

Αστροβιολογία

Προέλευση και εξέλιξη της ζωής

Vassilissa Vinogradoff, Beatriz García, Rosa M. Ros

*Διεθνής Αστρονομική Ένωση
CNRS, Aix-Marseille Université, εργαστήριο PIIM, Μασσαλία,
Γαλλία.*

*CONICET/Universidad Tecnológica Nacional, Mendoza, Αργεντινή
Universidad Politécnica de Cataluña, Ισπανία*



Ορισμός της Αστροβιολογίας

Η αστροβιολογία δεν είναι ένας κλάδος αλλά μια διεπιστημονική δραστηριότητα γύρω από το ζήτημα της προέλευσης και της εξέλιξης της ζωής στη Γη και την πιθανή παρουσία της σε άλλα μέρη του Σύμπαντος. Καλύπτει όλους τους τομείς που ενδιαφέρονται για αυτό το θέμα, από την αστρονομία στη βιολογία, συμπεριλαμβανομένης της γεωλογίας και της χημείας, αλλά και την ιστορία και τη φιλοσοφία της επιστήμης.



Αιτιολογία: Εξωβιολογία και Αστροβιολογία

Με τον διαστημικό αγώνα και τις πρώτες αποστολές σεληνιακής και αρειανής εξερεύνησης, εμφανίζεται ο κίνδυνος της βιολογικής μόλυνσης.

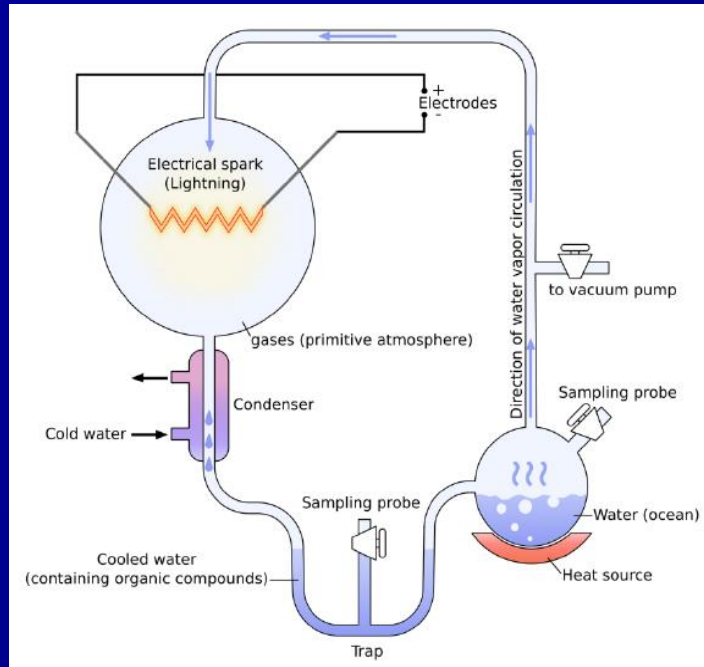
Πρώτον, οι επιστήμονες υπέθεσαν ότι τα μικρόβια ήταν απίθανο να αντέξουν τις συνθήκες του διαστήματος.

Σήμερα γνωρίζουμε ότι αυτό δεν συμβαίνει και, για παράδειγμα, οι βραδύποροι είναι ικανοί να αντιστέκονται σε ακραίες συνθήκες, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που υπάρχουν στο διάστημα, και αυτό δεν αποτελεί μεμονωμένη περίπτωση.



Αρκιούδα νερού (βραδύπορο),
Υψίβιος ο υποδειγματικός
(Πίστωση: B. Goldstein & V. Madden)

Αιτιολογία: Εξωβιολογία και Αστροβιολογία



Σχήμα του πειράματος Miller-Urey. (Πίστωση: S. La Barre)

Με το πρωτοποριακό πείραμα των Miller-Urey ξεκίνησαν οι χημικές μελέτες για τη **σύνθεση των πρώτων προβιοτικών μορίων στο εργαστήριο**

Ένα νέο βασικό πεδίο για την αναζήτηση της προέλευσης της ζωής μέσω της εξερεύνησης του διαστήματος εμφανίζεται: Exobiology, όρος που εισήχθη από τον Joshua Lederberg το 1960.

Ο όρος «Αστροβιολογία» υιοθετήθηκε το 2015 από τη ΔΕΑ.

Στόχοι Της Αστροβιολογίας

- Ορίστε τι είναι η Ζωή.
- Προσδιορίστε την προέλευση της ζωής.
- Ψάξε για τις παλιότερες πατημασιές του.
- Κατανόηση των μηχανισμών εξέλιξής του στη Γη.
- Ψάξε για τη ζωή στο σύμπαν.



Ορισμός ζωής



Το ερώτημα αυτό απαιτεί
επιστημονικά
επιχειρήματα.
αλλά είναι επίσης ένα
φιλοσοφικό ερώτημα.

Η ζωή είναι ένα χαρακτηριστικό
ενός ζωντανού οργανισμού που
διακρίνει τον τελευταίο από ένα
νεκρό οργανισμό ή ένα μη
ζωντανό πράγμα, όπως
διακρίνεται συγκεκριμένα από
την ικανότητα

- Αναπτυχθείτε.
- Μεταβολισμός.
- Απαντήστε σε ερεθίσματα.
- Προσαρμογή.
- Αναπαραγωγή.

Ποικιλομορφία των έμβιων όντων στη Γη

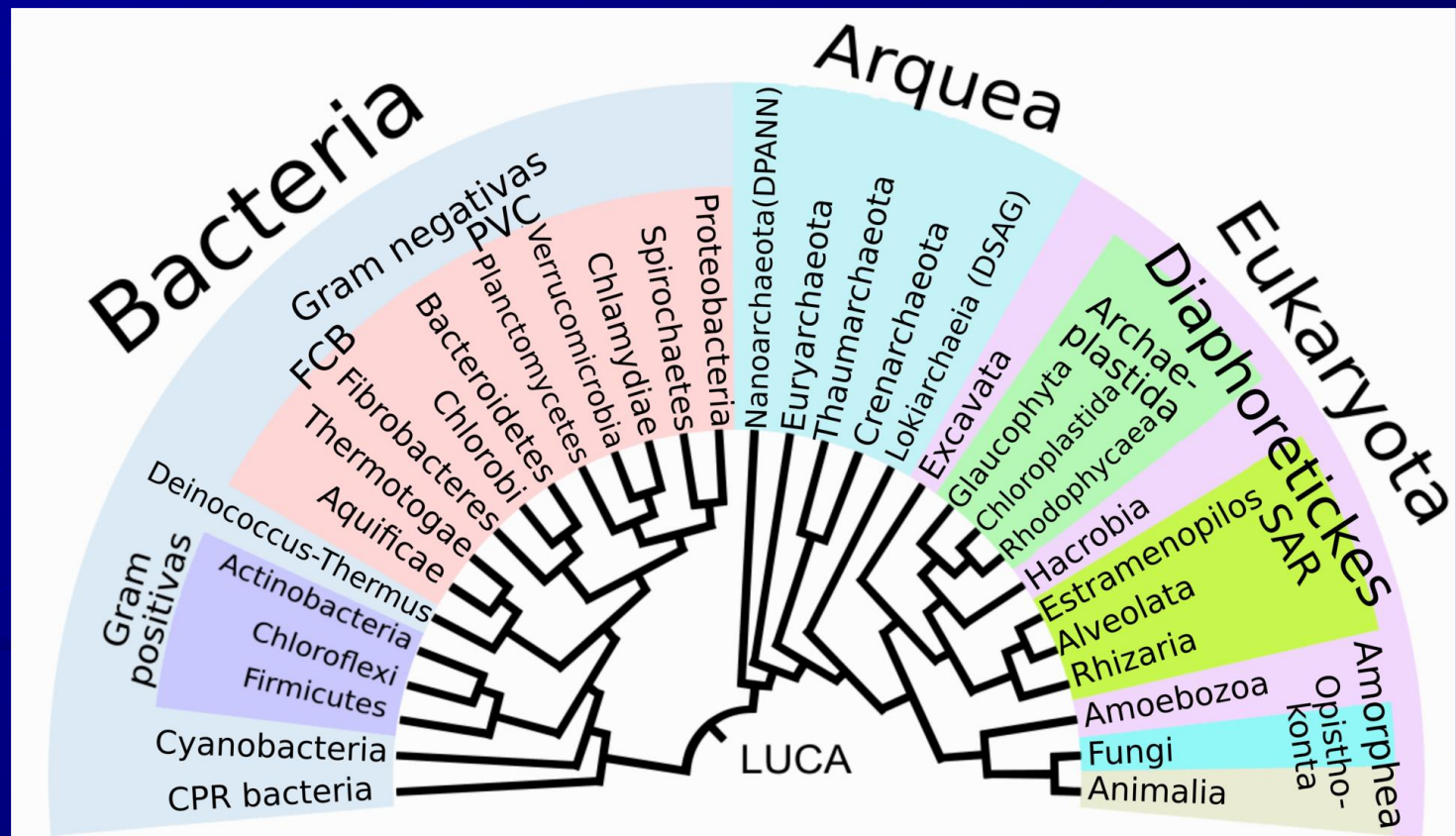
Το μόνο γνωστό παράδειγμα ζωής είναι η γήινη ζωή.

Η αστροβιολογία επικεντρώνεται στις προσπάθειες της στη μελέτη της γήινης ζωής σε όλα τα περιβάλλοντα, ειδικά στα πιο ακραία, όπως οι υποβρύχιες υδροθερμικές πηγές, οι λίμνες άλμης ή οι παγωμένες περιοχές.

Αυτό το είδος του περιβάλλοντος μπορεί να είναι ένα καλό ανάλογο για εξωγήινες τοποθεσίες.

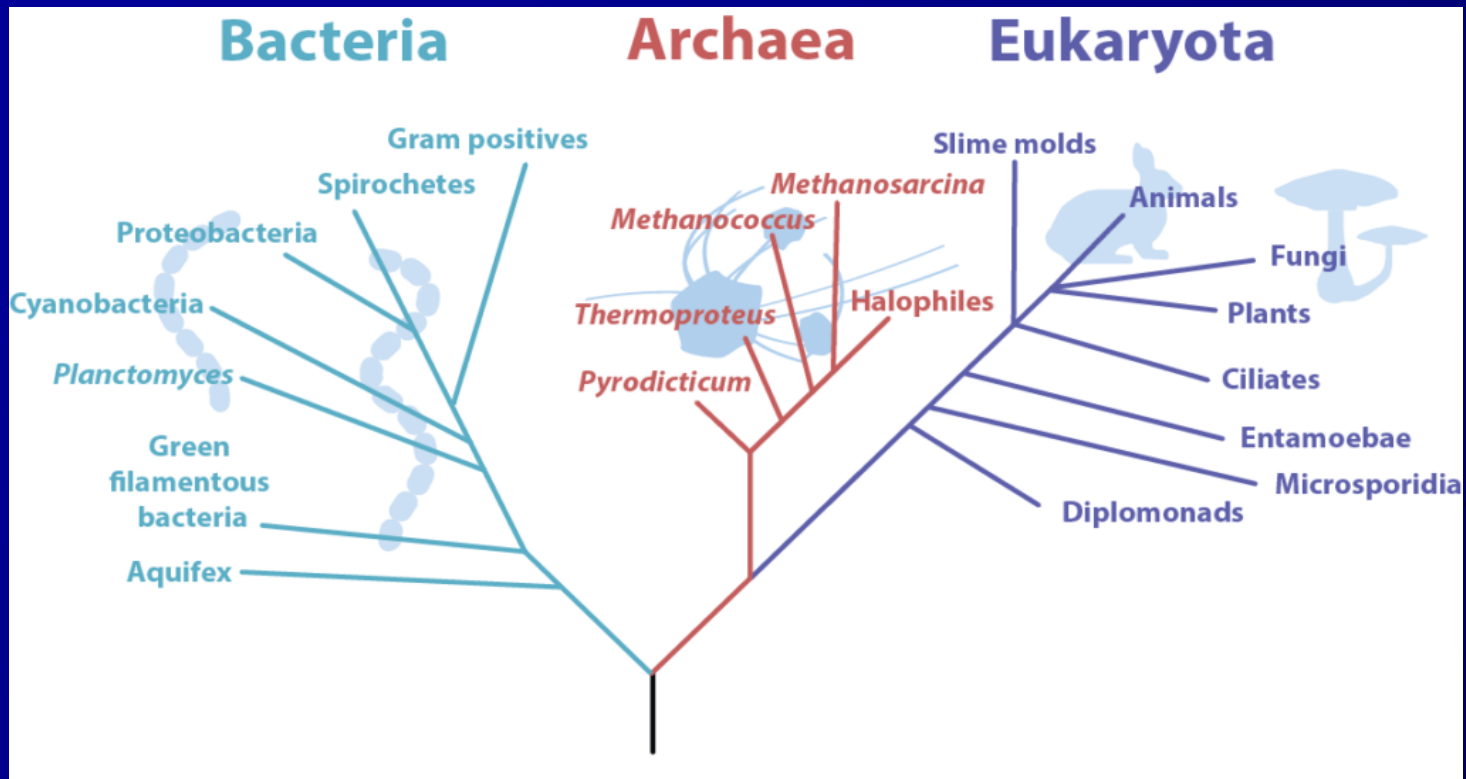


Για την καλύτερη κατανόηση των ορίων των ζωντανών οργανισμών και των μηχανισμών που λειτουργούν σε ακραία περιβάλλοντα, οι επιστήμονες επιδιώκουν να προσδιορίσουν τη φυλογενετική και μεταβολική ποικιλία των ζωντανών οργανισμών.



(Πίστωση: Βικιπαίδεια)





(Πίστωση:
open.oregonstate.education)

Ένα από τα κλαδιά του δέντρου της ζωής που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι τα αρχαιοβακτήρια (ή αρχαιοβακτήρια), διαφορετικά από τα προκαρυωτικά βακτήρια λόγω της ριβοσωμικής αλληλουχίας του RNA και ιδιαίτερα προσαρμοσμένα σε ακραία περιβάλλοντα (από άποψη πίεσης, θερμοκρασίας, αλατότητας, θρεπτικών ουσιών κ.λπ).



Αναζήτηση για τα παλαιότερα ίχνη ζωής στη Γη: Δυσκολίες

- 1) Η Γη είναι ένας "ζωντανός" πλανήτης (τεκτονική, διάβρωση) και ως εκ τούτου έχει εξελιχθεί σε μεγάλο βαθμό από τον σχηματισμό του πριν από 4,5 δισεκατομμύρια χρόνια. Με βάση τη γενεαλογία των ειδών, οι πρώτοι ζωντανοί οργανισμοί πρέπει να ήταν μονοκύτταροι οργανισμοί, παρόμοιοι με βακτήρια.
- 2) Οι πρωτόγονοι οργανισμοί έπρεπε να είναι μικροσκοπικοί. Τα παλαιότερα αποδεδειγμένα ίχνη ζωής στη Γη χρονολογούνται πριν από 3,48 δισεκατομμύρια χρόνια και ανακαλύφθηκαν στην Αυστραλία.
- 3) Δυσκολία στην ερμηνεία και τη σύγκριση με αβιοτικά συστήματα, τα οποία θα μπορούσαν να έχουν σχηματίσει δακτυλικά αποτυπώματα παρόμοια με βιολογικές υπογραφές ή μορφολογίες.



Προβιοτική χημεία και η μετάβαση από μη έμβια σε έμβια

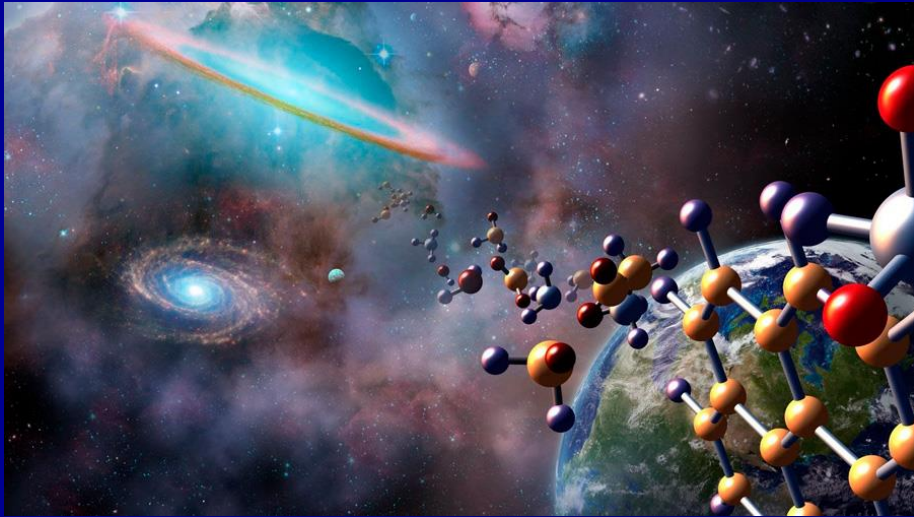
Σήμερα, σε όλα τα ζωντανά είδη στη Γη, μεταξύ όλων των υπαρχόντων ειδών, υπάρχουν στοιχειώδη μπλοκ από C, H, N και O

Αυτοί οι όγκοι είναι πρωτεΐνες, η βάση της αναδίπλωσης, το DNA (δεοξυριβονουκλεϊκό οξύ), που μεταφέρει γενετικές πληροφορίες, και τα αμφίφιλα, που αποτελούν κυτταρικά τοιχώματα για τη στεγανοποίηση.

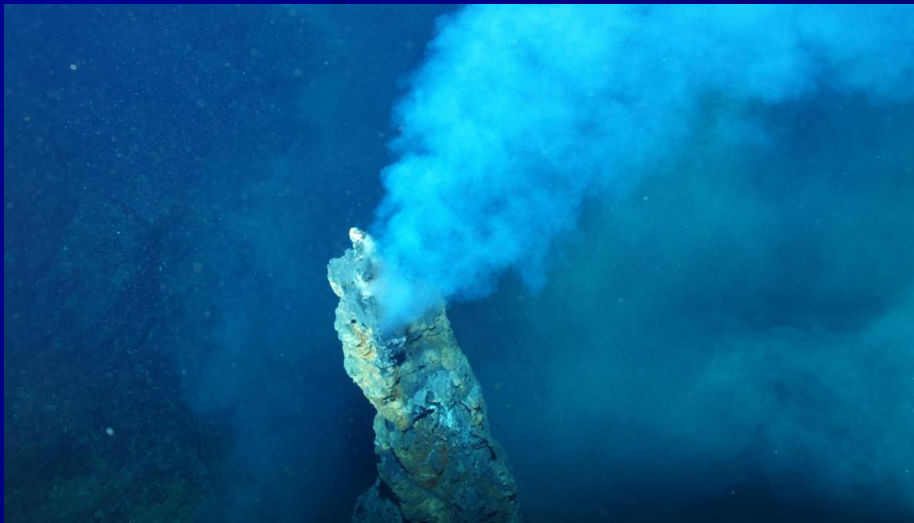
Τα στοιχειώδη τούβλα που έχει κάθε ζωντανό είδος στη Γη είναι, επομένως, πέντε τύποι μορίων (που μερικές φορές ονομάζονται τα τούβλα της ζωής), αμινοξέα, αζωτούχες βάσεις, σάκχαρα, φώσφορος, λιπίδια (ή λιπαρά οξέα).



Προβιοτική χημεία και η μετάβαση από μη έμβια σε έμβια



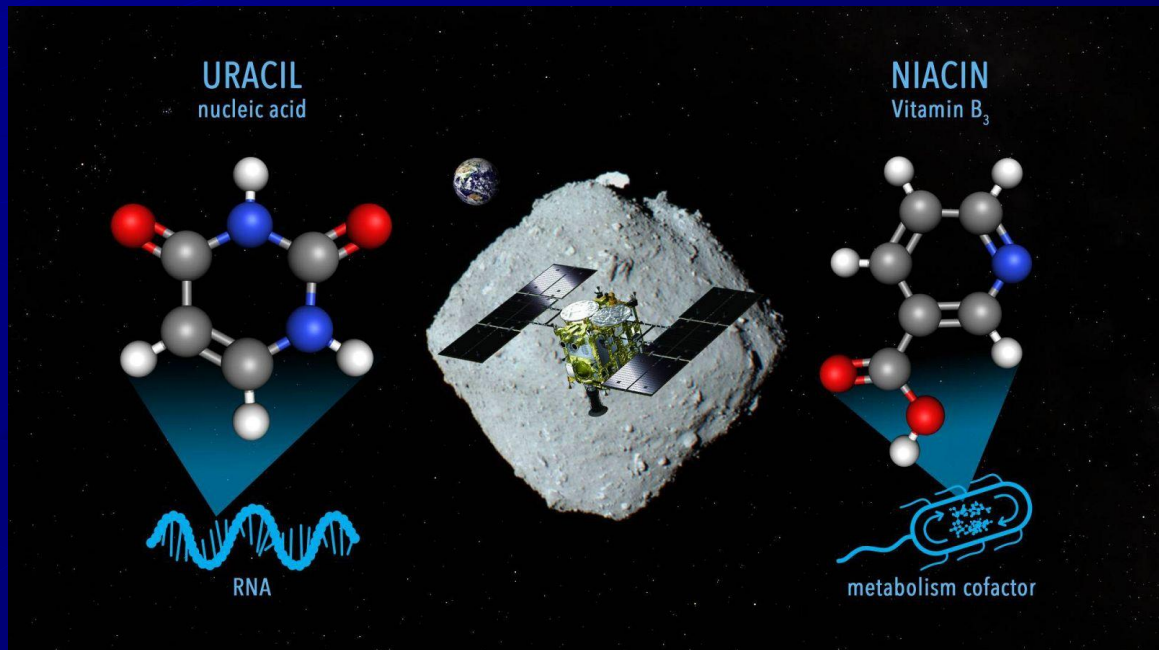
Αυτά τα στοιχεία είναι απαραίτητα για την επίγεια ζωή και η μελέτη της προέλευσής τους μας επιτρέπει να δώσουμε περισσότερους περιορισμούς στην προέλευση της ίδιας της ζωής.



Αβιοτικά, αυτά τα μόρια θα μπορούσαν να έχουν σχηματιστεί στην ατμόσφαιρα της Γης, αλλά και σε υδροθερμικές πηγές.

Προβιοτική χημεία και η μετάβαση από μη έμβια σε έμβια

Μια άλλη υπόθεση προτείνει ότι αυτά τα μόρια θα μπορούσαν να έχουν μεταφερθεί από ουράνια αντικείμενα (μετεωρίτες), που προέρχονται από αστεροειδείς και κομήτες: οι μετεωρίτες έχουν αποδειχθεί ότι έχουν μεγάλο οργανικό πλούτο.



Αναπαράσταση του αστεροειδή Ριούγκου της Αιγύπτου
(Πίστωση: NASA Goddard/JAXA/Dan Gallagher)

Προβιοτική χημεία και η μετάβαση από μη έμβια σε έμβια

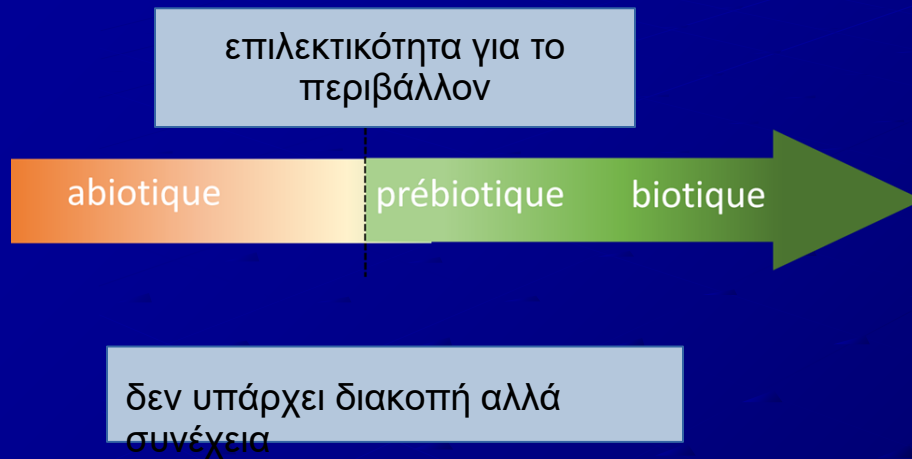


Όταν έπεφταν στη Γη, οι μετεωρίτες θα μπορούσαν να έχουν μεταφέρει μέρος του νερού και τα αστεροειδή στοιχεία που βρέθηκαν στην επιφάνειά τους μετά τη διαφοροποίηση πριν από 4,5 δισεκατομμύρια χρόνια.



Δεν έχει βρεθεί ακόμα καμία μορφή ζωής σε αυτά τα αντικείμενα, αλλά περιέχουν χιλιάδες μόρια τόσο διαφορετικά και ποικίλα όσο αυτά που είναι απαραίτητα στην αβιοτική σύνθεση.

Προβιοτική χημεία και η μετάβαση από μη έμβια σε έμβια



Δεν θα υπήρχε αυστηρός διαχωρισμός μεταξύ ενός αβιοτικού και ενός βιοτικού συστήματος, αλλά μάλλον μια συνέχεια, που θα περνούσε από την προβιοτική χημεία.

Το πώς και πού προέκυψε η ζωή στη Γη παραμένει το πιο πολύπλοκο εξωβιολογικό ερώτημα και οι πιθανές χημικές οδοί είναι τόσο πολλές που δεν είναι προφανές ότι η απάντηση θα βρεθεί κάποια μέρα.

Αναζήτηση ζωής παντού

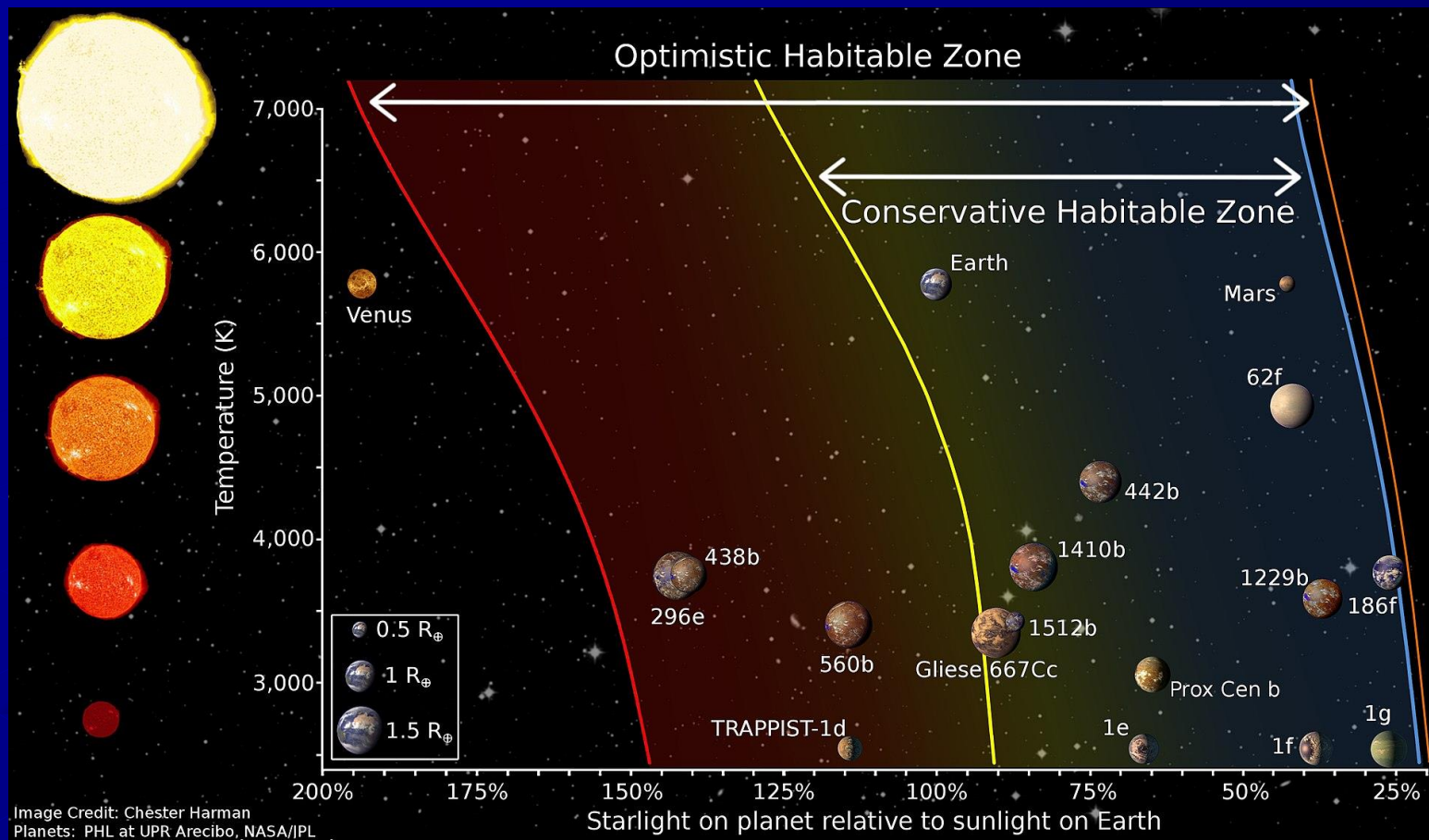
Η χημική διάταξη των ατόμων στο Σύμπαν έχει κατευθύνει τη χρήση άνθρακα, αζώτου και οξυγόνου για τη ζωή στη Γη. Θα ήταν λογικό αυτά τα άτομα να είναι τα ίδια για άλλες μορφές ζωής στο σύμπαν, αλλά με μια πιθανώς διαφορετική δομή οργανικών μορίων από τη ζωή στη Γη.



Για να ψάξετε για ζωή σε άλλα μέρη πρέπει να ξέρετε τι πρέπει να ψάξετε και μία από τις βάσεις της Αστροβιολογίας, αλλά και την αδυναμία της, είναι η αναζήτηση για ζωή βιολογικά παρόμοια με τη δική μας.



Αναζήτηση ζωής παντού

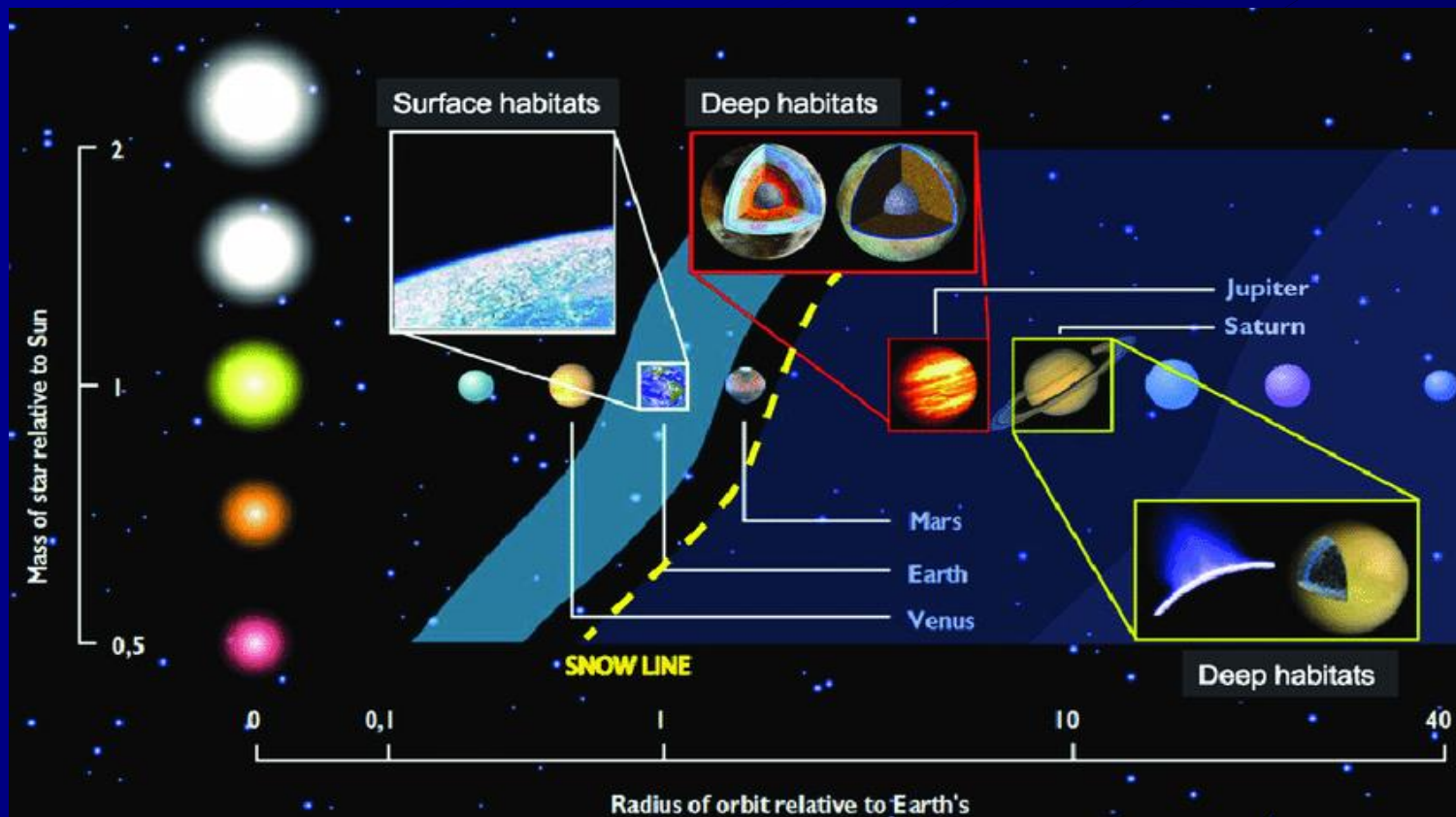


Η έννοια της κατοικησιμότητας είναι ένα αμφιλεγόμενο θέμα, ο ορισμός της συνδέεται με τις συνθήκες που επέτρεψαν την εμφάνιση και την εξέλιξη της μοναδικής (γήινης) ζωής που γνωρίζουμε.



Αναζήτηση ζωής παντού

Η επέκταση της κατοικήσιμης ζώνης σε υπόγεια περιβάλλοντα είναι ένα παράδειγμα έρευνας για την πιθανότητα ζωής σε αυτά τα περιβάλλοντα του ηλιακού συστήματος.

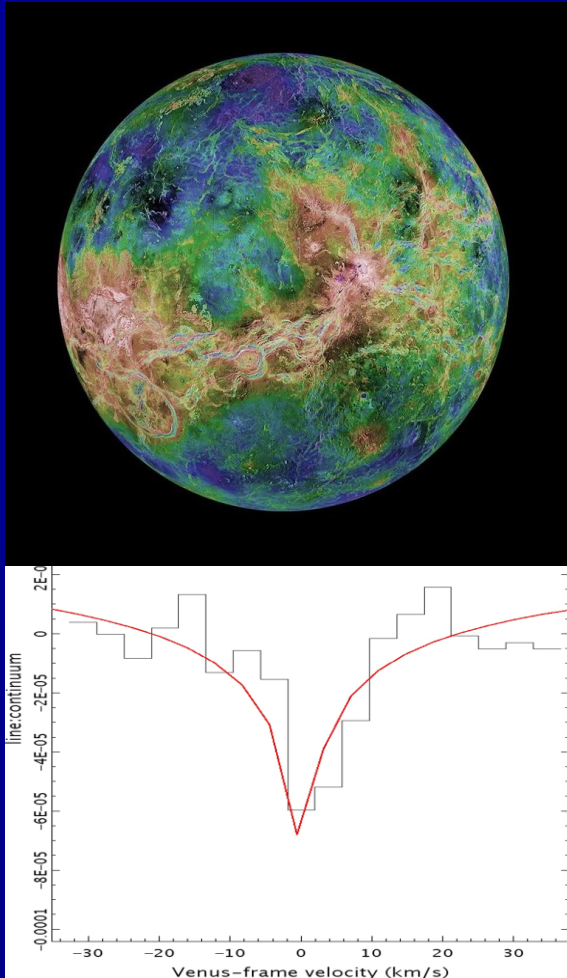


Σώματα στο Ηλιακό Σύστημα και τα αστροβιολογικά ενδιαφέροντά τους

Οι μελέτες αστροβιολογίας στη συνέχεια
ενδιαφέρονται για την πιθανή εμφάνιση της
ζωής σε αυτά τα περιβάλλοντα, πέρα από τη
Γη, που έχουν οριστεί ως κατοικήσιμα



Πλανήτες στο Ηλιακό Σύστημα και τα αστροβιολογικά ενδιαφέροντά τους: ΑΦΡΟΔΙΤΗ



Ο "αδελφή πλανήτης" μας έχει σχετικά σύνθετη οργανική χημεία, με μόρια θείου και φωσφόρου σε μια εξαιρετικά πυκνή ατμόσφαιρα που αποτελείται από περισσότερο από 96% CO_2 .

Δεν βρίσκεται στην κατοικήσιμη ζώνη του ηλιακού συστήματος και στερείται ενός βασικού συστατικού:

Απεβίωσε ύδωρ (H_2O) (Πηγή: Greaves, J. D., Richards, T. M., Bains, B. K. et al., 2010).



Πλανήτες στο Ηλιακό Σύστημα και τα αστροβιολογικά ενδιαφέροντά τους: ΑΦΡΟΔΙΤΗ

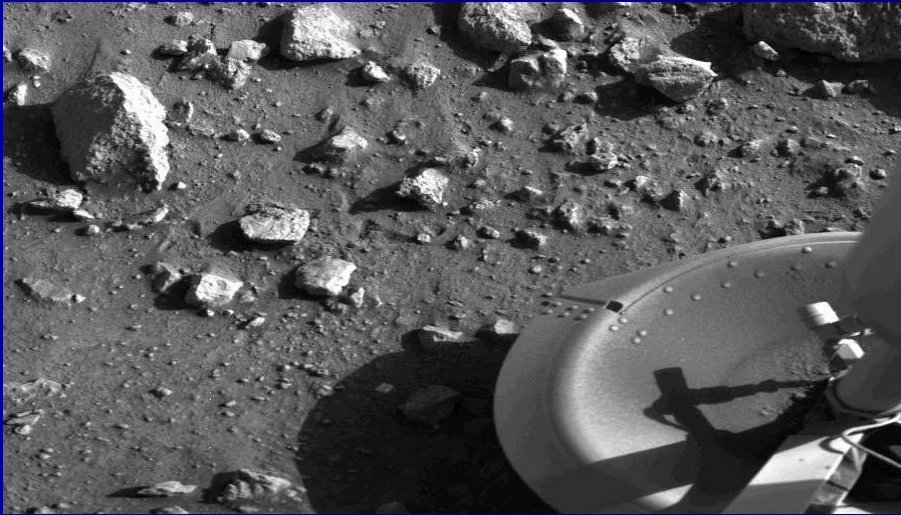
Η Αφροδίτη επωφελήθηκε από εξωγενείς εισροές όπως η Γη μετά τον σχηματισμό της, μπορεί να είχε υγρό νερό στην επιφάνειά της και πλούσια σε νερό ατμόσφαιρα 4,5 δισεκατομμύρια χρόνια πριν και για κάποιο χρονικό διάστημα.

Επί του παρόντος, η επιφάνειά του είναι μόνο ενεργή ηφαιστειακή δραστηριότητα με θερμοκρασίες περίπου 460°C.

Αν η ζωή αναπτύχθηκε στην πιο ευνοϊκή χρονική στιγμή, προτείνεται ότι επέζησε με τη μορφή μικροοργανισμών στα σύννεφα της ατμόσφαιρας του, με θερμοκρασία ~75°C



Πλανήτες στο Ηλιακό Σύστημα και τα αστροβιολογικά ενδιαφέροντά τους: ΑΡΗΣ

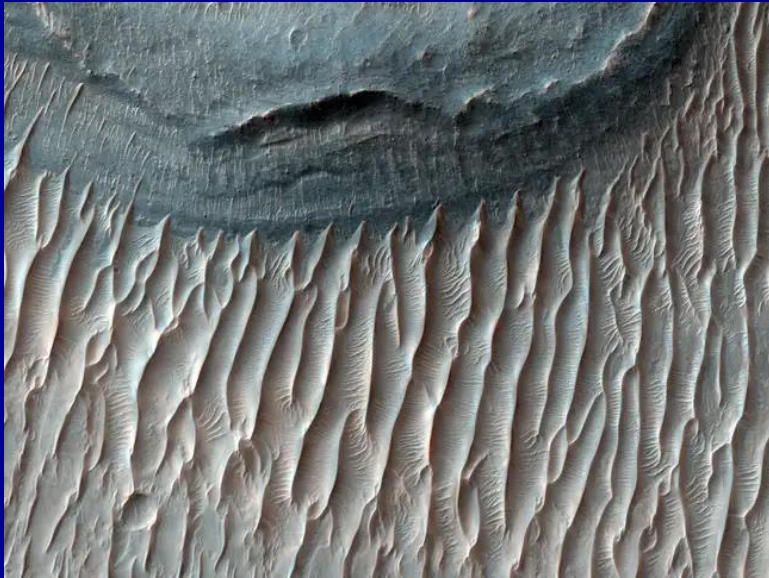


Αυτός ο πλανήτης έχει συχνά προταθεί ως το καλύτερο μέρος στο ηλιακό σύστημα που είχε, ή εξακολουθεί να έχει, συνθήκες ζωής.

Η ύπαρξη μικροβιακής ζωής είχε ήδη εξεταστεί στη δεκαετία του '70 κατά την προετοιμασία της αποστολής των Βίκινγκ: Οι γαιοκτήμονες ήταν εξοπλισμένοι με όργανα ικανά να διεξάγουν πειράματα με στόχο την ανάδειξη της αρειανής ζωής, την ανίχνευση φωτοσυνθετικής βιολογικής δραστηριότητας ή την παροχή θρεπτικών συστατικών στα αρειανά βακτήρια, με αρνητικές αποκρίσεις.



Πλανήτες στο Ηλιακό Σύστημα και τα αστροβιολογικά ενδιαφέροντά τους: ΑΡΗΣ



Αναγνώριση: Περιέργεια, NASA/JPL)

Οι Βίκινγκς επιβεβαίωσαν την παρουσία υγρού νερού στο παρελθόν του Άρη, παρατηρώντας κανάλια, ξηρούς ποταμούς και δενδριτινές κοιλάδες.

Το νερό θα μπορούσε να έχει παραμείνει στην επιφάνειά του για τουλάχιστον ένα δισεκατομμύριο χρόνια και εξακολουθεί να υπάρχει στα ορυκτά που σήμερα καλύπτουν την επιφάνεια.

Στους πόλους υπάρχει πάγος νερού στα πολικά καλύμματα και υπάρχει η υποψία ότι υπάρχει νερό σε μεγαλύτερες ποσότητες στον Αρειανό φλοιό



Πλανήτες στο Ηλιακό Σύστημα και τα αστροβιολογικά ενδιαφέροντά τους: ΑΡΗΣ

Η ζωή θα μπορούσε να είχε αναπτυχθεί στον Άρη την ίδια στιγμή με τη Γη και ίσως παρέμεινε υπόγεια.

Η εύρεση ζωής στον Άρη θα παρείχε πολλές απαντήσεις για την εμφάνιση της ζωής στον πλανήτη μας.

Αν υπήρχε ζωή στον Άρη, ακόμα και με τη μορφή μικροοργανισμών, και εφόσον ο πλανήτης δεν είναι πλέον γεωλογικά ενεργός, θα ήταν δυνατό να την ανακαλύψουμε με τη μορφή απολιθωμάτων στην επιφάνεια ή ακόμα και με την ελπίδα ότι υπάρχει και έχει επιβιώσει από το υπέδαφος.



Σώματα στο Ηλιακό Σύστημα και τα αστροβιολογικά ενδιαφέροντά τους: **ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ**

Τις τελευταίες δεκαετίες, άλλα κατοικήσιμα σώματα αστροβιολογικού ενδιαφέροντος έχουν ανακαλυφθεί πέρα από το φράγμα των αστεροειδών: οι δορυφόροι των γιγάντιων αέριων πλανητών.

Οι γιγάντιοι πλανήτες έχουν περιορισμένο ενδιαφέρον για την αστροβιολογία επειδή δεν έχουν επιφάνειες και επομένως δεν έχουν πετρώματα.

Οι δορυφόροι τους είναι επίσης σημαντικοί για την κατανόηση της προέλευσης και της εξέλιξης του Ηλιακού Συστήματος.



Δορυφόροι στο Ηλιακό Σύστημα και τα αστροβιολογικά ενδιαφέροντά τους

Γύρω από το Δία: Ganymede, Callisto και Europa.

Γύρω από τον Κρόνο: Εγγέλαδος και Τιτάνας.

Αποκαλύπτεται χάρη στην συσκευή Cassini-Huygens (1997-2017), που επισκέφθηκε αυτούς τους κόσμους για 15 χρόνια, οι παγωμένοι δορυφόροι του Κρόνου εκπλήσσουν με την ποικιλομορφία τους και την αφθονία του υγρού νερού που περιέχουν.



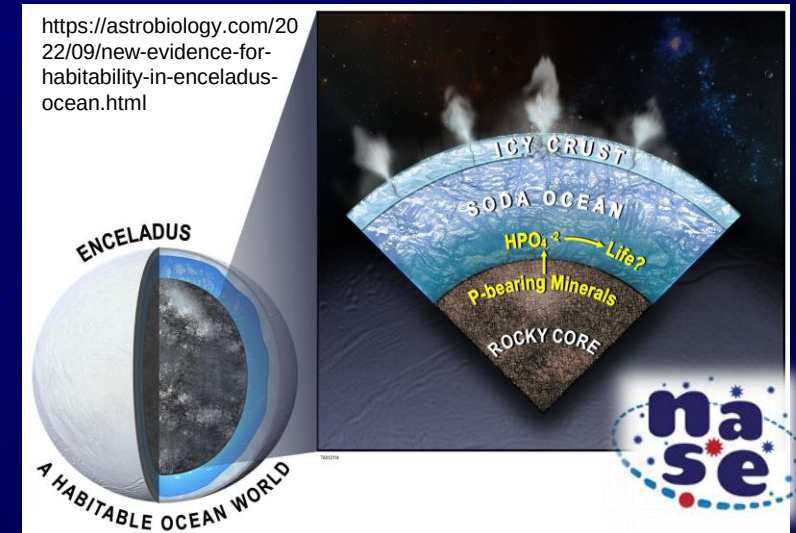
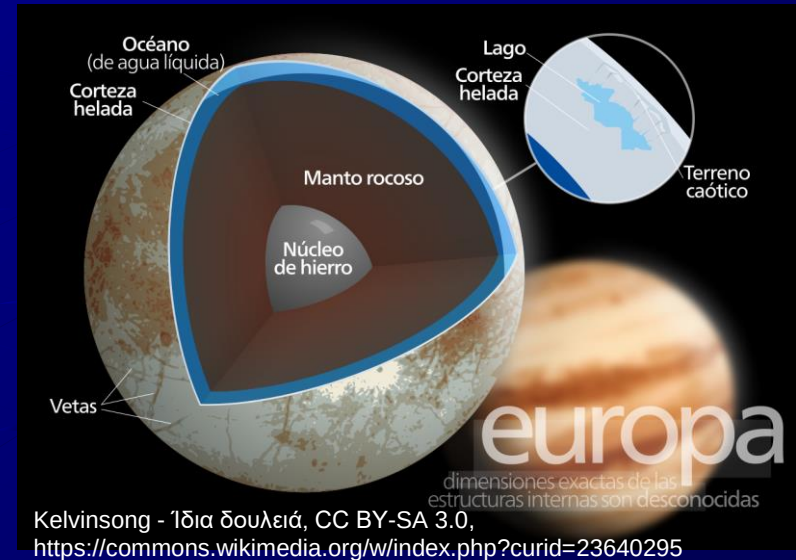
Δορυφόροι στο Ηλιακό Σύστημα και τα αστροβιολογικά ενδιαφέροντά τους

Η Ευρώπη θα περιέχει έναν ωκεανό δέκα φορές μεγαλύτερο από τη Γη, ενώ θα είναι τρεις φορές μικρότερος από τον πλανήτη μας.

Εγκέλαδος Το 2014

ανακαλύφθηκαν στην επιφάνειά του θερμοπίδακες που εκτείνονται έως και 100 χιλιόμετρα πάνω από την επιφάνειά του.

Αυτή η παρατήρηση αποκάλυψε



Δορυφόροι στο Ηλιακό Σύστημα και τα αστροβιολογικά ενδιαφέροντά τους: ΤΙΤΑΝΑ

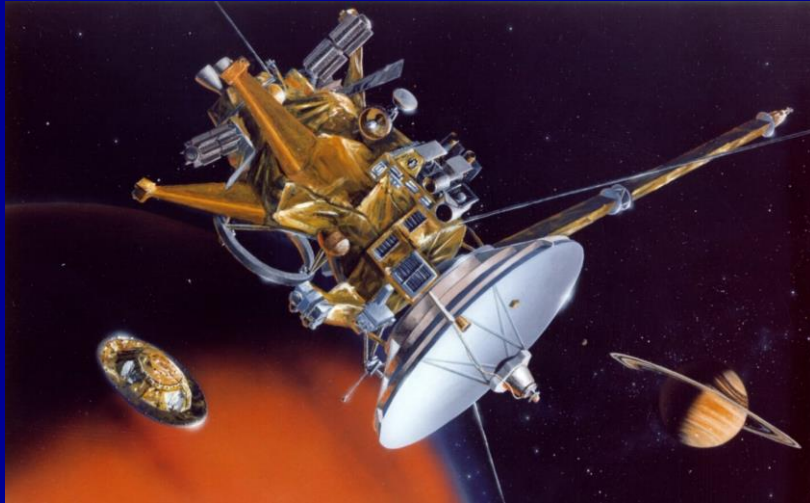
Ο μεγαλύτερος δορυφόρος του Κρόνου, ο Τιτάνας, παρουσιάζει μεγάλη ποσότητα οργανικής ύλης που σχηματίζεται στην ατμόσφαιρά του.

Το 1980 και το 1981, οι ανιχνευτές Βόγιατζερ 1 και 2 αποιόλυψαν μια εξαιρετικά πυκνή ατμόσφαιρα που αποτελείται κυρίως από άζωτο και μεθάνιο.

Η χημεία στην ατμόσφαιρα του Τιτάνα έχει αποδειχθεί εξαιρετικά πολύπλοκη, με αποτέλεσμα τον σχηματισμό οργανικών αερολυμάτων που εγγραφίστανται σ
επιφάνειά.

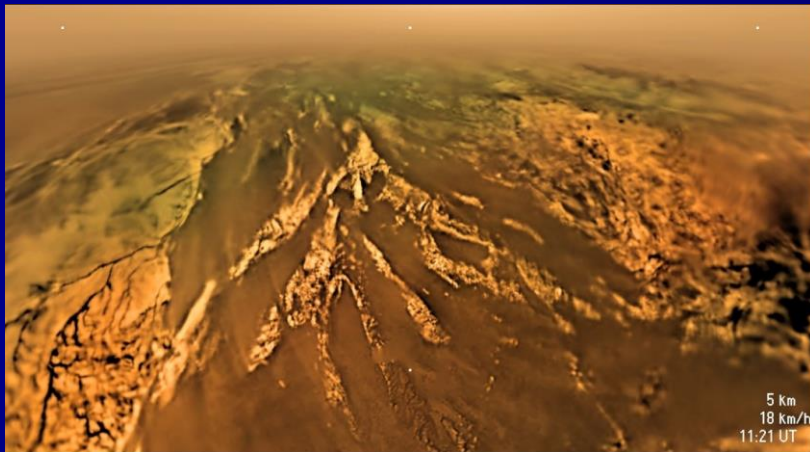


Η αποστολή Cassini-Huygens (1997-2017) επιβεβαίωσε πολύπλοκη οργανική χημεία στην ατμόσφαιρα του Τιτάνα.



Αποστολή Cassini/Huygens (Πίστωση: NASA)

Εντυπωσιακές εικόνες ελήφθησαν από την επιφάνεια που καλύπτεται με οργανικούς κόκκους, αμμόλοφους και λίμνες υδρογονανθράκων.



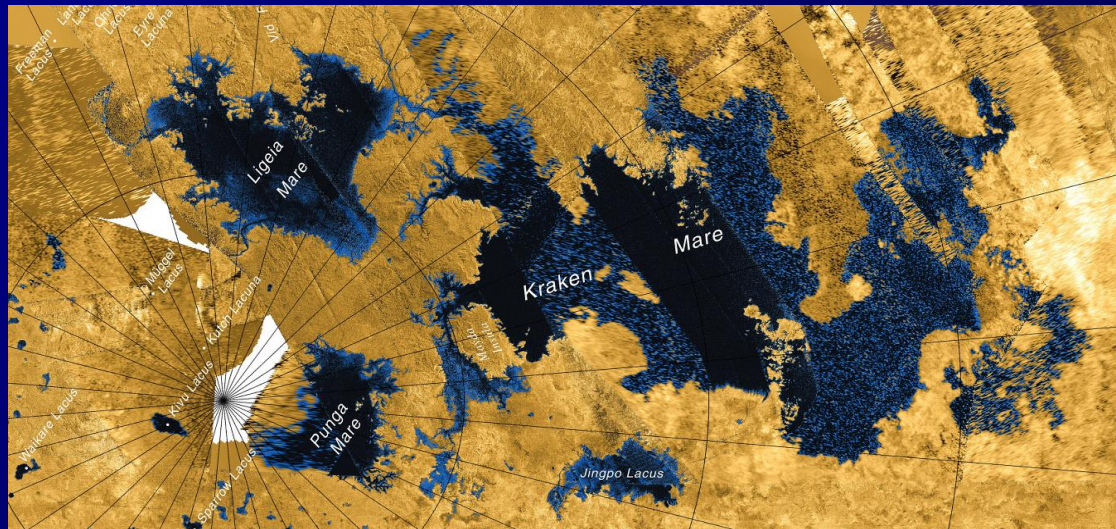
Τιτάνας (Εύσημα: Cassini/Huygens, NASA)

Αστροφυσικά μοντέλα έχουν προτείνει ότι ο Τιτάνας μπορεί να φιλοξενεί έναν ωκεανό υγρού νερού κάτω από την επιφάνειά του και παρουσιάζει όλα τα απαραίτητα συστατικά για τη εμφάνιση της πλούσιας



Τα εξελικτικά γεωχημικά μοντέλα υποδεικνύουν ότι από τα πρώτα εκατομμύρια χρόνια μετά το σχηματισμό του Τιτάνα, αυτός ο υπόγειος ωκεανός ήταν σε επαφή με την ατμόσφαιρα, στην οποία τα πρώτα πολύπλοκα μόρια θα είχαν παραχθεί.

Κατ' αναλογία με τη Γη, αναμένεται η παρουσία υδροθερμικών πηγών σε αυτόν τον Τιτάνα ωκεανό, που αποτελούν πηγή ενέργειας για οργανικά μόρια και ένα δυνητικό περιβάλλον για προβιοτικά συστήματα'.



Πέρα από το Ηλιακό Σύστημα

5500 εξωπλανήτες (μέχρι τώρα 2024) έχουν ανακαλυφθεί και επιβεβαιωθεί στον γαλαξία μας. Μας βοηθά να κατανοήσουμε το σχηματισμό του Ηλιακού μας Συστήματος και αυτό είναι πιθανώς μοναδικό.

Με την παρούσα κατάσταση της γνώσης και της προόδου στον τομέα της Αστροβιολογίας, είναι πολύ δύσκολο να υποθέσουμε ότι ένας κατοικημένος πλανήτης και η αποδεδειγμένη παρουσία ζωής στο γαλαξία μας ή πέρα από αυτόν.

Φαίνεται ότι υπάρχουν όλο και περισσότερες δυνατότητες για την ανάπτυξη της ζωής αλλά τι γίνεται με την



Συμπεράσματα

Η αστροβιολογία προσπαθεί να καθορίσει αν η ζωή θα μπορούσε να υπάρχει σε άλλα μέρη του σύμπαντος και, αν ναι, σε ποια μορφή, να προσπαθήσει να απαντήσει σε ένα υπαρκτικό ερώτημα: **είμαστε μόνοι στο σύμπαν;**

Για αρκετές δεκαετίες, η κατανόηση της εμφάνισης της ζωής στη Γη ήταν ζωτικής σημασίας για να προσδιοριστεί αν είναι σύμπτωση ή αναπαράγωγίμο φαινόμενο κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες και περιβάλλοντα.



Συμπεράσματα

Αυτή η κατανόηση είναι απαραίτητη για να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την πιθανότητα ζωής αλλού στο σύμπαν.

Παρά τις ενεργές προσπάθειες, δεν έχουν ακόμη εξαχθεί τέτοια συμπεράσματα.



Σας ευχαριστώ για
την προσοχή σας!

