

# **ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ**

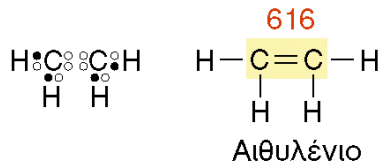
**Γιώργος Τσιάμης**

**Αναπληρωτής Καθηγητής**

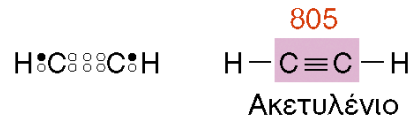
**Περιβαλλοντικής Μικροβιολογίας**

ΜΑΚΡΟΜΟΡΙΑ

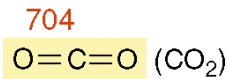
3



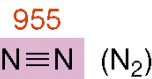
Αιθυλένιο, μια οργανική ένωση με διπλό δεσμό



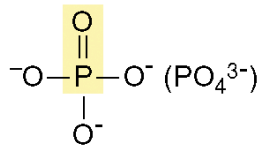
Ακετυλένιο, μια οργανική ένωση με τριπλό δεσμό



Διοξείδιο του άνθρακα

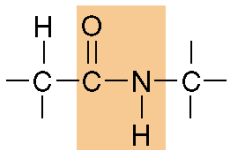


Άζωτο

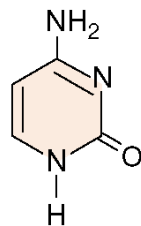


Φωσφορική ρίζα

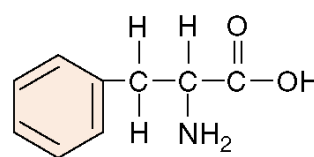
Ορισμένες ανόργανες ενώσεις με διπλό ή τριπλό δεσμό



Πεπτιδικός δεσμός πρωτεϊνών



Κυτοσίνη (αζωτούχος βάση του DNA και του RNA)



Φαινυλαλανίνη (αμινοξύ πρωτεϊνών)

Οργανικές ενώσεις με διπλούς δεσμούς

**Εικόνα 3.1** Ομοιοπολικοί δεσμοί ορισμένων βιολογικά σημαντικών μορίων που περιέχουν διπλούς και τριπλούς δεσμούς. Στις περιπτώσεις του ακετυλενίου και του αιθυλενίου δίνεται και η ηλεκτρονιακή στερεοαπεικόνιση των μορίων. Η ισχύς ενός δεσμού ανά γραμμομόριο (αριθμοί με κόκκινο χρώμα) μετράται σε kilojoule (kJ) και αντιστοιχεί στη θερμική ενέργεια που απαιτείται για τη διάσπαση του δεσμού αυτού.

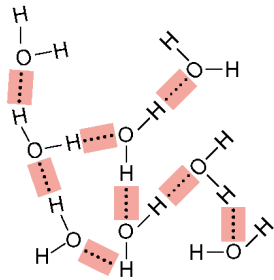
## Ομοιοπολικοί δεσμοί

### Δεσμοί υδρογόνου

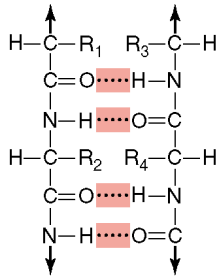
### Δυνάμεις van der Waals (3-4 angstrom)

### Υδρόφοβες αλληλεπιδράσεις

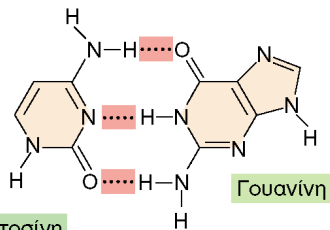
(τα μη πολικά (υδρόφοβα) μόρια τείνουν να δημιουργούν συμπλέγματα μεταξύ τους όταν βρεθούν σε υδατικά διαλύματα.



(α) Νερό



(β) Αμινοξέα σε πρωτεϊνική αλυσίδα. R είναι η πλευρική αλυσίδα κάθε αμινοξέος.

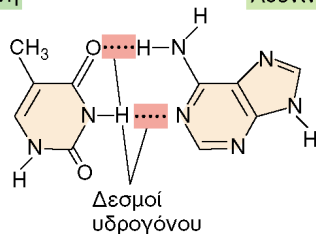


Κυτοσίνη

Γουανίνη

Θυμίνη

Αδενίνη

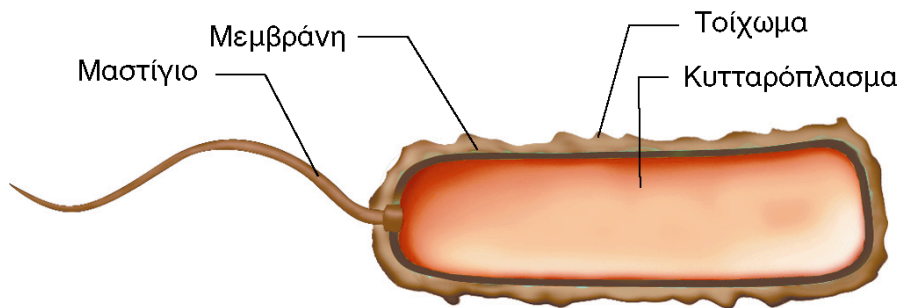


Δεσμοί υδρογόνου

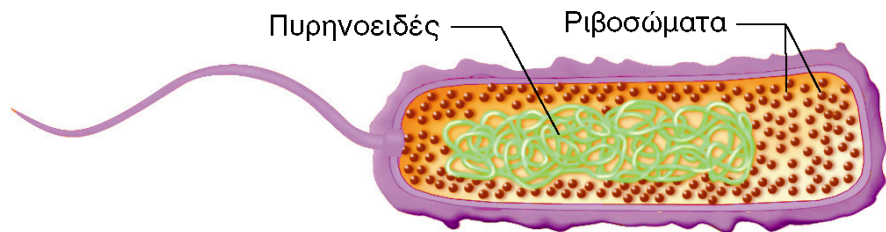
(γ) Αζωτούχες βάσεις στο DNA

**Εικόνα 3.2** Δεσμοί υδρογόνου. Στα νουκλεϊκά οξέα, οι δεσμοί υδρογόνου συμβολίζονται συχνά με συνεχείς γραμμές αντί για σπικτές: δύο γραμμές μεταξύ των ζευγών αδενίνης/θυμίνης και τρεις γραμμές μεταξύ των ζευγών γουανίνης/κυτοσίνης (βλ. Εικόνα 3.11).

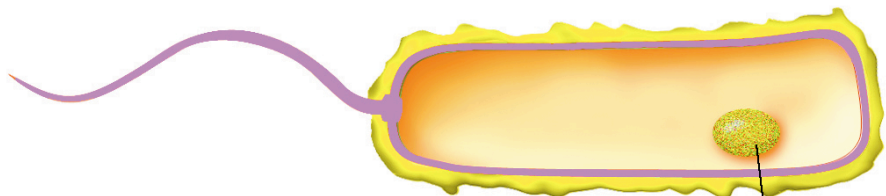




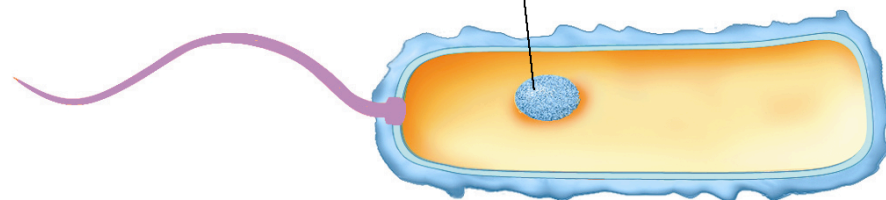
(α) Πρωτεΐνες



(β) Νουκλεϊκά οξέα



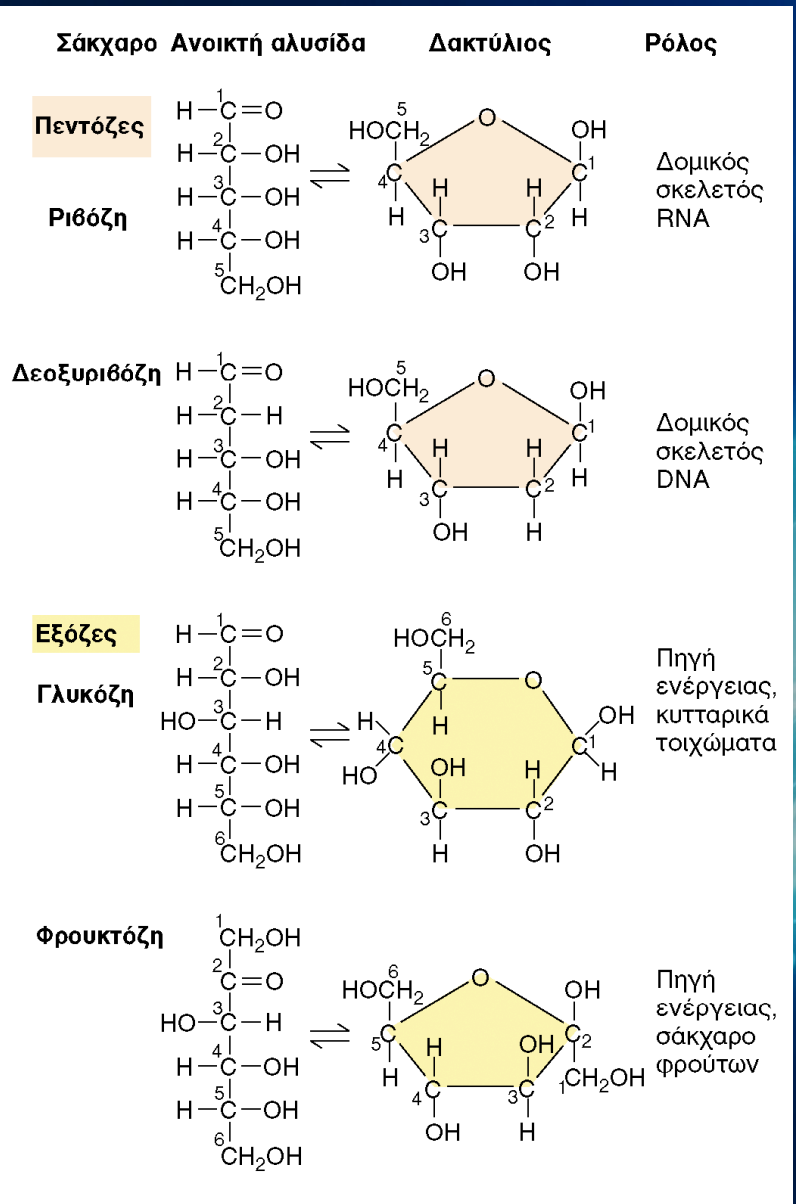
(γ) Πολυσακχαρίτες



(δ) Λιπίδια

Πρωτεΐνες  
RNA  
Λιπίδια  
Πολυσακχαρίτες  
DNA

**Εικόνα 3.3** Θέσεις των μακρομορίων μέσα στο κύτταρο. (α) Πρωτεΐνες (καφέ χρώμα) απαντούν σε όλη την έκταση του κυττάρου, είτε ως μέρη κυτταρικών δομών είτε ως ένζυμα. (β) Νουκλεϊκά οξέα. DNA (πράσινο χρώμα) απαντά στο πυρηνοειδές των προκαρυωτικών κυττάρων και στον πυρήνα των ευκαρυωτικών κυττάρων. RNA (πορτοκαλί χρώμα) απαντά στο κυτταρόπλασμα (mRNA, tRNA) και στα ριβοσώματα (rRNA). (γ) Πολυσακχαρίτες (κίτρινο χρώμα) υπάρχουν στο κυτταρικό τοίχωμα και, ενίοτε, σε εσωτερικά αποθηκευτικά κοκκία. (δ) Λιπίδια (κυανό χρώμα) απαντούν στην κυτταροπλασματική μεμβράνη, στο κυτταρικό τοίχωμα, και σε αποθηκευτικά κοκκία. Ο χρωματικός κώδικας που χρησιμοποιείται εδώ θα εφαρμοσθεί, για την απεικόνιση των 4 τύπων μακρομορίων, σε όλο το βιβλίο. Για το DNA, βλ. επίσης τη λεζάντα της Εικόνας 3.11.

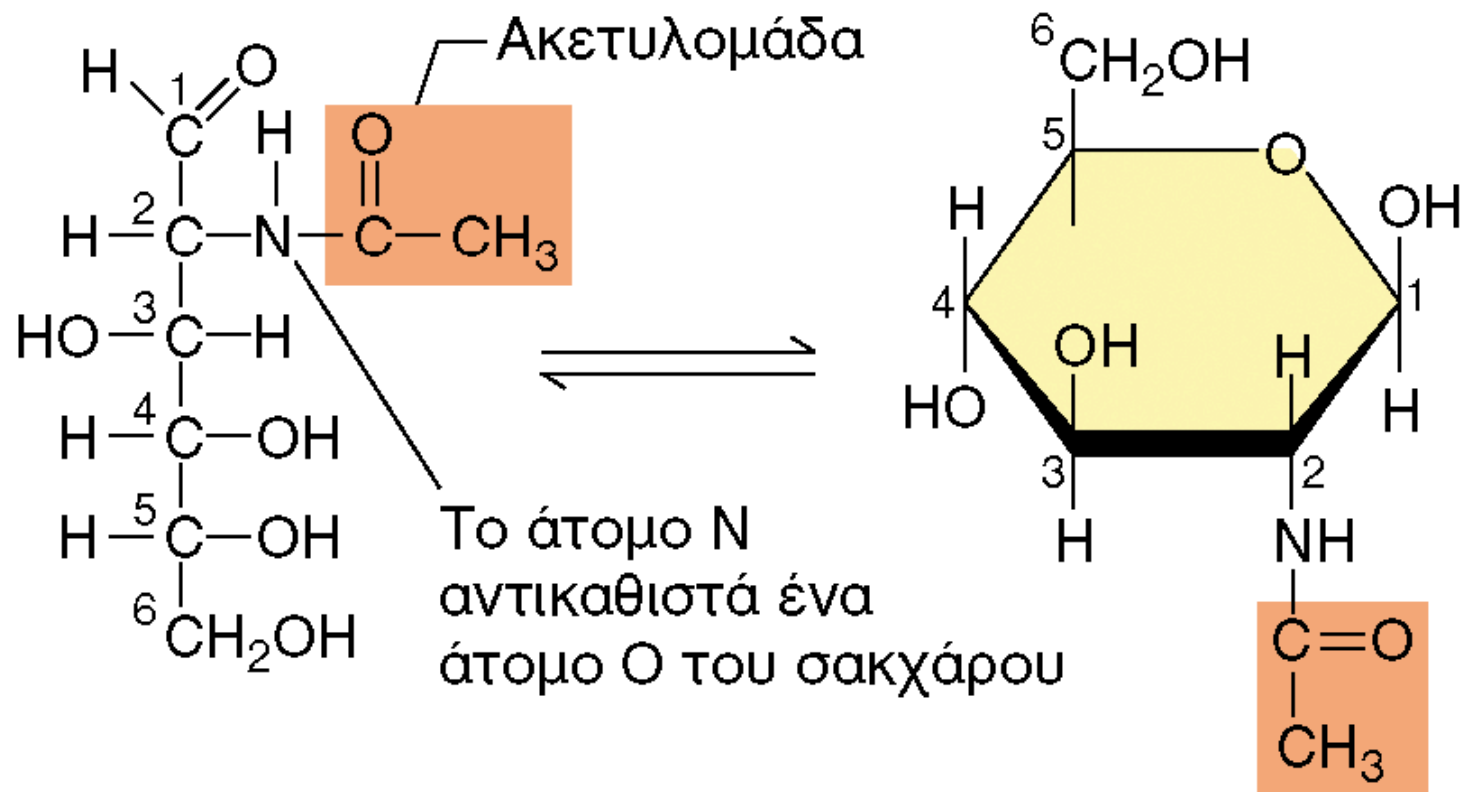


**Εικόνα 3.4** Συντακτικοί τύποι ορισμένων κοινών σακκάρων. Τα σάκκα-ρα αναπαρίστανται με δύο εναλλακτικούς τρόπους: ανοικτής αλυσίδας και δακτυλίου. Η μορφή της ανοικτής αλυσίδας είναι περισσότερο ευανάγνωστη, αλλά συνθέστερα χρησιμοποιείται η μορφή του δακτυλίου. Σημειώστε τον τρόπο αρίθμησης των θέσεων του δακτυλίου.

Οι υδατάνθρακες είναι οργανικές ενώσεις που περιέχουν C, H και O σε αναλογία 1:2:1.

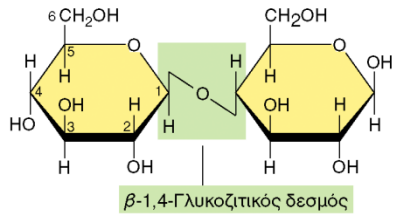
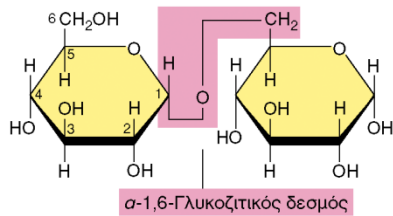
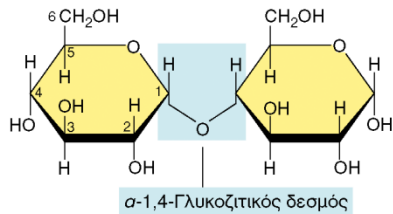
Γλυκόζη = εξόζη =  $C_6H_{12}O_6$

$C_4$ ,  $C_5$ ,  $C_6$  και  $C_7$  οι πιο σημαντικοί

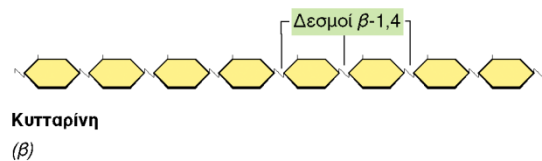
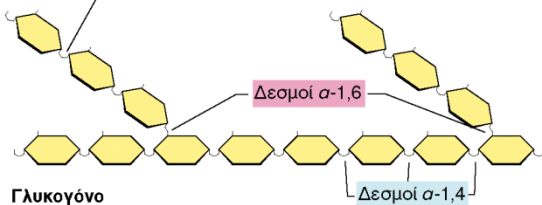
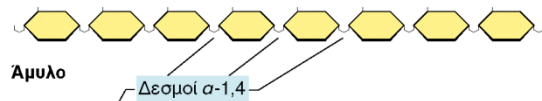


**Εικόνα 3.5**

*N*-ακετυλογλυκοζαμίνη, ένα παράγωγο σακχάρου.



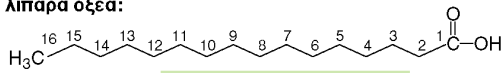
(α)



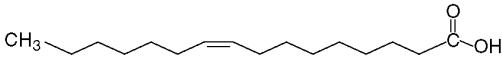
**Εικόνα 3.6** Πολυσακχαρίτες. (α) Δομές διαφόρων γλυκοζιτικών δεσμών. Σημειώστε ότι μπορεί να ποικίλλουν τόσο η σύνδεση όσο και η γεωμετρία ( $\alpha$ - ή  $\beta$ -) του δεσμού. (β) Δομές ορισμένων κοινών πολυσακχαριτών. Συγκρίνετε τον χρωματικό κώδικα με το (α).



### Κοινά λιπαρά οξέα:



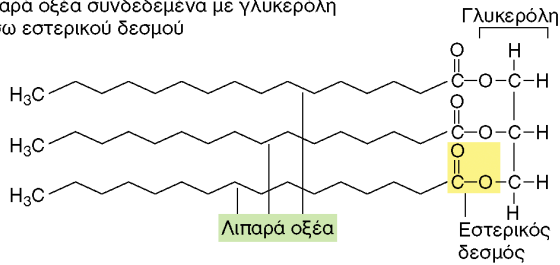
Κορεσμένο C<sub>16</sub> (παλμιτικό)



Μονοακόρεστο C<sub>16</sub> (παλμιτελαϊκό)

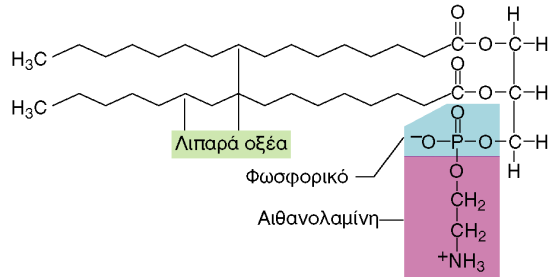
### Απλά λιπίδια (τριγλυκερίδια):

Λιπαρά οξέα συνδεδεμένα με γλυκερόλη μέσω εστερικού δεσμού



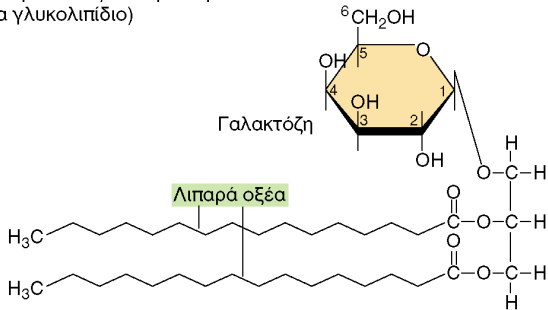
### Σύνθετο λιπίδιο:

Φωσφατιδυλοαιθανολαμίνη (ένα φωσφολιπίδιο)



### Σύνθετο λιπίδιο:

Μονογαλακτοζυλοδιγλυκερίδιο (ένα γλυκολιπίδιο)

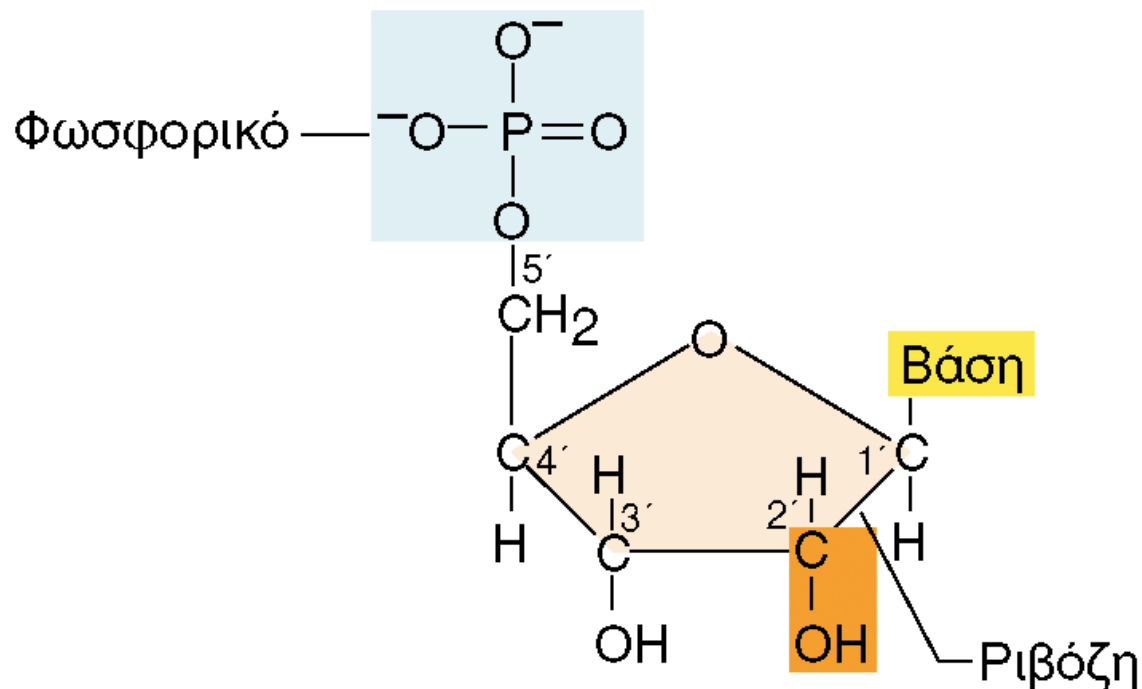


Οι χημικές ιδιότητες των λιπιδίων τα καθιστούν ιδεώδη δομικά συστατικά των μεμβρανών.

Είναι αμφιπαθικά δηλαδή παρουσιάζουν τόσο υδρόφοβες όσο και υδρόφιλες ιδιότητες.

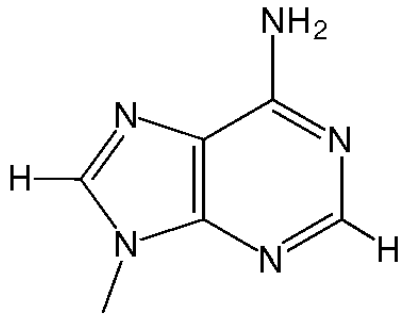
**Εικόνα 3.7** Λιπαρά οξέα, απλά λιπίδια (λίπη), και σύνθετα λιπίδια. Απλά λιπίδια σχηματίζονται με μια αντίδραση αφυδάτωσης μεταξύ λιπαρών οξέων και γλυκερόλης, η οποία δημιουργεί εστερικό δεσμό.



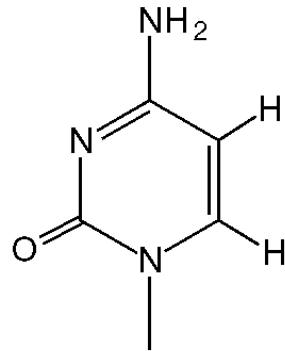


**Εικόνα 3.8** Νουκλεοτίδια. Εδώ απεικονίζεται ένα ριβονουκλεοτίδιο, που απαντά στο RNA. Τα δεοξυριβονουκλεοτίδια, που απαντούν στο DNA, έχουν στον άνθρακα 2' ένα άτομο H αντί της ομάδας  $\text{—OH}$ . Η αρίθμηση των θέσεων του σακχάρου γίνεται με τονούμενους αριθμούς για να διακρίνεται από την αρίθμηση των θέσεων του δακτυλίου της αζωτούχου βάσης, οι οποίες επίσης αριθμούνται (1, 2, 3, κ.λπ.) (βλ. Εικόνα 3.9). Τόσο τα δεοξυριβονουκλεοτίδια όσο και τα ριβονουκλεοτίδια περιέχουν μια 5'-φωσφορική ομάδα.

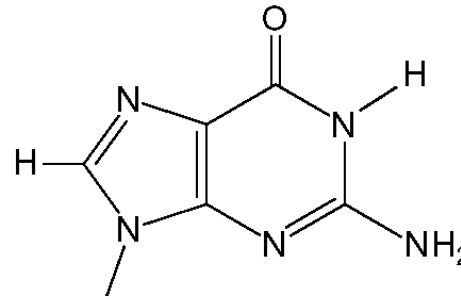
Το DNA είναι ένα γραμμικό πολυμερές το οποίο αποτελείται από διαφορετικά μονομερή.



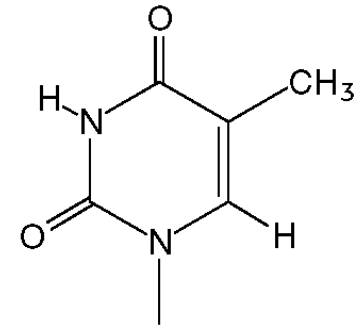
Αδενίνη (A)



Κυτοσίνη (C)

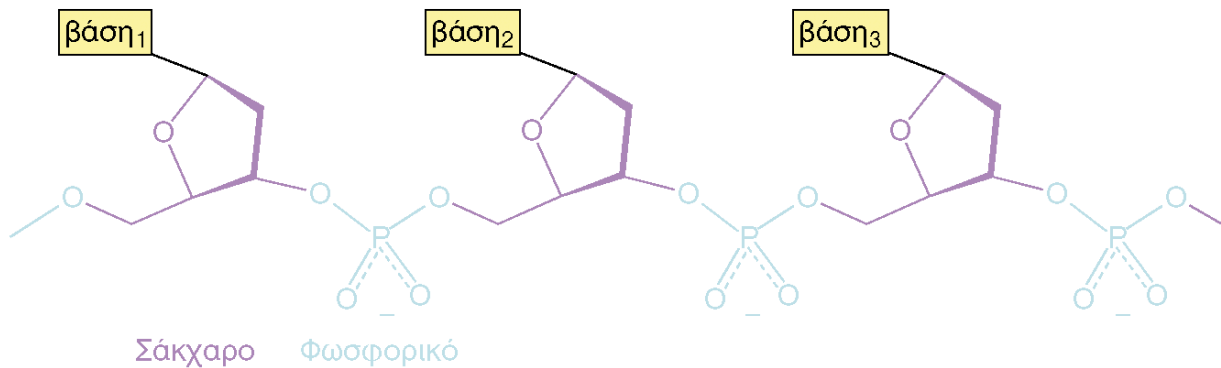


Γουανίνη (G)



Θυμίνη (T)

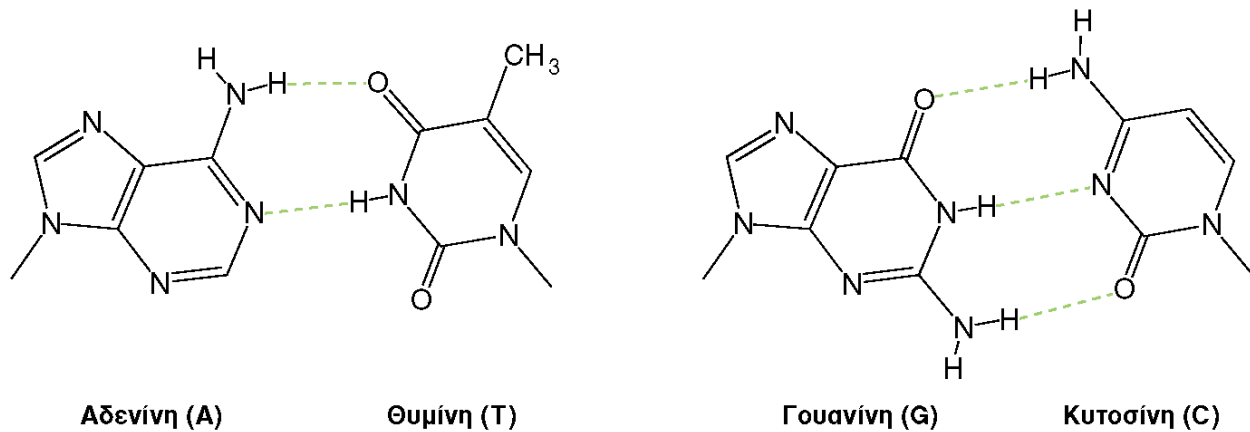
Έχει ένα βασικό κορμό με διαφορετικούς υποκαταστάτες. Ο κορμός δομείται από επαναλαμβανόμενες μονάδες σακχάρου – φωσφορικού. Κάθε μόριο δεοξυριβόζης είναι ομοιοπολικά συνδεδεμένο με μια από τις τέσσερις πιθανές βάσεις: αδενίνη (A), γουανίνη (G), κυτοσίνη (C) και θυμίνη (T).



**ΕΙΚΟΝΑ 1.1 Ομοιοπολική δομή του DNA.**

Κάθε μονάδα του πολυμερούς αποτελείται από ένα σάκχαρο (δεοξυριβόζη), ένα φωσφορικό ανιόν και μια μεταβλητή βάση που προβάλλει από τον κορμό σακχάρου-φωσφορικού.

Κάθε μονάδα του πολυμερούς αποτελείται από ένα σάκχαρο, ένα φωσφορικό ανιόν και μια μεταβλητή βάση



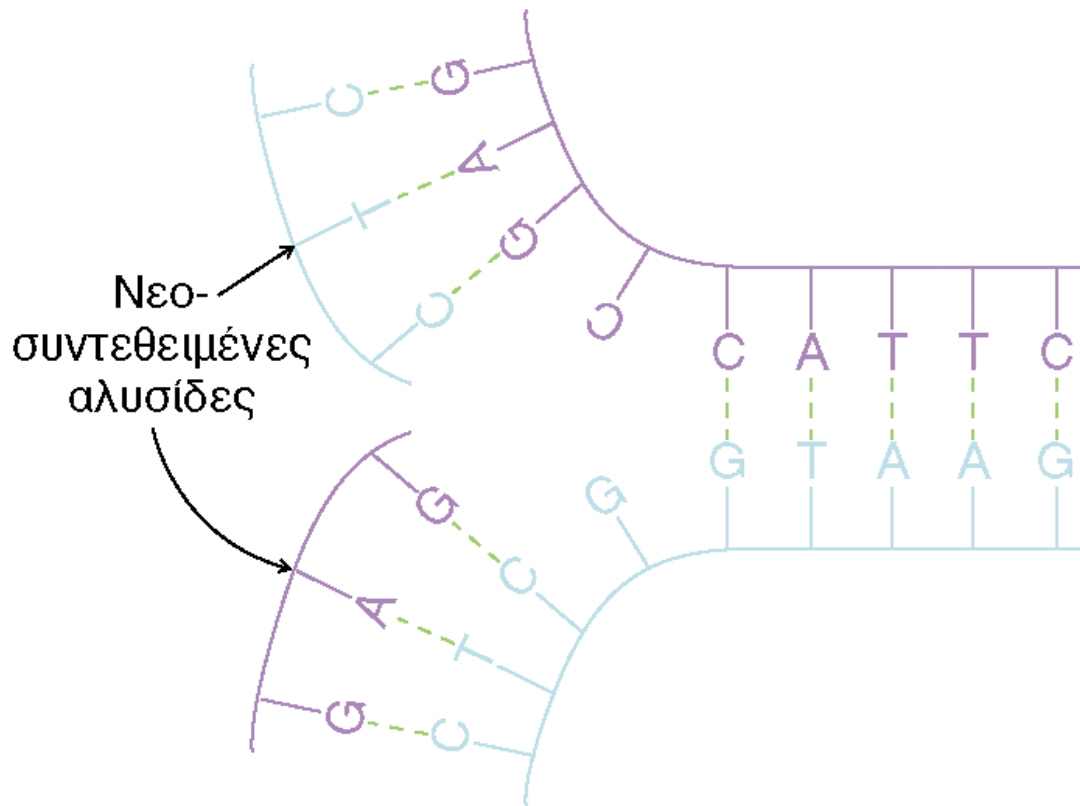
**ΕΙΚΟΝΑ 1.3** Ζεύγη Βάσεων σύμφωνα με τους **Watson και Crick**. Η αδενίνη ζευγαρώνει με την θυμίνη (A—T) και η γουανίνη με την κυτοσίνη (G—C). Οι διακεκομμένες γραμμές αντιπροσωπεύουν δεσμούς υδρογόνου.

Διπλή έλικα του DNA αποτελείται από 2 διαπλεκόμενες αλυσίδες σε μια τέτοια διάταξη ώστε ο κορμός σακχαρού-φωσφορικού να βρίσκονται στο εξωτερικό και οι βάσεις στο εσωτερικό. Το κλειδί στη δομή αυτή είναι ότι οι βάσεις σχηματίζουν συγκεκριμένα ζεύγη βάσεων (bp) τα οποία συγκρατούνται μέσω δεσμών υδρογόνου.

1. Η δομή είναι συμβατή με την οποιαδήποτε αλληλουχία βάσεων
2. Η αλληλουχία των βάσεων στη μία αλυσίδα καθορίζει απόλυτα την αλληλουχία των βάσεων στην άλλη αλυσίδα.

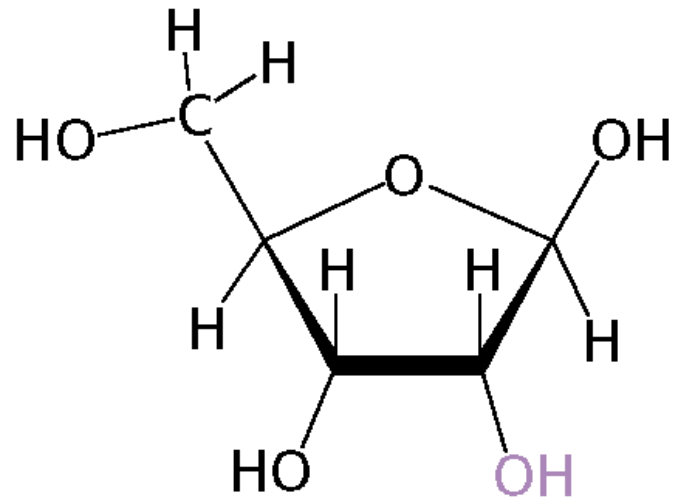
“...Ο συγκεκριμένος σχηματισμός ζευγών βάσεων που έχουμε προτείνει, αυτόματα εισηγείται και ένα πιθανό μηχανισμό αντιγραφής του γενετικού υλικού...”

Watson and Crick

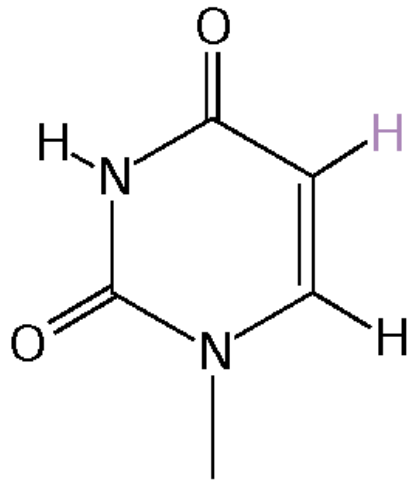


**ΕΙΚΟΝΑ 1.5 Αντιγραφή του DNA.** Αν ένα μόριο DNA χωριστεί σε δύο μονές αλυσίδες, κάθε αλυσίδα μπορεί να λειτουργήσει ως εκμαγείο για την παραγωγή και της δεύτερης αλυσίδας.





Ριβόζη



Ουρακίλη (U)

Ένα σημαντικό νουκλεϊκό οξύ εκτός από το DNA είναι το RNA.

## Ιοί

Όλοι οι οργανισμοί πρέπει να μετατρέψουν το DNA σε RNA για να είναι λειτουργικό.

Πολλές ομοιότητες με το DNA:

-Γραμμικό πολυμερές, σάκχαρο, φωσφορική ομάδα, βάση

Σάκχαρο: ριβόζη αντί δεοξυριβόζη

Ουρακίλη αντί Θυμίνη

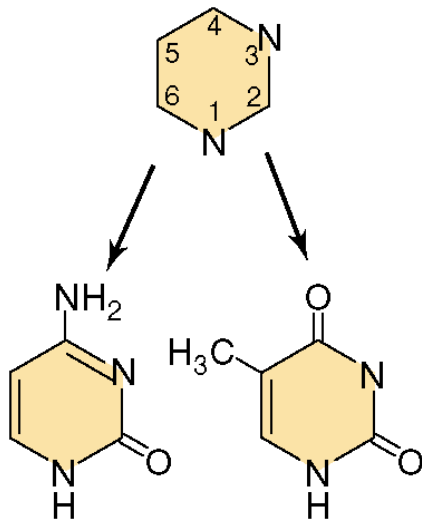
Μονόκλωνο, αλλά μπορεί να δημιουργήσει και δίκλωνες περιοχές.

# ΡΟΛΟΙ RNA ΣΤΟ ΚΥΤΤΑΡΟ

- Λειτουργεί ως ενδιάμεσο στη ροή των γενετικών πληροφοριών. Το DNA αντιγράφεται σε αγγελιοφόρο RNA (mRNA) και το mRNA μεταφράζεται σε πρωτεΐνη.
- Μόρια RNA λειτουργούν ως προσαρμοστές, μεταφράζοντας τις πληροφορίες στην αλληλουχία νουκλεοτιδίων του mRNA σε πληροφορίες οι οποίες καθορίζουν την αλληλουχία των συστατικών των πρωτεϊνών.
- Σημαντικό ρόλο στην πρωτεϊνοσύνθεση – ριβοσώματα.

### Βάσεις πυριμιδίνης

### Βάσεις πουρίνης

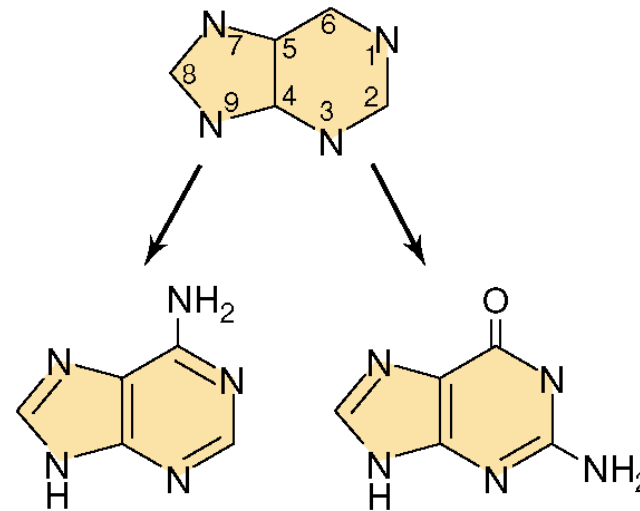


**Κυτοσίνη  
(C)**

**Θυμίνη  
(T)**

DNA  
RNA

Μόνο  
DNA

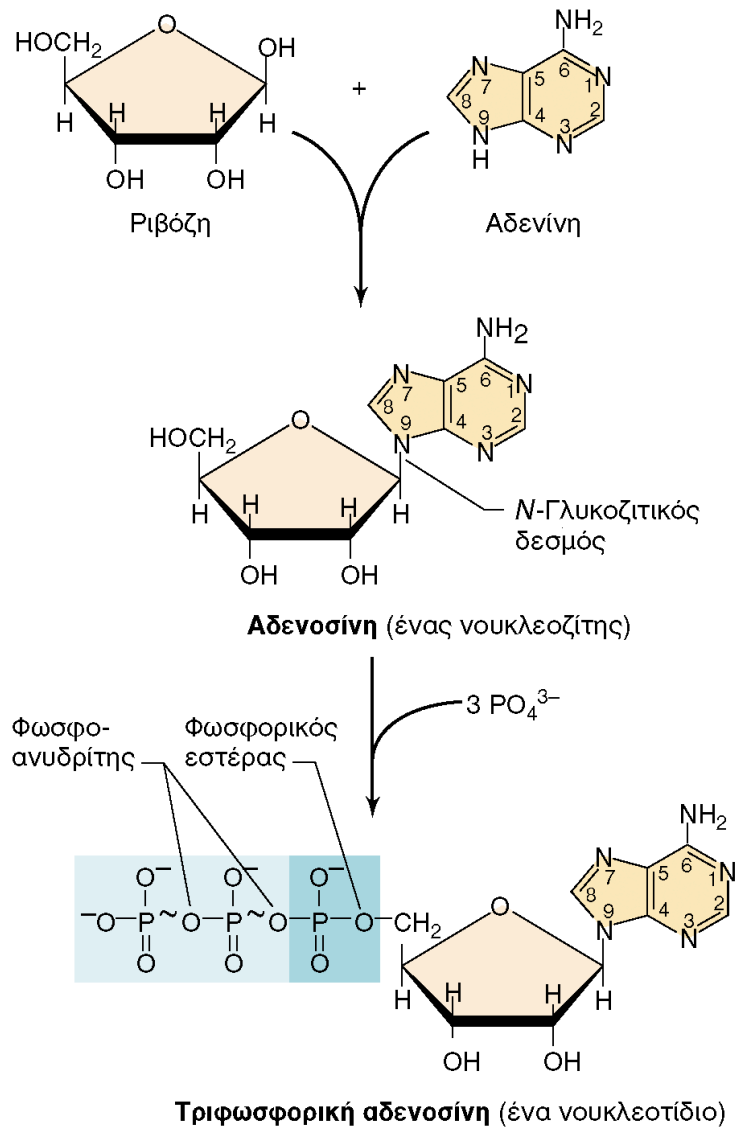


**Αδενίνη  
(A)**

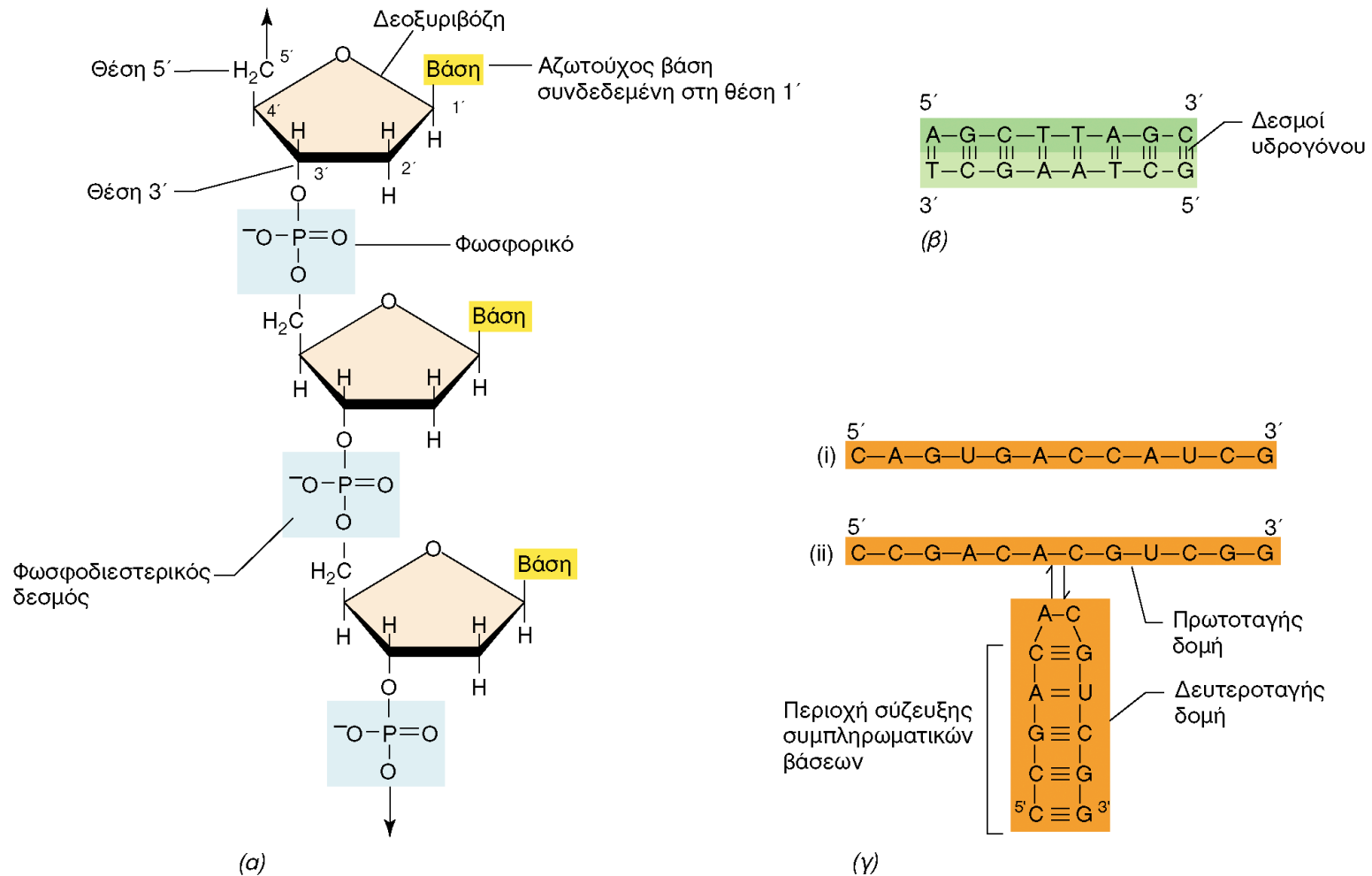
**Γουανίνη  
(G)**

DNA  
RNA

**Εικόνα 3.9** Δομές των βάσεων του DNA και του RNA. Δεν παρατίθεται στην εικόνα η ουρακίλη (U), της οποίας η δομή είναι όμοια με της θυμίνης με τη μόνη διαφορά ότι στερείται της μεθυλομάδας στον C-5. Παρατηρήστε το σύστημα αρίθμησης των δακτυλίων. Κατά την ένωση τους με τον άνθρακα 1' του φωσφοσακχάρου για τον σχηματισμό νουκλεοτιδίου (Εικόνα 3.8), οι βάσεις πυριμιδίνης συνδέονται μέσω του N-1 του δακτυλίου και οι βάσεις πουρίνης μέσω του N-9.

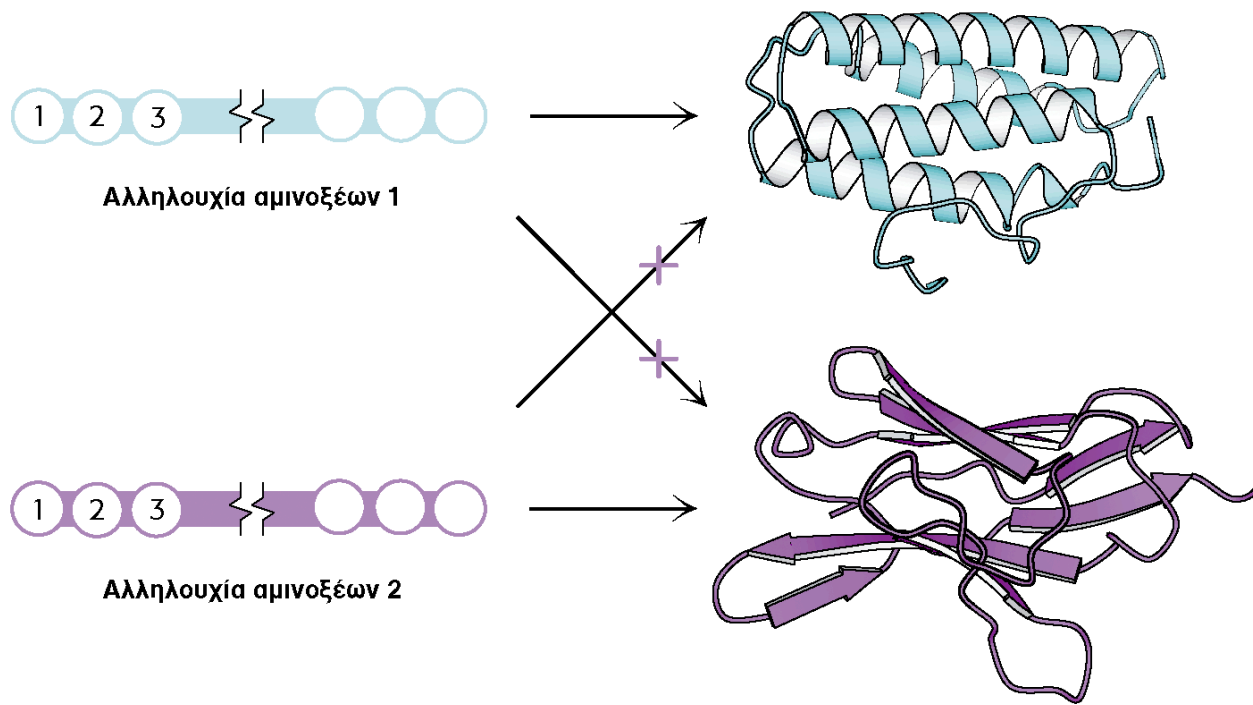


**Εικόνα 3.10** Συστατικά ενός σημαντικού νουκλεοτιδίου, της τριφωσφορικής αδενοσίνης. Η ενέργεια υδρόλυσης του φωσφοανυδριτικού δεσμού (κυματιστές παύλες) είναι μεγαλύτερη από αυτήν του φωσφορικού εστέρα, γεγονός που η σημασία του θα γίνει αντιληπτή στο Κεφάλαιο 5 (🔗 Τμήμα 5.8).



**Εικόνα 3.11** DNA και RNA. (α) Δομή μέρους μιας αλυσίδας DNA. Οι αζωτούχες βάσεις μπορεί να είναι αδενίνη, γουανίνη, κυτοσίνη, ή θυμίνη. Στο RNA, υπάρχει μια ομάδα  $-OH$  στον άνθρακα 2' της πεντόζης (βλ. Εικόνα 3.8), και ουρακίλη αντί της θυμίνης. (β) Απλουστευμένο σχήμα της δομής του DNA, όπου απεικονίζονται μόνον οι αζωτούχες βάσεις. Παρατηρήστε ότι οι δύο αλυσίδες (κλώνοι DNA) είναι συμπληρωματικές ως προς την ακολουθία βάσεων ( $A=T$ ,  $G=C$ ) και συνδέονται με δεσμούς υδρογόνου που σχηματίζονται μεταξύ αυτών των βάσεων. Οι δύο κλώνοι DNA απεικονίζονται με πράσινο χρώμα σε δύο διαφορετικούς τόνους σκίασης, χρωματική σύμβαση που εφαρμόζεται σε όλο το βιβλίο. (γ) RNA: (i) πρωτοταγής δομή, (ii) πρωτοταγής και δευτεροταγής δομή. Στο RNA σχηματίζονται δευτεροταγείς δομές όταν παρουσιάζονται δυνατότητες για ενδομοριακή ζεύξη βάσεων, δηλ. για ζεύξη βάσεων της ίδιας αλυσίδας. Σε ορισμένα πολύ μεγάλα μόρια RNA, όπως π.χ. στο ριβοσωματικό RNA (Εικόνες 7.15 και 11.4), άλλες περιοχές του μορίου έχουν μόνο πρωτοταγή δομή και άλλες τόσο πρωτοταγή όσο και δευτεροταγή δομή. Αυτό οδηγεί σε μόρια με τελικό τριδιάστατο σχήμα που είναι καθοριστικό για τη λειτουργία τους και εμπεριέχει εκτενείς περιελίξεις ή συσπειρώσεις (Εικόνα 11.8γ). Το RNA απεικονίζεται με πορτοκαλί χρώμα, χρωματική σύμβαση που διατηρείται σε όλο το βιβλίο.





**ΕΙΚΟΝΑ 1.6 Αναδίπλωση μιας πρωτεΐνης.** Η τριδιάστατη δομή μιας πρωτεΐνης, ενός γραμμικού πολυμερούς αμινοξέων, καθορίζεται από την αλληλουχία των αμινοξέων της.

Όπως το DNA και το RNA οι πρωτεΐνες είναι γραμμικά πολυμερή. Είναι όμως πιο πολύπλοκα αφού αποτελούνται από είκοσι (αντί για 4) διαφορετικούς δομικούς λίθους που ονομάζονται αμινοξέα.

Οι πρωτεΐνες έχουν μια πολύ σημαντική ιδιότητα: μια πρωτεΐνη αναδιπλώνεται αυθόρμητα σε μια πολύπλοκη και καλά καθορισμένη τρισδιάστατη δομή, η οποία υπαγορεύεται απόλυτα από την αλληλουχία αμινοξέων στην αλυσίδα της.

Τρεις βάσεις κατά μήκος της αλυσίδας DNA/RNA κωδικεύουν ένα αμινοξύ.

Η συγκεκριμένη αντιστοιχία μεταξύ ενός συνδυασμού τριών βάσεων και κάποιου από τα 20 αμινοξέα ονομάζεται γενετικός κώδικας.

Όπως η χρήση του DNA ως γενετικού υλικού είναι καθολική, έτσι και ο γενετικός κώδικας: οι ίδιες αλληλουχίες τριών βάσεων κωδικεύουν τα ίδια αμινοξέα σε όλες τις μορφές της ζωής, από τους μικροοργανισμούς μέχρι τους πολύπλοκους οργανισμούς, όπως είναι ο άνθρωπος.

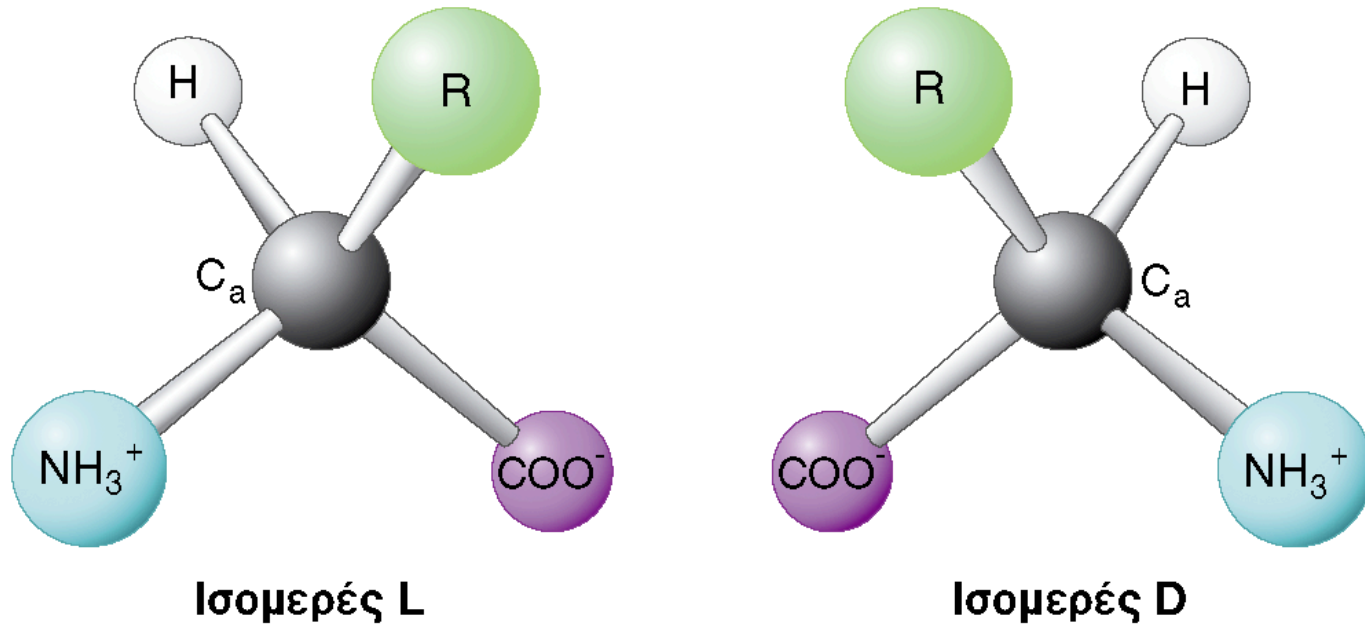
# ΒΑΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΡΩΤΕΙΝΩΝ

1. Οι πρωτεΐνες είναι γραμμικά πολυμερή δομημένα από μονομερή αμινοξέων. Οι πρωτεΐνες αντιπροσωπεύουν τη μετάβαση από τον μονοδιάστατο κόσμο των αλληλουχιών στον τρισδιάστατο κόσμο που παρουσιάζουν μεγάλο εύρος αλληλουχιών.
2. Οι πρωτεΐνες περιέχουν μια μεγάλη σειρά λειτουργικών ομάδων όπως αλκοόλες, θειόλες, θειοαιθέρες, καρβοξυλικές ομάδες, καρβαμίδια και ποικιλία βασικών ομάδων.
3. Οι πρωτεΐνες μπορούν να αλληλεπιδράσουν μεταξύ τους και με άλλα βιολογικά μακρομόρια, για να δημιουργήσουν πολύπλοκα συσσωματώματα (ακριβή αντιγραφή DNA, μεταγωγή σήματος μέσα στο κύτταρο)
4. Μερικές πρωτεΐνες είναι σχεδόν άκαμπτες, ενώ υπάρχουν άλλες που εμφανίζουν μια σχετική ακαμψία.
  - Άκαμπτα = δομικά στοιχεία του κυτταρικού σκελετού
  - Ευκαμψία = ελατήρια ή μοχλοί απαραίτητα για την πρωτεϊνική λειτουργία



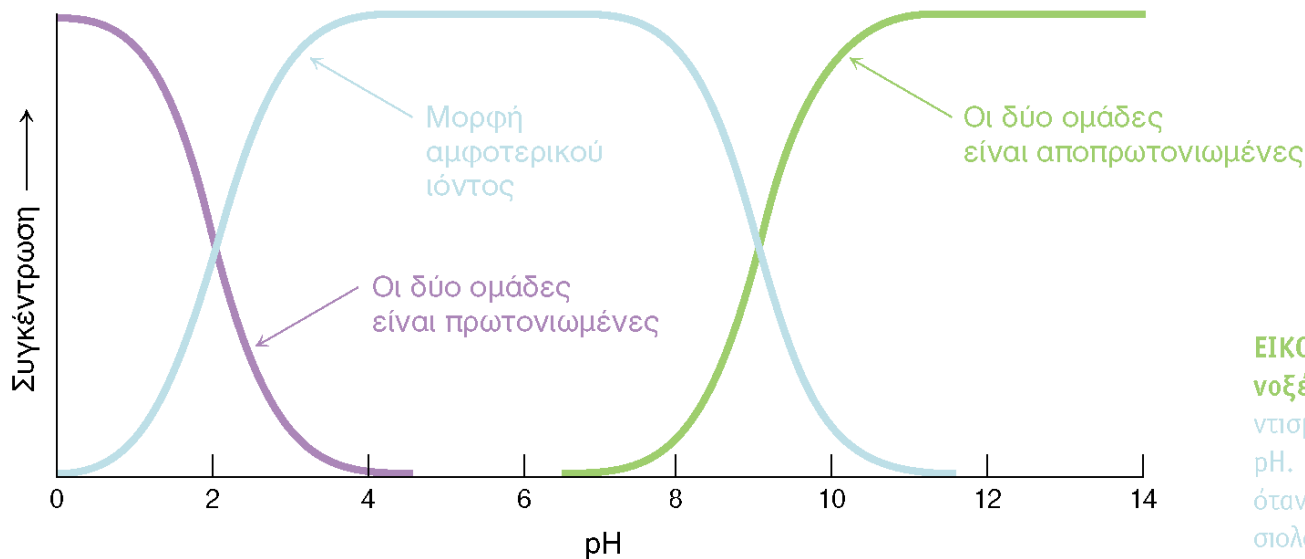
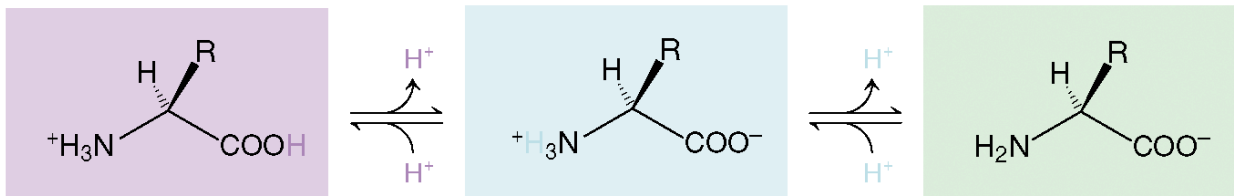
Ένα αμινοξύ αποτελείται από ένα κεντρικό άτομο άνθρακα που λέγεται α-άνθρακας, συνδεδεμένο με μια αμινική ομάδα, μια καρβοξυλική ομάδα, ένα άτομο υδρογόνου και μια χαρακτηριστική ομάδα R. Η ομάδα R ονομάζεται και *πλευρική αλυσίδα*.

Τα αμινοξέα σε διάλυμα που έχει ουδέτερο pH συμπεριφέρονται σαν δίπολα ιόντα (αμφοτερικά ιόντα).



**ΕΙΚΟΝΑ 3.4** Τα ισομερή των αμινοξέων είναι D και L. Το σύμβολο R σημαίνει οποιαδήποτε πλευρική αλυσίδα. Τα D και L είναι εναντιομερή, δηλαδή αποτελούν αντίστροφες εικόνες το ένα του άλλου.

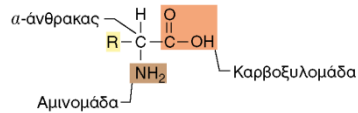
Στη διπολική μορφή η αμινική ομάδα είναι πρωτονιωμένη ( $\text{NH}_3^+$ ) και η καρβοξυλική ομάδα είναι αποπρωτονιωμένη ( $-\text{COO}^-$ ). Ο βαθμός ιοντισμού ενός αμινοξέου ποικίλλει ανάλογα με το pH. Σε όξινο διάλυμα η αμινική ομάδα είναι πρωτονιωμένη ( $\text{NH}_3^+$ ) και η καρβοξυλική είναι ανέπαφη ( $-\text{COOH}$ ). Η διπολική μορφή συνεχίζει μέχρι το pH 9.



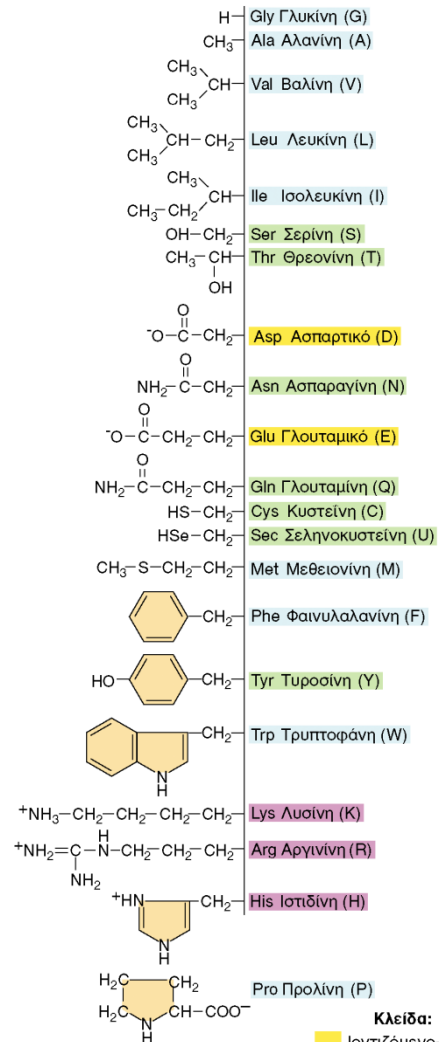
**ΕΙΚΟΝΑ 3.6** Η κατάσταση ιοντισμού των αμινοξέων σχετίζεται με το pH. Η κατάσταση ιοντισμού των αμινοξέων αλλάζει όταν αλλάζει το pH. Η μορφή αμφοτερικού ιόντος υπερσχύει όταν το η τιμή του pH βρίσκεται κοντά στη φυσιολογική.



## Γενική δομή ενός αμινοξέος



## Δομή των αμινοξικών ομάδων



### Κλειδα:

■ Ιοντιζόμενο-όξινο

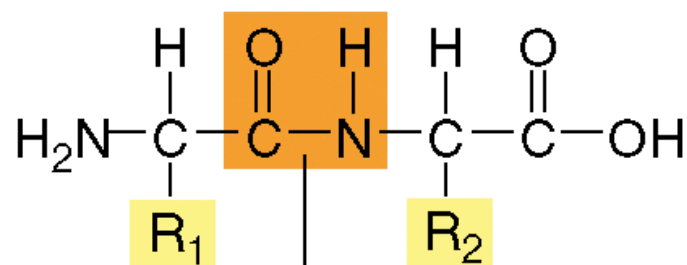
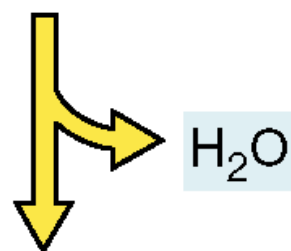
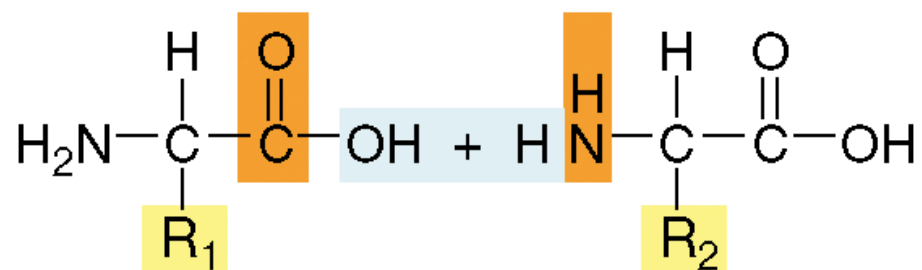
■ Ιοντιζόμενο-αλκαλικό

■ Πολικό μη ιοντιζόμενο

■ Μη πολικό (υδρόφοβο)

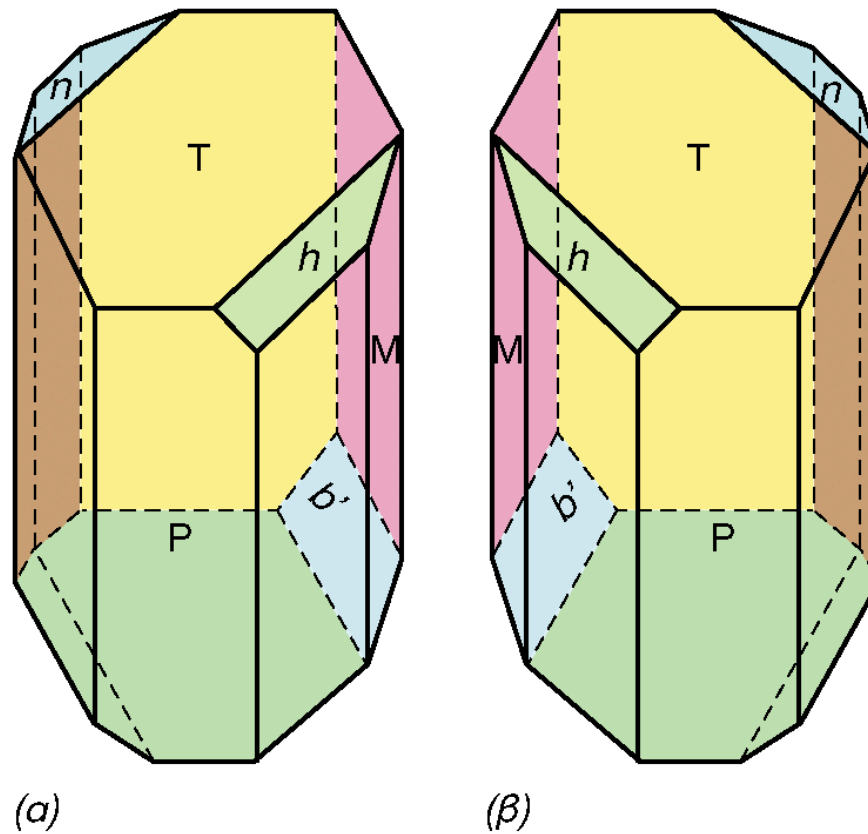
(Σημείωση: Στην περίπτωση της προλίνης απεικονίζεται ολόκληρη η δομή, όχι μόνον η ομάδα R. Η προλίνη δεν είναι ακριβώς αμινοξύ, διότι στερείται ελεύθερης αμινομάδας.)

**Εικόνα 3.12** Συντακτικοί τύποι των 21 κοινών αμινοξέων. Αριστερά από το όνομα κάθε αμινοξέος δίνεται η τριγράμματη συντομογραφία του και δεξιά (σε παρένθεση) η μονογράμματη συντομογραφία του.

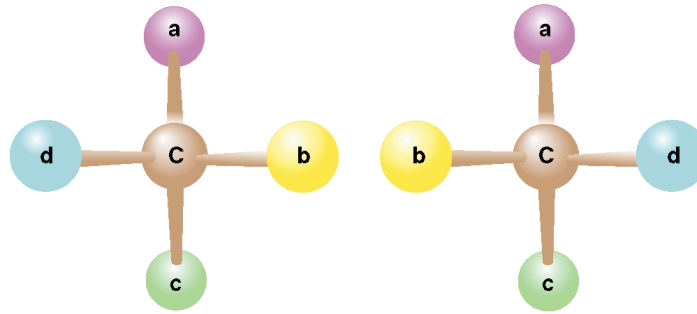


Πεπτιδικός  
δεσμός

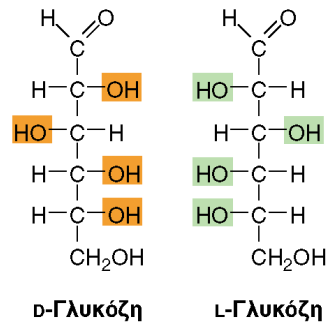
**Εικόνα 3.13** Σχηματισμός πεπτιδικού δεσμού.  $R_1$  και  $R_2$  αναφέρονται στο μεταβλητό μέρος των αμινοξέων (πλευρική αλυσίδα) (βλ. Εικόνα 3.12).



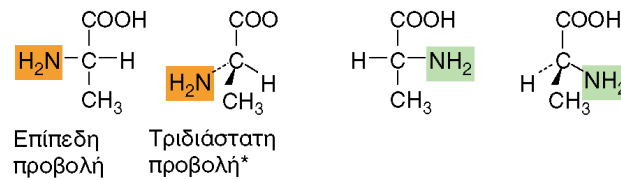
**Εικόνα 3.14** Σχεδιαγράμματα κρυστάλλων τρυγικού οξέος ( $C_4H_6O_6$ ), διά χειρός Louis Pasteur, από το περίφημο άρθρο του περί οπτικής ενεργότητας. (α) Αριστεροχειρικός κρύσταλλος (μορφή L). (β) Δεξιοχειρικός κρύσταλλος (μορφή D). Οι δύο κρύσταλλοι είναι κατοπτρικά είδωλα ο ένας του άλλου (δηλ. εναντιομερή). Τα γράμματα πάνω στις έδρες των κρυστάλλων υποδηλώνουν τα ζεύγη εναντιομερών εδρών, κατά τον συμβολισμό του Pasteur. Για να αναδειχθεί σαφέστερα η εναντιομέρεια των κρυστάλλων, έχει χρησιμοποιηθεί έγχρωμη σκίαση.



(α)



(β)



**L-Αλανίνη**

**D-Αλανίνη**

\* Στην τριδιάστατη προβολή, το μεν βέλος θα πρέπει να θεωρηθεί ότι κατευθύνεται προς τον παρατηρητή, η δε διακεκομμένη γραμμή ότι απομακρύνεται από αυτόν.

(γ)

**Εικόνα 3.15** Ισομερή. (α) Υπόδειγμα ζεύγους κατοπτρικών ειδώλων. (β) Εναντιομερή γλυκόζης. (γ) Εναντιομερή του αμινοξέος αλανίνη. Παρατηρήστε ότι, όπως και να περιστραφούν οι τριδιάστατες προβολές των μορίων, οι δύο μορφές, L και D, είναι αδύνατον να συμπέσουν.

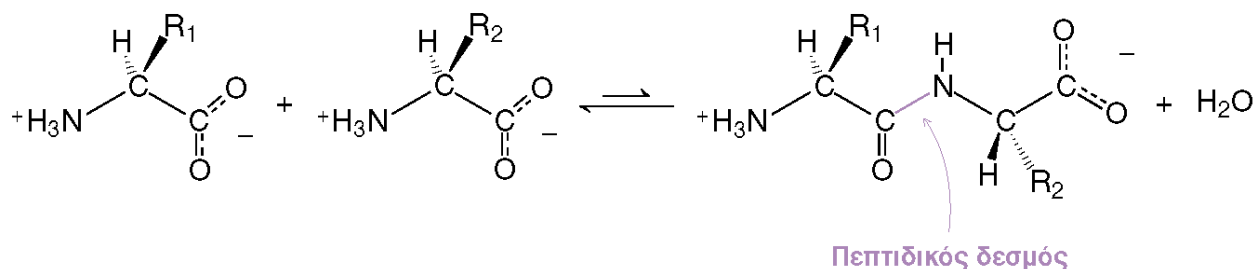
# ΠΡΩΤΟΤΑΓΗΣ ΔΟΜΗ: ΤΑ ΑΜΙΝΟΞΕΑ ΣΥΝΔΕΟΝΤΑΙ ΜΕ ΠΕΠΤΙΔΙΚΟΥΣ ΔΕΣΜΟΥΣ ΓΙΑ ΝΑ ΣΧΗΜΑΤΙΣΟΥΝ ΠΟΛΥΠΕΠΤΙΔΙΚΕΣ ΑΛΥΣΙΔΕΣ

Οι πρωτεΐνες είναι γραμμικά πολυμερή που δημιουργούνται δεσμεύοντας την α-καρβοξυλική ομάδα ενός αμινοξέος στην α-αμινική ομάδα ενός άλλου αμινοξέος με έναν πεπτιδικό δεσμό που ονομάζεται και αμιδικός δεσμός.

Η δημιουργία ενός διπεπτιδίου συνοδεύεται από την απώλεια ενός μορίου νερού.

Μια σειρά αμινοξέων που ενώνονται με πεπτιδικούς δεσμούς δημιουργούν μια πολυπεπτιδική αλυσίδα.

Μια πολυπεπτιδική αλυσίδα έχει πολικότητα διότι τα δύο άκρα της είναι διαφορετικά: αμινική ομάδα και καρβοξυλική ομάδα



**ΕΙΚΟΝΑ 3.18** Η δημιουργία πεπτιδικού δεσμού. Η σύνδεση δύο αμινοξέων συνοδεύεται από την απώλεια ενός μορίου ύδατος.

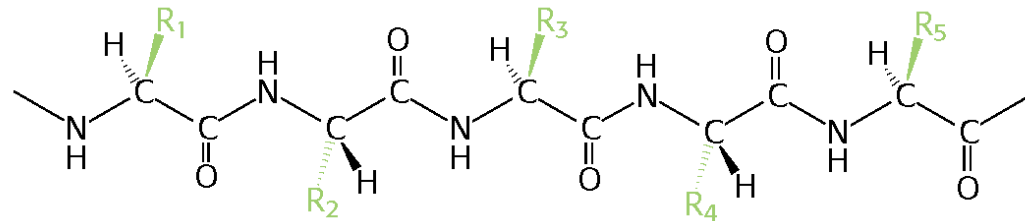


Οι περισσότερες φυσικές πολυπεπτιδικές αλυσίδες περιέχουν από 50 έως 2000 κατάλοιπα αμινοξέων και ονομάζονται πρωτεΐνες. Τα πεπτίδια που έχουν μικρότερο αριθμό αμινοξέων ονομάζονται ολιγοπεπτίδια ή απλώς πεπτίδια.

Μάζα μιας πρωτεΐνης εκφράζεται σε μονάδες dalton ισούται με τη μονάδα ατομικής μάζας.

Μια πρωτεΐνη μοριακού βάρους 50,000 έχει μάζα 50,000 daltons ή 50 kd.

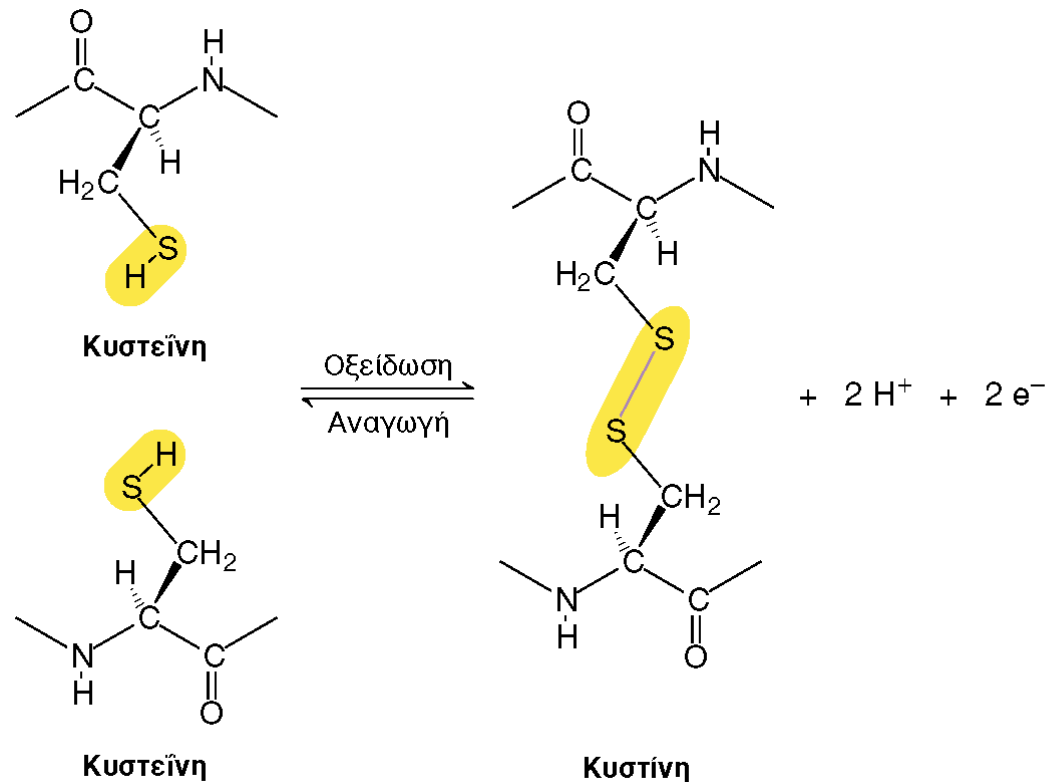
**ΕΙΚΟΝΑ 3.20** Τα τμήματα της πολυπεπτιδικής αλυσίδας. Η πολυπεπτιδική αλυσίδα αποτελείται από έναν σταθερό κορμό (μαύρο χρώμα) και ποικιλία πλευρικών αλυσίδων (πράσινο χρώμα).



# ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΕΙΣ

Οι πιο κοινές διασυνδέσεις είναι οι δισουλφιδικοί δεσμοί που σχηματίζονται από την οξείδωση ενός ζεύγους καταλοίπων κυστεΐνης.

Οι εξωκυτταρικές πρωτεΐνες είναι πλούσιες σε δισουλφιδικούς δεσμούς όχι όμως οι ενδοκυτταρικές.



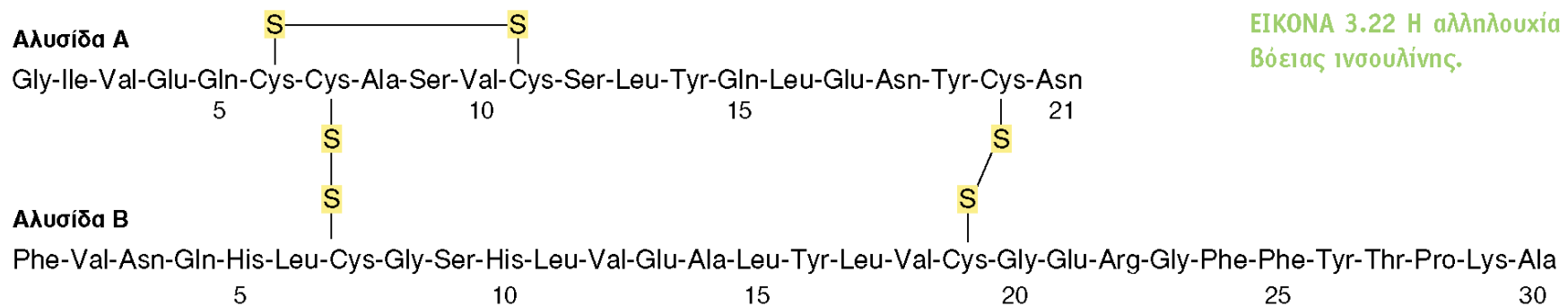
**ΕΙΚΟΝΑ 3.21 Διασυνδέσεις.** Ο σχηματισμός δισουλφιδικού δεσμού από δύο κατάλοιπα κυστεΐνης είναι οξειδωτική αντίδραση.

Το 1953 ο Frederick Sanger προσδιόρισε την αλληλουχία αμινοξέων της ινσουλίνης, που είναι μια πρωτεϊνική ορμόνη.

Το επίτευγμα αυτό αποτελεί ορόσημο για τη βιοχημεία διότι απέδειξε για πρώτη φορά ότι μια πρωτεΐνη έχει μια απόλυτα καθορισμένη αλληλουχία αμινοξέων.

Σήμερα γνωρίζουμε ολόκληρη την αλληλουχία για περισσότερες από 100,000.

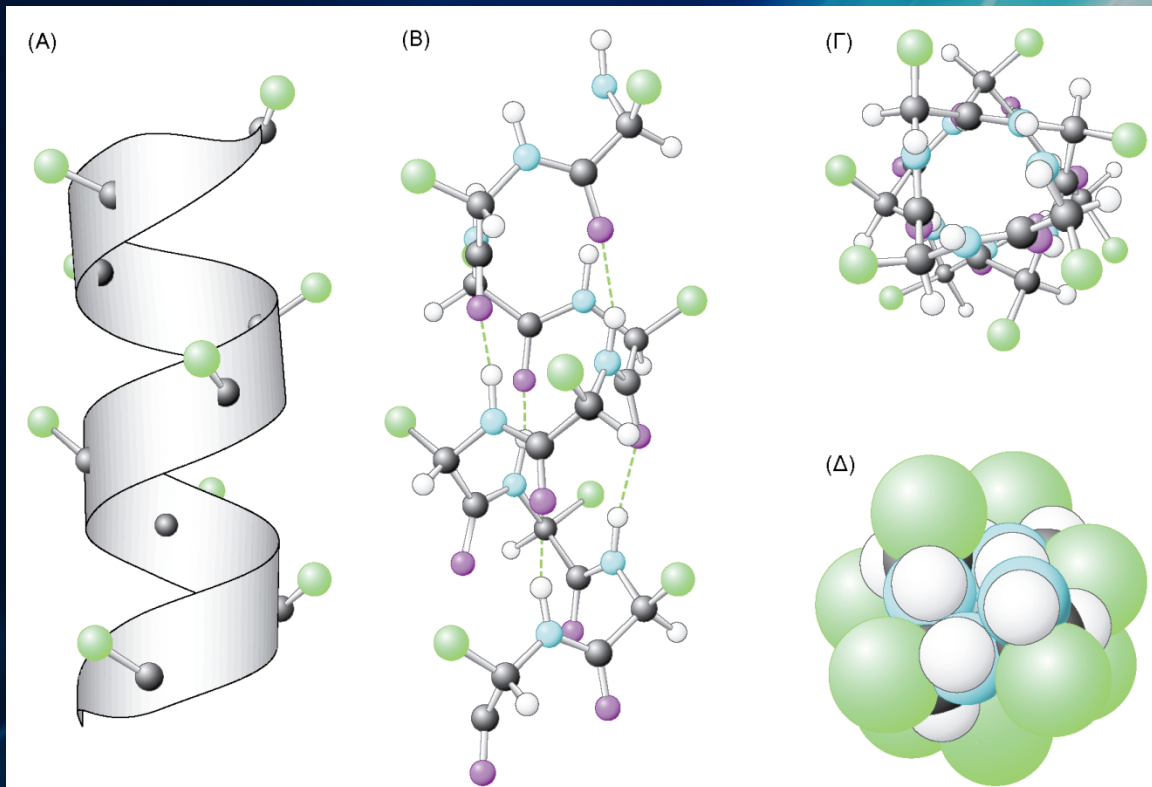
Η αλληλουχία αμινοξέων της πρωτεΐνης συχνά ονομάζεται πρωτοταγής δομή.



ΕΙΚΟΝΑ 3.22 Η αλληλουχία αμινοξέων Βόειας ινσουλίνης.

# ΔΕΥΤΕΡΟΤΑΓΗΣ ΔΟΜΗ

Το 1951 οι Linus Pauling και Robert Corey πρότειναν δύο περιοδικές δομές που τις ονόμασαν  $\alpha$ -έλικα και  $\beta$ -πτυχωτή επιφάνεια. Κατόπιν καθορίστηκαν και οι δομές  $\beta$ -στροφή και  $\Omega$ -θηλιά.



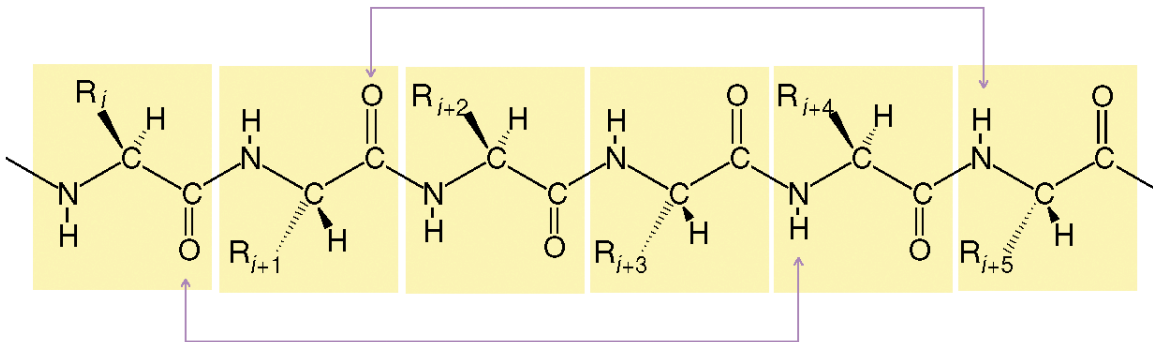
**ΕΙΚΟΝΑ 3.29 Η δομή μιας  $\alpha$ -έλικας.** (Α) Η απεικόνιση κορδέλας στην οποία ξεχωρίζουν τα άτομα  $\alpha$ -άνθρακα και οι πλευρικές αλυσίδες (πράσινο). (Β) Μια πλάγια όψη του μοντέλου με σφαίρες και ράβδους όπου διακρίνονται οι δεσμοί υδρογόνου (διακεκομμένες γραμμές) μεταξύ των ομάδων NH και CO. (Γ) Παρατηρώντας από το άκρο της έλικας και παράλληλα προς τον άξονα βλέπουμε τον περιελιγμένο κορμό να σχηματίζει το εσωτερικό της έλικας και τις πλευρικές αλυσίδες (πράσινο) να προεξέχουν προς τα έξω. (Δ) Ένα χωροπληρωτικό μοντέλο του (Γ) δείχνει πόσο λίγος κενός χώρος μένει στο κέντρο της έλικας.



# ΔΕΥΤΕΡΟΤΑΓΗΣ ΔΟΜΗ

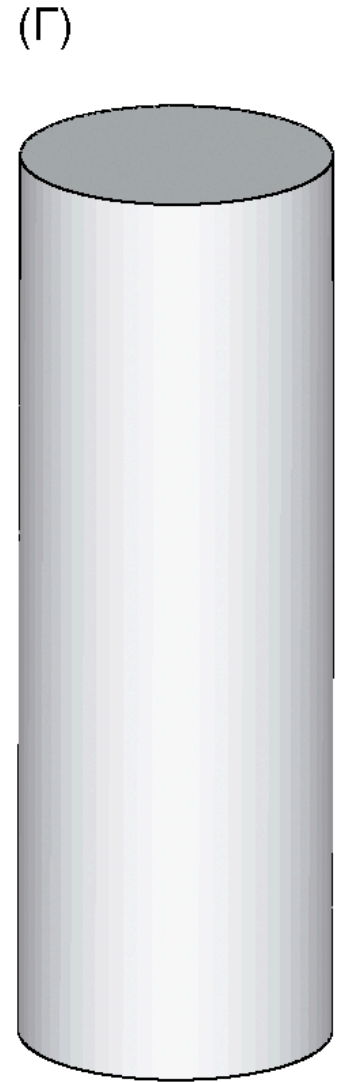
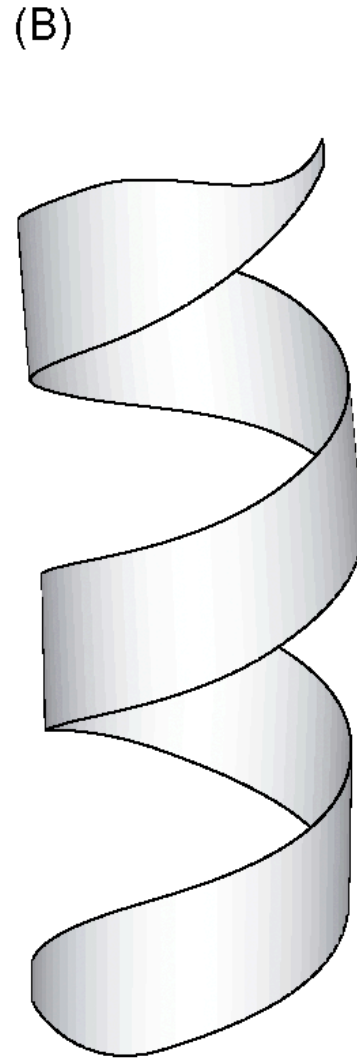
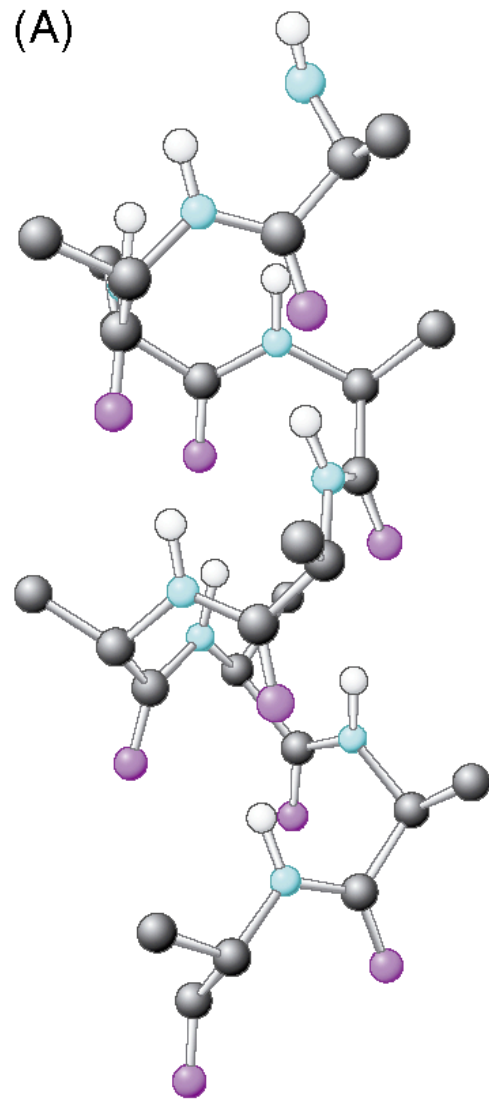
$\alpha$ -έλικα ραβδόμορφη δομή σταθεροποιείται από δεσμούς υδρογόνου μεταξύ των ομάδων NH και CO της κύριας αλυσίδας.

Συγκεκριμένα, η ομάδα CO κάθε αμινοξέος σχηματίζει έναν δεσμό υδρογόνου με την ομάδα NH του αμινοξέος που βρίσκεται τέσσερα κατάλοιπα μπροστά στην αλληλουχία.



**ΕΙΚΟΝΑ 3.30** Δημιουργία δεσμών υδρογόνου σε μια  $\alpha$ -έλικα. Στην  $\alpha$ -έλικα η ομάδα CO του καταλοίπου  $n$  δημιουργεί έναν δεσμό υδρογόνου με την ομάδα NH του καταλοίπου  $n + 4$ .

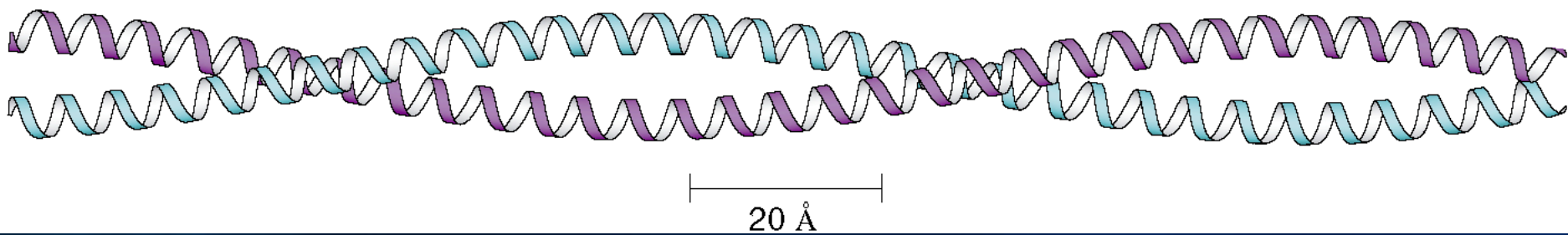
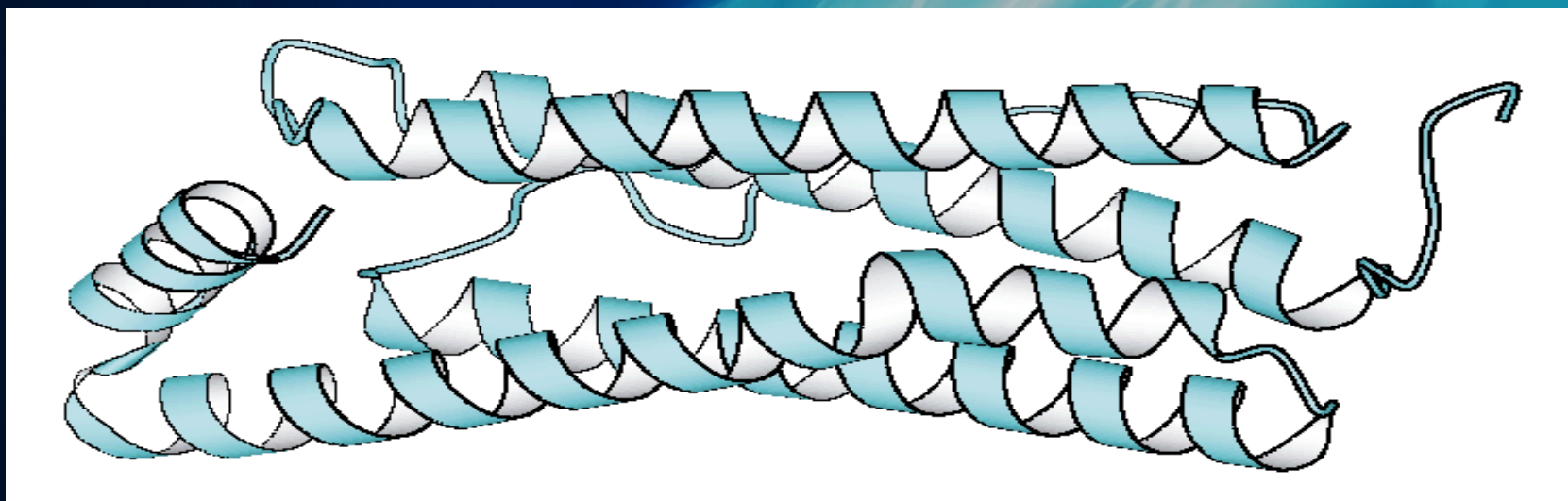




**ΕΙΚΟΝΑ 3.32** Σχηματική απεικόνιση μιας  $\alpha$ -έλικας. (A) Μοντέλο με σφαίρες και ράβδους. (B) Απεικόνιση κορδέλας. (Γ) Απεικόνιση κυλίνδρου.

Οι Paulin και Corey προέβλεψαν τη δομή της  $\alpha$ -έλικας έξι χρόνια πριν αποκαλυφθεί για πρώτη φορά στη δομή της μυοσφαιρίνης με τη χρήση των ακτίνων Χ.

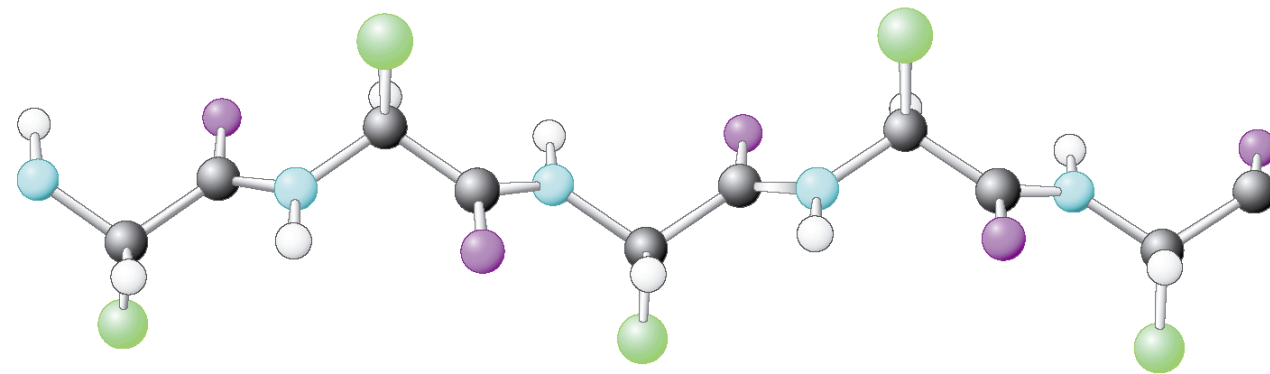
Το ποσοστό της  $\alpha$ -έλικας των πρωτεϊνών ποικίλλει από 0-100%. Το 75% της φερριτίνης, της πρωτεΐνης που βοηθά στην αποθήκευση του σιδήρου, βρίσκονται σε μορφή  $\alpha$ -έλικα.



Οι Pauling και Corey ανακάλυψαν άλλο ένα περιοδικό δομικό μοτίβο το οποίο ονόμασαν β-πτυχωτή επιφάνεια.

Μια πολυπεπτιδική αλυσίδα που ονομάζεται β-πτυχώση, σε μια β-επιφάνεια είναι σχεδόν απόλυτα απλωμένη, αντίθετα από το σφιχτό σπείραμα της α-έλικας.

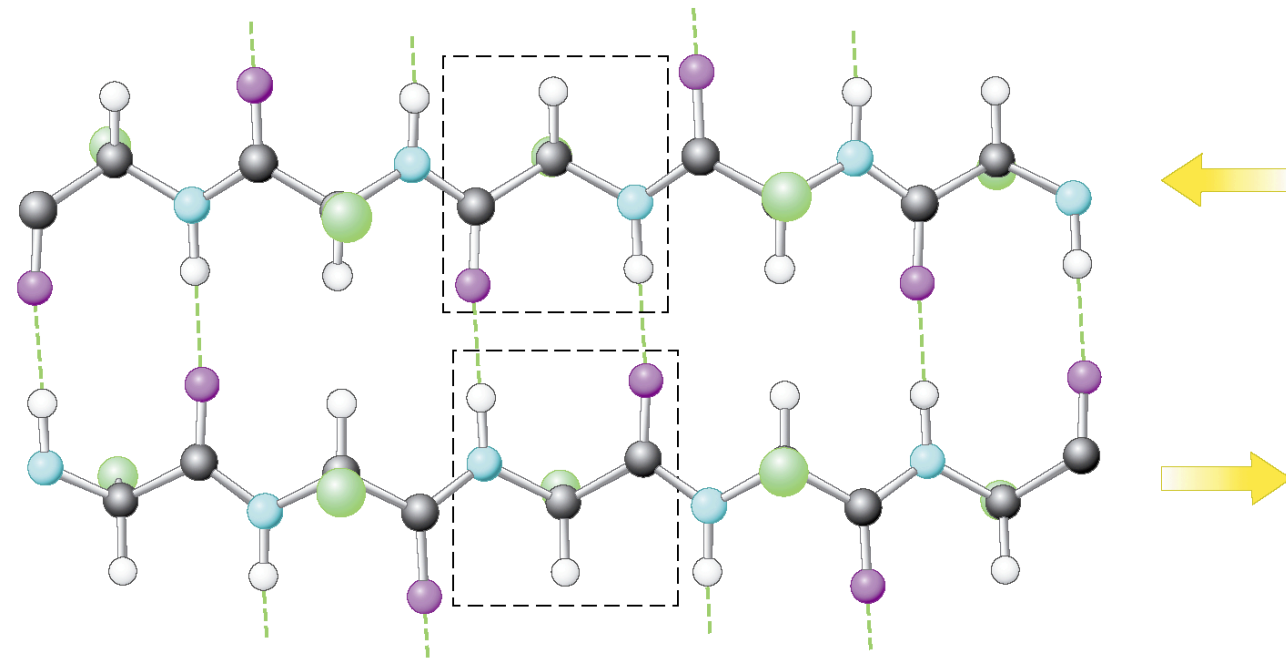
Η απόσταση μεταξύ γειτονικών αμινοξέων σε μια β-πτυχώση είναι περίπου  $3.5\text{\AA}$ , ενώ στην α-έλικα είναι  $1.5\text{\AA}$ .



**ΕΙΚΟΝΑ 3.36** Η δομή της β-πτυχώσης. Οι πλευρικές αλυσίδες (πράσινο) είναι κατ' εναλλαγὴν επάνω και κάτω από το επίπεδο της β-πτυχώσης.

Οι διαδοχικές β-πτυχώσεις στη β-επιφάνεια μπορεί να έχουν την ίδια κατεύθυνση ή να έχουν αντίθετη κατεύθυνση (αντιπαράλληλη).

Στην αντιπαράλληλη β-επιφάνεια οι ομάδες NH και CO ενός αμινοξέος συνδέονται αντίστοιχα με δεσμούς υδρογόνου με τις ομάδες CO και NH του αμινοξέος της γειτονικής πτύχωσης.

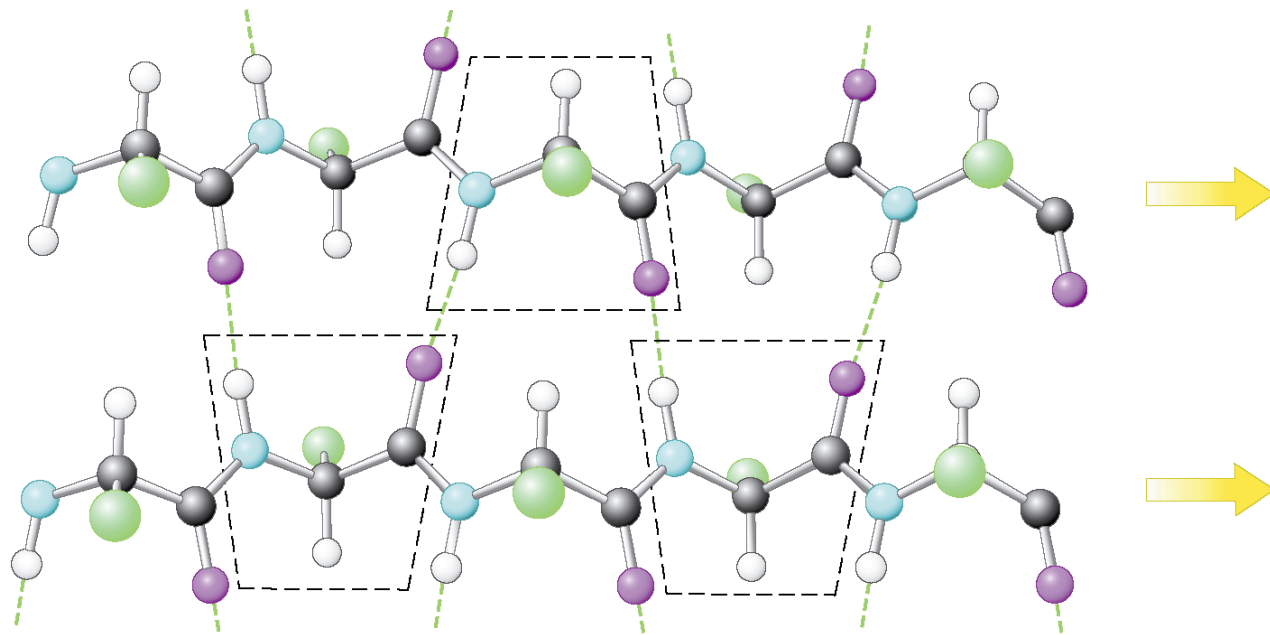


**ΕΙΚΟΝΑ 3.37** Μια αντιπαράλληλη β-επιφάνεια.

Οι γειτονικές β-πτυχώσεις έχουν αντίθετες κατευθύνσεις. Οι δεσμοί υδρογόνου μεταξύ των ομάδων NH και CO συνδέουν το κάθε αμινοξύ με ένα και μόνο αμινοξύ στη γειτονική β-πτυχωση, σταθεροποιώντας τη δομή.

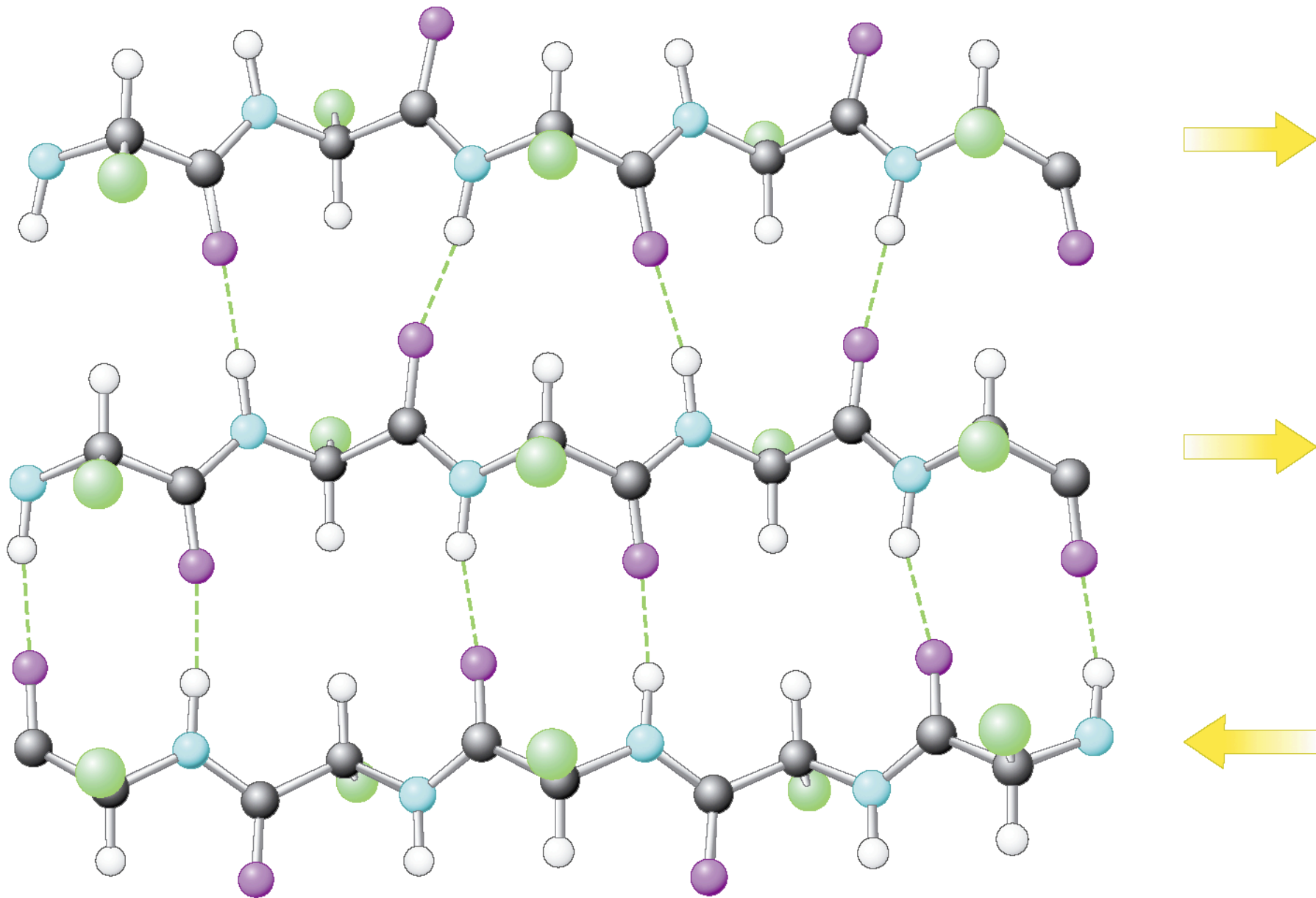


Στην παράλληλη διάταξη για κάθε αμινοξύ η ομάδα NH συνδέεται στο CO του αμινοξέος της γειτονικής β-πτυχώσης, ενώ η ομάδα CO συνδέεται στο NH του αμινοξέος που βρίσκεται δύο κατάλοιπα που βρίσκεται πιο κάτω στην αλυσίδα.



**ΕΙΚΟΝΑ 3.38** Μια παράλληλη β-επιφάνεια.

Οι γειτονικές β-πτυχώσεις έχουν την ίδια κατεύθυνση. Οι δεσμοί υδρογόνου συνδέουν κάθε αμινοξύ της μιας πτύχωσης με δύο διαφορετικά αμινοξέα στη γειτονική πτύχωση.



ΕΙΚΟΝΑ 3.39 Δομή μιας μεικτής β-επιφάνειας.

# ΤΡΙΤΟΤΑΓΗΣ ΔΟΜΗ

Η τριδιάστατη δομή χιλιάδων πρωτεϊνών είναι σήμερα γνωστή με μεγάλη λεπτομέρεια, κρυσταλλογραφία με ακτίνες X και του πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού.

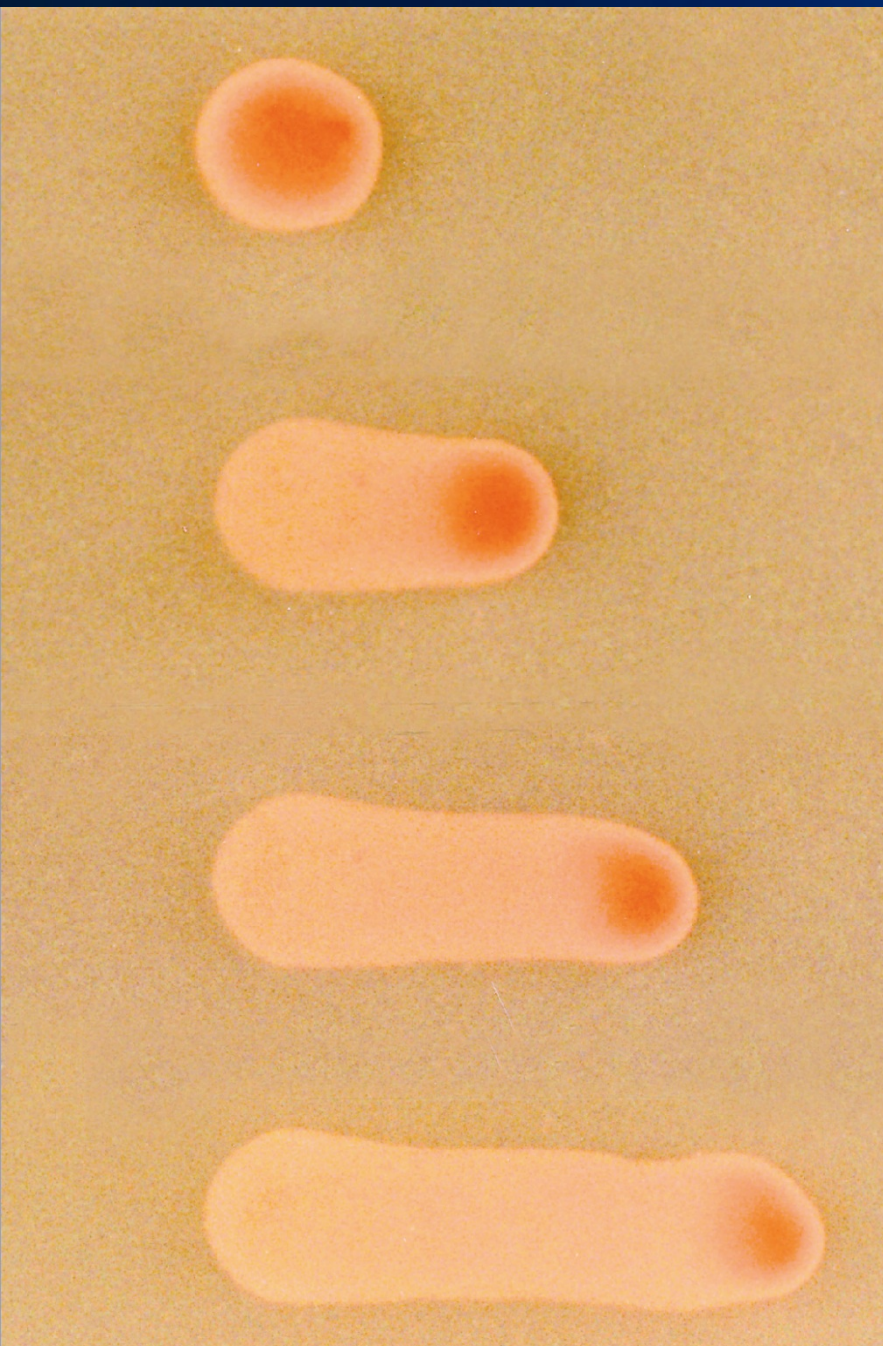
Η διαδρομή που ακολουθεί η πολυπεπτιδική αλυσίδα μιας πρωτεΐνης στον χώρο ονομάζεται τριτοταγής δομή.

Παράδειγμα η μυοσφαιρίνη (ο φορέας οξυγόνου στους μυς). Στις τριτοταγείς δομές, παρότι ασύμμετρες, τα μη πολικά μόρια όπως είναι η λευκίνη, βαλίνη, μεθειονίνη, και η φαινυλαλανίνη, βρίσκονται στο εσωτερικό της δομής.

Τα μόνα φορτισμένα κατάλοιπα είναι δύο κατάλοιπα ιστιδίνης με ιδιαίτερο ρόλο στη λειτουργία της δέσμευσης σιδήρου και οξυγόνου.

Η πολυπεπτιδική αλυσίδα αναδιπλώνεται έτσι ώστε οι υδρόφοβες πλευρικές αλυσίδες να θάβονται στο εσωτερικό της ενώ συγχρόνως οι φορτισμένες να βρίσκονται εκτεθειμένες στην επιφάνεια.





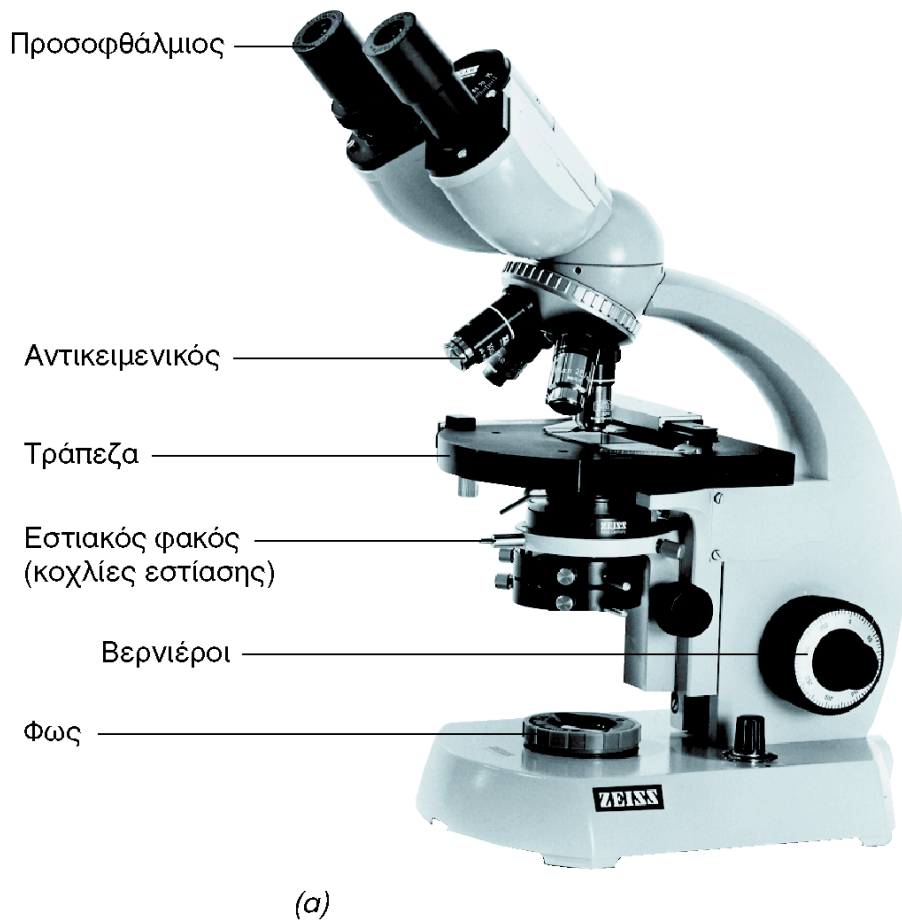
## 4

## ΚΥΤΤΑΡΙΚΗ ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

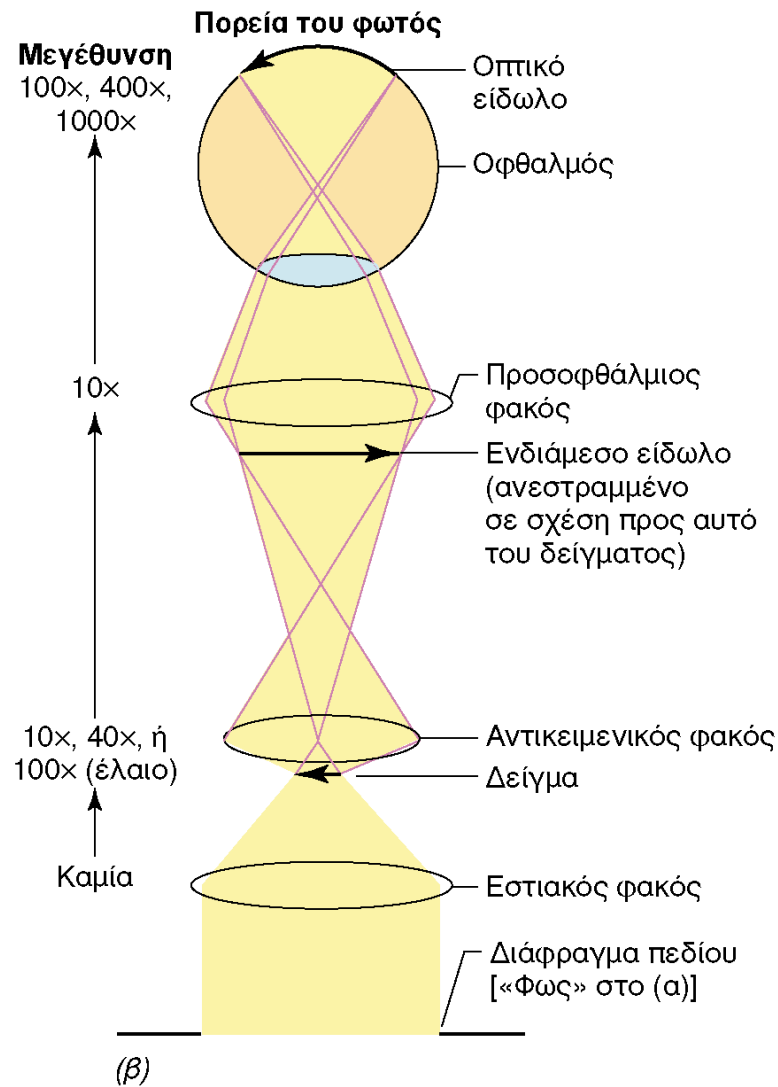
Οι μικροοργανισμοί περιέχουν έναν αριθμό δομών που επιτρέπουν τη συνύπαρξή τους με άλλους μικροοργανισμούς και με ανώτερους οργανισμούς. Μία από αυτές τις δομές είναι το μαστίγιο, μια συσκευή όμοια με προπέλα που δίνει στο κύτταρο την ικανότητα αυτόνομης κίνησης. Στην εικόνα φαίνεται μια αποικία του αυτοκινούμενου φωτοτροφικού βακτηρίου *Rhodospirillum rubrum*. Το βακτήριο αυτό μπορεί να αντιλαμβάνεται το φως (εδώ, έρχεται από τη δεξιά πλευρά της εικόνας), με αποτέλεσμα μια ολόκληρη αποικία ενεργών κολυμβητικών κυττάρων να κινείται προς το φως. Αυτή η απόκριση καλείται *φωτοτακτισμός*. Ο φωτοτακτισμός και άλλοι παρόμοιοι τακτισμοί αποτελούν παραδείγματα περιβαλλοντικών αποκρίσεων που δείχνουν σαφέστατα ότι ακόμη και «απλοί» οργανισμοί, όπως τα βακτήρια, μπορούν να ανταποκρίνονται σε ερεθίσματα του περιβάλλοντός τους.



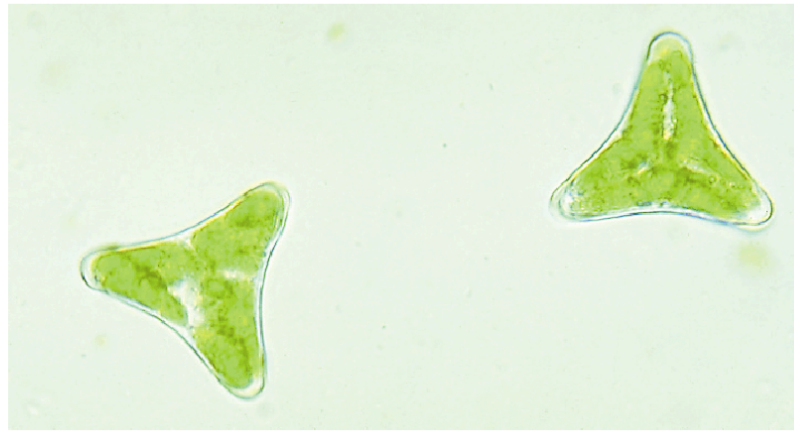
# Μικροσκόπιο φωτεινού πεδίου, αντίθεσης φάσεων, σκοτεινού πεδίου και φθορισμού.



Carl Zeiss, Inc.

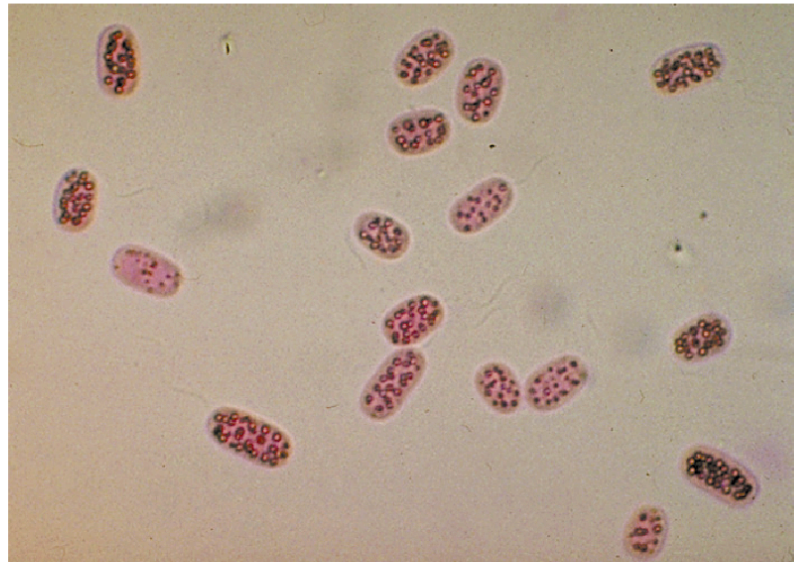


**Εικόνα 4.1** (α) Σύνθετο οπτικό μικροσκόπιο. Υποδεικνύονται ορισμένα βασικά μέρη του. (β) Πορεία του φωτός διά μέσου του σύνθετου οπτικού μικροσκοπίου. Εκτός των 10X, υπάρχουν και προσοφθάλμιοι φακοί των 15-30X.



T. D. Brock

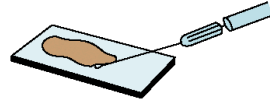
(a)



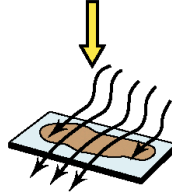
Norbert Pfennig

(b)

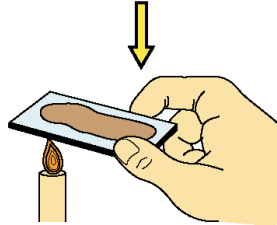
**Εικόνα 4.2** Μικροφωτογραφίες χρωσμένων μικροοργανισμών που έχουν ληφθεί με μικροσκόπιο φωτεινού πεδίου. (α) Ένα χλωροφύκος (ευκαρυώτης). (β) Ένα πορφυρό φωτοτροφικό βακτήριο (προκαρυώτης). Τα κύτταρα του χλωροφύκου έχουν διάμετρο περί τα 15  $\mu\text{m}$ , ενώ τα βακτηριακά κύτταρα έχουν διάμετρο περί τα 5  $\mu\text{m}$ .



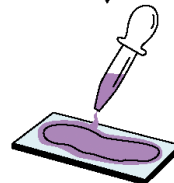
Απλώστε μια λεπτή στρώση καλλιέργειας  
σε μια αντικειμενοφόρο πλάκα



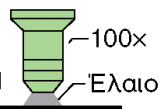
Στεγνώστε σε αέρα



Περάστε την αντικειμενοφόρο από φλόγα  
(για μονιμοποίηση)



Διαβρέξτε με χρωστική, πλύνετε  
με νερό και στεγνώστε



Αντικειμενοφόρος

100x

Ελαιο

Τοποθετήστε πάνω στην αντικειμενοφόρο μια σταγόνα  
ελαίου· εξετάστε με αντικειμενικό φακό 100x



**Βήμα 1**



Διαβρέξτε το μονιμοποιημένο επίχρισμα κυττάρων με κρυσταλλικό ιώδες επί 1 min

Όλα τα κύτταρα αποκτούν πορφυρό χρώμα

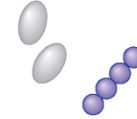
**Βήμα 2**



Προσθέστε διάλυμα ιωδίου επί 3 min

Όλα τα κύτταρα παραμένουν πορφυρά

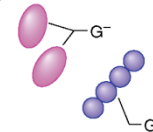
**Βήμα 3**



Αποχρωματίστε με αλκοόλη -περί τα 20 sec

Τα θετικά κατά Gram κύτταρα μένουν πορφυρά, τα αρνητικά κατά Gram αποχρωματίζονται

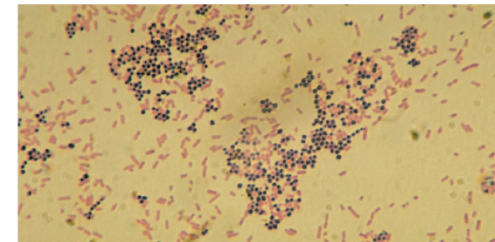
**Βήμα 4**



Εφαρμόστε την αντιχρωστική σαφρανίνη, επί 1-2 min

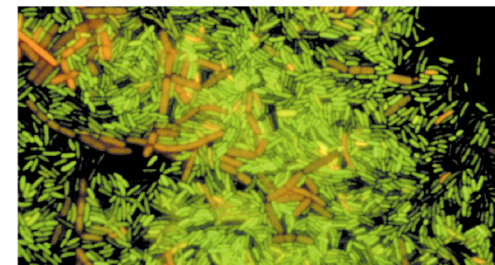
Τα θετικά κατά Gram κύτταρα (G<sup>+</sup>) είναι πορφυρά, τα αρνητικά κατά Gram (G<sup>-</sup>) είναι ρόδινα-ερυθρά

(α)



Leen J. Lebeau

(β)



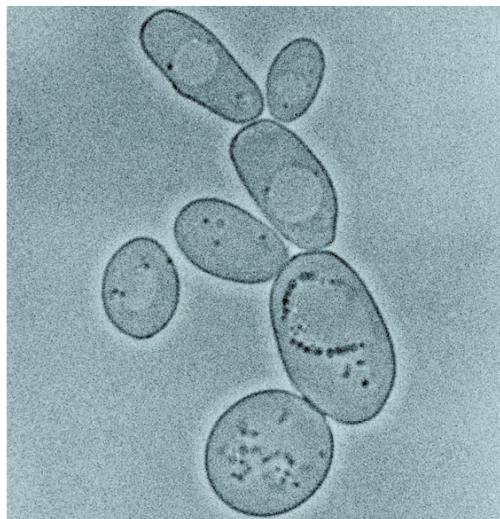
Molecular Probes, Inc., Eugene, Oregon

(γ)

**Εικόνα 4.4**

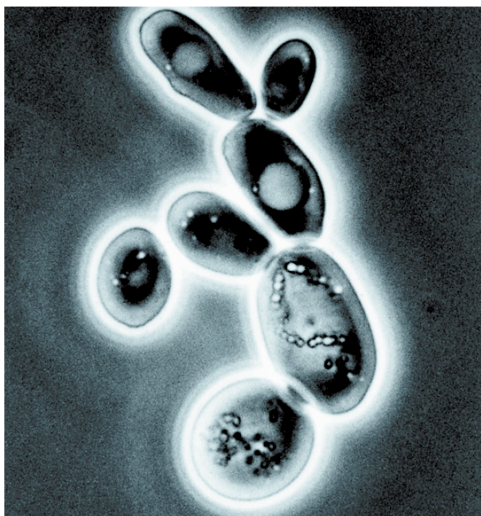
Χρώση κατά Gram. (α) Βήματα στη διαδικασία της χρώσης κατά Gram. (β) Μικροφωτογραφία θετικών κατά Gram (πορφυρό-κυανό) και αρνητικών κατά Gram (ερυθρό-ρόδινο) βακτηρίων που έχουν υποστεί χρώση κατά Gram: πρόκειται, αντιστοίχως, για τα είδη *Staphylococcus aureus* και *Escherichia coli*. (γ) Μικροφωτογραφία κυττάρων *Pseudomonas aeruginosa* (αρνητικό κατά Gram, πράσινο) και *Bacillus cereus* (θετικό κατά Gram, πορτοκαλί) μετά από χρώση με την μέθοδο **LIVE Bac Light™**. Η μέθοδος αυτή επιτρέπει τη διάκριση μεταξύ θετικών κατά Gram και αρνητικών κατά Gram κυττάρων σε ένα και μόνο βήμα χρώσης.





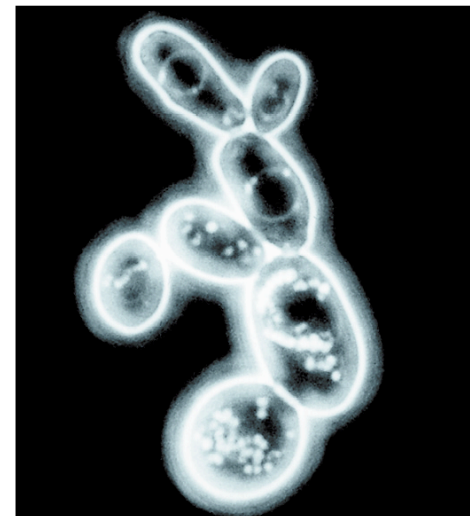
M.T. Madigan

(α)



M.T. Madigan

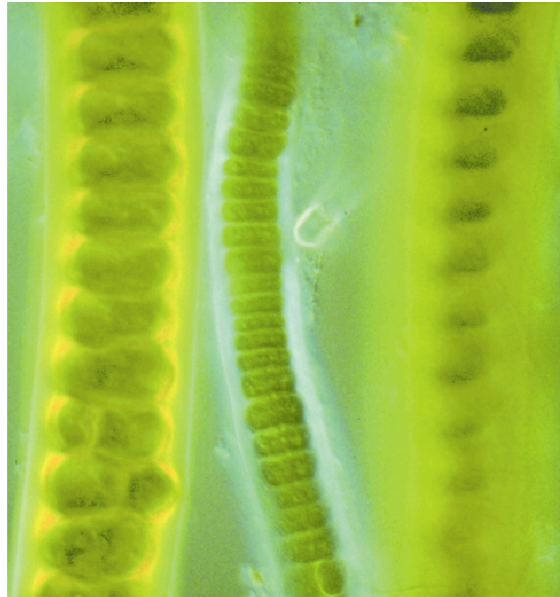
(β)



M.T. Madigan

(γ)

**Εικόνα 4.5** Μικροφωτογραφίες του ίδιου πεδίου κυττάρων του ζυμομύκητα *Saccharomyces cerevisiae*, που έχουν ληφθεί με τρεις διαφορετικούς τύπους οπτικού μικροσκοπίου· (α) φωτεινού πεδίου, (β) αντίθεσης φάσεων, (γ) σκοτεινού πεδίου. Μέση διάμετρος κυττάρων: 8-10  $\mu\text{m}$ .



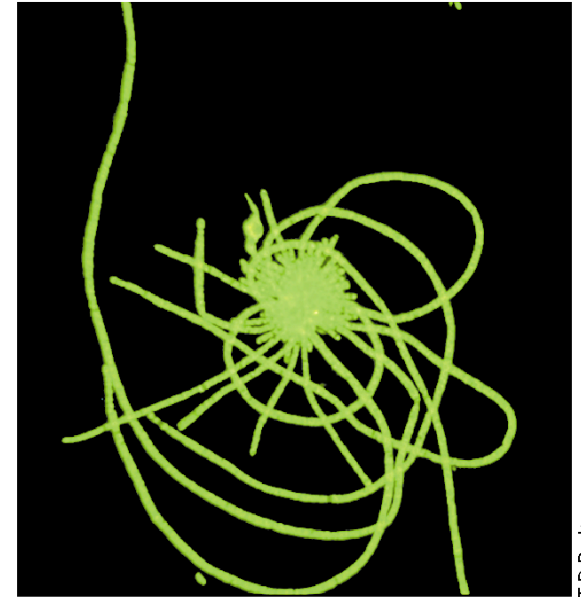
R. W. Castenholz

(α)



R. W. Castenholz

(β)



T. D. Brock

(γ)

#### Εικόνα 4.6

Μικροφωτογραφίες διαφόρων μικροοργανισμών, από μικροσκοπία φθορισμού. (α, β) Κυανοβακτήρια. (α) Κύτταρα παρατηρούμενα με μικροσκοπία φωτεινού πεδίου. (β) Τα ίδια κύτταρα παρατηρούμενα μέσω φθορισμού, μετά από έκθεση σε φως μήκους κύματος 546 nm: το ερυθρό χρώμα οφείλεται σε αυτοφθορισμό της χλωροφύλλης και άλλων χρωστικών. (γ) Κύτταρα του νηματοειδούς βακτηρίου *Leucothrix mucor*, χρωσμένα με τη φθορίζουσα χρωστική «πορτοκαλί της ακριδίνης», η οποία φθορίζει στο πράσινο. Τα κύτταρα αυτά έχουν διάμετρο 3 μm και μπορεί να φθάσουν σε μήκος μεγαλύτερο των 100 μm.



## Μικροσκοπία αντίθεσης συμβολής



Linda Barnett and James Barnett

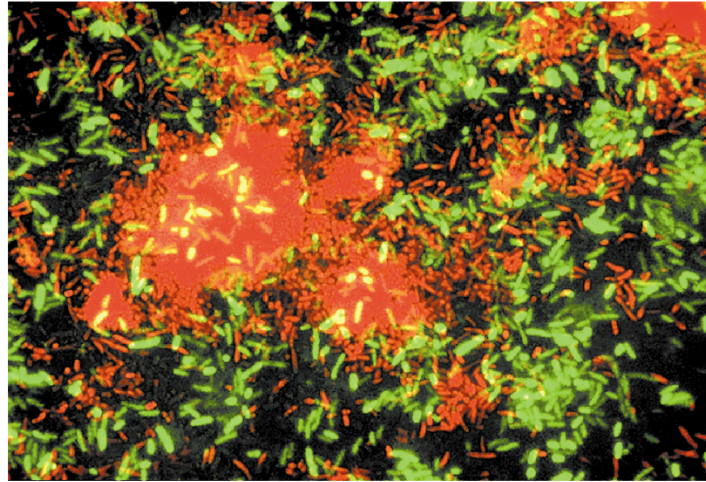
(α)



Suzanne Kelly

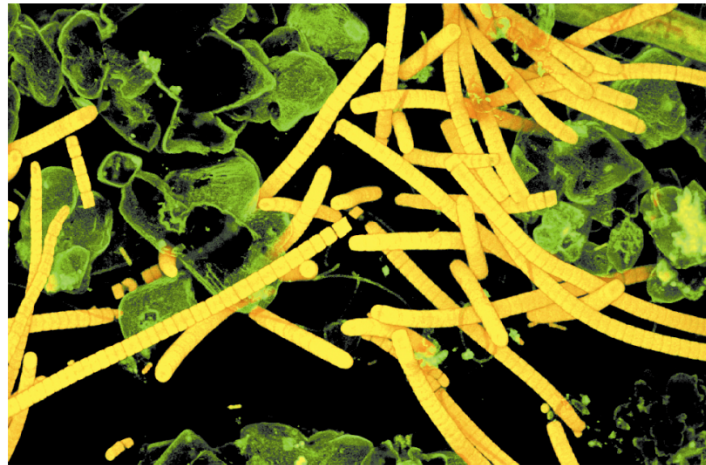
(β)

**Εικόνα 4.7** Τριδιάστατη απεικόνιση κυττάρων (α) με μικροσκοπία αντίθεσης συμβολής, και (β) με μικροσκοπία ατομικής δύναμης. Τα κύτταρα ζυμομύκητα στο (α) έχουν διάμετρο περί τα 8  $\mu\text{m}$ . Παρατηρήστε πόσο ευκρινής είναι ο πυρήνας των κυττάρων αυτών (πρβλ. Εικόνα 4.7α με Εικόνα 4.5α). Τα βακτηριακά κύτταρα στο (β) έχουν μήκος περί τα 2,2  $\mu\text{m}$ . Το μικρογράφημα έχει ληφθεί από φυσικό βιοφίλμ που αναπτύχθηκε στην επιφάνεια αντικειμενοφόρου, η οποία εμβαπτίσθηκε επί 24 h σε ποτίστρα σκύλου, αφέθηκε να στεγνώσει, και παρατηρήθηκε με μικροσκόπιο ατομικής δύναμης.



Subramanian Karthikeyan

(a)

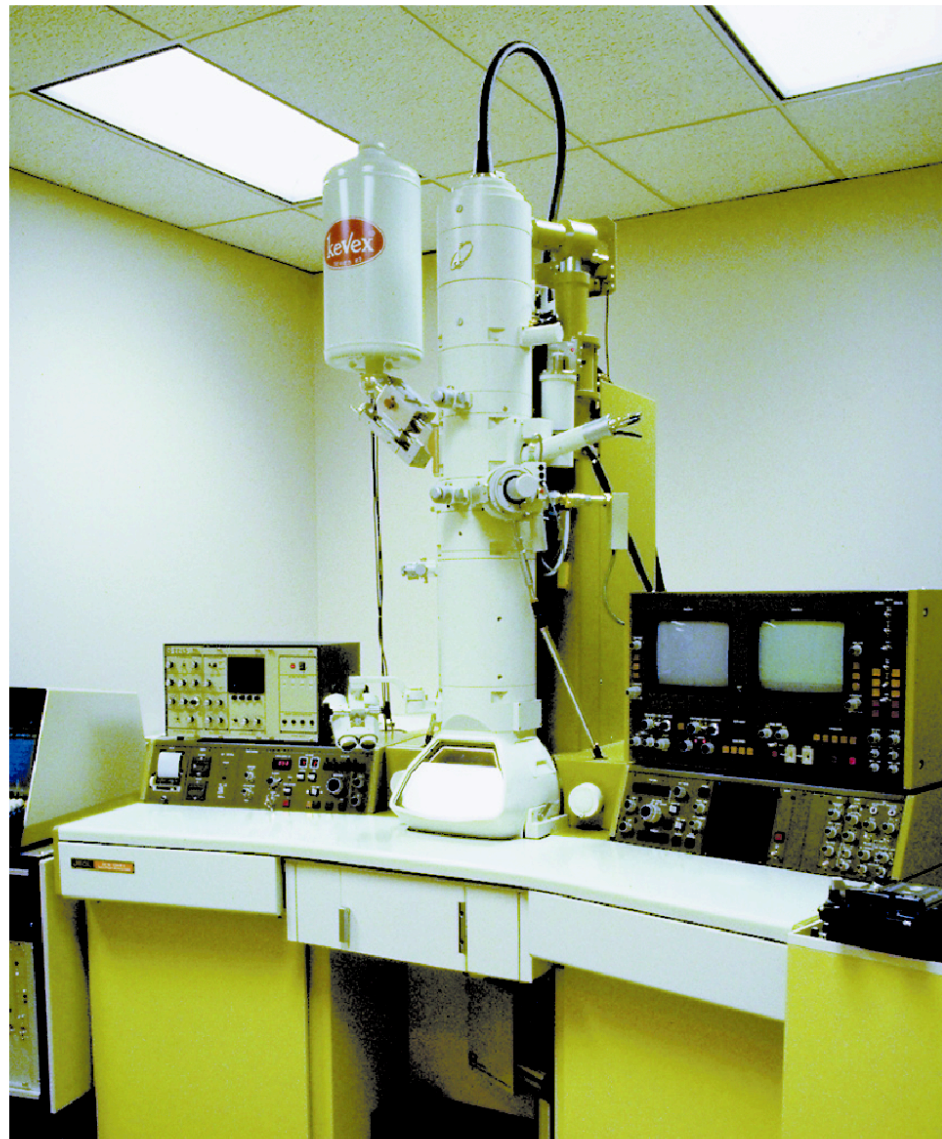


Gernot Aip and Christian Boeker, Carl Zeiss, Jena

(β)

**Εικόνα 4.8** Μικροσκοπία συνεστιακής σάρωσης με λέιζερ. (α) Συνεστιακή εικόνα μιας μικτής κοινότητας μικροβιακού βιοφίλμ, καλλιεργημένου υπό εργαστηριακές συνθήκες. Τα πράσινα, ραβδόσχημα κύτταρα είναι *Pseudomonas aeruginosa*, που είχαν εισαχθεί στο βιοφίλμ πειραματικά. Σε διαφορετικά επίπεδα βάθους στο βιοφίλμ, υπάρχουν και άλλα είδη κυττάρων, που φαίνονται με διαφορετικό χρώμα. (β) Συνεστιακό μικρογράφημα νηματοειδούς κυανοβακτηρίου που αναπτύσσεται σε λίμνη πλούσια σε ανθρακικό νάτριο.

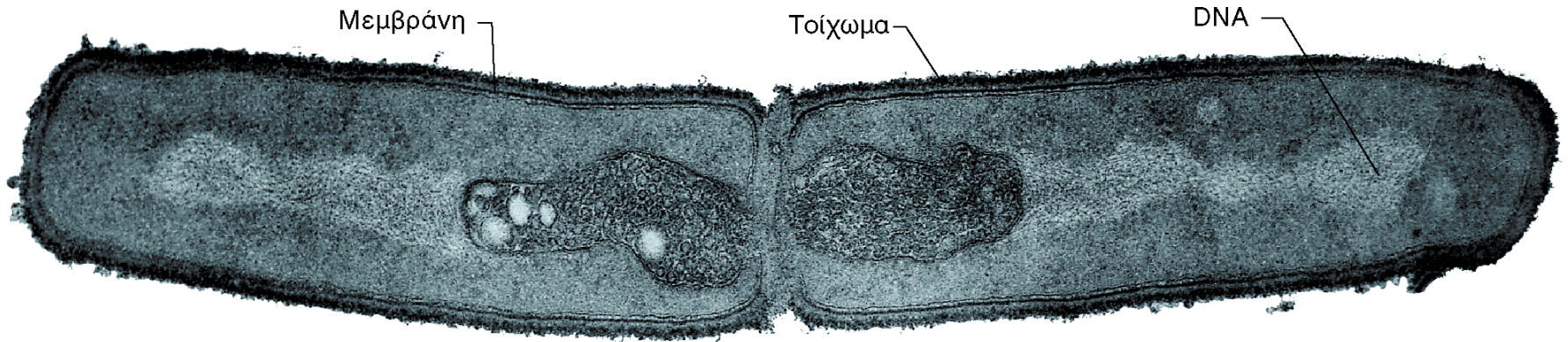




JEOL, USA Inc.

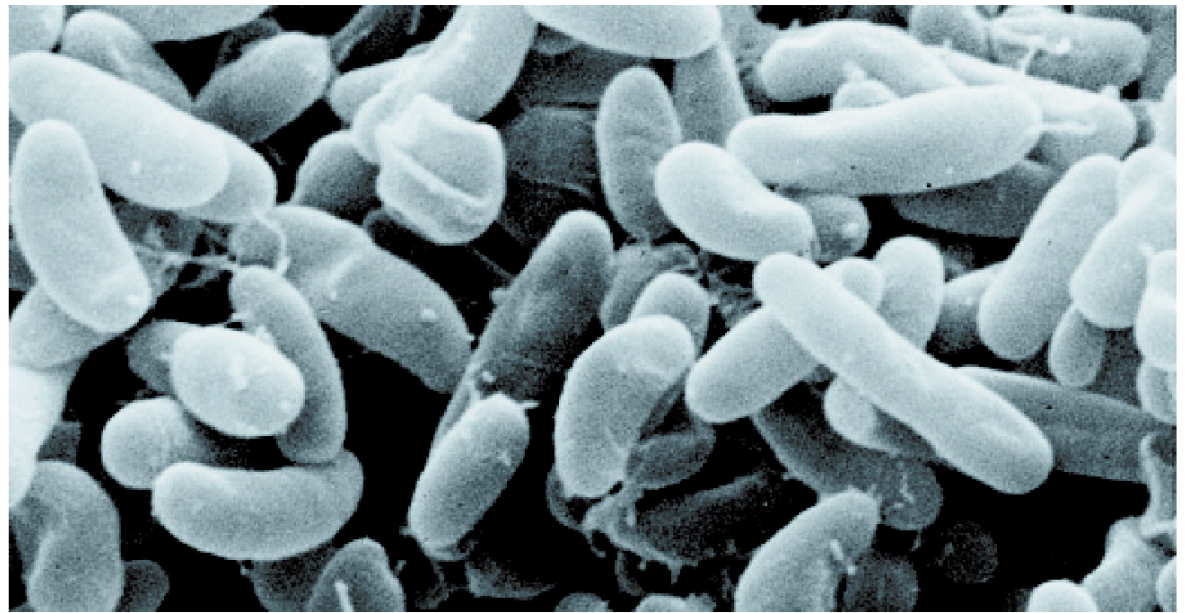
**Εικόνα 4.9** Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Το συγκεκριμένο όργανο λειτουργεί τόσο ως ηλεκτρονικό μικροσκόπιο διέλευσης όσο και ως ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης.



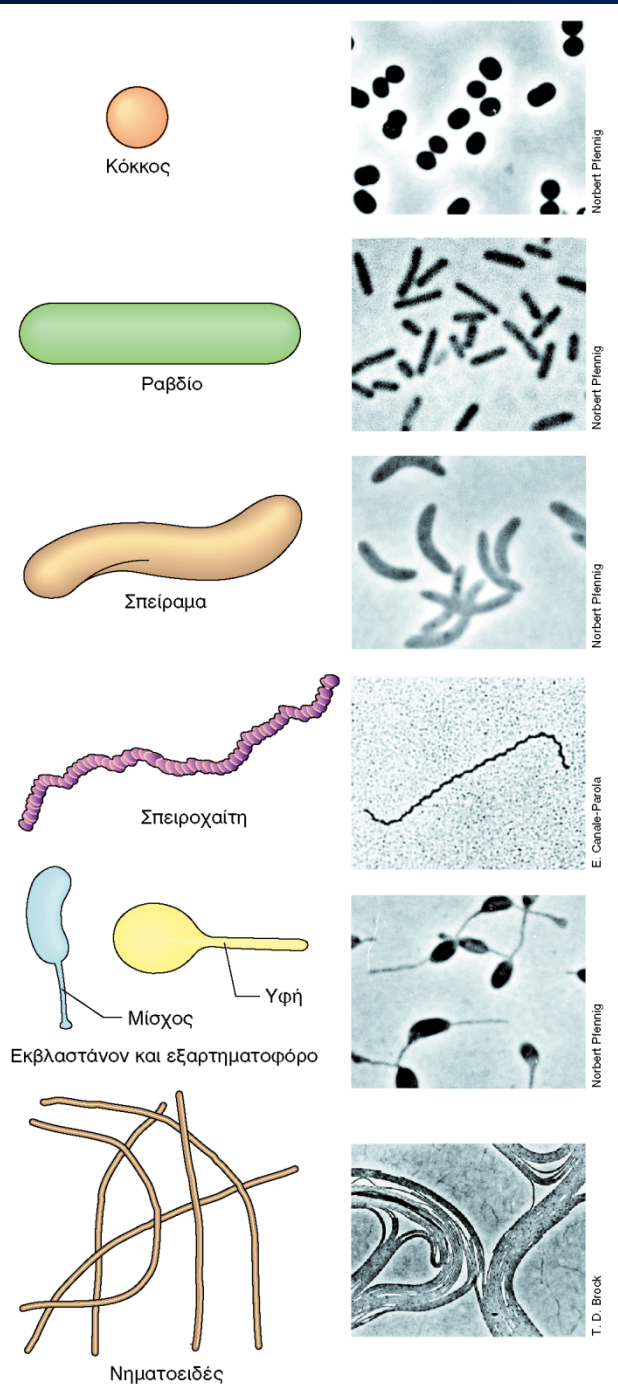


(a)

**Εικόνα 4.10** Ηλεκτρονικά μικρογραφήματα βακτηριακών κυττάρων που έχουν ληφθεί (a) με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο διέλευσης και (b) με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης. (a) Λεπτή τομή ενός τυπικού θετικού κατά Gram βακτηρίου, του *Bacillus subtilis*. Το κύτταρο έχει μόλις διαιρεθεί, και δύο δομές που περικλείονται από μεμβράνη είναι προσκολλημένες στο διαφραγματικό τοίχωμα. Παρατηρήστε τη φωτεινότερη περιοχή στο μέσον (DNA ή πυρηννοειδές). Διάμετρος κυττάρου: περί τα 0,8 μm. (b) Κύτταρα του φωτοτροφικού βακτηρίου *Rhodovibrio sodomensis*. Πλάτος ενός κυττάρου: περί τα 0,75 μm. Παρατηρήστε ότι η ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης επιτρέπει μεγάλο βάθος πεδίου, που παρέχει εξαιρετική ποιότητα τριδιάστατης απεικόνισης.



(b)



### Εικόνα 4.11

Αντιπροσωπευτικά κυτταρικά σχήματα (μορφολογίες) προκαρυωτικών οργανισμών. Παρατίθενται διαγράμματα (αριστερά) και χαρακτηριστικές μικροφωτογραφίες (δεξιά). Οι οργανισμοί είναι: κόκκος, *Thiocapsa roseopersicina* (διάμετρος κυττάρου: 1,5  $\mu\text{m}$ )· ραβδίο, *Desulfuromonas acetoxidans* (διάμετρος: 1  $\mu\text{m}$ )· σπείραμα, *Rhodospirillum rubrum* (διάμετρος: 1  $\mu\text{m}$ )· σπειροχαιτη, *Spirochaeta stenostrepta* (διάμετρος: 0,25  $\mu\text{m}$ )· εκβλαστάνον και εξαρτηματοφόρο, *Rhodomicrobium vannielii* (διάμετρος: 1,2  $\mu\text{m}$ )· νηματοιειδές, *Chloroflexus aurantiacus* (διάμετρος: 0,8  $\mu\text{m}$ ).



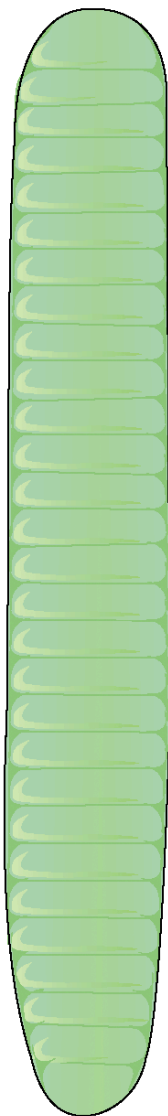


Esther R. Angert, Harvard University

**Εικόνα 4.12** Μικροφωτογραφία σκοτεινού πεδίου ενός γιγαντιαίου προκαρυώτη, του ιχθυοσυμβιώτη *Epulopiscium fishelsoni*. Το ραβδόσχημο κύτταρο *E. fishelsoni* έχει μήκος περί τα 600  $\mu\text{m}$  (0,6 mm) και εμφανίζεται στη μικροφωτογραφία αυτή μαζί με 4 κύτταρα του πρωτοζώου (ευκαρυώτη) *Paramecium* (τα κύτταρα του *Paramecium* έχουν μήκος περί τα 150  $\mu\text{m}$ ). Το *E. fishelsoni* ανήκει στα Βακτήρια και είναι είδος φυλογενετικά συγγενές προς τα είδη του γένους *Clostridium*.



*Oscillatoria* (ένα κυανοβακτήριο)  
8 × 50 μm



*Bacillus megaterium*  
1,5 × 4 μm



*Escherichia coli*  
1 × 3 μm



*Streptococcus pneumoniae*  
διάμετρος 0,8 μm



*Haemophilus influenzae*  
0,25 × 1,2 μm



**Εικόνα 4.13** Σύγκριση μεγέθους διαφόρων προκαρυωτών. Οι περισσότεροι από τους γνωστούς προκαρυώτες έχουν διάμετρο μεταξύ 0,5-2 μm.