



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Βιοφυσική -

Φαινόμενα μεταφοράς ουσιών στα έμβια συστήματα

Ακαδ. έτος 2008-2009 - Διδάσκουσα: Μυρσίνη Μακροπούλου

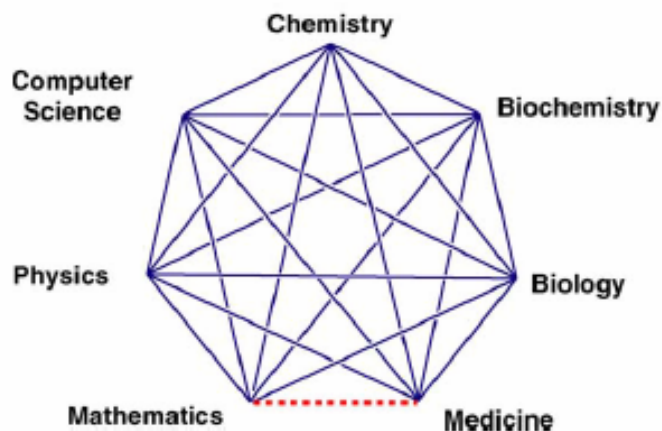
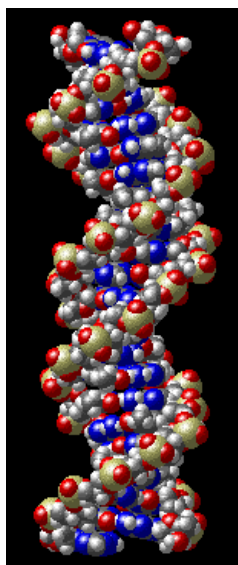
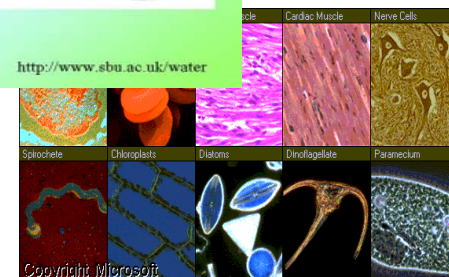
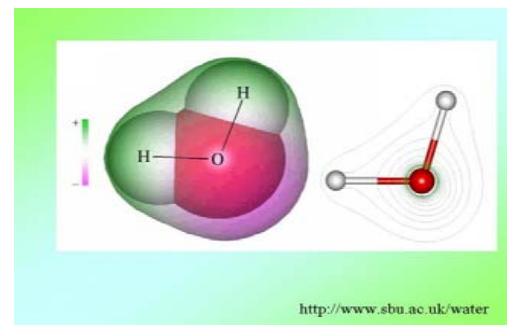


Fig. 15. The seven fields of molecular science.



Από τον ορισμό της Βιοφυσικής:

«Η Βιοφυσική είναι ο κλάδος εκείνος των φυσικών επιστημών που ασχολείται με:

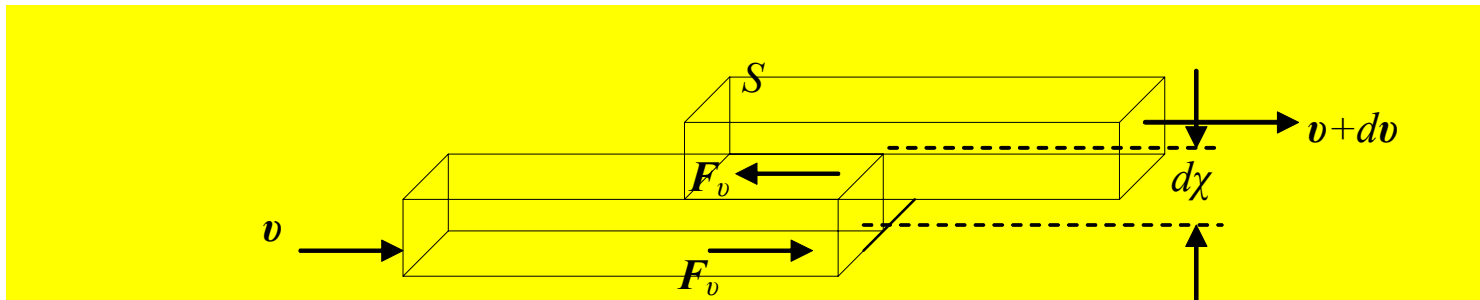
- 1) τη μελέτη των φυσικών φαινομένων που υπεισέρχονται στη δομή, οργάνωση και λειτουργία των βιολογικών συστημάτων,
- 2) τη χρησιμοποίηση των αρχών και μεθόδων της Φυσικής στην έρευνα των φαινομένων της ζωής,
- 3) τη μελέτη των βιολογικών αποτελεσμάτων από την επίδραση των φυσικών παραγόντων στην έμβια ύλη».

Μοριακά φαινόμενα μεταφοράς σε διαλύματα βιολογικών υγρών

Το ιξώδες και η σημασία του

➤ Οι ελκτικές δυνάμεις van der Waals, οι οποίες αντιτίθενται στη σχετική μετατόπιση γειτονικών μορίων, είναι υπεύθυνες για την εμφάνιση μιας **δύναμης εσωτερικής τριβής** στα υγρά, η οποία ονομάζεται **ιξώδες**.

- Τα ιδανικά υγρά θεωρούνται ότι είναι ασυμπίεστα και δεν παρουσιάζουν ιξώδες.
- Τα πραγματικά ρευστά είναι σε κάποιο βαθμό συμπιεστά και έχουν ιξώδες.



Σχηματική αναπαράσταση των δυνάμεων ιξώδους, F_v , μεταξύ δύο στρωμάτων υγρού, το οποίο κινείται με διαφορετικές ταχύτητες. S =επιφάνεια επαφής μεταξύ των δύο στρωμάτων, dx =απόσταση των δύο στρωμάτων, v , $v+dv$ =ταχύτητες γειτονικών στρωμάτων.

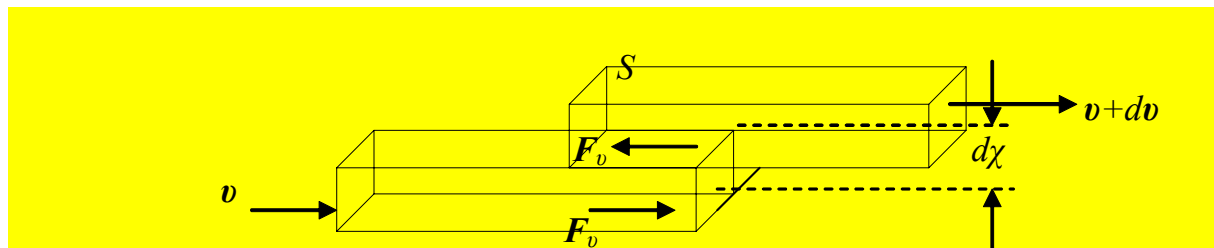
➤ Οι **δυνάμεις εσωτερικής τριβής** έχουν τη διεύθυνση της εφαπτομένης στην επιφάνεια επαφής των διαδοχικών στρωμάτων και φορά αντίθετη της ταχύτητας του αντίστοιχου στρώματος. Αν κατά τη διάρκεια της ροής του υγρού παραμένουν παράλληλες, **η ροή ονομάζεται στρωτή** και **η δύναμη ιξώδους, F_v** , δίνεται από τον νόμο του Νεύτωνα:

$$F_v = \eta \cdot S \cdot dv/d\chi$$

όπου: η = ο συντελεστής ιξώδους του υγρού, $dv/d\chi$ = η βαθμίδα της ταχύτητας, ενώ S = η κοινή επιφάνεια των στρωμάτων. Η μονάδα μέτρησης του συντελεστού ιξώδους στο διεθνές σύστημα μονάδων είναι το Poiseuille, (P): $[\eta]_{SI} = \text{N.s.m}^{-2} = \text{P}$.

➤ Ο συντελεστής ιξώδους εξαρτάται από τη φύση του υγρού και τη **θερμοκρασία** (ελαττώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας). Το αντίστροφο του ιξώδους είναι η **ρευστότητα**.

➤ Τα υγρά στα οποία ισχύει η παραπάνω σχέση ονομάζονται επίσης **νευτώνεια ρευστά** και τέτοια είναι τα περισσότερα βιολογικά υγρά (π.χ. το εγκεφαλονωτιαίο υγρό, το πλάσμα του αίματος, ο ορρός του αίματος, τα ούρα).



➤ Άλλα υγρά δεν υπακούουν στο νόμο του Νεύτωνα και για αυτό χαρακτηρίζονται με την ονομασία **μη νευτώνεια ρευστά**. Π.χ. το αίμα σε θερμοκρασία 37° C έχει τετραπλάσιο ιξώδες από αυτό του νερού και είναι μη νευτώνειο ρευστό.

➤ Στην κατηγορία των μη νευτώνειων ρευστών είναι και τα διαλύματα μακρομορίων και κολλοειδών, στα οποία ο συντελεστής ιξώδους εξαρτάται από τη συγκέντρωση των διαλυμένων σωματιδίων, σύμφωνα με τη σχέση του Αϊνστάιν:

$$\eta = \eta_d (1 + KV)$$

όπου: η_d = συντελεστής ιξώδους του διαλύτη, V = όγκος της διαλυμένης φάσης στην μονάδα του όγκου του διαλύματος, K = σταθερά, η οποία εξαρτάται από το μέγεθος και τη φύση των διαλυμένων σωματιδίων (για παράδειγμα, **$K = 4 \div 10$ για τις σφαιρικές πρωτεΐνες**).

Material	Viscosity (Pa·s)
Air (20 C):	0.000018
Water (20°C):	0.001 Pa s (=1 cP)
Water (40°C):	0.00065
Ethanol:	0.0012
Methanol:	0.00058
Glycerin (0°C):	12.0
Glycerin (30°C):	0.629
Oil, Olive (20°C):	0.084
30% aqueous Sucrose:	0.003
Molasses (45-50% Sucrose)	0.005-0.010
70% aqueous Sucrose:	0.481

Μονάδα ιξώδους μ στο S.I

$$\frac{\frac{N}{m^2}}{\frac{s}{m}} = \frac{N \cdot s}{m^2} = Pa \cdot s$$

Μονάδα ιξώδους μ στο CGS

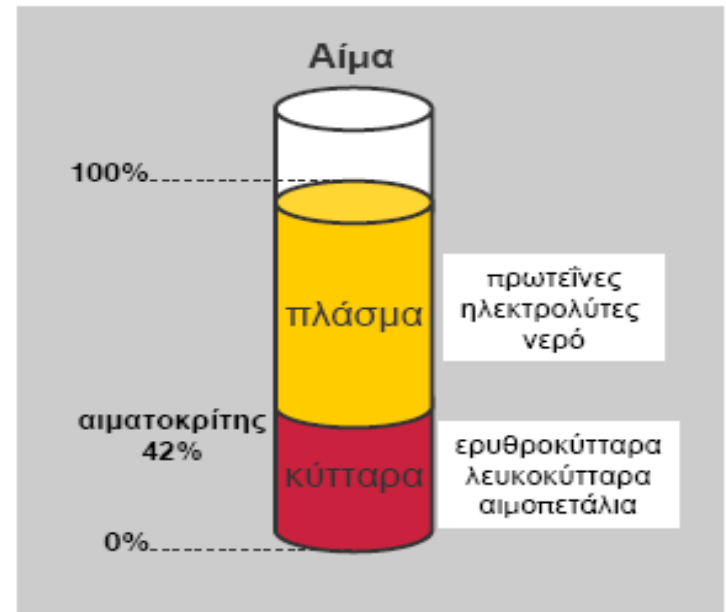
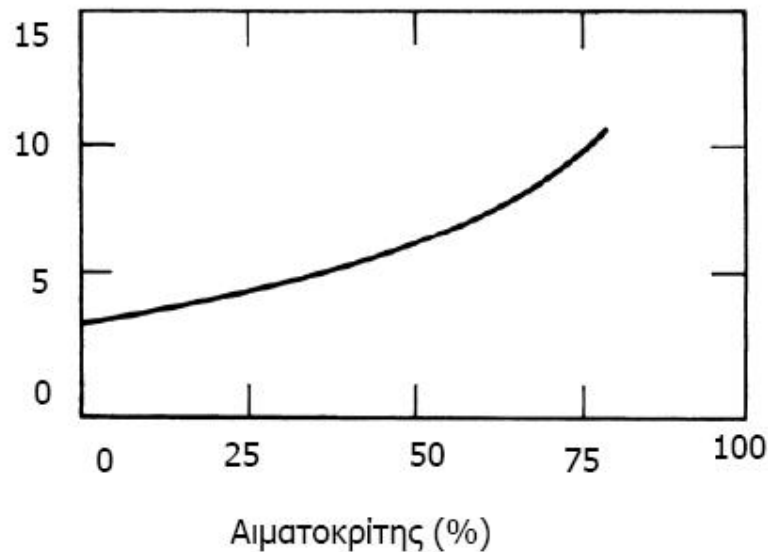
$$1 poise = \frac{dyn \cdot s}{cm^2} = \frac{g}{cm \cdot s}$$

Η τιμή του **συντελεστή εσωτερικής τριβής του αίματος** εξαρτάται από διάφορους παράγοντες του αίματος, οι κυριότεροι των οποίων είναι:

(α) η συγκέντρωση του ινωδογόνου (κύριο πρωτεϊνικό συστατικό του αίματος που σε ακραίες καταστάσεις οδηγεί σε συσσωματώματα ερυθροκυττάρων),

(β) ο αιματοκρίτης (με αιματοκρίτη $> 60\%$ τα ερυθροκύτταρα είναι τόσο κοντά το ένα με το άλλο που είναι πιθανό να προσκολλούνται μεταξύ τους),

Συντελεστής γλοιότητας ($\text{Pa} \cdot \text{s} \times 10^3$)



■ Μοριακά φαινόμενα μεταφοράς σε διαλύματα βιολογικών υγρών (συνέχεια)

Στρωτή και τυρβώδης ροή

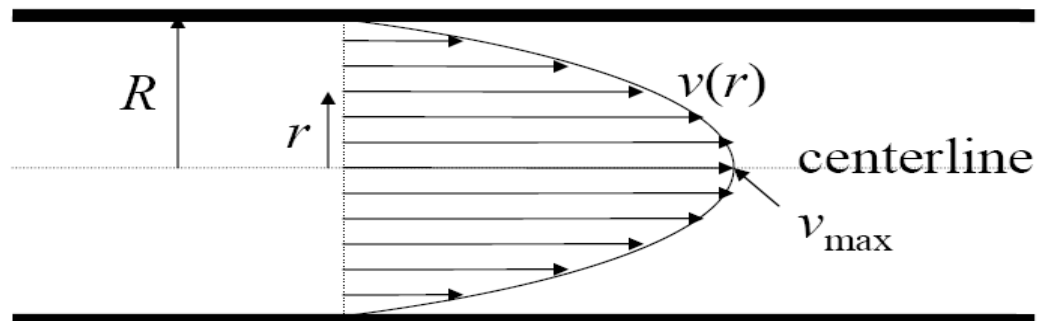
➤ Σε μικρές ταχύτητες ροής, τα διάφορα στρώματα του υγρού μετακινούνται παράλληλα το ένα ως προς το άλλο, χωρίς να αναμιγνύονται, οπότε τότε λέμε ότι **η ροή είναι στρωτή**. Τέτοια ροή συναντάμε στα τριχοειδή αιμοφόρα αγγεία, όπου η ταχύτητα του αίματος είναι μικρή.

➤ Αν η ταχύτητα του υγρού αυξηθεί και περάσει κάποια κρίσιμη τιμή (ή/και αν η διατομή του αγγείου μεγαλώσει) εμφανίζονται στρόβιλοι στο υγρό και **η ροή γίνεται τυρβώδης**, που απαιτεί **κατανάλωση ενέργειας**.

➤ Για υγρά που ρέουν σε σωλήνες υπάρχει ένας χαρακτηριστικός όρος, **ο αριθμός Reynolds, R_e** :

$$R_e = \rho v r / \eta$$

όπου ρ = η πυκνότητα του υγρού, v = η ταχύτητα ροής, η = ο συντελεστής ιξώδους του υγρού και r = η ακτίνα του σωλήνα.



➤ Για το αίμα των μεγάλων αρτηριών υπάρχει μια κρίσιμη τιμή του αριθμού Reynolds, $R_e^{κρ}$, ίση με 1000. Ανάλογα με την τιμή αυτή χαρακτηρίζονται και οι διάφοροι τύποι αιματικής ροής:

α) για $R_e < R_e^{κρ}$, η ροή είναι στρωτή,

β) για $R_e^{κρ} = 1000 < R_e < 2000$, η ροή είναι ασταθής,

γ) για $R_e > 2000$, η ροή γίνεται τυρβώδης (με στροβίλους).

Στο καρδιαγγειακό σύστημα του ανθρώπου, τυρβώδης ροή μπορεί να εμφανιστεί στην αορτή και συνοδεύεται από χαρακτηριστικό ήχο.

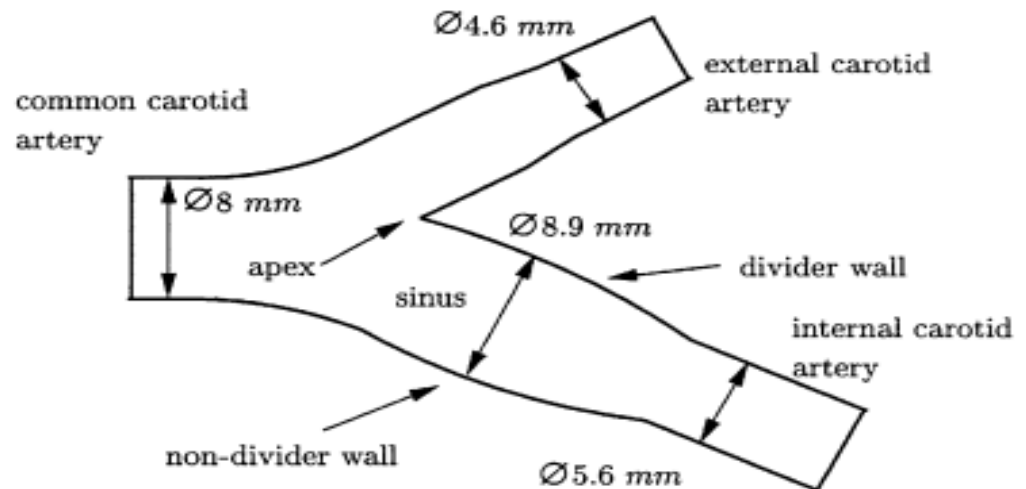
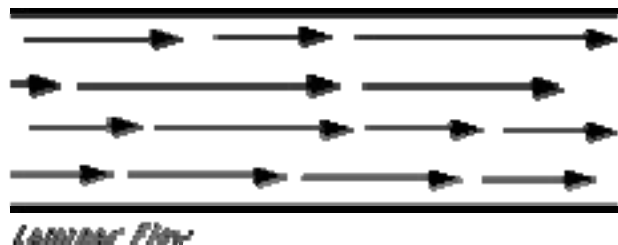


Fig. 1. Schematic representation of the carotid bifurcation.

Στρωτή και τυρβώδης ροή

$$F_v = \eta \cdot S \cdot dv/dx$$



Ρα.ς στο σύστημα S.I., S το εμβαδόν της επιφάνειας του στρώματος του υγρού που εκτίθεται στην τριβή, dv/dz η μεταβολή της ταχύτητας του υγρού κατά τον άξονα z , κάθετα στη διεύθυνση ροής.

Για τη στρωτή ροή πραγματικού υγρού μέσα σε σωλήνα ακτίνας R και μήκους L (σχήμα 1.24), η εξ. (1.132) γράφεται:

δύναμη ιξώδους $T = \mu S \frac{dv}{dz}$ (όπου $T \equiv F_v$, $\mu \equiv \eta$)

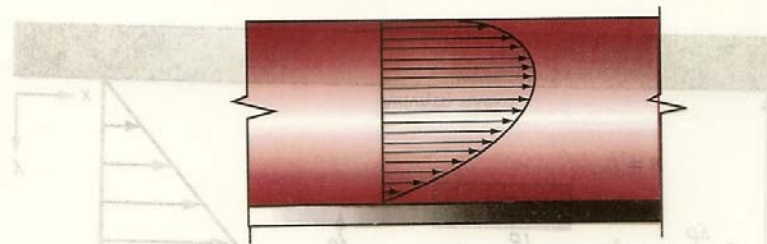
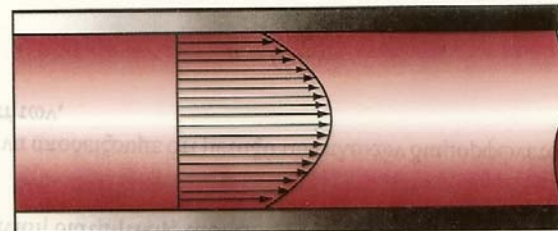
$$T = \mu [2\pi r(dx)] \frac{dv}{dr} \quad \text{ή} \quad T = 2\pi r \mu \frac{dv}{dr} dx \quad (1.133)$$

Η δύναμη F κατά τη διεύθυνση της ροής που εξασκείται επάνω στον όγκο $dV = \pi r^2 dx$ (σχήμα 1.24) λόγω της διαφοράς πιέσεων dP στις δύο μετωπιαίες επιφάνειες του στοιχείου είναι:

$$F = dP \cdot S = dP \cdot \pi r^2 \quad (1.134)$$

Επειδή το στοιχείο του υγρού (V) δεν επιταχύνεται, οι δύο δυνάμεις F και T πρέπει να είναι αντίθετες. Δηλαδή ισχύει:

$$r \frac{dP}{dx} = 2\mu \frac{dv}{dr} \quad (1.135)$$



Σχήμα 1.24 Η παραβολική κατανομή ταχυτήτων στην περίπτωση στρωτής ροής σε σωλήνα.

Στρωτή και τυρβώδης ροή

$$R_e = \rho v r / \eta$$

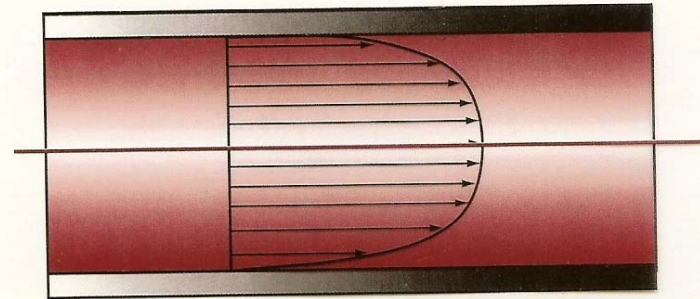
νεχώς. Η ταχύτητα σε κάθε σημείο του υγρού δεν είναι χρονικά σταθερή αλλά κυμαίνεται γύρω από μία μέση τιμή, τη μέση ταχύτητα στο σημείο αυτό. Η κατανομή των μέσων ταχυτήτων, στην περίπτωση αυτή, δίνεται στο σχήμα 1.25.

Παρατηρούμε ότι κοντά στα τοιχώματα του σωλήνα έχουμε μεγάλη πτώση της μέσης ταχύτητας ενώ στον πυρήνα του η ταχύτητα είναι σχεδόν σταθερή.

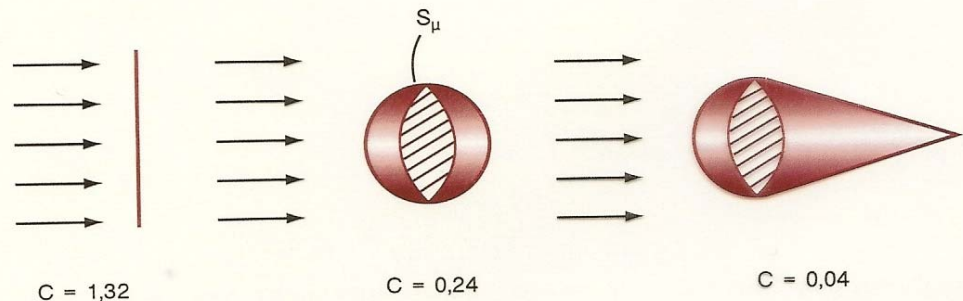
Στην τυρβώδη ροή, η αντίσταση που συναντούν σώματα οποιασδήποτε μορφής, δίνεται από τη σχέση:

$$T = C S_{\mu} \rho v_{\infty}^2 \quad (1.141)$$

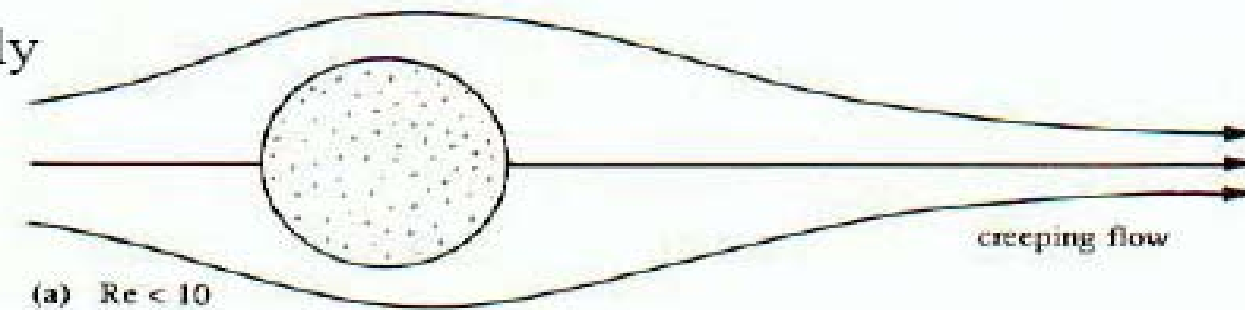
όπου: C είναι ο συντελεστής αντίστασης, που κυρίως εξαρτάται από τη μορφή του σώματος (κυρίως από τη μορφή του πίσω μέρους του σώματος), όπως π.χ. φαίνεται στο σχήμα 1.26, S_{μ} το εμβαδόν μετωπιαίας επιφάνειας κάθετης στη ροή, ρ η πυκνότητα του υγρού και v_{∞}^2 η σχετική ταχύτητα του υγρού ως προς το σώμα.



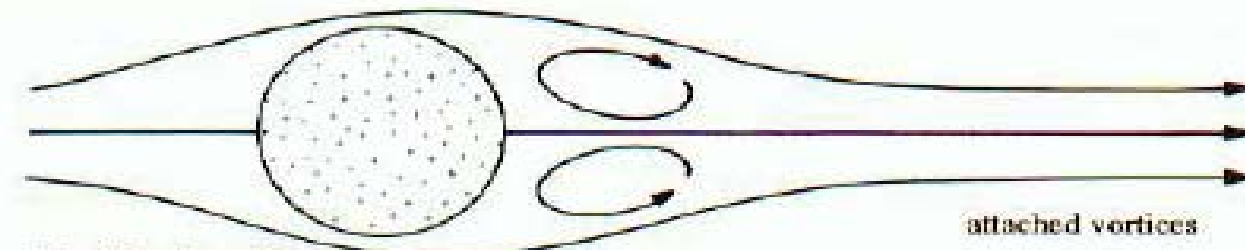
Σχήμα 1.25 Κατανομή ταχυτήτων σε περίπτωση τυρβώδους ροής σε σωλήνα.



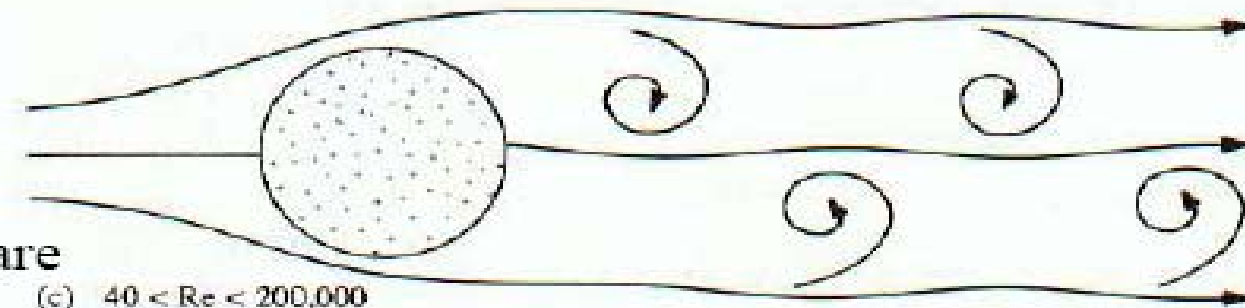
➤ Ο αριθμός Reynolds, Re



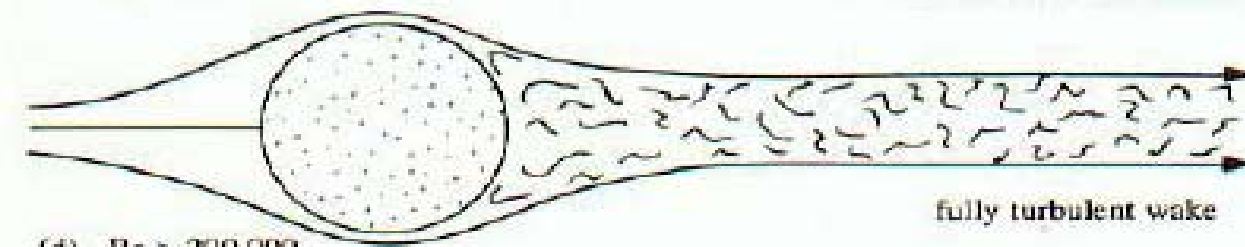
(a) $Re < 10$



(b) $10 < Re < 40$



(c) $40 < Re < 200,000$



(d) $Re > 200,000$

α) για $Re < Re^{κρ}$, η ροή είναι στρωτή,

β) για $Re^{κρ} = 1000 < Re < 2000$, η ροή είναι ασταθής,

γ) για $Re > 2000$, η ροή γίνεται τυρβώδης (με στροβίλους).

Διάχυση

- Οι ζωντανοί οργανισμοί αποτελούν **ανοικτά συστήματα**, τα οποία συνεχώς ανταλλάσσουν ύλη, ενέργεια και πληροφορία με το περιβάλλον τους. Η μεταφορά ουσιών από το εξωτερικό προς το εσωτερικό (**εισροή**) και από το εσωτερικό προς το εξωτερικό περιβάλλον (**εκροή**) απαντάται σε όλα τα επίπεδα οργάνωσης της ζωής.

- Η μεταφορά ουσιών πραγματοποιείται στις διαχωριστικές επιφάνειες των διαφόρων συστατικών των βιοσυστημάτων ή μεταξύ αυτών και του άμεσου περιβάλλοντός τους. Π.χ. μεταφορά ουσιών γίνεται δια μέσου των:

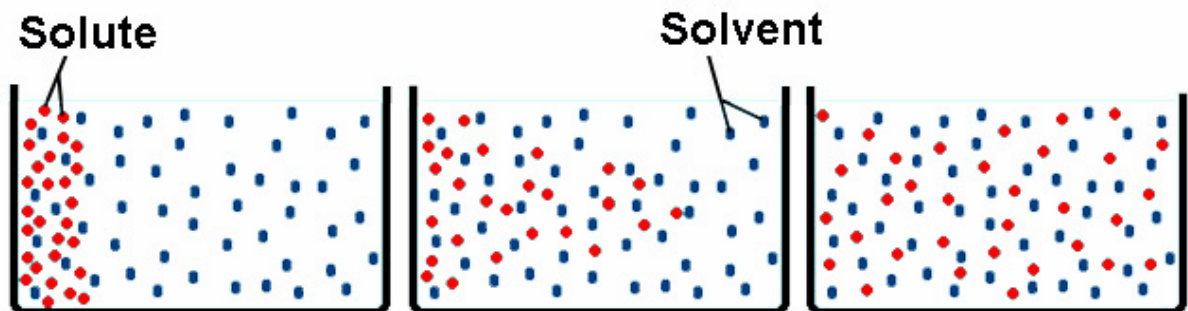
- ενδοκυτταρικών μεμβρανών (πυρηνική και μεμβράνη μιτοχονδρίων),

- κυτταρικών μεμβρανών,

- πολυκυτταρικών μεμβρανών (επιθήλιο),

- ενδοϊστικού υγρού (εξωκυττάριο),

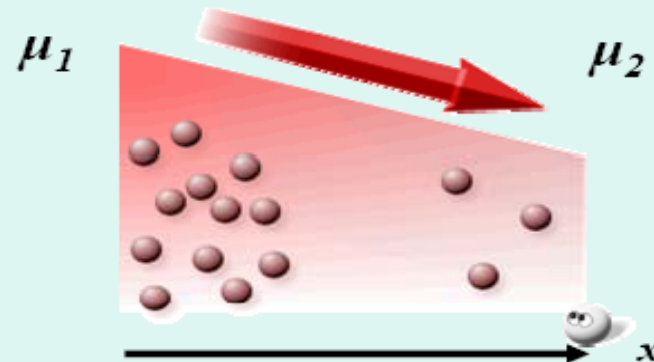
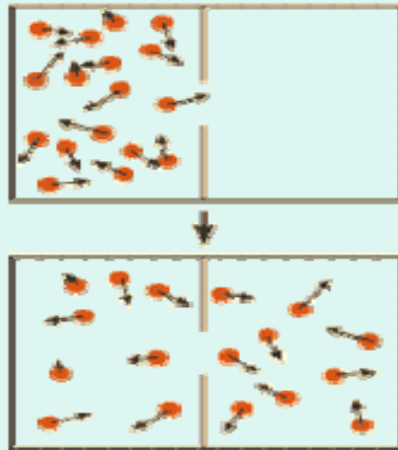
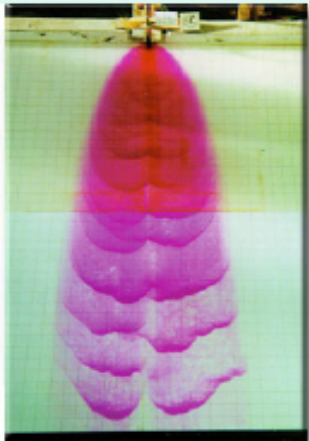
- πρωτοπλάσματος.



■ Διάχυση (συνέχεια)

⇒ Μερικά φαινόμενα μεταφοράς, όπως η **παθητική διάχυση** και η **ώσμωση**, οφείλονται στην θερμική κίνηση των μορίων, που τείνει σε μια ομοιόμορφη κατανομή των μορίων (και των ιόντων), ώστε να εξισωθούν τυχόν διαφορές στη **συγκέντρωση**, στην **πυκνότητα** ή στην **ωσμωτική πίεση**. Το φαινόμενο της παθητικής διάχυσης λαμβάνει χώρα αυθόρμητα, χωρίς κατανάλωση ενέργειας (παθητικά), προς την κατεύθυνση της αύξησης της εντροπίας του συστήματος.

Diffusion



Spontaneous process, movement of substance from some region to an adjacent one, where the species has lower μ (chemical potential)

⇒ Η παθητική διάχυση σε ομογενές μέσο υπακούει στους δύο νόμους του Fick.

• Πρώτος νόμος του Fick: Η ταχύτητα διάχυσης μιας ουσίας (ή η ροή μάζας της ουσίας) μέσα από μια επιφάνεια είναι ανάλογη του εμβαδού της επιφάνειας, S , και της αρνητικής βαθμίδας της συγκέντρωσης, σύμφωνα με τη σχέση:

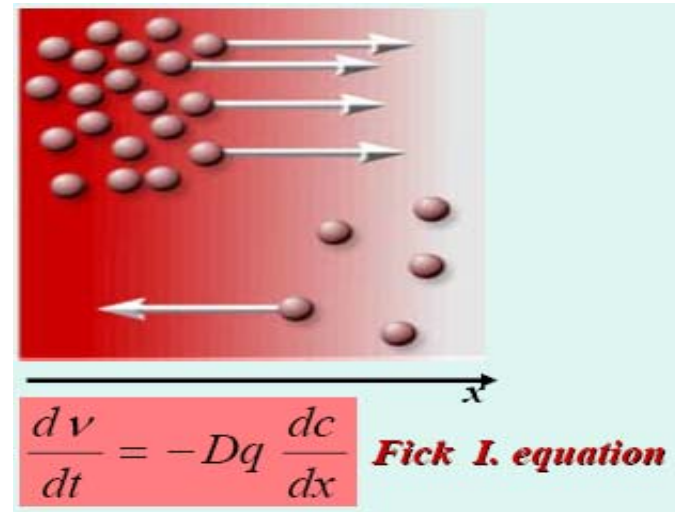
$$dm/dt = - D \cdot S \cdot dp/dx,$$

όπου D = συντελεστής διάχυσης (σε $m^2 \cdot s^{-1}$) και ρ = πυκνότητα της ουσίας που διαχέεται (σε $Kg \cdot m^{-3}$). Το αρνητικό πρόσημο υποδηλώνει ότι η διάχυση πραγματοποιείται από περιοχή μεγαλύτερης συγκέντρωσης προς περιοχή μικρότερης συγκέντρωσης της ουσίας.

• Δεύτερος νόμος του Fick: Η χρονική μεταβολή της συγκέντρωσης, σε κάθε σημείο του διαλύματος, είναι ανάλογη της χωρικής μεταβολής της βαθμίδας της συγκέντρωσης, σύμφωνα με τη σχέση:

$$dc/dt = - D \cdot d^2c/dx^2$$

Adolph Fick
(1831-1879)



• Fick's II. law: $\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$

■ Διάχυση και βαθμίδα συγκέντρωσης

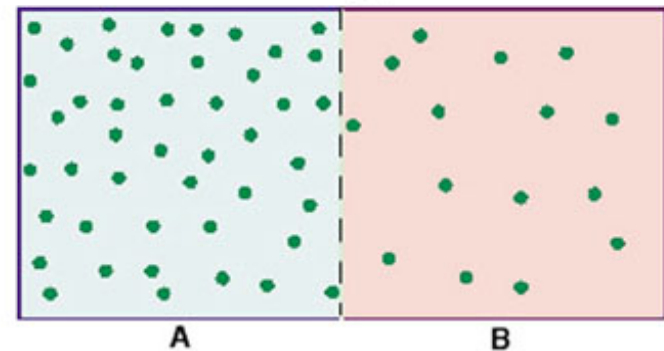
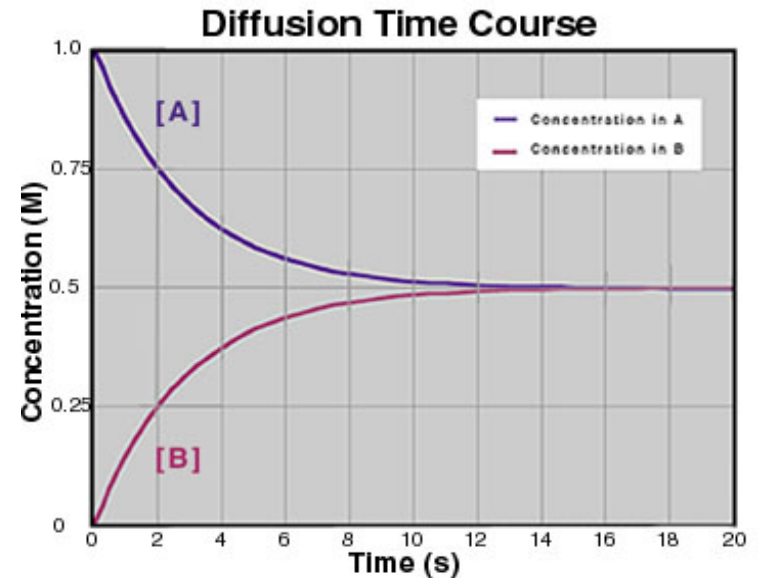
- Διάχυση είναι η ανάμειξη δυο διαφορετικών ουσιών που βρίσκονται σε επαφή.

$$J_A = -D (dC_A/dx)$$

$$J = -D \nabla C$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\nabla J$$

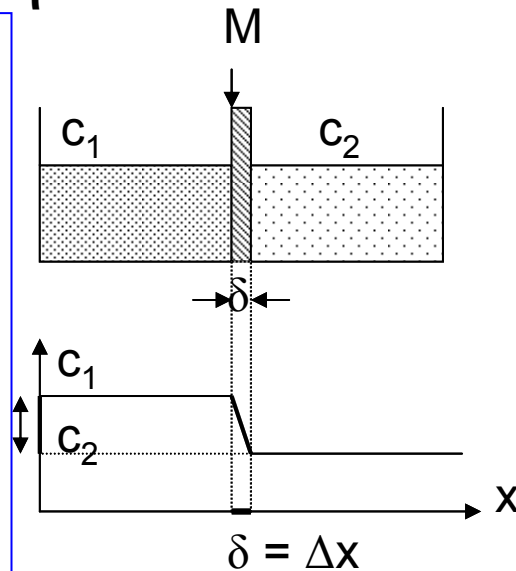
$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \nabla^2 C$$



Διάχυση σωματιδίων μέσω μεμβρανών

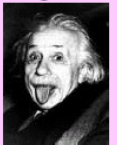
⇒ Στην περίπτωση που μια μεμβράνη, διαπερατή στα μόρια της διαλυμένης ουσίας, διαχωρίζει δύο διαλύματα διαφορετικής συγκέντρωσης, **η βαθμίδα συγκέντρωσης** εκδηλώνεται κυρίως στη μάζα της μεμβράνης, δεδομένου ότι οι ταχύτητες των μορίων (ή των ιόντων) στη μεμβράνη είναι πολύ μικρότερες από τις αντίστοιχες στο διαλύτη.

Σχηματική αναπαράσταση της χωρικής κατανομής της συγκέντρωσης διαλυμένης ουσίας σε δοχείο στο οποίο μια μεμβράνη (**M**) πάχους δ χωρίζει δύο διαμερίσματα με διαφορετικές συγκεντρώσεις ($c_1 > c_2$).



The Diffusion Constant (or Coefficient)

- D depends on:
 1. Size of diffusing particle – small molecules diffuse faster (kinetic energy $mv^2/2 \sim T$, thus $v^2 \sim 1/m$)
 2. Temperature – diffusion is faster at higher temperatures ($v^2 \sim T$)
 3. Medium properties – diffusion is slower in viscous media
- Exact relationship of these parameters is given by the Einstein's formula



Στην περίπτωση των μεμβρανών, ορίζεται μια νέα παράμετρος, **ο συντελεστής διαπερατότητας**, από τη σχέση:

$$P = \frac{D}{\delta} \quad \left(\frac{m}{s} \right)$$

Διάχυση σωματιδίων μέσω μεμβρανών (συνέχεια)

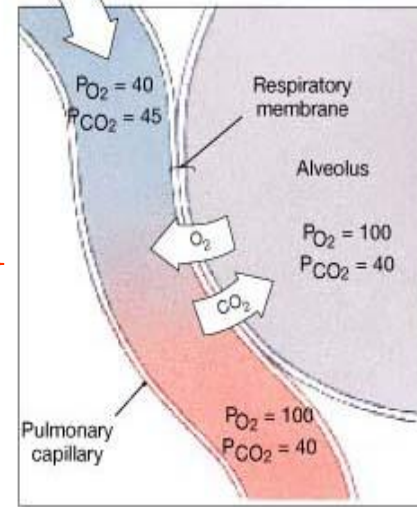
⇒ Γενικά, οι βιολογικές και οι τεχνητές μεμβράνες παρουσιάζουν διαφορετικό συντελεστή διαπερατότητας για διαφορετικούς διαλύτες. Μια μεμβράνη μπορεί να είναι επιλεκτικά διαπερατή για κάποια σωματίδια και αδιαπέρατη σε άλλα.

⇒ Στους ζωντανούς οργανισμούς **οι μεμβράνες είναι διαπερατές και επιλεκτικά διαπερατές**, συνιστούν δε βιολογικά φράγματα διαφορετικής πολυπλοκότητας, όπως: πολυκυτταρικά φράγματα (π.χ. το στομάχι), μονοκυτταρικά (π.χ. τα τοιχώματα των τριχοειδών αγγείων), κυτταρικές μεμβράνες και μεμβράνες υποκυτταρικών σχηματισμών (όπως ο πυρήνας, τα μιτοχόνδρια, τα λιποσώματα).

⇒ Πολύ σημαντική για τη ζωή είναι και η μέσω της αναπνοής ή της φωτοσύνθεσης **διάχυση αερίων**, κυρίως των αερίων CO_2 , O_2 και N_2 . Επειδή, όπως φαίνεται από τον πρώτο νόμο του Fick, η ταχύτητα διάχυσης είναι ανάλογη της επιφάνειας, μέσα από την οποία γίνεται η διάχυση, οι αερόβιοι οργανισμοί χρειάζονται επιφάνεια επαφής με το αέρινο περιβάλλον όσο το δυνατόν μεγαλύτερη (π.χ. τα φύλλα στα δένδρα και οι πνευμονικές κυψελίδες στα ανώτερα θηλαστικά με εμβαδόν 60 – 120 m^2). Η ανταλλαγή των αερίων μεταξύ των κυψελίδων και του αίματος γίνεται μέσω των μεμβρανών των κυψελίδων. Τα αέρια της ατμόσφαιρας είναι διαλυμένα σε βιολογικά υγρά και η διάλυση αυτή ακολουθεί **τους νόμους των αερίων (Henry – Dalton)**, εξαρτάται δηλαδή από **τη φύση του αερίου, τη θερμοκρασία, την πίεση ή τη μερική πίεση σε μίγμα αερίων**.

■ Διάχυση των O_2 και CO_2 στο σώμα (φυσιολογική κατάσταση, κατάσταση ηρεμίας):

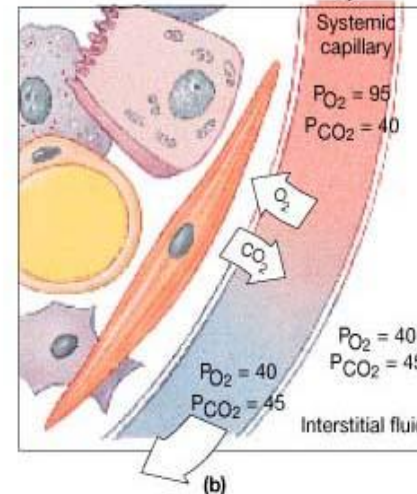
Διάχυση, λόγω
μερικών
πιέσεων των
αερίων, μεταξύ
μεμβράνης της
κυψελίδας και
πνευμονικού
τριχοειδούς.



Φεύγοντας
από τα
τριχοειδή των
κυψελίδων

Φεύγοντας
από τα
πνευμονικά
τριχοειδή

(a)



Διάχυση σε
άλλους ιστούς

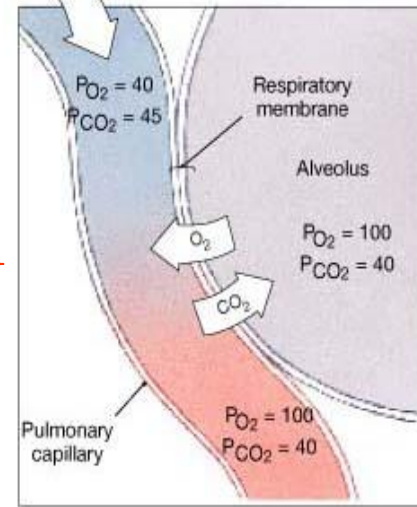
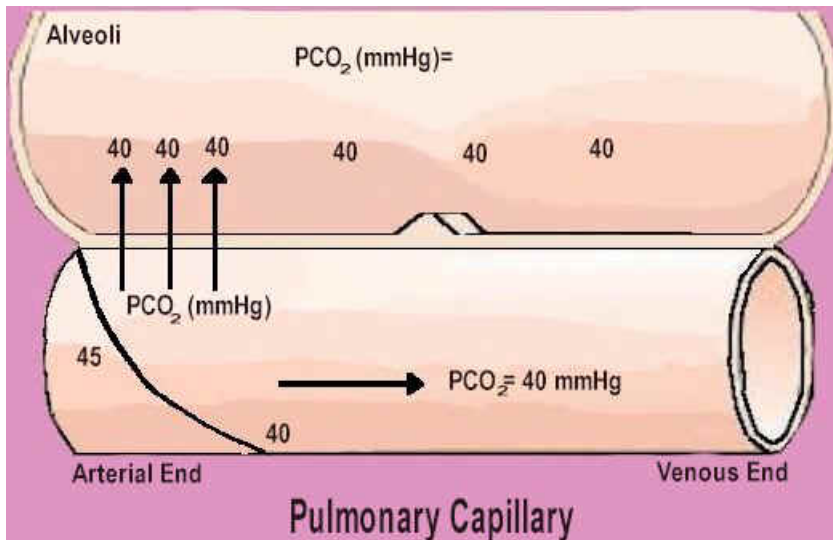
Στα σωματικά
κύτταρα
(ηρεμία)

(b)

• **FIGURE 23-20** An Overview of Respiratory Processes and Partial Pressures in Respiration. (a) Partial pressures and diffusion at the respiratory membrane. (b) Partial pressures and diffusion in other tissues.

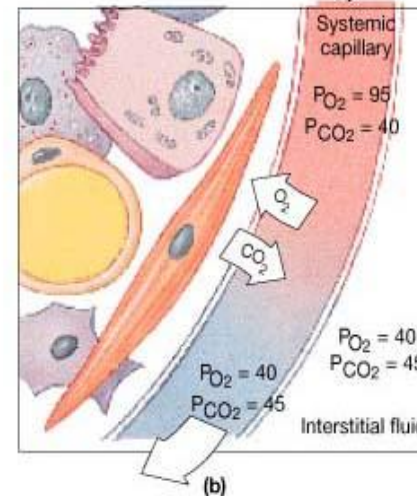
■ Διάχυση των O_2 και CO_2 στο σώμα (φυσιολογική κατάσταση, κατάσταση ηρεμίας):

Διάχυση, λόγω πιέσεων των αερίων, μεταξύ μεμβράνης της κυψελίδας και πνευμονικού τριχοειδούς.



Φεύγοντας από τα τριχοειδή των κυψελίδων

Φεύγοντας από τα πνευμονικά τριχοειδή



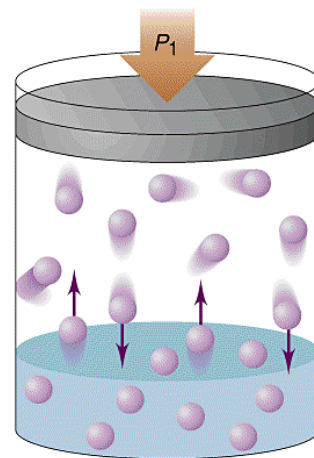
Διάχυση σε άλλους ιστούς

Στα σωματικά κύτταρα (ηρεμία)

• **FIGURE 23-20** An Overview of Respiratory Processes and Partial Pressures in Respiration. (a) Partial pressures and diffusion at the respiratory membrane. (b) Partial pressures and diffusion in other tissues.

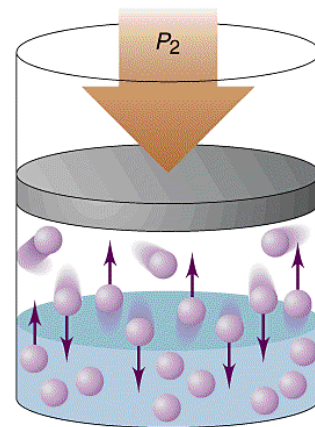
🇬🇷 Διήθηση - Διαπίδυση (ή διύλιση)

Η **διήθηση** περιγράφει το φαινόμενο μεταφοράς υδατοδιαλυτών, κυρίως, χημικών ενώσεων διαμέσου μιας εκλεκτικά διαπερατής μεμβράνης. Η βιομεμβράνη επιτρέπει τη διέλευση μορίων μικρού μοριακού βάρους (π.χ. νερό, γλυκόζη), ενώ παρεμποδίζει τη μετακίνηση μεγαλομοριακών ενώσεων (π.χ. πρωτεΐνες), ή μικρομορίων συζευγμένων με μεγάλα μόρια. Η διήθηση πραγματοποιείται όταν υπάρχει **βαθμίδωση πίεσης (μηχανικής ή υδροστατικής)** από τη μια και την άλλη πλευρά της μεμβράνης. Με διήθηση ο οργανισμός αποβάλλει βλαβερές ουσίες (π.χ. ουρία) από τα αιμοφόρα αγγεία προς τα νεφρικά σωληνάκια των νεφρών, ενώ οι χρήσιμες ουσίες (π.χ. πρωτεΐνες) παραμένουν στο αίμα. Διαταραχές της πίεσης του αίματος επηρεάζουν τη νεφρική λειτουργία και αντίστροφα.



A

A) Εφαρμόζοντας πίεση P_1 έχουμε μία συγκέντρωση διαλυόμενης ουσίας C_1 .



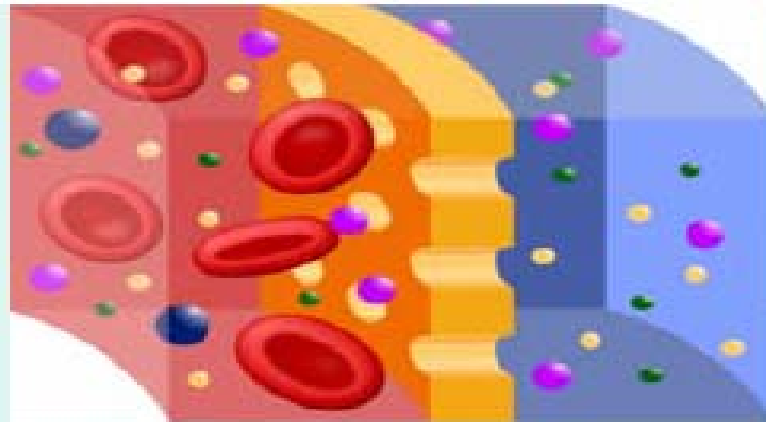
B

B) Εφαρμόζοντας διπλάσια πίεση, διπλασιάζεται και η συγκέντρωση της διαλυόμενης ουσίας.



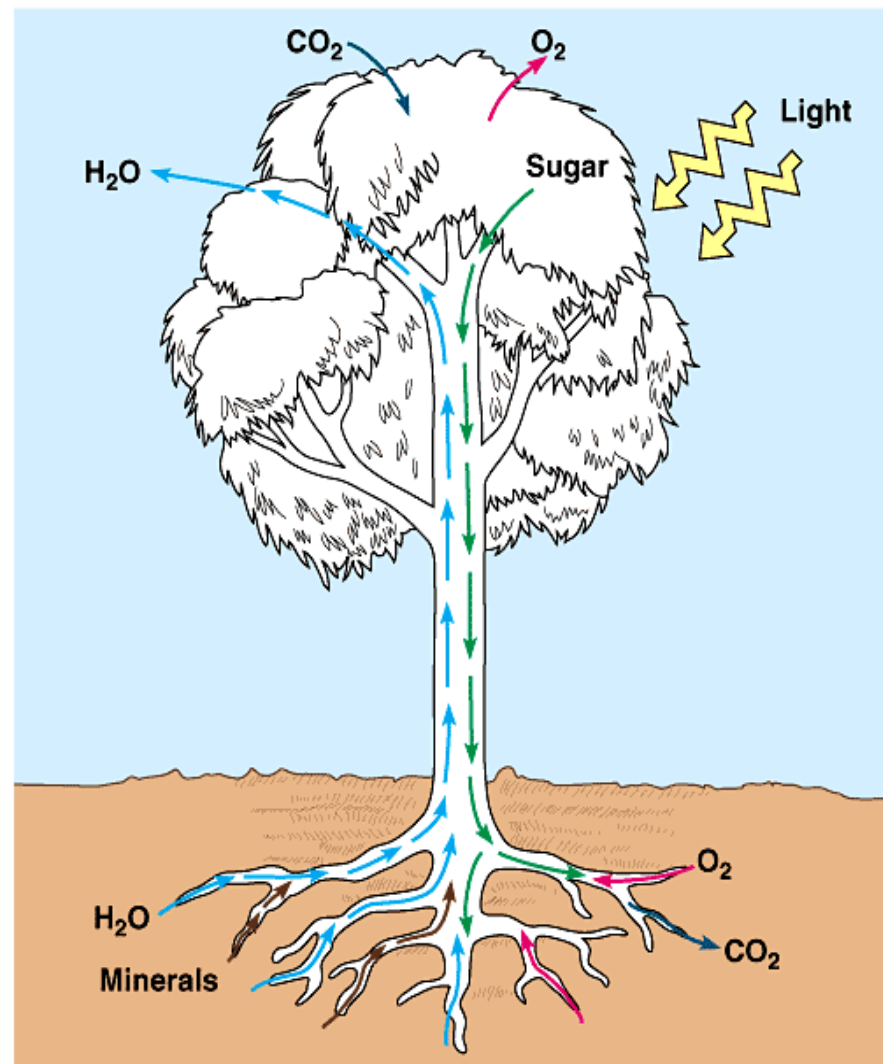
■ Διήθηση - Διαπίδυση (ή διύλιση) (συνέχεια)

Ανάλογη με τη διήθηση είναι η **διαπίδυση ή διύλιση**, φαινόμενο που δεν απαντάται φυσιολογικά στα έμβια όντα. Η διαπίδυση είναι μια τεχνική διάχυσης διαλυτών ουσιών διαμέσου μιας εκλεκτικά διαπερατής μεμβράνης, η οποία μεμβράνη συνήθως είναι τεχνητή και χωρίζει ένα διάλυμα και το διαλύτη του (π.χ. νερό). Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται στις μονάδες τεχνητού νεφρού για αιμοκάθαρση, όταν οι φυσιολογικοί νεφροί δεν μπορούν να επιτελέσουν τη λειτουργία τους.



Scheme of semipermeable membrane during hemodialysis, where red is blood, blue is the dialysing fluid, and yellow is the membrane.

Η διάχυση και η διαπίδυση στα φυτά



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

Ωσμωση

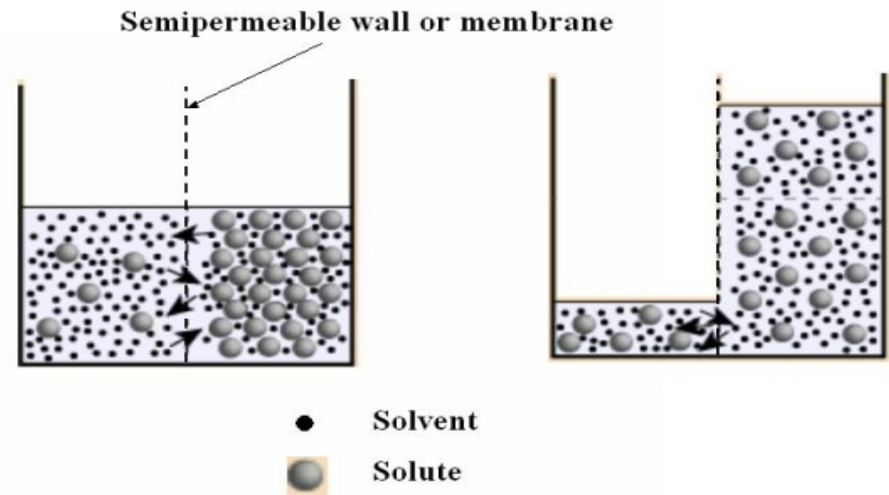
Η ώσμωση περιγράφει το φαινόμενο της παθητικής διάχυσης των μορίων του διαλύτη ενός διαλύματος, από μια περιοχή χαμηλής συγκέντρωσης διαλυμένης ουσίας σε περιοχή μεγαλύτερης συγκέντρωσης, μέσω μιας ημιπερατής μεμβράνης.

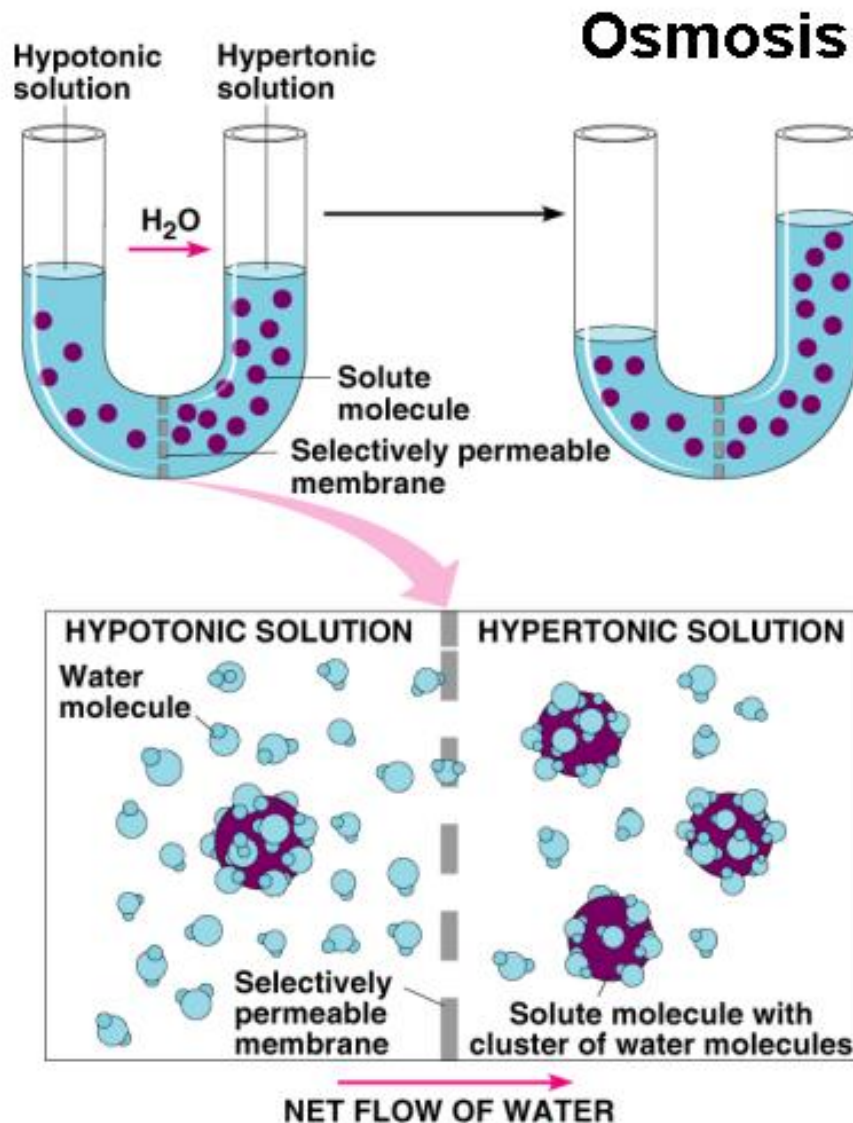
Ας θεωρήσουμε δυο διαλύματα 1 και 2 διαφορετικών συγκεντρώσεων ($C_1 > C_2$), τα οποία χωρίζονται από μια ημιπερατή μεμβράνη. Από θερμοδυναμική άποψη το σύστημα δεν ισορροπεί και τείνει να εξισώσει τις συγκεντρώσεις της διαλυμένης ουσίας στις δυο περιοχές μέσω του ωσμωτικού φαινομένου.

Η εισροή διαλύτη στο πυκνότερο διάλυμα προκαλεί αύξηση του όγκου του διαλύματος που συνεπάγεται την εμφάνιση διαφοράς στην **υδροστατική πίεση**, η οποία σταματά και το φαινόμενο της ώσμωσης. Φαίνεται σαν να ασκεί ο διαλύτης μια πίεση πάνω στο διάλυμα, η οποία εξισορροπείται από την υδροστατική πίεση της υπερκείμενης στήλης υγρού. Αυτή η πίεση ονομάζεται **ωσμωτική πίεση, π** , δίνεται δε από τη σχέση:

$$\pi = \rho \cdot g \cdot h$$

Osmosis

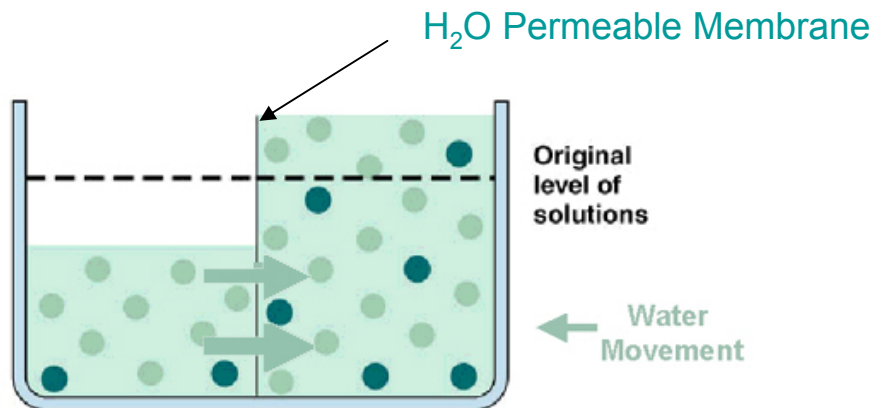




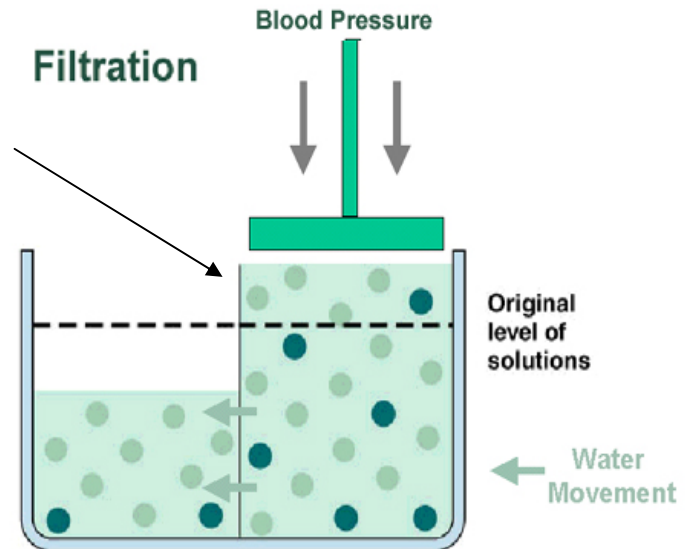
- Osmosis is a special type of diffusion
- Movement of water across a **semipermeable membrane** from a region of high concentration to a region of low concentration
- Dissolved molecules (ions, organic compounds, etc.) are called **solutes**
- Most solutes cannot cross membranes
- As solute concentration increases, "free" water concentration decreases
- **Hypertonic** - high [solute]
- **Hypotonic** - low [solute]

Όσμωση και διήθηση

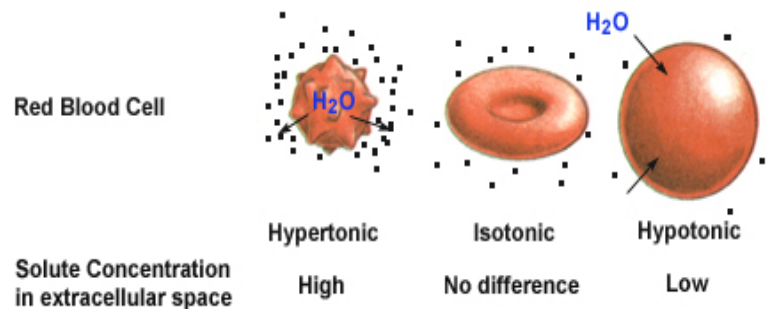
Osmosis



Filtration



Tonicity



Osmosis is the diffusion of a solvent through a selectively permeable membrane

$$P = cRT$$

■ Ωσμωση (συνέχεια)

Η ωσμωτική πίεση ακολουθεί το **νόμο του Van't Hoff**, σύμφωνα με τον οποίο υπάρχει μια αναλογία μεταξύ της πίεσης των τελείων αερίων και της ωσμωτικής πίεσης. Έτσι, η ωσμωτική πίεση που ασκεί αραιό διάλυμα μη ηλεκτρολυτών ισούται αριθμητικά με την πίεση που θα ασκούσε η διαλυμένη ουσία αν ήταν σε αέρια φάση και κατελάμβανε ίδιο όγκο με αυτό του διαλύματος, στην ίδια θερμοκρασία:

$$\pi.V = \frac{m_s}{\mu} R.T$$

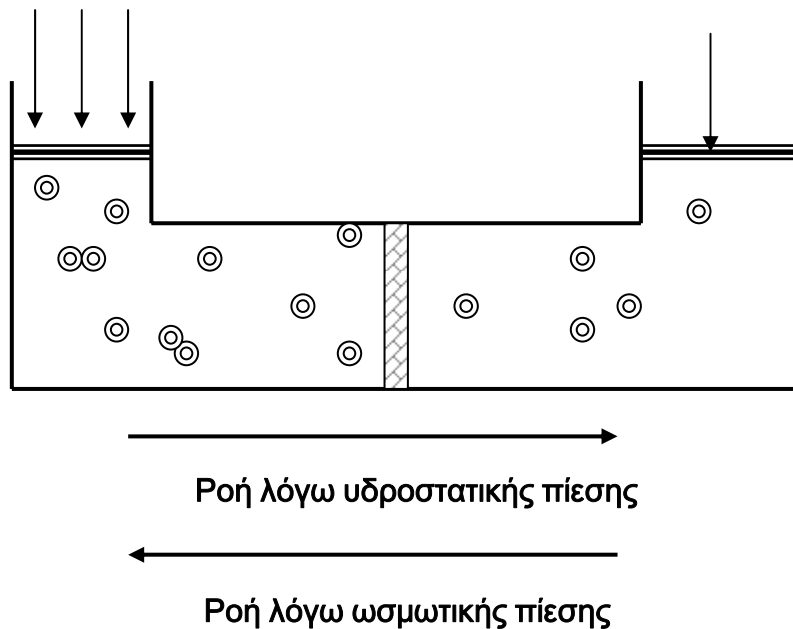
όπου: π η ωσμωτική πίεση του διαλύματος, V ο όγκος του διαλύματος, m_s η μάζα της διαλυμένης ουσίας, μ το μοριακό βάρος της διαλυμένης ουσίας, R η παγκόσμια σταθερά των αερίων και T η απόλυτη θερμοκρασία του διαλύματος.

Ο νόμος του Van't Hoff δεν ισχύει σε όλες τις περιπτώσεις. Σε υψηλές συγκεντρώσεις της ουσίας, σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 40 °C, σε διαλύματα ηλεκτρολυτών ή μακρομοριακών ενώσεων και σε πολλές βιολογικές μεμβράνες, οι νόμοι που διέπουν την ώσμωση και την ωσμωτική πίεση είναι αρκετά περίπλοκοι και πολυπαραγοντικοί.

Ωσμομοριακότητα (Osmolarity): Ο συνολικός αριθμός των γραμμομορίων των διαλυμένων και ωσμωτικά ενεργά ουσιών σε ένα λίτρο διαλύματος.

■ Ωσμωση (συνέχεια)

Στο σχήμα φαίνεται η **αντιπαράλληλη φορά** της υδροστατικής και της ωσμωτικής πίεσης σε δοχείο που χωρίζεται σε δύο διαμερίσματα με ημιπερατή μεμβράνη.



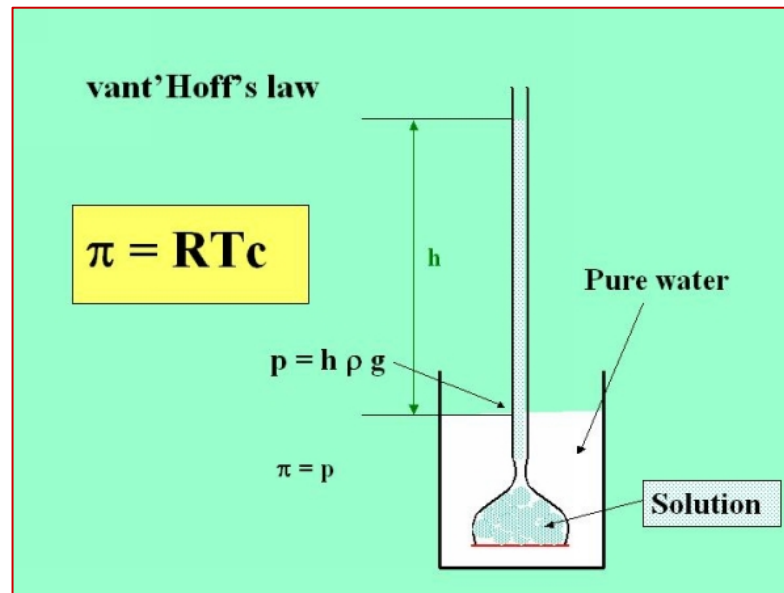
➤ Στο διαμέρισμα αριστερά το διάλυμα έχει μεγαλύτερη συγκέντρωση ωσμωτικά δραστικών ουσιών.

➤ Με την εφαρμογή κατάλληλης υδροστατικής πίεσης εξισορροπείται η ωσμωτική πίεση και μηδενίζεται η ροή ουσίας.

Σχηματική αναπαράσταση της εξισορρόπησης της ωσμωτικής πίεσης διαλύματος με ίσης τιμής αλλά αντίθετης φοράς υδροστατική πίεση.

Ο ρόλος της ώσμωσης είναι ιδιαίτερα σημαντικός σε μια σειρά βιολογικών φαινομένων, όπως:

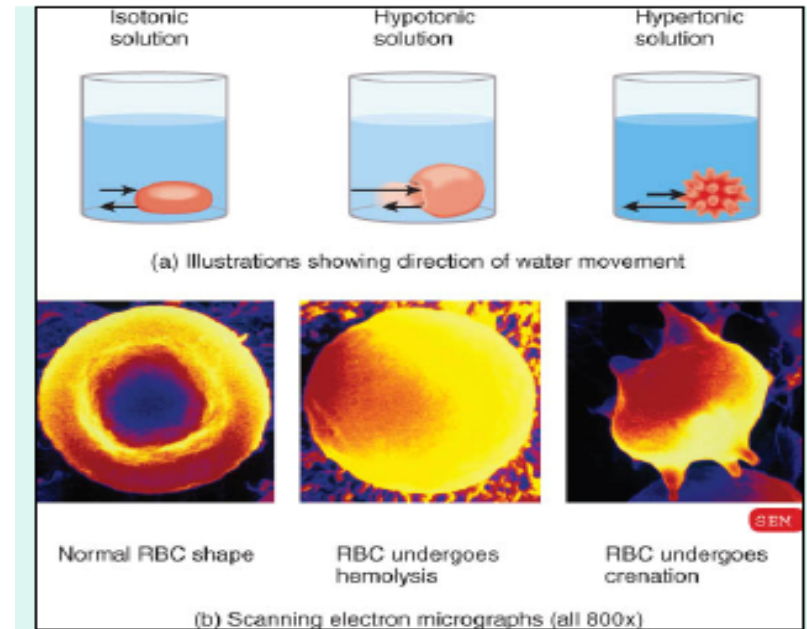
- Στη διατήρηση του όγκου και της αρχιτεκτονικής δομής των κυττάρων σε ισοτονικά διαλύματα,
- Στη ρύθμιση της κυκλοφορίας του αίματος σε συνδυασμό με την ενδοτριχοειδική υδροστατική πίεση,
- Σε όλα τα στάδια της νεφρικής λειτουργίας (διήθηση του πλάσματος στα μαλπιγγειανά σωμάτια, επαναρρόφηση του νερού του διηθήματος προς τα αιμοφόρα αγγεία, αποβολή ούρων).



■ Ωσμωση (συνέχεια)

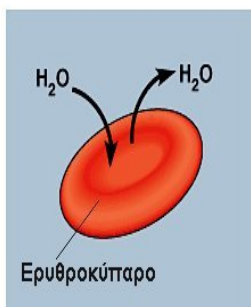
Ο ρόλος της ώσμωσης είναι ιδιαίτερα σημαντικός σε μια σειρά βιολογικών φαινομένων, όπως:

- Στη διατήρηση του όγκου και της αρχιτεκτονικής δομής των κυττάρων σε ισοτονικά διαλύματα,
- Στη ρύθμιση της κυκλοφορίας του αίματος σε συνδυασμό με την ενδοτριχοειδική υδροστατική πίεση,
- Σε όλα τα στάδια της νεφρικής λειτουργίας (διήθηση του πλάσματος στα μαλπιγγειανά σωμάτια, επαναρρόφηση του νερού του διηθήματος προς τα αιμοφόρα αγγεία, αποβολή ούρων).

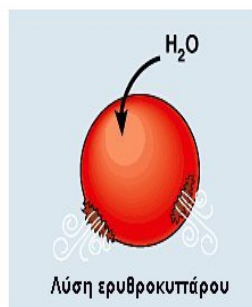


➤ Δύο διαφορετικά διαλύματα με κοινό διαλύτη (π.χ. το νερό), τα οποία έχουν την ίδια μοριακή συγκέντρωση στην ίδια θερμοκρασία, έχουν ίση οσμωτική πίεση και λέγονται **ισότονα ή ισοτονικά διαλύματα**. Το διάλυμα που έχει μεγαλύτερη οσμωτική πίεση από άλλο λέγεται **υπερτονικό**, ενώ το διάλυμα μικρότερης οσμωτικής πίεσης λέγεται **υποτονικό**.

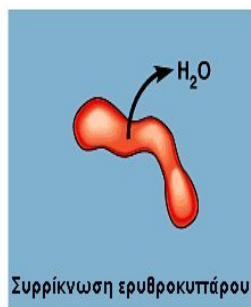
➤ Τα ζωϊκά και τα φυτικά κύτταρα μπορούν να διατηρήσουν την ακεραιότητά τους και τη λειτουργικότητά τους μόνο **σε ισοτονικό περιβάλλον**, σε άλλες περιπτώσεις εμφανίζονται φαινόμενα όπως αυτό της πλασμόλυσης, της κυτταρόλυσης, οιδήματα κ.ά.



Ερυθροκύτταρο
Σε ισοτονικό περιβάλλον

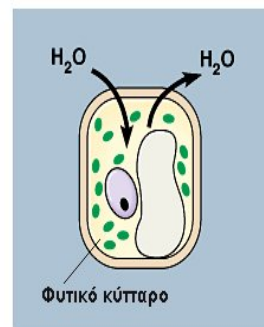


Λύση ερυθροκυττάρου
Σε υποτονικό περιβάλλον

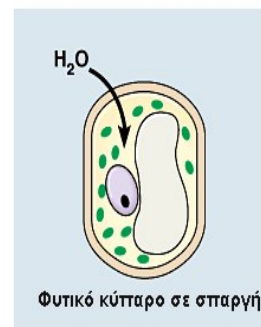


Συρρίκνωση ερυθροκυττάρου
Σε υπερτονικό περιβάλλον

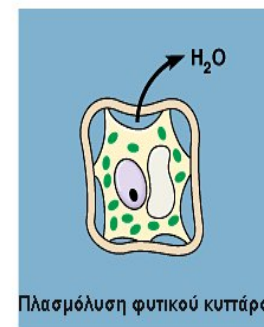
Ωσμωτικά φαινόμενα στα ζωικά κύτταρα



Φυτικό κύτταρο
Σε ισοτονικό περιβάλλον



Φυτικό κύτταρο σε σπαργή
Σε υποτονικό περιβάλλον



Πλασμόλυση φυτικού κυττάρου
Σε υπερτονικό περιβάλλον

Ωσμωτικά φαινόμενα στα φυτικά κύτταρα

Tonicity of solutions

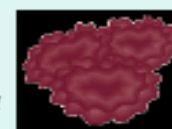
a. **isotonic solution** - is a solution where the solute concentration of the solution that the cell is in is the **same** as the solute concentration of the cell's cytoplasm (**normal RBC shape**)



b. **hypotonic solution** - is a solution where the solute concentration of the solution that the cell is in is **lower** than the solute concentration of a cell's cytoplasm (**hemolysis**)

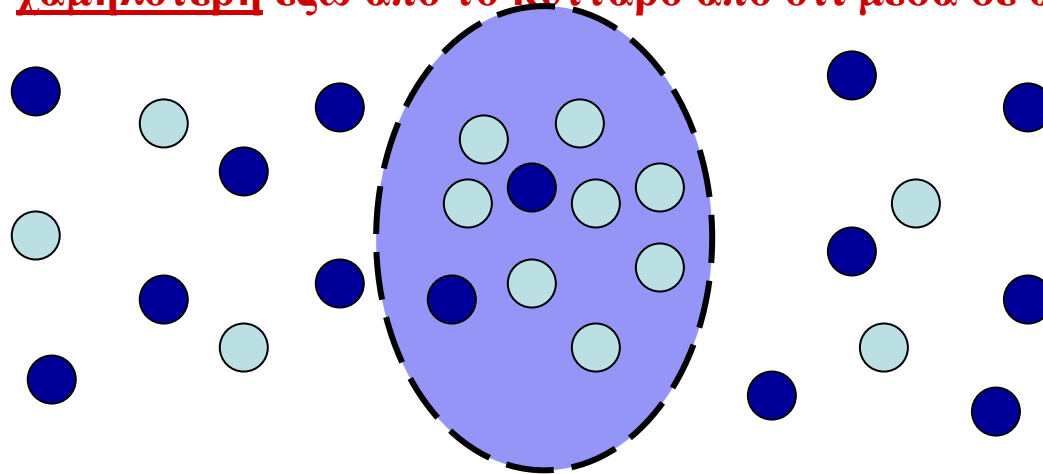


c. **hypertonic solution** - is a solution where the solute concentration of the solution that the cell is in is **higher** than the solute concentration of a cell's cytoplasm (**crenation**)



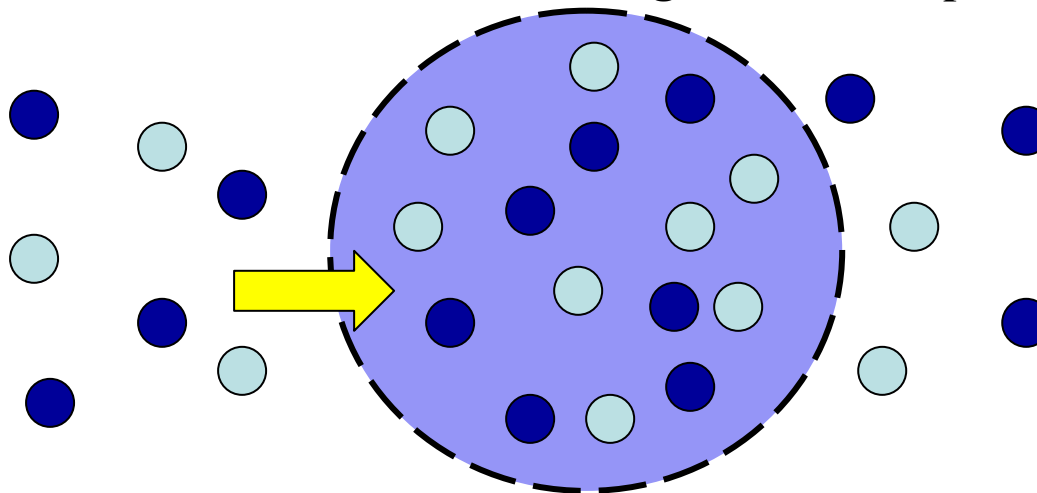
Υποτονικό διάλυμα (Hypotonic)

- Όταν η συγκέντρωση της διαλυμένης ουσίας είναι χαμηλότερη έξω από το κύτταρο από ότι μέσα σε αυτό.

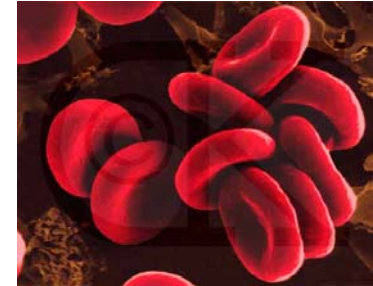


Hypotonic

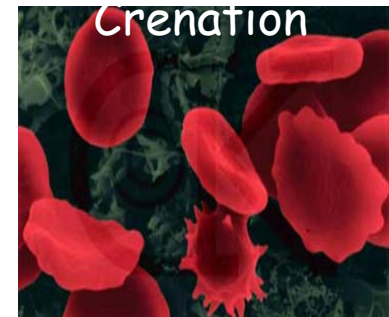
- Water will enter the cell causing the cell to expand



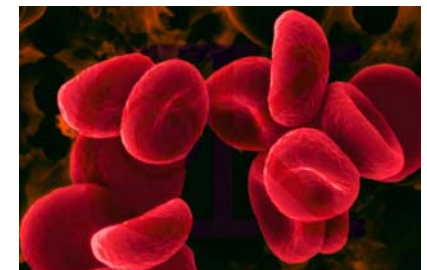
Ερυθροκύτταρα σε:



Ισοτονικό περιβάλλον



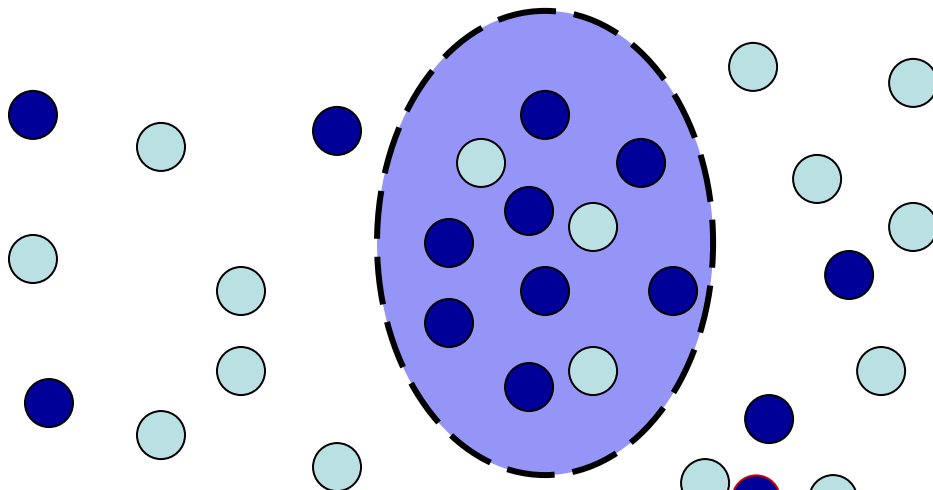
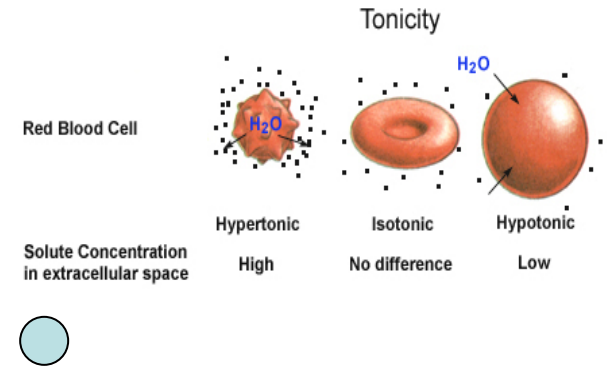
Υπερτονικό περιβάλλον



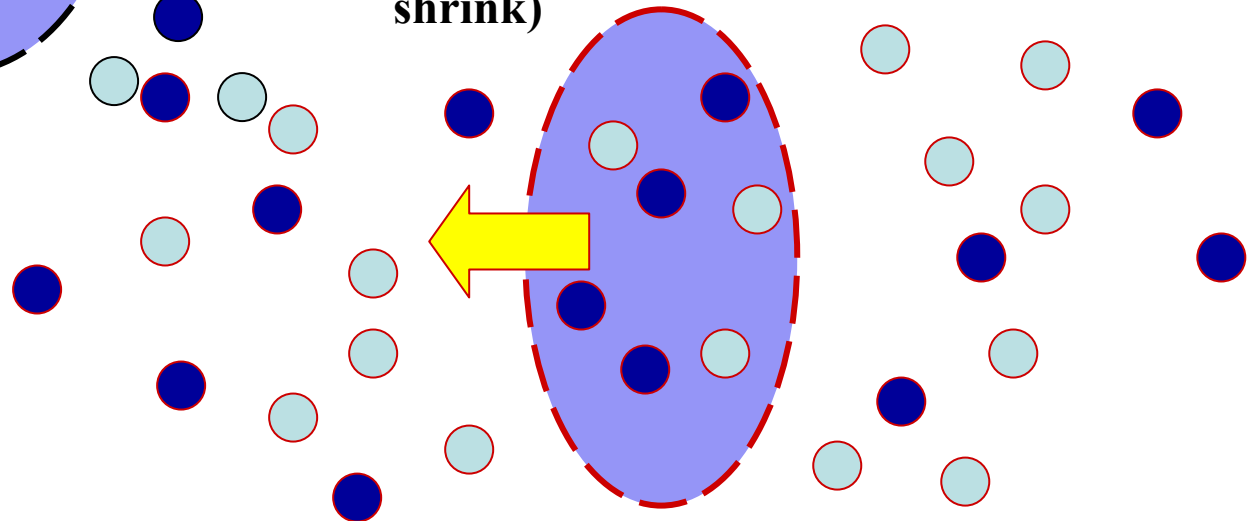
Υποτονικό περιβάλλον

Υπερτονικό διάλυμα (Hypertonic)

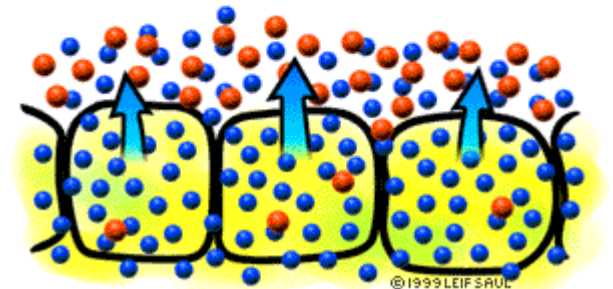
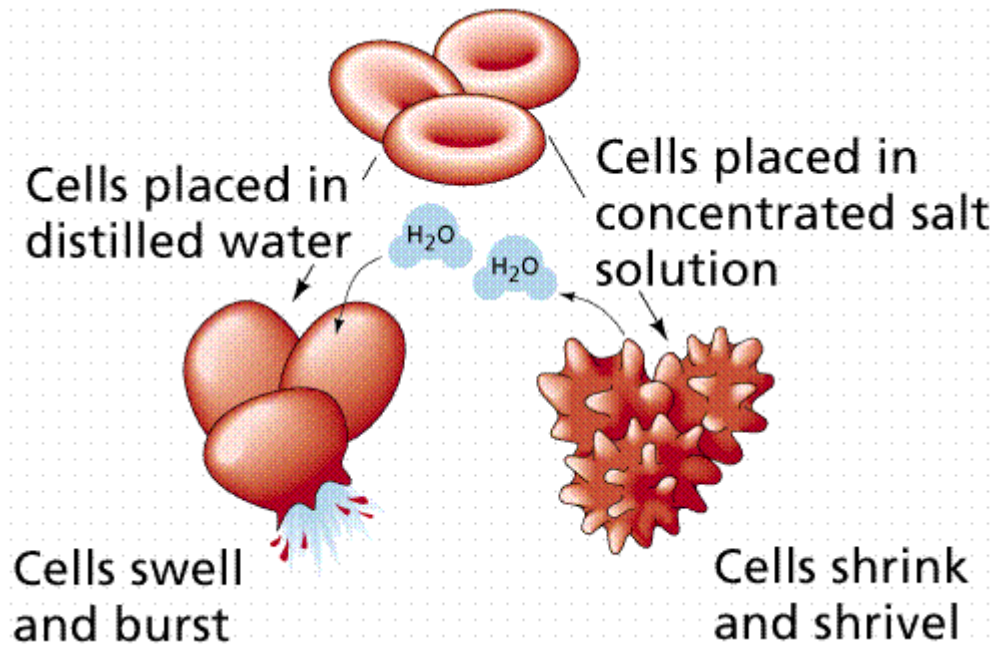
•Όταν η συγκέντρωση της διαλυμένης ουσίας είναι υψηλότερη έξω από το κύτταρο από ότι μέσα σε αυτό
(When concentration of dissolved substances is higher outside the cell than inside)



•Μόρια νερού βγαίνουν από το κύτταρο, οδηγώντας σε συρρίκνωση του κυττάρου
(Water will exit the cell causing the cell to shrink)



Ώσμωση και ερυθροκύτταρα: ο ρόλος του νερού



Ο ρόλος της ώσμωσης είναι ιδιαίτερα σημαντικός σε μια σειρά βιολογικών φαινομένων, όπως:

- Στη διατήρηση του όγκου και της αρχιτεκτονικής δομής των κυττάρων σε ισοτονικά διαλύματα,
- Στη ρύθμιση της κυκλοφορίας του αίματος σε συνδυασμό με την ενδοτριχοειδική υδροστατική πίεση,
- Σε όλα τα στάδια της νεφρικής λειτουργίας (διήθηση του πλάσματος στα μαλπιγγειανά σωμάτια, επαναρρόφηση του νερού του διηθήματος προς τα αιμοφόρα αγγεία, αποβολή ούρων).

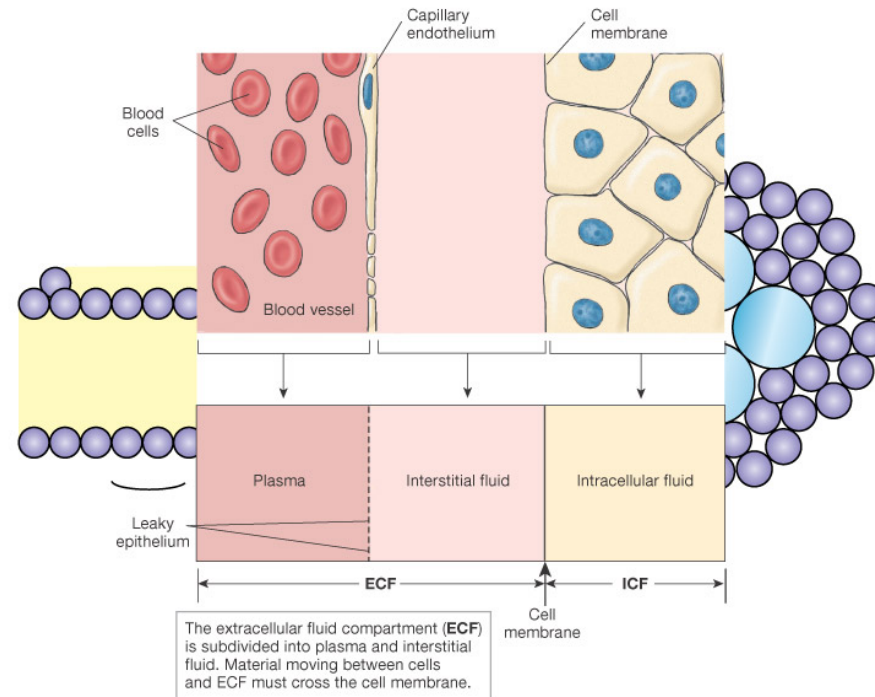
Κατάταξη σωματικών υγρών

Ενδοκυτταρικό -
Intracellular (ICF)

Εξωκυτταρικό -
Extracellular
(ECF)

Διάμεσο -
Interstitial

Πλάσμα- Plasma



Body fluid compartments

Ο ρόλος της ώσμωσης στην κυκλοφορία του αίματος

⇒ Η ωσμωτική πίεση των βιολογικών υγρών (αίμα, εγκεφαλονωτιαίο υγρό, ούρα) οφείλεται κυρίως στα ιόντα (Na^+ , Cl^- , K^+ , Ca^{2+} κ.λ.π.) και στα μικρομόρια με διαστάσεις κάτω από $10 \text{ \AA}$. Έτσι, τα μικρομόρια και τα ιόντα του αίματος (τα οποία αποτελούν μόνο 1% της μάζας του αίματος) καθορίζουν, σε 37°C , μια ωσμωτική πίεση 7-8 atm, την στιγμή που τα κολλοειδή μακρομόρια (πρωτεΐνες, λιποπρωτεΐνες), που βρίσκονται σε ποσοστό 9%, ασκούν μια πίεση μόνο 0,037 atm (28 mmHg), γνωστή ως κολλοειδωσμωτική πίεση.

⇒ Το πλάσμα του αίματος είναι ένα υδατικό διάλυμα ιόντων, αδιάλυτων μικρομορίων (γλυκόζη, ουρία) και πρωτεϊνικών μακρομορίων (λιπίδια, αλβουμίνες, σφαιρίνες, ινωδογόνο). Η ωσμωτική πίεση του πλάσματος του αίματος, π_{pl} , είναι το άθροισμα των ωσμωτικών πιέσεων που οφείλονται στους τρεις τύπους των συστατικών του:

$$\pi_{pl} = \sum_{k=1}^N \pi_k^{(i)} + \sum_{k=1}^{N'} \pi_k^{(m)} + \sum_{k=1}^{N''} \pi_k^{(M)}$$

όπου τα σύμβολα (i) , (m) και (M) στους εκθέτες δηλούν την ωσμωτική πίεση, π_k , των ιόντων τύπου k , των μικρομορίων τύπου k και των μακρομορίων τύπου k αντίστοιχα.

Ο ρόλος της ώσμωσης στην κυκλοφορία του αίματος (συνέχεια)

⇒ Στο **αίμα** δημιουργείται επίσης υδροστατική πίεση, Π_v , η οποία οφείλεται στην συστολή του καρδιακού μυός και στις μηχανικές τάσεις που ασκούν τα τοιχώματα των αιμοφόρων αγγείων. Η πίεση αυτή μεταβάλλεται από σημείο σε σημείο, στους διάφορους κλάδους του καρδιακού δικτύου. Π.χ., στο επίπεδο των αρτηριακών τριχοειδών αγγείων η υδροστατική πίεση του αίματος είναι $\Pi_{va} \approx 34 \text{ mmHg}$, ενώ στα φλεβικά τριχοειδή αγγεία είναι $\Pi_{vf} \approx 12 \text{ mmHg}$.

⇒ Η **υδροστατική πίεση του αίματος** προσδιορίζει μια διαδικασία **υπερδιήθησης**, δηλαδή μια διαδικασία μεταφοράς ιόντων και μικρομορίων, συμπεριλαμβανομένων μορίων νερού, από τον αυλό των τριχοειδών προς τον διάμεσο χώρο, σε αντίθετη δηλαδή κατεύθυνση από αυτήν που οφείλεται στην ωσμωτική πίεση.

⇒ Η **υδροστατική πίεση του διάμεσου υγρού**, Π_{vv} , ορίζει μεταφορά ουσιών αντίθετης φοράς και η τιμή της είναι μικρότερη από την αγγειακή: $\Pi_{vv} = 1 \div 9 \text{ mmHg}$, (για ευκολία θεωρούμε τη μέση τιμή της, $\Pi_{vv} = 5 \text{ mmHg}$). Με βάση τα παραπάνω μπορεί κανείς να θεωρήσει την ολική ενεργή πίεση του αίματος, $\Delta\Pi$, ως:

$$\Delta\Pi = \Pi_{va} - \Pi_{vv} - (\pi_{\pi\lambda} - \pi_{vv})$$

Η **ολική ενεργή πίεση του αίματος** μπορεί επομένως να πάρει τιμές θετικές ή αρνητικές, δημιουργώντας αντίστοιχα συνθήκες για **υπερδιήθηση** (μεταφορά υγρού από τον ενδαγγειακό χώρο προς τον διάμεσο χώρο) ή **επαναρρόφηση** (εισροή υγρού από τον διάμεσο χώρο προς τα αγγεία).

Ο ρόλος της ώσμωσης στην κυκλοφορία του αίματος (συνέχεια)

Διερευνώντας τη σχέση $\Delta\P = \Pi_{va} - \Pi_{vv} - (\pi_{\pi\lambda} - \pi_{vv})$ μπορούμε να κατανοήσουμε το σχηματισμό **οιδημάτων**, τα οποία δημιουργούνται από τον κατακλυσμό των ιστών από νερό, σε μια σειρά από παθολογικές καταστάσεις:

♥ Σε περίπτωση σοβαρής ασιτίας (στην αρχική φάση της ασιτίας), όταν η συγκέντρωση πρωτεϊνών στο πλάσμα του αίματος πέφτει σε πολύ χαμηλά επίπεδα, παρατηρείται έντονη μεταφορά νερού προς τους ιστούς (οίδημα).

♥ Στη νεφρίτιδα, όταν πολλές πρωτεΐνες του πλάσματος (κυρίως αλβουμίνες) αποβάλλονται στα ούρα, η ωσμωτική πίεση του πλάσματος του αίματος πέφτει κάτω από τα φυσιολογικά επίπεδα.

♥ Σε περίπτωση σοβαρού εγκαύματος μεταβάλλεται η διαπερατότητα της μεμβράνης των τριχοειδών αγγείων, με αποτέλεσμα τη διέλευση πρωτεϊνών του πλάσματος προς τους γύρω ιστούς και την αύξηση της ωσμωτικής πίεσης των ιστών, με παράλληλη ελάττωση της $\pi_{\pi\lambda}$.

♥ Στην περίπτωση καρδιακού εμφράγματος ή σοβαρής φλεβικής ανεπάρκειας, η ροή του αίματος από το φλεβικό άκρο των αγγείων προς την καρδιά ελαττώνεται ή σταματά, με αποτέλεσμα την αύξηση της υδροστατικής πίεσης στο φλεβικό τμήμα. Αυτό έχει σαν συνέπεια την ελάττωση της επαναρρόφησης και την εμφάνιση οιδήματος (καρδιακό οίδημα).

Ο ρόλος της ώσμωσης είναι ιδιαίτερα σημαντικός σε μια σειρά βιολογικών φαινομένων, όπως:

- Στη διατήρηση του όγκου και της αρχιτεκτονικής δομής των κυττάρων σε ισοτονικά διαλύματα,
- Στη ρύθμιση της κυκλοφορίας του αίματος σε συνδυασμό με την ενδοτριχοειδική υδροστατική πίεση,
- Σε όλα τα στάδια της νεφρικής λειτουργίας (διήθηση του πλάσματος στα μαλπιγγειανά σωμάτια, επαναρρόφηση του νερού του διηθήματος προς τα αιμοφόρα αγγεία, αποβολή ούρων).

Ο ρόλος της ώσμωσης και της υδροστατικής πίεσης στο σχηματισμό των ούρων

Τα κύτταρα των ιστών προσλαμβάνουν τροφή από το διάμεσο υγρό, στο οποίο ταυτόχρονα αποβάλλουν απορριμματικές ουσίες (προϊόντα του καταβολισμού). Από εδώ τα απόβλητα, σε μεγάλες συγκεντρώσεις, περνούν μέσω του φαινομένου της **διάχυσης** στο πλάσμα του αίματος από όπου και αποβάλλονται με τη βοήθεια των οργάνων απέκκρισης: **νεφρούς, έντερο, δέρμα, πνεύμονες**. Ένα από τα προϊόντα του καταβολισμού είναι το CO_2 (που παράγεται κατά την οξείδωση των οργανικών ουσιών), το οποίο αποβάλλεται από τους πνεύμονες.

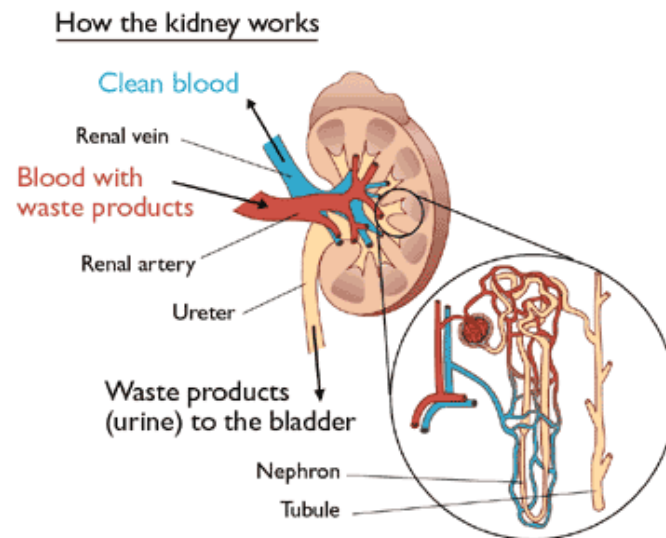
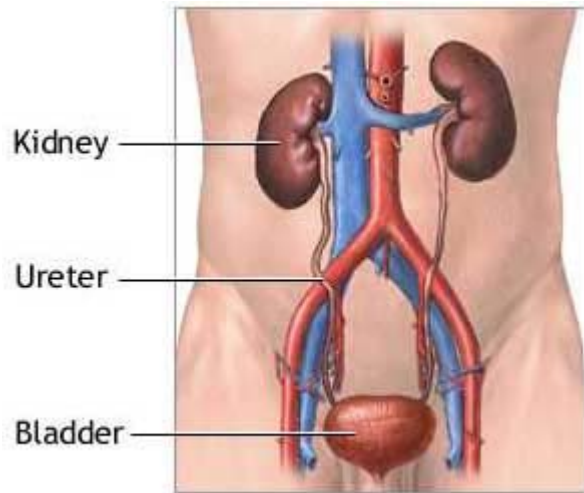
Το έντερο απεκκρίνει το μεγαλύτερο μέρος των Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} και άλλων ουσιών. Το δέρμα ελευθερώνει σημαντικούς όγκους νερού (μέσω εφίδρωσης - άδηλης αναπνοής), το οποίο περιέχει σημαντικές ποσότητες ουρίας και NaCl . Όμως το μεγαλύτερο φορτίο απέκκρισης απορριμματικών ουσιών ($55 \div 70 \text{ g/24 h}$) και περίσσειας νερού το έχουν **οι νεφροί**.

Εκτός από την απέκκριση των προϊόντων του καταβολισμού, μέσω των ούρων, **οι νεφροί συμβάλλουν στη ρύθμιση της ηλεκτρολυτικής ισορροπίας, της οξέο-βασικής ισορροπίας** (ελέγχοντας την απέκκριση των ιόντων Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- και HPO_4^{2-}), καθώς και, εν μέρει, **στη ρύθμιση της πίεσης του αίματος** μέσω της ορμόνης ρενίνη.

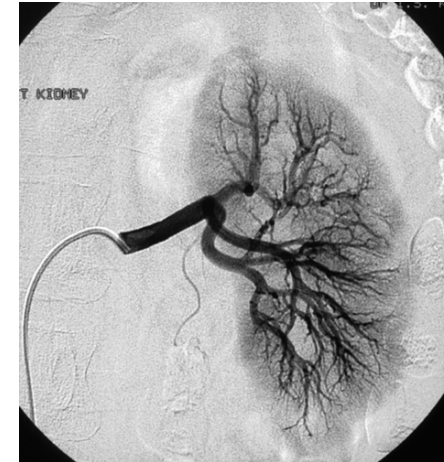
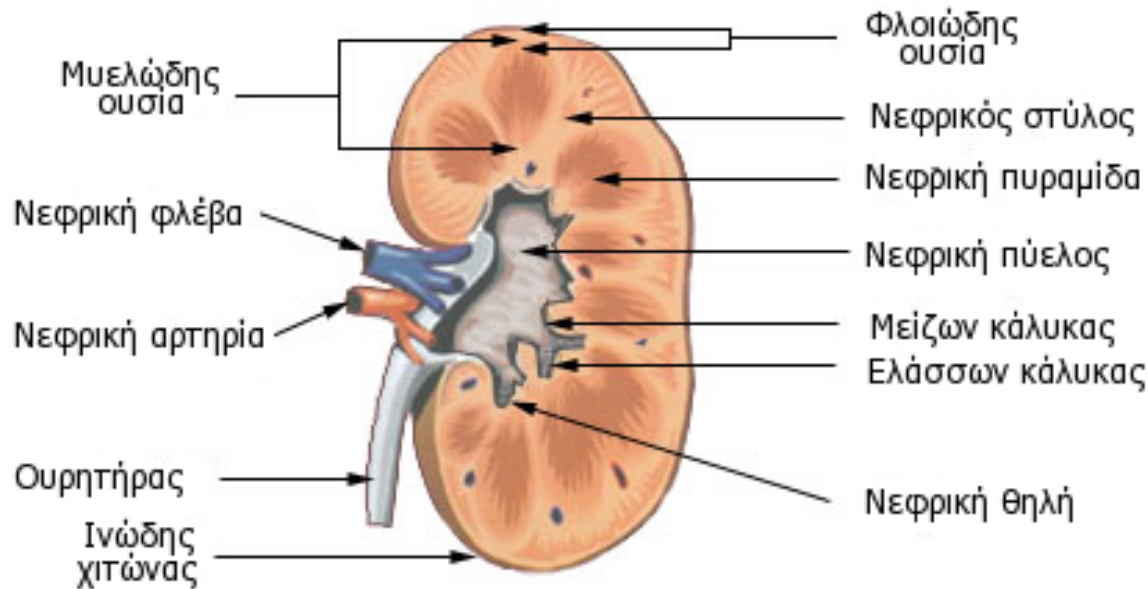
Οι παραπάνω λειτουργίες πραγματοποιούνται στο επίπεδο των νεφρώνων, που είναι η βασική δομική και λειτουργική μονάδα των νεφρών και φθάνουν στον αριθμό 10^6 περίπου σε κάθε νεφρό.



Το νεφρικό σύστημα



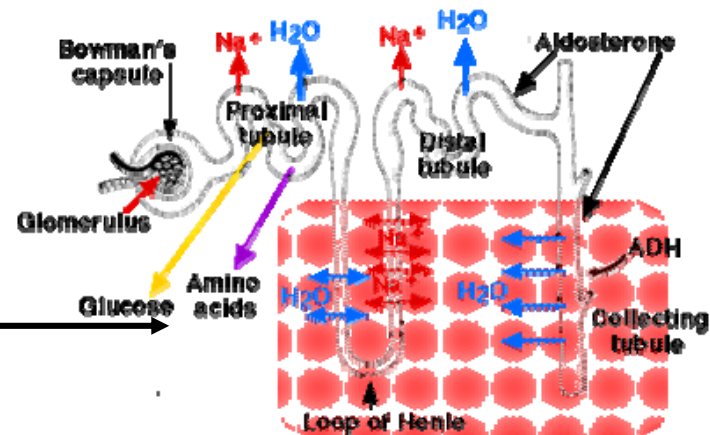
Δομή του νεφρώνα.



Αγγειογραφία νεφρού

Δομή του νεφρώνα. Κάθε νεφρώνας αποτελείται από το νεφρικό ή μαλπιγγειανό σωληνάριο και το ουροφόρο σωληνάριο. Το νεφρικό αποτελείται από την κάψα του Bowman ή Βωμάνειο έλυτρο, που περιβάλλει το αγγειώδες σπείραμα. Η κάψα του Bowman είναι ένας ενδοθηλιακός σάκος αποτελούμενος από δύο στιβάδες, την εσωτερική ή κοιλιακή στιβάδα και την εξωτερική ή τοιχωματική στιβάδα. Μέσα στην κάψα εισέρχεται το προσαγωγό αρτηρίδιο, το οποίο διακλαδίζεται σχηματίζοντας ένα δίκτυο τριχοειδών, το αγγειώδες σπείραμα. Τα τριχοειδή του αγγειώδους σπειράματος ενώνονται ξανά και σχηματίζουν το απαγωγό αρτηρίδιο που εγκαταλείπει το μαλπιγγειανό σωματίο.

Λειτουργία του νεφρώνα. Κάθε νεφρώνας μπορεί αυτόνομα να επιτελέσει τη βασική του λειτουργία, που είναι ο σχηματισμός των ούρων, με μια σειρά βιοφυσικών μηχανισμών που περιλαμβάνουν με τη σειρά τη σπειραματική διήθηση, την επαναρρόφηση, την έκκριση και την απέκκριση.

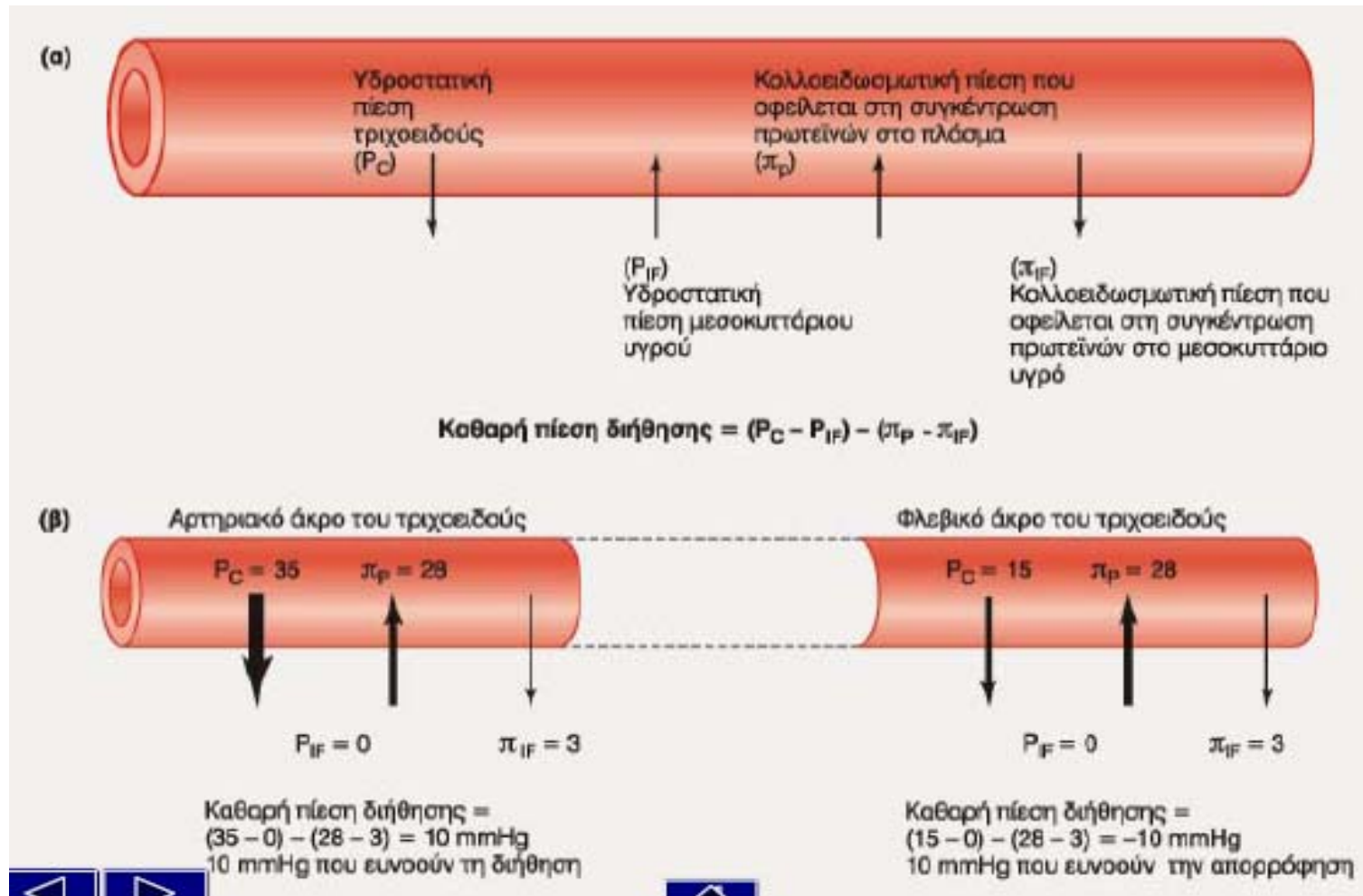


Η σπειραματική διήθηση συμβαίνει στην κάψα του Bowman, κάτω από την επίδραση της αυξημένης αρτηριακής (υδροστατικής) πίεσης στο προσαγωγό αρτηρίδιο (75 mmHg), σύμφωνα με τη σχέση:

$$\Delta\P = \Pi_{va} - \Pi_{vvB} - (\pi_{\pi\lambda} - \pi_{vvB})$$

όπου Π_{vvB} είναι η υδροστατική πίεση του interstitial υγρού στην κάψα του Bowman και π_{vvB} είναι η ωσμωτική πίεση του interstitial υγρού στην κάψα του Bowman. Αν θεωρήσουμε τις τιμές των πιέσεων στο επίπεδο της κάψας του Bowman, $\Pi_{va}=75$ mmHg, $\Pi_{vvB}=5$ mmHg, $\pi_{\pi\lambda}=28$ mmHg, και $\pi_{vvB}=5$ mmHg, η ολική πίεση φθάνει σε μια σχετικά μεγάλη θετική τιμή, $\Delta\P=47$ mmHg, η οποία προκαλεί έντονη υπερδιήθηση και ταυτόχρονα ωθεί τα ούρα (νερό, ουρία, ιόντα κ.λ.π.) προς το εγγύς εσπειραμένο σωληνάριο. Στην κάψα του Bowman διηθούνται ουσίες από το αίμα με μοριακό βάρος μέχρι 70 000.

Η επίδραση της υδροστατικής πίεσης στη λειτουργία του νεφρώνα

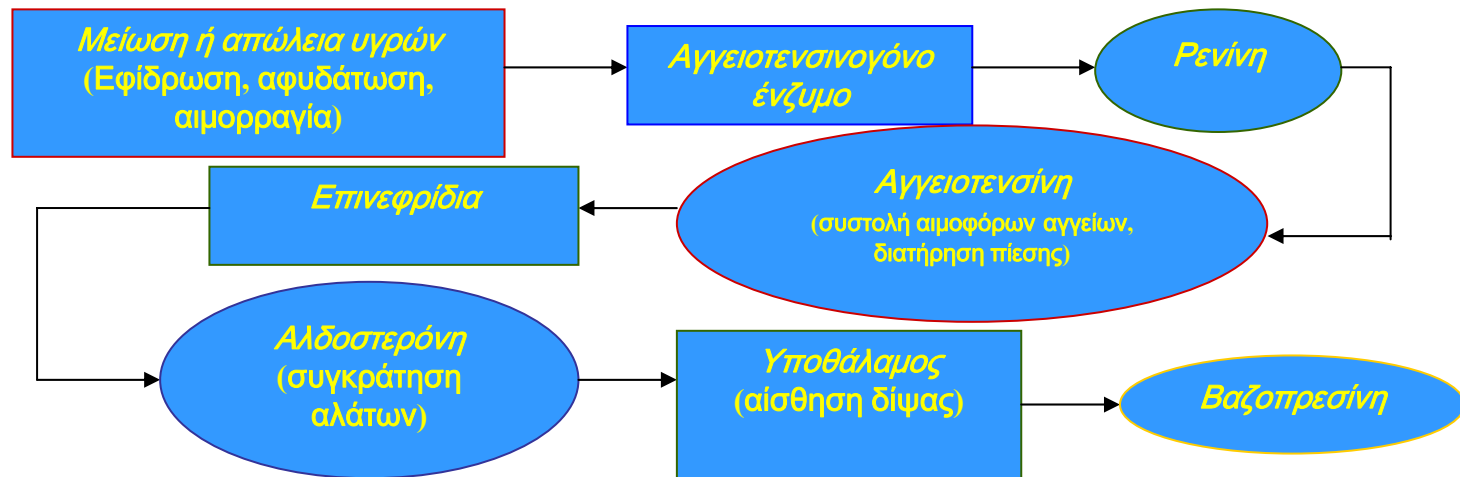


(από προηγούμενη διαφάνεια: $\Delta\Pi = \Pi_{va} - \Pi_{vb} - (\pi_{\pi\lambda} - \pi_{vb})$)

Η πίεση διήθησης, η οποία όπως είδαμε εξαρτάται από την αρτηριακή πίεση και τον όγκο του αίματος, ελέγχεται από ένα μηχανισμό αυτορρύθμισης, γνωστό ως **μηχανισμό ρενίνης - αγγειοτενσίνης** από τις βασικές ορμόνες που συμμετέχουν σ' αυτόν. Έτσι, για μεταβολές της αρτηριακής πίεσης του σώματος μεταξύ 80÷200 mmHg, ο ρυθμός της σπειραματικής διήθησης δε μεταβάλλεται σημαντικά.

Σε απότομη πτώση της αρτηριακής πίεσης ή του όγκου (π.χ. **αιμορραγία**) ενεργοποιείται ο μηχανισμός ρενίνης - αγγειοτενσίνης, προκαλείται έντονη σύσπαση των αγγείων που περιορίζει τη ροή του αίματος και τη σπειραματική διήθηση, εκκρίνεται **αλδοστερόνη** που προκαλεί την κατακράτηση άλατος και άρα κατακράτηση υγρών, προκαλείται δίψα και ανάγκη για αλάτι, ώστε να επανέλθει η πίεση και ο όγκος του αίματος σε κανονικά επίπεδα.

Ο μηχανισμός της δίψας είναι ένας πολύπλοκος μηχανισμός ανάδρασης, ο οποίος μπορεί να παρασταθεί σχηματικά με τη βοήθεια των ενζύμων που υπεισέρχονται στη λειτουργία του.



Η επαναρρόφηση συμβαίνει στο εγγύς εσπειραμένο σωληνάριο και συνίσταται στην επιστροφή στο αίμα των χρήσιμων χημικών ενώσεων που είχαν διηθηθεί πριν. Με μηχανισμούς ενεργητικής ή παθητικής μεταφοράς επαναρροφώνται ορισμένες ουσίες όπως η γλυκόζη, αμινοξέα, πρωτεΐνες, βιταμίνες, φωσφορικές ρίζες κ.ά.

Στη φάση της **έκκρισης**, εκτός από κάποια προϊόντα του ενδογενούς μεταβολισμού, μεταφέρονται (με μηχανισμούς ενεργητικής κυρίως μεταφοράς) και εξωγενείς ουσίες (π.χ. φάρμακα) στο εγγύς εσπειραμένο σωληνάριο. Στην **απέκκριση** εκκρίνονται στον αυλό του εγγύς εσπειραμένου σωληναρίου ορισμένα προϊόντα του μεταβολισμού των τοιχωμάτων του.

ΒΙΟΦΥΣΙΚΗ – ΣΕΜΦΕ/ΕΜΠ

Ακαδημαϊκό έτος 2008-2009, Διδάσκουσα: Μ. Μακροπούλου

ΘΕΜΑΤΑ ΓΙΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΟΥ ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΓΙΝΟΥΝ

ΑΠΟ 1-2 ΦΟΙΤΗΤΕΣ.

- 1) Μελέτη κρυσταλλογραφικών δεδομένων περίθλασης ακτίνων-Χ σε πραγματικά προβλήματα προσδιορισμού πρωτεϊνικών κρυσταλλικών δομών.
- 2) Βασικές ηλεκτροδυναμικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των βιολογικών μορίων.
- 3) Βασικές ηλεκτροδυναμικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των κυττάρων.
- 4) Ο ρόλος των ιόντων Κ στο βιοφυσικό μηχανισμό της ακοής.
- 5) Ηλεκτροφυσιολογικές εφαρμογές σύνδεσης νευρώνων σε συστοιχίες μικροηλεκτροδίων.
- 6) Μικροϋπολογιστής DNA.
- 7) Βιοφυσικές διεργασίες σε συνθήκες ζωής στο διάστημα.
- 8) Βιοφυσικός μηχανισμός της νευρικής ώσης - νευροδιαβίβασης και τρόποι δράσης διαφόρων χημικών παραγόντων, όπως: τοπικά αναισθητικά, ψυχοφάρμακα, κοκαΐνη, ναρκωτικά, αλκοόλ.
- 9) Βιοφυσικές τεχνικές για τη μελέτη μακρομορίων.
- 10) Κυτταρικά αυτόματα.

■ Βιβλιογραφία

- "Θέματα Μοριακής Βιοφυσικής", Στ. Χαμόδρακα, Εκδόσεις Συμμετρία, 1993.
- "Biophysique", M. Volkenstein, (στα γαλλικά) (Editions Mir, Moscou), 1985.
- «Ηλεκτρομηχανική των βιολογικών ρευστών». Δ. Κουτσούρης, Σ. Μπαρμπουνάκη, Μ. Χαρίτου, Εκδόσεις Τζιόλα, 2004.
- "Medical Instrumentation – Application and Design", J.G. Webster, (John Wiley and Sons, Inc.), 1998.
- "Biophysics and biochemistry at low temperatures", F. Franks, (Cambridge University Press), 1985.
- "Forces controlling protein interactions: theory and experiment", D. Leckband και S. Sivasankar, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 14, 83–97, 1999.
- Cotterill, R.M.J., *Biophysics : An Introduction*, [Wiley](http://www.wiley.com), 2002. ISBN 978-0471485384.
- Physics in biology and medicine, Paul Davidovits, ISBN 0136723454: Prentice Hall , c1975
- Πολλές εικόνες – σχήματα είναι από εκπαιδευτικό υλικό ή δημοσιεύσεις που διατίθενται ελεύθερα στο διαδίκτυο.
- Η ιστοσελίδα μου είναι στη διεύθυνση: <http://users.ntua.gr/mmakro>

