



Νέο Ψηφιακό Πλανητάριο

Ψηφιακή παράσταση Θόλου



Η μεγάλη περιπέτεια του Διαστήματος, που ξεκίνησε το 1957 με την εκτόξευση του Σπούτνικ 1, συνεχίζεται. Έκτοτε, οι ρομποτικές μας διαστημοσυσσκευές έχουν ταξιδέψει στα πέρατα του Ηλιακού συστήματος, διευρύνοντας κατά πολύ τις γνώσεις μας για τους παράξενους κόσμους που εμπεριέχει. Από τον καυτό Ερμή στον παγωμένο Πλούτωνα και από την Ζώνη των Αστεροειδών στο μακρινό Νέφος Οορτ, που βρίσκεται στις παρυφές της βαρυτικής κυριαρχίας του Ήλιου, σας προσκαλούμε σε ένα συναρπαστικό ταξίδι γνωριμίας με το Ηλιακό μας σύστημα.

ΠΕΡΑ ΑΠΟ ΤΗ ΓΗ



Λεωφ. Συγγρού 387 - 17564 Π. Φάληρο, τηλ. 210 9469600, fax: 210 9430171,
e-mail: info@eef.edu.gr, http://www.eef.edu.gr

ΑΛΕΞΗ Α. ΔΕΛΗΒΟΡΙΑ
Αστρονόμου Ευγενιδείου Πλανηταρίου



ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
ΝΕΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΠΛΑΝΗΤΑΡΙΟ



ΠΕΡΑ ΑΠΟ ΤΗ ΓΗ

ΑΛΕΞΗ Α. ΔΕΛΗΒΟΡΙΑ
Αστρονόμου Ευγενιδείου Πλανηταρίου

ΑΘΗΝΑ 2024

Πρόλογος ...4

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 | Το Ηλιακό σύστημα ... 6

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 | Οι βραχώδεις πλανήτες ...16

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 | Η ζώνη των αστεροειδών ... 26

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 | Ο Δίας ...36

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 | Ο Κρόνος ...46

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 | Οι γίγαντες πάγου ...56

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 | Η Ζώνη Kuiper και οι νάνοι πλανήτες ...66

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 | Ο κομήτες ...74

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 | Η εξερεύνηση του Ηλιακού συστήματος ...84

Φωτογραφία εξωφύλλου:

Ο Ήλιος ξεπροβάλλει πίσω από την Γη
(📷 muratart/adobe stock)

Βιβλιογραφία/Ηλεκτρονικές πηγές ...94

Συντελεστές ...96

Το Νέο Ψηφιακό Πλανητάριο του Ιδρύματος Ευγενίδου, ένα από τα μεγαλύτερα και καλύτερα ψηφιακά πλανητάρια στον κόσμο, συμβάλλει στην επιστημονική εκπαίδευση του κοινού της χώρας μας με πολλούς τρόπους, κυρίως όμως με τις ψηφιακές του παραγωγές. 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 τα επιτεύγματα και την ιστορία της επιστήμης μ' έναν συναρπαστικό τρόπο. Μέσα από τις παραστάσεις του Πλανηταρίου και τα βιβλία που τις συνοδεύουν, οι μαθητές και το ευρύ κοινό ενημερώνονται για τα επιτεύγματα της επιστήμης, τις νέες τεχνολογικές εξελίξεις, και διαφωτίζονται σχετικά με τη φύση της επιστημονικής έρευνας.

Η παράσταση του Νέου Ψηφιακού Πλανηταρίου «Πέρα από την Γη» αναφέρεται στο Ηλιακό μας σύστημα, το πιο προσιτό κομμάτι του Σύμπαντος για τον άνθρωπο και φυσικά αυτό που έχει εξερευνηθεί και μελετηθεί περισσότερο, όχι μόνο με τα επίγεια και τα διαστημικά μας τηλεσκόπια, αλλά κυρίως με τις δεκάδες διαστημοσυσσκευές μας, οι οποίες έχουν ήδη επισκεφθεί όλους τους πλανήτες που εμπεριέχει.

Στο πρώτο κεφάλαιο αυτού του βιβλίου παρουσιάζουμε με συντομία την δομή του Ηλιακού συστήματος, τα διαφορετικά ουράνια σώματα που εμπεριέχει και τα βασικότερα χαρακτηριστικά τους, θεματικές που θα αναπτυχθούν αναλυτικότερα στα κεφάλαια που ακολουθούν. Έτσι, στο δεύτερο κεφάλαιο εστιάζουμε στο εσωτερικό Ηλιακό σύστημα και τους βραχώδεις πλανήτες, ενώ στο τρίτο κεφάλαιο στους αστεροειδείς και στην ζώνη των Αστεροειδών. Ακολούθως, στο τέταρτο και το πέμπτο κεφάλαιο εστιάζουμε στον Δία και στον Κρόνο, τους αέριους γίγαντες του Ηλιακού συστήματος με τους δεκάδες δορυφόρους, ενώ το έκτο κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στους δύο γίγαντες πάγου, δηλαδή στον Ουρανό και στον Ποσειδώνα. Ακολουθεί μια παρουσίαση της Ζώνης Kuiper και των

νάνων πλανητών, ενώ στο όγδοο κεφάλαιο επικεντρωνόμαστε στους κομήτες. Το βιβλίο της παράστασης κλείνει με μια αναγκαστικά σύντομη αναφορά στην εξερεύνηση του Ηλιακού συστήματος, εστιάζοντας σε λίγες μόνο από τις δεκάδες αποστολές που υλοποιήθηκαν για τον σκοπό αυτό.

Θεωρούμε ότι τα θέματα που έχουμε συμπεριλάβει σε αυτό το βιβλίο, 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 για τον κάθε ενδιαφερόμενο. Το συγκεκριμένο βιβλίο που συνοδεύει την παράσταση, όπως και όλα τα προηγούμενα, έχουν αναρτηθεί στην ιστοσελίδα του Ευγενιδείου Πλανηταρίου, στην Ενότητα «Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Πλανηταρίου», ελεύθερα διαθέσιμα για το κοινό και τους εκπαιδευτικούς. Αξίζει εδώ να αναφερθεί ότι, από το 2018 και την ψηφιακή παράσταση «Αναζητώντας την Σκοτεινή Ύλη», παράλληλα με το βιβλίο της παράστασης, συγγράφεται και ένα πιο συνοπτικό βιβλίο λίγων σελίδων, το οποίο απευθύνεται σε μαθητές, που κι αυτό είναι ελεύθερα διαθέσιμο στην ίδια ιστοσελίδα.

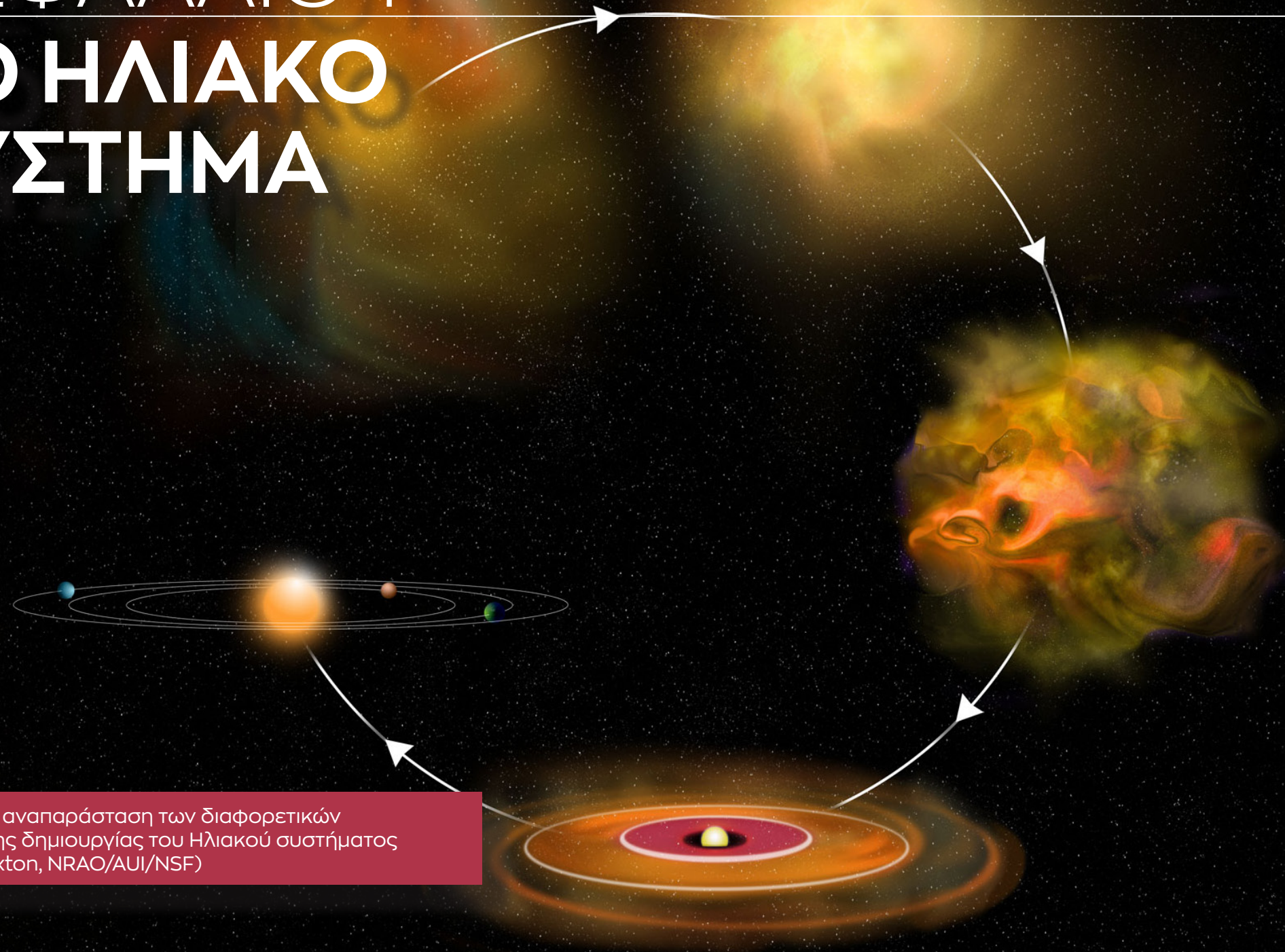
Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον συνάδελφο στο Ευγενίδειο Πλανητάριο διδάκτορα φυσικής Αλέξη Δεληβοριά για τη συγγραφή του βιβλίου αυτού, καθώς και όλους τους συναδέλφους της Ομάδας Εκδόσεων του Ιδρύματος Ευγενίδου για την επιμέλειά του. Θα ήταν, τέλος, παράλειψη αν δεν ευχαριστούσα και όλους τους συνεργάτες του Πλανηταρίου μας που συμμετείχαν στη δημιουργία της νέας παράστασης και των οποίων τα ονόματα παρατίθενται στην τελευταία σελίδα του.

Δρ. Μάνος Κιτσώνας

Διευθυντής Ευγενιδείου Πλανηταρίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΤΟ ΗΛΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

ΠΕΡΑ ΑΠΟ ΤΗ ΓΗ



Σχηματική αναπαράσταση των διαφορετικών σταδίων της δημιουργίας του Ηλιακού συστήματος (Bill Saxton, NRAO/AUI/NSF)

Ο Ήλιος, ένα σχετικά κοινό άστρο του Γαλαξία, γεννήθηκε πριν από σχεδόν 5 δισ. χρόνια, μέσα από την βαρυτική κατάρρευση ενός **προ-Ηλιακού** νεφελώματος αερίων και σκόνης. Το σύνολο σχεδόν των υλικών του νεφελώματος, κυρίως υδρογόνο και ήλιο, σχημάτισαν τον Ήλιο, ενώ τα ελάχιστα υλικά που περίσσεψαν, διαμορφώσαν γύρω του έναν περιστρεφόμενο δίσκο αερίων και σκόνης, στο εσωτερικό του οποίου «συμπυκνώθηκαν» με την βοήθεια της βαρύτητας οι πλανήτες και τα άλλα ουράνια σώματα που περιφέρονται γύρω του.

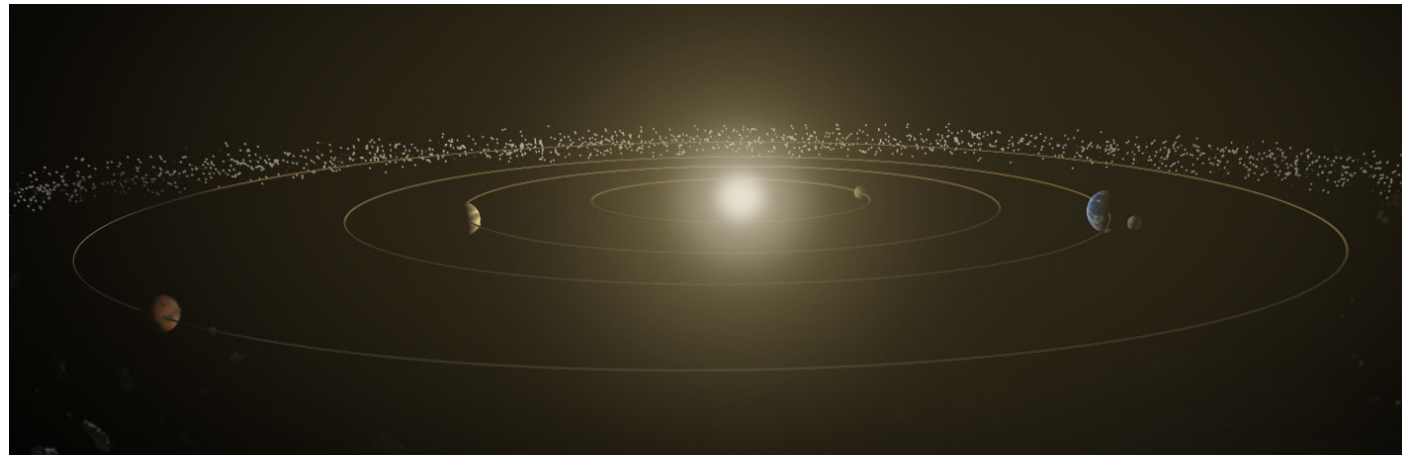


Με το πέρας του σχηματισμού του, το Ηλιακό σύστημα απαρτίζεται από 8 πλανήτες, αρκετούς νάνους πλανήτες, δεκάδες δορυφόρους και αναρίθμητα ακόμη συντρίμμια του πρώιμου Ηλιακού συστήματος, τα οποία συγκροτούν την Ζώνη των Αστεροειδών, την Ζώνη Κιύπερ και το Νέφος Οοrt. Με εξαίρεση τους δορυφόρους, οι οποίοι κινούνται σε ελλειπτικές τροχιές γύρω από τον πλανήτη τους, τα ουράνια σώματα του Ηλιακού συστήματος κινούνται σε ελλειπτικές τροχιές γύρω από τον Ήλιο, οι οποίες καθορίζονται και περιγράφονται από τους νόμους του Νεύτωνα και του Κέπλερ¹.

Οι 4 πλησιέστεροι στον Ήλιο πλανήτες, δηλαδή ο Ερμής, η Αφροδίτη, η Γη και ο Άρης, είναι μικροί σε μέ-

γεθος και μάζα πλανήτες, με μεγάλη πυκνότητα και βραχώδη σύσταση, ενώ οι πυρήνες τους αποτελούνται κατά κύριο λόγο από σίδηρο. Οι πλανήτες αυτοί «στριμώνονται» σε μία περιοχική γύρω από τον Ήλιο με διάμετρο που μόλις υπερβαίνει τις 3 Αστρονομικές Μονάδες (1 Αστρονομική Μονάδα ή 1 AM ισούται με τη μέση απόσταση της Γης από τον Ήλιο, δηλ. περίπου 150 εκατ. km).

Στην διαχωριστική γραμμή μεταξύ των εσωτερικών και εξωτερικών πλανητών εκτείνεται η **Ζώνη των Αστεροειδών**, που αποτελείται από αναρίθμητα βραχώδη συντρίμμια του πρώιμου Ηλιακού συστήματος, τα οποία δεν κατόρθωσαν να συσσωματωθούν σε έναν



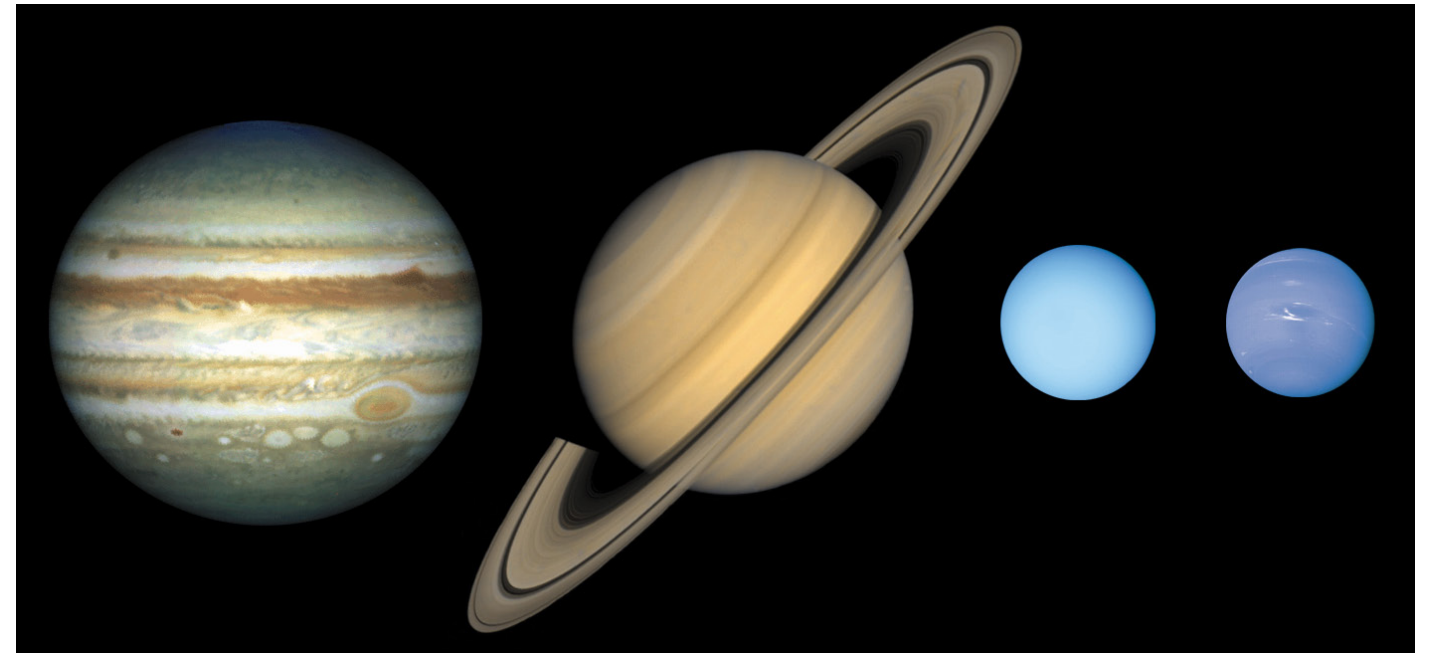
Καλλιτεχνική αναπαράσταση του εσωτερικού τμήματος του Ηλιακού συστήματος
(📷 © ESA/ATG medialab)

¹ Σημαντική εξαίρεση αποτελεί η τροχιά του πλανήτη Ερμή, το περιήλιο της οποίας κινείται και αυτό γύρω από τον Ήλιο, με τρόπο που δεν μπορούσε να ερμηνευθεί αποκλειστικά με βάση τις αρχές της Νευτώνειας φυσικής. Αντιθέτως, ένας από τους θριάμβους της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας του Αϊνστάιν για την βαρύτητα ήταν η εντυπωσιακής ακρίβειας θεωρητική πρόβλεψη αυτής ακριβώς της μετάπτωσης του περιηλίου του Ερμή, που η Νευτώνεια φυσική αδυνατούσε να ερμηνεύσει.

ακόμη πλανήτη, αφού η βαρυτική έλξη του γειτονικού Δία ήταν πολύ ισχυρή για να το επιτρέψει. Τα τέσσερα μεγαλύτερα ουράνια σώματα της Ζώνης των Αστεροειδών είναι ο νάνος πλανήτης Δήμητρα, η Εστία, η Παλλάδα και η Υγεία.

Πέρα από την Ζώνη των Αστεροειδών, από τις 5 AM μέχρι τις 30 AM, εκτείνεται το «βασιλείο» των γιγάντιων πλανητών, δηλαδή του Δία, του Κρόνου, του Ουρανού και του Ποσειδώνα. Σε αντιδιαστολή με τους βραχώδεις πλανήτες, οι πλανήτες αυτοί αποκαλούνται συχνά και **αέριοι γίγαντες** εξαιτίας του μεγάλου μεγέθους τους, καθώς και της χημικής τους σύνθεσης, που αποτελείται ως επί το πλείστον από υδρογόνο και ήλιο.

Δεδομένου, όμως, ότι ο Ουρανός και ο Ποσειδώνας εμπεριέχουν μεγάλες ποσότητες πηπτικών ενώσεων, όπως νερό, αμμωνία και μεθάνιο, που στην αστρονομική ορολογία αναφέρονται ως «πάγοι», οι δύο αυτοί πλανήτες προσδιορίζονται πλέον ως **γίγαντες πάγου**. Μία ακόμη σημαντική διαφορά των γιγάντιων πλανητών σε σχέση με τους βραχώδεις πλανήτες είναι ότι οι πρώτοι δεν διαθέτουν στερεή επιφάνεια. Αντιθέτως, όσο διεισδύουμε στο εσωτερικό τους, η πυκνότητα της ατμόσφαιράς τους αυξάνει διαρκώς, καθώς μετατρέπεται σταδιακά σε ένα θερμό και πυκνό ρευστό στρώμα, που περιβάλλει τον μικρό σε σχέση με τον όγκο τους πυρήνα που διαθέτουν.



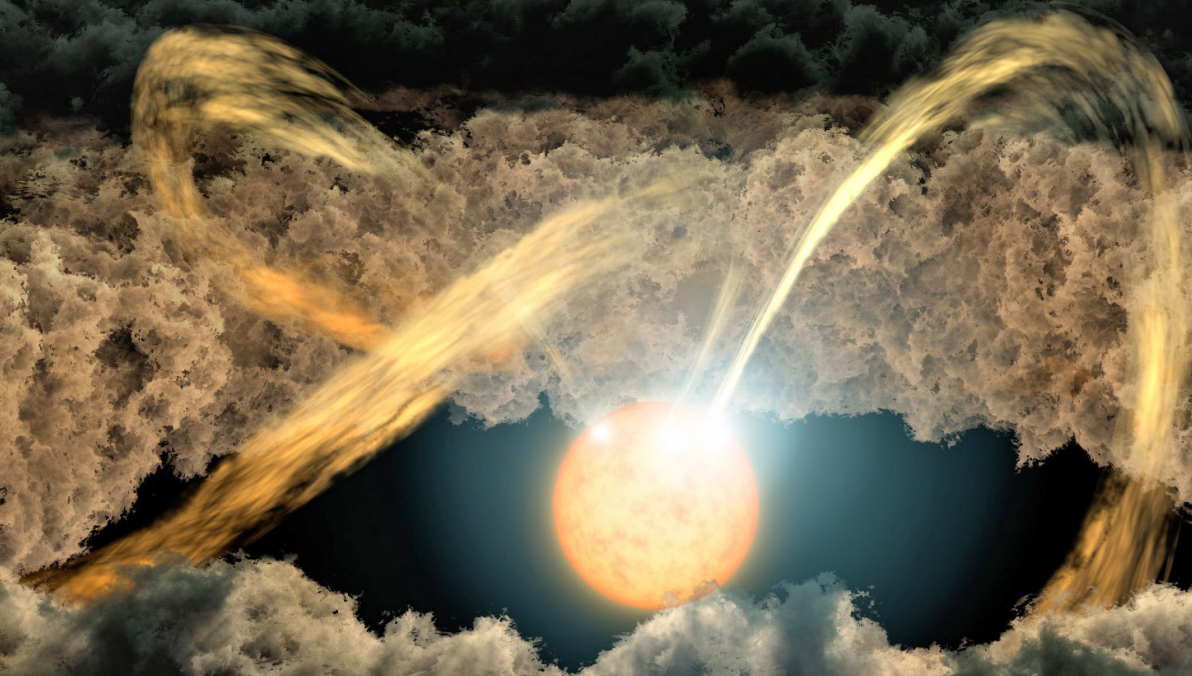
Από αριστερά προς τα δεξιά, ο Δίας, ο Κρόνος, ο Ουρανός και ο Ποσειδώνας
(📷 Lunar and Planetary Institute)



Η βασική αιτία για την οποία η χημική σύσταση και το μέγεθος των αέριων γιγάντων διαφέρουν τόσο πολύ απ' αυτά των εσωτερικών πλανητών ανάγεται στο απώτερο παρελθόν του Ηλιακού συστήματος, όταν ακόμη διένυε τα πρώτα στάδια της εξέλιξής του. Υπενθυμίζουμε εδώ ότι σύμφωνα με την καθιερωμένη θεωρία σχηματισμού του Ηλιακού συστήματος, ο νεογέννητος Ήλιος διαμορφώθηκε στο κέντρο ενός περιστρεφόμενου δίσκου αερίων και σκόνης, που ονομάζεται **πρωτοπλανητικός δίσκος**. Οι πλανήτες, από την άλλη, και τα άλλα σώματα του Ηλιακού συστήματος, αρχίζουν και σχηματίζονται στο εσωτερικό του δίσκου, με τους μικροσκοπικούς κόκκους σκόνης να κολλούν μεταξύ τους, διευρύνοντας το μέγεθός τους όλο και πιο πολύ. Καθώς οι συγκρούσεις μεταξύ τους συνεχίζονται, σχηματίζεται με την βοήθεια της βαρύτητας ένας μεγάλος αριθμός από όλο και μεγαλύτερες συσσωματώσεις ύλης, που σταδιακά φτάνουν σε μέγεθος μερικών χιλιομέτρων, τους επονομαζόμενους **πλανητοειδείς**. Οι συγκρούσεις μεταξύ των πλανητοειδών διαδραμάτισαν καθοριστικό ρόλο στην τελική διαμόρφωση του Ηλιακού συστήματος. Πολλοί απ' αυτούς δεν κατόρθωσαν να επιβιώσουν, καθώς οι βιαιότερες συγκρούσεις τους συνέτριβαν. Άλλοι πλανητοειδείς, ωστόσο, συγκωνεύονταν μεταξύ τους, διευρύνοντας όλο και πιο πολύ την μάζα τους, σχηματίζοντας σταδιακά πρωτοπλανήτες και εντέλει πλανήτες.

Επειδή την αρχέγονη εκείνη εποχή, η θερμοκρασία στο εσωτερικό τμήμα του πρώιμου Ηλιακού συστήματος ήταν ακόμη πολύ μεγάλη, οι διάφορες πτητικές ενώσεις, όπως το νερό και το μεθάνιο, δεν μπορούσαν να συμπυκνωθούν περαιτέρω και να στερεοποιηθούν.

Καλλιτεχνική αναπαράσταση
πρωτοπλανητικού δίσκου
[NASA/JPL-Caltech/R. Hurt (IPAC)]



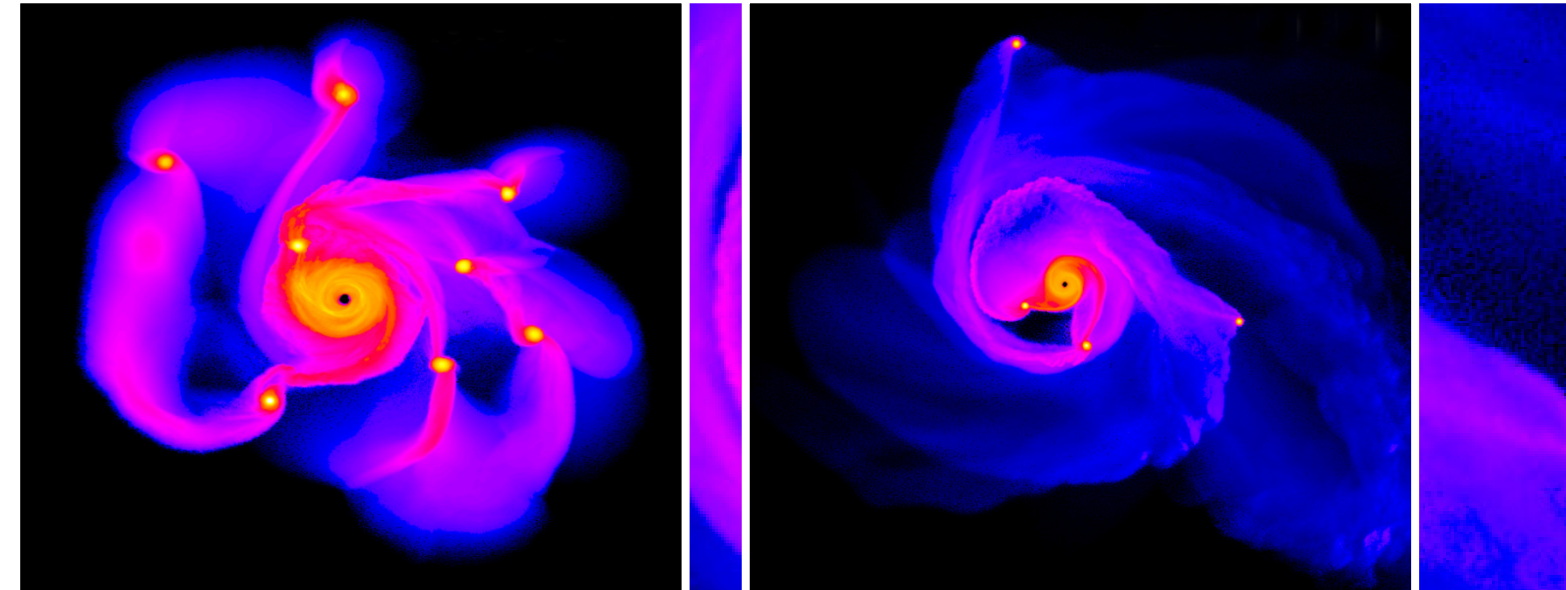
Γ' αυτό και τα πλανητοειδή που σχηματίζονταν κοντά στον Ήλιο αποτελούνταν κατά βάση από ενώσεις με υψηλό σημείο τήξης, όπως μέταλλα και ενώσεις πυριτίου. Δεδομένου, όμως, ότι οι ενώσεις αυτές αντιστοιχούσαν σε ένα ελάχιστο ποσοστό της συνολικής μάζας του προ-Ηλιακού νεφελώματος, οι βραχώδεις πλανήτες παρέμειναν σχετικά μικροί σε μέγεθος.

Αντιθέτως, οι αέριοι γίγαντες δημιουργήθηκαν σε μεγαλύτερες αποστάσεις από τον Ήλιο, σε περιοχές δηλαδή όπου η θερμοκρασία ήταν τόσο χαμηλή, ώστε οι διάφορες πτητικές ενώσεις παρέμειναν παγωμένες. Επειδή όμως οι ενώσεις αυτές υπήρχαν σε πολύ μεγαλύτερες ποσότητες απ' ό,τι ο σίδηρος, το νικέλιο και οι ενώσεις πυριτίου, οι εξωτερικοί πλανήτες συσσωρεύσαν στα πρώτα στάδια της εξέλιξής τους περισσότερη μάζα απ' ό,τι οι βραχώδεις πλανήτες, σχηματίζοντας πλανητοειδείς, που εκτός από μέταλλα και πετρώματα, εμπειρείαν και σημαντικές ποσότητες πάγων. Αυτή ακριβώς η μεγαλύτερη μάζα, η οποία συσσωρευόταν στα πλανητικά «έμβρυα» που σχηματίζονταν στο εξωτερικό Ηλιακό σύστημα, τους επέτρεψε να αιχμαλώτισουν με τη μεγαλύτερη βαρύτητά τους και μεγάλες ποσότητες αέριου υδρογόνου και ηλίου. Κάπως έτσι, ο αρχέγονος Δίας αύξησε εντυπωσιακά τη μάζα του, ενώ ο Κρόνος, ο οποίος εικάζεται ότι δημιουργήθηκε μετά τον Δία, οφείλει την μικρότερη μάζα του στο γεγονός ότι τα διαθέσιμα υλικά για τον σχηματισμό του ήταν λιγότερα, αφού τα περισσότερα είχαν ήδη καταλήξει στον Δία. Ο Ουρανός και ο Ποσειδώνας από την άλλη, εικάζεται ότι ολοκλήρωσαν τον σχηματισμό τους μετά τον Δία και τον Κρόνο, όταν ο ηλιακός άνεμος του νεαρού τότε Ήλιου είχε ήδη απομακρύνει τα υπολείμματα

του προ-Ηλιακού νεφελώματος. Γ' αυτό και η περιεκτικότητά τους σε υδρογόνο και ήλιο είναι αρκετά μικρότερη, συγκρινόμενη μ' αυτήν του Δία και του Κρόνου.

Παρ' όλο που η ερμηνεία αυτή για την μεγάλη περιεκτικότητα του Δία σε υδρογόνο και ήλιο είναι ίσως η επικρατέστερη, δεν την υιοθετούν όλοι οι αστρονόμοι. Κάποιοι επιστήμονες, για παράδειγμα, υποστηρίζουν ότι η συσσώρευση υδρογόνου και ηλίου στον αρχέγονο Δία θα έπρεπε να συνεχίζεται για αρκετά εκατομμύρια χρόνια, προκειμένου ο πλανήτης αυτός να αποκτήσει εντέλει την τεράστια μάζα που γνωρίζουμε ότι του αντιστοιχεί. Δεδομένου, όμως, ότι ο ηλιακός άνεμος πρέπει να είχε συμπαρασύρει μακριά τα υπολείμματα του προ-Ηλιακού νεφελώματος σε πολύ μικρότερες χρονικές κλίμακες, η μεγάλη μάζα του Δία δεν μπορεί κατ' αυτούς να ερμηνευθεί αποκλειστικά με τον τρόπο που προαναφέραμε. Όπως, δηλαδή, υποστηρίζουν οι επιστήμονες αυτοί, ο Δίας δεν απέκτησε το μεγαλύτερο ποσοστό της αρχικής του μάζας μέσα από την ιεραρχική διαδικασία της συνεχούς σύγκρουσης μικρότερων σωμάτων, τα οποία συγχωνεύονται σε όλο και μεγαλύτερα, αλλά μέσω μιας διαφορετικής διαδικασίας, που ονομάζεται **αστάθεια δίσκου**.

Σύμφωνα με την σχετική θεωρία, οι γιγάντιοι πλανήτες σχηματίζονται επειδή ο πρωτοπλανητικός δίσκος ήταν βαρυτικά ασταθής, με αποτέλεσμα επιμέρους περιοχές του να καταρρέουν απευθείας σε πρωτοπλανητικά σώματα. Μ' αυτόν τον τρόπο, οι πυκνές συσσωματώσεις αερίων και σκόνης, απ' τις οποίες προήλθαν οι γιγάντιοι πλανήτες, σχηματίζονταν πολύ ταχύτερα απ' όσο προβλέπει η «κλασική» θεωρία της συσσώρευσης ύλης. Το γεγονός αυτό επέτρεψε στον Δία να παγιδευ-



Στιγμιότυπα προσομοίωσης της θεωρίας αστάθειας δίσκου
(📷 ETH Zurich / CSCS)

σει ταχύτατα το αέριο υδρογόνο και ήλιο, προτού τα απομακρύνει ο ηλιακός άνεμος. Η απουσία, όμως, ικανού αριθμού δεδομένων δεν επιτρέπει προς το παρόν σαφείς και αδιαμφισβήτητες απαντήσεις αναφορικά με τον τρόπο που ο Δίας απέκτησε εντέλει την μεγάλη μάζα του.

Εκτός από το μέγεθος και την σύστασή τους, μία ακόμη διαφορά μεταξύ των εσωτερικών και των εξωτερικών πλανητών είναι ο αριθμός των δορυφόρων τους. Από τους εσωτερικούς πλανήτες, δηλαδή, μόνο η Γη έχει έναν δορυφόρο και ο Άρης δύο, σε αντίθεση με τους εξωτερικούς πλανήτες, που ο καθένας τους διαθέτει δεκάδες φεγγάρια. Όπως ακριβώς και η Σελήνη, οι μεγαλύτεροι δορυφόροι του Ηλιακού συστήματος

βρίσκονται σε **σύγχρονη περιστροφή**. Αυτό σημαίνει ότι ολοκληρώνουν μία περιστροφή γύρω από τον εαυτό τους στον ίδιο χρόνο που διαγράφουν μία πλήρη περιφορά γύρω από τον πλανήτη τους, με αποτέλεσμα να δείχνουν πάντα την ίδια όψη τους προς αυτόν. Ένα άλλο χαρακτηριστικό που διαφοροποιεί τους εξωτερικούς από τους εσωτερικούς πλανήτες είναι ότι οι πρώτοι περιβάλλονται από δακτυλίους, αν και μόνο του Κρόνου είναι φωτεινοί και μεγάλοι.

Ακόμη μακρύτερα, σε αποστάσεις 30-50 ΑΜ μακριά από τον Ήλιο, εκτείνεται η **Ζώνη Kuiper**, η οποία περιβάλλει σαν δακτυλίδι τις περιοχές και τα ουράνια σώματα του Ηλιακού συστήματος που προαναφέραμε, ενώ αποτελείται από κομμάτια παγωμένων πτητικών



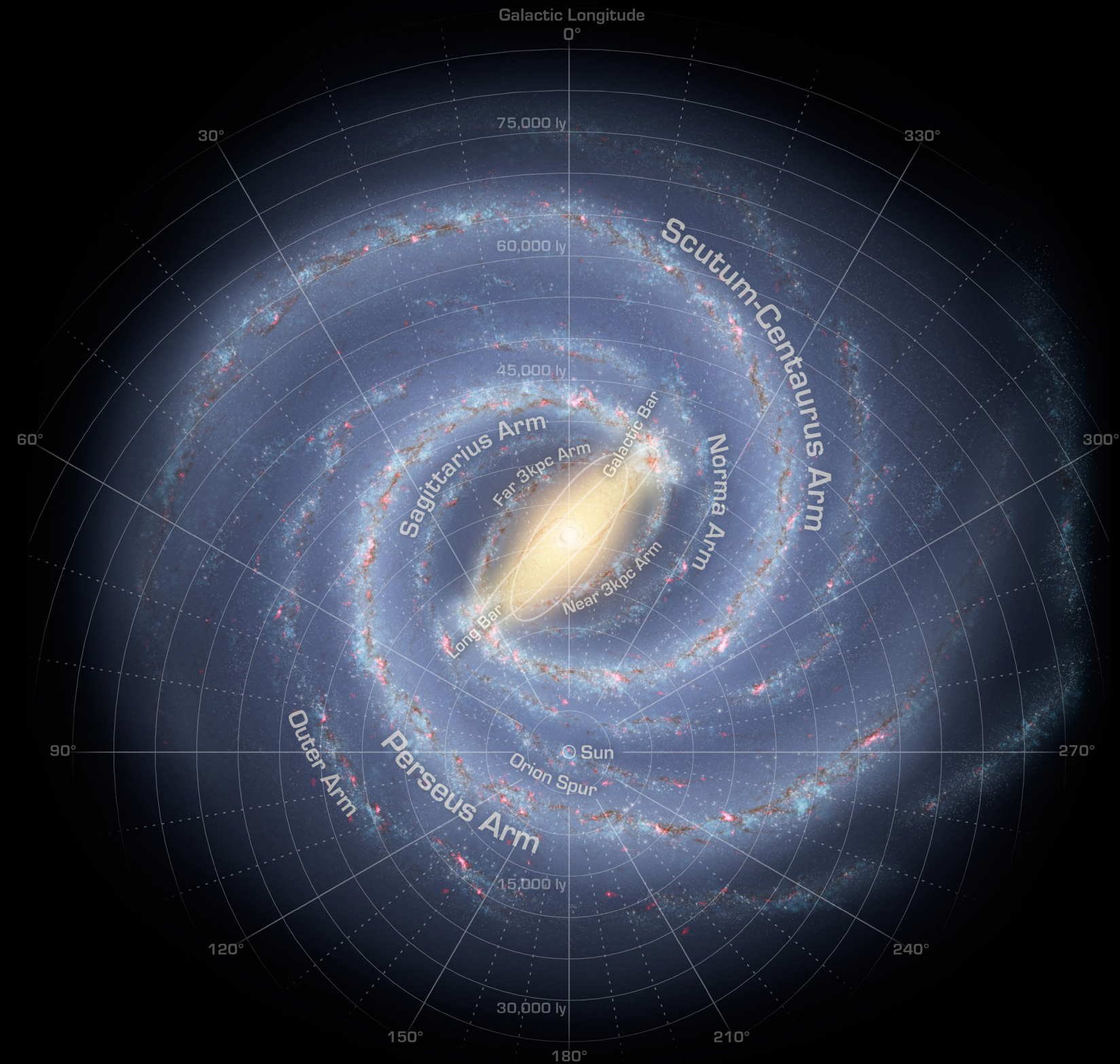
ενώσεων και πετρωμάτων. Στο εσωτερικό όριο αυτής της ζώνης βρίσκεται ο Πλούτωνας, που μέχρι το 2006 θεωρείτο πλανήτης, αλλά έκτοτε «υποβιβάστηκε» σε νάνο πλανήτη. Κατά κανόνα, οι πλανήτες του Ηλιακού συστήματος, αλλά και τα ουράνια σώματα της Ζώνης Κιίρκερ κινούνται σε επίπεδα τα οποία λίγο ως πολύ συμπίπτουν με αυτό της **Εκλειπτικής**, δηλαδή με το επίπεδο που σχηματίζει η τροχιά της Γης γύρω από τον Ήλιο. Ο **Διάσπαρτος Δίσκος**, από την άλλη, αποτελείται κι' αυτός από αντίστοιχα «βρόμικα παγόβουνα», με ιδιαίτερα ελλειπτικές τροχιές, όμως, που τα φέρνουν από τις 30-35 ΑΜ ακόμη και στις 100 ΑΜ μακριά από τον Ήλιο. Σε αντίθεση, μάλιστα, με τα ουράνια σώματα της Ζώνης Κιίρκερ, αλλά και με τους υπόλοιπους

πλανήτες, τα ουράνια σώματα του Διάσπαρτου Δίσκου κινούνται σε ιδιαίτερα κεκλιμένες τροχιές που τέμνουν το επίπεδο της Εκλειπτικής. Τέλος, σε ακόμη μεγαλύτερες αποστάσεις, οι οποίες υπερβαίνουν τις 50.000 ΑΜ από τον Ήλιο, εικάζεται ότι υπάρχει ένα σφαιρικό νέφος παγωμένων σωμάτων, το επονομαζόμενο **Νέφος Oort**, από το οποίο προέρχονται οι κομήτες μεγάλης περιόδου.

Αυτή είναι σε γενικές γραμμές η διαστημική μας γειτονιά, που με την σειρά της ανήκει σε μία αχανή αστρική πολιτεία 200 δισ. άστρων. Χαμένο ανάμεσα στα άστρα μίας εκ των εξωτερικών σπειρών του Γαλαξία και περίπου 26.000 έτη φωτός μακριά από το γαλαξιακό κέντρο βρίσκεται το Ηλιακό μας σύστημα ✦



Καλλιτεχνική αναπαράσταση του Γαλαξία μας στην οποία διακρίνεται η θέση του Ήλιου
 [NASA/JPL-Caltech/R. Hurt (SSC/Caltech)].



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΟΙ ΒΡΑΧΩΔΕΙΣ ΠΛΑΝΗΤΕΣ

ΠΕΡΑ ΑΠΟ ΤΗ ΓΗ

Από αριστερά προς τα δεξιά, ο Ερμής, η Αφροδίτη, η Γη και ο Άρης
(NASA/JHU APL/Carnegie Inst. Washington, NASA/JPL-Caltech, NASA/NOAA, NASA/JPL-Caltech/USGS).

Οι εσωτερικοί πλανήτες του Ηλιακού συστήματος μοιράζονται αρκετά κοινά χαρακτηριστικά. Τηρουμένων των αναλογιών έχουν παραπλήσια μάζα και μέγεθος, απαρτίζονται κυρίως από ενώσεις πυριτίου και μέταλλα, βομβαρδίστηκαν κατά το παρελθόν από αναρίθμητους αστεροειδείς, ενώ με εξαίρεση τον Ερμή, η Αφροδίτη, η Γη και ο Άρης ανέπτυξαν στη διάρκεια της εξέλιξής τους και ατμόσφαιρα. Οι ομοιότητες, όμως, αυτές λίγο ως πολύ σταματούν εδώ, καθώς στην διάρκεια του γεωλογικού χρόνου καθένας τους εξελίχθηκε με διαφορετικό τρόπο.



Ο Ερμής, ο μικρότερος πλανήτης του Ηλιακού συστήματος και εκείνος που βρίσκεται πλησιέστερα στον Ήλιο, έχει την πλέον ελλειπτική τροχιά απ' όλους τους πλανήτες. Στη διάρκεια της ημέρας η επιφανειακή του θερμοκρασία αγγίζει τους 430 °C. Επειδή, όμως, δεν διαθέτει ατμόσφαιρα, ώστε να παγιδεύσει την ηλιακή θερμότητα, στην διάρκεια της νύχτας η θερμοκρασία του πέφτει στους -180 °C. Η διάρκεια του έτους στον Ερμή αγγίζει τις 88 ημέρες, ενώ συμπληρώνει μία περιτροφή γύρω από τον άξονά του σε 59 ημέρες.

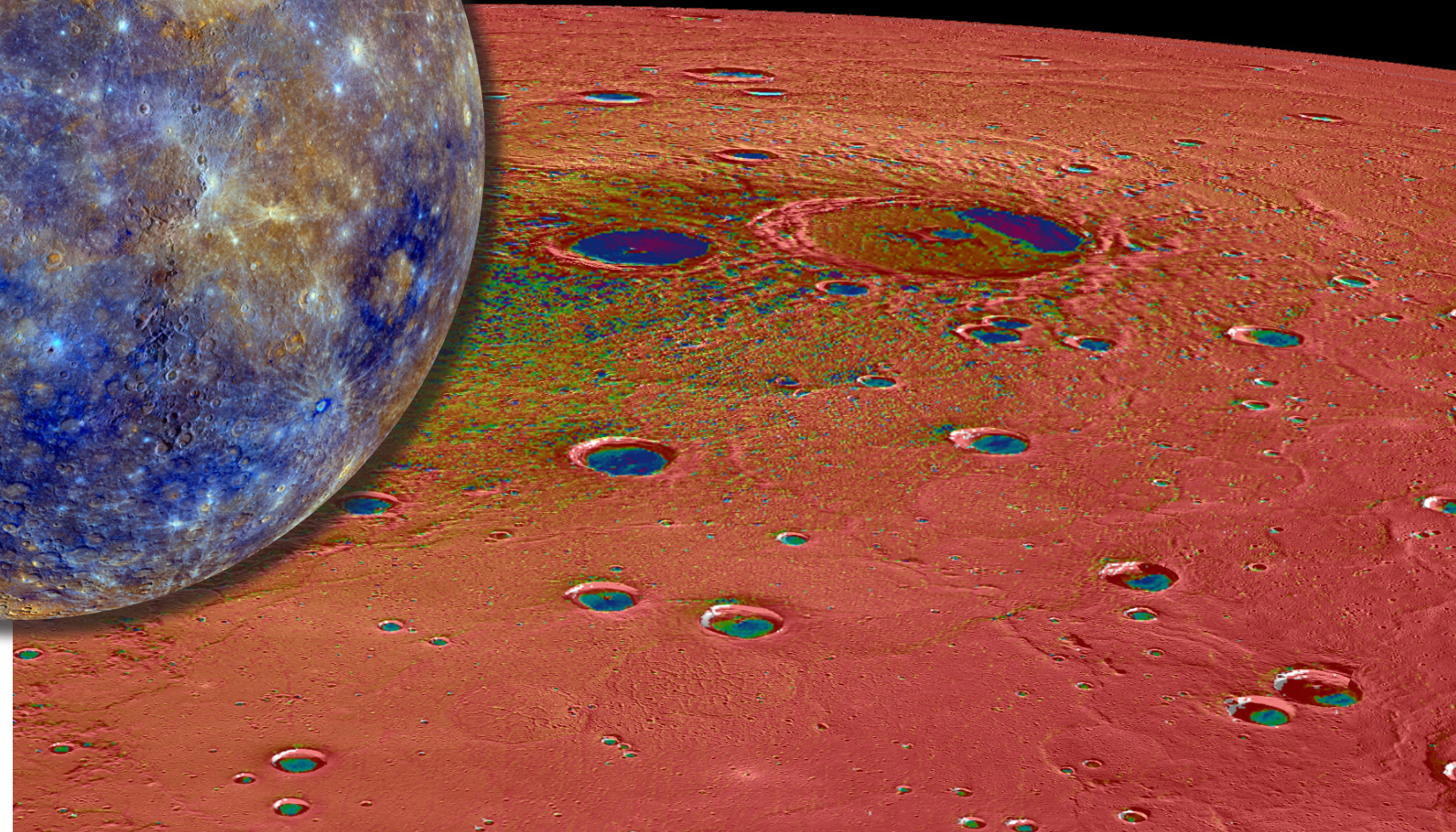
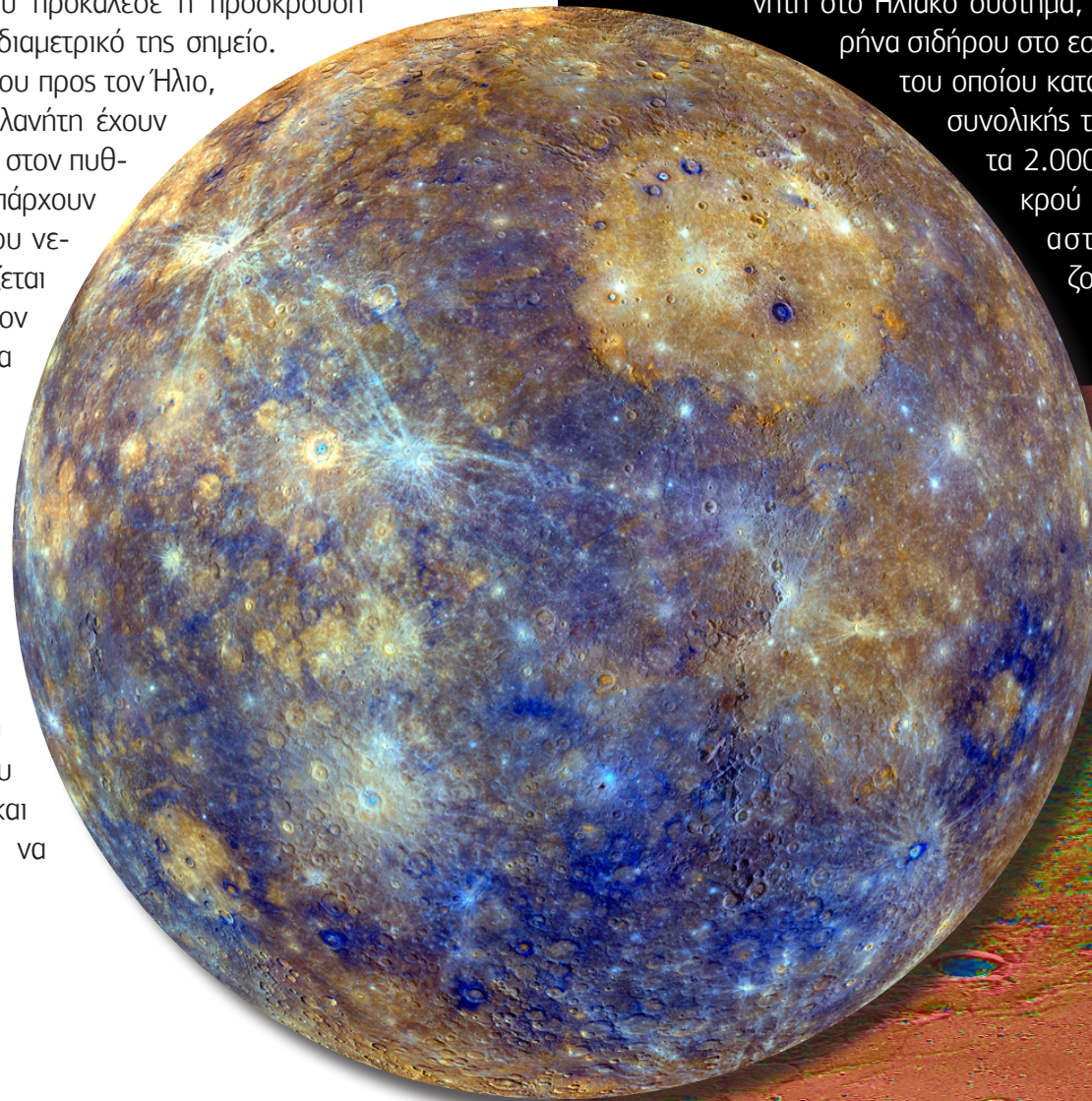
Εξαιτίας των τεράστιων επιφανειακών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται στη διάρκεια της ημέρας, αλλά και εξαιτίας της μικρής του βαρύτητας, ο Ερμής δεν διαθέτει ατμόσφαιρα. Περιβάλλεται εντούτοις από μία πολύ αραιή «εξώσφαιρα», η οποία αποτελείται από άτομα υδρογόνου, ηλίου, οξυγόνου, νατρίου, ασβεστίου και καλίου, τα οποία εκτινάσσονται από την επιφάνειά του εξαιτίας του ηλιακού ανέμου και της πτώσης αστεροειδών. Πραγματικά, η επιφάνεια του Ερμή καλύπτεται από κρατήρες που προκάλεσαν οι πτώσεις αμέτρητων αστεροειδών και κομητών, μεγαλύτερος από τους οποίους είναι ο κρατήρας πρόσκρουσης Caloris, με διάμετρο 1.500 km. Αντιδιαμετρικά του κρατήρα έχει διαμορφωθεί ένα παράξενο ανάγλυφο πεδίο με

κυματισμούς και πτυχώσεις, το οποίο σχηματίστηκε όταν δημιουργήθηκε και η Λεκάνη **Caloris**, καθώς τα σεισμικά κύματα που προκάλεσε η πρόσκρουση συνέκλιναν στο αντιδιαμετρικό της σημείο. Παρά την εγγύτητά του προς τον Ήλιο, στους πόλους του πλανήτη έχουν εντοπιστεί κρατήρες, στον πυθμένα των οποίων υπάρχουν ποσότητες παγωμένου νερού, το οποίο εικάζεται ότι μεταφέρθηκε στον Ερμή με την βοήθεια των αστεροειδών και των κομητών που συνετρίβησαν στην επιφάνειά του.

Ο Ερμής δεν παρουσιάζει σήμερα γεωλογική δραστηριότητα, αν και την περίοδο του έντονου βομβαρδισμού του από αστεροειδείς και κομήτες θα πρέπει να

ήταν ηφαιστειακά ενεργός. Με εξαίρεση τη Γη, ο Ερμής έχει την μεγαλύτερη πυκνότητα από κάθε άλλον πλανήτη στο Ηλιακό σύστημα, με έναν τεράστιο πυρήνα σιδήρου στο εσωτερικό του, η ακτίνα του οποίου καταλαμβάνει το 80% της συνολικής του ακτίνας και φτάνει τα 2.000 km. Εξαιτίας του μικρού του μεγέθους, πολλοί αστρονόμοι υποστηρίζουν ότι κανονικά ο Ερ-

μής πρέπει να έχει ήδη αποβάλει το μεγαλύτερο μέρος της αρχέγονης θερμότητας που είχε συσσωρεύσει στο εσωτερικό του κατά τα πρώτα στάδια της δημιουργίας του, που σημαίνει ότι πρέπει να έχει στερεοποιηθεί πλήρως. Όπως, όμως, ανακάλυψε το **Mariner 10** της NASA, ο Ερμής παράγει το δικό του, έστω και ασθενές, μαγνητικό πεδίο, κάτι που είναι δυνατό μόνο στην περίπτωση που ο εξωτερικός του πυρήνας είναι ρευστός. Το γιατί ο πυρήνας του Ερμή είναι τόσο μεγάλος και γιατί δεν έχει ακόμη στερεοποιηθεί πλήρως αποτελούν



Ο πλανήτης Ερμής

(📷 NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory Carnegie Institution of Washington)

Η βόρεια πολική περιοχή του Ερμή σε ψευδοχρωματική εικόνα που ελήφθη από το Messenger

(📷 NASA/JHU APLaboratory/Carnegie Inst. Washington).

δύο από τα μεγάλα και αναπάντητα ακόμη ερωτήματα που αντιμετωπίζουν οι αστρονόμοι στην προσπάθειά τους να αποκρυπτογραφήσουν τη γένεση και την εξέλιξή του. Πολλοί, ωστόσο, θεωρούν ότι ο εξωτερικός του πυρήνας παραμένει ρευστός διότι εμπεριέχει και ποσότητες ελαφρύτερων στοιχείων, όπως το πυρίτιο ή/και το θείο, που μειώνουν το σημείο τήξης του, αποτρέποντας έτσι την πλήρη στερεοποίησή του.

Ο δεύτερος πλανήτης από τον Ήλιο είναι η Αφροδίτη. Έχοντας παραπλήσιο μέγεθος, μάζα και πυκνότητα με τη Γη, αλλά και συγκρίσιμη, τηρουμένων των αναλογιών, μέση απόσταση από τον Ήλιο, δεν είναι παράξενο που στο παρελθόν προσδιοριζόταν συχνά ως η «δίδυμη» αδελφή της. Η αστρονομική έρευνα, ωστόσο, μας αποκάλυψε μία εντελώς διαφορετική εικόνα. Η Αφροδίτη περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της με αντίθετη φορά από αυτήν με την οποία περιστρέφεται η Γη, που σημαίνει ότι ο Ήλιος στην Αφροδίτη ανατέλλει από τη Δύση! Επιπλέον, ενώ μία πλήρης περιστροφή της γύρω από τον άξονά της διαρκεί περίπου 243 ημέρες, για να συμπληρώσει μία τροχιά γύρω από τον Ήλιο χρειάζεται μόλις 225. Μία μέρα δηλαδή στην Αφροδίτη διαρκεί περισσότερο από το έτος της!

Τα πυκνά νέφη θειικού οξέος που την καλύπτουν, ανακλούν το μεγαλύτερο ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας, καθιστώντας την Αφροδίτη το λαμπρότερο σώμα στον νυχτερινό ουρανό, μετά την Σελήνη φυσικά. Κι όμως, η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνειά της αρκεί για να την θερμάνει σε θερμοκρασίες υψηλότερες κι απ' αυτές ακόμη που επικρατούν στον Ερμή. Οι ιδιαίτερα υψηλές επιφανειακές της θερμοκρασίες οφείλονται σε ένα ανεξέλεγκτο φαινόμενο

του θερμοκηπίου. Καθώς, δηλαδή, η επιφάνεια της Αφροδίτης θερμαίνεται από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, την επανεκπέμπει με τη μορφή θερμικής ακτινοβολίας, η οποία όμως δεν μπορεί να διαφύγει στο Διάστημα διότι παγιδεύεται από την πυκνή της ατμόσφαιρα. Πραγματικά, η ατμόσφαιρά της έχει τόσο μεγάλη πυκνότητα, ώστε η ατμοσφαιρική πίεση στην επιφάνειά της είναι 90 φορές μεγαλύτερη από αυτήν της Γης, ενώ αποτελείται σχεδόν αποκλειστικά από διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το οποίο είναι ένα ιδιαίτερα ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου. Κατά συνέπεια, με επιφανειακές θερμοκρασίες που υπερβαίνουν τους 450 °C, η Αφροδίτη είναι ο θερμότερος και πλέον άνυδρος πλανήτης του Ηλιακού μας συστήματος.

Σε ύψος 45-75 km πάνω από την επιφάνεια της Αφροδίτης υπάρχει, όπως είπαμε και προηγουμένως, ένα πυκνό στρώμα νεφών θειικού οξέος. Τα νέφη αυτά κινούνται με ταχύτητες που αγγίζουν τα 370 km/h, που σημαίνει ότι περιστρέφονται γύρω από τον πλανήτη σε μόλις 4 γήινες ημέρες. Ο λόγος για τον οποίο συμβαίνει αυτό δεν είναι ακόμη απόλυτα κατανοητός, ενώ άγνωστος παραμένει και ο μηχανισμός που ενεργοποιεί τις μεγάλες περιστρεφόμενες δίνες που έχουν εντοπιστεί στους

πόλους της. Σε αντίθεση με τη Γη, η Αφροδίτη δεν διαθέτει μαγνητικό πεδίο, γεγονός που ίσως να οφείλεται στην υπερβολικά αργή περιστροφή της γύρω από τον άξονά της. Η απουσία, μάλιστα, ενός εσωτερικά παραγόμενου μαγνητικού πεδίου συνέβαλε καθοριστικά στην απώλεια του νερού από την επιφάνειά της.

Η επιφάνεια της Αφροδίτης καλύπτεται από βουνά, κοιλάδες και χιλιάδες ηφαιστεια, ενώ σύμφωνα με πρόσφατη έρευνα 37 από αυτά πρέπει να είναι ενεργά ακόμη και σήμερα. Μεγαλύτερο όλων είναι το **Maxwell**

Montes, με ύψος που φτάνει τα 11 km. Η ηφαιστειακή και η σεισμική δραστηριότητα του πλανήτη στο γεωλογικά πρόσφατο παρελθόν πρέπει να υπήρξε ιδιαίτερα έντονη. Η απουσία, όμως, μεγάλου αριθμού κρατήρων, αλλά και τα γενικότερα επιφανειακά της χαρακτηριστικά, υποδηλώνουν ότι η επιφάνεια της Αφροδίτης έχει κατά μέσο όρο ηλικία μόλις 500 εκατ. ετών και ότι διαθέτει ένα εντελώς διαφορετικό σύστημα τεκτονικών πλακών από την Γη. Η σεισμική δραστηριότητα στη Γη οφείλεται στην ξαφνική απελευθέρωση της ενέργειας η οποία συσσωρεύεται ανάμεσα στις διαφορετικές τε-



Η Αφροδίτη
(📷 NASA/JPL-Caltech)

Καλλιτεχνική αναπαράσταση ηφαιστειακής έκρηξης στην Αφροδίτη
(📷 © ESA-AOES Medialab)



κτονικές πλάκες, καθώς αυτές μετατοπίζονται διαρκώς, αναμορφώνοντας και τα επιφανειακά της χαρακτηριστικά. Η αναμόρφωση, όμως, αυτή είναι σε γενικές γραμμές ομοιόμορφα κατανεμημένη στον χρόνο, γι' αυτό και δεν παρατηρούνται σχεδόν ποτέ δραματικές αλλαγές της επιφάνειας του πλανήτη μας σε γεωλογικά σύντομο χρονικό διάστημα.

Η Αφροδίτη, αντιθέτως, διαθέτει απ' ό,τι φαίνεται μόνο μία τεκτονική πλάκα που καλύπτει ολόκληρο τον πλανήτη. Γι' αυτό και οι αστάθειες στο εσωτερικό του αυξάνονταν συνεχώς, χωρίς όμως να βρίσκουν διέξοδο προς την επιφάνειά του μέχρις ότου προσέγγισαν ένα κρίσιμο όριο, οπότε και απελευθερώθηκαν κατά τρόπο εκρηκτικό, το πολύ μέσα σε μόλις 500 εκατ. χρόνια. Το γεγονός μάλιστα ότι οι παλαιότεροι κρατήρες οι οποίοι έχουν παρατηρηθεί στην επιφάνεια της Αφροδίτης έχουν περίπου αυτήν την ηλικία συνηγορεί υπέρ της άποψης ότι η ενέργεια που απελευθερώθηκε σ' αυτό το χρονικό διάστημα προκάλεσε μια δραματική μεταβολή σε ολόκληρη την επιφάνειά της, εξαφανίζοντας τα προγενέστερα χαρακτηριστικά της. Γιατί συνέβη αυτό δεν είναι ακόμα γνωστό.

Επόμενος σταθμός του ταξιδιού μας στους πλανήτες του Ηλιακού συστήματος είναι ο Άρνης², ένας μικρός βραχώδης πλανήτης με μάζα που δεν υπερβαίνει το 10% αυτής του πλανήτη μας. Κατά την περιφορά του γύρω από

τον Ήλιο, που διαρκεί 687 ημέρες, ο Άρνης συνοδεύεται από δύο μικροσκοπικούς δορυφόρους, τον **Φόβο** και τον **Δείμο**, οι οποίοι είναι αστεροειδείς που αιχμαλωτίστηκαν από το βαρυτικό του πεδίο. Ο Άρνης περιβάλλεται από μια πολύ αραιή ατμόσφαιρα, 100 φορές πιο αραιή από την ατμόσφαιρα του πλανήτη μας, και αποτελείται κατά 95% από CO₂, ενώ όσον αφορά στην τεκτονική και ηφαιστειακή του δραστηριότητα, αυτή έχει σταματήσει προ πολλού. Παρά το μικρό του μέγεθος, ο Άρνης διαθέτει ίσως τα πιο εντυπωσιακά γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά από οποιονδήποτε άλλον πλανήτη στο Ηλιακό μας σύστημα.

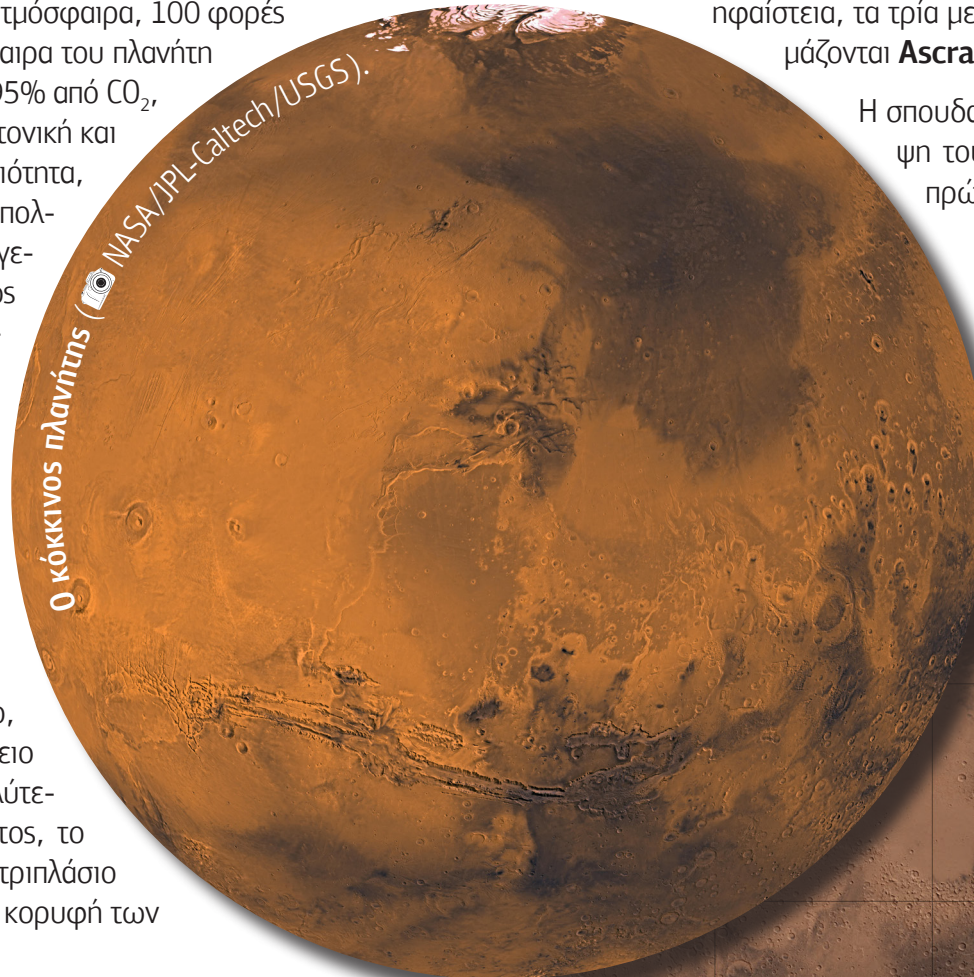
Ανάμεσα σ' αυτά ξεχωρίζουν ο γιγάντιος κρατήρας **Ελλάς**, με βάθος που υπερβαίνει τα 7 km, καθώς και το τεράστιο, αλλά σβηστό, ηφαιστειο **Olympus Mons**, το μεγαλύτερο του Ηλιακού συστήματος, το οποίο ορθώνεται σε ύψος τριπλάσιο σχεδόν από την ψηλότερη κορυφή των

Ιμαλαΐων, ενώ βρίσκεται στην βορειοδυτική άκρη ενός άλλου τοπογραφικού Λεβιάθαν. Το **υψίπεδο Θαρσίς**, όπως ονομάζεται ο τεράστιος αυτός όγκος που ξεπροβάλλει από τα έγκατα του πλανήτη, εμπεριέχει αρκετά ηφαιστεια, τα τρία μεγαλύτερα απ' τα οποία ονομάζονται **Ascraeus**, **Pavonis** και **Arsia**.

Η σπουδαιότερη, ωστόσο, ανακάλυψη του Mariner 9, και συνάμα η πρώτη σοβαρή ένδειξη για την

ύπαρξη νερού στον Άρνη κατά το αρχέγονο παρελθόν του, ήταν ένα σύστημα από ρωγμές, ρήγματα και χαράδρες ανατολικά του υψιπέδου Θαρσίς, τόσο αχανές που, εάν βρισκόταν στη Γη, θα διέτρεχε ολόκληρη την Ευρώπη, από την Λισαβόνα μέχρι πέρα από την Μόσχα: η **Κοιλιάδα Mariner**. Είναι χαρακτηριστικό ότι, τόσο στο βορειοδυτικό, όσο και στο ανατολικό άκρο της κοιλάδας Mariner, έχουν εντοπιστεί ενδείξεις ακραίας και καταστροφικής πλημμύρας.

Σε αυτόν τον χάρτη, από τα δεξιά προς τα αριστερά, διακρίνονται τα ηφαιστεια **Olympus Mons**, **Ascraeus**, **Pavonis** και **Arsia**, η «οχισμή» της κοιλάδας **Mariner** και ο κρατήρας **Ελλάς** (NASA, USGS).



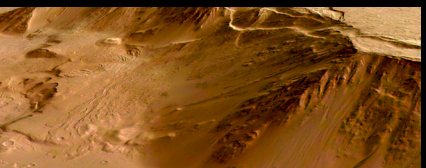
² Επιλέγουμε εδώ να μην αναφερθούμε καθόλου στην Γη, καθώς ο σχηματισμός και η γεωλογική εξέλιξη του πλανήτη μας παρουσιάστηκε αναλυτικά στο βιβλίο της ψηφιακής παράστασης *Η Ιστορία της Γης*. Για τον ίδιο λόγο απουσιάζουν και οι αναλυτικότερες πληροφορίες που αφορούν στον κόκκινο πλανήτη, οι οποίες εμπεριέχονται στο βιβλίο της ψηφιακής παράστασης *Ο Κόκκινος Πλανήτης* (δείτε την [Βιβλιογραφία για ελεύθερη πρόσβαση στα δύο αυτά βιβλία](#)).



Έκτοτε, υλοποιήθηκαν δεκάδες διαστημικές αποστολές προς τον Άρη, οι τελευταίες απ' τις οποίες εστίασαν κυρίως στην διερεύνηση της γεωλογικής του εξέλιξης και στην «ιστορία» του νερού στην επιφάνειά του. Η κατανόηση, ειδικότερα, του τρόπου με τον οποίο μεταβλήθηκαν τα αποθέματά του σε νερό στην διάρκεια του γεωλογικού χρόνου είναι καθοριστικής σημασίας στην προσπάθειά μας να εκτιμήσουμε την πιθανότητα να έχουν εμφανιστεί στον κόκκινο πλανήτη μικροβιακές μορφές ζωής. Όλα, πάντως, τα διαθέσιμα δεδομένα καταδεικνύουν ότι δισεκατομμύρια χρόνια πριν ο πλανήτης αυτός ήταν αρκετά πιο θερμός και «υγρός» και ότι το νερό στην επιφάνειά του σχημάτιζε λίμνες και θάλασσες. Στην διάρκεια της γεωλογικής του ιστορίας, όμως, ο Άρης «στέγνωσε».

Σήμερα, φυσικά, οι συνθήκες στον Άρη είναι ιδιαίτερα εχθρικές για την ζωή. Αυτό, ωστόσο, δεν ίσχυε κατά το αρχέγονο παρελθόν του, αφού το ηπιότερο κλίμα, η πυκνότερη ατμόσφαιρα και τα μεγάλα αποθέματα νερού που φαίνεται ότι υπήρχαν, καθιστούσαν τις συνθήκες ευνοϊκές για την εμφάνιση των απλούστερων μορφών της. Χωρίς αυτό να σημαίνει ότι η ζωή όντως έκανε τότε τα πρώτα της δειλά βήματα στην επιφάνεια του κόκκινου πλανήτη, πρόκειται για ένα εξαιρετικά ενδιαφέρον στοιχείο στην προσπάθειά μας να αναζητήσουμε τα ίχνη της ζωής και εκτός του πλανήτη μας.

Επομένως, εμφανίστηκαν εντέλει απλές μορφές ζωής στον κόκκινο πλανήτη, όταν ήταν ακόμη νέος; Παρά τα όσα έχουμε ανακαλύψει για τον Άρη, δεν γνωρίζουμε ακόμη την απάντηση. Εξακολουθούμε, δηλαδή, να αγνοούμε εάν συντελέστηκε και στον Άρη το «θαύμα της ζωής». Όπως έλεγε και ο αστρονόμος Carl Sagan (1934–1996), «*ακραίοι ισχυρισμοί απαιτούν εξαιρετικές αποδείξεις*». Αυτές ακριβώς τις «εξαιρετικές» αποδείξεις για την ύπαρξη παρελθούσας ή και τωρινής μικροβιακής ζωής στον Άρη δεν τις έχουμε ακόμη ανακαλύψει +



Καλλιτεχνική αναπαράσταση του ωκεανού που πιθανότατα υπήρχε στο βόρειο ημισφαίριο του Άρη, πριν από περίπου 4 δισ. χρόνια (📷 ESO/M. Kornmesser).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Η ΖΩΝΗ ΤΩΝ

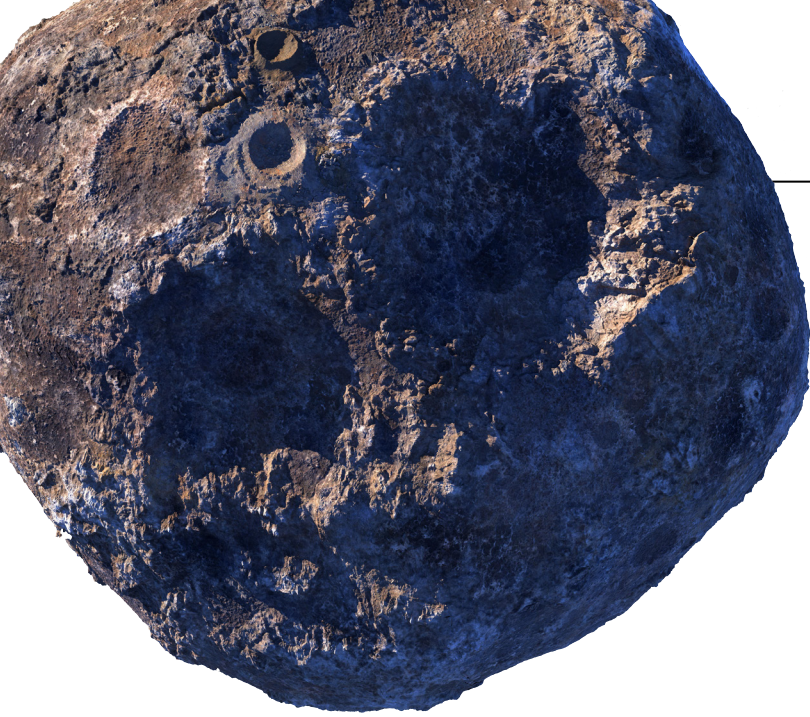
ΑΣΤΕΡΟΕΙΔΩΝ

ΠΕΡΑ ΑΠΟ ΤΗ ΓΗ

Καλλιτεχνική αναπαράσταση Ζώνης Αστεροειδών,
γύρω από ένα άστρο παρόμοιο με τον Ήλιο
[NASA/JPL-Caltech/T. Pyle (SSC)]

Τα αρχέγονα βραχώδη συντρίμια που δεν κατόρθωσαν να συγκροτήσουν μεγαλύτερα ουράνια σώματα κατά τα πρώτα στάδια της ιστορίας του Ηλιακού συστήματος ονομάζονται **αστεροειδείς**. Οι περισσότεροι από αυτούς σχηματίστηκαν σχετικά κοντά στον Ήλιο, εκεί δηλαδή όπου η θερμοκρασία ήταν αρκετά υψηλή και τα διάφορα πτητικά αέρια δεν μπορούσαν να στερεοποιηθούν σε πάγους. Γι' αυτό και απαρτίζονται κυρίως από πετρώματα και μέταλλα. Πολλοί, ωστόσο, έχουν δεσμεύσει και νερό στο εσωτερικό τους.





Με μεγέθη που κυμαίνονται από λίγα μέτρα μέχρι ένα τέταρτο περίπου της διαμέτρου της Σελήνης, οι περισσότεροι αστεροειδείς έχουν ανώμαλο σχήμα διότι η μάζα τους δεν είναι αρκετά μεγάλη, ώστε η ίδια τους η βαρύτητα να τους προσδώσει σφαιρικό σχήμα. Ο μεγαλύτερος πληθυσμός αστεροειδών απαρτίζει την **Ζώνη των Αστεροειδών**, μία περιοχή σε σχήμα τόρου (σαμπρέλας) που περιβάλλει τους εσωτερικούς πλανήτες του Ηλιακού συστήματος και αποτελεί το όριο πέρα από το οποίο εκτείνεται το βασίλειο των γιγάντιων πλανητών. Παρόλο που οι αστεροειδείς σχηματίστηκαν την ίδια περίπου εποχή που άρχισαν να διαμορφώνονται και οι βραχώδεις πλανήτες του Ηλιακού συστήματος, σε αντίθεση μ' αυτούς, δεν κατόρθωσαν να συσσωματω-

θούν σε μεγαλύτερα ουράνια σώματα και να δημιουργήσουν έναν ακόμα πλανήτη, πιθανότατα εξαιτίας της βαρυτικής επιρροής του γιγάντιου Δία.

Ανάλογα με τη χημική τους σύνθεση, οι αστεροειδείς διακρίνονται σε 3 βασικές κατηγορίες: σε εκείνους που αποτελούνται κατά βάση από άνθρακα, σ' αυτούς που εμπεριέχουν κυρίως πυρίτιο και σε αυτούς που απαρτίζονται από νικέλιο και σίδηρο. Οι διαφορές αυτές στην χημική σύσταση των αστεροειδών οφείλονται στο πόσο μακριά από τον Ήλιο σχηματίστηκαν, ενώ περίπου το 75% των γνωστών αστεροειδών ανήκουν στην πρώτη κατηγορία. Ακριβώς εξαιτίας της μεγάλης περιεκτικότητάς τους σε άνθρακα, η φωτεινότητά τους είναι ιδιαίτερα χαμηλή, ενώ οι περισσότεροι αστεροειδείς που ανήκουν σ' αυτήν την κατηγορία βρίσκονται στην εξωτερική πλευρά της Ζώνης των Αστεροειδών, σε απόσταση περίπου 3,5 ΑΜ από τον Ήλιο. Η δεύτερη κατηγορία, στην οποία αντιστοιχεί περίπου το 17% των γνωστών αστεροειδών, αποτελείται κυρίως από πυριτιούχα πετρώματα σιδήρου και μαγνησίου, ενώ οι περισσότεροι απ' αυτούς βρίσκονται συγκεντρωμένοι στην εσωτερική πλευρά της Ζώνης των Αστεροειδών. Σπανιότεροι όλων είναι οι αστεροειδείς που αποτελούνται από νικέλιο και σίδηρο, οι οποίοι θεωρείται ότι είναι τα λείψανα των μεταλλικών πυρήνων μεγαλύτερων

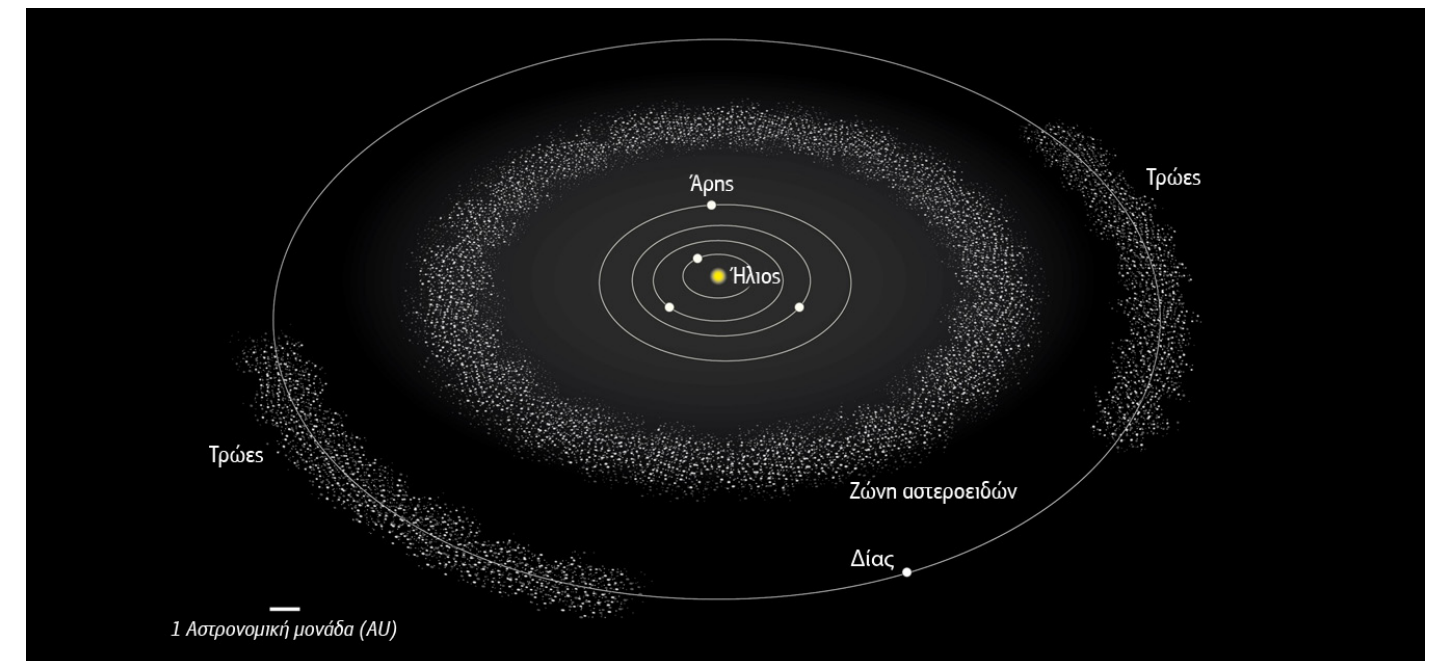
Πάνω: Καλλιτεχνική αναπαράσταση του αστεροειδούς Ψυχή, ο οποίος αποτελείται από μεγάλες ποσότητες σιδήρου και νικελίου, αναμειγμένων με πετρώματα (NASA/JPL-Caltech/ASU).

Δεξιά: Σχηματική αναπαράσταση της Ζώνης των Αστεροειδών, καθώς και των «Τρώων», που βρίσκονται εγκλωβισμένοι στην τροχιά του Δία (NASA).

αστεροειδών που διαμελίστηκαν από συγκρούσεις. Ο συνολικός αριθμός των αστεροειδών της Ζώνης με μέγεθος μεγαλύτερο του 1 km εκτιμάται ότι ανέρχεται περίπου σε 1–2 εκατ. αστεροειδείς, ενώ υπάρχουν και εκατομμύρια μικρότεροι.

Εκτός, όμως, από τους αστεροειδείς της Ζώνης των Αστεροειδών, υπάρχουν πολλοί ακόμη αστεροειδείς, οι οποίοι έχουν αιχμαλωτιστεί από την βαρυτική έλξη κάποιου πλανήτη σε μικρά βαρυτικά σμήνη, που είτε έπονται είτε τον ακολουθούν στην τροχιά του γύρω από τον Ήλιο. Αυτού του είδους οι αστεροειδείς ονομάζονται **Τρώες** και «μοιράζονται» την τροχιά του πλανήτη τους χωρίς να συγκρούονται μαζί του, καθώς έχουν την τάση να συγκεντρώνονται γύρω από δύο σημεία,

όπου η βαρυτική έλξη του Ήλιου εξισορροπείται απ' την βαρυτική έλξη του πλανήτη. Ο μεγαλύτερος πληθυσμός Τρώων είναι αυτός που βρίσκεται «εγκλωβισμένος» στην τροχιά του Δία, αφού, σύμφωνα με κάποιες εκτιμήσεις, εκείνοι που έχουν μέγεθος μεγαλύτερο του 1 km υπολογίζεται ότι ανέρχονται σε περίπου 1 εκατομμύριο. Πέραν αυτών, υπάρχουν ομάδες Τρώων που κινούνται στην τροχιά του Ποσειδώνα, ενώ το 2011 η NASA ανακοίνωσε την ανακάλυψη ενός Τρώα στην τροχιά του πλανήτη μας. Επιπλέον, πολλοί από τους μικρότερους δορυφόρους των εξωτερικών γιγάντιων πλανητών εικάζεται ότι και αυτοί είναι αστεροειδείς, που αιχμαλωτίστηκαν βαρυτικά από τον πλανήτη τους, ενώ το ίδιο φαίνεται να ισχύει και για τους δύο μικρούς δορυφόρους του Άρν: τον Φόβο και τον Δείμο.



Υπάρχουν, όμως, αρκετοί ακόμη αστεροειδείς, με τροχιές που τους φέρνουν σε μικρές αποστάσεις από τον πλανήτη μας. Αυτά τα «Κοντινά προς την Γη αντικείμενα», γνωστά και ως **NEO** (από τα αρχικά της αγγλικής τους ονομασίας, Near Earth Objects), εξαιτίας της βαρυτικής τους αλληλεπίδρασης με γειτονικούς πλανήτες, εισήλθαν σε τροχιές, των οποίων το περιήλιο (δηλ. το πλησιέστερο σημείο της τροχιάς τους στον Ήλιο) βρίσκεται σε απόσταση μικρότερη των 1,3 ΑΜ.

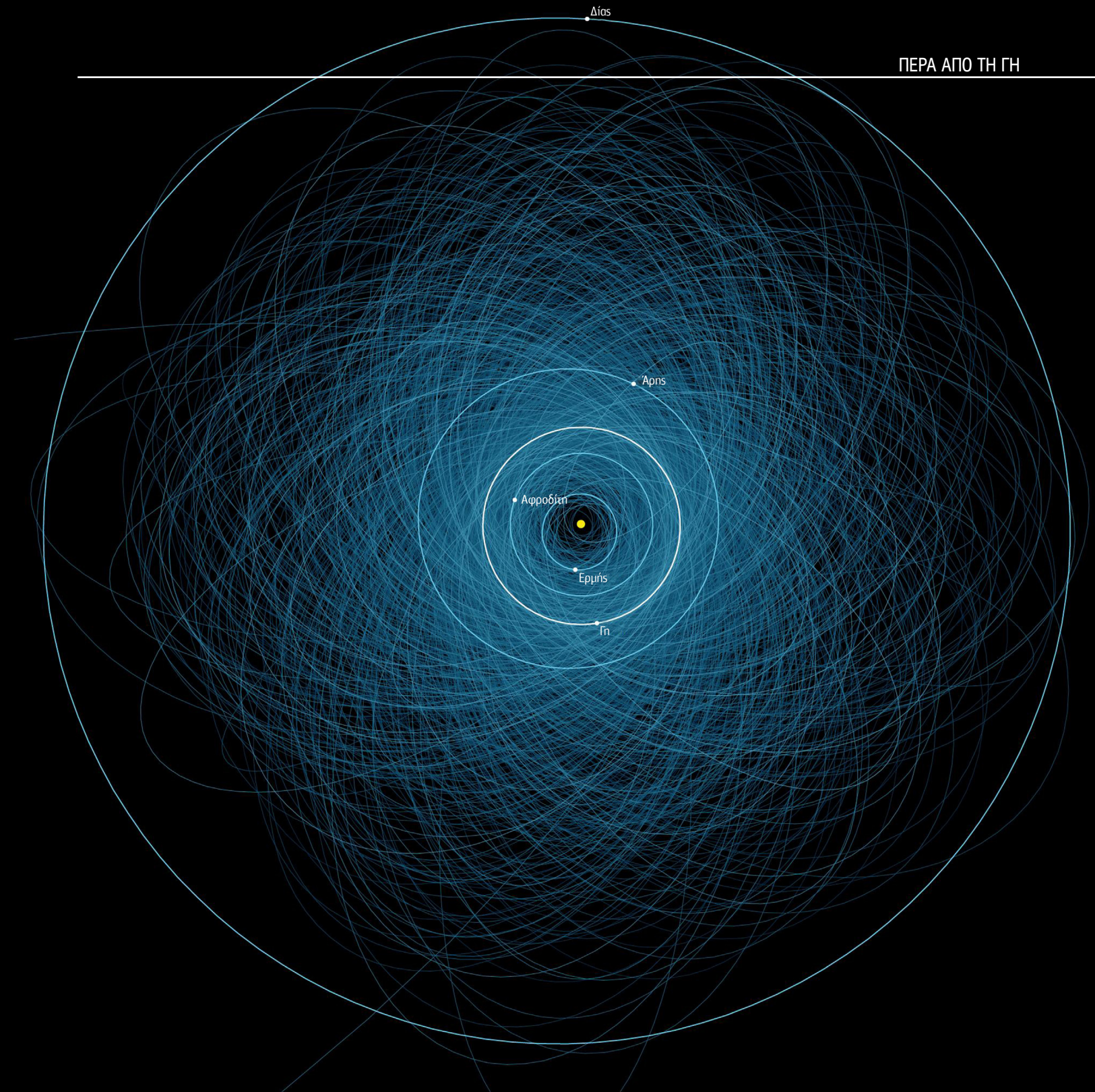
Εκτός από τους αστεροειδείς, υπάρχουν πολλά περισσότερα διαστημικά συντρίμια, τα οποία είναι αρκετά μικρότερα και τα οποία, για όσο χρόνο «περιπλανώνται» στο Διάστημα, ονομάζονται **μετεωροειδείς**. Οι μετεωροειδείς έχουν μέγεθος από κόκκο σκόνης μέχρι περίπου το ένα μέτρο και οι περισσότεροι αποτελούν θραύσματα αστεροειδών ή κομητών. Όταν, όμως, εισέλθουν στην γήινη ατμόσφαιρα, μετατρέπονται σε **μετέωρα** ή **διάπτοντες αστέρες**. Καθώς διασχίζουν την γήινη ατμόσφαιρα με ταχύτητες που υπερβαίνουν τα 72.000 km/h, υπερθερμαίνονται εξαιτίας της τριβής με τα σωματίδια της ατμόσφαιρας, σχηματίζοντας μια φωτεινή «ουρά», τόσο από το ίδιο το μετέωρο που φωτοβολεί εξαιτίας της μεγάλης του θερμοκρασίας, όσο και από τα υπερθερμασμένα μικροσωματίδια που αφήνει πίσω του. Εάν το μετέωρο είναι αρκετά μεγάλο, ώστε να επιβιώσει το σύντομο ταξίδι του μέσα από την ατμόσφαιρα, το «λείψανό» του που θα προσκρούσει στο έδαφος ονομάζεται **μετεωρίτης**. Υπολογίζεται μάλιστα ότι περίπου

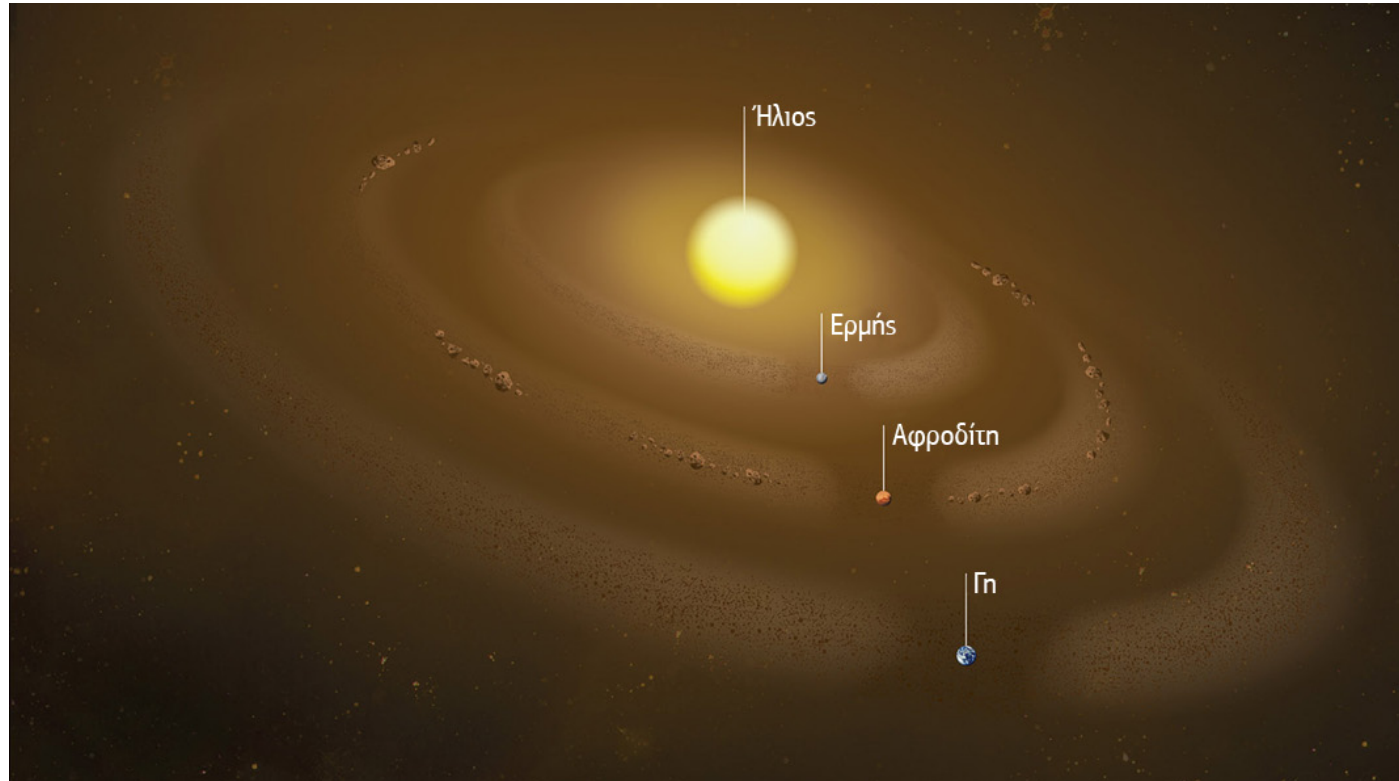
40 τόνοι τέτοιου υλικού εναποτίθενται στην επιφάνεια της Γης κάθε μέρα. Κάποιες φορές, όμως, ο αριθμός των μετεώρων που διασχίζουν τον γήινο ουρανό αυξάνεται εντυπωσιακά. Αυτές οι βροχές διαπτόντων αστέρων παρατηρούνται συνήθως όταν ο πλανήτης μας, καθώς κινείται στην τροχιά του, διέρχεται μέσα από τα υπολείμματα της ουράς κάποιου κομήτη. Οι περισσότεροι από τους μετεωρίτες που έχουμε εντοπίσει στην Γη προέρχονται από αστεροειδείς, ενώ κάποιοι ελάχιστοι είναι πετρώματα, προερχόμενα από την Σελήνη και τον Άρη, τα οποία εκτινάχθηκαν στο Διάστημα κατά την συντριβή αστεροειδών στην επιφάνειά τους.

Τέλος, υπάρχουν απ' ό,τι φαίνεται και ορισμένοι δακτύλιοι σκόνης, οι οποίοι εκτείνονται κατά μήκος της τροχιάς του Ερμή, της Αφροδίτης και της Γης. Σε αντίθεση, όμως, με τον δακτύλιο σκόνης του πλανήτη μας, ο οποίος πρέπει να σχηματίστηκε από συγκρούσεις σωμάτων στο εσωτερικό όριο της Ζώνης των Αστεροειδών, ο δακτύλιος σκόνης που ανακαλύφθηκε στην τροχιά της Αφροδίτης, ίσως και να προέρχεται από συγκρούσεις αστεροειδών που ήδη «μοιράζονται» την τροχιά της, οι οποίοι όμως δεν έχουν ανακαλυφθεί μέχρι σήμερα.

Συστηματική μελέτη της Ζώνης των Αστεροειδών δεν έχει πραγματοποιηθεί στον βαθμό που θα ήθελαν οι αστρονόμοι. Το Pioneer 10 ήταν η πρώτη διαστημοσυσκευή που κατάφερε να διασχίσει τη Ζώνη Αστερο-

Σε αυτή την εικόνα διακρίνονται οι τροχιές 1.400 δυνητικά επικίνδυνων αστεροειδών, με μέγεθος μεγαλύτερο των 140 m, που τους φέρνουν σε μικρή απόσταση από την τροχιά της Γης (NASA/JPL-Caltech).





Καλλιτεχνική αναπαράσταση των δακτυλίων σκόνης στο εσωτερικό τμήμα του Ηλιακού συστήματος

(📷 NASA's Goddard Space Flight Center/Mary Pat Hrybyk-Keith)

ειδών τον Ιούλιο του 1972, κάτι που επαναλήφθηκε τα επόμενα χρόνια με τις αποστολές των Pioneer 11 (1973), Voyager 1 και 2 (1977) και Ulysses (1990). Αργότερα, αρχίς γενομένης με την αποστολή Galileo, που ανακάλυψε τον πρώτο δορυφόρο να περιφέρεται γύρω από έναν αστεροειδή, οι διαστημοσυσσκευές NEAR, Cassini, Stardust, New Horizons και Rosetta κατόρθωσαν να φωτογραφίσουν συγκεκριμένους αστεροειδείς, προτού συνεχίσουν το ταξίδι τους για

τις επιμέρους αποστολές τους. Μέχρι στιγμής, όμως, μόλις 5 διαστημικές αποστολές έχουν υλοποιηθεί με αποκλειστικό στόχο την αναλυτική μελέτη κάποιου αστεροειδούς, περισσότερα για τις οποίες θα πούμε στο τελευταίο κεφάλαιο αυτού του βιβλίου, στο οποίο θα παρουσιάσουμε πολύ περιληπτικά την εξερεύνηση του Ηλιακού συστήματος.

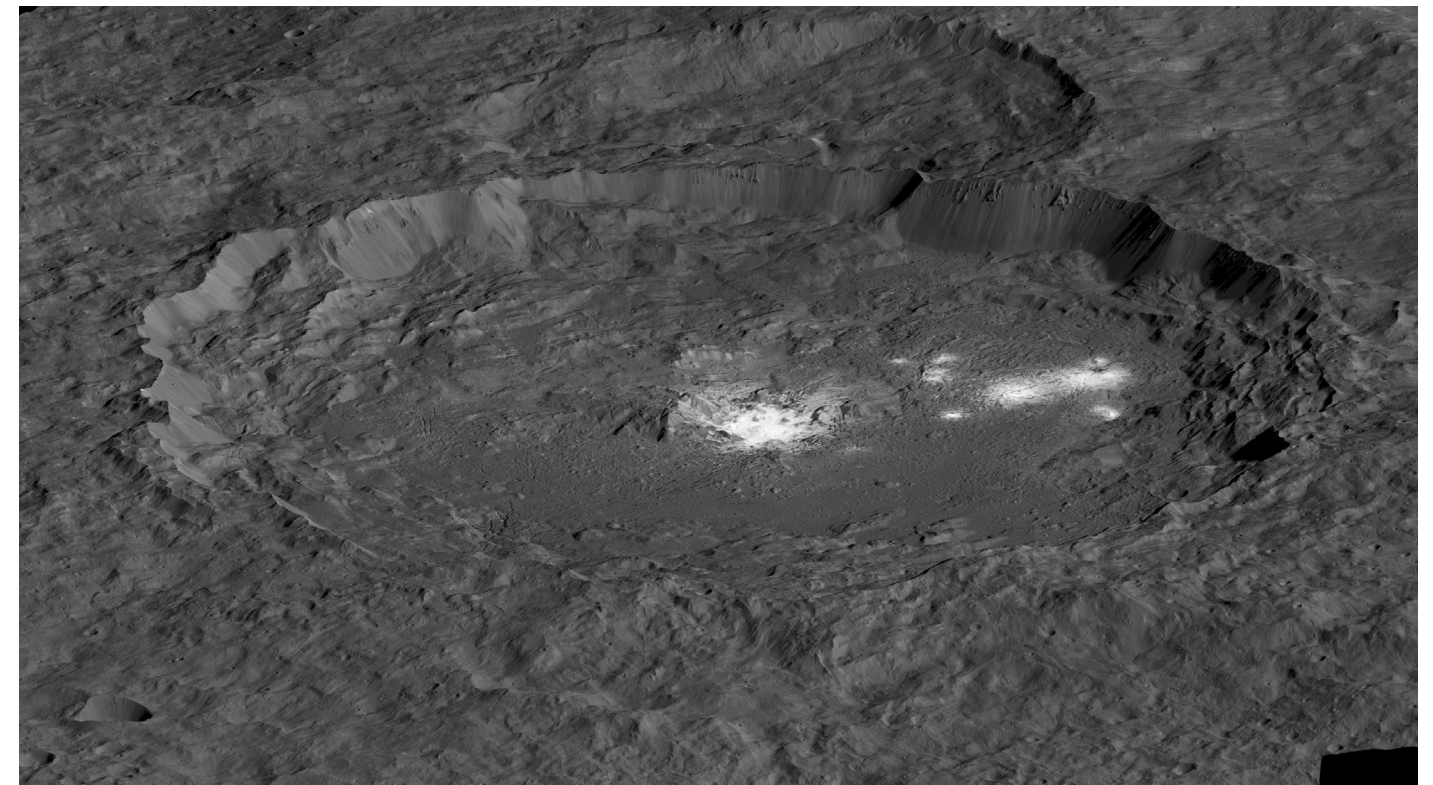
Οι δύο μεγαλύτεροι αστεροειδείς της Ζώνης είναι η

Δήμητρα και η Εστία, με την πρώτη να μοιάζει περισσότερο με τους παγωμένους δορυφόρους των αέριων γιγάντων και την δεύτερη να θυμίζει περισσότερο τους βραχώδεις πλανήτες του Ηλιακού συστήματος. Σύμφωνα με την κρατούσα θεωρία σχηματισμού τους, τόσο η Δήμητρα όσο και η Εστία διαμορφώθηκαν σε λίγα μόνο εκατ. χρόνια, σε αντίθεση με την πρώιμη Γη, η οποία συνέχισε να συσσωρεύει διαστημικά θραύσματα για αρκετά περισσότερα. Όπως σημειώσαμε

νωρίτερα, βασική αιτία γι' αυτό εικάζεται ότι είναι η παρουσία του Δία, η βαρυτική έλξη του οποίου εμπόδισε την περαιτέρω συσσώρευση ύλης στους δύο αυτούς αστεροειδείς.

Η **Δήμητρα** ανακαλύφθηκε το 1801 και με διάμετρο που φτάνει τα 950 km, δεν είναι μόνο ο μεγαλύτερος αστεροειδής της Ζώνης των Αστεροειδών, αλλά και ο μικρότερος μέχρι στιγμής νάνος πλανήτης του Ηλιακού

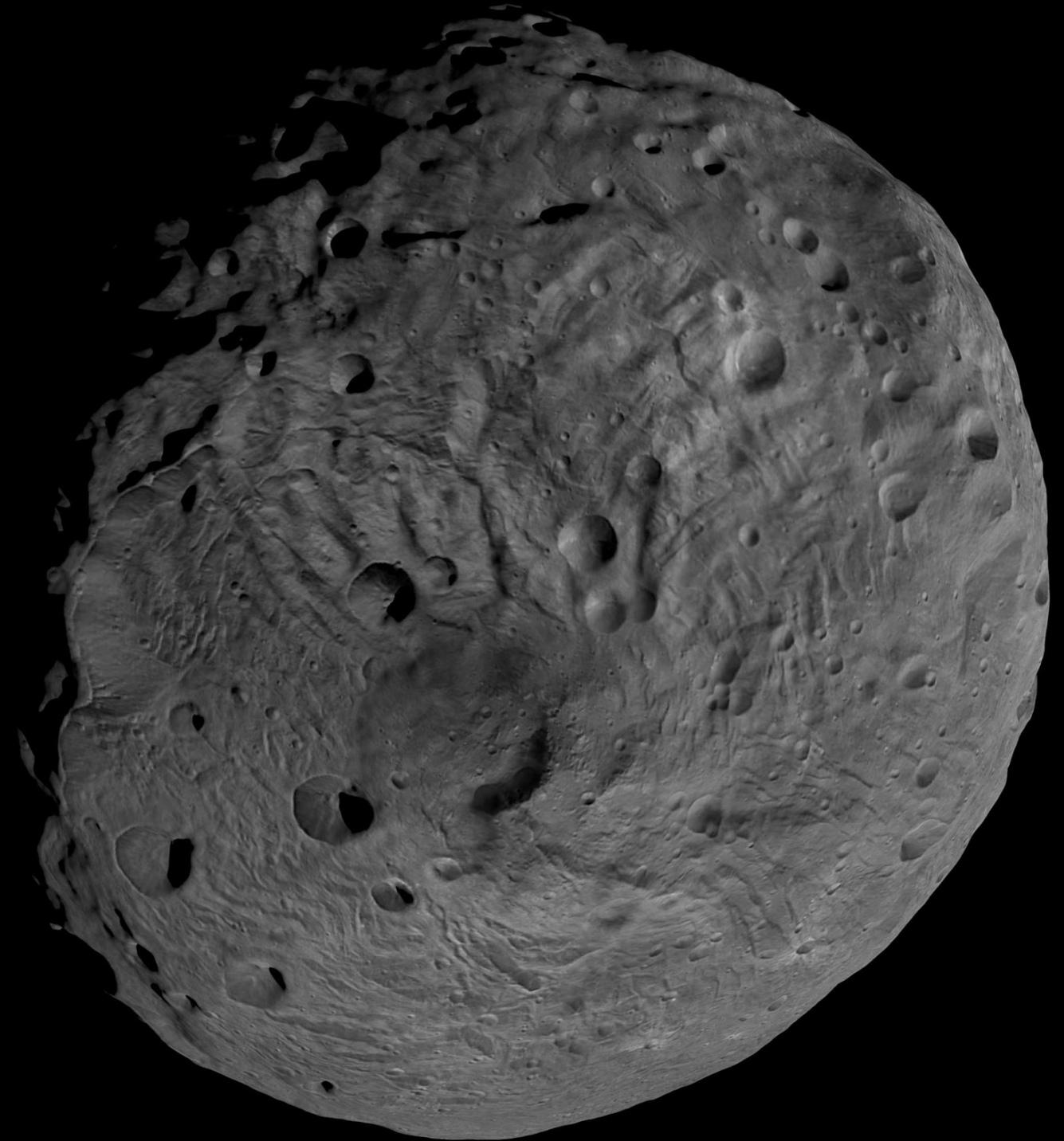
Προσομοίωση του κρατήρα Occator του νάνου πλανήτη Δήμητρα, βασισμένη σε εικόνες που ελήφθησαν από την διαστημοσυσσκευή Dawn
(📷 ASA/JPL-Caltech/UCLA/MPS/DLR/IDA).



συστήματος. Σύμφωνα με νεότερα στοιχεία, η Δήμητρα αποτελείται από μείγμα πετρωμάτων και πάγου, ενώ περιβάλλεται από μια πολύ αραιή ατμόσφαιρα υδρατμών. Οι μεγάλες ποσότητες πάγου αλλά και αμμωνίας που έχουν ανιχνευτεί, υποδηλώνουν ότι ίσως να σχηματίστηκε πέρα απ' την τροχιά του Ποσειδώνα και να «μετανάστευσε» προς την Ζώνη των Αστεροειδών, την εποχή που το Ηλιακό μας σύστημα ήταν ακόμη ασταθές.

Η **Εστία**, από την άλλη, ανακαλύφθηκε το 1807 και είναι το δεύτερο σε μέγεθος ουράνιο σώμα της Ζώνης των Αστεροειδών, με μέση διάμετρο περίπου 530 km και με επιφάνεια καλυμμένη από στερεοποιημένη βασaltική λάβα, που διέρρευσε από το κάποτε ρευστό

εσωτερικό της. Οι αναρίθμητες προσκρούσεις αστεροειδών στην επιφάνειά της, καθόλη την διάρκεια της γεωλογικής της ιστορίας, σχημάτισαν χιλιάδες μικρούς και μεγάλους κρατήρες, ο μεγαλύτερος των οποίων εντοπίστηκε στην ευρύτερη περιοχή του νότιου πόλου της και έχει διάμετρο 460 km και βάθος 13 km. Τα γενικότερα φυσικά χαρακτηριστικά της Εστίας παραπέμπουν περισσότερο σε αυτά των εσωτερικών πλανητών του Ηλιακού συστήματος, που σημαίνει ότι σ' αυτό το κάποτε ρευστό πρωτοπλανητικό σώμα, τα βαρύτερα υλικά βυθίστηκαν προς τον πυρήνα του, ο οποίος αποτελείται μάλλον από σίδηρο και νικέλιο, ενώ τα ελαφρύτερα πετρώματα που επέπλεαν, σχημάτισαν τον μανδύα και τον φλοιό του ➔



Η Εστία σε εικόνα που ελήφθη από την διαστημοσυσκευή Dawn
(📷 NASA/JPL-Caltech/UCLA/MPS/DLR/IDA).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Ο ΔΙΑΣ

ΠΕΡΑ ΑΠΟ ΤΗ ΓΗ



Ο Δίας σε φωτογραφία που ελήφθη από το Juno
[📷 Enhanced image by Kevin M. Gill (CC-BY) based on
images provided courtesy of NASA/JPL-Caltech/SwRI/MSSS].

Ο Δίας είναι ο μεγαλύτερος πλανήτης του Ηλιακού συστήματος. Έχοντας διπλάσια περίπου μάζα από το σύνολο της μάζας όλων των υπόλοιπων πλανητών, εάν είχε συσσωρευτεί στα πρώτα στάδια της δημιουργίας του εκατονταπλάσια περίπου υλικά, η θερμοκρασία και η πίεση στο εσωτερικό του θα ήταν τόσο μεγάλη, ώστε η επακόλουθη έναρξη των πυρηνικών αντιδράσεων σύντηξης θα τον είχε κατατάξει στην οικογένεια των άστρων και όχι των πλανητών. Δεδομένου, μάλιστα, ότι η ακτίνα του είναι ίση περίπου με το ένα δέκατο της ακτίνας του Ήλιου, ενώ η μάζα του είναι περίπου 1.000 φορές μικρότερη, η μέση πυκνότητα του Δία είναι παραπλήσια μ' αυτήν του άστρου μας, αλλά αρκετά μικρότερη απ' αυτήν των εσωτερικών πλανητών.



Η μέση απόσταση του Δία από τον Ήλιο αγγίζει τις περίπου 5,2 ΑΜ, απόσταση στην οποία συμπληρώνει μία πλήρη τροχιά γύρω του σε σχεδόν 12 χρόνια. Η κλίση του άξονα περιστροφής του είναι μόλις 3°, που σημαίνει ότι δεν υπόκειται σε σημαντικές εποχιακές εναλλαγές, όπως η Γη. Ο Δίας στροβιλίζεται ταχύτερα από οποιονδήποτε άλλον πλανήτη του Ηλιακού συστήματος, συμπληρώνοντας μία περιστροφή γύρω από τον εαυτό του σε μόλις 10 ώρες. Η ταχύτατη αυτή περιστροφή παραμορφώνει το σφαιρικό του, σχήμα, εξογκώνοντας την περιοχή στον ισημερινό του έτσι ώστε η διάμετρός του εκεί να είναι σχεδόν 10.000 km μεγαλύτερη από την διάμετρο στους πόλους του.

Ο Δίας αποτελείται ως επί το πλείστον από υδρογόνο και ήλιο, ενώ εξαιτίας των μεγάλων θερμοκρασιών και πιέσεων που αναπτύσσονται στο εσωτερικό του, το αέριο υδρογόνο μετατρέπεται σταδιακά σε ρευστό.

Σε ακόμη μεγαλύτερα βάθη, η πίεση γίνεται τόσο μεγάλη, ώστε τα ηλεκτρόνια αποδεσμεύονται από τα άτομα τους και το ρευστό υδρογόνο μετατρέπεται σε ένα ηλεκτρικά αγωγίμο ρευστό, που ονομάζεται **μεταλλικό υδρογόνο**.

Η ταχύτατη περιστροφή του Δία γύρω από τον άξονά του ενεργοποιεί ηλεκτρικά ρεύματα σ' αυτήν την περιοχή, στα οποία οφείλεται το μαγνητικό του πεδίο, το οποίο προκαλεί στους πόλους του ένα ιδιαίτερα ισχυρό πολικό σέλας που είναι ορατό κυρίως στο υπεριώδες και στις ακτίνες Χ. Η μαγνητόσφαιρα του Δία, δηλαδή η ευρύτερη περιοχή του Διαστήματος η οποία επηρεάζεται από το μαγνητικό του πεδίο, εκτείνεται σε απόσταση 1-3 εκατ. km προς τον Ήλιο, αλλά περισσότερο από 1 δισ. km προς την αντίθετη κατεύθυνση, φτάνοντας μέχρι την τροχιά του Κρόνου. Τα φορτισμένα σωματίδια που παγιδεύονται από το μαγνητικό πεδίο του Δία

επιταχύνονται σε ιδιαίτερα υψηλές ενέργειες και βομβαρδίζουν τους εσωτερικούς του δορυφόρους, διαμορφώνοντας γύρω του ζώνες υψηλής ακτινοβολίας, οι οποίες αποτελούν σοβαρό κίνδυνο για κάθε διαστημοσυσκευή που θα τις διασχίσει.

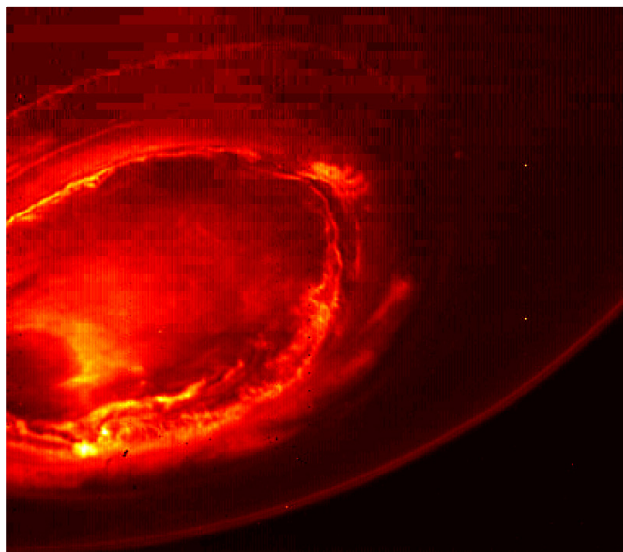
Μέχρι πριν από λίγα χρόνια, η απουσία αναλυτικών μετρήσεων του βαρυτικού και μαγνητικού του πεδίου δεν επέτρεπε στους επιστήμονες να γνωρίζουν με βεβαιότητα εάν διαθέτει στο εσωτερικό του συμπαγή στερεό πυρήνα. Έχει, ωστόσο, ενδιαφέρον να σημειώσουμε ότι η απάντηση σε αυτό το ερώτημα σχετίζεται και με το πώς εντέλει σχηματίστηκε ο Δίας στα πρώτα στάδια της εξέλιξής του. Εάν, για παράδειγμα, ο Δίας σχηματίστηκε μέσα από την συνεχή συσσώρευση ύλης, τότε θα πρέπει να διαθέτει έναν συμπαγή πυρήνα, με μάζα περίπου 10-15 φορές μεγαλύτερη απ' αυτήν της Γης. Αντιθέτως, εάν σχηματίστηκε μέσω του μηχανισμού της αστάθειας δίσκου, δηλαδή με την απευθείας κατάρρευση μιας βαρυτικά ασταθούς περιοχής του πρωτοπλανητικού δίσκου, τότε το πιθανότερο είναι ότι δεν θα είχε σχηματιστεί πυρήνας στο εσωτερικό του.

Η ανάλυση των δεδομένων της διαστημοσυσκευής Juno, της τελευταίας μέχρι στιγμής διαστημικής αποστολής προς τον Δία, φαίνεται να απορρίπτει το δεύτερο σενάριο. Καταγράφοντας με ακρίβεια τις ανεπαίσθητες μεταβολές στην ταχύτητα με την οποία κινείται το Juno, αντιδρώντας στις μεταβολές του βαρυτικού πεδίου του Δία, οι αστρονόμοι κατόρθωσαν να εκτιμήσουν τον τρόπο με τον οποίο κατανέμεται η μάζα στο εσωτερικό του. Οι σχετικές μελέτες, λοιπόν, καταδεικνύουν ότι ο Δίας διαθέτει πυρήνα, ο οποίος όμως δεν είναι μία συμπαγής σφαίρα με σαφή όρια, αλλά μοιάζει να

«διαχέεται» μέχρι το μέσο περίπου της διαμέτρου του, σαν τα άτομα που τον απαρτίζουν να έχουν διαλυθεί στα υπερκείμενα στρώματα ρευστού υδρογόνου και ήλιου. Ορισμένοι αστρονόμοι εικάζουν ότι αυτό μπορεί να οφείλεται στη σύγκρουση ενός μεγάλου πλανητικού εμβρύου με τον αρχέγονο Δία, εξαιτίας της οποίας ο συμπαγής τότε πυρήνας του γιγάντιου πλανήτη διαμελίστηκε και τα βαρύτερα υλικά του αναμείχθηκαν με το ρευστό υδρογόνο και ήλιο που τον περιβάλλει.

Το πιο ευδιάκριτο χαρακτηριστικό στην ορατή σ' εμάς ατμόσφαιρα του Δία είναι οι εναλλασσόμενες ζώνες φωτεινών και σκοτεινών νεφών, οι οποίες οριοθετούνται από αέριους χειμάρρους που κινούνται ανατολικά και δυτικά. Οι φωτεινές ζώνες έχουν υψηλότερη πίεση, η οποία ευνοεί τον σχηματισμό παγοκρυστάλλων αμμωνίας, κρύβοντας τα πολύχρωμα νέφη που βρίσκονται σε μεγαλύτερο βάθος. Οι σκοτεινές ζώνες, αντίθετα, έχουν χαμηλή πίεση και καθώς τα νέφη παγοκρυστάλλων αμμωνίας είναι λιγότερο πυκνά, μπορούμε να διακρίνουμε και μέρος από τα υποκείμενα νέφη σουλφιδίου και υδροσουλφιδίου της αμμωνίας, τα οποία εμπεριέχουν και αρκετές ακόμη οργανικές ενώσεις, στις οποίες οφείλεται το καφετί τους χρώμα. Εξίσου ευδιάκριτη είναι και η **Μεγάλη Κόκκινη Κηλίδα**, μία τεράστια περιστρεφόμενη θύελλα, η οποία μαίνεται εδώ και τουλάχιστον 300 χρόνια, με ταχύτητα 500 km/h.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό του Δία που τον διαφοροποιεί από τους εσωτερικούς πλανήτες είναι η περίσσεια θερμότητας που αποβάλλει από το εσωτερικό του, η οποία ίσως και να είναι διπλάσια απ' όση προσλαμβάνει από τον Ήλιο. Η θερμική ακτινοβολία του Δία



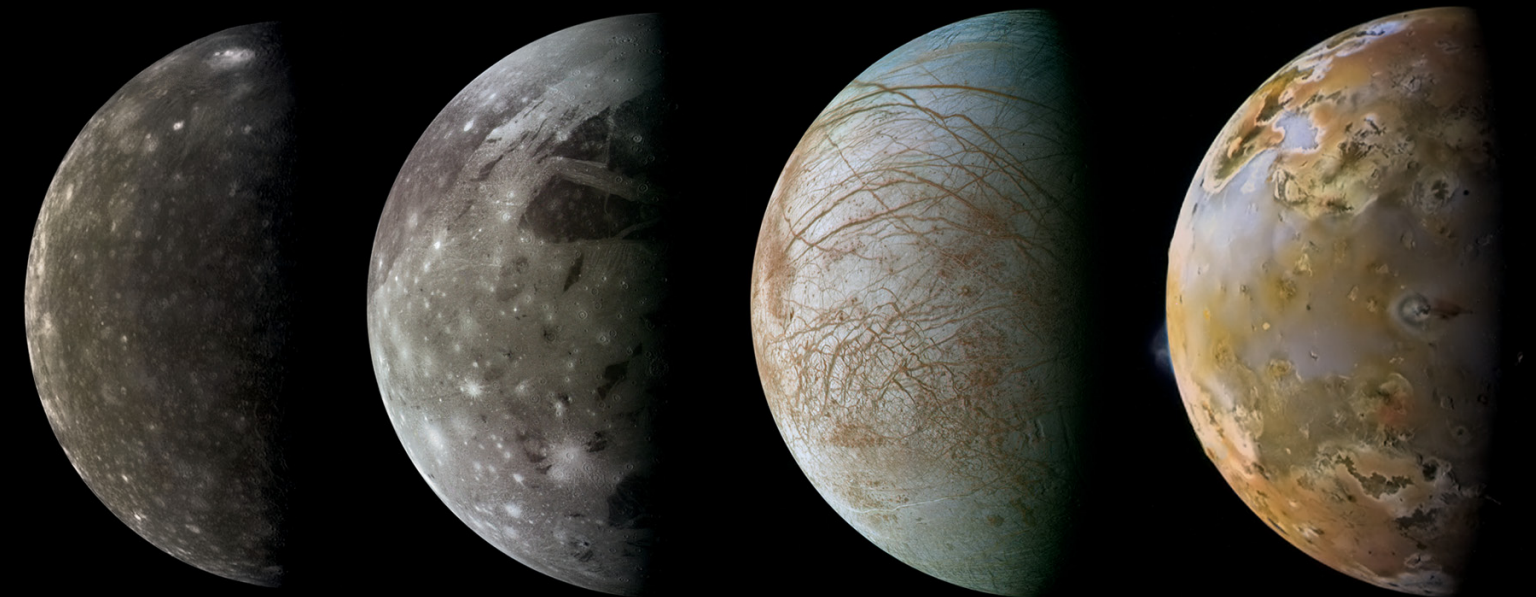
Υπέρυθρη εικόνα του νότιου πολικού σέλαος του Δία που ελήφθη από το Juno
(📷 NASA/JPL-Caltech/SwRI/ASI/INAF/JIRAM).

οφείλεται στην βαρυτική συστολή του πλανήτη, κατά τα πρώτα κυρίως στάδια σχηματισμού του, μέσω της οποίας μέρος της βαρυτικής δυναμικής του ενέργειας μετατράπηκε σε θερμότητα. Καθώς, δηλαδή, ο Δίας συσώρευε τότε όλο και μεγαλύτερες ποσότητες ύλης, η μάζα του και κατά συνέπεια η **βαρυτική έλξη** προς το κέντρο του μεγάλωναν διαρκώς. Αυτό με την σειρά του είχε ως αποτέλεσμα την συρρίκνωση του πλανήτη και την επακόλουθη μετατροπή μέρους της βαρυτικής του ενέργειας σε θερμότητα. Καθώς, λοιπόν, ο Δίας εκλύει θερμότητα και η θερμοκρασία του μειώνεται, η βαρύτητα υπερισχύει της εσωτερικής του πίεσης, γι' αυτό και ο πλανήτης συστέλλεται. Η μικρή αυτή συστολή συμπιέζει τον Δία, με συνέπεια την εκ νέου αύξηση της εσωτερικής του θερμότητας και την επανάληψη αυτού του κύκλου από την αρχή.

Μέχρι σήμερα ανακαλύψαμε 95 δορυφόρους, οι περισσότεροι απ' τους οποίους έχουν πολύ μικρό μέγεθος και κινούνται σε πολύ μεγάλες αποστάσεις από τον Δία, σε ιδιαίτερα ελλειπτικές τροχιές και σε επίπεδα που σχηματίζουν μεγάλες γωνίες ως προς το επίπεδο του ισημερινού του. Οι τέσσερις μεγαλύτεροι δορυφόροι του Δία είναι ο Γανυμήδης, η Καλλιστώ, η Ιώ και η Ευρώπη. Οι δορυφόροι αυτοί ανακαλύφθηκαν το 1610 από τον Ιταλό αστρονόμο **Γαλιλαίο** (1564–1642), χρονιά-ορόσημο στην Ιστορία της Αστρονομίας, αφού ήταν τα πρώτα ουράνια σώματα για τα οποία η αστρονομική παρατήρηση απέδειξε ότι δεν περιφέρονται γύρω από τη Γη, αλλά γύρω από ένα άλλο ουράνιο σώμα. Η ανακάλυψη αυτή αποτέλεσε την αρχή του τέλους για το Γεωκεντρικό σύστημα, που για περισσότερα από 2.000 χρόνια ήταν το κοινά αποδεκτό σύστημα του κόσμου.

Από αριστερά προς τα δεξιά, διακρίνονται οι δορυφόροι Καλλιστώ, Γανυμήδης, Ευρώπη και Ιώ
(📷 NASA/JPL/Ted Stryk).

Η Μεγάλη Κόκκινη Κηλίδα και οι ζώνες νεφών που την περιβάλλουν, σε επεξεργασμένη εικόνα που ελήφθη από το Juno (📷 NASA/JPL-Caltech/SwRI/MSSS/Gerald Eichstadt/Sean Doran © CC NC SA).



Οι βαρυτικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ της Ιούς, της Ευρώπης, του Γανυμήδη και του Δία, οδηγούν σ' ένα ενδιαφέρον φυσικό φαινόμενο τροχιακού συντονισμού, σύμφωνα με το οποίο, κάθε φορά που ο Γανυμής συμπληρώνει μία πλήρη τροχιά γύρω από τον Δία, η Ευρώπη συμπληρώνει δύο και η Ιώ τέσσερις, ενώ και οι τρεις αυτοί δορυφόροι στρέφουν διαρκώς την ίδια όψη τους προς τον Δία.

Λίγο μεγαλύτερη απ' την Σελήνη, η **Ιώ** είναι το τρίτο μεγαλύτερο φεγγάρι του Δία, το πέμπτο σε απόσταση απ' αυτόν, αλλά και το πλέον ενεργό ηφαιστειακό σώμα του Ηλιακού συστήματος. Η θερμότητα που συντηρεί την ηφαιστειακή της δραστηριότητα προέρχεται από το φαινόμενο της **παλιρροϊκής θέρμανσης**. Καθώς, δηλαδή, η Ιώ κινείται σε ελλειπτική τροχιά γύρω από

τον Δία, ο γιγάντιος πλανήτης, αλλά και σε μικρότερο βαθμό οι γειτονικοί δορυφόροι Ευρώπη, Γανυμής και Καλλιστώ, ασκούν πάνω της παλιρροϊκές δυνάμεις, οι οποίες οφείλονται στο γεγονός ότι η βαρυτική τους έλξη είναι ελάχιστα ισχυρότερη προς την πλευρά του δορυφόρου που τους αντικρίζει, απ' όσο προς την αντίθετη πλευρά, και καθώς η Ιώ περιφέρεται γύρω από τον Δία, το μέγεθος της διαφοράς αυτής μεταβάλλεται συνεχώς. Καθώς, λοιπόν, η Ιώ έλκεται διαρκώς προς διαφορετικές κατευθύνσεις, οι παλιρροϊκές δυνάμεις που υφίσταται, συμπιέζουν και «τεντώνουν» το εσωτερικό της ασταμάτητα, προκαλώντας παλίρροιες στο στερεό σώμα του δορυφόρου ύψους ακόμη και 100 m. Οι παλιρροϊκές αυτές δυνάμεις παράγουν μέσω της τριβής τεράστια ποσά θερμότητας, που δι-

ατηρούν το εσωτερικό του δορυφόρου ρευστό, συντηρώντας έτσι την ηφαιστειακή του δραστηριότητα, η οποία ανακαλύφθηκε το 1979 από το Voyager 1.

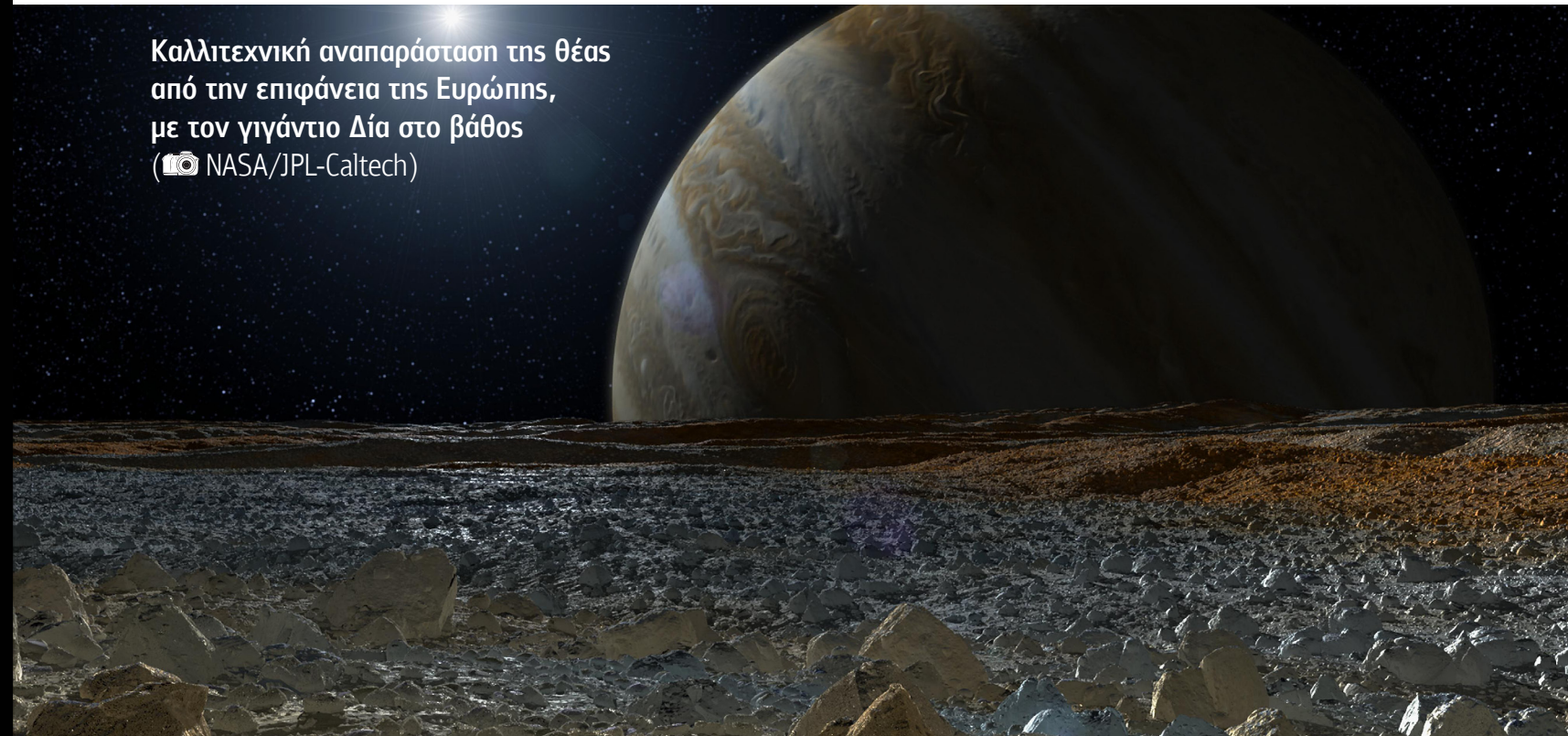
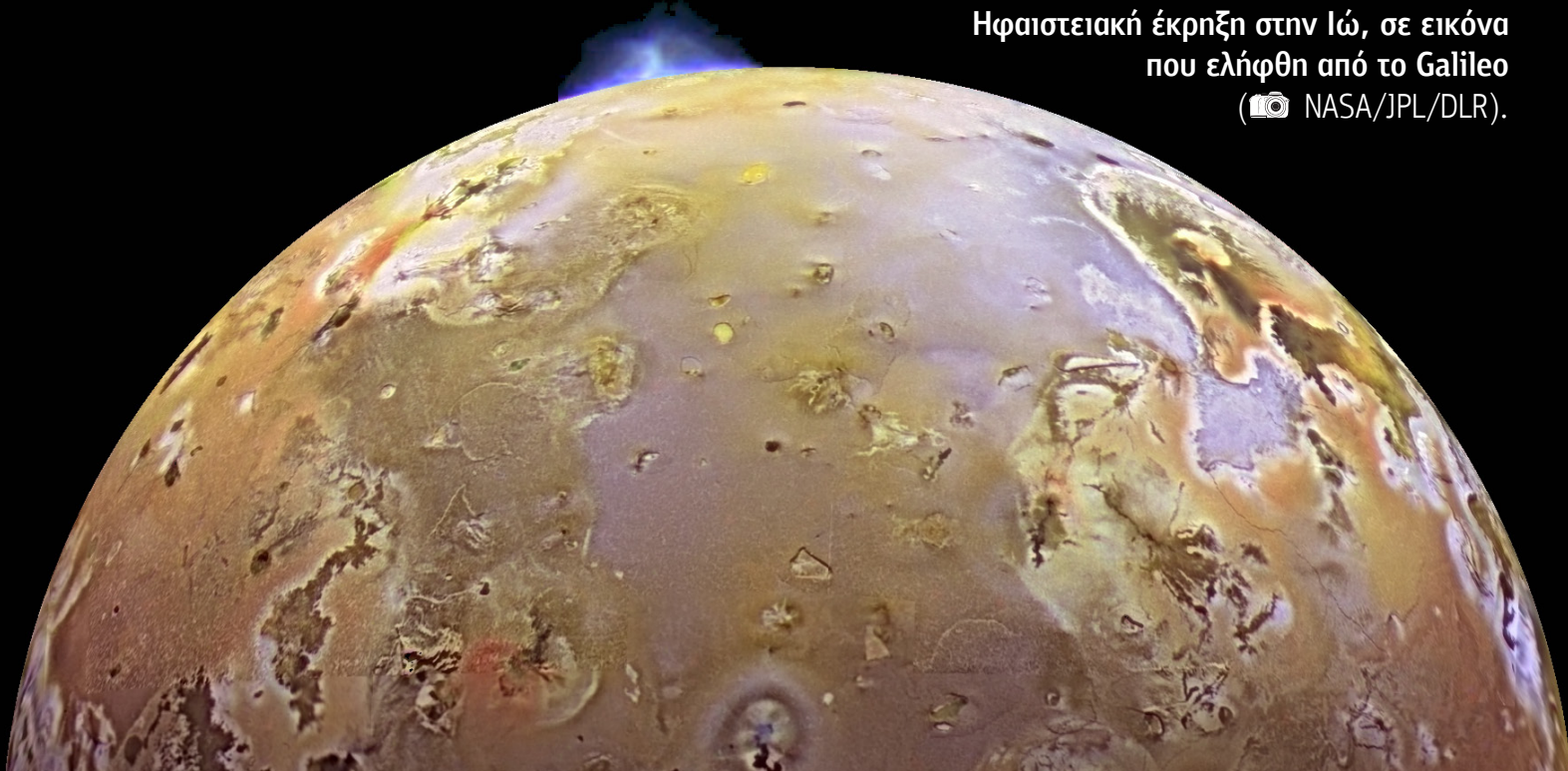
Ο δεύτερος από τους δορυφόρους του Γαλιλαίου σε απόσταση από τον Δία είναι η **Ευρώπη**, το ουράνιο σώμα για το οποίο υπάρχουν οι σοβαρότερες ως τώρα ενδείξεις ότι κάτω από το παχύ στρώμα πάγου που το καλύπτει, εκτείνεται ένας ωκεανός νερού. Φυσικά, σε τόσο μεγάλες αποστάσεις από τον Ήλιο, ο υπόγειος αυτός ωκεανός θα έπρεπε να είναι παγωμένος. Εξαιτίας όμως, των παλιρροϊκών δυνάμεων που ο Δίας ασκεί στην Ευρώπη, ο φλοιός της «τεντώνεται» προς διαφορετικές κατευθύνσεις, παράγοντας θερμότητα που διατηρεί το νερό στο υπέδαφός της σε υγρή μορφή. Σ' αυτές, μάλιστα, τις παλιρροϊκές πιέσεις που ασκούνται

στην επιφάνειά της οφείλονται κατά πάσα πιθανότητα και οι ρωγμές που την διασχίζουν, οι οποίες ανακαλύφθηκαν στην διάρκεια των διαστημικών αποστολών Voyager και Galileo. Θεωρητικά, τουλάχιστον, σ' αυτόν τον ωκεανό θα μπορούσαν να έχουν εμφανιστεί απλές μορφές ζωής, γι' αυτό και πολλοί αστρονόμοι θεωρούν την υλοποίηση διαστημικών αποστολών προς την Ευρώπη κομβικής σημασίας στην προσπάθειά μας να αναζητήσουμε μικροβιακές μορφές ζωής και εκτός του πλανήτη μας.

Ο τρίτος από τους δορυφόρους του Γαλιλαίου σε απόσταση από τον Δία, αλλά και ο μεγαλύτερος του Ηλιακού συστήματος, είναι ο **Γανυμής**, οποίος αποτελείται ως επί το πλείστον από πυριτιούχα πετρώματα και πάγο. Μεγαλύτερος ακόμη και από τον πλανήτη Ερμή,

Ηφαιστειακή έκρηξη στην Ιώ, σε εικόνα που ελήφθη από το Galileo
(📷 NASA/JPL/DLR).

Καλλιτεχνική αναπαράσταση της θέας από την επιφάνεια της Ευρώπης, με τον γιγάντιο Δία στο βάθος
(📷 NASA/JPL-Caltech)



ο Γανυμήδης είναι ο μεγαλύτερος δορυφόρος στο Ηλιακό μας σύστημα, αλλά και ο μοναδικός που διαθέτει το δικό του μαγνητικό πεδίο. Το 40% τα επιφάνειες του Γανυμήδη αποτελείται από μεγάλης ηλικίας περιοχές, σηματοδεδειγμένες από έναν μεγάλο αριθμό κρατήρων πρόσκρουσης. Το υπόλοιπο 60% αποτελείται από μικρότερης ηλικίας περιοχές, οι οποίες καλύπτονται από ένα εκτεταμένο δίκτυο ρηγμάτων, πτυχώσεων και ραβδώσεων, που εκτείνονται ακόμη και για χιλιάδες χιλιόμετρα. Χάρη στα δεδομένα που συνέλεξε η διαστημοσυσκευή Galileo, οι επιστήμονες εικάζουν ότι και αυτός ο δορυφόρος του Δία κρύβει στο εσωτερικό του έναν υπόγειο ωκεανό, «στριμωγμένο» ανάμεσα σε δύο στρώματα πάγου.

Με διάμετρο που υπερβαίνει τα 4.800 km, η Καλλιστώ είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος δορυφόρος του Δία, ελάχιστα μικρότερος σε μέγεθος από τον Ερμή, αλλά με μάζα που μόλις φτάνει το ένα τρίτο της μάζας του. Η **Καλλιστώ** έχει ίσως τους περισσότερους κρατήρες από οποιοδήποτε άλλο σώμα του Ηλιακού συστήματος, γι' αυτό και η επιφάνειά της είναι από τις πιο αρχέγονες που γνωρίζουμε. Η Καλλιστώ είναι ο τελευταίος από τους δορυφόρους του Γαλιλαίου σε απόσταση από τον Δία και, καθώς η τροχιά της βρίσκεται εκτός των κύριων ζωνών ακτινοβολίας του πλανήτη, τα επίπεδα ακτινοβολίας στην επιφάνειά της είναι σαφώς μικρότερα. Επειδή, όμως, ο δορυφόρος αυτός δεν ακολουθεί την Ιώ, την Ευρώπη και τον Γανυμήδη στον τροχιακό συντονισμό τους, καθώς περιφέρονται γύρω από τον Δία, σε αντίθεση με αυτούς τους δορυφόρους, δεν υπόκεινται σε σημαντική παλιρροϊκή θέρμανση ✦

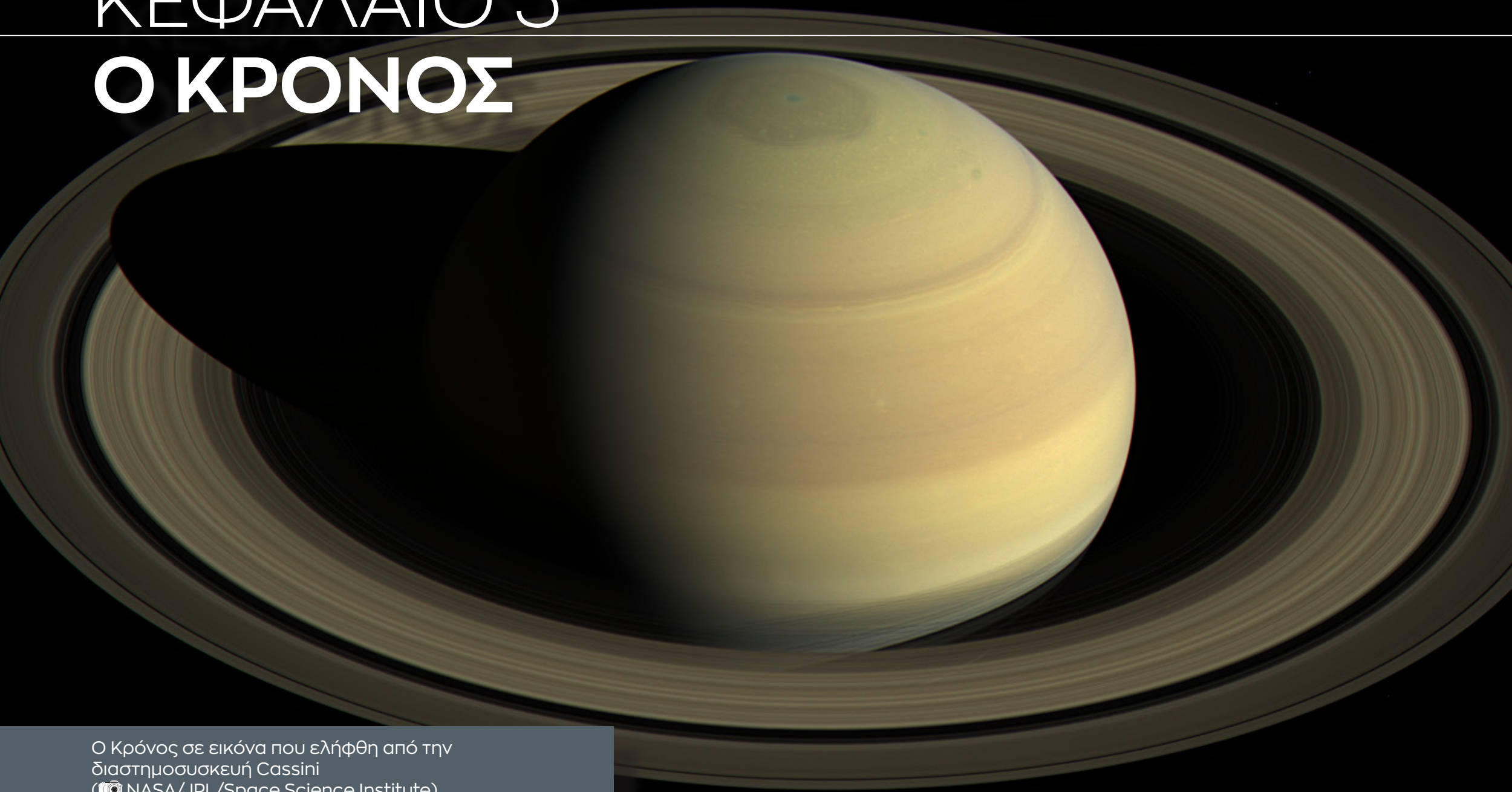


Η Καλλιστώ σε εικόνα που ελήφθη από το Galileo

[📷 NASA/JPL/ DLR (German Aerospace Center)].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Ο ΚΡΟΝΟΣ

ΠΕΡΑ ΑΠΟ ΤΗ ΓΗ



Ο Κρόνος σε εικόνα που ελήφθη από την διαστημοσυσκευή Cassini (NASA/JPL/Space Science Institute).

Ο «Άρχοντας των Δακτυλιδιών» του Ηλιακού συστήματος με τους δεκάδες δορυφόρους παρατηρήθηκε για πρώτη φορά με τηλεσκόπιο από τον Γαλιλαίο στις αρχές του 17ου αιώνα. Έκτοτε, και παρ' όλη την πρόοδο που σημειώθηκε τα τελευταία 30 χρόνια του 20ού αιώνα με τις διαστημικές αποστολές Pioneer 11 και Voyager 1 και 2, ο Κρόνος εξακολουθούσε να κρύβει πολλά από τα μυστικά του. Η συμβολή της διαστημικής αποστολής Cassini-Huygens στην αποκρυπτογράφηση τους ήταν καθοριστική.



Ο **Κρόνος** είναι ο έκτος πλανήτης από τον Ήλιο και ο δεύτερος σε μέγεθος μετά τον Δία, αρκετά μεγάλος ώστε να χωρέσει στο εσωτερικό του 760 πλανήτες σαν την Γη, αλλά με μάζα «μόλις» 95 φορές μεγαλύτερη απ' αυτήν του πλανήτη μας. Αυτή η μειωμένη μάζα του Κρόνου σε σχέση με τον όγκο του, μοναδική όσον αφορά στους υπόλοιπους πλανήτες του Ηλιακού συστήματος, του προσδίδει μέση πυκνότητα μικρότερη απ' αυτήν του νερού. Με μέση απόσταση από τον Ήλιο τις 9 ΑΜ, ο Κρόνος συμπληρώνει μία περιφορά γύρω του σε σχεδόν 30 χρόνια, ενώ η διάρκεια του ημερονοκτίου του είναι περίπου 10,7 ώρες. Όπως συμβαίνει και με τον Δία, η ταχύτατη περιστροφή του Κρόνου παραμορφώνει το σφαιρικό του σχήμα, γι' αυτό και η διάμετρός του στον ισημερινό υπερβαίνει αυτήν στους πόλους κατά 12.000 km.

Η χημική σύνθεση και η εσωτερική δομή του Κρόνου μοιάζουν αρκετά μ' αυτές του Δία, με την διαφορά ότι η περιεκτικότητα της ατμόσφαιράς του σε ήλιο είναι μικρότερη. Στα ορατά ατμοσφαιρικά χαρακτηριστικά του Κρόνου υπάρχουν επίσης ζώνες νεφών παράλληλες με τον ισημερινό, οι οποίες όμως είναι αρκετά πιο δυσδιάκριτες. Τα ανώτατα αέρια νέφη του αποτελούνται από μικροσκοπικούς παγοκρυστάλλους αμμωνίας, ενώ σε μεγαλύτερα βάρη αποτελούνται κυρίως από μικροσκοπικά κομμάτια πάγου. Όπως και στην ατμόσφαιρα του Δία, έτσι και σ' αυτήν του Κρόνου, εμφανίζονται κατά καιρούς κυκλικές θύελλες, όπως η **Μεγάλη Λευκή Κηλίδα**.

Ένα άλλο εντυπωσιακό χαρακτηριστικό του Κρόνου είναι ένα εξάγωνο κυματικό μοτίβο με πλευρές μήκους 13.800 km, που περιβάλλει τον βόρειο πόλο

του, το οποίο παρατηρήθηκε για πρώτη φορά από το Voyager 1. Το εξάγωνο αυτό σχηματίζεται από έναν αεροχείμαρρο που κινείται με ταχύτητα μεγαλύτερη των 300 km/h, στο κέντρο του οποίου υπάρχει μία τεράστια περιστρεφόμενη θύελλα. Εκτός αυτού, η ανάλυση των δεδομένων του Cassini οδήγησε το 2006 στην ανακάλυψη μίας άλλης πολικής δίνης, στον νότιο πόλο του πλανήτη αυτή την φορά, με ανέμους που αγγίζουν τα 550 km/h. Οι ισχυρότεροι, πάντως, άνεμοι που έχουν καταγραφεί στον Κρόνο σαρώνουν τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιράς του και στον ισημερινό αγγίζουν τα 1.800 km/h. Στο κέντρο του πλανήτη εικάζεται ότι υπάρχει ένας συμπαγής πυρήνας από μέταλλα και πετρώματα, ο οποίος περιβάλλεται από ένα στρώμα ρευστού μεταλλικού υδρογόνου και στην συνέχεια από ένα ακόμα περίβλημα υγρού υδρογόνου, αναμειγμένου με ήλιο.

Ο Κρόνος αποβάλλει κι αυτός περισσότερη θερμότητα απ' όση προσλαμβάνει από τον Ήλιο. Με δεδομένη, όμως, την αρκετά μικρότερη μάζα του, η θερμότητα στο εσωτερικό του Κρόνου ήταν εξαρχής αρκετά χαμηλότερη, ενώ το χρονικό διάστημα που μεσολάβησε από τον σχηματισμό του πρέπει να ήταν αρκετό, ώστε να έχει ήδη αποβάλει το μεγαλύτερο μέρος της. Γι' αυτό και πολλοί επιστήμονες θεωρούν ότι η περίσσεια θερμότητας που αποβάλλει σήμερα ο Κρόνος οφείλεται στις σταγόνες ηλίου, που σχηματίζονται στην ατμόσφαιρά του και πέφτουν σαν βροχή προς το εσωτερικό του, μετατρέποντας τη δυναμική τους ενέργεια σε κινητική και εντέλει διαμέσου της τριβής σε θερμότητα.

Οι δακτύλιοι του Κρόνου αποτελούνται κατά κύριο λόγο από αναρίθμητα κομμάτια καθαρού πάγου, αναμειγμέ-

Η βόρεια πολική περιοχή του Κρόνου όπου διακρίνεται το παράξενο κυματικό της μοτίβο

(NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute/Hampton University).

να με σκόνη και κομμάτια πετρωμάτων, με μεγέθη που κυμαίνονται από κόκκο άμμου μέχρι και αρκετές δεκάδες μέτρα, ενώ εκτείνονται για περίπου 300.000 km από τον πλανήτη. Το πλάτος των επιμέρους δακτυλίων φτάνει τις αρκετές χιλιάδες χιλιόμετρα, αλλά το πάχος τους δεν υπερβαίνει τα 1-2 km, ενώ τοπικά μόλις αγγίζει τα 10 m. Οι κύριοι δακτύλιοι του Κρόνου είναι 7 και έχουν ονομαστεί με βάση το αγγλικό αλφάβητο κατά την σειρά με την οποία ανακαλύφθηκαν ως D, C, B, A, F, G και E, όπου D είναι ο πλησιέστερος και ο E ο πιο απομακρυσμένος δακτύλιος από τον Κρόνο. Το σύστημα των δακτυλίων του Κρόνου εμφανίζει και

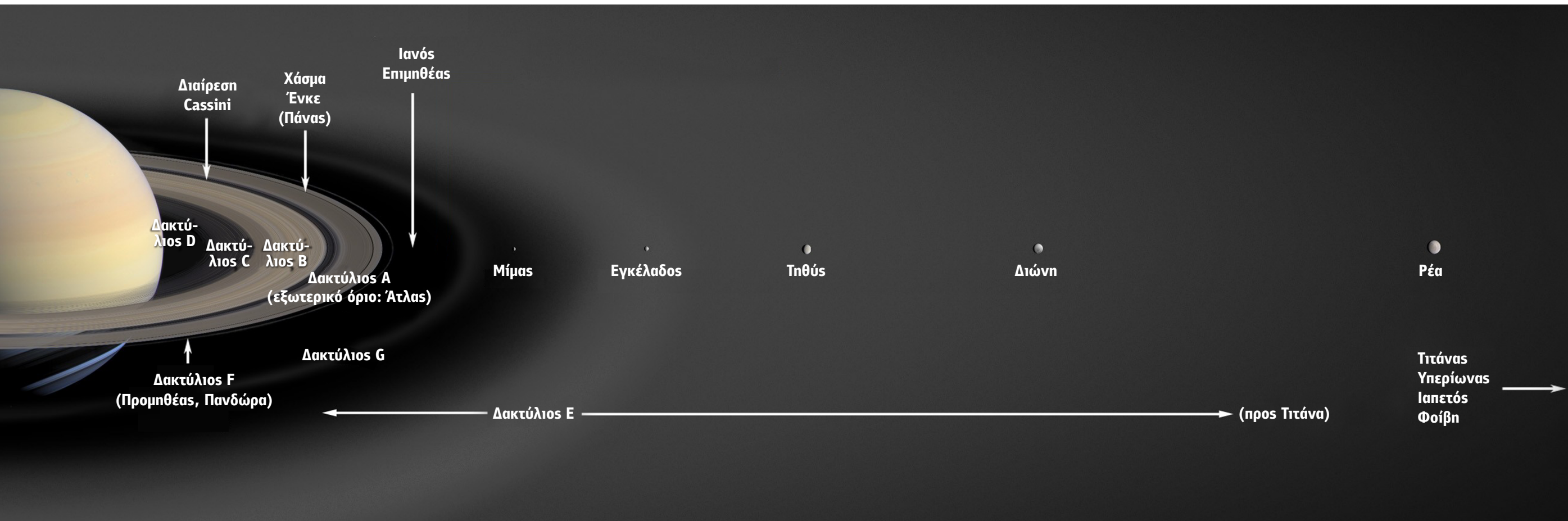
ορισμένες κενές ζώνες, μεγαλύτερη απ' τις οποίες είναι η επονομαζόμενη **Διαίρεση Cassini**, με πλάτος που υπερβαίνει τα 4.500 km, η οποία χωρίζει τους δακτύλιους A και B.

Σύμφωνα με την ανάλυση των δεδομένων του Cassini, οι δακτύλιοι του Κρόνου πρέπει να σχηματίστηκαν το πολύ πριν από 100 εκατ. χρόνια, είτε μέσα από τον διαμελισμό ενός από τους δορυφόρους του κατά την σύγκρουσή του με έναν γιγάντιο αστεροειδή ή κομήτη, είτε από τον διαμελισμό του εξαιτίας των παλιρροϊκών δυνάμεων του Κρόνου.

Μέχρι στιγμής έχουν επιβεβαιωθεί οι τροχιές 146 φυσικών δορυφόρων του Κρόνου, πολύ περισσότερων δηλαδή από όσους έχει ο Δίας, απ' τους οποίους μόλις 13 έχουν διάμετρο μεγαλύτερη των 50 km. Ο μεγαλύτερος απ' αυτούς, αλλά και ο δεύτερος μεγαλύτερος του Ηλιακού συστήματος μετά από τον Γανυμήδη, είναι ο **Τιτάνας**, που ανακαλύφθηκε το 1655 από τον Ολλανδό αστρονόμο **Christiaan Huygens** (1629–1695). Πρόκειται για τον μοναδικό δορυφόρο του Ηλιακού συστήματος που περιβάλλεται από πυκνή ατμόσφαιρα. Ο Τιτάνας αποτελείται από ίσες ποσότητες πάγου και πετρωμάτων, ενώ δεν αποκλείεται να

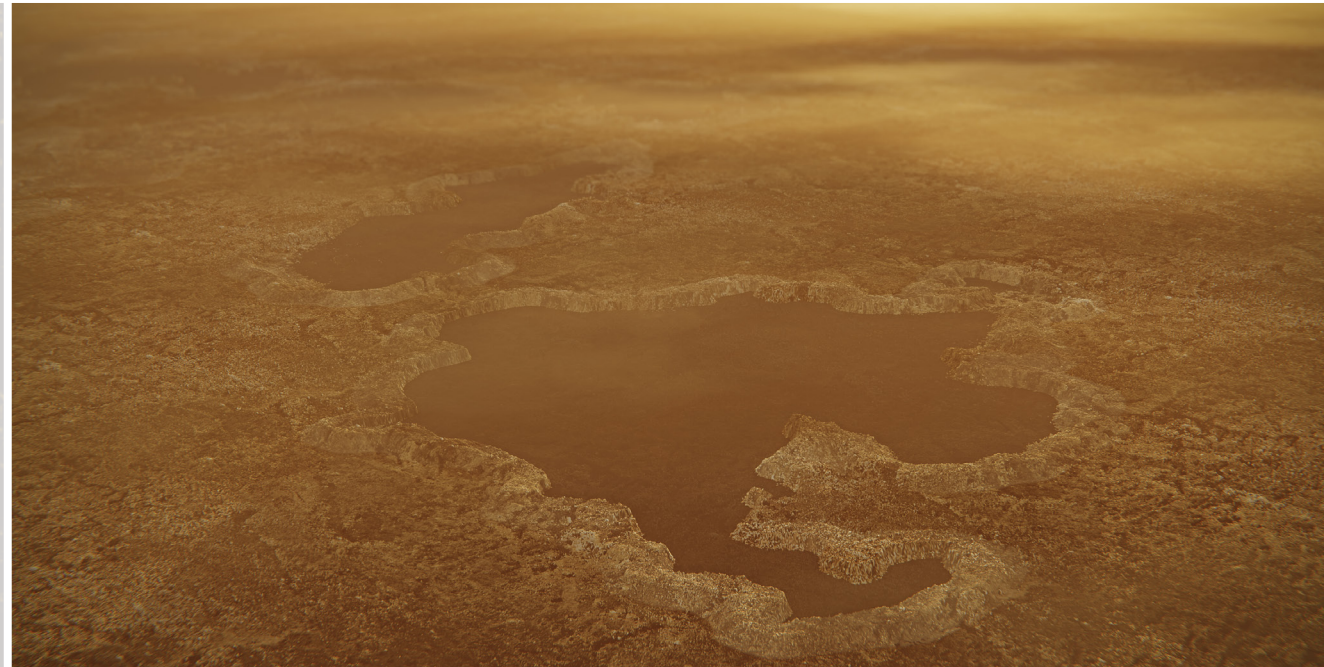
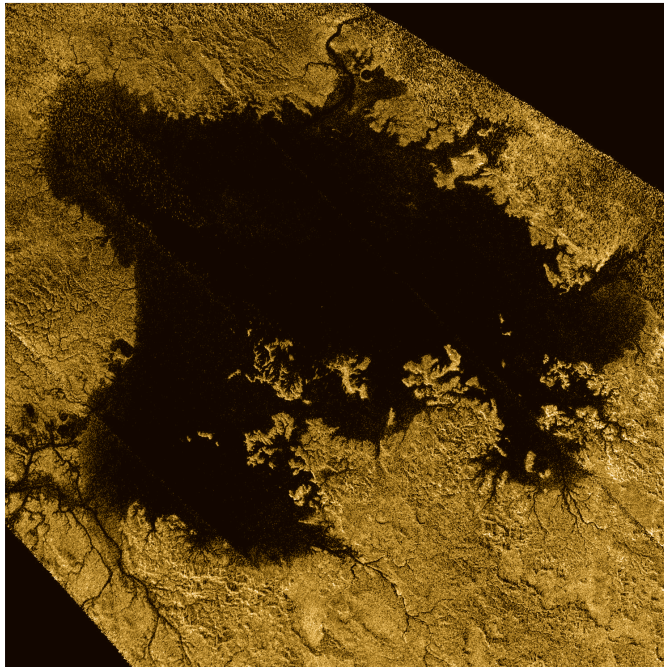
κρύβει στο εσωτερικό του έναν υπόγειο ωκεανό.

Η ατμόσφαιρά του αποτελείται από 98% άζωτο και 1,5% μεθάνιο, μαζί με προσμείξεις άλλων οργανικών ενώσεων, οι οποίες σχηματίζονται κατά την διάσπαση του μεθανίου από την υπεριώδη ακτινοβολία του Ήλιου. Δεδομένου ότι το μεθάνιο στην ατμόσφαιρα του Τιτάνα έπρεπε να έχει εξαντληθεί σε ένα αστρονομικά σύντομο χρονικό διάστημα με την επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας, το γεγονός ότι εξακολουθεί να υπάρχει, σημαίνει ότι από κάπου θα πρέπει να ανανεώνεται. Στη Γη, για παράδειγμα, εξαιρουμένης της ανθρώπινης δραστηριότητας και των ηφαιστειακών



Καλλιτεχνική αναπαράσταση των κύριων δακτυλίων του Κρόνου, καθώς και ορισμένων από τους παγωμένους δορυφόρους του (NASA/JPL).





Αριστερά: Η θάλασσα Λίγεια, στον Τιτάνα, περιέχει υγρό μεθάνιο και αιθάνιο

(📷 NASA/JPL-Caltech/ASI/Cornell).

Δεξιά: Καλλιτεχνική αναπαράσταση λίμνης υγρών υδρογονανθράκων στον βόρειο πόλο του Τιτάνα

(📷 NASA/JPL-Caltech)

εκρήξεων, το μεθάνιο ανανεώνεται, καθώς σχηματίζεται από τον μεταβολισμό των έμβιων οργανισμών. Στον Τιτάνα, αντίθετα, η αιτία είναι διαφορετική. Χάρη στα δεδομένα του Cassini γνωρίζουμε πλέον ότι ο παγωμένος αυτός κόσμος διαθέτει εκατοντάδες λίμνες και θάλασσες, που όμως δεν περιέχουν νερό, αλλά μεθάνιο και αιθάνιο! Κάποιες απ' αυτές φαίνεται ότι ανανεώνονται από έναν υπόγειο μεθανοφόρο ορίζοντα, ενώ κάποιες άλλες ανανεώνονται από βροχές μεθανίου.

Με διάμετρο 1.470 km, ο **Ιαπετός** είναι ο τρίτος με-

γαλύτερος, αλλά και ένας από τους πιο παράξενους δορυφόρους του Κρόνου. Το ηγούμενο ημισφαίριο³ του Ιαπετού καλύπτεται από ένα ιδιαίτερα σκοτεινό υλικό, ενώ το αντίθετο ημισφαίριο, καθώς και οι πόλοι του είναι 10 φορές φωτεινότεροι. Η διαφορά αυτή μεταξύ των δύο ημισφαιρίων του Ιαπετού οφείλεται απ' ό,τι φαίνεται στο φαινόμενο του **θερμικού διαχωρισμού**, που ανακαλύφθηκε χάρη στα δεδομένα του Cassini. Η αργή περιστροφή του Ιαπετού γύρω από τον άξονά του, που ολοκληρώνεται σε περισσότερο από 79 ημέρες, παρέχει αρκετό χρονικό διάστημα,

ώστε το σκουρόχρωμο υλικό να απορροφήσει περισσότερη θερμότητα από τον Ήλιο και να θερμανθεί, σε αντίθεση με τις φωτεινότερες περιοχές του Ιαπετού. Καθώς, λοιπόν, οι σκοτεινές αυτές περιοχές θερμαίνονται, οι παγωμένες πηπτικές ενώσεις που εμπεριέχουν εξαχνώνονται, μετατρέπονται δηλαδή απευθείας σε αέρια, διαφεύγοντας έτσι προς τις πιο κρύες περιοχές του Ιαπετού. Εκεί, παγώνουν εκ νέου και εναποτίθενται σ' αυτές, με αποτέλεσμα οι σκοτεινές περιοχές του Ιαπετού να γίνονται σκοτεινότερες και οι φωτεινές του περιοχές φωτεινότερες. Ένα άλλο ενδιαφέρον χαρακτηριστικό του Ιαπετού είναι ο εξογκωμένος του ισημερινός, τον οποίο διατρέχει μία οροσειρά μήκους 1.300 km και ύψους 10 km. Πιθανολογείται ότι αυτός σχηματίστηκε κατά το παρελθόν, όταν ο δορυφόρος

περιστρεφόταν πολύ πιο γρήγορα απ' ότι σήμερα. Άλλοι, πάλι, αστρονόμοι θεωρούν ότι ο Ιαπετός διέθετε κάποτε έναν δακτύλιο, ο οποίος κατέρρευσε στην επιφάνειά του στην περιοχή του Ισημερινού.

Η **Τηθύς**, από την άλλη, αποτελείται σχεδόν εξ ολοκλήρου από καθαρό πάγο, στον οποίο οφείλεται και η μεγάλη της ανακλαστικότητα. Με μέση θερμοκρασία που δεν υπερβαίνει τους -185°C , η επιφάνειά της είναι καλυμμένη από κρατήρες, λιγότερους όμως απ' όσους διαθέτει η Διώνη, ένας άλλος δορυφόρος του Κρόνου. Αυτό ενδεχομένως να οφείλεται στο γεγονός ότι η Τηθύς βρίσκεται πλησιέστερα στον Κρόνο και ως εκ τούτου η παλιρροϊκή θέρμανση που υφίσταται από τον γιγάντιο πλανήτη είναι μεγαλύτερη,

³ Το ηγούμενο ημισφαίριο είναι το ημισφαίριο που «βλέπει» προς την κατεύθυνση της κίνησης ενός δορυφόρου, ο οποίος εκτελεί σύγχρονη περιστροφή γύρω από τον πλανήτη του.



με αποτέλεσμα τμήματα της επιφάνειάς της να διατηρήθηκαν ρευστά για περισσότερο χρόνο, εξαφανίζοντας έτσι ορισμένα από τα προγενέστερα χαρακτηριστικά τους. Στην επιφάνεια της Τιθύος ξεχωρίζει ο γιγάντιος κρατήρας **Οδυσσέας** με διάμετρο 400 km, καθώς και η χαράδρα με την επωνυμία **Χάσμα της Ιθάκης**, με πλάτος 100 km, βάθος 3-5 km και μήκος 2.000 km. Πολλοί αστρονόμοι θεωρούν ότι το χάσμα αυτό σχηματίστηκε αφότου στερεοποιήθηκε ο πάγος στην επιφάνεια της Τιθύος, ο οποίος όμως στην συνέχεια ράγισε, όταν το υποκείμενο νερό πάγωσε κι αυτό και κατά συνέπεια διεστάλη.

Ο **Εγκέλαδος**, τέλος, ανακαλύφθηκε το 1789 από τον Γερμανό αστρονόμο **William Herschel** (1738–1822) και η επιφάνειά του αποτελείται σχεδόν αποκλειστικά από καθαρό πάγο. Ανακλώντας το σύνολο της ακτινοβολίας που δέχεται από τον Ήλιο, ο Εγκέλαδος είναι ένας από τους πιο παγωμένους δορυφόρους, με επιφανειακή θερμοκρασία που δεν υπερβαίνει τους $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Χάρη στην ανάλυση των δεδομένων του Cassini, οι αστρονόμοι ανακάλυψαν ότι ο Εγκέλαδος περιβάλλεται από μία πολύ αραιή ατμόσφαιρα, αποτελούμενη κυρίως από παγωμένους υδρατμούς. Επειδή, όμως, ο Εγκέλαδος έχει μικρή μάζα, η βαρυτική έλξη που ασκεί δεν είναι αρκετή για να συγκρατήσει την ατμόσφαιρά του, η οποία θα πρέπει με κάποιον τρόπο να ανανεώνεται.

Την απάντηση σε αυτό το παράδοξο έδωσαν οριστικά τα δεδομένα που συνέλεξε το Cassini, το οποίο ανακάλυψε ότι ο παγωμένος αυτός κόσμος διαθέτει δεκάδες πίδακες γκείζερ, που εκτινάσσουν παγωμένους υδρατμούς και άλλες πτητικές ενώσεις, δημιουργώ-

ντας γύρω του μία άλω παγωμένης πάχνης. Μικρότερα παγωμένα σωματίδια, ωστόσο, διαφεύγουν από τη βαρυτική του έλξη, τροφοδοτώντας με υλικά τον δακτύλιο E του Κρόνου.

Οι πίδακες αυτοί καταδεικνύουν ότι μέρος τουλάχιστον από το εσωτερικό του Εγκέλαδου πρέπει να βρίσκεται ακόμη σε ρευστή κατάσταση. Σύμφωνα, μάλιστα, με τα τελευταία δεδομένα, κάτω από την παγωμένη επιφάνεια του Εγκέλαδου εκτείνεται ένας υπόγειος ωκεανός νερού, βάθους 10 km. Η θερμότητα που διατηρεί το εσωτερικό του Εγκέλαδου ρευστό οφείλεται στον μηχανισμό της παλιρροϊκής θέρμανσης και ειδικότερα στις βαρυτικές αλληλεπιδράσεις που ασκεί η Διώνη, η οποία βρίσκεται σε τροχιακό συντονισμό με τον Εγκέλαδο. Οι πίδακες αυτοί τροφοδοτούνται από νερό, το οποίο μεταφέρεται από τον υπόγειο ωκεανό στην επιφάνειά του μέσα από ρωγμές και στη συνέχεια, εξαιτίας των ιδιαίτερα χαμηλών θερμοκρασιών και πιέσεων που επικρατούν στην επιφάνεια του Εγκέλαδου, μετατρέπεται απευθείας σε πάγο.

Πρόσφατα, μάλιστα, επιστημονες που ανέλυσαν δεδομένα

του Cassini, βρήκαν στο εσωτερικό του Εγκέλαδου ενδείξεις ενεργών υδροθερμικών αναβλύσεων, οι οποίες μοιάζουν εκπληκτικά με ορισμένες από τις υδροθερμικές αναβλύσεις που έχουν εντοπιστεί στα βάθη των

ωκεανών της Γης. Εάν η ανακάλυψη αυτή επιβεβαιωθεί, η συναρπαστική πιθανότητα να έχει αναπτυχθεί και εκεί κάποιου είδους μικροβιακή ζωή δεν μπορεί να αποκλειστεί +

Αριστερά: Εικόνα της Τιθύος, βασισμένη σε δεδομένα του Cassini
(📷 NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute)

Δεξιά: Καλλιτεχνική αναπαράσταση του Cassini, πάνω από την επιφάνεια του Εγκέλαδου
(📷 © 2008 Karl Kofoed)

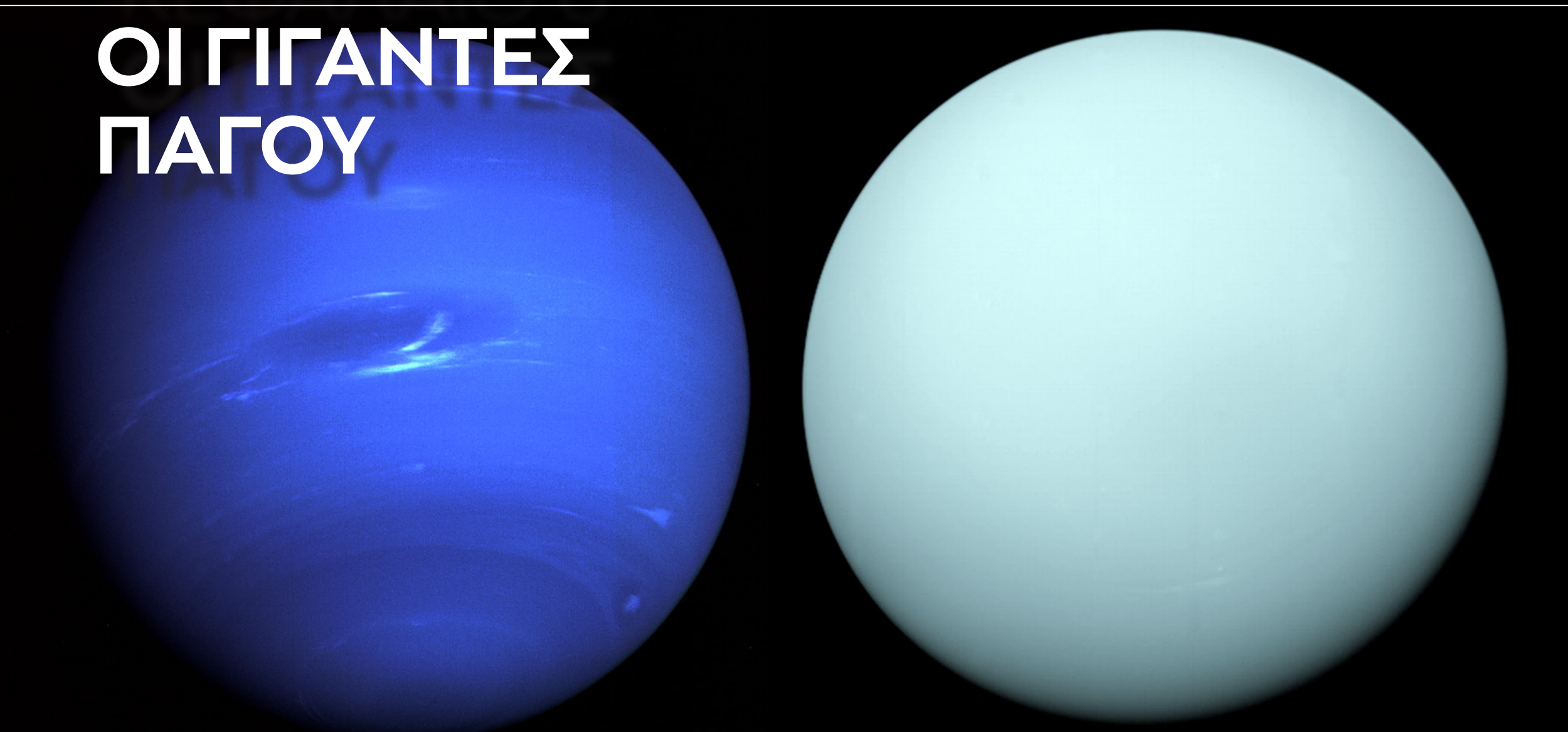


ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΟΙ ΓΙΓΑΝΤΕΣ

ΠΑΓΟΥ

ΠΕΡΑ ΑΠΟ ΤΗ ΓΗ



Ο Ουρανός (δεξιά) και ο Ποσειδώνας (αριστερά)
σε εικόνες του Voyager 2 (NASA/JPL-Caltech)

Ο Ουρανός και ο Ποσειδώνας είναι οι δύο πιο απομακρυσμένοι πλανήτες από τον Ήλιο. Σε αντίθεση με τον Δία και τον Κρόνο, εμπεριέχουν μικρότερες ποσότητες υδρογόνου και ηλίου, αλλά μεγαλύτερες ποσότητες πτητικών ενώσεων, όπως νερού, αμμωνίας και μεθανίου. Επειδή στην αστρονομική ορολογία οι ενώσεις αυτές έχει επικρατήσει να ονομάζονται «πάγοι», ο Ουρανός και ο Ποσειδώνας αποτελούν πλέον μία διακριτή ομάδα πλανητών από τους αέριους γίγαντες, τους «γίγαντες πάγου».



Στην παρουσία του μεθανίου, μάλιστα, οφείλεται εν μέρει και το γαλάζιο χρώμα τους. Σε αντίθεση, όμως, με το ακνότερο γαλάζιο του Ουρανού, το πιο έντονο μπλε του Ποσειδώνα υποδηλώνει την ύπαρξη και άλλων οργανικών ενώσεων. Εξαιτίας των μεγάλων πιέσεων και θερμοκρασιών που επικρατούν στο εσωτερικό τους, οι «πάγοι» αυτοί σχηματίζουν έναν θερμό και παχύρρευστο «ωκεανό», ο οποίος περιβάλλει τον πυρήνα τους, που αποτελείται από πυριτιούχα πετρώματα και σίδηρο. Και οι δύο αυτοί πλανήτες, τέλος, διαθέτουν από ένα ακνό σύστημα δακτυλίων.

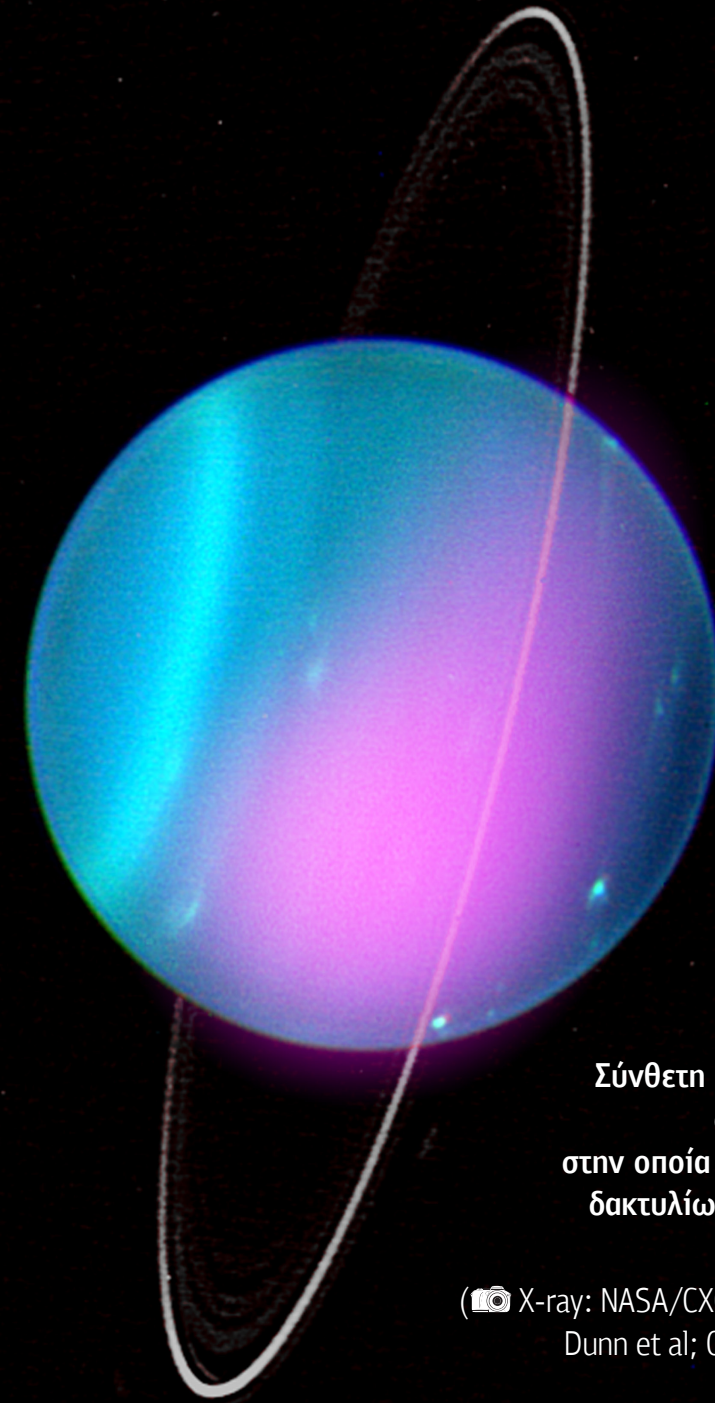
Ο Ουρανός ανακαλύφθηκε το 1781 από τον Γερμανό αστρονόμο **William Herschel** και είναι ο τέταρτος σε μάζα πλανήτης του Ηλιακού συστήματος, με διάμετρο



περίπου 4,5 φορές μεγαλύτερη απ' αυτήν της Γης. Σε απόσταση 20 ΑΜ μακριά από τον Ήλιο, ο Ουρανός συμπληρώνει μία τροχιά γύρω του σε περίπου 84 χρόνια, ενώ μία περιστροφή γύρω από τον άξονά του διαρκεί περίπου 17 ώρες. Πρόκειται για τον μοναδικό πλανήτη του οποίου ο ισημερινός είναι σχεδόν κάθετος στην τροχιά του, ή αλλιώς, ο μοναδικός πλανήτης του οποίου ο άξονας περιστροφής είναι παράλληλος στο επίπεδο της τροχιάς του. Επιπλέον, ο Ουρανός περιστρέφεται γύρω από τον εαυτό του από τα ανατολικά προς τα δυτικά, όπως δηλαδή και η Αφροδίτη. Αυτός ο παράξενος προσανατολισμός του εικάζεται ότι οφείλεται σε μία βίαιη πλανητική σύγκρουση, που συνέβη στα πρώτα στάδια της ιστορίας του Ηλιακού συστήματος.

Εξαιτίας της μεγάλης αυτής κλίσης του άξονα περιστροφής του, ο Ουρανός στρέφει κάθε πόλο του για 21 ολόκληρα χρόνια προς τον Ήλιο, βυθίζοντας το αντίθετο ημισφαίριο στο σκοτάδι. Εξίσου ασυνήθιστο είναι και το διπολικό του μαγνητικό πεδίο, το οποίο έχει κλίση της τάξεως των 60° σε σχέση με τον άξονα περιστροφής του, ενώ είναι μετατοπισμένο από το κέντρο του κατά το ένα τρίτο περίπου της ακτίνας του. Σε αντίθεση, όμως, με τον Δία και τον Κρόνο, το μαγνητικό πεδίο των οποίων οφείλεται στο παχύ στρώμα μεταλλικού υδρογόνου που περιβάλλει τον πυρήνα τους, η μικρότερη περιεκτικότητα του Ουρανού σε υδρογόνο, αλλά και οι μικρότερες πιέσεις στο εσωτερικό του, δεν επαρκεί για την μετατροπή του υδρογόνου σε μεταλλικό. Γι' αυτό και οι περισσότεροι επιστήμονες θεωρούν ότι το μαγνητικό πεδίο του Ουρανού οφείλεται στην

Ο Γερμανός αστρονόμος William Herschel



Σύνθετη εικόνα του πλανήτη Ουρανού στις ακτίνες X και στο ορατό, στην οποία διακρίνεται το ακνό σύστημα δακτυλίων του και η μεγάλη κλίση του άξονα περιστροφής του

(📷 X-ray: NASA/CXO/University College London/W. Dunn et al; Optical: W.M. Keck Observatory).

ρευστή «θάλασσα πάγων» που περιβάλλει τον πυρήνα του, η οποία καθίσταται ηλεκτρικά αγωγίμη, καθώς το νερό και η αμμωνία διασπώνται σε ιόντα. Στον ίδιο, περίπου, μηχανισμό οφείλεται και το μαγνητικό πεδίο του Ποσειδώνα, το οποίο όμως σχηματίζει γωνία 47° με τον άξονα περιστροφής του.

Σε αντίθεση με τους δορυφόρους των υπόλοιπων πλανητών του Ηλιακού συστήματος, που δανείστηκαν τα ονόματά τους από την ελληνική μυθολογία, σχεδόν όλοι οι δορυφόροι του Ουρανού οφείλουν τα ονόματά τους σε χαρακτήρες των έργων του Σαίξπηρ, εκτός από τρεις, στους οποίους δόθηκαν ονόματα χαρακτήρων

από τα έργα του Alexander Pope. Οι 6 μεγαλύτεροι δορυφόροι κατά την σειρά της απόστασής τους από τον Ουρανό είναι ο Πουκ, η Μιράντα, ο Αριήλ, ο Ουμβριήλ, η Τιτάνια και ο Όμπερον.

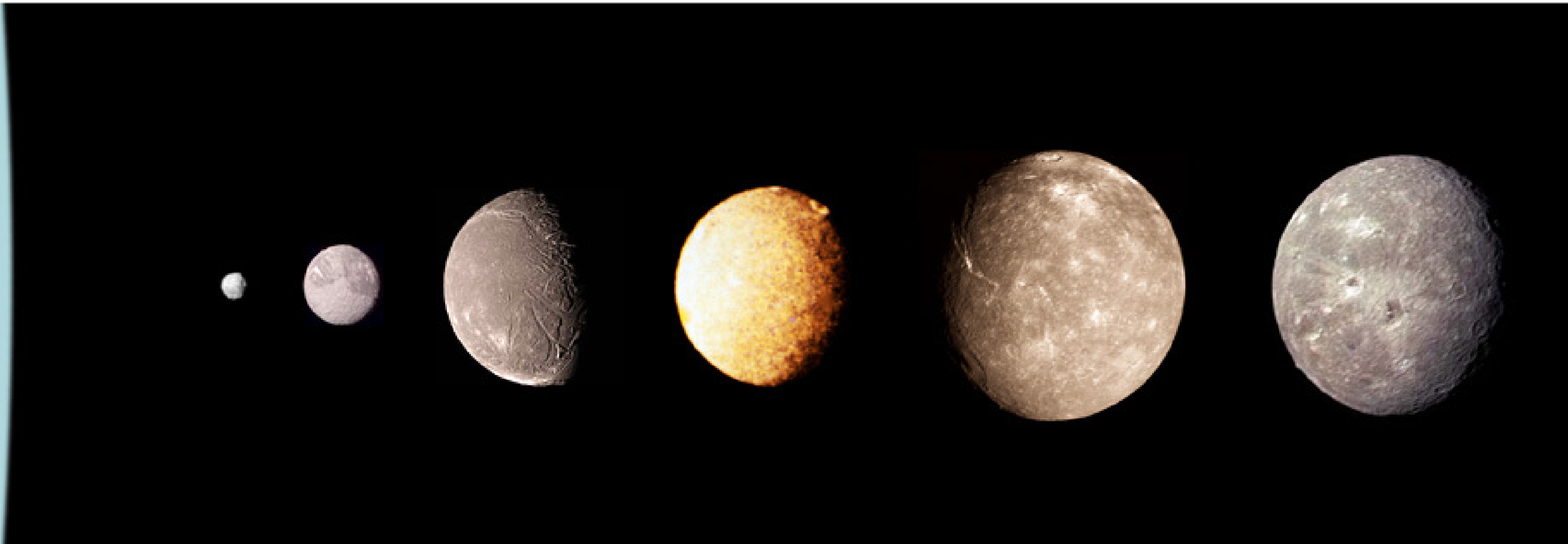
Σε τροχιές μικρότερες απ' αυτήν στην οποία κινείται η Μιράντα έχουν ανακαλυφθεί 13 ακόμη μικροί δορυφόροι, οι πολύπλοκες βαρυτικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των οποίων καθιστούν το εσωτερικό αυτό δορυφορικό σύστημα ασταθές. Γι' αυτό και προβλέπεται ότι εκατομμύρια χρόνια στο μέλλον κάποιοι απ' αυτούς θα συγκρουστούν μεταξύ τους και θα διαμελιστούν, σχηματίζοντας ενδεχομένως ένα νέο σύστημα δακτυ-

λίων. Σε αποστάσεις, τέλος, πολύ μεγαλύτερες από την τροχιά του Όμπερον, ανακαλύφθηκαν 9 μικροσκοπικοί δορυφόροι με ανάδρομες τροχιές μεγάλης κλίσης, οι οποίοι πρέπει να είναι ουράνια σώματα που αιχμαλωτίστηκαν από την βαρυτική έλξη του Ουρανού.

Με εξαίρεση την Μιράντα, οι μεγαλύτεροι δορυφόροι του Ουρανού αποτελούνται από ίσες περίπου ποσοότητες πάγων και πετρωμάτων, ενώ ενδέχεται το εσωτερικό τους να έχει διαφοροποιηθεί σε έναν μικρό βραχώδη πυρήνα και έναν παγωμένο μανδύα. Οι επιφάνειες και των 5 αυτών δορυφόρων είναι καλυμμένες από κρατήρες, οι οποίοι διαμορφώθηκαν από τις αμέτρητες

πτώσεις αστεροειδών, με τους περισσότερους να παρατηρούνται στους δορυφόρους **Όμπερον** και **Ουμβριήλ**. Επιπλέον, ο Όμπερον, ο δεύτερος μεγαλύτερος δορυφόρος του Ουρανού, διαθέτει ένα εκτεταμένο δίκτυο ρωγμών, χασμάτων και φαραγγιών, μικρότερο όμως από εκείνο που εντοπίστηκε στην **Τιτάνια**, τον μεγαλύτερο δορυφόρο του.

Με διάμετρο μόλις 500 km, η **Μιράντα** είναι ο μικρότερος και εσώτατος από τους κύριους δορυφόρους του Ουρανού. Στην επιφάνειά της υπάρχουν περιοχές με λίγους κρατήρες, που καλύπτονται από εκτεταμένα δίκτυα ρωγμών και κοιλάδων, οι οποίες είναι σαφώς



Σύνθεση εικόνων, στην οποία διακρίνονται ο Ουρανός και οι έξι μεγαλύτεροι δορυφόροι του, Πουκ, Μιράντα, Αριήλ, Ουμβριήλ, Τιτάνια και Όμπερον (📷 NASA/JPL-Caltech).

οριοθετημένες σε σχέση με τις περιοχές που περιλαμβάνουν περισσότερους κρατήρες. Σύμφωνα με μία ερμηνεία, οι περιοχές αυτές διαμορφώθηκαν όταν η τροχιά της ήταν αρκετά πιο ελλειπτική απ' όσο είναι σήμερα. Εξαιτίας, δηλαδή, των παλιρροϊκών δυνάμεων του Ουρανού, η εκλυόμενη θερμότητα συνέβαλε ώστε να αναδυθεί προς την επιφάνειά της ένα ρευστό μείγμα νερού και αμμωνίας, το οποίο στην συνέχεια πάγωσε. Στην Μιράντα, τέλος, ανακαλύφθηκε και ο μεγαλύτερος γκρεμός του Ηλιακού συστήματος, με βάθος 20 km.

Περίπου 10 AM μακρύτερα από τον Ουρανό βρίσκεται ο Ποσειδώνας, ο όγδοος και πιο απομακρυσμένος πλανήτης από τον Ήλιο. Ο πλανήτης αυτός είναι ο μοναδικός στο Ηλιακό σύστημα, ο οποίος δεν ανακαλύφθηκε μέσα από τη συστηματική παρατήρηση του έναστρου ουρανού, αλλά χάρη στους υπολογισμούς που πραγματοποίησαν ανεξάρτητα ο ένας από

τον άλλο, ο Γάλλος μαθηματικός **Urbain Joseph Le Verrier** (1811–1877) και ο Άγγλος μαθηματικός **John Couch Adams** (1819–1892). Γνωρίζοντας από προηγούμενες έρευνες ότι η τροχιά του Ουρανού διέφερε κάπως απ' αυτήν που προέκυπτε θεωρητικά μέσα απ' τους Νόμους του Νεύτωνα για την κίνηση των σωμάτων και την βαρύτητα, οι δύο αυτοί επιστήμονες υποστήριξαν ότι οι διαφορές αυτές οφείλονταν στην βαρυτική έλξη ενός άγνωστου έως τότε πλανήτη. Η παρατήρηση με τηλεσκόπιο του νέου πλανήτη το 1846 από τον Γερμανό αστρονόμο **Johann Gottfried Galle** (1812–1910) στην τροχιά που είχαν υπολογίσει οι δύο επιστήμονες επιβεβαίωσε τους σχετικούς υπολογισμούς και οι πλανήτες του Ηλιακού συστήματος αυξήθηκαν κατά έναν.

Ο Ποσειδώνας είναι ο μικρότερος, αλλά και ο πυκνότερος από τους τέσσερεις γίγαντες του Ηλιακού συστήματος, με μάζα 17 φορές μεγαλύτερη από αυτήν της

Γης και με διάμετρο που στον ισημερινό του αγγίζει τα 25.000 km. Η μέση απόστασή του από τον Ήλιο είναι περίπου 30 AM, συμπληρώνοντας μία τροχιά γύρω του σε περίπου 165 έτη. Αντιθέτως, η διάρκεια της ημέρας του δεν υπερβαίνει τις 16 περίπου ώρες. Η κλίση του άξονα περιστροφής του Ποσειδώνα είναι περίπου 28°, συγκρίσιμη δηλαδή μ' αυτήν της Γης και του Άρη, γεγονός που υποδηλώνει ότι ο πλανήτης αυτός υπόκειται σε παρόμοιες εποχιακές εναλλαγές, με την μόνη διαφορά ότι οι εποχές στον Ποσειδώνα διαρκούν 40 περίπου χρόνια.

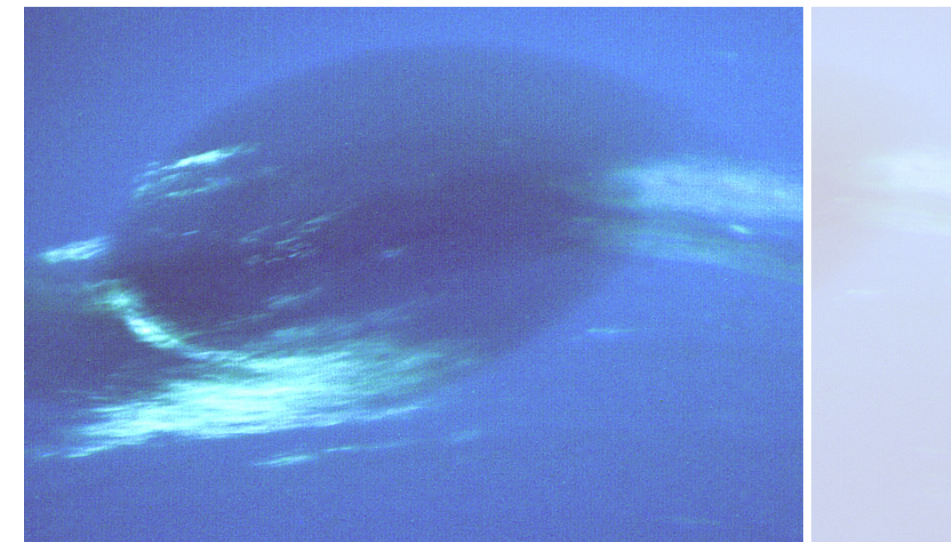
Η χημική σύνθεση του Ποσειδώνα είναι παρόμοια μ' αυτήν του Ουρανού. Έτσι, καθώς διεισδύουμε βαθύτερα προς τον πυρήνα του, η περιεκτικότητα της ατμόσφαιράς του σε μεθάνιο, αμμωνία και νερό αυξάνει διαρκώς, όπως εξάλλου αυξάνει η θερμοκρασία, η πίεση και η πυκνότητα, ώσπου εντέλει μετατρέπεται σε έναν θερμό ρευστό μανδύα, με υψηλή ηλεκτρική

αγωγιμότητα. Σε βάθος 7.000 km, οι συνθήκες που επικρατούν σε αυτόν τον ωκεανό νερού, αμμωνίας και μεθανίου είναι τέτοιες που ίσως και να επιτρέπουν τη διάσπαση του μεθανίου σε υδρογόνο και άνθρακα. Εάν πράγματι συμβαίνει αυτό, αρκετοί επιστήμονες εικάζουν ότι ο άνθρακας μπορεί στη συνέχεια να κρυσταλλοποιείται σε διαμάντια, τα οποία πέφτουν προς τον πυρήνα του σαν χαλάζι, κάτι που εικάζεται ότι συμβαίνει και στον Ουρανό.

Το Voyager 2, η μοναδική διαστημοσυσκευή που επισκέφτηκε μέχρι σήμερα τον Ποσειδώνα, ανακάλυψε μια δυναμική ατμόσφαιρα με μεγάλες κυκλικές καταιγίδες, περιλαμβανομένου και ενός αντικυκλώνα στο μέγεθος της Γης, που ονομάστηκε **Μεγάλη Σκοτεινή Κηλίδα**. Ο αντικυκλώνας αυτός περιβαλλόταν από μικρότερους κυκλώνες, οι οποίοι κινούνταν με ταχύτητες που πλησίαζαν τα 2.200 km/h. Και πραγματικά, στον Ποσειδώνα έχουν καταγραφεί οι ισχυρότεροι

Αριστερά:
Ο Ποσειδώνας σε εικόνα που ελήφθη από το Voyager 2
(NASA/JPL-Caltech).

Δεξιά:
Η Μεγάλη Σκοτεινή Κηλίδα, όπως την φωτογράφησε το Voyager 2, τον Αύγουστο του 1989
(NASA/JPL-Caltech).



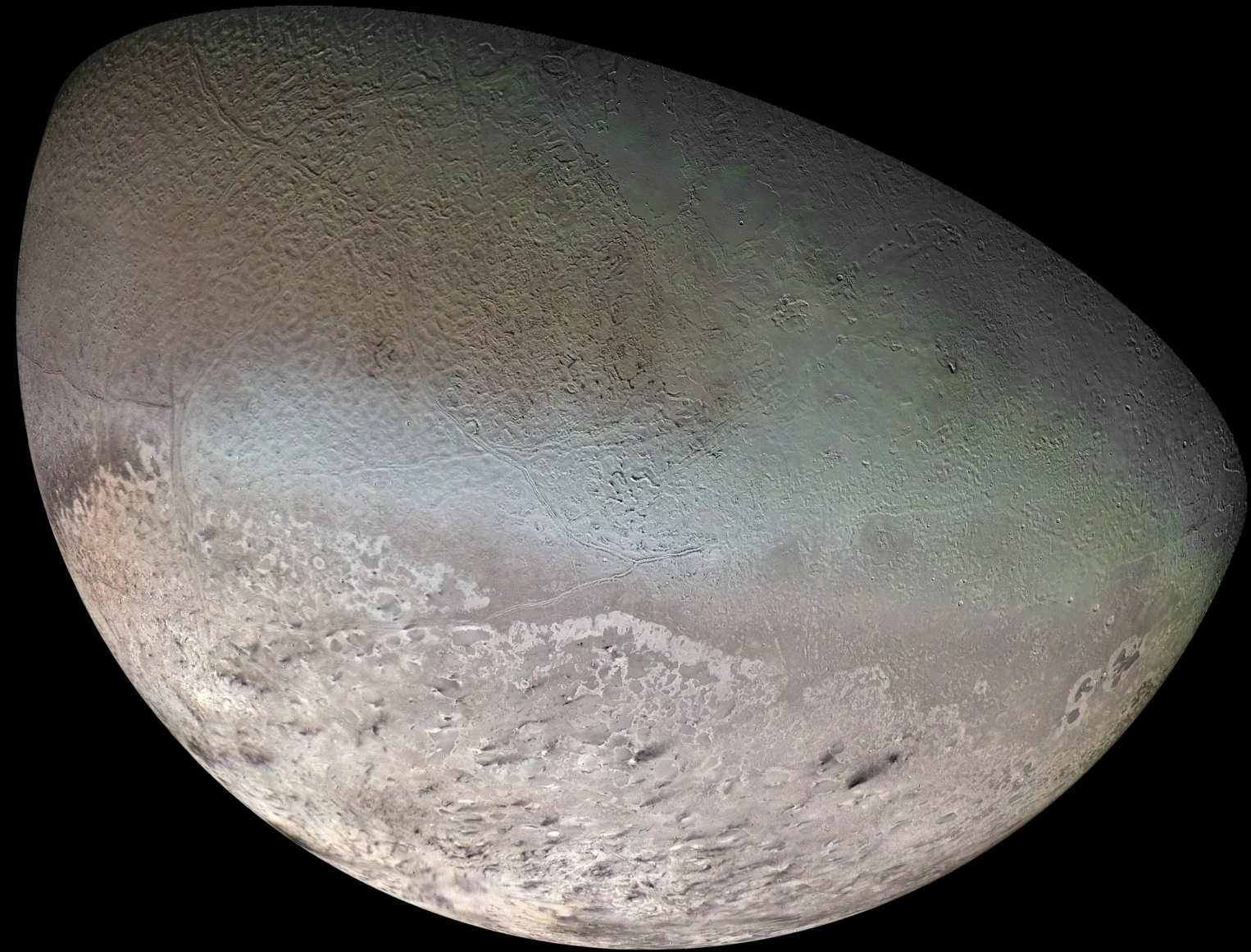
άνεμοι στο Ηλιακό μας σύστημα. Δεδομένης της μικρής ποσότητας της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στον Ποσειδώνα, η παράξενα μεγάλη ένταση των μετεωρολογικών του φαινομένων δεν ενεργοποιείται τόσο από τον Ήλιο, όσο από μία εσωτερική πηγή θερμότητας, η προέλευση της οποίας δεν είναι ακόμη απολύτως κατανοητή. Γνωρίζουμε, ωστόσο, ότι ο Ποσειδώνας εκπέμπει 2,6 φορές περισσότερη θερμότητα απ' όση προσλαμβάνει από τον Ήλιο. Δεδομένου ότι ο Ουρανός και ο Ποσειδώνας έχουν παραπλήσιο μέγεθος και χημική σύσταση, το γεγονός ότι ο Ουρανός, αντιθέτως, δεν διαθέτει κάποια ισχυρή πηγή εσωτερικής θερμότητας παραμένει ανεξήγητο.

Μέχρι στιγμής έχουν ανακαλυφθεί 14 δορυφόροι του Ποσειδώνα, μεγαλύτερος εκ των οποίων είναι ο **Τρίτωνας**. Με διάμετρο 2.700 km, ο Τρίτωνας είναι ο έβδομος μεγαλύτερος δορυφόρος του Ηλιακού συστήματος και εμπεριέχει το σύνολο σχεδόν της ύλης που βρίσκεται σε τροχιά γύρω από τον Ποσειδώνα. Πρόκειται για τον μοναδικό μεγάλο δορυφόρο του Ηλιακού συστήματος, η τροχιά του οποίου είναι ανάδρομη σε σχέση με την περιστροφή του πλανήτη του γύρω από τον εαυτό του, αλλά και με μεγάλη κλίση ως προς το ισημερινό του επίπεδο. Η ασυνήθιστη αυτή γεωμετρία της τροχιάς του Τρίτωνα, καθώς και το γεγονός ότι μοιράζεται πολλά κοινά χαρακτηριστικά με τον νάνο πλανήτη Πλούτωνα, υποδηλώνει ότι ο δορυφόρος αυτός δεν σχηματίστηκε στην γειτονιά του Ποσειδώνα, αλλά πιθανότατα ανήκε στα αναρίθμητα παγωμένα συντρίμια που απαρτίζουν την Ζώνη Kuiper και αιχμαλωτίστηκε από την βαρυτική του έλξη. Εξαιτίας, μάλιστα, της ανάδρομης πορείας του, ο Τρίτωνας στροβιλίζεται όλο

και πλησιέστερα προς τον γιγάντιο πλανήτη, ώσπου σε περίπου 3,6 δισ. χρόνια θα προσεγγίσει τόσο πολύ τον Ποσειδώνα, ώστε θα διαμελιστεί από τις παλιρροϊκές του δυνάμεις, σχηματίζοντας ενδεχομένως έναν ακόμη δακτύλιο γύρω του.

Η επιφάνεια του Τρίτωνα καλύπτεται από πάγους αζώτου, μεθανίου, μονοξειδίου του άνθρακα και νερού. Η σχετικά μεγάλη του πυκνότητα υποδηλώνει ότι αποτελείται κατά τα δύο τρίτα από πετρώματα και το υπόλοιπο από πάγους, ενώ ενδέχεται να κρύβει στο εσωτερικό του και ένα στρώμα νερού σε υγρή μορφή. Ο δορυφόρος αυτός είναι ένα από τα πιο παγωμένα σώματα του Ηλιακού συστήματος, με επιφανειακή θερμοκρασία η οποία δεν υπερβαίνει τους -235°C . Το Voyager 2 ανακάλυψε στην περιοχή του πόλου του, που θερμαινόταν από τον Ήλιο, ενεργούς πίδακες. Οι πίδακες αυτοί εκτινάσσουν ένα μείγμα αζώτου, μεθανίου και σκόνης ακόμη και σε ύψος 8 km, το οποίο παγώνει και επιστρέφει στην επιφάνειά του σαν χιόνι. Το Voyager 2, τέλος, ανακάλυψε ότι ο Τρίτωνας περιβάλλεται από μία ιδιαίτερα αραιή ατμόσφαιρα, που αποτελείται κατά κύριο λόγο από άζωτο, με προσμείξεις μεθανίου και μονοξειδίου του άνθρακα, στην οποία σχηματίζονται ακόμη και αχνά σύννεφα από παγοκρυσταλλούς αμμωνίας.

Η μοναδική μέχρι στιγμής διαστημοσυσκευή που έχει επισκεφθεί τον Ουρανό και τον Ποσειδώνα ήταν το Voyager 2, στα δεδομένα του οποίου οφείλονται πολλά απ' όσα γνωρίζουμε σήμερα για τους δύο αυτούς πλανήτες. Δυστυχώς, όμως, δεν προβλέπεται κάποια μελλοντική αποστολή προς αυτούς, στο ορατό μέλλον τουλάχιστον ✦



Εικόνα του Τρίτωνα που ελήφθη το 1989 από το Voyager 2 (📷 φωτογρ. NASA/JPL/USGS).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Η ΖΩΝΗ ΚUIPER ΚΑΙ ΟΙ ΝΑΝΟΙ ΠΛΑΝΗΤΕΣ

ΠΛΑΝΗΤΕΣ ΚΑΙ ΔΟΥΥΦΟΡΟΙ

Πέρα απ' την τροχιά του Ποσειδώνα, του τελευταίου των γιγάντων του Ηλιακού συστήματος, και μέχρι τις περίπου 55 ΑΜ, εκτείνεται το παγωμένο βασίλειο της **Ζώνης Kuiper**. Τα Αντικείμενα της Ζώνης Kuiper, γνωστά και ως **KBO** (από τα αρχικά της αγγλικής τους ονομασίας, Kuiper Belt Objects), είναι αρχέγονα πλανητικά έμβρυα που περίσσεψαν κατά τον σχηματισμό του Ηλιακού συστήματος, τα οποία δεν κατόρθωσαν να συσσωματωθούν σε μεγαλύτερα μεγέθη. Σε αντίθεση, όμως, με τα συντρίμια της Ζώνης των Αστεροειδών που έχουν κυρίως βραχώδη σύσταση, τα KBO εμπεριέχουν μεγάλες ποσότητες παγωμένων πτητικών ενώσεων.

Καλλιτεχνική αναπαράσταση της Ζώνης Kuiper
(ESO/M. Kornmesser)



Ο Πλούτωνας είναι το γνωστότερο από τα μεγάλα αντικείμενα της Ζώνης Kuiper. Θεωρούμενος μέχρι πριν από λίγα χρόνια ως ο ένατος πλανήτης του Ηλιακού συστήματος, ο Πλούτωνας υποβιβάστηκε στην κατηγορία του νάνου πλανήτη το 2006. Βασική αιτία γι' αυτό ήταν η ανακάλυψη το 2005 ενός μεγάλου ουράνιου σώματος πέρα από την τροχιά του Ποσειδώνα, που ονομάστηκε **Έριδα**. Με διάμετρο που αρχικά υπολογίστηκε ότι είναι 10% μεγαλύτερη απ' αυτήν του Πλούτωνα, η Έριδα είχε παρουσιαστεί από τα MME ως ο δέκατος πλανήτης του Ηλιακού συστήματος. Δεδομένου ότι δεν είχε διατυπωθεί ως τότε ένας αυστηρά επιστημονικός ορισμός για το τι είναι ένας πλανήτης, αλλά και προκειμένου να αποφεύγεται στο μέλλον ο επαναπροσδιορισμός του συνολικού αριθμού των πλανητών του Ηλιακού συστήματος κάθε φορά που ανακαλύπτονται ουράνια σώματα παραπλήσια σε μέγεθος με τον Πλούτωνα, η Διεθνής Αστρονομική Ένωση αποφάσισε να αποσαφηνίσει την όλη κατάσταση στην διάρκεια της 26ης Γενικής της Συνέλευσης, που έλαβε χώρα το 2006 στην Πράγα.

Σύμφωνα με τον επιστημονικό ορισμό που υπερψηφίστηκε, προκειμένου ένα ουράνιο σώμα να θεωρείται πλανήτης, θα πρέπει να περιφέρεται γύρω από ένα άστρο, να έχει αρκετά μεγάλη μάζα, ώστε η ίδια του η βαρύτητα να του έχει προσδώσει σφαιρικό σχήμα, και να έχει «καθαρίσει» την τροχιά του από κάθε άλλο μικρότερο ουράνιο σώμα που δεν είναι δορυφόρος του, είτε αφομοιώνοντας κάποια από αυτά, είτε εκσφενδονίζοντας κάποια άλλα μακριά μέσω βαρυτικών αλληλεπιδράσεων. Σύμφωνα με την τελική πρόταση, εκτός από τους πλανήτες, προσδιορίζονται δύο ακόμη κατηγορίες

ουράνιων σωμάτων: οι «νάνοι πλανήτες» και τα «μικρά ουράνια σώματα του Ηλιακού συστήματος». Οι **νάνοι πλανήτες** είναι ουράνια σώματα που ικανοποιούν μόνο τα δύο πρώτα κριτήρια και τα οποία δεν είναι δορυφόροι. Οτιδήποτε περισσεύει, για παράδειγμα αστεροειδείς και κομήτες, ανήκει στην τρίτη κατηγορία. Η πλειονότητα των αστρονόμων ψήφισαν υπέρ αυτής της πρότασης, υποβαθμίζοντας έτσι τον Πλούτωνα στην κατηγορία του νάνου πλανήτη, ενώ η Δήμητρα, που μέχρι πρότινος ήταν ο μεγαλύτερος αστεροειδής του Ηλιακού συστήματος, καθώς και η Έριδα, θεωρούνται πλέον ότι κι αυτοί είναι νάνοι πλανήτες. Με τις πρόσφατες ανακαλύψεις των Haumea και Makemake, ο συνολικός αριθμός των νάνων πλανητών που έχουν ανακαλυφθεί μέχρι σήμερα ανέρχεται σε πέντε.

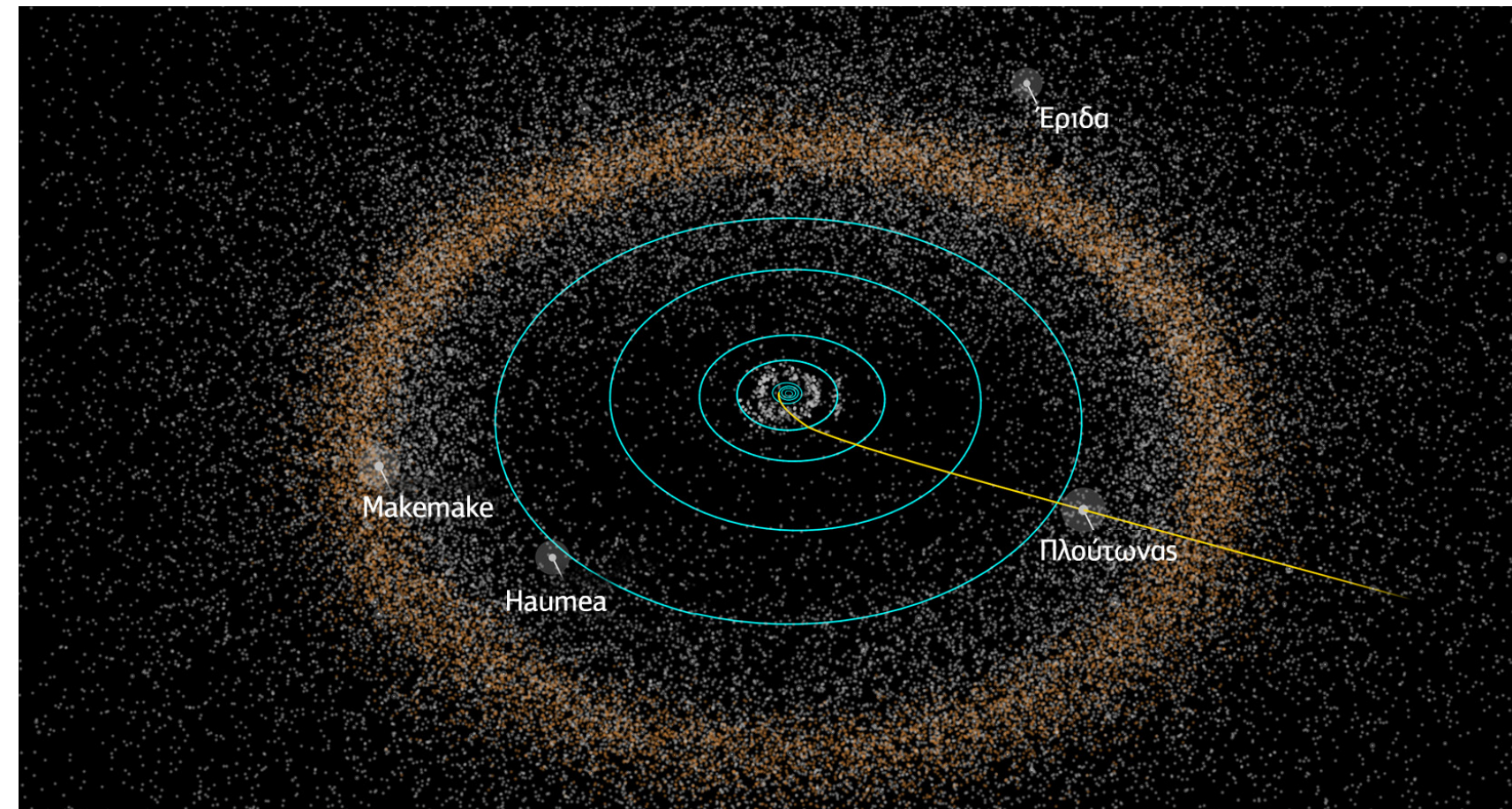
Ας δούμε τι γνωρίζουμε ήδη γι' αυτούς (με εξαίρεση την Δήμητρα, στην οποία έχουμε ήδη αναφερθεί). Ο **Πλούτωνας** ανακαλύφθηκε το 1930 και η μάζα του είναι τόσο μικρή σε σχέση με την μάζα της Γης, ώστε ένας άνθρωπος στην επιφάνειά του θα ζύγιζε περίπου το 1/15 του γήινου βάρους του. Το πιθανότερο είναι ότι έχει βραχώδη πυρήνα, αλλά και μανδύα από πάγο, ενώ η επιφάνειά του καλύπτεται από παγωμένο μεθάνιο και άζωτο. Ο Πλούτωνας συμπληρώνει μία περιφορά γύρω από τον Ήλιο κάθε 248 χρόνια, διαγράφοντας μία ιδιαίτερα ελλειπτική τροχιά, που μεταβάλλει την απόστασή του από τον Ήλιο από τις 30 μέχρι και τις 50 ΑΜ. Έτσι, για 20 περίπου από τα χρόνια που διαρκεί μία πλήρης περιφορά του γύρω από τον Ήλιο, βρίσκεται πλησιέστερα στον Ήλιο απ' όσο ο Ποσειδώνας. Έχοντας ήδη πλησιάσει στην κοντινότερη απόστασή του από τον Ήλιο το 1989, αυτή την στιγμή συνεχίζει να

απομακρύνεται από το άστρο μας, οδεύοντας προς το αφήλιό του (δηλ. προς την μέγιστη απόστασή του από τον Ήλιο), στο οποίο θα φτάσει το 2114. Επιπλέον, σε αντίθεση με τους άλλους πλανήτες του Ηλιακού συστήματος, οι οποίοι κινούνται στο ίδιο περίπου επίπεδο, αυτό δηλαδή της Εκλειπτικής, η τροχιά του Πλούτωνα σχηματίζει με το επίπεδο αυτό γωνία περίπου 17°.

Ο Πλούτωνας περιβάλλεται από μια ιδιαίτερα αραιή ατμόσφαιρα, η οποία αποτελείται κυρίως από άζωτο και μονοξείδιο του άνθρακα, καθώς και από ίχνη μεθανίου. Εξαιτίας της μεγάλης απόστασης που τον χωρίζει από τον Ήλιο, η επιφανειακή του θερμοκρασία δεν υπερβαίνει τους περίπου -230 °C, αν και εξαιτίας της ελλειπτικής του τροχιάς, η θερμοκρασία του μεταβάλ-

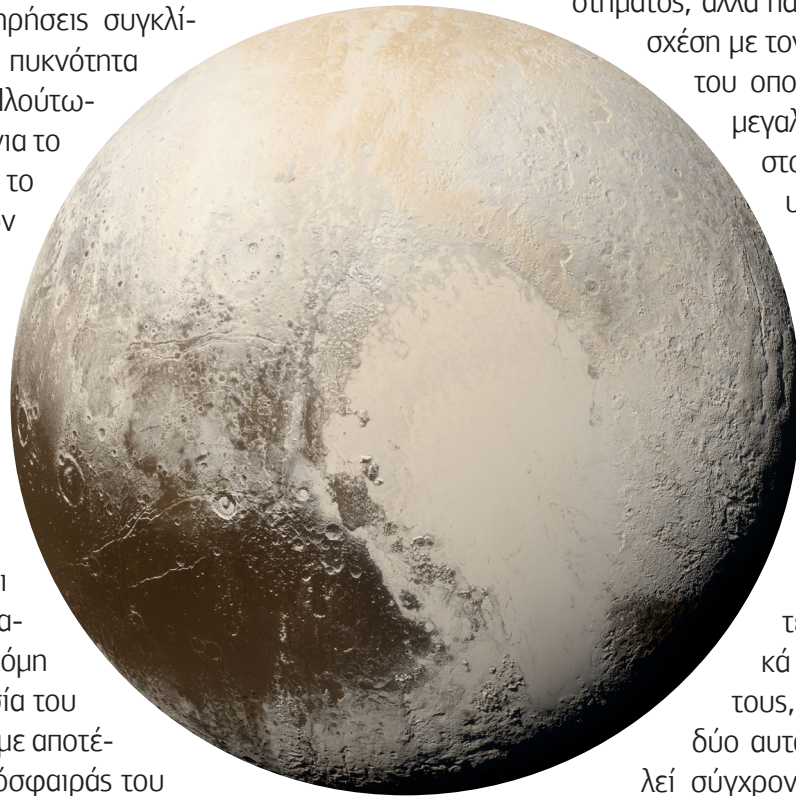
Σε αυτή την σχηματική αναπαράσταση της Ζώνης Kuiper διακρίνονται οι νάνοι πλανήτες Haumea, Πλούτωνας, Makemake και Έριδα, οι τροχιές των πλανητών (μπλε) και η πορεία του New Horizons (κίτρινο), ενώ οι κουκκίδες δείχνουν τις θέσεις αντιπροσωπευτικών αστεροειδών (κοντά στον Ήλιο) και KBO (κυρίως πέρα από την τροχιά του Ποσειδώνα)

 NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Southwest Research Institute/Alex Parker).



λεται ανάλογα και με το εάν πλησιάζει ή απομακρύνεται απ' αυτόν.

Η ατμόσφαιρά του καθορίζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό από το φαινόμενο της εξάχνωσης, της απευθείας δηλαδή μετατροπής των πάγων της επιφάνειάς του σε αέρια, χωρίς να μεσολαβεί σχηματισμός υγρού. Όλες οι παρατηρήσεις συγκλίνουν στο γεγονός ότι η πυκνότητα της ατμόσφαιρας του Πλούτωνα να αυξανόταν διαρκώς για το χρονικό διάστημα κατά το οποίο πλησίαζε προς τον Ήλιο, καθώς η επιταχυνόμενη εξάχνωση των πάγων της επιφάνειάς του εμπλούτιζε την ατμόσφαιρά του με αέρια. Επειδή, όμως, ο Πλούτωνα έχει ήδη αρχίσει να απομακρύνεται από τον Ήλιο και θα συνεχίσει να απομακρύνεται για αρκετές ακόμη δεκαετίες, η θερμοκρασία του θα μειώνεται συνεχώς, με αποτέλεσμα τα αέρια της ατμόσφαιράς του να συμπυκνώνονται και να πέφτουν στην επιφάνειά του σαν χιόνι. Το εσωτερικό του, αντίθετα, είναι αρκετά θερμότερο και οι επιστήμονες ανακαλύπτουν όλο και περισσότερες ενδείξεις ότι μεταξύ του φλοιού και του πυρήνα του υπάρχει ένας ωκεανός βάθους 100 km.



Ο Πλούτωνα διαθέτει 5 γνωστούς δορυφόρους: τον **Χάροντα**, την **Στύγα**, την **Νύκτα**, τον **Κέρβερο** και την **Ύδρα**, που με εξαίρεση τον πρώτο και πλησιέστερο προς αυτόν, είναι όλοι τους πολύ μικροί. Με διάμετρο που δεν υπερβαίνει τα 1.210 km, ο **Χάροντας** είναι ένας σχετικά μικρός δορυφόρος του Ηλιακού συστήματος, αλλά παρ' όλα αυτά τεράστιος σε σχέση με τον Πλούτωνα, η διάμετρος του οποίου είναι μόλις 2 φορές μεγαλύτερη. Πουθενά αλλού στο Ηλιακό μας σύστημα δεν υπάρχει τέτοια αναλογία μεγεθών μεταξύ δορυφόρου και πλανήτη.

Ο Χάροντας και ο Πλούτωνα περιστρέφονται γύρω από το κοινό κέντρο βάρους τους, σε λίγο περισσότερο από 6 ημέρες. Εκτός αυτού, είναι κατά τέτοιον τρόπο βαρυτικά «κλειδωμένοι» μεταξύ τους, ώστε καθένα από τα δύο αυτά ουράνια σώματα εκτελεί σύγχρονη περιστροφή ως προς το άλλο. Αυτό σημαίνει ότι, όχι μόνο ο Χάροντας στρέφει διαρκώς την ίδια όψη του προς τον Πλούτωνα, αλλά και ότι ο Πλούτωνα στρέφει διαρκώς την ίδια όψη του προς τον Χάροντα. Η επιφάνεια του Χάροντα φαίνεται να είναι καλυμμένη κατά κύριο λόγο από παγωμένο νερό, ενώ εμπεριέχει μικρότερες πο-

σότητες πετρωμάτων. Τα γενικότερα χαρακτηριστικά του Πλούτωνα και των δορυφόρων του υποδηλώνουν ότι ο Χάροντας σχηματίστηκε κατά την σύγκρουση ενός ουράνιου σώματος με τον αρχέγονο Πλούτωνα, ενώ οι μικρότεροι δορυφόροι του πιθανώς να σχηματίστηκαν από μια δεύτερη σύγκρουση ενός διαστημικού βράχου, είτε με τον Πλούτωνα είτε με τον Χάροντα.

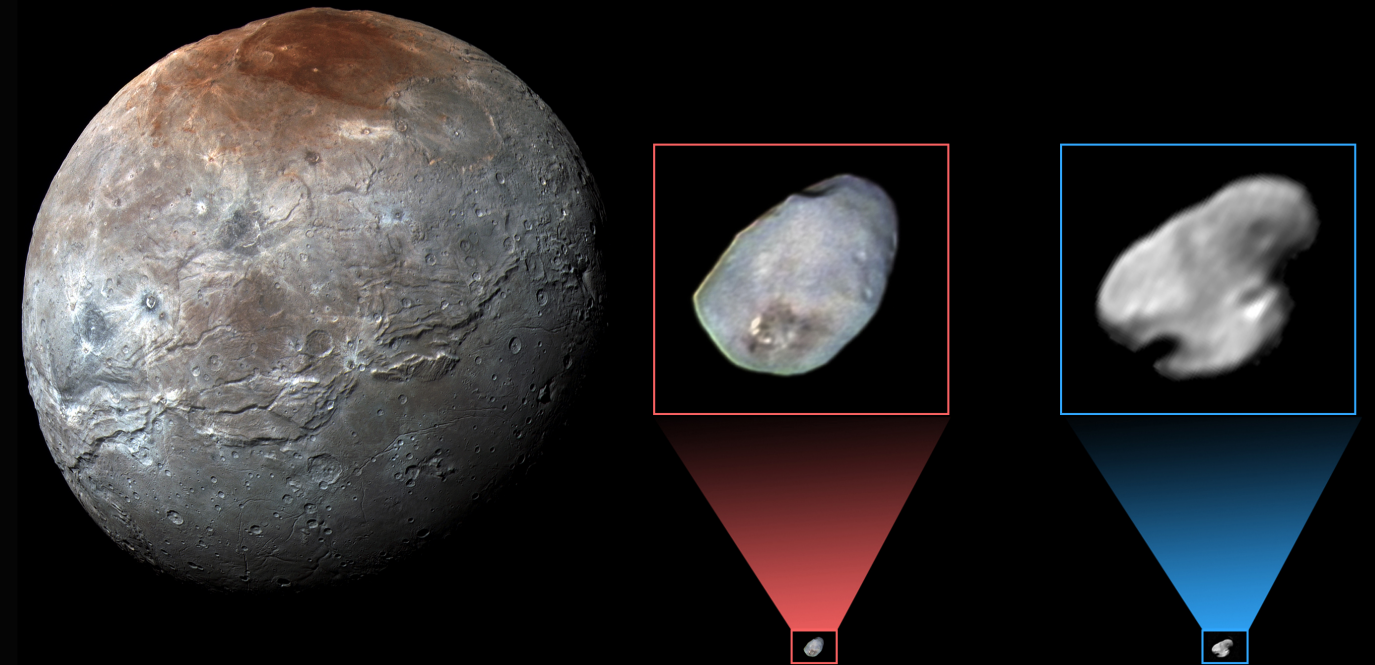
Η **Έριδα**, από την άλλη, έχει το ίδιο σχεδόν μέγεθος με αυτό του Πλούτωνα και χρειάζεται 558 χρόνια προ-

κειμένου να συμπληρώσει μία περιφορά γύρω από τον Ήλιο. Η τροχιά της όμως είναι τόσο ελλειπτική, ώστε στο περιήλιό της απέχει από τον Ήλιο «μόλις» 38 ΑΜ, ενώ στο αφήλιο της τροχιάς της η απόστασή της από τον Ήλιο αγγίζει τις 98 ΑΜ. Τα γενικότερα χαρακτηριστικά της τροχιάς της υποδηλώνουν ότι η Έριδα ανήκει στα αντικείμενα που απαρτίζουν τον Διάσπαρτο Δίσκο. Οι αστρονόμοι εικάζουν ότι η επιφανειακή θερμοκρασία της κυμαίνεται από τους -217 έως τους -243°C, ενώ

Αριστερά: Ο Πλούτωνα σε εικόνα που ελήφθη από το New Horizons το 2015

(📷 NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Southwest Research Institute/Alex Parker)

Κάτω: Οι δορυφόροι Χάροντας, Νύκτα και Ύδρα (📷 NASA/JHUAPL/SwRI)



Χάροντας: διάμετρος 1.210 km

Νύκτα: μήκος ~48 km

Ύδρα: μήκος ~50 km

Οι τελευταίες μετρήσεις δείχνουν ότι η Έριδα έχει παραπλήσια διάμετρο, αλλά μεγαλύτερη μάζα από τον Πλούτωνα. Προφανώς, αυτό οφείλεται στην αρκετά μεγαλύτερη πυκνότητά της, που υποδηλώνει ότι αποτελείται πρωτίστως από βραχώδη υλικά, καλυμμένα από έναν λεπτό μανδύα πάγου. Η επιφάνειά της ανακλά περίπου το 96% της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει πάνω της, και εικάζεται ότι αποτελείται από πάγους αζώτου και μεθανίου. Γύρω από την Έριδα, τέλος, περιφέρεται ένας μικροσκοπικός δορυφόρος, η **Δυσνομία**.

Η **Haumea**, που πήρε το όνομά της από μία θεότητα της Χαβάης, προστάτιδα της γονιμότητας, είναι για το μέγεθός της ένα από τα ταχύτερα περιστρεφόμενα ουράνια σώματα του Ηλιακού συστήματος, αφού συμπληρώνει μία περιστροφή γύρω από τον άξονά της σε 4 μόλις ώρες. Η ταχύτατη αυτή περιστροφή της Haumea, της προσέδωσε το σχήμα μπάλας του ράγκμπι, ενώ σύμφωνα με κάποιες θεωρίες, το έναυσμα για τον ταχύτατο στροβιλισμό της ήταν μία βίαιη σύγκρουση με κάποιο άλλο ουράνιο σώμα, πριν από δισεκατομμύρια χρόνια. Η σύγκρουση αυτή, μάλιστα, πρέπει να δημιούργησε και τους δύο μικροσκοπικούς της δορυφόρους που περιφέρονται γύρω της. Η Haumea συμπληρώνει μία περιφορά γύρω από τον Ήλιο σε 285 χρόνια, ενώ η μέγιστη και η ελάχιστη απόστασή της απ' αυτόν είναι 34 και 51 ΑΜ.

Ο **Makemake**, τέλος, που ανακαλύφθηκε το 2005, αναγνωρίστηκε από την Διεθνή Αστρονομική Ένωση ως νάνος πλανήτης το 2008. Με διάμετρο ίση με τα δύο τρίτα εκείνης του Πλούτωνα, ο Makemake έχει παγωμένη επιφάνεια, καλυμμένη με πάγους μεθανίου, αιθανίου και ίσως αζώτου, ενώ διαθέτει και έναν δο-

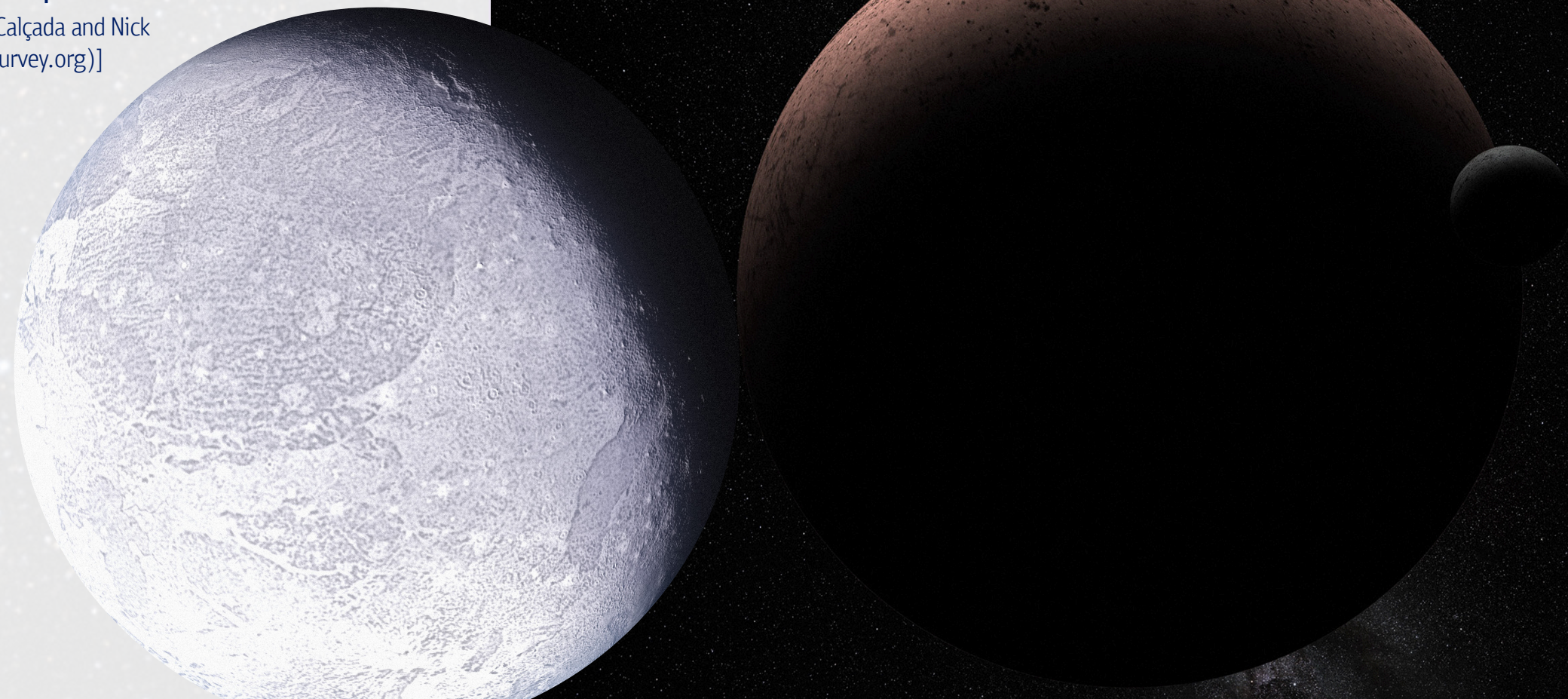
ρυφόρο. Η τροχιά του Makemake γύρω από τον Ήλιο είναι παρόμοια μ' αυτήν της Haumea: το επίπεδό της έχει μεγάλη κλίση ως προς αυτό της Εκλειπτικής, ενώ δεν είναι τόσο ελλειπτική όσο της Έριδας για παράδειγμα. Η περίοδος περιφοράς του Makemake γύρω από τον Ήλιο είναι σχεδόν 310 χρόνια, ενώ το περιήλιο και το αφήλιο του απέχουν περίπου 39 ΑΜ και 52 ΑΜ από τον Ήλιο ➔

Καλλιτεχνική αναπαράσταση του νάνου πλανήτη Έριδα

[📷 ESO/L. Calçada and Nick Risinger (skysurvey.org)]

Καλλιτεχνική αναπαράσταση του νάνου πλανήτη Makemake και του δορυφόρου του

[📷 NASA, ESA, and A. Parker (Southwest Research Institute)]



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΟΙ ΚΟΜΗΤΕΣ

ΠΕΡΑ ΑΠΟ ΤΗ ΓΗ

Για χιλιάδες χρόνια, οι περιοδικές «επισκέψεις» των κομητών στην γειτονιά του πλανήτη μας αντιμετωπίζονταν με φόβο και δέος, καθώς τόσο στον προϊστορικό, όσο και στον αρχαίο, αλλά και στον μεσαιωνικό κόσμο, οι περισσότεροι τους θεωρούσαν προάγγελους μεγάλων δεινών και καταστροφών. Το πρώτο σημαντικό βήμα για την αποκρυπτογράφηση της φύσης τους έγινε από τον Δανό αστρονόμο **Tycho Brahe** (1546–1601). Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα δύο απομακρυσμένων αστεροσκοπειών, ο Brahe απέδειξε ότι ο φωτεινός κομήτης που είχε παρατηρηθεί το 1577 βρισκόταν σε πολύ μεγαλύτερη απόσταση από την Σελήνη. Η Αριστοτέλεια θεώρηση που κυριαρχούσε ως τότε, ότι δηλαδή οι κομήτες είναι φαινόμενα της γήινης ατμόσφαιρας, κατέρρευσε.

Ο κομήτης C/2019 Y4 (ATLAS) κατακερματίστηκε τον Απρίλιο του 2020 σε τουλάχιστον 30 κομμάτια [NASA, ESA, D. Jewitt (UCLA), Q. Ye (University of Maryland)].



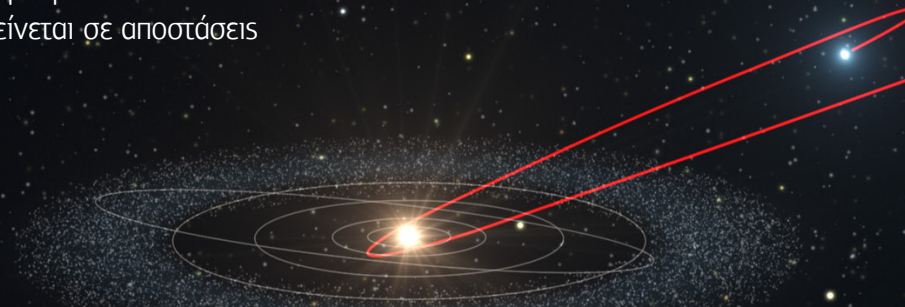
Οι κομήτες είναι κι αυτοί διαστημικά λείψανα της γένεσης του Ηλιακού συστήματος. Σε αντίθεση, όμως, με τους αστεροειδείς, «γεννήθηκαν» σε μεγαλύτερες αποστάσεις από τον Ήλιο, γι' αυτό και περιέχουν μεγάλες ποσότητες παγωμένων αερίων. Με μέγεθος που κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες μέτρα μέχρι και μερικές δεκάδες χιλιόμετρα, οι κομήτες αποτελούνται από σταθερές συσσωματώσεις πάγου, σκόνης και πετρωμάτων, αναμειγμένων με μικρότερες συγκεντρώσεις παγωμένων πτητικών ενώσεων, όπως μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο και αμμωνία. Οι κομήτες που μας έχουν «επισκεφθεί» μέχρι σήμερα περιφέρο-

νται γύρω από τον Ήλιο με περιόδους που κυμαίνονται από λίγα χρόνια μέχρι και αρκετές εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια, ενώ ανάλογα με την διάρκεια της περιόδου τους προέρχονται από δύο διαφορετικές περιοχές του Ηλιακού συστήματος.

Αρχικά, οι επιστήμονες θεωρούσαν ότι οι κομήτες μικρής περιόδου (μικρότερης των 200 χρόνων) προέρχονται από την **Ζώνη Kuiper**. Επειδή, ωστόσο, ο τροχιάς των περισσότερων σωμάτων της Ζώνης Kuiper είναι ως επί το πλείστον σταθερές, οι αστρονόμοι θεωρούν πλέον ότι οι κομήτες μικρής περιόδου προέρχονται από τον **Διάσπαρτο Δίσκο**, ο οποίος εκτείνεται σε αποστάσεις

Ο κομήτης C/2014 S3 είναι το πρώτο αντικείμενο που ανακαλύπτουμε, το οποίο ακολουθεί τροχιά κομήτη μακράς περιόδου, αλλά έχει τα χαρακτηριστικά αστεροειδούς. Εδώ, απεικονίζεται η πιθανή τροχιά του, σε μια περίοδο μεγαλύτερη των 4 δισ. ετών, στο μεγαλύτερο μέρος της οποίας βρίσκεται στην ευρύτερη περιοχή του νέφους Oort.

(📷 ESO/L. Calçada).



30-100 AM μακριά από τον Ήλιο και απαρτίζεται από ουράνια σώματα, με ιδιαίτερα ελλειπτικές τροχιές που τέμνουν την Εκλειπτική. Τα περιήλια των αντικειμένων αυτών, μάλιστα, βρίσκονται σε μικρή απόσταση από την τροχιά του Ποσειδώνα και ως εκ τούτου μπορούν να επηρεαστούν από την βαρυτική του έλξη και να εκτραπούν προς το εσωτερικό Ηλιακό σύστημα, να μετατραπούν δηλαδή σε κομήτες μικρής περιόδου. Τέλος, στις παρυφές της βαρυτικής «κυριαρχίας» του Ήλιου, σε αποστάσεις οι οποίες υπερβαίνουν τις 50.000 AM από

τον Ήλιο, εικάζεται ότι υπάρχει ένα αραιό σφαιρικό νέφος παγωμένων σωμάτων, το επονομαζόμενο **Νέφος Oort**, που αποτελεί την σχεδόν ανεξάντλητη δεξαμενή των κομητών με μεγάλη περίοδο.

Οι περισσότεροι κομήτες παραμένουν αδρανείς στις δύο αυτές περιοχές. Κάποιες φορές, όμως, εξαιτίας των βαρυτικών αλληλεπιδράσεων που ασκούνται πάνω τους, ξυπνούν από την «χειμερία νάρκη» τους και εκτινάσσονται προς το εσωτερικό τμήμα του Ηλιακού συστήματος. Οι κομήτες μικρής περιόδου επηρεάζονται

συνήθως από τις βαρυτικές αλληλεπιδράσεις των γιγάντιων πλανητών, κυρίως του Ποσειδώνα. Αντιθέτως, οι κομήτες μεγάλης περιόδου εκτρέπονται από το Νέφος Oort εξαιτίας των βαρυτικών επιρροών που ασκούνται από γειτονικά μας άστρα, από νέφη αερίων και σκόνης τα οποία «συναντά» το Ηλιακό σύστημα καθώς περιφέρεται γύρω από το γαλαξιακό κέντρο κ.ο.κ. Σύμφωνα με το Minor Planet Center της Διεθνούς Αστρονομικής Ένωσης, μέχρι στιγμής έχουν ανακαλυφθεί 4.602 κομήτες, αριθμός που αυξάνεται συνεχώς, αλλά που δεν αντιστοιχεί παρά σε ένα ελάχιστο μόνο ποσοστό των ουράνιων σωμάτων που δυνητικά θα μπορούσαν να «γίνουν» κομήτες. Είναι χαρακτηριστικό ότι ο συνολικός αριθμός των σωμάτων που εμπεριέχει το Νέφος Oort ίσως να αγγίζει το 1 τρισεκατομμύριο.

Αναμφίβολα, το εντυπωσιακότερο τμήμα ενός κομήτη είναι η ουρά του, που εκτείνεται ακόμη και σε μήκος δεκάδων εκατ. km. Οι ουρές των κομητών, όμως, σχηματίζονται μόνο όταν αυτοί πλησιάζουν τον Ήλιο. Έχοντας ελάχιστη ανακλαστικότητα, οι παγωμένοι πυρήνες των κομητών απορροφούν το μεγαλύτερο μέρος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας του Ήλιου που προσπίπτει πάνω τους και θερμαίνονται, γεγονός που σε συνδυασμό με την πίεση της ηλιακής ακτινοβολίας και τον ηλιακό άνεμο εξαερώνει τα παγωμένα αέρια που εμπεριέχουν. Οι μεγάλες ποσότητες αερίων και σκόνης

που απελευθερώνονται κατ' αυτόν τον τρόπο από τον πυρήνα ενός κομήτη, σχηματίζουν γύρω του μια αραιή «ατμόσφαιρα», που ονομάζεται **κόμη**. Καθώς, όμως, η ηλιακή ακτινοβολία παρασύρει τα σωματίδια σκόνης μακριά, σχηματίζεται μία ουρά σκόνης, ενώ τα φορτισμένα σωματίδια του ηλιακού ανέμου ιονίζουν μέρος των αερίων της κόμης, σχηματίζοντας μια ουρά ιόντων. Γι' αυτό και η διπλή ουρά ενός κομήτη «δείχνει» πάντα προς την αντίθετη κατεύθυνση απ' αυτήν στην οποία βρίσκεται ο Ήλιος.

Οι εσωτερικοί πλανήτες μεταβάλλονται συνεχώς από τις γεωλογικές διεργασίες, την συντριβή κομητών και αστεροειδών, την «διάβρωση» που προκαλεί ο ηλιακός άνεμος κ.ά., φαινόμενα δηλαδή που ανανεώνουν διαρκώς την επιφάνειά τους. Οι κομήτες, αντιθέτως, παραμένουν κατά το μεγαλύτερο μέρος της ζωής τους αδρανείς και «παγωμένοι» στα πέρατα του Ηλιακού συστήματος, έχοντας στο εσωτερικό τους φυλακισμένα τα αρχέγονα υλικά της δημιουργίας τους, ενώ μόνο όταν πλησιάζουν τον Ήλιο ξυπνούν από τη «χειμερία νάρκη» τους. Το γεγονός αυτό καθιστά τους κομήτες μοναδικό «εργαλείο» για τη μελέτη της γένεσης και των πρώτων σταδίων της εξέλιξης του Ηλιακού συστήματος. Πολύ περισσότερο, όμως, οι κομήτες και οι αστεροειδείς μάς ενδιαφέρουν και για έναν ακόμη λόγο, αφού ο βομβαρδισμός της πρώιμης Γης από τέτοιους διαστημικούς

Αριστερά, η ουρά του κομήτη McNaught πάνω από τον Ειρηνικό Ωκεανό, όπως φαινόταν από το Αστεροσκοπείο Paranal στην Χιλή, τον Ιανουάριο του 2007. Στα δεξιά διακρίνεται η Σελήνη.

(📷 ESO/H.H.Heyer).

ίσως να συνέβαλε στον εμπλουτισμό της με νερό, ενώ με την βοήθεια των κομητών ενδεχομένως να μεταφέρθηκαν στη Γη και οργανικές ενώσεις.

Το 2013, μάλιστα, επιστήμονες απέδειξαν ότι σύνθετα δομικά μόρια της ζωής, όπως τα διπεπτίδια, που είναι ενωμένα ζεύγη αμινοξέων, θα μπορούσαν να σχηματιστούν στο παγωμένο Διάστημα. Στην συνέχεια, τα μόρια αυτά θα μπορούσαν να μεταφερθούν στην Γη από τους κομήτες που συνετρίβησαν στην επιφάνειά της, αποτελώντας την πρώτη «σπορά» που συνέβαλε στον σχηματισμό πιο σύνθετων πρωτεϊνών και σακχάρων, απαραίτητων για την εμφάνιση της ζωής. Φυσικά, το ότι «θα μπορούσε» να συμβεί έτσι δεν σημαίνει αναγκαστικά ότι έτσι έγινε, οπωσδήποτε όμως το στοιχείο αυτό είναι εξαιρετικά ενδιαφέρον.

Αναμφισβήτητα, ο γνωστότερος κομήτης που μας έχει επισκεφθεί ποτέ είναι ο **κομήτης του Χάλεϋ**, με περίοδο περίπου 75 χρόνια, που σημαίνει ότι το επόμενο ραντεβού μας μαζί του υπολογίζεται για το 2061. Το 1986, μάλιστα, στο τελευταίο πέρασμά του από την διαστημική μας γειτονιά, πέντε διαστημοσυσσκευές, δύο σοβιετικές, δύο ιαπωνικές και μία ευρωπαϊκή, συνέλεξαν αρκετά δεδομένα γι' αυτόν. Η ευρωπαϊκή διαστημοσυσσκευή **Giotto**, ειδικότερα, κατόρθωσε να τον προσεγγίσει σε απόσταση «μόλις» 600 km. Αυτή, φυσικά δεν ήταν η μοναδική αποστολή για την μελέτη ενός κομήτη. Η διαστημοσυσσκευή **Stardust**, για παράδειγμα, εκτοξεύθηκε τον Φεβρουάριο του 1999, προκειμένου να συλλέξει και να μεταφέρει στη Γη σωματίδια από τον κομήτη **Wild-2**, καθώς και σωματίδια

Καλλιτεχνική αναπαράσταση του βομβαρδισμού της αρχέγονης Γης από αστεροειδείς και κομήτες

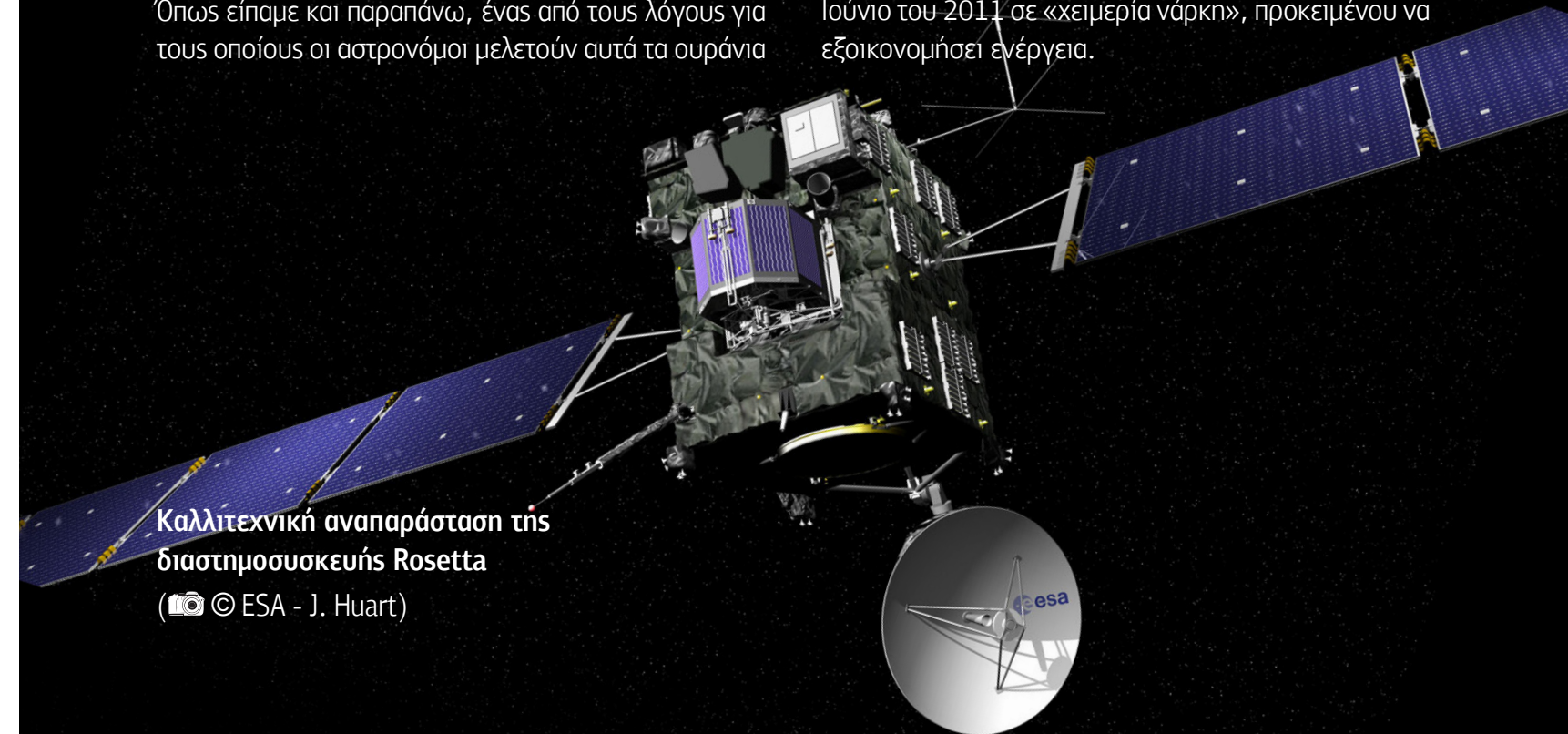
(📷 NASA's Goddard Space Flight Center Conceptual Image Lab)



σκόνης. Η αποστολή ήταν επιτυχής και η διαστημοσυσσκευή επέστρεψε από το διαστημικό της ραντεβού με τον κομήτη, απελευθερώνοντας τον Ιανουάριο του 2006 μία κάψουλα, η οποία μετέφερε στη Γη για πρώτη φορά τέτοιου είδους υλικό. Η διαστημοσυσσκευή **Deep Impact** της NASA, από την άλλη, εκτοξεύθηκε τον Ιανουάριο του 2005, προκειμένου να μελετήσει την εσωτερική σύσταση του κομήτη **Tempel-1**. Για τον σκοπό αυτόν εξαπέλυσε μία βολίδα προς τον κομήτη τον Ιούλιο του 2005 και ανέλυσε τα υλικά του που εκτινάχθηκαν στο Διάστημα. Η πρόσκρουση της βολίδας στην επιφάνεια του κομήτη σχημάτισε έναν κρατήρα, ενώ η μετέπειτα ανάλυση των δεδομένων έδειξε ότι ο Tempel-1 εμπειρείχε περισσότερη σκόνη και λιγότερο πάγο απ' αυτόν που περίμεναν οι αστρονόμοι.

Όπως είπαμε και παραπάνω, ένας από τους λόγους για τους οποίους οι αστρονόμοι μελετούν αυτά τα ουράνια

σώματα είναι και η προσπάθειά τους να κατανοήσουν την προέλευση του νερού και των πρώτων πολύπλοκων οργανικών μορίων στον πλανήτη μας, που ήταν καθοριστικά για την εμφάνιση της ζωής σ' αυτόν. Η προσπάθεια να απαντηθούν αυτά τα ερωτήματα οδήγησε τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος **ESA** στον σχεδιασμό μίας μοναδικής διαστημικής αποστολής για την μελέτη της χημικής σύστασης και των φυσικών χαρακτηριστικών ενός κομήτη. Η αποστολή αυτή ονομάστηκε **Rosetta** και εκτοξεύθηκε το 2004, με προορισμό τον κομήτη **67P Churyumov-Gerasimenko** (67P CG), που μας επισκέπτεται κάθε 6,6 χρόνια. Έχοντας ήδη λάβει τις απαραίτητες βαρυτικές ωθήσεις από την Γη και τον Άρη, προκειμένου να εισέλθει σε τροχιά προσέγγισης με τον κομήτη, το Rosetta τέθηκε τον Ιούνιο του 2011 σε «χειμερινή νάρκη», προκειμένου να εξοικονομήσει ενέργεια.



Καλλιτεχνική αναπαράσταση της διαστημοσυσσκευής Rosetta

(📷 © ESA - J. Huart)

Τρία χρόνια αργότερα, επανήλθε σε πλήρη λειτουργία, όταν πλέον είχε πλησιάσει τον κομήτη αρκετά. Τον Αύγουστο του 2014 ξεκίνησε την χαρτογράφηση της επιφάνειάς του και την συλλογή άλλων δεδομένων, ενώ σε μια εντυπωσιακή «πρωτιά» του ESA, ένα μικρότερο διαστημικό όχημα που μετέφερε το Rosetta, με την ονομασία Philae, προσεδάφιστηκε στον κομήτη στις 12 Νοεμβρίου του 2014, για να τον μελετήσει από κοντά. Δυστυχώς, όμως, το σημείο της προσεδάφισης ήταν τέτοιο που εμπόδιζε την ηλιακή ακτινοβολία να φτάσει στις ηλιακές του κυψέλες και να φορτίσει τις μπαταρίες του. Το Philae, ωστόσο, κατόρθωσε να αποστείλει τα

επιστημονικά δεδομένα που κατέγραψε, προτού σταματήσει να λειτουργεί.

Η ανάλυση των δεδομένων μέχρι τώρα ανέδειξε σημαντικές, όσο και αναπάντεχες ανακαλύψεις, περιλαμβανομένου του ασυνήθιστου σχήματος του κομήτη με τους δύο λοβούς, οι οποίοι απ' ό,τι φαίνεται σχηματίστηκαν ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλον και συννώθηκαν στην διάρκεια μίας σύγκρουσης, όταν ακόμη το Ηλιακό μας σύστημα ήταν νέο. Εξίσου σημαντικά και αναπάντεχα ήταν τα αποτελέσματα των αναλύσεων που σχετίζονται με τα αέρια που εκλύονται από τον

πυρήνα του κομήτη, τα οποία περιλαμβάνουν μοριακό οξυγόνο και άζωτο, καθώς και νερό, με διαφορετική όμως «χημική υπογραφή» από το νερό των ωκεανών της Γης. Το αποτέλεσμα αυτό φαίνεται να υποδηλώνει ότι δεν ήταν τόσο οι κομήτες αυτού του τύπου, όσο οι αστεροειδείς εκείνοι που εντέλει μετέφεραν νερό στον αρχέγονο πλανήτη μας, προσκρούοντας στην επιφάνειά του. Προφανώς, όμως, θα χρειαστούν πολλές περισσότερες μελέτες για την απάντηση αυτού του ερωτήματος, δηλαδή του πώς εμπλουτίστηκε εντέλει η Γη με το νερό που εμπεριέχει. Οι αναλύσεις των σχετικών δεδομένων δείχνουν ακόμα ότι μεταξύ των πολύπλοκων οργανικών ενώσεων που ανιχνεύθηκαν στον πυρήνα

του κομήτη περιλαμβάνεται και το αμινοξύ γλυκίνη, ένα βασικό συστατικό, όχι μόνο του DNA, αλλά και της κυτταρικής μεμβράνης. Η ανακάλυψη αυτή μοιάζει να επιβεβαιώνει την πιθανότητα να μετέφεραν οι κομήτες στην Γη χημικές ενώσεις, καθοριστικές για την απαρχή της ζωής. Και σ' αυτήν την περίπτωση, όμως, είναι ακόμη πολύ νωρίς για να εξάγουμε τελικά συμπεράσματα.

Η ιστορική αποστολή της Rosetta ολοκληρώθηκε στις 30/9/2016, με την ελεγχόμενη πρόσκρουσή της πάνω στον ίδιο κομήτη που μελετούσε για περισσότερα από δύο χρόνια. Η ανάλυση, όμως, των δεδομένων που συνέλεξε θα συνεχίζεται για πολλά ακόμη χρόνια ✦

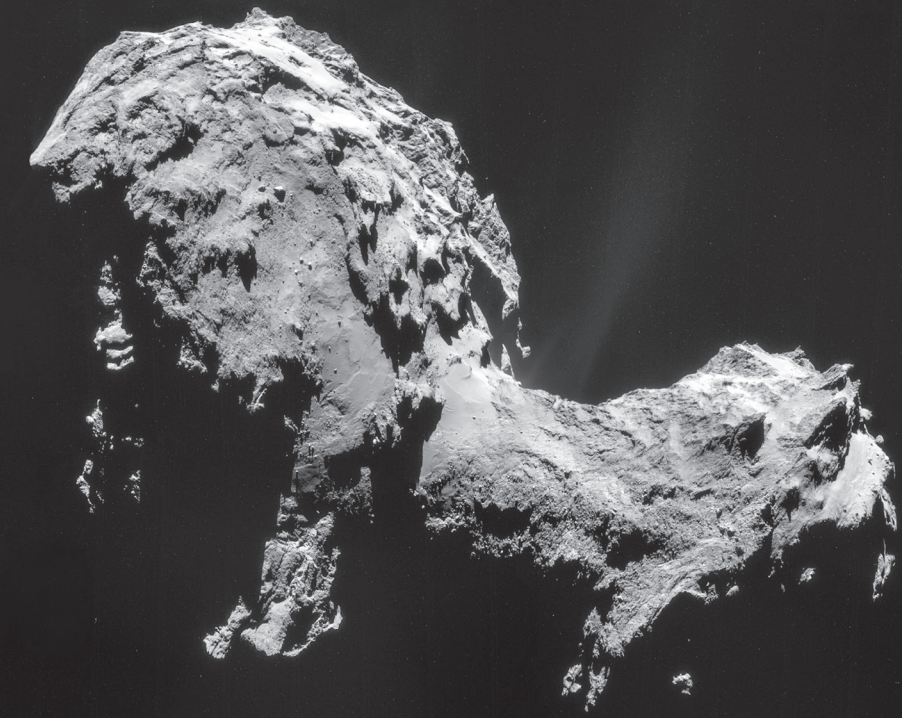
Μωσαϊκό του κομήτη 67P CG, βασισμένο σε εικόνες που ελήφθησαν από την διαστημοσυσκευή Rosetta

(📷 ESA/Rosetta/NAVCAM).



Καλλιτεχνική αναπαράσταση του Philae, καθώς προσεδάφίζεται πάνω στον κομήτη 67P CG

(📷 DLR (CC-BY 3.0)).



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 Η ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ



ΠΕΡΑ ΑΠΟ ΤΗ ΓΗ

Καλλιτεχνική αναπαράσταση του Voyager 1
(NASA/JPL-Caltech)

Στην διάρκεια της δεκαετίας του 1960 και παράλληλα με τον αμερικανοσοβιετικό ανταγωνισμό για την κατάκτηση της Σελήνης, οι διαστημικές υπηρεσίες των δύο υπερδυνάμεων είχαν ξεκινήσει και τις πρώτες προσπάθειες για την εξερεύνηση των άλλων πλανητών του Ηλιακού συστήματος. Έκτοτε, οι γνώσεις μας γι' αυτούς διευρύνθηκαν κατά πολύ. Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούμε συνοπτικά σε λίγες μόνο από τις δεκάδες αποστολές που έχουν υλοποιηθεί ως τώρα, γι' αυτόν τον σκοπό.



Ξεκινώντας την παρουσίασή μας αυτή από τον Ήλιο, αρκετές αποστολές έχουν υλοποιηθεί μέχρι σήμερα για την βαθύτερη κατανόηση της ηλιακής δραστηριότητας. Ανάμεσα σ' αυτές ξεχωρίζουν το τροχιακά αστροσκοπεία **SOHO** των NASA και ESA (1995-), τα **SDO** (2010-) και **Parker Solar Probe** (2018-) της Nasa, καθώς και το **Solo** του ESA, που εκτοξεύθηκε τον Φεβρουάριο του 2020 για μία αποστολή που αναμένεται να διαρκέσει 7 χρόνια.

Περνώντας στην εξερεύνηση των πλανητών, μέχρι σήμερα σχεδιάστηκαν τρεις μόλις διαστημικές αποστολές με προορισμό τον Ερμή, η πρώτη απ' τις οποίες υλοποιήθηκε το 1974-75, όταν το **Mariner 10** της NASA κατόρθωσε να φωτογραφίσει σχεδόν την μισή του επιφάνεια. Η δεύτερη αποστολή ξεκίνησε το 2004 με την εκτόξευση του **Messenger** της NASA, το οποίο ολοκλήρωσε την χαρτογράφηση της επιφάνειάς του και συνέλεξε τεράστιο όγκο δεδομένων. Το Messenger ολοκλήρωσε την αποστολή του με την ελεγχόμενη πρόσκρουσή του στην επιφάνεια του Ερμή στις 30 Απριλίου 2015. Την σκυτάλη της εξερεύνησης του Ερμή έχει ήδη παραλάβει το **BepiColombo** του Ευρωπαϊκού και του Ιαπωνικού Οργανισμού Διαστήματος, το οποίο εκτοξεύθηκε το 2018 και θα φτάσει στον Ερμή τον Δεκέμβριο του 2025, θέτοντας σε τροχιά γύρω του δύο δορυφόρους.

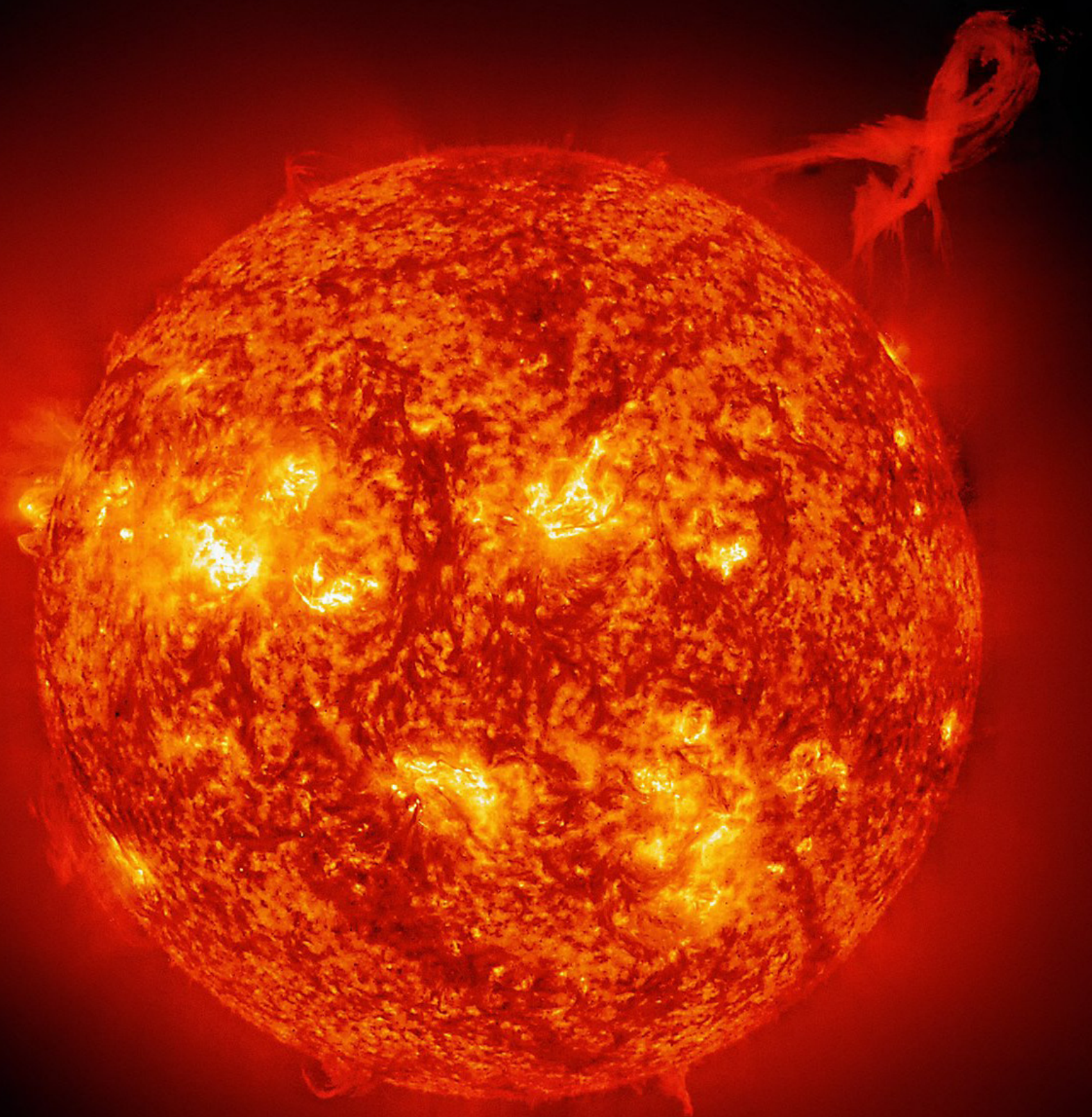
Όσον αφορά στην Αφροδίτη, οι αποστολές Mariner 2 (ΗΠΑ, 1962), οι 13 αποστολές Venera (ΕΣΣΔ, 1967-1983), οι ρωσικές Vega 1 & 2 (1985), και οι αμερικανικές Pioneer Venus 1 & 2 (1978-1992), συνέλεξαν δεδομένα που σταδιακά μάς αποκάλυψαν μια εντελώς διαφορετική εικόνα γι' αυτήν. Η αποστολή

Venus Express του ESA (2005-2014) ήταν η τελευταία μέχρι στιγμής που υλοποιήθηκε με στόχο τη μελέτη της Αφροδίτης. Η NASA, ωστόσο, σχεδιάζει την υλοποίηση δύο ακόμη αποστολών προς την Αφροδίτη, οι οποίες προγραμματίζεται να εκτοξευθούν την διετία 2028-2030. Η αποστολή **DAVINCI+** θα συλλέξει δεδομένα για την σύνθεση και την εξέλιξη της ατμόσφαιράς της, που θα βοηθήσουν τους επιστήμονες να προσδιορίσουν αν όντως ο πλανήτης αυτός διέθετε κάποτε ωκεανό. Η αποστολή **VERITAS**, από την άλλη, θα χαρτογραφήσει την επιφάνεια της Αφροδίτης, σε μια προσπάθεια να διερευνηθεί σε βάθος η γεωλογική της εξέλιξη. Στο ίδιο πνεύμα, ο ESA ανακοίνωσε πρόσφατα ότι θα εκτοξεύσει στις αρχές της δεκαετίας του 2030 την αποστολή EnVision, που κι αυτή αναμένεται να συμβάλει καθοριστικά στην προσπάθειά μας να διερευνήσουμε τους λόγους για τους οποίους ο πλανήτης αυτός εξελίχθηκε τόσο διαφορετικά από τον δικό μας.

Η πρώτη σημαντική αποστολή προς τον Άρη ξεκίνησε το 1971 με την εκτόξευση του **Mariner 9**. Έκτοτε, οι γνώσεις μας για τον πλανήτη που φέρει το όνομα του θεού του πολέμου αυξήθηκαν κατά πολύ. Είναι γεγονός, πάντως, ότι ο Άρης έχει αποδειχτεί ιδιαίτερα «δύστροπος» στις προσπάθειές μας να τον εξερευνήσουμε, καθώς οι περισσότερες από τις αποστολές που σχεδιάστηκαν γι' αυτόν τον σκοπό απέτυχαν. Πάρ' όλα αυτά, στα χρόνια που ακολούθησαν, η NASA υλοποίησε αρκετές αποστολές που στέφθηκαν με επιτυχία.

Ηλιακή προεξοχή σε εικόνα που ελήφθη από το SOHO

(📷 NASA, Goddard Space Center)



Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν οι αποστολές **Mars Global Surveyor** (1996-2006) και **Mars Pathfinder** (1996-1998), η οποία συνοδεύτηκε από την επιτυχή προσεδάφιση του ρομποτικού οχήματος **Sojourner** τον Ιούλιο του 1997. Το 2001, η NASA εκτόξευσε το τροχιακό αστεροσκοπείο **Mars Odyssey** (2001-), ενώ δύο χρόνια αργότερα εκτόξευσε προς τον Άρη τα δίδυμα οχήματα **Spirit** και **Opportunity**, τα οποία προσεδαφίστηκαν στην επιφάνειά του τον Ιανουάριο του 2004. Στις 10 Μαρτίου 2006 τέθηκε σε τροχιά το αστεροσκοπείο **Mars Reconnaissance Orbiter**, ενώ δύο χρόνια αργότερα προσεδαφίστηκε στην επιφάνειά του και το **Phoenix**. Η διαστημική αποστολή **Mars Science Laboratory**, από την άλλη, εκτοξεύθηκε τον Νοέμβριο του 2011, με στόχο την προσεδάφιση στην αρειανή επιφάνεια του ρομποτικού οχήματος **Curiosity**, που ολοκληρώθηκε με επιτυχία τον Αύγουστο του 2012. Δύο χρόνια αργότερα, τέθηκε σε τροχιά το τροχιακό αστεροσκοπείο MAVEN, ενώ τον Νοέμβριο του 2018 προσεδαφίστηκε στην επιφάνειά του το **Insight**, για την συλλογή δεδομένων από το εσωτερικό του.

Η διαστημική αποστολή Mars2020, για την μεταφορά στον Άρη του ρομποτικού οχήματος **Perseverance**, εκτοξεύθηκε τον Ιούλιο του 2020 και είναι η τελευταία μέχρι στιγμής αποστολή της NASA με προορισμό τον κόκκινο πλανήτη. Το Perseverance προσεδαφίστηκε στον κρατήρα Jezero στις 18 Φεβρουαρίου 2021. Με

Η ευρύτερη περιοχή προσεδάφισής του Perseverance

 SA/DLR/FU-Berlin)

διάμετρο 45 km, ο κρατήρας αυτός είναι μία μόνο από τις αρχέγονες «παλαιολίμνες» που έχουν εντοπιστεί στην επιφάνεια του Άρη και περιλαμβάνει το δέλτα ενός αρχέγονου ποταμού, που έχει χάσει τα νερά του εδώ και τουλάχιστον 3 δισ. χρόνια. Παρόμοιο σε εμφάνιση με το θρυλικό Curiosity, το Perseverance θα αναζητήσει αποδείξεις για την ύπαρξη ζωής στον κόκκινο πλανήτη, είτε με την μορφή απολιθωμένων μικροβίων, τα οποία πιθανώς να είχαν αναπτυχθεί στον Άρη κατά το αρχέγονο παρελθόν του, είτε με την μορφή απλών μικροοργανισμών, που ίσως επιβιώνουν ακόμη και σήμερα στο αφιλόξενο αρειανό τοπίο.

Στο όριο μεταξύ των εσωτερικών και των εξωτερικών πλανητών του Ηλιακού συστήματος βρίσκεται, όπως είπαμε, η **Ζώνη των Αστεροειδών**. Παρόλο που αρκετά διαστημικά οχήματα την έχουν ήδη διασχίσει, μέχρι στιγμής μόλις 5 διαστημικές αποστολές έχουν υλοποιηθεί με αποκλειστικό στόχο την συστηματική μελέτη κάποιου αστεροειδούς: οι αποστολές NEAR, Hayabusha 1 και 2, Dawn και OSIRIS-REx.

Το διαστημικό όχημα **NEAR** της NASA εκτοξεύθηκε το 1996 με προορισμό τον αστεροειδή **Έρως**, και προσεδαφίστηκε στην επιφάνειά του στις 12 Φεβρουαρίου 2001. Το Ιαπωνικό **Hayabusa** εκτοξεύθηκε τον Μάιο του 2003 με προορισμό τον αστεροειδή **Itokawa**. Δυστυχώς, όμως, το αποσπώμενο ρομποτικό όχημα προσεδάφισής **Minerva** απέτυχε να προσεδαφιστεί στον στόχο του. Παρά τα μεγάλα προβλήματα που αντιμετώπισε η συγκεκριμένη αποστολή, κατάφερε εντέλει να μεταφέρει πίσω στην Γη κάποια δείγματα από την επιφάνεια του αστεροειδούς τον Ιούνιο του 2010.

Η διαστημοσυσκευή **Dawn** της NASA εκτοξεύθηκε τον Σεπτέμβριο του 2007, με προορισμό τον πλανήτη-νάνο Δήμητρα και την Εστία, τα δύο μεγαλύτερα ουράνια σώματα της Ζώνης. Σχεδόν 4 χρόνια αργότερα, το Dawn εισήλθε σε τροχιά γύρω από την Εστία τον Ιούλιο του 2011, όπου παρέμεινε για έναν περίπου χρόνο. Στην συνέχεια κατευθύνθηκε προς την Δήμητρα, εισερχόμενη σε τροχιά γύρω της περίπου 3 χρόνια αργότερα. Όπως ανακοίνωσε η NASA την 1η Νοεμβρίου 2018, η επαφή με το διαστημικό όχημα Dawn χάθηκε, ολοκληρώνοντας μία διαστημική αποστολή που διέυρυνε σημαντικά τις γνώσεις μας για τα δύο μεγαλύτερα ουράνια σώματα της Ζώνης των Αστεροειδών.

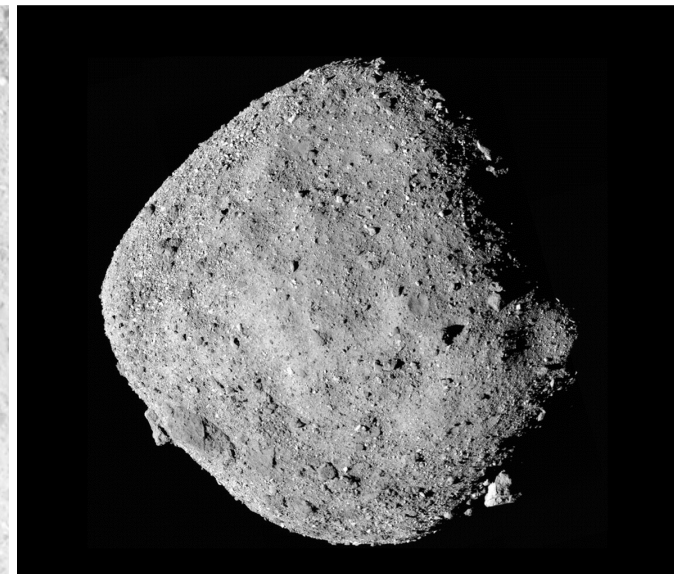
Το **Hayabusa 2** εκτοξεύθηκε τον Δεκέμβριο του 2014 με προορισμό τον αστεροειδή 162173 Ryugu, τον οποίο προσέγγισε στις 27 Ιουνίου 2018, συλλέγοντας δεδομένα για ενάμιση χρόνο και παίρνοντας δείγματα από την επιφάνειά του τα οποία επέστρεψαν στην Γη στις 5 Δεκεμβρίου του 2020. Η τελευταία, μέχρι στιγμής, διαστημική αποστολή με στόχο την μελέτη ενός αστεροειδούς, την συλλογή δειγμάτων από την επιφάνειά του και την επιστροφή τους στην Γη για περαιτέρω ανάλυση, είναι η **OSIRIS-REx**, που εκτοξεύθηκε στις 8 Σεπτεμβρίου 2016 με προορισμό τον αστεροειδή **Bennu**. Με μέση διάμετρο σχεδόν 500 m, ο Bennu είναι ένας κοντινός στην Γη αστεροειδής, για τον οποίο έχει υπολογιστεί ότι υπάρχει 0,037% πιθανότητα να προσκρούσει στον πλανήτη μας κάποια στιγμή στο χρονικό διάστημα 2.175-2.196. Η διαστημοσυσκευή κατόρθωσε να συλλέξει δείγματα τον Οκτώβριο του 2020, τα οποία και επέστρεψε στην Γη τον Σεπτέμβριο του 2023. Στην συνέχεια, ξεκίνησε μια νέα αποστολή



για τη μελέτη του αστεροειδούς **Άποφης**, τον οποίο θα προσεγγίσει τον Απρίλιο του 2029.

Αξίζει εδώ να αναφερθούμε σε μια ακόμη αποστολή, η οποία δεν είχε ως στόχο την μελέτη κάποιου αστεροειδούς, αλλά την προσπάθεια να διερευνηθεί εάν μπορεί να εκτραπεί με επιτυχία ένας αστεροειδής, ο οποίος βρίσκεται σε πορεία σύγκρουσης με τον πλανήτη μας. Η αποστολή **DART** της NASA εκτοξεύθηκε τον Νοέμβριο του 2021 προς τον διπλό αστεροειδή **Δίδυμο-Δίμορφο**, που συμπληρώνει μία τροχιά γύρω από τον Ήλιο κάθε 770 ημέρες. Περίπου 10 μήνες αργότερα, το DART προσέκρουσε στον αστεροειδή Δίμορφο, μεταβάλλοντας την τροχιά του και υλοποιώντας με επιτυχία την πρώτη στην ιστορία προσπάθεια εκτροπής ενός αστεροειδούς από την αρχική του πορεία.

Η εξερεύνηση των αέριων γιγάντων του Ηλιακού συ-



στήματος, από την άλλη, ξεκίνησε με τις αποστολές **Pioneer 10** (1972) και **Pioneer 11** (1973) της NASA, οι οποίες προσπέρασαν τον Δία και τον Κρόνο, συλλέγοντας τα πρώτα στοιχεία γι' αυτούς. Την σκυτάλη της εξερεύνησης των γιγάντιων πλανητών ανέλαβαν στην συνέχεια οι θρυλικές διαστημοσυσσκευές **Voyager 1** και **2** (1973). Το Voyager 1, ειδικότερα, κατόρθωσε μέσα σε λίγους μόνο μήνες να μας παρουσιάσει μια εντελώς νέα εικόνα για τον μεγαλύτερο πλανήτη του Ηλιακού συστήματος και τους δορυφόρους του. Κατέγραψε, για παράδειγμα, βίαιες θύελλες και αστραπές στην ατμόσφαιρά του και επιβεβαίωσε ότι περιβάλλεται από μαγνητικό πεδίο. Εκτός αυτού, εντόπισε 9 ενεργά ηφαίστεια στην Ιώ, παρέχοντας την πρώτη απόδειξη για την ύπαρξη ενός γεωλογικά ενεργού ουράνιου σώματος εκτός του πλανήτη μας, ενώ απεικόνισε την επιφάνεια της Ευρώπης, του Γανυμήδη και της Καλλιστώς. Στην συνέχεια το Voyager 1 προσπέρασε τον Κρόνο τον Νοέμβριο του 1980, ενώ πλέον έχει διαβεί το όριο της κυριαρχίας του Ήλιου που ορίζει ο Ηλιακός άνεμος και κινείται στο μεσοαστρικό Διάστημα. Η διαστημοσυσσκευή **Galileo** (1989) ήταν η πρώτη που τέθηκε σε τροχιά γύρω από τον Δία, ενώ μετέφερε και έναν μικρό ανιχνευτή, ο οποίος, προτού καταστραφεί από τις μεγάλες θερμοκρασίες και πιέσεις που επικρατούν στο εσωτερικό του, κατόρθωσε να συλλέξει δεδομένα για τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιράς του.

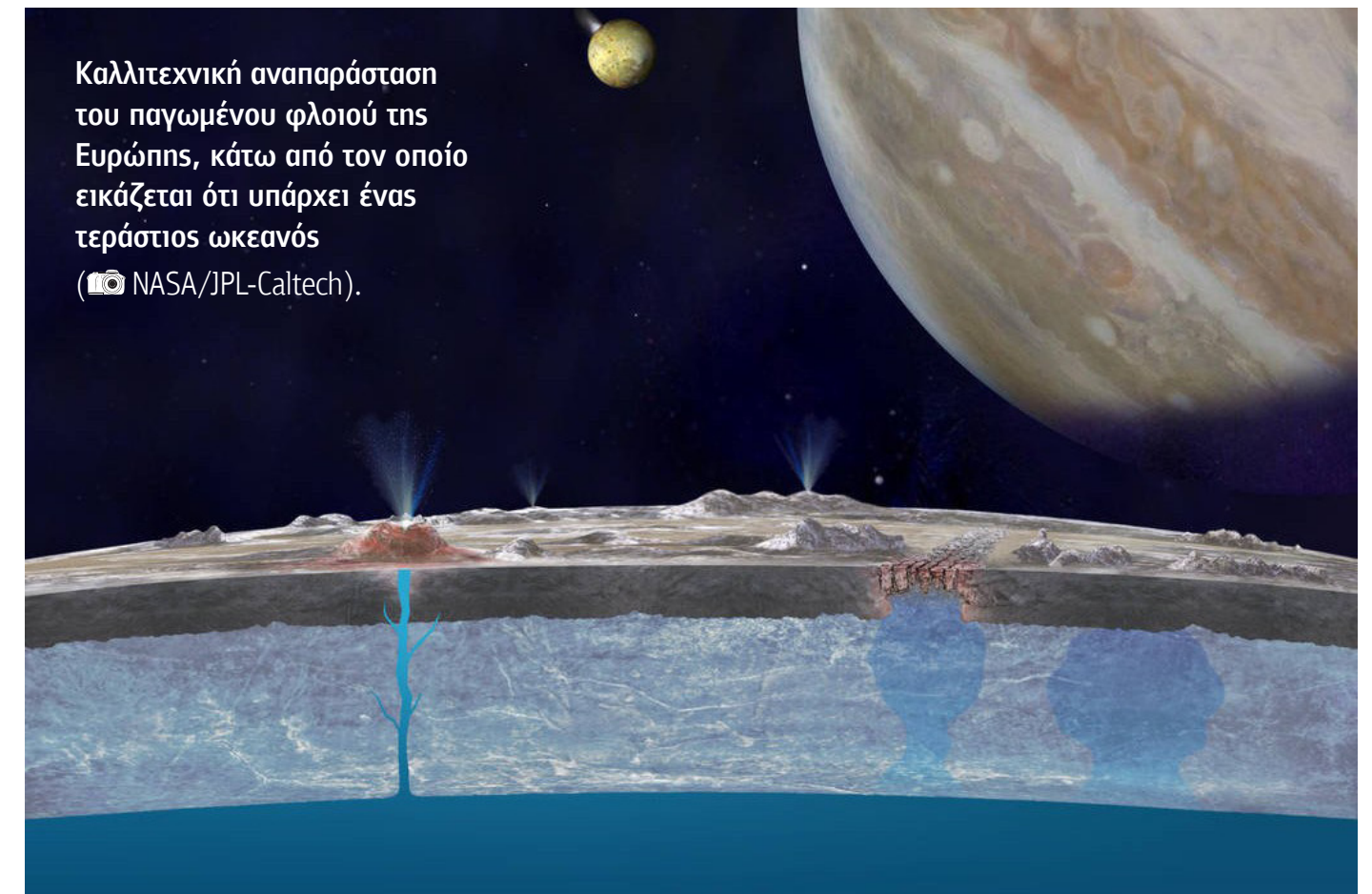
Ο αστεροειδής Bennu σε σύνθεση εικόνων της διαστημοσυσσκευής OSIRIS-REx

(📷 ASA/Goddard/University of Arizona)

Η διαστημοσυσσκευή **Juno**, η τελευταία μέχρι στιγμής που σχεδιάστηκε για την εξερεύνηση του Δία, εκτοξεύθηκε στις 5 Αυγούστου 2011, ενώ τέθηκε σε τροχιά γύρω του τον Ιούλιο του 2016. Όσον αφορά στα μελλοντικά σχέδια εξερεύνησης του Δία, ο ESA εκτόξευσε τον Απρίλιο του 2023 την διαστημοσυσσκευή **JUICE**, η οποία αναμένεται να φτάσει στον Δία τον Ιούλιο του 2031, με κύριο στόχο την συλλογή δεδομένων για

τους δορυφόρους Γανυμήδη, Καλλιστώ και Ευρώπη. Η NASA, από την άλλη, προγραμματίζει για τα τέλη του 2024 την εκτόξευση του **Europa Clipper** προς την Ευρώπη, προκειμένου να διερευνηθεί το κατά πόσο οι συνθήκες που επικρατούν στον παγωμένο αυτόν δορυφόρο θα μπορούσαν να ευνοήσουν την εμφάνιση ζωής στον ωκεανό που κρύβει στο εσωτερικό του.

Ένα άλλο ορόσημο στην εξερεύνηση του Ηλιακού συ-



Καλλιτεχνική αναπαράσταση του παγωμένου φλοιού της Ευρώπης, κάτω από τον οποίο εικάζεται ότι υπάρχει ένας τεράστιος ωκεανός
(📷 NASA/JPL-Caltech).



στήματος επιτεύχθηκε με την εκτόξευση της διαστημοσυσκευής **Cassini-Huygens** στις 15 Οκτωβρίου 1997 από το Ακρωτήριο Canaveral. Η διαστημική αυτή αποστολή, που συνέβαλε όσο καμία άλλη στην διαλεύκανση των μυστικών του Κρόνου, των δακτυλίων και των δορυφόρων του, αποτελείται από το τροχιακό αστεροσκοπείο Cassini, το οποίο από τον Ιούλιο του 2004 βρισκόταν σε τροχιά γύρω από τον Κρόνο, καθώς και την διαστημική κάψουλα Huygens, η οποία προσεδάφιστηκε στον Τιτάνα τον Ιανουάριο του

2005. Η αποστολή του Cassini ολοκληρώθηκε στις 15 Σεπτεμβρίου 2017 με την καταστροφή του στο εσωτερικό της ατμόσφαιρας του πλανήτη που μελετούσε επί 13 χρόνια. Αντιθέτως, η μοναδική μέχρι στιγμής διαστημοσυσκευή που έχει επισκεφθεί τον Ουρανό και τον Ποσειδώνα, τους πιο απομακρυσμένους πλανήτες του Ηλιακού συστήματος, ήταν το Voyager 2.

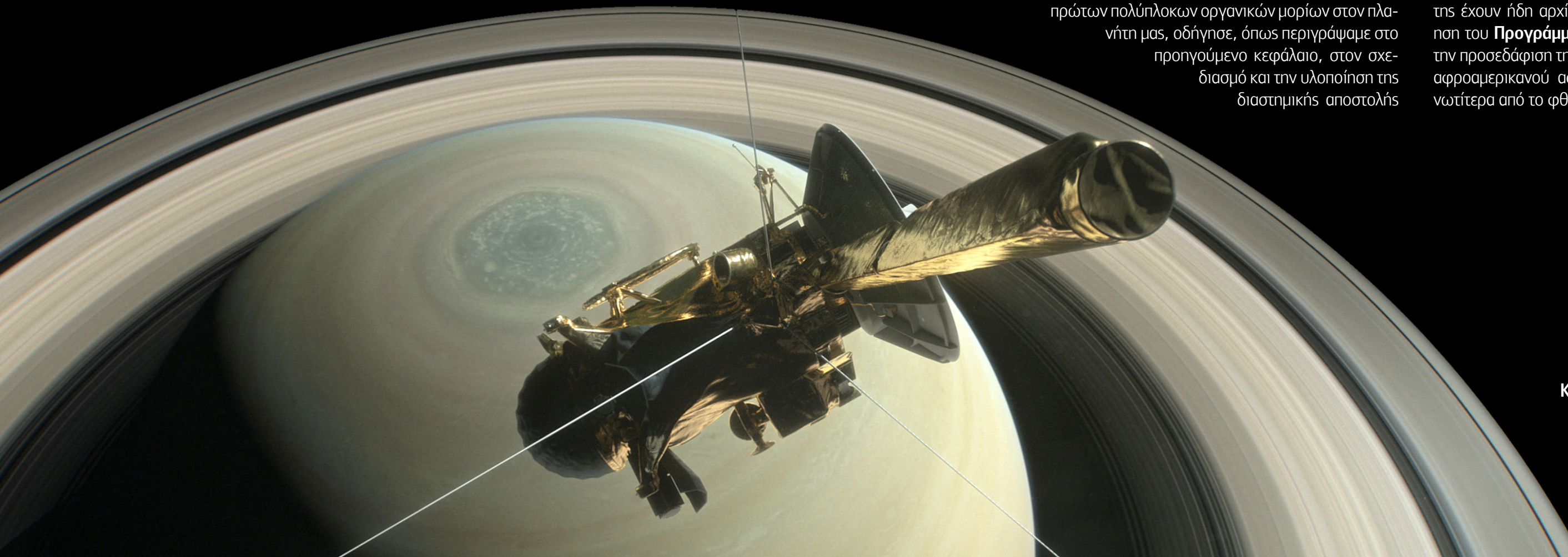
Όσον αφορά στην εξερεύνηση της **Ζώνης Kuiper**, μία μόνο διαστημοσυσκευή έχει επισκεφθεί μέχρι στιγμής αυτήν την περιοχή του Ηλιακού συστήματος. Το **New**

Horizons της NASA εκτοξεύθηκε τον Ιανουάριο του 2006, προς τον νάνο πλανήτη Πλούτωνα, τον οποίο και προσέγγισε στην μικρότερη δυνατή απόσταση στις 14 Ιουλίου 2015. Έχοντας ήδη συλλέξει σημαντικό όγκο δεδομένων για τον παγωμένο αυτόν κόσμο και τους δορυφόρους του, το New Horizons κινείται αυτήν την στιγμή στα όρια της Ζώνης Kuiper, έχοντας ήδη προσεγγίσει ένα ακόμα από τα παγωμένα ουράνια σώματα που την απαρτίζουν.

Η προσπάθεια, τέλος, να απαντηθούν τα ερωτήματα που σχετίζονται με την προέλευση του νερού και των πρώτων πολύπλοκων οργανικών μορίων στον πλανήτη μας, οδήγησε, όπως περιγράψαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, στον σχεδιασμό και την υλοποίηση της διαστημικής αποστολής

Rosetta, η οποία εκτοξεύθηκε το 2004, με προορισμό τον κομήτη **67P Churyumov-Gerasimenko**.

Ο σχεδιασμός και η υλοποίηση μη επανδρωμένων αποστολών για την εξερεύνηση των ουράνιων σωμάτων του Ηλιακού συστήματος προφανώς θα συνεχιστούν και στο μέλλον. Παράλληλα, όμως, οι μεγάλες διαστημικές υπηρεσίες, καθώς και ο ιδιωτικός τομέας, επεξεργάζονται σχέδια για την επιστροφή του ανθρώπου στην Σελήνη, διερευνώντας παράλληλα και τις δυνατότητες υλοποίησης της πρώτης επανδρωμένης αποστολής προς τον Άρη. Σ' αυτό το πλαίσιο, η NASA και οι εταίροι της έχουν ήδη αρχίσει να εργάζονται για την υλοποίηση του **Προγράμματος Άρτεμις**, με απώτερο στόχο την προσεδάφιση της πρώτης γυναίκας και του πρώτου αφροαμερικανού αστροναύτη στη Σελήνη, όχι όμως νωτίτερα από το φθινόπωρο του 2026+



Καλλιτεχνική αναπαράσταση του Cassini πάνω από τον βόρειο πόλο του Κρόνου
(📷 NASA/JPL-Caltech)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ▶ Arnold, H. J. P. ed. *Man in space: an illustrated history of space flight*, Smithmark, 1993.
- ▶ Atkinson, Nancy, *Incredible stories from space: a behind-the-scenes look at the missions changing our view of the cosmos*, Page Street Publishing Company, c2016.
- ▶ Baker, David, *The 50 most extreme places in our solar system*, Belknap Press of Harvard University Press, c2010.
- ▶ Bond, Peter, *Exploring the solar system*, Wiley-Blackwell, 2012.
- ▶ Brahic, Andre, *Ta παιδιά του ήλιου: η προέλευση, η εξέλιξη και η εξερεύνηση του ηλιακού συστήματος - και της ζωής*, Αθήνα: Κάτοπτρο, 2002.
- ▶ Condie, Kent C., *Earth as an evolving planetary system*, Elsevier/Academic Press, 2011.
- ▶ Garlick, Mark A., *The story of the solar system*, Cambridge: Cambridge University Press, 2002.
- ▶ Greeley, Ronald, *Planetary Landscapes*, New York: Chapman & Hall, 1994.
- ▶ Greeley, Ronald, *The NASA atlas of the solar system*, Cambridge University Press, 1996.
- ▶ Hartmann, William K., *Moons and Planets*, Wadsworth: Wadsworth, 1993.
- ▶ Hotakainen, Markus, *Mars: from myth and mystery to recent discoveries*, Springer, c2008.
- ▶ Jones, Barrie William, *Discovering the solar system*, Chichester: Wiley, c 1999.
- ▶ 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.
- ▶ Kargel, J. S., *Mars: a warmer, wetter planet*, Springer, c2004.
- ▶ Lopes, Rosaly M.C., *Volcanic worlds: exploring the solar system's volcanoes*, Springer Praxis, c2004.
- ▶ Peebles, Curtis, *Asteroids: a history*, Smithsonian Institution, c 2000.
- ▶ Petersen, Carolyn Collins, *Space exploration: past, present, future*, Amberley, 2017.
- ▶ Pletser, Vladimir *On to Mars!: chronicles of Martian simulations*, Springer/Springer Nature, c2018.
- ▶ Vogt, Gregory L., *Landscapes of Mars: a visual tour*, Springer Science+Business Media, 2008.
- ▶ Zirker, Jack B., *Journey from the center of the sun*, Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 2002.

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

- ▶ [Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΓΗΣ \(βιβλίο παράστασης\)](#)
- ▶ [Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΓΗΣ \(συνοπτικός οδηγός\)](#)
- ▶ [Ο ΚΟΚΚΙΝΟΣ ΠΛΑΝΗΤΗΣ \(βιβλίο παράστασης\)](#)
- ▶ [Ο ΚΟΚΚΙΝΟΣ ΠΛΑΝΗΤΗΣ \(συνοπτικός οδηγός\)](#)
- ▶ [Planets - NASA Science](#)
- ▶ [Solar System Exploration - NASA Science](#)
- ▶ [Planetary Science - NASA Science](#)

μία παραγωγή του
ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

αφήγηση
ΑΝΤΙΝΟΟΣ ΑΛΜΠΑΝΗΣ

narration
ARIS GERONTAKIS

σκηνοθετική επιμέλεια
ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΣΙΜΟΠΟΥΛΟΣ

σενάριο, επιστημονική επιμέλεια &
κείμενο αφήγησης
ΑΛΕΞΗΣ ΔΕΛΗΒΟΡΙΑΣ

μουσική & sound design
ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ Κ. ΚΑΤΣΑΡΗΣ

διεύθυνση παραγωγής
ΜΑΝΟΣ ΚΙΤΣΩΝΑΣ

σύμβουλος παραγωγής
ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ Π. ΣΙΜΟΠΟΥΛΟΣ

post-production video & title animation

ΓΙΑΝΝΗΣ ΒΑΜΒΑΚΑΣ

graphic design

ΕΥΓΕΝΙΑ ΣΤΑΒΑΡΗ

title design
ΧΡΥΣΑΝΘΗ ΒΑΣΟΠΟΥΛΟΥ

τεχνικοί πλανηταρίου
ΦΙΛΙΠΠΟΣ ΛΟΥΒΑΡΗΣ
ΧΡΗΣΤΟΣ ΧΡΗΣΤΟΓΙΩΡΓΟΣ

UMAVISION
Kiev, Ukraine

supervisor
YURIY GAPON
Executive producer
TETYANA PASHCHAK

cg artists
YURIY GAPON
MAX KUTLAKHMETOV
IVAN PLUZHNIKOV
ANDREW SHLIAMA

vfx artist
MAX KUTLAKHMETOV

ADVANCED VISUALIZATION LAB
National Center for Supercomputing Applications,
University of Illinois

producer
DONNA COX

visualizations
DONNA COX
ROBERT PATTERSON
STUART LEVY
AJ CHRISTENSEN
KAUNA BORKIEWICZ
JEFF CARPENTER

BOCHUM PLANETARIUM
Bochum, Germany

producer
MANFRED HUNERBEIN

executive producer
DR. BJORN VOSS

3d artists & compositing artists
ROBERT R. PERDOK
TOBIAS WIETHOFF

ESO IMAGES
Munich, Germany
artist's impression of the core of the sun
ESO
M. KORNMESSER
NASA

EVANS & SUTHERLAND
Salt Lake City, Utah

executive producers
KIRK JOHNSON
TERENCE MURTAGH

producer
MICHAEL DAUT

animation
KEN CARLSON
MARTY SISAM
DON DAVIS

post-production
BRYCE BUCHANAN

FULLDOMELAB IMMERSIVE MEDIA
ChiangMai, Thailand

supervisor
YURIY GAPON

executive producer
YAROSLAV GUBCHENKO

producers
GEORGIY AISTOV

MAKSIM GOGOLEV
YAROSLAV GUBCHENKO
OLGA KOZAKOVSKA
ALEKSANDR SAMILENKO

production designer
ANASTASIA SHILOVA
CGI supervisor
VLADIMIR PERMINOV

CGI artists
VALENTINE MEDVEDEV
ANASTASIA SHILOVA
VLADIMIR PERMINOV
ALEXEY BARTASHEVICH
ALEXANDER POTEKHIN
YURIY GAPON

graphics
YULIYA TATSKO
OLGA NAZARENKO

animation
YURIY GAPON

programmer
ALEKSANDR BEREZOVSKY

MUSEUM OF SCIENCE
Boston, Massachusetts

supervisor
DANIELLE KHOURY LeBLANC

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

**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

producers
MAX CROW
PAUL MOWBRAY
ANDY GREGORY

executive producer
KRIS McCALL

computer animation and design

AARON BRADBURY
MAX CROW
PHILIP DAY
PAUL MOWBRAY

additional 3D modeling
HUGH McGAHERN

SPITZ CREATIVE MEDIA

Chadds Ford, Pennsylvania

supervisor
BRADLEY THOMPSON

executive producers
PAUL DAILEY
JONATHAN SHAW
JEB TERRY, JR
NEIL CARTY

producer
MIKE BRUNO

animation & visual effects production
COSM STUDIOS

in association with SPITZ INC,
a COSM company

animators
BILL CARR
INNA LEONOV-KENNY
BRADLEY THOMPSON
WES THOMPSON

location photography
BRADLEY THOMPSON
INNA LEONOV-KENNY

high-resolution venus cloud map
TUOMAS KANKOLA

earth maps based on imagery provided by
THE SEAWIFS PROJECT
NASA/GODDARD SPACE FLIGHT CENTER
ORBIMAGE

additional planet textures
BJORN JONSSON
DAVID SEAL
NASA/JPL/CAL TECH
UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY
NO EMOTION HDRS

planetary orbits and ephemerides data courtesy of
NASA/JPL/CAL TECH

blue and black marble imagery
NASA EARTH OBSERVATORY

photographic milky way panorama
DR. AXEL MELLINGER
Central Michigan University

starfields

NASA/GODDARD SPACE FLIGHT CENTER
SCIENTIFIC VISUALIZATION STUDIO

technical support
CINDY MAREK
BRYCE BUCHANAN
RODNEY DYE

fulldome & post-production video services
NEO ΨΗΦΙΑΚΟ ΠΛΑΝΗΤΑΡΙΟ
Ιδρύματος Ευγενίδου

post-production audio services
STARGAZER AUDIO
Ιδρύματος Ευγενίδου



© 2024



Καλλιτεχνική αναπαράσταση του νέου διαστημικού
σταθμού που θα συναρμολογηθεί σε τροχιά γύρω από
την Σελήνη, στο πλαίσιο του Προγράμματος Άρτεμις
(📷 NASA).



ΣΕΛΙΔΟΠΟΙΗΣΗ - ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ ΕΚΔΟΣΗΣ: ΟΜΑΔΑ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ