Koji proces izvan sistema održava gradijent koncentracije ???

Aktivni prijenos !!!!!

Rad okoline na sistem – biološki sistem (otvoren!!!!) – povećava se unutrašnja energija sistema

➤ **Od čega zavisi koeficijent difuzije ???**

- ✓ veličine molekula koje se kreću
- ✓ svojstava rastvora.

➤ **Kada su u pitanju pravilne sferne čestice koeficijent difuzije zavisi od:**

- ✓ radijusa,
- ✓ viskoznosti rastvora,
- ✓ veličine čestica,
- ✓ temperature.

## Difuzija čestica kroz propusnu membranu

❑ Putem čega se obavlja difuzija u živim organizmima ???

Membrana

❑ Kakve membrane mogu biti ???

- propusne – permeabilne,
- polupropusne – semipermeabilne,
- nepropusne – nepermeabilne.

❑ **Kakve pretpostavke moramo uvesti za razmatranja toka kroz membranu ?**

- a) Koncentracija konstantna u svakom području odjeljenom membranom
- b) Membrana propusna za otopljene molekule
- c) Čestice dovoljno male da prolaze porama ili topljive u membrani pa unutar membrane difundiraju.

❑ **Tok kroz membranu:**

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = -P_m \cdot \Delta c \cdot S$$

❑ Izraz vrijedi za sve mehanizme prijenosa kroz membranu !!!

❑  $P_m$  - koeficijent permeabilnosti, vrijednost mu zavisi od osobina sistema

❑ ***Vrijednost koeficijenta permeabilnosti kada su čestice koje difundiraju topljive u membrani***

✓ topljivost čestica u rastvoru i membrani nije jednaka, pa treba mjeriti povećanje koncentracije na površini membrane

✓ Koeficijent distribucije:

$$\frac{c_1'}{c_1} = \frac{c_2'}{c_2} = k$$



□ Tok topljivih čestica kroz membranu može se opisati I Fickovim zakonom:

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = -D \frac{\Delta c'}{L} S = -D \frac{k}{L} \Delta c \cdot S$$

D – koeficijent difuzije čestica u mediju membrane

L – debljina membrane

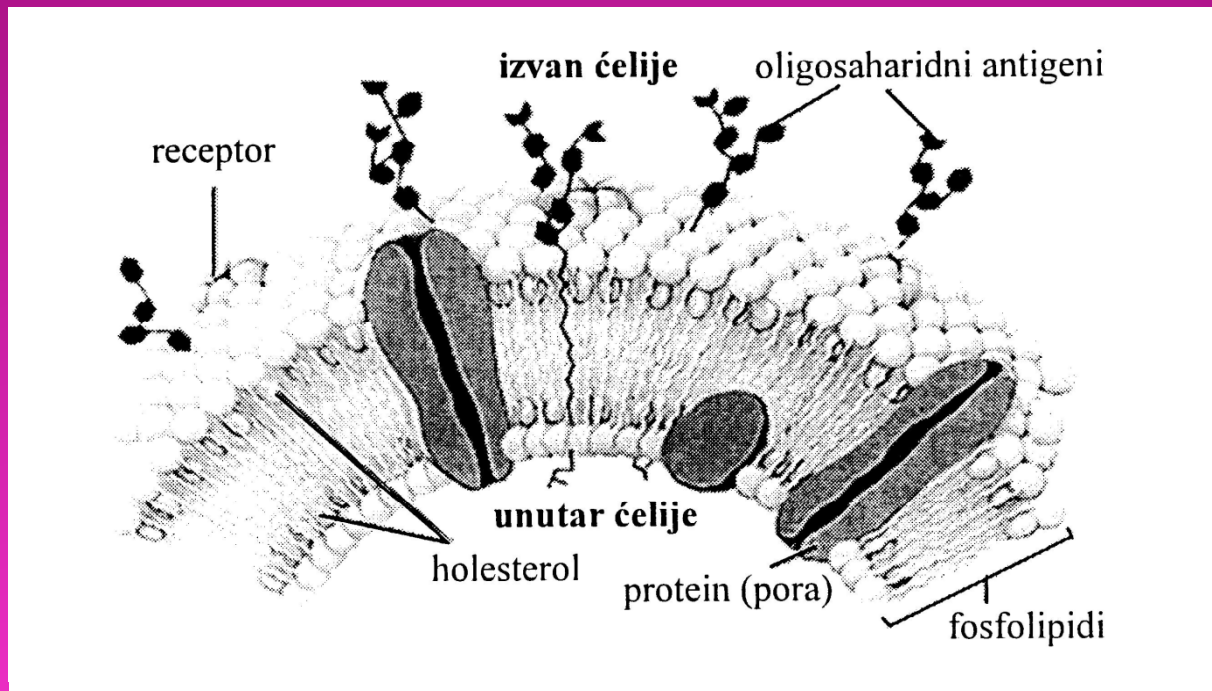
$$\frac{\Delta c'}{L}$$

- gradijent koncentracije unutar membrane

**Permeabilnost membrane**

$$P_m = D \frac{k}{L}$$

## TRANSPORT KROZ POLUPROPUSNU MEMBRANU. BIOLOŠKE MEMBRANE

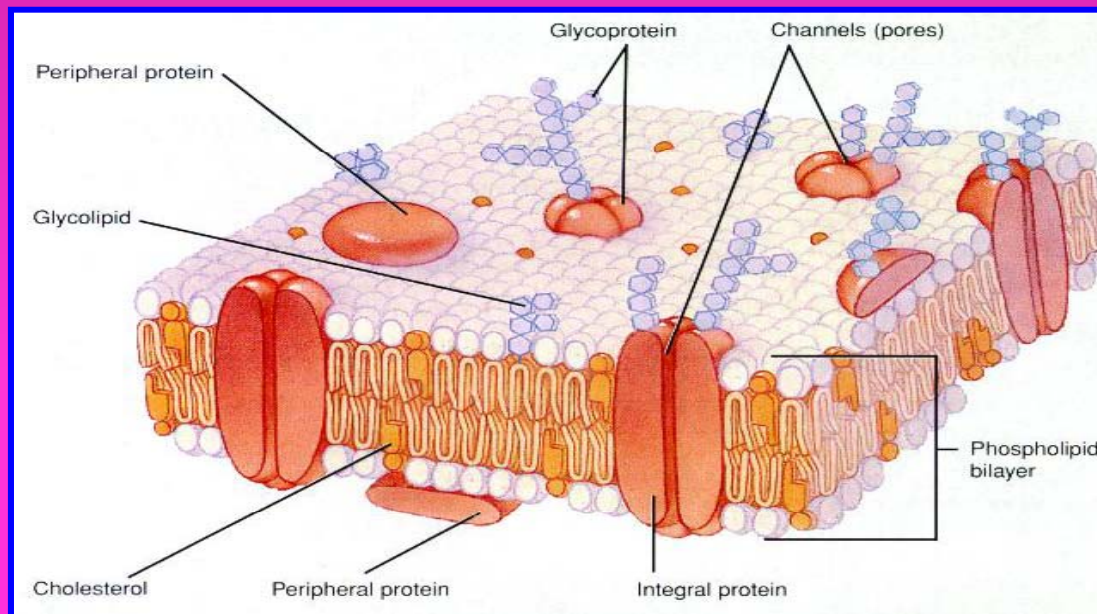


❑ “Biološki sloj” koji odvaja ćeliju od ekstracelularne tečnosti nazivamo ćelijska membrana.

❑ Uloga: razmjena supstanci i energije pod posebnim uslovima !!!

❑ ATP !!!

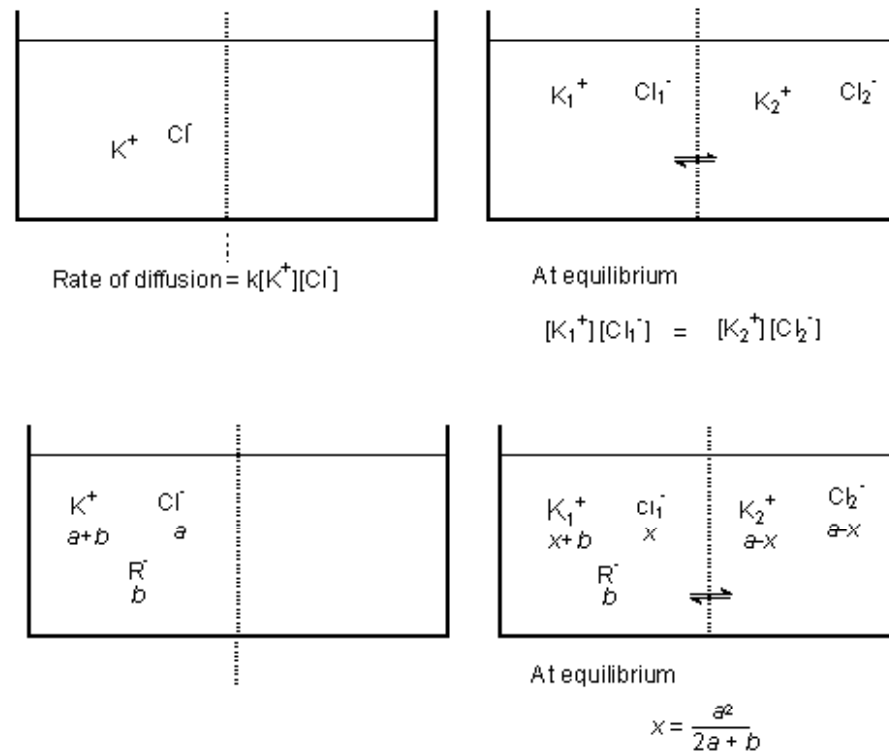
- ❑ Membranski proteini omogućavaju ćeliji da prilagodi “unutrašnju hemiju”!!!
- ❑ Prvi elementi membrane koji su klonirani “voltage-gated” jonski kanali, tj. proteini sa ovom osobinom.
- ❑  $K^+$  ,  $Na^+$  ,  $Ca^{++}$  ,  $Cl^-$  , i druge materije
- ❑ “depolarizacija”, “hiperpolarizacija”, “repolarizacija”.
- ❑ Jonski kanali (*gated*, *non-gated*),
- ❑ *leaking channel* i jonski kanali koji se teško otvaraju



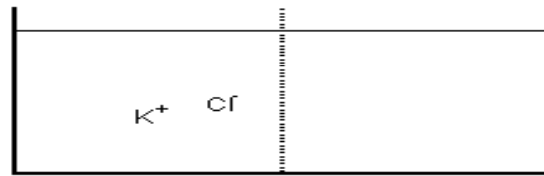
❑ Šta je posljedica prolaska jona kroz kanale, bez utroška metaboličke energije:

- ✓ razlika u hemijskim koncentracijama jona unutar i van ćelije
- ✓ potencijalna razlika na ćelijskoj membrani

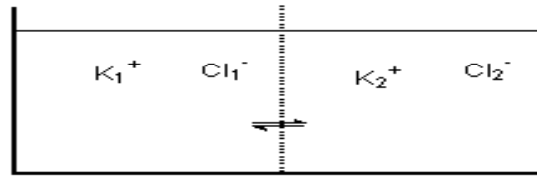
### Donnan Membrane Equilibrium



## Donnan Membrane Equilibrium

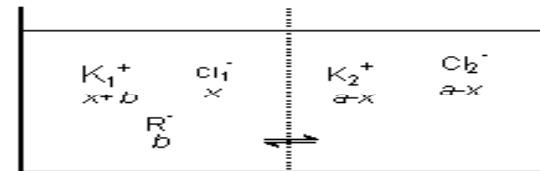
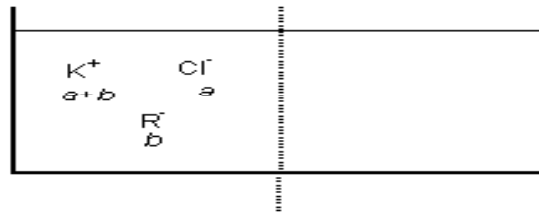


Rate of diffusion =  $k[K^+][Cl^-]$



At equilibrium

$$[K_1^+][Cl_1^-] = [K_2^+][Cl_2^-]$$



At equilibrium

$$x = \frac{a^2}{2a + b}$$

$$\bar{\mu}_{K^+,1} = \bar{\mu}_{K^+,2}$$

$$\bar{\mu}_{Cl^-,1} = \bar{\mu}_{Cl^-,2}$$

$$U = \frac{RT}{F} \ln \frac{[K^+]_2}{[K^+]_1}$$

$$U = \frac{RT}{F} \ln \frac{[Cl^-]_2}{[Cl^-]_1}$$

Nernstova jednačina u opštem obliku

$$U = \frac{RT}{F} \ln \frac{[Cs]}{[Cu]}$$

Donanova jednačina za ravnotežno stanje

$$[K^+]_1 \cdot [Cl^-]_1 = [K^+]_2 \cdot [Cl^-]_2$$

## Nernstov potencijal za jone kalijuma i natrijuma

$$[K^+]_u = 150 \text{ mmol/l} ; [K^+]_s = 4 \text{ mmol/l} ; T = 300 \text{ K} ; F = 96\,500 \text{ C mol}^{-1}$$

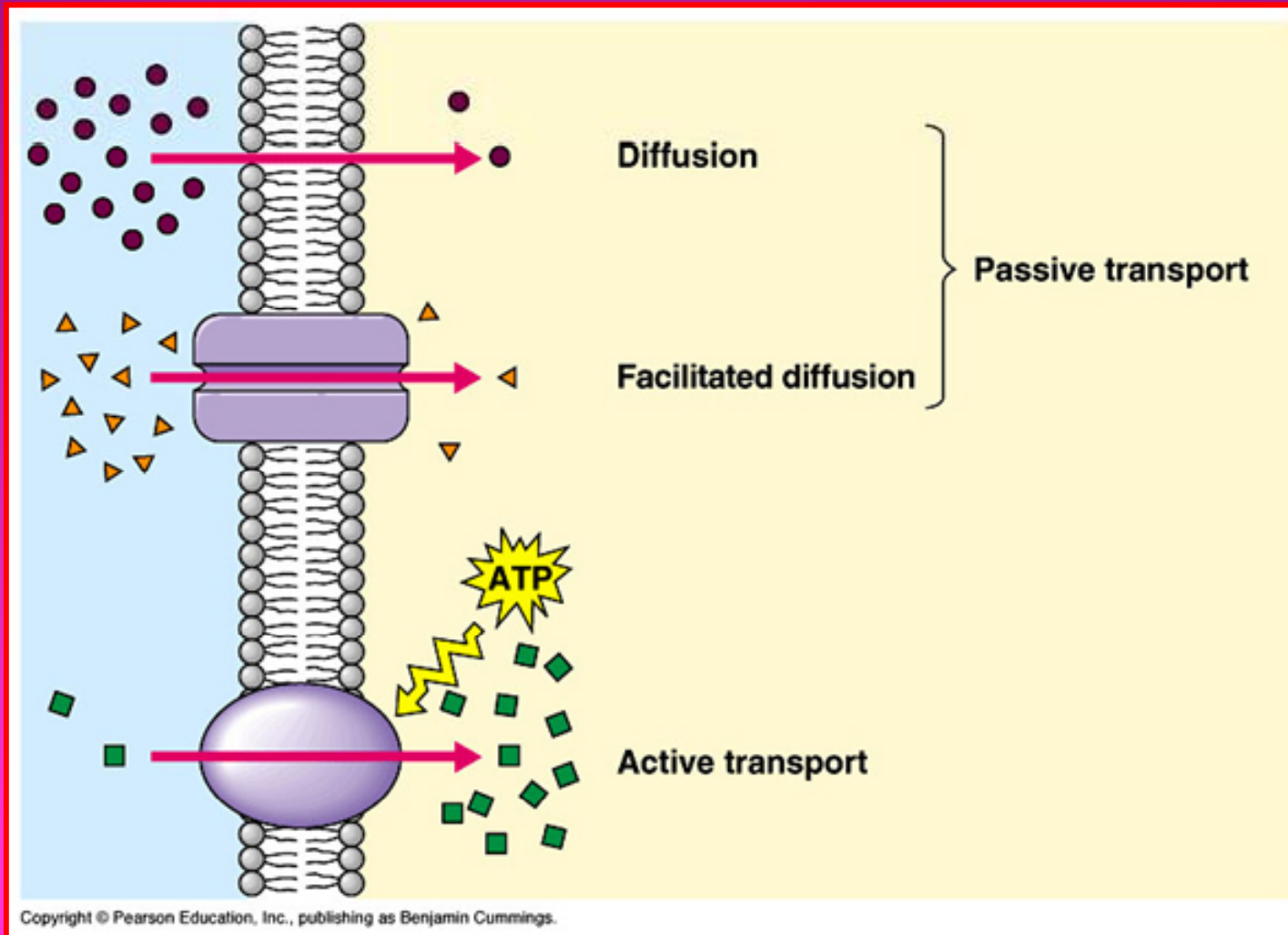
$$U = -\frac{RT}{F} \ln \frac{[Cu]}{[Cs]} = -96 \text{ mV}$$

$$[Na^+]_u = 15 \text{ mmol/l} ; [Na^+]_s = 150 \text{ mmol/l} ; T = 300 \text{ K} ; F = 96\,500 \text{ C mol}^{-1}$$

$$U = \frac{RT}{F} \ln \frac{[Cs]}{[Cu]} = 60 \text{ mV}$$



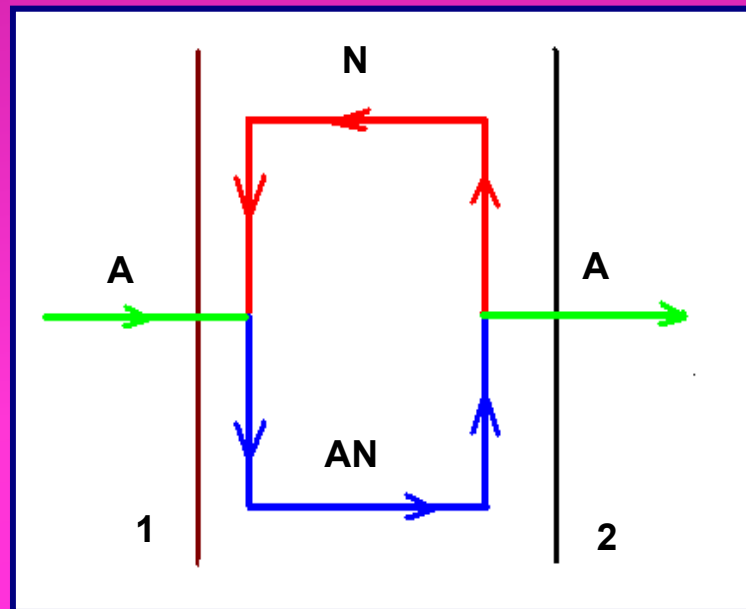
## TRANSPORT JONA KROZ MEMBRANU

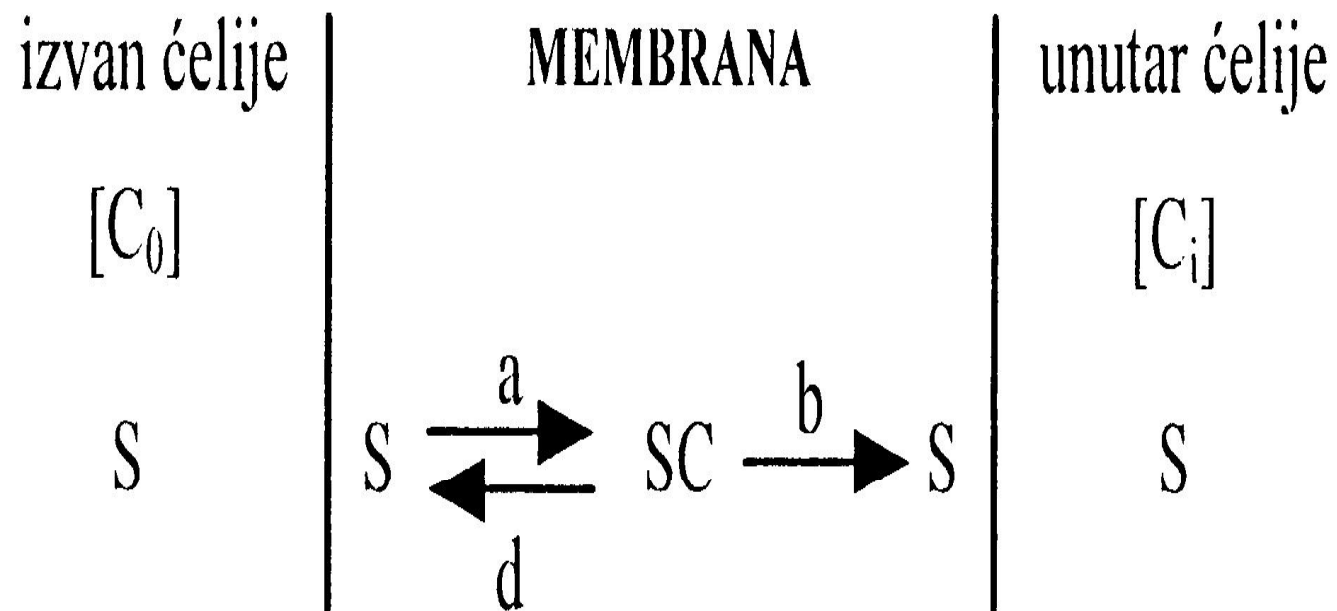




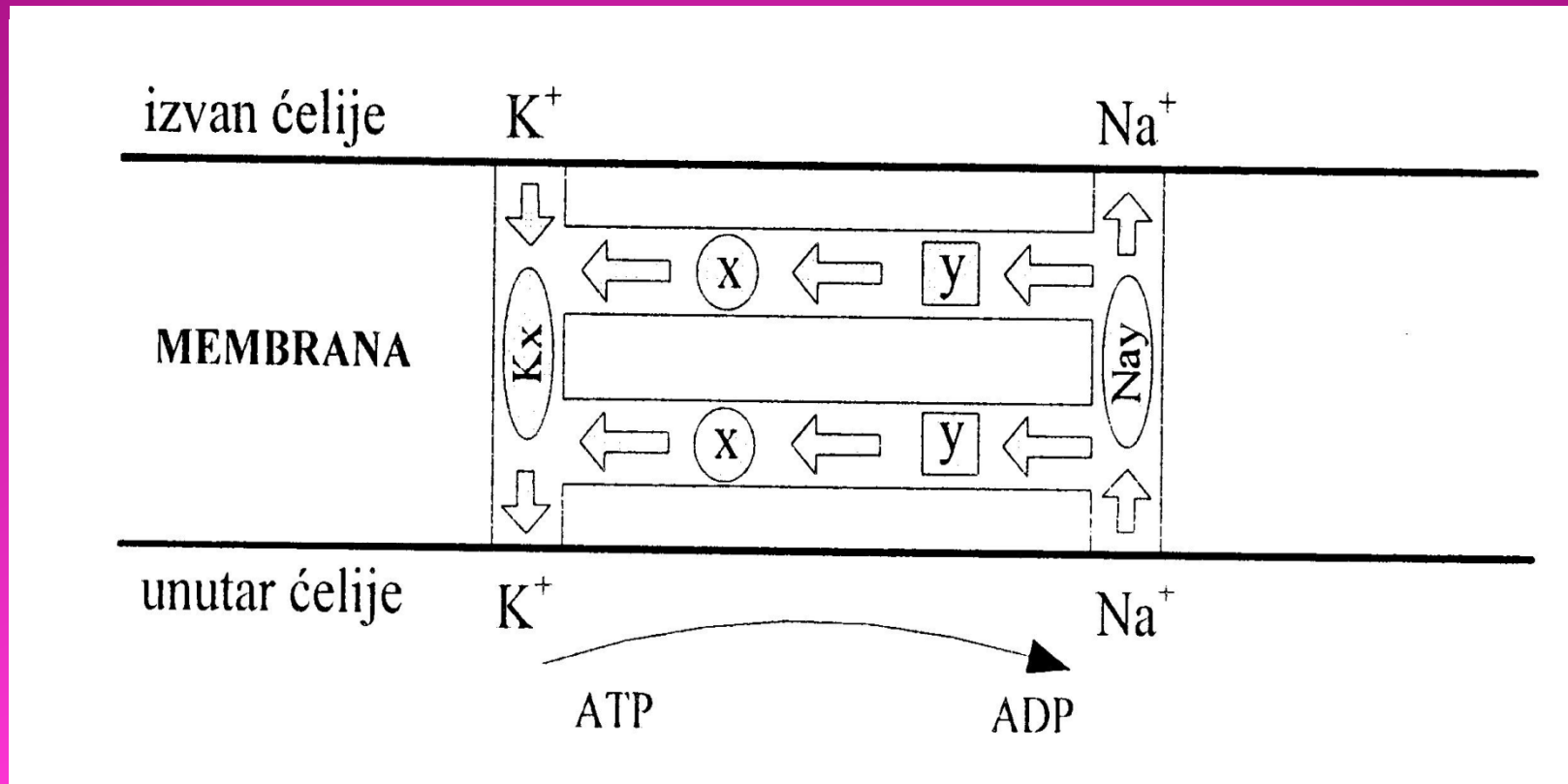
- ❑ Jonski protok kroz membranu može biti difuzijom kroz pore bez dejstva drugih supstanci ili energije
- ❑ Ako za prenos kroz membranu postoji posrednik – proces facilitaran !!!
- ❑ Ako je za prenos kroz membranu potrebna energija – proces aktivan !!!

## Olakšani transport





## Aktivni transport

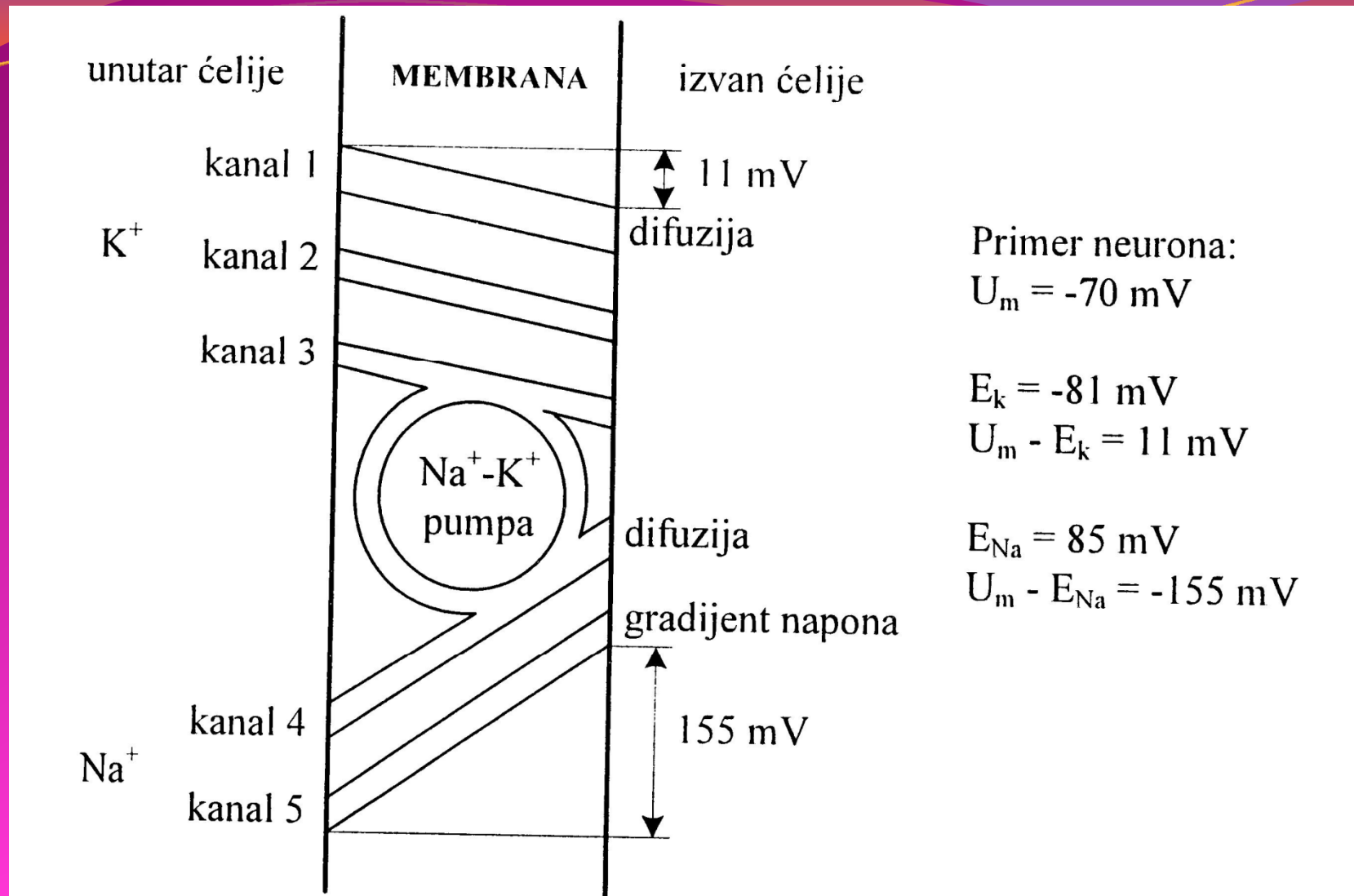


## **Četiri osnovna sistema aktivnog transporta u živoj ćeliji:**

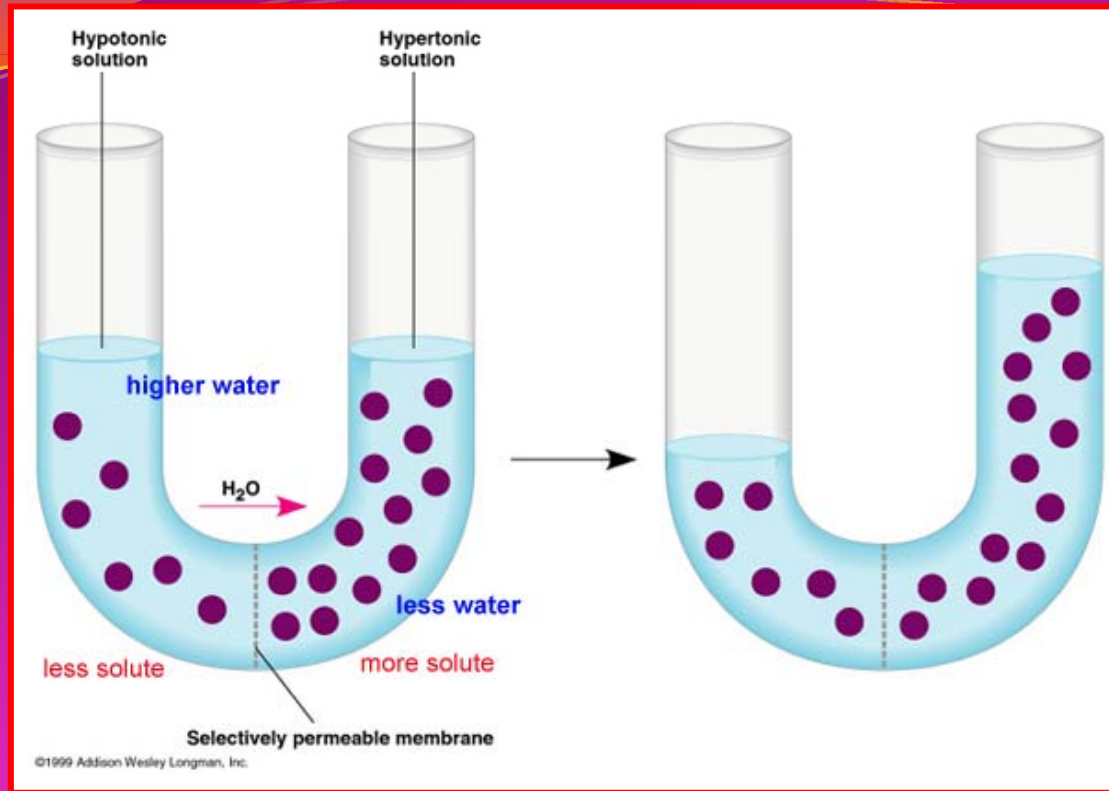
- ✓ **prenos jona natrijuma i kalijuma kroz citoplazmatičnu membranu**
- ✓ **prenos kalcijuma kroz membranu sarkoplazmatičnog retikuluma srčanih i skeletnih mišića**
- ✓ **prenos jona vodonika kroz membranu mitohondrija**
- ✓ **prenos protona pri radu disajnih lanaca mitohondrija**

## NATRIJUM – KALIJUM PUMPA

- ☐ U ćeliji osim jona  $K^+$ ,  $Na^+$ , nalaze se i joni  $Cl^-$ , i veliki broj bjelančevinastih anjona ( $A^-$ )
- ☐ Električna neutralnost unutar ćelijske tečnosti, ekstracelularna tečnost je takođe elektro-neutralna.
- ☐ Da bi ćelija ostala u ravnotežnom stanju, ukupan efekat kretanja jona  $Na^+$  u ćeliji treba da se izbalansira premještanjem jona  $K^+$ .
- ☐ Održavanje potencijala je regulisano mehanizmom natrijum – kalijeve pumpe !!!
- ☐ Za njen rad potrebna je energija ?!  
ATP - ADP !!!!
- ☐ 2 jona  $K^+$  uđu u ćeliju 3 jona  $Na^+$  izađu iz ćelije !!!



# OSMOZA



Osmoza je proces kretanja molekula vode (rastvarača) kroz polupropusnu membranu iz oblasti visoke koncentracije molekula vode (rastvarača) u oblast niske koncentracije vode (rastvarača).

van Hoftova jednačina

$$\Delta p = \frac{n_{ot}}{V} \cdot RT$$

$$p_2 - p_1 = c \cdot R \cdot T$$

Osmotski pritisak

$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot h$$