

David Sadava
David M. Hillis
H. Craig Heller
Sally D. Hacker



Η ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΤΗΣ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ

Γενική Βιολογία · Γενετική · Εξέλιξη

Κεφάλαιο 4

Νουκλεϊκά Οξέα και η Προέλευση της
Ζωής

Πρώτη ελληνική έκδοση
Ενδέκατη αμερικανική Έκδοση

Επιστημονική επιμέλεια
της ελληνικής έκδοσης
Μαρία Γαζούλη

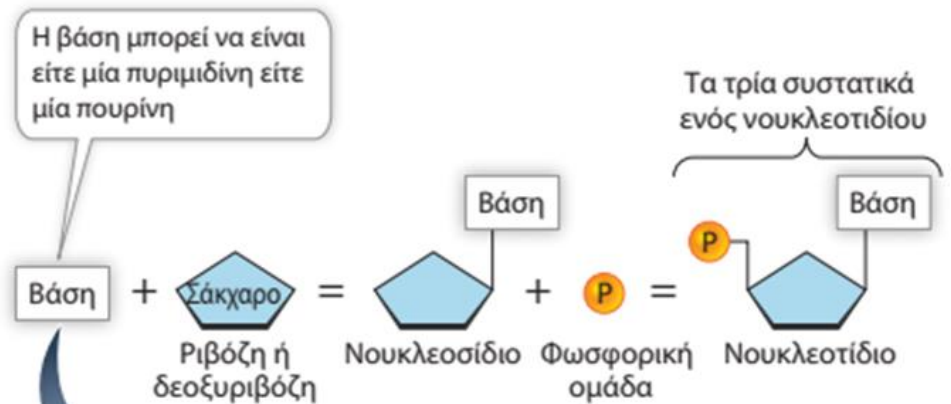


ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΠΑΠΑΖΗΣΗ

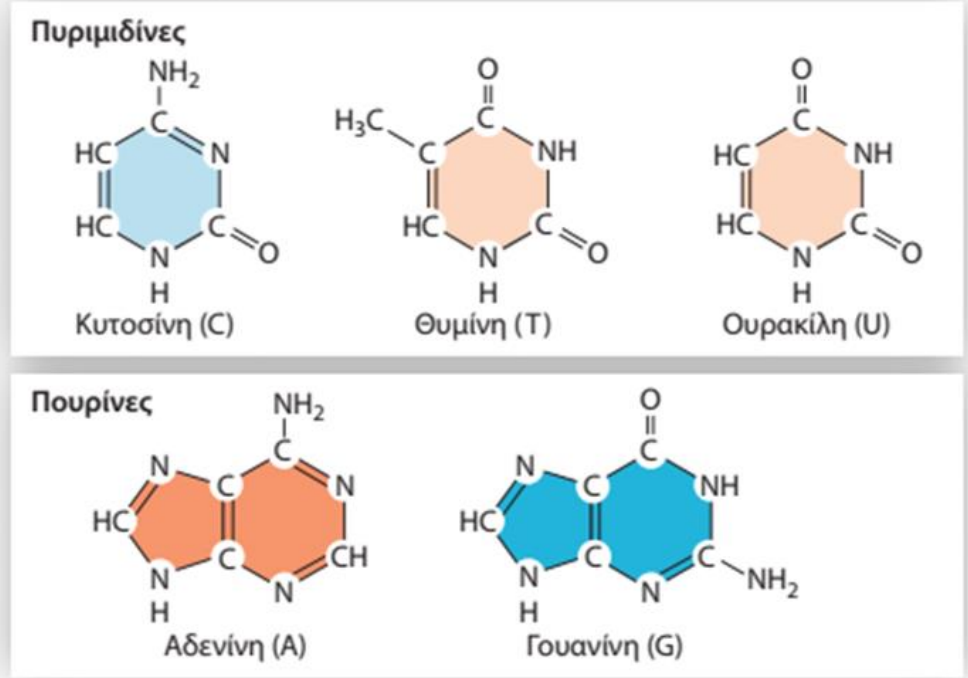
Εικόνα 4.1 Χημεία των νουκλεοτιδίων

Εικόνα 4.1 Χημεία των νουκλεοτιδίων Τα μονομερή νουκλεοτίδια, που το καθένα αποτελείται από μία βάση, ένα σάκχαρο και μία φωσφορική ομάδα, είναι τα δομικά υλικά των πολυμερών DNA και RNA. Οι βάσεις ανήκουν σε δύο ομάδες: τις πυριμιδίνες και τις πουρίνες.

- Τα νουκλεϊκά οξέα εξειδικεύονται στην αποθήκευση, μεταφορά και χρήση της γενετικής πληροφορίας.
- DNA = δεοξυριβονουκλεϊκό οξύ
- RNA = ριβονουκλεϊκό οξύ
- Τα νουκλεοτίδια είναι τα μονομερή που δομούν τα νουκλεϊκά οξέα.
- Τα νουκλεοτίδια αποτελούνται από μια πεντόζη, μια φωσφορική ομάδα και μια αζωτούχα βάση.
- Νουκλεοσίδια: Μόνο η πεντόζη και την αζωτούχα βάση.

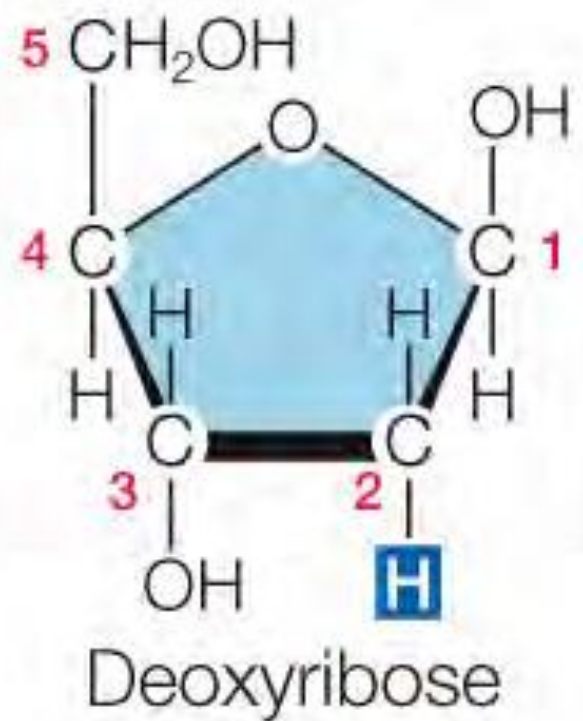
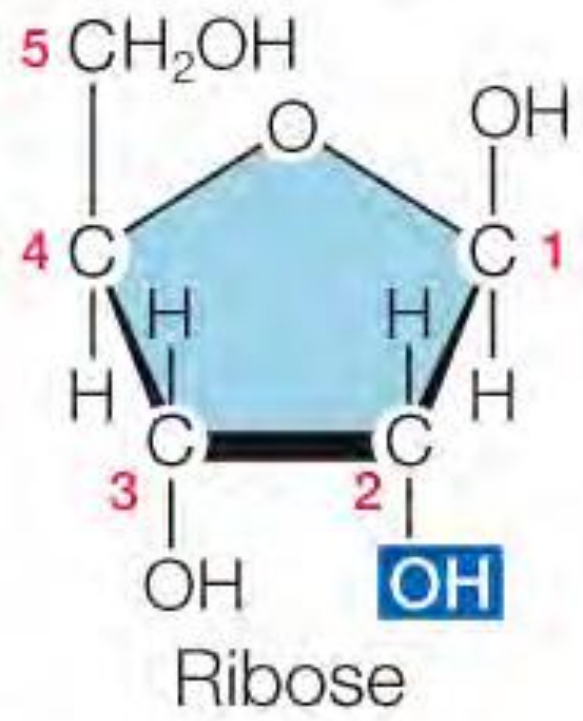


Οι δύο ομάδες βάσεων



- RNA περιέχει ριβόζη.
- DNA περιέχει δεοξυριβόζη.

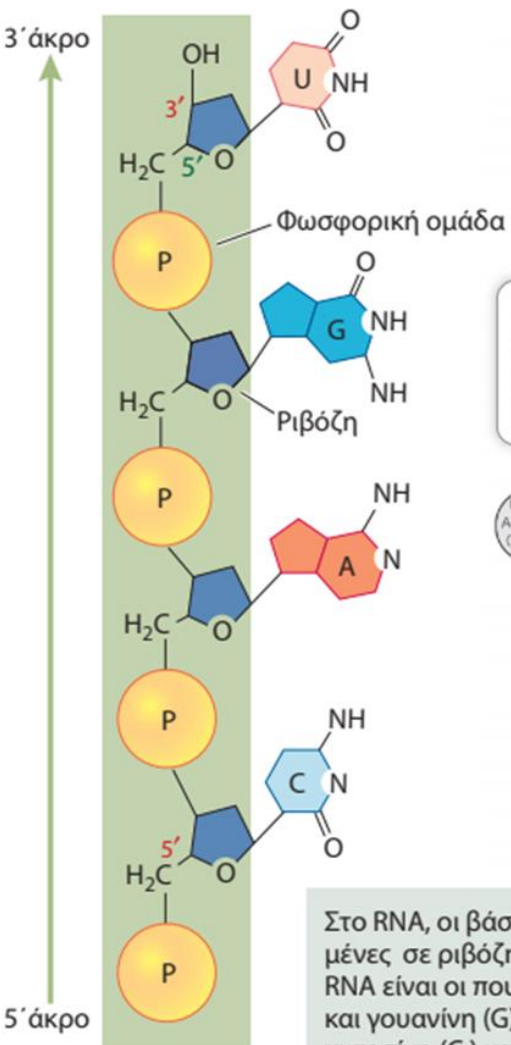
Five-carbon sugars (pentoses)



Πίνακας 4.1 Διακρίνοντας το RNA από το DNA				
Νουκλεϊκό οξύ	Σάκχαρο	Βάσεις	Όνομα νουκλεοσιδίου	Αλυσίδες
RNA	Ριβόζη	Αδενίνη	Αδενοσίνη	Μία
		Κυτοσίνη	Κυτιδίνη	
		Γουανίνη	Γουανοσίνη	
		Ουρακίλη	Ουριδίνη	
DNA	Δεοξυριβόζη	Αδενίνη	Δεοξυαδενοσίνη	Δύο
		Κυτοσίνη	Δεοξυκυτιδίνη	
		Γουανίνη	Δεοξυγουανοσίνη	
		Θυμίνη	Δεοξυθυμιδίνη	

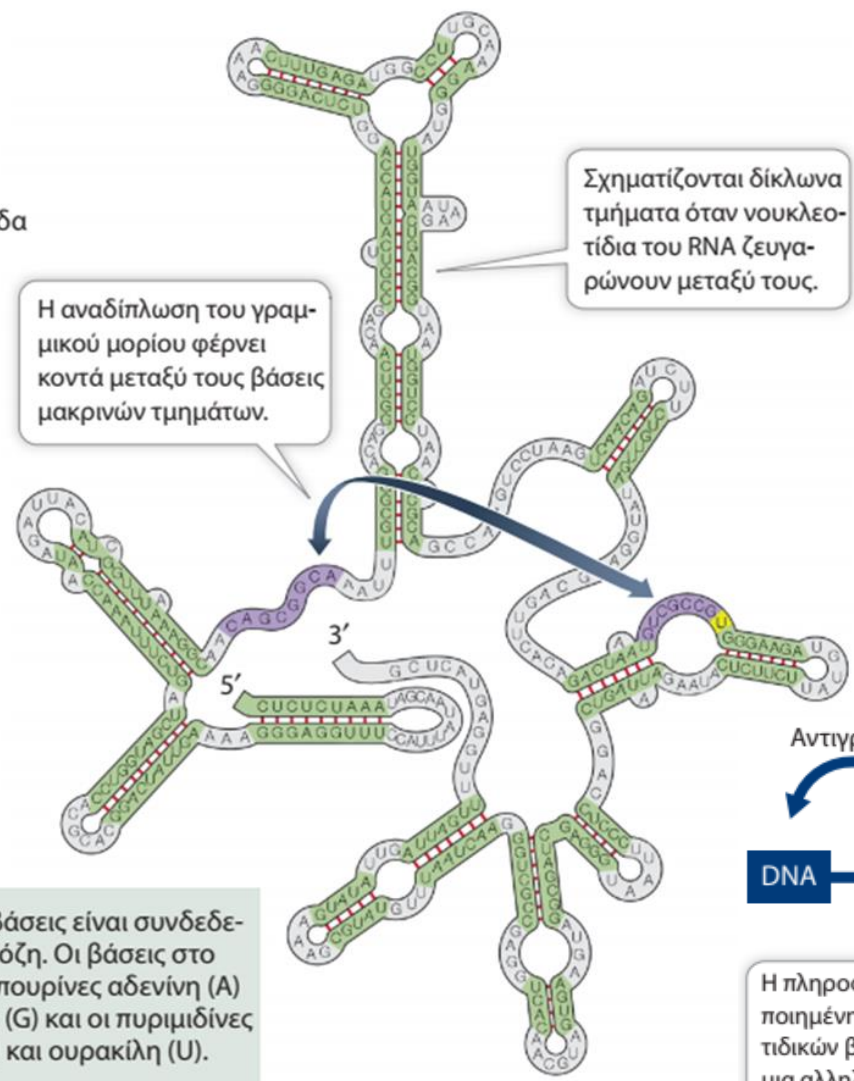
- RNA: Μονή αλυσίδα, αλλά μπορεί να υπάρξει ζευγάρωμα βάσεων λόγω συμπληρωματικότητας μεταξύ διαφορετικών περιοχών με αποτέλεσμα τη δημιουργία 3-D δομής.
- Συμπληρωματικό ζευγάρωμα βάσεων μπορεί να υπάρξει μεταξύ RNA και DNA.

(A) Μονόκλωνο RNA



Στο RNA, οι βάσεις είναι συνδεδεμένες σε ριβόζη. Οι βάσεις στο RNA είναι οι πουρίνες αδείνη (A) και γουανίνη (G) και οι πυριμιδίνες κυτοσίνη (C) και ουρακίλη (U).

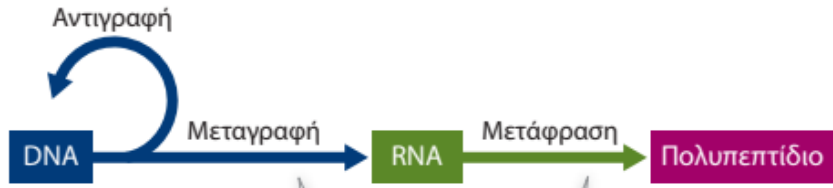
(B) Ζευγάρισμα συμπληρωματικών βάσεων σε περιοχές ενός μορίου RNA



Εικόνα 4.3 RNA (A) Το RNA είναι συνήθως μονόκλωνο.

(B) Όταν ένα μονόκλωνο RNA αναδιπλώνεται, σχηματίζονται δεσμοί υδρογόνου μεταξύ των συμπληρωματικών βάσεων οι οποίοι μπορούν να το σταθεροποιήσουν σε ένα τρισδιάστατο σχήμα με πολύπλοκα επιφανειακά χαρακτηριστικά.

Ε: Τι θα συμβεί εάν θερμανθεί ένα μόριο RNA; Θυμηθείτε την επίδραση της θερμότητας στους δεσμούς υδρογόνου.



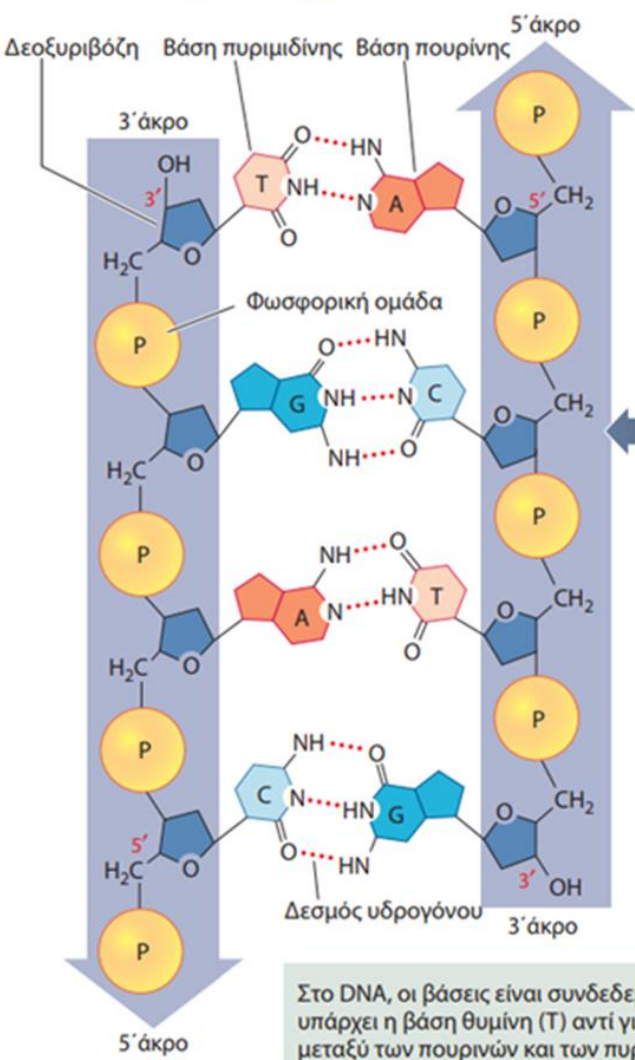
Η πληροφορία που είναι κωδικοποιημένη στην αλληλουχία νουκλεοτιδικών βάσεων στο DNA περνάει σε μια αλληλουχία βάσεων στο RNA.

Η πληροφορία στο RNA περνάει στο πολυπεπτιδίο, αλλά ποτέ το αντίθετο (από το πολυπεπτιδίο στα νουκλεϊκά οξέα).

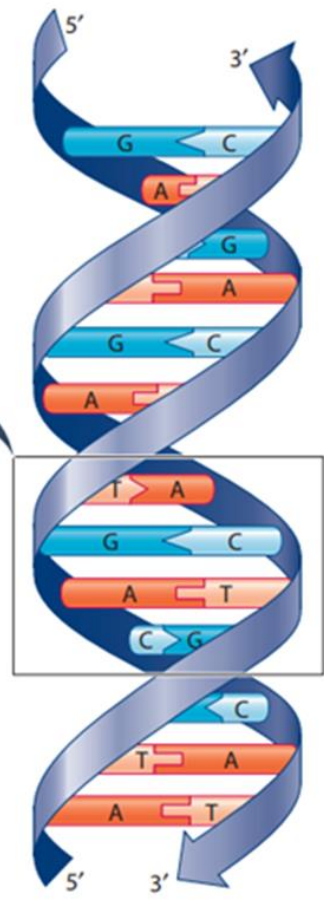
- DNA: Δύο αλυσίδες σχηματίζουν δίκλωνη έλικα.
- Η γενετική πληροφορία βρίσκεται στην αλληλουχία των ζευγών βάσεων.
- Το DNA μπορεί να αναπαράγει τον εαυτό του.

σημείο εστίασης: βασική εικόνα

(A) Μια γραμμική απεικόνιση δίκλωνου DNA



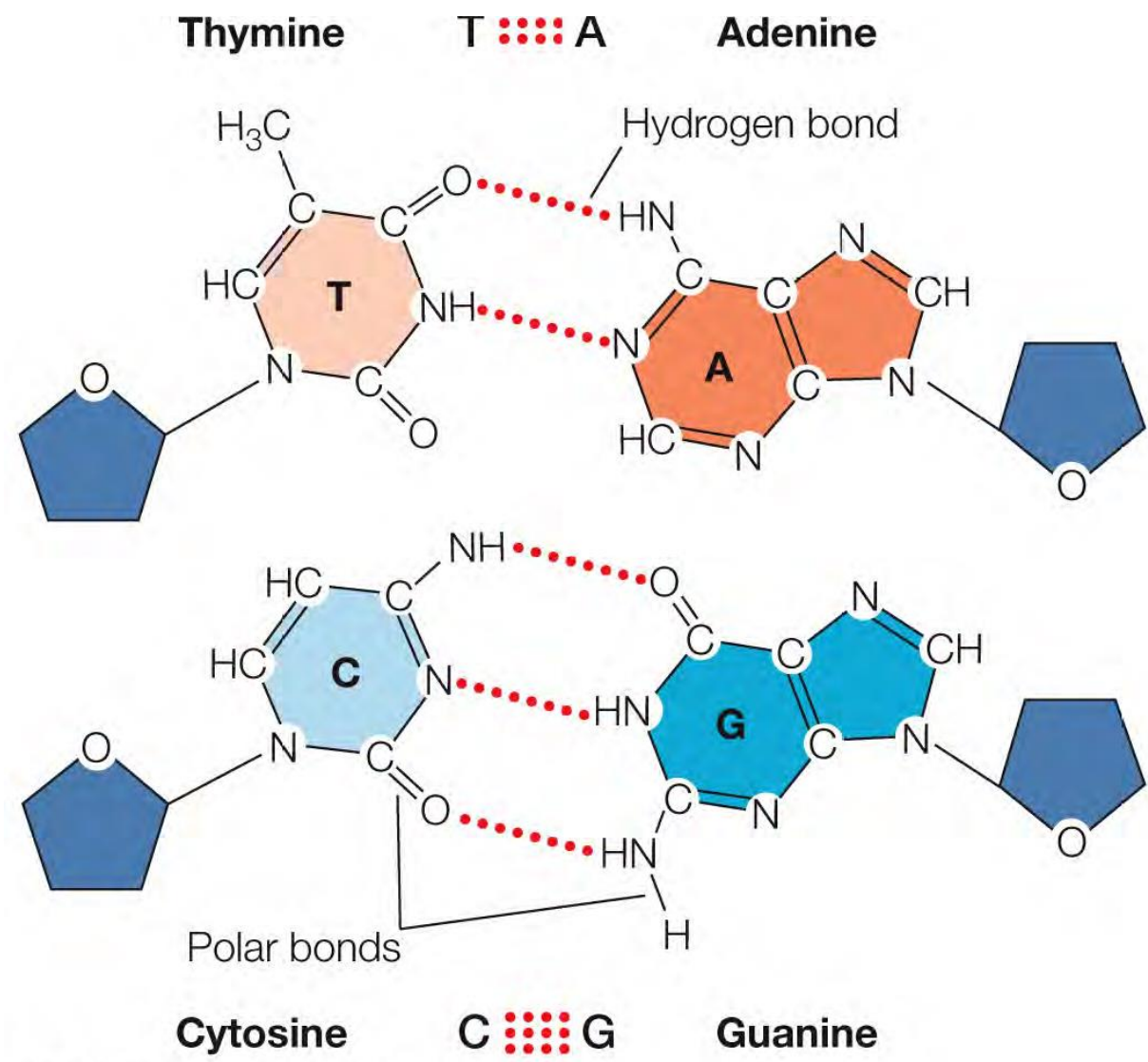
(B) Η διπλή έλικα του DNA

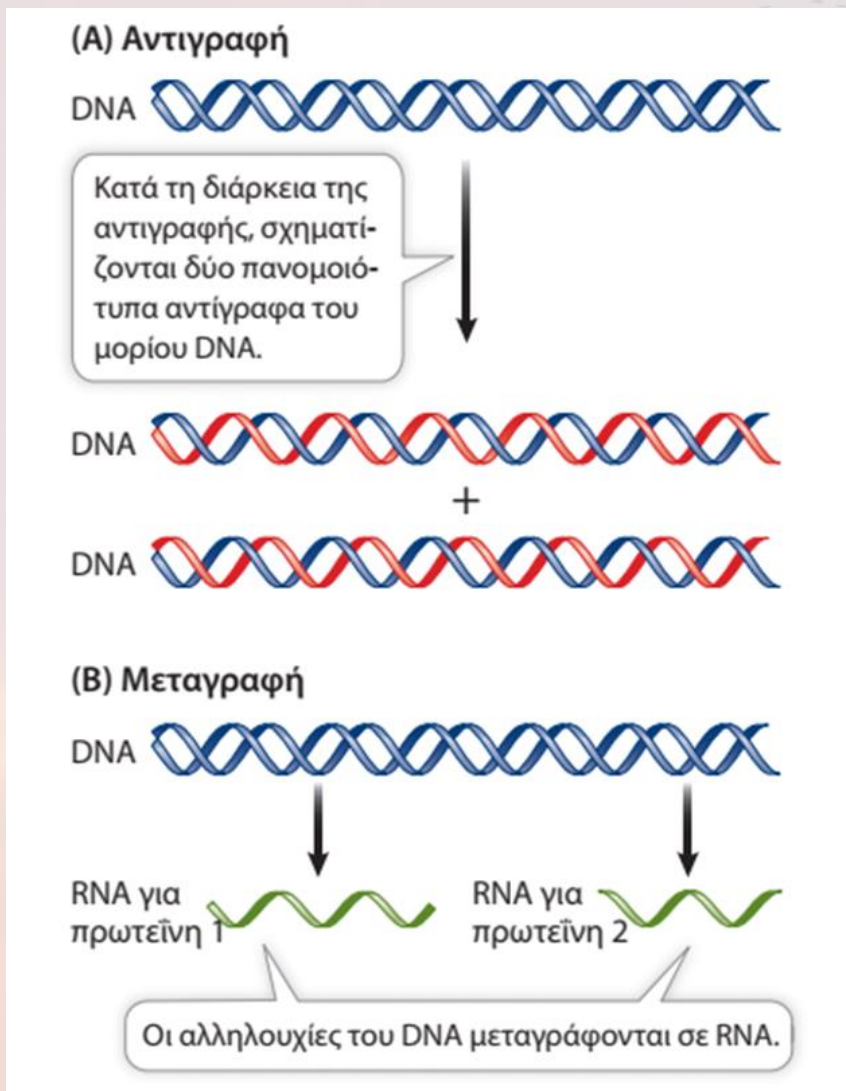


Στο DNA, οι βάσεις είναι συνδεδεμένες στη δεοξυριβόζη και υπάρχει η βάση θυμίνη (T) αντί για την ουρακίλη. Δεσμοί υδρογόνου μεταξύ των πουρινών και των πυριμιδινών συγκρατούν τις δύο αλυσίδες του DNA μεταξύ τους.

Εικόνα 4.4 DNA (A) Το DNA αποτελείται συνήθως από δύο αλυσίδες που είναι αντιπαράλληλες μεταξύ τους και συγκρατούνται με δεσμούς υδρογόνου μεταξύ των πουρινών και των πυριμιδινών τους. **(B)** Οι δύο αλυσίδες του DNA συσπειρώνονται σε μία δεξιόστροφη διπλή έλικα.

Ε: Για την αντιγραφή ή τη μεταγραφή το DNA πρέπει να «ξετυλιχτεί» για να εκτεθούν οι βάσεις. Τι δεσμοί πρέπει να σπάσουν για να γίνει αυτό;





Εικόνα 4.5 Αντιγραφή και Μεταγραφή του DNA Το DNA συνήθως αντιγράφεται στο σύνολό του (A) αλλά μεταγράφεται μόνο μερικώς (B). Μετάγραφα RNA παράγονται από γονίδια τα οποία κωδικοποιούν για συγκεκριμένες πρωτεΐνες. Η μεταγραφή διάφορων γονιδίων συμβαίνει σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, και σε διαφορετικά κύτταρα μέσα στο σώμα όσον αφορά τους πολυκύτταρους οργανισμούς.

- Το πλήρες DNA σε έναν οργανισμό ονομάζεται γονιδίωμα.
- Η αντιγραφή του DNA συμπεριλαμβάνει όλο το γονιδίωμα.
- Οι αλληλουχίες του DNA που μπορούν να μεταγραφούν σε RNA ονομάζονται γονίδια.

Άλλοι ρόλοι των νουκλεοτιδίων:

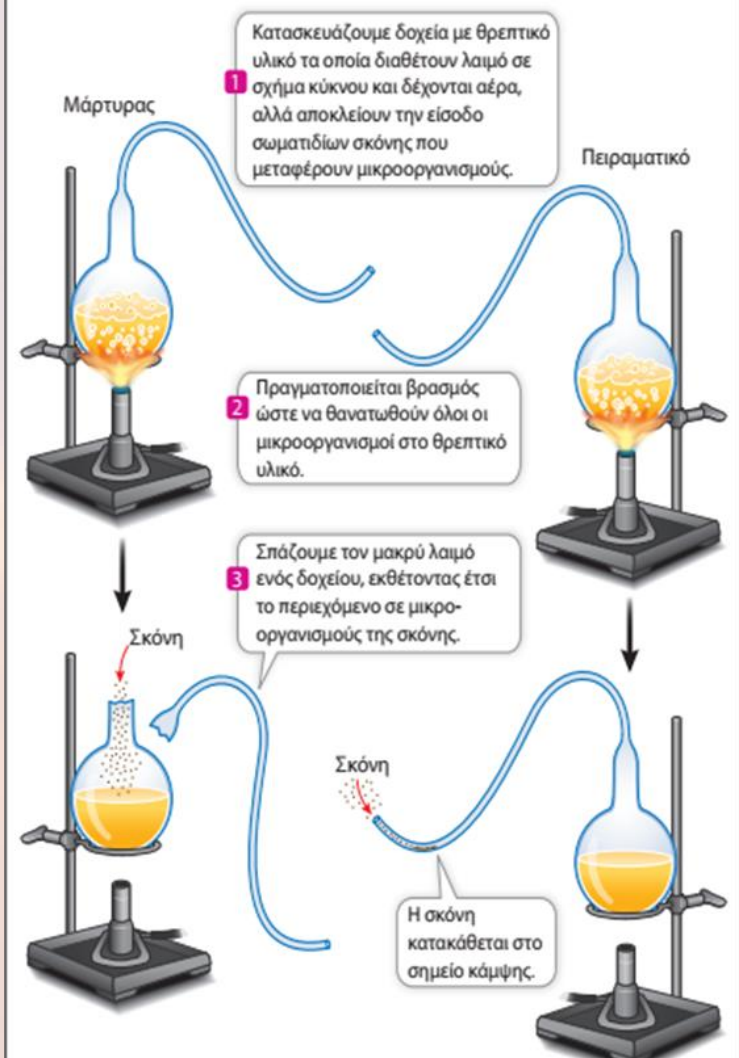
- ATP—μεταφορά ενέργειας σε βιοχημικές αντιδράσεις - λειτουργίες
- GTP—πηγή ενέργειας στην σύνθεση πρωτεϊνών
- cAMP—απαραίτητο στην κυτταρική σηματοδότηση (δεύτερο αγγελιοφόρο μόριο)

Ε: Τι νομίζετε ότι καθορίζει το αν ένα συγκεκριμένο κύτταρο μεταγράφει μία αλληλουχία DNA σε RNA;

Εικόνα 4.6 Απορρίπτοντας την Αυτόματη Γένεση της Ζωής

ΥΠΟΘΕΣΗ ▶ Οι μικροοργανισμοί προέρχονται από άλλους μικροοργανισμούς και δεν μπορούν να προέλθουν από αυτόματη γένεση.

ΜΕΘΟΔΟΣ



Εικόνα 4.6 Απορρίπτοντας την Αυτόματη Γένεση της Ζωής

Πρωτότυπη Εργασία: Ο Παστέρ έδωσε μία ομιλία σχετικά με την έρευνά του στο Sorbonne Scientific Soiree στις 7 Απριλίου 1864. Η ομιλία αυτή έχει μεταφραστεί στα Αγγλικά: rc.usf.edu/~levineat/pasteur.pdf.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ Μικρόβια αναπτύσσονται μόνο σε δοχεία που εκτίθενται σε μικροοργανισμούς. Δεν υπάρχει «αυτόματη γένεση» ζωής στο αποστειρωμένο δοχείο.



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ ▶ Οι ζωντανόι οργανισμοί προέρχονται από προϋπάρχοντες ζωντανούς οργανισμούς.

Πειράματα από τον Louis Pasteur έδειξαν ότι οι μικροοργανισμοί μπορούν να προέλθουν μόνο από μικροοργανισμούς.

Πως αναπτύχθηκε όμως η ζωή?
Υπάρχουν δύο κύριες θεωρίες.

1. Χημική εξέλιξη: οι συνθήκες στην πρώιμη Γη οδήγησαν στο σχηματισμό απλών μορίων, τα οποία οδήγησαν στο σχηματισμό διαφόρων μορφών ζωής.

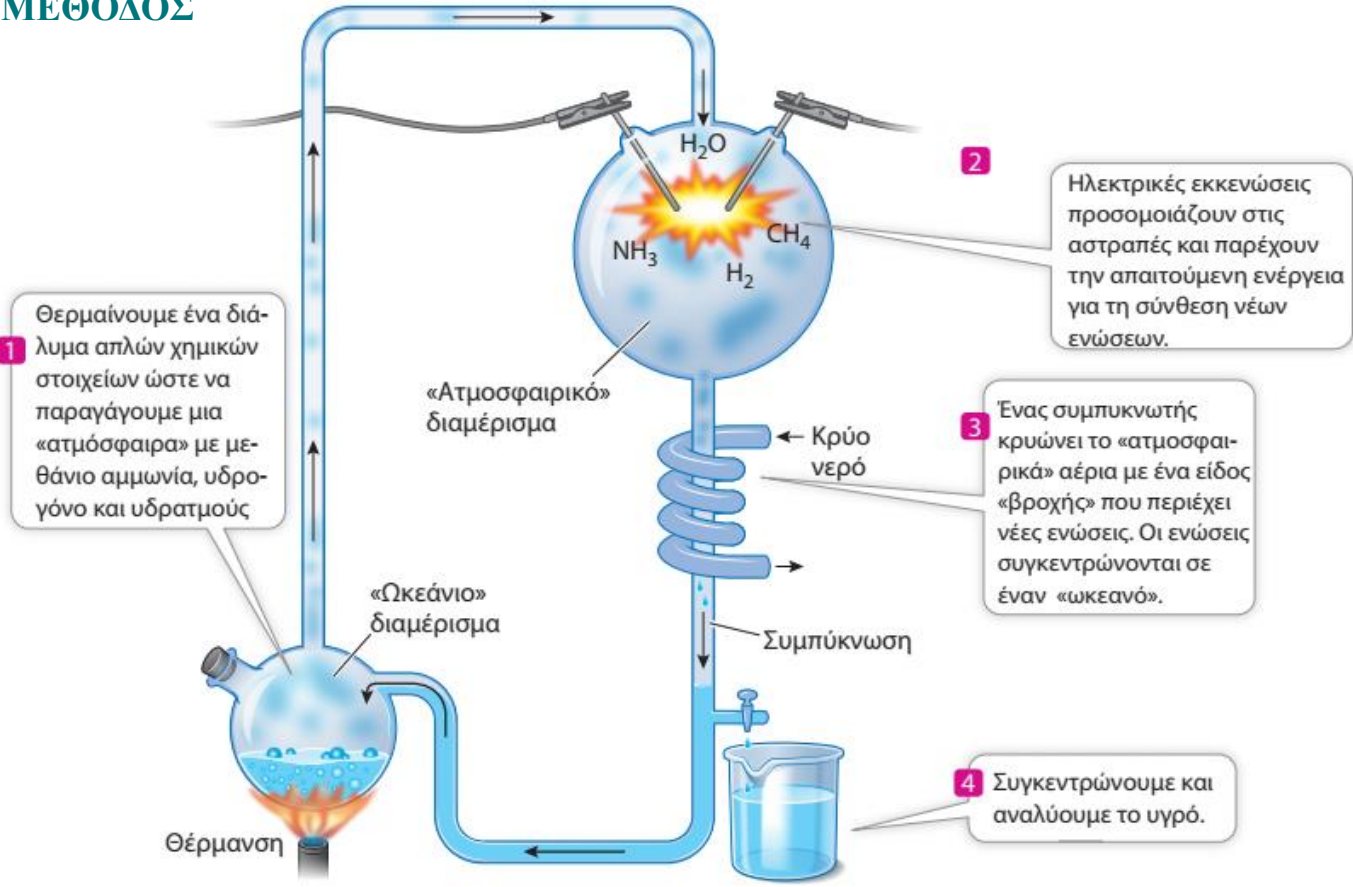
- Οι Miller και Urey (1950s) πειραματίστηκαν αναπαράγοντας αυτές τις πρώιμες συνθήκες.
- Τα πειράματα των Miller και Urey κράτησαν πολλά χρόνια.
- Τα ηφαίστεια πρόσθεσαν στην ατμόσφαιρα CO_2 , N_2 , H_2S , και SO_2 .
- Προσθέτοντας αυτά τα αέρια στην ατμόσφαιρα δημιουργήθηκαν πολλά μικρά οργανικά μόρια.

Εικόνα 4.7 Θα Μπορούσαν τα Βιολογικά Μόρια να Έχουν Σχηματιστεί από Χημικά Συστατικά που Υπήρχαν στην Πρώιμη Ατμόσφαιρα της Γης;

Εικόνα 4.7 Θα Μπορούσαν τα Βιολογικά Μόρια να Έχουν Σχηματιστεί από Χημικά Συστατικά που Υπήρχαν στην Πρώιμη Ατμόσφαιρα της Γης; Με την κατανόηση των ατμοσφαιρικών συνθηκών που υπήρχαν στην πρώιμη Γη, οι ερευνητές κατασκεύασαν μια πειραματική διάταξη για να δουν κατά πόσο οι συνθήκες εκείνες θα μπορούσαν να οδηγήσουν στον σχηματισμό οργανικών μορίων

ΥΠΟΘΕΣΗ ► Οι οργανικές χημικές ενώσεις μπορούν να σχηματιστούν κάτω από συνθήκες παρόμοιες με εκείνες που υπήρχαν στην ατμόσφαιρα της πρώιμης Γης.

ΜΕΘΟΔΟΣ



Πρωτότυπες Εργασίες: Miller, S. L. 1953. A production of amino acids under possible primitive earth conditions. *Science* 117: 528–519.

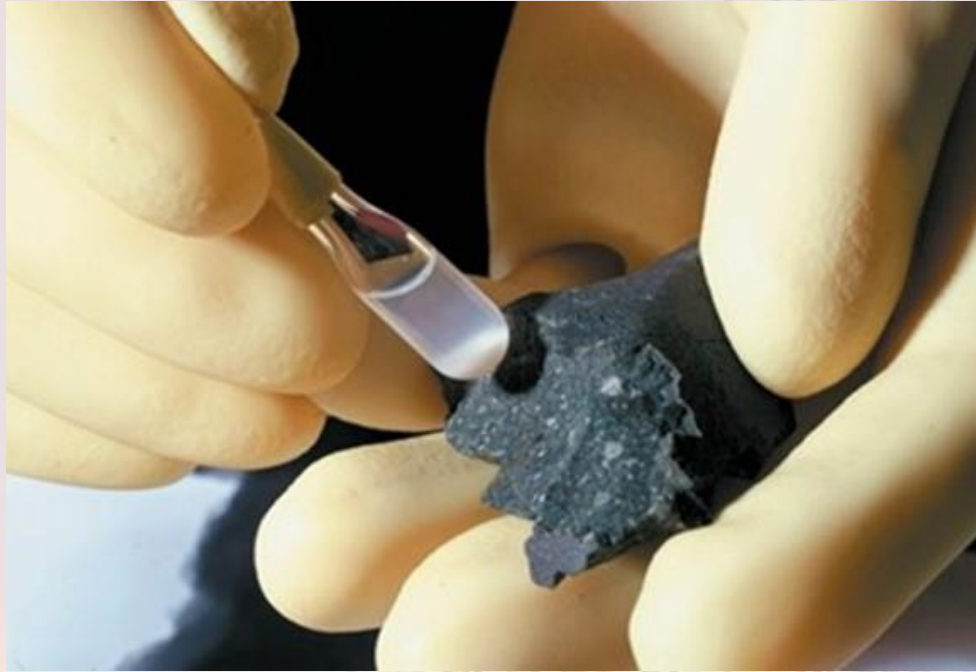
Miller, S. L. and H. C. Urey. 1959. Organic compound synthesis on the primitive earth. *Science* 130: 245–251.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



Οι αντιδράσεις στο συμπυκνωμένο υγρό σχημάτισαν τελικά οργανικές χημικές ενώσεις, συμπεριλαμβανομένων αμινοξέων.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ ► Τα χημικά δομικά στοιχεία της ζωής μπορούν να δημιουργηθούν σε μια πιθανή ατμόσφαιρα της πρώιμης Γης.



Εικόνα 4.8 Ο Μετεωρίτης Μέρτσισον
Τμήματα ενός μετεωρίτη που έπεσε στην Αυστραλία το 1969 τοποθετήθηκαν σε δοκιμαστικούς σωλήνες με νερό. Διάφορα μόρια που βρίσκονταν στο πέτρωμα –όπως αμινοξέα, νουκλεοτιδικές βάσεις και σάκχαρα– διαλύθηκαν στο νερό.

2. Η ζωή μπορεί να προήλθε από πλανήτες έξω από τη Γη

- Μερικοί μετεωρίτες περιέχουν μόρια όπως πουρίνες, πυριμιδίνες και αμινοξέα, οπότε μπορούμε να υποθέσουμε ότι ζωντανοί οργανισμοί μπορεί να ήλθαν στη Γη μέσω των μετεωριτών.
- Υπάρχουν ερωτήματα εάν οι ζωντανοί οργανισμοί μπορούν να επιβιώσουν σε ένα μετεωρίτη.

Μπορούμε να βρούμε ενδείξεις ζωής στον Άρη;

HYPOTHESIS ▶ Martian soil can be tested by a probe on Mars to show chemical changes consistent with life.

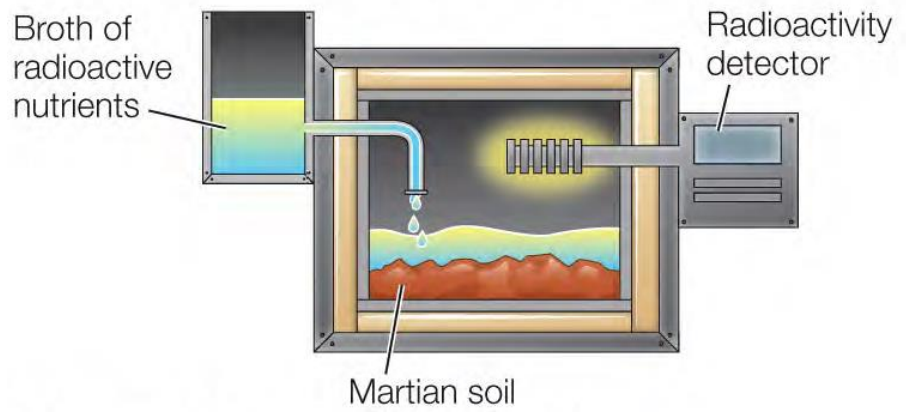
METHOD



Courtesy of NASA/
JPL-Caltech/University
of Arizona



Courtesy of NASA



Υπόθεση: Το έδαφος του Άρη μπορεί να ελεγχθεί με ένα μάρτυρα (σημασμένη ένωση) για να εντοπιστούν χημικές μεταβολές συμβατές με την ύπαρξη ζωής. Μέθοδος: Έδαφος που συλλέχθηκε από τα οχήματα Βίκινγκ στον Άρη εκτέθηκαν σε θρεπτικά συστατικά που έχουν σημειωθεί με ραδιοϊσότοπα. Έπειτα από 4 ημέρες έγινε έλεγχος για ραδιενεργά αέρια, όπως είναι το CO₂, το οποίο μπορεί να εκλυθεί από ζωντανούς μικροοργανισμούς λόγω του καταβολισμού των θρεπτικών συστατικών.

RESULTS

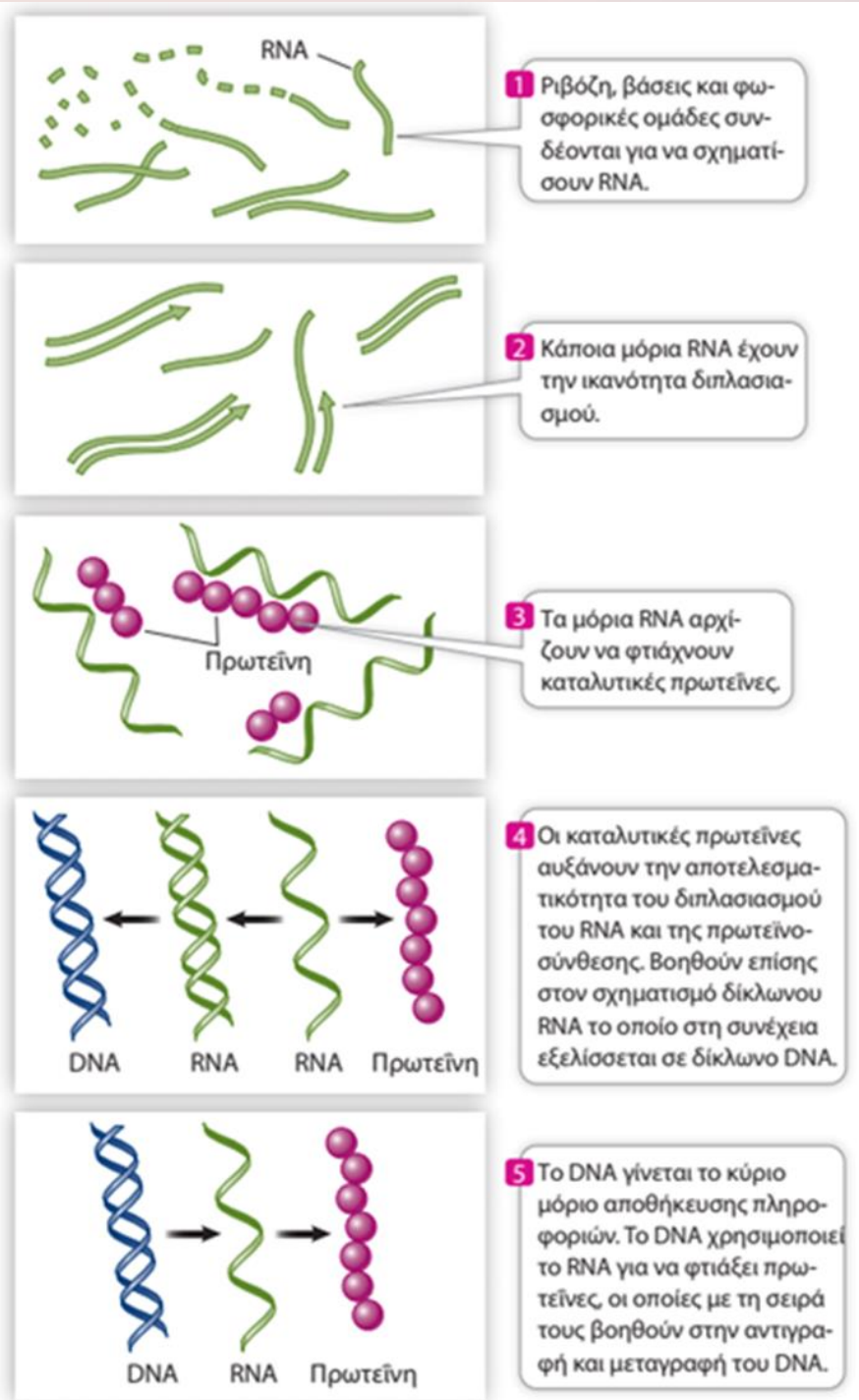
Radioactive gas detected (counts per minute) after 4 Martian days		
Control (no soil)	Martian sample 1	Martian sample 2
500	9,500	12,000

CONCLUSION ▶ Martian soil shows chemical changes consistent with life.

Εικόνα 4.9 Η Υπόθεση του «Κόσμου του RNA»

Εικόνα 4.9 Η Υπόθεση του «Κόσμου του RNA» Σύμφωνα με αυτή την άποψη, σε έναν κόσμο χωρίς DNA, μόνο του το RNA αποτελούσε το σχεδιάγραμμα για την πρωτεϊνοσύνθεση και τον καταλύτη για τον αυτοδιπλασιασμό του. Τελικά, τα μόρια DNA που αποθηκεύουν πληροφορίες μπορεί να προήλθαν από το RNA.

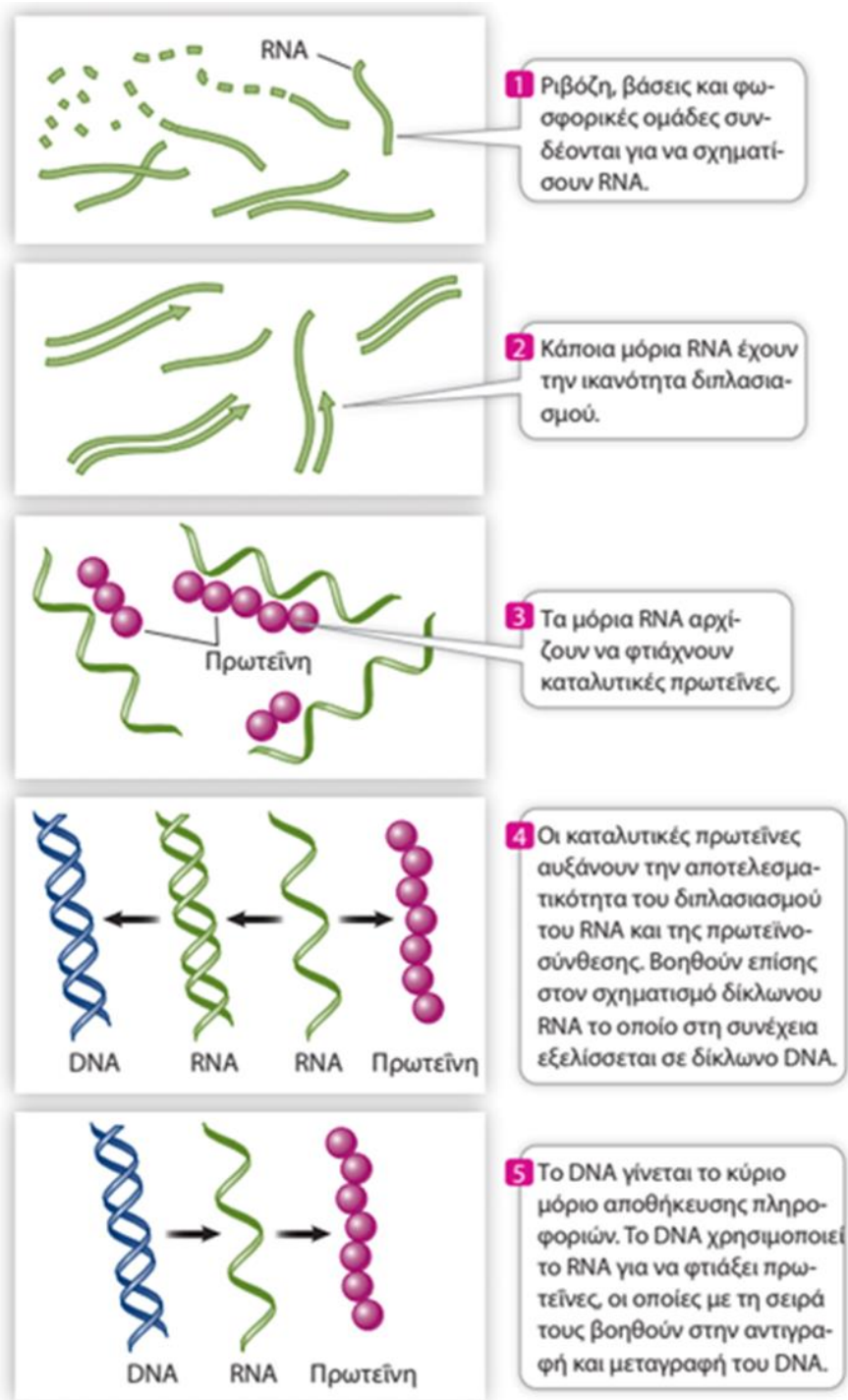
- Τα επόμενα βήματα της θεωρίας της χημικής εξέλιξης πιθανόν να εξηγούν πως φτιάχτηκαν τα πολυμερή.
- Διάφορα μοντέλα έχουν προταθεί ως πιθανές συνθήκες για την ανάπτυξη των πολυμερών όπως είναι οι γύψοι σε μορφή σκόνης, οι υδροθερμικοί πίδακες και οι θερμές περιοχές των ακτών.
- Το RNA πρέπει να αποτέλεσε τον πρώτο καταλύτη. Οι 3-D δομές και άλλες ιδιότητες των μορίων RNA (ριβοένζυμα) είναι παρόμοιες με άλλα ένζυμα.
- Το RNA πιθανόν να έδρασε ως καταλύτης για την αντιγραφή του και τη σύνθεση πρωτεϊνών. Το DNA στη συνέχεια προέκυψε από το RNA.



Εικόνα 4.9 Η Υπόθεση του «Κόσμου του RNA» Σύμφωνα με αυτή την άποψη, σε έναν κόσμο χωρίς DNA, μόνο του το RNA αποτελούσε το σχεδιάγραμμα για την πρωτεϊνοσύνθεση και τον καταλύτη για τον αυτοδιπλασιασμό του. Τελικά, τα μόρια DNA που αποθηκεύουν πληροφορίες μπορεί να προήλθαν από το RNA.

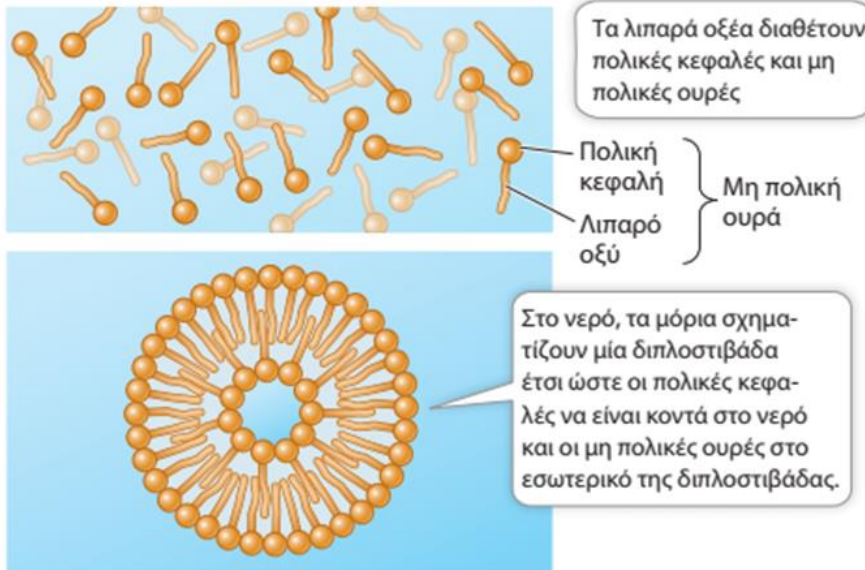
Πολλά ευρήματα υποστηρίζουν τη θεωρία “του αρχικού κόσμου του RNA” :

- Η δημιουργία των πεπτιδικών δεσμών καταλύεται από ριβοένζυμα.
- Σε ρετροϊούς έχει βρεθεί ένα ένζυμο η αντίστροφη μεταγραφάση που καταλύει τη σύνθεση DNA από RNA.
- Μικρά φυσικά απαντώμενα μόρια RNA καταλύουν τον πολυμερισμό νουκλεοτιδίων σε πειραματικές συνθήκες.
- Έχει κατασκευαστεί ένα τεχνητό ριβοένζυμο που καταλύει τη συσσωμάτωση μικρών RNAs σε ένα μεγαλύτερο μόριο που είναι τέλειο αντίγραφο του εαυτού του.

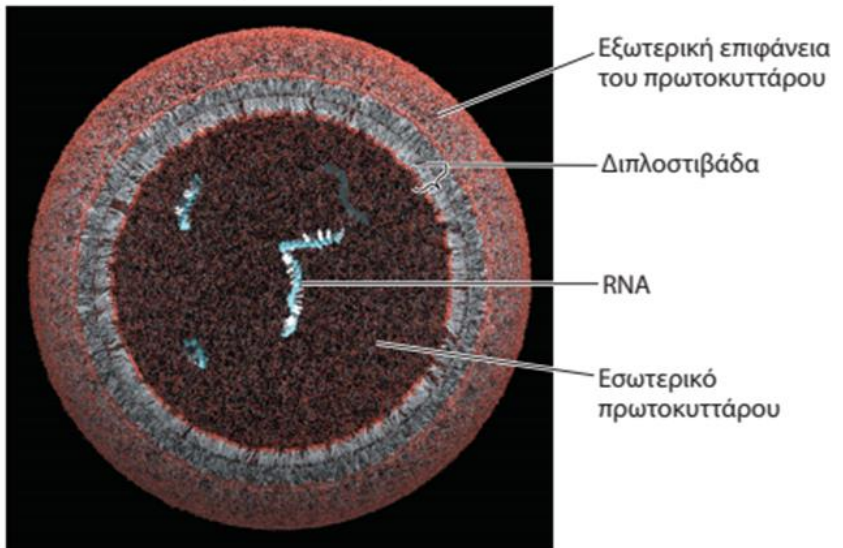


Εικόνα 4.10 Πρωτοκύτταρα

(A) Υποθετικός σχηματισμός ενός πρωτοκυττάρου



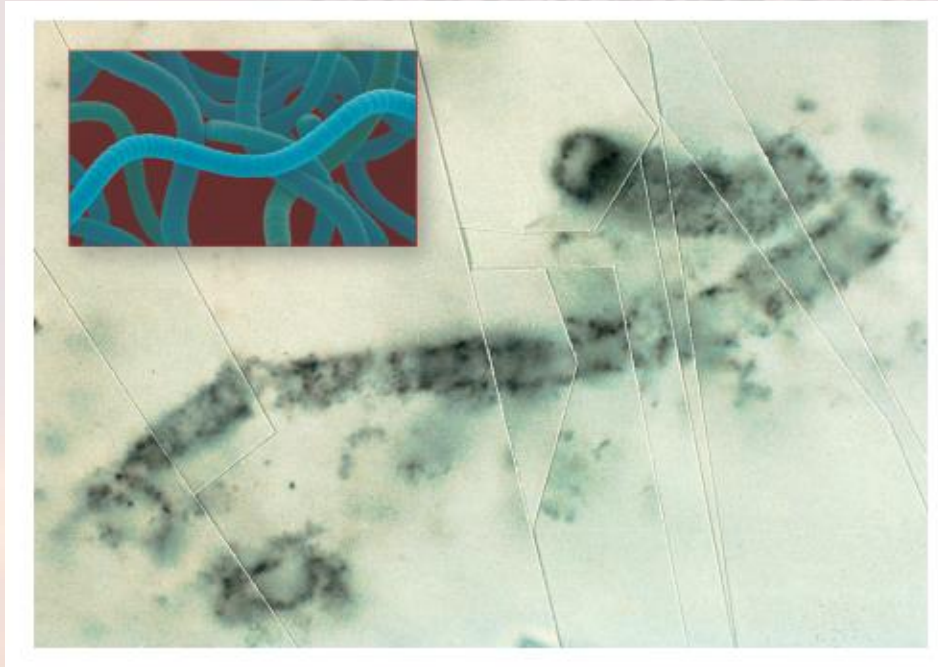
(B) Μοντέλο ενός πρωτοκυττάρου



Εικόνα 4.10 Πρωτοκύτταρα (A) Σε μία σειρά πειραμάτων, ο Τζακ Σόστακ και οι συνεργάτες του ανέμιξαν μόρια λιπαρών οξέων στο νερό. Τα μόρια σχημάτισαν σφαιρικές δομές που ονομάζονται πρωτοκύτταρα, με το νερό να περικλείεται από διπλοστιβάδα λιπαρών οξέων. **(B)** Ένα μοντέλο πρωτοκυττάρου. Ένα μέρος της «μεμβράνης» έχει αποκοπεί προκειμένου να αποκαλυφθεί το εσωτερικό του πρωτοκυττάρου και η δομή διπλοστιβάδας της μεμβράνης. Θρεπτικά συστατικά και νουκλεοτίδια περνούν μέσω της «μεμβράνης» κι εισέρχονται στο πρωτοκύτταρο, όπου αντιγράφουν ένα ήδη υπάρχον καλούπι RNA. Τα νέα αντίγραφα του RNA παραμένουν εντός του πρωτοκυττάρου.

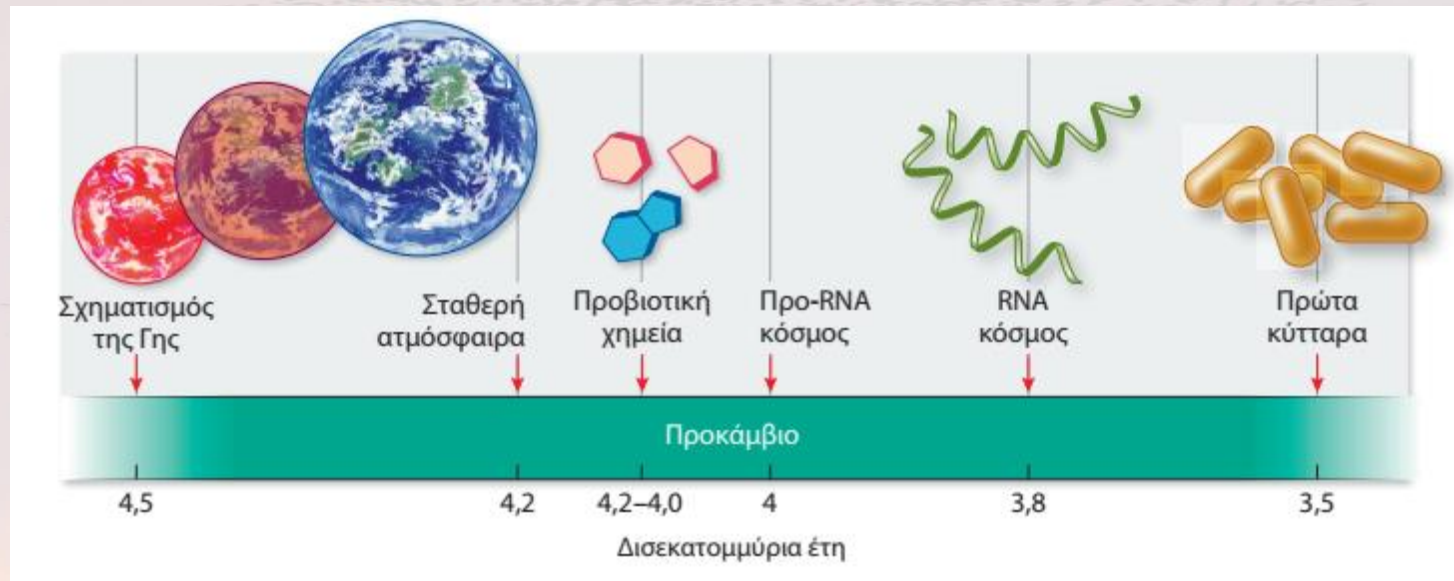
Το πρωτοκύτταρο μπορεί να αντιπροσωπεύει ένα ικανοποιητικό μοντέλο για την εξέλιξη των κυττάρων:

- Λειτουργεί ως οργανωμένο σύστημα αποτελούμενο από εξαρτήματα που αλληλεπιδρούν και αντιδρούν μεταξύ τους, σε κάποιες περιπτώσεις καταλυτικά.
- Το εσωτερικό τους διαφέρει από το εξωτερικό περιβάλλον.
- Έχει περιορισμένη ικανότητα αυτοδιπλασιασμού.



Εικόνα 4.11 Τα Πρώτα Κύτταρα; Αυτό το απολίθωμα από τη Δυτική Αυστραλία είναι 3,5 δισεκατομμυρίων ετών. Η μορφή του είναι παρόμοια με τα σημερινά νηματώδη κυανοβακτήρια (ένθετη φωτογραφία).

Εικόνα 4.12 Η Προέλευση της Ζωής



Εικόνα 4.12 Η Προέλευση της Ζωής Αυτή η υπεραπλουστευμένη χρονική αναπαράσταση παραθέτει τα κύρια γεγονότα τα οποία συμμετείχαν στην προέλευση της ζωής πριν από περισσότερα από 3,5 δισεκατομμύρια έτη.