

Zarın elektriksel özellikleri-1

Doç. Dr. Erkan Tuncay
Biyofizik Anabilim Dalı

HÜCRE ZARININ (*PLASMA MEMBRANE*) TANIMI VE FONKSİYONLARI

TANIM:

Tüm hücrelerin dışını kaplayan zar. Plasma membrane, plasmalemma, sarcolemma, ...

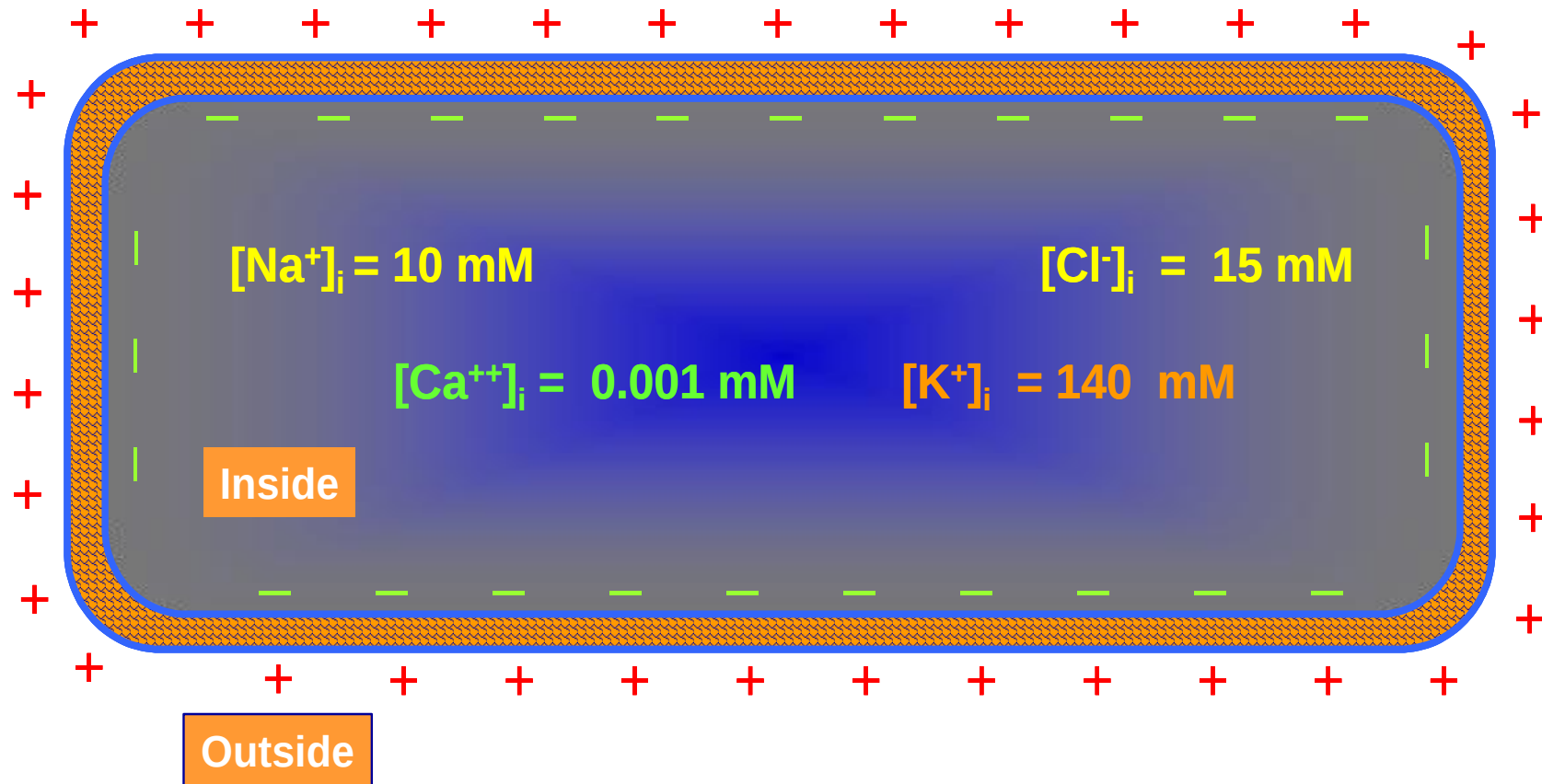
FONKSİYONLARI:

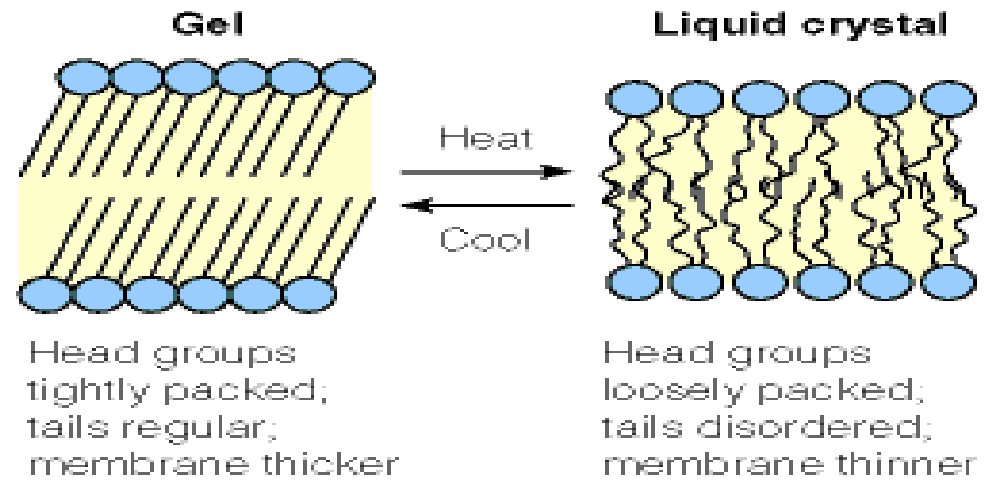
- 1- Bir hücrenin sınırlarını gösterir ve bir hücreyi diğerinden ayırır.
- 2- Hücrenin şeklini verir.
- 3- Seçici olarak geçirgendir.
- 4- Sıvı kristal yapısındadır.

Intra- and Extra-Cellular Ion Concentrations

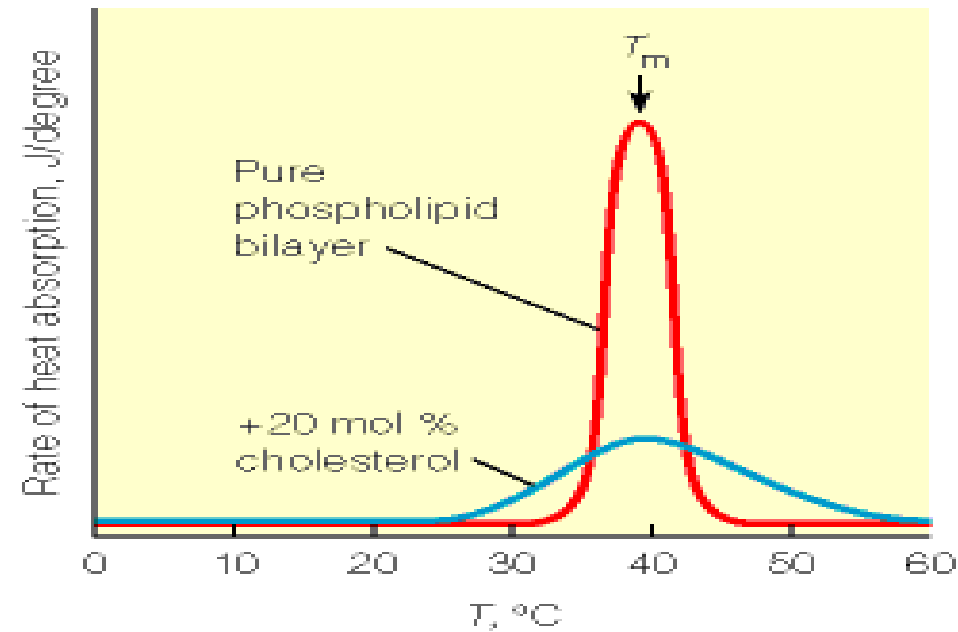
Life's chemistry of aqueous solution employs ions as charge carriers which by crossing cell membranes generate electrical currents that signal cellular functions (contractility, secretion).

$[\text{Na}^+]_o = 140 \text{ mM}$ $[\text{Ca}^{++}]_o = 2 \text{ mM}$ $[\text{K}^+]_o = 4 \text{ mM}$ $[\text{Cl}^-]_o = 140 \text{ mM}$





(a) Transition



(b) Transition with and without cholesterol

HÜCREDE BİYOFİZİKSEL OLAYLAR

- **Hücre ve Hücre Zarı**

- Hücreler açık sistemlerdir; hücre ile çevresi arasında enerji ve madde alışverişi olmaktadır.
- Hücre ile içinde bulunduğu ortamı ayıran hücre zarıdır. Hücre çevresi ile seçimli olarak madde alışverişi yapar.
- Hücre zarlarında madde taşınımı molekül hareketleri ile olmaktadır.
- Hücrelerde madde taşınımı mekanizmalarından en önemlisi konsantrasyon gradiyentidir ve difüzyon olarak adlandırılır.

Diffüzyon ve Moleküler Hareket

- ❑ Gazlar ve sıvılarda moleküller serbest bir şekilde hareket ederler.
- ❑ Moleküllerin bu rastgele hareketinin hızı sıcaklık tarafından belirlenir.
- ❑ Moleküller arasında çarpışmalar olurken, hareket doğrultusu da sürekli değişir.

Diffüzyon ve Moleküler Hareket

- ❑ Diffüzyon; moleküllerin **rasgele (random) termal hareketler** sonucunda, bir bölgeden başka bir bölgeye geçerek yer değiştirmesidir.
- ❑ Böyle bir sistemde tek bir molekülün bireysel hareketi kesin olarak tahmin edilemez.
- ❑ Ancak, büyük bir molekül popülasyonunun toplam hareketi tahmin edilebilir.

Difüzyon

- Fick I. Yasası:
 - Molekül ve iyon gibi taneciklerin daha yüksek konsantrasyon bölgesinden daha düşük konsantrasyon bölgesine doğru net akışına difüzyon denir.
 - Birim zamanda birim yüzeyde geçen molekül sayısına difüzyon akı yoğunluğu denir

Türev olarak gösterimi ise

$$M_{dif} = \frac{\Delta n}{\Delta t} \frac{1}{A} = D \frac{\Delta c}{\Delta x} \quad mol / m^2 s$$

Difüzyon katsayısı: D [m^2/s] tanecik özelliklerine ve ortamın cinsine bağlıdır.

$$M_{dif} = -D \frac{dc}{dx}$$

Zarlarda difüzyon

- Bir maddenin zarın iki yanındaki konsantrasyonları birbirinden farklı ise zarda bir difüzyon oluşur.
- Bir molekül veya iyonun zardaki difüzyon katsayısı taneciğin cinsine ve zarın yapısına bağlıdır.

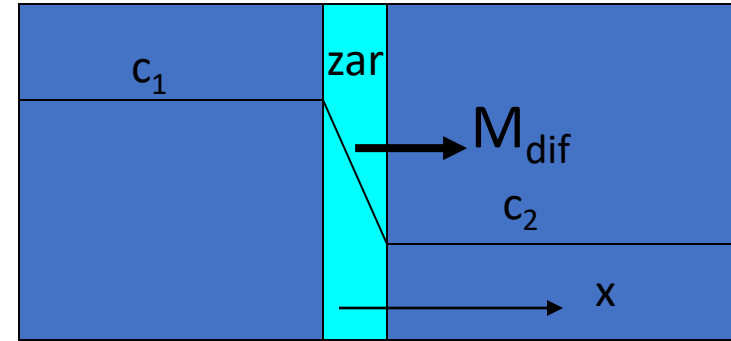
Zarlarda difüzyon

- Bir maddenin zarın iki yanındaki konsantrasyonları birbirinden farklı ise zarda bir difüzyon oluşur.
- Bir molekül veya iyonun zardaki difüzyon katsayısı taneciğin cinsine ve zarın yapısına bağlıdır.
 - Zarın kalınlığı $\delta = x_1 - x_2$ olsun. Fick I. Yasasına göre

Difüzyon akı yoğunluğu $M_{dif} = -D \frac{dc}{dx} = D \frac{c_2 - c_1}{x_2 - x_1} = P(c_2 - c_1)$

$$p = \frac{D}{\delta}$$

$$M_{dif} = P(c_2 - c_1)$$



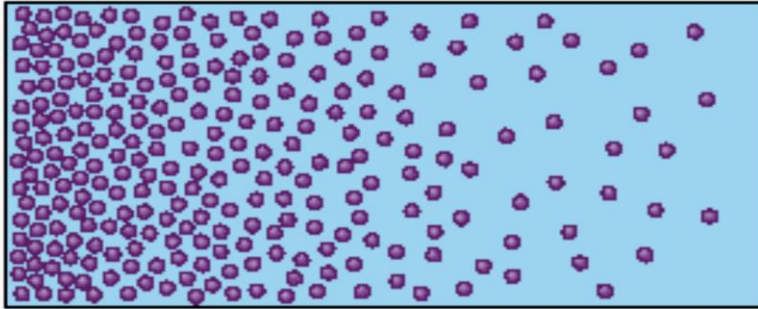
P: zarın geçirgenliği olup zarı geçen molekülün cinsine ve zarın kalınlığına bağlıdır (geçirgenlik).

Dinlenim halindeki bir zarda $P_K=10^{-8}$ m/s ve $P_{Na}=10^{-10}$ m/s

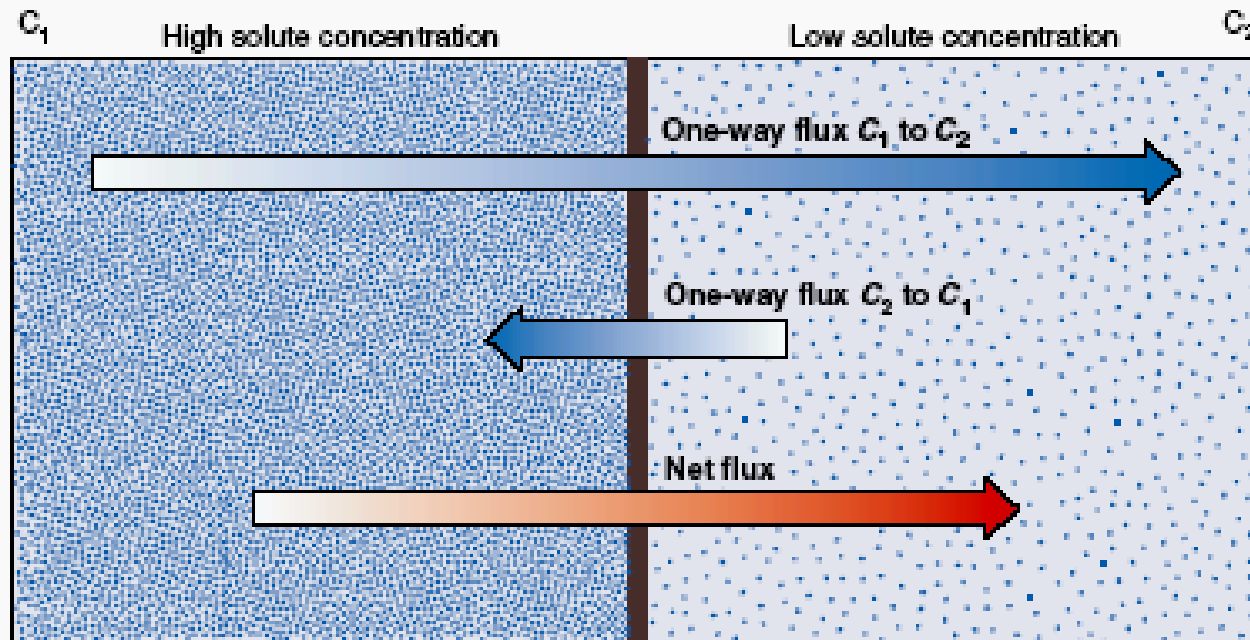
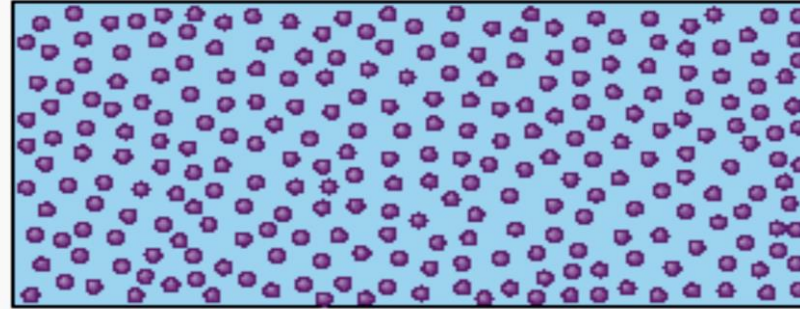
Difüzyon akı yoğunluğu: Birim zamanda birim yüzeyden geçen mol sayısı

Diffüzyon

(a)



(b)



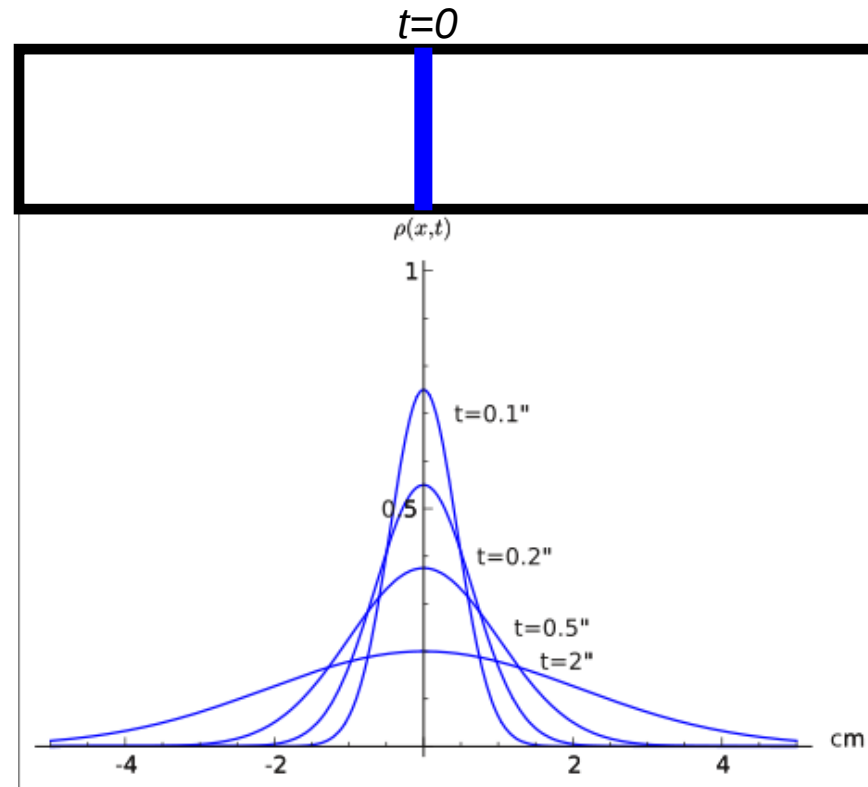
Diffüzyon; I. Fick Yasası

- Fick'in birinci yasası kararlı durumda konsantrasyonla akış arasındaki ilişkiyi ortaya koyar.
- Bu koşullarda akışın (flux) yüksek konsantrasyon bölgesinden, düşük konsantrasyon bölgesine doğru olduğunu; miktarının da konsantrasyon gradyentiyle orantılı olduğunu vurgular.

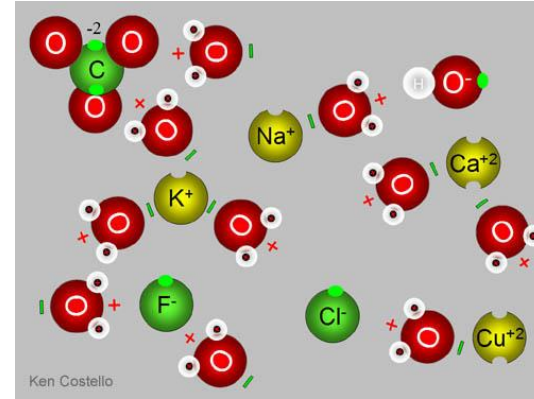
Diffüzyon; II. Fick Yasası

Fick'in II. Yasası; diffüzyona bağlı olarak konsantrasyon gradyentlerinin zamanla değişiminin ifade eder (Non-steady state diffusion).

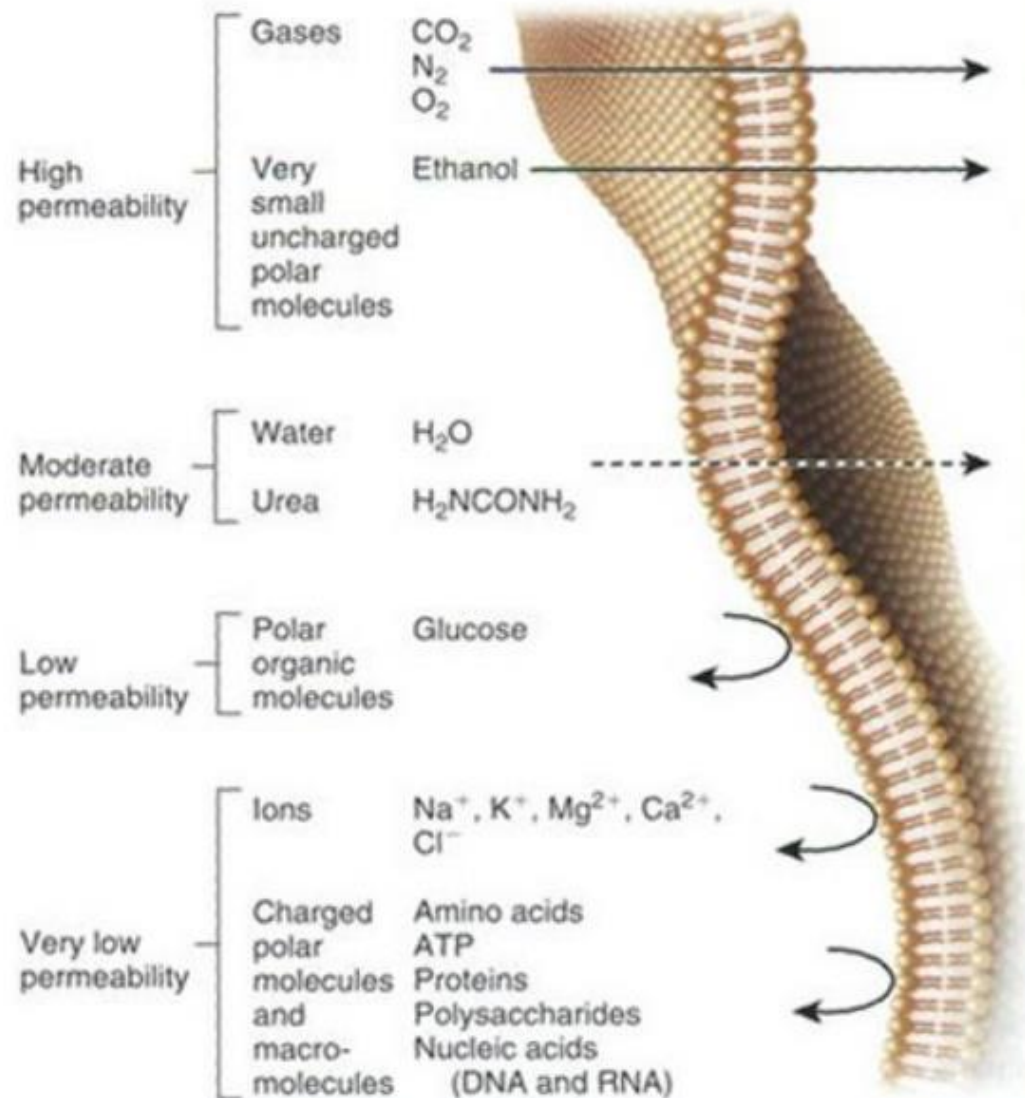
$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} \right) = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$



- ❑ Büyük organizmalar hücre düzeyinde yakın çevreleriyle diffüzyon aracılığıyla, uzak mesafelerde ise diffüzyon dışındaki mekanizmalarla madde alış-veriş yaparlar.
- ❑ Taşınımı sürdüren etken, fiziksel niceliğin gradyenti, yani uzaysal değişim oranıdır.
 - ❑ Konsantrasyon gradyenti
 - ❑ Basınç gradyenti
 - ❑ Sıcaklık gradyenti
 - ❑ Elektriksel gradyent



Membranes are selectively permeable

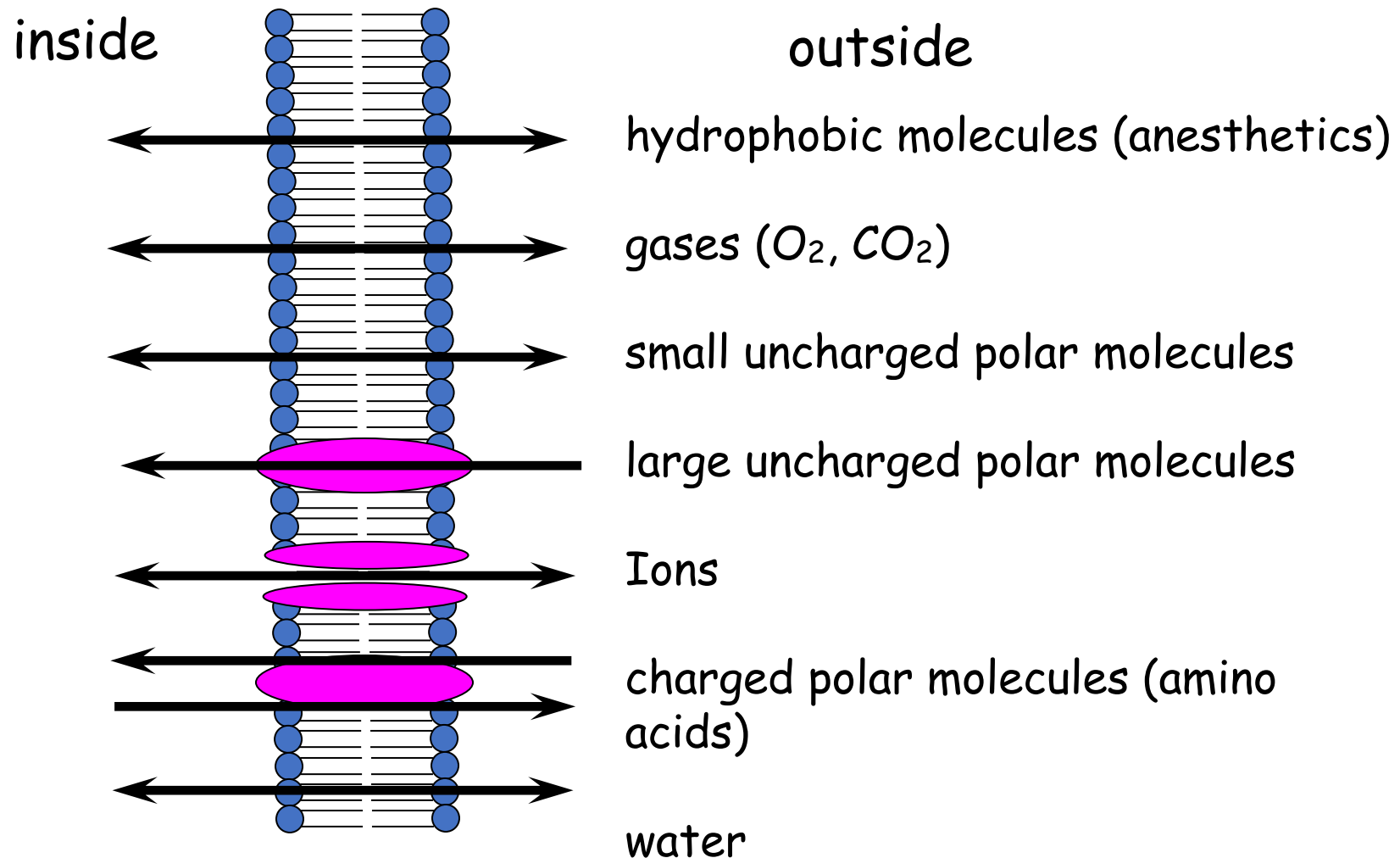


Gas molecules are freely permeable

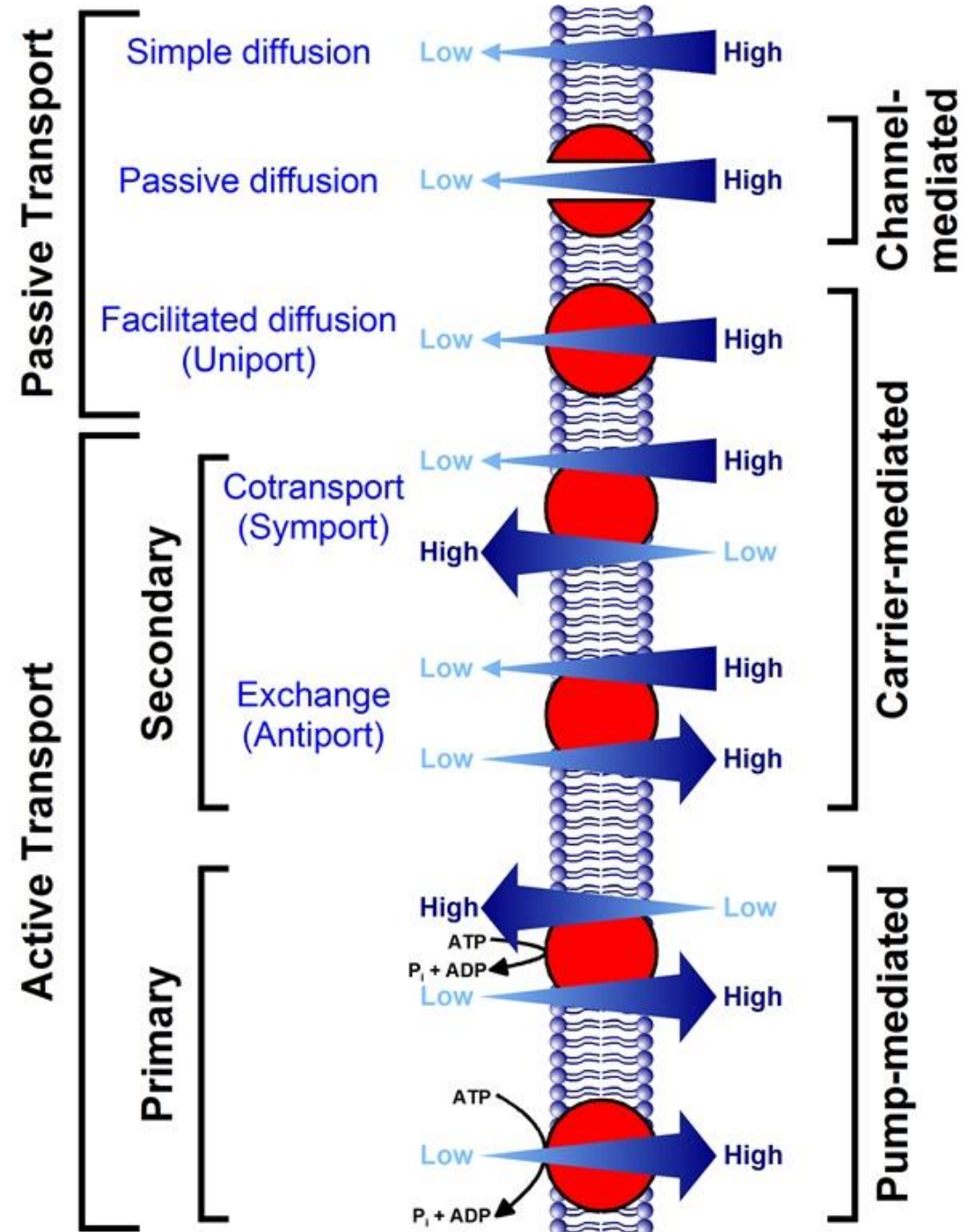
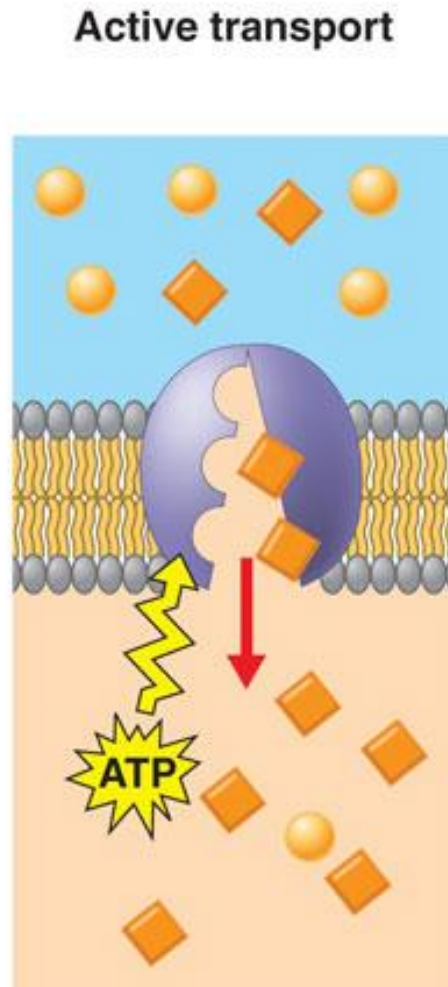
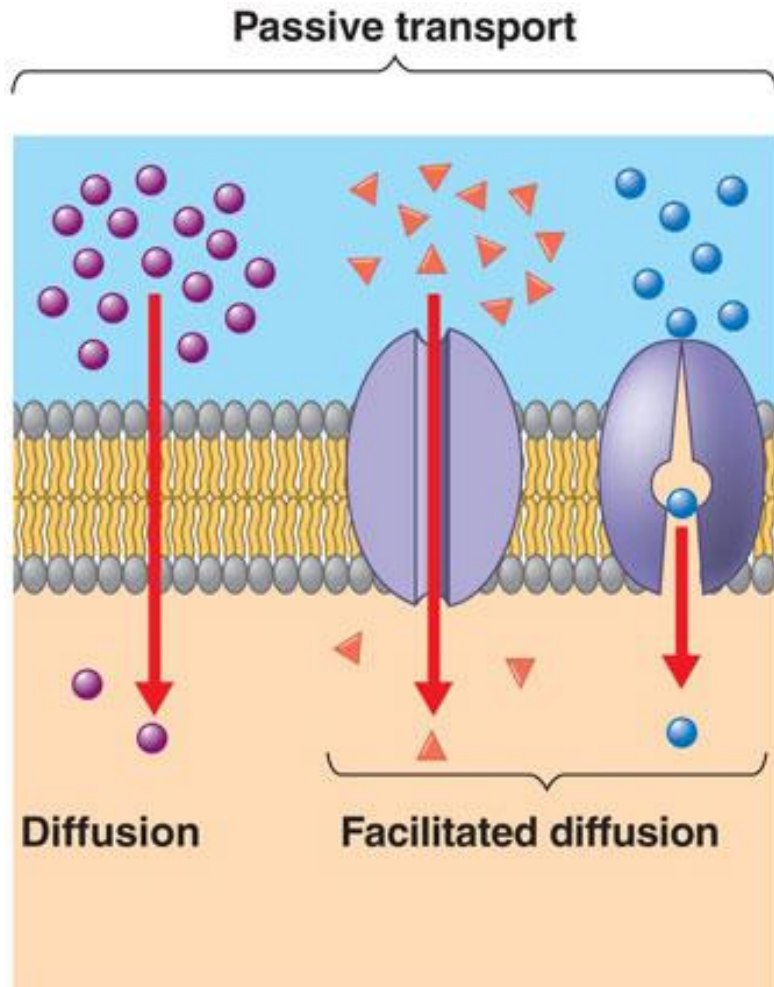
Small uncharged molecules are freely permeable

Large / charged molecules need 'assistance' to traverse the plasma membrane

The Lipid Bilayer is a Selective Barrier

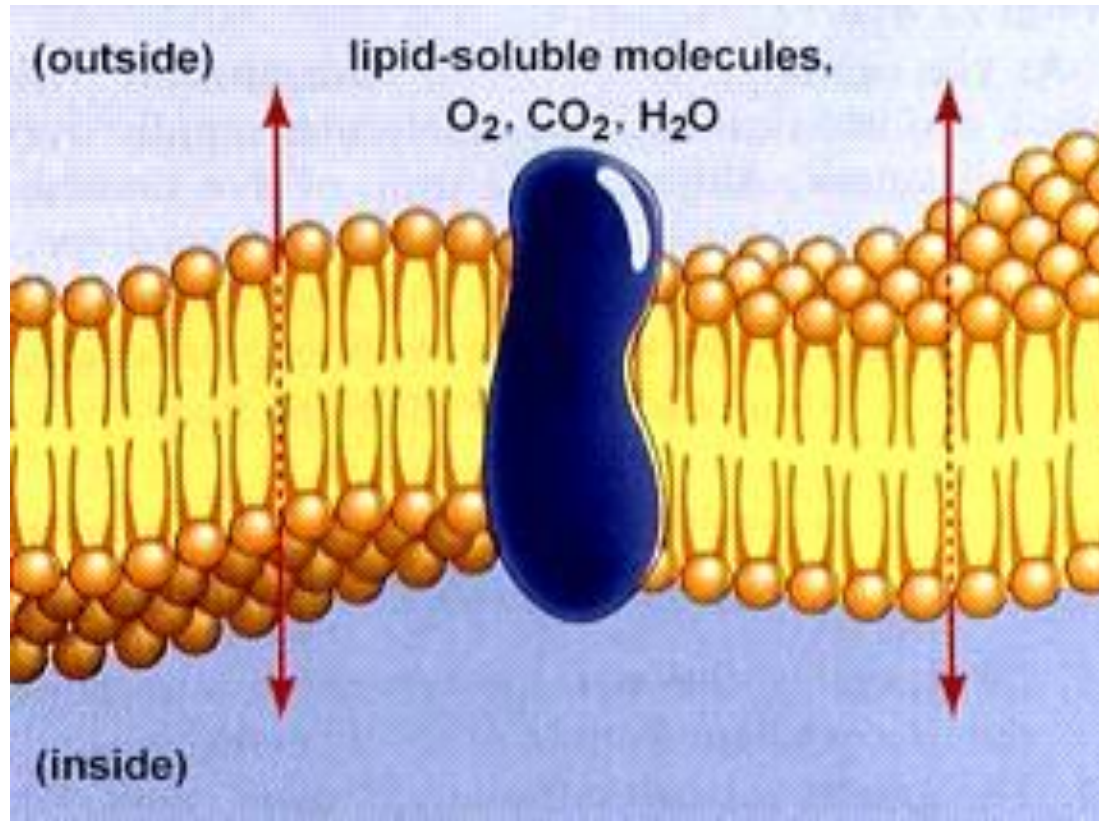


Zarda Taşınım



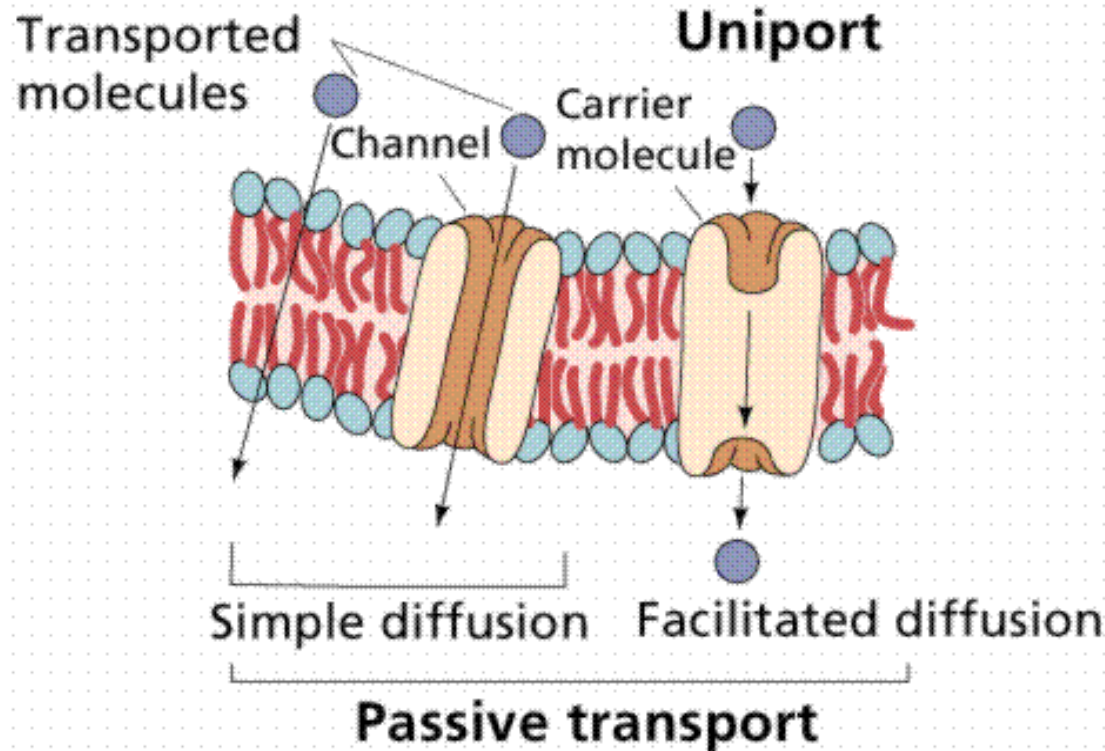
ZARDAN İYONLARIN GEÇİŞLERİ

1- Doğrudan Geçişler: *İyon kanalı gerektirmeden lipid içinde çözünebilen moleküllerin geçişi. Azot gibi gazlarla eter ve alkol gibi diğer lipid içinde çözünen maddelerin geçişi bu gruba dahildir.*



ZARDAN İYONLARIN GEÇİŞLERİ

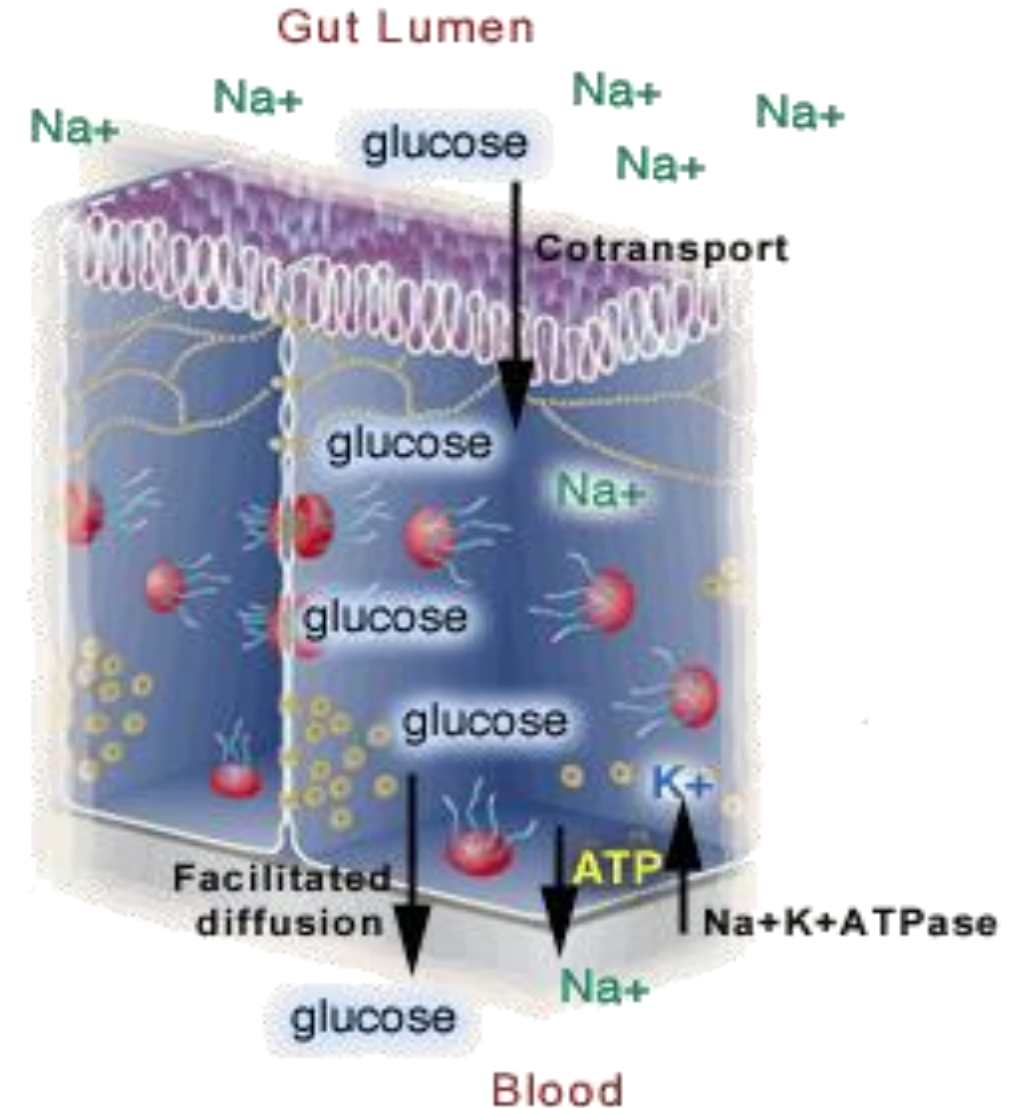
2- Pasif Geçiş Mekanizmaları: *metabolik enerji harcanmadan konsantrasyon ve elektriksel gradyentler etkisinde protein yapısındaki kanallardan geçişlere denir.*



A- Basit Diffüzyon:
İyonların konsantrasyon ve elektriksel gradyentler etkisinde iyon kanalı adı verilen protein yapısındaki kanallardan geçişlerine denir

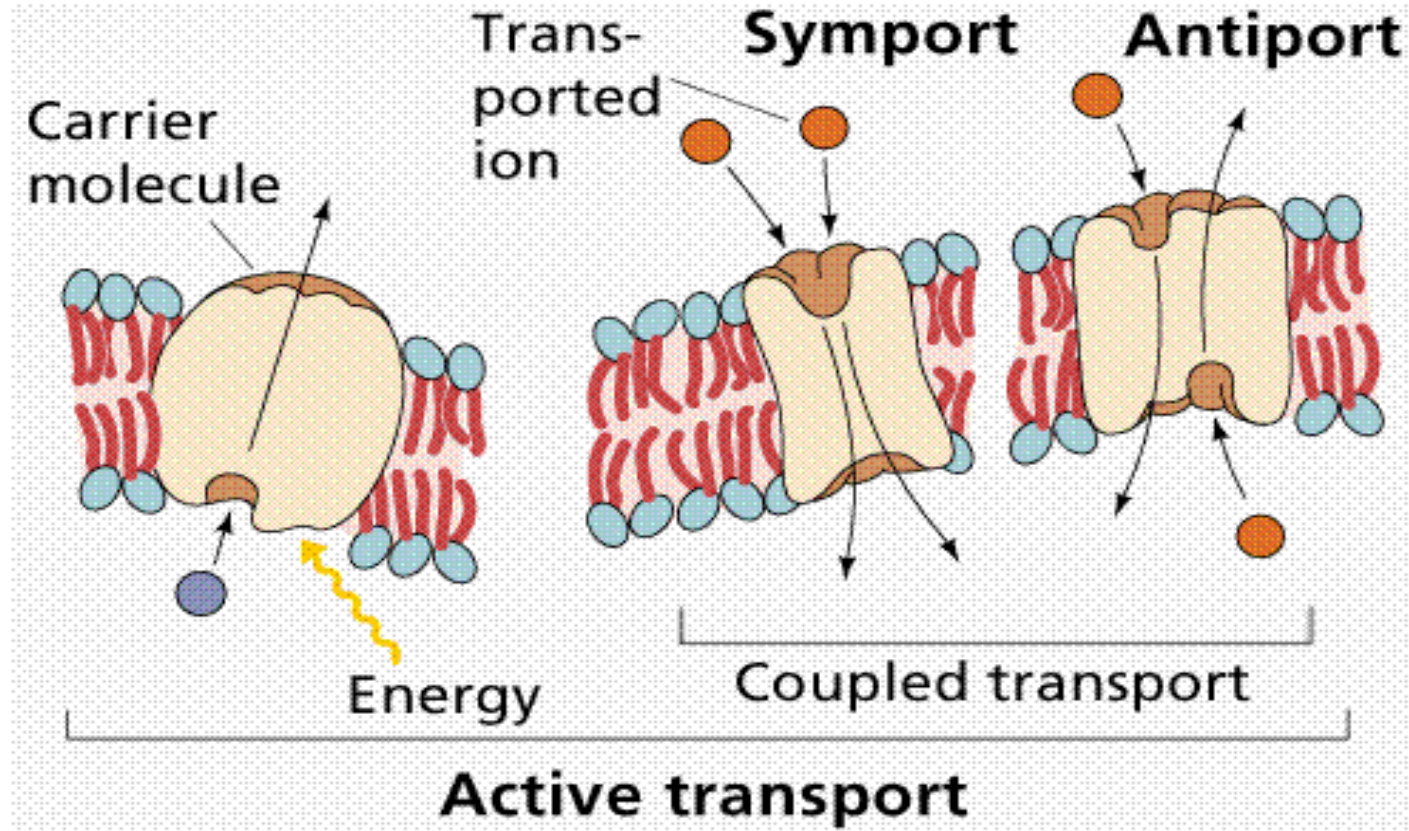
B- Kolaylaştırılmış Diffüzyon:
Özel bir taşıyıcı proteine bağlanarak yine konsantrasyon ve elektriksel gradyentler etkisinde protein yapısındaki kanallardan geçişlerine denir. Bunun basit diffüzyondan farkı zaman içinde diffüzyon akısı bir doygunluğa ulaşarak konsantrasyon arttıkça akının değeri artmaz.

Cotransport systems of the intestinal epithelial cells



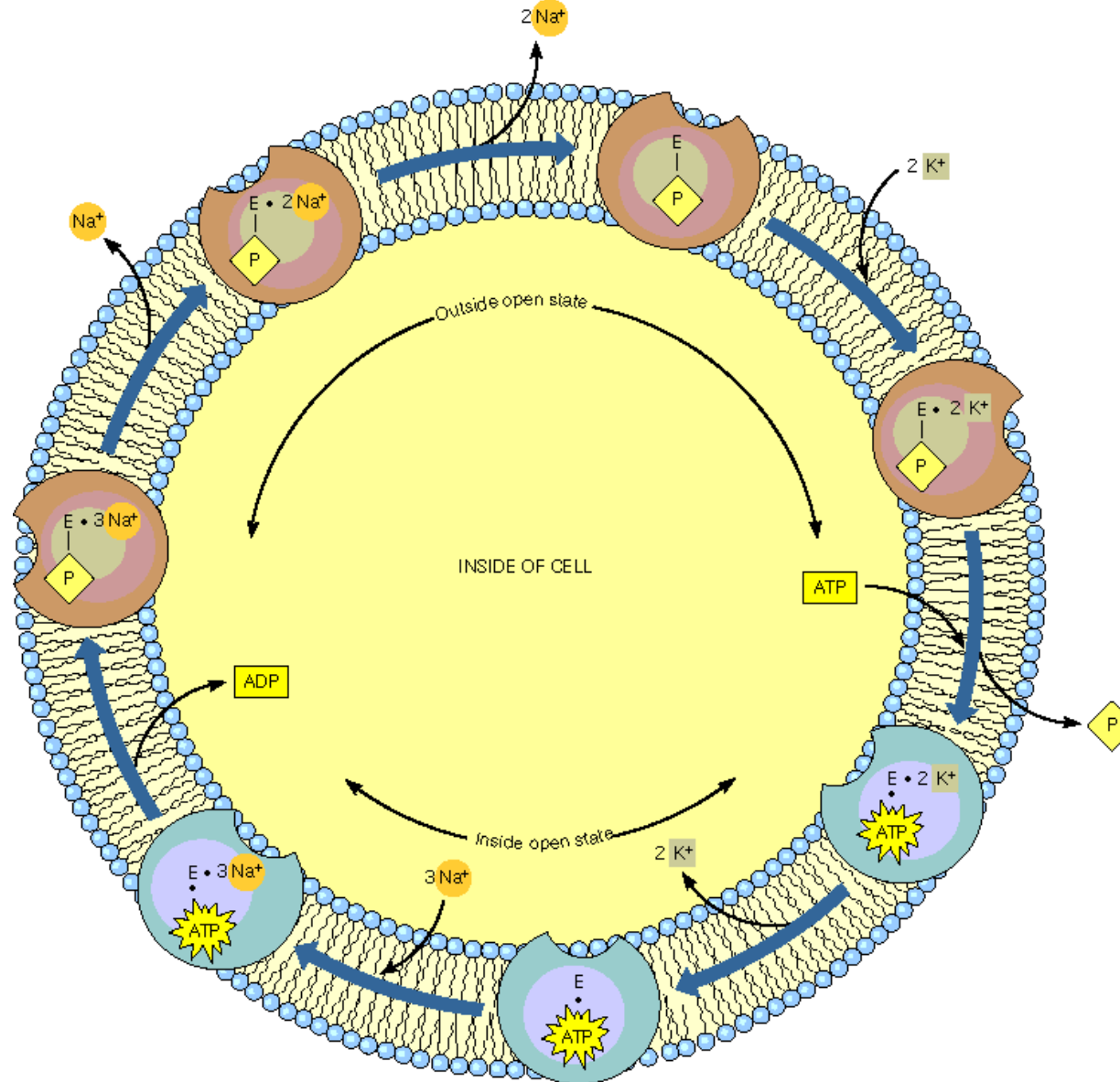
3- Aktif Geçiş Mekanizmaları: *metabolik enerji harcanarak*

iyonların ve moleküllerin konsantrasyon gradyentlerinin tersine doğru geçişlere denir. Genel olarak hücrelerin kendi ATP lerinin yaklaşık 25% aktif transport için harcarlar. 3 farklı tipte aktif geçiş vardır:



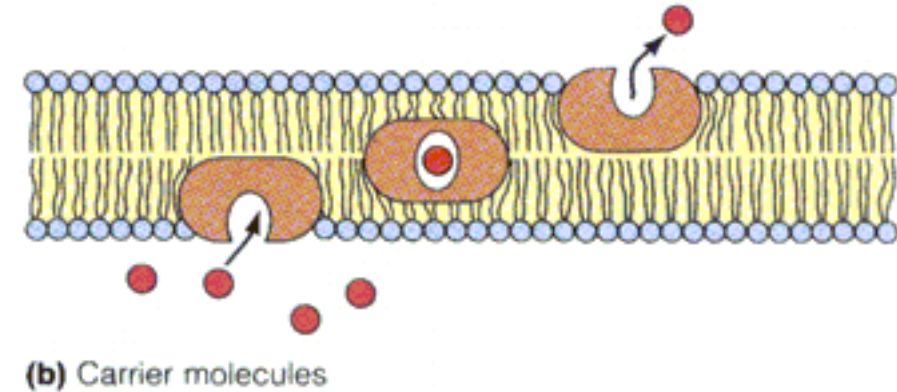
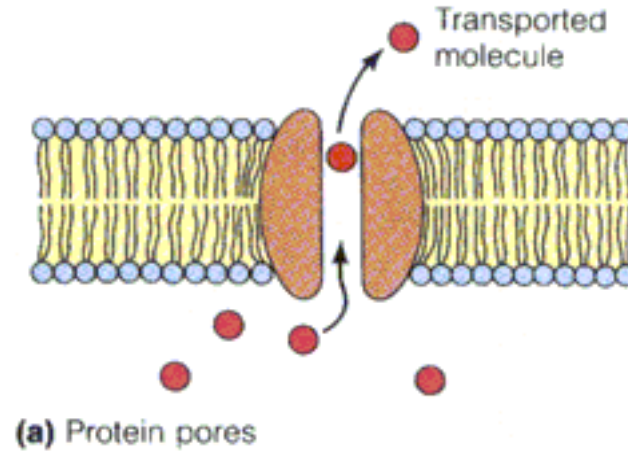
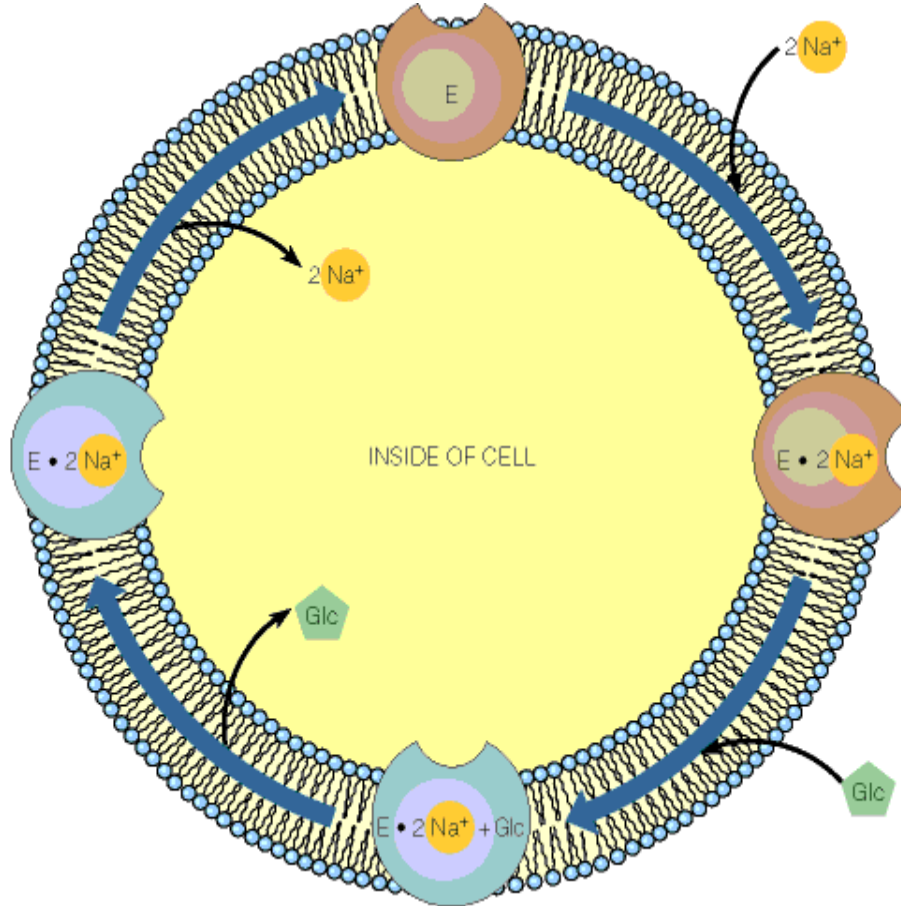
A- İyon Pompaları:

Direk olarak ATP hidrolizi ile çalışırlar. Örnek: Na/K-pump, Ca-pump.



B- Birlikte (Cotransport) Mekanizmaları:

Na-glukoz transport sistemi Na/K –pompasının oluşturduğu konsantrasyon gradyentini kullanarak glukozun hücre içine taşınımı; Na/Ca taşınımı, Na/H taşınımı vs.



Aktif transport Mekanizmalarındaki terminoloji:

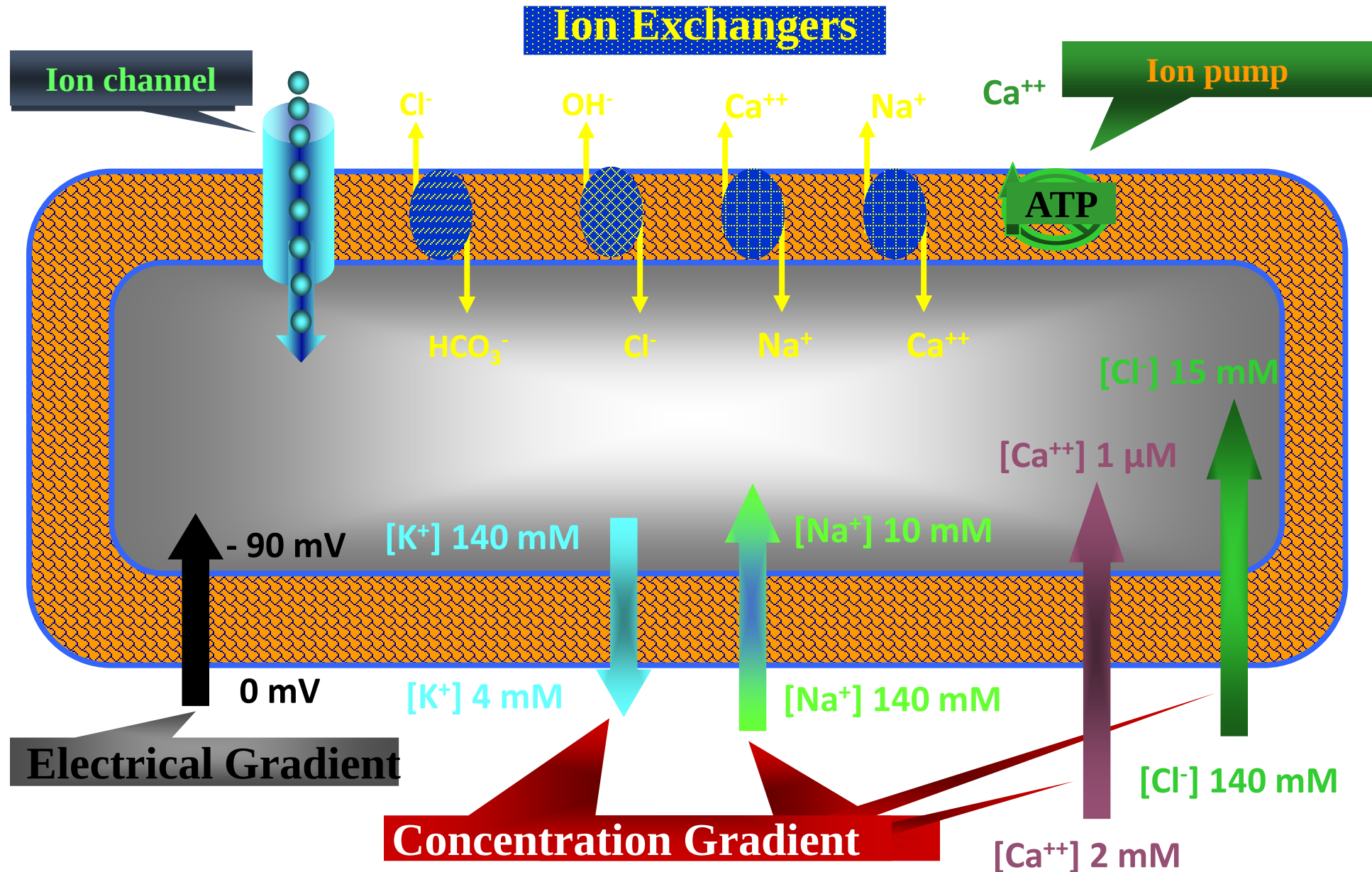
Antiport: Bir veya daha fazla molekülü içeri taşıırken bir veya daha fazla molekülü dışarıya taşıyan sistemler

Synport: Bütün molekülleri aynı yöne taşıyan sistemler

Electrogenic: Transport sonucu yük değişimine neden olan sistemler

Electroneutral: Transport sonucu yük değişimine neden olmayan sistemler

Ion Transport Proteins and Transmembrane Ion Gradients



Lipid bilayerin dielektrik sabiti

-Genel tanım; bir maddenin elektriksel geçirgenliğinin (permittivity) boşluğun elektriksel geçirgenliğine oranına dielektrik sabiti adı verilir. Kısaca, bir maddenin elektrik akısı (electric flux) 'dır bağıl magnetik permeabilitenin elektriksel ifadesidir.

-Dielektrik sabiti arttıkça, elektrik akı yoğunluğu artar (diğer faktörler değişmediği koşulda). Bu özellik , verilen bir madde büyüklüğünde (ör. metal plakalar seti gibi) bu maddenin uzun süreli ve/veya büyük miktarlarda elektrik yükü taşıyabilmesini sağlar.

- Yüksek dielektrik sabiti olan materyaller yüksek değerli kondansatör (kapasitör) yapmada kullanılır.

$$C = Q/V ; Q = \text{elektrik yükü}$$
$$V = \text{potansiyel farkı}$$

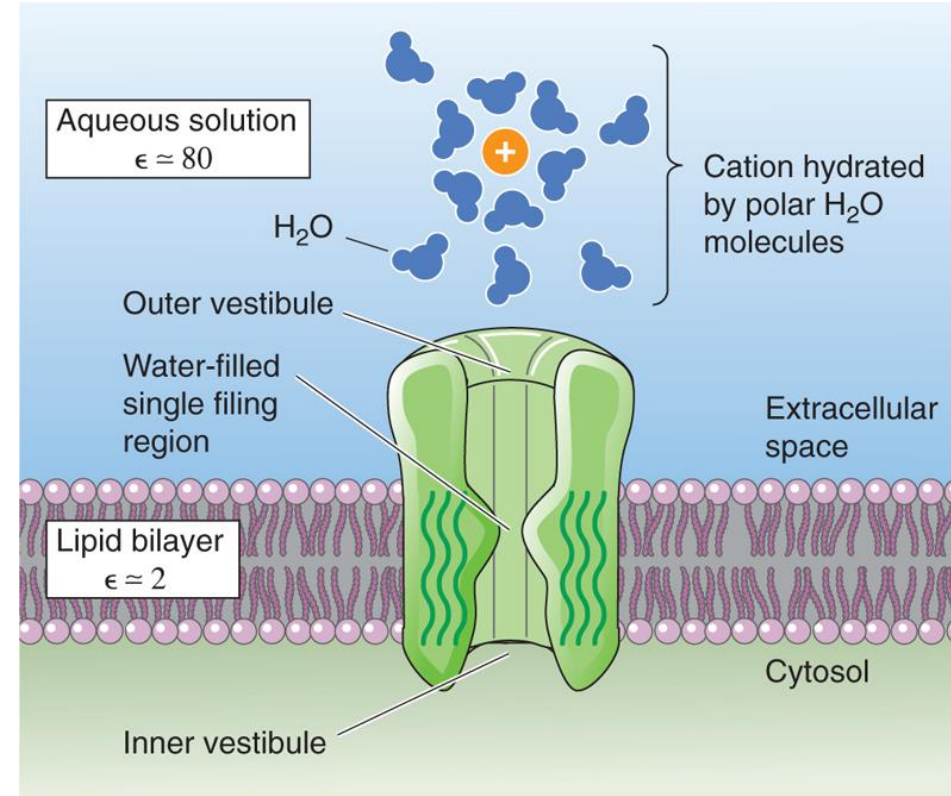
$$C = (\epsilon_0 \epsilon) (A)/d$$

ϵ_0 = boşluğun elektriksel geçirgenliği

ϵ = ortamın elektriksel geçirgenliği

A = plakaların yüzey alanı

d = plakalar arası uzaklık



Lipid bilayerin dielektrik sabiti

-Genel tanım; bir maddenin elektriksel geçirgenliğinin (permittivity) boşluğun elektriksel geçirgenliğine oranına dielektrik sabiti adı verilir. Kısaca, bir maddenin elektrik akısı (electric flux) 'dır bağıl magnetik permeabilitenin elektriksel ifadesidir.

-Dielektrik sabiti arttıkça, elektrik akı yoğunluğu artar (diğer faktörler değişmediği koşulda). Bu özellik , verilen bir madde büyüklüğünde (ör. metal plakalar seti gibi) bu maddenin uzun süreli ve/veya büyük miktarlarda elektrik yükü taşıyabilmesini sağlar.

- Yüksek dielektrik sabiti olan materyaller yüksek değerli kondansatör (kapasitör) yapmada kullanılır.

$$C = Q/V ; Q = \text{elektrik yükü}$$
$$V = \text{potansiyel farkı}$$

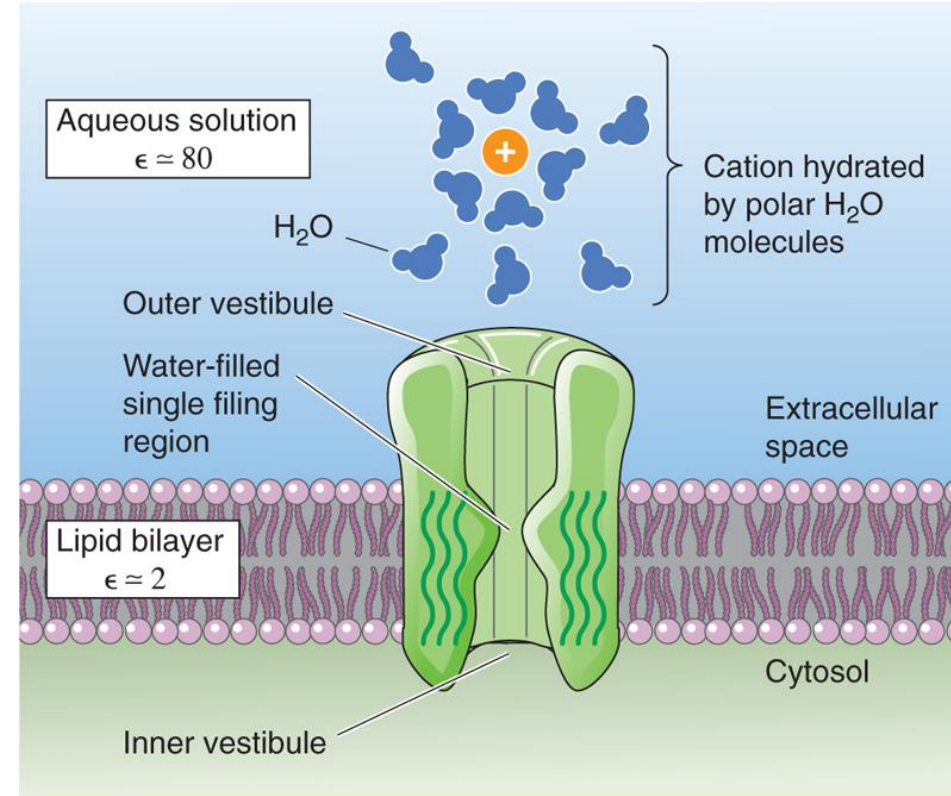
$$C = (\epsilon_0 \epsilon) (A)/d$$

ϵ_0 = boşluğun elektriksel geçirgenliği

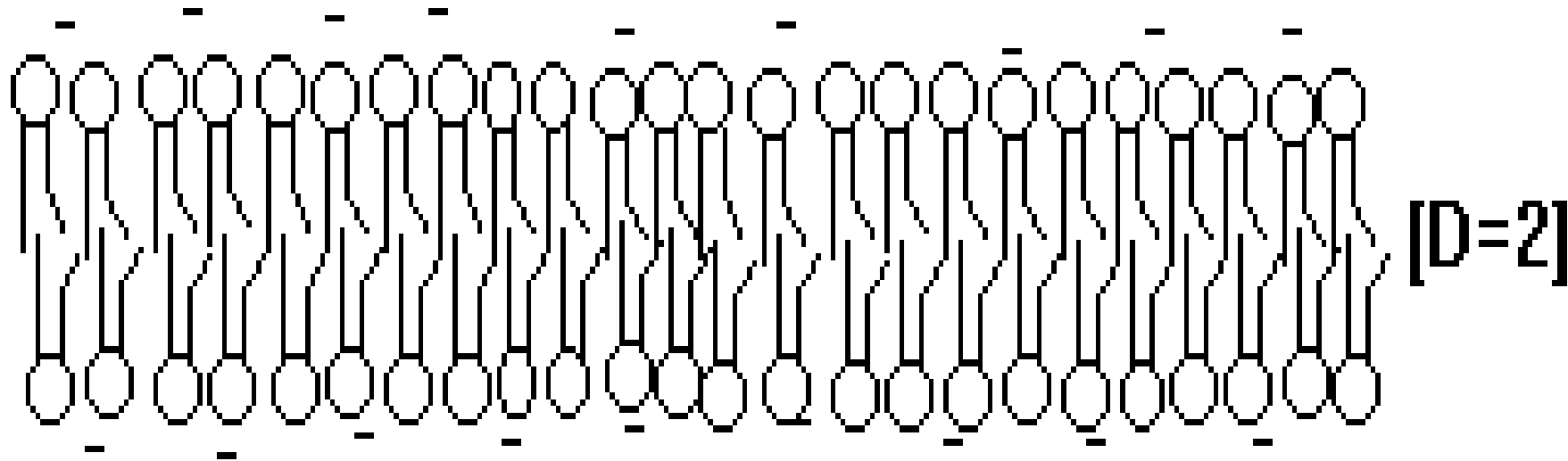
ϵ = ortamın elektriksel geçirgenliği

A = plakaların yüzey alanı

d = plakalar arası uzaklık



water [D=80]



The relative permeability of a synthetic lipid bilayer to different classes of molecules. The smaller the molecule and, more important, the fewer its favorable interactions with water (that is, the less polar it is), the more rapidly the molecule diffuses across the bilayer. Note that many of the molecules that the cell uses as nutrients are too large and polar to pass through a pure lipid bilayer.

Permeability Coefficient (cm/s) for	Synthetic Membrane (Phosphatidylserine)	Biological Membrane (Human Erythrocyte)
K ⁺	$<9 \times 10^{-13}$	2.4×10^{-10}
Na ⁺	$<1.6 \times 10^{-13}$	10^{-10}
Cl ⁻	1.5×10^{-11}	$1.4 \times 10^{-4*}$
Glucose	4×10^{-10}	$2 \times 10^{-5*}$
Water	5×10^{-3}	5×10^{-3}

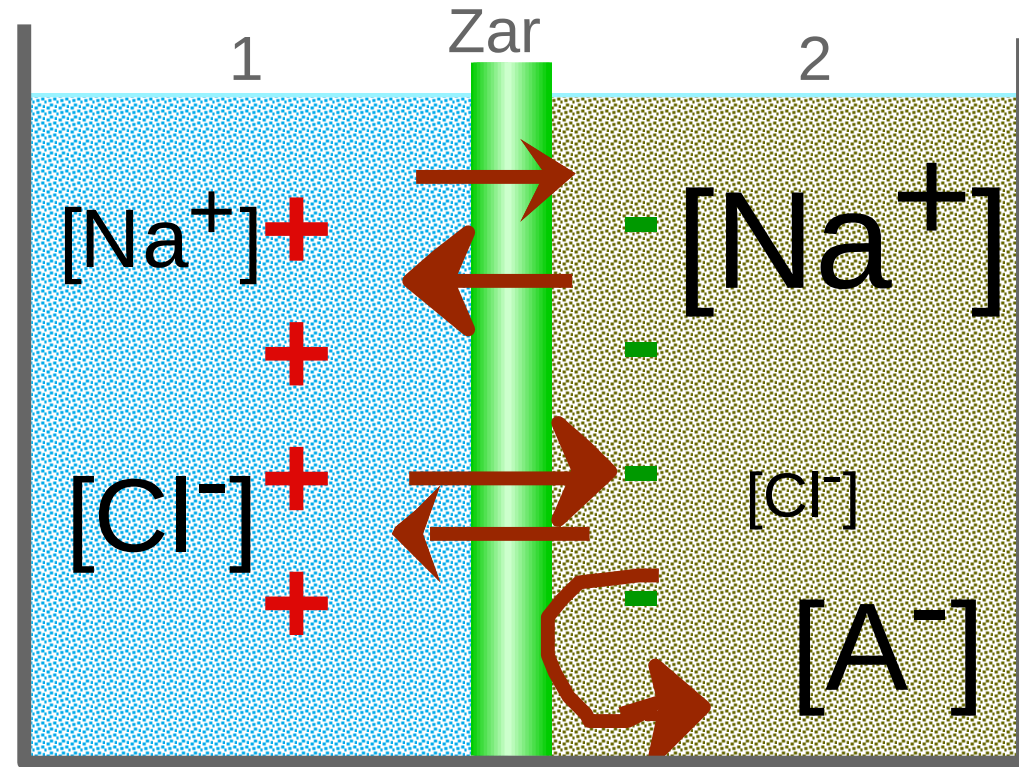
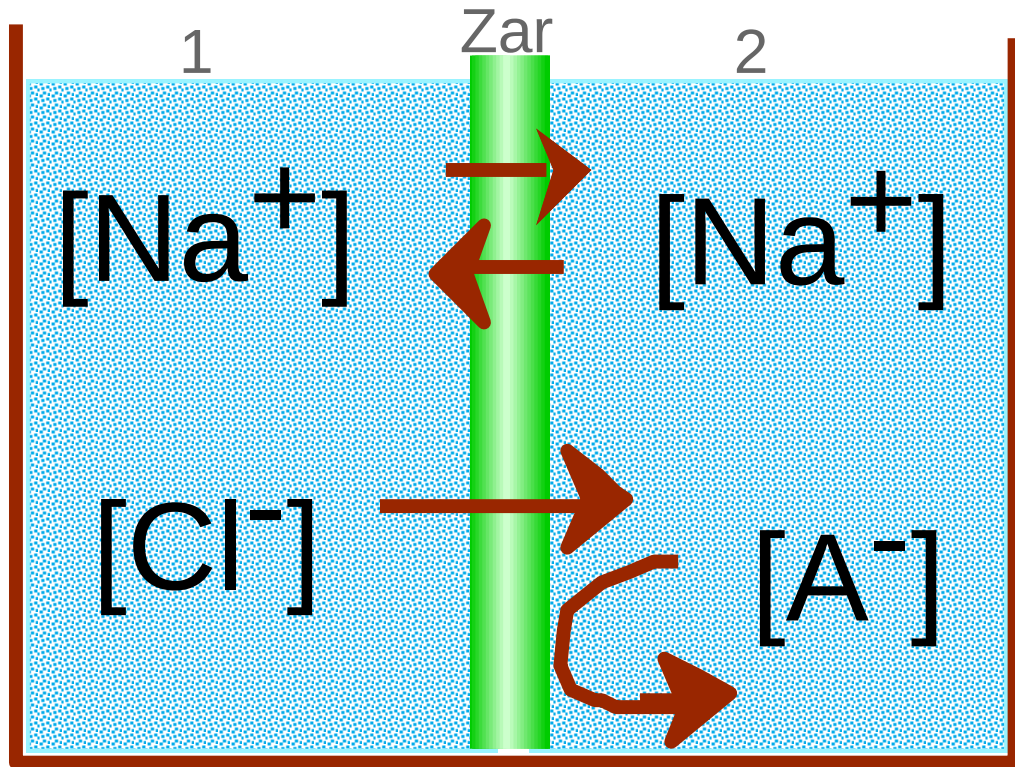
Source: Data from M. K. Jain and R. C. Wagner, *Introduction to Biological Membranes* (New York: Wiley, 1980).

*Facilitated transport. Note that whenever facilitated transport is encountered, the permeability coefficient rises dramatically.

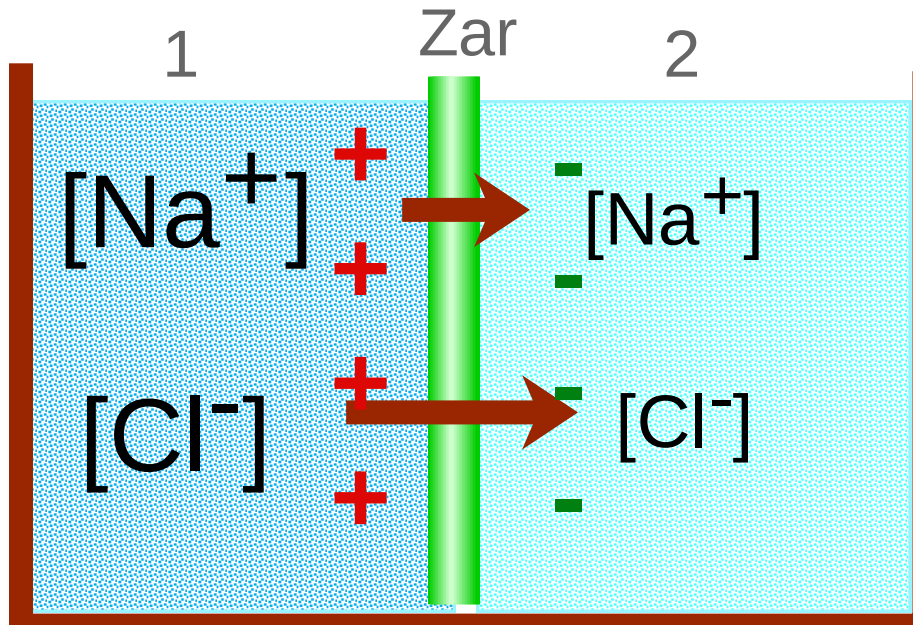
Membrane	Percent by Weight		
	Protein	Lipid	Carbohydrate
Myelin	18	79	3
Human erythrocyte (plasma membrane)	49	43	8
Bovine retinal rod	51	49	0
Mitochondria (outer membrane)	52	48	0
Amoeba (plasma membrane)	54	42	4
Sarcoplasmic reticulum (muscle cells)	67	33	0
Chloroplast lamellae	70	30	0
Gram-positive bacteria	75	25	0
Mitochondria (inner membrane)	76	24	0

Source: Adapted from G. Guidotti, *Annu. Rev. Biochem.* (1972) 41:731.

Gibbs-Donnan Equilibrium



Difüzyon potansiyeli



$$V = \frac{RT}{F} \frac{\mu_{Na} - \mu_{Cl}}{\mu_{Na} + \mu_{Cl}} \ln \frac{[c]_1}{[c]_2}$$

$$P_i = D_i / \delta = \mu_i RT / (z_i F \delta) \quad [m/s]$$