



## ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

### *Βιοφυσική -*

### *Εισαγωγή - Αντικείμενο και κλάδοι της Βιοφυσικής – Ο ρόλος του νερού στην έμβια ύλη*

Ακαδ. έτος 2008-2009 - Διδάσκουσα: Μυρσίνη Μακροπούλου

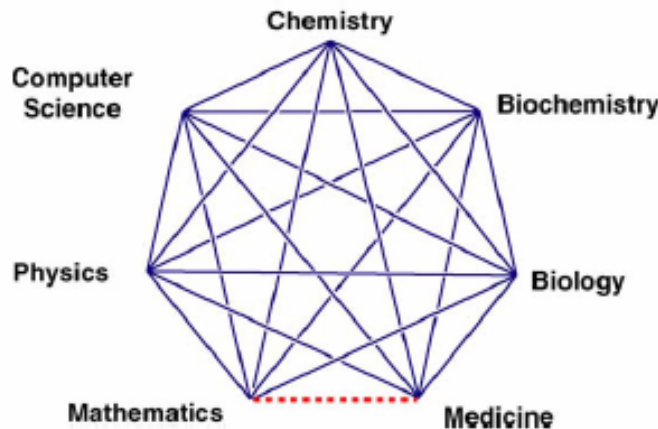
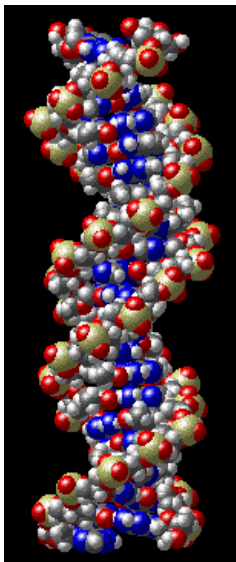
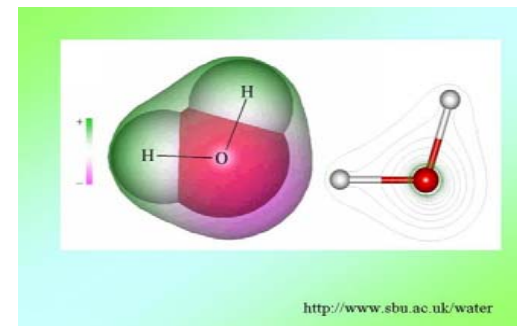


Fig. 15. The seven fields of molecular science.



<http://www.sbu.ac.uk/water>



Copyright: Microsoft

## Εισαγωγή - Ιστορική αναδρομή

*Η Βιοφυσική είναι μια διεπιστημονική - πολυκλαδική επιστήμη που προέκυψε από την ολοένα και αυξανόμενη αλληλεπίδραση ανάμεσα στις φυσικές και τις βιολογικές επιστήμες, όπως προέκυψαν και άλλες σύγχρονες επιστήμες: η **Ιατρική Φυσική**, η **Βιοϊατρική Τεχνολογία**, η **Εμβιομηχανική**, η **Βιονική** και η **Υγαιοφυσική**.*

*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.*

# Βιοφυσική

- **Dansk (Danish)**  
n. - biofysik
- **Nederlands (Dutch)**  
biofysica
- **Français (French)**  
n. - biophysique
- **Deutsch (German)**  
n. - Biophysik
- **Ελληνική (Greek)**  
n. - βιοφυσική (επιστήμη)
- **Italiano (Italian)**  
biofisica
- **Português (Portuguese)**  
n. - biofísica (f)
- **Русский (Russian)**  
биофизика
- **Español (Spanish)**  
n. - biofísica
- **Svenska (Swedish)**  
n. - biofysik
- **中文 (简体) (Chinese (Simplified))**  
生物物理学
- **中文 (繁體) (Chinese (Traditional))**  
n. pl. - 生物物理學  
n. - 生物物理學
- **한국어 (Korean)**  
n. pl. - 생물 물리학  
n. - 생물 물리학
- **日本語 (Japanese)**  
n. - 生物物理学
- **العربية (Arabic)**  
الحيوية الفيزياء أو الطبيعه علم (الاسم)
- **עברית (Hebrew)**  
n. pl. - לתופעות הפיסיקה חוקי יישום מדע - ביולוגיות, ביופיסיקה  
n. - לתופעות הפיסיקה חוקי יישום מדע - ביולוגיות, ביופיסיקה

## Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή
2. Αντικείμενο της Βιοφυσικής
3. Μοριακή Βιοφυσική
4. Κυτταρική Βιοφυσική
5. Βιοφυσική των πολύπλοκων συστημάτων
6. Δυνάμεις μεταξύ βιομορίων
7. Το νερό στα βιολογικά συστήματα
8. Μοριακά φαινόμενα μεταφοράς σε διαλύματα βιολογικών υγρών
9. Φυσικές μέθοδοι μελέτης βιολογικών φαινομένων
10. Βιοπολυμερή (δομή, λειτουργία και βιοφυσικές ιδιότητες)
11. Η κυτταρική μεμβράνη
12. Βιοφυσική των σύνθετων αισθητηρίων της όρασης και της ακοής
13. Μηχανικά φαινόμενα και συστολή των μυών
14. Επίδραση φυσικών παραγόντων (ηλεκτρικού ρεύματος, μη ιοντιζουσών ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών) στην έμβια ύλη

- ❖ Η πρώτη περίοδος ανάπτυξης της Βιοφυσικής σηματοδοτείται από τις εργασίες του Luigi Galvani (1737-1798), ο οποίος το 1786 μελέτησε πειραματικά την *επίδραση του στατικού ηλεκτρισμού στους μύες του βατράχου*.
- ❖ Ο Thomas Young διατύπωσε τη *θεωρία της όρασης των χρωμάτων*, καθώς και την *υδροδυναμική φύση της λειτουργίας της καρδιάς*.
- ❖ Ο Julius Robert Mayer (1814-1878) επεσήμανε ότι στα έμβια συστήματα υπάρχει *ανακύκλωση όλων των μορφών ενέργειας*: θερμότητας, ηλιακής, χημικής ενέργειας και μηχανικού έργου.
- ❖ Ένας κορυφαίος βιοφυσικός, ο Herman von Helmholtz (1821-1894), μελέτησε την *ταχύτητα διάδοσης των νευρικών παλμών*, τη *μυϊκή συστολή*, ανέπτυξε την *τριχρωματική θεωρία της όρασης*, ανακάλυψε το οφθαλμοσκόπιο για την παρατήρηση του αμφιβληστροειδή και διατύπωσε τη θεωρία της συνήχησης.
- ❖ Μετά το 1930, χάρις και στις προόδους της Φυσικής και τις νέες τεχνικές που εμφανίστηκαν (φασματοσκοπία, περίθλαση ακτίνων X, κ.λ.π.), η Βιοφυσική δίνει στον κόσμο σημαντικές ανακαλύψεις και επιτεύγματα, που επιβραβεύονται πολλές φορές με βραβεία Nobel Ιατρικής, Φυσιολογίας ή και Χημείας. Από την αποκωδικοποίηση της *στερεοδιάταξης του DNA* από τους J. Watson και F. Crick (βραβείο Nobel, 1962) έως τη *χαρτογράφηση της αλληλουχίας του ανθρώπινου γονιδιώματος* στην ανατολή του 21<sup>ου</sup> αιώνα, έχουν περάσει περίπου 50 χρόνια επίπονων ερευνών που άλλαξαν σημαντικά το τοπίο στην επιστήμη, αλλά και στον άμεσο αποδέκτη των επιτευγμάτων της, τον άνθρωπο και την κοινωνία.

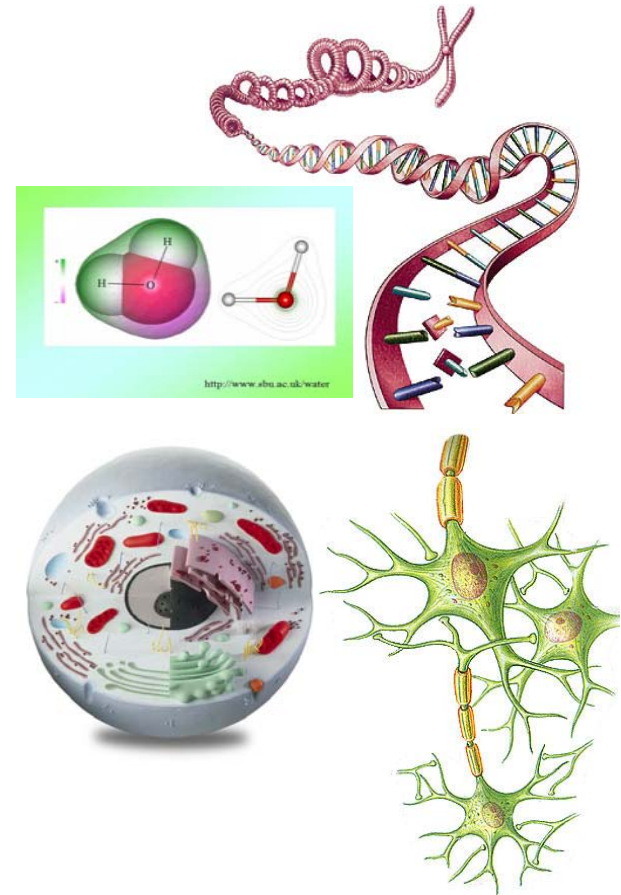
## Αντικείμενο της Βιοφυσικής

➤ Η πολυπλοκότητα και η ποικιλομορφία της έμβιας ύλης, καθώς και η οργάνωση των ζωντανών οργανισμών σε πολλά επίπεδα, καθορίζουν και το αντικείμενο των συναφών επιστημών. Για να κατανοήσουμε καλύτερα το ιδιαίτερο αντικείμενο της βιοφυσικής επιστήμης θα αναφέρουμε περιληπτικά **τα διάφορα επίπεδα οργάνωσης της ζωής:**

• **Χημικό επίπεδο:** Περιλαμβάνει όλα τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για την εμφάνιση και διατήρηση της ζωής (από ιχνοστοιχεία έως το νερό και τα μακρομόρια).

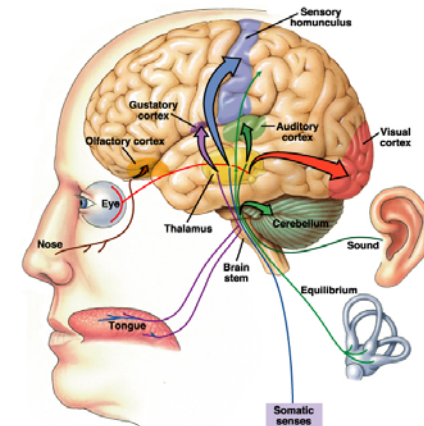
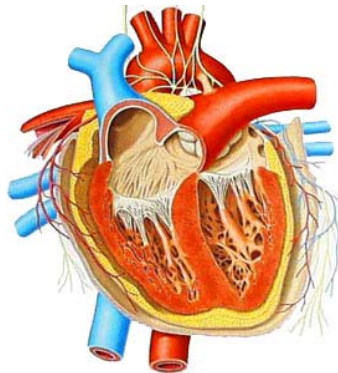
• **Κυτταρικό επίπεδο:** Τα κύτταρα είναι η βασική δομική και λειτουργική μονάδα ενός ζωντανού οργανισμού. Υπάρχουν πολλά είδη κυττάρων σε έναν οργανισμό, που το καθένα έχει διαφορετική δομή και λειτουργία (π.χ. μυϊκά κύτταρα, νευρικά κύτταρα, ερυθροκύτταρα).

• **Ιστός:** Οι ιστοί είναι ομάδες παρόμοιων κυττάρων και το διακυτταρικό υλικό ανάμεσά τους, που έχουν την ίδια εμβρυολογική καταγωγή και πραγματοποιούν κάποια ειδική λειτουργία (π.χ. επιθηλιακός ιστός, συνδετικός ιστός, μυϊκός ιστός).

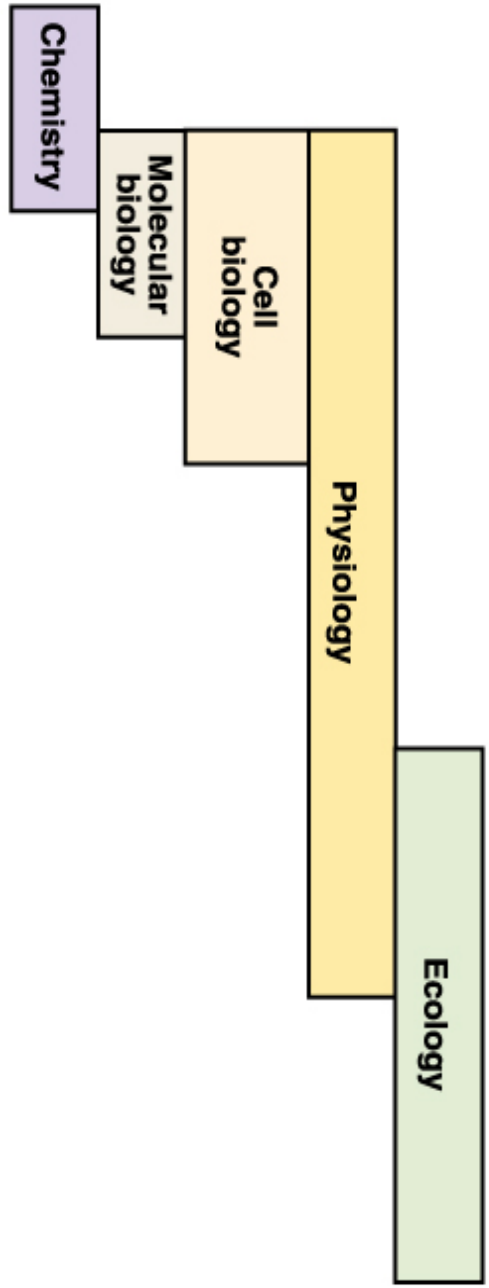
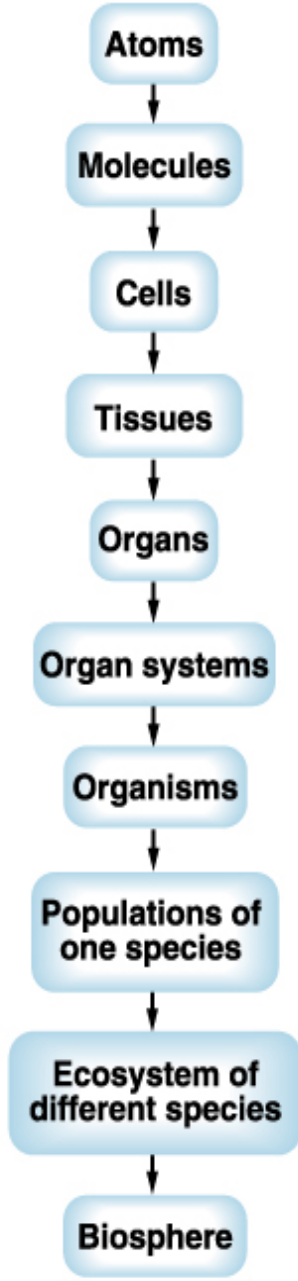


## Αντικείμενο της Βιοφυσικής (συνέχεια)

- **Όργανα:** Τα όργανα είναι δομές συγκεκριμένης μορφής και λειτουργίας, που αποτελούνται από έναν ή περισσότερους ιστούς, έχουν δε συνήθως κάποιο αναγνωρίσιμο σχήμα (π.χ. καρδιά, ήπαρ, εγκέφαλος, στομάχι).
- **Σύστημα:** Το σύστημα είναι ένας συνδυασμός οργάνων με κοινή λειτουργία. Για παράδειγμα, το πεπτικό σύστημα, που έχει σαν κύρια λειτουργία του την πέψη των τροφών, αποτελείται από το στόμα, τη σίελο, το φάρυγγα, τον οισοφάγο, το στομάχι, το λεπτό έντερο, το παχύ έντερο, το σηκώτι, τη χολή και το πάγκρεας.
- **Οργανισμός:** Αποτελεί το υψηλότερο επίπεδο οργάνωσης της ζωής. Είναι γνωστό ότι, από τους διάφορους ζωντανούς οργανισμούς, ο άνθρωπος είναι το τελειότερο και πολυπλοκότερο ον στον πλανήτη μας.
- **Ανώτερα επίπεδα:** Οι ζωντανοί οργανισμοί οργανωμένοι σε ομοειδείς ομάδες αποτελούν τους πληθυσμούς, οι οποίοι εξελίσσονται στη Βιοκοινωνία, το Οικοσύστημα, τη Βιόσφαιρα.



**Τα διάφορα επίπεδα οργάνωσης της ζωής:**





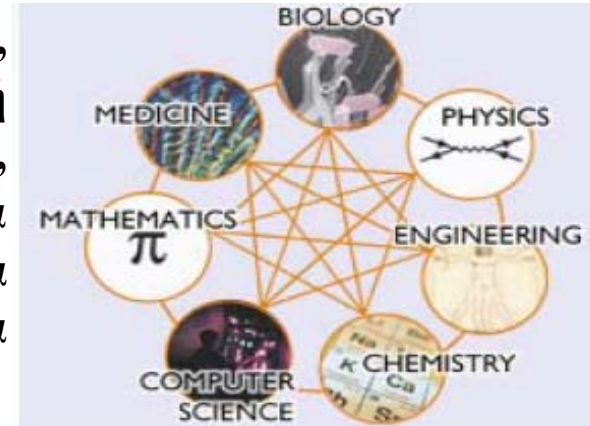
## Αντικείμενο της Βιοφυσικής (συνέχεια)

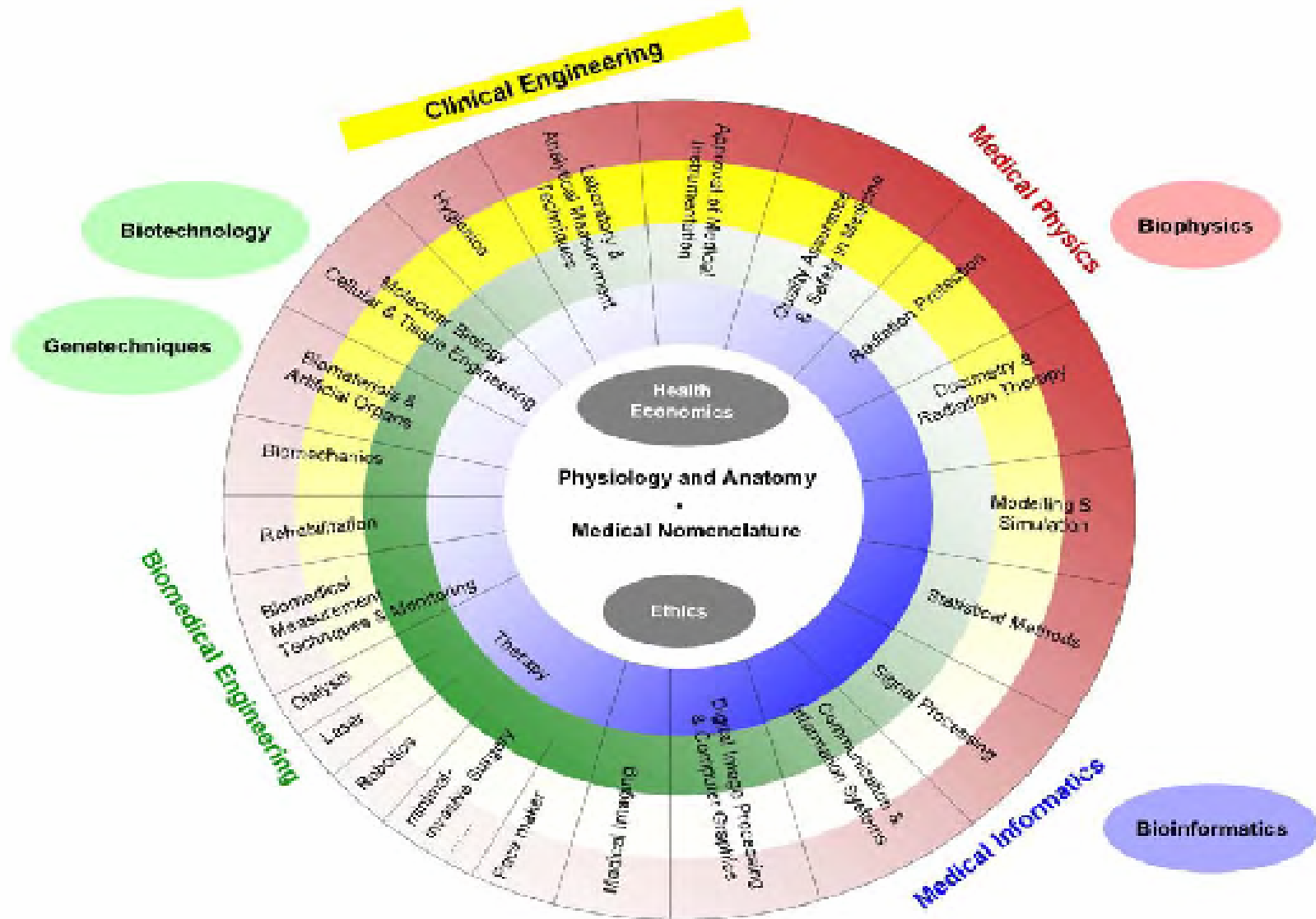
➤ Αν θεωρήσει κανείς τα διάφορα επίπεδα οργάνωσης της ζωής, από τα βιομόρια έως το οικοσύστημα, μπορεί να διακρίνει ως αντικείμενα μελέτης της Βιοφυσικής τα απλούστερα εξ αυτών και συγκεκριμένα **τα μόρια, τα κύτταρα και τους ιστούς-όργανα**. Τα ανώτερα επίπεδα οργάνωσης της ζωής αποτελούν αντικείμενο μελέτης της *Ιατρικής Φυσικής* και της *Υγαιοφυσικής*.

➤ Τα όρια της βιοφυσικής επιστήμης είναι πλατιά και ασαφή, ανάμεσα σε άλλες βιο-επιστήμες (βιοχημεία, μοριακή βιολογία, κυτταρική βιολογία, βιοτεχνολογία, νευροφυσιολογία κ.ά.). Επίσης η Βιοφυσική μοιράζεται τα σύνορά της με τη Φυσική, τη Χημεία, τη Γενετική, τα Εφαρμοσμένα Μαθηματικά (θεωρία ελέγχου, θεωρία πληροφορίας), τη Μικρο-μηχανική και τη Νανοτεχνολογία.

➤ Η Βιοφυσική υποδιαιρείται σε επιμέρους κλάδους: **Μοριακή Βιοφυσική**, **Κυτταρική Βιοφυσική** και **Βιοφυσική των πολύπλοκων συστημάτων**.

➤ Ξεχωρίζουν επίσης η Βιοφυσική των μεμβρανών, η Νευροβιοφυσική, η Ακτινοβιοφυσική, η Ιατρική Βιοφυσική, η Περιβαλλοντική Βιοφυσική και η Υπολογιστική Βιοφυσική.

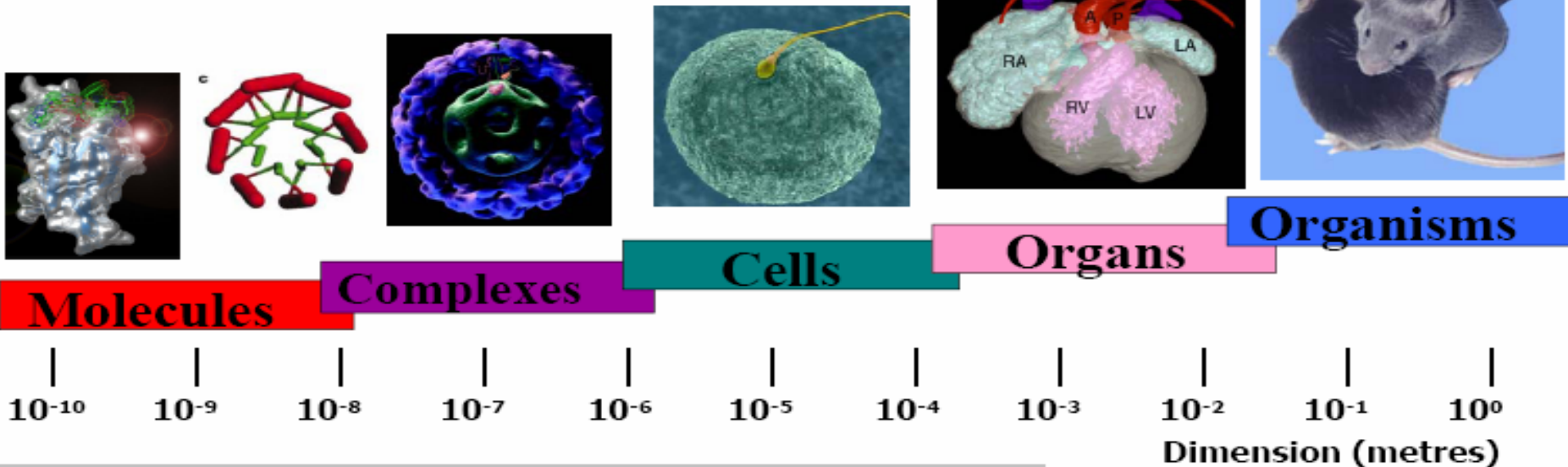




Οι κυριότερες περιοχές της Εμβιομηχανικής, της Κλινικής Μηχανικής, της Ιατρικής Φυσικής και της Βιοϊατρικής Πληροφορικής, οι οποίες δείχνουν τον κεντρικό στόχο αλλά και τις επικαλύψεις των γνωστικών αντικειμένων

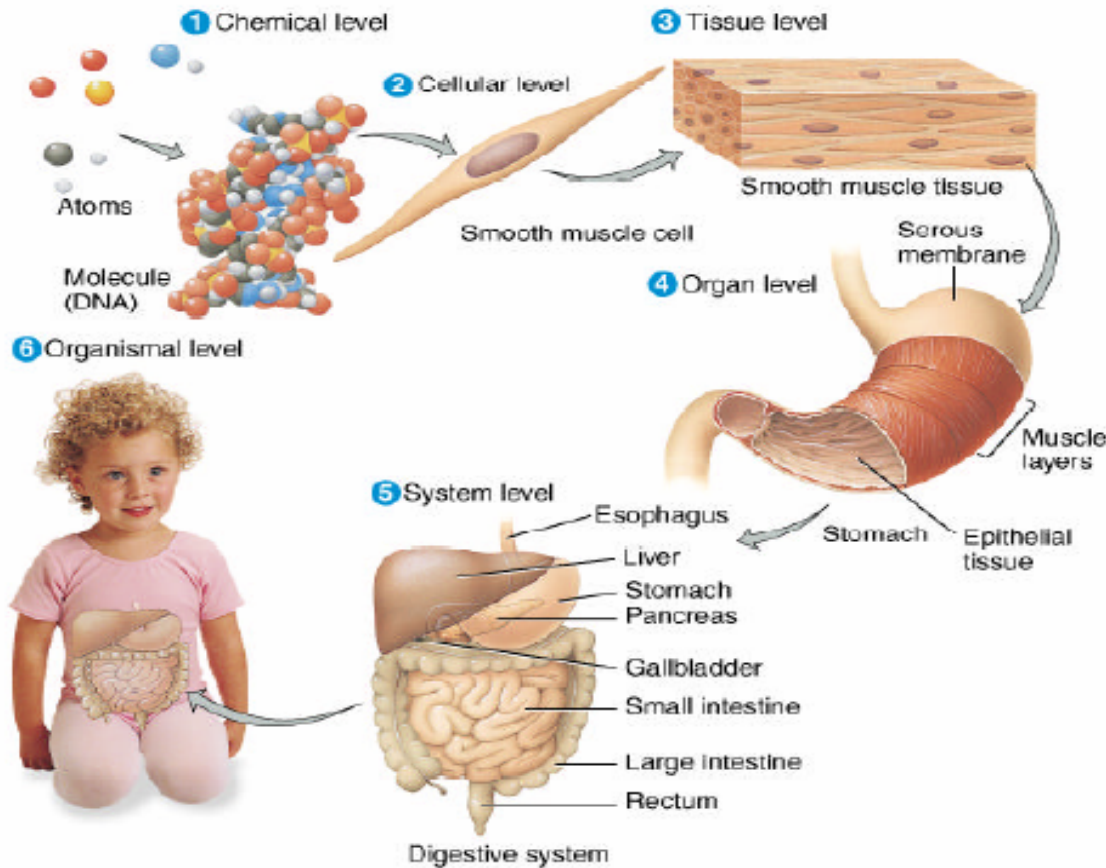
## ■ Τα διάφορα επίπεδα οργάνωσης της ζωής

Modern structural and functional imaging methods cover a smooth continuum of length scales from molecules to organisms.



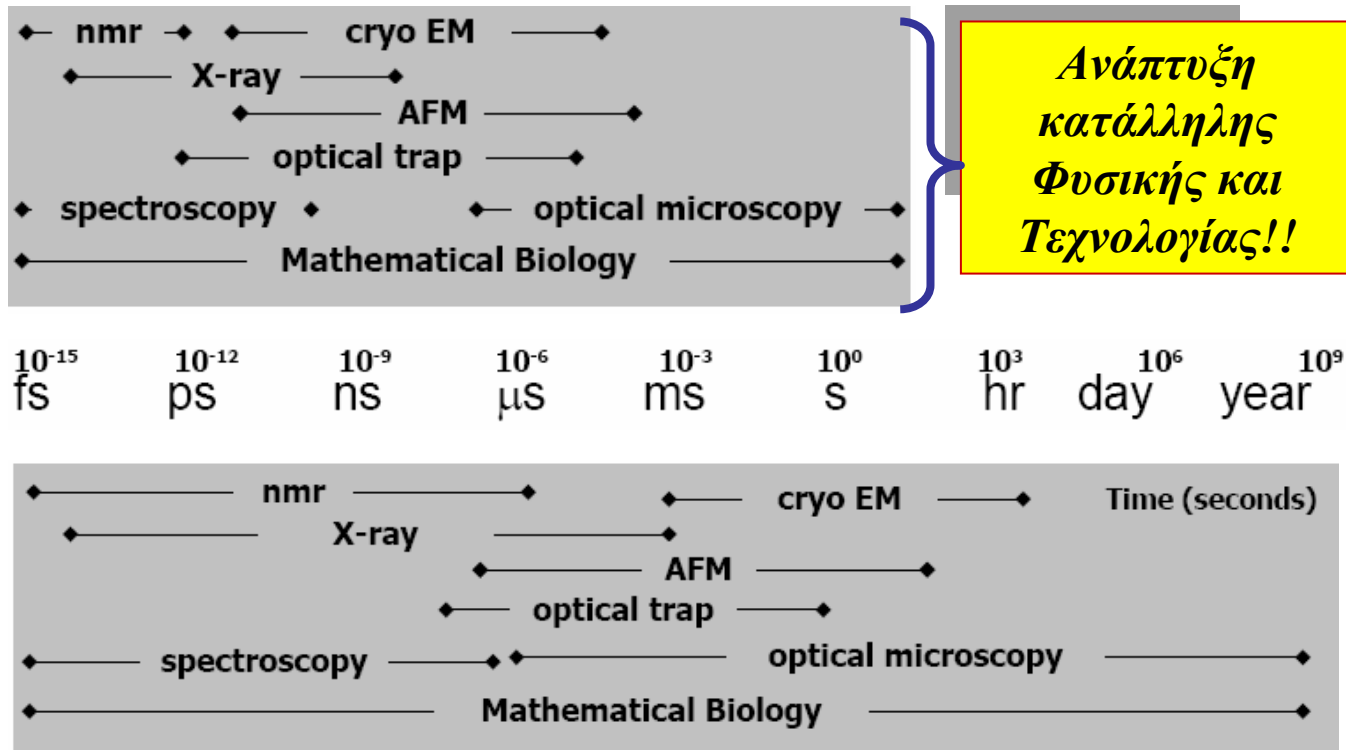
Structural Biology and Biophysics concerns the study of structures and mechanisms on a length scale from the Ångstrom to the  $\mu$ micron.

# Levels of Organization



- Chemical
- Cellular
- Tissue
- Organs
- System Level
- Organismic Level

*Η Συστηματική Βιολογία και η Βιοφυσική έχουν ως αντικείμενο μελέτης δομές και μηχανισμούς σε μια κλίμακα μήκους από  $\text{\AA}$  έως  $\mu\text{m}$ . Η αντίστοιχη κλίμακα χρόνου είναι από fs έως μήνες.*



## ■ Ακτινοβιοφυσική – ένα παράδειγμα

### Summary: Biological applications of synchrotron radiation

- **Macromolecular crystallography**
  - Molecular understanding of structural biology
  - Structure based drug design
- **Non-crystalline diffraction**
  - Size and shape of molecules
  - Forensic and archaeological information e.g. bone and collagen
- **Circular dichroism**
  - Solution studies
- **Infrared microspectroscopy**
  - Imaging of cells; element specific imaging
- **X-ray Imaging**
  - Great potential but has to complement optical confocal microscopy and electron microscopy
- **Medical**
  - Contrast enhanced stereotactic radiotherapy
  - Microbeam radiation therapy

### Physics and Biology: applications of synchrotron radiation in biology

Αναφορά 



Louise N. Johnson



## ❖ *Μοριακή Βιοφυσική*

➤ Η έμβια ύλη αποτελείται από μικρά και μεγάλα μόρια, τα οποία δεν έχουν ζωή. Τα ηλεκτρόνια, τα άτομα και τα μόρια που συνθέτουν τη ζωή χαρακτηρίζονται από σταθερές φυσικές ιδιότητες, ανεξάρτητες από την προέλευσή τους και την ιστορική εξέλιξη.

➤ Τα σύνθετα βιοσυστήματα που δημιουργούνται από αυτά τα άβια συστατικά, εκδηλώνουν εξαιρετικές ιδιότητες, που δεν τις έχει η ανόργανη ύλη, όπως:

*μεταβολισμό, αυτο-αναπαραγωγή, αυτορύθμιση, αυτο-επιδιόρθωση, ανάπτυξη, εξέλιξη, κίνηση, αντίδραση, προσαρμογή.*

*Πως και γιατί η έμβια ύλη, αν και αποτελείται από απλά συστατικά, παρουσιάζει τόσο σύνθετες και μοναδικές ιδιότητες στη φύση;*

**Τέσσερα μόνον απλά στοιχεία αποτελούν το 99% της μάζας των κυττάρων και αυτά είναι:**

*το υδρογόνο, το οξυγόνο ο άνθρακας και το άζωτο.*

Σχετική εκατοστιαία περιεκτικότητα σε βασικά χημικά στοιχεία

Στοιχείο	Ανθρώπος	Φυτά	Γη	στοιχείο
H	60.3	10.0	< 0.0001	H
O	25.5	70.0	62.5	O
C	10.5	18.0	0.08	C
N	2.42	0.4	0.0001	N
Na	0.73	0.3	2.64	Na
Ca	0.226	0.3	1.94	Ca
P	0.134	0.15	0.093	P
S	0.132	0.03	0.05	S
K	0.036	0.3	2.5	K
Cl	0.032	0.003	0.017	Cl
Si	< 0.0001	0.15	21.2	Si
Al	< 0.0001	< 0.0001	6.47	Al

Πηγή:  
"BIOCHEMISTRY",  
E.A STROGV  
(1989).

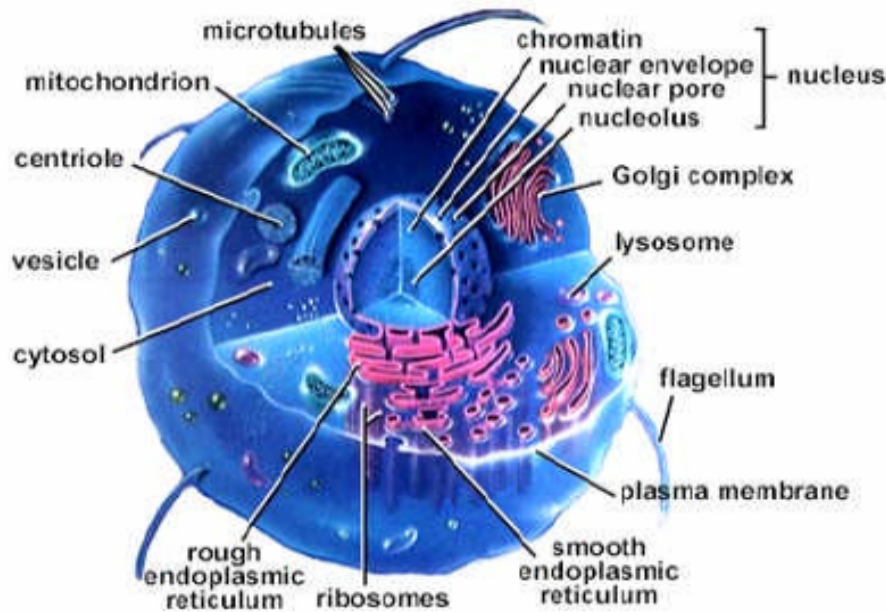
Από τον πίνακα φαίνεται ότι 4 στοιχεία (H, O, C, N) αααρτίζουν το 99% των ουργικηών αριθμικών ατόμων των ανθρώπινου οργανισμού και των φυτών!

Κοινή ιδιότητα: Και τα 4 αυτά στοιχεία σχηματίζουν εύκολα ομοιοπολικούς δεσμούς.

Η ισχύς του ομοιοπολικού δεσμού αντιστρέφως ανάλογη του ατομικού βάρους.



# Cell Structure



[http://www.biosci.uga.edu/almanac/bio\\_103/notes/may\\_15.html](http://www.biosci.uga.edu/almanac/bio_103/notes/may_15.html)

## Organelles:

identifiable structures inside a cell that perform a particular function.

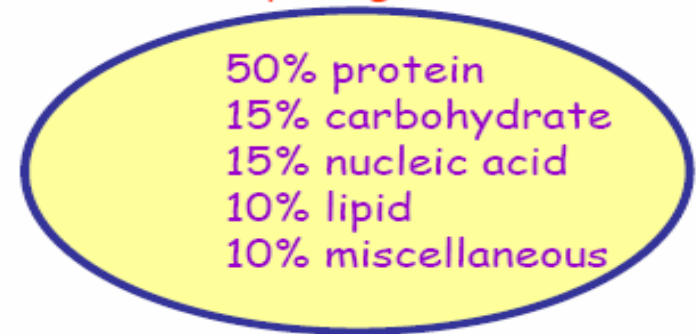
## Membrane:

a semipermeable covering that encloses the cellular contents

## Composition

90% water

10% The dry weight :



Biological Macromolecules

## Composition by element

60% H

24% O

10% C

5% N

1% →

S

P

Ions (Na, K, Ca, Fe)

Trace elements

## Μοριακή Βιοφυσική

Τα συστατικά της ζωής είναι:

- α) **μικροϊόντα**, όπως:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{OH}^-$  κ.λ.π.
- β) **μικρομόρια**, όπως: νερό, λιπαρά οξέα, αμινοξέα, μονοσακχαρίτες κ.λ.π.
- γ) **μακρομόρια**, όπως: πρωτεΐνες, νουκλεϊνικά οξέα, πολυσακχαρίτες και λιπίδια.
- δ) **υπερμοριακά συμπλέγματα**, όπως: ριβοσώματα, λιποπρωτεΐνες, γλυκοπρωτεΐνες κ.ά.

- Η Μοριακή Βιοφυσική μελετά τη δομή και τις βιοφυσικές ιδιότητες των βιομορίων - συστατικών της έμβιας ύλης.
- Τα **θεωρητικά εργαλεία** της Μοριακής Βιοφυσικής είναι η θερμοδυναμική, η στατιστική φυσική, η κβαντομηχανική και η φυσικοχημεία.
- Τα **πειραματικά εργαλεία** της είναι η υπερφυγοκέντρωση, η σκέδαση της Η/Μ ακτινοβολίας (ακτίνες -X, ακτινοβολία laser), φασματοφωτομετρία ορατού/υπεριώδους/υπερύθρου, φασματοσκοπία Raman, φασματοσκοπία πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού, φασματοσκοπία Mossbauer, ηλεκτρονική μικροσκοπία, μικροσκοπία ατομικής δύναμης κ.α.
- Τα περισσότερα πειράματα της Μοριακής Βιοφυσικής εκτελούνται **in vitro**, δηλαδή έξω από τους ζωντανούς οργανισμούς, σε εργαστηριακές διατάξεις.

## 🇬🇷 *Κυτταρική Βιοφυσική*

- Η Κυτταρική Βιοφυσική έχει ως αντικείμενο τα **κύτταρα** (π.χ. ερυθροκύτταρα, λυμφοκύτταρα, νευρώνες, μυϊκές ίνες, κύτταρα - υποδοχείς) **και τη συμπεριφορά τους σε διάφορες φυσιολογικές διεργασίες.**
- Το κύτταρο είναι η βασική, **αυτόνομη δομική και λειτουργική μονάδα** των έμβιων όντων που μπορεί και μόνη της να εκδηλώνει το φαινόμενο της ζωής (**κίνηση, ερεθιστικότητα, αναπαραγωγή, αύξηση**). Κατά τη διάρκεια της εξέλιξης, τα κύτταρα έχουν διαφοροποιηθεί, τόσο από άποψη δομής όσο και λειτουργίας, ώστε να επιτελούν συγκεκριμένο έργο.
- Η Κυτταρική Βιοφυσική μελετά επίσης τη δομή και τη λειτουργία των βιολογικών μεμβρανών, την βιοηλεκτρική διεγερσιμότητα και τις βιοενεργητικές διεργασίες, την παραγωγή και διάδοση του νευρικού παλμού, τα φωτοβιολογικά φαινόμενα (όραση, φωτοσύνθεση), καθώς και τα φαινόμενα αλληλεπίδρασης μεταξύ των κυττάρων.
- Η Κυτταρική Βιοφυσική χρησιμοποιεί παρόμοιες θεωρητικές προσεγγίσεις και πειραματικές τεχνικές της φυσικής με τη Μοριακή Βιοφυσική, προσαρμοσμένες βέβαια στις διαστάσεις και την πολυπλοκότητα των βιολογικών δομών που μελετά.
- Τα πειράματα της Κυτταρικής Βιοφυσικής εκτελούνται είτε **in vitro**, δηλαδή έξω από τους ζωντανούς οργανισμούς, είτε **in vivo**, δηλαδή σε πειραματόζωα ή κυτταροκαλλιέργειες.

## ■ *Βιοφυσική των πολύπλοκων συστημάτων*

- Η Βιοφυσική των πολύπλοκων συστημάτων προσεγγίζει όχι μόνον τη δομή, αλλά και τη συμπεριφορά κυτταρικών συνόλων (π.χ. *ιστών, οργάνων*), η οποία αποτελεί την ολοκληρωμένη έκφραση των επιμέρους δραστηριοτήτων των συστατικών κυττάρων.
- Οι εξελίξεις της Βιοφυσικής των πολύπλοκων συστημάτων, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη θεωρητικών - μαθηματικών και υπολογιστικών - εργαλείων προσομοίωσης των πολύπλοκων βιοσυστημάτων, οδηγούν στην ανάπτυξη νέων γνωστικών πεδίων, όπως το πεδίο των *Νευρωνικών Δικτύων*.
- Σε πολλές περιπτώσεις, η Βιοφυσική των πολύπλοκων συστημάτων αναφέρεται κυρίως σε θέματα θεωρητικής και υπολογιστικής Βιοφυσικής, αξιοποιώντας την αύξηση της υπολογιστικής ισχύος των σύγχρονων μηχανών και τη διεπιστημονική συνεργασία μέσω διαδικτύου.
- Σε αναλογία με την ορολογία *in vitro* και *in vivo* που χρησιμοποιείται για τα πειράματα των βιοεπιστημών, τα τελευταία χρόνια έχει εισαχθεί και ο όρος *in silico*, που υποδηλώνει τα "πειράματα" ή καλύτερα τις προσομοιώσεις ζωτικών λειτουργιών που γίνονται μέσω υπολογιστή.

## Δυνάμεις μεταξύ βιομορίων

### ► Ηλεκτροδυναμικές δυνάμεις - Αλληλεπιδράσεις van der Waals

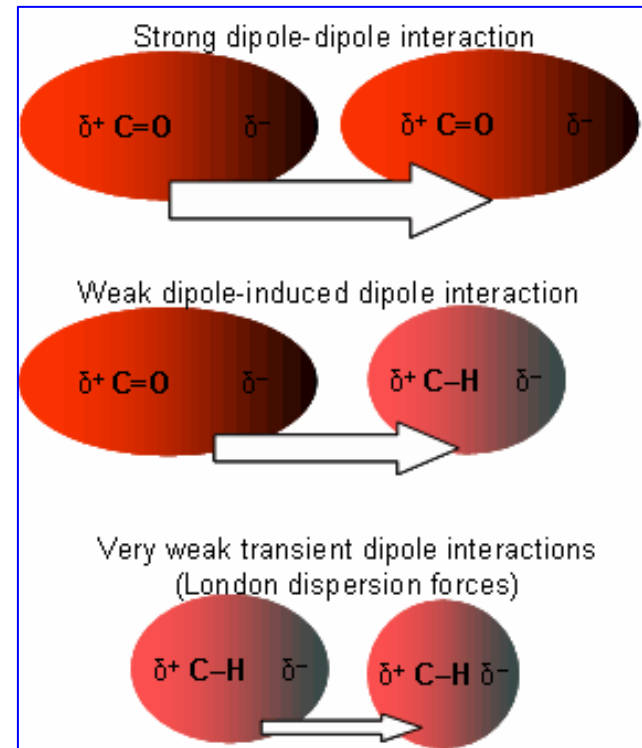
✓ Οι αλληλεπιδράσεις van der Waals είναι ηλεκτροδυναμικού τύπου αλληλεπιδράσεις και διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

**α) αλληλεπιδράσεις προσανατολισμού** (πολυπολικές), οι οποίες ασκούνται μεταξύ μονίμων πολυπόλων (μονόπολα ή φορτία, δίπολα, τετράπολα και οκτάπολα) και φέρουν το όνομα **αλληλεπιδράσεις Keesom**,

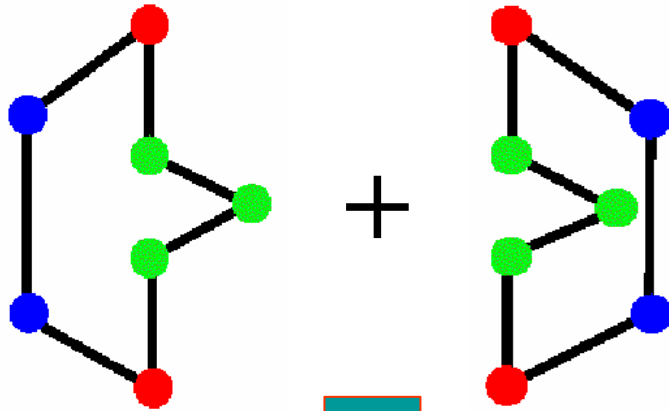
**β) αλληλεπιδράσεις επαγωγής**, οι οποίες ασκούνται μεταξύ ενός μόνιμου διπόλου στο ένα μόριο και του επαγόμενου διπόλου στο άλλο μόριο, είναι δε γνωστές με το όνομα **αλληλεπιδράσεις Debye**,

**γ) αλληλεπιδράσεις διασποράς**, οι οποίες ασκούνται μεταξύ στιγμιαίων, πρόσκαιρων, διπόλων και φέρουν το όνομα **αλληλεπιδράσεις London**.

## Van der Waals'



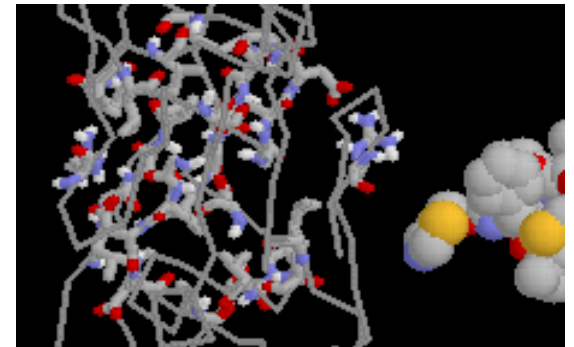
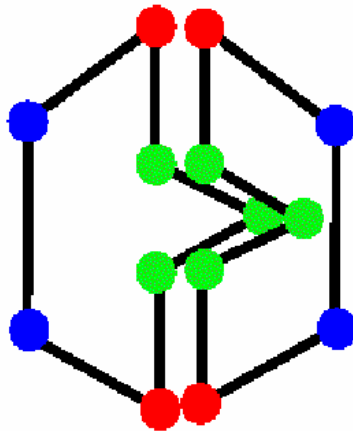
# *Interaction between molecules $\Rightarrow$ binding*



$$E = E_A^{total} + E_B^{total} + E_{AB}^{interaction}$$



*Attractive interaction between red and green monomers*



Minimizing the total energy  $\Rightarrow$  binding configuration

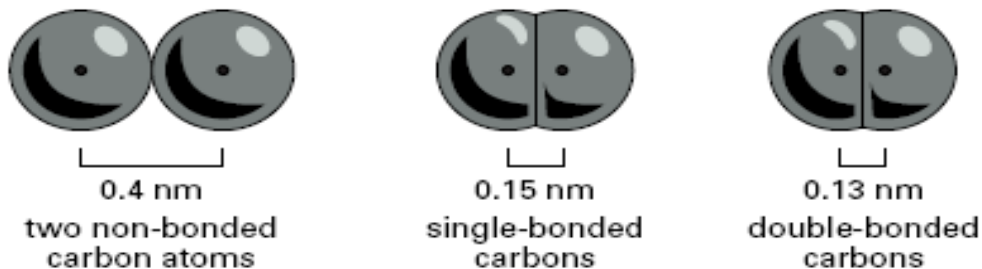
## ➤ Αλληλεπιδράσεις van der Waals (1)

Εάν δύο άτομα είναι πάρα πολύ κοντά το ένα με το άλλο, αποκρούουν το ένα το άλλο πολύ έντονα. Για αυτόν το λόγο, ένα άτομο μπορεί συχνά να αντιμετωπίζεται ως σφαίρα με μια καθορισμένη ακτίνα. Το χαρακτηριστικό «μέγεθος» για κάθε άτομο προδιαγράφεται από μια μοναδική ακτίνα van der Waals.

Η απόσταση επαφής μεταξύ οποιωνδήποτε δύο μη ομοιοπολικά συνδεδεμένων ατόμων είναι το άθροισμα των ακτίνων van der Waals.



Σε πολύ κοντινές αποστάσεις, δύο άτομα παρουσιάζουν μια αδύναμη αλληλεπίδραση λόγω των κυμαινόμενων ηλεκτρικών φορτίων τους. Τα δύο άτομα προσελκύονται το ένα στο άλλο κατά αυτόν τον τρόπο, έως ότου η απόσταση μεταξύ των πυρήνων τους γίνει περίπου ίση με το άθροισμα των ακτίνων van der Waals. Αν και είναι αδύναμη, η έλξη van der Waals μπορεί να γίνει σημαντική όταν δύο μακρομοριακές επιφάνειες βρεθούν πολύ κοντά, επειδή έτσι περιλαμβάνονται πολλά άτομα. Σημειωτέον ότι όταν δύο άτομα διαμορφώνουν έναν ομοιοπολικό δεσμό, τα κέντρα των δύο ατόμων (οι δύο ατομικοί πυρήνες) είναι πολύ πιο κοντά ο ένας στον άλλον από το άθροισμα των δύο ακτίνων van der Waals.



## ➤ Αλληλεπιδράσεις van der Waals (2)

- ✓ Συχνά, ως *αλληλεπιδράσεις van der Waals* αναφέρονται (λανθασμένα βέβαια) οι ελκτικές δυνάμεις διασποράς μεταξύ στιγμιαίων διπόλων - επαγόμενων διπόλων.
- ✓ Οι αλληλεπιδράσεις van der Waals είναι ιδιαίτερα ασθενείς (~0.1 Kcal/mole η αλληλεπίδραση ατόμου - ατόμου), αλλά εξαιρετικά σημαντικές για τα βιοσυστήματα.
- ✓ Οι δυνάμεις αυτές είναι σημαντικές για τον καθορισμό της στερεοδιάταξης των βιοδομών, τη σταθερότητα των βιολογικών μεμβρανών, καθώς και για τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ βιομορίων.
- ✓ Με τη βοήθεια της *κβαντομηχανικής* και της *ηλεκτροδυναμικής θεωρίας* (θεωρία διαταραχών, προσέγγιση πρώτης και δεύτερης τάξης) υπολογίζονται οι ενέργειες των αλληλεπιδράσεων van der Waals και στις τρεις παραπάνω κατηγορίες (προσανατολισμού, επαγωγής και διασποράς).
- ✓ Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι η ενέργεια αλληλεπίδρασης των ελκτικών δυνάμεων διασποράς ανάμεσα στα στιγμιαία δίπολα  $i$  και  $j$ , τα οποία απέχουν απόσταση  $r_{ij}$ , είναι:

$$W_{LA} = -A_{ij}/r_{ij}^6$$


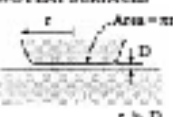
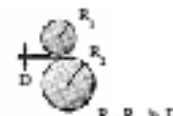
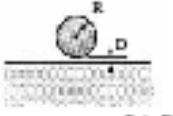


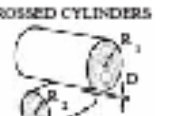
- ✓ όπου  $A_{ij}$  είναι ένας συντελεστής που εξαρτάται από τις ιδιότητες (και συγκεκριμένα από την πολωσιμότητα) των ατόμων (ή μορίων) που αλληλεπιδρούν.
- ✓ Στην περίπτωση της αλληλοεισδοχής των ηλεκτρονικών νεφών δύο ατόμων που έχουν πλησιάσει αρκετά κοντά (απόσταση  $r_{ij}$ ), οι δυνάμεις διασποράς είναι απωστικές και η ενέργειά τους περιγράφεται από τη συνάρτηση Lennard-Jones:

$$W_{LR} = B_{ij}/r_{ij}^{12}$$

- ✓ όπου  $B_{ij}$  είναι συντελεστής εξαρτώμενος από την πολωσιμότητα των ατόμων και μπορεί να συσχετισθεί με τον συντελεστή  $A_{ij}$ .

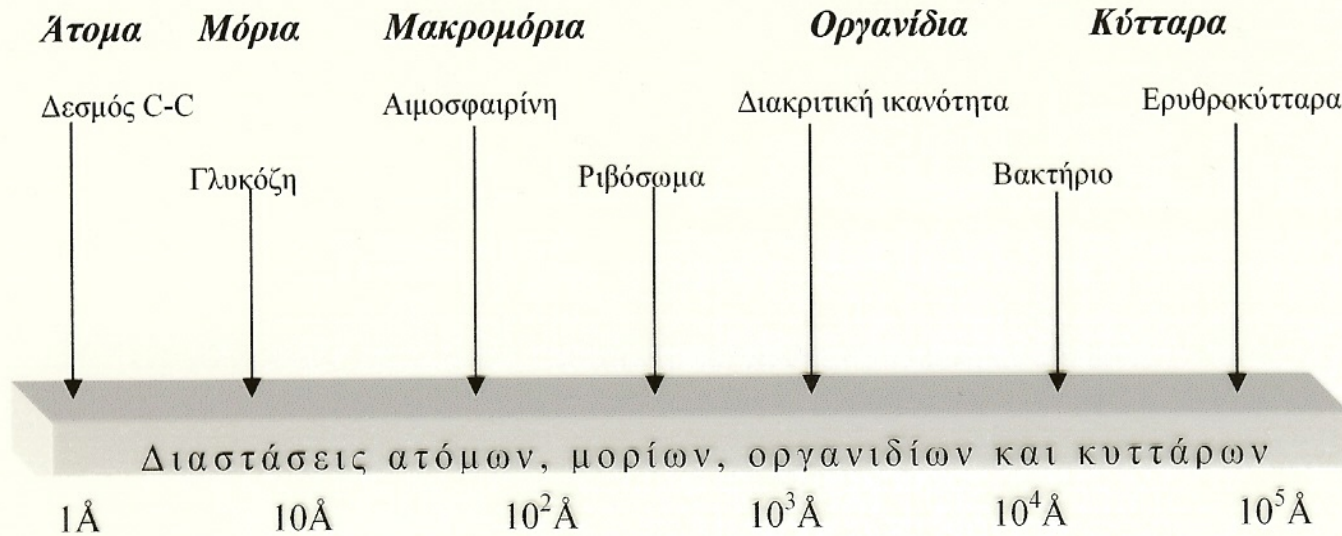


**Table 2.** *VDW interaction potential  $E(D)$  and force ( $F = -dE/dD$ ) between macroscopic bodies of different geometries as shown in Fig. 3*

Geometry of bodies with surfaces $D$ apart ( $D \ll R$ )		van der Waals interaction*	
		Energy, $E$	Force, $F$
Two atoms or small molecules	TWO ATOMS or SMALL MOLECULES  $r > \sigma$	$-C_{VDW}/r^6$	$-6C_{VDW}/r^7$
Two flat surfaces (per unit area)	TWO FLAT SURFACES  $r > D$	$E_0 = -A/12\pi D^2$	$-A/6\pi D^3$
Two spheres or macromolecules of radii $R_1$ and $R_2$	TWO SPHERES  $R_1, R_2 > D$	$-\frac{A}{6D} \left( \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right)$	$\frac{-A}{6D^2} \left( \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right)$ Also $F = 2\pi \left( \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right) E_0$
Sphere or macromolecule of radius $R$ near a flat surface	SPHERE ON FLAT  $R > D$	$-AR/6D$	$-AR/6D^2$ Also $F = 2\pi R E_0$
Two parallel cylinders or rods of radii $R_1$ and $R_2$ (per unit length)	TWO PARALLEL CYLINDERS  $R_1, R_2 > D$	$\frac{-A}{12\sqrt{2}D^{3/2}} \left( \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right)^{1/2}$	$\frac{-A}{8\sqrt{2}D^{5/2}} \left( \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right)^{1/2}$
Cylinder of radius $R$ near a flat surface (per unit length)	CYLINDER ON FLAT  $R > D$	$\frac{-A\sqrt{R}}{12\sqrt{2}D^{3/2}}$	$\frac{-A\sqrt{R}}{8\sqrt{2}D^{5/2}}$
Two cylinders or filaments of radii $R_1$ and $R_2$ crossed at $90^\circ$	CROSSED CYLINDERS  $R_1, R_2 > D$	$\frac{-A\sqrt{R_1 R_2}}{6D}$	$\frac{-A\sqrt{R_1 R_2}}{6D^2}$ Also $F = 2\pi \sqrt{R_1 R_2} E_0$

## Διαστάσεις και χρόνος στη Βιοφυσική

Σχέση μεγέθους ορισμένων χημικών δεσμών, μορίων, υποκυτταρικών οργανιδίων και κυττάρων. Για παράδειγμα, το μήκος του ανθρακικού δεσμού είναι  $1.54 \text{ \AA}$ , ενώ το ερυθρό κύτταρο έχει διάμετρο περίπου  $7 \mu\text{m}$ .



# το υδρογόνο, το νερό και η ζωή



## Το νερό στα βιολογικά συστήματα: δομή, ιδιότητες, σπουδαιότητα

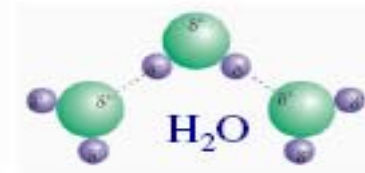
Το νερό είναι το πλέον διαδεδομένο υγρό στη Γη (καταλαμβάνει τα  $\frac{3}{4}$  περίπου της επιφάνειας του πλανήτη) και, χωρίς υπερβολή, το πλέον σημαντικό στοιχείο της ζωής. Σύμφωνα με τον Albert Szent-Györgyi, το νερό είναι η **‘μήτρα της ζωής’**.

- Η περιεκτικότητα σε νερό των διαφόρων ειδών ποικίλλει από 50% (π.χ. στα σπορόζωα) σε 97% (π.χ. στα κοιλέντερα, τα οποία χαρακτηρίζονται από την μεταφορική έκφραση «το νερό που ζει»).

- Η κατανομή του νερού στους διάφορους ιστούς του ανθρώπου ποικίλλει από 4% ( τρίχα) έως 97% (εμβρυϊκός ιστός) και φαίνεται ενδεικτικά στον πίνακα.

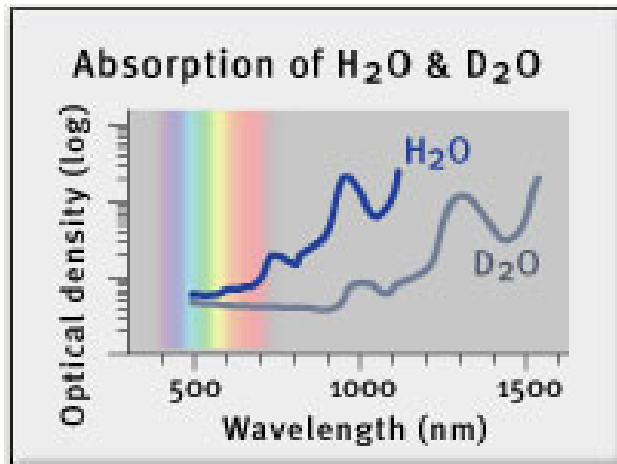
### Πίνακας. Κατανομή νερού σε διάφορους ανθρώπινους ιστούς

Ιστός	Περιεκτικότητα σε νερό (%)
Τρίχα	4
Οδοντίνη	9
Σκελετός και λιπώδης ιστός	30
Χόνδρος	50
Νευρικός ιστός (λευκή ουσία)	70
Ήπαρ	75
Μύες	76
Νεφροί	76
Καρδιά	77
Πνεύμονες	81
Νευρικός ιστός (φαιά ουσία)	85
Πλάσμα αίματος	93
Εμβρυϊκός ιστός	97



## 📌 Το νερό στα βιολογικά συστήματα: δομή, ιδιότητες, σπουδαιότητα

Το μόριο του νερού αποτελείται από δύο άτομα υδρογόνου και ένα άτομο οξυγόνου:  $\text{H}_2\text{O}$ . Αν λάβουμε υπόψη τα **ισότοπα του υδρογόνου** (πρώτιο-  $^1\text{H}_1$ , δευτέριο-  $^2\text{H}_1=\text{D}$ , τρίτιο-  $^3\text{H}_1=\text{T}$ ) και του οξυγόνου ( $^{16}\text{O}_8$ ,  $^{17}\text{O}_8$ ,  $^{18}\text{O}_8$ ), μπορούμε να υποθέσουμε ότι, τουλάχιστον θεωρητικά, υπάρχουν 18 μοριακοί συνδυασμοί για το νερό, όπου όμως ο συνδυασμός των δύο ατόμων πρωτίου  $^1\text{H}_1$  και ενός οξυγόνου  $^{16}\text{O}_8$  είναι ο πλέον διαδεδομένος στη φύση. Για παράδειγμα, ο λόγος  $\text{D}_2\text{O}/\text{H}_2\text{O}$  είναι της τάξης του 1:6000.



### Abundances (% or half-life) of hydrogen and oxygen isotopes

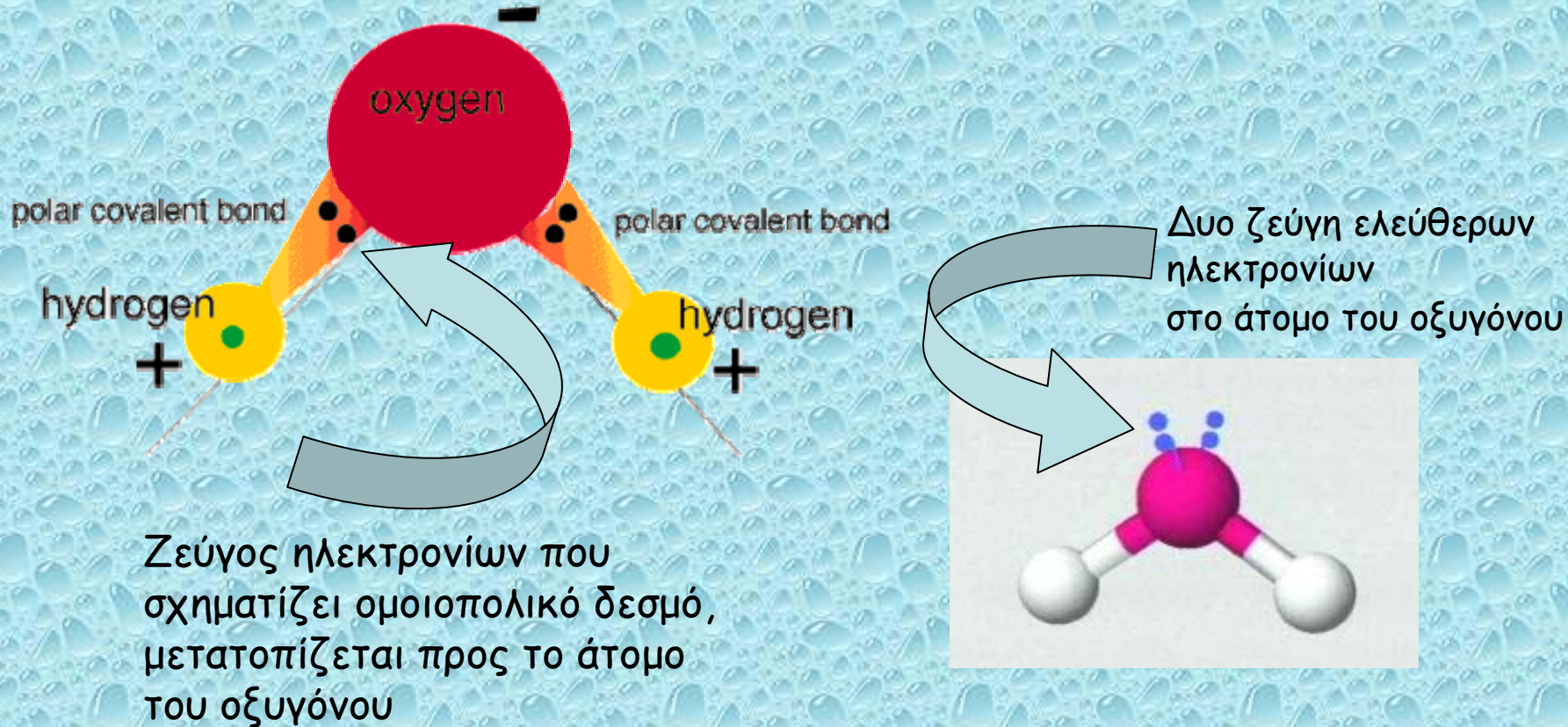
H	$^2\text{D}$	$^3\text{T}$			
99.985 %	0.015 %	12.33 y			
$^{14}\text{O}$	$^{15}\text{O}$	$^{16}\text{O}$	$^{17}\text{O}$	$^{18}\text{O}$	
70.6 s	122 s	99.762 %	0.038%	0.200%	

### Relative abundance of isotopic water

$\text{H}_2^{16}\text{O}$	$\text{H}_2^{18}\text{O}$	$\text{H}_2^{17}\text{O}$	$\text{HD}^{16}\text{O}$	$\text{D}_2^{16}\text{O}$	$\text{HT}^{16}\text{O}$
99.78%	0.20%	0.03%	0.0149 %	0.022 ppm	trace
18	20	19	19	20	20 amu

## 🇬🇷 Το νερό στα βιολογικά συστήματα: δομή, ιδιότητες, σπουδαιότητα

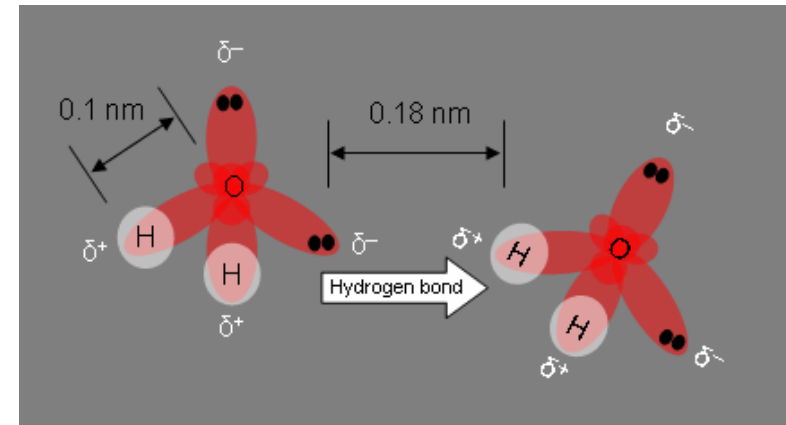
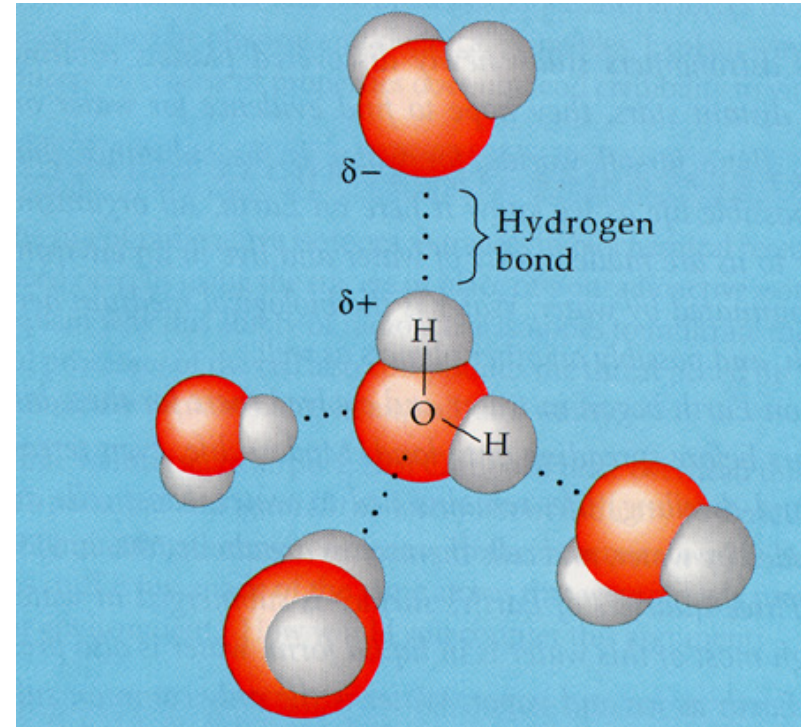
Το μόριο του νερού συμπεριφέρεται ως ηλεκτρικό δίπολο, τετραεδρικής δομής. Τα 10 ηλεκτρόνια του μορίου του  $H_2O$  είναι έτσι κατανομημένα, ώστε η μέγιστη πυκνότητα ηλεκτρονίων να βρίσκεται στη γειτονιά του οξυγόνου.

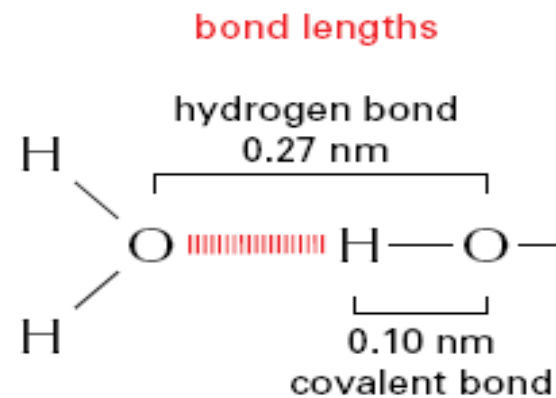
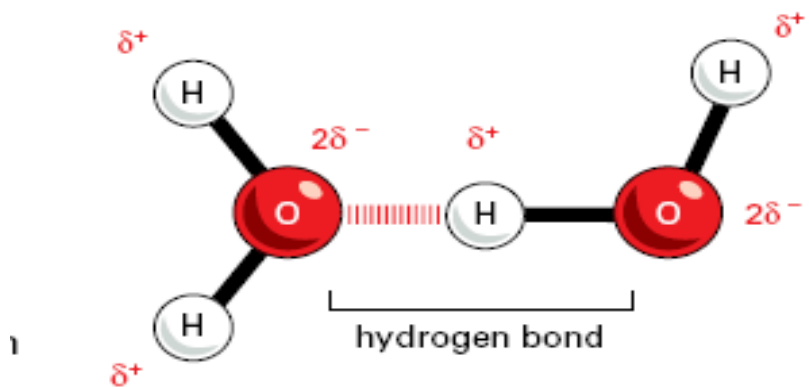
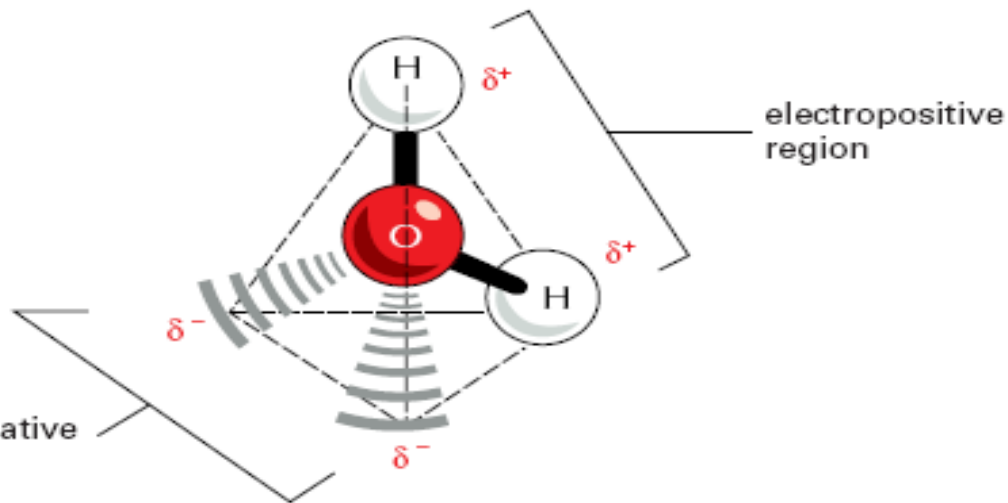
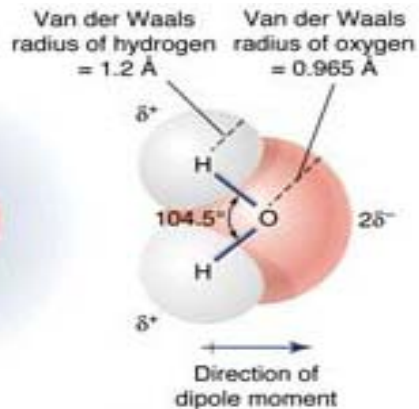
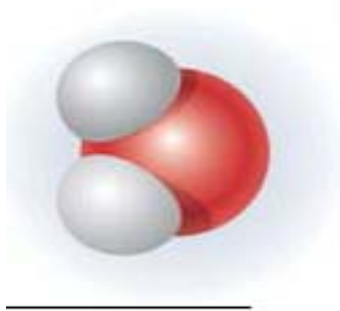


## Δεσμοί υδρογόνου

Εξ αιτίας της ηλεκτρονικής του δομής, το μόριο του νερού μπορεί να σχηματίσει **δεσμούς ή γέφυρες υδρογόνου**.

Ο δεσμός ή γέφυρα υδρογόνου έχει μελετηθεί κατά τα τελευταία 55 χρόνια και χαρακτηρίζει την επίδραση (ομοιοπολικό δεσμό) μεταξύ ατόμων υδρογόνου και ηλεκτραρνητικών ατόμων, όπως το οξυγόνο, το φθόριο, το χλώριο, το άζωτο και το θείο. Η ενέργειά τους είναι της τάξης των 0.13 - 0.31 eV ή μεταξύ 1 και 12 Kcal/mole. Σε σύγκριση με την ισχύ άλλων τύπων αλληλεπιδράσεων, ο δεσμός υδρογόνου είναι περίπου μια τάξη μεγέθους ισχυρότερος από την αλληλεπίδραση Van der Waals και μια τάξη μεγέθους ασθενέστερος από τον απλό ομοιοπολικό δεσμό. Παρά το μικρό μέγεθος ισχύος του δεσμού υδρογόνου, η σημασία του είναι μεγάλη στον καθορισμό των περιέργων ιδιοτήτων του νερού και κατά συνέπεια στο φαινόμενο της ζωής.

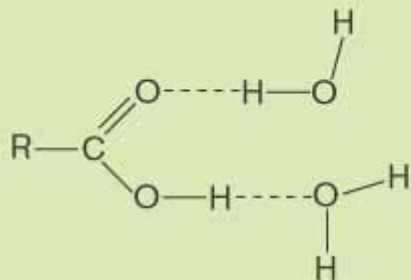




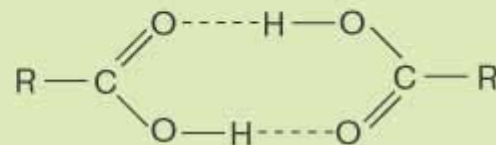


## Δεσμοί υδρογόνου (συνέχεια)

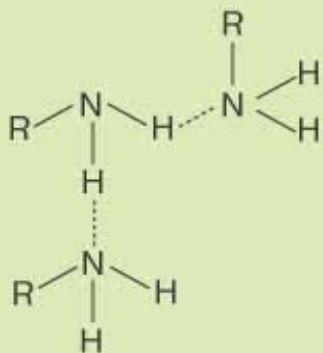
Ενδομοριακοί δεσμοί υδρογόνου, διαμοριακοί (δηλ. μεταξύ διαφορετικών μορίων) και επίσης δεσμοί υδρογόνου μεταξύ πολικών ομάδων και μορίων νερού, παίζουν σπουδαιότατο ρόλο στον καθορισμό της στερεοδιάταξης βιομορίων και στην οργάνωση βιολογικών δομών.



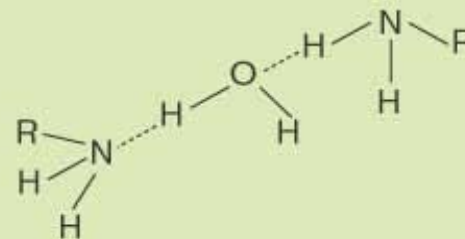
Hydrogen bonding between water and acid



Hydrogen-bonded dimer in the solid state



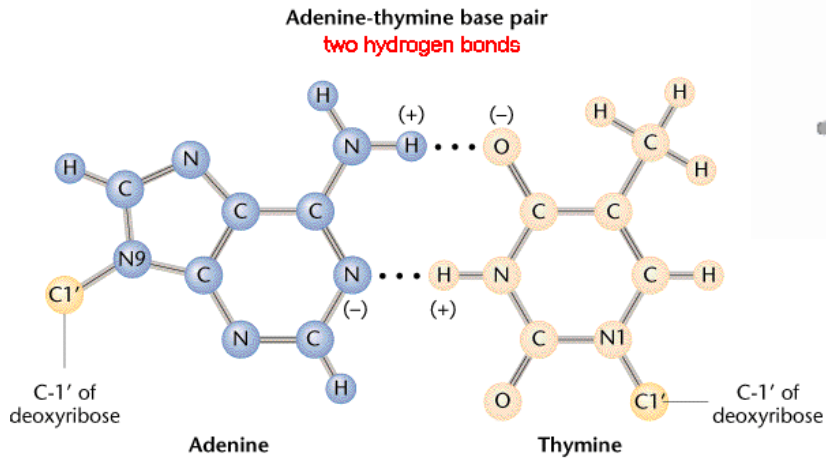
Hydrogen bonding in amines



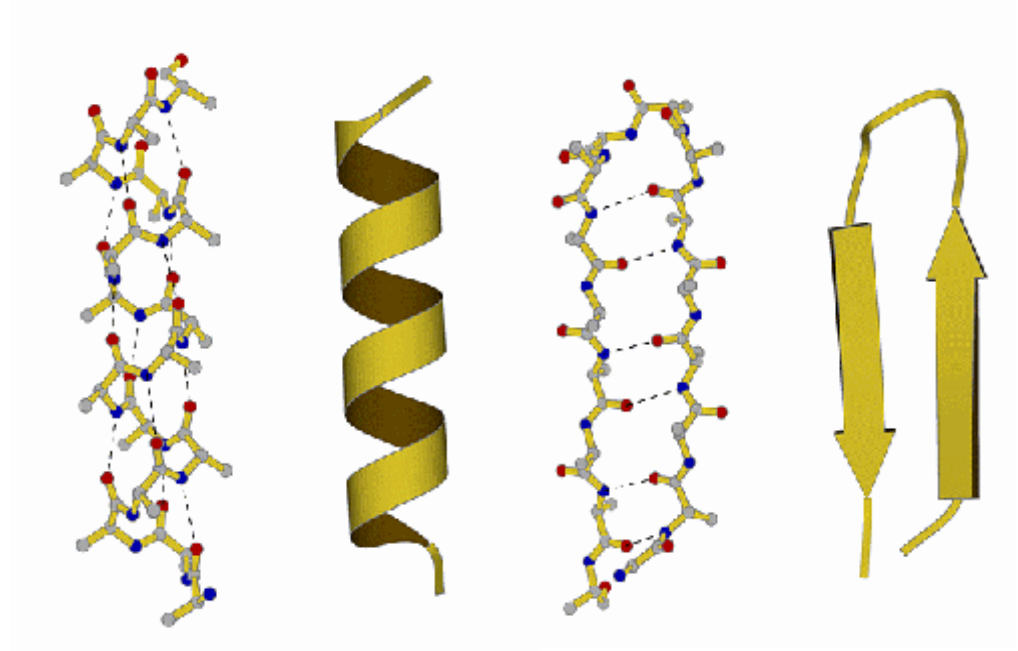
Hydrogen bonding between water and amines

# Three-dimensional structure of macromolecules is stabilized by hydrogen bonds

In nucleic acids...

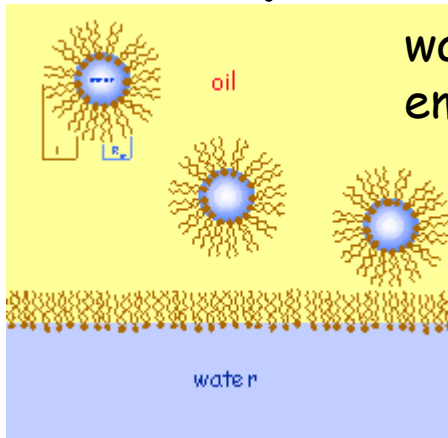


(Klug & Cummings 1997)

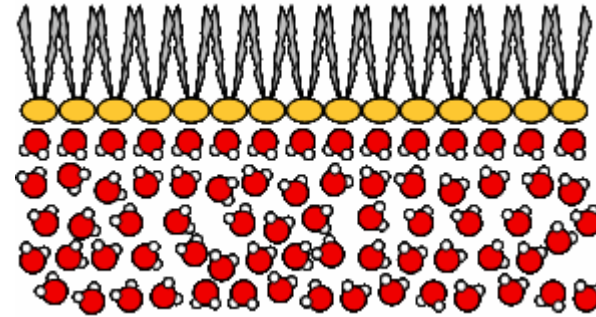


...and in proteins

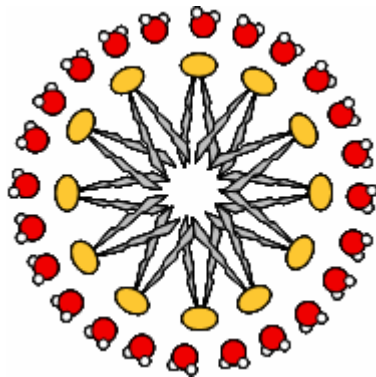
# Bi-phasic hydrophilic / hydrophobic arrangements



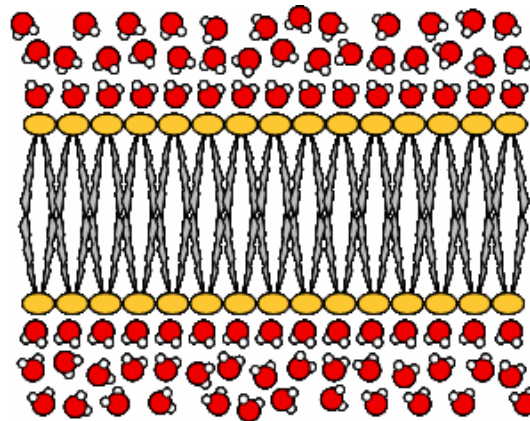
water in liquid oil:  
emulsion



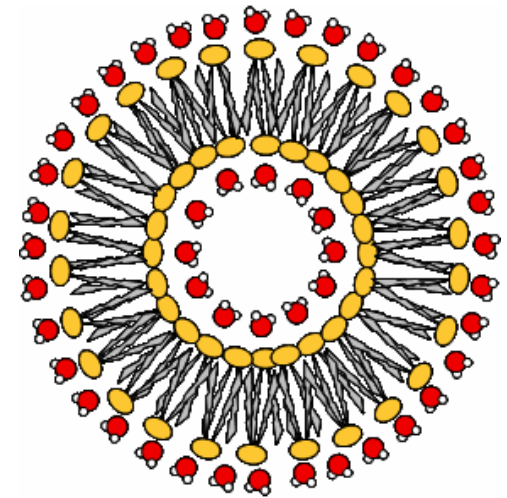
monolayer separating water and oil



micelle



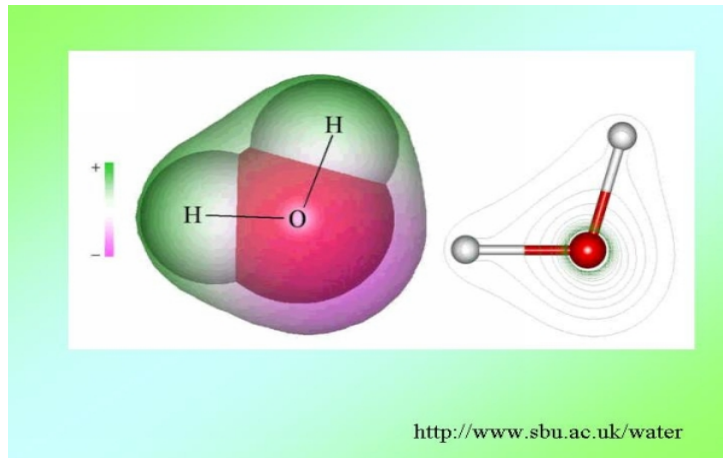
bilayer



Bilayered vesicle (liposom)

## Το νερό στα βιολογικά συστήματα: δομή, ιδιότητες, σπουδαιότητα

Το νερό στα βιοσυστήματα: Τα 10 ηλεκτρόνια του μορίου του  $\text{H}_2\text{O}$  είναι έτσι κατανομημένα, ώστε η μέγιστη πυκνότητα ηλεκτρονίων να βρίσκεται στη γειτονιά του οξυγόνου.



Το μόριο του νερού συμπεριφέρεται ως **ηλεκτρικό δίπολο**, τετραεδρικής δομής.

Το μόριο του νερού στο επίπεδο. Το κέντρο των θετικών φορτίων δεν συμπίπτει με το κέντρο των αρνητικών φορτίων, δημιουργώντας έτσι ηλεκτρική διπολική ροπή,  $p$ , η οποία δίνεται από τη σχέση:  $p=q|$ , όπου  $q$  το φορτίο και  $l$  το μήκος του διπόλου. Η τιμή της ηλεκτρικής διπολικής ροπής είναι  $p=1,858$  D (Debye).

***For the aqueous solution ( $\epsilon = 80$ ) the Debye length for ultrapure water is 190 nm and for 1 mM KCl 9.7 nm.***

## ❖ *Μοριακή αρχιτεκτονική του νερού στα βιολογικά συστήματα*

- Τα μόρια του νερού συνδέονται μεταξύ τους με *γέφυρες υδρογόνου*, δημιουργώντας τοπικά δίκτυα, των οποίων η σταθερότητα και η τάξη αυξάνεται όσο η θερμοκρασία κατεβαίνει.
- Η δομή της στερεάς φάσης του νερού, δηλαδή του πάγου, είναι εξαγωνική κρυσταλλική δομή, όπου κάθε μόριο  $H_2O$  βρίσκεται στο κέντρο ενός κανονικού τετραέδρου και περιβάλλεται από 4 μόρια  $H_2O$ , που βρίσκονται στις κορυφές του υποθετικού τετραέδρου, όπως έδειξαν μελέτες περίθλασης ακτίνων X και νετρονίων. Η πυκνότητα του πάγου είναι  $0.916 \text{ g/cm}^3$ , μικρότερη από την πυκνότητα του υγρού νερού στην ίδια θερμοκρασία και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ο πάγος να επιπλέει στο νερό, με τα συνεπακόλουθα βιολογικά αποτελέσματα.

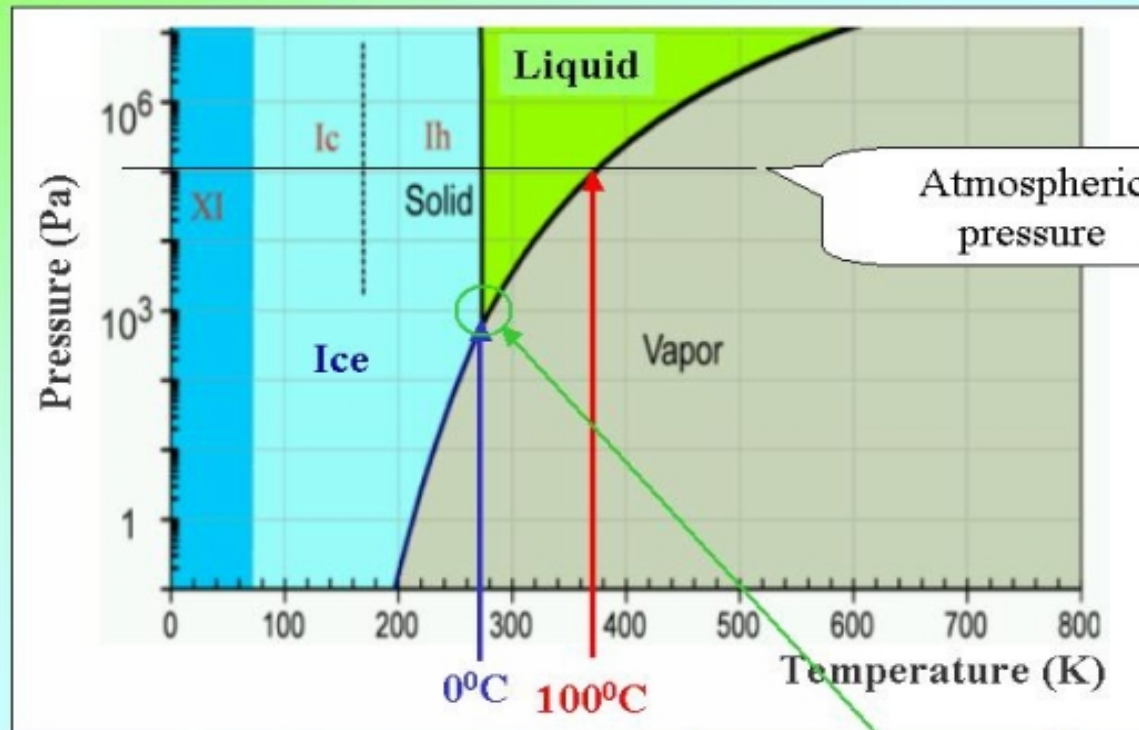
*Το νερό παρουσιάζει καλά οργανωμένη, περίπου κρυσταλλική δομή στη στερεά φάση, είναι τοπικά δομημένο σε υγρή φάση και πρακτικά δεν έχει καμιά οργάνωση στη φάση του ατμού.*

## ■ **Μοριακή αρχιτεκτονική του νερού στα βιολογικά συστήματα**

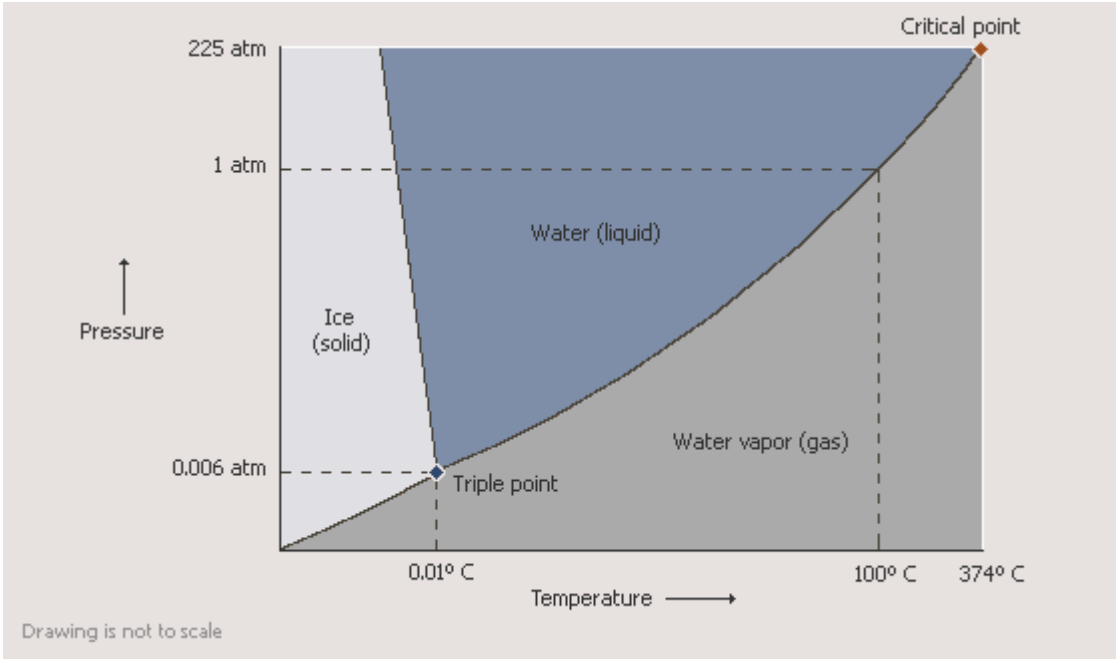
- Στη **θερμοκρασία των 0° C** (θερμοκρασία τήξης του πάγου σε κανονική πίεση) μόνο ένα ποσοστό 15% των δεσμών υδρογόνου θραύεται. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το νερό να διατηρεί «μικροκρυσταλλικές» διευθετήσεις, μεταβαλλόμενες με το χρόνο. Δεσμοί και «μικροκρύσταλλοι» δημιουργούνται και «θραύονται» διαρκώς έτσι, ώστε η δομή του νερού να είναι δυναμική και όχι στατική. Ο χρόνος ημιζωής κάθε υδρογονοδεσμού είναι  $10^{-10}$  έως  $10^{-11}$  δευτερόλεπτα.
- Στη **θερμοκρασία των 4° C**, ελεύθερα μόρια νερού (μονομερή) απομακρύνονται από τα μικροκρυσταλλικά δίκτυα, λόγω της αύξησης της θερμικής κίνησης, αυξάνοντας έτσι τον όγκο του νερού (με αντίστοιχη ελάττωση της πυκνότητας).
- Κοντά στη **θερμοκρασία των 40° C** περίπου το 50% των υδρογονικών δεσμών θραύεται και το νερό γίνεται περισσότερο ρευστό, όπως φαίνεται και από την αντίστοιχη ελάττωση του συντελεστού ιξώδους σε θερμοκρασία 0° C και 37° C αντίστοιχα:  $\eta_0=1,79 \cdot 10^{-3} \text{ daP}$ ,  $\eta_{37}=0,69 \cdot 10^{-3} \text{ daP}$ . Η σταθεροποίηση της θερμοκρασίας των περισσότερων ζωντανών οργανισμών, κατά την πορεία της εξέλιξης των ειδών, μεταξύ 35° C και 41° C συνδέεται άμεσα με τις φυσικές ιδιότητες του νερού στο συγκεκριμένο διάστημα και την παράξενη βιοχημική συμπεριφορά του.
- Στην **αέρια φάση** θραύονται περίπου όλοι οι δεσμοί υδρογόνου, εξ αιτίας της έντονης θερμικής κίνησης και τα μόρια του νερού κινούνται ελεύθερα.

## Το διάγραμμα φάσεων του νερού

### The phase diagram of water



0,076C, 610 Pa

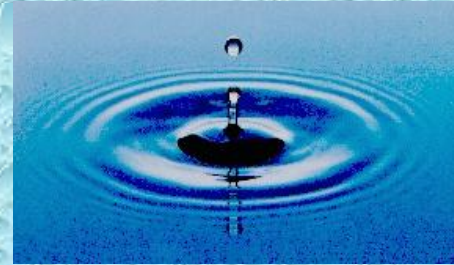




Το νερό των ανώτερων βιολογικών οργανισμών κατατάσσεται σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με ορισμένα κριτήρια, όπως π.χ.:

**α) ανάλογα με τη θέση που βρίσκεται, ως προς τα κύτταρα, το νερό ονομάζεται:**

- **ενδοκυττάριο** (αποτελεί το 70% περίπου του νερού των κυττάρων)
- **εξωκυττάριο** (αποτελεί το 30% περίπου του νερού των κυττάρων)



**β) ανάλογα με την κατανομή του στους ιστούς, το νερό ονομάζεται:**

- **ενδοϊστικό**
- **εξωϊστικό**, όπως είναι το εγκεφαλονωτιαίο υγρό, το αίμα, το υαλώδες υγρό

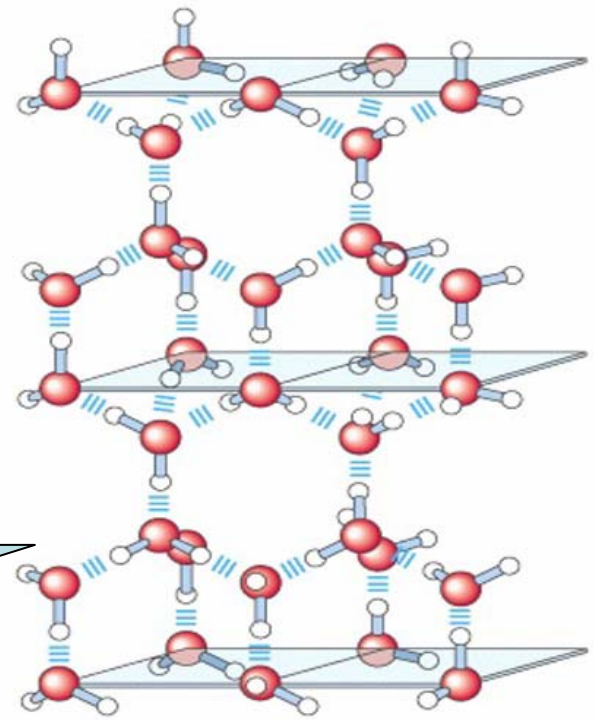
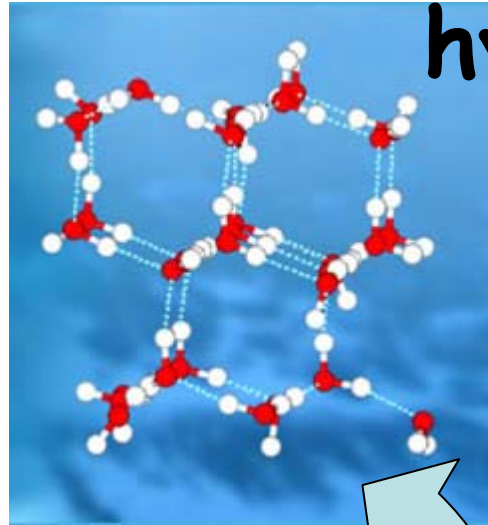
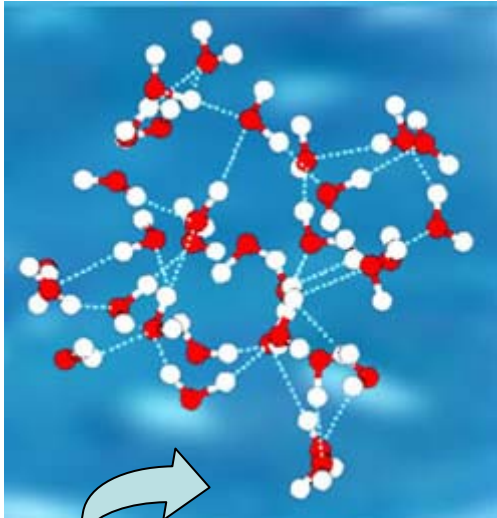
**γ) ανάλογα με τον τρόπο αλληλεπίδρασης του νερού με τα βιομόρια, διακρίνουμε τις εξής δύο κατηγορίες νερού:**

- **ελεύθερο νερό**
- **δεσμευμένο νερό**, το οποίο αλληλεπιδρά με τις υδρόφιλες ομάδες των πρωτεϊνών, των πυρηνικών οξέων, των γλυκιδίων και των λιπιδίων

**δ) ανάλογα με την προέλευσή του στον οργανισμό διακρίνεται σε:**

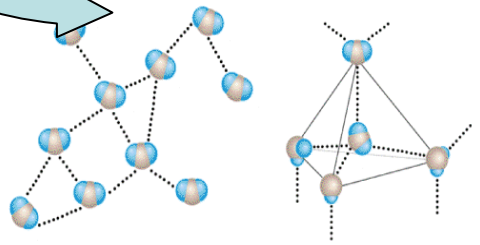
- **εξωγενές** (εισάγεται στον οργανισμό απ' έξω)
- **ενδογενές** (παράγεται μέσα στον οργανισμό, ως αποτέλεσμα βιοχημικών αντιδράσεων, όπως π.χ. κατά την αερόβια οξείδωση).

# Three-dimensional structure of water molecules is highly ordered by hydrogen bonds



Liquid water

Ice



Hydrogen  
Oxygen

## ■ *Η κατάσταση του νερού στα βιολογικά συστήματα*

Πειραματικές μελέτες έδειξαν ότι ένα μέρος του κυτοπλασματικού νερού έχει ιδιότητες διαφορετικές από αυτές του υγρού νερού:

- **αντιστέκεται στην αφυδάτωση,**
- **δεν παγώνει ακόμη και σε θερμοκρασίες κάτω των  $-20^{\circ}\text{C}$ ,**
- **δεν έχει τις συνήθεις ιδιότητες ενός διαλύτη,**
- **δεν διαπερνά τη μεμβράνη, κατά τη διάρκεια των ωσμωτικών ανταλλαγών μεταξύ κυττάρου – εξωκυττάριου χώρου,**

Το κυτοπλασματικό νερό που έχει τις παραπάνω ιδιότητες χαρακτηρίζεται με διάφορες ονομασίες, με επικρατέστερη αυτήν του **δεσμευμένου νερού** ή **δομημένου νερού**. Το δεσμευμένο νερό είναι σε αναλογία 5-10% περίπου σε τυπικούς ζωϊκούς ιστούς. Το υπόλοιπο ποσοστό μέχρι το 55-70% είναι νερό **μερικά δεσμευμένο ή ελεύθερο**.

Η κατάσταση του νερού στην έμβια ύλη ενδιαφέρει και την **κρυοβιολογία**, για τη διατήρηση και τον έλεγχο της ζωτικότητας οργάνων ή ιστών που πρόκειται να μεταμοσχευθούν, αλλά και τη **βιομηχανία τροφίμων**, για τη διατήρηση της ποιότητας των τροφίμων που καταψύχονται.

## Η σημασία του νερού στον έμβιο κόσμο

Οι κυριότερες βιολογικές και βιοφυσικές διεργασίες που εμπλέκεται το νερό είναι:

1. Το νερό αποτελεί τον καθολικό διαλύτη της έμβιας ύλης
2. Το νερό παρεμβαίνει σε μια σειρά από **βιοχημικές αντιδράσεις** στο εσωτερικό των κυττάρων, όπως για παράδειγμα η υδρόλυση, η οξείδωση και η συμπύκνωση.
3. Στην περίπτωση των φυτών, το νερό είναι το ένα από τα δύο αντιδρώντα συστατικά της **φωτοσύνθεσης** (το άλλο συστατικό είναι το διοξείδιο του άνθρακα).
4. Το νερό αποτελεί το **μέσο μεταφοράς** μορίων, ιόντων, μακρομορίων και κυττάρων από το ένα όργανο σε άλλο.
5. Το νερό είναι **παράγοντας αποβολής** από τον οργανισμό τοξικών ουσιών, προϊόντων καταβολισμού, μέσω της εφίδρωσης.
6. Το νερό αποτελεί το **μέσο στο οποίο επιπλέουν** κάποια ελεύθερα κύτταρα, όπως τα ερυθροκύτταρα, τα λυμφοκύτταρα και τα λευκοκύτταρα.
7. Το νερό προστατεύει από **μηχανικές καταπονήσεις** και τραυματισμούς κάποια ευαίσθητα όργανα ή συστήματα (όπως το κεντρικό νευρικό σύστημα), καθώς και το έμβρυο κατά τη διάρκεια της κύησης.
8. Το νερό παρεμβαίνει δυναμικά στους θερμορυθμιστικούς μηχανισμούς, εξασφαλίζοντας **θερμική ομοιοστασία (ομοιοθερμία)** στους ζωντανούς οργανισμούς.

## ❖ ΟΜΟΙΟΘΕΡΜΙΑ

❖ Η *ομοιοθερμία* είναι μια από τις εκφράσεις της *ομοιοστασίας*, με την οποία χαρακτηρίζουμε το σύνολο εκείνων των διεργασιών που οδηγούν στη διατήρηση των δομικών και λειτουργικών παραμέτρων του οργανισμού μέσα σε ορισμένα φυσιολογικά όρια, παρά τις όποιες εσωτερικές ή εξωτερικές διαταραχές.

❖ Η ομοιοθερμία παρουσιάζει δύο ανταγωνιστικές όψεις, που ανάλογα με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος επικρατεί τότε η μια και τότε η άλλη: τη *θερμόλυση* και τη *θερμογένεση*.

❖ Οι βιοφυσικές και βιοχημικές διαδικασίες με τις οποίες επιτυγχάνεται η θερμορύθμιση μέσω του νερού αναφέρονται στο επόμενο σχήμα. ☞

Το νερό εμπλέκεται έμμεσα ή άμεσα στις λειτουργίες της εφίδρωσης, της αναπνοής και της περιφερικής κυκλοφορίας του αίματος λόγω:

*α) της μεγάλης περιεκτικότητάς του στον οργανισμό,*

*β) της υψηλής ειδικής θερμότητας,*

*γ) της μεγάλης ειδικής λανθάνουσας θερμότητας (για εξάτμιση), και*

*δ) της υψηλής θερμικής αγωγιμότητας.*

# ΘΕΡΜΟΡΥΘΜΙΣΗ

## ➤ ΘΕΡΜΟΛΥΣΗ

- Εφίδρωση (εύδηλος)
- Εφίδρωση (άδηλος)
- Αναπνοή  
(φυσική εξάσκηση)
- Ακτινοβολία (στο υπέρυθρο)
- Θερμική αγωγιμότητα  
(ρίγη)
- Αγγειοδιαστολή (περιφερική)

## ➤ ΘΕΡΜΟΓΕΝΕΣΗ

- Αγγειοσυστολή  
(περιφερική)
- Μυϊκή συστολή,  
ελεγχόμενη
- Μυϊκή συστολή, μη  
ελεγχόμενη
- Μεταβολές του  
μεταβολισμού

❖ Οι μεταβολές της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος «εξομαλύνονται» λόγω της μεγάλης «θερμικής αδράνειας» του νερού και αυτό μπορεί να το εκφράσει κανείς ως εξής:

$$\Delta t = Q/mc = \text{μικρή τιμή,}$$

όπου  $Q$  = θερμότητα που ανταλλάσσεται με το περιβάλλον,  $\Delta t$  = διαφορά θερμοκρασίας του οργανισμού και  $c$  = ειδική θερμότητα.

❖ Κατά την πνευμονική εξάτμιση αποδίδονται  $0,73 \cdot 10^6$  J/ημέρα (8,43%), κατά την άδηλο αναπνοή (εφίδρωση)  $1,73 \cdot 10^6$  J/ημέρα (20%), ενώ κατά την εύδηλο εφίδρωση αποδίδονται ακόμη μεγαλύτερα ποσοστά θερμότητας.

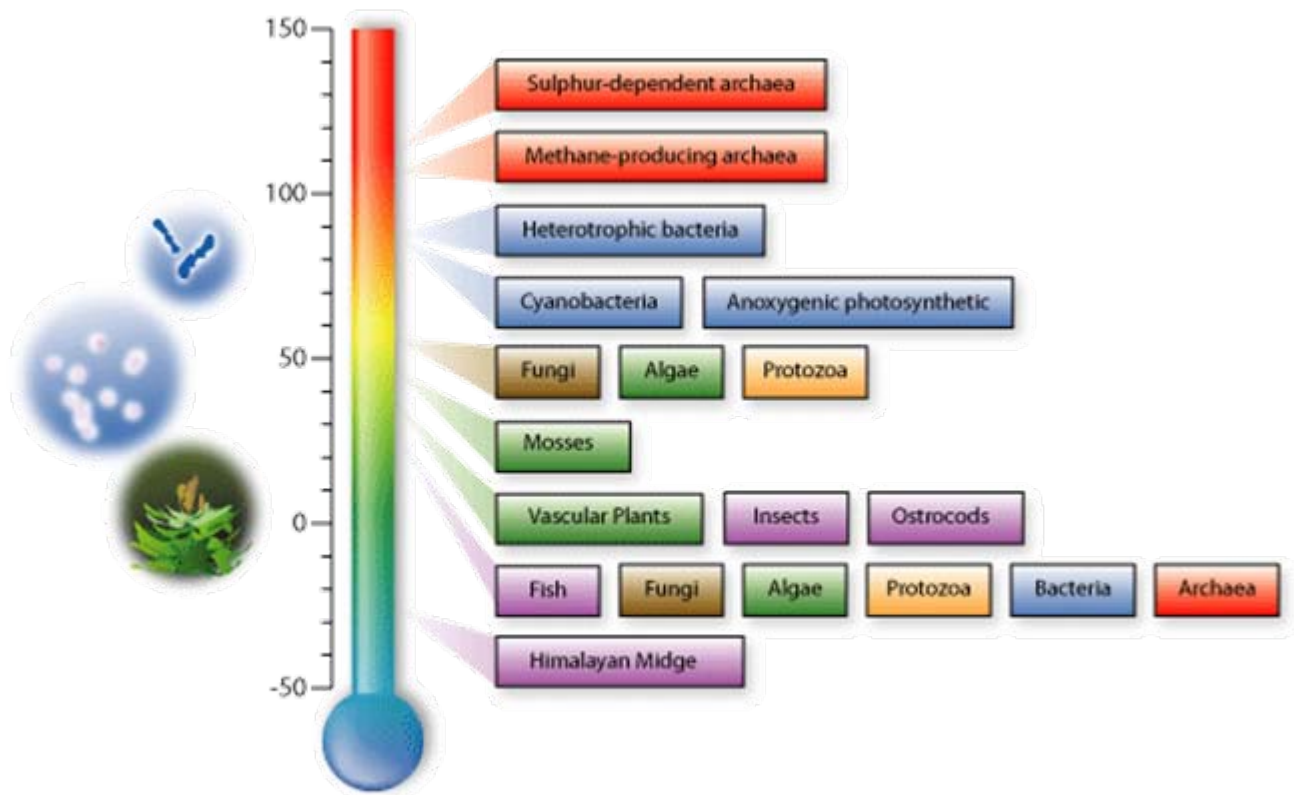
# **Cellular cryobiology: thermodynamic and mechanical effects\***

Joe Wolfe and Gary Bryant

## **Résumé**

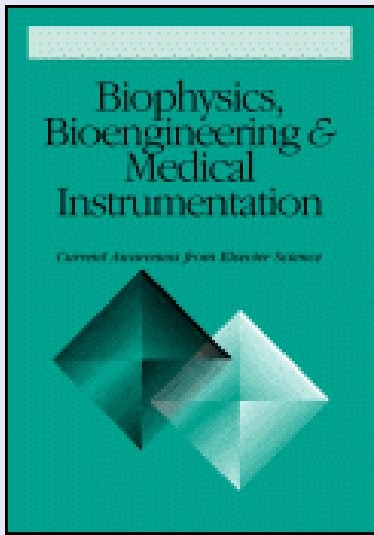
Plusieurs contraintes physiques tuent des cellules à faibles températures. La formation de glace intracellulaire est mortelle, et donc la survie aux températures congelantes implique la combinaison de la déshydratation, la dépression du point de congélation, la surfusion, et la vitrification intracellulaire. La cryopreservation artificielle nécessite une vitrification grâce à un refroidissement rapide, une contraction osmotique modérée et souvent l'ajout de solutés cryoprotecteurs. Des vitesses élevées de réchauffement sont indispensables pour éviter la cristallisation en chauffant. Dans la nature, le refroidissement et la température sont plus modérés, mais les dommages produits par le gel sont importants écologiquement et agronomiquement. Aux températures congelantes modérées, la surfusion permet parfois la survie. Aux températures plus basses, l'eau extracellulaire gèle en général et des cellules peuvent subir de grandes contractions osmotiques. Cette contraction concentre des solutés et favorise ainsi la vitrification, mais elle n'est pas forcément réversible. Une expansion osmotique rapide pendant la fusion peut rompre des membranes. De plus, les membranes et d'autres éléments ultrastucturaux peuvent être endommagés par de grandes contraintes anisotropes mécaniques produites quand leurs surfaces interagissent par les forces d'hydratation. Les solutés réduisent ces contraintes par des effets osmotiques, volumétriques et autres.

**Mots clés:** Cryobiologie, forces d'hydratation, déshydratation, vitrification, membranes, transition de phase, lipides, macromolécules.





# Επιστημονικά περιοδικά που δημοσιεύουν σχετικές έρευνες



## Βιβλιογραφία

1. "Θέματα Μοριακής Βιοφυσικής", Στ. Χαμόδρακα, Εκδόσεις Συμμετρία, 1993.  
"Η Νευρωνική Ζούγκλα", Ε. Hunziker - G. Mazzola, Εκδόσεις Π. Τραυλός - Ε. Κωσταράκη, 1995.
2. "Εκπαιδευτική Ελληνική Εγκυκλοπαίδεια", τόμος 12 - Γενική Βιολογία και τόμος 14 - Φυσική, Χημεία και Μαθηματικά, εκδοτική Αθηνών, 1989.
3. Perutz M.F. Proteins and Nucleic Acids, Elsevier, Amsterdam, 1962
4. Volkenshtein M.V., Dogonadze R.R., Madumarov A.K., Urushadze Z.D. and Kharkats Yu.I. Theory of Enzyme Catalysis.- *Molekuliarnaya Biologia* (Moscow), 6, 1972, pp. 431-439 (In Russian, English summary)
5. Cotterill, R.M.J., *Biophysics : An Introduction*, [Wiley](#), 2002. ISBN 978-0471485384.
2. Physics in biology and medicine / Paul Davidovits, ISBN 0136723454, Publication Englewood Cliffs: Prentice-Hall , c1975 Descr. xviii, 298 p.: Series Prentice-Hall