



ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
ΝΕΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΠΛΑΝΗΤΑΡΙΟ

Η ψηφιακή παράσταση «Ζωή στο Σύμπαν» σας προσκαλεί σε μια συναρπαστική αναζήτηση της ζωής πέρα από την Γη. Ξεκινώντας από την προέλευση και την εξέλιξη της ζωής στον πλανήτη μας, η παράσταση εστιάζει στα ουράνια σώματα του Ηλιακού μας συστήματος που είναι πιθανότερο να φιλοξενούν μικροβιακές μορφές ζωής, καθώς και στις σημαντικότερες μεθόδους που χρησιμοποιούν οι αστρονόμοι για τον εντοπισμό και την μελέτη ενός εξωπλανήτη. Τι θα μπορούσε άραγε να κρύβεται ανάμεσα στα αναρίθμητα άστρα των δισεκατομμυρίων γαλαξιών του Σύμπαντος;

Οδηγός Παράστασης



ΑΛΕΞΗ Α. ΔΕΛΗΒΟΡΙΑ
Αστρονόμου Ευγενιδείου Πλανηταρίου



ΧΡΥΣΟΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ
ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

Οδηγός Παράστασης

6 2 4 Z 12,011	26 2 8 14 2 Ω 55,84	1 1 H 1,008			
	16 2 8 6 Σ 32,06	15 2 8 5 T 30,973	8 2 6 O 15,999		
16 2 8 6 Σ 32,06	12 2 8 2 Υ 24,305	20 2 8 8 2 M 40,78	11 2 8 1 Π 22,98	19 2 8 8 1 A 39,09	7 2 5 N 14,007

ΑΛΕΞΗ Α. ΔΕΛΗΒΟΡΙΑ
Αστρονόμου Ευγενιδείου Πλανηταρίου

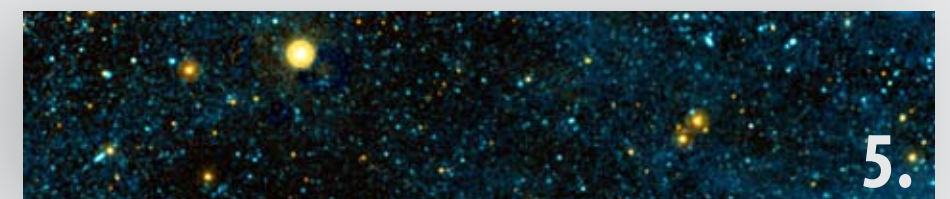
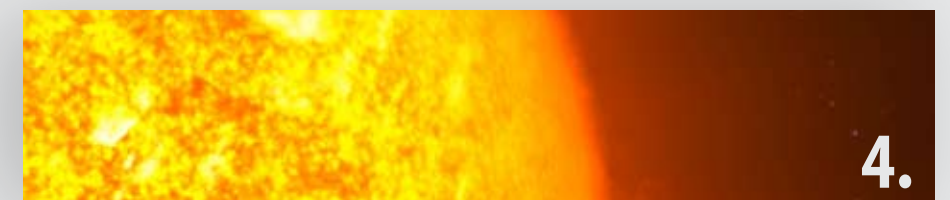
Αθήνα 2016

Περιεχόμενα

Πρόλογος	3
1. Εισαγωγή: Η Ζωή στην Γη	6
2. Τα βασικά προαπαιτούμενα της Ζωής.....	14
3. Ζωή στο Ηλιακό Σύστημα	24
4. Αναζητώντας μian άλλη Γη	34
5. Επίλογος: Ζωή στο Σύμπαν	42
Βιβλιογραφία.....	50
Συντελεστές παράστασης.....	52

*Φωτογραφία εξωφύλλου

Καλλιτεχνική αναπαράσταση του εξωπλανήτη Gliese 667Cc, ο οποίος περιφέρεται γύρω από τον κόκκινο νάνο ενός τριπλού αστρικού συστήματος (φωτογρ. IAU/L. Calçada).



Πρόλογος

Το Νέο Ψηφιακό Πλανητάριο του Ιδρύματος Ευγενίδου είναι ένα από τα μεγαλύτερα και καλύτερα εξοπλισμένα ψηφιακά πλανητάρια στον κόσμο. Από την έναρξη της λειτουργίας του το 2003, χρησιμοποιεί όλες τις δημιουργικές και τεχνικές δυνατότητες που παρέχουν τα σύγχρονα οπτικοακουστικά μέσα και οι νέες τεχνολογίες, τις οποίες συνδυάζει, προκειμένου να αφηγηθεί την ιστορία και τα επιτεύγματα της επιστήμης με συναρπαστικό τρόπο. Η συμβολή του Ευγενιδείου Πλανηταρίου στην επιστημονική επιμόρφωση του κοινού της χώρας μας συνεχίζεται μέσα από τις ψηφιακές του παραγωγές, γνωστοποιώντας τα επιτεύγματα της επιστήμης στο ευρύ κοινό και διαφωτίζοντάς το σχετικά με τη φύση της επιστημονικής έρευνας και της τεχνολογίας.

Το θέμα της ζωής στο Σύμπαν είναι ίσως το δημοφιλέστερο από τα θέματα που μας απασχολούν στο Πλανητάριο και σίγουρα η ερώτηση που τίθεται πιο συχνά από τους μαθητές που μας επισκέπτονται κάθε χρόνο. Το ενδιαφέρον του κοινού για την πιθανότητα ύπαρξης ζωής έξω από τη Γη είναι απολύτως δικαιολογημένο. Με τη ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας και τα δεδομένα που λαμβάνουμε από τηλεσκόπια και διαστημοσυσσκευές, γνωρίζουμε πλέον ότι οι συνθήκες που επικρατούν σε κάποια από τα ουράνια σώματα του Ηλιακού μας συστήματος θα μπορούσαν να αποδειχθούν ευνοϊκές για την εμφάνιση μικροβιακής έστω ζωής. Παράλληλα, καθώς ανακαλύπτουμε διαρκώς νέους πλανήτες γύρω από άλλα άστρα, δεν θα αργήσει να έρθει η στιγμή που θα ανακαλύψουμε έναν βραχώδη πλανήτη με τις κατάλληλες συνθήκες για την εμφάνιση της ζωής.

Από την άλλη πλευρά, είναι αναμφισβήτητο γεγονός ότι μέχρι σήμερα δεν έχει βρεθεί ζωή πουθενά αλλού στο Σύμπαν. Επομένως το ερώτημα εάν υπάρχει και αλλού ζωή στο Σύμπαν παραμένει προς το παρόν αναπάντητο. Δεν θα πρέπει να ξεχνάμε, ωστόσο, ότι η αναζήτηση της ζωής και πέρα από την Γη είναι ιδιαίτερα δύσκολη και χρονοβόρα. Είναι χαρακτηριστικό ότι μέχρι σήμερα καταφέραμε να διερευνήσουμε ελάχιστα μόνο από τα πλησιέστερα σε μας άστρα του Γαλαξία μας, ενώ δεν διαθέτουμε ακόμη την απαραίτητη τεχνολογία που θα μας επιτρέψει να αναζητήσουμε πλανήτες στους πλησιέστερους, έστω, από τους 100 δισ. γαλαξίες του Σύμπαντος. Η παράσταση «Ζωή στο Σύμπαν», μια ακόμα παραγωγή του Νέου Ψηφιακού Πλανηταρίου του Ιδρύματος Ευγενίδου, έρχεται να καλύψει αυτό το θέμα με όσο πιο επιστημονικό τρόπο γίνεται, συμπεριλαμβάνοντας όλα τα τεκμηριωμένα στοιχεία που έχουμε μέχρι σήμερα στη διάθεσή μας.

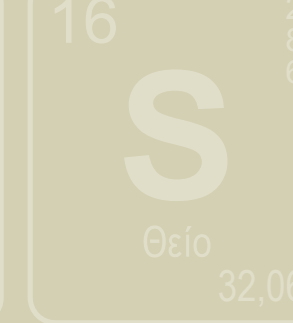
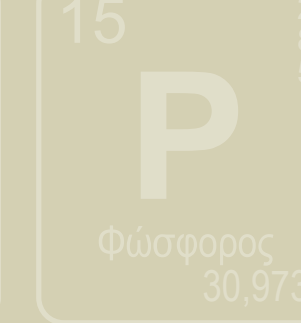
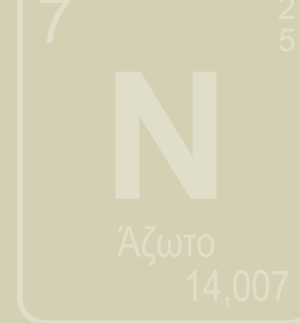
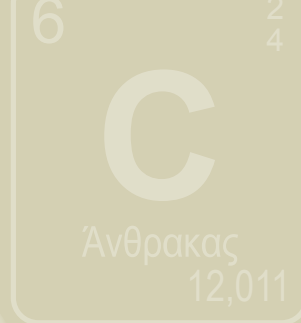
Ο Οδηγός αυτός ακολουθεί την παράδοση της παρουσίασης επιπλέον στοιχείων που θα ήταν

αδύνατο να συμπεριληφθούν σε μια παράσταση 40 μόλις λεπτών και τα οποία προσφέρουν μια πιο ολοκληρωμένη και σαφή εικόνα στο θέμα της ζωής στο Σύμπαν γενικότερα. Έτσι, το εισαγωγικό πρώτο κεφάλαιο ξεκινά με μια σύντομη αναφορά στην θεωρία της εξέλιξης, στις κυρίαρχες υποθέσεις για την απαρχή της ζωής στην Γη, καθώς και στους ακραιόφιλους οργανισμούς. Στην παρουσίαση ορισμένων από τα βασικά προαπαιτούμενα για την εμφάνιση και την εξέλιξη της ζωής, όπως είναι η ενέργεια, οι οργανικές ενώσεις και το νερό σε υγρή μορφή, καθώς και ένα περιβάλλον προφυλαγμένο από τις διαστημικές ακτινοβολίες εστιάζει το δεύτερο κεφάλαιο. Στο τρίτο κεφάλαιο εισάγεται η έννοια της «κατοικήσιμης ζώνης» και εξετάζεται η πιθανότητα να υπάρχουν μικροβιακές μορφές ζωής στους πλανήτες και τους δορυφόρους του Ηλιακού συστήματος, με έμφαση στον Άρη, την Ευρώπη, τον Εγκέλαδο και τον Τιτάνα. Τα είδη των άστρων που ενδιαφέρουν περισσότερο τους επιστήμονες, όσον αφορά στην αναζήτηση πλανητών εκτός Ηλιακού μας συστήματος, και αναφέρονται οι δύο βασικότερες μέθοδοι εντοπισμού τους παρουσιάζονται στο τέταρτο κεφάλαιο. Ο Οδηγός ολοκληρώνεται με μια σύντομη αναφορά στην πιθανότητα ύπαρξης νοήμονος ζωής. Σ' αυτό το πλαίσιο, παρουσιάζεται αρχικά ο βασικός τρόπος με τον οποίο οι επιστήμονες, μέσω της αναζήτησης «βιοϋπογραφών», μπορούν να αποφανθούν εάν ένας εξωπλανήτης με κατάλληλες συνθήκες μπορεί να φιλοξενεί ζωή. Ακολουθώντας, παρουσιάζεται η εξίσωση Drake, που θεωρητικά, τουλάχιστον, μπορεί να υπολογίσει τον αριθμό εξωγήινων πολιτισμών του Γαλαξία μας, το παράδοξο του Fermi, καθώς και μια σύντομη αναφορά στα προγράμματα SETI για την έρευνα εξωγήινης νοημοσύνης.

Θεωρούμε ότι τα θέματα που έχουμε συμπεριλάβει σε αυτόν τον Οδηγό, καθώς και η σχετική βιβλιογραφία που παρατίθεται, συμπληρώνουν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο όλα όσα παρουσιάζονται στην παράσταση και ευελπιστούμε ότι θα αποτελέσει χρήσιμο βοήθημα τόσο για τον δάσκαλο και τον μαθητή όσο και για τον κάθε ενδιαφερόμενο. Ο συγκεκριμένος Οδηγός Παράστασης, καθώς και όλοι οι προηγούμενοι, έχει αναρτηθεί στην ιστοσελίδα του Ιδρύματος Ευγενίδου, στην Ενότητα «Παραστάσεις» του Πλανηταρίου, προκειμένου να είναι διαθέσιμος σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο κοινό.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Αλέξη Δεληβοριά, αστροφυσικό του Ευγενιδείου Πλανηταρίου για τη συγγραφή, καθώς και όλους τους συναδέλφους του Εκδοτικού τμήματος του Ιδρύματος Ευγενίδου για την επιμέλεια του παρόντος Οδηγού. Θα ήταν, τέλος, παράλειψη αν δεν ευχαριστούσα και όλους τους φίλους-συνεργάτες της δημιουργικής μας ομάδας που συμμετείχαν στη διαμόρφωση της νέας μας παράστασης και των οποίων τα ονόματα παρατίθενται στην τελευταία σελίδα του παρόντος Οδηγού.

Μάνος Κιτσώνας
Διευθυντής Ευγενιδείου Πλανηταρίου



1. Εισαγωγή: Η Ζωή στην Γη

Η ποικιλομορφία της ζωής στην Γη είναι εντυπωσιακή. Μέχρι σήμερα έχουν αναγνωρισθεί και ονομαστεί περισσότερα από 1,5 εκατ. διαφορετικά είδη, ενώ ο συνολικός αριθμός τους ίσως και να υπερβαίνει τα 8 εκατ.. Κι όμως, οι αριθμοί αυτοί δεν αντιπροσωπεύουν παρά ένα ελάχιστο μόνο δείγμα όλων των ειδών που έζησαν ποτέ στη Γη, καθώς η συντριπτική πλειονότητά τους έχει προ πολλού εξαφανιστεί. Αυτό το εντυπωσιακό «μωσαϊκό» της ζωής, η ποικιλομορφία της και η εξέλιξή της περιγράφονται με εκπληκτική σαφήνεια από την **Θεωρία της Εξέλιξης** των ειδών, που διατυπώθηκε στην αρχική της μορφή από τον **Κάρολο Δαρβίνο** (1809–1882) στην διάρκεια του 19ου αιώνα. Η θεωρία αυτή, ωστόσο, δεν μπορεί να ερμηνεύσει και την απαρχή της ζωής, προς το παρόν τουλάχιστον.

Εικ.
Η ποικιλομορφία της ζωής
στην Γη είναι εντυπωσιακή

Η ριζοσπαστική ερμηνεία του Δαρβίνου για την εξέλιξη της ζωής και την καταγωγή των ειδών θεμελιώθηκε χάρη στις λεπτομερέστατες παρατηρήσεις του που αφορούσαν στην χλωρίδα και την πανίδα των νησιών Γκαλαπάγκος, τα οποία επισκέφτηκε ως φυσιοδίφης του βρετανικού πλοίου Beagle, τον Σεπτέμβριο του 1835. Σύμφωνα μ' αυτές, τα ίδια είδη που ζούσαν σε διαφορετικά νησιά του Αρχιπελάγους είχαν προσαρμοστεί με εκπληκτικό τρόπο στο τοπικό τους οικοσύστημα, μεταβάλλοντας κατά τέτοιο τρόπο ορισμένα από τα χαρακτηριστικά τους, ώστε να επιβιώνουν ευκολότερα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι σπίνιοι των νησιών, οι οποίοι, ενώ αρχικά ανήκαν στο ίδιο είδος, στην διάρκεια εκατομμυρίων ετών ανέπτυξαν εντελώς διαφορετικό ράμφος, ανάλογα με την διαθέσιμη τροφή σε κάθε νησί, εξελισσόμενοι ουσιαστικά σε νέα, διακριτά είδη από το κοινό προγονικό τους. Η μεγαλειώδης ιδέα του Δαρβίνου, που άρχισε σιγά-σιγά να διαμορφώνεται από τις παρατηρήσεις του αυτές, ήταν ότι οι έμβιοι οργανισμοί στην Γη δεν παραμένουν αναλλοίωτοι, αλλά ότι κατάγονται από κοινούς προγόνους. Με το πέρασμα του γεωλογικού χρόνου, όμως, ορισμένοι απ' αυτούς αναπτύσσουν σταδιακά διαφορετικά «χρήσιμα» χαρακτηριστικά, που τους επιτρέπουν να επιβιώνουν και να αναπαράγονται ευκολότερα από άλλους οργανισμούς του ίδιου είδους, κληροδοτώντας τα χαρακτηριστικά αυτά και σε κάποιους από τους απογόνους τους. Αυτή η εξελικτική πορεία της ζωής που, όπως γνωρίζουμε σήμερα, διήρκεσε τουλάχιστον 3,5 δισ. χρόνια, η διαδικασία της **φυσικής επιλογής**, όπως την ονόμασε, «μεταβάλλει» με την πάροδο του χρόνου το κάθε είδος, και η επιβίωση ή η εξαφάνιση του καθενός από αυτά προσδιορίζεται από την ικανότητά του να προσαρμόζεται στο περιβάλλον του.

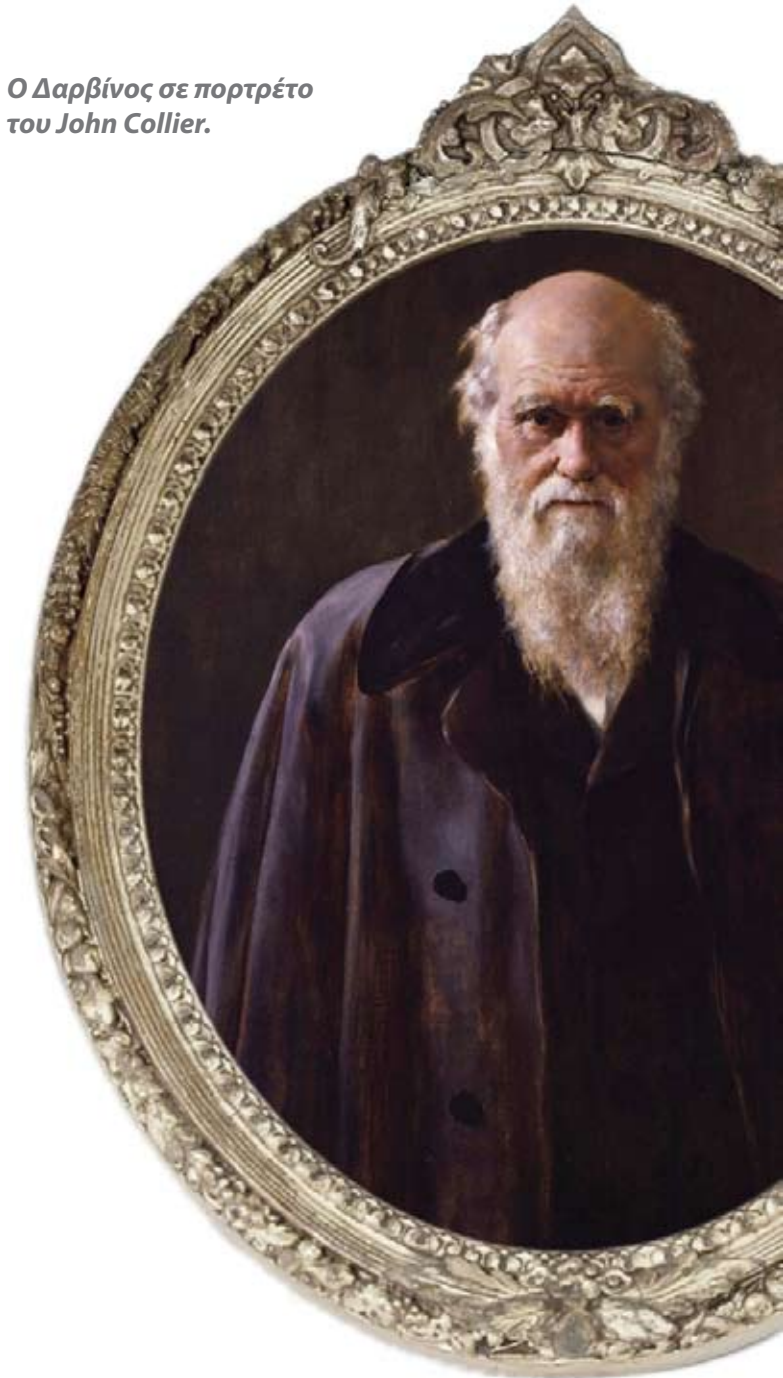
Το επόμενο βήμα στον συλλογισμό του ακολούθησε σχεδόν με φυσικό τρόπο. Εάν δηλαδή παραδεχτούμε ότι οι έμβιοι οργανισμοί του πλανήτη μας εξελίχτηκαν όντως κατ' αυτόν τον τρόπο, παρόμοια εξελικτική πορεία πρέπει να ακολούθησε και ο άνθρωπος. Σε μια εποχή, όμως, που επικρατούσε ακόμα η βιβλική ερμηνεία για την προέλευση της ζωής, σύμφωνα με την οποία οι έμβιοι οργανισμοί του πλανήτη, συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπου, σχεδιάστηκαν «ως έχουν» από κάποιον Δημιουργό και έκτοτε παρέμειναν αναλλοίωτοι, τέτοιες ριζοσπαστικές ερμηνείες δεν ήταν ιδιαίτερα αποδεκτές. Ίσως αυτός να ήταν και ένας από τους λόγους για τους οποίους ο Δαρβίνος καθυστέρησε τόσο πολύ την δημοσίευση της θεωρίας του. Εάν μάλιστα δεν έφτανε στα χέρια του το προσχέδιο μιας άλλης μελέτης, την οποία είχε συγγράψει ένας νεότερος φυσιοδίφης, ο **Alfred Wallace** (1823–1913), που είχε καταλήξει στα ίδια περίπου γενικά συμπεράσματα, ίσως τότε να καθυστερούσε ακόμα περισσότερο τη δημοσίευσή της. Εντέλει, το ιστορικό αυτό σύγγραμμα με τίτλο «Περί της Καταγωγής των Ειδών Μέσω Φυσικής Επιλογής» δημοσιεύτηκε την Τετάρτη 24 Νοεμβρίου 1859.

Σήμερα, η θεωρία της εξέλιξης, ιδιαίτερα μάλιστα όπως εμπλουτίστηκε στα χρόνια που ακολούθησαν, συγκαταλέγεται ανάμεσα στις εγκυρότερες επιστημονικές θεωρίες που έχουν διατυπωθεί ποτέ. Αξίζει εδώ να σημειωθεί ότι ο Δαρβίνος διατύπωσε την θεωρία της εξέλιξης στην αρχική της μορφή, χωρίς να γνωρίζει τον βαθύτερο μηχανισμό της κληρονομικότητας, τον οποίο ανακάλυψε ο **Gregor Mendel** (1822–1884) το 1865. Πειραματιζόμενος με την καλλιέργεια και την διασταύρωση μπιζελιών, ο Mendel κατέληξε στην διατύπωση

δύο νόμων, που είναι γνωστοί ως οι «Νόμοι της Μεντελικής Κληρονομικότητας», οι οποίοι αποτέλεσαν το εφαλτήριο για την ανάπτυξη της Γενετικής. Όπως γνωρίζουμε σήμερα, η εξέλιξη μέσω της φυσικής επιλογής είναι στη βάση της μία «γενετική» θεωρία, που για να διατυπωθεί πλήρως θα έπρεπε να περιμένει την ανακάλυψη των γονιδίων ως «φορέων» της κληρονομικότητας, την συνειδητοποίηση της σημασίας των τυχαίων μεταλλαγών, την ανακάλυψη του DNA κ.λπ.. Αυτή η σχετικά νέα θεωρία που προέκυψε από τον γόνιμο συνδυασμό των ιδεών του Δαρβίνου και του Μέντελ, της γενετικής των πληθυσμών και των ανακαλύψεων της μοριακής βιολογίας, ονομάζεται σήμερα **Σύγχρονη Εξελικτική Σύνοψη** και αποτελεί το Καθιερωμένο Πρότυπο της Βιολογίας που περιγράφει και εξηγεί την μακρά εξελικτική πορεία της ζωής, από τους πρώτους μονοκύτταρους μικροοργανισμούς έως τον άνθρωπο.

Ποια, όμως, είναι η προέλευση της ζωής; Στα χρόνια που ακολούθησαν, πολλοί επιστήμονες προσπάθησαν να απαντήσουν σε αυτό το ερώτημα, χωρίς να έχει προκύψει έως τώρα μία ευρέως αποδεκτή και επιστημονικά τεκμηριωμένη θεωρία. Έτσι, το συναρπαστικό «βιβλίο» που περιγράφει την ιστορία της ζωής παραμένει ημιτελές. Γιατί, παρόλο που έχουμε αποκρυπτογραφήσει την εξέλιξη της ζωής, η απαρχή της είναι ακόμη τυλιγμένη στο μυστήριο. Για να το πούμε διαφορετικά, όπως ακριβώς η θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης δεν είναι, ακόμη τουλάχιστον, μια θεωρία της απαρχής του Σύμπαντος, παρά μόνο της μετέπειτα εξέλιξής του, έτσι και η σύγχρονη θεωρία της βιολογικής εξέλιξης δεν ερμηνεύει την απαρχή της ζωής, αλλά μόνο την μετέπειτα εξελικτική της πορεία.

Ο Δαρβίνος σε πορτρέτο του John Collier.



Σύμφωνα, ωστόσο, με ορισμένες προσομοιώσεις του σχηματισμού της Γης, οι συνθήκες που επικρατούσαν στον αρχέγονο πλανήτη μας δεν θα μπορούσαν να είναι ευνοϊκές για την εμφάνιση της ζωής περισσότερο από 3,9 δισ. χρόνια πριν. Εάν, όμως, λάβουμε υπόψη την ανάλυση των αρχαιότερων γεωλογικών ευρημάτων, σύμφωνα με την οποία οι πρωταρχικές κυτταρικές μορφές ζωής έχουν ηλικία τουλάχιστον 3,4 δισ. ετών, αυτό σημαίνει ότι το «θαύμα της ζωής» πρέπει να συνέβη το πολύ μέσα σε 500 εκατ. χρόνια. Είναι γεγονός, πάντως, ότι οι περισσότεροι επιστήμονες σήμερα συνηγορούν υπέρ της άποψης ότι, πριν από το «πέραςμα στη ζωή», προηγήθηκε μία περίοδος **αβιοτικής χημικής εξέλιξης**, στη διάρκεια της οποίας συνετέθησαν από απλούστερες ενώσεις τα βασικά δομικά συστατικά της.

Οι πρώτες σοβαρές προσπάθειες να ερμηνευτεί η προέλευση της ζωής σ' αυτήν την βάση ανάγονται στη δεκαετία του 1920 και οφείλονται στις μελέτες του σοβιετικού **Alexander Oparin** (1894–1980) και του Βρετανού **J. B. S Haldane** (1892–1964), οι οποίοι υποστήριξαν, ανεξάρτητα ο ένας από τον

άλλον, ότι η ζωή ξεκίνησε στη Γη μετά από μια τέτοια περίοδο αβιοτικής χημικής εξέλιξης. Ο πρώτος επιστήμονας που προσπάθησε να διερευνήσει πειραματικά αυτή την υπόθεση ήταν ο μεταπτυχιακός φοιτητής **Stanley Miller** (1930–2007), με τη βοήθεια του καθηγητή του **Harold Urey** (1893–1981). Στο περίφημο πλέον πείραμα που φέρει τα ονόματά τους, οι Miller και Urey προσομοίωσαν τις συνθήκες εκείνες που θεωρούσαν ότι επικρατούσαν στην αρχέγονη Γη, τοποθετώντας σε ένα δοχείο υδρογόνο, αμμωνία, μεθάνιο και νερό, το οποίο θερμαινόταν για να προκληθεί εξάτμιση, και στο οποίο διοχετεύονταν ηλεκτρικές εκκενώσεις. Μέσα σε μία μόλις εβδομάδα, οι δύο επιστήμονες διαπίστωσαν ότι το πείραμά τους είχε δημιουργήσει αρκετά αμινοξέα, που είναι τα δομικά υλικά των πρωτεϊνών, καθώς και άλλες βιοχημικές ενώσεις. Πολλοί επιστήμονες, όμως, θεωρούν ότι η χημική σύσταση της ατμόσφαιρας που υιοθετήθηκε σ' αυτό το πείραμα δεν ήταν αντιπροσωπευτική της αρχέγονης Γης, η οποία πρέπει να εμπειρείχε και μεγάλες ποσότητες μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα, καθώς και υδρόθειο, ενώσεις δηλαδή, που εκλύονταν στην διάρκεια των ηφαιστει-

ακών εκρήξεων. Όμως, τα αντίστοιχα πειράματα που υλοποιήθηκαν στην διάρκεια των επόμενων χρόνων από άλλους ερευνητές, απέδειξαν ότι η σύνθεση οργανικών μορίων, απαραίτητων για την εμφάνιση της ζωής, όπως είναι τα αμινοξέα, τα λιπαρά οξέα και τα σάκχαρα, είναι δυνατή κάτω από μια ευρεία γκάμα αρχικών συνθηκών. Απ' ό,τι φαίνεται, λοιπόν, ανεξάρτητα από τις «λεπτομέρειες» της όλης διαδικασίας, στην διάρκεια της αβιοτικής χημικής εξέλιξης συνετέθησαν τα πρώτα βιολογικά και αυτοαντιγραφόμενα μακρομόρια, δηλαδή το DNA και το RNA.

Υπενθυμίζουμε εδώ ότι το **DNA** αποτελεί τη βασική μονάδα αποθήκευσης και κωδικοποίησης των γενετικών πληροφοριών, ενώ το **RNA** παίζει τον ρόλο του «αγγελιοφόρου», που μεταφέρει τις πληροφορίες από το DNA στα «κέντρα παραγωγής» των πρωτεϊνών στο εσωτερικό του κυττάρου. Δεδομένου ότι όλοι οι ζωντανοί οργανισμοί αναπαράγονται αντιγράφοντας το γενετικό τους υλικό, το οποίο στη συνέχεια μεταφέρουν στους απογόνους τους, αυτή ακριβώς η ικανότητα αντιγραφής των μορίων που κωδικοποιούν τις γενετι-

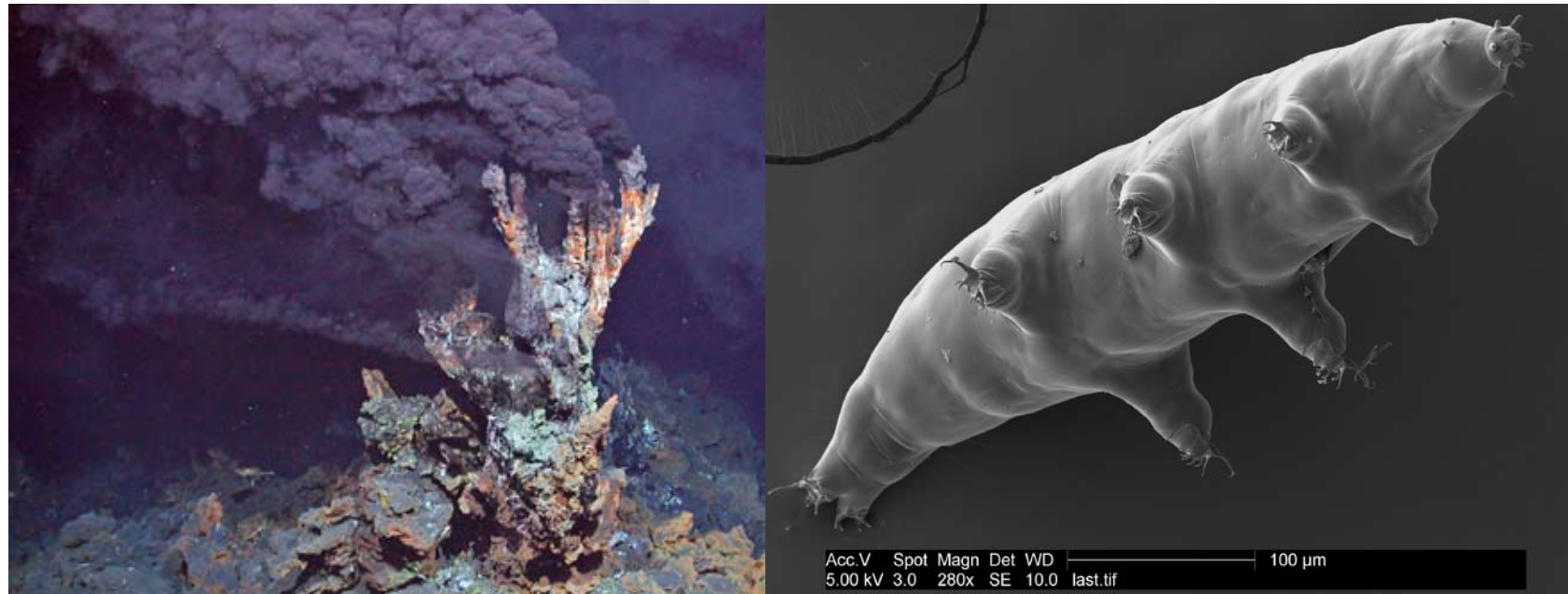
κές πληροφορίες είναι ένα βασικό στάδιο για το «πέραςμα» στη ζωή, χωρίς το οποίο η ζωή δεν θα μπορούσε να υπάρξει. Απ' ό,τι φαίνεται, όμως, το DNA δεν θα μπορούσε να δημιουργηθεί πρώτο, διότι η σύνθεσή του απαιτεί την ύπαρξη συγκεκριμένων πρωτεϊνικών ενζύμων, τα οποία με την σειρά τους απαιτούν την ύπαρξη ενός νουκλεϊκού οξέος σαν το DNA, που θα δώσει τις απαραίτητες «εντολές» για τη σύνθεσή τους. Αυτή η εμφανής αδυναμία σύνθεσης DNA και πρωτεϊνών ώθησε πολλούς επιστήμονες να υποθέσουν ότι, πριν από τη δημιουργία πρωτεϊνών και DNA, η αβιοτική χημική εξέλιξη οδήγησε στον σχηματισμό του RNA. Αυτό, διότι το RNA, που ανήκει στην ίδια «οικογένεια» μακρομορίων όπως και το DNA, εκτός από τη βασική λειτουργία της μεταφοράς των γενετικών πληροφοριών, έχει την ιδιότητα να αποθηκεύει πληροφορίες ακριβώς όπως το DNA, αλλά και να λειτουργεί καταλυτικά ως πρωτεϊνικό ένζυμο. Εκτός αυτού, το RNA χαρακτηρίζεται από την απαραίτητη ικανότητα της αντιγραφής του εαυτού του. Επειδή, όμως, καμία μέθοδος αντιγραφής δεν είναι τέλεια, η ποικιλομορφία που «μοιραία» εμφανίστηκε σε αυτόν τον αρχέγονο «πληθυσμό»

Οι συνθήκες που επικρατούσαν στην αρχέγονη Γη ήταν εντελώς εχθρικές για την ζωή (φωτογρ. NASA's Goddard Space Flight Center Conceptual Image Lab).

μακρομορίων ήταν αναπόφευκτη. Από το σημείο αυτό και μετά, τη σκυτάλη πήρε η βιολογική εξέλιξη, από την οποία προήλθαν οι πρώτοι προκαρυωτικοί κυτταρικοί οργανισμοί.

Κομβικό σημείο για την μετέπειτα εξέλιξη της ζωής αποδείχτηκε η εμφάνιση των κυανοβακτηρίων. Οι μονοκύτταροι αυτοί οργανισμοί, που τρέφονταν με ανόργανες ουσίες, δεσμεύοντας την ηλιακή ακτινοβολία μέσω της φωτοσύνθεσης και αποβάλλοντας οξυγόνο, συνέβαλαν ώστε να εμπλουτιστεί η ατμόσφαιρα και οι ωκεανοί του πλανήτη μας με οξυγόνο, γεγονός που επηρέασε δραματικά την εξέλιξη της ζωής. Η εξέλιξη των πρωταρχικών προκαρυωτικών κυττάρων ακολούθησε αργό ρυθμό. Καθώς, όμως, η ατμόσφαιρα του πλανήτη μας εμπλουτιζόταν όλο και περισσότερο με το οξυγόνο που παρήγαγαν τα πρώτα αυτά «πλάσματα» μέσω της φωτοσύνθεσης, οι προκαρυωτικοί κυτταρικοί οργανισμοί εξελίχτηκαν μέσω της φυσικής επιλογής στα πρώτα ευκαρυωτικά κύτταρα. Όπως, όμως, αναφέραμε και προηγουμένως, το πώς ακριβώς έγινε το πέρασμα από την απουσία της ζωής στην ζωή εξακολουθεί να αποτελεί πεδίο επισταμένης έρευνας.

Σύμφωνα, ωστόσο, με μία από τις επικρατέστερες ερμηνείες, το «θαύμα της ζωής» μπορεί να ξεκίνησε στις **υδροθερμικές αναβλύσεις** του ωκεάνιου πυθμένα, όταν τα βασικά δομικά συστατικά της ζωής σχηματίστηκαν από απλούστερες χημικές ενώσεις. Οι περιοχές αυτές δεν είναι παρά μικρά ανοίγματα στον ωκεάνιο πυθμένα, απ' όπου αναβλύζει ορμητικά υπέρθερμο και πλούσιο σε υδρογόνο νερό, εμπλουτισμένο με άλλα χημικά στοιχεία και ενώσεις, οι οποίες αλληλεπιδρούν με τα χημικά στοιχεία και τις ενώσεις που βρίσκονται διαλυμέ-



Αριστερά: Υδροθερμικές αναβλύσεις του ωκεάνιου πυθμένα.

Δεξιά: Τα μικροσκοπικά βραδύπορα αντέχουν για δεκαετίες χωρίς τροφή και νερό, επιβιώνουν σε θερμοκρασίες από $-272\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, σε ακτινοβολίες εκατοντάδες φορές υψηλότερες απ' αυτές που θα ήταν θανατηφόρες για έναν άνθρωπο, καθώς και στο κενό του Διαστήματος (φωτογρ. William R. Miller).

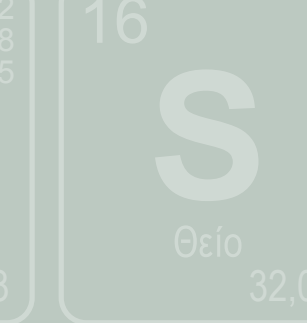
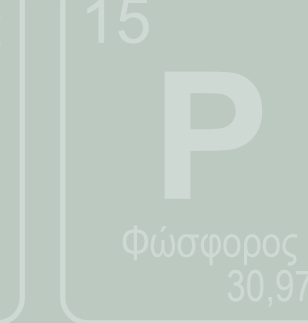
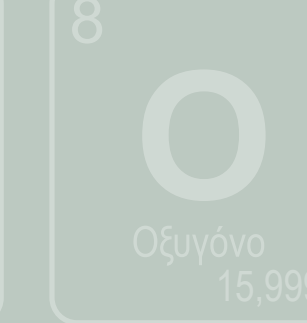
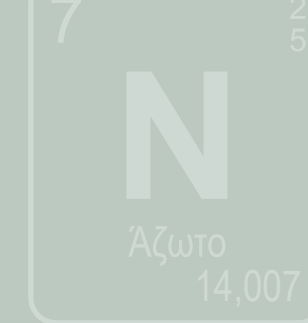
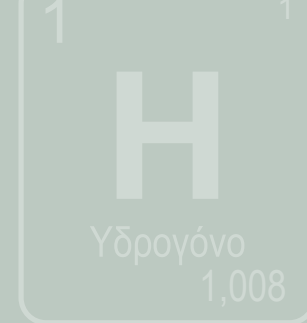
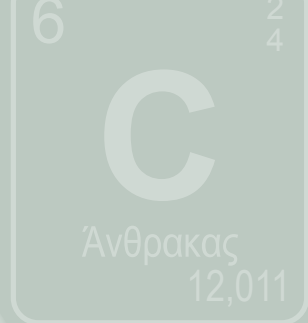
να στο ωκεάνιο νερό, σχηματίζοντας έτσι τα πρώτα σύνθετα οργανικά μόρια από άτομα άνθρακα, οξυγόνου, υδρογόνου και αζώτου. Στις περιοχές, μάλιστα, που περιβάλλουν τις υδροθερμικές αναβλύσεις ανακαλύφθηκαν τα τελευταία χρόνια αποικίες βακτηρίων και αρχαιοβακτηρίων. Εκεί, σε θερμοκρασίες που υπερβαίνουν τους $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ και σε τεράστιες πιέσεις, μακριά από τον ζωοδότη Ήλιο, δηλαδή σε ένα περιβάλλον εντελώς εχθρικό για την ανάπτυξη κάθε άλλης μορφής ζωής, έχουν εντοπιστεί πλούσια οικοσυστήματα που αποδεικνύουν ότι «η ζωή βρίσκει τον τρόπο», ακόμη και εκεί που δεν το περιμένουμε.

Πραγματικά, η ανακάλυψη τα τελευταία 30 χρόνια ορισμένων ιδιαίτερα ανθεκτικών μικροοργανισμών, οι οποίοι επιβιώνουν στα πιο ακραία περιβάλλοντα του πλανήτη μας, έχει μεταβάλει

ριζικά τα όσα γνωρίζαμε για τις συνθήκες που ευνοούν την εμφάνιση της ζωής. Αυτού του είδους οι **ακραιόφιλοι** οργανισμοί έχουν ήδη εντοπιστεί σε υπέρθερμες όξινες πηγές στην επιφάνεια της Γης και στις παγωμένες και άνυδρες ερήμους της Ανταρκτικής, σε υδροθερμικές αναβλύσεις του ωκεάνιου πυθμένα, στην υπόγεια λίμνη Βοστόκ, 4 km κάτω από τους πάγους της Ανταρκτικής, σε σχισμές συμπαγούς βράχου βαθιά στο υπέδαφος, ακόμη και στο εσωτερικό πυρηνικών αντιδραστήρων. Η ανακάλυψη αυτών των μικροοργανισμών, όμως, εγείρει την συναρπαστική πιθανότητα να έχουν αναπτυχθεί μορφές ζωής ακόμη και εκτός της **Κατοικήσιμης Ζώνης**, δηλαδή της περιοχής γύρω από τον Ήλιο, όπου το νερό στην επιφάνεια ενός πλανήτη μπορεί να υπάρξει σε υγρή μορφή.

Θα δούμε αναλυτικότερα στο επόμενο κεφάλαιο

ότι η ζωή, όπως τουλάχιστον την γνωρίζουμε, είναι αδύνατον να αναπτυχθεί χωρίς την ύπαρξη νερού σε υγρή μορφή. Γι' αυτό και μέχρι στιγμής τουλάχιστον, η αναζήτηση της ζωής πέρα από την Γη στοχεύει κυρίως στον εντοπισμό ουράνιων σωμάτων με τις κατάλληλες θερμοκρασίες, ώστε να υπάρχει στην επιφάνειά τους νερό σε υγρή κατάσταση. Η ανακάλυψη, όμως, αυτών των ακραιόφιλων οργανισμών, αν μη τι άλλο μας διδάσκει ότι κάποιοι μικροοργανισμοί είναι περισσότερο «ανθεκτικοί» απ' όσο μπορούμε να υποθέσουμε και ότι η ζωή ενδέχεται να εμφανίζεται ακόμη και εκεί όπου η παγιωμένη μας επιστημονική γνώση δεν το επέτρεπε, μέχρι πρόσφατα τουλάχιστον. Ποια είναι, επομένως, τα βασικά προαπαιτούμενα για την εμφάνιση και την εξέλιξη της ζωής, όπως τουλάχιστον την γνωρίζουμε; Αυτό είναι το θέμα του επόμενου κεφαλαίου ◀◀



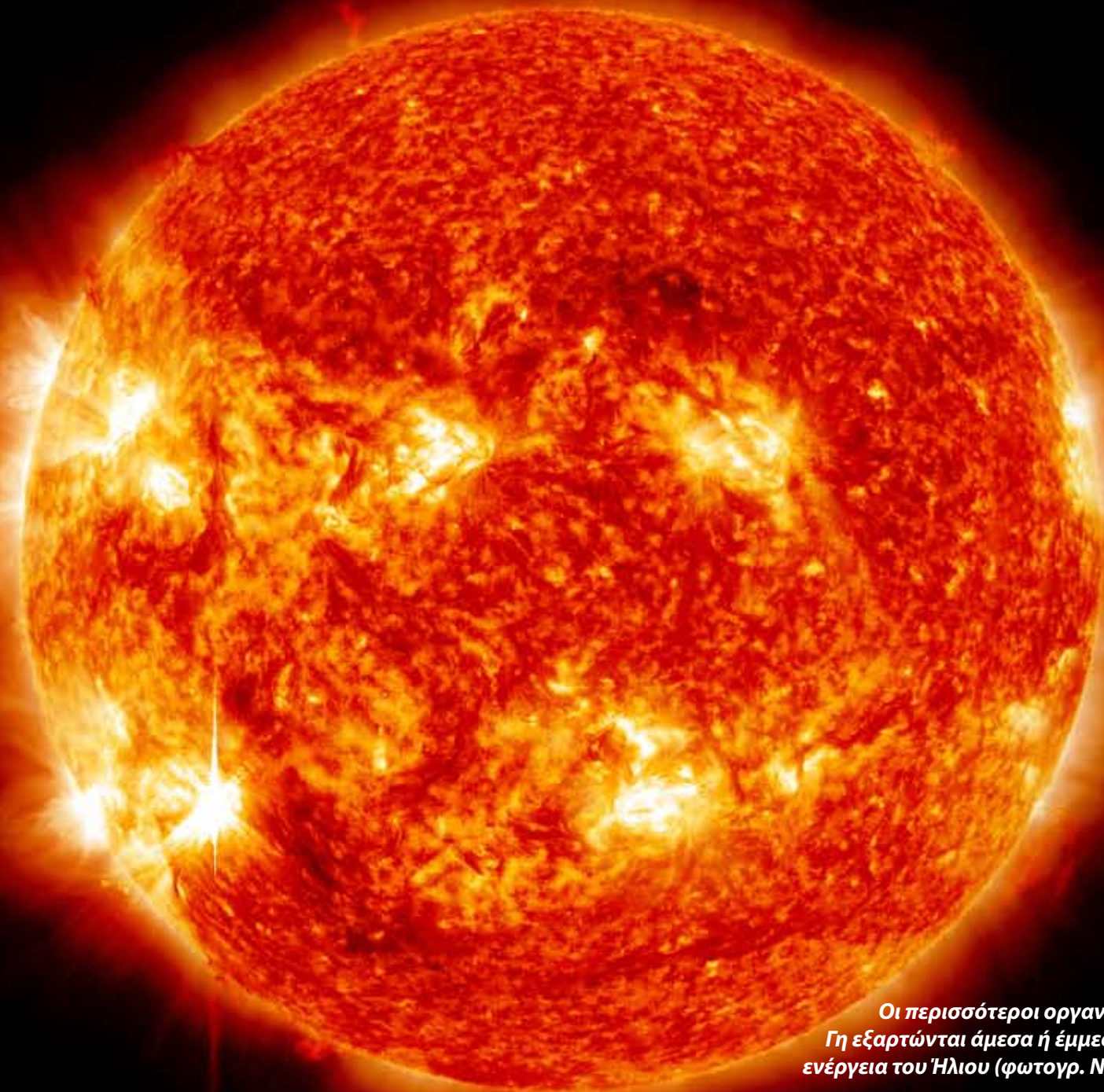
2. Τα βασικά προαπαιτούμενα της Ζωής

Όλα όσα γνωρίζουμε για την ζωή προέρχονται από την μελέτη του ίδιου μας του πλανήτη και των έμβιων οργανισμών που φιλοξενεί. Υπ' αυτήν την έννοια, είμαστε κάπως «μεροληπτικοί» στην έρευνά μας για την αναζήτηση της εξωγήινης ζωής, περιορίζοντάς την κυρίως σε μορφές ζωής που προσιδιάζουν στις γήινες. Ένας λόγος γι' αυτό είναι ότι εξακολουθούμε να γνωρίζουμε ελάχιστα για τις πιθανές «εναλλακτικές» βιολογίες που θα καθόριζαν την εξέλιξη οργανισμών, οι οποίοι δεν βασίζονται στον άνθρακα και στο νερό. Ένας δεύτερος λόγος είναι ότι τα συγκριτικά πλεονεκτήματα του άνθρακα και του νερού για την χημεία της ζωής καθιστούν απίθανη την συναρπαστική αυτή πιθανότητα, χωρίς βέβαια να την αποκλείουν. Γι' αυτό, άλλωστε, και οι περισσότερες αναφορές για την αναζήτηση της ζωής περιορίζονται συχνά με το προσδιοριστικό «όπως τουλάχιστον την γνωρίζουμε». Στην συνέχεια αυτού του κεφαλαίου, λοιπόν, θα παρουσιάσουμε τα βασικά προαπαιτούμενα για την ζωή, όπως τουλάχιστον την γνωρίζουμε.

Εικ.
Η Γη από τον Διεθνή
Διαστημικό Σταθμό

Το πρώτο βασικό προαπαιτούμενο της ζωής είναι η **ενέργεια**. Κάθε έμβιος οργανισμός, προκειμένου να διατηρήσει την κυτταρική του δομή και τις απαραίτητες για την επιβίωσή του βιοχημικές αντιδράσεις, που θα του επιτρέψουν να μεγαλώσει και να αναπαραχθεί, απαιτείται να εξάγει με τον έναν ή τον άλλο τρόπο ενέργεια από το περιβάλλον του. Στον πλανήτη μας, οι περισσότερες μορφές ζωής εξαρτώνται άμεσα ή έμμεσα από το φως, δηλαδή από την ενέργεια του Ήλιου. Υπενθυμίζουμε, ωστόσο, ότι υπάρχουν οργανισμοί που βασίζονται σε άλλες μορφές ενέργειας, όπως γεωθερμικές και χημικές, με γνωστότερο παράδειγμα τους μικροοργανισμούς που αναπτύσσονται γύρω από τις υδροθερμικές αναβλύσεις.

Από όλα τα χημικά στοιχεία που απαντώνται με φυσικό τρόπο στον πλανήτη μας, μόλις 6 από αυτά υπάρχουν σε σημαντικές ποσότητες στους έμβιους οργανισμούς. Με κάποιες εξαιρέσεις, δηλαδή, τα βασικά δομικά στοιχεία της ζωής είναι ο άνθρακας, το υδρογόνο, το άζωτο, το οξυγόνο, ο φώσφορος και το θείο, αναμιγμένα με μικροποσότητες άλλων στοιχείων, όπως το νάτριο, το κάλιο και το ασβέστιο. Γιατί, όμως, λέμε ότι η ζωή στην Γη βασίζεται στον άνθρακα και όχι σε κάποιο άλλο από αυτά τα θεμελιώδη για την ζωή χημικά στοιχεία; Οι έμβιοι οργανισμοί χαρακτηρίζονται από τεράστια χημική πολυπλοκότητα. Κάθε μορφή ζωής, προκειμένου να επιβιώσει, απαιτείται να επιτελεί μία ολόκληρη σειρά πολύπλοκων βιοχημικών διεργασιών: να απορροφά θρεπτικά συστατικά, να τα μετατρέπει σε ενέργεια, να απομακρύνει τοξίνες και απόβλητα, να αναπαραγάγει κ.ο.κ.. Αυτό με την σειρά του προϋποθέτει και απαιτεί την ύπαρξη ενός τεράστιου αριθμού διαφορετικών χημικών δομών και μορίων, που σημαίνει ότι, προκειμένου ένα ατομικό



Οι περισσότεροι οργανισμοί στην Γη εξαρτώνται άμεσα ή έμμεσα από την ενέργεια του Ήλιου (φωτογρ. NASA/SDO).

στοιχείο να αποτελεί την βάση της ζωής, πρέπει να έχει τις κατάλληλες χημικές ιδιότητες, ώστε να υποστηρίξει και να συμμετέχει στον μέγιστο δυνατό βαθμό στις αυτές ακριβώς τις βιοχημικές διεργασίες και χημικές αντιδράσεις.

Επιπλέον, επειδή οι έμβιοι οργανισμοί απαιτούν έναν τεράστιο όγκο γενετικών πληροφοριών για την αναπαραγωγή τους, η ικανότητα σχηματισμού μοριακών αλυσίδων μεγάλου μήκους για την κωδικοποίηση αυτών των πληροφοριών, θεωρείται εξαιρετικής σημασίας για την ζωή. Δεδομένου, όμως, ότι κανένα άλλο στοιχείο του Περιοδικού Πίνακα δεν χαρακτηρίζεται από αυτού του είδους την χημική «συμπεριφορά» σε μεγαλύτερο βαθμό από όσο ο άνθρακας, η χημεία της ζωής είναι ουσιαστικά η χημεία του άνθρακα. Με άλλα λόγια, οι έμβιοι οργανισμοί βασίζονται στον άνθρακα, διότι πολύ απλά οι χημικές ιδιότητες αυτού του ατόμου του παρέχουν συγκριτικό πλεονέκτημα απέναντι σε κάθε άλλο χημικό στοιχείο που θα μπορούσε, θεωρητικά τουλάχιστον, να αποτελέσει την βάση της ζωής. Πραγματικά, η ικανότητά του να σχηματίζει πολύ ισχυρούς δεσμούς με τα περισσότερα στοιχεία του Περιοδικού Πίνακα και η ικανότητά του να σχηματίζει εξίσου ισχυρούς δεσμούς με άλλα άτομα άνθρακα, σχηματίζοντας έτσι μακριές, ανοικτές ή κλειστές, αλυσίδες ατόμων και διασφαλίζοντας με αυτόν τον τρόπο, όχι μόνο την σταθερότητα των βιομορίων, αλλά και την μεγάλη τους ποικιλομορφία, είναι κομβική για την εμφάνιση και διατήρηση της ζωής. Επομένως, ένα άλλο βασικό προαπαιτούμενο της ζωής είναι να βασίζεται στον άνθρακα.

Εάν ο άνθρακας είναι η βάση της ζωής, το «αμνιακό» της υγρό είναι το νερό, αφού χωρίς το νερό, η ζωή στην Γη δεν θα μπορούσε να υπάρξει. Πραγ-

ματικά, όλα όσα σχετίζονται με την δομή και την λειτουργία των κυττάρων ενός οργανισμού εξαρτώνται και έχουν προσαρμοστεί στις ιδιαίτερες φυσικές και χημικές ιδιότητες του νερού. Κατ' αρχάς, όλοι οι έμβιοι οργανισμοί εμπεριέχουν στην κυτταρική τους δομή μεγάλες ποσότητες νερού, γεγονός που καθιστά την σημασία του για την ζωή στην Γη προφανή. Επιπλέον, το νερό είναι ένας από τους αποτελεσματικότερους διαλύτες που γνωρίζουμε. Η μεγάλη αυτή ικανότητα του νερού να διαλύει ένα ευρύ φάσμα χημικών ουσιών, όπως άλατα, σάκχαρα, αμινοξέα και πρωτεΐνες, έχει τεράστια σημασία για τους έμβιους οργανισμούς. Αυτό, διότι δεν διασφαλίζεται μόνο η μεταφορά των χημικών ουσιών και θρεπτικών συστατικών σε όλα τα μέρη ενός οργανισμού, αλλά διευκολύνεται παράλληλα η απομάκρυνση των τοξινών, ενώ το νερό λειτουργεί και ως καταλύτης για την πραγματοποίηση σημαντικών για την ζωή βιοχημικών αντιδράσεων.

Ένα ακόμη πλεονέκτημα του νερού σε σχέση με άλλους διαλύτες είναι ότι αποτελεί έναν σχετικά καλό αγωγό της θερμότητας, συμβάλλοντας έτσι στην ομοιόμορφη κατανομή της στο εσωτερικό ενός οργανισμού. Επιπλέον, το νερό χαρακτηρίζεται από μεγάλη ειδική θερμοχωρητικότητα, που σημαίνει ότι, όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι υψηλή, η θερμοκρασία του νερού αυξάνεται αργά, ενώ όταν είναι χαμηλή, διατηρείται σταθερή για μεγάλο χρονικό διάστημα. Το γεγονός αυτό βοηθά τους έμβιους οργανισμούς να αντιμετωπίζουν τις μεγάλες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις στο περιβάλλον τους, διατηρώντας τη θερμοκρασία του σώματός τους σε ανεκτά επίπεδα. Μία άλλη, μοναδική ιδιότητα του νερού είναι ότι η πυκνότητά του μειώνεται όταν παγώνει, γεγονός που επιτρέπει στον πάγο να επιπλέει στις υδάτινες εκτάσεις του πλανήτη. Εάν δεν ίσχυε αυτό και ο πάγος βυθιζόταν, τότε τα ποτάμια, οι λίμνες

και οι θάλασσες της Γης θα πάγωναν από τον πυθμένα προς την επιφάνεια. Σ' αυτήν την περίπτωση, όμως, ακόμη και οι ωκεανοί θα πάγωναν τελείως σε βάθος χρόνου, εξολοθρεύοντας κάθε μορφή ζωής που θα ζούσε εκεί. Επομένως, η **ύπαρξη του νερού σε υγρή μορφή** είναι το τρίτο βασικό προαπαιτούμενο για την ζωή.

Η ύπαρξη νερού σε υγρή μορφή, όμως, εξαρτάται από την πίεση της ατμόσφαιρας και την επιφανειακή θερμοκρασία ενός πλανήτη. Προκειμένου, όμως, ένας πλανήτης να διαθέτει σημαντική ατμόσφαιρα, θα πρέπει πρωτίστως να έχει αρκετή μάζα, ώστε να μπορεί να την συγκρατήσει με την βαρύτητά του. Επιπλέον, ένας πλανήτης είναι απαραίτητο να διαθέτει μία ελάχιστη μάζα, προκειμένου να διαθέτει τεκτονική δραστηριότητα, με την βοήθεια της οποίας ανακυκλώνεται το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρά του. Εκτός αυτού, ένας γεωλογικά νεκρός κόσμος δεν θα μπορούσε να ενεργοποιήσει το μαγνητικό του πεδίο που συμβάλλει στην προστασία του από τις επικίνδυνες ακτινοβολίες του Διαστήματος. Για τον ίδιο λόγο, η ύπαρξη ατμόσφαιρας είναι εξίσου σημαντική, αφού κι αυτή παρέχει σημαντική προστασία ενάντια στα βλαβερά σωματίδια της υπεριώδους ακτινοβολίας των άστρων και των κοσμικών ακτίνων, ενώ μεταξύ άλλων συμβάλλει και στην εξισορρόπηση των θερμοκρασιών μεταξύ της μέρας και της νύχτας. Προφανώς, σ' αυτό το σημείο υπονοούμε ότι μία ακόμη συνθήκη, απαραίτητη για την ζωή, είναι να αναπτύσσεται σε ένα σχετικά **προστατευμένο περιβάλλον**. Υπ' αυτήν την άποψη, η ύπαρξη ενός μεγάλου δορυφόρου που θα σταθεροποιεί με την βαρυτική του έλξη τον άξονα περιστροφής ενός πλανήτη συμβάλλει

Η Σελήνη σταθεροποιεί με την βαρυτική της έλξη τον άξονα περιστροφής του πλανήτη μας (φωτογρ. NASA).

κι αυτή στην διαμόρφωση ενός τέτοιου περιβάλλοντος, αφού σε διαφορετική περίπτωση, τα καιρικά φαινόμενα, αλλά και οι κλιματικές μεταβολές σε βάθος χρόνου, θα ήταν σαφώς βιαιότερα.

Η μέση θερμοκρασία στην επιφάνεια ενός πλανήτη, από την άλλη, προσδιορίζεται από το ποσοστό της ακτινοβολίας που απορροφά από το άστρο του (που τείνει να την αυξήσει) σε σχέση με το ποσοστό της ακτινοβολίας που ανακλά (που συμβάλλει στην μείωσή της) και φυσικά εξαρτάται από την μέση απόσταση του πλανήτη από το άστρο του. Το ποσοστό, όμως, της ακτινοβολίας που ανακλά ένας πλανήτης εξαρτάται και από άλλους παράγοντες, όπως από την νεφοκάλυψη και την σύσταση της ατμόσφαιράς του. Ειδικότερα, όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση αερίων του θερμοκηπίου

Η πυκνότητα του νερού μειώνεται όταν αυτό μετατρέπεται σε πάγο.

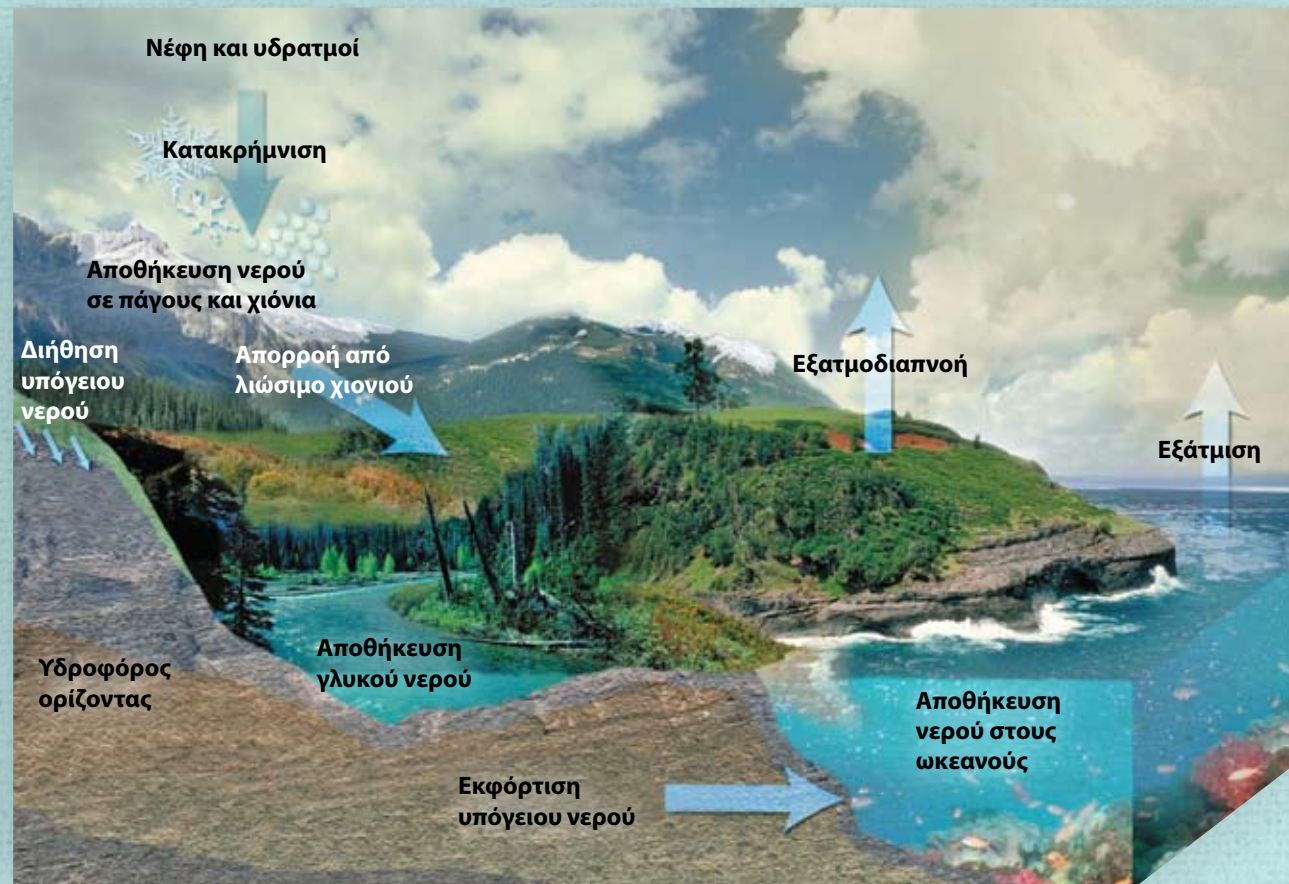
στην ατμόσφαιρα ενός πλανήτη (όπως υδρατμοί και CO₂), τόσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό της υπέρυθρης ακτινοβολίας που παγιδεύει. Για παράδειγμα, το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην Γη, ανακλάται στο Διάστημα ή απορροφάται από την ατμόσφαιρά της, όπως συμβαίνει με τις ακτίνες X, αλλά και με την βλαβερή υπεριώδη ακτινοβολία, που απορροφάται από την ασπίδα του όζοντος. Επειδή, όμως, η γήινη ατμόσφαιρα είναι διαφανής στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία του Ήλιου που αντιστοιχεί

στο ορατό φως, η ακτινοβολία αυτή την διασχίζει ανεμπόδιστα και, φτάνοντας στην επιφάνεια του πλανήτη μας, την θερμαίνει. Το έδαφος, στη συνέχεια, επανεκπέμπει θερμότητα με την μορφή της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Ενώ, όμως η γήινη ατμόσφαιρα είναι διαφανής, όπως είπαμε, στην ορατή ακτινοβολία, δεν ισχύει το ίδιο για την υπέρυθρη. Αυτό οφείλεται στα αέρια του θερμοκηπίου που εμπεριέχει, τα οποία την παγιδεύουν, «φυλακίζοντας» παράλληλα και την θερμική ενέργεια που της αντιστοιχεί. Γι' αυτό και ο πλανήτης μας είναι

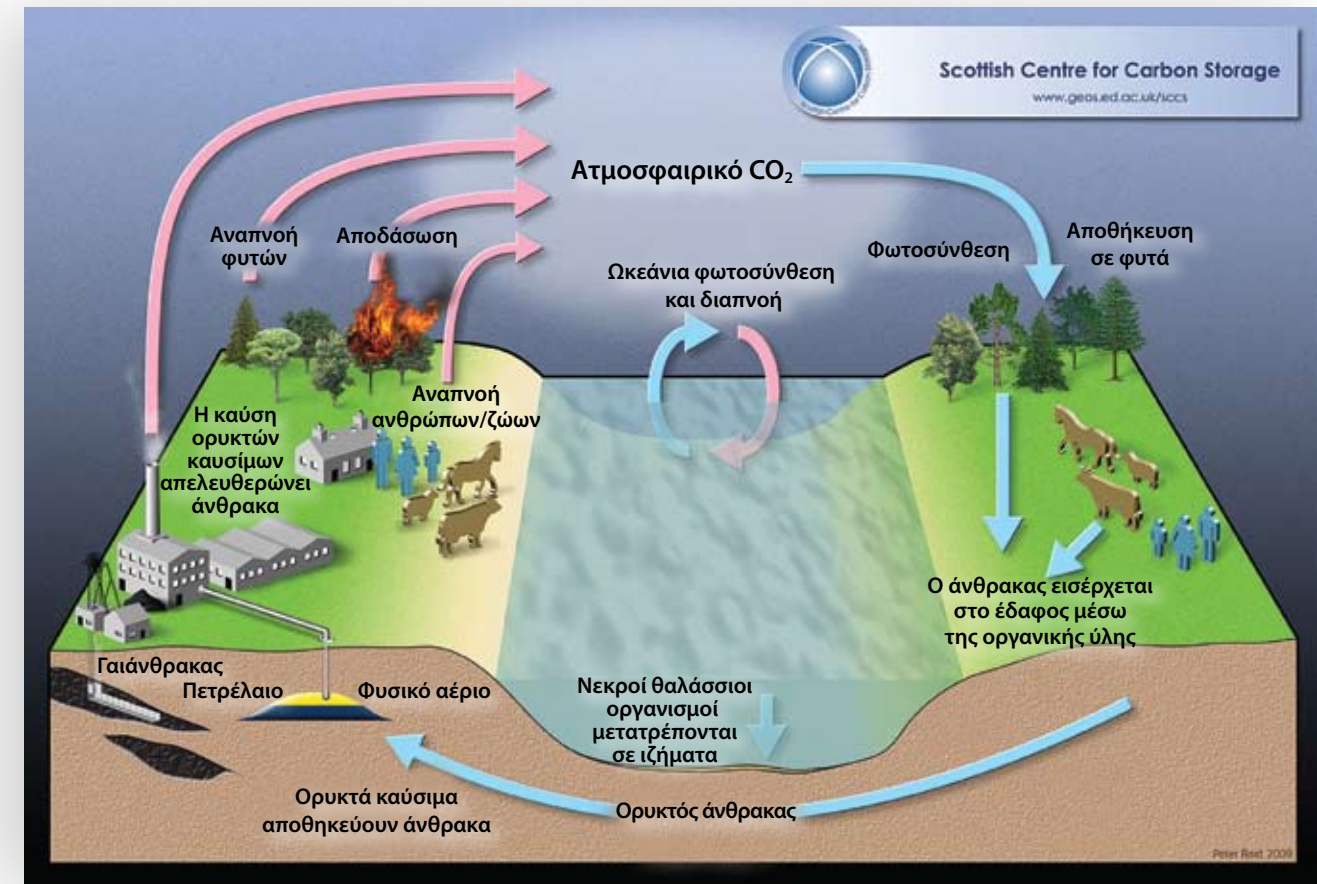
αρκετά θερμότερος απ' όσο θα ήταν χωρίς το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Ένα ακόμη στοιχείο ευνοϊκό για την ζωή είναι ότι ο πλανήτης μας διαθέτει έναν φυσικό «θερμοστάτη» που, όταν λειτουργεί σωστά, μειώνει σε βάθος χρόνου την θερμοκρασία του όταν αυτή αυξάνει υπερβολικά, και την αυξάνει όταν χαμηλώνει επικίνδυνα. Αυτός ο πολύπλοκος θερμοστάτης βασίζεται στην αλληλοσυμπληρούμενη λειτουργία τουλάχιστον τριών φυσικών μηχανισμών: του κύκλου

του νερού, του κύκλου του άνθρακα και της γεωτεκτονικής δραστηριότητας. Ο **κύκλος του νερού**, ή υδρολογικός κύκλος, είναι απλά η αέναη ανακύκλωση και μεταφορά του νερού από την ξηρά στους ωκεανούς, μέσω των τρεχούμενων υδάτων, εν συνεχεία από τους ωκεανούς και τα επιφανειακά νερά στην ατμόσφαιρα μέσω της εξάτμισης και εντέλει από την ατμόσφαιρα στην επιφάνεια της Γης, μέσω της συμπύκνωσης και κατακρήμνισης. Ο κύκλος του νερού, με τη σειρά του, συμβάλλει στην λειτουργία του **κύκλου του άνθρακα**, δηλα-



Σχηματική αναπαράσταση του κύκλου του νερού (φωτογρ. NASA Goddard Space Flight Center).



Σχηματική αναπαράσταση του κύκλου του άνθρακα (φωτογρ. Scottish Centre for Carbon Storage, School of GeoSciences, University of Edinburgh).

δή του βασικού μηχανισμού, με τον οποίο ανακυκλώνεται ο άνθρακας και κατά συνέπεια η περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε CO₂.

Αυτό που συμβαίνει είναι το εξής: το CO₂ που υπάρχει στην ατμόσφαιρα της Γης μεταφέρεται μέσω της βροχής στην επιφάνειά της. Εκεί, ένα ποσοστό του απορροφάται από τα επιφανειακά πετρώματα, ενώ κάποιο άλλο αλληλεπιδρά μ' αυτά, αποδεδειγμένα ασβέστιο, για να καταλήξει μέσω της διάβρωσης στους ωκεανούς. Οι μικροοργανισμοί που αποτελούν το πλαγκτόν δεσμεύουν στη συνέχεια CO₂ και ασβέστιο, με τα οποία κατασκευάζουν τους μικροσκοπικούς εξωσκελετούς τους. Όταν όμως οι μικροοργανισμοί αυτοί ολοκληρώσουν τον κύκλο της ζωής τους, τα νεκρά τους σώματα, μαζί με τα αποθέματά τους σε άνθρακα καταλήγουν στον ωκεάνιο πυθμένα, όπου και συσσωρεύονται το ένα πάνω στο άλλο, για να μετατραπούν με το πέρασμα του γεωλογικού χρόνου σε πετρώματα, όπως ο ασβεστόλιθος. Στην ξηρά, από την άλλη, ο άνθρακας που έχει δεσμευθεί από τα φυτά και τα ζώα του πλανήτη καταλήγει στο έδαφος, όταν αυτά πεθάνουν και αποσυντεθούν. Κάποιο ποσοστό του επιστρέφει στην ατμόσφαιρα, ενώ το υπόλοιπο καταλήγει στο εσωτερικό του γήινου φλοιού, όπου μετατρέπεται σε ορυκτούς υδρογονάνθρακες.

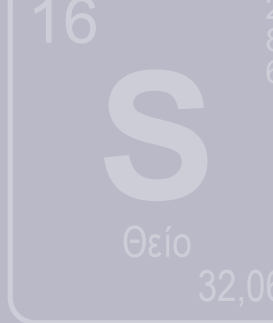
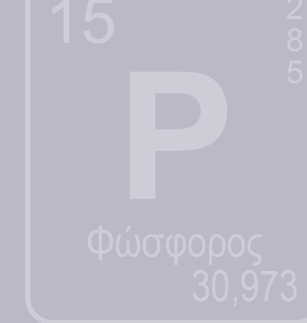
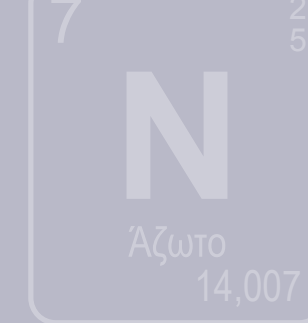
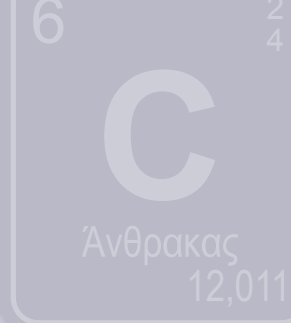
Εδώ «παρεμβαίνει» ο τρίτος μηχανισμός του πλανητικού μας θερμοστάτη, που δεν είναι άλλος από την **γεωτεκτονική δραστηριότητα**. Εξ αιτίας της κίνησης των τεκτονικών πλακών, τα πετρώματα που απορρόφησαν το ατμοσφαιρικό CO₂ είναι δυνατό να εισχωρήσουν βαθιά στο υπέδαφος, όπου χάρη στις τεράστιες θερμοκρασίες και πιέσεις το αποδεδειγμένα. Από τα βάθη του φλοιού της Γης,

τέλος, το CO₂ επιστρέφει στην ατμόσφαιρα μέσα από την ηφαιστειακή δραστηριότητα. Με δύο λόγια, ο κύκλος του άνθρακα, με τη συμβολή του κύκλου του νερού, απομακρύνει το CO₂ από τη γήινη ατμόσφαιρα και το μεταφέρει στους ωκεανούς και στον γήινο φλοιό, απ' όπου επιστρέφει στην ατμόσφαιρα με τις ηφαιστειακές εκρήξεις.

Τα όσα είπαμε ως τώρα σε καμία περίπτωση δεν υπονοούν ότι η εμφάνιση της ζωής είναι αδύνατη σε πλανήτες που βρίσκονται σε μεγάλες αποστάσεις από το άστρο τους ή σε δορυφόρους που δεν διαθέτουν ατμόσφαιρα. Για παράδειγμα, τέτοια ουράνια σώματα είναι πιθανό να έχουν ευνοήσει την εμφάνιση της ζωής κάτω από την επιφάνειά τους, αρκεί να διαθέτουν μια αρκετά «αποδοτική» εσωτερική πηγή ενέργειας. Η ενέργεια στο εσωτερικό ενός πλανήτη ή δορυφόρου οφείλεται κατά κύριο λόγο σε 3 φυσικούς μηχανισμούς, οι οποίοι επιδρούν συσσωρευτικά, αλλά και συμπληρωματικά ο ένας στον άλλο, καθ' όλη την διάρκεια της γεωλογικής τους εξέλιξης. Ο πρώτος απ' αυτούς είναι η **βαρυτική συστολή**, το γεγονός δηλαδή ότι κατά τα πρώτα, κυρίως, στάδια του σχηματισμού τους, αυτά τα ουράνια σώματα συσσωρεύουν πάνω τους όλο και μεγαλύτερες ποσότητες ύλης και, καθώς η μάζα τους αυξάνεται, η βαρυτική έλξη προς το κέντρο τους μεγαλώνει. Αυτό, όμως, επιδρά με την σειρά του στον ίδιο τον πλανήτη ή τον δορυφόρο, συρρικνώνοντάς τον και μετατρέποντας μέρος από τη βαρυτική του ενέργεια σε θερμότητα. Ο δεύτερος μηχανισμός παραγωγής θερμότητας στο εσωτερικό ενός ουράνιου σώματος είναι η φυσική διάσπαση των ραδιενεργών στοιχείων που εμπεριέχει, ενώ όπως θα δούμε και στο επόμενο κεφάλαιο, ο τρίτος μηχανισμός οφείλεται στις παλιρροϊκές δυνάμεις που ασκούνται στο εσωτερικό του ◀◀

Διοξείδιο του άνθρακα επιστρέφει στην ατμόσφαιρα μέσω των ηφαιστειακών εκρήξεων (φωτογρ. [Peter Hartree/Flickr](#), CC by SA 2.0).





3. Ζωή στο Ηλιακό Σύστημα

Με εξαίρεση την Γη, κανένα ουράνιο σώμα του Ηλιακού μας Συστήματος δεν έχει συνθήκες ευνοϊκές για την ανάπτυξη σύνθετων μορφών ζωής. Η ανακάλυψη, ωστόσο, των ακραιόφιλων οργανισμών εγείρει την συναρπαστική πιθανότητα να έχουν αναπτυχθεί τέτοιοι μικροοργανισμοί και σε κάποια άλλα από τα ουράνια σώματα που εμπεριέχει. Όπως είδαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, μία από τις βασικές προϋποθέσεις για την ζωή είναι η ύπαρξη νερού σε υγρή μορφή, που με την σειρά της εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την επιφανειακή θερμοκρασία και κατά συνέπεια από την απόσταση ενός πλανήτη από το άστρο του. Με άλλα λόγια, προκειμένου ένας πλανήτης να είναι ευνοϊκός για την ανάπτυξη ζωής, θα πρέπει να βρίσκεται σε τέτοια απόσταση από το άστρο του, ώστε να διατηρεί το νερό στην επιφάνειά του σε υγρή μορφή.

*Εικ.
Καλλιτεχνική αναπαράσταση
του Ηλιακού μας Συστήματος.*

Γύρω από τον Ήλιο, λοιπόν, αλλά και γύρω από κάθε άλλο άστρο, διαμορφώνεται μία Κατοικήσιμη Ζώνη, τα εξωτερικά όρια της οποίας προσδιορίζουν την μέγιστη και την ελάχιστη απόσταση από το μητρικό άστρο, όπου το νερό σ' έναν πλανήτη μπορεί να υπάρχει σε υγρή μορφή. Υπενθυμίζουμε, ωστόσο, ότι η θερμοκρασία ενός πλανήτη δεν εξαρτάται μόνο από την εγγύτητά του προς το άστρο του, αλλά και από άλλους παράγοντες, όπως την περιεκτικότητα της ατμόσφαιράς του σε αέρια του θερμοκηπίου, την ανακλαστικότητα της επιφάνειάς του, την ατμοσφαιρική και ωκεάνια κυ-

κλοφορία κ.ά.. Η φωτεινότητα, όμως, ενός άστρου δεν παραμένει σταθερή κατά την διάρκεια της εξέλιξής του, αλλά αυξάνει διαρκώς για όσο χρονικό διάστημα μετατρέπει το υδρογόνο του πυρήνα του σε ήλιο. Γι' αυτό και η Κατοικήσιμη Ζώνη ενός άστρου δεν παραμένει σε σταθερή απόσταση απ' αυτό, αλλά «μεταναστεύει» προς όλο και μεγαλύτερες αποστάσεις. Το ίδιο ισχύει και στο Ηλιακό μας Σύστημα, αφού σε περίπου 1 δισ. χρόνια η Κατοικήσιμη Ζώνη του θα έχει μεταναστεύσει σε μεγαλύτερες αποστάσεις, αφήνοντας τον πλανήτη μας έξω από την «προστασία» της. Καθώς η φωτεινότητα

του Ήλιου θα αυξάνει όλο και περισσότερο, οι ωκεανοί του πλανήτη μας θα εξατμίζονται όλο και ταχύτερα, φορτώνοντας την ατμόσφαιρά του με όλο και περισσότερους υδρατμούς, που θα δώσουν το έναυσμα για ένα ανεξέλεγκτο φαινόμενο του θερμοκηπίου, παρόμοιο ίσως μ' αυτό της Αφροδίτης.

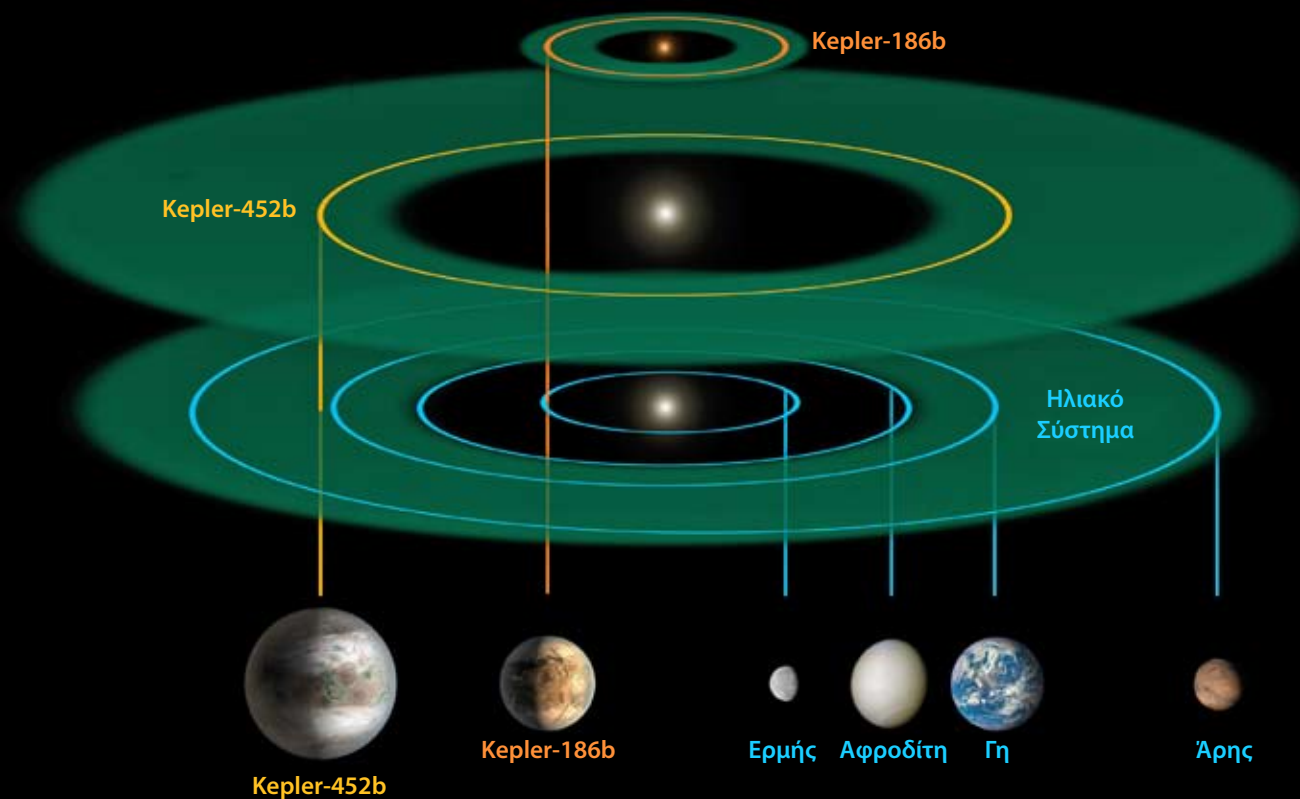
Ξεκινώντας από τον Ερμή, ο πλησιέστερος πλανήτης προς τον Ήλιο δεν έχει τις συνθήκες που απαιτούνται για την ανάπτυξη της ζωής. Πραγματικά, ο πλανήτης αυτός βρίσκεται τόσο κοντά στον Ήλιο, ώστε η θερμοκρασία στο ημισφαίριό του που βλέπει προς αυτόν ανέρχεται στους 427 °C, την ίδια στιγμή που η θερμοκρασία στο αντίθετο ημισφαίριο βυθίζεται στους -173 °C. Επιπλέον, η μικρή του μάζα, και κατά συνέπεια η ασθενής βαρυτική του έλξη, δεν επέτρεψαν στον Ερμή να διατηρήσει ατμόσφαιρα που θα συνέβαλλε στην εξισορρόπηση των θερμοκρασιών στα δύο του ημισφαίρια. Εκτός αυτού, η σχεδόν ανύπαρκτη ατμόσφαιρα του Ερμή, η απουσία ασπίδας του όζοντος και το ασθενές μαγνητικό του πεδίο αφήνουν τον πλανήτη αυτόν απροστάτευτο απέναντι στην υπεριώδη ακτινοβολία του Ήλιου και τον ηλιακό άνεμο.

Όσο κι αν ακούγεται απίστευτο, η Αφροδίτη έχει ακόμη υψηλότερη επιφανειακή θερμοκρασία από τον Ερμή, παρόλο που βρίσκεται σε μεγαλύτερη απόσταση από τον Ήλιο. Αυτές οι ακραία υψηλές θερμοκρασίες στην επιφάνεια της Αφροδίτης οφείλονται σε ένα ανεξέλεγκτο και αυτοτροφοδοτούμενο φαινόμενο του θερμοκηπίου, το οποίο προκαλείται από την τεράστια συσσώρευση CO₂, που παγιδεύει την υπέρυθη ακτινοβολία, καθιστώντας έτσι την Αφροδίτη εντελώς εχθρική στην εμφάνιση οποιασδήποτε μορφής ζωής. Πραγματικά, η γε-

μάτη CO₂ ατμόσφαιρά της είναι τόσο πυκνή, ώστε η πίεση στην επιφάνειά της είναι τουλάχιστον 90 φορές μεγαλύτερη απ' αυτήν της Γης, ενώ η θερμοκρασία της αγγίζει τους 465°C.

Ούτε, όμως, το ερημωμένο, άνυδρο και παγωμένο τοπίο του Άρη ευνοεί σήμερα την παρουσία της ζωής. Η ατμόσφαιρα του κόκκινου πλανήτη αποτελείται σχεδόν αποκλειστικά από CO₂ και είναι τόσο αραιή, ώστε δεν μπορεί να διατηρεί το νερό στην επιφάνειά του σε υγρή μορφή, παρά μόνο φευγαλέα. Εκτός αυτού, η απουσία ασπίδας του όζοντος,

Σύνθετη εικόνα της Αφροδίτης από την διαστημοσυσκευή Magellan (φωτογρ. NASA/JPL).



Αναπαράσταση της Κατοικήσιμης Ζώνης τριών πλανητικών συστημάτων του: Kepler-452, του Kepler-186 και του δικού μας (φωτογρ. NASA Ames/JPL-CalTech/R. Hurt).

αλλά και το ιδιαίτερα ασθενές μαγνητικό του πεδίο, αφήνουν τον πλανήτη αυτόν εντελώς απροστάτευτο στην υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία και τα ενεργητικά σωματίδια του ηλιακού ανέμου και των κοσμικών ακτίνων. Παρόλα αυτά, οι περισσότεροι επιστήμονες συμφωνούν ότι στο απώτερο παρελθόν του ο Άρης διέθετε νερό σε υγρή μορφή και μάλιστα σε μεγάλες ποσότητες. Οι πρώτες ενδείξεις για το υγρό παρελθόν του Άρη ήρθαν στο φως χάρη στις εικόνες που ελήφθησαν από την διαστημοσυσκευή Mariner 9 το 1971–72, πολλές από τις οποίες απεικονίζουν εμφανή ίχνη διάβρωσης της επιφάνειάς του. Έκτοτε, οι διαστημοσυσκευές και τα τροχιακά αστεροσκοπεία που τέθηκαν σε τροχιά γύρω από τον κόκκινο πλανήτη, καθώς και τα ρομποτικά οχήματα που προσεδάφιστηκαν στην επιφάνειά του, ανακάλυψαν σημαντικές ποσότητες πάγου, τόσο στους πόλους του όσο και στο υπέδαφός του.

Γνωρίζουμε, για παράδειγμα, ότι ο πάγος που έχει συσσωρευτεί στον νότιο πόλο του έχει πάχος 3,7 km, αρκετό δηλαδή, ώστε να καλύψει ολόκληρη την επιφάνεια του Άρη κάτω από τουλάχιστον 10 m νερού. Σύμφωνα, ωστόσο, με τις τελευταίες αναλύσεις των δεδομένων που συνέλεξε η διαστημοσυσκευή MAVEN, το νερό που υπήρχε κάποτε στην

επιφάνεια του κόκκινου πλανήτη ήταν τόσο πολύ, ώστε θα μπορούσε να την καλύψει σε βάθος 137 m. Πραγματικά, όλα τα στοιχεία που έχουμε συλλέξει ως τώρα καταδεικνύουν ότι ο πλανήτης αυτός ήταν κάποτε ένας αρκετά πιο θερμός και «υγρός» πλανήτης, με σημαντική ατμόσφαιρα και αρκετά υψηλότερη επιφανειακή θερμοκρασία και πίεση, ενώ το νερό στην επιφάνειά του σχημάτιζε ποτάμια, λίμνες και θάλασσες. Δεν γνωρίζουμε ακόμη επακριβώς το πώς εντέλει έχασε ο Άρης το νερό που κάποτε διέθετε ή εάν μέρος του κατέληξε με κάποιον τρόπο στο εσωτερικό του. Σύμφωνα, ωστόσο, με τις έως τώρα έρευνες, ο Άρης απώλεσε το νερό του, όταν εξασθένησε η προστατευτική ασπίδα του μαγνητικού του πεδίου, γεγονός που επέτρεψε στα σωματίδια του ηλιακού ανέμου να συμπαρασύρουν την ατμόσφαιρά του στο Διάστημα. Το γεγονός, όμως, ότι στον πλανήτη αυτόν επικρατούσαν κάποτε συνθήκες κατάλληλες για την εμφάνιση της ζωής είναι εξαιρετικά ενδιαφέρον, αφού σε εκείνο το σαφώς ευνοϊκότερο περιβάλλον θα μπορούσαν άνετα να έχουν αναπτυχθεί μικροβιακές μορφές ζωής. Θα μπορούσαν άραγε κατάλοιπα αυτής της ζωής να έχουν επιβιώσει ακόμη και σήμερα βαθιά στο υπέδαφος; Ίσως το μάθουμε κάποτε.

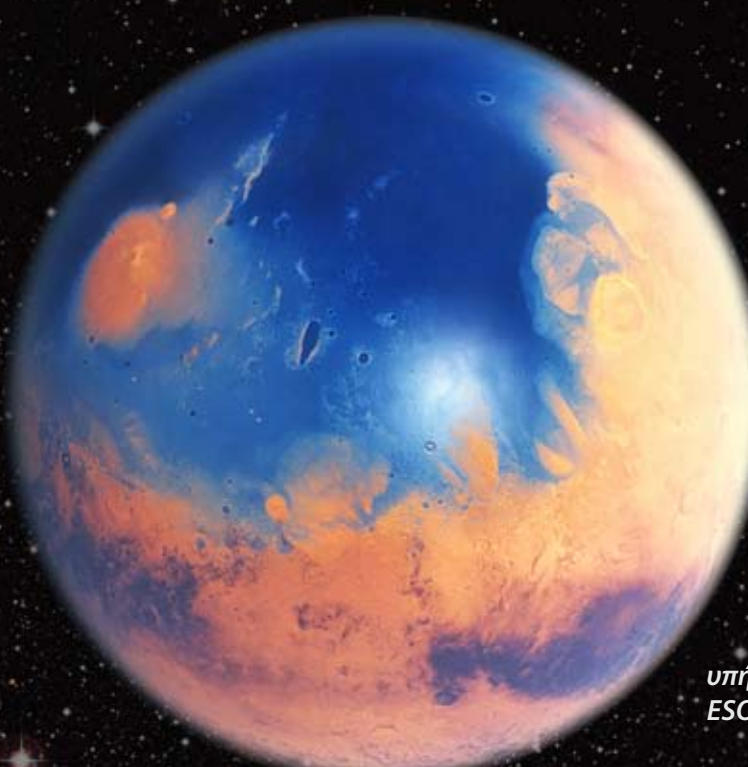
Ο Δίας, ο Κρόνος, ο Ουρανός και ο Ποσειδώνας

από την άλλη, μοιάζει απίθανο να φιλοξενούν μικροβιακές μορφές ζωής. Πραγματικά, οι αέριοι γίγαντες του Ηλιακού μας συστήματος δεν έχουν στερεή επιφάνεια και βρίσκονται σαφώς εκτός της Κατοικήσιμης Ζώνης. Οι χαμηλές θερμοκρασίες στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιράς τους και οι υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες που επικρατούν βαθιά στο εσωτερικό τους είναι απαγορευτικές για οποιαδήποτε μορφή ζωής. Κι όμως, θεωρητικά τουλάχιστον, ορισμένοι από τους δορυφόρους τους θα μπορούσαν να φιλοξενούν μικροβιακές μορφές ζωής, παρόλο που κι αυτοί βρίσκονται εκτός της Κατοικήσιμης Ζώνης. Είναι γεγονός ότι οι περισσότεροι από τους δορυφόρους αυτούς περιέχουν μεγάλες ποσότητες νερού, έστω και με την μορφή πάγου, ενώ ορισμένοι από αυτούς περιέχουν και συμπυκνωμένους υδρογονάνθρακες, καθώς και άλλες οργανικές ενώσεις στην επιφάνειά τους. Το πρόβλημα που αντιμετωπίζει η πιθανή ύπαρξη ζωής σ' αυτούς είναι ότι εξαιτίας της μεγάλης τους απόστασης από τον Ήλιο, η επιφανειακή τους θερμοκρασία είναι απαγορευτικά χαμηλή. Υπάρχει, όμως, ένας φυσικός μηχανισμός που, σε κάποιους από αυτούς τουλάχιστον, μπορεί να αυξήσει την θερμοκρασία στο εσωτερικό τους, τόσο πολύ μάλιστα ώστε να διατηρούν το νερό που υπάρχει εκεί σε υγρή μορ-

φή. Ο μηχανισμός αυτός δεν είναι άλλος από την **παλιρροϊκή θέρμανση**.

Καθώς, δηλαδή, οι δορυφόροι αυτοί κινούνται γύρω από τον πλανήτη τους, οι παλιρροϊκές δυνάμεις που ασκούνται στον βραχώδη πυρήνα τους, απελευθερώνουν εξαιτίας της τριβής τεράστια ποσά θερμότητας που θερμαίνουν το εσωτερικό τους. Ως τώρα γνωρίζουμε ότι δύο τουλάχιστον από τους παγωμένους αυτούς κόσμους υπόκεινται σε αρκετή παλιρροϊκή θέρμανση, ώστε να κρύβουν στο εσωτερικό τους νερό σε υγρή μορφή: η Ευρώπη, ένας από τους δορυφόρους του Δία, και ο Εγκέλαδος, ένας από τους δορυφόρους του Κρόνου. Σοβαρές ενδείξεις για την ύπαρξη υπόγειων ωκεανών έχουν εντοπιστεί και σε άλλους δορυφόρους του Δία, όπως ο Γανυμήδης και η Καλλιστώ. Σε αντίθεση όμως με την Ευρώπη και τον Εγκέλαδο, οι ωκεανοί των δύο αυτών δορυφόρων ει- κάζεται ότι βρίσκονται φυλακισμένοι ανάμεσα σε διαδοχικά στρώματα πάγου. Οι υπόγειοι ωκεανοί της Ευρώπης και του Εγκέλαδου αντιθέτως, πρέπει να βρίσκονται σε επαφή με τον βραχώδη πυρήνα τους, που σημαίνει ότι οι συνθήκες εκεί θα μπορούσαν να είναι παραπλήσιες μ' αυτές που επικρατούν στους ωκεάνιους πυθμένες του πλανήτη μας και ειδικότερα στις υδροθερμικές αναβλύσεις.

Το άνυδρο τοπίο του Άρη (φωτογρ. NASA/Timothy Parker, JPL).




Καλλιτεχνική αναπαράσταση της επιφάνειας του Άρη πριν από 4 δισ. χρόνια, όταν στο βόρειο ημισφαίριό του υπήρχε ένας ωκεανός [φωτογρ. ESO/M. Kornmesser/N. Risinger (skysurvey.org)].



Κάτω από την επιφάνεια της Ευρώπης εικάζεται ότι εκτείνεται ένας τεράστιος ωκεανός (φωτογρ. NASA/JPL-Caltech/SETI Institute).

Πραγματικά, χάρη στα δεδομένα που συνέλεξαν αρχικά οι διαστημοσυσσκευές **Voyager 1** το 1979 και **Galileo** το 1996–97, αλλά και με την βοήθεια της έρευνας που ακολούθησε, οι περισσότεροι επιστήμονες σήμερα συμφωνούν ότι κάτω από το παχύ στρώμα πάγου που την καλύπτει, η Ευρώπη κρύβει έναν ωκεανό, που ίσως και να εμπεριέχει περισσότερο νερό απ’ όλους τους ωκεανούς της Γης. Εάν οι ενδείξεις για την ύπαρξη ενός υπόγειου ωκεανού στην Ευρώπη είναι ισχυρές, για την περίπτωση του Εγκέλαδου δεν μιλούμε πλέον για ενδείξεις, αλλά για αποδείξεις. Όπως επιβεβαίωσε η διαστημοσυσσκευή **Cassini**, ο παγωμένος αυτός κόσμος διαθέτει τουλάχιστον 100 πίδακες γκείζερ, συγκεντρωμένους στον νότιο πόλο του δορυφόρου, οι οποίοι εκτινάσσουν παγωμένους υδρατμούς, αναμιγμένους με υδρογονάνθρακες και άλλα οργανικά μόρια. Όπως, μάλιστα, ανακοίνωσε η NASA τον Σεπτέμβριο του 2015, οι πίδακες αυτοί τροφοδοτούνται από έναν τεράστιο υπόγειο ωκεανό με νερό σε υγρή μορφή. Δεν γνωρίζουμε ακόμη εάν στους υπόγειους ωκεανούς της Ευρώπης και του Εγκέλαδου έχουν εμφανιστεί μορφές ζωής. Θεωρητικά, πάντως, η συναρπαστική αυτή πιθανότητα δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να αποκλειστεί.

Ο Τιτάνας, ο μεγαλύτερος δορυφόρος του Κρόνου, παρουσιάζει κι αυτός εξαιρετικό ενδιαφέρον για τους αστρονόμους. Πραγματικά ο Τιτάνας είναι ο μοναδικός δορυφόρος του Ηλιακού Συστήματος, που περιβάλλεται από πυκνή ατμόσφαιρα, αλλά και ο μοναδικός που διαθέτει εκατοντάδες λίμνες και θάλασσες, με την μόνη διαφορά ότι οι υγρές αυτές εκτάσεις δεν είναι υδάτινες, αλλά αποτελούνται από αιθάνιο και μεθάνιο. Το μεγαλύτερο ποσοστό της ατμόσφαιρας του Τιτάνα αποτελείται από άζωτο, αναμιγμένο με ενώσεις υδρογονανθράκων,



Καλλιτεχνική αναπαράσταση του υπόγειου ωκεανού της Ευρώπης (φωτογρ. NASA/JPL-Caltech).

όπως το μεθάνιο, ενώ το εσωτερικό του αποτελείται από πετρώματα και πάγους και η επιφανειακή του θερμοκρασία δεν υπερβαίνει τους $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$. Η ζωή, όπως τουλάχιστον την γνωρίζουμε, είναι αδύνατο να έχει εμφανιστεί και να έχει επιβιώσει σ' αυτό το αφιλόξενο και παγωμένο περιβάλλον υγρού μεθανίου και αιθανίου, ακόμη και στην απλούστερη και πλέον ανθεκτική της μορφή. Όσο απίθανη, όμως κι αν είναι η ζωή στον Τιτάνα, θεωρητικά τουλάχιστον δεν μπορούμε να αποκλείσουμε την πιθανότητα να υπάρχουν μορφές ζωής, εντελώς ξένες σε σχέση με τα όσα γνωρίζουμε ως τώρα. Μικροσκοπικές, ίσως, μορφές ζωής, που δεν βασίζονται στον άνθρακα και που αντί για νερό χρησιμοποιούν άλλες χημικές ενώσεις ως διαλύτη.

Με επιφανειακή θερμοκρασία που δεν υπερβαίνει τους $-230\text{ }^{\circ}\text{C}$, η ύπαρξη ζωής στην επιφάνεια του πλανήτη-νάνου Πλούτωνα είναι αδύνατη. Ωστόσο, χάρη στην ανάλυση των πρώτων δεδομένων που συνέλεξε η διαστημοσυσκευή New Horizons, η οποία τον «επισκέφτηκε» τον Ιούλιο του 2015, δεν είναι απίθανο να υπάρχει και εδώ ένας υπόγειος ωκεανός. Όπως, όμως, προειδοποιούν οι επιστήμονες της αποστολής, είναι ακόμη πολύ νωρίς για να εξαχθούν οποιαδήποτε συμπεράσματα. Βέβαια, το πιθανότερο είναι ότι τελικά η ζωή δεν στέριωσε ποτέ σ' αυτόν τον πλανήτη-νάνο, αφού η ενέργεια που εκλύεται στο εσωτερικό του μάλλον δεν επαρκεί, ώστε να ενεργοποιήσει τις βιοχημικές αντιδράσεις της ζωής.

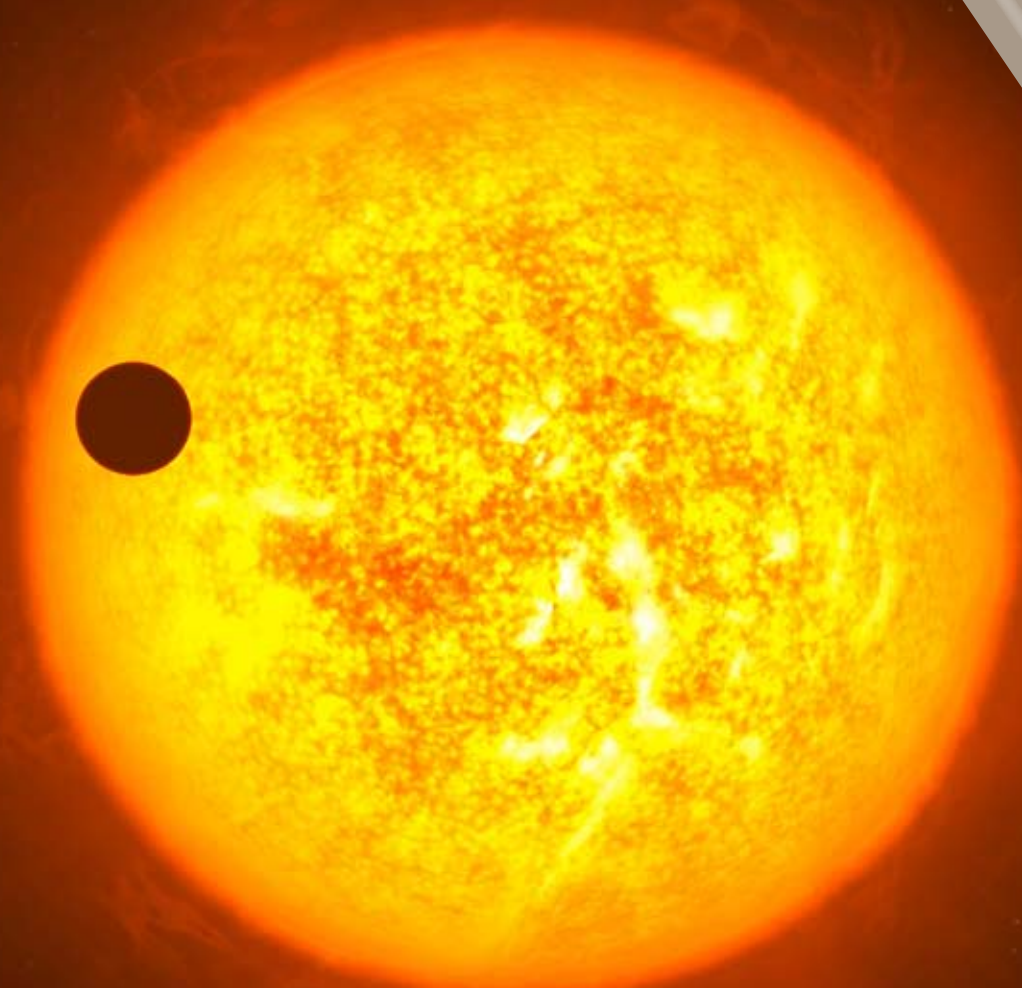
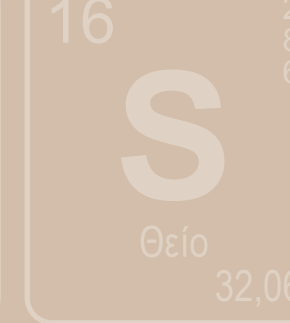
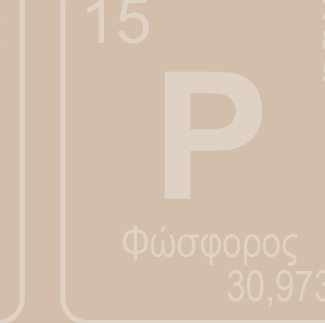
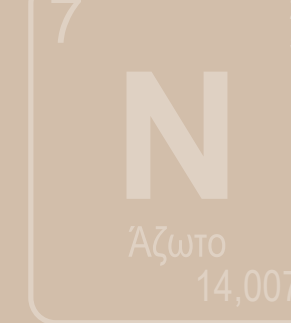
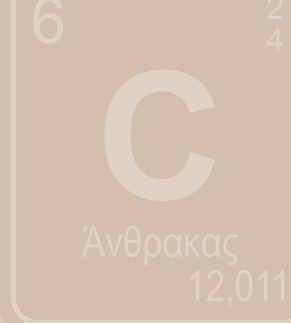
Η αναζήτηση μικροβιακών μορφών ζωής στους πλανήτες και τους δορυφόρους του Ηλιακού μας Συστήματος βρίσκεται ακόμη στα σπάργα, αφού οι πρακτικές δυσκολίες αυτού του εγχειρήματος είναι τεράστιες και προς το παρόν μόνο

εικασίες βασισμένες στις έως τώρα γνώσεις μας μπορούμε να κάνουμε. Είναι γεγονός, πάντως, ότι περισσότερες πιθανότητες έχουμε να εντοπίσουμε εξωγήινους μικροοργανισμούς στους παγωμένους δορυφόρους του Ηλιακού μας Συστήματος, παρά στην κόλαση της Αφροδίτης και του Ερμή. Ο κόκκινος πλανήτης, ωστόσο, εξακολουθεί να μας ενδιαφέρει, αφού είναι σχεδόν βέβαιο ότι δισεκατομμύρια χρόνια πριν ο πλανήτης αυτός διέθετε όλα τα βασικά προαπαιτούμενα της ζωής και γ' αυτό δεν μπορούμε να αποκλείσουμε την πιθανότητα να έχουν επιβιώσει μικροβιακές μορφές της βαθιά στο υπέδαφος. Ακόμη, όμως, και στην περίπτωση που αποδειχθεί ότι δεν υπάρχει σήμερα ζωή στον Άρη, αυτό δεν αποτελεί απόδειξη για την απουσία ζωής και κατά το παρελθόν του.

Η ανακάλυψη, από την άλλη, ενός υπόγειου ωκεανού στον Εγκέλαδο και οι όλο ισχυρότερες ενδείξεις για την ύπαρξη ενός άλλου στην Ευρώπη, ανοίγει ένα νέο κεφάλαιο στην αναζήτηση της ζωής στο Ηλιακό μας Σύστημα. Παρά τις τεράστιες δυσκολίες, που συνεπάγεται αυτό το εγχείρημα, τα πρώτα βήματα για την εξερεύνηση των παγωμένων αυτών κόσμων έχουν ήδη γίνει. Για παράδειγμα, ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Διαστήματος ESA ενέκρινε την υλοποίηση της διαστημικής αποστολής **JUICE**, η οποία αναμένεται να εκτοξευθεί το 2022, με κύριο στόχο την συλλογή δεδομένων για τους δορυφόρους Γανυμήδη, Καλλιστώ και Ευρώπη. Εκτός, αυτού, η NASA διερευνά την δυνατότητα μιας διαστημικής αποστολής προς την Ευρώπη, η οποία εάν υλοποιηθεί, θα διερευνήσει το κατά πόσο οι συνθήκες που επικρατούν στον παγωμένο αυτό δορυφόρο θα μπορούσαν να ευνοήσουν την εμφάνιση ζωής ◀◀

Καλλιτεχνική αναπαράσταση της διαστημοσυσκευής New Horizons (φωτογρ. NASA).





4. Αναζητώντας μιαν άλλη Γη

Με την φαντασία μας ταξιδέψαμε σε παράξενους κόσμους πέρα από το Ηλιακό μας Σύστημα, πολύ πριν αρχίσουμε να τους ανακαλύπτουμε με την βοήθεια των τηλεσκοπίων μας. Αυτό, όμως, που ήταν κάποτε επιστημονική φαντασία είναι πλέον πραγματικότητα και κάθε χρόνο ανακαλύπτουμε νέους εξωπλανήτες γύρω από άλλα άστρα. Από την ανακάλυψη του πρώτου εξωπλανήτη το 1995 μέχρι τον Δεκέμβριο του 2015, έχουν ανακαλυφθεί περίπου 2.000 εξωπλανήτες, ενώ άλλοι 4.500 πιθανοί εξωπλανήτες περιμένουν την επιβεβαίωση της πλανητικής τους ιδιότητας. Σύμφωνα, ωστόσο, με τις τελευταίες θεωρητικές εκτιμήσεις, μόνο ο Γαλαξίας μας πρέπει να εμπεριέχει δεκάδες δισεκατομμύρια εξωπλανήτες. Κάποιες μελέτες, μάλιστα, υπολογίζουν ότι 11 δισ. απ' αυτούς είναι βραχώδεις, περιφέρονται γύρω από άστρα παρόμοια με τον Ήλιο και βρίσκονται στην Κατοικήσιμη Ζώνη του άστρου τους, με ό,τι αυτό μπορεί να συνεπάγεται για την πιθανότητα να έχει εμφανιστεί σε κάποιους απ' αυτούς η ζωή. Με ποιους, όμως, τρόπους ανακαλύπτουν οι αστρονόμοι νέους εξωπλανήτες και ποιοι απ' αυτούς έχουν συνθήκες ευνοϊκές για την ζωή;

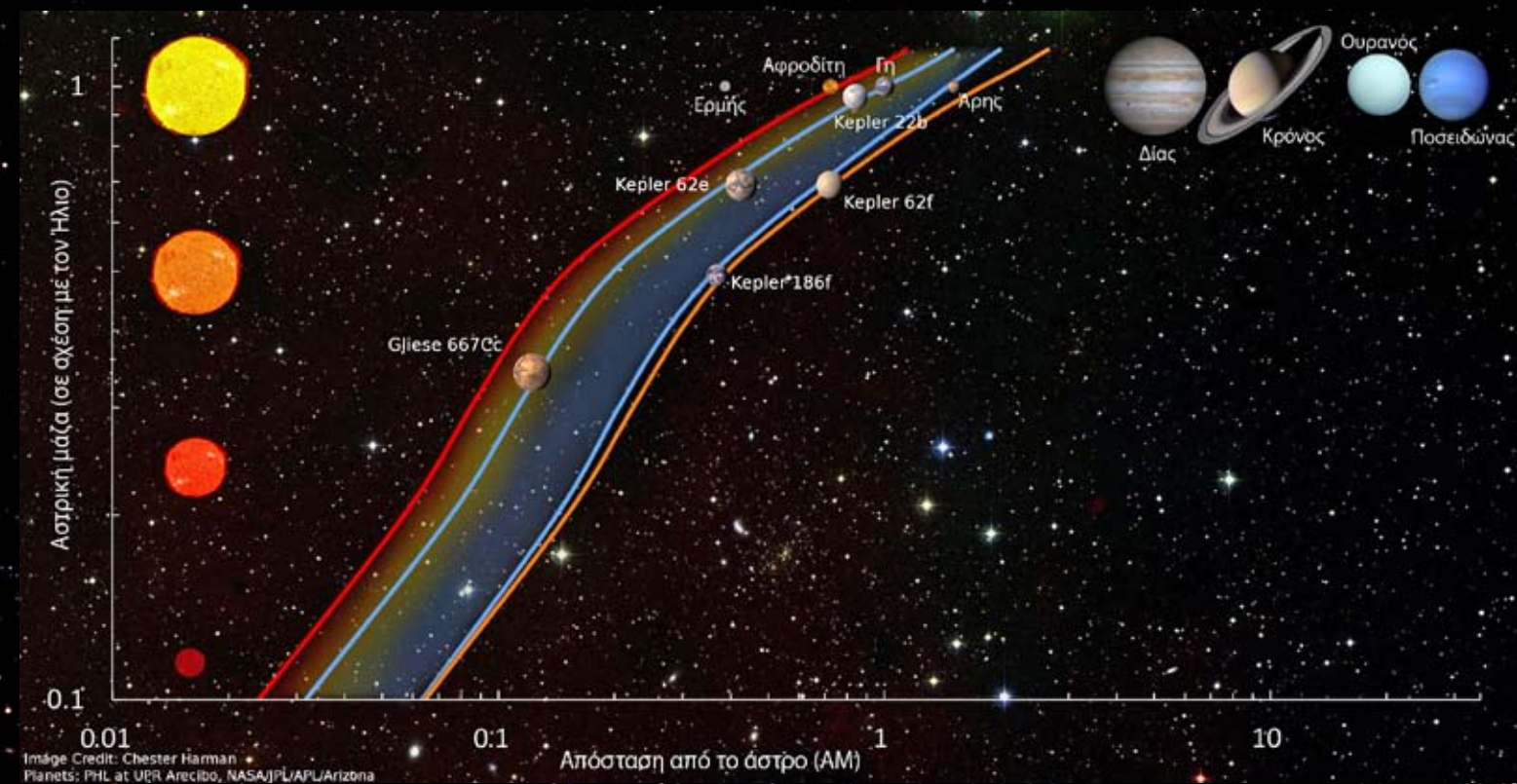
*Εικ.
Καλλιτεχνική αναπαράσταση
του εξωπλανήτη Corot-9b, καθώς
διέρχεται μπροστά από το άστρο
του (φωτογρ. ESO/L. Calçada).*

Δεδομένου του τεράστιου αριθμού των άστρων του Γαλαξία μας, αλλά και του εξίσου μεγάλου αριθμού εξωπλανητών που εικάζεται ότι υπάρχουν, για να έχει οποιοδήποτε πρακτικό νόημα η αναζήτηση άλλων κόσμων, ευνοϊκών για την ζωή, θα πρέπει με κάποιο τρόπο να περιοριστεί σε πιο «διαχειρίσιμα» νούμερα. Ένα πρώτο «φίλτρο» προς αυτήν την κατεύθυνση είναι να αποκλείσουμε από την έρευνά μας τα άστρα με τις μεγαλύτερες μάζες, αφού η διάρκεια ζωής τους δεν υπερβαίνει τα λίγα εκατ. έτη και ως εκ τούτου η ζωή δεν θα είχε τον απαραίτητο χρόνο για να εμφανιστεί, πόσο μάλλον να εξελιχθεί σε πιο σύνθετες μορφές. Τα μικρότερα άστρα του Σύμπαντος, από την άλλη, είναι οι κόκκινοι νάνοι, οι οποίοι καταναλώνουν με τόσο αργό ρυθμό τα πυρηνικά τους καύσιμα, ώστε συνεχίζουν να λάμπουν ακόμη και για εκατοντάδες δις. έτη, παρέχοντας έτσι άπλετο χρόνο για την εμφάνιση και την εξέλιξη της ζωής. Ούτε, όμως, αυτά τα άστρα είναι ιδιαίτερος ευνοϊκά για την ζωή. Κατ' αρχάς, η Κατοικήσιμη Ζώνη των κόκκινων νάνων βρίσκεται σε τόσο μικρή απόσταση απ' αυτούς, ώστε ακόμη και εάν σχηματιστεί στο εσωτερικό της ένας πλανήτης, οι παλιρροϊκές δυνάμεις του κόκκινου νάνου θα τον εγκλώβιζαν σε σύγχρονη περιφορά γύρω του. Με άλλα λόγια, ο πλανήτης αυτός θα συμπλήρωνε μία περιστροφή γύρω από τον άξονά του στον ίδιο χρόνο που θα διέγραφε μία περιφορά γύρω από το άστρο του, και κατά συνέπεια θα έστρεφε διαρκώς την ίδια όψη του προς αυτό. Σ' αυτήν την περίπτωση όμως, το ημισφαίριο του πλανήτη που βλέπει προς το άστρο θα είχε ακραία υψηλές θερμοκρασίες, ενώ το αντίθετο θα ήταν παγωμένο. Εκτός αυτού, στα πρώτα στάδια της εξέλιξής τους κυρίως, οι κόκκινοι νάνοι είναι ιδιαίτερα ασταθείς, εκτινάσσοντας ισχυρές εκλάμψεις, καθώς και τεράστιες ποσότητες

φορτισμένων σωματιδίων, που θα «αποστέρωναν» την πλευρά του πλανήτη που είναι στραμμένη προς αυτούς, καθιστώντας έτσι τα πρώτα βήματα της ζωής εκεί απαγορευτικά.

Στο μέσο περίπου των δύο αυτών ακραίων καταστάσεων, τα άστρα με παραπλήσια μάζα και φωτεινότητα μ' αυτήν του Ήλιου αποτελούν τους καλύτερους υποψήφιους για την αναζήτηση δυνητικά κατοικήσιμων εξωπλανητών. Εάν, λοιπόν, υποθέσουμε ότι αναζητούμε εξωπλανήτες που περιφέρονται γύρω από άστρα σαν τον Ήλιο, με ποιους τρόπους μπορούμε να τους εντοπίσουμε; Ο απευθείας εντοπισμός ενός εξωπλανήτη, με την φωτογράφησή του για παράδειγμα, είναι ιδιαίτερα δύσκολος με την σημερινή τεχνολογία και υπό προϋποθέσεις μπορεί να εφαρμοστεί μόνο για τα πλησιέστερα σε μας άστρα. Δεδομένου ότι οι πλανήτες είναι ετερόφωτα σώματα, δηλαδή δεν εκπέμπουν το δικό τους φως αλλά ανακλούν εκείνο του άστρου τους, η μικροσκοπική αυτή αντανάκλαση συνήθως χάνεται δίπλα στην εκτυφλωτική λάμψη του άστρου, γι' αυτό και η απευθείας ανακάλυψη ενός εξωπλανήτη είναι πολύ δύσκολη. Αντιθέτως, οι περισσότεροι απ' τους εξωπλανήτες που ανακαλύφθηκαν μέχρι σήμερα, εντοπίστηκαν με άλλες, «έμμεσες» μεθόδους, που βασίζονται στην ανίχνευση της ανεπαίσθητης επίδρασης που ασκούν στο άστρο, γύρω από το οποίο περιφέρονται.

Είναι, δηλαδή, προφανές ότι όσο μεγαλύτερος είναι ένας πλανήτης, τόσο μεγαλύτερη είναι και η επίδραση που ασκεί στο μητρικό του άστρο και τόσο ευκολότερα μπορεί να εντοπιστεί από τους αστρονόμους. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο οι περισσότεροι από τους εξωπλανήτες που έχουν ανακαλυφθεί μέχρι σήμερα είναι αέριοι γί-



Διάγραμμα της Κατοικήσιμης Ζώνης διαφορετικών άστρων. Όσο μεγαλύτερη είναι η μάζα ενός άστρου τόσο μακρύτερα απ' αυτό βρίσκεται η Κατοικήσιμη Ζώνη του (φωτογρ. Chester Harman).

γαντες με μάζα τουλάχιστον δεκαπλάσια απ' αυτήν της Γης, σε τροχιές μικρότερης ακτίνας ακόμη κι απ' αυτήν στην οποία περιφέρεται ο Ερμής. Αυτού του είδους οι εξωπλανήτες ονομάζονται για ευνόητους λόγους **Καυτοί Δίες**. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ενός τέτοιου εξωπλανήτη είναι και ο πρώτος εξωπλανήτης που ανακαλύφθηκε το 1995 στο άστρο 51 Πηγασού, περίπου 50 έτη φωτός μακριά από την Γη. Πρόκειται για έναν πλανήτη με μάζα τη μισή περίπου από εκείνη του Δία, σε τροχιά μικρότερη και από αυτήν του Ερμή, γι' αυτό εξάλλου και η θερμοκρασία του υπερβαίνει τους 1000 °C. Έτσι, με την τεχνολογία που διαθέτουμε σήμερα, χρησι-

μοποιούνται πολλές διαφορετικές τεχνικές για την ανίχνευση εξωπλανητών, οι σπουδαιότερες απ' τις οποίες βασίζονται είτε στην καταγραφή της βαρυτικής επίδρασης που ασκεί ένας εξωπλανήτης στο άστρο του, είτε στην παρατήρηση της μείωσης της λάμψης ενός άστρου, που προκαλείται όταν ένας αόρατος εξωπλανήτης διέρχεται μπροστά από τον δίσκο του άστρου του.

Στην πρώτη περίπτωση, ακριβώς όπως ένας πλανήτης διαγράφει ελλειπτική τροχιά γύρω από ένα άστρο, καθώς έλκεται από την βαρυτική του έλξη, έτσι και το άστρο, αντιδρώντας στην ανεπαίσθητη

βαρυτική έλξη του αόρατου πλανήτη, αναγκάζεται να διαγράψει την δική του μικροσκοπική τροχιά γύρω από το κοινό κέντρο μάζας του πλανητικού συστήματος. Αν και η μετατόπιση αυτή δεν μπορεί να παρατηρηθεί άμεσα, με την βοήθεια ενός φασματογράφου μπορούμε να αναλύσουμε το αστρικό φως στα συστατικά του χρώματα, δημιουργώντας το χαρακτηριστικό «φάσμα» του άστρου με τις σκοτεινές του γραμμές. Οι γραμμές οφείλονται στην απορρόφηση συγκεκριμένων μηκών κύματος του αστρικού φωτός από την ατμόσφαιρά του, γεγονός που μετατρέπει το συνεχές φάσμα σε γραμμικό. Καθώς, όμως, το άστρο κινείται γύρω από το κέντρο μάζας του, τότε απομακρύνεται από το τηλεσκόπιό μας και πότε πλησιάζει, με αποτέλεσμα να μετατοπίζονται και οι φασματικές του γραμμές: προς την μπλε περιοχή του φάσματος όταν το άστρο μας πλησιάζει και προς την κόκκινη

περιοχή, όταν το άστρο απομακρύνεται από εμάς. Ουσιαστικά, το φαινόμενο στο οποίο βασίζεται αυτός ο τρόπος ανίχνευσης εξωπλανητών είναι το φαινόμενο Doppler, σύμφωνα με το οποίο ο ήχος της σειρήνας ενός ασθενοφόρου που μας πλησιάζει ακούγεται πιο οξύς, ενώ όταν απομακρύνεται ακούγεται πιο μπάσος από το κανονικό. Η περιοδική αυτή «ταλάντωση» των φασματικών γραμμών αποδεικνύει την ύπαρξη ενός εξωπλανήτη, ενώ με την κατάλληλη επεξεργασία και τις γνώσεις μας για την βαρύτητα, μπορούμε να υπολογίσουμε την περίοδο περιφοράς του, την μάζα του, καθώς και την απόστασή του από το άστρο του. Αυτή η μέθοδος, ωστόσο, δεν μπορεί να μας δώσει πληροφορίες για την διάμετρο του εξωπλανήτη.

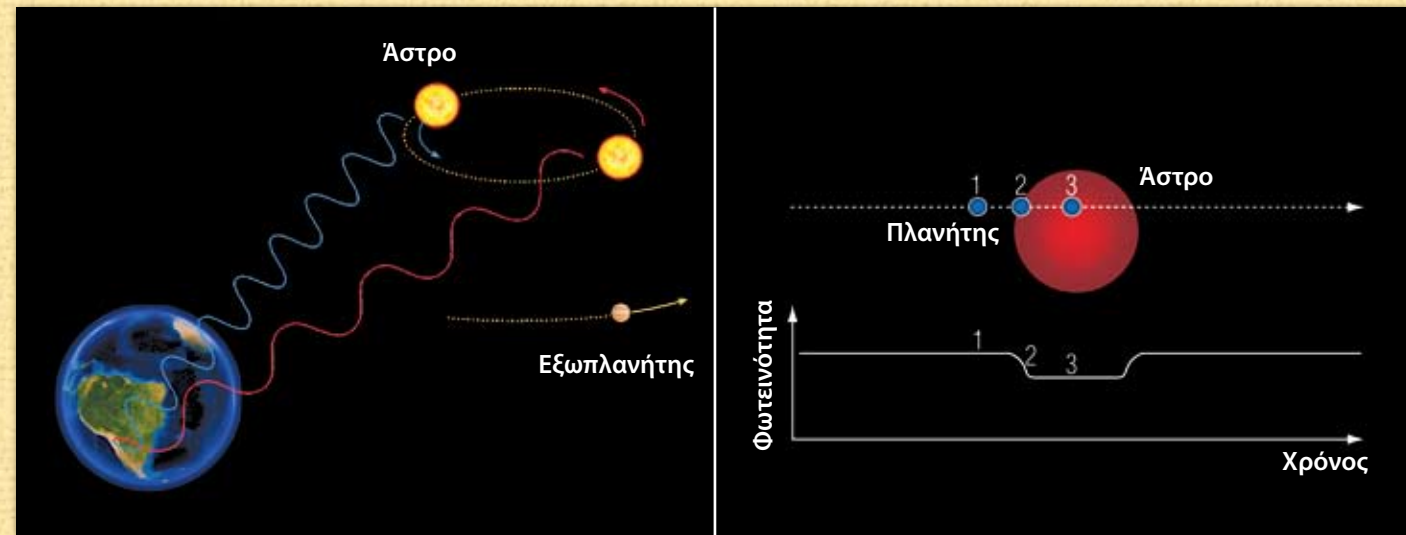
Μπορεί, όμως, μια άλλη μέθοδος, αυτή των **πλανητικών διαβάσεων**, ένα είδος έκλειψης, που προ-

καλείται όταν ένας πλανήτης «διαβαίνει» μπροστά από τον δίσκο του άστρου του. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι μπορεί να εφαρμοστεί ταυτόχρονα για χιλιάδες άστρα με την συνεχή φωτογράφιση μιας περιοχής του ουρανού. Επειδή, όμως, η μείωση της φωτεινότητας των άστρων μπορεί να οφείλεται και σε άλλους παράγοντες, απαιτείται η ανεξάρτητη επιβεβαίωση της ανακάλυψης ενός εξωπλανήτη με άλλες μεθόδους. Σ' αυτήν την περίπτωση, λοιπόν, τα διαστημικά μας τηλεσκόπια προσπαθούν να εντοπίσουν τις ανεπαίσθητες, αλλά περιοδικές μειώσεις της φωτεινότητας των άστρων, οι οποίες προκαλούνται κάθε φορά που ένας εξωπλανήτης διέρχεται ανάμεσα στον παρατηρητή (δηλ. το τηλεσκόπιο) και το άστρο. Αυτή η περιοδική καταγραφή της μείωσης της φωτεινότητας ενός άστρου είναι μια έμμεση απόδειξη για την ύπαρξη εξωπλανήτη και με την κατάλληλη ανάλυση μπορεί να προσδιορίσει και το μέγεθός του. Με άλλα λόγια, επειδή όσο μεγαλύτερος είναι ένας εξωπλανήτης, τόσο μεγαλύτερη είναι και η μείωση που προκαλεί στην φωτεινότητα του άστρου του, μπορούμε μ' αυτήν την μέθοδο να υπολογίσουμε και την διάμετρό του. Γνωρίζοντας έτσι την διάμετρο και την μάζα ενός πλανήτη, μπορούμε να εκτιμήσουμε την πυκνότητά του, που μας δίνει και μια πρώτη ένδειξη για τα υλικά που τον απαρτίζουν. Οι πληροφορίες αυτές, σε συνδυασμό με τις ιδιότητες του άστρου που μας είναι ήδη γνωστές, βοηθούν τους αστρονόμους να αποφανθούν εάν ο πλανήτης που ανακάλυψαν βρίσκεται εντός της Κατοικήσιμης Ζώνης. Τις περισσότερες φορές η καταγραφή τριών διαβάσεων, όλες με την ίδια περίοδο, μεταβολή λαμπρότητας και διάρκεια, είναι αρκετή, προκειμένου να αποφανθούν οι επιστήμονες ότι όντως έχουν ανακαλύψει έναν νέο πλανήτη. Η μέθοδος,

όμως, αυτή μας παρέχει και ένα μοναδικό εργαλείο για την μελέτη της ατμόσφαιρας ενός πλανήτη. Καθώς, δηλαδή, το φως του άστρου διέρχεται μέσα από την ατμόσφαιρα του πλανήτη, τα άτομα και τα μόρια της ατμόσφαιράς του απορροφούν μέρος της ακτινοβολίας του άστρου, αφήνοντας έτσι τα «δακτυλικά τους αποτυπώματα» στο φως του που ανιχνεύουμε.

Μέχρι πρόσφατα, οι περισσότεροι εξωπλανήτες που είχαμε ανακαλύψει ήταν πολύ μεγαλύτεροι από την Γη μας, ενώ κανένας τους δεν είχε βραχώδη σύσταση. Κι όμως, ο πρώτος εξωπλανήτης που, όπως και ο πλανήτης μας, αποτελείται κυρίως από πετρώματα, ανακαλύφθηκε μόλις το 2009. Συμπληρώνοντας μία περιφορά γύρω από το άστρο του σε μόλις 20 ώρες, ο εξωπλανήτης αυτός έχει επιφανειακή θερμοκρασία που ίσως και να υπερβαίνει τους 2.000 °C. Σε τέτοιες θερμοκρασίες, που λιώνουν ακόμη και τα συμπαγή πετρώματα, η επιφάνειά του είναι καλυμμένη με λάβα. Προφανώς, οι ακραία υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν σε κάθε πλανήτη που βρίσκεται σε τόσο μικρή απόσταση από το άστρο του, είναι απαγορευτικές, ακόμη και για τις πιο ανθεκτικές μορφές της ζωής. Ωστόσο, ο πιο «γήινος» εξωπλανήτης που έχει ανακαλυφθεί μέχρι σήμερα εντοπίστηκε το καλοκαίρι του 2015, γύρω από το άστρο Kepler 452, περίπου 1.400 έτη φωτός μακριά από την Γη. Πραγματικά, με διάμετρο μόλις μιάμιση φορά μεγαλύτερη απ' αυτήν της Γης, ο πλανήτης αυτός περιφέρεται στην κατοικήσιμη ζώνη του άστρου του, ενώ εικάζεται ότι έχει αρκετά πυκνότερη ατμόσφαιρα από την Γη και ότι διαθέτει ηφαιστειακή δραστηριότητα.

Το πρώτο διαστημικό τηλεσκόπιο που σχεδιάστηκε αποκλειστικά για την ανίχνευση εξωπλανητών



Αριστερά: Καλλιτεχνική αναπαράσταση της μεθόδου εντοπισμού ενός εξωπλανήτη από την μετατόπιση των φασματικών γραμμών του άστρου του (φωτογρ. ESO).

Δεξιά: Διάγραμμα που απεικονίζει την μείωση στην λαμπρότητα ενός άστρου που προκαλείται όταν ένας εξωπλανήτης «διαβαίνει» μπροστά από τον δίσκο του (φωτογρ. NASA/JPL-Caltech/UMD/GSFC).

ήταν το Γαλλοευρωπαϊκό COROT, που εκτοξεύτηκε από το κοσμοδρόμιο Baikonur στις 27 Δεκεμβρίου 2006. Περίπου δύο χρόνια αργότερα, στις 7 Μαρτίου 2009, εκτοξεύθηκε και το διαστημικό τηλεσκόπιο **Kepler** της NASA. Αναζητώντας κι αυτό «μιαν άλλη Γη», το διαστημικό τηλεσκόπιο Kepler μάς φέρνει όλο και πιο κοντά στην διαλεύκανση ενός από τα μεγαλύτερα και αναπάντητα ακόμη ερωτήματα της σύγχρονης επιστήμης: πόσο μοναδικός εντέλει είναι ο πλανήτης μας και οι έμβιοι οργανισμοί που φιλοξενεί; Εστιάζοντας στην περιοχή του Διαστήματος που βρίσκεται μεταξύ των αστερισμών του Κύκνου και της Λύρας, το διαστημικό τηλεσκόπιο Kepler καταγράφει και αναλύει συστηματικά το φως 100.000 άστρων, τα περισσότερα απ' τα οποία είναι πολύ αμυδρά, ώστε να τα διακρίνουμε με γυμνό μάτι. Η ανακάλυψη πλανητών σαν την Γη είναι σαφώς πιο δύσκολη. Καθώς, όμως, η τεχνολογία βελτιώνεται συνεχώς, οι διαστάσεις αυτών που μπορούμε να ανιχνεύσουμε διαρκώς μικραίνουν και ο εντοπισμός ενός πλανήτη παραπλήσιου με τη Γη είναι πλέον θέμα χρόνου.

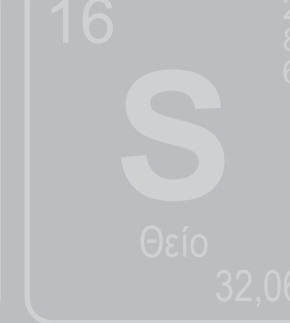
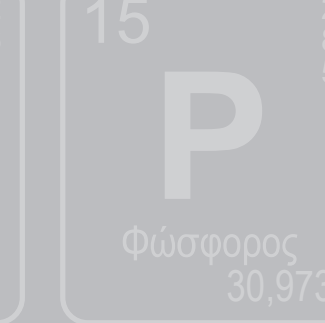
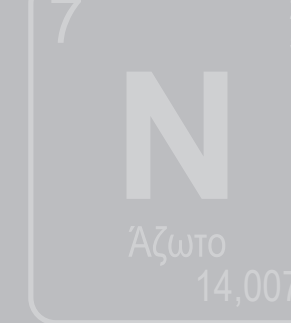
Είναι χαρακτηριστικό ότι, πριν την ανάλυση των τελευταίων δεδομένων του Kepler, οι περισσότεροι εξωπλανήτες που είχαν ανακαλυφθεί ήταν αέριοι γίγαντες σαν τον Δία. Χάρη στα δεδομένα του Kepler, όμως, ανακαλύπτονται διαρκώς όλο και μικρότεροι εξωπλανήτες, τα μεγέθη των οποίων κυμαίνονται πλέον μεταξύ εκείνων του Ποσειδώνα και της Γης. Μία ακόμη διαστημική αποστολή που συμμετέχει σ' αυτό το συναρπαστικό «κυνήγι»

εξωπλανητών είναι η **Γαία** του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος ESA, που εκτοξεύθηκε στις 19 Δεκεμβρίου 2013 με κύριο σκοπό τον υπολογισμό της θέσης και της ταχύτητας ενός δισεκατομμυρίου άστρων του Γαλαξία μας. Στην διάρκεια των επόμενων χρόνων, μάλιστα, η NASA και ο ESA θα υλοποιήσουν και άλλες διαστημικές αποστολές για την ανίχνευση εξωπλανητών, όπως η ευρωπαϊκή **CHEOPS** και η **TESS** της NASA που αναμένεται να εκτοξευθούν το 2017, καθώς και η **PLATO** του ESA που αναμένεται να εκτοξευθεί το 2024.

Καθώς ανακαλύπτουμε διαρκώς όλο και μικρότερους πλανήτες, ένα από τα κορυφαία ερωτήματα που απασχόλησαν ποτέ τον άνθρωπο ίσως βρει τη λύση του: Είμαστε μόνοι στο Σύμπαν; Για να υπάρξει κάποια μορφή ζωής σε έναν πλανήτη (τουλάχιστον ζωή όπως την εννοούμε εμείς) θα πρέπει κατά κύριο λόγο ο πλανήτης που τη φιλοξενεί να βρίσκεται στη σωστή απόσταση από το άστρο του, δηλαδή ούτε πολύ κοντά, ώστε να είναι υπέρθερμος αλλά ούτε και πολύ μακριά, ώστε να είναι παγωμένος. Οι διαστημικές αποστολές του μέλλοντος θα αναζητήσουν τα ίχνη εκείνα, που θα επιτρέψουν στους αστρονόμους να αποφανθούν εάν οι νέοι εξωπλανήτες που ανακαλύπτουν είναι κατοικήσιμοι, με άλλα λόγια εάν εμπεριέχουν στην ατμόσφαιρά τους νερό, διοξείδιο του άνθρακα, οξυγόνο, μεθάνιο και όζον. Η ανίχνευση αυτών των χημικών ενώσεων σε συνδυασμό με τον υπολογισμό της θερμοκρασίας και του μεγέθους του πλανήτη θα συμβάλουν σημαντικά στην προσπάθεια των ερευνητών να απαντηθεί αυτό το ερώτημα ◀◀



Καλλιτεχνική αναπαράσταση της διαστημοσυσκευής Γαία (φωτογρ. ESA/ATG medialab; background: ESO/S. Brunier).



5. Επίλογος: Ζωή στο Σύμπαν

Δύο χιλιάδες χρόνια πριν, ο αρχαίος Έλληνας φιλόσοφος **Επίκουρος** ήταν ίσως ο πρώτος που μίλησε για την ύπαρξη αμέτρητων κόσμων στο Σύμπαν. Πολύ αργότερα, όταν το 1584 ο καθολικός ιερέας και στοχαστής **Giordano Bruno** (1548–1600) υποστήριζε και αυτός ότι υπάρχουν αμέτρητοι ήλιοι και πλανήτες που στροβιλίζονται γύρω τους, δεν θα μπορούσε ποτέ να φανταστεί ότι 400 χρόνια αργότερα αυτή ακριβώς η σκέψη του θα αποδεικνυόταν αληθινή. Αν και αυτή η αιρετική, για την εποχή της, άποψη ήταν ο ένας από τους λόγους που τον οδήγησε 16 χρόνια αργότερα στην πυρά, σήμερα την θεωρούμε αυτονόητη. Θα μπορούσαν κάποιοι απ' αυτούς τους κόσμους να φιλοξενούν μορφές ζωής; Πολύ περισσότερο, υπάρχει και άλλου στο Σύμπαν ζωή με νοημοσύνη; Αυτό, διαχρονικά, είναι ένα από τα μεγαλύτερα φιλοσοφικά και επιστημονικά ερωτήματα που έθεσε ποτέ ο άνθρωπος, το οποίο ως τώρα παραμένει αναπάντητο.

Εικ.
Στα βάθη του Διαστήματος
(φωτογρ. NASA/JPL-Caltech).

Το ερώτημα που αφορά στην ύπαρξη εξωγήινης ζωής απασχόλησε τον άνθρωπο από την πρώτη κιόλας στιγμή που προσπάθησε να δώσει φυσικές ερμηνείες στα φυσικά φαινόμενα, εδώ και δύομισι χιλιάδες χρόνια. Για πρώτη, όμως, φορά στην ανθρώπινη ιστορία διαθέτουμε τις γνώσεις και την τεχνολογική δυνατότητα, που θα μας επιτρέψουν να το απαντήσουμε. Καθώς ανακαλύπτουμε διαρκώς όλο και μικρότερους εξωπλανήτες, η στιγμή που θα ανακαλύψουμε την δίδυμη αδελφή του πλανήτη μας δεν θα αργήσει να έρθει, ενώ η συναρπαστική πιθανότητα να εντοπίσουμε σε κάποιους απ' αυτούς τα ίχνη της ζωής αυξάνει.

Πώς, όμως, θα μπορούσαμε να αποδείξουμε ότι υπάρχει ζωή και σ' έναν άλλον πλανήτη; Δυστυχώς τα τηλεσκοπία μας δεν είναι αρκετά ισχυρά, ώστε να δούμε μ' αυτά τις επιφάνειες των μακρινών αυ-

τών κόσμων, ενώ εξαιτίας των τεράστιων διαστηρικών αποστάσεων, η αποστολή διαστημοσυστημάτων, ακόμη και στα πλησιέστερα σε μας αστρικά συστήματα, θα ανήκει για πολύ καιρό ακόμα στον χώρο της επιστημονικής φαντασίας. Όπως είπαμε και προηγουμένως, η ζωή θα μπορούσε να έχει εμφανιστεί στο εσωτερικό ενός πλανήτη ή δορυφόρου. Σ' αυτήν την περίπτωση, όμως, με μοναδική ίσως εξαίρεση τα ουράνια σώματα του Ηλιακού μας Συστήματος, δεν θα μπορούσαμε να ανιχνεύσουμε την ύπαρξή της. Αντιθέτως, βασισμένοι στις έως τώρα γνώσεις μας και με την τεχνολογία που διαθέτουμε, μπορούμε θεωρητικά να ανιχνεύσουμε την ζωή σ' έναν εξωπλανήτη, μόνο εάν αυτή επιβιώνει στην επιφάνειά του. Αυτό ισχύει διότι η ζωή μεταβάλλει την χημεία της ατμόσφαιρας ενός πλανήτη, ακριβώς όπως συνέβη και συνεχίζει να συμβαίνει με την ζωή στην Γη, που διαρκώς εμπλουτί-

ζει της ατμόσφαιρά της με οξυγόνο. Αναλύοντας, λοιπόν, το φάσμα της ατμόσφαιρας ενός εξωπλανήτη, αναζητούμε «βιοϋπογραφές», δηλαδή τις ενδείξεις για την ύπαρξη συγκεκριμένων χημικών ενώσεων, οι οποίες θα είχαν μικρή πιθανότητα να οφείλονται σε μη βιολογικές διεργασίες.

Ευτυχώς, λοιπόν, η ζωή μπορεί και αφήνει τα ίχνη της στην ατμόσφαιρα ενός πλανήτη και γνωρίζουμε πώς να τα αναζητήσουμε. Αναλύοντας το φως του άστρου που διέρχεται από την ατμόσφαιρα ενός εξωπλανήτη, μπορούμε να προσδιορίσουμε τα αέρια που εμπεριέχει. Κατά κύριο λόγο, αυτό που ψάχνουμε είναι το οξυγόνο, δηλαδή την σπουδαιότερη ίσως «βιοϋπογραφή», που καταδεικνύει εάν ένας πλανήτης θα μπορούσε να φιλοξενεί μορφές ζωής. Με βάση τα όσα γνωρίζουμε για την ζωή στην Γη, άλλες πιθανές «βιοϋπογραφές» της ζωής είναι το όζον (μόριο που εμπεριέχει 3 άτομα οξυγόνου), το άζωτο, το μεθάνιο, το οξειδίο του αζώτου και το διοξειδίο του άνθρακα. Η ανακάλυψη, ωστόσο, ενός εξωπλανήτη που θα μπορούσε να φιλοξενεί ζωή, δεν είναι το ίδιο με την ανακάλυψη ενός εξωπλανήτη που όντως φιλοξενεί ζωή. Εκτός αυτού, η ανακάλυψη «βιοϋπογραφών» της ζωής δεν απαντά στο ερώτημα της ύπαρξης πιο σύνθετων μορφών ζωής. Σύμφωνα, ωστόσο, με τα όσα γνωρίζουμε για την ζωή στην Γη, οι πιο σύνθετοι οργανισμοί εξελίχθηκαν από απλούστερους. Μπορούμε, λοιπόν, να υποθέσουμε ότι η ζωή θα ακολουθούσε παρόμοια εξελικτική πορεία και σε άλλους πλανήτες που μοιάζουν με τον δικό μας.

Εάν, όμως, η ζωή έχει όντως εμφανιστεί και αλλού στο Σύμπαν, μπορούμε άραγε να ισχυριστούμε το ίδιο και για ζωή που έχει αναπτύξει νοημοσύνη; Με άλλα λόγια υπάρχουν άραγε άλλοι εξωγήινοι πολι-

τισμοί στον Γαλαξία μας και, εάν ναι, μπορούμε να εκτιμήσουμε τον αριθμό τους; Ο πρώτος ίσως επιστήμονας που προσπάθησε να απαντήσει σ' αυτό το ερώτημα ήταν ο Αμερικανός αστρονόμος **Frank Drake** (1930-). Ο Drake επινόησε το 1961 μία εξίσωση, ικανή θεωρητικά τουλάχιστον να προβλέψει τον αριθμό των εξωγήινων πολιτισμών του Γαλαξία μας, που έχουν αναπτύξει τεχνολογία, η οποία θα τους επέτρεπε να επικοινωνήσουν με άλλους πολιτισμούς, σαν τον δικό μας. Η **Εξίσωση Drake**, όπως ονομάζεται, είναι ουσιαστικά μια άσκηση πιθανοτήτων, σύμφωνα με την οποία ο αριθμός των ενεργών εξωγήινων πολιτισμών του Γαλαξία μας που θα μπορούσαν να επικοινωνήσουν μαζί μας, ισούται με το γινόμενο 7 παραγόντων:

1. τον μέσο ρυθμό σχηματισμού των άστρων του Γαλαξία μας ανά έτος,
2. το ποσοστό των άστρων που διαθέτουν πλανήτες,
3. τον μέσο αριθμό των πλανητών του κάθε αστρικού συστήματος που έχουν συνθήκες ευνοϊκές για την ζωή (πλανήτες δηλ. στο μέγεθος περίπου της Γης, που βρίσκονται στην «σωστή» απόσταση από το άστρο τους, ώστε να ικανοποιούν όλα τα βασικά προαπαιτούμενα για την εμφάνιση της ζωής, που αναφέραμε προηγουμένως),
4. το ποσοστό εκείνων των «γήινων» πλανητών, στους οποίους θα αναπτυχθεί τελικά η ζωή,
5. το ποσοστό απ' αυτούς, όπου η ζωή αναπτύσσει τελικά νοημοσύνη,
6. το ποσοστό των πλανητών όπου η εξωγήινη νοημοσύνη αναπτύσσει πολιτισμό και τεχνολογία ικανή για διαστηρική επικοινωνία, και
7. το χρονικό διάστημα που τέτοιοι εξωγήινοι πολιτισμοί παραμένουν τεχνολογικά ενεργοί.

Με την βοήθεια του διαστημικού τηλεσκοπίου *Kepler* ανακαλύπτουμε διαρκώς όλο και μικρότερους εξωπλανήτες. Εδώ, από τα αριστερά προς τα δεξιά απεικονίζονται οι *Kepler-22b*, *Kepler-69c*, *Kepler-452b*, *Kepler-62f* και *Kepler-186f*. Τελευταία στην σειρά απεικονίζεται η Γη (φωτογρ. NASA/Ames/JPL-Caltech).



Η αλήθεια είναι ότι δεν γνωρίζουμε κανέναν από τους παράγοντες αυτής της εξίσωσης με ακρίβεια και προς το παρόν μόνο εκτιμήσεις μπορούμε να κάνουμε, ενώ όσο πηγαίνουμε από τον πρώτο προς τον τελευταίο παράγοντα, η ακρίβεια των εκτιμήσεών μας μειώνεται όλο και περισσότερο. Δεν θα μπορούσε άλλωστε να είναι διαφορετικά, διότι όσο προοδεύει η αστρονομική έρευνα, τόσο περισσότερο θα βελτιώνονται και οι εκτιμήσεις μας για τον συνολικό αριθμό των πλανητών του Γαλαξία μας που είναι ικανοί να υποστηρίξουν την ζωή. Οι τελευταίοι τέσσερις παράγοντες της εξίσωσης ωστόσο παραμένουν εν πολλοίς άγνωστοι. Δεδομένης ωστόσο της ύπαρξης των ακραιόφιλων οργανισμών, η πιθανότητα να έχουν εμφανιστεί και αλλού μορφές ζωής είναι ιδιαίτερα πιθανή. Πόσο πιθανό, όμως, είναι η ζωή που θα εμφανιστεί σ' έναν εξωπλανήτη να εξελιχτεί σε ζωή με νοημοσύνη; Παρόλο που δεν γνωρίζουμε ακόμη την απάντηση, αρκετοί επιστήμονες θεωρούν ότι από την στιγμή που θα εμφανιστεί η ζωή, η εξέλιξή της σε ζωή με νοημοσύνη είναι σχεδόν αναπόφευκτη, υπό την προϋπόθεση φυσικά ότι δεν θα καταστραφεί εν τω μεταξύ από φυσικές ή άλλες καταστροφές.

Οι δύο τελευταίοι παράγοντες της Εξίσωσης Drake είναι και οι πιο δύσκολοι να υπολογιστούν, αφού τόσο η εξέλιξη ενός τεχνολογικού πολιτισμού, όσο και η διάρκεια της ζωής του εξαρτώνται από πολλούς διαφορετικούς παράγοντες, για την εκτίμηση των οποίων απαιτούνται βαθιές γνώσεις σε μια σειρά από διαφορετικά επιστημονικά πεδία, όπως η ανθρωπολογία, η κοινωνιολογία, οι πολιτικές και οικονομικές επιστήμες, κ.ά.. Εάν, όμως, αναλογιστούμε πόσο δυσκολευόμαστε να κατανοήσουμε και να προβλέψουμε το πώς αλληλεπιδρούν με-

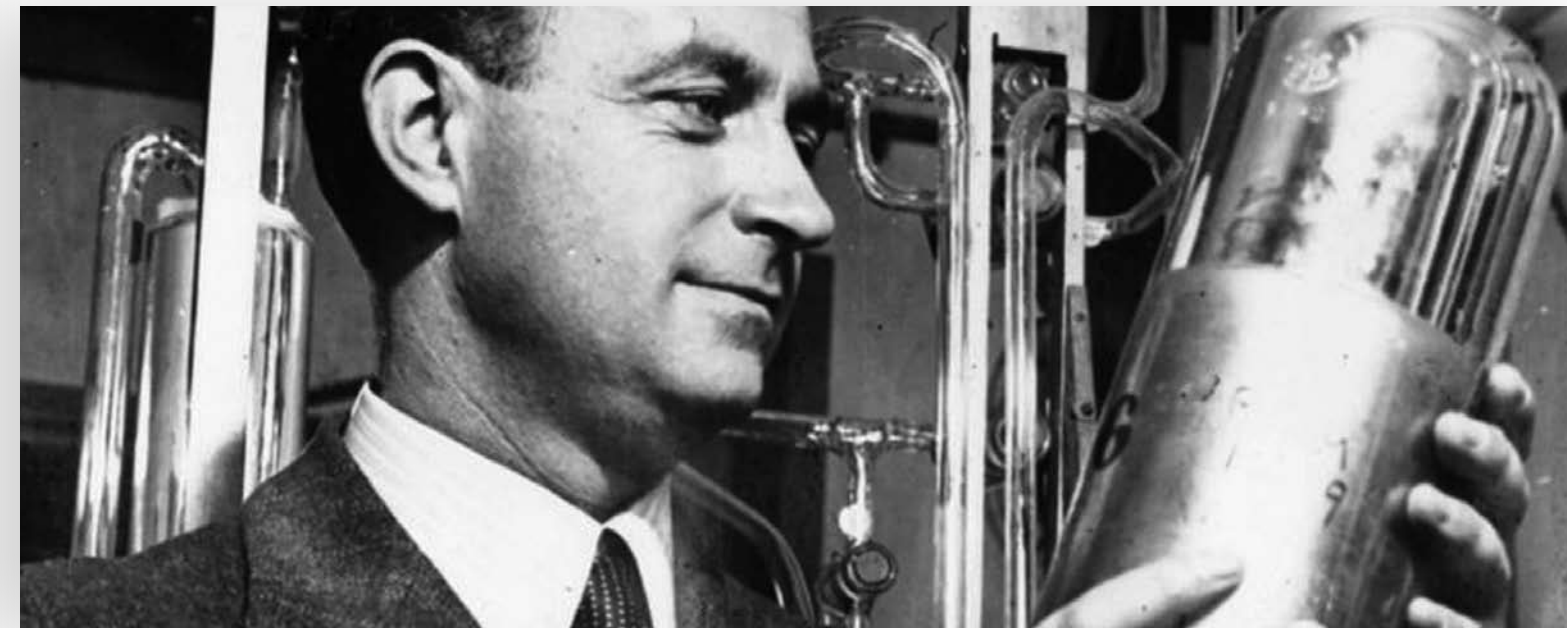
ταξύ τους οι ανθρώπινες κοινωνίες, μπορούμε να φανταστούμε πόσο πιο δύσκολο είναι να κάνουμε κάτι αντίστοιχο για έναν εξωγήινο πολιτισμό. Για να το πούμε διαφορετικά, προσπαθούμε να απαντήσουμε σε ένα σύνθετο πρόβλημα (δηλ. το πώς αναπτύσσεται ένας εξωγήινος πολιτισμός, τι πιθανότητες έχει να αναπτύξει τεχνολογία διαστρικής επικοινωνίας και για πόσο χρονικό διάστημα θα μπορεί να την χρησιμοποιεί), το οποίο όμως δεν έχει ουσιαστικά κανένα δεδομένο για επεξεργασία (αφού ο μοναδικός πολιτισμός που γνωρίζουμε είναι ο δικός μας).

Ενδεχομένως κάθε επιστήμονας θα σας δώσει και μια διαφορετική εκτίμηση για τον αριθμό των εξωγήινων πολιτισμών του Γαλαξία μας: στην διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν εκτιμήσεις που κυμαίνονται από έναν μόνο, τον δικό μας, μέχρι και μερικές χιλιάδες. Εάν, όμως, όντως υπάρχουν τόσοι πολλοί εξωγήινοι πολιτισμοί, γιατί δεν μας έχουν επισκεφτεί μέχρι σήμερα; Δεδομένων των τεράστιων αποστάσεων που χωρίζουν τα άστρα του Γαλαξία μας, και δεδομένου ότι τα διαστρικά ταξίδια περιορίζονται από την ταχύτητα του φωτός, αυτό εκ πρώτης δεν είναι τόσο παράξενο. Εάν όμως, λάβουμε υπόψη μας το μέγεθος και την ηλικία του Γαλαξία μας, μπορούμε να υποθέσουμε βέσιμα ότι ένας εξωγήινος τεχνολογικός πολιτισμός δεκάδων εκατομμυρίων ετών θα είχε άπλετο χρόνο, ώστε να ταξιδέψει παντού στον Γαλαξία μας, ακόμη και με τις πιο συμβατικές μεθόδους προώθησης, που περιορίζουν την ταχύτητα των διαστρικών ταξιδιών σε επίπεδα πολύ μικρότερα από την ταχύτητα του φωτός. Στην χειρότερη περίπτωση, θα έπρεπε να έχουμε ανιχνεύσει κάποια ραδιοσήματα αυτού του πολιτισμού. Εάν, μάλιστα, κρίνουμε από την επιθυμία για εξερεύνηση που χαρακτηρίζει το αν-

θρώπινο είδος, για να μην αναφερθούμε στις επεκτατικές του διαθέσεις, είναι λογικό να υποθέσουμε ότι ένας τέτοιος εξωγήινος πολιτισμός θα είχε επισκεφτεί (ακόμα και αποικίσει) πολλούς άλλους εξωπλανήτες, συμπεριλαμβανομένου ίσως και του πλανήτη μας. Επομένως, το ερώτημα παραμένει: εάν υπάρχουν εξωγήινοι πολιτισμοί, πού βρίσκονται και γιατί δεν έχουμε έρθει σε επαφή μαζί τους; Το ερώτημα αυτό τέθηκε για πρώτη φορά από τον Ιταλό φυσικό **Enrico Fermi** (1901–1954) και είναι γνωστό έκτοτε ως το **Παράδοξο του Fermi**.

Μία πρώτη πιθανή απάντηση είναι ότι, ενώ η ζωή σ' έναν άλλο εξωπλανήτη είναι ιδιαίτερα πιθανή, η ζωή με νοημοσύνη είναι εξαιρετικά σπάνια. Άλλοι επιστήμονες θεωρούν ότι το παράδοξο του Fermi αναιρείται όταν επικαλεστούμε τις τεράστιες αποστάσεις που πρέπει να χωρίζουν τον έναν εξωγήι-

νο πολιτισμό από τον άλλον ή εάν υποθέσουμε ότι η διασπορά ενός πολιτισμού στον Γαλαξία είναι απαγορευτική, τόσο από πλευράς κόστους, όσο και από πλευράς τεχνολογίας και πρώτων υλών. Μία τέταρτη πιθανή απάντηση είναι ότι οι εξωγήινοι πολιτισμοί συνειδητά αποφασίζουν να παραμείνουν απομονωμένοι, θεωρώντας ότι πιθανή επαφή με έναν άλλο πολιτισμό ενέχει τεράστιους κινδύνους για την επιβίωσή τους. Άλλοι επιστήμονες υποστηρίζουν ότι δεν είμαστε ίσως αρκετά έξυπνοι ακόμα ώστε να αποκρυπτογραφήσουμε τα μηνύματα που μας έχουν στείλει, ενώ κάποιοι άλλοι θεωρούν ότι η «μοίρα» της ζωής με νοημοσύνη είναι να αυτοκαταστραφεί, ενδεχομένως εξαιτίας της ανεξέλεγκτης τεχνολογικής της προόδου. Αυτές είναι λίγες μόνο από τις πιθανές απαντήσεις που έχουν δοθεί στην προσπάθεια των επιστημόνων να επιλύσουν το Παράδοξο του Fermi.



Ο Ιταλός φυσικός *Enric Fermi* (φωτογρ. *Argonne National Laboratory*).

Μέχρι στιγμής δεν υπάρχει συστηματική προσπάθεια των αστρονόμων να αναζητήσουν μηνύματα κρυμμένα μέσα στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Οι περισσότερες απ' τις προσπάθειες αυτές διεξάγονται μέσω του Οργανισμού για την Αναζήτηση Εξωγήινης Νοημοσύνης ή SETI από τα αρχικά της αγγλικής του ονομασίας. Όμως, παρόλο που το φως ταξιδεύει με την τεράστια και ανυπέρβλητη ταχύτητα των 300.000 km/s, οι διαστρικές αποστάσεις είναι τόσο αδιανόητα τεράστιες, που ακόμα και αν υποθέσουμε ότι το μήνυμα που στέλνουμε, συλλαμβάνεται και αποκρυπτογραφείται από κάποιον εξωγήινο πολιτισμό, η πιθανή απάντησή του θα έρθει όταν ο αποστολέας και οι απόγονοί του έχουν πεθάνει προ πολλού. Γι' αυτό και μια τέτοια ανταλλαγή μηνυμάτων έχει νόημα μόνο για τα πλησιέστερα σε μας αστρικά συστήματα. Ας μην ξεχνάμε ωστόσο ότι σύμφωνα με τις τελευταίες θεωρητικές μελέτες, ο Γαλαξίας μας μπορεί να εμπεριέχει περισσότερους από 11 δισ. βραχώδεις πλανήτες σαν την Γη μας, που περιφέρονται στην Κατοικήσιμη Ζώνη άστρων σαν τον Ήλιο και ότι ο πλησιέστερος σε μας μπορεί να βρίσκεται μόλις 12 έτη φωτός μακριά. Επιπλέον, με τουλάχιστον 100 δισ. γαλαξίες στο Σύμπαν, θα ήταν εξαιρετικά εγωκεντρικό ή

γεωκεντρικό από μέρους μας να υποθέσουμε ότι είμαστε τα μοναδικά όντα με νοημοσύνη.

Η αναζήτηση πλανητών γύρω από άλλα άστρα βρίσκεται ακόμα στην αρχή της, αφού μέχρι σήμερα οι τεχνολογικές μας δυνατότητες μάς επέτρεψαν να διερευνήσουμε ελάχιστα μόνο απ' τα πλησιέστερα σε μας άστρα του Γαλαξία μας. Είναι, μήπως, η Γη ένας ξεχωριστός και ιδιαίτερος πλανήτης, ο μοναδικός στο Σύμπαν που ευνόησε την εμφάνιση και την εξέλιξη της ζωής με νοημοσύνη; Όπως είπαμε, θα ήταν εξαιρετικά εγωκεντρικό από μέρους μας να υποθέσουμε κάτι τέτοιο. Γι' αυτό και η έρευνα συνεχίζεται. Τι θα μπορούσε άραγε να κρύβεται ανάμεσα στα αναρίθμητα άστρα των δισεκατομμυρίων γαλαξιών του Σύμπαντος; Καθώς ο μεγάλος «ωκεανός» του Διαστήματος απλώνεται αχαρτογράφητος μπροστά μας, το ανήσυχο πνεύμα της εξερεύνησης, που μας ωθεί να ανακαλύψουμε τι βρίσκεται «εκεί έξω», παραμένει άσβεστο. Δεν θα σταματήσει ποτέ να καθοδηγεί τα πρώτα μας βήματα στην προσπάθειά μας να απαντήσουμε στο κορυφαίο και αναπάντητο ακόμη ερώτημα: υπάρχει άραγε και κάπου αλλού στο Σύμπαν ζωή με νοημοσύνη; ◀◀

Τέσσερις κεραίες της συστοιχίας ραδιοτηλεσκοπίων ALMA ατενίζουν τον έναστρο ουρανό [φώτογρ. ESO/ José Francisco Salgado (josefrancisco.org)].



Βιβλιογραφία

- ▶▶ Alters, S., Alters, B., *Biology: understanding life*, Hoboken, New Jersey: Wiley, c2006.
- ▶▶ Ασिमον, Ισαακ, *Η γέννηση και ο θάνατος των άστρων*, Αθήνα: Κέδρος, c 1992.
- ▶▶ Baker, David, *The 50 most extreme places in our solar system*, Belknap Press of Harvard University Press, c2010.
- ▶▶ Bowler, P.J., *Evolution: the history of an idea*, Berkeley; Los Angeles; London: University of California Press, 2009.
- ▶▶ Brahic, A., *Τα παιδιά του ήλιου: η προέλευση, η εξέλιξη και η εξερεύνηση του ηλιακού συστήματος – και της ζωής*, Αθήνα: Κάτοπτρο, 2002.
- ▶▶ Brake, Mark, *Alien life imagined: communicating the science and culture of Astrobiology*, Cambridge University Press, 2013.
- ▶▶ Chaisson, Eric, McMillan, Stephen, *Astronomy: a beginner's guide to the universe*, Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Prentice Hall, c2004.
- ▶▶ Chapman, Clark R., *Κοσμικές καταστροφές*, Octavision Media, 2007.
- ▶▶ Condie, K.C., Sloan, R.E., *Origin and evolution of earth: principles of historical geology*, Upper Saddle River, NJ: Prentice - Hall, 1998.
- ▶▶ Coyne, Jerry A., *Why evolution is true*, Oxford; New York: Oxford University Press, 2010, c2009.
- ▶▶ Davies, P. C. W., *The Eerie silence: are we alone in the universe?* Penguin/ Allen Lane, 2010.
- ▶▶ Dick, Steven J., *Life on other worlds: the 20th century extraterrestrial life debate*, Cambridge University Press, 1998.
- ▶▶ Eigen, M., *Steps towards life*, Oxford University Press, 1992.
- ▶▶ Encrenaz, Therese, *Planets: ours and others: from Earth to exoplanets*, World Scientific, c2014.
- ▶▶ Fortey R., *Life: a natural history of the first four billion years of life on Earth*, New York: Alfred A. Knopf, 1998.
- ▶▶ Fry, I., *The emergence of life on earth: a historical and scientific overview*, London: Free Association, c 2000.

- ▶▶ Garlick, M.A., *The story of the solar system*, Cambridge: Cambridge University Press, 2002.
- ▶▶ Impey, Chris, *Talking about life: conversations on astrobiology*, Cambridge University Press, 2010.
- ▶▶ Jayawardhana, Ray, *Strange new worlds: the search for alien planets and life beyond our solar system*, Princeton University Press, c2011.
- ▶▶ Jones, Barrie William, *Life in the solar system and beyond*, Springer, c2004.
- ▶▶ Kaler, James B., *Heaven's touch: from killer stars to the seeds of life, how we are connected to the universe*, Princeton University Press, c2009.
- ▶▶ Koshland, D.E., "The Seven Pillars of Life". *Science*, 2002; 295: p. 2215–2216.
- ▶▶ Linacre, Edward, *Climates and weather explained*, Taylor & Francis/Routledge, 1997.
- ▶▶ Lopes, Rosaly M.C., *Volcanic worlds: exploring the solar system's volcanoes*, Springer, Praxis, c2004.
- ▶▶ Mayor, Michel, *New worlds in the cosmos: the discovery of exoplanets*, Cambridge University Press, c2003.
- ▶▶ Mayr, E., *Τι είναι η εξέλιξη: από τα βακτήρια στον άνθρωπο: γεγονότα, αποδείξεις και αλήθειες*, Αθήνα: Κάτοπτρο, 2005.
- ▶▶ Pickover, Clifford A., *Αν υπήρχαν... Πώς θα ήταν:: μια επιστημονική προσέγγιση της εξωγήινης νοημοσύνης*, Τραυλός, 2000.
- ▶▶ Seager, Sara, *Exoplanets*, University of Arizona Press, c2010.
- ▶▶ Shapiro, R., Feinberg, G., "Possible forms of Life in Environments Very Different From the Earth", in B. Zuckerman and M. H. Hart (eds.), *Extraterrestrials: Where Are they?*, Cambridge: Cambridge U. Press, 1995; p. 165–172.
- ▶▶ Trotman, C., *The feathered onion: creation of life in the universe*, Chichester, England: Wiley, 2004.

Συντελεστές παράστασης

ελληνική αφήγηση

ΜΙΧΑΛΗΣ ΜΑΡΚΑΤΗΣ

αγγλική αφήγηση

ΓΡΗΓΟΡΗΣ ΠΑΤΡΙΚΑΡΕΑΣ

σκηνοθετική επιμέλεια

MAX CROW

We Are Aliens

DANIELLE KHOURY LeBLANC

Undiscovered Worlds

σκηνοθετική προσαρμογή

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΣΙΜΟΠΟΥΛΟΣ

μουσική

ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ Κ. ΚΑΤΣΑΡΗΣ

επιστημονική επιμέλεια & κείμενο αφήγησης

ΑΛΕΞΗΣ ΔΕΛΗΒΟΡΙΑΣ

διεύθυνση παραγωγής

ΜΑΝΟΣ ΚΙΤΣΩΝΑΣ

σύμβουλος παραγωγής

ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ Π. ΣΙΜΟΠΟΥΛΟΣ

post-production video

ΓΙΑΝΝΗΣ ΒΑΜΒΑΚΑΣ

σχεδιασμός ήχου

ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ ΚΑΠΑΝΤΑΗΣ

ηλεκτρική κιθάρα

ΣΤΕΛΙΟΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣ

fulldome technical support

ΦΙΛΙΠΠΟΣ ΛΟΥΒΑΡΗΣ

ΧΡΗΣΤΟΣ ΧΡΗΣΤΟΓΙΩΡΓΟΣ

graphic design

ΕΥΓΕΝΙΑ ΣΤΑΒΑΡΗ

CALIFORNIA ACADEMY OF SCIENCES

San Francisco, California

supervisor

RYAN WYATT

producer

TOM KENNEDY

senior technical director

JEROEN LAPRE

lead digital artist

MICHAEL SCHMITT

technical director / data manager

MATTHEW BLACKWELL

CLARK PLANETARIUM

Salt Lake City, Utah

supervisor

MIKE MURRAY

production design

JOE STOHEL

lead animator

DAVID MERRELL

animators

JONATHAN DANSIE

ANDREA DOUBEK

CODY LAVERY

ROBERT LAWRENCE

DAVID MEINZER

additional animators

SPENCER CHRISTOPHERSON

DON DAVIS

AARON McEUEEN

MIRAGE 3D STUDIO

The Hague, Netherlands

producer

ROBIN SIP

senior animators

MATHIJS BRUSSAARD

JOHANNES BEVELANDER

PETER GEERTS

KEES VAN DER VIJVER

MUSEUM OF SCIENCE

Boston, Massachusetts

producer

ALAN LIGHTMAN

executive producers

IOANNIS MIAOULIS

PAUL FONTAINE

DAVID RABKIN

animation & effects artists

CHARLES WILCOX

WADE SYLVESTER

HEATHER FAIRWEATHER

JASON FLETCHER

systems & technical coordinator

DARRYL DAVIS

jupiter image map

BJORN JONSSON

NATIONAL GEOGRAPHIC ENTERTAINMENT

Washington, D.C.

vfx supervisor

ANTOINE DURR

producer

LAWRENCE GAY

JINI DURR

executive producer

LISA TRUITT

co-procucer

ANDY YAMADA

effects technical directors

JOHN ARBALLO

DANIELE COLAJACOMO

CRAIG "X-RAY" HALPERIN

DAVID KOESTER

MICHAEL S. LAFAVE

BENJAMIN LAIDLAW

CHRISTOPHER ROMANO

compositing

RIMAS JUCHNEVICIUS

NATIONAL SPACE CENTRE

Leicester, UK

producer

PAUL MOWBRAY

CG supervisor

AARON BRADBURY

computer animation & design

AARON BRADBURY

MAX CROW

PHIL DAY

AUSTIN DUROSE

PAULS KALNENIEKS

IAN SMITH

LIAM WARDLE

SPITZ CREATIVE MEDIA

Chadds Ford, Pennsylvania

supervisor

THOMAS LUCAS

producer

MIKE BRUNO

animation design & production

BILL CARR

INNA LEONOV-KENNY

BRAD THOMPSON

WES THOMPSON

fulldome & post-production video services

ΕΥΓΕΝΙΔΕΙΟ ΠΛΑΝΗΤΑΡΙΟ

post-production audio services

STARGAZER AUDIO

Ιδρύματος Ευγενίδου

θερμές ευχαριστίες

ESA

NASA

παραγωγή

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ © 2016





ΣΕΛΙΔΟΠΟΙΗΣΗ - ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ ΕΚΔΟΣΕΩΣ: ΕΚΔΟΤΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΤΕΝΙΔΟΥ
