

ΒΙΟΦΥΣΙΚΗ

Αναλυτική περιγραφή της ύλης

- Εισαγωγή (τι είναι Βιοφυσική, η σχέση της με τις άλλες Φυσικές επιστήμες και τη Βιολογία, κλάδοι της Βιοφυσικής)
- Δυνάμεις - αλληλεπιδράσεις μεταξύ μορίων
- Το νερό και ο ρόλος του στη δομή της έμβιας ύλης
- Βιοπολυμερή: δομή, λειτουργία και φυσικές ιδιότητες των πρωτεϊνών και των νουκλεϊνικών οξέων
- Φυσικές μέθοδοι μελέτης μακρομορίων και κυττάρων: φυγοκέντρηση, ηλεκτροφόρηση, οπτική και ηλεκτρονική μικροσκοπία, μικροσκοπία σάρωσης, φασματοσκοπικές τεχνικές και τεχνικές σκέδασης,
- Μembrάνες: δομή και λειτουργία των βιολογικών μεμβρανών
- Φαινόμενα μεταφοράς στις βιολογικές μεμβράνες (ώσμωση, διάχυση, παθητική και ενεργός μεταφορά, τεχνητός νεφρός, ιοντικά κανάλια)
- Δημιουργία και διάδοση του νευρικού παλμού
- Βιοηλεκτρικά δυναμικά ζωτικών οργάνων και τεχνικές καταγραφής τους
- Μηχανικά φαινόμενα και συστολή των μυών
- Θερμοδυναμική των βιοσυστημάτων
- Βιοφυσική της όρασης
- Βιοφυσική της ακοής
- Επίδραση φυσικών παραγόντων (ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών, θερμότητας και πίεσης στην έμβια ύλη)

Εργαστηριακές ασκήσεις

- Φασματοφωτομετρία: φάσματα απορρόφησης βιοπολυμερών, συσχέτιση των οπτικών ιδιοτήτων με τη δομή και τη συμπεριφορά των μακρομορίων σε διάφορες συνθήκες.
- Οπτική μικροσκοπία βιολογικών δειγμάτων

Βιβλιογραφία

- ✓ Σημειώσεις της διδάσκουσας που θα καλύπτουν την παραπάνω ύλη
- ✓ Βιβλία Βιοφυσικής των αντίστοιχων εργαστηρίων των Πανεπιστημιακών Τμημάτων της χώρας
- ✓ Ξερόγλωσσα βιβλία – άρθρα – ιστοσελίδες

✚ ΒΙΟΦΥΣΙΚΗ

❖ Εισαγωγή - Ιστορική αναδρομή

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.**

- ❖ 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^{ου} 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).
- **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 Βίωση.

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 **Υγειοφυσικής**. Βέβαια, όπως και στα περισσότερα διεπιστημονικά γνωστικά πεδία, 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.

Επειδή πολλές φορές, στους μη ειδικούς, υπάρχει σύγχυση ανάμεσα στις δύο κύριες κατευθύνσεις της Φυσικής στο χώρο των βιο-επιστημών, τη Βιοφυσική και την Ιατρική Φυσική, θα δώσουμε εδώ ένα σύντομο ορισμό της Ιατρικής Φυσικής, για καλύτερη κατανόηση του περιεχομένου της Βιοφυσικής. Η **Ιατρική Φυσική** είναι πρωταρχικά ένας κλάδος της εφαρμοσμένης Φυσικής, ο οποίος έχει σαν αντικείμενο τις εφαρμογές των αντιλήψεων και των μεθόδων της Φυσικής στη διάγνωση, τη θεραπεία και αποκατάσταση ανθρώπινων παθήσεων. Η Ιατρική Φυσική συνδέεται άμεσα με τη Βιο-ηλεκτρονική (ανάπτυξη κατάλληλων ηλεκτρονικών διατάξεων σε ιατρικά όργανα και εργαλεία), τη Βιοϊατρική Τεχνολογία (εφαρμογές της τεχνολογίας στη Βιολογία και την Ιατρική), την Υγειοφυσική (δοσιμετρία - ακτινοπροστασία κατά τις ποικίλες εφαρμογές των ιοντιζουσών κυρίως αλλά και των μη ιοντιζουσών ακτινοβολιών), τα Βιομαθηματικά, τη Βιοπληροφορική και άλλες διεπιστημονικές περιοχές. Η Ιατρική Φυσική υποδιαιρείται στην Ακτινοφυσική, την Εμβιομηχανική, τη Φυσική της Ιατρικής Απεικόνισης, Ιατρική Φυσική στην περιοχή των μη ιοντιζουσών ακτινοβολιών (lasers, μικροκύματα, υπέρηχοι), τη Βιονική κ.ά.

✚ ΒΙΟΦΥΣΙΚΗ

- Η Βιοφυσική υποδιαιρείται σε επιμέρους κλάδους: **Μοριακή Βιοφυσική**, **Κοτταρική 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.

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.

Τα συστατικά της ζωής είναι:

- α) μικροϊόντα**, όπως: Na^+ , K^+ , Cl^- , Ca^{2+} , H^+ , 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:
 - a) αλληλεπιδράσεις προσανατολισμού (πολυπολικές), οι οποίες ασκούνται μεταξύ μονίμων πολυπόλων (μονόπολα ή φορτία, δίπολα, τετράπολα και οκτάπολα) και φέρουν το όνομα *αλληλεπιδράσεις Keesom*,
 - b) 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*,
 - c) αλληλεπιδράσεις διασποράς, οι οποίες ασκούνται μεταξύ στιγμιαίων, πρόσκαιρων, διπόλων και φέρουν το όνομα *αλληλεπιδράσεις London*.
- ✓ 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} .

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 παρακάτω 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 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:**

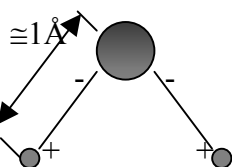
- **ελεύθερο νερό**
- **δεσμευμένο νερό**, το οποίο αλληλεπιδρά με τις υδρόφιλες ομάδες των πρωτεϊνών, των πυρηνικών οξέων, των γλυκιδίων και των λιπιδίων

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

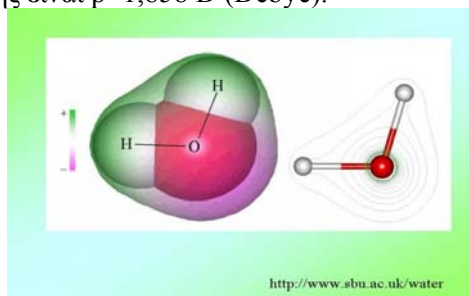
- **εξωγενές** (εισάγεται στον οργανισμό απ' έξω)
- **ενδογενές** (παράγεται μέσα στον οργανισμό, ως αποτέλεσμα βιοχημικών αντιδράσεων, όπως π.χ. κατά την αερόβια οξείδωση).

2.1. 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 50 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. 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.



Σχήμα 1. 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: $p=ql$, όπου q το φορτίο και l το μήκος του διπόλου. Η τιμή της ηλεκτρικής διπολικής ροπής είναι $p=1,858 \text{ D}$ (Debye).



❖ *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 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.
- 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.

Συμπερασματικά, 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.

✚ 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°C ,
- δεν έχει τις συνήθεις ιδιότητες ενός διαλύτη,
- δεν διαπερνά τη μεμβράνη, κατά τη διάρκεια των ωσμωτικών ανταλλαγών μεταξύ κυττάρου – εξωκυττάρου 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 ζωικούς 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 ζωικότητας οργάνων ή ιστών που πρόκειται να μεταμοσχευθούν, αλλά και τη **βιομηχανία τροφίμων**, για τη διατήρηση της ποιότητας των τροφίμων που καταψύχονται.

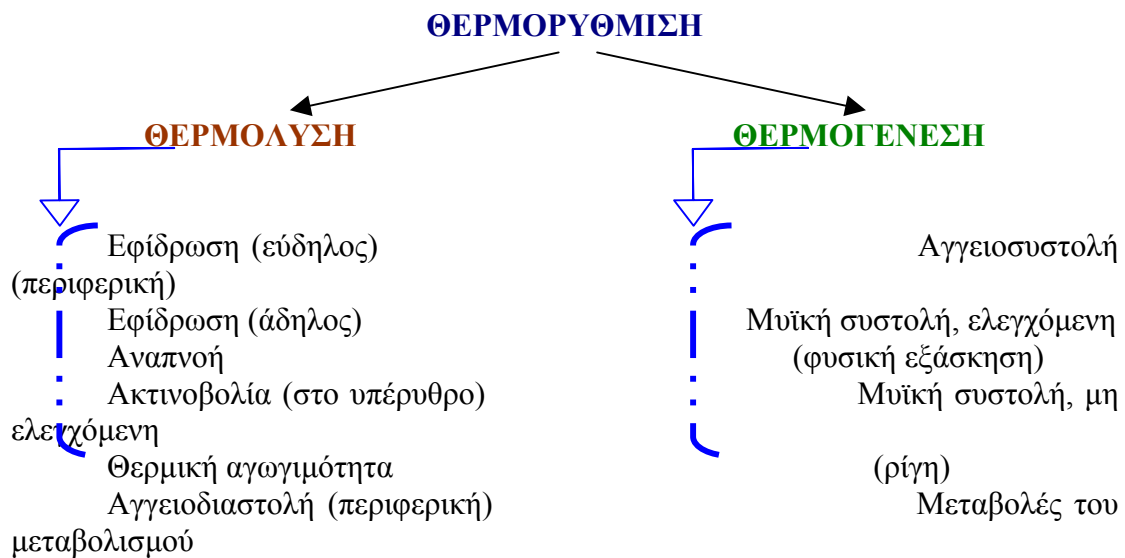
✚ Η σημασία του νερού στον έμβιο κόσμο

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 παρακάτω σχήμα.



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

- της μεγάλης περιεκτικότητάς του στον οργανισμό,
- της υψηλής ειδικής θερμότητας,
- της μεγάλης ειδικής λανθάνουσας θερμότητας (για εξάτμιση), και
- της υψηλής θερμικής αγωγιμότητας.

❖ 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, Δt = 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.