



Ζωή και Πλανητικές Ατμόσφαιρες: Μια Αμφίδρομη Σχέση

Δρ. Χάρης Βάρβογλης, Ιούνιος 2005

ΤΟΜΕΑΣ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΑΣΤΡΟΦΥΣΙΚΗΣ, ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝ/ΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ
2. ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΖΩΗ
3. Η ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ΤΗΣ ΓΗΣ ΚΑΙ Η ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΖΩΗΣ
4. ΣΕ ΤΙ ΔΙΑΦΕΡΕΙ Η ΓΗ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΑΛΛΟΥΣ ΠΛΑΝΗΤΕΣ
5. ΔΟΡΥΦΟΡΟΙΜΕ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ



1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

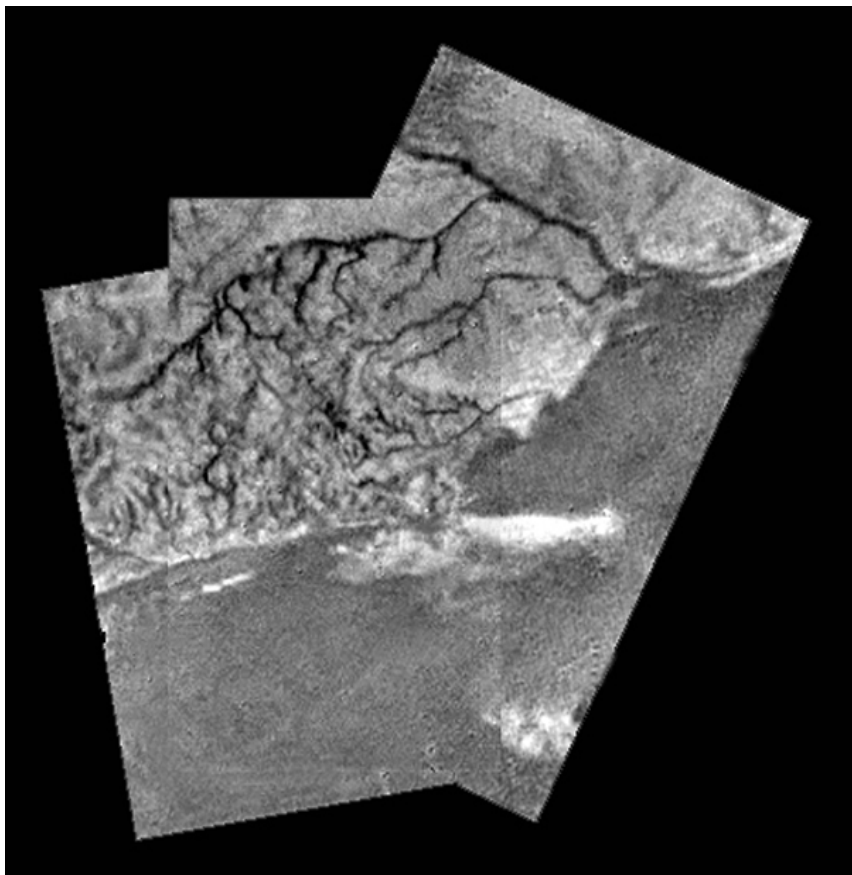
Αντιμετωπίζοντας τη ζωή στο πλαίσιο της εμπειρίας μας από το γήινο περιβάλλον, διαπιστώνουμε ότι είναι στενά συνδεδεμένη με την ύπαρξη σταθερών ατμοσφαιρικών συνθηκών στον πλανήτη μας. Η σταθερότητα αυτή, με τη σειρά της, οφείλεται στην ύπαρξη νερού σε υγρή μορφή στην επιφάνεια της Γης. Σε αυτό το άρθρο εξετάζονται οι συνθήκες που οδήγησαν τους άλλους πλανήτες του ηλιακού συστήματος να μην έχουν σήμερα νερό, καθώς και η πιθανότητα να είχε αναπτυχθεί εκεί ζωή στο παρελθόν. Τέλος παρουσιάζονται δορυφόροι που, λόγω του μεγέθους τους και των συνθηκών που επικρατούν εκεί, θα μπορούσαν να φιλοξενήσουν ζωντανούς οργανισμούς.

Υπάρχει ζωή σε άλλους πλανήτες, πέρα από τον πλανήτη που μας φιλοξενεί, τη Γη, ή μήπως είμαστε μοναδικοί στο σύμπαν; Είναι γνωστό ότι το ερώτημα αυτό, διατυπωμένο ανάλογα με τις αντιλήψεις που επικρατούσαν σε κάθε εποχή για τη δομή και τις διαστάσεις του κόσμου, έχει απασχολήσει τον άνθρωπο από πολύ παλιά, όπως δείχνουν τα διασωζόμενα γραπτά μνημεία. Για παράδειγμα ο Έλληνας φιλόσοφος Μετρόδωρος από τη Χίο έγραφε τον 5^ο αιώνα π.Χ. στο έργο του *Φυσικά*: "Δεν είναι φυσικό σε ένα μεγάλο αγρό να υπάρχει μόνο ένα στάχυ σιταριού και στο απέραντο σύμπαν μόνον ένας ζωντανός κόσμος". Η τεκμηρίωση, όμως, από τον Κέπλερ και άλλους σύγχρονους αστρονόμους, ότι η Γη δεν είναι το κέντρο του κόσμου έδωσε επιστημονική βάση στο ερώτημα αυτό, που μέχρι τότε συζητιόταν σε καθαρά φιλοσοφικό επίπεδο.



2. ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΖΩΗ

Βέβαια, όταν αναζητούμε ζωή σε άλλους κόσμους, θα πρέπει πρώτα να έχουμε ξεκαθαρίσει τι είναι αυτό για το οποίο ψάχνουμε. Σύμφωνα με τον κλασικό ορισμό, η ζωή προσδιορίζεται από την ικανότητά της να αναπαράγεται και να εξελίσσεται. Σε αυτό το πλαίσιο θα μπορούσαμε να φανταστούμε μορφές ζωής εντελώς ξένες προς την εικόνα που υπάρχει γύρω μας στη Γη. Για παράδειγμα, στο μυθιστόρημα επιστημονικής φαντασίας *Το μαύρο σύννεφο* ο μεγάλος άγγλος αστροφυσικός Φρεντ Χόιλ (Fred Hoyle) περιγράφει ένα νοήμον ον που αποτελείται από αέριο και σκόνη. Το ον αυτό «σκέπτεται» μέσα από τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που ανταλλάσσουν τα ηλεκτρικά φορτισμένα άτομα του αερίου, όπως ο ανθρώπινος εγκέφαλος σκέπτεται μέσα από τα ηλεκτρικά σήματα που ανταλλάσσουν τα κύτταρά του. Αν όμως περιοριστούμε στη ζωή, όπως αυτή εμφανίζεται στον πλανήτη μας, τότε αντιλαμβανόμαστε ότι παρόμοιες μορφές θα πρέπει να αναζητήσουμε μόνο σε πλανήτες που έχουν στερεή επιφάνεια και ατμόσφαιρα. Η στερεή επιφάνεια προσφέρει τον χώρο ανάπτυξης της ζωής και τις πρώτες ύλες για την ανάπτυξη των έμβιων όντων ενώ η ατμόσφαιρα συντελεί στην παραγωγή ενέργειας και προστατεύει τη ζωή από την κοσμική ακτινοβολία, δηλαδή πρωτόνια και φωτόνια μεγάλης ενέργειας που καταστρέφουν τα κύτταρα.



Με βάση τα παραπάνω, τα ουράνια σώματα του ηλιακού συστήματος, πέρα από τη Γη, που θα μπορούσαν να φιλοξενήσουν ζωή σε κάποια εποχή της εξελικτικής ιστορίας τους είναι βασικά τρία: δύο πλανήτες, η Αφροδίτη και ο Άρης, και ένας δορυφόρος, ο Τιτάνας, που περιφέρεται γύρω από τον Κρόνο. Είναι λοιπόν μάλλον προφανής ο λόγος για τον οποίο έχει δοθεί τόση σημασία στην προσεδάφιση διαστημοπλοίων στην Αφροδίτη και τον Άρη. Η πρόσφατη προσεδάφιση της άκατος Χόιχενς (Huygens) στον Τιτάνα έκλεισε τον κατάλογο των υποψηφιοτήτων για ανακάλυψη κάποιου είδους ζωής, παρόμοια με αυτήν που υπάρχει στη Γη, σε άλλα μέλη του ηλιακού συστήματος. Αλλά ακόμη και αν δεν βρεθούν ίχνη ζωής, έστω υπό μορφή απολιθωμάτων, στα παραπάνω σώματα, υπάρχει και ένα έμμεσο κέρδος από την εξερεύνησή τους: κατανοούμε ποιες είναι οι διαφορές τους από τη Γη, οι οποίες δεν ευνόησαν την ανάπτυξη ζωής εκεί. Αλλά ας πάρουμε τα πράγματα από την αρχή.

ΕΙΚΟΝΑ 1. Οι φωτογραφίες του Τιτάνα που πήρε η άκατος Χόιχενς δείχνουν ότι στην επιφάνειά του υπάρχουν ποτάμια από υγρό μεθάνιο.



3. Η ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ΤΗΣ ΓΗΣ ΚΑΙ Η ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΖΩΗΣ

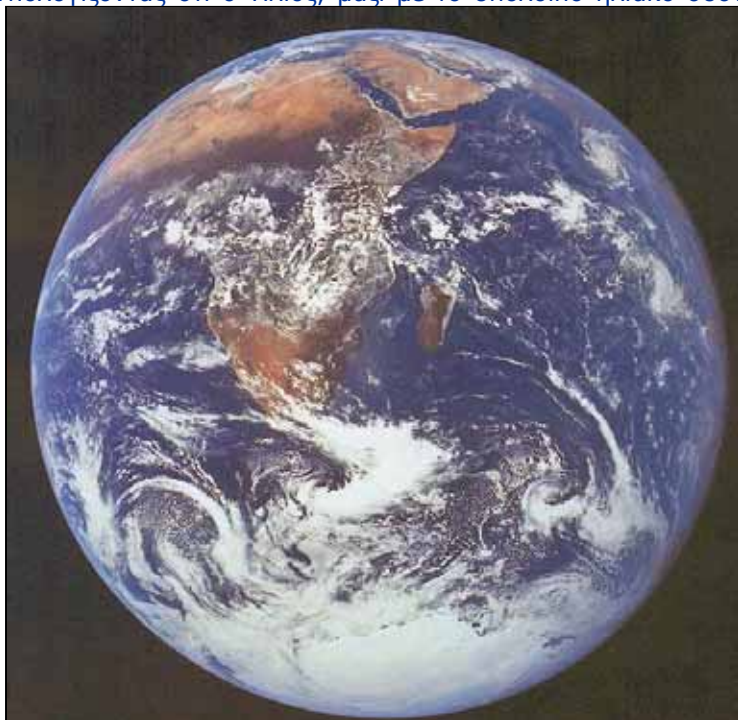
Σήμερα γνωρίζουμε ότι η Γη δημιουργήθηκε πριν από περίπου 4.5 δισεκατομμύρια χρόνια και ότι η ατμόσφαιρά της, στη αρχή, δεν έμοιαζε καθόλου με τη σημερινή. Αποτελούνταν κυρίως από διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), υδρογόνο (H_2), άζωτο (N_2), μεθάνιο (CH_4), αμμωνία (NH_3) και υδρατμούς (H_2O), ενώ έλειπε τελείως το ελεύθερο οξυγόνο (O_2). Η επίδραση ισχυρών πηγών ενέργειας (όπως για παράδειγμα είναι η ηλιακή ακτινοβολία και οι ηλεκτρικές εκκενώσεις, κεραυνοί και αστραπές) στην πρωταρχική ατμόσφαιρα της Γης δημιούργησε αρχικά αμινοξέα και άλλες σύνθετες οργανικές ενώσεις, οι οποίες διαλύθηκαν στο νερό που από τότε κάλυπτε το μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας της Γης. Εκεί οι ενώσεις αυτές, προστατευμένες από την έντονη υπεριώδη ακτινοβολία του Ήλιου, η οποία έφτανε μέχρι την επιφάνεια της Γης μιας και δεν είχε δημιουργηθεί ακόμη ο προστατευτικός μανδύας του όζοντος, σχημάτισαν τα μόρια του DNA και του RNA, τα οποία στη συνέχεια αποτέλεσαν τη βάση για την ανάπτυξη της ζωής. Σημαντικό ρόλο στη διαδικασία αυτή έπαιξε το γεγονός ότι οι φυσικές συνθήκες στη Γη παρέμειναν ήπιες και σταθερές κατά τα τελευταία 2-3 δισεκατομμύρια χρόνια. Αυτό οφείλεται στην ύπαρξη μηχανισμών αυτορρύθμισης της περιεκτικότητας της ατμόσφαιρας σε διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και υδρατμούς (H_2O). Στο σημείο αυτό θα πρέπει να εξηγηθεί ποιος είναι αυτός ο "μηχανισμός αυτορρύθμισης" και γιατί τα αέρια αυτά επηρεάζουν τη θερμοκρασία της Γης.

Από τη Φυσική και τη Χημεία είναι γνωστό ότι μόρια που αποτελούνται από τρία άτομα, όπως είναι το νερό, το διοξείδιο του άνθρακα αλλά και το όζον, απορροφούν την ακτινοβολία που εκπέμπει η Γη, όταν θερμαίνεται από το φως του Ήλιου. Με τον τρόπο αυτό δεν αφήνουν την επιφάνεια της Γης να κρυώσει, όπως ακριβώς μια κουβέρτα δεν αφήνει το σώμα μας να κρυώσει όταν κοιμόμαστε σε ψυχρό περιβάλλον. Είναι φανερό ότι μεγάλη περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε τριατομικά αέρια οδηγεί σε υπερθέρμανση της Γης ("βαριά κουβέρτα"), ενώ μικρή περιεκτικότητα οδηγεί σε χαμηλές θερμοκρασίες ("ελαφριά κουβέρτα"). Ο μηχανισμός αυτορρύθμισης που προαναφέρθηκε αφαιρεί τριατομικά αέρια από την ατμόσφαιρα της Γης όταν η θερμοκρασία ανεβαίνει, έτσι ώστε να «ελαφρύνει» η κουβέρτα, και τα προσθέτει όταν η θερμοκρασία πέφτει, έτσι ώστε να «βαρύνει» η κουβέρτα. Σ' αυτόν το μηχανισμό συμμετέχει κυρίως το διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο ανανεώνεται συνέχεια: Σε πρώτη φάση το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας διαλύεται στο νερό της βροχής, πέφτει στους ωκεανούς και αποθηκεύεται στα κελύφη των οστράκων υπό μορφή ανθρακικού ασβεστίου (το βασικό συστατικό του ασβεστόλιθου). Σε δεύτερη φάση τα όστρακα καταπλακώνονται στο εσωτερικό της Γης, όπου, λόγω της μεγάλης θερμοκρασίας, το ανθρακικό ασβέστιο διασπάται (όπως ακριβώς συμβαίνει στα ασβεστοποιεία) σε ασβέστη και διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο στη συνέχεια διαφεύγει στην ατμόσφαιρα από τα ηφαίστεια. Όταν η θερμοκρασία της επιφάνειας της Γης αρχίσει να ανεβαίνει, αυξάνει η εξάτμιση νερού από τους ωκεανούς και, κατά συνέπεια, η βροχόπτωση και ο ρυθμός αφαίρεσης διοξειδίου του άνθρακα από την ατμόσφαιρα. Το αντίθετο συμβαίνει όταν αρχίσει να μειώνεται η θερμοκρασία: μειώνεται η εξάτμιση του νερού και η βροχόπτωση, έτσι ώστε η περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε διοξείδιο του άνθρακα αρχίζει και αυξάνει (αφού αυτό συνεχίζει να εκλύεται από τα ηφαίστεια). Με τον τρόπο αυτό η θερμοκρασία επανέρχεται στα αρχικά επίπεδα. Χάρη στον παραπάνω

μηχανισμό η μέση θερμοκρασία της Γης δεν έπεσε ποτέ κάτω από τους 0 °C ούτε ξεπέρασε τους 100 °C σε όλη τη διάρκεια της ιστορίας της, οπότε το νερό των ωκεανών ούτε πάγωσε αλλά ούτε και έβρασε.

Η παρουσία του νερού σε υγρή μορφή είχε αποφασιστική σημασία για την ανάπτυξη και διατήρηση της ζωής στον πλανήτη μας. Οι ζωντανοί οργανισμοί, με τη σειρά τους, έπαιξαν σημαντικό ρόλο, μέσω της αναπνοής, της φωτοσύνθεσης και της αποσύνθεσης, στην ανακύκλωση των αερίων της ατμόσφαιρας: η αναπνοή αφαιρεί οξυγόνο και αποδίδει διοξείδιο του άνθρακα, η φωτοσύνθεση κάνει το αντίστροφο ενώ η αποσύνθεση αποδίδει μεθάνιο, που είναι και αυτό ένα από τα αέρια που συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επομένως διαπιστώνεται ότι η ύπαρξη ζωής είναι στενά συνδεδεμένη με τη διατήρηση ήπιων συνθηκών στην επιφάνεια της Γης, έτσι ώστε είναι δύσκολο να αποφανθεί κανείς αν οι ήπιες συνθήκες είχαν ως αποτέλεσμα την εμφάνιση της ζωής ή αν η εμφάνιση της ζωής συντέλεσε στη διατήρηση των ήπιων συνθηκών. Με άλλα λόγια βρισκόμαστε μπροστά στο κλασικό ερώτημα: "το αυγό έκανε την κότα ή η κότα το αυγό";

Πέρα από την επίδραση της ζωής, η κλιματική εξέλιξη της Γης, όπως και των υπόλοιπων πλανητών, επηρεάζεται σημαντικά από την παράλληλη εξέλιξη του Ήλιου. Ο Ήλιος μας είναι ένα τυπικό αστέρι, που παράγει την ενέργειά του μετατρέποντας το υδρογόνο σε ήλιο μέσω πυρηνικών αντιδράσεων, οι οποίες συμβαίνουν βαθιά στο εσωτερικό του. Η φωτεινότητά του αυξάνει με το χρόνο, με ρυθμό περίπου 1% σε κάθε 100 εκατομμύρια χρόνια. Υπολογίζοντας ότι ο Ήλιος, μαζί με το υπόλοιπο ηλιακό σύστημα, δημιουργήθηκαν πριν από 4,5 δισεκατομμύρια



χρόνια, συμπεραίνουμε ότι αρχικά ήταν κατά 25-30% λιγότερο φωτεινός απ' ό,τι σήμερα. Η βαθμιαία αύξηση της ηλιακής φωτεινότητας, που συνεχίζεται και σήμερα, έχει για αποτέλεσμα την ανάλογη αύξηση της ενέργειας που φθάνει στο άνω όριο της ατμόσφαιρας ενός πλανήτη και, κατά συνέπεια, επιδρά στη διαμόρφωση του κλίματος του.

ΕΙΚΟΝΑ 2. Η Γη είναι το μοναδικό σώμα του ηλιακού μας συστήματος που έχει αποδεδειγμένα ζωή.

Η δυνατότητα, όμως, των έμβιων οργανισμών και του κύκλου του CO₂ να ρυθμίζουν τη θερμοκρασία της Γης δεν αναμένεται να διαρκέσει για πάντα. Σε ένα περίπου δισεκατομμύριο χρόνια η ακτινοβολία του Ήλιου θα αρχίσει να αυξάνει με πολύ ταχύτερο ρυθμό, ο μηχανισμός αυτορρύθμισης δεν θα επαρκεί πια, και η ισορροπία που υπάρχει σήμερα θα ανατραπεί. Τότε η θερμοκρασία θα ξεπεράσει τους 100 °C και, τελικά, η ζωή στη Γη, όπως τη γνωρίζουμε σήμερα, θα χάσει οριστικά το παιχνίδι και θα εξαφανιστεί.

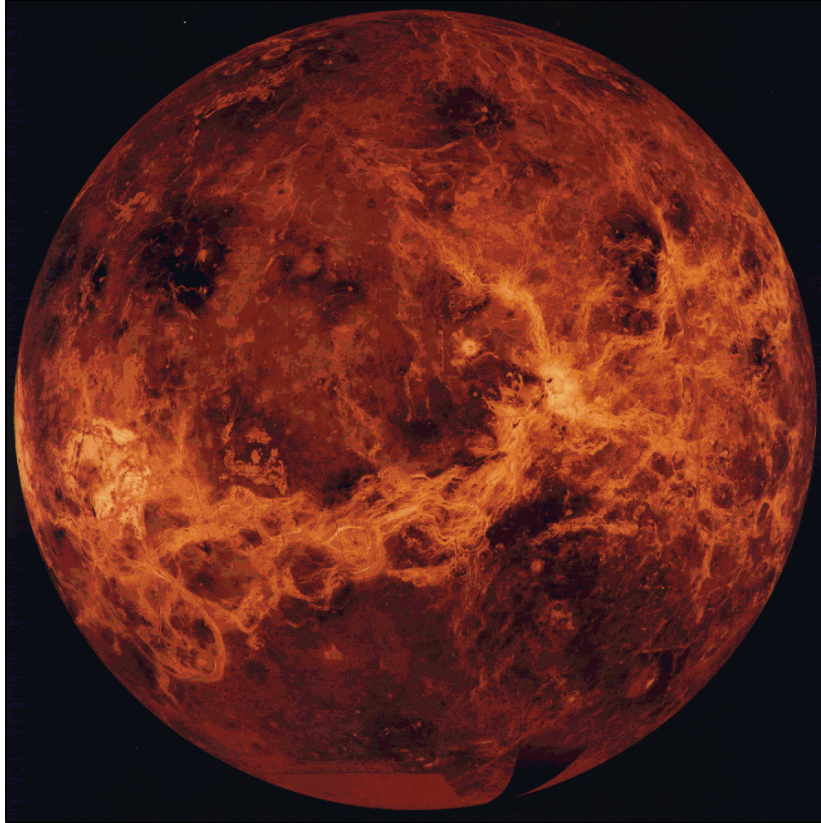


4. ΣΕ ΤΙ ΔΙΑΦΕΡΕΙ Η ΓΗ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΑΛΛΟΥΣ ΠΛΑΝΗΤΕΣ

Γιατί όμως η Γη φαίνεται ότι είναι, από την άποψη της ύπαρξης ζωής, μοναδική στο ηλιακό σύστημα; Η μελέτη των άλλων πλανητών αποκάλυψε ότι εκεί επικρατούν ακραίες κλιματικές συνθήκες που δεν συμβιβάζονται με την ύπαρξη μορφών ζωής. Ξεκινώντας από τον πλησιέστερο προς τον Ήλιο πλανήτη, τον Ερμή, διαπιστώνουμε ότι οι θερμοκρασίες κυμαίνονται από πολύ υψηλές (500 °C) στην πλευρά που «βλέπει» ο Ήλιος έως πολύ χαμηλές (κάτω από 0 °C) στην αντίθετη πλευρά του. Στην ατμόσφαιρά του, που είναι ουσιαστικά ανύπαρκτη (1 εκατομμύριο δισεκατομμύρια φορές περισσότερο αραιή από αυτή της Γης), κυριαρχούν αέρια όπως το ήλιο (He), το νάτριο (Na) και το υδρογόνο (H₂).

Ο γειτονικός μας πλανήτης, η Αφροδίτη, αν και ως προς το μέγεθος και τη σύσταση μοιάζει πολύ με τη Γη, έχει εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες (~500 °C) και ατμοσφαιρική πίεση 90 φορές μεγαλύτερη από αυτήν της Γης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ατμόσφαιρά της δεν έχει καθόλου νερό, οπότε δεν μπορεί να λειτουργήσει καθόλου ο κύκλος του διοξειδίου του άνθρακα. Έτσι όλο το διαθέσιμο διοξείδιο του άνθρακα βρίσκεται στην ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα το έντονο φαινόμενο του θερμοκηπίου να διατηρεί την εξαιρετικά υψηλή επιφανειακή θερμοκρασία του πλανήτη. Η σημερινή απουσία νερού φαίνεται ότι οφείλεται στην ανατροπή του

μηχανισμού αυτορρύθμισης στην Αφροδίτη σε παλιότερα χρόνια. Όσοι έχουν κάνει αεροπορικά ταξίδια σίγουρα

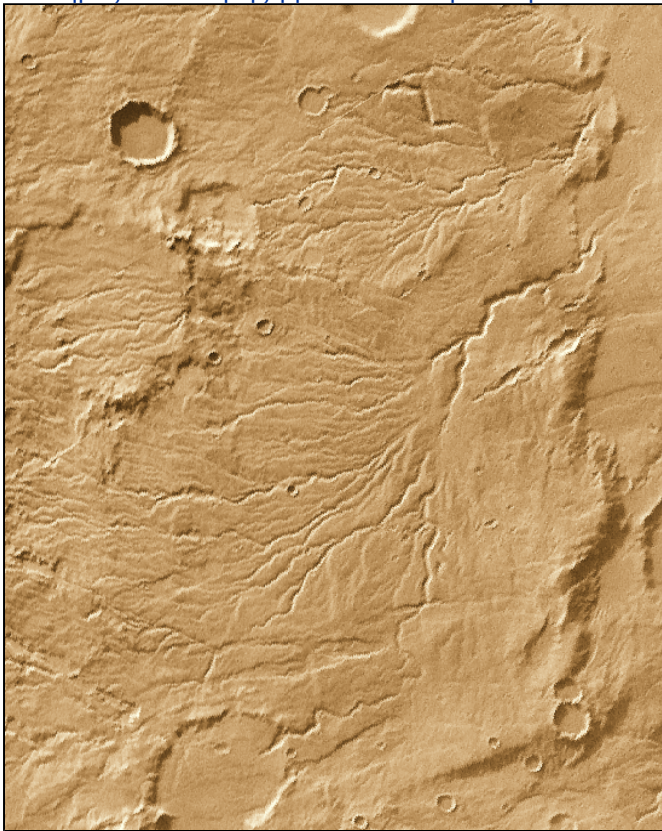


έχουν παρατηρήσει ότι στο ύψος των δέκα χιλιομέτρων, που πετούν συνήθως τα αεροπλάνα, η θερμοκρασία είναι κάτω από το μηδέν. Επομένως οι υδρατμοί δεν μπορούν να φθάσουν μέχρι εκεί, αφού μετατρέπονται σε πάγο πολύ χαμηλότερα. Έτσι το νερό προστατεύεται από την υπεριώδη ακτινοβολία του Ήλιου, η οποία απορροφάται σε ύψος 30 χιλιομέτρων από το στρώμα του όζοντος. Αν όμως η θερμοκρασία στην επιφάνεια της Γης αυξηθεί σημαντικά, το ύψος στο οποίο η θερμοκρασία πέφτει κάτω από τους 0 βαθμούς θα μετακινηθεί προς τα πάνω και είναι δυνατό να ανέλθει πάνω από τα 30 χιλιόμετρα. Στην περίπτωση αυτή όσο νερό περνάει πάνω από το στρώμα του όζοντος διασπάται από την υπεριώδη ακτινοβολία σε υδρογόνο και οξυγόνο και το υδρογόνο, ως ελαφρό αέριο, διαφεύγει στο διάστημα ενώ το οξυγόνο, ως βαρύτερο, παραμένει και ενώνεται με τον άνθρακα σε διοξείδιο του άνθρακα. Με τον τρόπο αυτόν σιγά-σιγά θα χαθεί το νερό του πλανήτη μας. Το σενάριο αυτό, που ακούγεται ως εφιάλτης για το μέλλον της Γης, φαίνεται ότι ίσως πραγματοποιήθηκε στο απώτερο παρελθόν της Αφροδίτης.

ΕΙΚΟΝΑ 3. Πυκνά νέφη θειικού οξέος καλύπτουν μόνιμα την επιφάνεια της Αφροδίτης και δεν επιτρέπουν τη φωτογράφησή της στο ορατό φως. Η φωτογραφία αυτή είναι αποτέλεσμα ανίχνευσης της επιφάνειάς της με ραντάρ από το διαστημόπλοιο Μαγγελάνος.

Η επιφανειακή θερμοκρασία του Άρη, αντίθετα, είναι πολύ χαμηλή, γύρω στους 50 °C κάτω από το μηδέν. Παρόλο που υπάρχει νερό και διοξείδιο του άνθρακα, η ποσότητά τους σήμερα στην επιφάνεια είναι τόσο χαμηλή (η ατμοσφαιρική πίεση στην επιφάνεια του πλανήτη είναι 150 φορές μικρότερη από τη γήινη) ώστε ο μηχανισμός αυτορρύθμισης πρακτικά δεν υφίσταται. Αξίζει όμως να σημειωθεί ότι οι πρόσφατες εξερευνητικές αποστολές σ' αυτόν τον πλανήτη έδειξαν την ύπαρξη μεγάλων ποσοτήτων νερού στο υπέδαφός του, καθώς και γεωλογικών σχηματισμών στην επιφάνεια, όπως π.χ. ποταμών, που διαμορφώθηκαν από τη ροή νερού. Άρα είναι πολύ πιθανό ότι στο παρελθόν ο Άρης είχε μεγάλες ποσότητες επιφανειακού νερού, οπότε είναι επίσης πιθανό ότι τότε θα λειτουργούσε και εκεί ο κύκλος του διοξειδίου του άνθρακα, με αποτέλεσμα την διατήρηση ήπιων κλιματολογικών συνθηκών. Επομένως, αν οι ήπιες συνθήκες διατηρήθηκαν για μεγάλο χρονικό διάστημα, είναι δυνατό να εμφανίστηκε κάποια μορφή ζωής στον Άρη. Δεν είναι σήμερα γνωστός ο λόγος για τον οποίον ο Άρης έχασε αυτήν την ατμόσφαιρα, πιστεύεται όμως ότι έπαιξε σημαντικό ρόλο η αδυναμία του πλανήτη αυτού να συντηρήσει τον κύκλο του διοξειδίου του άνθρακα, εξαιτίας της απουσίας μηχανισμού εμπλουτισμού της ατμόσφαιρας με αυτό το αέριο. Μετρήσεις από τις αποστολές στον Άρη έδειξαν ότι ο πλανήτης αυτός δεν έχει σεισμική δραστηριότητα ούτε αξιόλογο μαγνητικό πεδίο. Επειδή η σεισμική δραστηριότητα στη Γη οφείλεται στο γεγονός ότι οι ήπειροι «επιπλέουν» σε ένα ρευστό μανδύα από λιωμένο υλικό και η ύπαρξη μαγνητικού πεδίου οφείλεται στο ότι αυτός ο μανδύας περιστρέφεται, είναι λογικό να υποθέσουμε ότι το εσωτερικό αυτού του πλανήτη δεν είναι σήμερα σε ρευστή μορφή. Βέβαια αρχικά

ολόκληρος ο πλανήτης βρισκόταν σε ρευστή κατάσταση, λόγω του μικρού μεγέθους του όμως ψύχθηκε γρήγορα και η θερμοκρασία στο εσωτερικό του έπεσε κάτω από το σημείο τήξης των πετρωμάτων που τον αποτελούν. Την εποχή που συνέβη αυτό σταμάτησε η ηφαιστειακή δραστηριότητα και, συνακόλουθα, σταμάτησε και η λειτουργία του μηχανισμού επανεισαγωγής στην ατμόσφαιρα του διοξειδίου του άνθρακα, το οποίο είχε αφαιρεθεί μέσω της διάλυσής του στο νερό της βροχής.



ΕΙΚΟΝΑ 4. Σύμφωνα με τα πρόσφατα αποτελέσματα διαστημικών αποστολών, στον Άρη υπάρχουν αποξηραμένες κοίτες ποταμών, ένδειξη ότι στο παρελθόν ο πλανήτης αυτός είχε επιφανειακά νερά.

Το τελικό συμπέρασμα, όσον αφορά στους στερεούς πλανήτες του ηλιακού μας συστήματος, είναι ότι, πέρα από τον Ερμή που είναι ειδική περίπτωση, επειδή είναι μικρός και βρίσκεται πολύ κοντά στον Ήλιο, οι ατμόσφαιρες της Αφροδίτης και του Άρη έχουν ακολουθήσει διαμετρικά αντίθετες κατευθύνσεις εξέλιξης, επειδή στον καθένα έπαψε να λειτουργεί το ένα από τα δύο σκέλη του κύκλου του διοξειδίου του άνθρακα. Στην Αφροδίτη σταμάτησε η αφαίρεση του αερίου αυτού, επειδή διέφυγε το νερό εξαιτίας της ανατροπής του μηχανισμού αυτορρυθμισμού της θερμοκρασίας του πλανήτη, ενώ στον Άρη σταμάτησε η προσθήκη του αερίου αυτού, λόγω της διακοπής της ηφαιστειακής δραστηριότητας, εξαιτίας της ψύξης του πλανήτη και της ολοκληρωτικής στερεοποίησής του.



5. ΔΟΡΥΦΟΡΟΙΜΕ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Πέρα από τους δύο γειτονικούς μας πλανήτες, υπάρχουν πάμπολλα άλλα σώματα στο ηλιακό μας σύστημα που έχουν στερεή επιφάνεια. Αυτά είναι ο πιο απομακρυσμένος από τους πλανήτες, ο Πλούτωνας, οι δορυφόροι των πλανητών, οι αστεροειδείς και οι κομήτες. Όλα αυτά όμως, εκτός από ένα, δεν φαίνεται ότι διατηρούν αξιόλογη ατμόσφαιρα. Το σώμα που αποτελεί την εξαίρεση είναι, όπως ήδη αναφέρθηκε, ο Τιτάνας, ο μεγαλύτερος δορυφόρος του Κρόνου. Η διάμετρός του (5150 km) τον καθιστά δεύτερο σε μέγεθος δορυφόρο (μετά τον δορυφόρο του Δία, Γανυμήδη) στο ηλιακό σύστημα, ενώ είναι και μεγαλύτερος από τους πλανήτες Πλούτωνα και Ερμή. Η ατμόσφαιρα αυτού του δορυφόρου αποτελείται από άζωτο (που υπάρχει και στην ατμόσφαιρα της Γης), μεθάνιο, αργόν και ίχνη άλλων ενώσεων (οργανικών, όπως αιθάνιο και υδροκυάνιο, και ανόργανων, όπως διοξείδιο του άνθρακα και νερό). Η ατμοσφαιρική πίεση στην επιφάνειά του είναι περίπου 1.5 ατμόσφαιρες, δηλαδή λίγο μεγαλύτερη από αυτήν της Γης, οπότε είναι λογικό να πιστεύουμε ότι η συστηματική μελέτη της ατμόσφαιρας αυτού του δορυφόρου θα μας βοηθήσει σημαντικά στην κατανόηση του μηχανισμού δημιουργίας και εξέλιξης των πλανητικών ατμοσφαιρών, αφού αυξάνει τον αριθμό των παρατηρήσιμων ατμοσφαιρικών συστημάτων από δύο (Αφροδίτη και Άρη) σε τρία, δηλαδή κατά 50%! Για το λόγο αυτό η μελέτη της ατμόσφαιρας αυτού του δορυφόρου θεωρήθηκε σημαντικό βήμα στην κατανόηση της Φυσικής του ηλιακού συστήματος και προγραμματίστηκε η εξερεύνησή του από τη διαστημική αποστολή Cassini.

Το διαστημόπλοιο Cassini, το οποίο εκτοξεύτηκε τον Οκτώβριο 1997, έφθασε στην περιοχή του Κρόνου τον Ιούλιο 2004 και έγινε δορυφόρος του. Ανήμερα τα Χριστούγεννα του 2004 απελευθέρωσε την άκατο Huygens, η οποία στις 14 Ιανουαρίου 2005 προσεδαφίστηκε στον Τιτάνα. Οι φωτογραφίες που μας έστειλε δείχνουν μια επιφάνεια με πορτοκαλί χρώμα, η οποία καλύπτεται από αντικείμενα που μοιάζουν με πέτρες και διασχίζεται από σχηματισμούς που μοιάζουν με ποτάμια. Επειδή η θερμοκρασία της επιφάνειας του Τιτάνα είναι 180 βαθμοί Κελσίου κάτω από το μηδέν, τα υγρά αυτά δεν μπορεί να είναι νερό ούτε βαρείς υδρογονάνθρακες, που στη θερμοκρασία αυτή έχουν ήδη παγώσει. Το πιθανότερο είναι πως πρόκειται για ελαφρούς υδρογονάνθρακες, όπως για παράδειγμα είναι το μεθάνιο, που στην καθημερινή ζωή ονομάζεται φυσικό αέριο, το οποίο υγροποιείται στους 182 βαθμούς κάτω από το μηδέν. Επειδή η χημική σύσταση της ατμόσφαιρας του Τιτάνα μοιάζει με αυτήν που είχε αρχικά η ατμόσφαιρα της Γης, ελπίζουμε ότι η μελέτη της θα δώσει απάντηση σε πολλά ερωτήματα που έχουμε για τα αρχικά στάδια του πλανήτη μας, πριν ακόμη εμφανιστεί η ζωή σ' αυτόν.