

A pond with water lilies and duckweed. The water is dark, and the lily pads are green. There are several pink water lilies in bloom. The duckweed is a small, green, floating plant that covers much of the water's surface.

ΓΕΝΙΚΗ ΒΟΤΑΝΙΚΗ

Διδάσκοντες:

Γιώργος Αϊβαλάκης, Επίκουρος Καθ.

Γιώργος Καραμπουρνιώτης, Αναπληρωτής Καθ.


Κώστας Ξασσέας, Αναπληρωτής Καθ.


Διάρθρωση του μαθήματος

- Κώστας Φασσέας Κεφάλαια: 1,2,3,6,8
- Γιώργος Αϊβαλάκης Κεφάλαια: 4, 7
- Γιώργος Καραμπουρνιώτης Κεφάλαια: 5, 9,10, 11, 12



φυτικός οργανισμός 

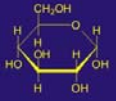
όργανα 

ιστοί 

κύτταρα 

οργανίδια 

μεμβράνες 

μόρια 

άτομα $^{16}_8\text{O}$ 



συντονισμός λειτουργιών



συντονισμός αντιδράσεων - διεξαγωγή λειτουργιών



διαμερισματοποίηση αντιδράσεων



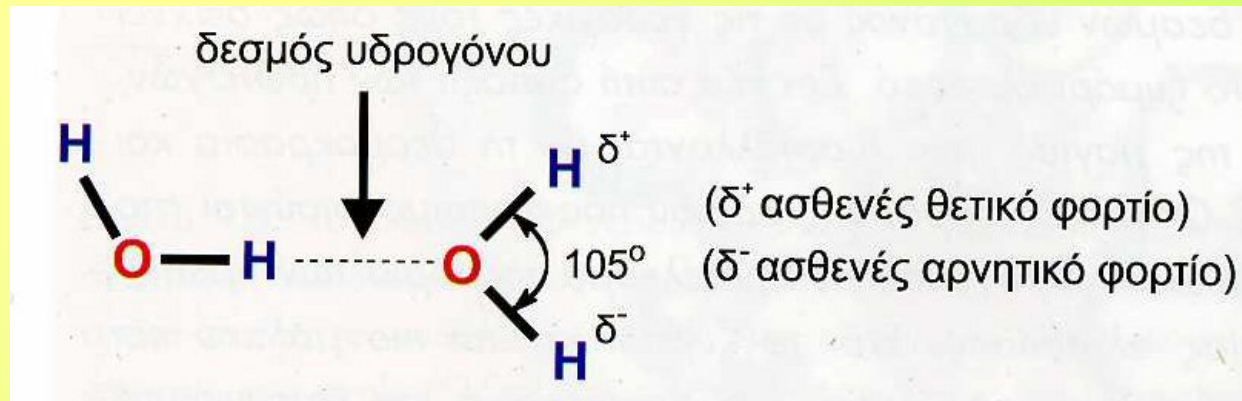
αντιδράσεις

Η ζωή στηρίζεται στην ύπαρξη ολιγάριθμων ανόργανων χημικών στοιχείων

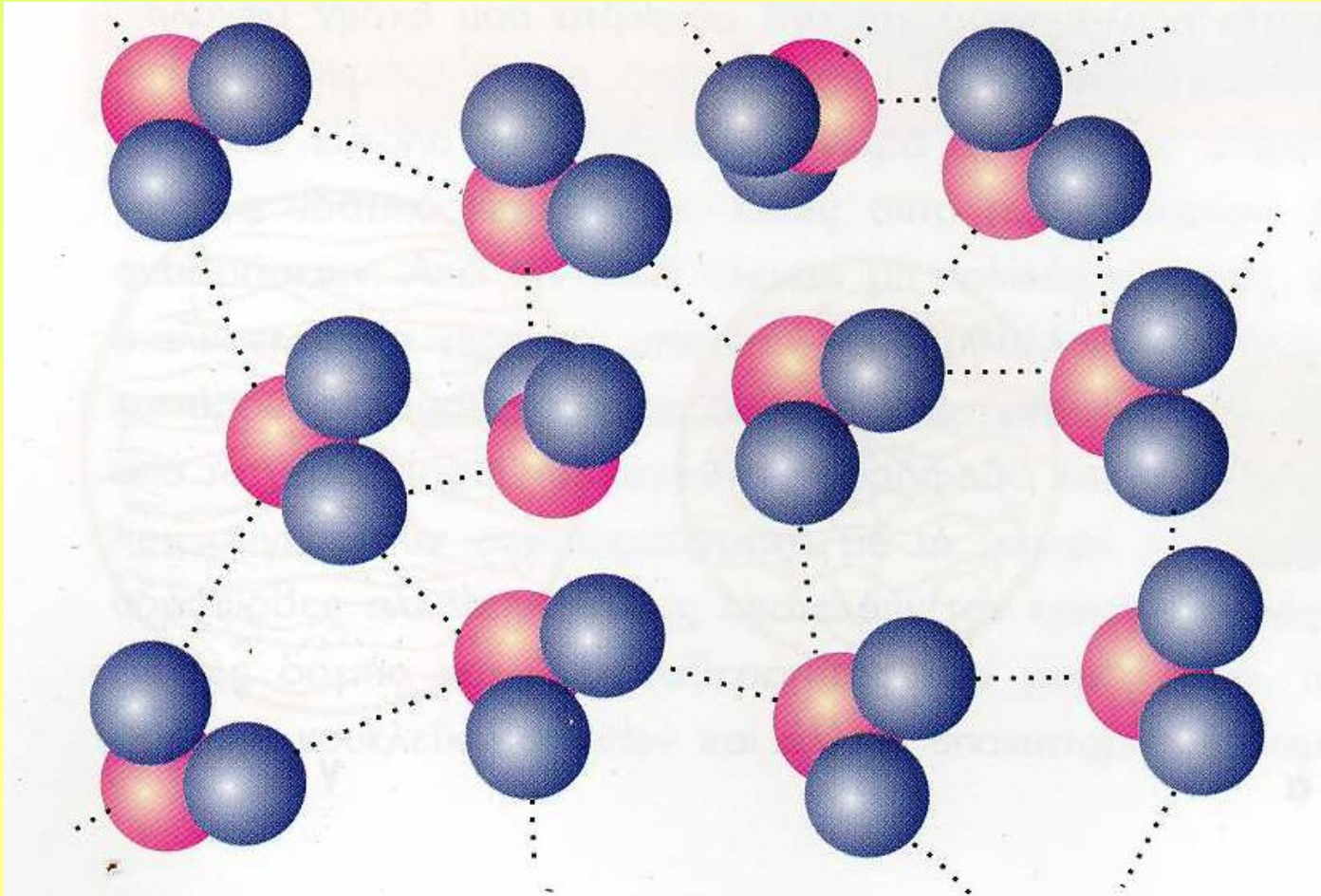
- Από τα 92 στοιχεία που απαντώνται στη φύση μόνο 17 θεωρούνται απαραίτητα για τα φυτά.
- Τέσσερα από αυτά, που είναι το υδρογόνο (H_2), το οξυγόνο (O_2), ο άνθρακας (C) και το άζωτο (N_2), συνιστούν το 99% της μάζας του σώματος των φυτών.
- Οι κύριες κατηγορίες οργανικών ενώσεων είναι:
 - οι υδατάνθρακες,
 - οι πρωτεΐνες,
 - τα νουκλεϊκά οξέα και
 - τα λιπίδια.

Το νερό

- Είναι απαραίτητο για την ύπαρξη ζωής.
- Το νερό έχει μοναδικές φυσικές και χημικές ιδιότητες οι οποίες οφείλονται στο ότι:
 - Το μόριο δεν είναι γραμμικό και κατά συνέπεια συμπεριφέρεται ως δίπολο.
 - Τα μόρια μεταξύ τους σχηματίζουν δεσμούς υδρογόνου.



Κάθε μόριο νερού σχηματίζει μέχρι τέσσερις δεσμούς υδρογόνου με τα γειτονικά μόρια, ανάλογα με τη θερμοκρασία και πίεση.



Οι φυσικοχημικές ιδιότητες του νερού

- Είναι καλός διαλύτης.
- Παρουσιάζει υψηλή ειδική θερμότητα και επομένως έχει μεγάλη θερμοχωρητικότητα.
- Διαθέτει υψηλή λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης.
- Παρουσιάζει υψηλά σημεία πήξης και βρασμού.
- Παρουσιάζει ιδιόμορφη συμπεριφορά κατά τη δημιουργία πάγου.
- Διαθέτει υψηλή δύναμη συνοχής και συνάφειας.
- Λαμβάνει μέρος σε πολυάριθμες βιοχημικές αντιδράσεις.
- Είναι διαφανές στην ορατή ακτινοβολία.
- Παρουσιάζει υψηλή αντοχή στην τάση και είναι ασυμπίεστο.

Οργανικές ενώσεις, τα μόρια της ζωής

- Οι βασικές οικογένειες οργανικών μορίων των οργανισμών είναι:
 - οι υδατάνθρακες
 - τα λιπαρά οξέα
 - τα αμινοξέα και
 - τα νουκλεοτίδια

Οι υδατάνθρακες, οι αφθονότερες οργανικές ουσίες των φυτών.

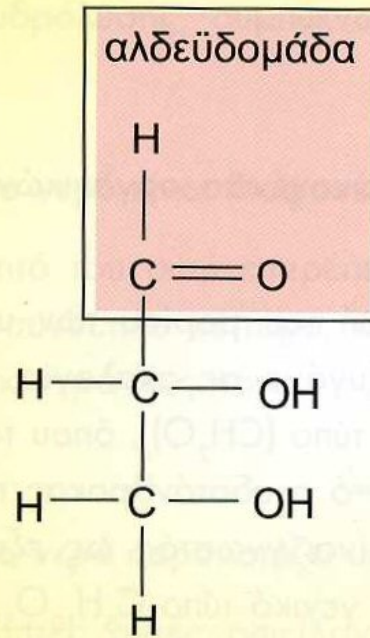
- Αποτελούνται από C, H και O₂, σε αναλογία 1:2:1.
- Ο γενικός τύπος ενός απλού σακχάρου έχει το γενικό τύπο (CH₂O)_n όπου το n διαφέρει από υδατάνθρακα σε υδατάνθρακα.
- Αν το n=6, ο υδατάνθρακας που προκύπτει είναι είναι C₆H₁₂O₆ μια εξόζη όπως η γλυκόζη.

Τα μονοσάκχαρα - οι πολυσακχαρίτες

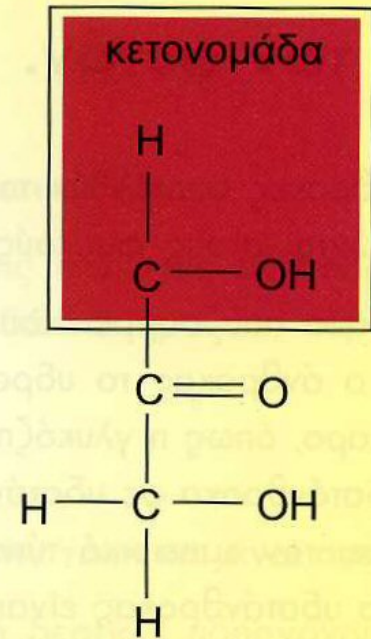
- Μερικά από τα μονοσάκχαρα είναι η γλυκόζη, η φρουκτόζη κλπ και παίρνουν μέρος ως ενδιάμεσοι μεταβολίτες σε λειτουργίες όπως η φωτοσύνθεση και η αναπνοή.
- Οι πολυσακχαρίτες έχουν αποταμιευτικό ή δομικό ρόλο με συνηθέστερους το άμυλο και την κυτταρίνη.

Αλδόζες και κετόζες

Όλα τα μονοσάκχαρα είναι είτε αλδόζες είτε κετόζες.



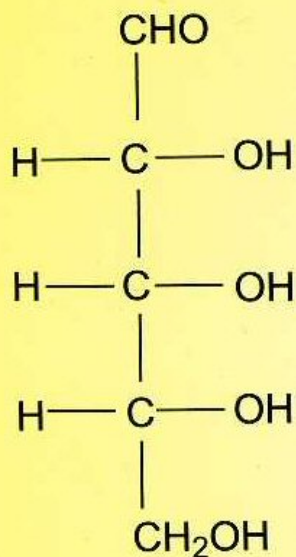
γλυκεριναλδεΐδη



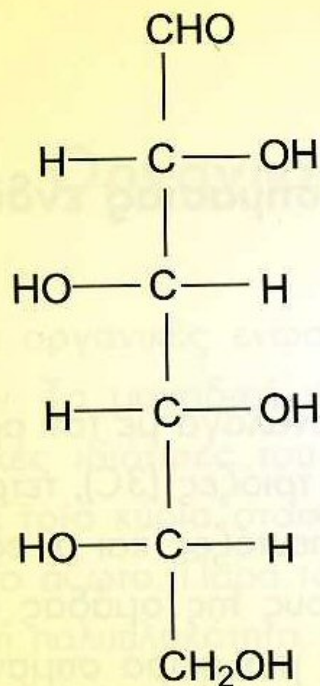
διυδροξυακετόνη

Εικόνα 1.7. Οι συντακτικοί τύποι μιας αντιπροσωπευτικής αλδόζης και μιας κετόζης.

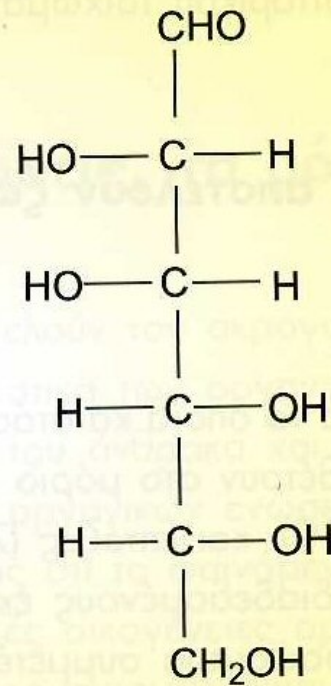
Ορισμένες από τις πλέον διαδεδομένες αλδόζες.



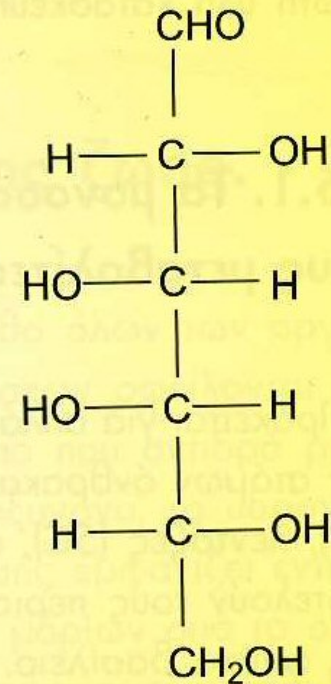
ριβόζη



γλυκόζη



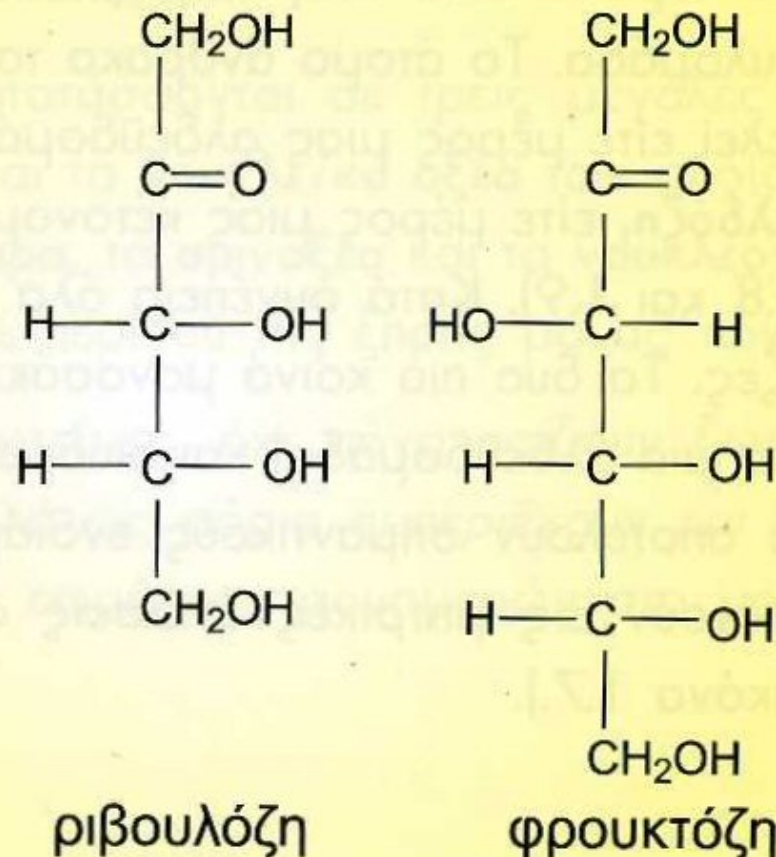
μαννόζη



γαλακτόζη

Εικόνα 1.8. Ορισμένες ευρέως διαδεδομένες αλδόζες

Ορισμένες από τις πλέον διαδεδομένες κετόζες



Εικόνα 1.9. Οι πλέον
διαδεδομένες κετόζες

Ορισμένοι χαρακτηριστικοί αντιπρόσωποι των μονοσακχάρων και οι λειτουργίες στις οποίες συμμετέχουν

Τριόζες $C_3H_6O_3$ π.χ. γλυκεριναλδεύδη, διυδροξυακετόνη
Ενδιάμεσοι μεταβολίτες στην αναπνοή (βλ. γλυκόλυση), φωτοσύνθεση (κύκλος Calvin) και σε μεταβολικές πορείες βιοσύνθεσης ή υδρόλυσης. Επίσης ως συστατικά των λιπιδίων.
Γλυκεριναλδεύδη > γλυκερόλη > τριγλυκερίδιο (λιπίδιο).

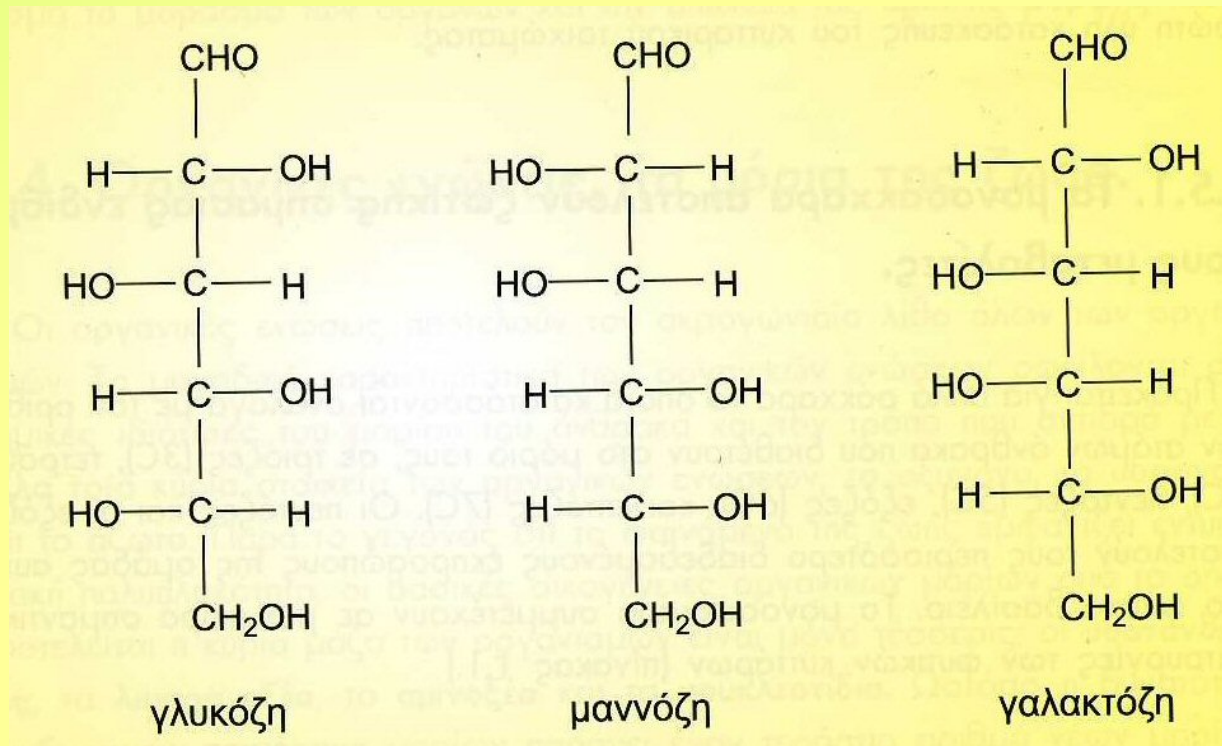
Τετρόζες $C_4H_8O_4$, π.χ. ερυθρόζη
Ενδιάμεσος μεταβολίτης στις σκοτεινές αντιδράσεις της φωτοσύνθεσης.

Πεντόζες $C_5H_{10}O_5$ π.χ. ριβόζη, ριβουλόζη
Ως συστατικά των νουκλεϊκών οξέων (η ριβόζη είναι συστατικό του RNA και η δεοξυριβόζη του DNA).
Ως συστατικά ορισμένων συνενζύμων όπως τα NAD, NADP, συνένζυμο A (CoA), FAD, FMN.
Ως συστατικά του AMP, ADP και ATP.
Ως συστατικά πολυσακχαριτών που ονομάζονται πεντοζάνες.
Η διφωσφορική ριβουλόζη αποτελεί το δέκτη CO_2 στη C_3 φωτοσύνθεση

Εξόζες $C_6H_{12}O_6$ π.χ. γλυκόζη, φρουκτόζη, γαλακτόζη, μαννόζη.
Πηγές ενέργειας όταν οξειδώνονται κατά την αναπνοή. Η γλυκόζη αποτελεί το συνηθέστερο αναπνευστικό υπόστρωμα και το πλέον διαδεδομένο μονοσάκχαρο.
Σύνθεση **ολιγοσακχαριτών** με συνένωση 2-10 μονοσακχαριτών, με συνηθέστερους τους δισακχαρίτες που αποτελούνται από δύο μονοσάκχαρα.
Σύνθεση **πολυσακχαριτών** με συνένωση μονοσακχαριτών, με συνηθέστερη τη γλυκόζη.

Η ισομέρεια παίζει σημαντικό ρόλο σε μεταβολικές διαδικασίες

- Η δομική στερεοϊσομέρεια οφείλεται στο διαφορετικό τρόπο που συνδέονται οι υποκαταστάτες για τον κεντρικό κόρμο του μορίου των μονοσακχάρων π.χ.



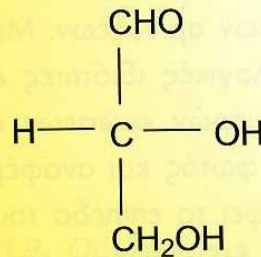
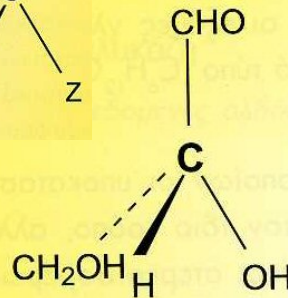
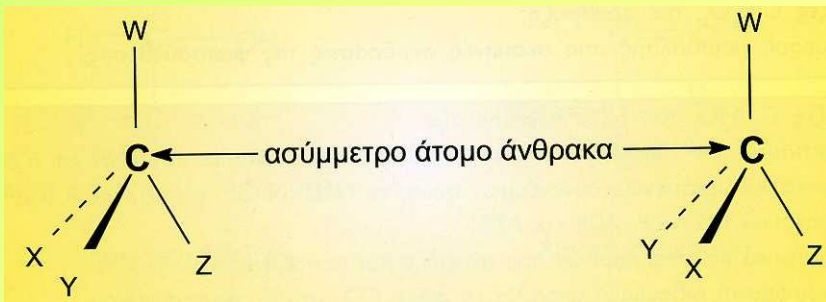
Αυτές οι εξόζες έχουν όλες τον ίδιο εμπειρικό τύπο $C_6H_{12}O_6$ ωστόσο τα μόρια τους είναι διαφορετικά

Η στερεοϊσομέρεια μπορεί να είναι γεωμετρική ή οπτική

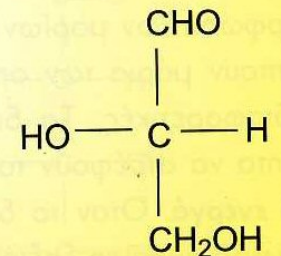
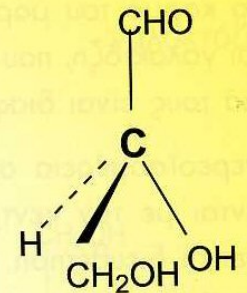
- Η οπτική ισομέρεια φαίνεται να παίζει σημαντικότερο ρόλο στη διαμόρφωση των μορίων των μονοσακχάρων και των αμινοξέων.
- Οπτικά ενεργά είναι τα διαλύματα στερεοϊσομερών ενώσεων που έχουν την ικανότητα να στρέφουν το επίπεδο του πολωμένου φωτός.
- Δεξιόστροφες (D- ή +) και αριστερόστροφες (L- ή -) ενώσεις.

Οι οπτικά ισομερείς ενώσεις απαντώνται σε δυο αντικατοπτρικές μορφές με σχέση ειδώλου - αντικειμένου.

Ασύμμετρο άτομο άνθρακα

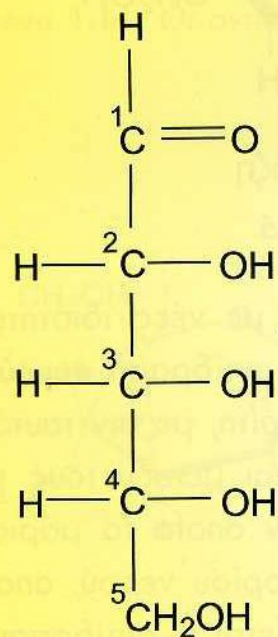


D(+)- γλυκεριναλδεϋδη

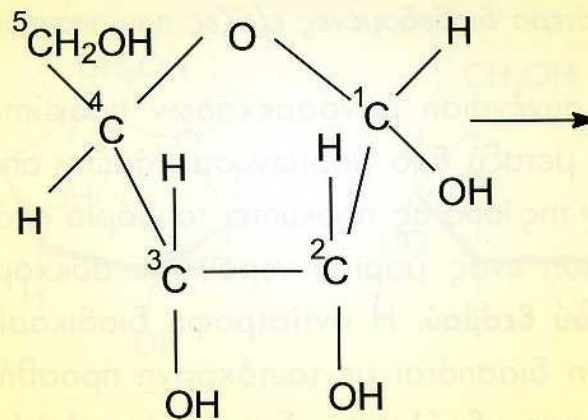
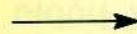


L(-)- γλυκεριναλδεϋδη

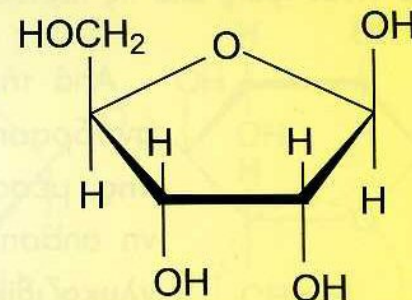
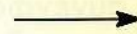
Υπάρχουν διάφοροι τρόποι αναγραφής των χημικών τύπων όπως το πιο κάτω παράδειγμα



D-ριβόζη



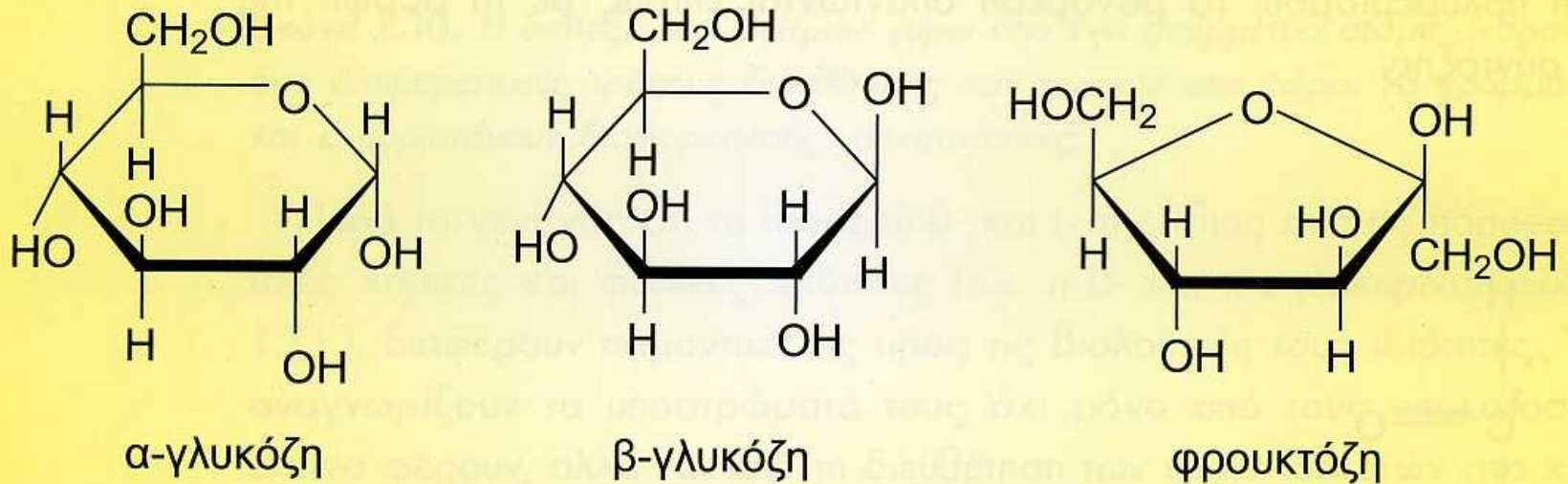
D-ριβόζη με πενταμελή δακτύλιο φουρανόζης



συμβατικός στερεοχημικός τύπος της ριβόζης

Εικόνα 1.12. Τρεις διαφορετικοί τρόποι αναγραφής του χημικού τύπου της ριβόζης. Αριστερά η γραμμική σύνταξη.

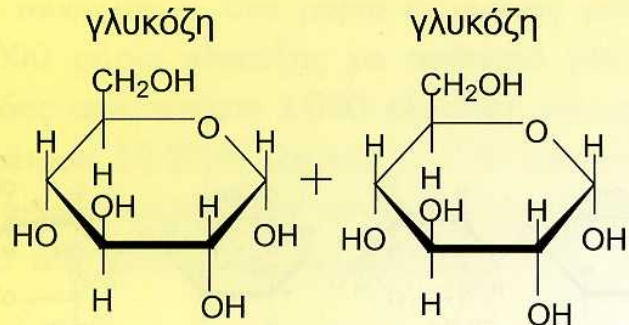
Η ισομέρεια α- και β- στα σάκχαρα, σχετίζεται με τη θέση των υδροξυλομάδων σε σχέση με το επίπεδο που ορίζει ο δακτύλιος.



Εικόνα 1.13. Τρεις από τις περισσότερο διαδεδομένες εξόζες που απαντώνται στα φυτά.

- Η ισομέρεια αυτού του τύπου έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή πολυμερών με πολύ διαφορετικές χημικές και φυσικές ιδιότητες (άμυλο - κυτταρίνη).

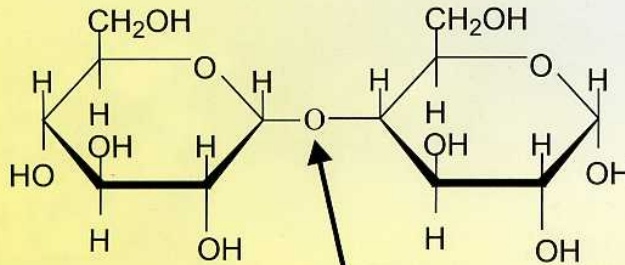
Συμπύκνωση - υδρόλυση 1-4 γλυκοζιδικός δεσμός



συμπύκνωση

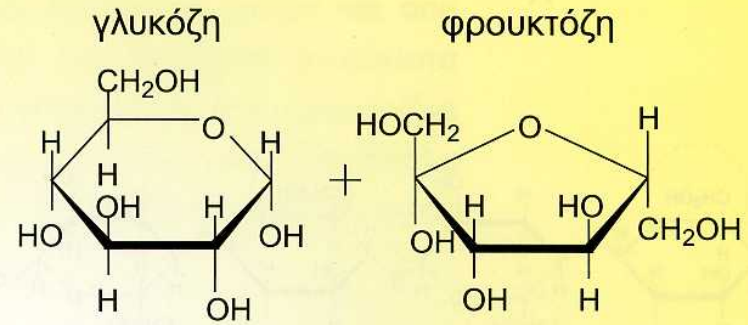


υδρόλυση



μαλτόζη

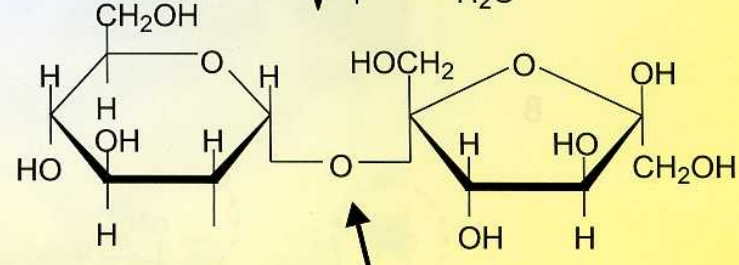
1-4 γλυκοζιδικός δεσμός



συμπύκνωση



υδρόλυση

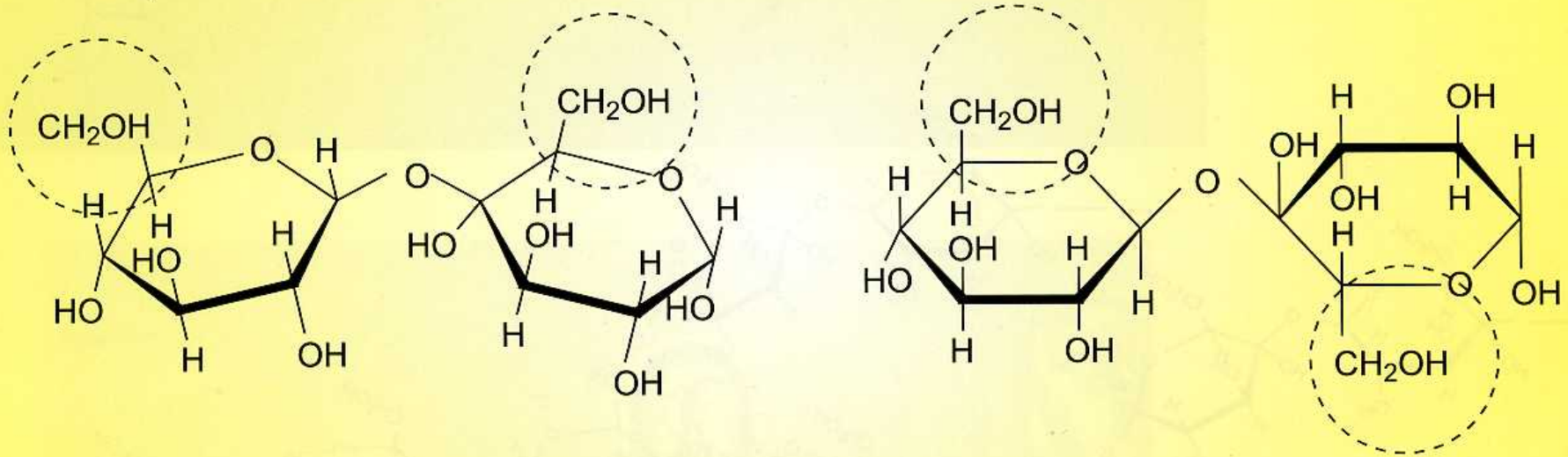


σακχαρόζη

1-4 γλυκοζιδικός δεσμός

Εικόνα 1.14. Οι αντιδράσεις υδρόλυσης και συμπύκνωσης της μαλτόζης και της σακχαρόζης.

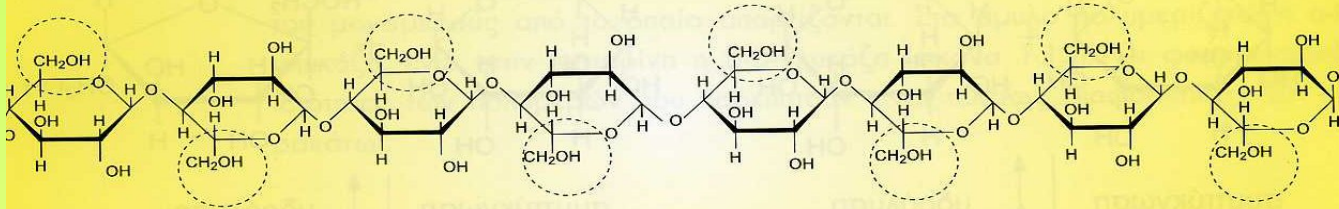
Πως προκύπτουν οι διαφορετικές αλυσίδες κατά τον πολυμερισμό μονοσακχάρων



Εικόνα 1.15. Η συμπύκνωση των δυο διαφορετικών ισομερών μορφών γλυκόζης (α -D-γλυκόζης, αριστερά και β -D-γλυκόζης, δεξιά) δημιουργεί αλυσίδες μονομερών με διαφορετική διεύθυνση στο χώρο και μπορούν να προκύψουν πολυσακχαρίτες με διαφορετικές φυσικοχημικές ιδιότητες.

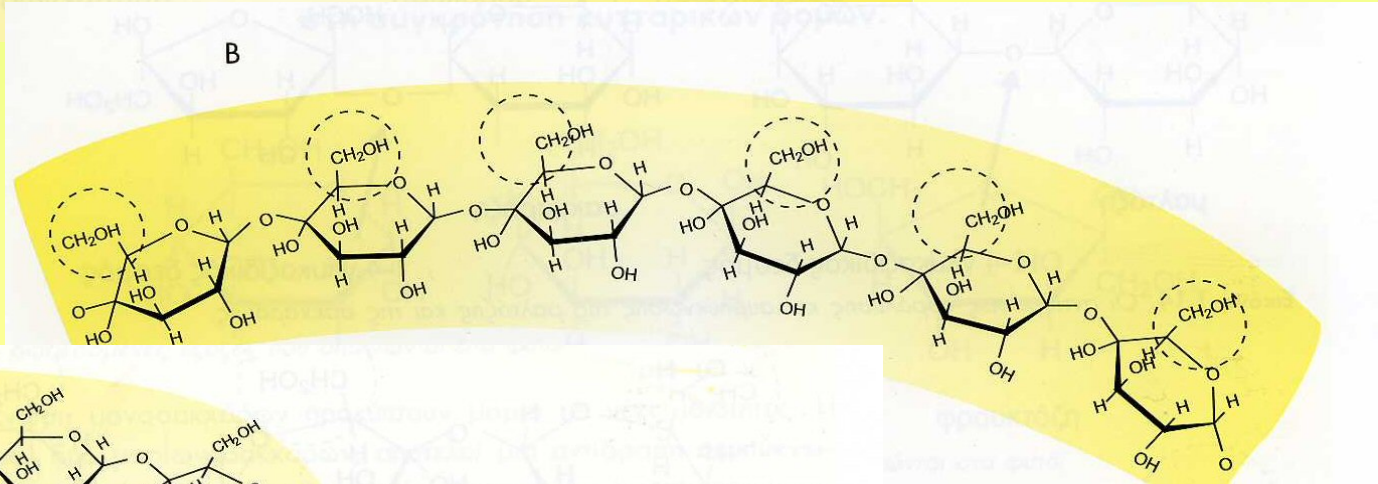
Οι τρεις πιο κοινί πολυσακχαρίτες στα φυτά

A



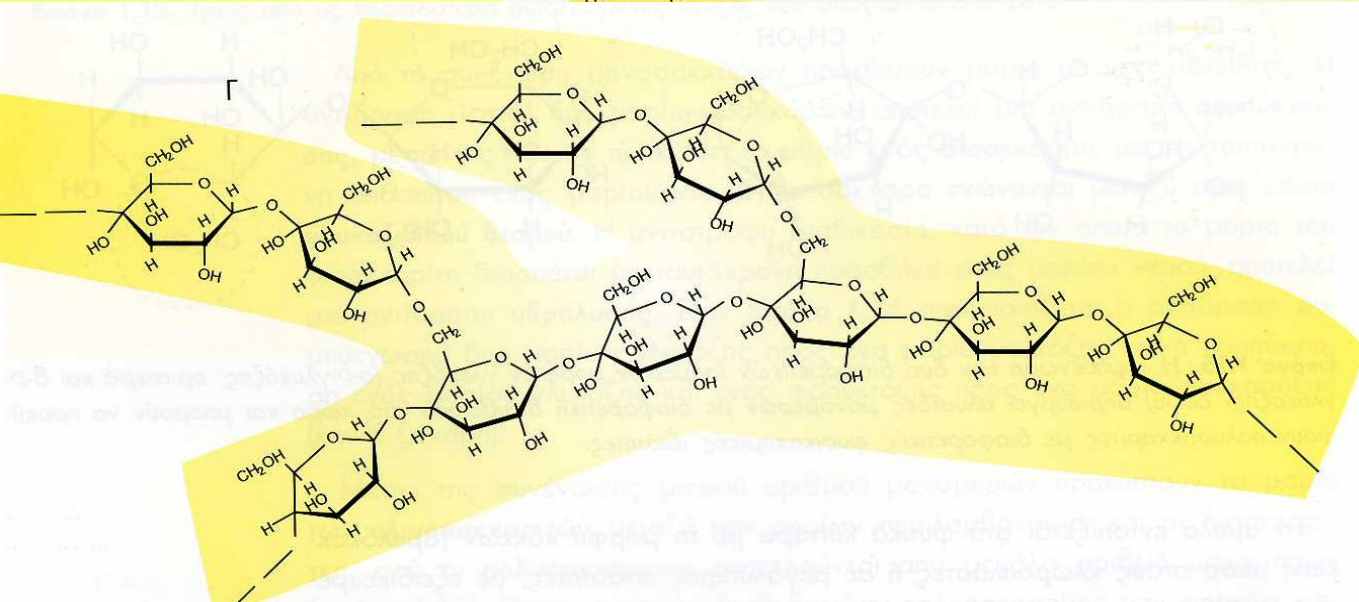
ΚΥΤΤΑΡΙΝΗ

B

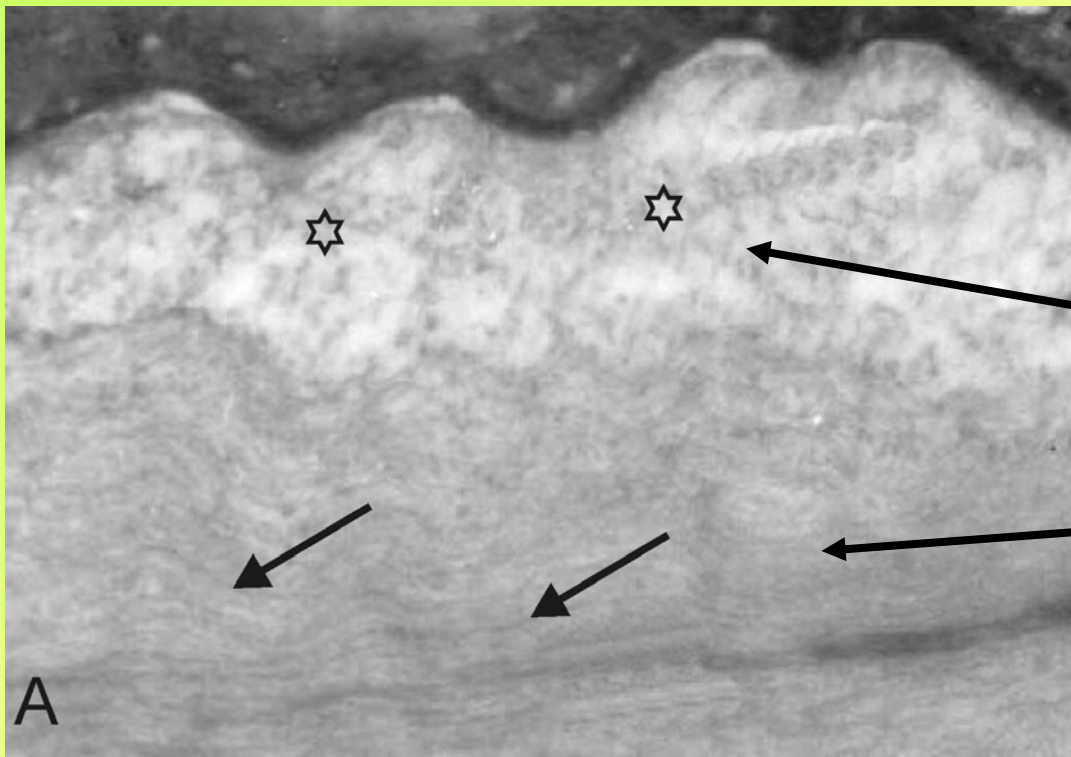


αμυλόζη

Γ



αμυλοπηκτίνη



Το κυτταρικό τοίχωμα με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο διέλευσης

ημικυτταρίνη

μικροϊνίδια κυτταρίνης

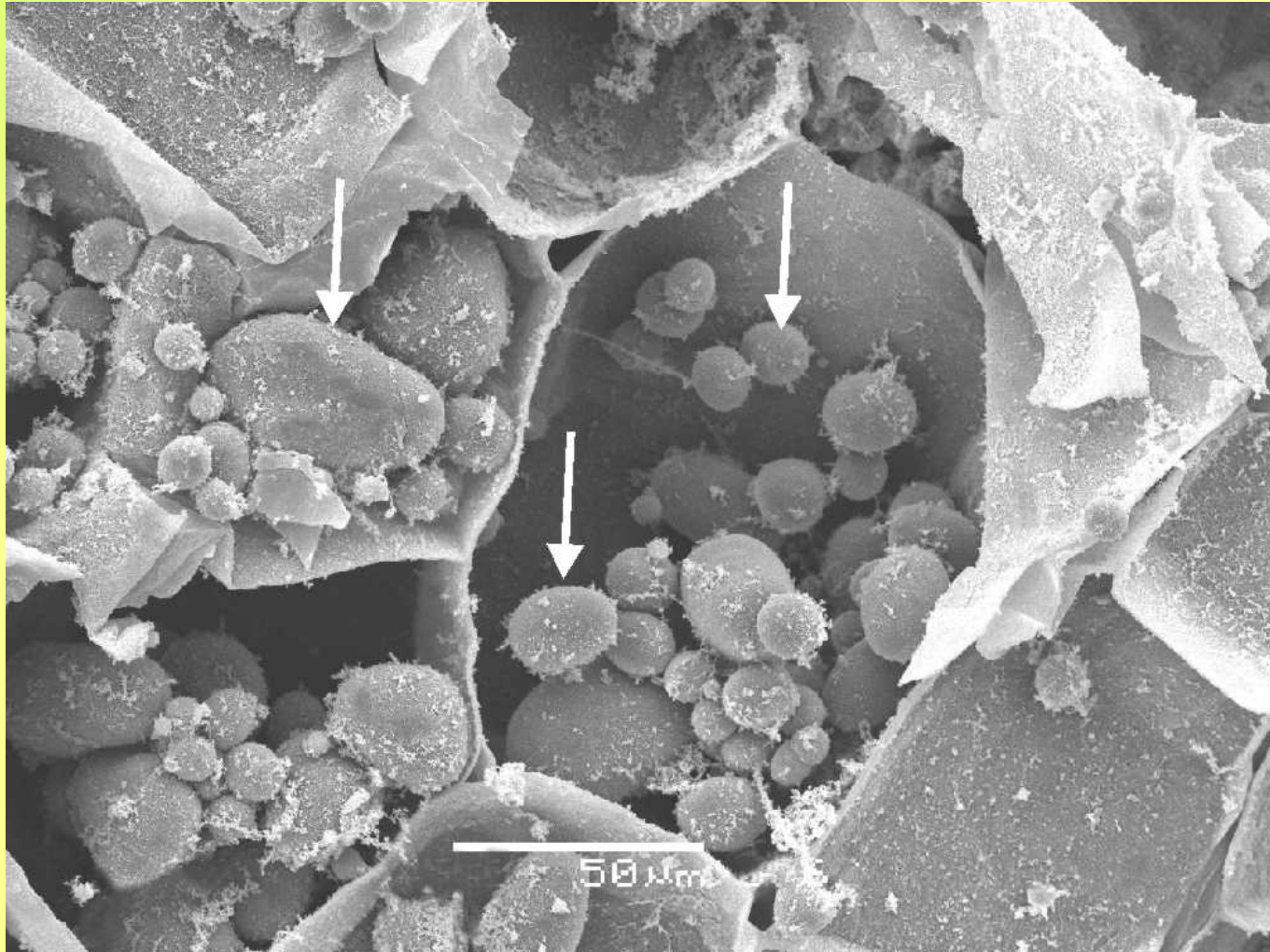
A



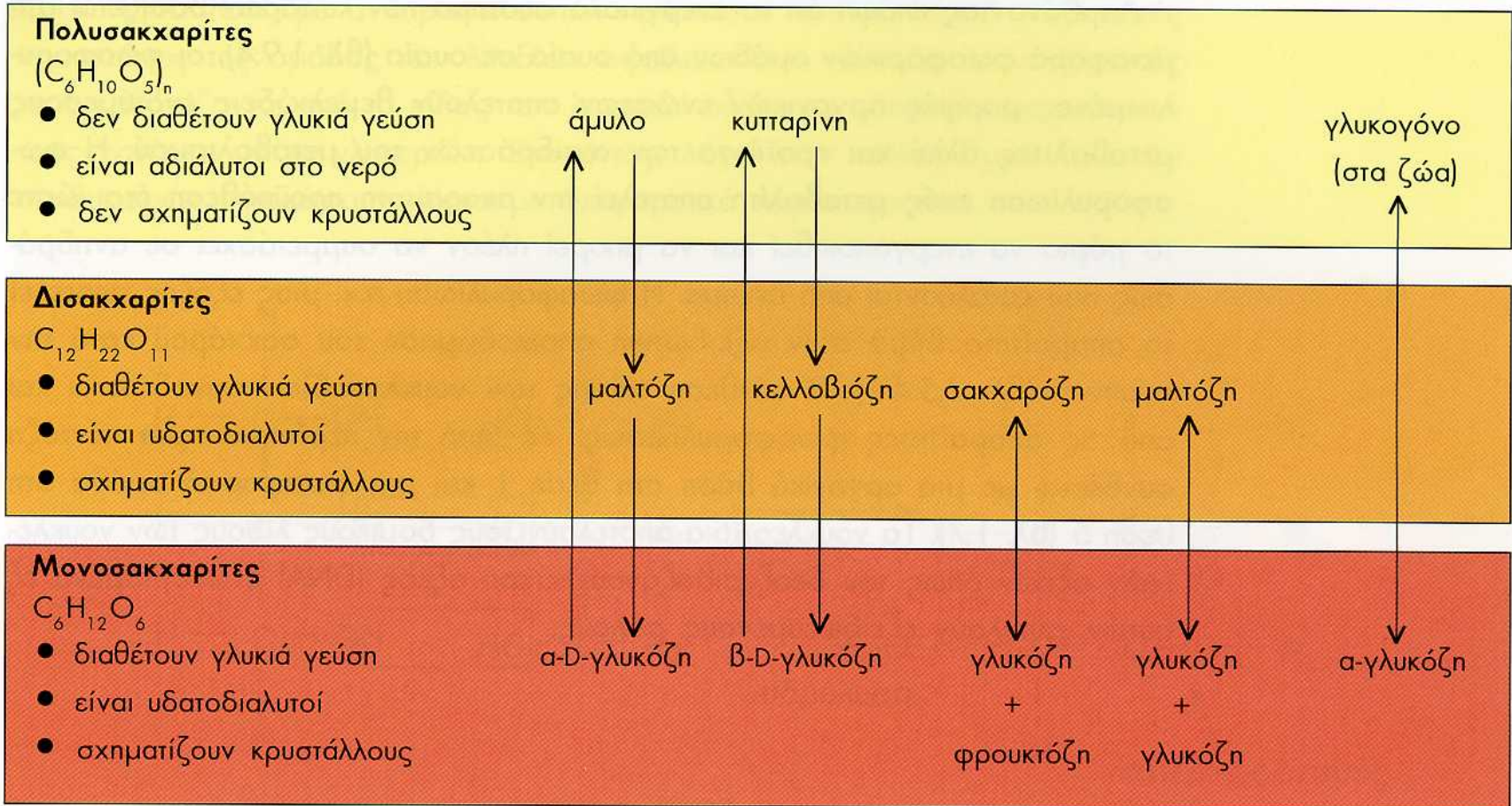
B

Αμυλόκοκκοι στο οπτικό μικροσκόπιο

Αμυλόκοκκοι μέσα σε αποθηκευτικά
κύτταρα κονδύλου πατάτας, όπως φαίνονται
με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης

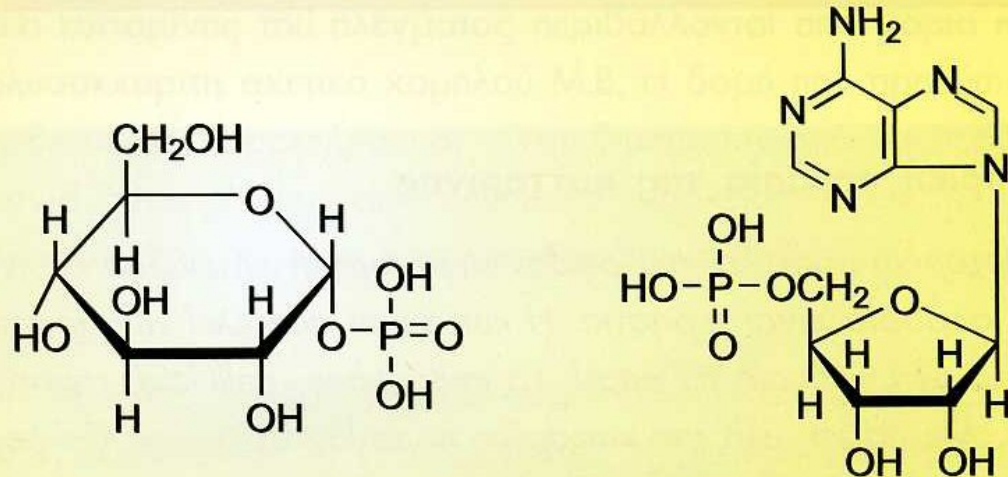


Πίνακας 1.2. Ορισμένα χαρακτηριστικά αντιπροσωπευτικών υδατανθράκων και οι αλληλομετατροπές τους μέσω αντιδράσεων συμπύκνωσης ή υδρόλυσης. Οι συνθήκες κάτω από τις οποίες συμβαίνουν οι αλληλομετατροπές ποικίλουν. Οι αντιδράσεις καταλύονται από ένζυμα είτε μέσα στα φυτικά κύτταρα, είτε στο πεπτικό σύστημα των ζώων, είτε σε μικροοργανισμούς.



Οι φωσφορυλιωμένες μορφές απλών σακχάρων αποτελούν τα γρανάζια του μεταβολισμού.

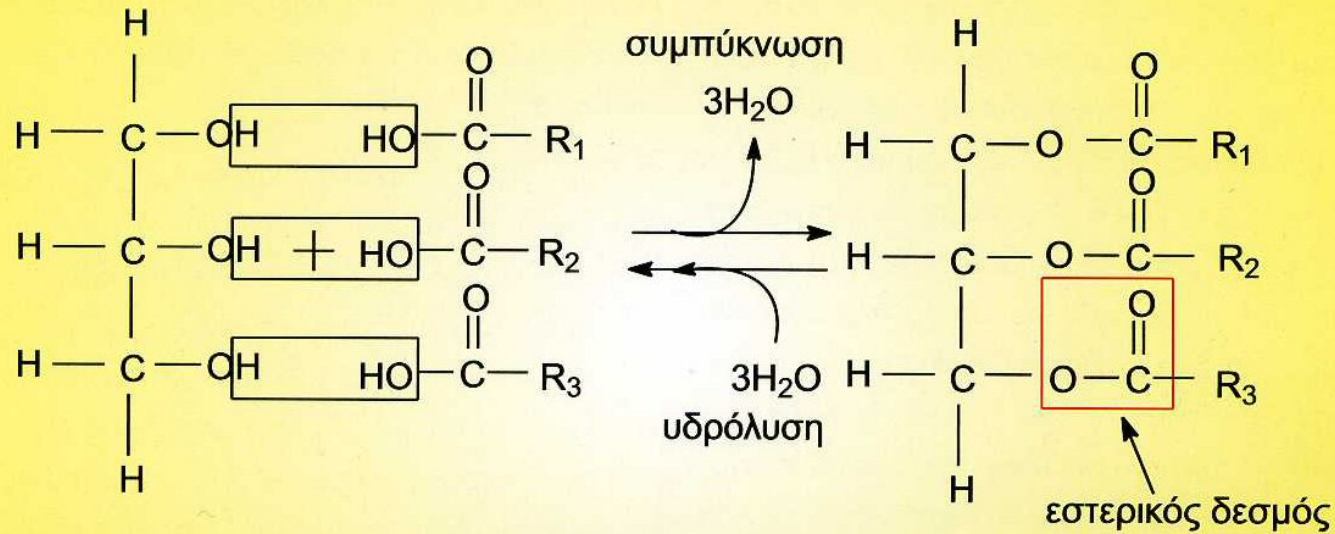
Εικόνα 1.20. Ένα μόριο φωσφορυλιωμένης γλυκόζης στη θέση 1 (αριστερά) και ένα νουκλεοτίδιο (μονο-φωσφορική αδενοσίνη, AMP) φωσφορυλιωμένο στη θέση 5 της πεντόζης (δεξιά).



Τα νουκλεοτίδια αποτελούν τους δομικούς λίθους των νουκλεϊκών οξέων όπως το δεοξυριβονουκλεϊκό οξύ (DNA) και το και το ριβονουκλεϊκό οξύ (RNA), ενώ ορισμένα εξ αυτών επιτελούν εξειδικευμένους ρόλους.

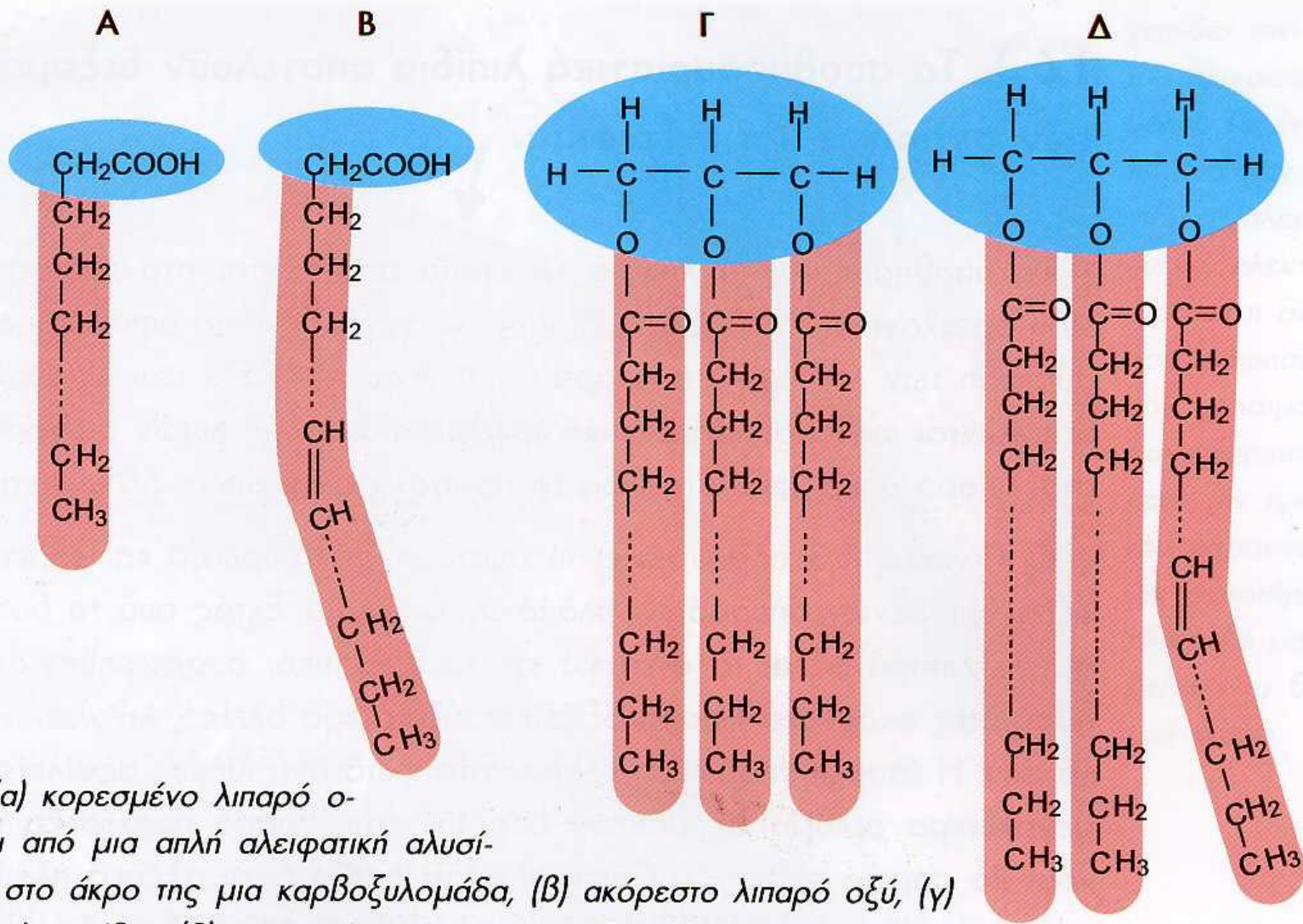
Η φωσφορυλίωση ενός μεταβολίτη αποτελεί την απαραίτητη προϋπόθεση έτσι ώστε το μόριο να ενεργοποιηθεί και να μπορεί πλέον να συμμετάσχει σε αντιδράσεις που καταλύονται από ένζυμα.

Λιπίδια, οι οργανικές ενώσεις μέσω των οποίων επιτυγχάνεται η διαμερισματοποίηση στα κύτταρα



Εικόνα 1.21. Η αντίδραση συμπύκνωσης ενός μορίου γλυκερόλης και τριών λιπαρών οξέων για το σχηματισμό ενός τριγλυκεριδίου

- Τα λιπίδια αποτελούν εστέρες της γλυκερόλης με κορεσμένα ή ακόρεστα λιπαρά οξέα.
- Οι εστέρες αυτοί ονομάζονται και **τριγλυκερίδια**).
- Ο γενικός τύπος των κορεσμένων λιπαρών οξέων είναι $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{COOH}$, με αντιπροσωπευτική τιμή του n ίση με 16.

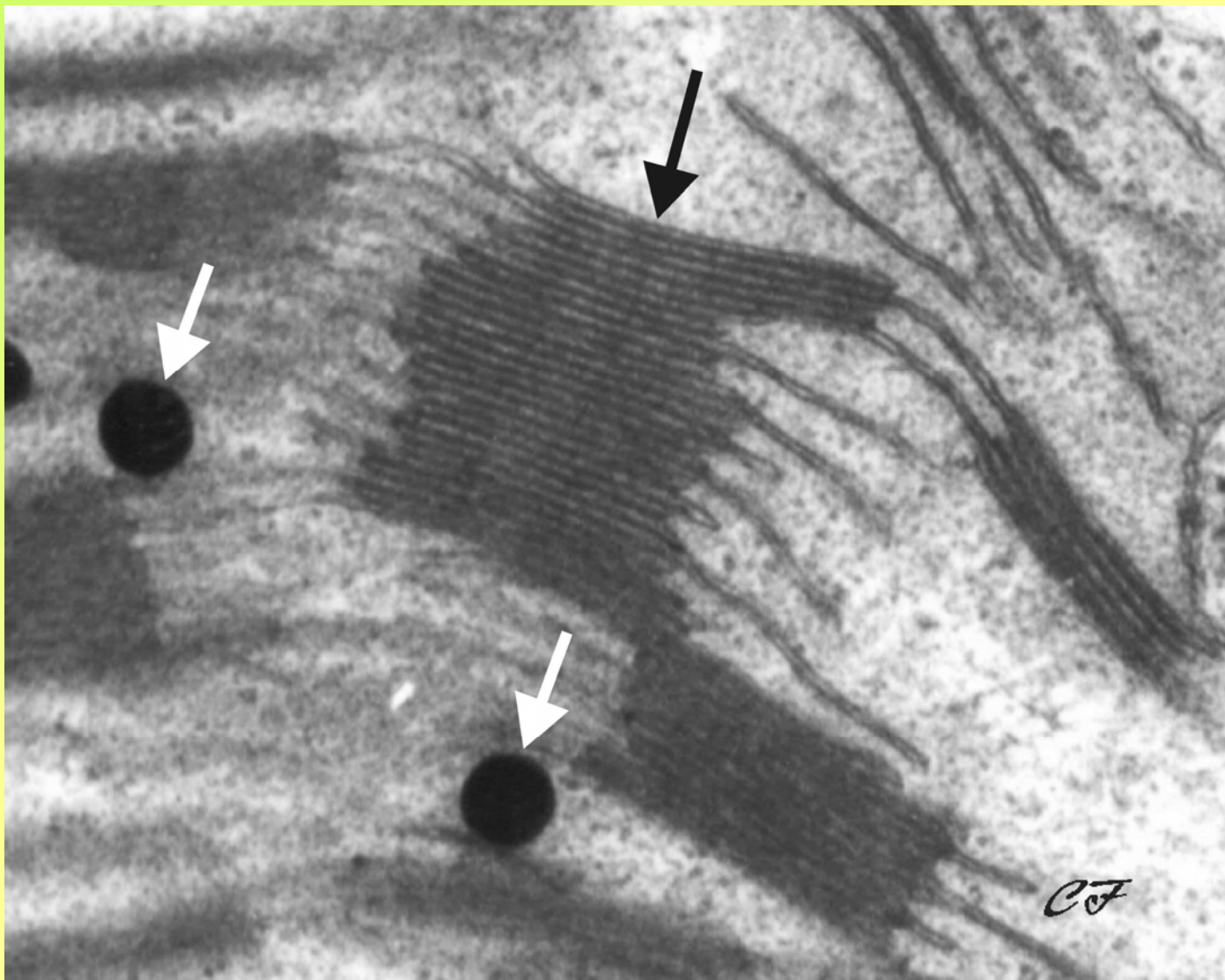


Εικόνα 1.22. (α) κορεσμένο λιπαρό οξύ. Αποτελείται από μια απλή αλειφατική αλυσίδα που φέρει στο άκρο της μια καρβοξυλομάδα, (β) ακόρεστο λιπαρό οξύ, (γ) κορεσμένο τριγλυκερίδιο, (δ) μονοακόρεστο τριγλυκερίδιο. Η παρουσία διπλών δεσμών προκαλεί κάμψη της αλειφατικής αλυσίδας.

Τα αποθησαυριστικά λιπίδια αποτελούν δεξαμενές σκελετών άνθρακα και ενέργειας

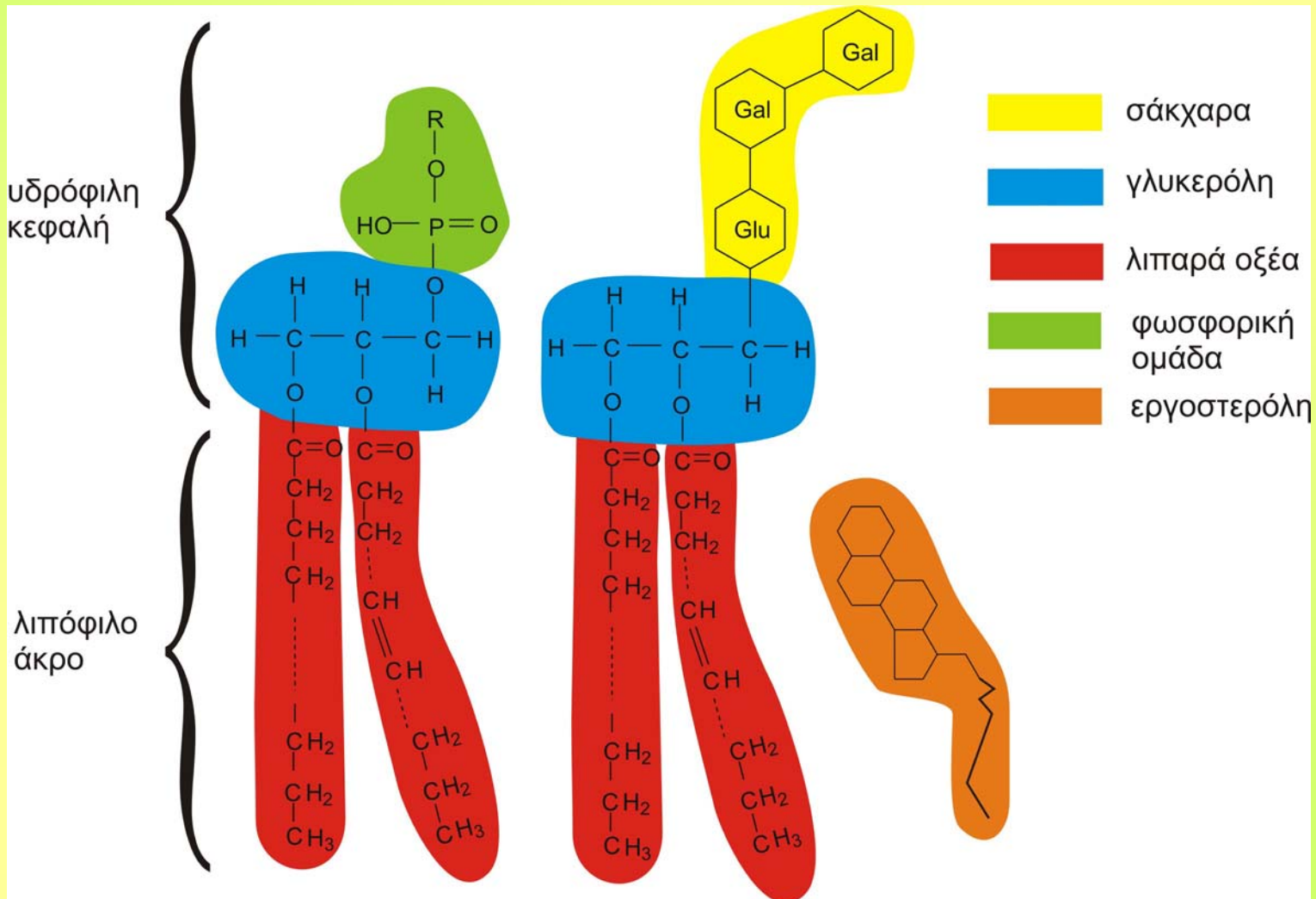
Πίνακας 1.3. Η σύσταση σε ακόρεστα και κορεσμένα λιπαρά οξέα των ελαίων που εξάγονται από σπέρματα αντιπροσωπευτικών καλλιεργούμενων φυτών (Hall, Flowers and Roberts, 1976).

| Είδος | Εμπορικό προϊόν | Κορεσμένα λιπαρά οξέα | % | Ακόρεστα λιπαρά οξέα | % |
|----------------------------|--------------------------------|-----------------------|------|----------------------|------|
| <i>Juglans regia</i> | καρύδια | παλμιτικό | 5.1 | ολεϊκό | 28.9 |
| | | στεατικό | 2.5 | λινολεϊκό | 47.6 |
| <i>Linum usitatissimum</i> | λινέλαιο | | | λινολενικό | 15.9 |
| | | παλμιτικό | 5.4 | ολεϊκό | 9.9 |
| | | στεατικό | 3.5 | λινολεϊκό | 42.6 |
| <i>Olea europaea</i> | ελιά -ελαιόλαδο | | | λινολενικό | 38.1 |
| | | παλμιτικό | 6.0 | ολεϊκό | 83.0 |
| <i>Sesamum indicum</i> | σουσαμέλαιο | στεατικό | 4.0 | λινολεϊκό | 7.0 |
| | | παλμιτικό | 9.1 | ολεϊκό | 45.4 |
| <i>Helianthus annuus</i> | πλιέλαιο | στεατικό | 4.3 | λινολεϊκό | 40.4 |
| | | παλμιτικό | 3.5 | ολεϊκό | 34.1 |
| <i>Gossypium hirsutum</i> | βαμβακέλαιο | στεατικό | 2.9 | λινολεϊκό | 58.5 |
| | | παλμιτικό | 21.9 | ολεϊκό | 30.7 |
| <i>Zea mays</i> | καλαμποκέλαιο | στεατικό | 1.9 | λινολεϊκό | 44.9 |
| | | παλμιτικό | 7.8 | ολεϊκό | 46.3 |
| <i>Arachis hypogaea</i> | φυστίκι αράπικο φυστικέλαιο | στεατικό | 3.5 | λινολεϊκό | 41.8 |
| | | παλμιτικό | 6.3 | ολεϊκό | 61.1 |
| | | αραχιδικό κ.ά. | 5.9 | λινολεϊκό | 21.8 |
| <i>Glycine max</i> | σογιέλαιο | στεατικό | 4.3 | | |
| | | παλμιτικό | 6.8 | ολεϊκό | 33.7 |
| | | στεατικό | 4.4 | λινολεϊκό | 52.0 |
| | | αραχιδικό κ.ά. | 0.7 | | |



Ελαιοσταγονίδια στο στρώμα του χλωροπλάστη (λευκά βέλη). Το έντονο μαύρο χρώμα των λιποσταγονιδίων (ηλεκτρονιακά πυκνά, ηλεκτρονιόφιλα) οφείλεται στην έντονη προσρόφηση οσμίου που χρησιμοποιείται ως μονιμοποιητικό υλικό κατά την προετοιμασία του παρασκευάσματος για παρατήρηση στο ΗΜΔ. Το μαύρο βέλος δείχνει τα θυλακοειδή των grana.

Τα δομικά λιπίδια συμμετέχουν στην συγκρότηση των βιολογικών μεμβρανών. Οι κυριότερες κατηγορίες δομικών λιπιδίων που απαρτίζουν τις μεμβράνες των φυτικών κυττάρων είναι τα φωσφολιπίδια, τα γλυκολιπίδια και οι στερόλες.

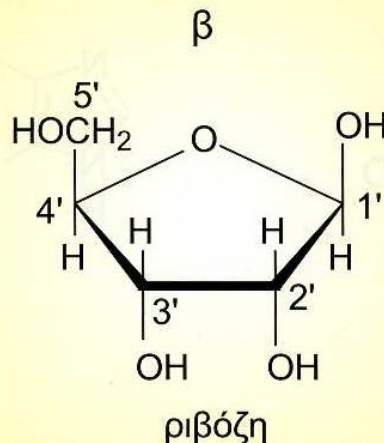
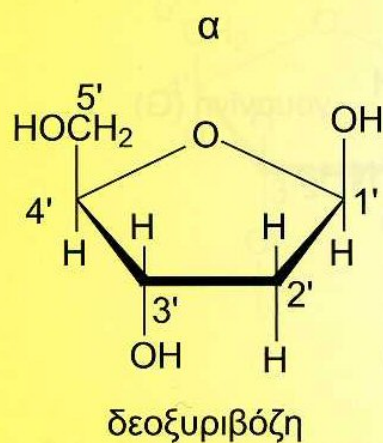


Η υμενίνη, οι κηροί και η φελλίνη αποτελούν λιπόφιλες ενώσεις που σχηματίζουν το εξωτερικό προστατευτικό στρώμα των φυτικών οργάνων



Η εφυμενίδα της επάνω επιδερμίδας του φύλλου του Δενδρολίβανου (*Rosmarinus officinalis*) χρωματισμένη με Sudan IV, που χρωματίζει ειδικά τα λίπη

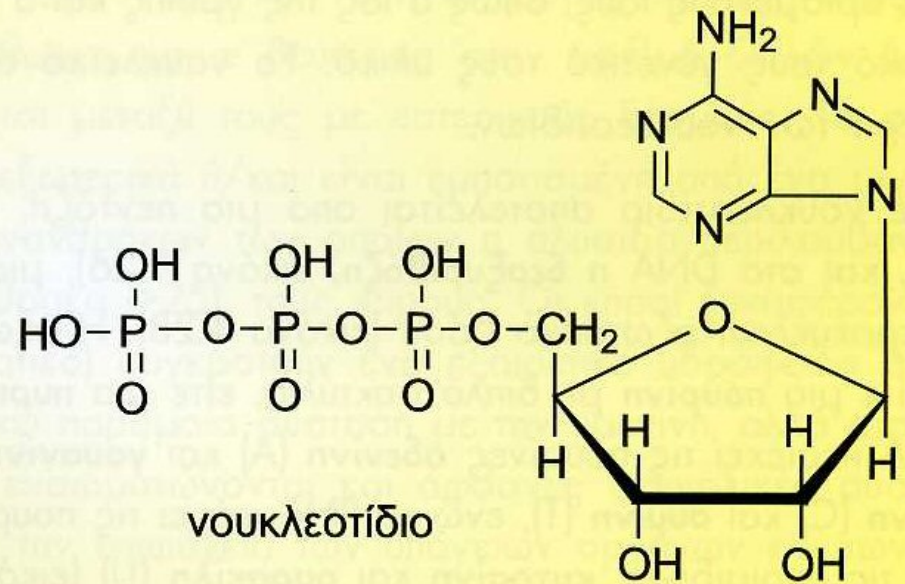
Τα νουκλεϊκά οξέα εντοπίζονται σε όλα τα ζωντανά κύτταρα και αποτελούν το γενετικό υλικό που είναι υπεύθυνο για την αποθήκευση και την αναπαραγωγή της γενετικής πληροφορίας



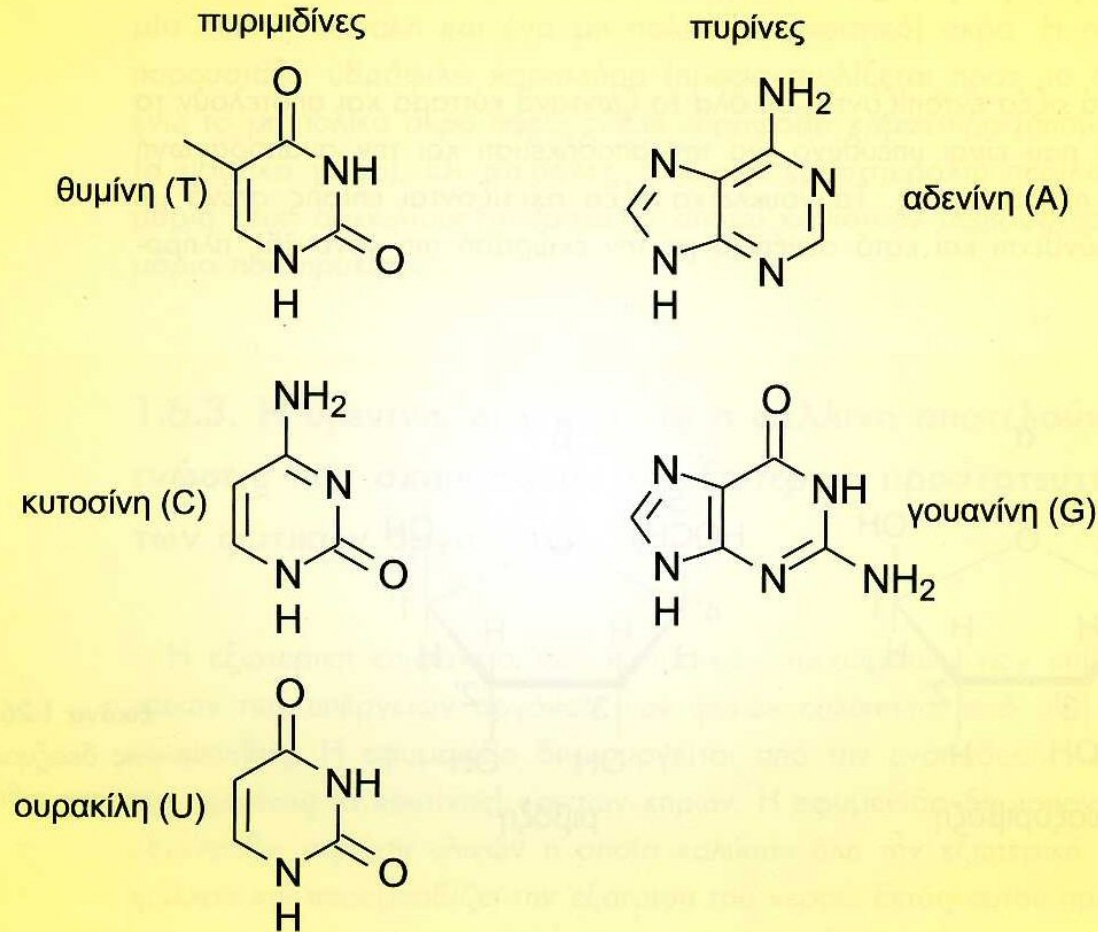
Εικόνα 1.26. Το μόριο της δεοξυριβόζης (α) και της ριβόζης (β).

- Κάθε νουκλεοτίδιο αποτελείται από:
 - μια πεντόζη, (στο RNA συμμετέχει η ριβόζη, και στο DNA η δεοξυριβόζη, (εικόνα 1.26),
 - μια φωσφορική ομάδα και
 - μια ετεροκυκλική αζωτούχο βάση

Εικόνα 1.28. Η δομή του μορίου ενός νουκλεοτιδίου.

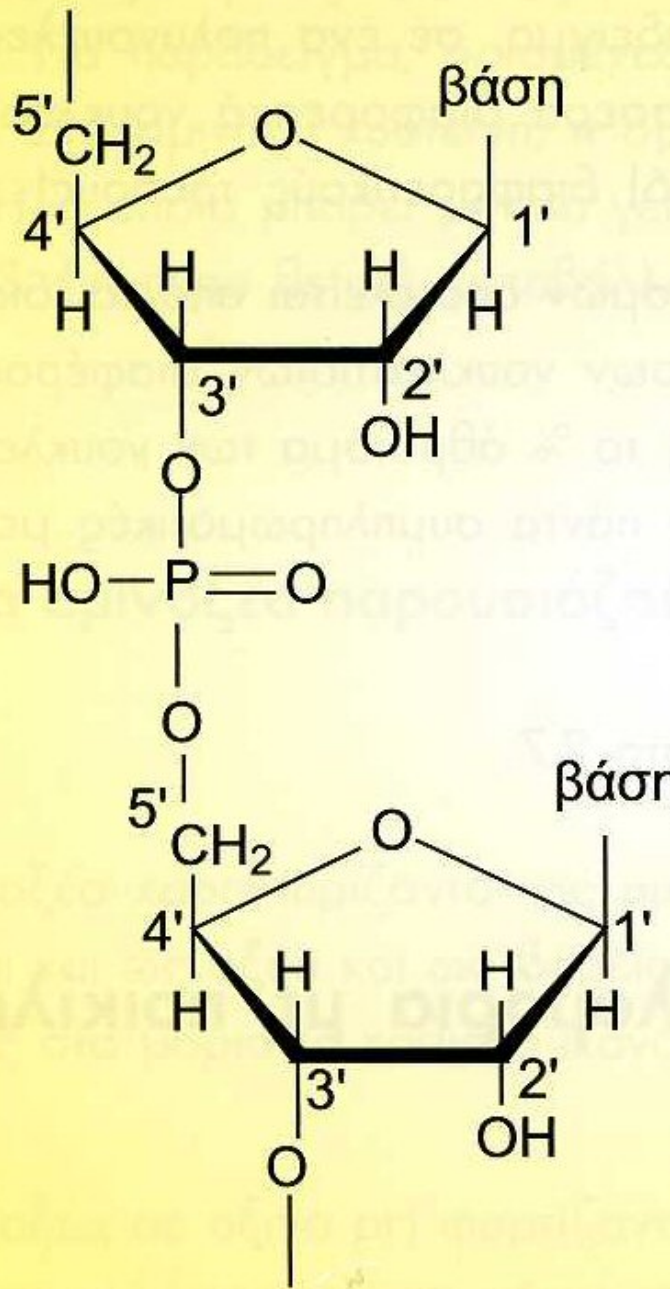


Η αζωτούχος βάση μπορεί να είναι: είτε μια **πουρίνη** με διπλό δακτύλιο, είτε μια **πυριμιδίνη** με μονό δακτύλιο.



Εικόνα 1.27. Η δομή των 5 ετεροκυκλικών αζωτούχων βάσεων που συμμετέχουν στη συγκρότηση των νουκλεοτιδίων.

Το DNA περιέχει τις πουρίνες: **αδενίνη (A)** και **γουανίνη (G)**, και τις πυριμιδίνες **κυτοσίνη (C)** και **θυμίνη (T)**. Το RNA περιέχει τις πουρίνες **αδενίνη** και **γουανίνη** και τις πυριμιδίνες **κυτοσίνη** και **ουρακίλη (U)**



Εικόνα 1.29. Η δομή του μορίου ενός δινουκλεοτιδίου.

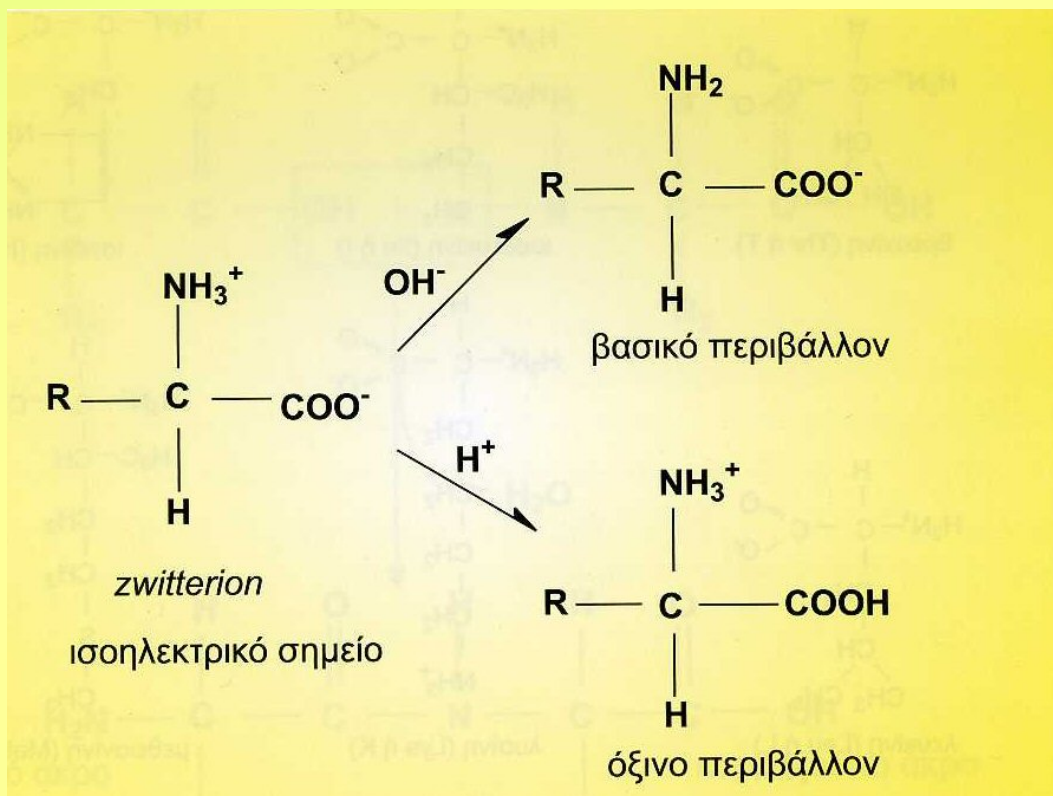
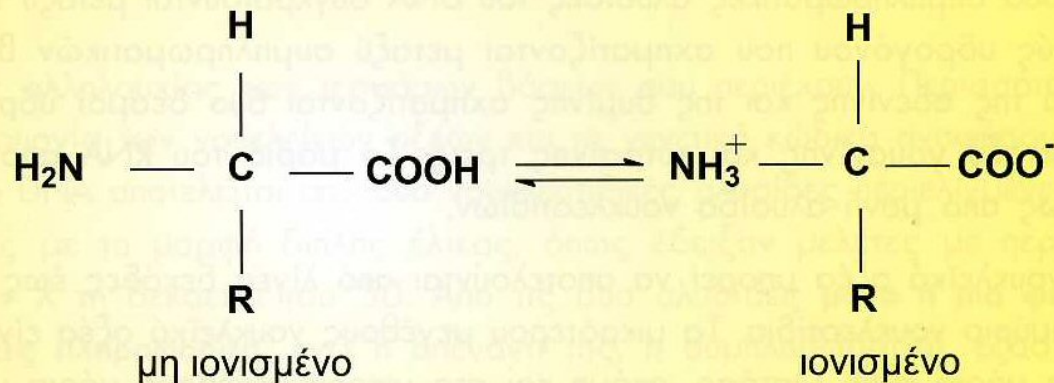
Πίνακας 1.4. Ορισμένες χαρακτηριστικές διαφορές μεταξύ των μορίων DNA και RNA.

| Χαρακτηριστικά του μορίου | DNA | RNA |
|---------------------------|--|--|
| πεντόζη που περιέχει | δεοξυριβόζη | ριβόζη |
| βάσεις που περιέχει | αδενίνη (A), γουανίνη (G), θυμίνη (T), κυτοσίνη (C) | αδενίνη (A), γουανίνη (G), ουρακίλη (U), κυτοσίνη (C) |
| είδος αλυσίδας | διπλή με συμπληρωματικές βάσεις | μονή, σε ορισμένα σημεία διπλή |
| μορφή έλικας | παρουσιάζει | δεν παρουσιάζει |
| λειτουργία | περιέχει κωδικοποιημένες τις γενετικές πληροφορίες, με τη μορφή γονιδίων | (α) μεταφέρει γενετικά μηνύματα (mRNA), (β) μεταφέρει αμινοξέα (tRNA), (γ) συστατικό των ριβοσωμάτων (rRNA), (δ) παρουσιάζει ενζυμική δράση (RNA) |

Πρωτεΐνες, τα μεγαλομόρια με ποικίλες λειτουργίες

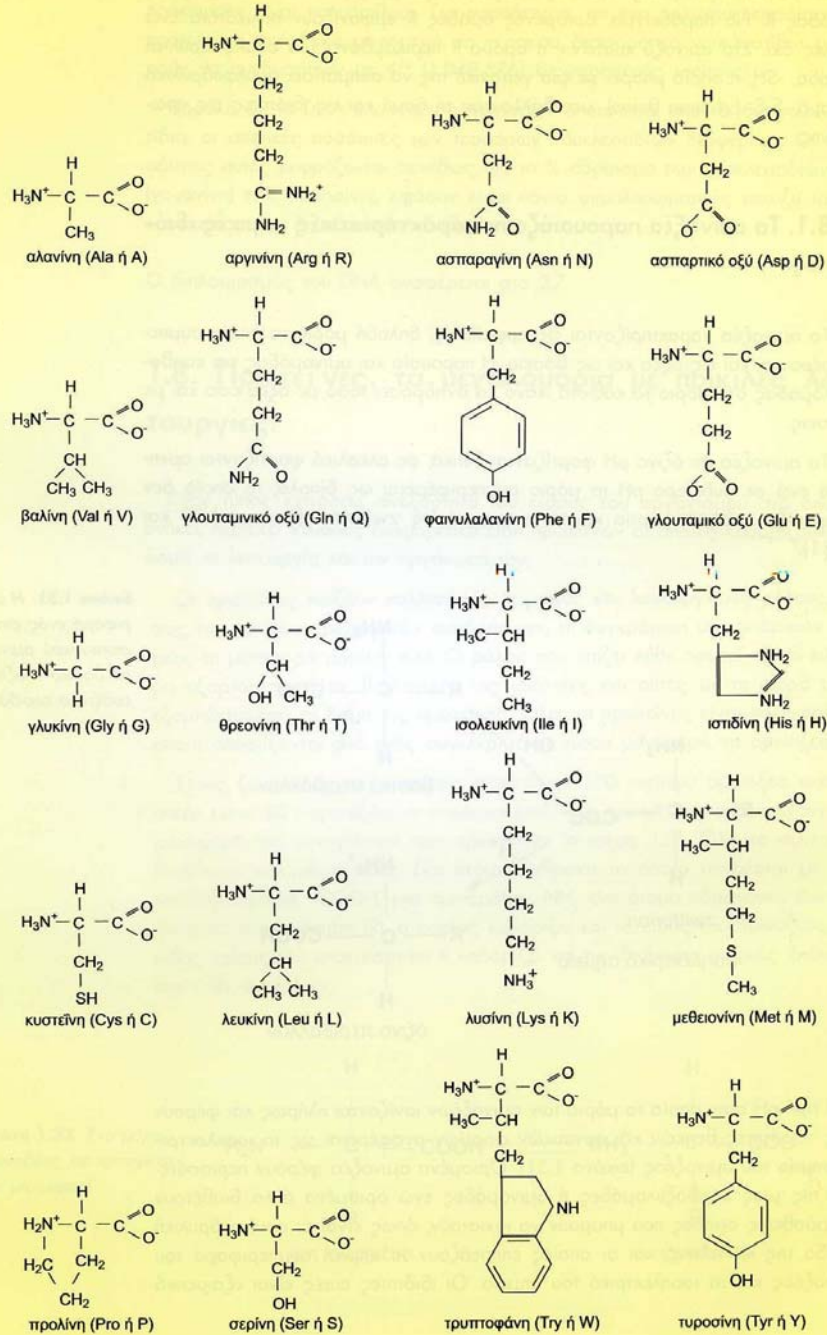
- Κάθε τύπος κυττάρου, ανεξάρτητα του είδους του οργανισμού στο οποίο ανήκει, περιέχει χιλιάδες διαφορετικά είδη πρωτεϊνών οι οποίες καθορίζουν τη δομή, τη λειτουργία και την οργάνωσή του.
- Οι πρωτεΐνες παίζουν πολλαπλούς δομικούς και λειτουργικούς ρόλους, όπως την κατάλυση βιοχημικών αντιδράσεων, τη συγκρότηση υποκυτταρικών δομών, τη μεταφορά μορίων κλπ.
- Ο ρόλος που παίζει κάθε πρωτεΐνη στο κύτταρο εξαρτάται από τις βιολογικές της ιδιότητες και αυτές με τη σειρά τους εξαρτώνται από τη δομή της πρωτεΐνης.
- Όλες οι πρωτεΐνες είναι πολυμερή τα οποία απαρτίζονται από ενός συγκεκριμένου τύπου μονομερή, τα αμινοξέα.

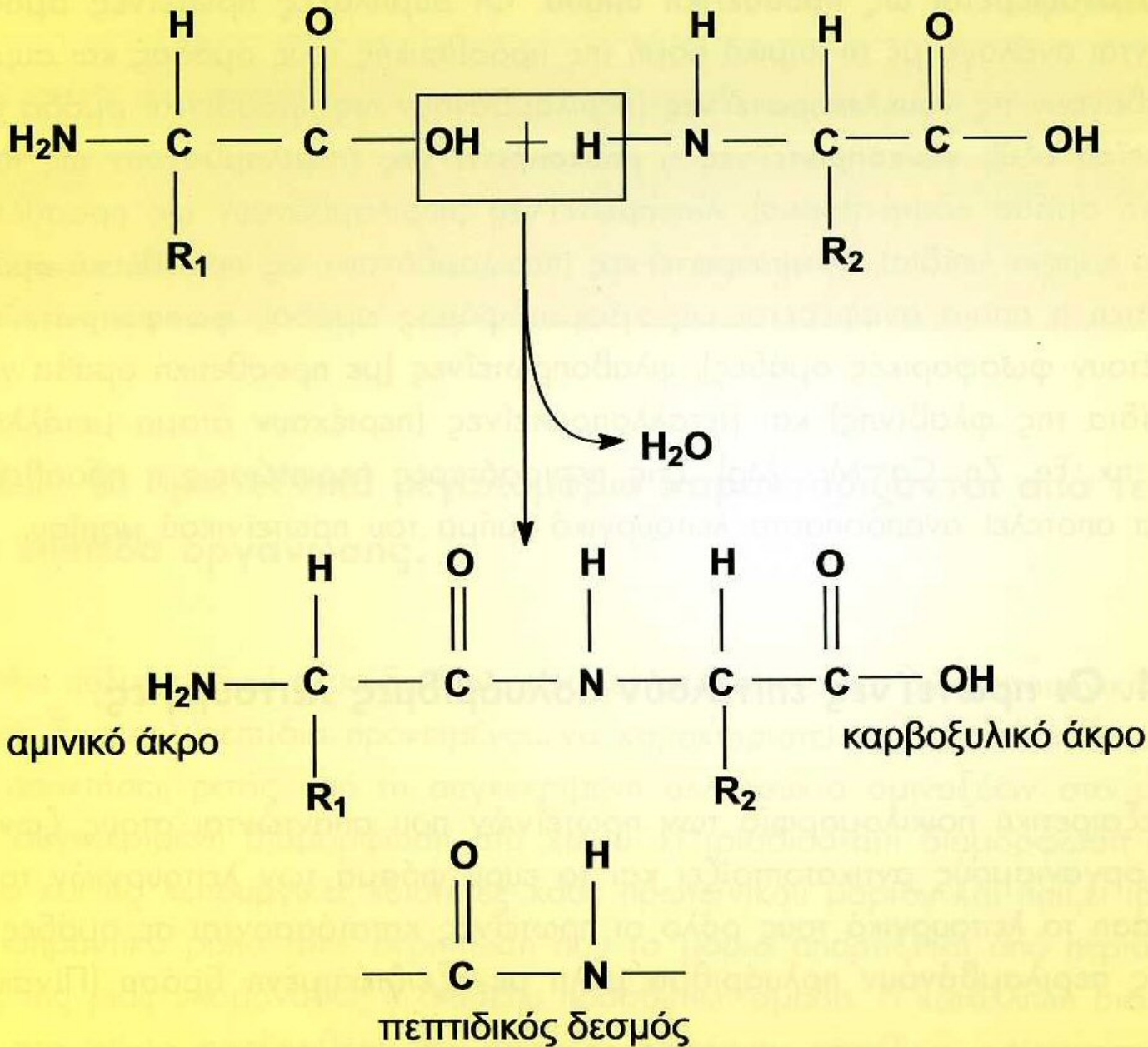
Εικόνα 1.30. Ένα μόριο αμινοξέος σε ιονισμένη και μη μορφή.



Εικόνα 1.31. Η συμπεριφορά ενός αντιπροσωπευτικού αμινοξέος σε βασικό ή όξινο ή ουδέτερο περιβάλλον.

Πίνακας 1.5. Τα 20 αμινοξέα από τα οποία απαρτίζονται οι πρωτεΐνες όλων των οργανισμών. Αναφέρονται με το πλήρες όνομα και τις συντομείς με τρία και ένα γράμματα.





Εικόνα 1.32. Η σύνθεση ενός διπεπτιδίου και ο σχηματισμός του πεπτιδικού δεσμού μεταξύ δυο αμινοξέων. Το διπεπτίδιο που σχηματίζεται διαθέτει στο ένα άκρο του μια ελεύθερη καρβοξυλομάδα και στο άλλο μια ελεύθερη αμινομάδα. Επομένως υπάρχει η δυνατότητα σχηματισμού νέων πεπτιδικών δεσμών στα δυο αυτά άκρα με προσθήκη δυο νέων αμινοξέων και επιμήκυνση της αλυσίδας.

Πίνακας 1.6. Κατάταξη των φυτικών πρωτεϊνών με βάση το λειτουργικό τους ρόλο.

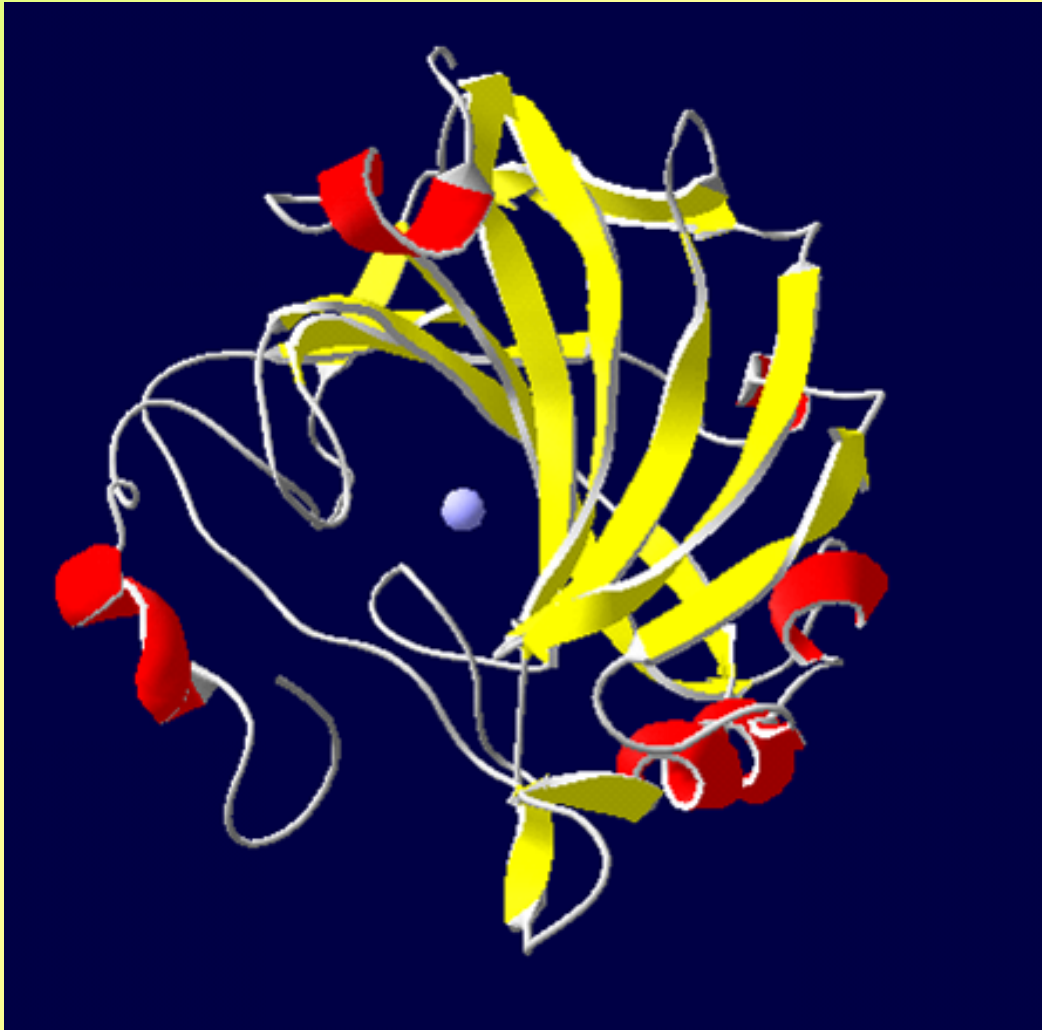
| Λειτουργική ομάδα πρωτεϊνών | Παράδειγμα | Λειτουργικό ρόλος |
|-----------------------------|-----------------------|---|
| ένζυμα | αμυλάση RubisCO | καταλύει την υδρόλυση του αμύλου κατά τη βλάστηση των σπερμάτων καταλύει την ενσωμάτωση του CO ₂ |
| αποταμιευτικές | φασεολίνη γλιαδίνη | πρωτεΐνη του σπέρματος του φασολιού πρωτεΐνη του σπέρματος του σιταριού |
| μεταφοράς | λεγκαιμοσφαιρίνη | μεταφορά οξυγόνου στα φυμάτια των ψυχανθών |
| συσταλτές | μυοσίνη, ακτίνη | συστατικά του κυτταροσκελετού |
| προστατευτικές | αμυντικές πρωτεΐνες | αμυντίνες, πεπτίδια χαμηλού MW με αντιμικροβιακή δράση. Χητινάσες, υδρολύουν τη χητίνη, Πρωτεΐνες που σχετίζονται με την παθογένεση (PRPs). Οσμωτίνη |
| πρωτεΐνες με τοξική δράση | ρισίνη | καθιστά τα σπέρματα του φυτού <i>Ricinus communis</i> (κν. ρετισινολαδιά) δηλητηριώδη για όλα τα ζώα. |
| πρωτεΐνες με ορμονική δράση | συστεμίνη | ενεργοποιεί αμυντικούς μηχανισμούς |
| δομικές | εξτενσίνη | γλυκοπρωτεΐνες του κυτταρικού τοιχώματος οι οποίες παίζουν ρόλο στην αύξηση της επιφάνειας των κυτάρων |

Τα πρωτεϊνικά μεγαλομόρια χαρακτηρίζονται από τέσσερα επίπεδα οργάνωσης.

Τα επίπεδα οργάνωσης του μορίου των πρωτεϊνών.

| Επίπεδο οργάνωσης | Περιγραφή | Τύποι δεσμών |
|---|---|--|
| Πρωτοταγής δομή (οργάνωση σε μια διάσταση) | αμινοξέα συνδεδεμένα εν σειρά με πεπτιδικούς δεσμούς με καθορισμένη αλληλουχία | Ομοιοπολικοί (πεπτιδικοί) μεταξύ των αμινοξέων |
| Δευτεροταγής δομή (οργάνωση σε δυο διαστάσεις) | Σπειροειδής (α-έλικας) ή διάταξη σε ένα επίπεδο (β-επιφάνεια) | Δεσμοί υδρογόνου μεταξύ των στοιχείων που απαρτίζουν τους πεπτιδικούς δεσμούς |
| Τριτοταγής δομή (οργάνωση σε τρεις διαστάσεις) | Πολυπεπτιδική αλυσίδα με αναδιπλώσεις και συστροφές στο χώρο | Δεσμοί υδρογόνου, ιοντικοί, δισουλφιδικοί δεσμοί (-S-S-), υδροφοβικές αλληλεπιδράσεις |
| Τεταρτοταγής δομή (διευθέτηση υπομονάδων ή προσθετικών ομάδων στην τρίτη διάσταση) | Διευθέτηση στο χώρο περισσοτέρων της μιας υπομονάδων ή προσθετικών ομάδων | Δεσμοί υδρογόνου, και ιοντικοί δεσμοί μεταξύ πολυπεπτιδικών αλυσίδων ή πολυπεπτιδικών αλυσίδων και προσθετικής ομάδας |

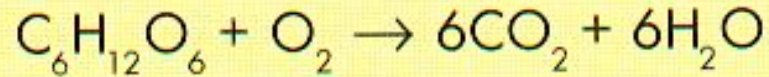
Ψηφιακή απεικόνιση της τεταρτοταγούς δομής της αφυδατάσης των ανθρακικών τύπου -α από το φυτό *Lotus japonicus*. Το μόριο παρουσιάζει δομή τόσο α-έλικας (κόκκινες περιοχές), όσο και β-επιφάνειας (κίτρινες περιοχές). Η μπλε σφαίρα στο κέντρο του μορίου αντιπροσωπεύει ένα άτομο ψευδαργύρου (συμπαράγοντας).



Η μετουσίωση των πρωτεϊνών προκαλεί απώλεια των λειτουργικών χαρακτηριστικών.

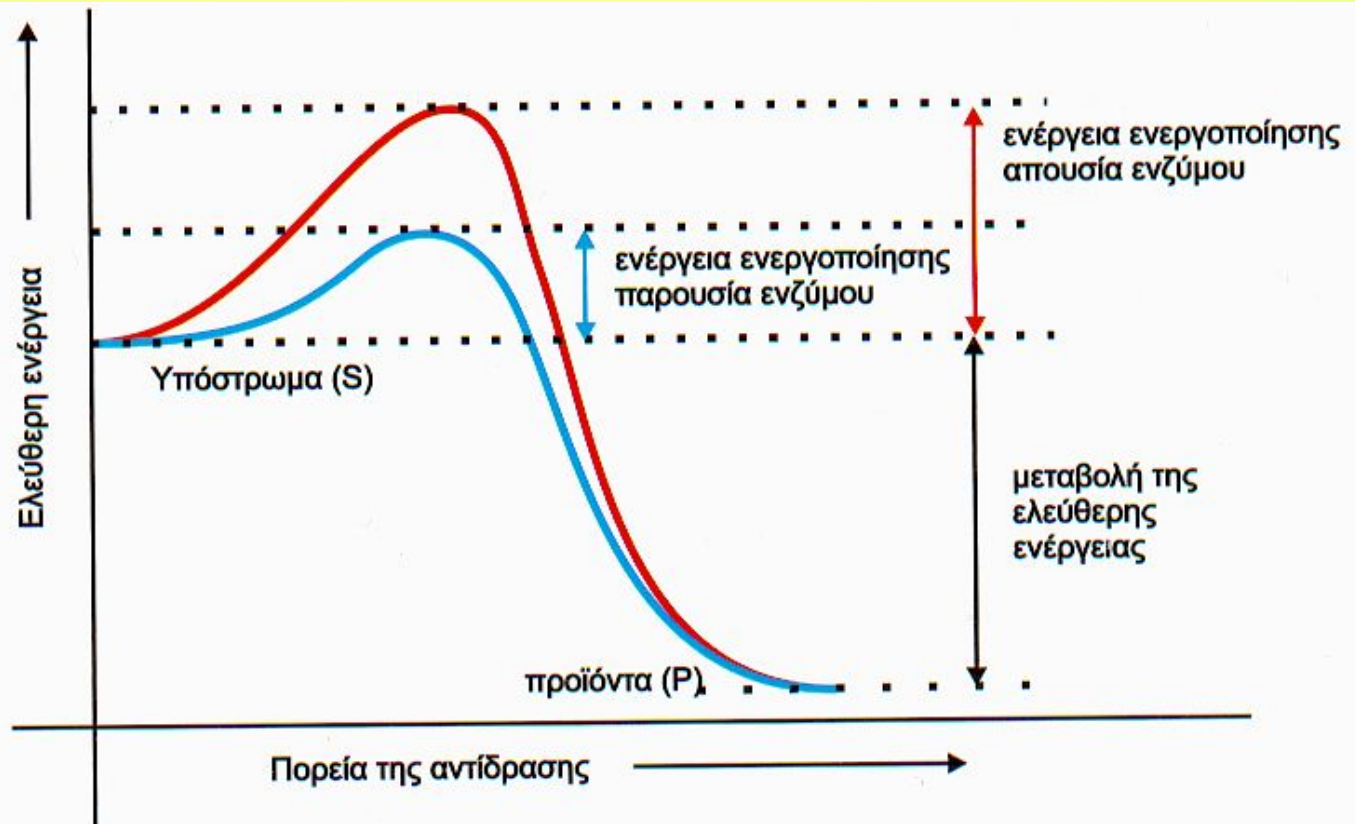
- Η αλλοίωση της διαμόρφωσης του μορίου μιας πρωτεΐνης, που έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια των λειτουργικών χαρακτηριστικών της, αναφέρεται ως μετουσίωση.
- Η μετουσίωση οφείλεται σε διάσπαση ή εξασθένηση των δεσμών οι οποίοι ευθύνονται για τη διευθέτηση των πολυπεπτιδικών αλυσίδων στο χώρο, που έχει ως αποτέλεσμα την αλλοίωση της διαμόρφωσης του όλου μορίου.
- Μετουσίωση πρωτεϊνικών μορίων μπορούν να προκαλέσουν μια σειρά παράγοντες οι οποίοι έχουν ως τελικό αποτέλεσμα τη διάσπαση ή εξασθένηση τέτοιου είδους δεσμών, όπως:
 - η υψηλή θερμοκρασία,
 - οι ακραίες τιμές του pH,
 - τα ισχυρά ιοντικά διαλύματα,
 - η μηχανική κατεργασία.

Τα ένζυμα καταλύουν τις μεταβολικές αντιδράσεις.



Τα ένζυμα ελαττώνουν την ενέργεια ενεργοποίησης.

Εικόνα 1.34. Διάγραμμα της πορείας μιας ενζυμικής αντίδρασης σε σχέση με την ενέργεια ενεργοποίησης που απαιτείται, παρουσία ή απουσία ενζύμου.



Η δράση των ενζύμων παρουσιάζει υψηλή εξειδίκευση. Κάθε ένζυμο καταλύει μόνο μια αντίδραση ή μόνο μια κατηγορία αντιδράσεων και προς τις δυο κατευθύνσεις.



Η ονοματολογία των ενζύμων

- Σύμφωνα με το ισχύον σύστημα ονοματολογίας τα ένζυμα κατατάσσονται σε έξι μεγάλες ομάδες, με βάση το είδος της αντίδρασης που καταλύουν, που είναι οι εξής:
- **EC.1. Οξειδοαναγωγάσες:** καταλύουν οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις.
- **EC.2. Μεταφοράσες:** καταλύουν αντιδράσεις μεταφοράς ομάδων από μόριο σε μόριο.
- **EC.3. Υδρολάσες:** καταλύουν αντιδράσεις διάσπασης μορίων με ταυτόχρονη προσθήκη νερού.
- **EC.4. Λυάσες:** καταλύουν αντιδράσεις διάσπασης.
- **EC.5. Ισομεράσες:** καταλύουν αντιδράσεις αλληλομετατροπών ισομερών ενώσεων.
- **EC.6. Λιγάσες:** καταλύουν αντιδράσεις συνένωσης μορίων με δαπάνη ενέργειας (ATP).

- Κάθε ομάδα περιλαμβάνει υποομάδες, ανάλογα με επιμέρους χαρακτηριστικά της αντίδρασης.
- Ωστόσο σε πολλές περιπτώσεις έχουν επικρατήσει εμπειρικές ονομασίες ενζύμων όπου τα πρώτο συνθετικό του ονόματος να περιγράφει την αντίδραση ενώ η κατάληξη είναι πάντα -άση.

- Οι αντιδράσεις που καταλύονται από ένζυμα περιλαμβάνουν ένα επιπρόσθετο στάδιο, αυτό του σχηματισμού του ενδιάμεσου συμπλόκου ενζύμου - υποστρώματος:



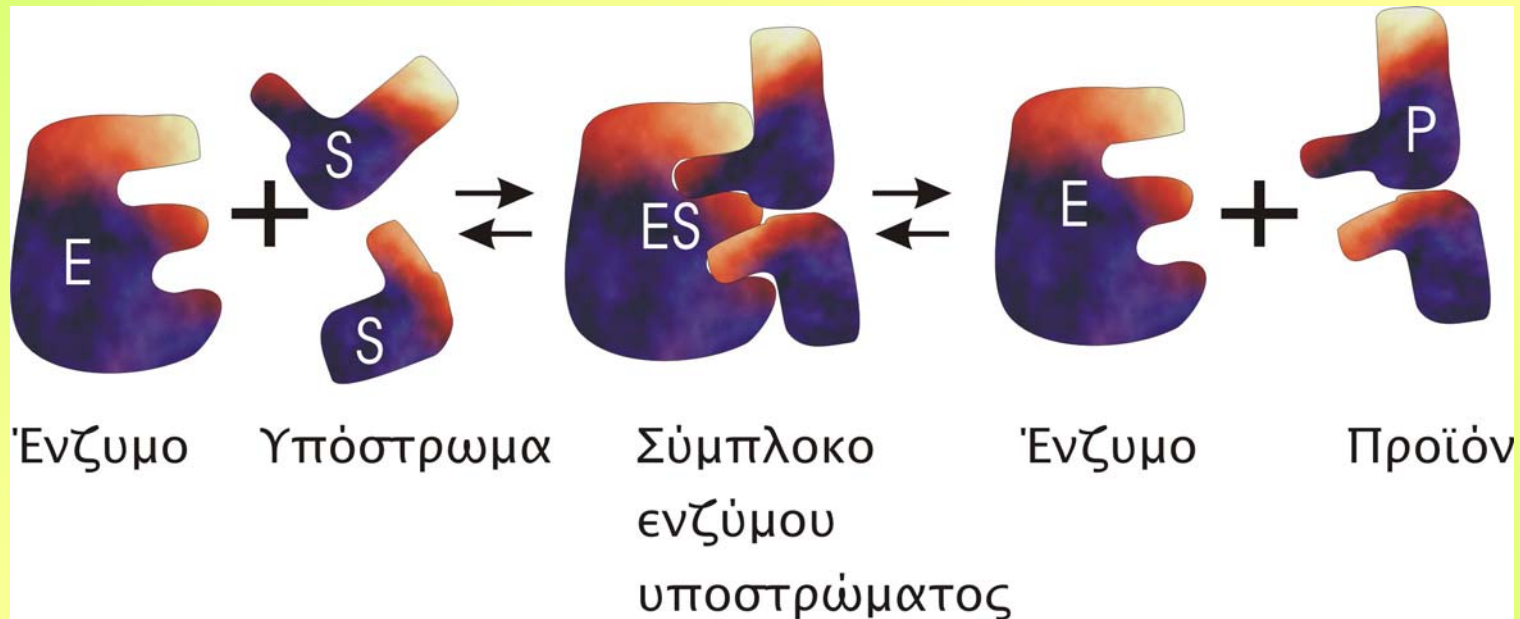
- όπου:

- E = ένζυμο,
- S = υπόστρωμα,
- ES = σύμπλοκο ενζύμου-υποστρώματος,
- P = προϊόν.

Οι συμπράγοντες

- Πολλά ένζυμα για να λειτουργήσουν, απαιτούν την παρουσία ορισμένων οργανικών μορίων χαμηλού ΜΒ ή μεταλλικών ιόντων που ονομάζονται **συμπράγοντες**.
- Οι οργανικοί συμπράγοντες μπορεί να συνδέονται χαλαρά με το ένζυμο, οπότε ονομάζονται **συνένζυμα**, ή να συνδέονται ισχυρά με αυτό, οπότε ονομάζονται **προσθετικές ομάδες**.
- Οι περισσότερες βιταμίνες είναι συνένζυμα.
- Το σύμπλοκο ένζυμο - συμπράγοντα αναφέρεται ως **ολοένζυμο**, ενώ μόνο το πρωτεϊνικό τμήμα του μορίου ως **αποένζυμο**.

Ο σχηματισμός του συμπλόκου ενζύμου - υποστρώματος ευθύνεται για την εντυπωσιακή ελάττωση της ενέργειας ενεργοποίησης



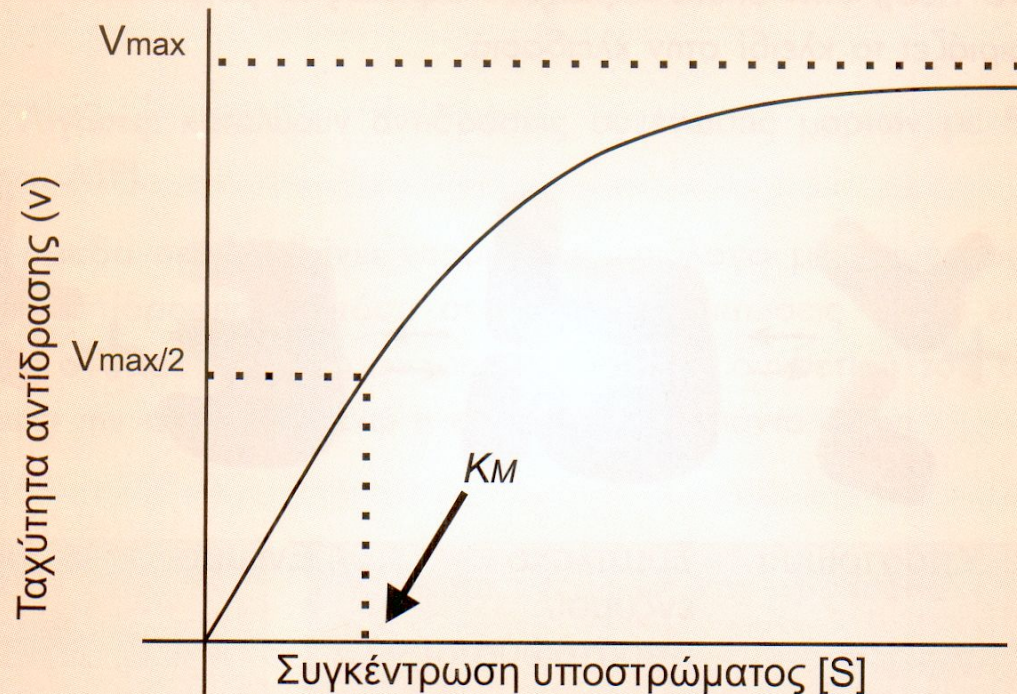
Παράγοντες που επηρεάζουν τις ενζυμικές αντιδράσεις

- Οι ενζυμικές αντιδράσεις επηρεάζονται από τη συγκέντρωση υποστρώματος.

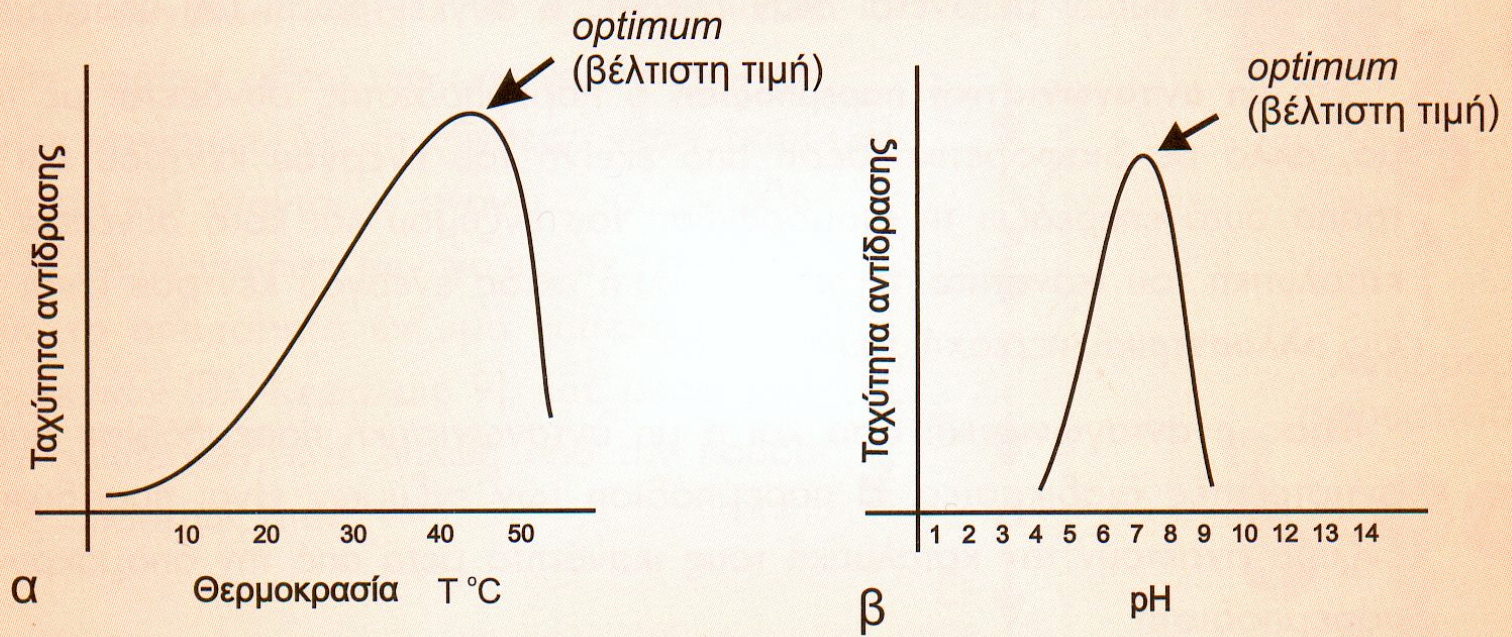
Η σταθερά Michaelis K_M υπολογίζεται από τον τύπο:

$$V = V_{\max} \frac{[S]}{[S] + K_M}$$

Εικόνα 1.36. Ταχύτητα (V) σε σχέση με τη συγκέντρωση του υποστρώματος $[S]$, μιας ενζυμικής αντίδρασης που ακολουθεί την εξίσωση Michaelis-Menten. V_{\max} είναι η μέγιστη ταχύτητα και K_M είναι η σταθερά Michaelis.



Οι ενζυμικές αντιδράσεις επηρεάζονται από τη θερμοκρασία και το pH



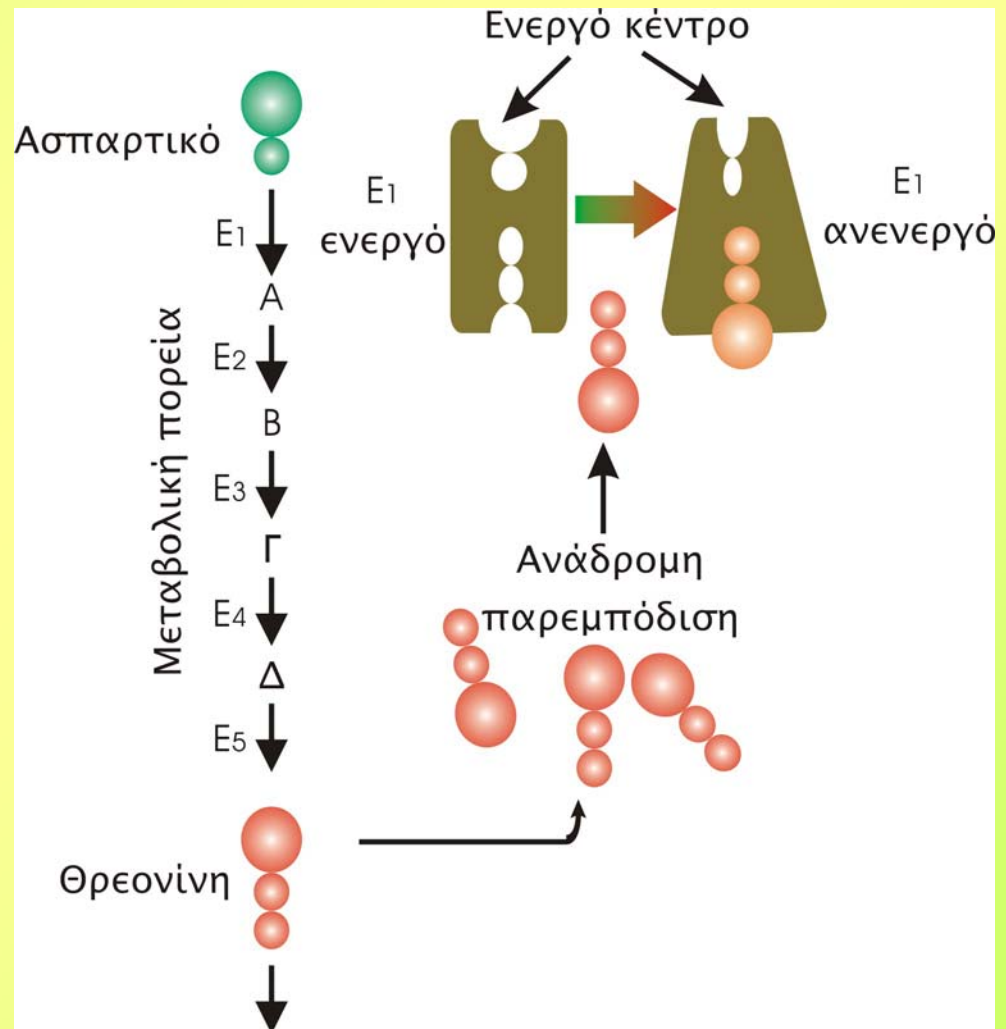
Εικόνα 1.37. Αντιπροσωπευτικές καμπύλες εξάρτησης της ταχύτητας μιας ενζυμικής αντίδρασης από τη θερμοκρασία (α) και από το pH (β).

Οι ενζυμικές αντιδράσεις επηρεάζονται από την παρουσία παρεμποδιστών

- ανταγωνιστική παρεμπόδιση (competitive inhibition)
- μη ανταγωνιστική παρεμπόδιση
- μη αντιστρεπτή παρεμπόδιση
- αλλοστερική περιοχή του ενζύμου.

Τα ένζυμα αποτελούν τις ρυθμιστικές μονάδες μέσω των οποίων επιτυγχάνεται ο πλήρης έλεγχος του μεταβολισμού

Παράδειγμα ανάδρομης παρεμπόδισης της μεταβολικής πορείας παραγωγής θρεονίνης από ασπαραγινικό (ή ασπαρτικό) οξύ. Το τελικό προϊόν της αντίδρασης, η θρεονίνη, παρεμποδίζει τη δραστηριότητα του ενζύμου στην αρχή της αλυσίδας των αντιδράσεων.



Η ρύθμιση της αντίδρασης γίνεται με:

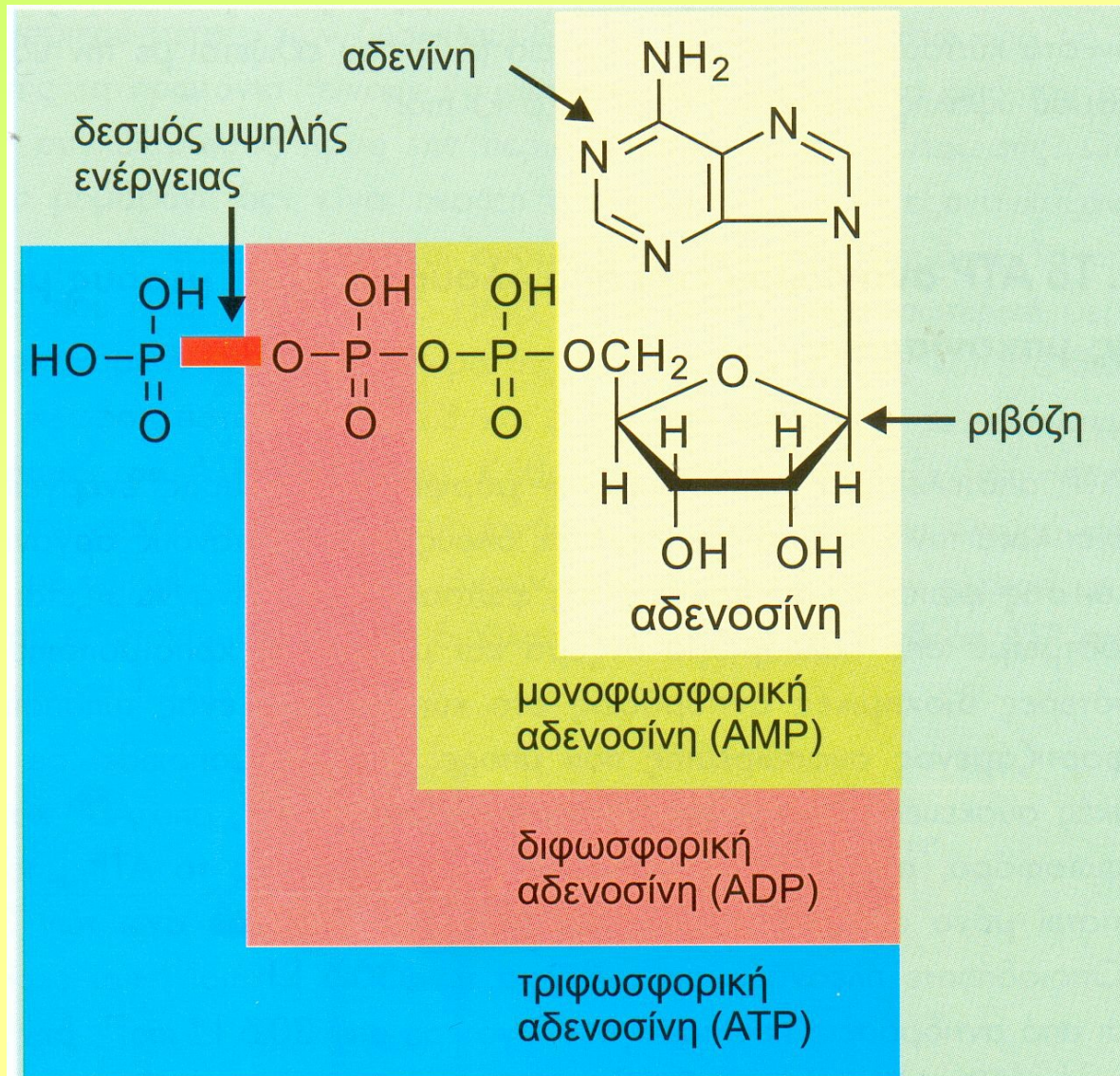
- Αδρανοποίηση του ενζύμου (παρεμποδιστές)
- Καταστροφή του ενζύμου
- Ενεργοποίηση του ενζύμου με ενεργοποιητές που είναι κυρίως μεταλλικά ιόντα ή οργανικές ενώσεις χαμηλού ΜΒ.

Συμπαράγοντες ενζύμων

- Πολλές ενζυμικές αντιδράσεις για να πραγματοποιηθούν απαιτείται η παρουσία ενός μη πρωτεϊνικού μορίου.
- Οι ουσίες αυτές διακρίνονται στους **ενεργοποιητές** και τα **συνένζυμα**.
- Τα συνένζυμα τα οποία είναι στενά συνδεδεμένα με το πρωτεϊνικό τμήμα του ενζύμου είναι γνωστά ως **προσθετικές ομάδες**.
- Το NADH και το NADPH⁺ αποτελούν συνένζυμα.
- Πολλά από τα συνένζυμα είναι βιταμίνες, ορισμένες εξ αυτών αναφέρονται στον Πίνακα:

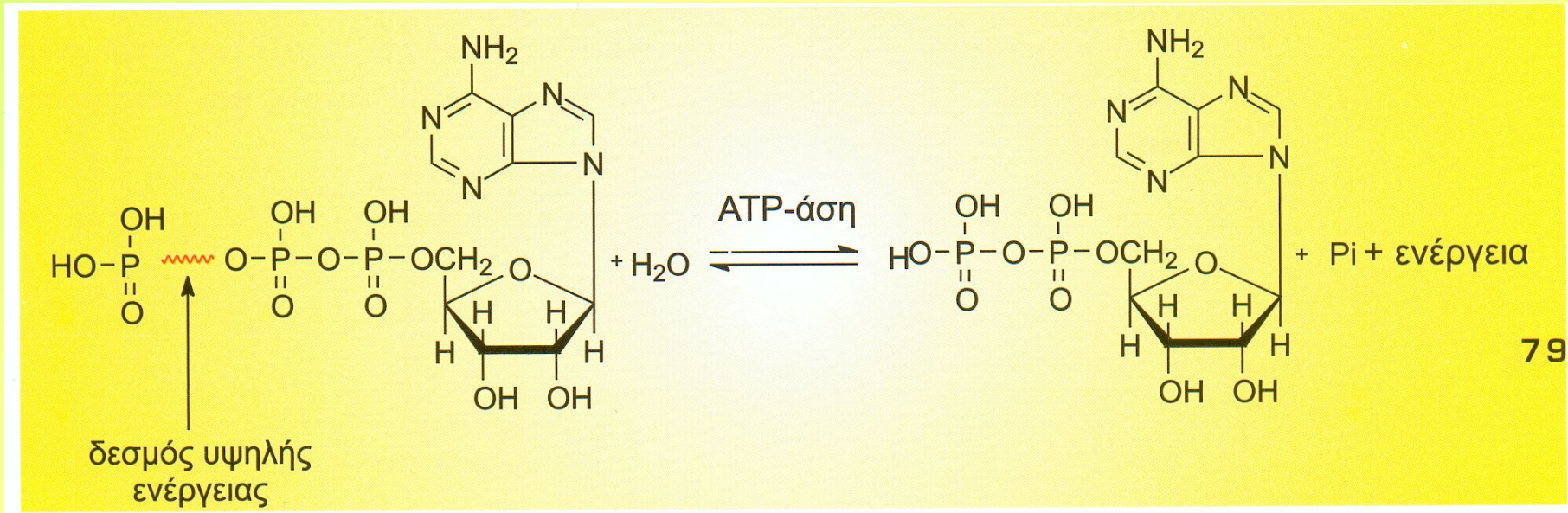
| Βιταμίνη | Συνένζυμο |
|------------------------------|------------------------|
| Νιασίνη | NAD ⁺ |
| B ₂ (ριβοφλαβίνη) | FAD |
| B ₁ (θειαμίνη) | πυροφωσφορική θειαμίνη |
| Παντοθενικό οξύ | συνένζυμο A (CoA) |
| B ₁₂ | συνένζυμο κοβαμιδίου |

Η μεταφορά ενέργειας στο κύτταρο



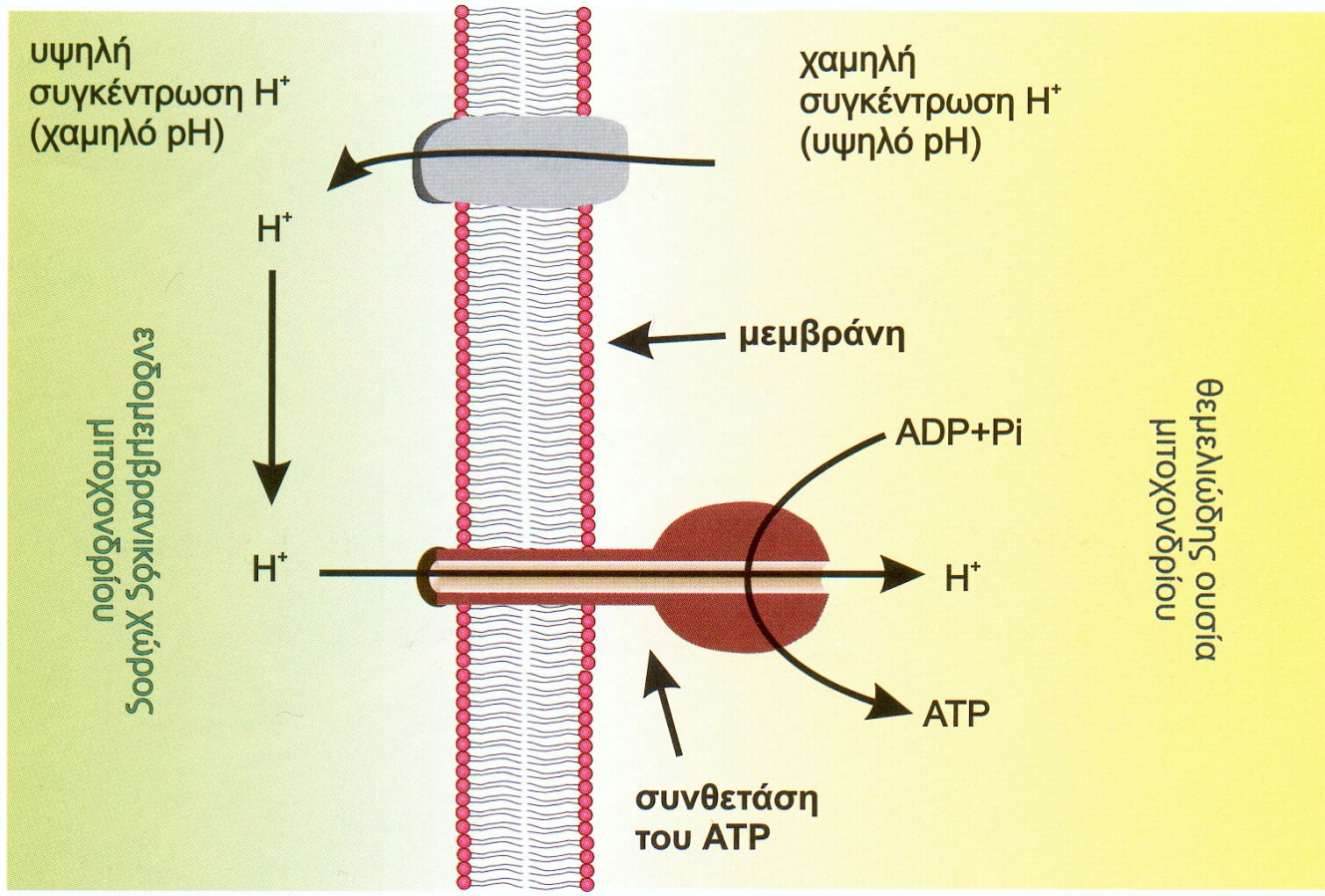
Εικόνα 1.40. Το μόριο του ATP αποτελείται από μια πεντόζη (ριβόζη), μια αζωτούχο βάση, την αδενίνη και τρεις φωσφορικές ρίζες. Σταδιακή αφαίρεση φωσφορικών ομάδων οδηγεί στο σχηματισμό ADP και AMP.

Η υδρόλυση ενός μορίου ΑΤΡ



Το ATP παράγεται κυρίως μέσω δύο μηχανισμών.

- Τη **φωσφορυλίωση επιπέδου υποστρώματος** που πραγματοποιείται με σύζευξη της αντίδρασης σχηματισμού ATP με αντιδράσεις οι οποίες εκλύουν ποσά ενέργειας ικανά να προωθήσουν το σχηματισμό αυτό. Συνήθως από κάποιο υπόστρωμα που διαθέτει δεσμό υψηλής ενέργειας, μεταφέρεται ενέργεια στο ADP προς σχηματισμό ATP.
- Τη **χημειωσμωτική φωσφορυλίωση**, η οποία αποτελεί μια συντονισμένη διαδικασία μαζικής παραγωγής ATP. Αυτή πραγματοποιείται είτε στα μιτοχόνδρια και είναι γνωστή ως **οξειδωτική φωσφορυλίωση**, είτε στους χλωροπλάστες, και είναι γνωστή ως **φωτοφωσφορυλίωση**.



Εικόνα 1.42. Ο σχηματισμός ATP μέσω της συνθετάσης του ATP στην εσωτερική μεμβράνη του μιτοχονδρίου.