

UNIVERZITET U TUZLI
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET
MEDICINSKI FAKULTET



BIOFZIKA

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°C , 10^5 Pa, temperatura kože 34°C)
- ✓ faza biološke zrelosti podrazumjeva da se čovjekova entropija ne mjenja

- ❑ Preko čega određujemo brzinu promjene unutrašnje energije sistema??

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

➤ srednja snaga toplotnih i mehaničkih interakcija

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

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

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

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

- ❑ 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 !!!

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

- 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

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

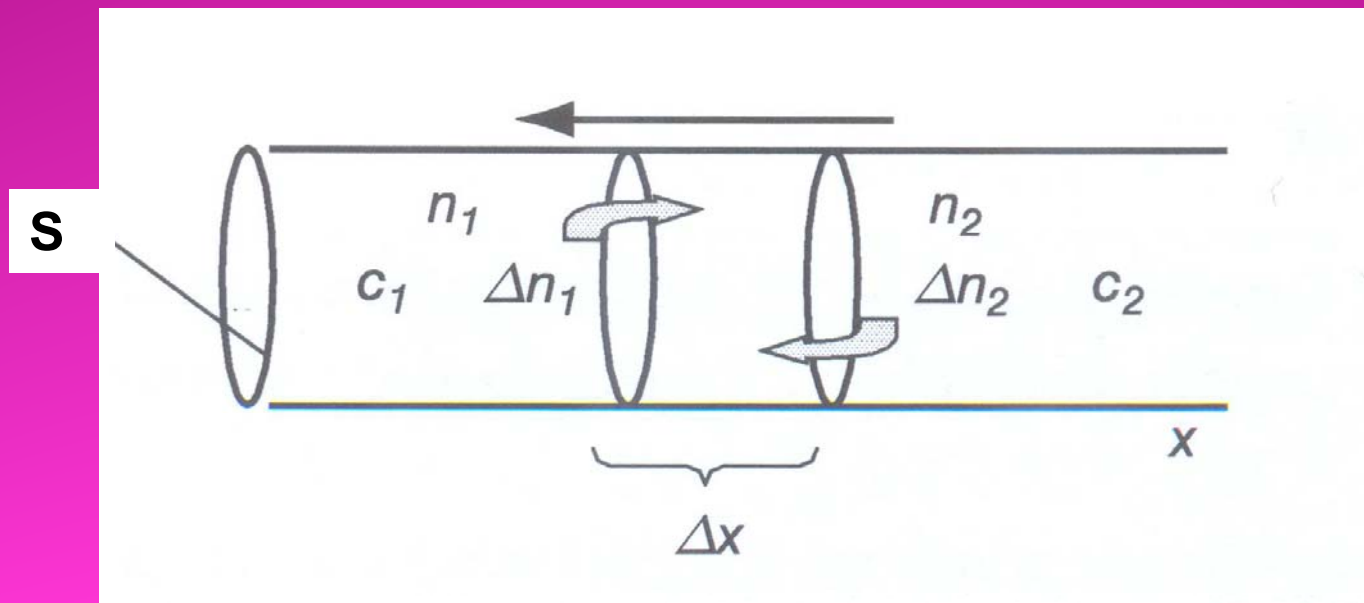
unos hrane i izbacivanje metaboličkih produkata

Transport u gradijentu pritiska i koncentracije

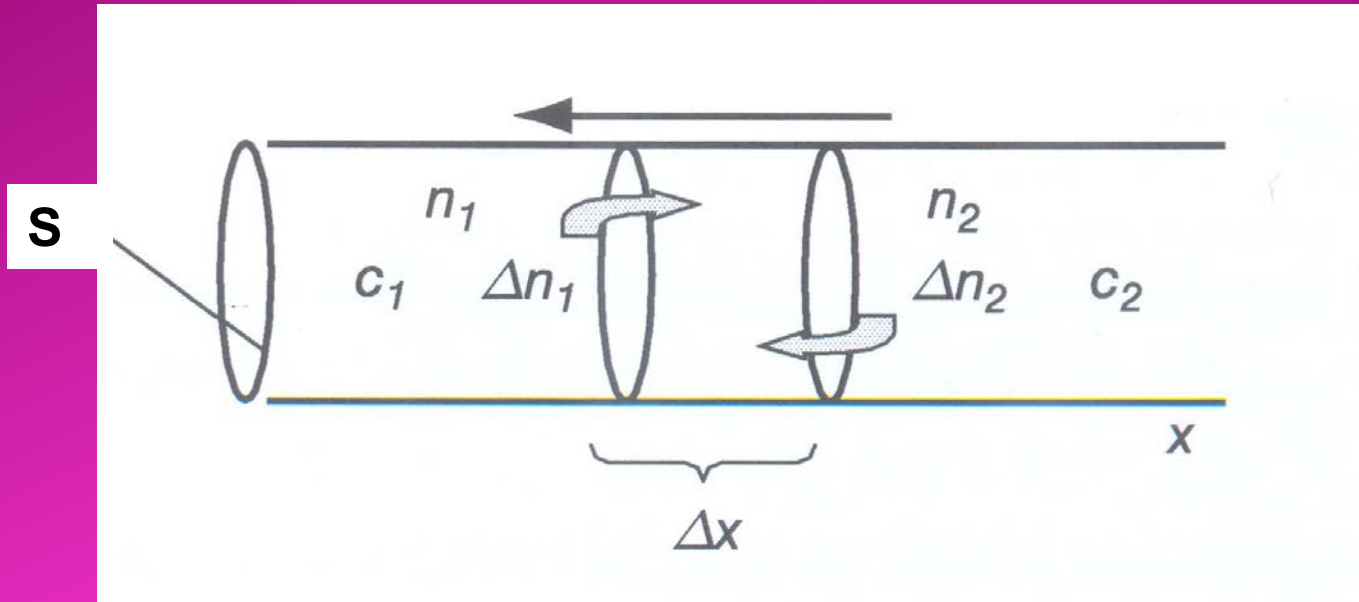
- Gibbsova energija ravnotežnog sistema je minimalana.
- Šta se dešava kod bioloških sistema??
 - rastvori
 - razlika hemijskih potencijala
- Koji su procesi karakteristični za biološki sistem ??
 - ✓ gradijent pritiska – protok;
 - ✓ gradijent koncentracije – difuzija.

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

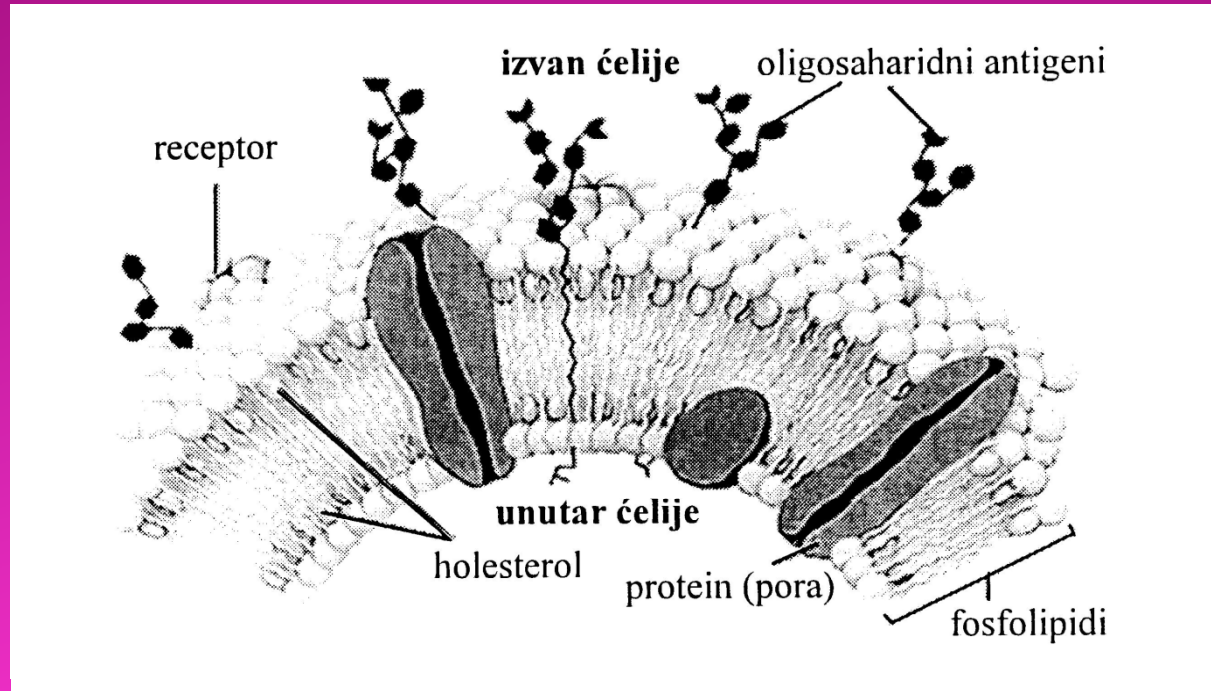
$$\frac{\Delta c'}{L}$$

- gradijent koncentracije unutar membrane

Permeabilnost membrane

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

TRANSPORT KROZ POLUPROPUSNU MEMBRANU. BIOLOŠKE MEMBRANE

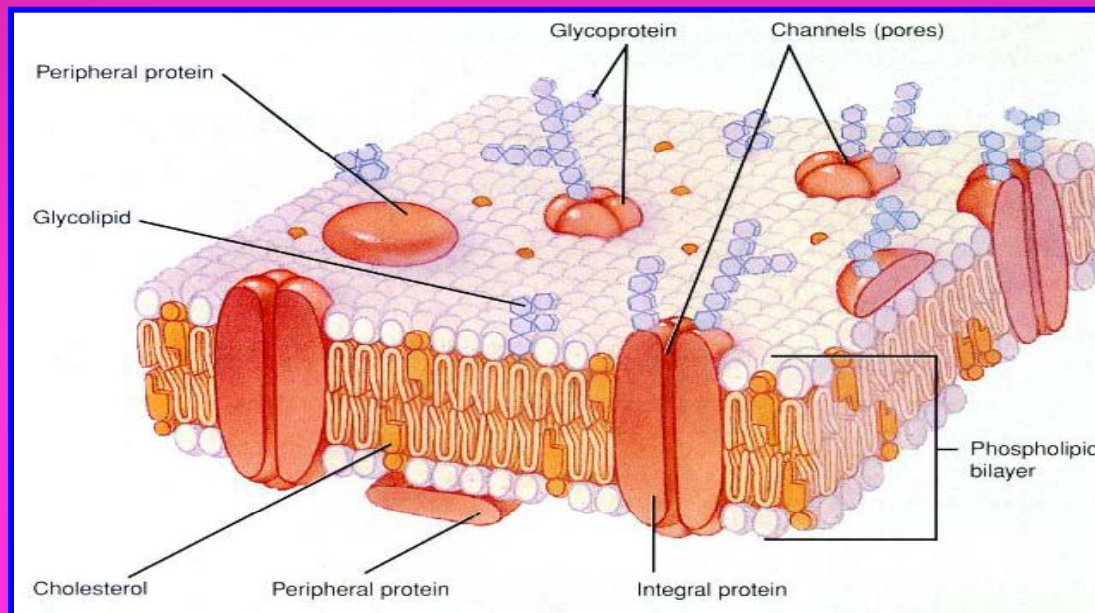


❑ “Biološki sloj” koji odvaja ćeliju od ekstracelularne tečnosti nazivamo ćelijska membrana.

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

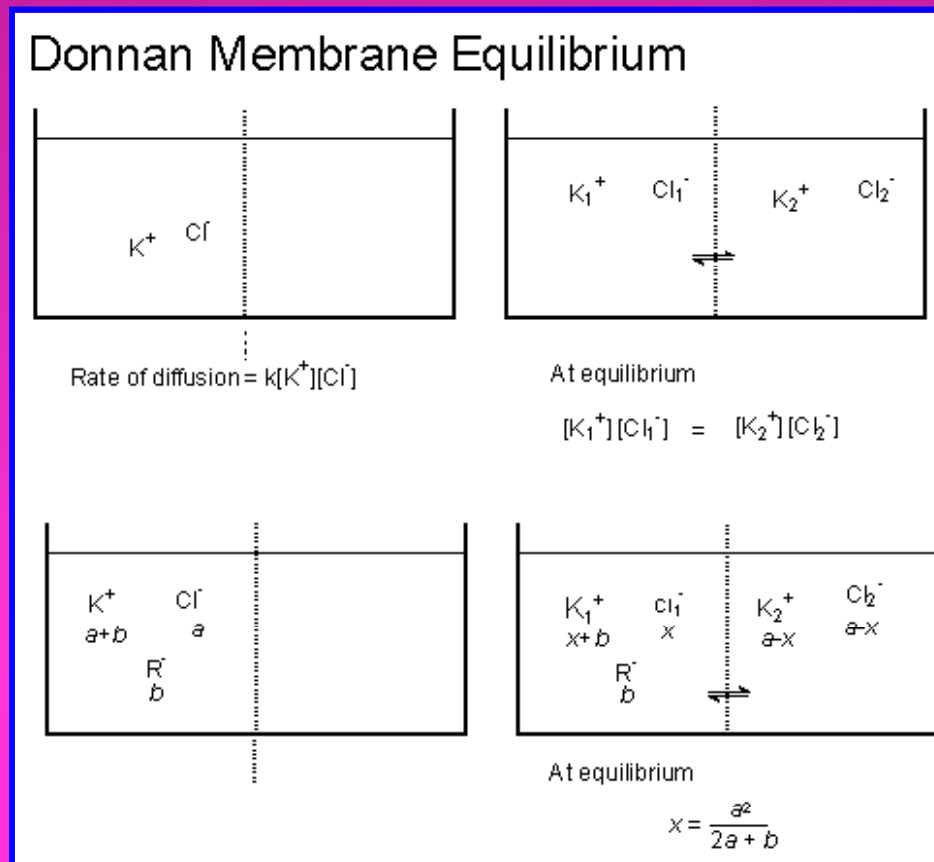
❑ ATP !!!

- ❑ 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

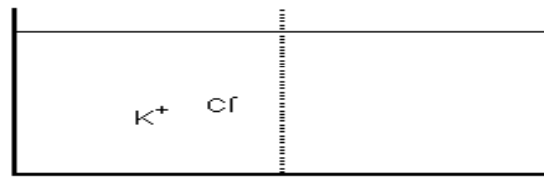


□ Šta je posljedica prolaska jona kroz kanale, bez utroška metaboličke energije:

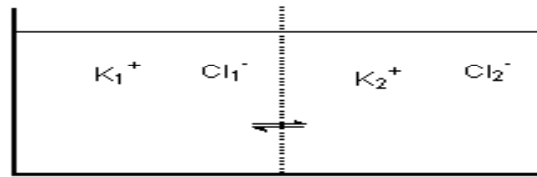
- ✓ razlika u hemijskim koncentracijama jona unutar i van ćelije
- ✓ potencijalna razlika na ćelijskoj membrani



Donnan Membrane Equilibrium

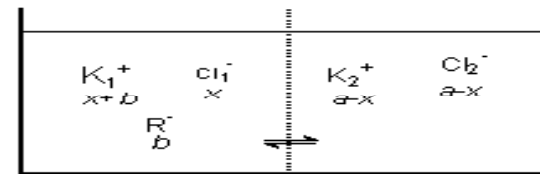
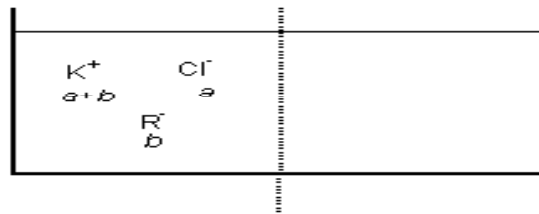


Rate of diffusion = $k[K^+][Cl^-]$



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

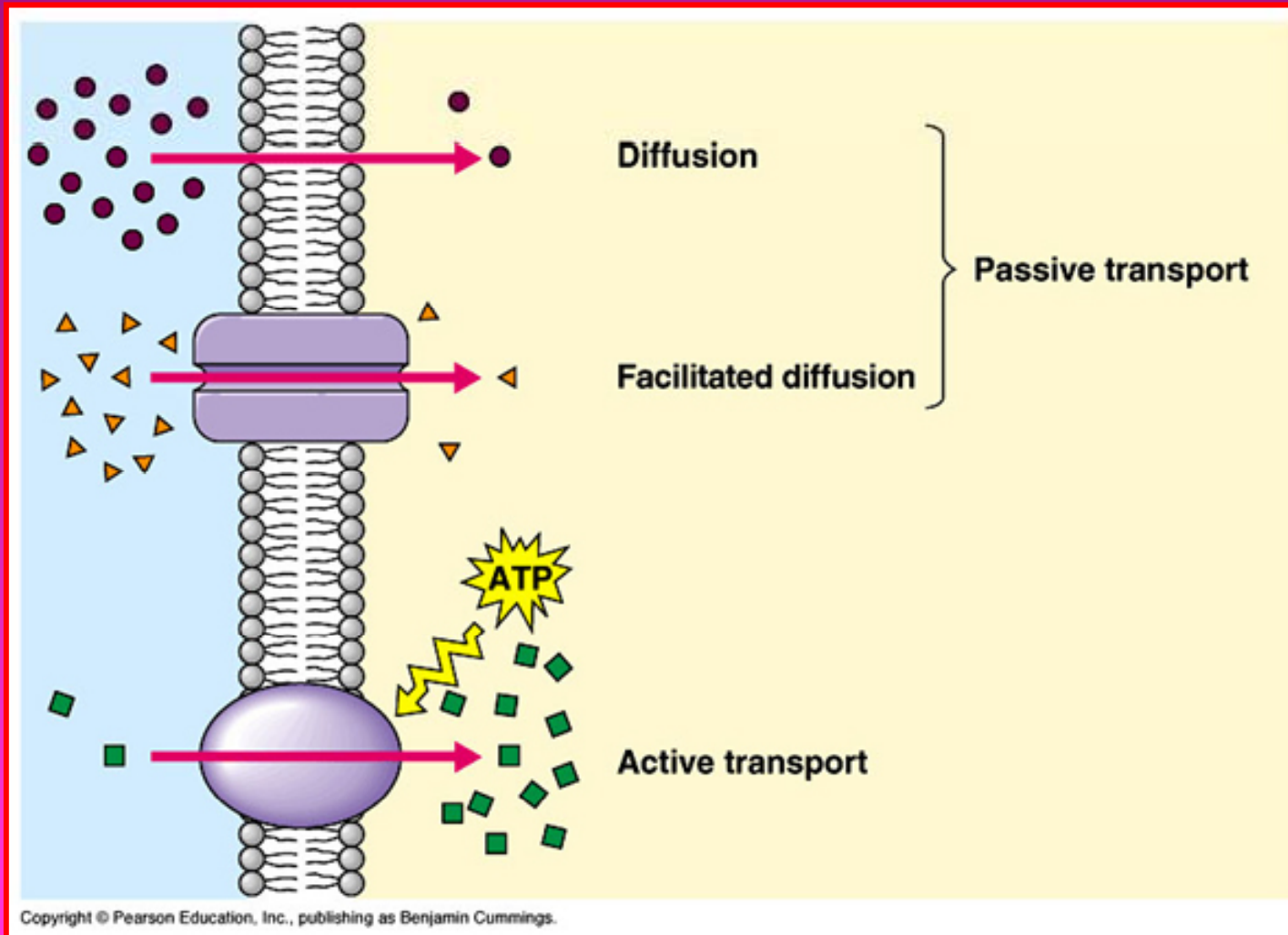
$$[K^+]_u = 150 \text{ mmol/l}; [K^+]_s = 4 \text{ mmol/l}; T = 300 \text{ K}; F = 96\,500 \text{ C mol}^{-1}$$

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

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

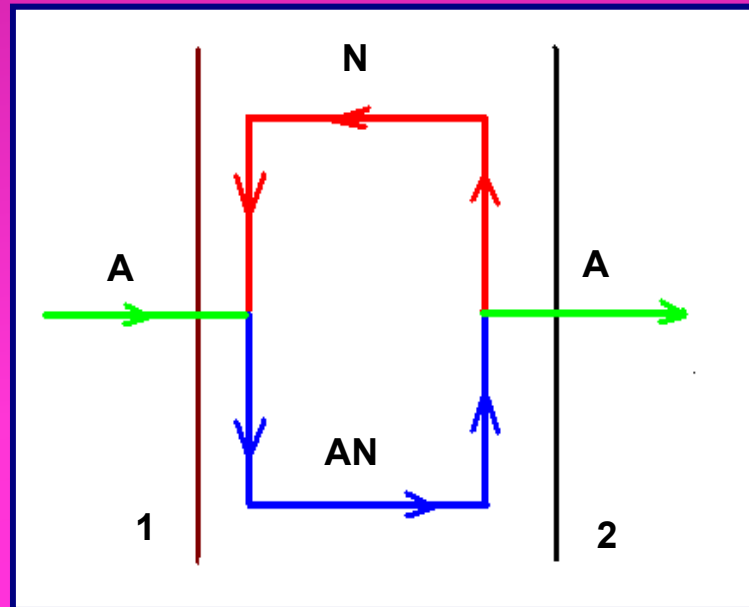
$$U = \frac{RT}{F} \ln \frac{[Cs]}{[Cu]} = 60 \text{ mV}$$

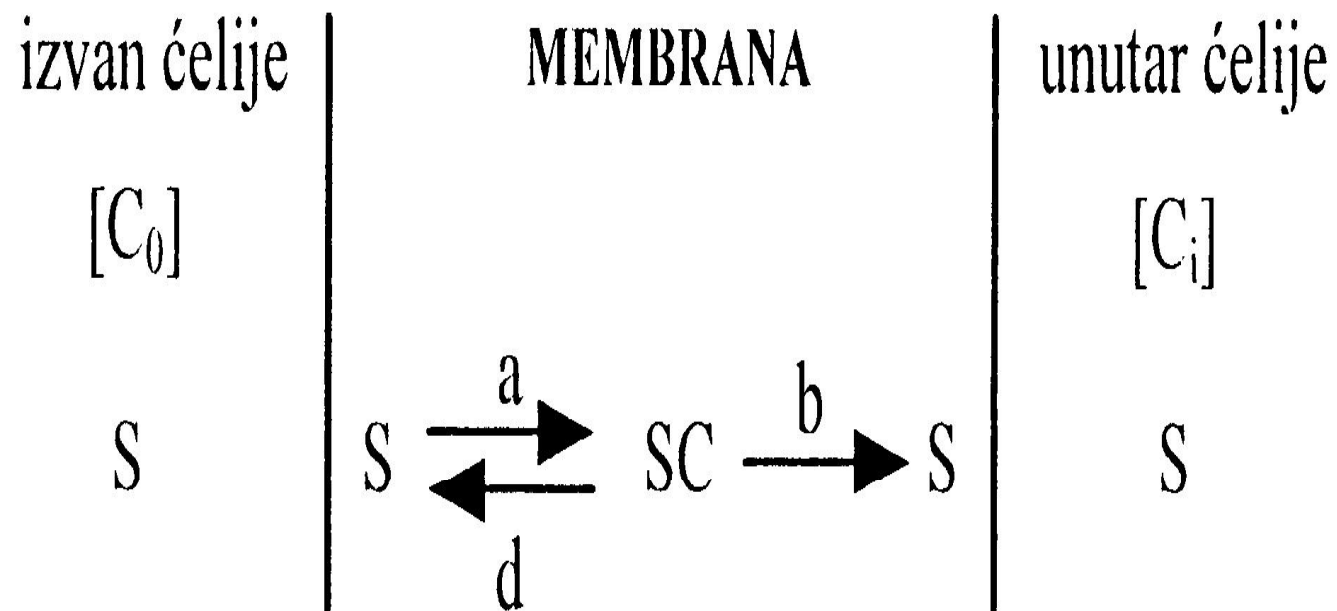
TRANSPORT JONA KROZ MEMBRANU



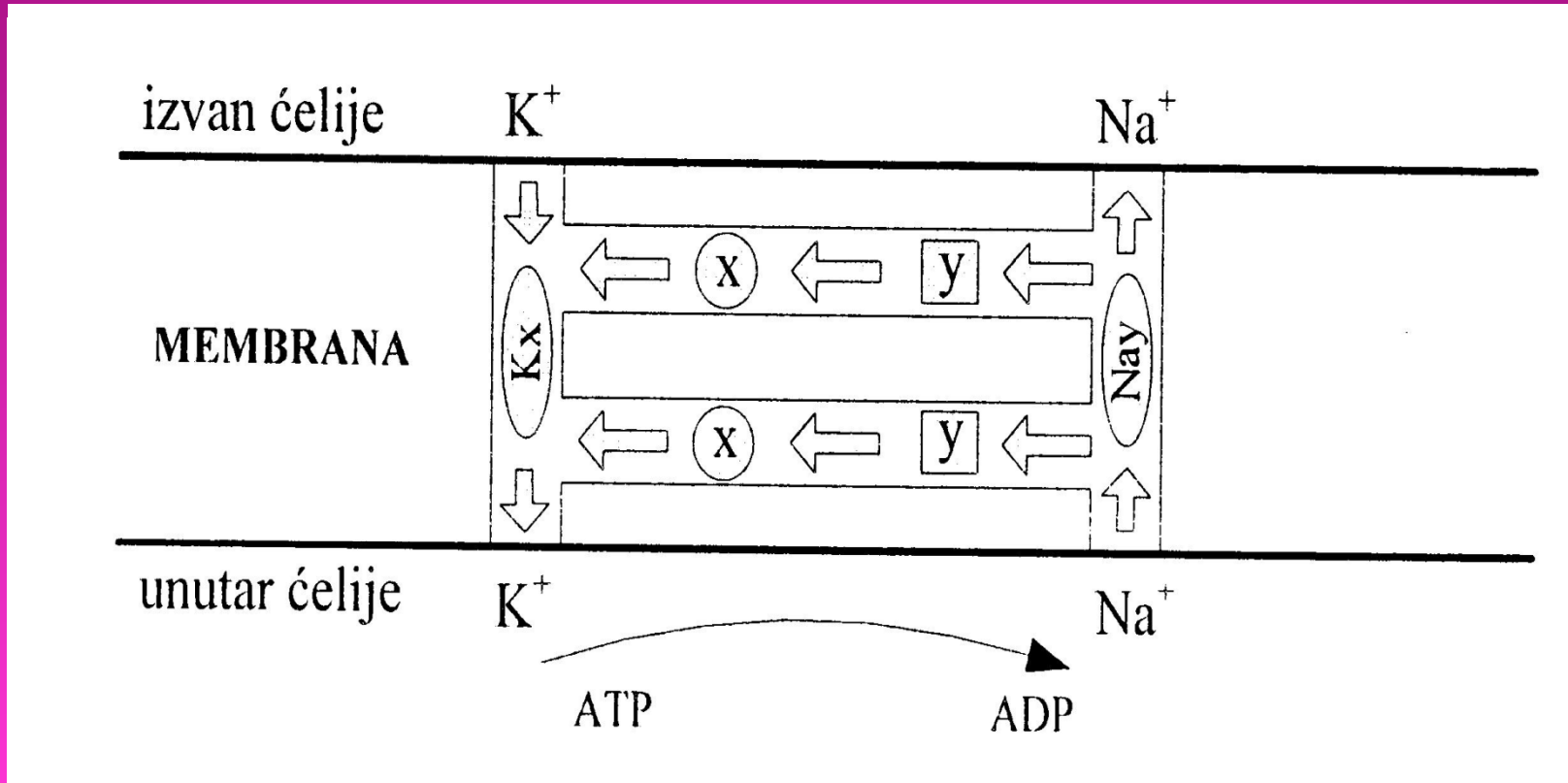
- ❑ Jonski protok kroz membranu može biti difuzijom kroz pore bez dejstva drugih supstanci ili energije
- ❑ Ako za prenos kroz membranu postoji posrednik – proces facilitaran !!!
- ❑ Ako je za prenos kroz membranu potrebna energija – proces aktivan !!!

Olakšani transport





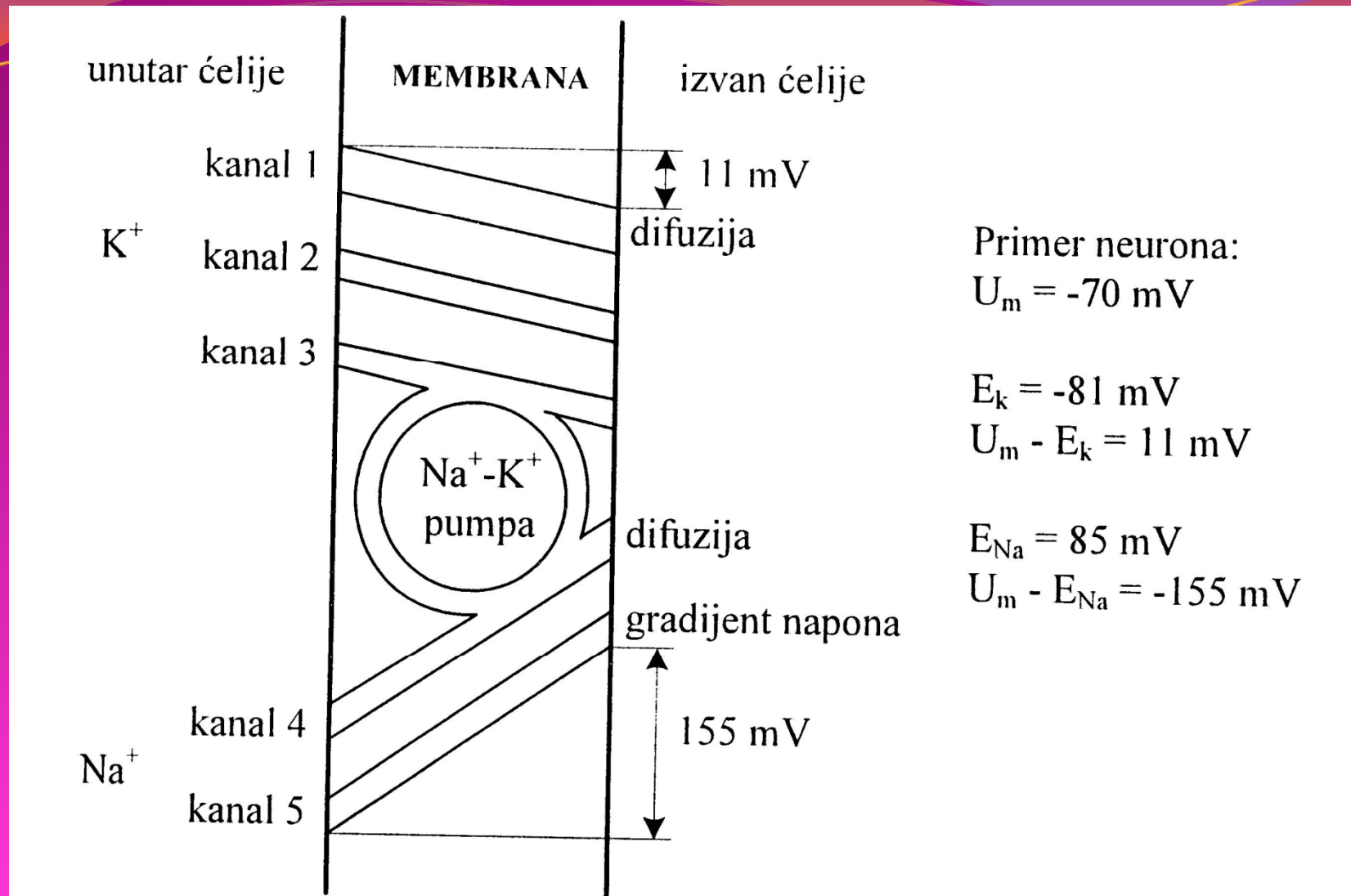
Aktivni transport



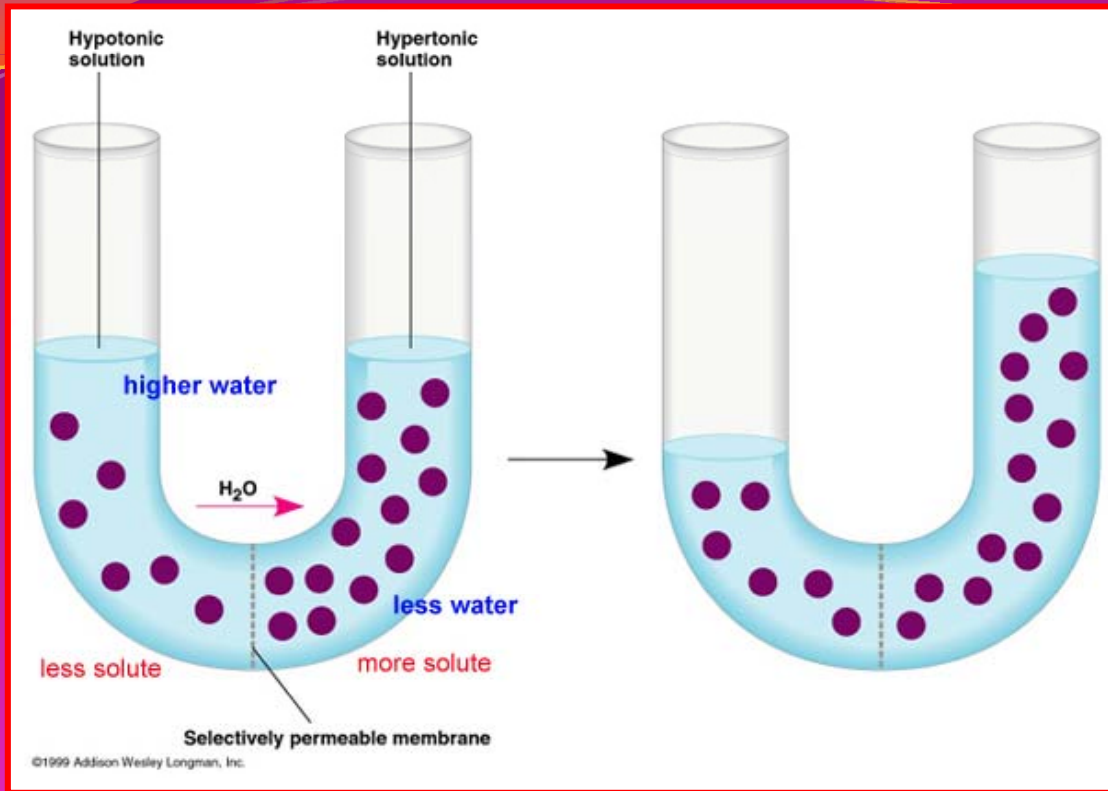
- ❑ prenos jona kalijuma i natrijuma kroz citoplazmatičnu membranu
- ❑ prenos kalcijuma kroz membrane sarkoplazmatičnog retikuluma srčanih i skeletnih mišića
- ❑ prenos jona vodonika kroz membranu mitohondrija
- ❑ prenos pri radu disajnih lanaca mitohondrija

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

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