

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

## **ΧΗΜΕΙΑ ΚΑΙ ΖΩΝΤΑΝΟΙ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ**

ΕΠΑΛ

Γ' Τάξη

ΑΘΗΝΑ 2015

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

## **ΧΗΜΕΙΑ ΚΑΙ ΖΩΝΤΑΝΟΙ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ**

ΕΠΑΛ

Γ' τάξη

### **ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ**

**Γράψας Ιωάννης**, Δρ. Χημικός, καθηγητής Β/θμιας Εκπ/σης

**Πάγκαλος Σπυρίδων**, Χημικός Med, καθηγητής Β/θμιας Εκπ/σης

### **ΣΥΝΤΟΝΙΣΤΡΙΑ**

**Κουσαθανά Μαργαρίτα**, Δρ. Χημικός, Σύμβουλος Ι.Ε.Π.

Αθήνα 2015



## Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	2
Ανάπτυξη και θεμελίωση της επιστήμης της Βιοχημείας.....	2
Ο ρόλος της Βιοχημείας στη ζωή μας .....	3
ΕΝΘΕΤΟ: Βασικοί σταθμοί της ανάπτυξης της επιστήμης της Βιοχημείας.....	4
2. ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΚΥΤΤΑΡΟΥ .....	7
2.1 Μοριακή οργάνωση των κυττάρων.....	7
2.2 Το νερό και η σημασία του .....	9
2.3 Μακρομόρια και άλλα βιομόρια.....	13
Περίληψη.....	24
Ερωτήσεις.....	25
3. ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ – ΒΙΟΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ .....	27
3.1 Γενικά χαρακτηριστικά του μεταβολισμού .....	27
3.2 Γενικά χαρακτηριστικά των βιοχημικών αντιδράσεων.....	30
3.3 Ένζυμα - Οι βιολογικοί καταλύτες.....	33
Περίληψη.....	36
Ερωτήσεις.....	36
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: Απαντήσεις κλειστών ερωτήσεων .....	37

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### Ανάπτυξη και Θεμελίωση της επιστήμης της Βιοχημείας

Η Χημεία, η επιστήμη που ασχολείται με τις ιδιότητες και τις μετατροπές της ύλης στο επίπεδο των ατόμων και των μορίων, αποκαλύπτει πολλά για τον κόσμο που μας περιβάλλει. Ανακαλύπτοντας τη χημική σύσταση φυσικών συστατικών με τη **μέθοδο της χημικής ανάλυσης** και γνωρίζοντας τους κανόνες των χημικών μετατροπών, οι χημικοί μπόρεσαν να αναπαράγουν πολλές από αυτές τις ενώσεις στο εργαστήριο. Με αυτό τον τρόπο αναπτύχθηκε η **χημική σύνθεση**, η μέθοδος που αποδεικνύει στο εργαστήριο αυτό που προηγούμενα είχε αποκαλύψει η χημική ανάλυση. Με τη μέθοδο της χημικής σύνθεσης οι χημικοί μπορούν να αναπαράγουν όλο και πιο πολύπλοκα μόρια στο εργαστήριο.

Η ανάπτυξη των δύο βασικών μεθόδων της **χημικής ανάλυσης** και της **χημικής σύνθεσης** και των τεχνικών τους οδηγεί στην ανάπτυξη της Χημείας. Οι δύο βασικές μέθοδοι της Χημείας βρίσκουν ιδιαίτερη εφαρμογή στην επιστήμη που μελετά τις ενώσεις του άνθρακα, δηλαδή στην Οργανική Χημεία. Από τις ενώσεις του άνθρακα ολοένα και αυξανόμενο ενδιαφέρον αποκτούν οι ενώσεις που συνιστούν τη ζωντανή ύλη. Από αυτή την ανάγκη αναπτύσσεται ένας νέος κλάδος η Βιοχημεία, η οποία μελετά τις χημικές διαδικασίες που πραγματοποιούνται στα βιολογικά συστήματα. Η Βιοχημεία θα πατήσει στη στέρεη βάση των θεωριών και των μεθόδων της Χημείας και της πείρας που έχει αποκτηθεί από την ανάπτυξη της Οργανικής Χημείας. Άλλωστε η κατανόηση των βιολογικών φαινομένων σε βαθύτερο επίπεδο από αυτό που προσφέρει το κλασικό μικροσκόπιο θα ήταν αδύνατη χωρίς τη γνώση των συντακτικών τύπων των χημικών ενώσεων, που αποτελούν τα βιολογικά συστήματα καθώς και των μετατροπών που πραγματοποιούνται σε αυτά.

Όμως η Βιοχημεία δεν είναι απλά η εφαρμογή των νόμων της Χημείας στα βιολογικά συστήματα. Η Βιοχημεία, βασισμένη στους βασικούς νόμους και μεθόδους της Χημείας προσπαθεί να αποκαλύψει και

τελικά να αναπαράγει τις λεπτεπίλεπτες, ελεγχόμενες και σχεδιασμένες διαδικασίες που πραγματοποιούνται στους ζωντανούς οργανισμούς.

## Ο ρόλος της Βιοχημείας στη ζωή μας

Ποικίλα και πολύπλοκα είναι τα ερωτήματα που βασάνισαν τους επιστήμονες στη διαδικασία ανάπτυξης και εδραίωσης της επιστήμης της Βιοχημείας. Η συμβολή της επιστήμης είναι μεγάλη στην εξέλιξη των γνώσεων του ανθρώπου για τους μηχανισμούς της ζωής και τη χρησιμοποίησή τους για την ικανοποίηση των αναγκών του.

Χιλιάδες ερευνητικά εργαστήρια και επιστήμονες έχουν επικεντρώσει τις έρευνές τους, σε θέματα που ασχολείται αυτή η επιστήμη. Μέσα από αυτή τη διαδικασία η Βιοχημεία ανέδειξε και αναδεικνύει τις ομοιότητες των οργανισμών σε μοριακό επίπεδο. Οι ίδιες χημικές ενώσεις όπως το νερό, οι πρωτεΐνες, τα νουκλεϊκά οξέα, τα λιπίδια κ.α. είναι συστατικά όλων των ζωντανών οργανισμών. Οι διαδικασίες της ζωής έχουν χημική βάση και λειτουργούν με πανομοιότυπο τρόπο σε όλους τους οργανισμούς, από το βακτήριο έως τον άνθρωπο.

Αυτό που αποκαλύπτει την κοινή καταγωγή των μορφών που εμφανίζεται σήμερα η ζωή δεν είναι μόνο η παρουσία σχετικά περιορισμένων ομάδων μορίων, αλλά και η παρουσία κοινών οδών σύνθεσης και αποικοδόμησης σε όλους τους ζωντανούς οργανισμούς με τη σύνθεση πιο κυρίαρχη στα φυτά και την αποικοδόμηση στα ζώα. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι βιοχημικά η ζωή αποτελεί μια ενότητα.

Οι ανακαλύψεις αυτές συμβάλλουν στη γνώση μας για την κοινή προέλευση των οργανισμών, την οργάνωσή τους σε επίπεδα πολυπλοκότητας και τις διαδικασίες εξέλιξής τους. Αυτές οι γνώσεις βοηθούν στη δημιουργία επιστημονικής θεωρίας για την απαρχή της ζωής.

Πολλές επιστήμες όπως η Βιολογία, η Βοτανική, η Γεωπονία, η Φαρμακευτική, η Ιατρική βασίζονται στη βιοχημική έρευνα. Σημαντικές είναι οι εφαρμογές της στη βιομηχανική παραγωγή καθώς και στη ζωική και φυτική παραγωγή.

Η Βιοχημεία επικεντρώνοντας στον άνθρωπο βοηθά στην κατανόηση της χημικής λειτουργίας του εγκεφάλου, στην ανακάλυψη των αιτιών και της θεραπείας ασθενειών όπως ο καρκίνος, της γενετικής βά-

σης της κληρονομικότητας, του τρόπου λειτουργίας του ανοσοποιητικού συστήματος κ.α.

Πολλές είναι οι τεχνικές που συμβάλλουν στην αποκάλυψη των χημικών διαδικασιών της ζωής, όπως η φασματοσκοπία, η κρυσταλλογραφία κ.α. Τελευταία ερευνητές ανέπτυξαν τεχνικές μικροσκοπίας, που έφτασαν την οπτική μικροσκοπία στα όρια των νανοδιαστάσεων. Με αυτή τη μέθοδο οι επιστήμονες μπορούν να απεικονίσουν τις διαδρομές συγκεκριμένων μορίων μέσα σε ζωντανά κύτταρα, να παρακολουθούν πρωτεΐνες που εμπλέκονται στις ασθένειες Πάρκινσον, Αλτσχάιμερ κ.α. Για την ανάπτυξη αυτή της μεθόδου απονεμήθηκε στους επιστήμονες το Νόμπελ Χημείας 2014.

## **ΕΝΘΕΤΟ: Βασικοί σταθμοί της ανάπτυξης της επιστήμης της Βιοχημείας**

### **Η μελέτη της καύσης**

Το 17<sup>ο</sup> αιώνα ο Λαβουαζιέ συνδύασε στα πειράματά του την παρατήρηση με τις ακριβείς ποσοτικές μετρήσεις, γι' αυτό και θεωρείται ένας από τους θεμελιωτές της ποσοτικής Χημείας. Διερευνώντας πειραματικά το φαινόμενο της καύσης διατύπωσε τη θεωρία ότι η καύση είναι η ένωση των καυσίμων με οξυγόνο. Αυτή την εποχή οι ερευνητικές μελέτες είχαν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι τα ζώα καταναλώνουν οξυγόνο και παράγουν διοξείδιο του άνθρακα, ενώ αντίθετα τα φυτά καταναλώνουν διοξείδιο του άνθρακα και παράγουν οξυγόνο. Όλα αυτά έστρεψαν το ερευνητικό ενδιαφέρον του Λαβουαζιέ στη μελέτη της σχέσης της καύσης των καυσίμων με την αναπνοή.

Σε συνεργασία με τον Γάλλο επιστήμονα Πιέρ-Σιμόν ντε Λαπλάς πραγματοποίησε σειρά πειραμάτων για να μετρήσει το ποσό της θερμότητας που παράγεται από ένα ινδικό χοιρίδιο. Απόδειξε ότι η ποσότητα της θερμότητας από το ινδικό χοιρίδιο κατά τη διαδικασία της αναπνοής ήταν περίπου ίδια με αυτή που παράγεται με την καύση ενός καυσίμου που δίνει την ίδια ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα. Έτσι ο Λαβουαζιέ κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η αναπνοή είναι μια μορφή καύσης και ότι παρόμοιοι νόμοι διέπουν την καύση στην άβια και έμβια ύλη.

Η διαπίστωση αυτή αποτέλεσε πλήγμα κατά της αντίληψης του βιταλισμού που θεωρούσε ότι η ζωή έχει τους δικούς της νόμους. Οι επιστήμονες πλέον άρχισαν να αναζητούν τη χημική βάση των διαδικασιών της ζωής.

### **Η εξέλιξη των απόψεων για την απαρχή της ζωής**

Το 19<sup>ο</sup> αιώνα πραγματοποιήθηκε η σύνθεση της ουρίας (ουσία που αποβάλλεται από τα ούρα των θηλαστικών) στο εργαστήριο από τον Wohler. Καταρρίφθηκε με αυτόν τον τρόπο η βιταλιστική αντίληψη ότι μόνο οι ζωντανοί μπορούν να δημιουργήσουν οργανικά μόρια και άνοιξε ο δρόμος για την οργανική σύνθεση, δηλαδή για την παραγωγή οργανικών ενώσεων στο εργαστήριο. Ακολούθησε η αποκάλυψη της χημικής σύστασης των πρωτεϊνών, των νουκλεϊκών οξέων, των λιπών και των υδατανθράκων. Το 1907 ο Φίσερ σύνθεσε μια πρωτεϊνική αλυσίδα που αποτελείται από 18 αμινοξέα.

Το 1924 ο σοβιετικός βιοχημικός Οπάριν διατύπωσε τη θεωρία ότι η ζωή αναπτύχθηκε με τη σταδιακή και αργή συσσώρευση οργανικών ενώσεων, των οποίων η σύνθεση πραγματοποιούνταν από απλές χημικές ενώσεις που υπήρχαν στην αρχέγονη ατμόσφαιρα της γης, όπου απουσίαζε το οξυγόνο. Στα μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα οι αμερικανοί Γιούρεϊ και Μίλερ απέδειξαν ότι η πραγματοποίηση ηλεκτρικών εκκενώσεων μέσα σε ένα αέριο μείγμα ανάλογο με εκείνο των αρχικών σταδίων σχηματισμού της Γης, οδηγεί αυτόματα στην παρασκευή αμινοξέων και άλλων οργανικών ενώσεων, από τις οποίες μπορούν να προέλθουν πιο σύνθετα βιομόρια.

### **Ένζυμα**

Ο άνθρωπος χρησιμοποιούσε τη μαγιά, που αποτελείται από ζωντανούς οργανισμούς, σαν καταλύτη ζυμώσεων από τα προϊστορικά χρόνια. Το 18<sup>ο</sup> αιώνα απομονώθηκε από το εκχύλισμα βύνης η πρώτη χημική ουσία, που είχε την ικανότητα να διασπά το άμυλο σε γλυκόζη και που δεν ήταν ζωντανός οργανισμός. Αργότερα οι χημικές ενώσεις που είχαν την ικανότητα να καταλύουν (επιταχύνουν) βιοχημικές αντιδράσεις ονομάστηκαν ένζυμα. Οι ενώσεις αυτές όπως απέδειξε ο Μπούχνερ μπορούν να δράσουν και έξω από το κύτταρο. Η ανακάλυψη αυτή αποτέλεσε



σημαντικό σταθμό για την ανάπτυξη των μεθόδων της Βιοχημείας. Μέχρι σήμερα έχουν παρασκευαστεί χιλιάδες ένζυμα και έχει μελετηθεί ο τρόπος της δράσης τους.

### **Βιταμίνες**

Ο Χόπκινς αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα ανακάλυψε χημικές ενώσεις που είναι απαραίτητες για τη ζωή σε απειροελάχιστες ποσότητες και που η έλλειψη τους προκαλεί συγκεκριμένες ασθένειες. Οι ενώσεις αυτές είναι οι γνωστές σε μας βιταμίνες. Αργότερα προσδιορίσθηκε η χημική δομή της βιταμίνης C. Την επόμενη χρονιά ο Ράιχσταϊν κατόρθωσε να τη συνθέσει στο εργαστήριο, ανοίγοντας το δρόμο στη σύνθεση και βιομηχανική παραγωγή των βιταμινών. Η ανακάλυψη και απομόνωση των βιταμινών και ο προσδιορισμός της ποσότητας που απαιτείται από την κάθε μια για τη διατήρηση της υγείας, έδωσαν μια ποσοτική εκτίμηση για τις ανάγκες του ανθρώπου σε τροφές. Έτσι η επιστήμη παρείχε στην ανθρωπότητα τα μέσα για να εξασφαλίσει μια καλή ζωή στο βαθμό που τα επιτεύγματα της επιστήμης υπηρετούν τις ανάγκες του ανθρώπου και δεν αποσκοπούν αποκλειστικά στην παραγωγή κέρδους.

## 2. ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΚΥΤΤΑΡΟΥ

### 2.1 Μοριακή οργάνωση των κυττάρων

Αν αναλύσουμε βαθύτερα τους οργανισμούς, είτε ευκαρυωτικούς είτε προκαρυωτικούς, ακόμη και τους ιούς, θα ανακαλύψουμε πολλές ομοιότητες, όσον αφορά τη χημική τους σύσταση. Στον πίνακα 1 φαίνεται η % (w/w) περιεκτικότητα και ο συνολικός αριθμός κάθε είδους χημικών ουσιών, που συμμετέχουν στην δομή ενός βακτηριακού κυττάρου. Ανάλογη χημική σύσταση εμφανίζουν τα κύτταρα όλων των οργανισμών.

**Πίνακας 1**

#### Χημική σύσταση ενός βακτηρίου

Κατηγορίες χημικών ουσιών	% w/w	Είδη μορίων
Νερό	70	1
Ανόργανα άλατα	1	20
Σάκχαρα και πρόδρομα μόρια	3	200
Αμινοξέα και πρόδρομα μόρια	0,4	100
Νουκλεοτίδια και πρόδρομα μόρια	0,4	200
Λιπίδια και πρόδρομα μόρια	2	50
Άλλα μικρά μόρια	0,2	~200
Μακρομόρια (πρωτεΐνες, νουκλεϊκά οξέα και πολυσακχαρίτες)	22	~5000

Εξετάζοντας τον πίνακα 1, η πρώτη μας διαπίστωση είναι ότι το νερό αποτελεί το κυρίαρχο συστατικό του κυττάρου (70% κ.β.). Έτσι, τα

περισσότερα από τα άλλα συστατικά του κυττάρου βρίσκονται μέσα σε υδατικό περιβάλλον.

Το δεύτερο σε αναλογία είδος μορίων είναι τα **μακρομόρια**. Τα μακρομόρια είναι τεσσάρων διαφορετικών ειδών: οι *πρωτεΐνες*, οι *πολυσακχαρίτες*, τα *λιπίδια* και τα *νουκλεϊκά οξέα*. Καθένα από τα μακρομόρια έχει διαφορετικές χημικές ιδιότητες, χάρη στις οποίες διεκπεραιώνονται οι διάφορες λειτουργίες του κυττάρου. Έτσι, με τη βοήθεια των μακρομορίων, το κύτταρο κινείται, συντηρείται, αναπτύσσεται και πολλαπλασιάζεται. Είναι άλλωστε αξιοσημείωτο, ότι τα μακρομόρια είναι παρόντα σε όλα ανεξαιρέτως τα κύτταρα, ανεξάρτητα από το βαθμό της εξέλιξής τους. Τα μακρομόρια είναι από χημική άποψη πολυμερή, δηλ. μακριές αλυσίδες επαναλαμβανόμενων δομικών μονάδων (βλ. σχήμα 2), των λεγόμενων **μονομερών**. Το κύτταρο προμηθεύεται τα μονομερή, και από αυτά συνθέτει τα μακρομόρια, είτε από την τροφή του, είτε τα συνθέτει από απλούστερες ενώσεις, όπως είναι το νερό ( $H_2O$ ), το διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ), τα νιτρικά άλατα κ.ά.



**Σχήμα 1.3.** Τα μονομερή συνδέονται μεταξύ τους και σχηματίζουν τα μακρομόρια.

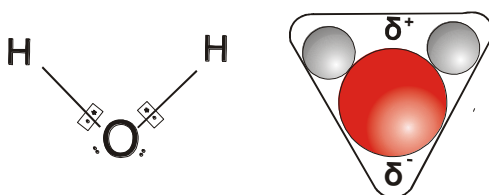
Τα μακρομόρια σχηματίζουν συμπλέγματα μεταξύ τους (τις γλυκοπρωτεΐνες, τις νουκλεοπρωτεΐνες κλπ.), τα οποία συνδυάζονται και σχηματίζουν τα **οργανίδια** του κυττάρου (τον *πυρήνα*, το *μιτοχόνδριο*, τους *χλωροπλάστες*, κλπ.).

Βλέπουμε, λοιπόν, ότι η εξέταση του φαινομένου της ζωής σε επίπεδο μορίων επιβεβαιώνει, ότι η ζωή είναι οργανωμένη σε επίπεδα αυξανόμενης πολυπλοκότητας. Στο γενικό σχήμα, τα άτομα συγκροτούν τα μόρια, τα μόρια συνδέονται μεταξύ τους και συγκροτούν τα μακρομόρια και αυτά με τη σειρά τους συγκροτούν τα οργανίδια. Τα οργανίδια σχηματίζουν τα κύτταρα, τα οποία στη συνέχεια συνδυάζονται μεταξύ τους και συγκροτούν τους οργανισμούς.

## 2.2 Το νερό και η σημασία του

Το κύτταρο αποτελείται, όπως προαναφέραμε, σε μεγάλο ποσοστό (περίπου 70%) από νερό. Το νερό παρόλο που είναι το μικρότερο μόριο που βρίσκεται κανείς στο κύτταρο, έχει ανεκτίμητη αξία για τη ζωή. Δεν είναι άλλωστε τυχαίο ότι στο νερό αναπτύχθηκαν οι πρώτες μορφές της ζωής.

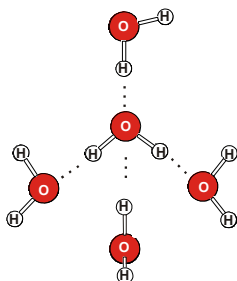
Το μόριο του νερού αποτελείται από ένα άτομο οξυγόνου συνδεδεμένο με ομοιοπολικούς δεσμούς, με δύο άτομα υδρογόνου. Το οξυγόνο χαρακτηρίζεται από πολύ **μεγάλη ηλεκτραρνητικότητα** σε σχέση με το υδρογόνο και έτσι έλκει προς το μέρος του τα ζεύγη ηλεκτρονίων, που αποτελούν τους δεσμούς O-H. Σαν αποτέλεσμα, η πλευρά στην οποία βρίσκεται το οξυγόνο φορτίζεται αρνητικά, ενώ η πλευρά στην οποία βρίσκονται τα υδρογόνα φορτίζεται θετικά (βλ. εικόνα 2.1). Έτσι, το μόριο του νερού εμφανίζει πόλους και συμπεριφέρεται σαν ηλεκτρικό δίπολο.



**Εικόνα 2.1** Διπολικότητα του μορίου του νερού. Τα ηλεκτρόνια που αποτελούν τους δεσμούς H-O, έλκονται πιο ισχυρά από το οξυγόνο απ' ό,τι από το υδρογόνο, με αποτέλεσμα να φορτίζεται αρνητικά η μεριά του οξυγόνου και αρνητικά η μεριά των υδρογόνων. Το μόριο του νερού είναι ένα ηλεκτρικό δίπολο.

Η διπολική φύση του μορίου του νερού έχει σα συνέπεια την ανάπτυξη ηλεκτροστατικής έλξης, μεταξύ του οξυγόνου ενός μορίου και του υδρογόνου ενός γειτονικού μορίου (βλ. εικόνα 2.2). Αυτή η ηλεκτροστατική έλξη φέρνει το ένα μόριο νερού κοντά στο άλλο και αποτελεί, όπως λέγεται, ένα **δεσμό υδρογόνου**. Οι δεσμοί υδρογόνου είναι πολύ πιο ασθενείς από τους γνωστούς μας δεσμούς (ομοιοπολικούς ή ετεροπολικούς), αλλά δεν παύουν να είναι σημαντικοί. Κάθε μόριο νερού

μπορεί να σχηματίσει δεσμούς υδρογόνου με άλλα τρία ή τέσσερα μόρια νερού, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.2.



**Εικόνα 2.2** Δεσμοί υδρογόνου μεταξύ μορίων νερού. Ο δεσμός υδρογόνου συμβολίζεται με τρεις τελείες

### **Αποτελέσματα του πολικού χαρακτήρα του νερού**

Οι δεσμοί υδρογόνου μεταξύ των μορίων του νερού δημιουργούν ένα πλέγμα δεσμών υδρογόνου, που εκτείνεται σε όλη τη μάζα του. Το πλέγμα αυτό δίνει μια συνεκτικότητα στη μάζα του νερού.

Έτσι, το νερό είναι υγρό στη θερμοκρασία περιβάλλοντος, ενώ παραπλήσια μόρια, όπως το υδρόθειο ( $H_2S$ ) είναι αέρια. Στη συνεκτικότητα του νερού οφείλονται και άλλες σημαντικές φυσικοχημικές ιδιότητές του, με μεγάλη σημασία για τη λειτουργία του κυττάρου, όπως η *μεγάλη θερμοχωρητικότητα* και η *μεγάλη διαλυτική ικανότητά* του.

### **Η θερμοχωρητικότητα του νερού**

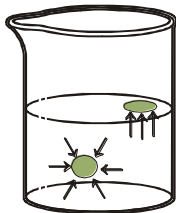
Εάν θερμανθεί μια ορισμένη μάζα νερού, ένα σημαντικό ποσό της προσφερόμενης θερμότητας θα καταναλωθεί, για να "χαλαρώσει" το πλέγμα των δεσμών υδρογόνου, ενώ το υπόλοιπο θα χρησιμοποιηθεί για την αύξηση της μέσης ταχύτητας των μορίων του νερού, δηλ. για την αύξηση της θερμοκρασίας του. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι απαιτείται σχετικά μεγάλο ποσό θερμότητας για να μεταβληθεί η θερμοκρασία του νερού ή όπως λέμε *το νερό έχει μεγάλη θερμοχωρητικότητα*. Χάρη στη μεγάλη θερμοχωρητικότητα του νερού, η θερμοκρασία του κυττάρου παραμένει περίπου σταθερή ( $\sim 37^\circ C$ ), παρά το γεγονός ότι στο κύτταρο παράγονται ή καταναλώνονται μεγάλα ποσά θερμότητας από τις πολλές αντιδράσεις (εξώθερμες ή ενδόθερμες), που συμβαίνουν στο εσωτερικό του. Η σταθερή θερμοκρασία έχει κεφαλαιώδη σημασία για το κύτταρο,

διότι εξασφαλίζει σταθερότητα στη δομή και τις διάφορες λειτουργίες του.

### Η διαλυτική ικανότητα του νερού

Η πολικότητα δίνει εξάλλου στο μόριο του νερού τη δυνατότητα να αναπτύσσει ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις ή να σχηματίζει δεσμούς υδρογόνου και με μόρια άλλων ουσιών, εκτός από τα όμοιά του. Σαν αποτέλεσμα, το νερό είναι άριστος διαλύτης πολικών μορίων, τα οποία για το λόγο αυτό ονομάζονται **υδρόφιλα μόρια**. Έτσι, το νερό εκτός από άλατα διαλύει ένα μεγάλο αριθμό μορίων, που είναι σημαντικά για τις διάφορες λειτουργίες του κυττάρου (π.χ. πρωτεΐνες, πολυσακχαρίτες κ.ά.). Η διάλυση μορίων στο νερό είναι το πρώτο βήμα για τη μεταφορά τους από μια περιοχή του κυττάρου σε άλλη, οπότε έρχονται σε επαφή με άλλα μόρια και τους δίνεται η δυνατότητα να αντιδράσουν.

Ταυτόχρονα, ο πολικός χαρακτήρας του νερού επιβάλλει σε μόρια, που δεν είναι πολικά, να "απομακρυνθούν" από το περιβάλλον του ή να αποφύγουν, κατά το δυνατόν, την επαφή μαζί του (**υδρόφοβα μόρια**). Αυτό γίνεται καλύτερα αντιληπτό, αν σκεφθούμε τι συμβαίνει, όταν ρίξουμε μερικές σταγόνες λάδι σε ένα ποτήρι νερό. Το λάδι είναι ένα υδρόφοβο μόριο και όταν περιβληθεί από μόρια νερού, δέχεται απώσεις από παντού. Οι απώσεις αυτές αναγκάζουν τα μόρια του λαδιού να πλησιάσουν μεταξύ τους και να σχηματίσουν μικρά σφαιρίδια, που συγκεντρώνονται σε ορισμένα σημεία της μάζας του νερού (βλ. εικόνα 2.3). Οι δυνάμεις αυτού του είδους, που αναγκάζουν υδρόφοβα μόρια να πλησιάσουν το ένα το άλλο, όταν βρίσκονται σε υδατικό περιβάλλον, ονομάζονται **υδρόφοβοι δεσμοί** και έχουν μεγάλη βιολογική σημασία, όπως θα δούμε στη συνέχεια.



**Εικόνα 2.3** Τα μόρια του λαδιού δέχονται απώσεις από παντού (υδρόφοβοι δεσμοί) και αναγκάζονται να σχηματίσουν μικρές σφαίρες μέσα στο νερό.

Οι δομικοί σχηματισμοί των κυττάρων (κυτταρική μεμβράνη, κυτταρικά οργανίδια, κυτταρικός σκελετός, κ.ά.) έχουν ως επί το πλεί-

στον υδρόφοβο χαρακτήρα και έτσι παρουσιάζουν μεγάλη σταθερότητα στο υδατικό περιβάλλον που επικρατεί στο εσωτερικό, αλλά και το εξωτερικό μέρος του κυττάρου. Οι δομικοί σχηματισμοί παρουσιάζουν όμως και υδρόφιλες περιοχές και έτσι οι αλληλεπιδράσεις τους με το νερό είναι σε κάποιες περιοχές ελκτικές και σε κάποιες άλλες περιοχές απωστικές. Σαν αποτέλεσμα, οι δομικοί σχηματισμοί του κυττάρου παίρνουν ένα τελικό σχήμα που καθορίζεται από την ισορροπία των υδρόφοβων και υδρόφιλων περιοχών τους με το νερό. Χαρακτηριστικό παράδειγμα βιομορίων με υδρόφοβες και υδρόφιλες περιοχές είναι **τα φωσφολιπίδια**, τα οποία παίρνουν διάφορες μορφές όταν βρεθούν σε υδατικό περιβάλλον, όπως θα δούμε αναλυτικότερα παρακάτω (παράγραφος 2.3.4).

### **Ανόργανα άλατα και ιχνοστοιχεία στο κύτταρο**

Στο κύτταρο υπάρχουν, διαλυμένες στο νερό, πολλές απλές ανόργανες ενώσεις, όπως οξέα, βάσεις και άλατα. Οι ουσίες αυτές μολονότι βρίσκονται σε μικρή αναλογία σε σχέση με τα άλλα συστατικά του κυττάρου, έχουν σπουδαίο φυσιολογικό ρόλο. Έτσι, χάρη στις ουσίες αυτές το pH του κυττάρου διατηρείται σταθερό, ενώ επιπλέον εξασφαλίζονται πολλές άλλες λειτουργίες του κυττάρου. Τα ιόντα πολλών στοιχείων (κυρίως μετάλλων) βρίσκονται επίσης, σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις στο κύτταρο και αποτελούν τα λεγόμενα **ιχνοστοιχεία**. Σε κάποιες περιπτώσεις ο βιολογικός ρόλος των ιχνοστοιχείων δεν είναι γνωστός, αλλά φαίνεται ότι είναι απαραίτητα σε ορισμένους οργανισμούς για την κανονική τους ανάπτυξη.

## 2.3 Μακρομόρια και άλλα βιομόρια

Περί το 20% κ.β. του κυττάρου αποτελείται από βιολογικά μακρομόρια (πρωτεΐνες, πολυσακχαρίτες, νουκλεϊκά οξέα) και άλλα βιομόρια, όπως τα λιπίδια. Τα μακρομόρια είναι από χημική άποψη πολυμερή. Οι πρωτεΐνες αποτελούν πολυμερή αμινοξέων, οι πολυσακχαρίτες πολυμερή απλών σακχάρων, ενώ τα νουκλεϊκά οξέα είναι πολυμερή νουκλεοτιδίων.

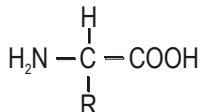
### 2.3.1 Πρωτεΐνες

Οι πρωτεΐνες είναι τα πιο διαδεδομένα μόρια στο κύτταρο. Ακόμη και ένα απλό κύτταρο, όπως αυτό των βακτηρίων, περιέχει εκατοντάδες πρωτεϊνών, καθεμιά από τις οποίες παίζει ένα διαφορετικό ρόλο στη λειτουργία του. Οι πρωτεΐνες είναι πολύπλοκα μόρια και χαρακτηρίζονται από εξειδίκευση στις λειτουργίες που επιτελούν. Το καθένα από αυτά μοιάζει με έναν ικανότατο και ταλαντούχο μουσικό που συμμετέχει στην καλά ενορχηστρωμένη λειτουργία του κυττάρου. Στις πρωτεΐνες συμπεριλαμβάνονται ένζυμα, αντισώματα, ορμόνες, μόρια για τη μεταφορά ουσιών, ακόμη και δομικά συστατικά του ίδιου του κυττάρου.

#### Αμινοξέα

Οι δομικές μονάδες (μονομερή) που συνθέτουν τις πρωτεΐνες είναι τα αμινοξέα. Στα κύτταρα των διαφόρων οργανισμών, έχουν βρεθεί πάνω από 170 διαφορετικά αμινοξέα. Από αυτά μόνο τα 20 αποτελούν συστατικά των πρωτεϊνών.

Τα αμινοξέα, όπως δηλώνει και το όνομά τους, είναι οργανικές ενώσεις με διττή φύση: είναι ταυτοχρόνως αμίνες, αλλά και οργανικά οξέα. Ο γενικός συντακτικός τύπος τους είναι ο ακόλουθος:

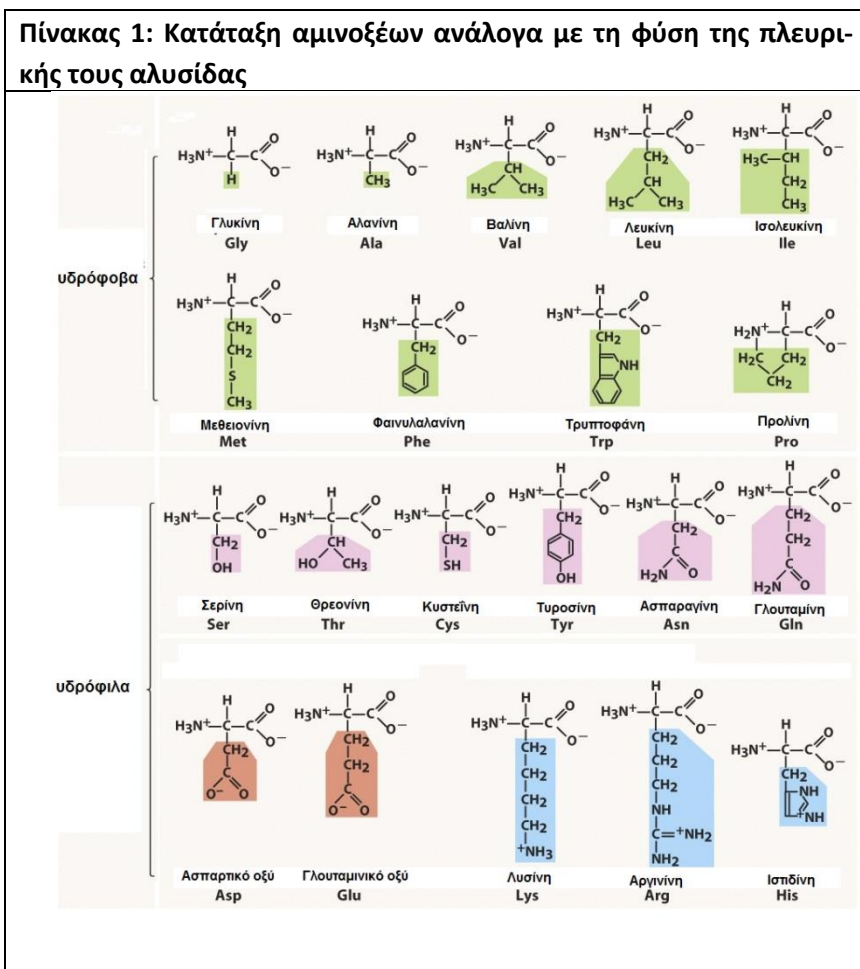


Παρατηρούμε, ότι τα αμινοξέα αποτελούνται από ένα κεντρικό άτομο άνθρακα, στο οποίο συνδέονται:

1. μια ομάδα με βασικό χαρακτήρα, η **αμινομάδα** (-NH<sub>2</sub>).
2. μια ομάδα με όξινο χαρακτήρα, το **καρβοξύλιο** (-COOH).

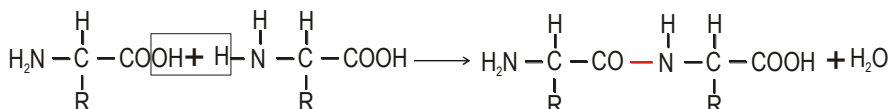


3. ένα άτομο υδρογόνου και
  4. μια ομάδα R, που ονομάζεται **πλευρική αλυσίδα ή πλευρική ομάδα**.
- Είναι φανερό ότι τα διάφορα αμινοξέα διαφέρουν μεταξύ τους μόνο ως προς την πλευρική αλυσίδα. Έτσι, ανάλογα με τη φύση αυτής της πλευρικής αλυσίδας, τα αμινοξέα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:
- **τα υδρόφοβα**, που έχουν υδρόφοβες ομάδες R
  - **τα υδρόφιλα** που έχουν υδρόφιλες ομάδες R



## Πεπτιδικός δεσμός

Η πιο χαρακτηριστική χημική αντίδραση των αμινοξέων είναι η αντίδραση μεταξύ της αμινομάδας ενός μορίου αμινοξέος και του καρβοξυλίου, ενός δεύτερου μορίου αμινοξέος, με τη βοήθεια ειδικών ουσιών που ενεργοποιούν την αντίδραση. Κατά την αντίδραση, αποβάλλεται ένα μόριο νερού και σχηματίζεται ένας ομοιοπολικός δεσμός, που ενώνει τα δύο αμινοξέα.



Ο δεσμός αυτός λέγεται **πεπτιδικός δεσμός** (σημειώνεται με κόκκινο χρώμα στην παραπάνω εικόνα). Το νέο μόριο που δημιουργείται, λέγεται διπεπτίδιο και αν το προσέξουμε, βλέπουμε ότι έχει στα δύο άκρα του ελεύθερο καρβοξύλιο και ελεύθερη αμινομάδα. Έτσι, η αντίδραση μπορεί να επαναληφθεί, είτε από την πλευρά του καρβοξυλίου, είτε από την πλευρά της αμινομάδας. Με αυτό τον τρόπο από το διπεπτίδιο και ένα νέο μόριο αμινοξέος σχηματίζεται τριπεπτίδιο, στη συνέχεια τετραπεπτίδιο κ.ο.κ. Κάθε φορά μπορεί να προστίθεται στην πεπτιδική αλυσίδα οποιοδήποτε από τα 20 διαφορετικά αμινοξέα που απαντώνται στις πρωτεΐνες. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να σχηματιστεί μια πολυπεπτιδική αλυσίδα, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει εκατοντάδες αμινοξέων. Τέτοιες πολυπεπτιδικές αλυσίδες με 50 έως 3.000 ή περισσότερα αμινοξέα αποτελούν τις πρωτεΐνες. Μια από τις μεγαλύτερες πολυπεπτιδικές αλυσίδες (1.750 αμινοξέα) είναι αυτή της μυοσΐνης, μιας πρωτεΐνης των μυϊκών κυττάρων.

Εάν αναλογιστούμε ότι οι πολυπεπτιδικές αλυσίδες μπορούν να έχουν μήκος εκατοντάδων αμινοξέων και ότι τα 20 διαφορετικά αμινοξέα που τις αποτελούν, μπορούν να ενωθούν μεταξύ τους με οποιαδήποτε σειρά, τότε αντιλαμβανόμαστε ότι είναι δυνατό να προκύψει ένας τεράστιος αριθμός διαφορετικών πρωτεϊνικών μορίων.

Ο ανθρώπινος οργανισμός χρειάζεται λοιπόν τα αμινοξέα, για να συνθέσει τις πρωτεΐνες και τα πεπτίδια, που τού είναι απαραίτητα. Τα περισσότερα από τα αμινοξέα, ο οργανισμός τα συνθέτει κατά το μεταβολισμό του. Οκτώ όμως από αυτά, ο οργανισμός αδυνατεί να τα συνθέ-

σει και έτσι πρέπει απαραίτητως να τα προσλάβει με την τροφή του. Τα αμινοξέα αυτά χαρακτηρίζονται ως απαραίτητα.

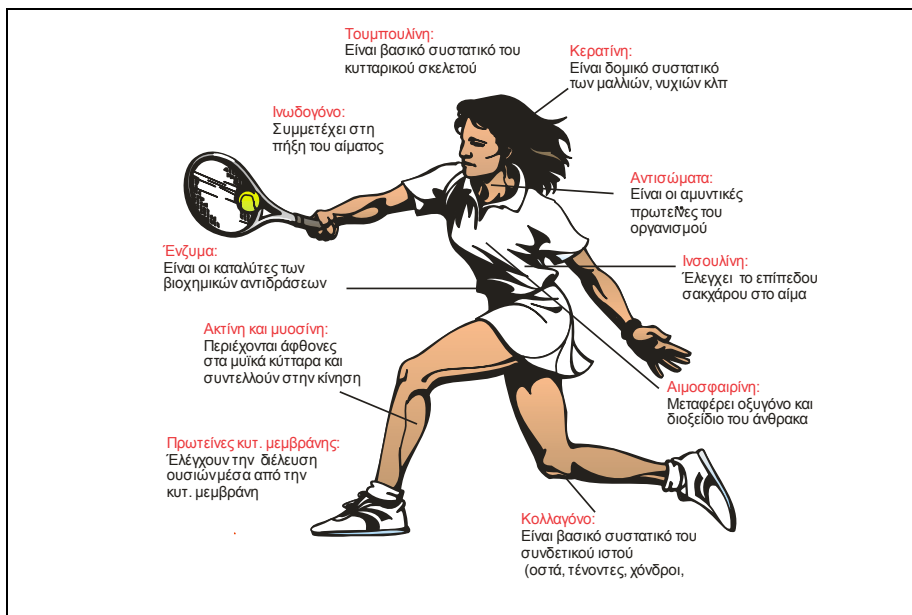
### **Βιολογικός ρόλος των πρωτεϊνών**

Ο αριθμός των πρωτεϊνών του ανθρώπινου οργανισμού υπερβαίνει τις 30.000. Ο αριθμός αυτός φαντάζει πολύ μεγάλος, αλλά θα πρέπει να σκεφτεί κανείς ότι κάθε πρωτεΐνη επιτελεί μια συγκεκριμένη λειτουργία και ότι ο αριθμός των λειτουργιών του οργανισμού είναι τεράστιος.

Με κριτήριο τη λειτουργία τους, οι πρωτεΐνες διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Τις **δομικές**, που αποτελούν τα δομικά συστατικά του κυττάρου, και τις **λειτουργικές**, που υλοποιούν τις διάφορες λειτουργίες του. Στον πίνακα 3 αναφέρονται παραδείγματα πρωτεϊνών και η λειτουργία που επιτελούν στον ανθρώπινο οργανισμό.

**Πίνακας 2: Μερικές πρωτεΐνες και οι λειτουργίες τους**

ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
Κολλαγόνο	Συστατικό τους συνδετικού ιστού (οστά, χόνδροι κλπ) έχει δομικό ρόλο
Αιμοσφαιρίνη	Συστατικό των ερυθρών αιμοσφαιρίων, μεταφέρει το οξυγόνο στους ιστούς και απομακρύνει το διοξείδιο του άνθρακα από αυτούς
Αντισώματα	Παράγονται από λεμφοκύτταρα και εξουδετερώνουν διάφορους εισβολείς (μικρόβια, ξένες ουσίες κλπ.)
Ακτίνη, μυοσίνη	Συμβάλουν στην κίνηση των κυττάρων. Υπάρχουν σε αφθονία στα μυϊκά κύτταρα
Καζεΐνη	Αποθηκεύει ασβέστιο στο γάλα
Ινσουλίνη	Παράγεται από το πάγκρεας και ρυθμίζει τα επίπεδα σακχάρου στο αίμα
Ένζυμα	Μεγάλη κατηγορία πρωτεϊνών που επιταχύνουν τις χημικές αντιδράσεις των οργανισμών



### 2.3.2 Υδατάνθρακες

Οι υδατάνθρακες είναι οι πλέον διαδεδομένες οργανικές ενώσεις στη γη. Αποτελούν μια σπουδαία πηγή άνθρακα για τη σύνθεση άλλων ενώσεων, αλλά και αποθήκες χημικής ενέργειας, που χρησιμοποιούν τα κύτταρα. Πολλοί υδατάνθρακες, όπως η κυτταρίνη και η χιτίνη, έχουν δομικό ρόλο και παρέχουν μηχανική υποστήριξη και προστασία από το περιβάλλον σε ορισμένα είδη οργανισμών. Οι υδατάνθρακες διακρίνονται σε μονοσακχαρίτες, ολιγοσακχαρίτες (δηλ. δισακχαρίτες, τρισακχαρίτες κλπ.) και πολυσακχαρίτες. Οι μονοσακχαρίτες και οι μικρής σχετικά σχετικής μοριακής μάζας ολιγοσακχαρίτες συνήθως ονομάζονται **σάκχαρα**.

#### Μονοσακχαρίτες

Οι μονοσακχαρίτες είναι πολύ διαδομένοι στην φύση. Είναι άχρωμες, υδατοδιαλυτές, κρυσταλλικές ενώσεις και οι περισσότεροι έχουν γλυκιά γεύση. Οι μονοσακχαρίτες είναι πολυ-υδροξυ-αλδεΐδες ή πολυ-υδροξυ-κετόνες με τρία ως οκτώ άτομα άνθρακα. Δηλαδή περιέχουν αλδεΐδομάδα ή κετονομάδα και πολλές υδροξυλομάδες. Τα ονό-

ματα των μονοσακχαριτών είναι κυρίως εμπειρικά και έχουν συνήθως την κατάληξη -όζη.

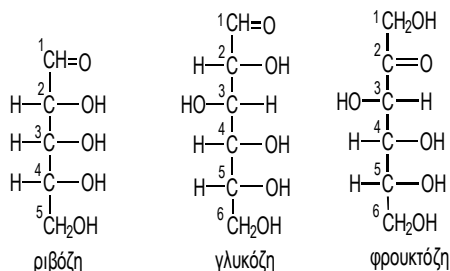
Η κατάταξη τους γίνεται με βάση δύο κριτήρια.

1. Από τον αριθμό των ανθράκων που περιέχει το μόριό τους. Με βάση το κριτήριο αυτό ένας μονοσακχαρίτης με 3 άτομα C είναι μια τριόζη, με 4 άτομα C μια τετρόζη κ.ο.κ..

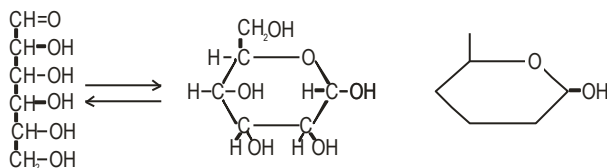
2. Από το αν περιέχουν αλδεϋδομάδα ή κετονομάδα στο μόριό τους. Με βάση το κριτήριο αυτό ένας μονοσακχαρίτης με αλδεϋδομάδα χαρακτηρίζεται ως αλδόζη, και ένας μονοσακχαρίτης με κετονομάδα χαρακτηρίζεται ως κετόζη.

Συνδυάζοντας τις δύο ταξινομήσεις έχουμε συγκεκριμένη κατάταξη για τους μονοσακχαρίτες. Για παράδειγμα ένας μονοσακχαρίτης με πέντε άτομα άνθρακα και αλδεϋδομάδα ανήκει στις αλδοπεντόζες και ένας μονοσακχαρίτης με έξι άτομα άνθρακα και μια κετονομάδα ανήκει στις κετοεξόζες.

Η ριβόζη είναι, για παράδειγμα, μια πολυ-υδροξυ-αλδεΐδη με πέντε άτομα άνθρακα (αλδοπεντόζη) και η γλυκόζη με έξι άτομα άνθρακα (αλδοεξόζη), ενώ η φρουκτόζη μια πολυ-υδροξυ-κετόνη με έξι άτομα άνθρακα (κετοεξόζη):

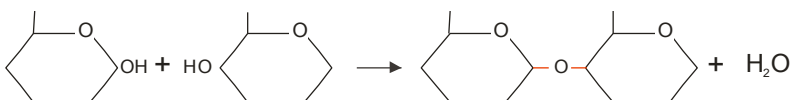


Τα σάκχαρα εμφανίζονται συχνά και με την κυκλική τους μορφή, η οποία σχηματίζεται αυθόρμητα, κατά την διάλυσή τους στο νερό π.χ.οι παρακάτω χημικοί τύποι εμφανίζουν τη ανοικτή, τη κλειστή και μια σχηματική μορφή της γλυκόζης.



## Δισακχαρίτες - Ολιγοσακχαρίτες - Πολυσακχαρίτες

Η πιο σημαντική ιδιότητα των μονοσακχαριτών είναι ότι αντιδρούν μεταξύ τους, με τη βοήθεια ειδικών ουσιών που ενεργοποιούν την αντίδραση και σχηματίζουν τους δισακχαρίτες με την αποβολή ενός μορίου νερού, π.χ. η μαλτόζη σχηματίζεται από δύο μόρια γλυκόζης, ως εξής:



Μονοσακχαρίτης + Μονοσακχαρίτης → Δισακχαρίτης + νερό

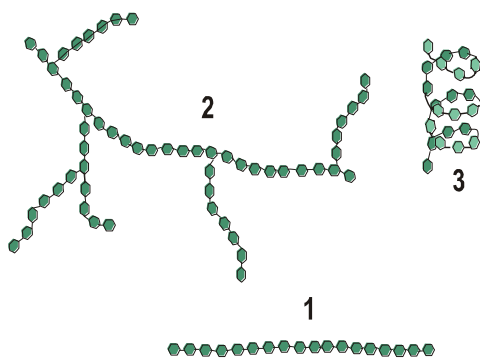
Στους δισακχαρίτες ανήκει και η κοινή ζάχαρη η οποία συντίθεται από ένα μόριο γλυκόζης και ένα μόριο φρουκτόζης. Ο δεσμός που ενώνει τους δύο μονοσακχαρίτες, ονομάζεται **γλυκοζιτικός δεσμός** (σημειώνεται με κόκκινο χρώμα στο παραπάνω εικόνα). Η αντίδραση μπορεί να επαναληφθεί πολλές φορές με τη σύνδεση ενός μονοσακχαρίτη κάθε φορά και έτσι προκύπτουν διαδοχικά τρισακχαρίτες, τετρασακχαρίτες κ.ο.κ. Η σύνδεση περισσότερων μονοσακχαριτών σχηματίζει τους **πολυσακχαρίτες**.

### Οι σημαντικότεροι πολυσακχαρίτες

Οι σημαντικότεροι πολυσακχαρίτες είναι το *γλυκογόνο*, το *άμυλο* και η *κυτταρίνη*. Παρά το γεγονός ότι και οι τρεις αυτοί πολυσακχαρίτες οικοδομούνται από το ίδιο μονομερές, το μόριο της γλυκόζης, διαφέρουν σημαντικά ως προς το μέγεθος, τη δομή τους στο χώρο και το βιολογικό τους ρόλο.

Το **γλυκογόνο** αποτελείται από χιλιάδες μόρια γλυκόζης, τα οποία σχηματίζουν ένα μεγάλο διακλαδισμένο πολυμερές (βλ. εικόνα 2.4). Χρησιμεύει σαν αποθήκη γλυκόζης στα ζωικά κύτταρα. Αποθηκεύεται κυρίως στους μύες, όπου υδρολύεται σε γλυκόζη και καλύπτει άμεσες ενεργειακές ανάγκες των μυϊκών κυττάρων, αλλά και στο ήπαρ, όπου αποδίδει γλυκόζη για τη διατήρηση σταθερών επιπέδων σακχάρου στο αίμα.

Το **άμυλο** είναι ένας πολυσακχαρίτης που χρησιμεύει σαν αποθήκη γλυκόζης στα φυτά και έτσι επιτελεί βιολογικό ρόλο ανάλογο με αυτό του γλυκογόνου των ζωικών κυττάρων. Αποθηκεύεται στα σπέρματα (πχ δημητριακά) και τους βολβούς (πχ πατάτες). Το σημαντικότερο πεπτικό ένζυμο για την διάσπαση του αμύλου είναι η αμυλάση, που βρίσκεται στο σάλιο και το λεπτό έντερο.



**Εικόνα 2.4** Οι τρεις πολυσακχαρίτες του σχήματος αποτελούνται από εκατοντάδες μόρια γλυκόζης συνδεδεμένα με γλυκοζιτικούς δεσμούς. Η κυτταρίνη (1) έχει δομή ευθείας αλυσίδας, η αμυλοπηκτίνη (2) ένα από τα συστατικά του αμύλου δομή σπειροειδή, ενώ το γλυκογόνο (3) δομή διακλαδισμένης αλυσίδας.

Τέλος, η **κυτταρίνη** που και αυτή απαντάται στα φυτά και σχηματίζει ευθείες αλυσίδες. Είναι η πιο διαδεδομένη στη φύση οργανική ουσία, αφού αποτελεί το 50% του συνόλου των οργανικών ενώσεων των φυτών. Χαρακτηρίζεται από μεγάλη αντοχή, διότι δε διασπάται εύκολα σε μόρια γλυκόζης. Αυτό οφείλεται στο ότι δεν υπάρχουν στα φυτά, αλλά και στα περισσότερα ζώα και τον άνθρωπο, τα ειδικά ένζυμα, που απαιτούνται για τη διάσπαση των γλυκοζιτικών της δεσμών. Τέτοια ένζυμα διαθέτουν μερικά βακτήρια όπως αυτά που υπάρχουν στο στομάχι των μηρυκαστικών (βοοειδή, αιγοπρόβατα, ελάφια και πολλά άλλα φυτοφάγα ζώα) και τα βοηθούν στην διάσπαση της κυτταρίνης στα μονομερή της. Η πέψη της κυτταρίνης δεν είναι δυνατή από τον άνθρωπο.

### **2.3.3 Νουκλεϊκά οξέα**

Τα νουκλεϊκά οξέα κατέχουν μια μοναδική θέση ανάμεσα στα μακρομόρια. Όχι μόνο συμμετέχουν σε πολλές βιολογικές λειτουργίες, αλλά αποθηκεύουν και μεταφέρουν τη γενετική πληροφορία, αποτελούν δηλαδή το γενετικό υλικό του κυττάρου. Αυτά τα μόρια βρίσκονται στον

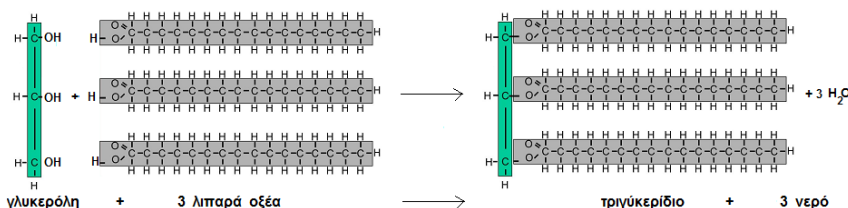
πυρήνα των ευκαρυωτικών κυττάρων και στο κυτταρόπλασμα των προκαρυωτικών και περιέχουν όλες τις πληροφορίες που χρειάζονται για το διπλασιασμό του ίδιου τους του εαυτού, για τη σύνθεση άλλων νουκλεϊκών οξέων, αλλά και για τη σύνθεση των πρωτεϊνών. Υπάρχουν δύο είδη νουκλεϊκών οξέων, τα γνωστά μας **DNA**, και **RNA**. Από χημική άποψη, τα νουκλεϊκά οξέα είναι πολυμερή με δομικές μονάδες τα νουκλεοτίδια και συμβάλουν στην μεταφορά και την έκφραση της γενετικής πληροφορίας.

### 2.3.4 Λιπίδια

Λιπίδια χαρακτηρίζονται τα βιομόρια που δε διαλύονται στο νερό, αλλά μόνο σε οργανικούς διαλύτες, π.χ. στον αιθέρα ή το χλωροφόρμιο. Τα πιο σημαντικά βιολογικά λιπίδια είναι τα **τριγλυκερίδια** ή **ουδέτερα λίπη**, τα **φωσφολιπίδια** και τα **στεροειδή**.

#### Τριγλυκερίδια ή ουδέτερα λίπη

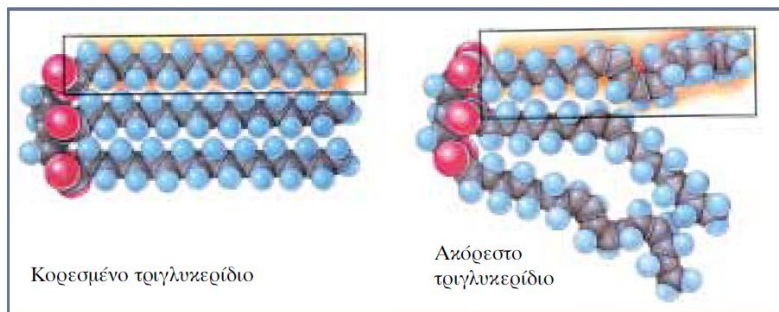
Τα τριγλυκερίδια ή ουδέτερα λίπη, όπως λέγονται, σχηματίζονται με την ένωση τριών λιπαρών οξέων στο μόριο της γλυκερόλης, μιας πολυαλκοόλης με τρία υδροξύλια. Η αντίδραση σχηματισμού εμφανίζεται στο παρακάτω σχήμα:



Τα λιπαρά οξέα είναι οργανικά οξέα με 12 - 24 άτομα άνθρακα και έτσι αποτελούν μακριές **υδρόφοβες αλυσίδες**. Τα ουδέτερα λίπη είναι υδρόφοβα μόρια και δεν διαλύονται καθόλου στο νερό.

Ανάλογα με τη φύση των λιπαρών οξέων, τα τριγλυκερίδια διακρίνονται σε ακόρεστα και κορεσμένα. Τα ακόρεστα λίπη είναι συχνότερα στα φυτά παρά στα ζώα και είναι συνήθως υγρά (π.χ. ελαιόλαδο, σπορέλαια κ.ά.). Αντίθετα τα κορεσμένα τριγλυκερίδια είναι συχνότερα στα ζώα παρά στα φυτά και συνήθως είναι ή τείνουν να είναι στερεά (π.χ. βούτυρο κ.ά.). Τα λίπη είναι μόρια που αποδίδουν μεγάλα ποσά ενέργειας κατά την καύση τους και χρησιμοποιούνται από τους οργανισμούς κυρίως για την αποθήκευση ενέργειας.

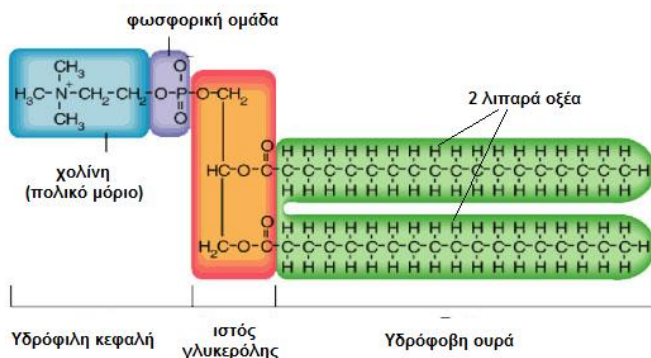




**Εικόνα 2.5** Μοντέλα κορεσμένου και ακόρεστου τριγλυκεριδίου. Οι αλυσίδες των κορεσμένων λιπαρών οξέων στοιβάζονται η μία πολύ κοντά στην άλλη, με αποτέλεσμα το "πακετάρισμα" των μορίων να είναι πολύ σφιχτό και τα κορεσμένα λίπη να είναι στερεά σε συνηθισμένες συνθήκες. Αντίθετα, οι διπλοί δεσμοί των ακόρεστων λιπαρών οξέων προκαλούν κάμψεις στις ανθρακικές αλυσίδες, με αποτέλεσμα το "πακετάρισμα" των μορίων να είναι πιο χαλαρό και τα ακόρεστα λίπη να είναι υγρά σε συνηθισμένες συνθήκες.

### Φωσφολιπίδια

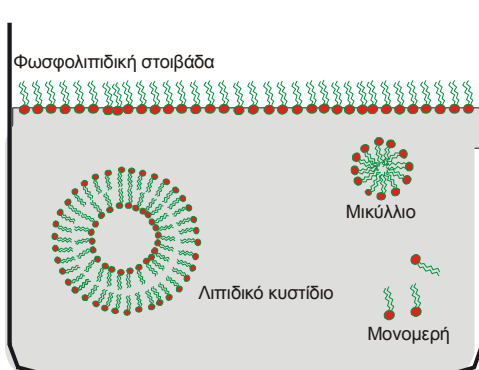
Τα πιο διαδεδομένα φωσφολιπίδια προκύπτουν από την ένωση δύο λιπαρών οξέων στο μόριο της γλυκερόλης και μιας φωσφορικής ομάδας συνδεδεμένης με ένα πολικό μόριο (βλ. εικόνα 2.6).



**Εικόνα 2.6** Χημικός τύπος ενός φωσφολιπιδίου της κυτταρικής μεμβράνης. Το μόριο έχει υδρόφιλη κεφαλή, και δύο μακριές υδρόφοβες ανθρακικές αλυσίδες.

Λόγω της δομής που έχουν τα φωσφολιπίδια εμφανίζουν μια ιδιότυπη συμπεριφορά, όταν προστεθούν στο νερό. Παραμένουν στην

επιφάνειά του και σχηματίζουν μια λεπτή στοιβάδα, στην οποία οι υδρόφιλες ομάδες βυθίζονται μέσα στο νερό και οι υδρόφοβες προβάλλουν έξω από την ελεύθερη επιφάνειά του. Αν παρόλ' αυτά τα φωσφολιπίδια διοχετευθούν μέσα στη μάζα του νερού, τότε οι υδρόφοβοι δεσμοί που αναπτύσσονται, οδηγούν στο σχηματισμό σφαιρικών δομών, όπως τα **μικύκλια** και τα **λιπιδικά κυστίδια** (βλ. εικόνα 2.7). Η διαφορά μεταξύ μικκυλίων και κυστιδίων βρίσκεται στο ότι τα κυστίδια περιέχουν νερό στο εσωτερικό τους. Το γεγονός αυτό αναγκάζει τα φωσφολιπίδια να σχηματίσουν διπλοστοιβάδα (**φωσφολιπιδική διπλοστοιβάδα**), ούτως ώστε οι υδρόφοβες ομάδες να "κρύβονται" στο εσωτερικό της και οι υδρόφιλες να βυθίζονται στο νερό, είτε εσωτερικά είτε εξωτερικά της διπλοστοιβάδας. Η ιδιότητα αυτή των φωσφολιπιδίων είναι πολύ σημαντική για το σχηματισμό και τη λειτουργία της κυτταρικής μεμβράνης, η οποία αποτελείται κατά κύριο λόγο από φωσφολιπίδια. Το κύτταρο περιέχει σε μεγάλη αναλογία νερό και επίσης περιβάλλεται από νερό, οπότε προσομοιάζει με **λιπιδικό κυστίδιο**, στο οποίο η φωσφολιπιδική διπλοστοιβάδα αποτελεί την κυτταρική μεμβράνη και το εσωτερικό του λιπιδικού κυστιδίου αποτελεί το εσωτερικό του κυττάρου.



*Εικόνα 2.7 Συμπεριφορά φωσφολιπιδίων σε υδατικό περιβάλλον.*

### Στεροειδή

Το πιο σημαντικό στεροειδές είναι η **χοληστερόλη**. Η χοληστερόλη αποτελεί συστατικό της κυτταρικής μεμβράνης.

## Περίληψη

Το κύριο συστατικό των κυττάρων είναι το νερό. Κυρίαρχο ρόλο επίσης έχουν τα μακρομόρια που είναι πολυμερή, δηλαδή συντίθενται με την συνένωση πανομοιότυπων μορίων, των μονομερών. Η υγρή φυσική κατάσταση στις συνήθεις θερμοκρασίες, η μεγάλη διαλυτική ικανότητα και η μεγάλη θερμοχωρητικότητα του νερού οφείλονται στον σχηματισμό δεσμών υδρογόνων μεταξύ των μορίων του. Ανάλογα την συμπεριφορά τους ως προς την διάλυσή τους ή όχι στο νερό οι διάφορες ουσίες διαχωρίζονται σε υδρόφιλες και υδρόφοβες αντίστοιχα.

Οι πρωτεΐνες είναι πολυμερή από χημική άποψη. Οι δομικές τους μονάδες είναι μια σειρά από 20 αμινοξέα, τα οποία είναι ίδια για όλους τους οργανισμούς. Τα αμινοξέα ενώνονται μεταξύ τους με πεπτιδικούς δεσμούς και σχηματίζουν τις πολυπεπτιδικές αλυσίδες των πρωτεϊνών. Η μορφή στο χώρο των πρωτεϊνών έχει άμεση σχέση με το βιολογικό τους ρόλο. Οι σφαιρικές πρωτεΐνες έχουν κατά κανόνα λειτουργικό ρόλο, ενώ οι ινώδεις δομικό.

Μονοσακχαρίτες είναι ενώσεις που αποτελούνται από 3-8 άτομα άνθρακα μια κετονομάδα ή αλδεΐδομάδα και πολλές υδροξυλομάδες. Συνδέονται μεταξύ τους με γλυκοζιτικούς δεσμούς σχηματίζοντας δισακχαρίτες, ολιγοσακχαρίτες και πολυσακχαρίτες. Οι σημαντικότεροι πολυσακχαρίτες είναι το γλυκογόνο, το άμυλο, και η κυτταρίνη. Από την άποψη της Χημείας, οι πολυσακχαρίτες αυτοί είναι πολυμερή με δομική μονάδα τη γλυκόζη. Το άμυλο χρησιμεύει ως αποθήκη ενέργειας στους φυτικούς οργανισμούς ενώ το γλυκογόνο επιτελεί τον ίδιο ρόλο στους ζωικούς. Η κυτταρίνη είναι η πλέον διαδεδομένη στη φύση οργανική ουσία και χρησιμεύει ως δομικό υλικό του κυτταρικού τοιχώματος των φυτικών κυττάρων.

Τα νουκλεϊκά οξέα (DNA και RNA) είναι πολυμερή με δομική μονάδα το νουκλεοτίδιο. Το DNA έχει την δυνατότητα να μεταφέρει την γενετική πληροφορία από ένα κύτταρο στους απογόνους του και αν την ενεργοποιεί με τη βοήθεια του RNA δημιουργώντας πρωτεΐνες.

## Ερωτήσεις

1. Η ουσία ή οι ουσίες με τη μεγαλύτερη % w/v περιεκτικότητα στο κύτταρο είναι:  
α. οι πρωτεΐνες  
β. το νερό  
γ. τα διάφορα μακρομόρια  
δ. τα διάφορα ανόργανα άλατα
2. Πως δικαιολογείται η διπολικότητα του μορίου του νερού;
3. Ο δεσμός υδρογόνου στο νερό σχηματίζεται με έλξη μεταξύ  
α. των οξυγόνων δύο γειτονικών μορίων νερού  
β. των υδρογόνων δύο γειτονικών μορίων νερού  
γ. μεταξύ του οξυγόνου ενός μορίου και του υδρογόνου του γειτονικού μορίου  
δ. μεταξύ των υδρογόνων του ίδιου μορίου νερού
4. Πώς δικαιολογείται η μεγάλη θερμοχωρητικότητα του νερού;
5. Πότε μια ουσία χαρακτηρίζεται ως υδρόφιλη και πότε ως υδρόφοβη;
6. Ποιες από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστές (Σ) και ποιες λάθος (Λ);  
α. Στο μόριο του νερού η πλευρά του μορίου προς την οποία εκτείνεται το οξυγόνο είναι αρνητικά φορτισμένη.  
β. Σε μια ποσότητα νερού, κάθε μόριο νερού είναι συνδεδεμένο με δεσμούς υδρογόνου μόνο με ένα άλλο μόριο νερού.  
γ. Οι ομοιοπολικοί δεσμοί και οι δεσμοί υδρογόνου είναι ισότιμοι από πλευράς ισχύος.  
δ. Η σχετικά μεγάλη απαίτηση ενέργειας για να χαλαρώσουν οι δεσμοί μεταξύ των μορίων του νερού είναι το αίτιο που το νερό εμφανίζει μεγάλη θερμοχωρητικότητα.  
ε. Το υδρόφιλα μόρια γενικά δεν εμφανίζουν πολικότητα.  
στ. Ιχνοστοιχεία καλούνται τα στοιχεία που βρίσκονται σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις μέσα στα κύτταρα.
7. Ποιος ο γενικός συντακτικός τύπος των αμινοξέων; Σε ποιες κατηγορίες διακρίνονται τα αμινοξέα ανάλογα την φύση της πλευρικής τους αλυσίδας;
8. Δύο αμινοξέα με χημικό τύπο  $H_2N-CH_2-COOH$  (γλυκίνη) συνδέονται μεταξύ τους σχηματίζοντας ένα διπεπτιδιο. α) Πώς ονομάζεται ο δεσμός, που συνδέει μεταξύ τους τις δύο γλυκίνες; β) Ποιος είναι ο χημικός τύπος του διπεπτιδίου που σχηματίζεται;
9. Τι είναι οι μονοσακχαρίτες και με ποιους τρόπους τους ταξινομούμε;



## 3. ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ – ΒΙΟΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ

### 3.1 Γενικά χαρακτηριστικά του μεταβολισμού

Όλες οι δραστηριότητες των κυττάρων και κατ' επέκταση των οργανισμών στους οποίους ανήκουν, απαιτούν ενέργεια. Οι περισσότερες από αυτές τις δραστηριότητες καταναλώνουν επιπλέον και ειδικές χημικές ουσίες, όπως είναι τα βιομόρια και τα δομικά υλικά τους. Την ενέργεια και τα δομικά υλικά προσλαμβάνουν οι οργανισμοί από το περιβάλλον με την τροφή τους.

Μεγάλο ποσό από την ενέργεια και τα δομικά υλικά καταναλώνεται για τη σύνθεση των μακρομορίων, που αποτελούν τη δομή του κυττάρου. Πέρ' από αυτό, μεγάλα ποσά ενέργειας χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά ουσιών διαμέσου των μεμβρανών (ενεργητική μεταφορά), καθώς και για ιδιαίτερα ενεργοβόρες δραστηριότητες, όπως η κυτταρική διαίρεση και η παραγωγή μηχανικού έργου (π.χ. κατά την κολύμβηση, το τρέξιμο ή την πτήση).

Οι λειτουργίες των οργανισμών εξελίσσονται εξάλλου με ρυθμούς που συχνά μεταβάλλονται. Για παράδειγμα, σε έναν οργανισμό, το κύτταρο συνθέτει DNA μόνο κατά μια ορισμένη φάση του κύκλου του και όχι συνεχώς. Επίσης, ο ρυθμός, με τον οποίο διάφορες ουσίες μεταφέρονται διαμέσου των μεμβρανών, μεταβάλλεται ανάλογα με τις συνθήκες του περιβάλλοντος, όπως βέβαια και ο ρυθμός με τον οποίο ένας οργανισμός καταναλώνει ενέργεια για την κίνησή του. Ένα θηλαστικό καταναλώνει, για παράδειγμα, διαφορετικά ποσά ενέργειας, όταν κοιμάται απ' ότι όταν τρέχει γρήγορα.

Για να μπορέσει το κύτταρο και κατ' επέκταση ο οργανισμός να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις των δραστηριοτήτων του, ιδιαίτερα όταν αυτές δεν είναι δεδομένες, αλλά μεταβάλλονται συνεχώς, διαθέτει ένα οργανωμένο σύστημα βιοχημικών αντιδράσεων. Με το σύστημα αυτό των αντιδράσεων το κύτταρο διαχειρίζεται την ύλη και την ενέργεια, που προσλαμβάνει από το περιβάλλον. Το σύνολο των μεταβολών, υλικών

και ενεργειακών, που πραγματοποιούν αυτές οι αντιδράσεις αποτελούν το μεταβολισμό του κυττάρου.

### **3.1.1 Αναβολισμός - Καταβολισμός**

Η ανταλλαγή της ενέργειας με τη βοήθεια βιοχημικών αντιδράσεων γίνεται δυνατή, καθώς άλλες αντιδράσεις είναι ενδόθερμες, οπότε καταναλώνουν ενέργεια και άλλες είναι εξώθερμες, οπότε αποδίδουν ενέργεια. Ταυτόχρονα, με τις ίδιες αντιδράσεις γίνεται και η ανταλλαγή της ύλης, διότι άλλες από τις αντιδράσεις οικοδομούν πολύπλοκα μόρια από απλούστερα (π.χ. πρωτεΐνες από αμινοξέα) και άλλες αποικοδομούν πολύπλοκα μόρια σε πιο απλά (π.χ. μετατροπή της γλυκόζης σε  $\text{CO}_2$  και  $\text{H}_2\text{O}$ ). Σαν αποτέλεσμα, ο μεταβολισμός διακρίνεται σε αναβολισμό και καταβολισμό.

Ο **αναβολισμός** περιλαμβάνει τις βιοσυνθέσεις, δηλ. τις βιοχημικές αντιδράσεις κατά τις οποίες από απλούστερα μόρια συνθέτονται πολύπλοκότερα. Οι αντιδράσεις του αναβολισμού είναι σχεδόν πάντα ενδόθερμες και καταναλώνουν ενέργεια.. Τυπικές αναβολικές διαδικασίες είναι η σύνθεση πρωτεϊνών από αμινοξέα, η φωτοσύνθεση, με την οποία συνθέτεται γλυκόζη από  $\text{CO}_2$  και  $\text{H}_2\text{O}$  κ.ο.κ.

Ο **καταβολισμός** περιλαμβάνει τις βιοχημικές αντιδράσεις κατά τις οποίες πολύπλοκα μόρια διασπώνται σε απλούστερα. Οι αντιδράσεις του καταβολισμού είναι σχεδόν πάντα εξώθερμες και ελευθερώνουν ενέργεια. Τυπικές καταβολικές διαδικασίες είναι η διάσπαση των μακρομορίων στις δομικές τους μονάδες, όπως και η παραπέρα διάσπαση των δομικών μονάδων (αμινοξέων, γλυκόζης, λιπιδίων κλπ.) σε απλούστερα μόρια ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$  κτλ.).

Οι αντιδράσεις του μεταβολισμού (καταβολικές και αναβολικές) γίνονται ταυτόχρονα, κατά εκατοντάδες, μέσα στο μικρό όγκο του κυττάρου, με τη βοήθεια ενζύμων. Φανταστείτε όμως μέσα σ' αυτό το μικρό χώρο να συντίθεται ένα μακρομόριο, με τη διαδικασία του αναβολισμού και ύστερα από λίγο το μακρομόριο αυτό να αποσυντίθεται, με τη διαδικασία του καταβολισμού, χωρίς να προλάβει να επιτελέσει τον βιολογικό του ρόλο! Στην πραγματικότητα αυτό δε συμβαίνει ποτέ, διότι **το κύτταρο διαθέτει μηχανισμούς που ελέγχουν και ρυθμίζουν τις επιμέρους**

διαδικασίες του μεταβολισμού και έτσι τίποτε δεν συμβαίνει αν δεν υπάρχει ανάγκη.

### **3.1.2 Ο μεταβολισμός δεν επηρεάζει τη σταθερότητα του κυττάρου**

Οι εκατοντάδες αντιδράσεις που γίνονται όλες ταυτόχρονα κατά το μεταβολισμό του κυττάρου, δημιουργούν ίσως την εντύπωση ότι το κύτταρο μεταβάλλεται συνεχώς. Παρόλ' αυτά το ζωντανό κύτταρο διατηρεί πάντα μια αξιοθαύμαστη σταθερότητα, τόσο στη δομή, όσο και στη σύστασή του. Η διατήρηση της σταθερότητας του κυττάρου επιβάλλει πολλές φορές την κατανάλωση σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας. Η εφίδρωση είναι, για παράδειγμα, ένας μηχανισμός, που ο ανθρώπινος οργανισμός χρησιμοποιεί για να διατηρεί σταθερή τη θερμοκρασία του πληρώνοντας το ανάλογο ενεργειακό κόστος.

Η ιδιότητα των κυττάρων να διατηρούν σταθερή την κατάστασή τους ονομάζεται **ομοιόσταση**. Η ομοιόσταση φέρνει σαν αποτέλεσμα τη διατήρηση του κυττάρου σε μια διαρκή κατάσταση ισορροπίας.



## 3.2 Γενικά χαρακτηριστικά των βιοχημικών αντιδράσεων

Υπολογίζεται, ότι πριν από περίπου 3,8 δισεκατομμύρια χρόνια εμφανίστηκαν στη γη οι πρώτοι οργανισμοί. Οι οργανισμοί αυτοί επιβίωσαν χάρη στην ικανότητά τους να παίρνουν θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξη και τη συντήρησή τους, από τις χημικές ουσίες που υπήρχαν στο περιβάλλον εκείνη την εποχή. Αν και γνωρίζουμε πολύ λίγα για την ατμόσφαιρα εκείνης της εποχής, είναι βέβαιο ότι το οξυγόνο ήταν λιγότερο. Σήμερα το οξυγόνο βρίσκεται σε αφθονία στην ατμόσφαιρα της γης, και όπως γνωρίζουμε είναι απαραίτητο για τη λειτουργία της αναπνοής στη μεγάλη πλειοψηφία των οργανισμών.

Η αφθονία αυτού του πολύτιμου στοιχείου στην ατμόσφαιρα είναι αποτέλεσμα της δράσης των φωτοσυνθετικών οργανισμών (δηλ. των περισσότερων φυτών και κάποιων μικροοργανισμών). Οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί παράγουν συνεχώς οξυγόνο με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, η οποία μπορεί να περιγραφεί με την ακόλουθη απλή χημική εξίσωση:



Η εξίσωση αυτή αποτελεί τη συνολική αντίδραση της φωτοσύνθεσης. Με τη φωτοσύνθεση ελευθερώνεται οξυγόνο στην ατμόσφαιρα. Το οξυγόνο χρησιμοποιείται από τους οργανισμούς για την αναπνοή, μια διαδικασία που προμηθεύει τους οργανισμούς με το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας, που χρειάζονται για τις διάφορες λειτουργίες τους (π.χ. την κίνηση, τη συντήρηση, τον πολλαπλασιασμό κ.ά.).

Ταυτόχρονα, ο άνθρακας, που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα με την μορφή  $\text{CO}_2$ , ενσωματώνεται στη γλυκόζη, δηλ. μετατρέπεται σε οργανικό άνθρακα. Με τη μορφή αυτή, παίρνει μέρος σε μια αλυσίδα αντιδράσεων, που γίνονται στους οργανισμούς, και έχουν ως αφετηρία τη γλυκόζη. Μέσα απ' αυτές τις αντιδράσεις, ο άνθρακας μετατρέπεται σταδιακά σε  $\text{CO}_2$ , και τελικά επανέρχεται στην ατμόσφαιρα με την ανταλλαγή των αερίων, που γίνεται κατά την αναπνοή των οργανισμών.

*Βλέπουμε, λοιπόν, ότι οι οργανισμοί πραγματοποιούν χημικές αντιδράσεις, προκειμένου να επιτελέσουν τις λειτουργίες τους. Οι χημικές αντιδράσεις, που πραγματοποιούνται από τους ζωντανούς οργανισμούς, ονομάζονται **βιοχημικές αντιδράσεις**.*

### **3.2.1 Πού γίνονται οι βιοχημικές αντιδράσεις**

Είναι εύκολο να φανταστούμε ότι οι βιοχημικές αντιδράσεις που επιτελεί ένας μονοκύτταρος οργανισμός (π.χ. βακτήριο), λαμβάνουν χώρα στο κύτταρό του, αλλά αυτό είναι, σε γενικές γραμμές, αλήθεια και για τους πολυκύτταρους οργανισμούς. Έτσι, οι περισσότερες από τις βιοχημικές αντιδράσεις των πολυκύτταρων οργανισμών γίνονται στα κύτταρα, που τους αποτελούν, ενώ σχετικά λίγες γίνονται στο χώρο μεταξύ των κυττάρων (μεσοκυττάριος χώρος) ή σε κοιλότητες που σχηματίζουν διάφοροι ιστοί, π.χ. στο στομάχι ή το έντερο του ανθρώπου.

Οι αντιδράσεις της φωτοσύνθεσης γίνονται, για παράδειγμα, στα κύτταρα των πράσινων μερών των φυτών και συγκεκριμένα στους χλωροπλάστες αυτών των κυττάρων. Αντίθετα, οι αντιδράσεις διάσπασης των πρωτεϊνών των τροφών στα αμινοξέα που τις αποτελούν, γίνονται στο στομάχι και ολοκληρώνονται στο έντερο.

### **3.2.3 Διαφορές μεταξύ βιοχημικών και άλλων χημικών αντιδράσεων**

Οι χημικές αντιδράσεις της Οργανικής Χημείας, με τις οποίες μοιάζουν σε μεγάλο βαθμό οι βιοχημικές αντιδράσεις, γίνονται συνήθως σε οργανικούς διαλύτες (αιθέρα, χλωροφόρμιο, αιθανόλη κ.ά.) ή κάτω από υψηλή θερμοκρασία και πίεση ή ακόμη με τη βοήθεια οξέων, βάσεων ή άλλων δραστικών ενώσεων. Είναι φανερό ότι στις περισσότερες από τις συνθήκες που χρησιμοποιούμε σε ένα χημικό εργαστήριο, για να κάνουμε μια χημική αντίδραση, είναι αδύνατο να επιβιώσει ένα ζωντανό κύτταρο. Πώς είναι λοιπόν δυνατό να συμβαίνουν χημικές αντιδράσεις μέσα στο κύτταρο;

Στην πραγματικότητα οι βιοχημικές αντιδράσεις εξελίσσονται στο εσωτερικό του κυττάρου κάτω από πολύ ήπιες συνθήκες, δηλ. μέσα σε υδατικό περιβάλλον, σε pH πολύ κοντά στο 7 και σε θερμοκρασία πολύ κοντά στους 37°C. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, οι περισσότερες οργανικές αντιδράσεις δε θα προχωρούσαν με κάποια αξιοσημείωτη ταχύτη-

τα, αλλά οι βιοχημικές αντιδράσεις εξελίσσονται με πολύ μεγάλες ταχύτητες. Ο λόγος γι' αυτή τη σημαντική διαφορά είναι ότι οι βιοχημικές αντιδράσεις επιταχύνονται με τη βοήθεια ειδικών καταλυτών, **των ενζύμων**.

### 3.3 Ένζυμα - Οι βιολογικοί καταλύτες

Τα ένζυμα είναι πρωτεΐνες, οι οποίες με τη δράση τους επιταχύνουν τις βιοχημικές αντιδράσεις. Τα ένζυμα, όπως όλες οι πρωτεΐνες, έχουν μια αυστηρά καθορισμένη δομή στο χώρο, η οποία έχει μεγάλη σημασία για τη δράση τους.

Οι βιοχημικές αντιδράσεις θα μπορούσαν να γίνουν και χωρίς την παρουσία των ενζύμων. Με τη βοήθεια τους όμως, η ταχύτητά τους αυξάνει μέχρι και 100 εκατομμύρια φορές. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι αντιδράσεις που ολοκληρώνονται με την παρουσία ενζύμων μέσα σε ένα λεπτό, θα απαιτούσαν 32 μήνες για να ολοκληρωθούν χωρίς αυτά.

#### 3.3.1 Εξειδίκευση ενζύμων

Τα ένζυμα έχουν πολύ συγκεκριμένες προτιμήσεις για τις αντιδράσεις που καταλύουν. Στην πραγματικότητα, κάθε ένζυμο είναι σχεδόν απόλυτα εξειδικευμένο για την αντίδραση που καταλύει. Ως αποτέλεσμα, το κύτταρο διαθέτει πολλά διαφορετικά ένζυμα, προκειμένου να επιτελέσει τις διάφορες λειτουργίες του.

Η εξειδίκευση των ενζύμων δίνει στο κύτταρο τη δυνατότητα να παράγει διαφορετικά προϊόντα από το ίδιο αρχικό προϊόν, ανάλογα με τις ανάγκες του. Έτσι μεγιστοποιείται το όφελος από τα θρεπτικά συστατικά που παίρνει από το περιβάλλον, τα οποία, δεν είναι πάντοτε διαθέσιμα σε επαρκείς ποσότητες. Στην εικόνα 3.2, φαίνονται τα διαφορετικά προϊόντα που μπορεί να προκύψουν από ένα αμινοξύ, το οποίο τα κύτταρα είτε προσλαμβάνουν από το περιβάλλον με την τροφή τους, είτε το συνθέτουν.

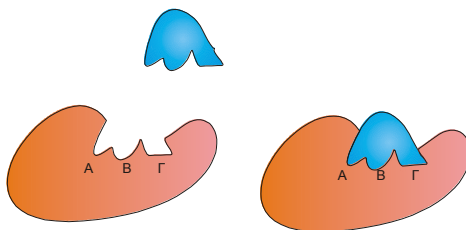


**Εικόνα 3.2** Τα αμινοξέα μπορούν να μετατραπούν σε μια σειρά από προϊόντα, ανάλογα με τις ανάγκες του κυττάρου. Καθεμιά από τις μετατροπές συντελείται σε ένα ή περισσότερα στάδια, τα οποία απαιτούν ένα ή περισσότερα ένζυμα.

### 3.3.2 Γενικός μηχανισμός ενζυμικών αντιδράσεων

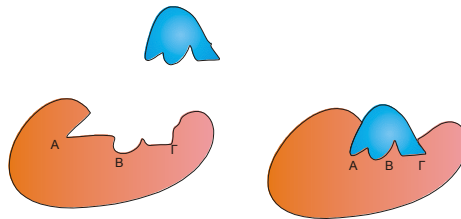
Η εξειδίκευση των ενζύμων είναι συνέπεια του μηχανισμού με τον οποίο καταλύουν μια αντίδραση. Το πρώτο βήμα αυτού του μηχανισμού είναι η δέσμευση των αντιδρώντων μορίων, ή των υποστρωμάτων, όπως λέγονται, από το ένζυμο.

Η δέσμευση γίνεται με την πρόσδεση των υποστρωμάτων σε ένα ειδικό σημείο του ενζύμου, που λέγεται **ενεργό κέντρο**. Το ενεργό κέντρο είναι μια εσοχή ή σχισμή, η οποία, όπως και το υπόλοιπο ένζυμο, έχει μια καθορισμένη τρισδιάστατη δομή. Εκεί μπορούν να εισχωρήσουν και να προσδεθούν τα μόρια που έχουν δομή συμπληρωματική προς τη δομή του ενεργού κέντρου. Αυτό γίνεται καλύτερα αντιληπτό, αν σκεφθούμε ότι η σύνδεση ενός υποστρώματος με το ενεργό κέντρο του ενζύμου παρομοιάζεται συχνά με το “ταίριασμα του κλειδιού στην κλειδαριά” (βλ. εικόνα 3.2). Όπως είναι φυσικό, κάθε κλειδαριά δέχεται μόνο ένα κλειδί, ή κλειδιά που μοιάζουν πάρα πολύ με το πρώτο, και έτσι κάθε περιοχή του ενεργού κέντρου μπορεί να δεσμεύσει μόνο μια χημική ουσία ή ουσίες με συγγενική δομή. Ως αποτέλεσμα, κάθε ένζυμο παρουσιάζει σχεδόν απόλυτη εξειδίκευση για την αντίδραση, που καταλύει.



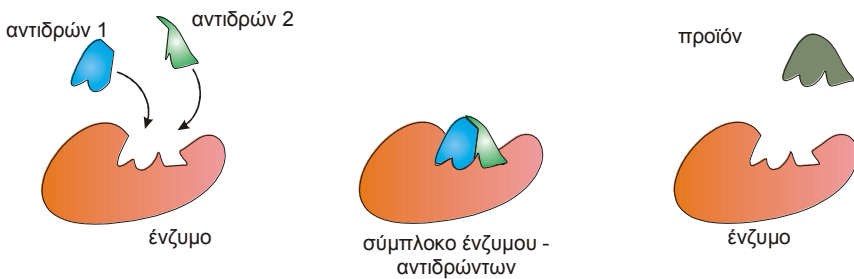
**Εικόνα 3.2** Μοντέλο κλειδιού - κλειδαριάς για την πρόσδεση υποστρώματος στο ενεργό κέντρο ενζύμου.

Σε ορισμένες περιπτώσεις η πρόσδεση του υποστρώματος στο ενεργό κέντρο προκαλεί αλλαγές στην τρισδιάστατη δομή του, οπότε το “ταίριασμα” προκύπτει μετά την πρόσδεση (βλ. εικόνα 3.3). Ο δεύτερος αυτός τρόπος δέσμευσης υποστρώματος από ενεργό κέντρο δεν υστερεί σε εξειδίκευση σε σχέση με τον πρώτο.



**Εικόνα 3.3** Το ταίριασμα υποστρώματος- ενεργού κέντρου ενζύμου μπορεί να προκύψει μετά την πρόσδεση του υποστρώματος.

Η πρόσδεση των υποστρωμάτων στο ένζυμο είναι το πρώτο βήμα για να προχωρήσει μια βιοχημική αντίδραση. Με την πρόσδεση, κάποιοι δεσμοί της αρχικής ουσίας εξασθενούν και σπάνε, δίνοντας την ευκαιρία να δημιουργηθούν νέοι δεσμοί, οι οποίοι σχηματίζουν το προϊόν της αντίδρασης. Το προϊόν ελευθερώνεται στη συνέχεια από το ενεργό κέντρο του ενζύμου, και το ένζυμο παραλαμβάνεται χωρίς καμιά μεταβολή έτοιμο να χρησιμοποιηθεί σε επόμενη αντίδραση (βλ. εικόνα 3.4).



**Εικόνα 3.4** Ενζυμική αντίδραση κατά την οποία δύο αντιδρώντα προσκολλώνται στο ενεργό κέντρο του ενζύμου και μετατρέπονται στο προϊόν.

## Περίληψη

Το σύνολο των αντιδράσεων με τις οποίες το κύτταρο διαχειρίζεται την ύλη και την ενέργεια, που προσλαμβάνει από το περιβάλλον αποτελούν το μεταβολισμό του κυττάρου. Ο μεταβολισμός διακρίνεται σε α) αναβολισμό, ο οποίος περιλαμβάνει αντιδράσεις κατά τις οποίες από απλούστερα μόρια συνθέτονται πολυπλοκότερα με κατανάλωση ενέργειας και β) καταβολισμό ο οποίος περιλαμβάνει αντιδράσεις κατά τις οποίες τα πολυπλοκότερα μόρια διασπώνται σε απλούστερα με απελευθέρωση ενέργειας.

Οι βιοχημικές αντιδράσεις εξελίσσονται στο εσωτερικό του κυττάρου κάτω από πολύ ήπιες συνθήκες, και αυτό γίνεται κατορθωτό με την βοήθεια των ενζύμων, που τις καταλύουν.

Τα ένζυμα είναι πρωτεΐνες, το καθένα από αυτά καταλύει μία μόνο ή μερικές ομοειδείς αντιδράσεις. Τα αντιδρώντα βιολογικά μόρια (υποστρώματα) προσδένονται στο ενεργό κέντρο του ενζύμου, εκεί οι δεσμοί αναδιατάσσονται με αποτέλεσμα να προκύπτουν τα αντιδρώντα τα οποία αποσπώνται από το ένζυμο, το οποίο είναι έτοιμο να υποδεχτεί άλλα αντιδρώντα.

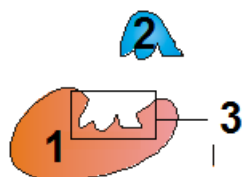
## Ερωτήσεις

1. Ο καταβολισμός περιλαμβάνει ...
  - α. συνήθως αντιδράσεις οι οποίες απαιτούν ενέργεια
  - β. αντιδράσεις κατά τις οποίες από απλούστερα μόρια συνθέτονται πολυπλοκότερα.
  - γ. το σύνολο των αντιδράσεων που γίνονται σε ένα οργανισμό.
  - δ. αντιδράσεις κατά τις οποίες τα πολυπλοκότερα μόρια διασπώνται σε απλούστερα
2. Ποιες οι διαφορές ως προς το είδος των αντιδράσεων και ως προς την διαχείριση της ενέργειας στο κύτταρο μεταξύ αναβολισμού και καταβολισμού;
3. Ποιος είναι ο λόγος που το κύτταρο ελέγχει και ρυθμίζει το μεταβολισμό του;
4. Η ιδιότητα των κυττάρων να διατηρούν σταθερή την κατάστασή τους ονομάζεται...
  - α. βιοσύνθεση
  - β. μεταβολισμός
  - γ. ομοιόσταση
  - δ. ενεργητική μεταφορά
5. Οι αντιδράσεις που πραγματοποιούνται από τους ζωντανούς οργανισμούς, ονομάζονται...

α. βιοχημικές  
γ. ανόργανες

β. οργανικές  
δ. καταλυτικές

6. Ποια αντίδραση περιγράφει σε συντομία την φωτοσύνθεση; Σε ποιους οργανισμούς πραγματοποιείται η αντίδραση αυτή και ποια η σημασία της αντίδρασης αυτής για την σημερινή σύσταση της ατμόσφαιρας;
7. Ποιες οι διαφορές των βιοχημικών αντιδράσεων σε σχέση με τις τυπικές χημικές αντιδράσεις ως προς το χώρο και τις συνθήκες που αυτές πραγματοποιούνται;
8. Τι είναι από χημικής άποψης τα ένζυμα και γιατί λέμε ότι έχουν εξειδικευμένη δράση;
9. Ποια μοντέλα εξηγούν τον μηχανισμό δράσης των ενζύμων κατά τις βιοχημικές αντιδράσεις στις οποίες συμμετέχουν;
10. Αντιστοιχείστε τους αριθμούς του σχήματος με τις έννοιες:



- α. υπόστρωμα  
β. ένζυμο  
γ. ενεργό κέντρο ενζύμου

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: Απαντήσεις κλειστών ερωτήσεων

### Κεφάλαιο 2: Χημική σύσταση του κυττάρου

1. β  
3. γ  
6. Σ, Λ, Λ, Σ, Λ, Σ  
8. α) πεπτιδικός δεσμός. β)  $H_2N-CH_2-CO-HN-CH_2-COOH$   
10. γ  
13. DNA και RNA, νουκλεοτίδια  
15. Κατά σειρά: Β, Α, 1, 4, 2, 3.

### Κεφάλαιο 3: Μεταβολισμός – Χημικές αντιδράσεις

1. δ  
4. γ  
5. α  
10. α:2, β:1, γ:3