

# Η πρώτη ζωή

Δρ. Γιώργος Ηλιόπουλος

Κρυπτοζωικός  
μεγααιώνας  
ή Προκάμβριο



Άδειος αιώνας (4560-4000 my)

Αρχαϊκός αιώνας (4000-2500 my)

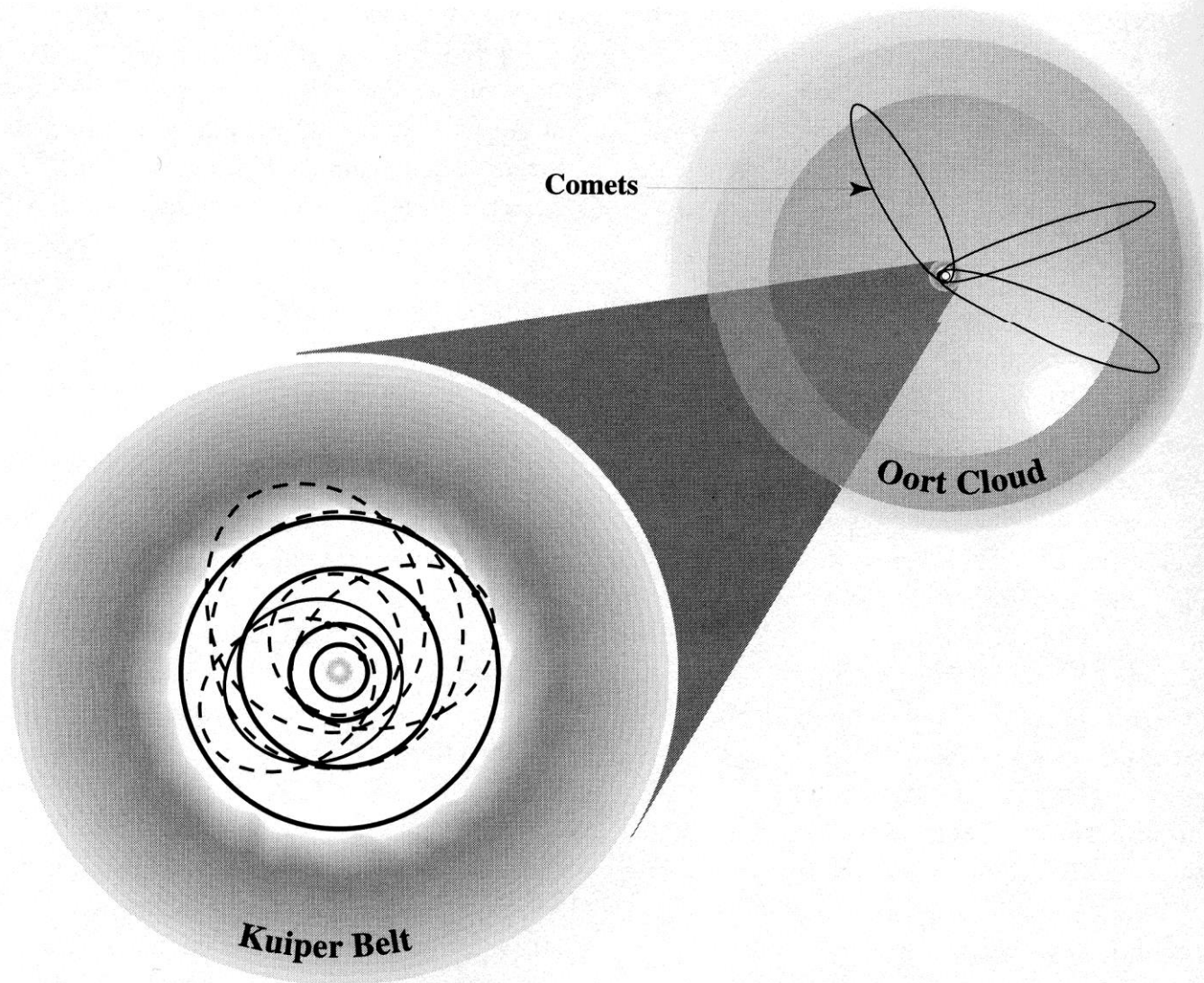
Προτεροζωικός αιών. (2500-542 my)

Το Προκάμβριο καλύπτει το 87% της γεωλογικής ιστορίας.

Αρχαιοζωϊκός και Προτεροζωϊκός χωρίζονται σε Κατώτερο, Μέσο, Ανώτερο

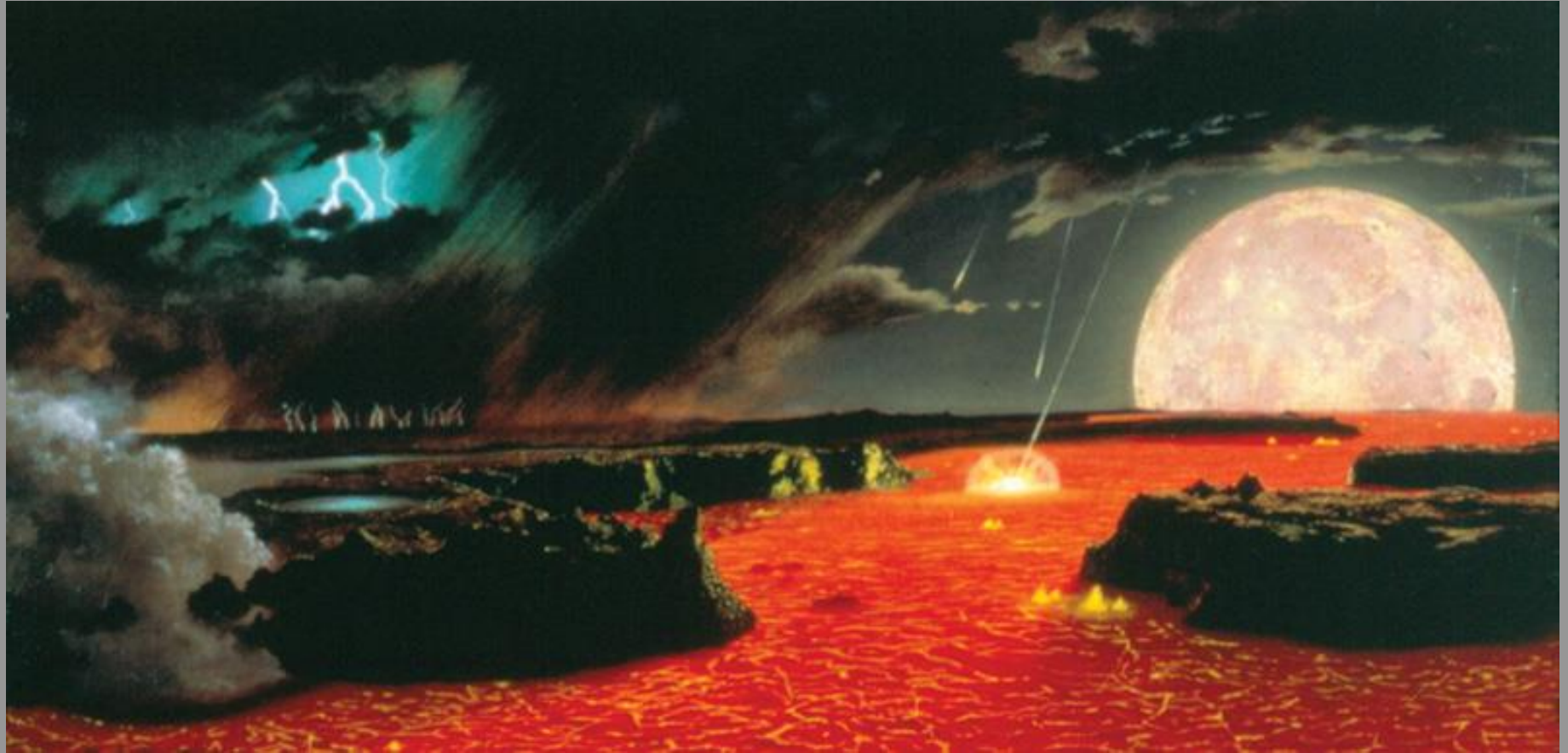
# Άδειος αιώνας (4.6-4 δις έτη)

- Σχηματισμός της γης από πλανητοειδή (4560 my)
- Σχηματισμός του πυρήνα
- Συγκρούσεις με μετεωρίτες, κομήτες κτλ. Που προήλθαν από την ζώνη Kuiper και το νεφέλωμα Oort
- Η πρώτη ατμόσφαιρα, από αέρια που προήλθαν από το εσωτερικό της γης και από προσκρούσεις με κομήτες κ.α.
- Οι πρώτοι ωκεανοί μόλις η γη άρχισε να κρυώνει
- Τα πρώτα οργανικά μόρια που βρίσκονταν σε κομήτες ή μετεωρίτες μπορεί να επέζησαν στην επιφάνεια (?)



**Figure 10.7.** Sketch of the outer solar system, showing the location of the Kuiper Belt as the shaded region. The solid orbits are (from inside outward) Jupiter, Saturn, Uranus, and Neptune. Pluto's orbit, not shown, places that planet in a stable part of the Kuiper Belt. The dashed lines show orbits of Centaur objects, which probably have been perturbed inward from the Kuiper Belt by Neptune's gravity as well as, perhaps, through collisions in the Belt itself. On the upper right is a diagram showing the much larger Oort Cloud and a few sample long-period comet orbits. The Oort cloud is so much larger than the Kuiper Belt that the latter can hardly be seen on the scale of the former.





# Ποια η ηλικία του ηλιακού συστήματος;

Ραδιοχρονολογήσεις σεληνιακών πετρωμάτων και μετεωριτών μας δίνουν ηλικίες γύρω στα **4.6 δις έτη**.

# Η πρώτη ατμόσφαιρα

- Η πρώτη ατμόσφαιρα της γης δεν περιείχε ελεύθερο Οξυγόνο.
- Προήλθε από αέρια που πιθανότατα σχετίζονται με κομήτες και μετεωρίτες που κτύπησαν την γη κατά τα πρώτα στάδια σχηματισμού της.
- Από ηφαίστεια



# Αέρια των κομητών

- Οι κομήτες αποτελούνται από παγωμένα αέρια, πάγο και σκόνη.
- Ο κομήτης του Halley αποτελείται από:
  - 80% πάγο (νερό)
  - Παγωμένο  $\text{CO}_2$  (ξηρό πάγο)
  - Νέφος Η περικλείει τον κομήτη
  - Η σκόνη γύρω από τον πυρήνα περιέχει Fe, O, Si, Mg, Na, S, C.

# Αέρια των μετεωριτών

- Οι ασβεστούχοι χονδρίτες αποτελούνται κυρίως από πυριτικά ορυκτά αλλά περιέχουν και:
  - N
  - H
  - νερό
  - C στην μορφή πολύπλοκων οργανικών μορίων (πρωτεΐνες και αμινοξέα)

# Ηφαιστειακή έκκλιση αερίων

Τα αέρια από ηφαίστεια στην Χαβάη περιέχουν :

- 70% υδρατμούς ( $\text{H}_2\text{O}$ )
- 15%  $\text{CO}_2$
- 5%  $\text{N}_2$
- 5% Θείο ( $\text{H}_2\text{S}$ )
- Χλώριο ( $\text{HCl}$ )
- H
- Ar

# Η αρχική ανοξική ατμόσφαιρα

Η αρχική ατμόσφαιρα της γης ήταν ισχυρά αναγωγική και ανοξική (έλλειψη ελεύθερου O), και αποτελούνταν από:

- υδρατμούς ( $H_2O$ )
- $CO_2$
- $N_2$
- CO
- $H_2S$
- HCl

# Η αρχική ανοξική ατμόσφαιρα

Η σύσταση της ατμόσφαιρας θα ήταν παρόμοια με αυτή των σημερινών ηφαιστειών, με περισσότερο ίσως Η και πιθανόν ίχνη μεθανίου και αμμωνίας.

Αν υπήρχε ελεύθερο Ο θα δεσμευόταν άμεσα από αντιδράσεις οξειδωσης μετάλλων.

# Αρχαϊκός αιώνας (4-2,5 δις έτη)

- Πιο σταθερές συνθήκες στην γη
- Πρώτα πετρώματα
- Νερό σε υγρή μορφή στην επιφάνεια
- Ατμόσφαιρα πλούσια σε  $\text{CO}_2$ , αρκετό  $\text{N}_2$  και  $\text{CH}_4$  και λίγο  $\text{O}_2$
- Οι πτώσεις σωμάτων έχουν μειωθεί σημαντικά
- Σταθερά περιβάλλοντα



# Σχηματισμός ατμόσφαιρας πλούσιας σε οξυγόνο

Η αλλαγή από μία φτωχή σε μία πλούσια σε οξυγόνο ατμόσφαιρα συνέβη στο τέλος του Αρχαϊκού αιώνα.



# Σχηματισμός ατμόσφαιρας πλούσιας σε οξυγόνο

Ήταν αποτέλεσμα:

1. **Φωτοχημικού διαχωρισμού** – Διάσπαση των μορίων του νερού σε H και O στην ανώτερη ατμόσφαιρα από υπεριώδη ακτινοβολία από τον ήλιο.
2. **Φωτοσύνθεσης** – Η διαδικασία με την οποία φωτοσυνθετικά βακτήρια και φυτά παράγουν οξυγόνο (η κύρια διεργασία).

# Αποδεικτικά στοιχεία για την ύπαρξη ελεύθερου οξυγόνου στην ατμόσφαιρα

1. **Κόκκινα στρώματα** – Ιζηματογενή πετρώματα με οξειδία του σιδήρου, εμφανίζονται σε πετρώματα νεώτερα των 1,8 δις ετών (Προτεροζωϊκός).
2. **Ασβεστιτικά πετρώματα** – εμφανίζονται για πρώτη φορά την ίδια περίοδο με τα κόκκινα στρώματα.  
Άρα, λιγότερο  $\text{CO}_2$  στην ατμόσφαιρα και τους ωκεανούς, συνεπώς το νερό δεν ήταν πια όξινο.

# Τι είναι ζωή;

«ένα αυτοσυντηρούμενο χημικό σύστημα το οποίο είναι ικανό να υφίσταται Δαρβίνια εξέλιξη»

(και αυτό από όσο γνωρίζουμε μέχρι τώρα ισχύει μόνο για την ζωή πάνω στην γη)

# Τα απαραίτητα

- Οργανικά μόρια για βιολογικές δομές και διεργασίες
- Μία πηγή ενέργειας (ήλιος ή γεωθερμική ενέργεια)
- Νερό σε υγρή μορφή ως το μέσο για την μεταφορά ενέργειας και πληροφορίας

# Παράγοντες που κάνουν την Γη κατάλληλη για ζωή

- Η απόσταση από τον ήλιο προκαλεί θερμοκρασίες στο εύρος όπου το νερό παραμένει σε υγρή μορφή.
- Η θερμοκρασία σταθερή για δις έτη.
- Η περιστροφή επιτρέπει σε όλες τις πλευρές της γης να έχουν φως και θερμότητα.
- Η ατμόσφαιρα που απορροφά και διατηρεί την θερμότητα από τον ήλιο και αντανακλά τμήμα των επικίνδυνων ακτινοβολιών στο διάστημα.
- Το μαγνητικό πεδίο προστατεύει την ζωή από επικίνδυνα σωματίδια υψηλής ενέργειας και την ακτινοβολία του ηλιακού ανέμου.

# Βασική δομή της ζωής στην γη

- Όλες οι μορφές ζωής βασίζονται στην ίδια ομάδα μοριακών μονάδων και χημικών αντιδράσεων
  - Όλη η ζωή πάνω στη γη βασίζεται στον άνθρακα
  - Τέσσερις τύποι οργανικών μορίων χρησιμοποιούνται κυρίως για τις βιολογικές δομές και διεργασίες
1. Πρωτεΐνες
  2. Νουκλεϊκά οξέα
  3. Υδατάνθρακες
  4. Λιπίδια

# Η ζωή απαιτεί τα εξής στοιχεία

» Άνθρακα

» Υδρογόνο

» Οξυγόνο

» Άζωτο

» Φώσφορος

» Θείο

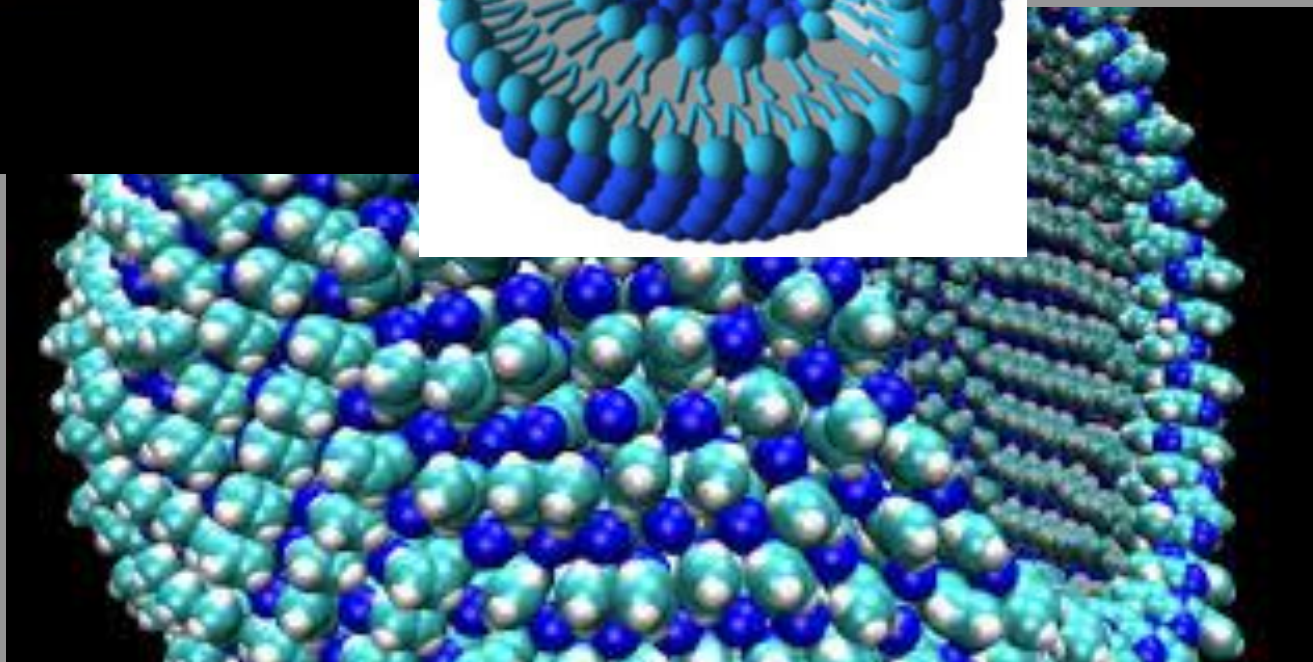
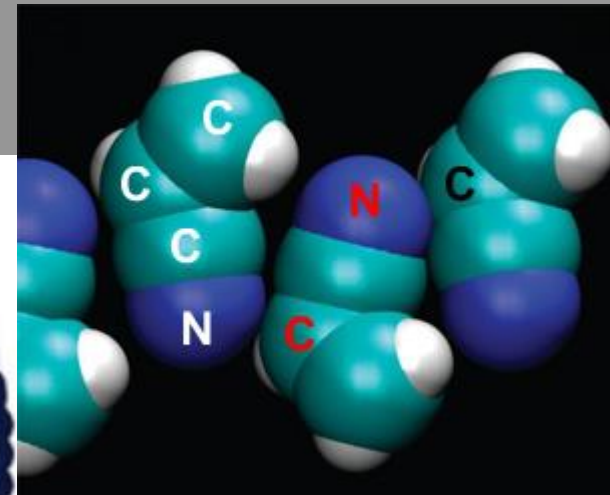
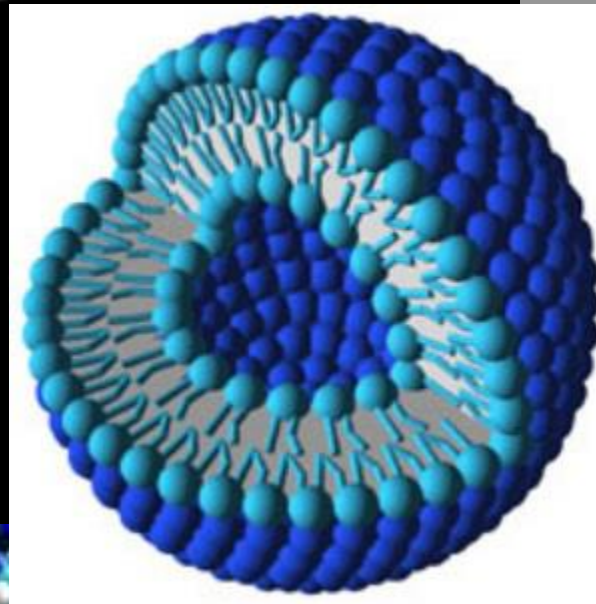
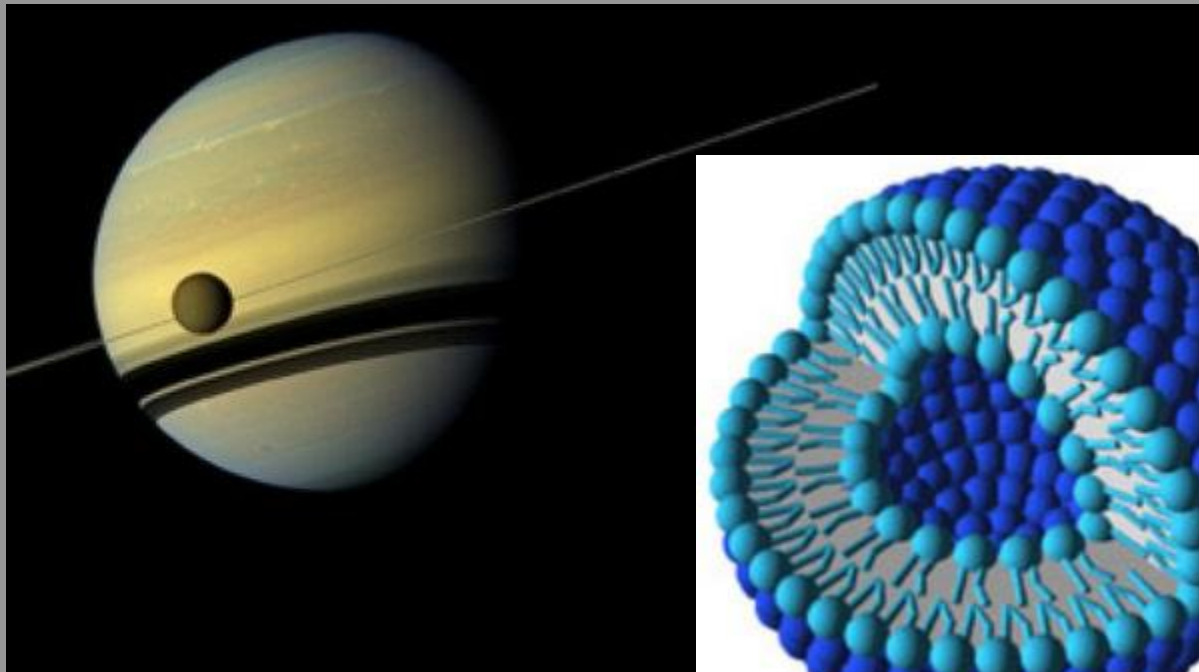
Όλα αυτά αφθονούν στο ηλιακό σύστημα.

# Αζωτόσωμα

- Ένα αζωτόσωμα αποτελεί (θεωρητικά) μια υποθετική μεμβράνη κατά αναλογία με μία κυτταρική μεμβράνη στη Γη (φτιαγμένη από λιπίδια) για ζωή που βασίζεται στο νερό.
- Μία μεμβράνη αζωτοσώματος θα είναι φτιαγμένη από στοιχεία και ενώσεις που θα συναντώνται σε υγρά σώματα μεθανίου-αιθανίου όπως και στην ατμόσφαιρα του Τιτάνα (φεγγάρι του Κρόνου) φτιαγμένη από ακρυλονιτρίλιο, και θα μπορεί να λειτουργεί στις συνθήκες που επικρατούν εκεί. (Stevenson et al. 2015)



# Αζωτόσωμα





# Τα τέσσερα απαραίτητα συστατικά της ζωής

1. **Πρωτεΐνες** – Αλυσίδες αμινοξέων. Οι πρωτεΐνες είναι τα δομικά υλικά των οργανισμών, και οι καταλύτες των χημικών αντιδράσεων.
2. **Νουκλεϊκά οξέα** – Τα στοιχεία που μεταφέρουν πληροφορίες και δημιουργούν «αντίγραφα».
  1. DNA
  2. RNA
3. **Οργανικές ενώσεις φωσφόρου** – Χρησιμοποιούνται για να μετατρέπουν το φως ή το χημικό καύσιμο σε ενέργεια που χρειάζονται για τις δραστηριότητες των κυττάρων
4. **Κυτταρικές μεμβράνες** για να εσωκλείουν όλα αυτά τα στοιχεία μέσα σε ένα κύτταρο και να τα απομονώνουν από το εξωτερικό περιβάλλον, δημιουργώντας ένα ελεγχόμενο ημιδιαπερατό σύστημα.

# Η κόττα έκανε το αυγό ή το αυγό την κόττα;

Τι σχηματίστηκε πρώτα, το RNA ή το DNA;

- Το DNA είναι ένα επακόλουθο μόριο
- Στο εργαστήριο RNA μέσα σε φυσαλίδες από λιπαρά οξέα, με παρουσία ιόντων  $Mg^{2+}$  και κιτρικού οξέως οδήγησε στην αντιγραφή του RNA (Adamala and Sjostak 2013) απουσία ριβοενζύμων. Κιτρικό οξύ σε προβιοτικές συνθήκες;
-  Όλοι οι οργανισμοί πάνω στην γη χρησιμοποιούν RNA και DNA
-  Η κοινή συνισταμένη όλης της ζωής πάνω στην γη

# Δημιουργία RNA στο εργαστήριο (Ferus et al. 2014)

- Δημιουργία βιογενών μορίων μέσω σύγκρουσης εξωγήινων σωμάτων (κομήτες, μετεωρίτες)
- Σύνθεση νουκλεϊκών βάσεων από φορμαμίδιο κατά τη διάρκεια βομβαρδισμού
- Δημιουργία ζωής στο τέλος του Άδειου Αιώνα, πέρας «βομβαρδισμών»
- Προσομοίωση κρούσης στο εργαστήριο μέσω ακτίνας Λείζερ υψηλής ενέργειας
- Αρχικός διαχωρισμός του φορμαμιδίου σε υψηλά ενεργές ρίζες  $-CN$  και  $-NH$  που αντιδρούν περαιτέρω με το φορμαμίδιο και παράγουν: Αδενίνη, Ουρακίλη, Γουανίνη, Κυτοσίνη!

- Οι πρώτοι οργανισμοί αναπτύχθηκαν σε ένα περιβάλλον με ατμόσφαιρα που είχε ελάχιστο ελεύθερο οξυγόνο. (Orogin, 1924)
- Άρα, οι πρώτοι οργανισμοί θα πρέπει να ήταν αναερόβιοι.
- Τα οργανικά μόρια δεν θα μπορούσαν να συγκροτηθούν σε μεγαλύτερες δομές σε ένα καλά οξυγονωμένο περιβάλλον. Το οξυγόνο θα διασπούσε (οξειδώνει) το οργανικά μόρια.
- Λόγω έλλειψης οξυγόνου στην ατμόσφαιρα, δεν υπήρχε επίσης και καθόλου όζον (στρώμα όζοντος) για να προστατεύσει την επιφάνεια της γης από την επικίνδυνη και βλαβερή υπεριώδη ακτινοβολία.

# Προέλευση των αμινοξέων

## α. Γήινη προέλευση

1. Από αστραπές

2. Από υπεριώδη ακτινοβολία

Η ενέργεια από τις αστραπές και την υπεριώδη ακτινοβολία μπορεί να ανασυντάξει τα άτομα σε μείγματα νερού, αμμωνίας και υδρογονάνθρακες και σχηματίζει αμινοξέα.

3. Ηφαιστειακή δραστηριότητα

## β. Εξωγήινη προέλευση

# Το πείραμα των Miller-Urey

Σε πειράματα προσομοίωσης στην δεκαετία του 1950 οι **Miller και Urey** κατάφεραν να σχηματίσουν αμινοξέα από αέρια που ήταν παρόντα στην πρώτη ατμόσφαιρα:

- $H_2$ ,
- $CH_4$ ,
- $NH_3$
- $H_2O$  (σε υδρατμούς),

μαζί με ηλεκτρικούς σπινθήρες (προσομοίωση αστραπή).

Τα επόμενα χρόνια όμως διαπιστώθηκαν προβλήματα:

- a. Μοντέλα και γεωχημικά δεδομένα υποδεικνύουν ότι το  $\text{CO}_2$  ήταν το κυρίαρχο αέριο στην πρώτη ατμόσφαιρα
- b. Το μεθάνιο και η αμμωνία ήταν λιγότερα στην αρχική ατμόσφαιρα, άρα και το  $\text{H}_2$  λιγότερο.
- c. Το μείγμα αερίων στο πείραμα αρκετά διαφορετικό από την αρχική ατμόσφαιρα.



# Εξωγήινη προέλευση

- Κομήτες, μετεωρίτες (ανθρακούχοι χονδρίτες), και αστρική σκόνη περιέχουν οργανικά μόρια και αμινοξέα.

Π.χ. Ο μετεωρίτης του Murchison. Έπεσε το 1969 στο Murchison της Αυστραλίας. Ανθρακούχος χονδρίτης (ενώσεις του άνθρακα 0.5-5%, νερό 12%). Μέχρι σήμερα 92 διαφορετικά αμινοξέα έχουν αναγνωριστεί, από τα οποία μόνο τα 19 βρίσκονται στην γη.

Πολύ ανάλογη σύσταση έχουν και οι κομήτες

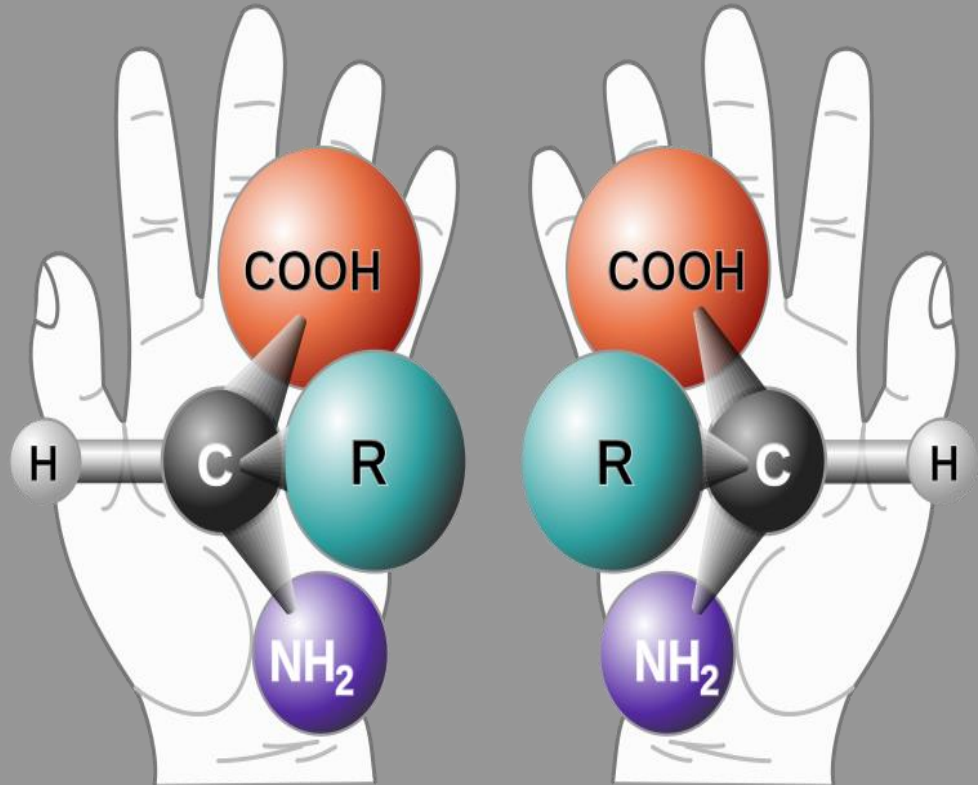
- Προέλευση των κομητών: το νέφος Oort
- Θεωρία της Πανσπερμίας



# Εναντιομέρεια 1

- Τα αμινοξέα όπως και άλλα οργανικά μόρια, έχουν δύο εναντιομερή, δεξιά και αριστερά.

- Η εναντιομέρεια στα βιολογικά μόρια παίζει σημαντικό ρόλο στην λειτουργικότητά τους.



Δύο εναντιομερή  
ενός αμινοξέος

# Εναντιομέρεια 2

- Οι πρωτεΐνες δημιουργούνται από αριστερά εναντιομερή αμινοξέων.
- Τα RNA-DNA χρησιμοποιούν μόνο δεξιά εναντιομερή σακχαριτών.
- Οι οργανισμοί δεν μπορούν να χρησιμοποιήσουν δεξιά εναντιομερή αμινοξέων και αριστερά εναντιομερή σακχαριτών.
- Τα μη βιολογικά αμινοξέα (μετεωρίτες, πειράματα Miller-Urey) περίπου ίσο μείγμα αριστερών και δεξιών εναντιομερών.
- Πολυμερή όπως οι πρωτεΐνες δεν δείχνουν προτίμηση σε κάποια συγκεκριμένη εναντιομέρεια.
- Έτσι, πως μπόρεσε μία συγκεκριμένη εναντιομέρεια να επιλέχθηκε από την προβιολογική χημεία;

# Ένωση αμινοξέων για σχηματισμό πρωτεϊνών

Τα αμινοξέα είναι μονομερή που πρέπει να ενωθούν μαζί για να σχηματίσουν τις πολυμερείς πρωτεΐνες.

Για αυτό χρειάζεται:

- Ενέργεια
- Απομάκρυνση νερού

# Ένωση αμινοξέων για σχηματισμό Πρωτεϊνών

Πως μπορεί να γίνει αυτό;

1. Με θέρμανση (ηφαιστειακή δραστηριότητα)
2. Σε χαμηλότερες θερμοκρασίες με την παρουσία φωσφορικού οξέως
3. Εξάτμιση
4. Πάγωμα
5. Απομάκρυνση νερού σε αντιδράσεις αφυδάτωσης

# Ένωση αμινοξέων για σχηματισμό πρωτεϊνών

Που μπορεί να γίνει αυτό;

- Στην επιφάνεια αργιλικών σωματιδίων, που έχουν φορτισμένες επιφάνειες, και στις οποίες πολωμένα μόρια μπορούν να προσαρμοστούν. Μεταλλικά ιόντα σε αργίλους μπορούσαν να συγκεντρώνουν οργανικά μόρια με ορισμένη τάξη, προκαλώντας την στοίχιση τους και την ένωση τους σε αλυσίδες παρόμοιες με των πρωτεϊνών.
- Στην επιφάνεια σιδηροπυρίτη, ο οποίος έχει μία θετικά φορτισμένη επιφάνεια στην οποία απλές οργανικές ενώσεις μπορούν να ενωθούν. Ο σχηματισμός σιδηροπυρίτη παράγει ενέργεια που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στην ένωση αμινοξέων σε πρωτεΐνες.

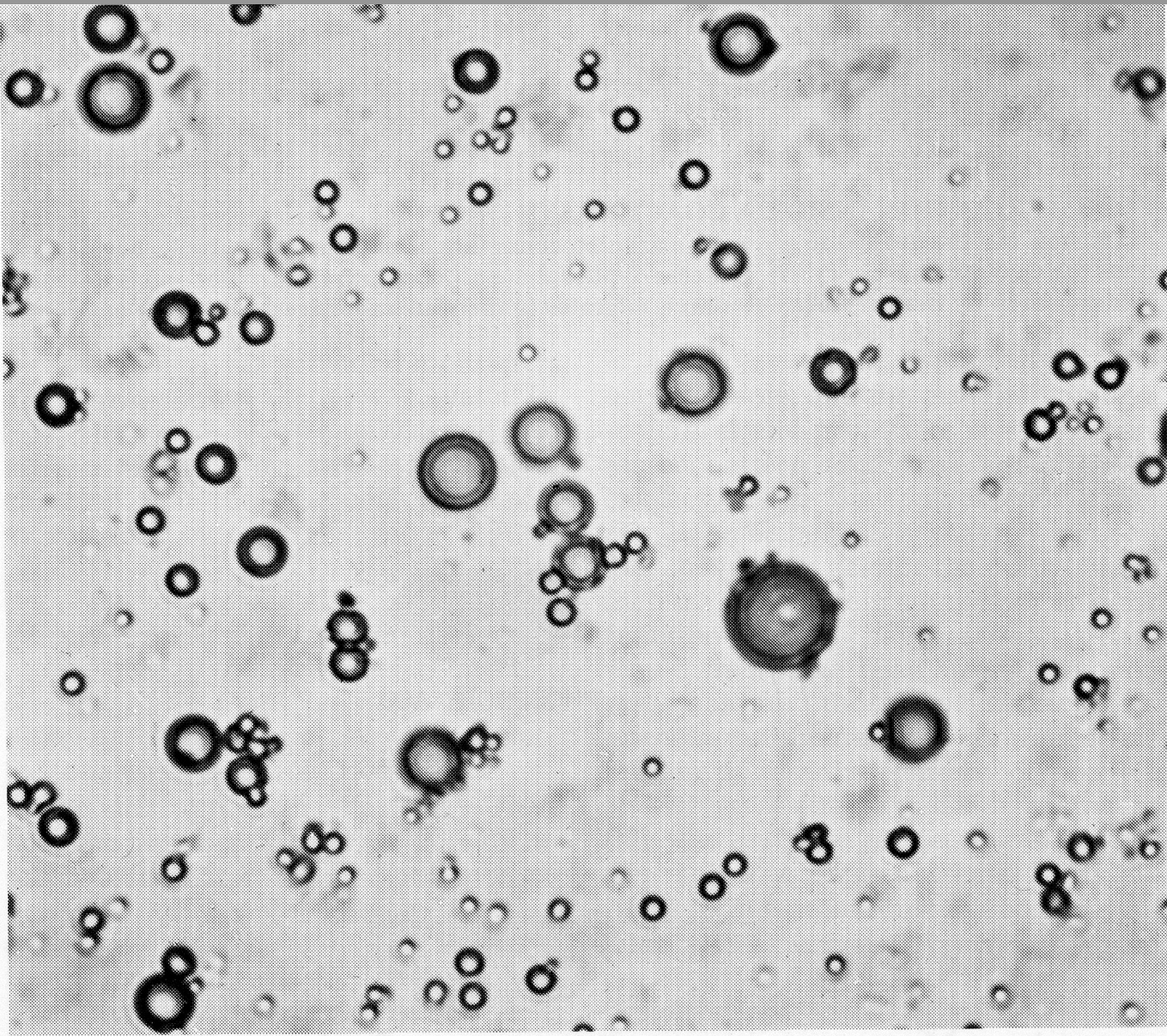
# Πρωτεϊνοειδή

- Αλυσίδες σαν τις πρωτεΐνες που παράχθηκαν στο εργαστήριο από τον Fox από ένα μείγμα αμινοξέων. Θεωρούνται από πολλούς οι μεταβατικές δομές που οδήγησαν στον σχηματισμό πρωτεϊνών δις χρόνια πριν.
- Παρόμοια πρωτεϊνοειδή βρίσκονται σήμερα στην φύση γύρω από τα ηφαίστεια της Χαβάης..



Θερμά υδάτινα διαλύματα πρωτεΐνοειδών θα κρυώσουν για να σχηματίσουν μικροσφαίρες, μικροσκοπικές σφαίρες (φουσαλίδες) που έχουν πολλά χαρακτηριστικά με τα ζωντανά κύτταρα:

- Εξωτερικό τοίχωμα σαν «διαφάνεια» (από λιπίδια)
- Ικανό για ωσμωτική σμίκρυνση και μεγέθυνση
- Χωρισμός σε δύο θυγατρικές μικροσφαίρες
- Συγκέντρωση σε γραμμές για σχηματίσουν ελάσματα όπως κάποια βακτήρια
- Κίνηση των εσωτερικών κομματιών όπως στα ζωντανά κύτταρα



**ANOTHER KIND OF MICROSPHEROIDAL AGGREGATE**, studied by Sidney W. Fox of the University of Miami, forms from "thermal proteinoid," a polymer produced by heating dry mixtures of amino acids to moderate temperatures. Under suitable conditions thermal proteinoid will form microspheres several micrometers in diameter, which grow slowly and eventually bud. The microspheres seem to have a two-layer membrane suggestive of that in bacteria.





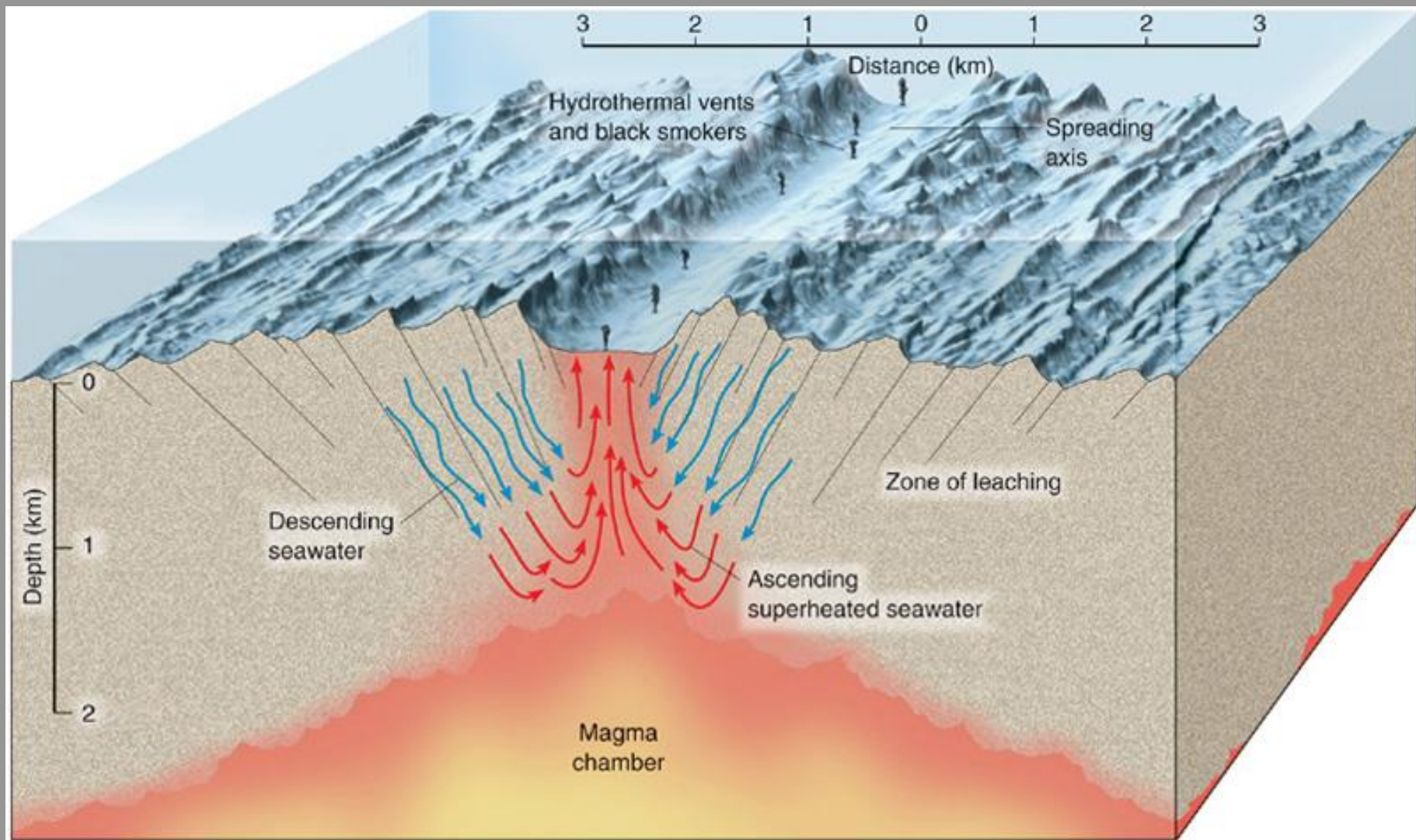
# Που σχηματίστηκε η πρώτη ζωή;

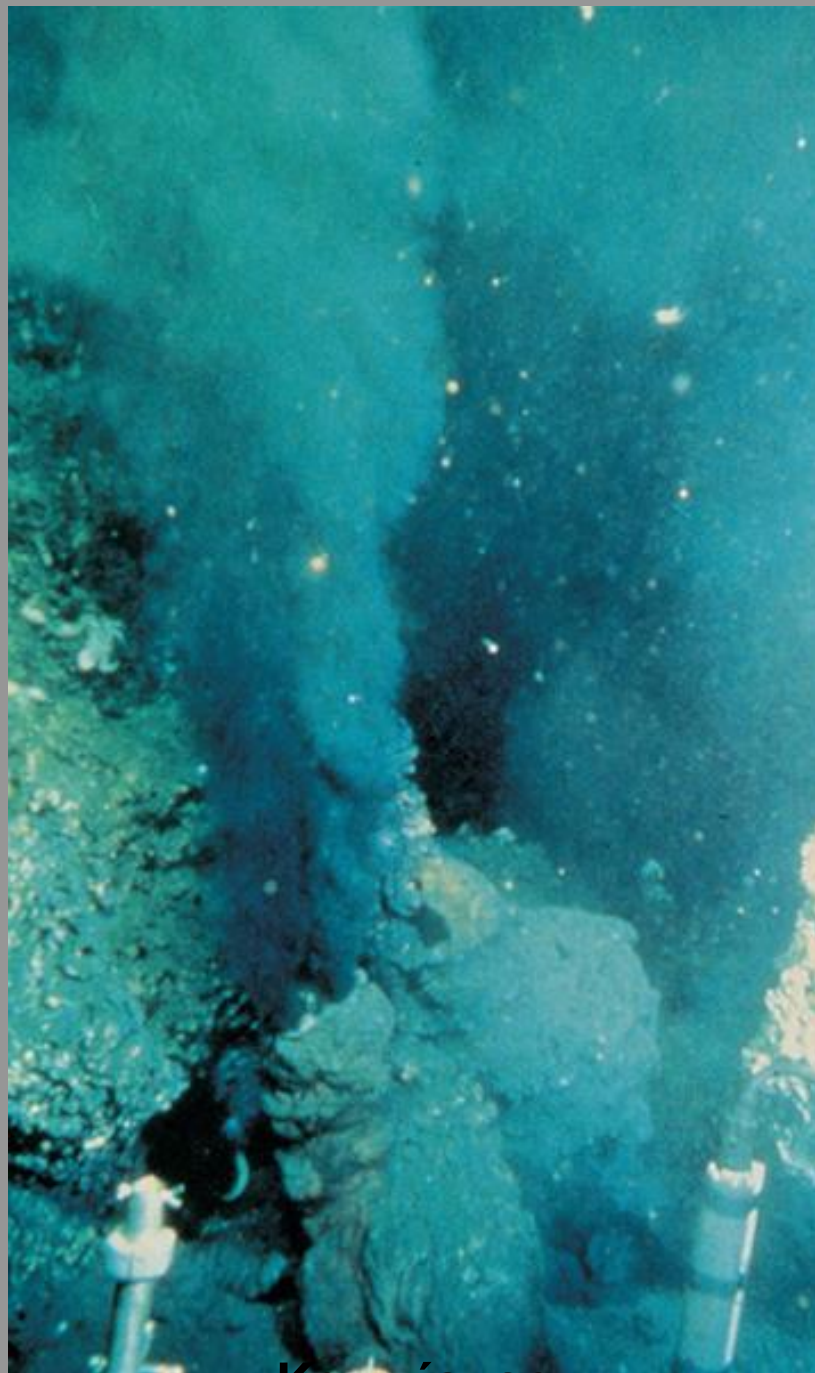
Η πρώτη ζωή απέφυγε την υπεριώδη ακτινοβολία ζώντας:

- Βαθειά κάτω από το νερό
- Κάτω από την επιφάνεια των πετρωμάτων

Η ζωή το πιο πιθανό ξεκίνησε στη θάλασσα, ίσως σε περιοχές όπου σχετίζονταν με υποθαλάσσια υδροθερμικά πεδία και «καπνίστρες».







Καπνίστρα

# Αποδεικτικά στοιχεία για δημιουργία της ζωής στην θάλασσα σε υδροθερμικά πεδία

1. Η θάλασσα περιέχει άλατα που χρειάζονται για υγεία και ανάπτυξη.
2. Το νερό είναι ο παγκόσμιος διαλύτης, ικανό να διαλύει οργανικές ενώσεις, δημιουργώντας ένα πλούσιο «ζωμό» ή πρωταρχική «σούπα».
3. Τα ωκεάνια ρεύματα ανακατεύουν αυτές τις ενώσεις, κάνοντας δυνατές τις συγκρούσεις μεταξύ μορίων, και τον συνδυασμό τους σε μεγαλύτερα οργανικά μόρια.

# Αποδεικτικά στοιχεία για δημιουργία της ζωής στην θάλασσα σε υδροθερμικά πεδία

4. Τα μικρόβια στα υδροθερμικά πεδία είναι υπερθερμόφιλα και αναπτύσσονται στο θαλασσινό νερό σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες του σημείου βρασμού ( $100^{\circ}\text{C}$ ).
5. Αυτά τα μικρόβια παίρνουν ενέργεια από χημειοσύνθεση, χωρίς φως, αντί για φωτοσύνθεση.
6. Τα υπερθερμόφιλα είναι Αρχαιοβακτήρια, με διαφορετικό DNA από τα βακτήρια.







# Η εξέλιξη της πρώτης ζωής

- Τα πρώτα κύτταρα έπρεπε να δημιουργηθούν και να υπάρξουν σε ανοξικές συνθήκες (με απουσία ελεύθερου οξυγόνου)  
Πιθανότατα ήταν αναερόβια βακτήρια ή αρχαιοβακτήρια.
- Μερικοί από τους πρώτους οργανισμούς έγιναν φωτοσυνθετικοί, πιθανόν λόγω έλλειψης πρώτων υλών για ενέργεια. Έτσι χρησιμοποιώντας την ενέργεια από τον ήλιο κατασκεύασαν τις δικές τους πρώτες ύλες για ενέργεια (**Αυτότροφοι**).  
Η φωτοσύνθεση ήταν ένα πλεονέκτημα που έδωσε η προσαρμογή αυτή.
- Το Οξυγόνο ήταν ένα «απόβλητο» (παραπροϊόν) της φωτοσύνθεσης.

# «Παρενέργειες» της συσσώρευσης οξυγόνου στην ατμόσφαιρα

1. **Σχηματισμός στρώματος του Όζοντος** που απορροφά την βλαβερή υπεριώδη ακτινοβολία, και προστάτευσε τις πρωτόγονες και ευπαθείς μορφές ζωής.
2. **Τέλος στον σχηματισμό στρωμάτων σιδήρου**
3. **Οξειδωση του σιδήρου** και σχηματισμός των πρώτων κόκκινων στρωμάτων.
4. **Ανάπτυξη αερόβιου μεταβολισμού.**  
Χρησιμοποιεί το οξυγόνο για να μετατρέψει την τροφή σε ενέργεια.
5. **Ανάπτυξη των ευκαρυωτικών κυττάρων** , που μπορούσαν να αντέξουν το οξυγόνο στην ατμόσφαιρα.

# Οι παλαιότερες ενδείξεις ζωής

Εμφανίζονται σε ιζηματογενή πετρώματα του Αρχαϊκού αιώνα.

- Μικροσκοπικά κύτταρα μικροσκοπικών προκαρυωτικών οργανισμών.
- Χημικά απολιθώματα
- Στρωματόλιθοι
- Στρωματίδια με φύκη
- Μοριακά απολιθώματα

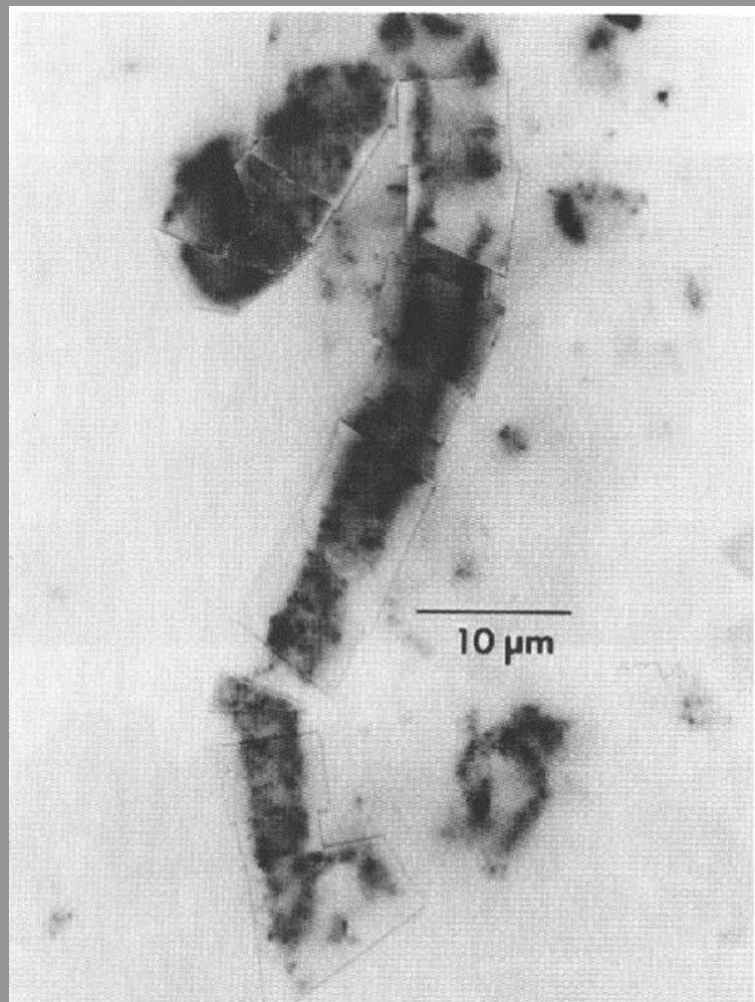
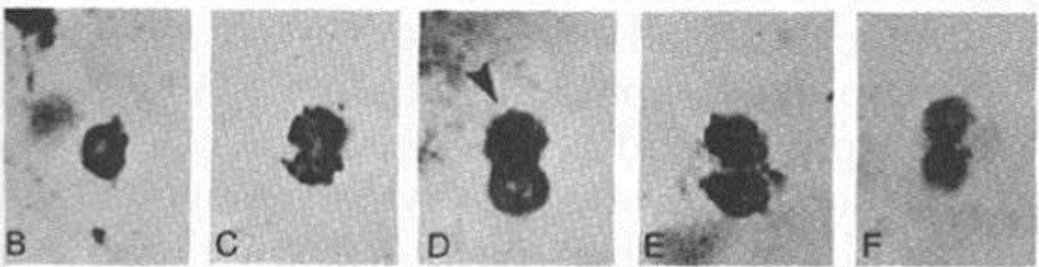
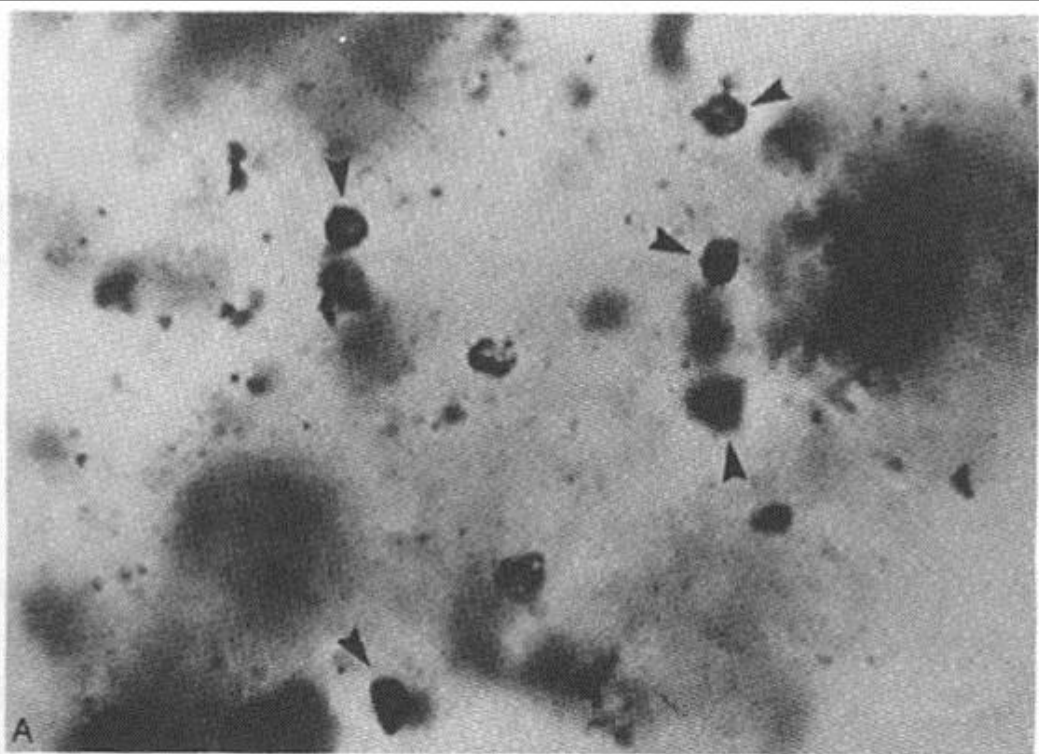


# Τα παλαιότερα μικροαπολιθώματα

- 3.460-3.465 my
- Warrawoona Group, Pilbara Supergroup Δ. Αυστραλία
- Μικροσκοπικά προκαρυωτικά κύτταρα εκπληκτικά προηγμένα.
- Παρόμοια με τα κυανοβακτήρια που ζουν σήμερα, και παράγουν Οξυγόνο.
- Σε στρώμα πυριτόλιθου
- Άρα αν έχουμε κυανοβακτήρια



Η φωτοσύνθεση είχε κιόλας αρχίσει



# Οι παλαιότερες ενδείξεις ισοτόπων

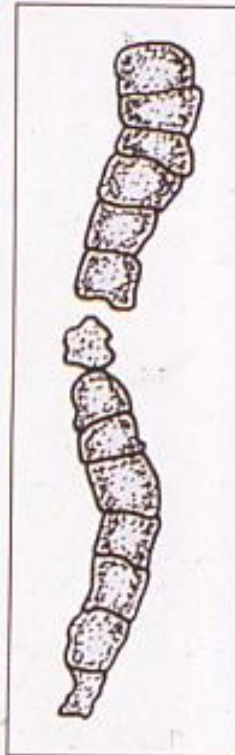
- 3860 εκ. έτη
- Γροιλανδία
- Δύο ισότοπα του άνθρακα  $^{12}\text{C}$  και  $^{13}\text{C}$
- $^{12}\text{C}$  σχετικά πιο πλούσιος από  $^{13}\text{C}$  στα πετρώματα αυτά
- Αυτός ο εμπλουτισμός παρατηρείται κατά την διάρκεια της φωτοσύνθεσης
- Άρα, όχι μόνο ζωή αλλά και φωτοσύνθεση



# Στρωματόλιθοι

- Μία οργανο-ιζηματογενής «κατασκευή» φτιαγμένη από φωτοσυνθετικά κυανοβακτήρια ή κυανο-πρασινο-φύκη
- Οι στρωματόλιθοι σχηματίζονται λόγω της δραστηριότητας κυανανοβακτηριδίων στην παλιρροιακή ζώνη. Τα κολλώδη ελάσματα φυκών των κυανοβακτηριδίων παγιδεύουν ασβεστίτικα ιζήματα κατά την διάρκεια της υψηλής παλίρροιας.

# Στρωματόλιθοι



**Shark Bay, Australia.**

# Στρωματολίθοι

- Πιο πολλοί σε Προτεροζωικά από ότι σε Αρχαϊκά πετρώματα.
  - Τα παλαιότερα είναι 3.5 b.y. old, Warrawoona Group, Αυστραλία
  - 3 b.y. Pongola Group Νότια Αφρική
  - 2.8 b.y. Bulawayan Group Αυστραλία





Προκάμβριοι απολιθωμένοι στρωματολίθοι από την Ν. Αφρική

# Στρωματόλιθοι

- Οι στρωματόλιθοι είναι σπάνιοι σήμερα γιατί οι οργανισμοί που τους φτιάχνουν τρώγονται από γαστερόποδα ή άλλα ασπόνδυλα.
- Επιβιώνουν μόνο σε περιβάλλοντα με μεγάλη αλατότητα τα οποία είναι ακατάλληλα για τα περισσότερα φυτοφάγα ασπόνδυλα.
- Η μείωση των στρωματόλιθων σχετίζεται με την σταδιακή εμφάνιση νέων ομάδων ασπόνδυλων στον Ανώτερο Προτεροζωικό και τον Κατώτερο Παλαιοζωικό.

# Άλλες ενδείξεις

- **Ελασματοειδή φύκη**  
Προκαρυωτικοί οργανισμοί διατηρημένοι σε στρωματολίθους.  
Στο North Pole, Δυτική Αυστραλία.  
3.4-3.5 δις έτη.
- **Σφαιροειδής βακτηριακές δομές**  
Σε πετρώματα της Νοτίου Αφρικής (πυριτόλιθοι, σχιστόλιθοι, σιδηρολιθοι, ψαμμίτες).  
Προκαρυωτικά κύτταρα με πιθανή διαίρεση κυττάρων.  
3.0 - 3.1 δις έτη.

# Άλλες ενδείξεις

- **Μοριακά απολιθώματα**  
Διατηρημένα οργανικά μόρια που μόνο τα ευκαρυωτικά κύτταρα τα παράγουν.  
Έμμεσες ενδείξεις ευκαρυωτικών οργανισμών.