



ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
ΝΕΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΠΛΑΝΗΤΑΡΙΟ

Οδηγός Παράστασης

παράξενοι κόσμοι στο ηλιακό σύστημα

Η ψηφιακή παράσταση «Παράξενοι Κόσμοι στο Ηλιακό Σύστημα» σας προσκαλεί σε ένα συναρπαστικό ταξίδι γνωριμίας με ορισμένους από τους πιο ακραίους πλανήτες και δορυφόρους του Ηλιακού μας Συστήματος. Από την καυτή Αφροδίτη έως τον παγωμένο Πλούτωνα, από την γεμάτη ηφαίστεια Ιώ έως τον υπόγειο ωκεανό που κρύβει η παγωμένη επιφάνεια της Ευρώπης και από τις θάλασσες μεθανίου του Τιτάνα έως τα πέρατα της βαρυτικής «κυριαρχίας» του Ήλιου, η παράσταση αυτή αναδεικνύει την θαυμαστή πολυπλοκότητα των παράξενων κόσμων που κρύβει το Ηλιακό μας Σύστημα.





ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
ΝΕΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΠΛΑΝΗΤΑΡΙΟ

Οδηγός Παράστασης

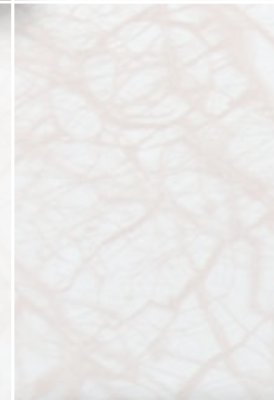
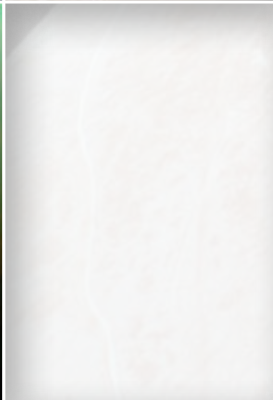
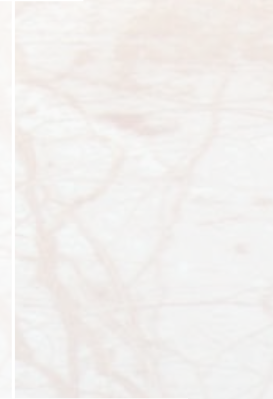
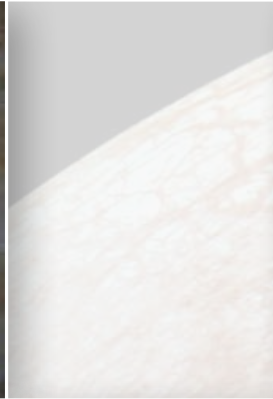
παράξενοι κόσμοι στο ηλιακό σύστημα

ΑΛΕΞΗ Α. ΔΕΛΗΒΟΡΙΑ

Αστρονόμου Ευγενιδείου Πλανηταρίου

Αθήνα 2015

Περιεχόμενα



Πρόλογος 4

1. Εισαγωγή: Το Ηλιακό Σύστημα 6

2. Ο Βασιλιάς των Πλανητών 14

3. Ο Άρχοντας των Δακτυλιδιών..... 24

4. Οι Δορυφόροι του Κρόνου 30

5. Η Εξερεύνηση του Δία και του Κρόνου 40

6. Οι Παγωμένοι Γίγαντες 50

7. Ο Πλούτωνας και η Ζώνη Kuiper..... 62

8. Επίλογος: Οι Κομήτες..... 70

Βιβλιογραφία 78

Συντελεστές 80

Πρόλογος

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

Τα τελευταία χρόνια οι γνώσεις μας για το Ηλιακό μας Σύστημα έχουν αυξηθεί σημαντικά. Κυρίως με τη βοήθεια των διαστημοσυσκευών που στέλνουμε στους διάφορους πλανήτες και δορυφόρους αλλά και με τα τροχιακά τηλεσκόπια, οι πληροφορίες που συνεχώς λαμβάνουμε μας δίνουν τη δυνατότητα να ανακαλύψουμε νέα ενδιαφέροντα στοιχεία και παράξενους κόσμους στην πιο κοντινή γειτονιά μας στο Σύμπαν. Με την εξέλιξη της ψηφιακής τεχνολογίας, τόσο από την πλευρά των υπολογιστών, της ρομποτικής, των ηλιακών κυψελών όσο και από την πλευρά των φωτογραφικών μηχανών και των απεικονιστικών τεχνικών, συγκεντρώνουμε έναν τεράστιο όγκο πληροφοριών που συχνά αλλάζει αρκετά από τα δεδομένα που είχαμε για το Ηλιακό μας Σύστημα. Η νέα ψηφιακή παράσταση με τίτλο «Παράξενοι Κόσμοι στο Ηλιακό Σύστημα» έχει ως στόχο να μεταφέρει στο κοινό τις πιο ενδιαφέρουσες από τις τελευταίες ανακαλύψεις των επιστημόνων σχετικά με το Ηλιακό μας Σύστημα. Σας προσκαλούμε λοιπόν σε ένα συναρπαστικό ταξίδι γνωριμίας με ορισμένους από τους πιο ακραίους πλανήτες και δορυφόρους. Από την καυτή Αφροδίτη έως τον παγωμένο Πλούτωνα, από την γεμάτη ηφαιστεια Ιώ έως τον υπόγειο ωκεανό που κρύβει η παγωμένη επιφάνεια της Ευρώπης και από τις θάλασσες μεθανίου του Τιτάνα έως τα πέρατα της βαρυτικής «κυριαρχίας» του Ήλιου, η παράσταση αυτή αναδεικνύει την θαυμαστή πολυπλοκότητα των παράξενων κόσμων που κρύβει το Ηλιακό μας Σύστημα.

Ο Οδηγός αυτός ακολουθεί την παράδοση της παρουσίασης επιπλέον στοιχείων που θα ήταν αδύνατο να συμπεριληφθούν σε μια παράσταση 40 μόλις λεπτών και τα οποία προσφέρουν μια πιο ολοκληρωμένη και σαφή εικόνα, τόσο για τους πλανήτες του Ηλιακού μας Συστήματος

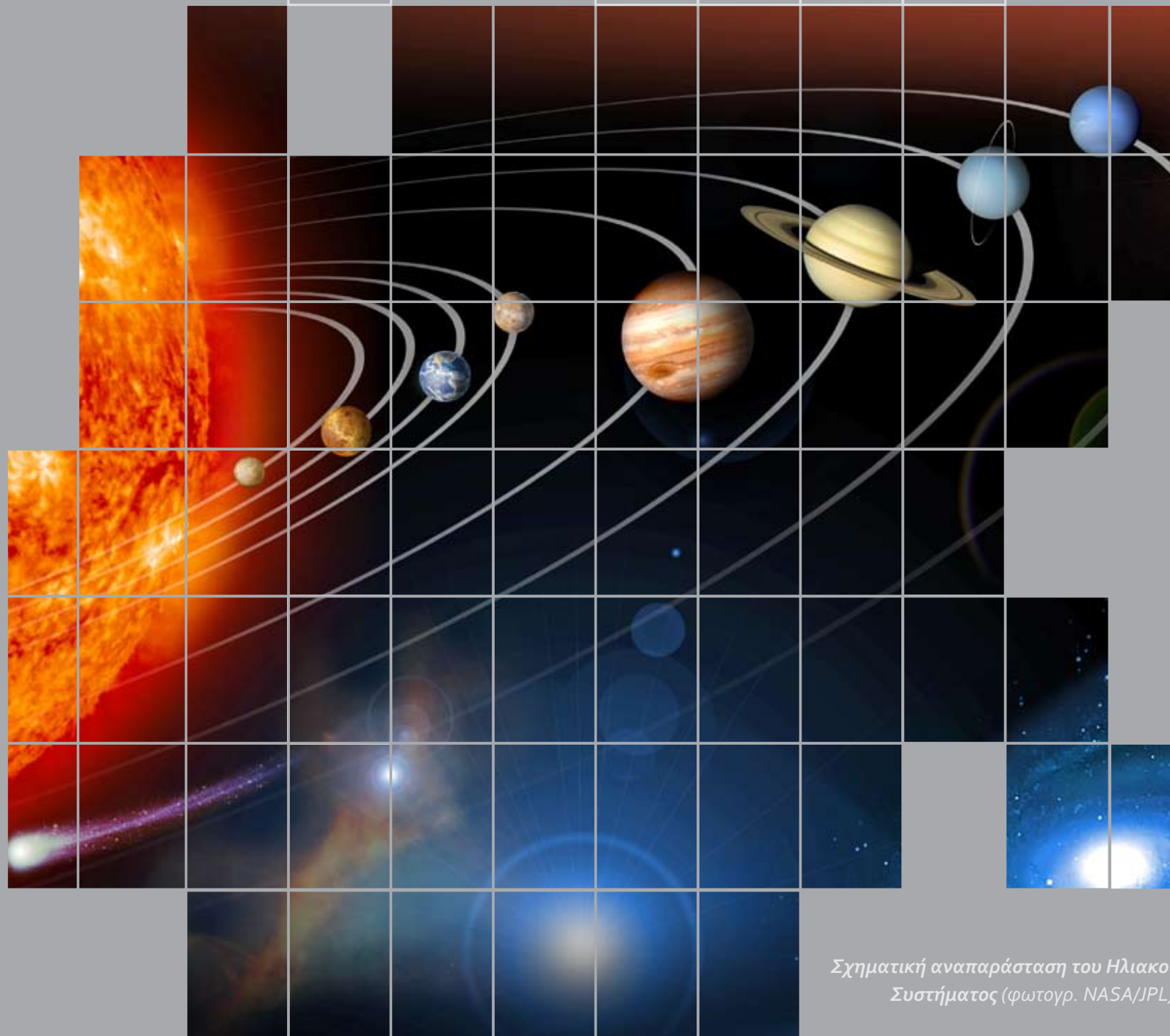
όσο και για τους πιο ενδιαφέροντες δορυφόρους τους. Ξεκινώντας έτσι με μια συνοπτική περιγραφή του Ηλιακού μας Συστήματος και των ουράνιων σωμάτων που εμπεριέχει, ο παρών Οδηγός εστιάζει στους εξωτερικούς πλανήτες Δία, Κρόνο, Ουρανό και Ποσειδώνα, καθώς και στους σημαντικότερους και πιο «παράξενους» δορυφόρους τους, αλλά και στις σπουδαιότερες διαστημικές αποστολές που τους έχουν εξερευνήσει έως τώρα. Στην συνέχεια, εστιάζει στον πλανήτη-νάνο Πλούτωνα και την Ζώνη Kuiper και ολοκληρώνεται με μία αναφορά στους κομήτες του Ηλιακού μας Συστήματος.

Θεωρούμε ότι τα θέματα που έχουμε συμπεριλάβει σε αυτόν τον Οδηγό, καθώς και η σχετική βιβλιογραφία που παρατίθεται, συμπληρώνουν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο όλα όσα παρουσιάζονται στην παράσταση και ευελπιστούμε ότι θα αποτελέσει χρήσιμο βοήθημα τόσο για τον δάσκαλο και τον μαθητή, όσο και για τον κάθε ενδιαφερόμενο. Ο συγκεκριμένος Οδηγός Παράστασης, καθώς και όλοι οι προηγούμενοι, είναι αναρτημένοι στην ιστοσελίδα του Ευγενιδείου Πλανηταρίου, στην Ενότητα «Παραστάσεις», ελεύθερα διαθέσιμοι για το κοινό και τους εκπαιδευτικούς.

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

Μάνος Κιτσώνας

Διευθυντής Ευγενιδείου Πλανηταρίου

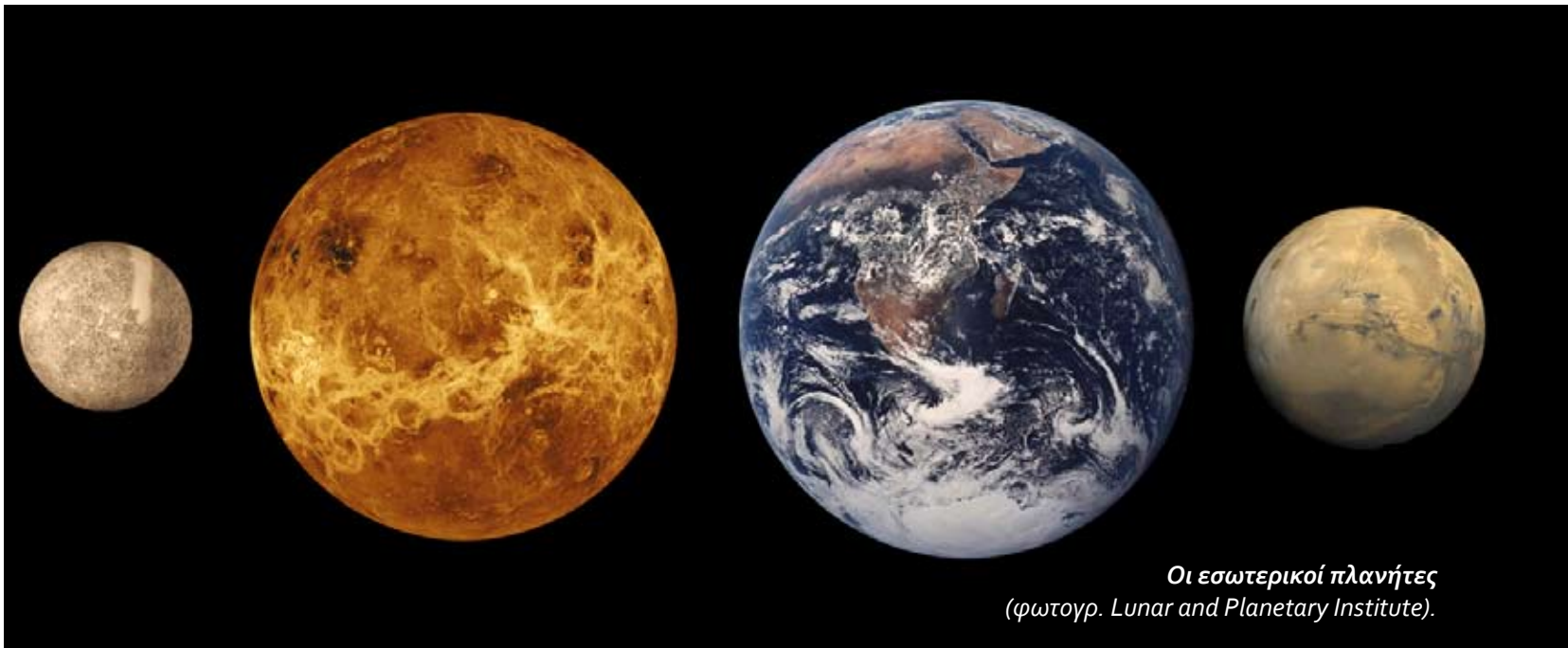


1.

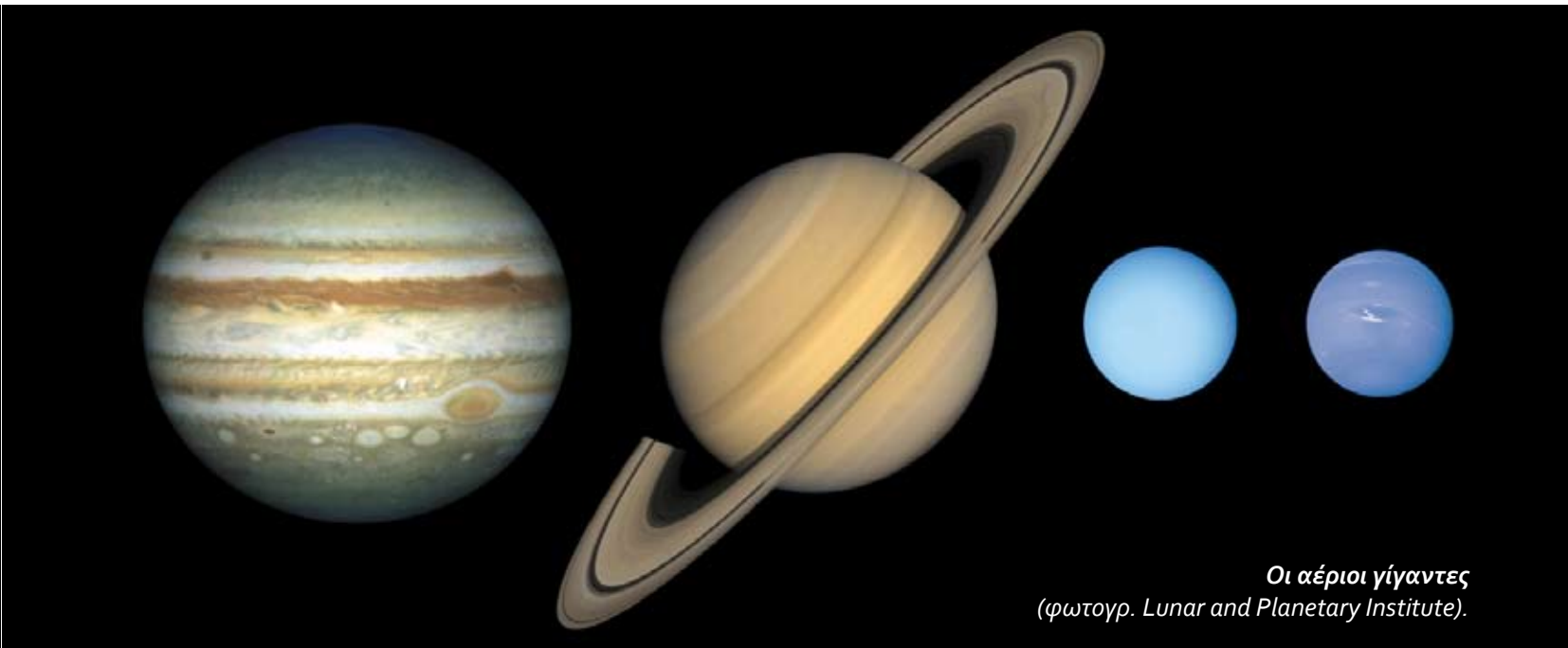
Εισαγωγή: *Το Ηλιακό Σύστημα*

Ο Ήλιος είναι ένα συνηθισμένο άστρο του Γαλαξία μας, με μικρή σχετικά μάζα, που γεννήθηκε πριν από περίπου 5 δισ. χρόνια, μέσα από την βαρυτική κατάρρευση ενός νέφους αερίων και σκόνης. Το μεγαλύτερο ποσοστό των υλικών του νέφους, κυρίως υδρογόνο και ήλιο, σχημάτισαν τον Ήλιο, ενώ τα ελάχιστα υλικά που περίσσεψαν, «συμπυκνώθηκαν» στους πλανήτες, τους δορυφόρους και τα άλλα ουράνια σώματα που απαρτίζουν το Ηλιακό μας Σύστημα. Έτσι, γύρω από τον Ήλιο περιφέρονται 8 πλανήτες, τουλάχιστον 5 πλανήτες-νάνοι, δεκάδες δορυφόροι και αναρίθμητα ακόμη μικρότερα ουράνια σώματα, όπως είναι οι αστεροειδείς και οι κομήτες.

Σχηματική αναπαράσταση του Ηλιακού
Συστήματος (φωτογρ. NASA/JPL).



Οι εσωτερικοί πλανήτες
(φωτογρ. Lunar and Planetary Institute).



Οι αέριοι γίγαντες
(φωτογρ. Lunar and Planetary Institute).

Ανάλογα με τα βασικά τους χαρακτηριστικά, τις ιδιότητες και την θέση που καταλαμβάνουν στο Ηλιακό Σύστημα μπορούμε να κατατάξουμε όλα αυτά τα ουράνια σώματα σε 3 μεγάλες «οικογένειες»: στους **εσωτερικούς** ή γήινους πλανήτες, στους **εξωτερικούς** γιγάντιους πλανήτες και στα «συντρίμμια» του πρώιμου Ηλιακού Συστήματος, που απαρτίζουν την Ζώνη των Αστεροειδών, την Ζώνη Kuiper και το Νέφος Oort. Τα περισσότερα από τα ουράνια σώματα του Ηλιακού Συστήματος κινούνται σε ελλειπτικές τροχιές γύρω από τον Ήλιο, με εξαίρεση τους δορυφόρους, οι οποίοι κινούνται σε ελλειπτικές τροχιές γύρω από τον πλανήτη τους. Οι τροχιές όλων αυτών των σωμάτων καθορίζονται και περιγράφονται με ακρίβεια από τους νόμους του Νεύτωνα και του Κέπλερ. Σημαντική εξαίρεση αποτελεί η τροχιά του πλανήτη Ερμή, το περιήλιο της οποίας, δηλαδή το πλησιέστερο σημείο της τροχιάς του στον Ήλιο, κινείται και αυτό γύρω του, με έναν 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. Όσον αφορά στους υπόλοιπους πλανήτες, η μετάπτωση του περιηλίου τους είναι τόσο μικρή, ώστε και οι δύο θεωρίες δίνουν περίπου το ίδιο αποτέλεσμα.

Οι τέσσερις πλησιέστεροι στον Ήλιο **εσωτερικοί πλανήτες**, δηλαδή ο Ερμής, η Αφροδίτη, η Γη και ο Άρης, είναι μικροί σε μέγεθος και μάζα πλανήτες, με μεγάλη πυκνότητα, ενώ έχουν βραχύωδη σύσταση και οι πυρήνες τους αποτελούνται κατά κύριο λόγο από σίδηρο. Και οι τέσσερις αυτοί πλανήτες «στριμώχνονται» σε μια απόσταση που μόλις υπερβαίνει την 1,5 Αστρονομική Μονάδα από τον Ήλιο (1 Αστρονομική Μονάδα ή 1 AM

ισούται με τη μέση απόσταση της Γης από τον Ήλιο, δηλ. περίπου 150 εκατ. km). Ο πλησιέστερος πλανήτης στον Ήλιο είναι ο Ερμής, η επιφάνεια του οποίου είναι γεμάτη απ' τις «ουλές» που προκάλεσαν οι αμέτρητες πτώσεις αστεροειδών. Λίγο μακρύτερα, βρίσκεται η Αφροδίτη, που καλύπτεται από πυκνά νέφη θειικού οξέος, ενώ η πυκνότητα της γεμάτης με διοξείδιο του άνθρακα ατμόσφαιράς της συντηρεί την επιφανειακή της θερμοκρασία στους 465 °C. Ακόμη πιο μακριά βρίσκεται η Γη και ακολουθεί ο Άρης με τα γιγάντια ηφαίστεια και τις τεράστιες χαράδρες. Στην διαχωριστική γραμμή μεταξύ των εσωτερικών και εξωτερικών πλανητών του Ηλιακού μας Συστήματος εκτείνεται η **Ζώνη των Αστεροειδών**, που αποτελείται από αναρίθμητα βραχύωδη συντρίμμια του πρώιμου Ηλιακού Συστήματος, τα οποία δεν κατάφεραν να συσσωματωθούν σε έναν 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 πλανήτης-άνανος Δήμητρα, η Εστία, η Παλλάδα και η Υγεία.

Πέρα από την Ζώνη των Αστεροειδών εκτείνεται το «βασιλείο» των τεσσάρων γιγάντιων πλανητών, δηλαδή του Δία, του Κρόνου, του Ουρανού και του Ποσειδώνα. Τα όρια της περιοχής αυτής του Διαστήματος, στην οποία κινούνται οι γιγάντιοι πλανήτες, είναι πολύ ευρύτερα, αφού ξεκινούν από τις περίπου 5 AM για τον Δία και φτάνουν μέχρι τις 30 AM για τον Ποσειδώνα, τον πιο απομακρυσμένο πλανήτη του Ηλιακού Συστήματος. Σε αντιδιαστολή με τους βραχύδεις 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 και μεγάλες ποσότητες παγωμένων πτητικών ενώσεων, όπως νερό, αμμωνία και μεθάνιο, ο προσδιορισμός «πα-

γωμένοι γίγαντες» είναι ίσως ακριβέστερος για τους δύο αυτούς πλανήτες. 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 τους.

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. 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. Γι' αυτό και τα πλανητοειδή, δηλαδή τα πρωτοπλανητικά σώματα, που διαμορφώνονταν κοντά στον Ήλιο κατά τα πρώτα στάδια του σχηματισμού των πλανητών, 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, μέσα στο οποίο γεννήθηκε το Ηλιακό μας Σύστημα, οι βραχώδεις πλανήτες παρέμειναν σχετικά μικροί σε μέγεθος.

Αντιθέτως, οι αέριοι γίγαντες δημιουργήθηκαν σε μεγαλύτερες αποστάσεις από τον Ήλιο, σε πε-

ριοχές 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 συσώρευσαν στα πρώτα στάδια της εξέλιξής τους περισσότερη μάζα απ' ό,τι οι βραχώδεις πλανήτες, σχηματίζοντας πλανητοειδή, που εκτός από μέταλλα και πετρώματα, εμπεριείχαν και σημαντικές ποσότητες πάγων. Αυτή ακριβώς η μεγαλύτερη μάζα, η οποία συσσωρευόταν στα πλανητικά «έμβρυα» που σχηματίζονταν στο εξωτερικό Ηλιακό Σύστημα, τους επέτρεψε να αιχμαλωτίσουν 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 σχηματίστηκαν μετά τον Δία και τον Κρόνο, όταν ο ηλιακός άνεμος του νεαρού τότε Ήλιου είχε ήδη απομακρύνει τα υπολείμματα του προ-Ηλιακού νεφελώματος· γι' αυτό η περιεκτικότητά τους σε υδρογόνο και ήλιο είναι αρκετά μικρότερη, συγκρινόμενη μ' αυτήν του Δία και του Κρόνου.

Παρόλο, όμως, που η ερμηνεία αυτή για την μεγάλη περιεκτικότητα του Δία σε υδρογόνο και ήλιο είναι 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 συνε-

χίζεται 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. Αντιθέτως, όπως 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 σχηματίστηκαν επειδή ο πρωτοπλανητικός δίσκος αερίων και ύλης που διαμορφώθηκε γύρω από τον νεογέννητο Ήλιο ήταν βαρυτικά ασταθής, με αποτέλεσμα επί μέρους περιοχές του να κατέρρευσαν απευθείας σε πρωτοπλανητικά σώματα. Σύμφωνα με αυτήν την σχετικά νέα θεωρία, πυκνές συσσωματώσεις αερίων και σκόνης, απ' τις οποίες θα σχηματίζονταν οι γιγάντιοι πλανήτες, διαμορφώθηκαν στα πρώτα στάδια τα εξέλιξης του Ηλιακού Συστήματος και σε λίγες χιλιάδες χρόνια το πολύ, δηλαδή πολύ ταχύτερα απ' όσο προβλέπει η «κλασική» θεωρία της συσσώρευσης ύλης. Το γεγονός αυτό επέτρεψε στον Δία να παγιδεύσει ταχύτατα το αέριο υδρογόνο και ήλιο,

Προσομοίωση σχηματισμού αέριων γιγάντων, σύμφωνα με την θεωρία της αστάθειας δίσκου [φωτογρ. Mayer L., Quinn T., Wadsley J., Stadel J., "Formation of Giant Planets by Fragmentation of Protoplanetary Disks", Science 298, 1756-59 (2002)].

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, για παράδειγμα, μόνο η Γη έχει έναν δορυφόρο και ο Αρης δύο, σε αντίθεση με τους εξωτερικούς πλανήτες, που ο καθένας τους διαθέτει δεκάδες φεγγάρια. Όπως ακριβώς και η Σελήνη, οι μεγαλύτεροι δορυφόροι του Ηλιακού μας Συστήματος



Ο γαλαξίας NGC 6744, που εικάζεται ότι μοιάζει εντυπωσιακά με τον Γαλαξία μας (φωτογρ. ESO).

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. Χαρακτηριστικά παραδείγματα δορυφόρων σε σύγχρονη περιστροφή είναι οι τέσσερεις μεγαλύτεροι δορυφόροι του Δία, καθώς και οι επτά μεγαλύτεροι δορυφόροι του Κρόνου, δηλαδή ο **Τιτάνας**, η **Ρέα**, ο **Ιαπετός**, η **Διώνη**, η **Τηθύς**, ο **Εγκέλαδος** και ο **Μίμας**. Όπως θα φανεί και στις σελίδες που ακολουθούν, τα όσα γνωρίζουμε για τους αέριους γίγαντες του Ηλιακού μας Συστήματος είναι λιγότερα, συγκρινόμενα με όσα έχουμε μάθει για τους εσωτερικούς πλανήτες. Δεδομένων των τεχνικών και άλλων δυσκολιών που συνεπάγεται ο σχεδιασμός και η υλοποίηση διαστημικών αποστολών προς αυτούς, αλλά και της αρκετά μεγαλύτερης απόστασής τους, δεν θα μπορούσε να είναι διαφορετικά.

Ακόμη μακρύτερα, σε αποστάσεις 30-50 AM μακριά από τον Ήλιο, εκτείνεται η **Ζώνη Kuiper**, η οποία περιβάλλει σαν δαχτυλίδι τις περιοχές και τα ουράνια σώματα του Ηλιακού Συστήματος που προαναφέραμε, ενώ αποτελείται από κομμάτια βράχων και παγωμένων πτητικών ενώσεων. Στο εσωτερικό όριο αυτής της ζώνης βρίσκεται ο Πλούτωνας, που μέχρι το 2006 θεωρείτο πλανήτη, αλλά έκτοτε «υποβιβάστηκε» σε πλανητάναο. Κατά κανόνα, οι πλανήτες του Ηλιακού μας

Συστήματος, αλλά και τα ουράνια σώματα της Ζώνης Kuiper 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 από αντίστοιχα «βρόμικα παγόβουνα», με ιδιαίτερα ελλειπτικές τροχιές, όμως, που τα φέρνουν από τις 30-35 AM ακόμη και στις 100 AM μακριά από τον Ήλιο. Σε αντίθεση, μάλιστα, με τα ουράνια σώματα της Ζώνης Kuiper, 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 AM από τον Ήλιο, υπάρχει ένα σφαιρικό νέφος παγωμένων σωμάτων, το επονομαζόμενο **Νέφος Oort**, απ' όπου εικάζεται ότι προέρχονται οι κομήτες μεγάλης περιόδου, η ύπαρξη του οποίου όμως δεν έχει ακόμα επιβεβαιωθεί με την παρατήρηση.

Αυτή είναι σε γενικές γραμμές η διαστημική μας γειτονιά, που με την σειρά της ανήκει σε μια αχανή αστρική πολιτεία 200 δισ. άστρων και διαμέτρου τουλάχιστον 100.000 ετών φωτός, δηλαδή σ' έναν γιγάντιο ραβδωτό σπειροειδή γαλαξία, τον Γαλαξία μας. 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 ◀

2.

Ο Βασιλιάς των Πλανητών

Ο **Δίας** είναι ο μεγαλύτερος σε μάζα και διαστάσεις πλανήτης του Ηλιακού μας Συστήματος. Έχοντας μάζα σχεδόν 2,5 φορές μεγαλύτερη από το σύνολο της μάζας όλων των υπολοίπων πλανητών, ο Δίας και οι δεκάδες δορυφόροι που περιφέρονται γύρω του μοιάζουν κάπως με ένα ηλιακό σύστημα σε μικρογραφία. Είναι χαρακτηριστικό ότι εάν ο αέριος αυτός γίγαντας είχε συσσωρεύσει στα πρώτα στάδια της δημιουργίας του 80 φορές περισσότερα 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 διάμετρός του, αντίθετα, είναι τόσο μεγάλη, ώστε κατά μήκος της θα χωρούσαν 11 πλανήτες σαν την Γη, ενώ θα μπορούσαμε να «στριμώξουμε» στο εσωτερικό του περισσότερους από 1.300 σαν τον Πλανήτη μας.

Ο πλανήτης Δίας (φωτογρ. NASA/JPL
Space Science Institute).

Η μέση απόσταση του Δία από τον Ήλιο αγγίζει τα 780 εκατ. km ή τις περίπου 5,2 ΑΜ, απόσταση στην οποία συμπληρώνει μία πλήρη τροχιά γύρω από το άστρο μας σε 11,86 χρόνια. Επειδή, όμως, η τροχιά του είναι ελλειπτική, η απόσταση μεταξύ του περιηλίου και του αψηλίου του, δηλαδή η απόσταση μεταξύ του πλησιέστερου και του πιο απομακρυσμένου σημείου της τροχιάς του από τον Ήλιο, μεταβάλλεται κατά 75 εκατ. km. Σε αντίθεση με τον πλανήτη μας, η κλίση του άξονα περιστροφής του Δία είναι μόλις 3,13°, γεγονός που υποδεικνύει ότι ο πλανήτης αυτός δεν υπόκειται σε σημαντικές εποχιακές εναλλαγές, όπως συμβαίνει με την Γη. Ο Δίας περιστρέφεται γύρω από τον εαυτό του ταχύτερα από οποιονδήποτε άλλον πλανήτη του Ηλιακού Συστήματος, αφού η διάρκεια του ημερονυκτίου του δεν υπερβαίνει τις 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. Επειδή, μάλιστα, ο Δίας δεν είναι ένα στερεό συμπαγές σώμα, ο ρυθμός περιστροφής του δεν είναι ο ίδιος για ολόκληρο τον πλανήτη, αλλά μεταβάλλεται ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος, με τον ρυθμό περιστροφής του κοντά στους πόλους να είναι περίπου 5 λεπτά βραδύτερος απ' αυτόν στον ισημερινό.



Ο Γανυμήδης ρίχνει την σκιά του πάνω στην Μεγάλη Κόκκινη Κηλίδα [φωτογρ. NASA, ESA, and A. Simon (Goddard Space Flight Center), Ack.: C. Go and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA)].

Ανάλογα με το ποσοστό που συνεισφέρουν τα διαφορετικά άτομα στην συνολική μάζα του Δία, η ανώτερη ατμόσφαιρά του αποτελείται από περίπου 75% υδρογόνο, 24% ήλιο και 1% άλλα στοιχεία. Επειδή, όμως, τα βαρύτερα στοιχεία έχουν την τάση να βυθίζονται προς το κέντρο ενός πλανήτη, όσο βαθύτερα διεισδύουμε στο εσωτερικό του, η κατανομή των διαφορετικών στοιχείων, ανάλογα με την μάζα που συνεισφέρουν στον Δία, μεταβάλλεται ως εξής: 71% υδρογόνο, 24% ήλιο και 5% άλλα στοιχεία. Εκτός αυτών, η ατμόσφαιρα του Δία εμπεριέχει και ίχνη άλλων ενώσεων, όπως μεθάνιο, υδρατμούς, αμμωνία κ.ά., ενώ τα ορατά νέφη του αποτελούνται κατά κύριο λόγο από κρυστάλλους αμμωνίας. Οι χαρακτηριστικές ζώνες που διακρίνονται στην ορατή ατμόσφαιρά του οφείλουν την πορτοκαλί και καφετιά απόχρωσή τους σε διάφορες χημικές ενώσεις, οι οποίες καθώς ανέρχονται από το εσωτερικό του Δία, αλλάζουν χρώμα εξαιτίας των φωτοχημικών αντιδράσεων που προκαλεί η ηλιακή υπεριώδης ακτινοβολία. Το γνωστότερο ίσως χαρακτηριστικό του Δία είναι η **Μεγάλη Κόκκινη Κηλίδα**, μια τεράστια περιστρεφόμενη θύελλα, η οποία μαίνεται εδώ και τουλάχιστον 200 χρόνια.

Ο Δίας, λοιπόν, αποτελείται ως επί το πλείστον από υδρογόνο και ήλιο, ενώ, όσο βαθύτερα διεισδύουμε στο εσωτερικό του,

η διαρκώς αυξανόμενη θερμοκρασία και πίεση συμπιέζουν το αέριο υδρογόνο όλο και περισσότερο, μετατρέποντάς το σταδιακά σε ρευστό. Σε ακόμη μεγαλύτερα βάθη, που ίσως και να φτάνουν από το ένα τρίτο έως και το μέσον της απόστασης που χωρίζει τα ορατά ατμοσφαιρικά του χαρακτηριστικά από το κέντρο του, η πίεση γίνεται τόσο μεγάλη, ώστε τα ηλεκτρόνια αποδεδμεύονται από τα άτομα υδρογόνου. Σε αυτές, δηλαδή, τις ακραίες συνθήκες το ρευστό υδρογόνο μετατρέπεται σε ένα ηλεκτρικά αγώγιμο ρευστό ηλεκτρονίων και πρωτονίων, 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, που είναι 10 φορές ισχυρότερο απ' αυτό της Γης. 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 διαστημοσσκευή που θα τις διασχίσει.

Η απουσία αναλυτικών μετρήσεων του βαρυτικού και μαγνητικού πεδίου του Δία δεν επιτρέπει προς το παρόν στους επιστήμονες να αποφανθούν μετά βεβαιότητας για το αν ο πλανήτης αυτός διαθέτει στο εσωτερικό του έναν συμπαγή στερεό πυρήνα. Είναι ενδιαφέρον, όμως, να

σημειωθεί ότι η απάντηση σε αυτό το ερώτημα σχετίζεται και με το πώς εντέλει σχηματίστηκε ο Δίας στα πρώτα στάδια της εξέλιξης του πρώιμου Ηλιακού Συστήματος. Εάν, για παράδειγμα, ο Δίας σχηματίστηκε μέσα από την συνεχή συσσώρευση ύλης, που είναι και το πιθανότερο, τότε θα πρέπει να διαθέτει έναν συμπαγή πυρήνα, με μάζα περίπου 15 φορές μεγαλύτερη απ' αυτήν της Γης. Πρόσφατες, μάλιστα, μελέτες και προσομοιώσεις καταδεικνύουν ότι ο πυρήνας αυτός αργά αλλά σταθερά διαβρώνεται, καθώς άτομα από την εξωτερική του επιφάνεια διαλύονται στα υπερκείμενα στρώματα ρευστού υδρογόνου και ηλίου, όπως περίπου ένας κύβος ζάχαρης διαλύεται στο νερό.

Είναι επίσης ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι ο Δίας ακτινοβολεί περισσότερη θερμότητα απ' όση προσλαμβάνει από τον Ήλιο. Αυτή η θερμική ακτινοβολία που εκλύει ο Δίας οφείλεται κατά πάσα πιθανότητα στην **βαρυτική συστολή** του πλανήτη, κατά τα πρώτα κυρίως στάδια σχηματισμού του, μέσω της οποίας μέρος της βαρυτικής δυναμικής του ενέργειας μετατράπηκε σε θερμότητα. Επειδή την εποχή εκείνη, ο Δίας συσώρευε όλο και μεγαλύτερες ποσότητες ύλης και η μάζα του αυξανόταν διαρκώς, η βαρυτική έλξη προς το κέντρο του μεγάλωνε επίσης. Η αυξανόμενη, όμως, βαρύτητα του αρχέγονου Δία, επέδρασε στον ίδιο τον πλανήτη, συρρικνώνοντάς τον και μετατρέποντας μέρος από τη βαρυτική του ενέργεια σε θερμότητα. Η μετατροπή αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι καθώς ένα ουράνιο σώμα εκπέμπει θερμότητα και η θερμοκρασία του μειώνεται, η εσωτερική του πίεση, που αντιστέκεται στη δύναμη της βαρύτητας, η οποία προσπαθεί να το συρρικνώσει, μειώνεται, γι'

αυτό και το σώμα συστέλλεται. Η μικρή αυτή συστολή συμπιέζει το ουράνιο σώμα, με συνέπεια την εκ νέου αύξηση της εσωτερικής του θερμότητας και την επανάληψη αυτού του κύκλου. Τέλος, ένα άλλο χαρακτηριστικό του Δία, το οποίο μας αποκάλυψε η διαστημοσυσκευή **Voyager 1**, όταν τον επισκέφτηκε το 1979, είναι οι δακτύλιοι που τον περιβάλλουν. Σε αντίθεση, όμως, με τους φωτεινούς και εντυπωσιακούς δακτυλίους του Κρόνου, οι σκοτεινοί και ισχνοί δακτύλιοι του Δία κατά πάσα πιθανότητα σχηματίστηκαν από τη «σκόνη» που εκτινάσσεται κατά την συντριβή αστεροειδών στην επιφάνεια των τεσσάρων πλησιέστερων προς τον Δία δορυφόρων του.

Ο Δίας διαθέτει τους περισσότερους δορυφόρους από οποιονδήποτε άλλον πλανήτη του Ηλιακού Συστήματος. Σύμφωνα με τα τελευταία δεδομένα, ο Δίας περιβάλλεται από 67 δορυφόρους, μεγαλύτεροι των οποίων είναι ο Γανυμήδης, η Καλλιστώ, η Ιώ και η Ευρώπη. Οι τέσσερις αυτοί δορυφόροι ανακαλύφθηκαν το 1610 από τον Ιταλό αστρονόμο **Γαλιλαίο** (1564–1642), χρονιά-ορόσημο στην Ιστορία της Αστρονομίας, αφού επρόκειτο για τα πρώτα ουράνια σώματα που, αποδεδειγμένα πλέον, δεν περιφέρονται γύρω από τη Γη αλλά γύρω από κάποιο άλλο ουράνιο σώμα. Η ανακάλυψη αυτή, παράλληλα με τις μελέτες του **Κοπέρνικου** (1473–1543) αποτέλεσαν την αρχή του τέλους για το Γεωκεντρικό σύστημα, που για περισσότερα από 2.000 χρόνια ήταν το κοινά αποδεκτό σύστημα του κόσμου. Οι τέσσερις αυτοί δορυφόροι, γνωστοί ως οι **δορυφόροι του Γαλιλαίου**, προς τιμή του αστρονόμου που τους ανακάλυψε, είναι κόσμοι εντυπωσιακοί. Η Καλλιστώ, για παράδειγμα, διαθέτει ίσως την πλέον αρχέγονη επιφάνεια από οποιονδήποτε

Ο Ιταλός αστρονόμος Γαλιλαίος (1564-1642).

τε άλλο δορυφόρο του Ηλιακού Συστήματος. Ο Γανυμήδης είναι ο μεγαλύτερος δορυφόρος του Ηλιακού μας Συστήματος, αλλά και ο μοναδικός για τον οποίο γνωρίζουμε ότι διαθέτει δικό του μαγνητικό πεδίο. Η Ιώ είναι το πλέον ενεργό ηφαιστειακό ουράνιο σώμα του Ηλιακού Συστήματος, ενώ σύμφωνα με όλες τις ενδείξεις, κάτω από την παγωμένη επιφάνεια της Ευρώπης κρύβεται ένας ωκεανός νερού. Οι περισσότεροι από τους υπόλοιπους δορυφόρους του Δία, είναι «ανώμαλοι» δορυφόροι. Πρόκειται δηλαδή για μικροσκοπικούς δορυφόρους, που κινούνται σε πολύ μεγάλες αποστάσεις από τον Δία, σε ιδιαίτερα ελλειπτικές τροχιές και σε επίπεδα που σχηματίζουν μεγάλες γωνίες ως προς το ισημερινό επίπεδο του πλανήτη.

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 η τροχιακή

περίοδος της Ευρώπης είναι διπλάσια απ' αυτήν της Ιούς, ενώ του Γανυμήδη είναι διπλάσια απ' αυτήν της Ευρώπης. Με άλλα λόγια, κάθε φορά που ο Γανυμήδης 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. Αυτό σημαίνει ότι ο χρόνος που χρειάζεται ο κάθε δορυφόρος, προκειμένου να διαγράψει μία πλήρη τροχιά γύρω από τον Δία, είναι ίδιος με τον χρόνο που χρειάζεται για να διαγράψει μία πλήρη περιστροφή γύρω από τον εαυτό του.

Λίγο μεγαλύτερη απ' την Σελήνη, η **Ιώ** είναι το τρίτο μεγαλύτερο φεγγάρι του Δία, το πέμπτο σε απόσταση απ' αυτόν και, όπως είπαμε, το πλέον ενεργό ηφαιστειακό σώμα του Ηλιακού Συστήματος. Η θερμότητα που συντηρεί την ηφαιστειακή δραστηριότητα στην Ιώ προέρχεται από το φαινόμενο της παλιρροϊκής θέρμανσης. Καθώς,

δηλαδή, η Ιώ κινείται σε ελλειπτική τροχιά γύρω από τον Δία, ο γιγάντιος πλανήτης, αλλά και οι γειτονικοί δορυφόροι Ευρώπη και Γανυμήδης ασκούν πάνω της παλιρροϊκές δυνάμεις, οι οποίες οφείλονται στο γεγονός ότι η βαρυτική τους έλξη είναι ελάχιστα μεγαλύτερη προς την πλευρά του δορυφόρου που τους αντικρίζει, απ' όσο προς την αντιδιαμετρική πλευρά. Καθώς, λοιπόν, οι δορυφόροι αυτοί περιφέρονται γύρω από τον Δία, η Ιώ έλκεται διαρκώς προς διαφορετικές κατευθύνσεις και οι παλιρροϊκές δυνάμεις που υφίσταται συμπιέζουν και «τεντώνουν» το εσωτερικό της ασταμάτητα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να προκαλούνται στέρεες παλίρροιες στην Ιώ, η μέγιστη υψομετρική διαφορά των οποίων αγγίζει τα 100 m και παρατηρείται, όταν η Ιώ βρίσκεται στο πλησιέστερο και στο πιο απομακρυσμένο σημείο της τροχιάς της γύρω από τον Δία. Συγκριτικά, οι παλίρροιες που προκαλεί η Σελήνη στους ωκεανούς της Γης έχουν μέγιστη διακύμανση που δεν υπερβαίνει τα 15 m. Αυτές

οι παλιρροϊκές δυνάμεις παράγουν μέσω της τριβής τεράστια ποσά θερμότητας, που διατηρούν το εσωτερικό του δορυφόρου ρευστό, συντηρώντας έτσι την ηφαιστειακή του δραστηριότητα. Εξαιτίας μάλιστα των συνεχών ηφαιστειακών εκρήξεων, η λάβα που ξεχύνεται από τα ηφαίστεια της Ιούς ανανεώνει διαρκώς την επιφάνειά της, καλύπτοντας τα προγενέστερα χαρακτηριστικά της. Η ηφαιστειακή δραστηριότητα στην Ιώ ανακαλύφθηκε χάρη στις φωτογραφίες της διαστημοσυσκευής Voyager 1, που προσέγγισε τον Δία το 1979. Έκτοτε έχουν ανακαλυφθεί περισσότερα από 400 ενεργά ηφαίστεια και λίμνες λάβας, μεγαλύτερα και βιαιότερα των οποίων είναι τα ηφαίστεια Πελέ και Λόκι. Ενδεικτικό της βιαιότητας ορισμένων από τις ηφαιστειακές εκρήξεις στην Ιώ είναι το γεγονός ότι καυτά αέρια θείου και διοξειδίου του θείου ανέρχονται πολλές φορές σε ύψος 500 km.

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 θα μπορούσε να διατηρήσει το νερό στο υπέδαφός της σε υγρή μορφή. Αυτές οι παλιρροϊκές δυνάμεις προκαλούνται επειδή η βαρυτική έλξη του Δία είναι ελάχιστα ισχυρότερη στην πλευρά του δορυφόρου που τον «αντικρίζει», απ' όσο είναι στην πλευρά του που «βλέπει» μακριά απ' αυτόν και, καθώς η Ευρώπη περιφέρεται γύρω του, το μέγεθος της διαφοράς αυτής μεταβάλλεται συνεχώς. 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 μπορού-

σε να έχει εμφανιστεί ζωή, γι αυτό και πολλοί αστρονόμοι θεωρούν ότι ο σχεδιασμός μιας διαστημικής αποστολής προς την Ευρώπη θα πρέπει να αποτελέσει πρώτη προτεραιότητα για τις διαστημικές αποστολές που σχεδιάζονται για την επόμενη εικοσαετία.

Ο τρίτος από τους δορυφόρους του Γαλιλαίου σε απόσταση από τον Δία, αλλά και ο μεγαλύτερος του Ηλιακού Συστήματος, είναι ο **Γανυμήδης**, ο οποίος αποτελείται ως επί το πλείστον από πυριτιούχα πετρώματα και πάγο. Μεγαλύτερος ακόμη και από τον πλανήτη Ερμή, ο Γανυμήδης είναι ο μοναδικός δορυφόρος για τον οποίο γνωρίζουμε ότι διαθέτει το δικό του μαγνητικό πεδίο, το οποίο κατά πάσα πιθανότητα ενεργοποιείται εξαιτίας ενός ρευστού μεταλλικού πυρήνα.

Χάρη στην ανάλυση των δεδομένων που συνέλεξε το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble το 1996, γνωρίζουμε ακόμη ότι ο δορυφόρος αυτός διαθέτει πολύ αραιή ατμόσφαιρα οξυγόνου. Η

ανάλυση των εικόνων που μας έστειλαν οι διαστημοσυσκευές, οι οποίες προσέγγισαν αυτήν την περιοχή του Ηλιακού Συστήματος, μας αποκάλυψε ότι το 40% της επιφάνειας του Γανυμήδη αποτελείται από μεγάλης ηλικίας σκοτεινές περιοχές, σημαδεμένες από έναν μεγάλο αριθμό κρατήρων πρόσκρουσης. Το υπόλοιπο 60% αποτελείται από φωτεινότερες και μικρότερης ηλικίας περιοχές, οι οποίες καλύπτονται από ένα εκτεταμένο δίκτυο ρηγμάτων, πτυχώσεων και ραβδώσεων, τεκτονικής κατά πάσα πιθανότητα προέλευσης. Οι αλλεπάλληλες αυτές ραβδώσεις στην επιφάνεια του Γανυμήδη ορθώνονται σε ύψος που φτάνει τα 700 m, διατρέχοντας την επιφάνειά του 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. Σύμφωνα, μάλιστα, με τελευταίες έρευνες που χρηματοδότησε η NASA, είναι πιθανό να μην υπάρχει ένας μόνο αλλά περισσότεροι ωκεανοί, στοιβαγμένοι ο ένας πάνω από τον άλλο, οι οποίοι χωρίζονται μεταξύ τους από στρώματα πάγου.



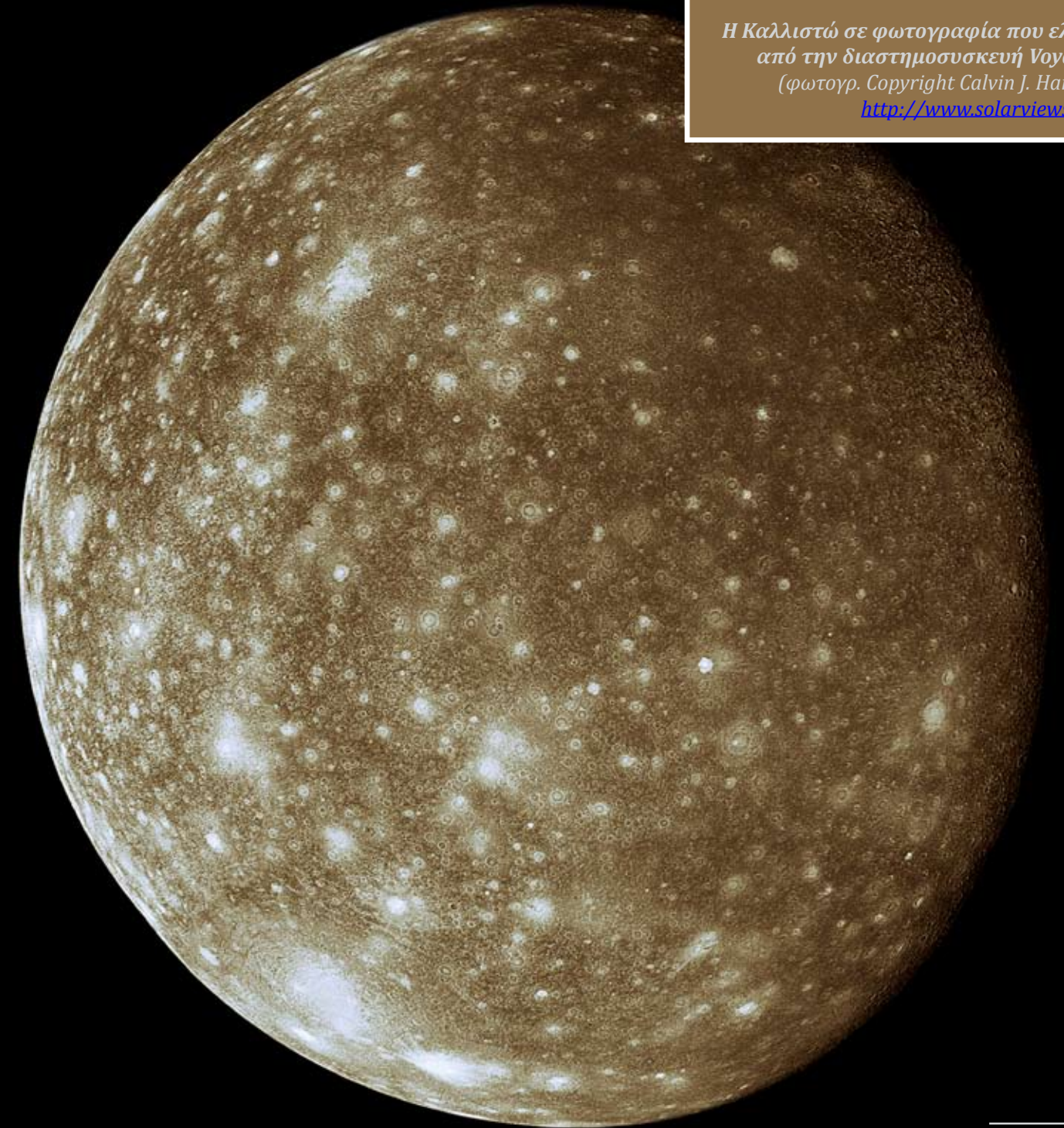
Η Ευρώπη σε φωτογραφία που ελήφθη από την διαστημοσυσκευή Galileo (φωτογρ. NASA/JPL-Caltech/SETI Institute).

Με διάμετρο που υπερβαίνει τα 4.800 km, η **Καλλιστώ** είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος δορυφόρος του Δία, ελάχιστα μικρότερος σε μέγεθος από τον πλανήτη Ερμή, αλλά και αρκετά ελαφρύτερος, αφού η μάζα της μόλις που φτάνει το ένα τρίτο της μάζας του Ερμή. Η Καλλιστώ έχει ίσως τους περισσότερους κρατήρες από οποιοδήποτε άλλο σώμα του Ηλιακού μας Συστήματος και η επιφάνειά της είναι από τις πιο αρχέγονες που έχουν εντοπιστεί. 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 Ευρώ-

πη και τον Γανυμήδη στον τροχιακό συντονισμό τους, καθώς περιφέρονται γύρω από τον Δία, σε αντίθεση με αυτούς τους δορυφόρους, δεν υπόκειται σε σημαντική παλιρροϊκή θέρμανση. Η Καλλιστώ, που αποτελείται κατά κύριο λόγο από πετρώματα και πάγο, είναι ένας γεωλογικά νεκρός δορυφόρος, η επιφάνεια του οποίου δεν διαμορφώθηκε από γεωτεκτονικές δυνάμεις, αλλά κατά κύριο λόγο από τις αμέτρητες πτώσεις αστεροειδών και κομητών.

Περίπου 4 AM μακρύτερα από το πλανητικό σύστημα του Δία βρίσκεται ο Κρόνος, ο οποίος θα αποτελέσει τον επόμενο σταθμό μας στην εξερεύνηση των παράξενων κόσμων του Ηλιακού μας Συστήματος ◀

Η Καλλιστώ σε φωτογραφία που ελήφθη από την διαστημοσυσκευή *Voyager 2*
(φωτογρ. Copyright Calvin J. Hamilton,
<http://www.solarviews.com>).



3.

Ο Άρχοντας των Δακτυλιδιών

Ο «Άρχοντας των Δακτυλιδιών» του Ηλιακού Συστήματος με τους εντυπωσιακούς δακτυλίους και τους δεκάδες δορυφόρους, γνωστός στους αρχαίους Έλληνες ως ο τελευταίος από τους «πλανήτες αστέρες», παρατηρήθηκε για πρώτη φορά με τηλεσκόπιο στις αρχές του 17ου αιώνα από τον Γαλιλαίο. Έκτοτε, και παρ' όλη την πρόοδο που παρατηρήθηκε κυρίως τα τελευταία 30 χρόνια του 20^{ου} αιώνα με τις διαστημικές αποστολές Pioneer 11 και Voyager 1 και 2, αλλά και με τις παρατηρήσεις του διαστημικού τηλεσκοπίου Hubble, το πλανητικό σύστημα του Κρόνου εξακολουθούσε να κρύβει πολλά από τα μυστικά του. Αυτήν ακριβώς την αποκρυπτογράφηση των μυστικών του Κρόνου, των δακτυλίων και των δορυφόρων του ανέλαβε να φέρει εις πέρας η διαστημική αποστολή *Cassini-Huygens*.

Ο Κρόνος ρίχνει την σκιά του στους
δακτυλίους που τον περιβάλλουν
(φωτογρ. NASA/JPL-Caltech/Space
Science Institute/G. Ugarkovic).

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 76ο 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. Αυτό σημαίνει ότι εάν ήταν δυνατόν να τοποθετηθεί σε έναν ωκεανό ικανό να τον χωρέσει, ο Κρόνος θα επέπλεε! Με μέση απόσταση από τον Ήλιο τις 9 Α.Μ., ο Κρόνος συμπληρώνει μία πλήρη περιφορά γύρω του σε περίπου 29,5 έτη, ενώ η διάρκεια του ημερονυκτίου του είναι περίπου 10,5 ώρες. Η ταχύτατη αυτή περιστροφή του Κρόνου γύρω από τον εαυτό του παραμορφώνει το σφαιρικό του σχήμα, προσδίδοντάς του την μορφή ενός πεπλατυσμένου σφαιροειδούς, με αποτέλεσμα η διάμετρός του στον ισημερινό να υπερβαίνει αυτήν στους πόλους κατά 12.000 km. Αυτού του είδους η παραμόρφωση δεν είναι χαρακτηριστικό μόνο τού Κρόνου και του Δία, αλλά παρατηρείται σε κάθε πλανήτη, ενώ ο βαθμός παραμόρφωσης εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής του. Στην Γη, για παράδειγμα, που συμπληρώνει μία περιστροφή σε 24 ώρες, η διαφορά αυτή δεν υπερβαίνει τα 42 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. Για παράδειγμα, στα ορατά ατμοσφαιρικά χαρακτηριστικά του Κρόνου υπάρχουν επίσης ζώνες νεφών παράλληλες με τον ισημερινό, οι οποίες όμως είναι αρκετά πιο

δυσδιάκριτες, ενώ η χημική τους σύνθεση μεταβάλλεται ανάλογα με το βάθος. Έτσι, τα ανώτατα αέρια νέφη αποτελούνται από μικροσκοπικούς παγοκρυστάλλους αμμωνίας, ενώ σε μεγαλύτερα βάθη 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**. Σύμφωνα με τα ως τώρα δεδομένα, το βραχύβιο αυτό φαινόμενο εμφανίζεται μία φορά για κάθε περιφορά του Κρόνου γύρω από τον Ήλιο, δηλαδή μία φορά κάθε 30 χρόνια περίπου. Τέτοιες κηλίδες είχαν παρατηρηθεί στον Κρόνο και τα έτη 1876, 1903, 1933 και 1960, ενώ με την προϋπόθεση ότι το φαινόμενο αυτό είναι περιοδικό και ότι η περιοδικότητά του θα διατηρηθεί και στο μέλλον, η επόμενη Μεγάλη Λευκή Κηλίδα θα εμφανιστεί γύρω στο 2020.

Ένα άλλο εντυπωσιακό χαρακτηριστικό του Κρόνου είναι ένα εξάγωνο κυματικό μοτίβο με πλευρές μήκους 13.800 km, που περιβάλλει τον βόρειο πόλο του πλανήτη από το γεωγραφικό πλάτος των 78°, το οποίο ανακαλύφθηκε χάρη στις εικόνες που μας έστειλαν οι διαστημοσυσκευές Voyager. Ο λόγος για τον οποίο η πολική αυτή δίνη έχει πάρει αυτό το εξάγωνο σχήμα δεν είναι ακόμη απολύτως κατανοητός, ενδέχεται όμως να οφείλεται στο γεγονός ότι γειτονικές περιοχές στην ατμόσφαιρα του Κρόνου κινούνται με πολύ διαφορετικές ταχύτητες. Εκτός αυτού, η ανάλυση των δεδομένων της διαστημοσυσκευής Cassini οδήγησε το 2006 στην ανακάλυψη μιας 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



Τεράστια καταιγίδα στο βόρειο ημισφαίριο του Κρόνου, σε εικόνα του Cassini
(φωτογρ. NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute).

Ψευδοχρωματική εικόνα που δείχνει το παράξενο εξαγωνικό μοτίβο, το οποίο περιβάλλει το κόκκινο μάτι της πολικής αυτής δίνης
(φωτογρ. NASA/JPL-Caltech/SSI).

στον Κρόνο είναι εκείνοι που σαρώνουν τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιράς του, που στον ισημερινό αγγίζουν τα 1.800 km/h. Στο εσωτερικό του Κρόνου εικάζεται ότι υπάρχει ένας συμπαγής πυρήνας παρόμοιας σύνθεσης μ’ αυτήν της Γης, αλλά πυκνότερος. Με μάζα που υπολογίζεται ότι είναι 9–22 φορές μεγαλύτερη απ’ αυτήν του πλανήτη μας, ο πυρήνας του Κρόνου περιβάλλεται από ένα στρώμα ρευστού μεταλλικού υδρογόνου και στην συνέχεια από ένα ακόμα περίβλημα υγρού υδρογόνου, αναμεμιγμένου με ήλιο, κάτω από την αέρια ατμόσφαιρα, πάχους 1.000 km που τον περιβάλλει.

Παρ’ όλο που η ατμόσφαιρα του Κρόνου είναι παγωμένη, η θερμοκρασία στον πυρήνα του αγγίζει τους 12.000 °C, ενώ κι αυτός ο πλανήτης εκπέμπει

περισσότερη ενέργεια απ’ όση προσλαμβάνει από τον Ήλιο. Ένα μέρος της θερμότητας αυτής πρέπει να είναι τα «λείψανα» της αρχέγονης θερμότητας που παραγόταν κατά τα πρώτα στάδια του σχηματισμού του, ακριβώς δηλαδή όπως συμβαίνει και στον Δία. Στην περίπτωση του Κρόνου, όμως, ο μηχανισμός αυτός δεν μπορεί από μόνος να εξηγήσει το σύνολο της θερμότητας που εκλύει. Πραγματικά, δεδομένης της αρκετά μικρότερης μάζας του, η θερμότητα στο εσωτερικό του Κρόνου ήταν αρκετά χαμηλότερη απ’ αυτήν του Δία, όταν σχηματίστηκαν οι δύο πλανήτες, ενώ το χρονικό διάστημα που μεσολάβησε έκτοτε πρέπει να ήταν αρκετό, ώστε να έχει ήδη αποβάλει το μεγαλύτερο μέρος της. Γι’ αυτό και οι περισσότεροι επιστήμονες θεωρούν ότι η περίσσεια ενέργειας που αποβάλλει σήμερα ο Κρόνος οφείλεται



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

σε έναν άλλο φυσικό μηχανισμό και συγκεκριμένα στις σταγόνες ηλίου, οι οποίες σχηματίζονται στην ατμόσφαιρά του και πέφτουν σαν βροχή προς το εσωτερικό του, μετατρέποντας τη δυναμική τους ενέργεια σε κινητική και εντέλει διά μέσου της τριβής σε θερμότητα.

Αναμφίβολα, το ομορφότερο χαρακτηριστικό του Κρόνου είναι το εντυπωσιακό σύστημα των δακτυλίων που τον περιβάλλει, οι οποίοι θυμίζουν τις ραβδώσεις ενός δίσκου βινυλίου. Οι δακτύλιοι του Κρόνου αποτελούνται από αναρίθμητα κομμάτια πάγου, αναμεμιγμένα με σκόνη και κομμάτια πετρωμάτων, με μεγέθη που κυμαίνονται από κόκκο άμμου μέχρι και αρκετές δεκάδες μέτρα, ενώ η αχνοκόκκινη απόχρωσή τους οφείλεται στην παρουσία οργανικών ενώ-

σεων. Οι δακτύλιοι του Κρόνου ξεκινούν από την κορυφή σχεδόν των νεφών του και εκτείνονται μέχρι και σε απόσταση 480.000 km από το κέντρο του, με πλάτος που φτάνει τις αρκετές χιλιάδες χιλιόμετρα, αλλά με πάχος που δεν υπερβαίνει τα μερικά χιλιόμετρα και που τοπικά μόλις που 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 ορισμένα διάκενα, μεγαλύτερα απ' τα οποία είναι η επονομαζόμενη **Διαίρεση Cassini**, με πλάτος που υπερβαίνει τα 4.500 km, η οποία χωρίζει τους δακτυλίους A και B.

Η ηλικία και η προέλευση των δακτυλίων του Κρόνου δεν είναι ακόμη απολύτως κατανοητές. Ορισμένοι επιστήμονες θεωρούν ότι θα πρέπει να σχηματίστηκαν πριν από σχεδόν 5 δισεκατομμύρια χρόνια, όταν άρχισαν να σχηματίζονται και οι πλανήτες του Ηλιακού μας Συστήματος μέσα από τα περιστρεφόμενα αέρια της μεσοαστρικής ύλης, ενώ κάποιοι άλλοι υποστηρίζουν ότι οι δακτύλιοι είναι αρκετά νεότεροι και ενδεχομένως να σχηματίστηκαν πριν από μόλις 100 εκατομμύρια χρόνια. Πιθανά σενάρια σχηματισμού τους περιλαμβάνουν την καταστροφή ενός από τους δορυφόρους του Κρόνου έπειτα από τη σύγκρουσή του με κάποιον αστεροειδή ή κομήτη ή ακόμα και τον διαμελισμό ενός παλαιότερου δορυφόρου του από τις παλιρροϊκές δυνάμεις του πλανήτη.

Μέχρι στιγμής έχουν επιβεβαιωθεί οι τροχιές 62 φυσικών δορυφόρων του Κρόνου, απ' τους οποίους μόλις 13 έχουν διάμετρο μεγαλύτερη των 50 km. Αντιθέτως, οι περισσότεροι έχουν μικρό μέγεθος και κινούνται σε μεγάλες αποστάσεις από τον πλανήτη, ενώ οι τροχιές τους σχηματίζουν γωνίες μεγάλης κλίσης ως προς το ισημερινό του επίπεδο. Οι περισσότεροι απ' αυτούς είτε είναι πλανητοειδή που «αιχμαλωτίστηκαν» από την μεγάλη βαρυτική έλξη του Κρόνου, είτε είναι τα συντρίμια που περίσσεψαν από τον διαμελισμό τέτοιων σωμάτων, εξαιτίας των παλιρροϊκών του δυνάμεων. Κατά σειρά μεγέθους, οι μεγαλύτεροι δορυφόροι του Κρόνου είναι ο Τιτάνας, η Ρέα, ο Ιαπετός, η Διώνη, η Τηθύς, ο Εγκέλαδος και ο Μίμας, στους οποίους θα αναφερθούμε εκτενέστερα στο επόμενο κεφάλαιο ◀

4.

Οι Δορυφόροι του Κρόνου

Με διάμετρο 5.150 km, ο **Τιτάνας** είναι ο μεγαλύτερος δορυφόρος του Κρόνου, αλλά και ο δεύτερος μεγαλύτερος του Ηλιακού μας Συστήματος μετά από τον Γανυμήδη, τον δορυφόρο του Δία. Ο δορυφόρος αυτός, που ανακαλύφθηκε το 1655 από τον Ολλανδό αστρονόμο **Christiaan Huygens** (1629–1695), παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον για τους αστρονόμους, αφού είναι ο μοναδικός δορυφόρος του Ηλιακού Συστήματος, για τον οποίο γνωρίζουμε ότι περιβάλλεται από πυκνή ατμόσφαιρα. Ο Τιτάνας αποτελείται από ίσες ποσότητες πάγου και πετρωμάτων, ενδεχομένως κατανεμημένων σε στοιβάδες και σύμφωνα με τα τελευταία δεδομένα δεν αποκλείεται να κρύβει στο εσωτερικό του έναν υπόγειο ωκεανό, ενώ η επιφανειακή του θερμοκρασία δεν υπερβαίνει συνήθως τους -180 °C.

Σύνθετη εικόνα του Τιτάνα στο εγγύς υπέρυθρο, που ελήφθη από το Cassini, στην οποία διακρίνεται το φως του Ήλιου που ανακλάται από τις θάλασσες υδρογονανθράκων στην βόρεια πολική περιοχή του (φωτογρ. NASA/JPL-Caltech University of Arizona/University of Idaho).

Η ατμόσφαιρά του αποτελείται από 98% άζωτο και 1,5% μεθάνιο, μαζί με προσμείξεις άλλων οργανικών ενώσεων, που σχηματίζονται από την επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας του Ήλιου, η οποία μετατρέπει το μεθάνιο σε άλλους υδρογονάνθρακες. Δεδομένου ότι το μεθάνιο στην ατμόσφαιρα του Τιτάνα έπρεπε να έχει εξαντληθεί σε μόλις 50 εκατ. χρόνια με την επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας, το γεγονός ότι εξακολουθεί να υπάρχει, σημαίνει ότι από κάπου θα πρέπει να ανανεώνεται συνεχώς. Στη Γη, για παράδειγμα, εξαιρουμένης της ανθρώπινης δραστηριότητας και των ηφαιστειακών εκρήξεων, το μεθάνιο ανανεώνεται, καθώς σχηματίζεται από την σήψη οργανικών ενώσεων σε υδροβιότοπους και έλη, από τον μεταβολισμό των έμβιων οργανισμών κ.ο.κ.. Στον Τιτάνα, αντίθετα, η αιτία είναι διαφορετική.

Όπως ανακοίνωσε ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Διαστήματος **ESA**, στις πολικές περιοχές του δορυφόρου έχουν εντοπιστεί εκατοντάδες μικρές και μεγάλες λίμνες, οι οποίες σύμφωνα με τους πρώτους υπολογισμούς περιέχουν περισσότερους υγρούς υδρογονάνθρακες από όλα τα γνωστά αποθέματα πετρελαίου και φυσικού αερίου στη Γη. Κάποιες απ' αυτές φαίνεται ότι ανανεώνονται από έναν υπόγειο μεθανοφόρο ορίζοντα, ενώ κάποιες άλλες ανανεώνονται από βροχές μεθανίου. Πρόκειται με άλλα λόγια για το μοναδικό εκτός της Γης ουράνιο σώμα του Ηλιακού Συστήματος, που έχει να επιδείξει έναν ενεργό κύκλο εξάτμισης και βροχής, με τη μόνη διαφορά ότι δεν πρόκειται για νερό αλλά για μεθάνιο.

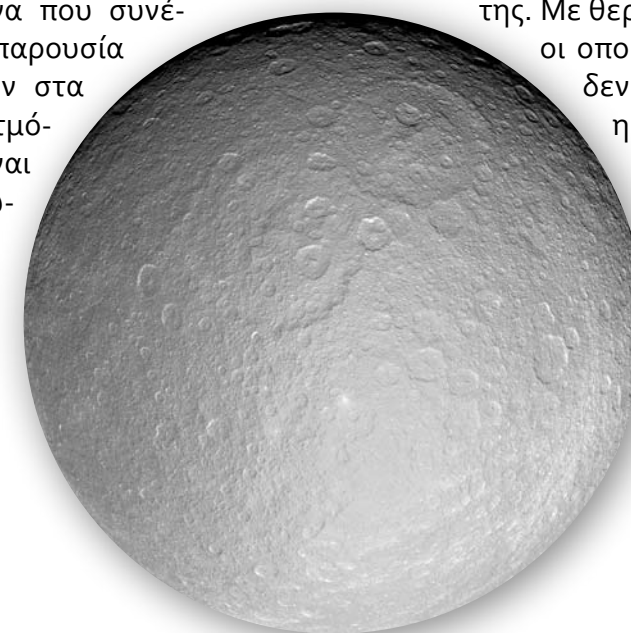
Εξίσου εντυπωσιακή είναι και η ανακάλυψη ότι οι ισημερινές περιοχές του

Τιτάνα καλύπτονται από αλληπάλληλες σειρές εναποθέσεων οργανικής ύλης. Σύμφωνα με τους αστρονόμους, οι εναποθέσεις αυτές σχηματίζονται όταν η ηλιακή υπεριώδης ακτινοβολία και τα φορτισμένα σωματίδια αντιδρούν με το μεθάνιο που βρίσκεται στα ψηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας του Τιτάνα, δημιουργώντας παράγωγα, τα οποία εναποτίθενται στην επιφάνειά του, όπως περίπου συμβαίνει με τα σωματίδια αιθαλομίχλης στη Γη. Η διαφορά είναι ότι στον Τιτάνα συσσωρεύονται σε στρώματα που μπορούν να έχουν πάχος εκατοντάδες μέτρα. Σύμφωνα μάλιστα με τις πρώτες εκτιμήσεις, αυτοί οι «αμμόλοφοι» υδρογονανθράκων εμπεριέχουν περισσότερες οργανικές ενώσεις από τα συνολικά αποθέματα άνθρακα του πλανήτη μας.

Ένα άλλο ενδιαφέρον στοιχείο, που αποκαλύφθηκε χάρη στα δεδομένα που συνέλεξε το Cassini, είναι η παρουσία βαρέων αρνητικών ιόντων στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας του Τιτάνα. Και είναι εντυπωσιακό διότι τα σωματίδια αυτά αποτελούν τα δομικά στοιχεία ακόμη πιο πολύπλοκων οργανικών ενώσεων, που στη Γη τουλάχιστον, προκειμένου να σχηματιστούν, απαιτούν την παρουσία οξυγόνου, το οποίο στον Τιτάνα απουσιάζει. Η κατανόηση από τους επιστήμονες του τρόπου σχηματισμού τους κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική, καθώς θα τους βο-

ηθήσει να διευρύνουν τις γνώσεις τους για την προέλευση της ίδιας της ζωής στον πλανήτη μας. Γιατί δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι, εξαιρουμένων των εντελώς διαφορετικών θερμοκρασιών, οι συνθήκες που επικρατούν σήμερα στον Τιτάνα θεωρούνται παραπλήσιες με αυτές που επικρατούσαν στην αρχέγονη Γη.

Ο δεύτερος μεγαλύτερος σε μέγεθος δορυφόρος του Κρόνου είναι η **Ρέα**, που ανακαλύφθηκε από τον Ιταλό αστρονόμο **Giovanni Cassini** (1625–1712), όπως εξάλλου και οι δορυφόροι Τηθύς, Διώνη και Ιαπετός. Με πυκνότητα ελάχιστα μεγαλύτερη απ' αυτήν του νερού, η Ρέα αποτελείται κατά τα τρία τέταρτα από καθαρό πάγο και κατά το υπόλοιπο από πετρώματα, που όμως δεν σχηματίζουν έναν βραχώδη πυρήνα στο κέντρο της, αλλά κατανέμονται ομοιόμορφα στο εσωτερικό της. Με θερμοκρασίες που στις περιοχές οι οποίες φωτίζονται από τον Ήλιο δεν υπερβαίνουν τους -174 °C, η επιφάνεια του παγωμένου αυτού κόσμου μπορεί να χωριστεί σε δύο διακριτές γεωλογικές περιοχές, ανάλογα με το μέγεθος των κρατήρων που περιέχουν. Η πρώτη είναι στιγματισμένη από κρατήρες με διάμετρο μεγαλύτερη των 40 km, ενώ στην δεύτερη, που περιλαμβάνει τις πολικές και ισημερινές περιοχές του δορυφόρου, οι κρατήρες έχουν διάμετρο μικρότερη των 40 km. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει



Η Ρέα, σε σύνθεση εικόνων από το Cassini
(φωτογρ. NASA/JPL/Space Science Institute).

Καλλιτεχνική αναπαράσταση της επιφάνειας του Τιτάνα
(φωτογρ. Steven Hobbs (Brisbane, Queensland, Australia)).

ότι κάποια στιγμή στην ιστορία του δορυφόρου ίσως να επήλθε ένας πλήρης ανασχηματισμός της επιφάνειάς του. Οι δύο μεγαλύτεροι κρατήρες που έχουν εντοπιστεί στην επιφάνεια της Ρέας, βρίσκονται στην πλευρά της που βλέπει μακριά από τον Κρόνο και έχουν διάμετρο 400 km και 500 km αντίστοιχα. Εκτός αυτού, στην πλευρά της που βλέπει προς την αντίθετη κατεύθυνση απ' αυτήν της τροχιακής της κίνησης, εντοπίστηκε ένα δίκτυο φωτεινών γραμμών, που σύμφωνα με τα δεδομένα του Cassini, πρέπει να είναι παγωμένα χάσματα και ρωγμές, τεκτονικής μάλλον προέλευσης.

Με διάμετρο 1.470 km, ο **Ιαπετός** είναι ο τρίτος μεγαλύτερος, αλλά και ένας από τους πιο παράξενους δορυφόρους του Κρόνου, ο οποίος αποτελείται κυρίως από πάγο, με μόλις ένα 20% της μάζας του να αντιστοιχεί σε πετρώματα. Το ηγούμενο ημισφαίριο του Ιαπετού, εκείνο δηλαδή που «βλέπει» προς την κατεύθυνση της κίνησής του γύρω από τον Κρόνο, καλύπτεται από ένα ιδιαίτερα σκοτεινό υλικό, ενώ το αντίθετο ημισφαίριο, καθώς και οι πόλοι του είναι 10 φορές φωτεινότεροι. Αυτή η εντυπωσιακή διαφορά μεταξύ των δύο ημισφαιρίων του Ιαπετού είχε απασχολήσει για αρκετά χρόνια τους επιστήμονες, απ' ό,τι φαίνεται όμως οφείλεται σ' ένα φαινόμενο που ονομάστηκε **θερμικός διαχωρισμός** και 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 σκοτεινό υλικό να απορροφήσει περισσότερη θερμότητα από τον Ήλιο και να θερμανθεί, σε αντίθεση με τις φωτεινότερες περιοχές του Ιαπε-

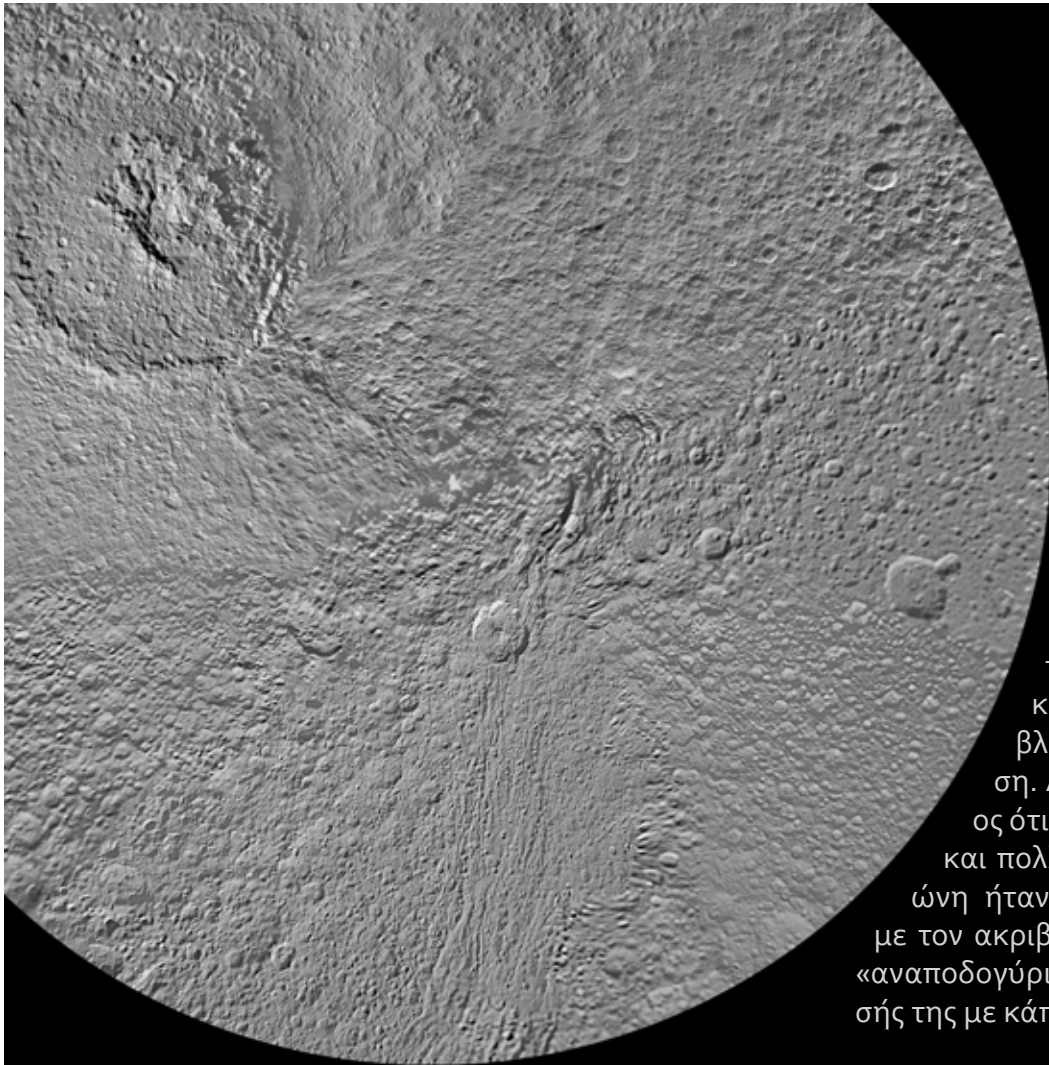
τού. Καθώς, λοιπόν, οι σκοτεινές αυτές περιοχές θερμαίνονται, οι παγωμένες πτητικές ενώσεις που εμπεριέχουν εξαχνώνονται, μετατρέπονται δηλαδή απευθείας σε αέρια, διαφεύγοντας έτσι προς τις πιο κρύες περιοχές του Ιαπετού. Εκεί, παγώνουν εκ νέου και εναποτίθενται σ' αυτές, με αποτέλεσμα οι σκοτεινές περιοχές του Ιαπετού να γίνονται σκοτεινότερες και οι φωτεινές του περιοχές φωτεινότερες.

Ο Ιαπετός, σε αντίθεση με τους περισσότερους μεγάλους δορυφόρους του Ηλιακού Συστήματος που έχουν σφαιρικό σχήμα, έχει πιο πεπλατυσμένους πόλους και εξογκωμένο ισημερινό, τον οποίο διατρέχει μια τεράστια οροσειρά μήκους 1.300 km, πλάτους 20 km και ύψους 13 km, με επιμέρους κορυφές που αγγίζουν ακόμη και τα 20 km σε ύψος. Όμως, παρόλο που έχουν διατυπωθεί αρκετές ερμηνείες για τον τρόπο με τον οποίο σχηματίστηκε η οροσειρά αυτή, καμία μέχρι στιγμής δεν έχει τύχει της καθολικής αποδοχής των αστρονόμων. Χάρη στις εικόνες που ελήφθησαν από την διαστημοσυσκευή Cassini, γνωρίζουμε τέλος ότι η επιφάνεια του Ιαπετού είναι καλυμμένη από έναν μεγάλο αριθμό κρατήρων, πέντε εκ των οποίων έχουν διάμετρο μεγαλύτερη των 350 km, ενώ ο μεγαλύτερος έχει διάμετρο που αγγίζει τα 580 km.

Ο τέταρτος μεγαλύτερος σε μέγεθος δορυφόρος του Κρόνου είναι η **Διώνη**. Έχοντας παραπλήσια επιφανειακά χαρακτηριστικά με τη Ρέα, η Διώνη αποτελείται από έναν βραχώδη πυρήνα, που καταλαμβάνει το 1/3 της μάζας της, ενώ το υπόλοιπο είναι σχεδόν καθαρός πάγος. Οι ρωγμές και τα φαράγγια, που εντοπίστηκαν στην επιφάνειά

Ο Ιαπετός
(φωτογρ. NASA/JPL/Space Science Institute).





Στερεογραφικός χάρτης του θόρειου ημισφαιρίου της Τηθύος, στο οποίο διακρίνεται ο τεράστιος κρατήρας Οδυσσέας (φωτογρ. NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute).

την κατεύθυνση της τροχιακής του κίνησης, έχει λίγους σχετικά κρατήρες, σε αντίθεση με αυτό που βλέπει προς την αντίθετη κατεύθυνση. Λογικά, όμως, θα περίμενε κάποιος ότι θα συνέβαινε το αντίθετο, γι' αυτό και πολλοί αστρονόμοι εικάζουν ότι η Διώνη ήταν αρχικά «βαρυτικά κλειδωμένη» με τον ακριβώς αντίθετο προσανατολισμό και «αναποδογύρισε» ως αποτέλεσμα της σύγκρουσής της με κάποιον αστεροειδή.

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 και η Ρέα. 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, με αποτέλεσμα τμήματα της επιφάνειάς της να διατηρήθηκαν ρευ-

στά για περισσότερο χρόνο, εξαφανίζοντας έτσι ορισμένα από τα προγενέστερα χαρακτηριστικά τους. Εκτός, όμως, από τους κρατήρες, πολλοί απ' τους οποίους έχουν διάμετρο που υπερβαίνει τα 40 km, στην επιφάνειά της διακρίνονται και χαρακτηριστικά τεκτονικής προέλευσης, όπως ρωγμές και χάσματα. Τα μεγαλύτερα επιφανειακά χαρακτηριστικά της Τηθύος είναι 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. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι το χάσμα αυτό έχει σχηματιστεί στην αντιδιαμετρική ως προς τον κρατήρα πλευρά του δορυφόρου, οι επιστήμονες αρχικά θεωρούσαν ότι οι δυνάμεις που διάνοιξαν το Χάσμα της Ιθάκης οφείλονται στα κρουστικά κύματα, τα οποία δημιουργήθηκαν κατά την πρόσκρουση που σχημάτισε τον κρατήρα Οδυσσέα. Ο υπολογισμός, όμως, της ηλικίας των δύο αυτών περιοχών, που επιτεύχθηκε με την καταμέτρηση του αριθμού των κρατήρων που περιέχουν, υποδεικνύει ότι το Χάσμα της Ιθάκης είναι μεγαλύτερης ηλικίας από τον κρατήρα Οδυσσέα. Σύμφωνα με μια εναλλακτική θεωρία, το χάσμα αυτό σχηματίστηκε αφότου στερεοποιήθηκε ο πάγος στην επιφάνεια της Τηθύος, ο οποίος όμως στην συνέχεια ράγισε, όταν το υποκείμενο νερό πάγωσε κι αυτό και κατά συνέπεια διεστάλη.

Ο **Εγκέλαδος** ανακαλύφθηκε το 1789 από τον Γερμανό αστρονόμο **William Herschel** (1738–1822) και η επιφάνειά του αποτελείται σχεδόν αποκλειστικά από καθαρό πάγο, ο οποίος ανακλά σχεδόν το σύνολο της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει πάνω του, με αποτέλεσμα να κατατάσσεται ανάμεσα στους πιο παγωμένους δορυφόρους, με επιφανειακή θερμοκρασία -201°C . Παρά την μικρή του διάμετρο που δεν υπερβαίνει τα 500 km, ο Εγκέλαδος είναι ένα από τα πιο ενδιαφέροντα ουράνια σώματα του Ηλιακού μας Συστήματος. Χάρη στην ανάλυση των δεδομένων του Cassini, οι αστρονόμοι ανακάλυψαν ότι ο Εγκέλαδος περιβάλλεται από μια 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, αν και την υποπτεύονταν οι αστρονόμοι εδώ και καιρό, την έδωσαν οριστικά τα δεδομένα που συνέλεξε το Cassini, το οποίο ανακάλυψε ότι ο παγωμένος αυτός κόσμος διαθέτει τουλάχιστον 100 πίδακες γκέιζερ. Οι πίδακες αυτοί είναι συγκεντρωμένοι στον νότιο πόλο του δορυφόρου και εκτινάσσουν παγωμένους υδρατμούς και άλλες πτητικές ενώσεις με ταχύτητα 400 m/s. Αυτά τα «κρυο-ηφαίστεια» ανανεώνουν διαρκώς την επιφάνεια του

της από το Voyager 1 και επιβεβαιώθηκαν από το Cassini, έχουν μήκος αρκετών δεκάδων έως και εκατοντάδων χιλιομέτρων, ενώ η ύπαρξή τους υποδηλώνει ότι η Διώνη κατά το παρελθόν της διέθετε τεκτονική δραστηριότητα, η οποία όμως έχει σταματήσει προ πολλού. Επιπλέον, η Διώνη βρίσκεται σε τροχιακό συντονισμό με τον Εγκέλαδο, συμπληρώνοντας μία τροχιά γύρω από τον Κρόνο στον ίδιο χρόνο που ο Εγκέλαδος συμπληρώνει δύο. Το ηγούμενο ημισφαίριο του δορυφόρου, το ημισφαίριο δηλαδή που βλέπει προς

Πίδακες παγωμένων υδρατμών στον νότιο πόλο του Εγκέλαδου (φωτογρ. NASA/JPL/SSI; Mosaic: Emily Lakdawalla).



Καλλιτεχνική αναπαράσταση του Cassini, καθώς διέρχεται πάνω από την επιφάνεια του Εγκέλαδου (φωτογρ. Copyright 2008 Karl Kofoed).

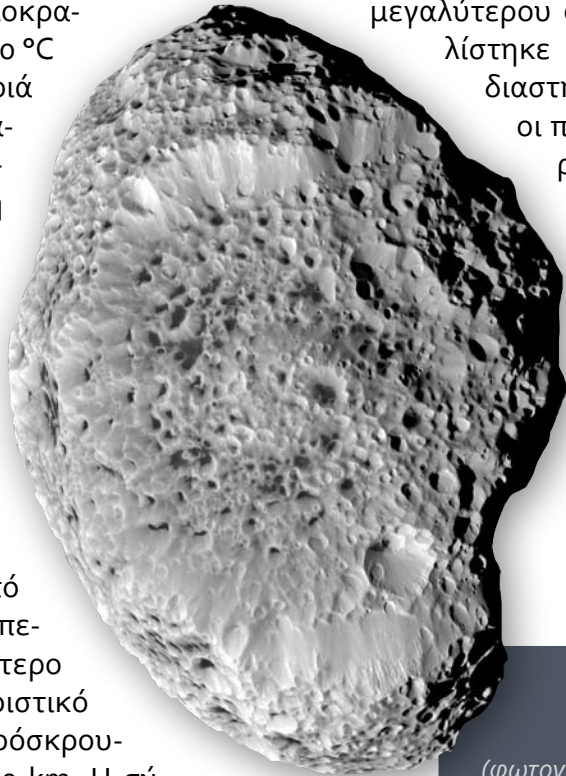
Εγκέλαδου, δημιουργώντας γύρω του μία άλω παγωμένης πάχνης, μέρος της οποίας εναποτίθεται στην επιφάνειά του, ενώ τα μικρότερα παγωμένα σωματίδια διαφεύγουν από τη βαρυτική του έλξη, τροφοδοτώντας με υλικά τον δακτύλιο E του Κρόνου.

Οι πίδακες γκείζερ καταδεικνύουν ότι μέρος τουλάχιστον από το εσωτερικό του Εγκέλαδου πρέπει να βρίσκεται σε ρευστή κατάσταση, παρόλο που εξαιτίας του μικρού του μεγέθους ο δορυφόρος αυτός θα έπρεπε να έχει ήδη παγώσει προ πολλού. Όπως, μάλιστα, ανακοίνωσε η NASA τον Σεπτέμβριο του 2015, στο εσωτερικό του δορυφόρου εκτείνεται ένας τεράστιος ωκεανός νερού σε υγρή μορφή ο οποίος δεν περιορίζεται μόνο στην περιοχή του νότιου πόλου του, αλλά εκτείνεται παντού, σχηματίζοντας μια σφαιρική στοιβάδα που διαχωρίζει τον φλοιό από τον πυρήνα του. Οι φυσικοί μηχανισμοί που διατηρούν τον ωκεανό αυτό σε υγρή κατάσταση παραμένουν προς το παρόν αδιευκρίνιστοι, αν και οι αστρονόμοι εικάζουν ότι θα πρέπει να οφείλονται στο φαινόμενο της παλιρροϊκής θέρμανσης. Ούτε, όμως, ο τρόπος με τον οποίο ενεργοποιούνται οι παγωμένοι πίδακες του Εγκέλαδου είναι ακόμη απολύτως κατανοητός. Σύμφωνα, πάντως, με μια εκδοχή, οι πίδακες αυτοί τροφοδοτούνται από τον υπόγειο ωκεανό διαμέσου ρωγμών που μεταφέρουν νερό προς την επιφάνειά του, το οποίο εξαιτίας των ιδιαίτερα χαμηλών θερμοκρασιών και πιέσεων μετατρέπεται απευθείας σε πάγο.

Πρόσφατα, μάλιστα, επιστήμονες 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. Πραγματικά, σύμφωνα με μία από τις θεωρίες που έχουν προταθεί για την προέλευση της ζωής στην Γη, οι πρωταρχικές μορφές ζωής του πλανήτη μας εμφανίστηκαν σε υδροθερμικές αναβλύσεις στον πυθμένα των ωκεανών. Εκεί, σε θερμοκρασίες που υπερβαίνουν τους 100 °C και σε τεράστιες πιέσεις, μακριά από τον ζωοδότη Ήλιο, δηλαδή σε ένα περιβάλλον εντελώς εχθρικό για την ανάπτυξη κάθε ζωής, όπως νομίζαμε πρόσφατα, έχουν ήδη εντοπιστεί αποικίες βακτηρίων.

Ο Μίμας, τέλος, ανακαλύφθηκε κι αυτός το 1789 από τον Herschel και, όπως οι περισσότεροι δορυφόροι στους οποίους αναφερθήκαμε, αποτελείται κι αυτός από πάγο με ένα μικρό ποσοστό πετρωμάτων. Το εντυπωσιακότερο επιφανειακό του χαρακτηριστικό είναι ο τεράστιος κρατήρας πρόσκρουσης **Herschel**, με διάμετρο 130 km. Η σύγκρουση, μάλιστα, που τον δημιούργησε ήταν τόσο σφοδρή, ώστε τα κρουστικά κύματα διέσχισαν τον δορυφόρο, προκαλώντας ρωγμές στην αντιδιαμετρική του πλευρά.



Τέλος, ένας ακόμη δορυφόρος του Κρόνου, στον οποίο αξίζει να αναφερθούμε είναι ο **Υπερίωνας**, που ανακαλύφθηκε το 1848. Έχοντας ανώμαλο σχήμα, χαοτική περιστροφή και παράξενα πορώδη εμφάνιση που θυμίζει σπόγγο, ο Υπερίωνας είναι ένας ακόμα από τους παράξενους κόσμους του Ηλιακού μας Συστήματος. Παρόλο που ο δορυφόρος αυτός έχει μόλις το 15% της μάζας του Μίμα, ο μεγαλύτερος κρατήρας στην επιφάνειά του έχει διάμετρο 120 km και βάθος 10 km, ενώ εικάζεται ότι αποτελεί το θραύσμα ενός αρκετά μεγαλύτερου ουράνιου σώματος που διαμελίστηκε εξαιτίας μιας κατακλυσμιαίας διαστημικής σύγκρουσης. Όπως και οι περισσότεροι από τους δορυφόρους του Κρόνου, ο Υπερίωνας αποτελείται κατά κύριο λόγο από πάγο, με μικρές ποσότητες πετρωμάτων, ενώ χάρη στα δεδομένα του Cassini γνωρίζουμε ότι περίπου το 40% του δορυφόρου αυτού είναι κενό ◀

Ο Υπερίωνας σε εικόνα που ελήφθη από το Cassini το 2005 (φωτογρ. NASA/JPL/Space Science Institute).

5.

Η Εξερεύνηση του Δία και του Κρόνου

Οι διαστημικές αποστολές που σχεδιάστηκαν για την εξερεύνηση των αέριων γιγάντων του Ηλιακού μας Συστήματος είναι ελάχιστες. Εάν, δηλαδή, εξαιρέσουμε τις διαστημοσυσκευές Cassini, New Horizons και Ulysses, που συνέλεξαν κάποια δεδομένα για τον Δία στο ταξίδι τους προς τον Κρόνο, τον Πλούτωνα και τον Ήλιο αντίστοιχα, μόλις πέντε μέχρι στιγμής σχεδιάστηκαν αποκλειστικά για την εξερεύνηση του Δία και μόνο τέσσερις για την εξερεύνηση του Κρόνου. Η αρχή έγινε στις 2 Μαρτίου 1972, όταν εκτοξεύθηκε το **Pioneer 10** της NASA, η πρώτη διαστημοσυσκευή που σχεδιάστηκε, προκειμένου να διέλθει δίπλα από τον Δία, αλλά και να επιβιώσει στο περιβάλλον υψηλής ακτινοβολίας που τον περιβάλλει.

Καλλιτεχνική αναπαράσταση
του Pioneer 10
(φωτογρ. Don Davis, NASA Ames).

Στην διάρκεια της αποστολής του, το Pioneer 10 συνέλεξε δεδομένα για την ατμόσφαιρα του Δία και μας έστειλε φωτογραφίες του πλανήτη και ορισμένων δορυφόρων του, όπως της Καλλιστώ, του Γανυμήδη και της Ευρώπης. Η τελευταία επικοινωνία με την διαστημοσυσκευή επιτεύχθηκε τον Ιανουάριο του 2003 και αυτή την στιγμή, παρόλο που δεν γνωρίζουμε την ακριβή της θέση, πρέπει να βρίσκεται σε απόσταση περίπου 110 AM από την Γη, κινούμενη προς τις παρυφές του Ηλιακού Συστήματος. Στην πορεία της προς τον Κρόνο, η διαστημοσυσκευή **Pioneer 11** ήταν η δεύτερη διαστημοσυσκευή που πέρασε δίπλα από τον Δία, η οποία μάλιστα κατάφερε να τον προσεγγίσει στο ένα τρίτο της απόστασης που τον είχε προσεγγίσει το Pioneer 10. Το Pioneer 11 εκτοξεύθηκε στις 6 Απριλίου 1973, προκειμένου να μελετήσει την Ζώνη των Αστεροειδών, τον Δία και τον Κρόνο, καθώς και τον ηλιακό άνεμο και τις κοσμικές ακτίνες. Χάρη στις εικόνες που μας έστειλε, καταφέραμε να δούμε για πρώτη φορά τις πολικές περιοχές του Δία, ενώ κατέγραψε και σημαντικές μεταβολές στην μαγνητόσφαιρα που τον περιβάλλει, οι οποίες οφείλονται στην αλληλεπίδρασή της με τον ηλιακό άνεμο. Συνεχίζοντας το διαστημικό του ταξίδι, το Pioneer 11 διήλθε από το πλανητικό σύστημα του Κρόνου την 1^η Σεπτεμβρίου 1979. Ανάμεσα στις ανακαλύψεις του συγκαταλέγονται ο δακτύλιος F, ο υπολογισμός της μέσης θερμοκρασίας του στους -180 °C, που υποδήλωνε ότι ο πλανήτης αυτός εκπέμπει 2,5 φορές περισσότερη θερμότητα απ' όση προσλαμβάνει από τον Ήλιο, καθώς και ένας νέος δορυφόρος. Η τελευταία επικοινωνία μας με το Pioneer 11 επιτεύχθηκε στις 30 Σεπτεμβρίου 1995, ενώ οι δύο αυτές διαστημοσυσκευές ήταν

οι πρώτες που μετέφεραν στο Διάστημα ένα μήνυμα της ανθρωπότητας, καταγεγραμμένο σε μεταλλικές πλάκες.

Την σκυτάλη της εξερεύνησης των γιγάντιων πλανητών ανέλαβαν στην συνέχεια οι θρυλικές διαστημοσυσκευές Voyager. Το **Voyager 1** εκτοξεύτηκε στις 5 Σεπτεμβρίου 1977, 16 ημέρες μετά το Voyager 2, το οποίο και προσπέρασε λίγους μήνες αργότερα κοντά στη Ζώνη των Αστεροειδών, με προορισμό τον Δία και στη συνέχεια τον Κρόνο.

Το **Voyager 2**, από την άλλη, είχε ως στόχο την εξερεύνηση του Ουρανού και του Ποσειδώνα, παραμένοντας μέχρι σήμερα το μοναδικό διαστημικό σκάφος που έχει επισκεφθεί τους δύο αυτούς απομακρυσμένους πλανήτες. Τα επιστημονικά επιτεύγματα που βασίστηκαν στις ανακαλύψεις των δύο αυτών ταξιδευτών του Διαστήματος είναι πολλά για να παρουσιαστούν εδώ διεξοδικά. Επιγραμματικά ωστόσο αξίζει να αναφέρουμε ότι το Voyager 1, σε λίγες μόνο ημέρες, κατάφερε να μας παρουσιάσει μια εντελώς νέα εικόνα για τον μεγαλύτερο πλανήτη του Ηλιακού Συστήματος. Κατέγραψε, για παράδειγμα, βίαιες θύελλες και αστραπές στην ατμόσφαιρά του και επιβεβαίωσε ότι περιβάλλεται από μαγνητικό πεδίο. Ανακάλυψε ακόμα ότι ο Δίας διαθέτει και αυτός ένα σύστημα δακτυλίων, εντελώς διαφορετικό όμως από αυτό του Κρόνου, καθώς και τρεις νέους δορυφόρους του. Εκτός αυτού, ο εντοπισμός εννέα ενεργών ηφαιστειών στην Ιώ μάς έδωσε 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 Καλλιστώ.

Επόμενος σταθμός για την διαστημική αποστολή του Voyager 1 ήταν ο Κρόνος, τον οποίο προσπέρασε στις 12 Νοεμβρίου 1980. Κατά την διέλευσή του από την γειτονιά του Κρόνου, το Voyager 1 ανακάλυψε τρεις ακόμη δορυφόρους του, τον Προμηθέα και την Πανδώρα, που με την βαρυτική τους έλξη συμβάλλουν ώστε ο δακτύλιος F να διατηρεί την συνοχή του, καθώς και τον Άτλαντα. Εκτός αυτού, με τα δεδομένα που συνέλεξε από τον Τιτάνα διαπιστώθηκε για πρώτη φορά ότι ο δορυφόρος αυτός περιβάλλεται από πυκνή ατμόσφαιρα, αποτελούμενη κατά κύριο λόγο από άζωτο, όπως δηλαδή και ο πλανήτης μας, με επιφανειακή όμως πίεση 1,6 φορές μεγαλύτερη. Το γεγονός αυτό επέτρεψε στους αστρονόμους να παραλληλίσουν για πρώτη ίσως φορά τον αφιλόξενο αυτό κόσμο με την αρχέγονη Γη, εξαιρουμένων των εντελώς διαφορετικών θερμοκρασιών τους φυσικά. Το Voyager 1 μας έστειλε ακόμη πολλές εικόνες από τους δορυφόρους Μίμα, Εγκέλαδο, Τηθύ, Διώνη και Ρέα, ανακάλυψε τον δακτύλιο G και συνέλεξε πολλά ακόμη δεδομένα για την γενικότερη δομή των δακτυλίων του Κρόνου. Η επόμενη διαστημοσυσκευή που συνέβαλε στην εξερεύνηση αυτού του πλανήτη ήταν το Voyager 2, που τον προσέγγισε στην πλησιέστερη δυνατή απόσταση τον Αύγουστο του 1981. Με τις εκατοντάδες φωτογραφίες που μας έστειλε, κατάφερε να απεικονίσει με πολύ μεγαλύτερη ευκρίνεια τους δακτυλίους του και να ανακαλύψει αρκετούς ακόμη δευτερεύοντες δακτυλίους του.

Σήμερα, περίπου 38 χρόνια μετά την εκτόξευσή του και έχοντας απομακρυνθεί περισσότερα



Καλλιτεχνική αναπαράσταση του Voyager 1, καθώς εισέρχεται στον μεσοαστρικό χώρο του Γαλαξία μας (φωτογρ. NASA/JPL-Caltech).

από 20 δισ. km μακριά από την Γη, το Voyager 1 έχει την «τιμή» να είναι η πρώτη διαστημοσυσκευή που αφήνει πίσω της το Ηλιακό Σύστημα, ταξιδεύοντας ήδη μέσα στην απεραντοσύνη του μεσοαστρικού Διαστήματος. Οι αστρονόμοι που ελέγχουν το Voyager 1 υπολογίζουν ότι η διαστημοσυσκευή διαθέτει ακόμη αρκετή ενέργεια, ώστε να συνεχίσει να λειτουργεί μέχρι το 2020. Από τη στιγμή αυτή και μετά, θα αρχίσουν να κλείνουν ένα-ένα τα επιστημονικά του όργανα, ώσπου εντέλει, από το 2025 περίπου και μετά, το Voyager 1 θα συνεχίσει την διαστημική του περιπλάνηση, ακυβέρνητο πια και χωρίς να μας στέλνει άλλα δεδομένα. Εάν μάλιστα καταφέρει να επιβιώσει στο αφιλόξενο αυτό περιβάλλον, θα προσεγγίσει και άλλα άστρα στο απώτερο μέλλον, που θα έχουν, ίσως, δικά τους πλανητικά συστήματα. Το Voyager 2, αντιθέτως, επειδή ακολουθεί μια διαφορετική και μεγαλύτερη πορεία εντός του Ηλιακού μας Συστήματος δεν έχει ακόμη εξέλθει απ' αυτό.

Θα μπορούσαν άραγε αυτοί οι διαστημικοί «θαλασσοπόροι» να εντοπιστούν από κάποιον ανεπτυγμένο εξωγήινο πολιτισμό, εάν υποθέσουμε φυσικά ότι όντως υπάρχει τέτοιος στον Γαλαξία μας, αλλά και με την προϋπόθεση ότι

Ο επιχρυσωμένος δίσκος των Voyager (δεξιά) και το «εξώφυλλο» με τις κωδικοποιημένες πληροφορίες (φωτογρ. NASA).

τα δύο Voyager θα καταφέρουν να επιβιώσουν στο αφιλόξενο περιβάλλον του μεσοαστρικού Διαστήματος; Οι ερευνητές που σχεδίασαν τις αποστολές των Voyager δίνουν καταφατική απάντηση σ' αυτό το ερώτημα. Γι' αυτό εξάλλου εξόπλισαν κάθε Voyager με έναν χάλκινο επιχρυσωμένο δίσκο 12 ιντσών, στον οποίο είναι καταγεγραμμένο ένα μήνυμα της ανθρωπότητας προς κάθε άλλη νοημοσύνη, που πιθανόν υπάρχει εκεί έξω. Στους επιχρυσωμένους δίσκους των δύο Voyager έχουν καταγραφεί ήχοι και εικόνες από τη Γη, όπως καλωσορίσματα σε 55 γλώσσες, ήχοι της φύσης και αποσπάσματα 27 μουσικών συνθέσεων, καθώς επίσης και η θέση μας στον Γαλαξία και στο Ηλιακό μας Σύστημα. Στους δίσκους αυτούς έχει τοποθετηθεί από μία ραδιενεργή πηγή, η οποία θα επιτρέψει σ' εκείνον που πιθανώς τους ανακαλύψει να υπολογίσει το χρονικό διάστημα που μεσολάβησε από την εκτόξευσή τους. Το περιεχόμενο του μηνύματος αυτού επιλέχθηκε από επιτροπή της NASA με επικεφαλής τον Αμερι-



Καλλιτεχνική αναπαράστασή της αποσύνδεσης του ανιχνευτή από την διαστημοσυσκευή Galileo (φωτογρ. Don Davis, NASA).

κανό αστρονόμο **Carl Sagan** (1934–1996). Όπως δήλωσε χαρακτηριστικά ο ίδιος ο Sagan «η διαστημοσυσκευή θα εντοπιστεί και το μήνυμα θα διαβαστεί μόνο στην περίπτωση που όντως υπάρχουν άλλοι ανεπτυγμένοι πολιτισμοί, θαλασσοπόροι του Διαστήματος, στο μεσοαστρικό Διάστημα. Η εκτόξευση όμως αυτής της μπουκάλας στον κοσμικό ωκεανό έχει να πει κάτι ιδιαίτερα ελπιδοφόρο για τη ζωή σε αυτόν τον πλανήτη».

Η διαστημοσυσκευή **Galileo**, που εκτοξεύθηκε τον Οκτώβριο του 1989 και έφτασε στον Δία έξι χρόνια αργότερα, ήταν η πρώτη που τέθηκε σε τροχιά γύρω του. Ανάμεσα στις σημαντικότερες ανακαλύψεις της περιλαμβάνονται οι ζώνες ακτινοβολίας του Δία, η παραπλήσια με τον Ήλιο περιεκτικότητά του σε ήλιο, η εντυπωσιακή ανανέωση της επιφάνειας της Ιούς από την ηφαιστειακή δραστηριότητα στο χρονικό διάστημα που

μεσολάβησε από την μελέτη του δορυφόρου αυτού από τα δύο Voyager και ισχυρές ενδείξεις για την ύπαρξη ενός υπόγειου ωκεανού στην Ευρώπη. Επιπλέον, το Galileo μετέφερε στον Δία και έναν μικρό ανιχνευτή, ο οποίος, προτού βυθιστεί στην πυκνή ατμόσφαιρά του και καταστραφεί από τις μεγάλες πιέσεις και θερμοκρασίες στο εσωτερικό του, κατάφερε να συλλέξει δεδομένα για τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιράς του, υπολογίζοντας μεταξύ άλλων την θερμοκρασία, την πίεση, την χημική της σύνθεση, καθώς και την ταχύτητα του ανέμου. Εκτός αυτού, το Galileo πραγματοποίησε πολλές διελεύσεις από τους τέσσερις μεγαλύτερους δορυφόρους του Δία, συλλέγοντας δεδομένα που οδήγησαν σε σημαντικές ανακαλύψεις, όπως ότι ο Γανυμήδης περιβάλλεται από το δικό του μαγνητικό πεδίο. Η αποστολή του Galileo ολοκληρώθηκε στις 21 Σεπτεμβρίου 2003, όταν οι ελεγκτές του από την

Γη μετέβαλαν την τροχιά του, οδηγώντας τον να καταστραφεί στο εσωτερικό του Δία.

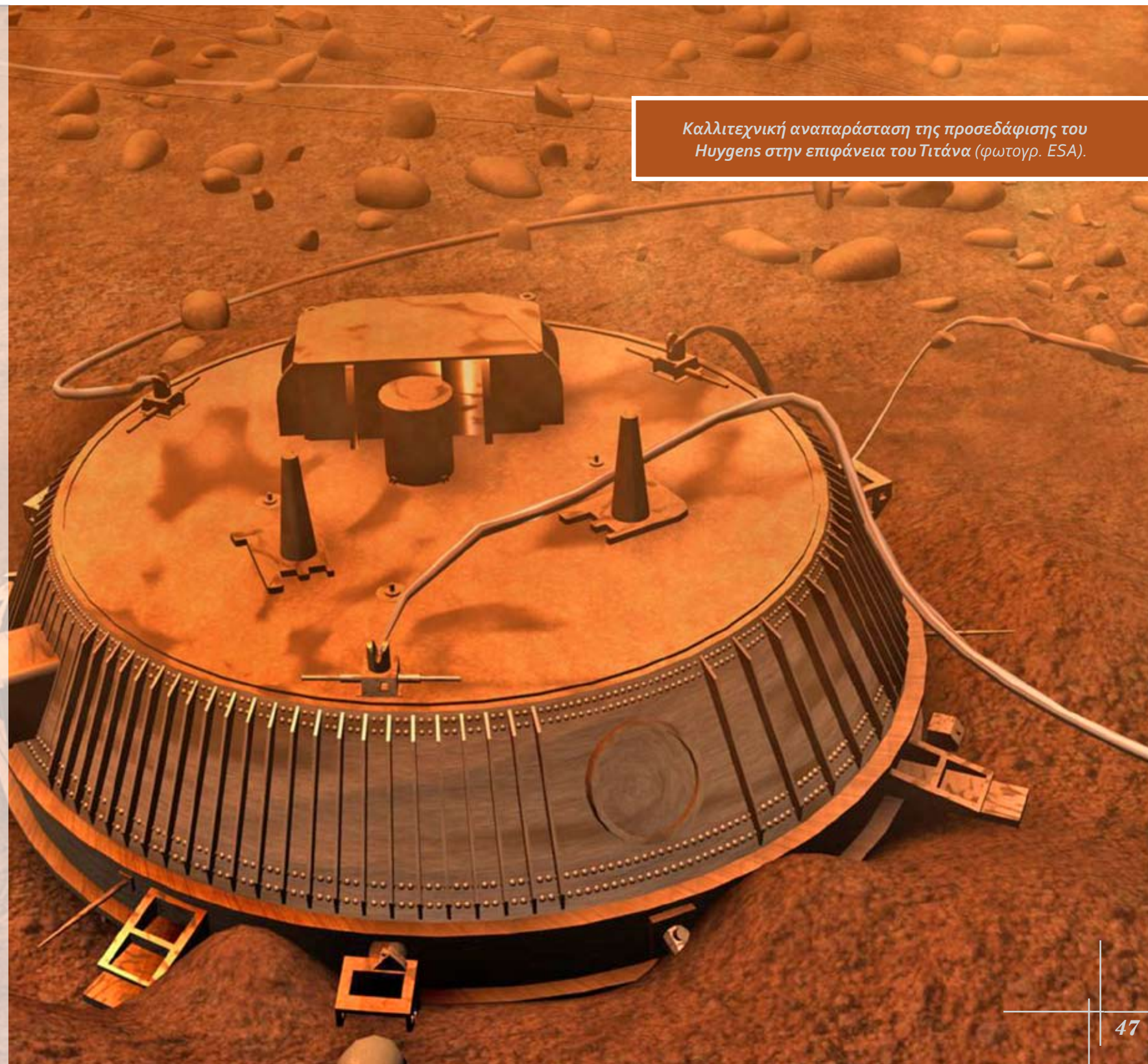
Το επόμενο ορόσημο στην εξερεύνηση του εξωτερικού Ηλιακού Συστήματος σηματοδοτήθηκε με την εκτόξευση της διαστημοσυσκευής **Cassini-Huygens** στις 15 Οκτωβρίου 1997 από το Ακρωτήριο Canaveral. Η διαστημική αυτή αποστολή, που συνέβαλε όσο καμία άλλη στην διαλεύκανση των μυστικών του Κρόνου, των δακτυλίων και των δορυφόρων του, ήταν το γέννημα μιας διεθνούς συνεργασίας της NASA, της ESA και της ISA, δηλαδή των Αμερικανικών, των Ευρωπαϊκών και των Ιταλικών διαστημικών υπηρεσιών αντίστοιχα, στην οποία συμμετέχουν 17 έθνη, περισσότεροι από 250 επιστήμονες και χιλιάδες τεχνικοί. Εφοδιασμένο με ακριβέστατα επιστημονικά όργανα και ισχυρότατες κάμερες, το Cassini-Huygens αποτελείται από το τροχιακό αστεροσκοπείο Cassini, το οποίο ακόμη και σήμερα παραμένει σε τροχιά γύρω από τον Κρόνο, καθώς και την διαστημική κάψουλα Huygens, η οποία κατάφερε να προσεδαφιστεί στον Τιτάνα. Καθώς, όμως, το βάρος της διαστημοσυσκευής ήταν απαγορευτικό για την απ' ευθείας προσέγγιση του Κρόνου με την υπάρχουσα τεχνολογία, οι αστρονόμοι σχεδίασαν την πορεία της, έτσι ώστε να περάσει πρώτα δίπλα από ορισμένους πλανήτες του Ηλιακού μας Συστήματος «δανειζόμενη» κάθε φορά και λίγη από την ενέργειά τους. Με τέτοιες «βαρυτικές ωθήσεις», αρχικά από την Αφροδίτη, στη συνέχεια από τη Γη και τέλος από τον Δία, το Cassini-Huygens τέθηκε σε τροχιά γύρω από τον Κρόνο την 1^η Ιουλίου 2004. Σχεδόν έξι μήνες αργότερα, στις 24 Δεκεμβρίου 2004, οι σταθμοί παρακολούθησης του Δικτύου

Βαθέος Διαστήματος της NASA στη Μαδρίτη και στο Γκόλντστοουν της Καλιφόρνια κατέγραψαν το μήνυμα ότι το Huygens αποσυνδέθηκε επιτυχώς από το Cassini, ξεκινώντας την ελεγχόμενη κάθοδό του με αλεξίπτωτο προς την παγωμένη επιφάνεια του Τιτάνα, όπου προσεδαφίστηκε στις 14 Ιανουαρίου 2005.

Η τελευταία, μέχρι στιγμής, διαστημοσυσκευή που σχεδιάστηκε για την εξερεύνηση του Δία είναι το **Juno**, που εκτοξεύθηκε στις 5 Αυγούστου 2011 και αναμένεται να φτάσει στον προορισμό του τον Ιούλιο του 2016, οπότε και θα τεθεί σε τροχιά γύρω του για περίπου 1 έτος. Ενας από τους βασικούς στόχους της αποστολής είναι να προσδιοριστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η χημική σύνθεση του Δία και κυρίως η περιεκτικότητα της ατμόσφαιράς του σε νερό και αμμωνία, καθώς και να μετρηθεί η θερμοκρασία και οι άλλες φυσικοχημικές της ιδιότητες σε μεγαλύτερα βάθη. Επιπλέον, το Juno θα μετρήσει το μαγνητικό πεδίο του πλανήτη, βοηθώντας τους επιστήμονες να μελετήσουν τη μαγνητόσφαιρά του, αλλά και να διερευνήσουν τον τρόπο με τον οποίο το μαγνητικό του πεδίο επηρεάζει την ατμόσφαιρά του.

Εκτός αυτού, η ανάλυση των δεδομένων που θα συλλέξει, θα βοηθήσει τους αστρονόμους να αποφανθούν εάν τελικά ο Δίας διαθέτει στο εσωτερικό του συμπαγή πυρήνα, αλλά και να υπολογίσουν την μάζα του. Παράλληλα, τα δεδομένα αυτά, θα τους επιτρέψουν να εξάγουν συμπεράσματα, όχι μόνο για τα πρώτα στάδια σχηματισμού του, αλλά και για τα πρώτα στάδια εξέλιξης του πρώιμου Ηλιακού Συστήματος. Σύμφωνα με τα όσα γνωρίζουμε, η δημιουργία του Ηλιακού Συστήματος

Καλλιτεχνική αναπαράσταση της προσεδάφισης του Huygens στην επιφάνεια του Τιτάνα (φωτογρ. ESA).



ξεκίνησε πριν από περίπου 4,6 δισεκατομμύρια χρόνια με την κατάρρευση ενός γιγάντιου νέφους αερίων και σκόνης, το μεγαλύτερο μέρος του οποίου κατέληξε στον νεογέννητο Ήλιο. Το γεγονός ότι ο Δίας αποτελείται κατά κύριο λόγο από υδρογόνο και ήλιο σημαίνει ότι ο πλανήτης αυτός σχηματίστηκε σχετικά γρήγορα, «αιχμαλωτίζοντας» με την βαρυτική του έλξη το μεγαλύτερο ποσοστό των αερίων που περίσσεψαν από τον σχηματισμό του Ήλιου. Το πώς ακριβώς συνέβη αυτό δεν είναι ακόμη γνωστό. Με τα δεδομένα όμως του Juno ίσως ανακαλύψουμε την απάντηση. Οι αστρονόμοι θα διερευνήσουν τα ερωτήματά αυτά, αξιοποιώντας τα δεδομένα που θα συλλέξει το Juno, το οποίο θα «χαρτογραφήσει» για τον σκοπό αυτόν το

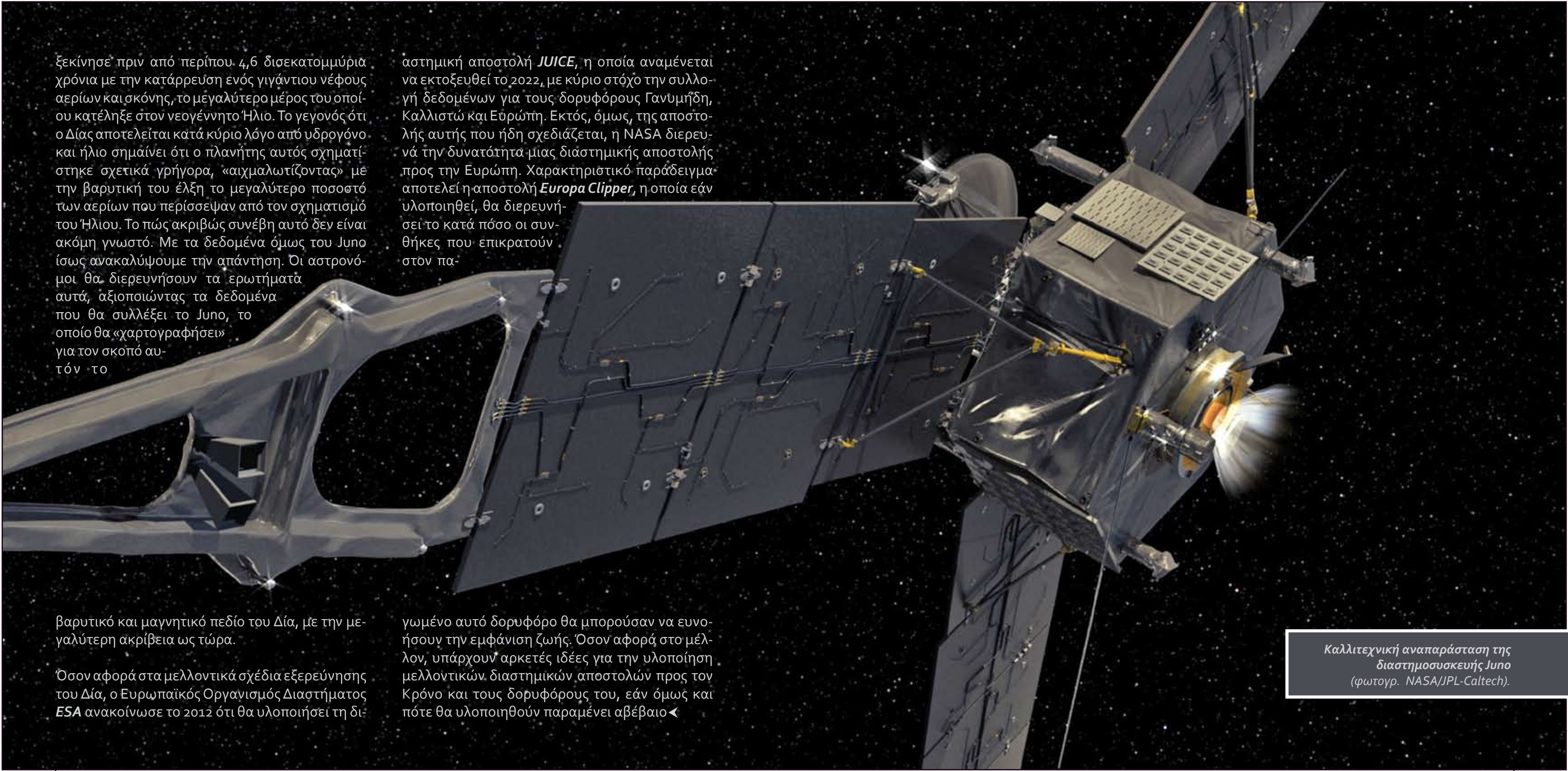
αστημική αποστολή **JUICE**, η οποία αναμένεται να εκτοξευθεί το 2022, με κύριο στόχο την συλλογή δεδομένων για τους δορυφόρους Γανυμήδη, Καλλιστώ και Ευρώπη. Εκτός, όμως, της αποστολής αυτής που ήδη σχεδιάζεται, η NASA διερευνά την δυνατότητα μιας διαστημικής αποστολής προς την Ευρώπη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η αποστολή **Europa Clipper**, η οποία εάν υλοποιηθεί, θα διερευνήσει το κατά πόσο οι συνθήκες που επικρατούν στον πα-

βαρυτικό και μαγνητικό πεδίο του Δία, με την μεγαλύτερη ακρίβεια ως τώρα.

Όσον αφορά στα μελλοντικά σχέδια εξερεύνησης του Δία, ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Διαστήματος **ESA** ανακοίνωσε το 2012 ότι θα υλοποιήσει τη δι-

γωμένο αυτό δορυφόρο θα μπορούσαν να ευνοήσουν την εμφάνιση ζωής. Όσον αφορά στο μέλλον, υπάρχουν αρκετές ιδέες για την υλοποίηση μελλοντικών διαστημικών αποστολών προς τον Κρόνο και τους δορυφόρους του, εάν όμως και τότε θα υλοποιηθούν παραμένει αβέβαιο ◀

Καλλιτεχνική αναπαράσταση της διαστημοσυσκευής Juno
(φωτογρ. NASA/JPL-Caltech).



6.

Οι Παγωμένοι Γίγαντες

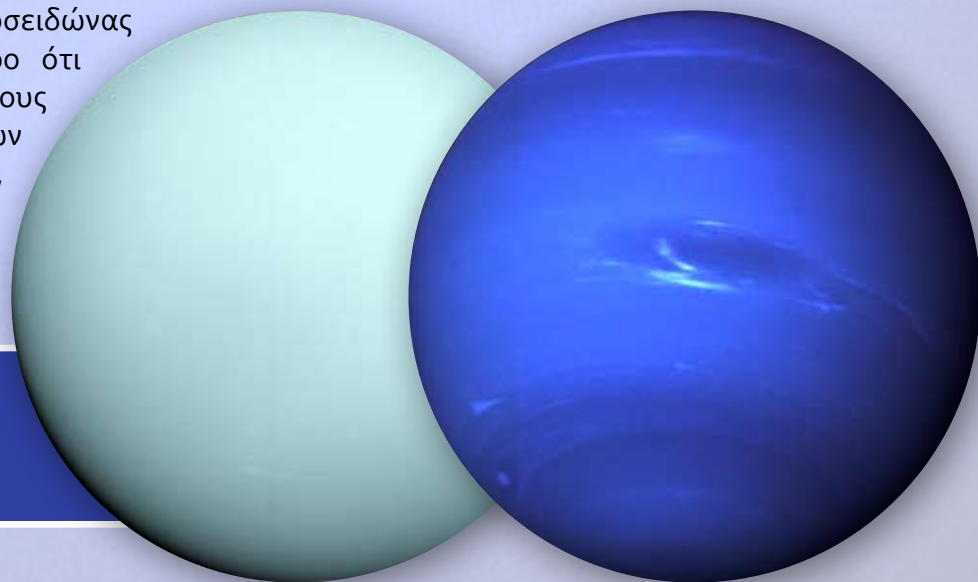
Πριν από 30 μόλις χρόνια οι περισσότεροι επιστήμονες θεωρούσαν ότι ο **Ουρανός** και ο **Ποσειδώνας**, οι δύο πιο απομακρυσμένοι πλανήτες του Ηλιακού μας Συστήματος, δεν ήταν παρά μικρότερες εκδοχές του Δία και του Κρόνου. Σήμερα, βέβαια, γνωρίζουμε ότι αυτό δεν ισχύει και ότι οι δύο αυτοί πλανήτες διαφέρουν σημαντικά από τους δύο αέριους γίγαντες. Όμως, παρόλο που οι γνώσεις μας γι' αυτούς έχουν διευρυνθεί αρκετά από τότε, ο Ουρανός και ο Ποσειδώνας δεν παύουν να είναι οι δύο πλανήτες, για τους οποίους γνωρίζουμε τα λιγότερα. Δεδομένου ότι μέχρι στιγμής μόνο η διαστημοσυσκευή Voyager 2 τους έχει επισκεφτεί, αυτό δεν είναι και τόσο παράξενο.

Ο Ουρανός, όπως απεικονίστηκε το
1986 από το Voyager 2
(φωτογρ. NASA/JPL/USGS).

Η σημαντικότερη, ίσως, διαφορά τους σε σχέση με τον Δία και τον Κρόνο είναι ότι, παρόλο που και η δική τους ατμόσφαιρα αποτελείται ως επί το πλείστον από υδρογόνο και ήλιο, εμπεριέχουν πολύ μεγαλύτερες ποσότητες πτητικών ενώσεων, όπως νερό, αμμωνία και μεθάνιο, στην παρουσία του οποίου οφείλεται εν μέρει και το γαλάζιο χρώμα τους. Σε αντίθεση, όμως, με το αχνότερο γαλάζιο του Ουρανού, το ζωηρόχρωμο μπλε του Ποσειδώνα υποδηλώνει και την ύπαρξη επιπλέον, αλλά άγνωστων προς το παρόν, ενώσεων. Κανονικά, σε τόσο μεγάλες αποστάσεις από τον Ήλιο, το νερό, το μεθάνιο και η αμμωνία θα έπρεπε να έχουν στερεοποιηθεί σε πάγους. Εξαιτίας, όμως, των μεγάλων πιέσεων και των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν στο εσωτερικό του Ουρανού και του Ποσειδώνα, οι ενώσεις αυτές σχηματίζουν έναν θερμό και παχύρρευστο «ωκεανό», ο οποίος περιβάλλει τον πυρήνα τους, που αποτελείται από πυριτιούχα πετρώματα και σίδηρο. Επειδή, μάλιστα, στην διεθνή αστρονομική ορολογία οι ενώσεις αυτές χαρακτηρίζονται ως «πάγοι», ο Ουρανός και ο Ποσειδώνας θεωρείται όλο και περισσότερο ότι αποτελούν μια διακριτή από τους αέριους γίγαντες ομάδα πλανητών του Ηλιακού μας Συστήματος, τους «παγωμένους γίγαντες».

Ο Ουρανός, ο οποίος ανακαλύφθηκε το 1781 από τον Γερμανό αστρονόμο **William Herschel**, είναι ο τέταρτος σε μάζα πλανήτης του Ηλιακού Συστήματος, με διάμετρο περίπου 4,5 φορές μεγαλύτερη απ' αυτήν της Γης. Ο Ουρανός βρίσκεται 20 ΑΜ μακριά από τον Ήλιο και συμπληρώνει μία πλήρη τροχιά γύρω του σε περίπου 84 χρόνια, ενώ μία περιστροφή γύρω από τον εαυτό του διαρκεί περίπου 17 ώρες. Πρόκειται για τον μοναδικό πλανήτη, του οποίου ο ισημερινός είναι σχεδόν κάθετος στην τροχιά του, ή για να το πούμε διαφορετικά, ο μοναδικός πλανήτης του οποίου ο άξονας περιστροφής είναι παράλληλος στο επίπεδο της τροχιάς του και της Εκλειπτικής. Εκτός αυτού, όμως, 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 μας Συστήματος.

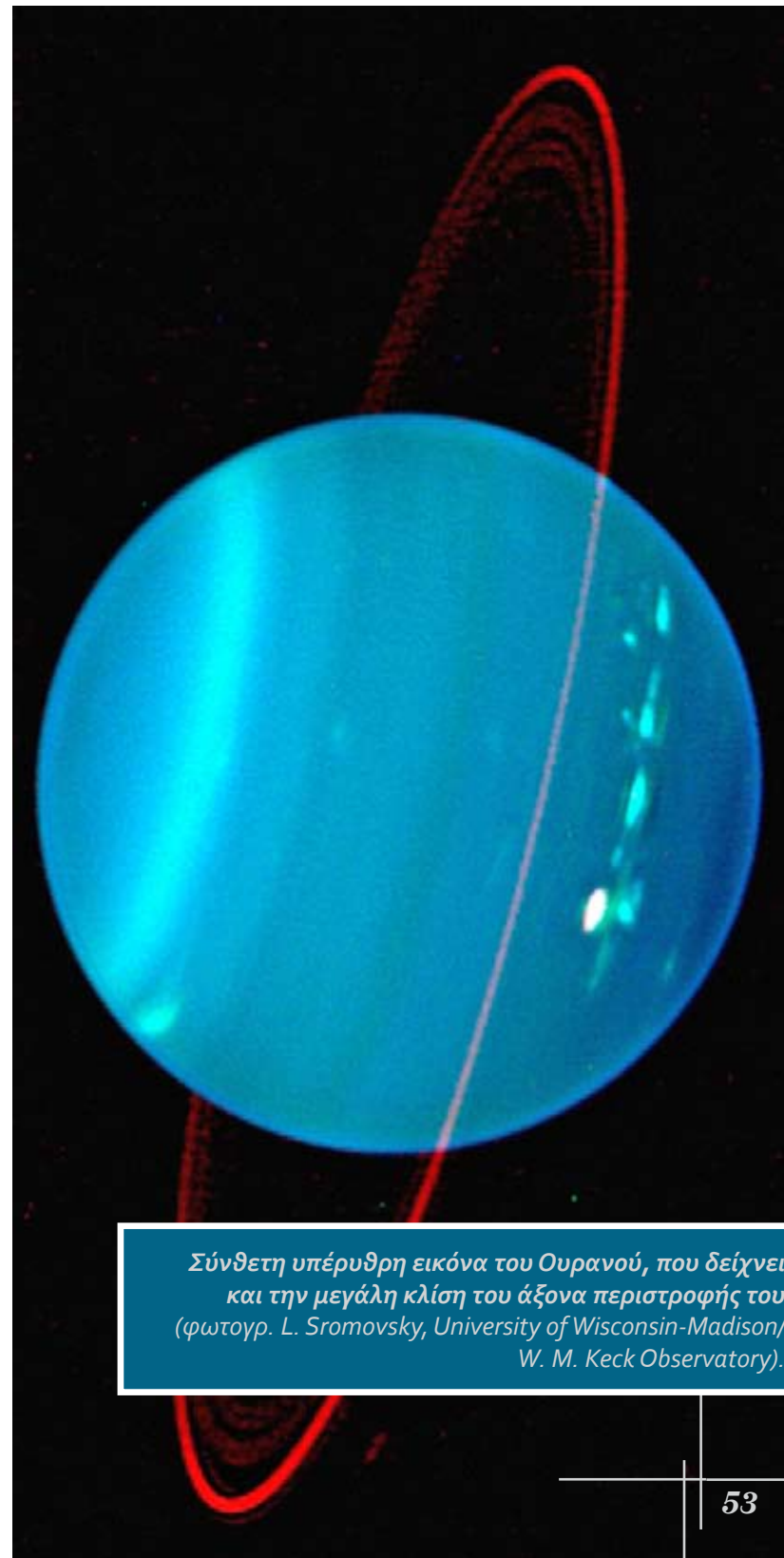
Το βαθύτερο μπλε του Ποσειδώνα οφείλεται στην ύπαρξη επιπλέον οργανικών ενώσεων πέραν του μεθανίου (φωτογρ. NASA/JPL-Caltech).



Ακριβώς εξαιτίας της μεγάλης κλίσης του άξονα περιστροφής του, οι πολικές περιοχές του Ουρανού δέχονται περισσότερο φως στην διάρκεια του έτους του απ' όσο οι περιοχές του ισημερινού του, γι' αυτό και θα περίμενε κάποιος ότι θα είναι κατά μέσο όρο θερμότερες. Περιέργως, όμως, συμβαίνει το αντίθετο, γεγονός που προς το παρόν παραμένει ανεξήγητο. Εκτός αυτού, η μεγάλη κλίση του άξονα περιστροφής του προκαλεί ακραίες εποχιακές εναλλαγές, αφού κάθε πόλος του πλανήτη στρέφεται για 21 ολόκληρα χρόνια προς τον Ήλιο, βυθίζοντας το αντίθετο ημισφαίριο στο σκοτάδι. Εξίσου ασυνήθιστο είναι και το μαγνητικό πεδίο του Ουρανού, 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 επαρκούν για την μετατροπή του υδρογόνου σε μεταλλικό. Γι' αυτό και οι περισσότεροι επιστήμονες θεωρούν ότι το μαγνητικό πεδίο του Ουρανού οφείλεται στο ρευστό στρώμα «πάγων» που περιβάλλει τον πυρήνα του, το οποίο καθίσταται ηλεκτρικά αγωγίμο, 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.

Ο Ουρανός περιβάλλεται από ένα διπλό σύστημα

Σύνθετη υπέρυθρη εικόνα του Ουρανού, που δείχνει και την μεγάλη κλίση του άξονα περιστροφής του (φωτογρ. L. Sromovsky, University of Wisconsin-Madison/W. M. Keck Observatory).



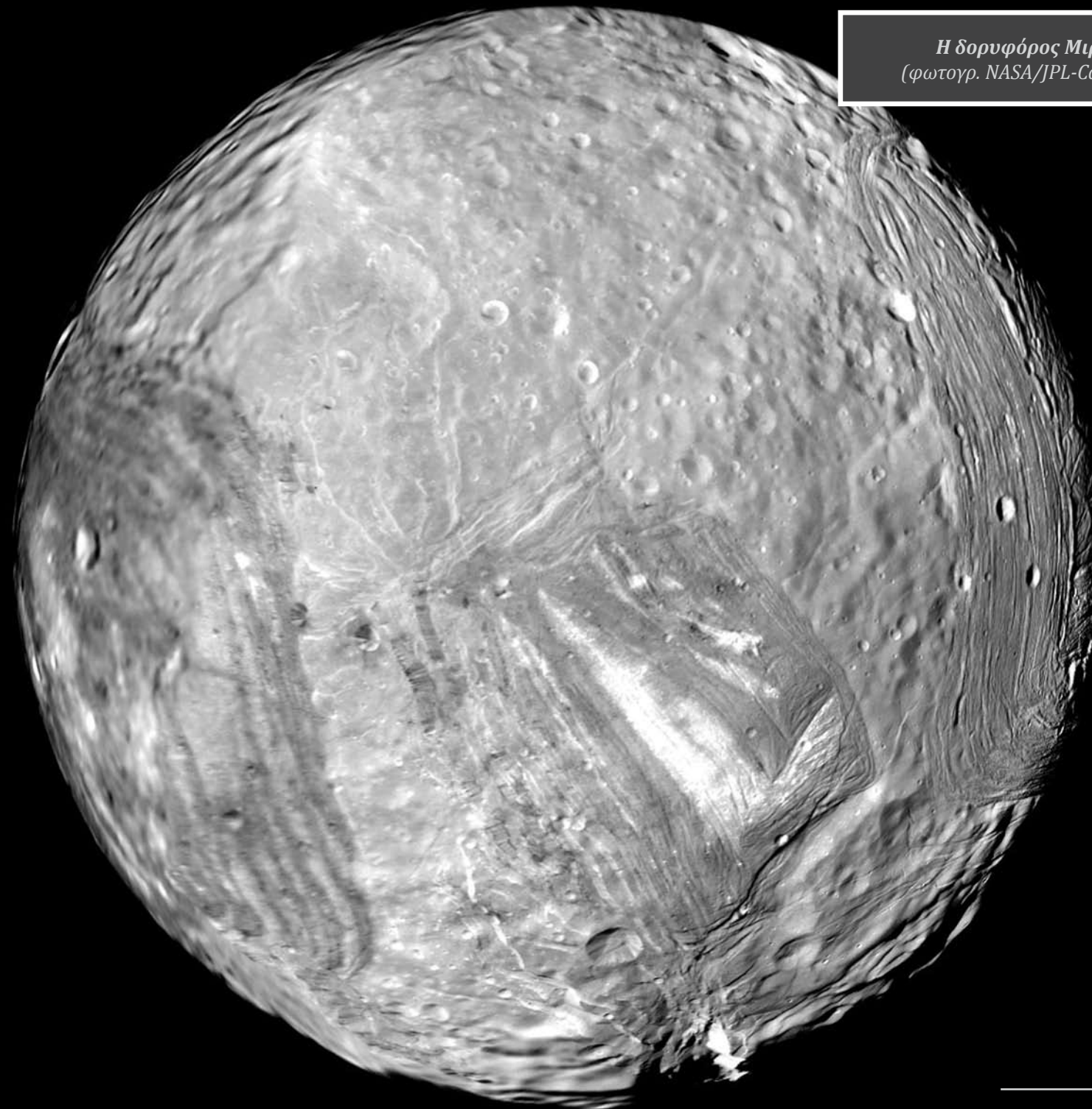
αχνών δακτυλίων. Το εσωτερικό σύστημα απαρτίζεται από 11 επιμέρους δακτυλίους, οι οποίοι αποτελούνται κυρίως από παγωμένα κομμάτια νερού και μεθανίου, καλυμμένα με ένα ιδιαίτερα σκοτεινό υλικό και με μέγεθος που φτάνει το 1m. Το εξωτερικό σύστημα των δακτυλίων του, από την άλλη, αποτελείται από δύο μόλις, αλλά ιδιαίτερα φωτεινούς, δακτυλίους και ανακαλύφθηκε το 2003 από το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble.

Σε αντίθεση με τους δορυφόρους των υπόλοιπων πλανητών του Ηλιακού Συστήματος, που δανείστηκαν τα ονόματά τους από την πλούσια 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 πέντε μεγαλύτεροι δορυφόροι κατά την σειρά της απόστασής τους από τον Ουρανό είναι η Μιράντα, ο Αριήλ, ο Ουμβριήλ, η Τιτάνια και ο Όμπερον. Σε τροχίες μικρότερες απ' αυτήν στην οποία κινείται η Μιράντα έχουν ανακαλυφθεί δεκατρείς ακόμη μικροί δορυφόροι, οι πολύπλοκες βαρυτικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των οποίων καθιστούν το εσωτερικό αυτό δορυφορικό σύστημα ασταθές. Γι' αυτό και προβλέπεται ότι σε εκατομμύρια χρόνια από σήμερα κάποιοι απ' αυτούς θα συγκρουστούν μεταξύ τους και θα διαμελιστούν, σχηματίζοντας ενδεχομένως ένα νέο σύστημα δακτυλίων. Σε αποστάσεις, τέλος, πολύ μεγαλύτερες από την τροχιά του Όμπερον, ανακαλύφθηκαν εννέα μικροσκοπικοί και ανώμαλοι δορυφόροι με ανάδρομες τροχίες μεγάλης κλίσης, οι όποιοι πρέπει να είναι αστεροειδείς, που αιχμαλωτίστηκαν από την βαρυτική έλξη του Ουρανού.

Με εξαίρεση την Μιράντα, οι μεγαλύτεροι δορυφόροι του Ουρανού αποτελούνται από ίσες περίπου ποσότητες πάγων και πετρωμάτων, ενώ ενδέχεται το εσωτερικό τους να έχει διαφοροποιηθεί σε έναν μικρό βραχώδη πυρήνα με έναν παγωμένο μανδύα. Οι επιφάνειες και των πέντε αυτών δορυφόρων είναι καλυμμένες από κρατήρες, οι οποίοι διαμορφώθηκαν από τις αμέτρητες πτώσεις αστεροειδών καθόλη την διάρκεια της γεωλογικής τους εξέλιξης, 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. Πραγματικά, το σύστημα αυτό των ρηγμάτων που εντοπίστηκε στην Τιτάνια εκτείνεται για χιλιάδες χιλιόμετρα και κατά πάσα πιθανότητα σχηματίστηκε όταν το κάποτε θερμό και ρευστό εσωτερικό της σταδιακά πάγωσε και διεστάλη, αναγκάζοντας την επιφάνειά της να «ραγίσει», δημιουργώντας τις ρωγμές που παρατηρούμε σήμερα.

Η **Μιράντα**, τέλος, είναι ένας ακόμη μοναδικός και παράξενος δορυφόρος του Ηλιακού μας Συστήματος. Με διάμετρο μόλις 500 km, η Μιράντα είναι ο μικρότερος και εσώτατος από τους κύριους δορυφόρους του Ουρανού και δεν φαίνεται να έχει το μέγεθος που απαιτείται, ώστε να διατηρήσει τεκτονική δραστηριότητα. Γι' αυτό και είναι δύσκολο να ερμηνευθούν κάποια από τα επιφανειακά της χαρακτηριστικά. Στην επιφάνειά της, για παράδειγμα, υπάρχουν περιοχές με λίγους κρατήρες, που καλύπτονται από

Η δορυφόρος Μιράντα
(φωτογρ. NASA/JPL-Caltech)



εκτεταμένα δίκτυα ρωγμών και κοιλάδων, οι οποίες είναι σαφώς οριοθετημένες σε σχέση με τις περιοχές που περιλαμβάνουν περισσότερους κρατήρες, ενώ ορισμένα από τα φαράγγια και τα ρήγματα που έχουν εντοπιστεί έχουν βάθος 12 φορές μεγαλύτερο απ' αυτό του Grand Canyon. Κάποιοι επιστήμονες, στην προσπάθειά τους να ερμηνεύσουν το παράξενο αυτό μωσαϊκό που συνθέτει την επιφάνειά της έφτασαν στο σημείο να προτείνουν ότι, δισεκατομμύρια χρόνια πριν, η Μιράντα διαμελίστηκε εξαιτίας μιας τεράστιας διαστημικής σύγκρουσης, τα κομμάτια της οποίας επανενώθηκαν στην συνέχεια μ' αυτόν τον χαρακτηριστικό τρόπο που είναι μοναδικός στο Ηλιακό μας Σύστημα. Το πιθανότερο, όμως, είναι ότι οι περιοχές αυτές διαμορφώθηκαν κατά την πρόσκρουση μεγάλων αστεροειδών, που έλιωσαν εν μέρει το παγωμένο υπέδαφος, επιτρέποντας στα λιωμένα υλικά να ξεχυθούν στην επιφάνειά της, όπου και πάγωσαν εκ νέου.

Περίπου 10 AM μακρύτερα από τον Ουρανό βρίσκεται ο Ποσειδώνας, ο όγδοος και πιο απομακρυσμένος πλανήτης από τον Ήλιο. Ο Ποσειδώνας είναι ο μοναδικός πλανήτης του Ηλιακού μας Συστήματος, 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 Αγγλος 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 μας Συστήματος αυξήθηκαν κατά έναν.

Ο Ποσειδώνας είναι ο μικρότερος, αλλά και ο πυκνότερος από τους τέσσερις 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, ενώ συμπληρώνει μία πλήρη περιφορά 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 Αρη, 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.

Ο Ποσειδώνας περιβάλλεται κι αυτός από αχνό σύστημα δακτυλίων, το οποίο αποτελείται από θραύσματα παγωμένου μεθανίου και σωματίδια σκόνης, που ίσως να προέρχονται από τα θραύσματα των συγκρούσεων μεταξύ δορυφόρων του. Οι δακτύλιοι του Ποσειδώνα, που εικάζεται ότι σχηματίστηκαν σχετικά πρόσφατα, χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένες περιοχές με αρκετά μεγαλύτερο πάχος από τις γειτονικές τους, οι οποίες αποτελούνται από σημαντικά με-

γαλύτερες ποσότητες σκόνης. Δεδομένου, όμως, ότι σύμφωνα με τους νόμους της Μηχανικής οι περιοχές αυτές θα έπρεπε σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα να έχουν καταναείμει τη μάζα τους ομοιόμορφα περιμετρικά των δακτυλίων, η ύπαρξή τους δεν είναι ακόμη απολύτως κατανοητή. Παρόλ' αυτά εικάζεται ότι οφείλονται στις βαρυτικές δυνάμεις που ασκεί ο γειτονικός δορυφόρος Γαλάτεια.

Η χημική σύνθεση του Ποσειδώνα είναι παρόμοια μ' αυτήν του Ουρανού. Ετσι, καθώς διεισδύουμε βαθύτερα προς τον πυρήνα του πλανήτη, η περιεκτικότητα της ατμόσφαιράς του σε μεθάνιο, αμμωνία και νερό αυξάνει διαρκώς, όπως εξάλλου αυξάνει η θερμοκρασία, η πίεση και η πυκνότητά της, 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, ορισμένοι επιστήμονες εικάζουν ότι ο άνθρακας μπορεί στη συνέχεια να κρυσταλλοποιείται σε διαμάντια, τα οποία πέφτουν προς τον πυρήνα του σαν χαλάζι. Σύμφωνα, μάλιστα, με πειράματα που έχουν διεξαχθεί στο Εθνικό Ερευνητικό Κέντρο **Lawrence Livermore** των ΗΠΑ, η βάση του μανδύα ενδέχεται να είναι μια θάλασσα ρευστοποιημένου διαμαντιού, στην οποία επιπλέουν παγόβουνα από διαμάντια.

Το Voyager 2, η μοναδική διαστημοσυσκευή που επισκέφτηκε μέχρι σήμερα τον Ποσειδώνα, ανακάλυψε μια δυναμική ατμόσφαιρα με με-

Ο Ποσειδώνας σε φωτογραφία που ελήφθη το 1989 από το Voyager 2 (φωτογρ. Copyright Calvin J. Hamilton, <http://www.solarviews.com>).



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

γάλες 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 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 μια 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, η προέλευση της οποίας είναι κατά πάσα πιθανότητα θερμότητα που περίσσεψε κατά τον σχηματισμό του. Δεδομένου ότι ο Ουρανός και ο Ποσειδώνας έχουν παραπλήσιο μέγεθος και χημική σύσταση, το γεγονός ότι ο Ουρανός δεν διαθέτει κάποια ισχυρή πηγή εσωτερικής θερμότητας, όπως ο Ποσειδώνας, παραμένει ανεξήγητο.

Μέχρι στιγμής έχουν ανακαλυφθεί δεκατρείς δορυφόροι του Ποσειδώνα, μεγαλύτερος εκ των οποίων είναι ο **Τρίτωνας**, που ανακαλύφθηκε από τον Αγγλο αστρονόμο **William Lassell** (1799–1880), λίγες μόνο ημέρες μετά την ανακάλυψη του ίδιου του Ποσειδώνα. Με διάμετρο 2.700 km, ο Τρίτωνας είναι ο έβδομος μεγαλύτερος δορυφόρος του Ηλιακού μας Συστήματος και εμπεριέχει περίπου το 99,5% της συνολικής ποσότητας ύλης, που βρίσκεται σε τροχιά γύρω από τον Ποσειδώνα. Ο Τρίτωνας είναι ο μοναδικός μεγάλος δορυφόρος του Ηλιακού Συστήματος, η τροχιά του οποίου είναι ανάδρομη σε σχέση με την περιστροφή του Ποσειδώνα 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 έχει πολλά κοινά χαρακτηριστικά με τον πλανήτη-νάνο Πλούτωνα, υποδηλώνει ότι ο δορυ-

φόρος αυτός δεν σχηματίστηκε στην γειτονιά του Ποσειδώνα, αλλά θα πρέπει αρχικά να ανήκε στα αναρίθμητα παγωμένα συντρίμια που απαρτίζουν την Ζώνη Kuiper και να αιχμαλωτίστηκε από την βαρυτική του έλξη. Οι παλιρροϊκές αλληλεπιδράσεις μεταξύ του Τρίτωνα και του Ποσειδώνα επιβραδύνουν τον δορυφόρο, με αποτέλεσμα η ακτίνα της τροχιάς του να μειώνεται συνεχώς. Γι' αυτό και εκατομμύρια χρόνια στο μέλλον εικάζεται ότι ο δορυφόρος αυτός θα προσεγγίσει τόσο πολύ τον Ποσειδώνα, ώστε θα διαμελιστεί από τις παλιρροϊκές του δυνάμεις, ενδεχομένως σχηματίζοντας 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 που δεν υπερβαίνει τους -235 °C. Και όμως, σ' αυτόν τον παγωμένο κόσμο, το Voyager 2 ανακάλυψε ενεργούς πίδακες στην περιοχή του πόλου του, που θερμαίνεται από τον Ήλιο. Οι πίδακες αυτοί εκτινάσσουν ένα μείγμα αζώτου, μεθανίου και σκόνης ακόμη και σε ύψος 8 km, το οποίο παγώνει και ξαναπέφτει στην επιφάνειά του σαν χιόνι. Το Voyager 2, τέλος, ανακάλυψε ότι ο Τρίτωνας περιβάλλεται από μια 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 παγοκρυστάλλους αμμωνίας. Εκτός, όμως, από τον Τρίτωνα, ο Ποσειδώνας διαθέτει έξι ακόμη «ανώμαλους» δορυφόρους, που κινούνται σε πολύ μεγάλες αποστάσεις απ' αυτόν. Οι τροχιές των δορυφόρων αυτών σχηματίζουν μεγάλες γωνίες ως προς το

ισημερινό επίπεδο του Ποσειδώνα, ενώ οι τρεις απ' αυτές τις τροχιές είναι ανάδρομες.

Σε τροχιές μικρότερες απ' αυτήν στην οποία κινείται ο Τρίτωνας, ανακαλύφθηκαν επτά ακόμη μικροί δορυφόροι με πρόδρομες τροχιές, που σχηματίζουν μικρές κλίσεις ως προς το ισημερινό επίπεδο του Ποσειδώνα. Ο μεγαλύτερος απ' αυτούς τους «ομαλούς» δορυφόρους, αλλά και ο μοναδικός που έχει φωτογραφηθεί με αρκετά υψηλή ανάλυση, ώστε να διακρίνονται κάπως τα επιφανειακά χαρακτηριστικά του, είναι ο **Πρωτέας**. Ο Πρωτέας είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος δορυφόρος του Ποσειδώνα, με διάμετρο που φτάνει τα 418 km, και ανακαλύφθηκε χάρη στις φωτογραφίες που ελήφθησαν από το Voyager 2. Παρόλο που η διάμετρός του είναι μεγαλύτερη απ' αυτήν της Νηρηίδας, η οποία ανακαλύφθηκε 33 χρόνια νωρίτερα, ο δορυφόρος αυτός δεν μπορούσε να γίνει αντιληπτός από τα επίγεια τηλεσκόπια, όχι μόνο εξαιτίας της μεγάλης του απόστασης από την Γη, αλλά και διότι είναι ένα από τα πιο σκοτεινά σώματα του Ηλιακού μας Συστήματος. Ο Πρωτέας είναι ένας γεωλογικά νεκρός κόσμος, με κάπως ανώμαλο σχήμα, που οφείλεται στο γεγονός ότι η μάζα του δεν ήταν αρκετή, ώστε η ίδια η βαρυτική του έλξη να του προσδώσει σφαιρικό σχήμα, ενώ η επιφάνειά του είναι γεμάτη με κρατήρες, που ανέσκαψαν αμέτρητες πτώσεις αστεροειδών.

Ο τρίτος μεγαλύτερος δορυφόρος του Ποσειδώνα είναι η **Νηρηίδα**, που ανακαλύφθηκε το 1949 από τον Ολλανδό αστρονόμο **Gerard Kuiper** (1905–1973). Ο δορυφόρος αυτός κινείται σε μέση απόσταση που υπερβαίνει τα 5,5 εκατ. km, συμπληρώνοντας μία περιφορά γύρω από τον Πο-

σειδώνα σε 360 ημέρες. Η τροχιά του, ωστόσο, είναι τόσο ελλειπτική, ώστε η απόστασή του από τον Ποσειδώνα μεταβάλλεται από τα 1,4 εκατ. km στα 9,5 εκατ. km. Η παράξενη αυτή τροχιά της Νηρηίδας προβληματίζει τους επιστήμονες, οι οποίοι πιστεύουν ότι ο δορυφόρος αυτός είναι ένας αστεροειδής ή κάποιο άλλο σώμα από την Ζώνη Kuiper, που αιχμαλωτίστηκε από την βαρυτική έλξη του Ποσειδώνα. Μία εναλλακτική ερμηνεία για την παράξενη τροχιά της Νηρηίδας είναι ότι αυτή ήταν αρχικά πιο ομαλή, αλλά μεταβλήθηκε σ' αυτήν που τώρα παρατηρούμε, όταν ο Ποσειδώνας παγίδευσε με την βαρυτική του έλξη τον Τρίτωνα.

Η μοναδική μέχρι στιγμής διαστημοσυσκευή που έχει επισκεφτεί 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 ◀



Η Νηρηίδα, όπως αποτυπώθηκε από το Voyager 2



Ο Ολλανδός αστρονόμος Gerald Kuiper
(φωτογρ. Dutch National Archives)

7.

Ο Πλούτωνας και η Ζώνη Kuiper

Θεωρούμενος μέχρι πριν από λίγα χρόνια ως ο ένατος πλανήτης του Ηλιακού μας Συστήματος, ο **Πλούτωνας** υποβιβάστηκε το 2006 στην κατηγορία του πλανήτη-νάνου, σε μια αμφιλεγόμενη απόφαση της Διεθνούς Αστρονομικής Ενωσης (International Astronomy Union-IAU), που ξεσήκωσε μεγάλες αντιδράσεις όταν ανακοινώθηκε. Οσο παράξενο και αν φαίνεται, δεν είχε υπάρξει μέχρι πριν από λίγα χρόνια η «ανάγκη» να προσδιοριστεί με αυστηρά επιστημονικούς όρους το τι είναι ένας πλανήτης. Η κατάσταση αυτή άλλαξε σιγά-σιγά τα τελευταία χρόνια, όταν άρχισαν να αποκαλύπτονται δεκάδες άλλα ουράνια σώματα στο Ηλιακό μας Σύστημα, παγωμένοι κόσμοι πέρα από την τροχιά του Πλούτωνα, στην **Ζώνη Kuiper**.

Ο Πλούτωνας όπως τον απεικόνισε η
διαστημοσυσκευή New Horizons
(Ιούλιος 2015)
[φωτογρ. NASA/JHUAPL/SwRI].

Τα ουράνια σώματα της Ζώνης Kuiper είναι αρχέγονα πλανητικά έμβρυα, συντρίμμια δηλαδή που περίσσεψαν κατά τον σχηματισμό του Ηλιακού Συστήματος, τα οποία δεν κατάφεραν να συσσωματώσουν σε μεγαλύτερα μεγέθη. Με διάμετρο που μπορεί να φτάνει ακόμη και τα 2.000 km, τα «Αντικείμενα της Ζώνης Kuiper» (Kuiper Belt Objects, KBO) αποτελούνται κατά κύριο λόγο από παγωμένες πτητικές ενώσεις, όπως μεθάνιο, αμμωνία και νερό, αναμεμιγμένες με πετρώματα, το πρώτο εκ των οποίων ανακαλύφθηκε μόλις το 1992. Έκτοτε εκατοντάδες τέτοια KBO εντοπίστηκαν στα πέρατα του Ηλιακού μας Συστήματος, ενώ μόνο τα KBO με διάμετρο μεγαλύτερη των 100 km υπολογίζονται ότι υπερβαίνουν τα 100.000. Όταν μάλιστα το 2003 ανακοινώθηκε η ανακάλυψη σε αυτήν την περιοχή του ουράνιου σώματος 2003 UB₃₁₃, που αργότερα ονομάστηκε **Έριδα**, η ανάγκη για τη διατύπωση ενός ορισμού επανήλθε στο προσκήνιο. Με διάμετρο περίπου 1.000 km μεγαλύτερη από αυτήν του Πλούτωνα, η Έριδα είχε παρουσιαστεί πανηγυρικά από τα Μέσα Μαζικής Ενημέρωσης ως ο δέκατος πλανήτης του Ηλιακού μας Συστήματος. Οι αστρονόμοι, μάλιστα, είναι βέβαιοι ότι στα επόμενα χρόνια θα ανακαλυφθούν σ' αυτήν την περιοχή και άλλα ουράνια σώματα, ακόμα και με μέγεθος μεγαλύτερο από αυτό του Πλούτωνα.

Αυτήν την κατάσταση κλήθηκαν μεταξύ άλλων να αποσαφηνίσουν οι αστρονόμοι που παρακολούθησαν την 26^η Γενική Συνέλευση της IAU στην Πράγα, που έλαβε χώρα στις 14–25 Αυγούστου 2006. Χωρίς να υπολογίσουμε την επιστημονική διαμάχη γι' αυτό το θέμα που είχε προηγηθεί στο διαδίκτυο, χρειάστηκαν 8 ημέρες έντονων

συζητήσεων και αντιπαραθέσεων, προκειμένου να καταλήξουν σε μια τελική πρόταση, η οποία κατατέθηκε προς έγκριση την Πέμπτη 24 Αυγούστου 2006, προτελευταία μέρα της Συνέλευσης. Σύμφωνα μ' αυτήν, προκειμένου ένα ουράνιο σώμα να θεωρείται πλανήτης θα πρέπει να περιφέρεται γύρω από ένα άστρο, να είναι αρκετά μεγάλο, 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, προσδιορίζονται ακόμα δύο νέες κατηγορίες ουράνιων σωμάτων, οι «πλανήτες-νάνοι» και τα «μικρά ουράνια σώματα του Ηλιακού Συστήματος». Οι πλανήτες-νάνοι είναι ουράνια σώματα, τα οποία υπακούουν μόνο στα δύο πρώτα κριτήρια και δεν είναι δορυφόροι. Οτιδήποτε περισσεύει, για παράδειγμα αστεροειδείς και κομήτες, ανήκουν στην τρίτη κατηγορία.

Η πλειονότητα των αστρονόμων που δήλωσαν παρόντες ψήφισαν υπέρ αυτής της πρότασης, υποβαθμίζοντας έτσι τον Πλούτωνα σε πλανήτη-νάνο, ενώ η Δήμητρα, που μέχρι πρότινος ήταν ο μεγαλύτερος αστεροειδής του Ηλιακού Συστήματος, καθώς και η Έριδα, ανήκουν πλέον στη συνομοταξία των πλανητών-νάνων.

Καλλιτεχνική αναπαράσταση ενός KBO
[φωτογρ. NASA, ESA and G. Bacon (STScI)].

Επιστρέφοντας, όμως, στον Πλούτωνα, ας δούμε τι γνωρίζουμε ήδη γι' αυτόν. Ο Πλούτωνα 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. Ο Πλούτωνα συμπληρώνει μία πλήρη περιφορά γύρω από τον Ήλιο σε 248 χρόνια, διαγράφοντας μια 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, ο Πλούτωνα βρίσκεται πλησιέστερα στον Ήλιο απ' όσο ο Ποσειδώνας. Αυτήν τη στιγμή, ειδικότερα, ο Πλούτωνα απομακρύνεται από τον Ήλιο, έχοντας ήδη πλησιάσει στην κοντινότερη απόστασή του από αυτόν το 1989. Επιπλέον, σε αντίθεση με τους άλλους πλανήτες του Ηλιακού μας Συστήματος, οι οποίοι κινούνται στο ίδιο περίπου επίπεδο, η τροχιά του Πλούτωνα σχηματίζει με το επίπεδο αυτό γωνία περίπου 17°.

Ο Πλούτωνα περιβάλλεται από μια ιδιαίτερος αραιή ατμόσφαιρα, η οποία αποτελείται κυρίως από άζωτο και μονοξείδιο του άνθρακα, καθώς και από ίχνη μεθανίου. Εξαιτίας της τεράστιας απόστασης που τον χωρίζει από τον Ήλιο, η επιφανειακή θερμοκρασία αυτού του πλανήτη-νάνου δεν υπερβαίνει τους περίπου -230 °C, αν και εξαι-

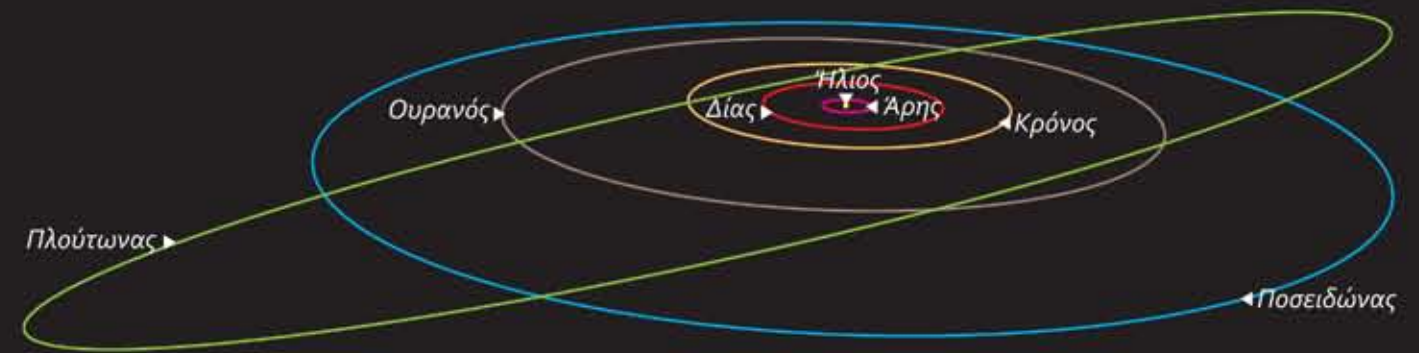


Καλλιτεχνική αναπαράσταση της Έριδας [φωτογρ. NASA, ESA and A. Schaller (for STScI)].

τίας της ελλειπτικής του τροχιάς, η θερμοκρασία του μεταβάλλεται ανάλογα και με το εάν πλησιάζει ή απομακρύνεται απ' αυτόν. Το εσωτερικό του, αντίθετα, πρέπει να είναι θερμότερο, ενώ ορισμένοι αστρονόμοι εικάζουν ότι κάτω από την παγωμένη του επιφάνεια ενδεχομένως να υπάρχει και ένας ρευστός ωκεανός.

Η ατμόσφαιρα του Πλούτωνα 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. Σε γενικές γραμμές, όσο πλησιέστερα βρίσκεται ένα ουράνιο σώμα στον Ήλιο, τόσο ταχύτερα εξαχνώνονται στο Διάστημα οι επιφανειακοί του πάγοι, όπως δηλαδή συμβαίνει και με τους κομήτες. Όλες οι παρατηρήσεις συγκλίνουν στο γεγονός ότι η πυκνότητα της ατμόσφαιρας του Πλούτωνα 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 να συμπυκνώνονται τα αέρια της ατμόσφαιράς του και

Η κεκλιμένη και ελλειπτική τροχιά του Πλούτωνα.



να πέφτουν στην επιφάνειά του σαν χιόνι. Εάν αναλογιστεί κάποιος ότι η χαμηλή βαρυτική έλξη του Πλούτωνα δεν είναι ίσως ικανή να συγκρατήσει κάποια από τα αέρια της ατμόσφαιράς του, με αποτέλεσμα αυτά να διαχέονται στο Διάστημα, το πιο πιθανό είναι ότι αυτή η δυναμική φύση της ατμόσφαιράς του είναι πιο πολύπλοκη απ' όσο περιγράψαμε.

Ο Πλούτωνα έχει πέντε γνωστούς δορυφόρους, τον **Χάροντα**, την **Στύγα**, την **Νύχτα**, τον **Κέρβερο** και την **Υδρα**, 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 παρόλ' 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 Πλούτωνα περιστρέφονται ο ένας γύρω από τον άλλον ή σωστότερα γύρω από το κοινό κέντρο βάρους τους, σε λίγο περισσότερο από έξι ημέρες. Εκτός αυτού, είναι κατά τέτοιον τρόπο βαρυτικά «κλειδωμένοι» μεταξύ τους, ώστε καθένα από τα δύο αυτά ουράνια σώματα εκτελεί



Καλλιτεχνική αναπαράσταση της επιφάνειας του Πλούτωνα (φωτογρ. ESO/L. Calçada).

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. Σε αντίθεση με τον Πλούτωνα, η επιφάνεια του Χάροντα φαίνεται να είναι καλυμμένη κατά κύριο λόγο από παγωμένο νερό, ενώ εμπεριέχει μικρότερες ποσότητες πετρωμάτων.

Ένα άλλο ενδιαφέρον στοιχείο που σχετίζεται με τους δορυφόρους του Πλούτωνα είναι ότι η Στύγα, η Νύχτα, ο Κέρβερος και η Υδρα σχηματίζουν έναν κατά προσέγγιση τροχιακό συντονισμό 1:3:4:5:6 σε σχέση με τον Χάροντα. Αυτό σημαίνει ότι στον ίδιο χρόνο που ο Χάροντας ολοκληρώνει μία περιφορά γύρω από τον Πλούτωνα, η Στύγα ολοκληρώνει σχεδόν 3, η Νύχτα σχεδόν 4, ο Κέρ-

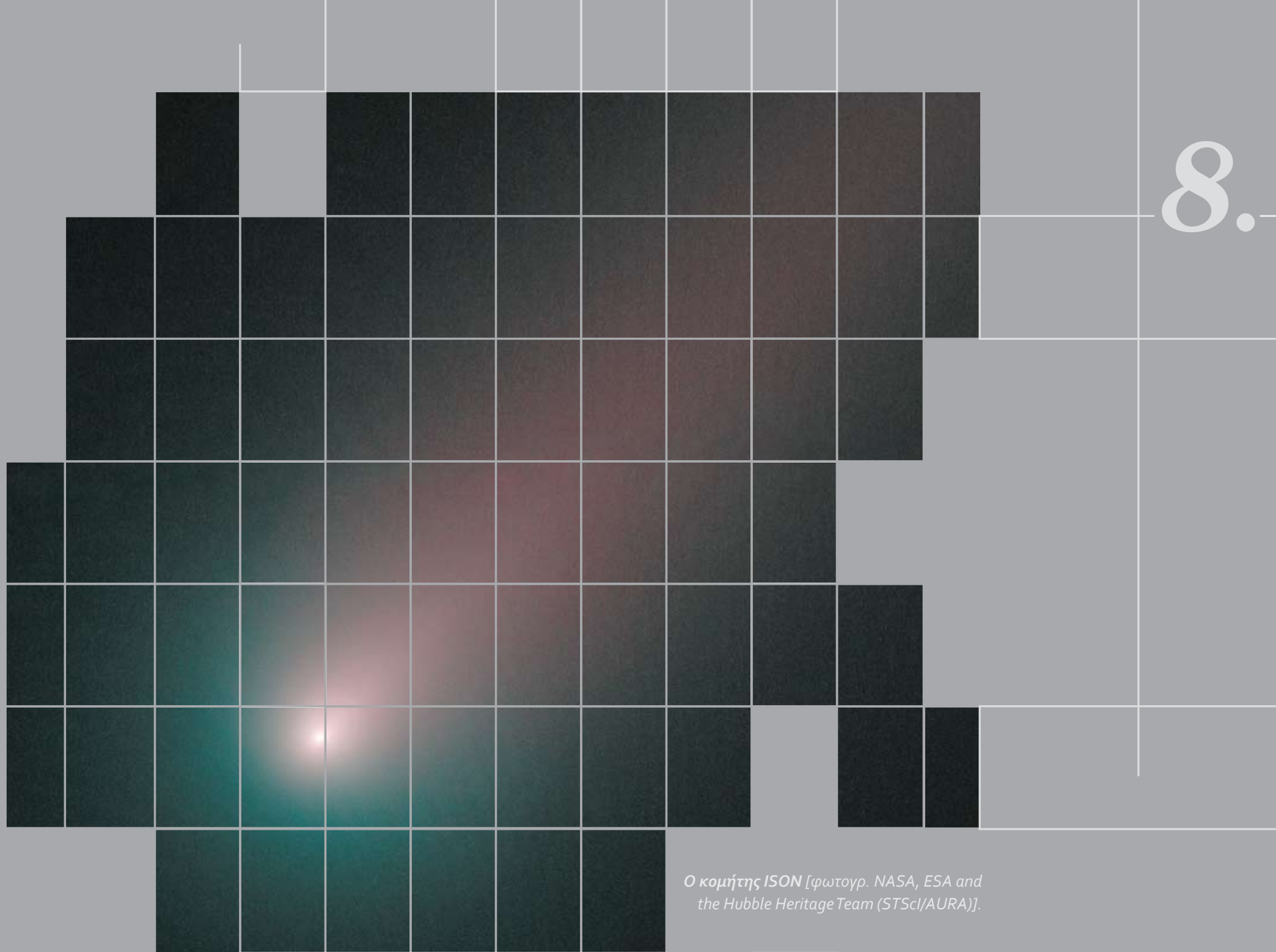
βερος σχεδόν 5 και η Υδρα σχεδόν 6. Όλα αυτά χαρακτηριστικά του Πλούτωνα και των δορυφόρων του υποδηλώνουν ότι το δορυφορικό σύστημα του Πλούτωνα σχηματίστηκε εξαιτίας μιας τεράστιας σύγκρουσης, παραπλήσιας ενδεχομένως με εκείνην που εικάζεται ότι σχημάτισε και την Σελήνη. Είναι γεγονός, πάντως, ότι οι παγωμένοι αυτοί κόσμοι εξακολουθούν να κρύβουν ακόμα πολλά μυστικά, αφού καμία διαστημική αποστολή μέχρι σήμερα δεν ταξίδεψε σε αυτήν την περιοχή του Ηλιακού Συστήματος. Αυτό αναμένεται να αλλάξει με τη διαστημική αποστολή New Horizons.

Η διαστημοσυσκευή **New Horizons** της NASA εκτοξεύθηκε από το Ακρωτήριο Κανάβεραλ τον Ιανουάριο του 2006, με προορισμό τον Πλούτωνα, τον οποίο και προσέγγισε στην πλησιέστερη

δυνατή απόσταση στις 14 Ιουλίου του 2015, έχοντας ήδη χρησιμοποιήσει για τον σκοπό αυτόν τη «βαρυτική βοήθεια» του Δία, τον οποίο προσέγγισε τον Φεβρουάριο του 2007. Όπως έχουμε ξαναπεί, η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται πολύ συχνά στον σχεδιασμό αποστολών για την εξερεύνηση του Ηλιακού μας Συστήματος, αφού μπορεί να προσδώσει στις διαστημοσυσκευές επιπλέον ταχύτητα και ως εκ τούτου να τις προωθήσει σε πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις από αυτές που θα μπορούσαν διαφορετικά να διανύσουν. Η τεχνική αυτή βασίζεται στην ανταλλαγή ορμής μεταξύ της διαστημοσυσκευής και κάποιου πλανήτη, προκειμένου να μεταβληθεί όσο χρειάζεται η ενέργειά της, ώστε να προωθηθεί στην επιθυμητή τροχιά. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η βαρυτική ώθηση που δέχθηκε το New Horizons από τον Δία συντόμευσε το ταξίδι του προς τον

Πλούτωνα κατά τρία ολόκληρα χρόνια. Επειδή, όμως, το βαρυτικό πεδίο του Πλούτωνα είναι ιδιαίτερα ασθενές και η ταχύτητα με την οποία θα τον πλησιάσει αρκετά μεγάλη, η διαστημοσυσκευή δεν θα μπορέσει να αιχμαλωτιστεί από τη βαρυτική του έλξη σε τροχιά. Παρόλο που η τοποθέτηση του New Horizons σε τροχιά γύρω από τον Πλούτωνα θα διεύρυνε σημαντικά τον όγκο των δεδομένων που θα συνέλεγε γι' αυτόν, δεν υπήρχε τρόπος να αποθηκευθεί η ποσότητα καυσίμων που απαιτείται, προκειμένου να φρενάρει η διαστημοσυσκευή όσο θα χρειαζόταν. Το θετικό, βέβαια, είναι ότι η διαστημοσυσκευή θα έχει την δυνατότητα να προσεγγίσει και άλλα ουράνια σώματα της Ζώνης Κούιπερ, μετά από την διέλευσή της δίπλα από τον Πλούτωνα. Αυτό ακριβώς θα είναι το δεύτερο σκέλος της διαστημικής αυτής αποστολής ◀

Καλλιτεχνική αναπαράσταση της διέλευσης του **New Horizons** δίπλα από τον Πλούτωνα
[φωτογρ. Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Southwest Research Institute (JHUAPL/SwRI)].



8.

Επίλογος: Οι Κομήτες

Οι κομήτες αποτελούν τα παγωμένα «συντρίμμια» των υλικών που περίσσεψαν από τον σχηματισμό του Ηλιακού Συστήματος, πριν από σχεδόν 5 δισ. χρόνια. Με μέγεθος που κυμαίνεται από μερικές δεκάδες μέτρα μέχρι και μερικές δεκάδες χιλιόμετρα, οι κομήτες αποτελούνται από κομμάτια βράχων, πάγο και σκόνη, αναμεμιγμένα με μικρότερες συγκεντρώσεις παγωμένων πτητικών ενώσεων, όπως μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο και αμμωνία.

Ο κομήτης ISON [φωτογρ. NASA, ESA and
the Hubble Heritage Team (STScI/AURA)].

Χάρη στην μελέτη των ιστορικών αρχείων και φυσικά πάντα με την βοήθεια της αστρονομικής έρευνας, γνωρίζουμε ότι οι κομήτες που μας έχουν επισκεφτεί μέχρι σήμερα περιφέρονται γύρω από τον Ήλιο με περιόδους που κυμαίνονται από λίγα χρόνια μέχρι και αρκετές εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια και ότι ανάλογα με την διάρκεια της περιόδου τους προέρχονται από δύο διαφορετικές περιοχές του Ηλιακού Συστήματος. Μέχρι πρόσφατα οι περισσότεροι επιστήμονες θεωρούσαν ότι οι κομήτες μικρής περιόδου προέρχονται από την ευρύτερη περιοχή της Ζώνης Kuiper. Σύμφωνα με κάποιες μελέτες, όμως, ο τροχιάς των περισσότερων σωμάτων της Ζώνης αυτής είναι λίγο ως πολύ σταθερές, γι' αυτό και ορισμένοι αστρονόμοι θεωρούν ότι οι κομήτες αυτοί προέρχονται από τον Διάσπαρτο Δίσκο. Αντιθέτως, οι κομήτες μεγάλης περιόδου προέρχονται από το Νέφος Oort, το αχανές σφαιρικό νέφος παγωμένων σωμάτων, που βρίσκεται στις παρυφές της βαρυτικής «κυριαρχίας» του Ήλιου.

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 και κυρίως του Ποσειδώνα. Αντιθέτως, οι κομήτες μεγάλης περιόδου εκτρέπονται από την σχεδόν ανεξάντλητη «δεξαμενή» του Νέφους 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.. Μέχρι τον Αύγουστο του 2014 είχαν ανακαλυφθεί 5.186 κομήτες, αριθμός που αυξάνεται συνεχώς, αλλά που δεν αντιστοιχεί παρά σ' 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 εκατομμυρίων χιλιομέτρων. 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



*Ο κομήτης ISON προέρχεται από το Νέφος Oort
(φωτογρ. Adam Block/Mount Lemmon
SkyCenter/University of Arizona).*

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 ιδιαιτέρως αραιή «ατμόσφαιρα», που αποτελεί την κεφαλή του κομήτη. Καθώς, όμως, η ηλιακή ακτινοβολία παρασύρει τα σωματίδια σκόνης μακριά από την κεφαλή του κομήτη, σχηματίζεται μία ουρά σκόνης, ενώ τα φορτισμένα σωματίδια του ηλιακού ανέμου ιονίζουν μέρος των αερίων της κεφαλής, σχηματίζοντας μία ουρά ιόντων. Γι' αυτό και η διπλή ουρά ενός κομήτη «δείχνει» πάντα προς την αντίθετη κατεύθυνση απ' αυτήν στην οποία βρίσκεται ο Ήλιος.

Οι κομήτες συγκαταλέγονται ανάμεσα στα αρχαιότερα ουράνια σώματα του Ηλιακού Συστήματος. Οι πλανήτες, όμως, 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. Αντίθετα, οι κομήτες κατά το μεγαλύτερο μέρος της ζωής τους παραμένουν παγωμένοι στα πέρατα του Ηλιακού μας 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 μάς ενδιαφέρουν και για έναν ακόμη λόγο, αφού ο βομβαρδισμός της πρώιμης Γης από τέτοιους διαστημικούς εισβολείς συνέβαλε στον εμπλουτισμό της με νερό, ενώ με την βοήθεια των κομητών θα πρέπει να μεταφέρθηκαν στη Γη και οργανικές ενώσεις.

*Φωτογραφία που δείχνει τα αέρια και την σκόνη που διαφεύγουν από τον πυρήνα του κομήτη 67P CG
(φωτογρ. ESA / Rosetta / MPS for OSIRIS Team; MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA).*

Μόλις πρόσφατα, μάλιστα, οι επιστήμονες απέδειξαν ότι σύνθετα δομικά μόρια της ζωής, όπως τα διπεπτίδια, που είναι ενωμένα ζεύγη αμινοξέων, θα μπορούσαν να είχαν σχηματιστεί 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 αυτό δεν σημαίνει αναγκαστικά ότι αυτό συνέβη, αλλά έτσι και αλλιώς το στοιχείο αυτό είναι εξαιρετικά ενδιαφέρον. Αντιγράφοντας το θρυλικό πείραμα των Miller-Urey, χημικοί από τα πανεπιστήμια Berkeley της Καλιφόρνια και Manoa της Χαβάης δεν προσπάθησαν αυτήν την φορά να

προσομοιώσουν τις συνθήκες που εικάζεται ότι επικρατούσαν στον πλανήτη μας προτού εμφανιστεί η ζωή, αλλά τις συνθήκες που θεωρείται ότι επικρατούν στο παγωμένο Διάστημα. Στο πείραμά τους αυτό προσομοίωσαν μια παγωμένη «χιονόμπαλα» από διοξείδιο του άνθρακα, αμμωνία, καθώς και διάφορους άλλους υδρογονάνθρακες, όπως μεθάνιο, αιθάνιο και προπάνιο, συστατικά με άλλα λόγια που εμπεριέχονται σε κομήτες. Την «χιονόμπαλα» αυτή την τοποθέτησαν σε έναν ειδικό θάλαμο υπερυψηλού κενού και σε θερμοκρασία μόλις -263°C και στην συνέχεια την βομβάρδιζαν με υψηλής ενέργειας ηλεκτρόνια, που προσομοίωναν τις κοσμικές ακτίνες του Διαστήματος. Το αποτέλεσμα του πειράματος αυτού έδειξε ότι οι χημικές ενώσεις που εμπεριείχε αντιδρούσαν μεταξύ τους, σχηματίζοντας

Καλλιτεχνική αναπαράσταση της αρχέγονης Γης, κατά τον βομβαρδισμό της από αστεροειδείς και κομήτες. Οι επιστήμονες θεωρούν ότι τέτοιες συγκρούσεις εμπλούτισαν τον πλανήτη μας με σημαντικές ποσότητες νερού και οργανικής ύλης (φωτογρ. NASA's Goddard Space Flight Center Conceptual Image Lab).

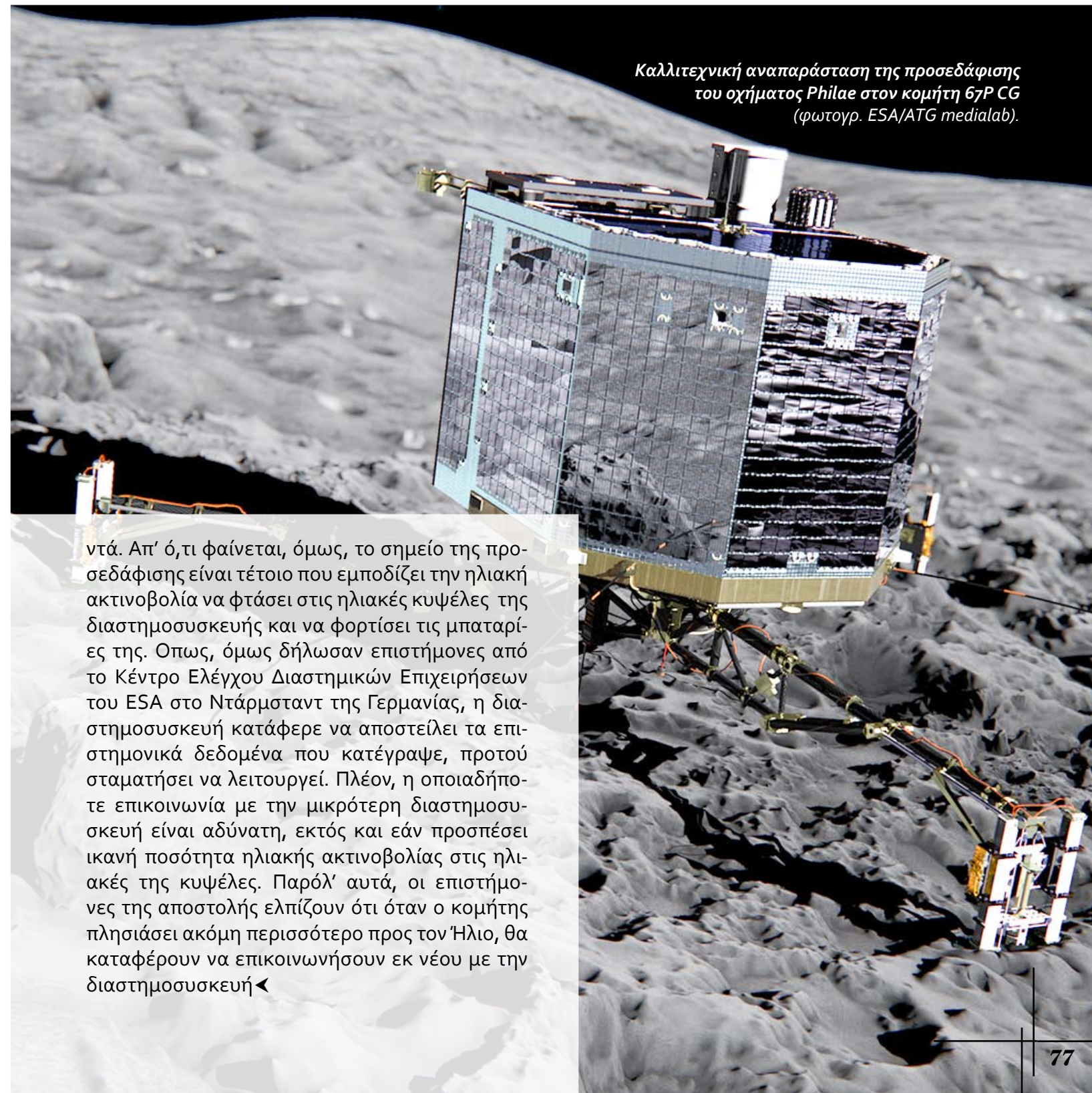
πιο σύνθετες οργανικές ενώσεις, και ειδικότερα τα απαραίτητα για την ζωή διπεπτίδια, που παίζουν τον ρόλο του καταλύτη στον σχηματισμό πρωτεϊνών, ενζύμων και ακόμη πιο σύνθετων μορίων, όπως τα σάκχαρα. Με την ανακάλυψη αυτή ενισχύεται η πιθανότητα ότι αυτά τα μόρια, κάποιοι δηλαδή από τους χημικούς προδρόμους της ζωής, μπορεί εντέλει και να μεταφέρθηκαν στην Γη πάνω σε κομήτες.

Δυστυχώς, όμως, οι διαστημικές αποστολές που σχεδιάστηκαν για την εξερεύνηση των κομητών ήταν, μέχρι πρόσφατα τουλάχιστον, ελάχιστες. Η τελευταία μέχρι στιγμής διαστημοσυσκευή με προορισμό έναν κομήτη ήταν το **Rosetta**, που εκτοξεύθηκε στις 2 Μαρτίου 2004 από το Διαστημικό Κέντρο του ESA στην Γαλλική Γουι-

άνα, 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 από τον Ιούνιο του 2011 βρισκόταν σε «κατάσταση αναμονής», από την οποία «ξύπνησε» τον Ιανουάριο του 2014, όταν τον είχε πλέον πλησιάσει αρκετά. Τον Αύγουστο του 2014 ξεκίνησε την χαρτογράφηση της επιφάνειάς του και την συλλογή άλλων δεδομένων, που υπολογίζεται ότι θα διαρκέσει μέχρι τον Δεκέμβριο του 2015. Στο μεταξύ σε μια εντυπωσιακή «πρωτιά» του ESA, ένα μικρότερο διαστημικό όχημα που μετέφερε το Rosetta, με την ονομασία Philae, προσεδάφιστηκε στον κομήτη στις 12 Νοεμβρίου 2014, για να τον μελετήσει από κο-



Ο κομήτης 67P CG, όπως τον απεικόνισε η διαστημοσυσκευή Rosetta στις 19 Σεπτεμβρίου 2014 (φωτογρ. ESA/Rosetta/NAVCAM).



Καλλιτεχνική αναπαράσταση της προσεδάφισης του οχήματος Philae στον κομήτη 67P CG (φωτογρ. ESA/ATG medialab).

ντά. Απ' ό,τι φαίνεται, όμως, το σημείο της προσεδάφισης είναι τέτοιο που εμποδίζει την ηλιακή ακτινοβολία να φτάσει στις ηλιακές κυψέλες της διαστημοσυσκευής και να φορτίσει τις μπαταρίες της. Οπως, όμως δήλωσαν επιστήμονες από το Κέντρο Ελέγχου Διαστημικών Επιχειρήσεων του ESA στο Ντάρμστατ της Γερμανίας, η διαστημοσυσκευή κατάφερε να αποστείλει τα επιστημονικά δεδομένα που κατέγραψε, προτού σταματήσει να λειτουργεί. Πλέον, η οποιαδήποτε επικοινωνία με την μικρότερη διαστημοσυσκευή είναι αδύνατη, εκτός και εάν προσπέσει ικανή ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας στις ηλιακές της κυψέλες. Παρόλ' αυτά, οι επιστήμονες της αποστολής ελπίζουν ότι όταν ο κομήτης πλησιάσει ακόμη περισσότερο προς τον Ήλιο, θα καταφέρουν να επικοινωνήσουν εκ νέου με την διαστημοσυσκευή◀



Βιβλιογραφία

- Σιμόπουλος, Διονύσης, *Γένεση και κατακλυσμός: η βιογραφία της Γης*: οδηγός παράστασης, Αθήνα: Ιδρυμα Ευγενίδου, 2006.
- Baker, David, *The 50 most extreme places in our solar system*, Belknap Press of Harvard University Press, c2010.
- Brahic, André, *Τα 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.
- Coupe, Robert , *Το ηλιακό σύστημα*, Άγκυρα, 2008.
- Estalella, Roberto, *Πλανήτες και Δορυφόροι*, Θεσσαλονίκη: Πλανητάριο Θεσσαλονίκης, 2005.
- Garlick, Mark A., *The story of the solar system*, Cambridge: Cambridge University Press, 2002.
- Greely, 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.
- 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.
- Lopes, Rosaly M.C., *Volcanic worlds: exploring the solar system's volcanoes* Springer, Praxis, c2004.
- Peebles, Curtis, *Asteroids: a history*, Smithsonian Institution, c 2000.
- Zirker, Jack B., *Journey from the center of the sun*, Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 2002.

Συντελεστές παράστασης

BENJAMIN LAIDLAW
CHRISTOPHER ROMANO

compositing
RIMAS JUCHNEVICIUS

SPITZ CREATIVE MEDIA
Chadds Ford, Pennsylvania

supervisor
THOMAS LUCAS

producers
MIKE BRUNO

animation design & production
BILL CARR

INNA LEONOV-KENNY
BRAD THOMPSON
WEST THOMPSON

**fulldome & post-production
video services**
ΕΥΓΕΝΙΔΕΙΟ ΠΛΑΝΗΤΑΡΙΟ

post-production audio services
STARGAZER AUDIO
Ιδρύματος Ευγενίδου

θερμές ευχαριστείες
ESA
NASA

παραγωγή



ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
© 2015

ελληνική αφήγηση
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΛΟΓΟΘΕΤΗΣ

αγγλική αφήγηση
ΓΡΗΓΟΡΗΣ ΠΑΤΡΙΚΑΡΕΑΣ

σκηνοθεσία
ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΣΙΜΟΠΟΥΛΟΣ

μουσική & σχεδιασμός ήχου
ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ Κ. ΚΑΤΣΑΡΗΣ

επιστημονική επιμέλεια &
κείμενο αφήγησης
ΑΛΕΞΗΣ ΔΕΛΗΒΟΡΙΑΣ

διεύθυνση παραγωγής
ΜΑΝΟΣ ΚΙΤΣΩΝΑΣ

σύμβουλος παραγωγής
ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ Π. ΣΙΜΟΠΟΥΛΟΣ

post-production video
ΓΙΑΝΝΗΣ ΒΑΜΒΑΚΑΣ

fulldome technical support
ΦΙΛΙΠΠΟΣ ΛΟΥΒΑΡΗΣ
ΧΡΗΣΤΟΣ ΧΡΗΣΤΟΓΙΩΡΓΟΣ

graphic design
ΕΥΓΕΝΙΑ ΣΤΑΒΑΡΗ

AAYUSHI ANIMATION STUDIO
Mumbai, India
supervisor

SHIKHAR BHATNAGAR

CLARK PLANETARIUM
Salt Lake City, Utah

supervisor
MIKE MURRAY

production design
JOE STOHEL

lead animator
DAVID MERRELL

animators
JONATHAN DANSIE

ANDREA DOUBEK
CODY LAVERY
ROBERT LAWRENCE
DAVID MEINZER

additional animators
SPENCER CHRISTOPHERSON
DON DAVIS
AARON McEUEEN

EVANS & SUTHERLAND
Salt Lake City, Utah

executive producer
KIRK JOHNSON

producers
TERENCE MURTAGH
MICHAEL DAUT

art & animation director
DON DAVIS

supervising animators
KEN CARLSON
MARTY SISAM

post-production
BRYCE BUCHANAN

FULLDOMELAB IMMERSIVE MEDIA
ChiangMai, Thailand

supervisor
YURIY GAPON

graphics
YULIYA TATSKO
OLGA NAZARENKO

animation
YURIY GAPON

programmer
ALEKSANDR BEREZOVSKY

producers
GEORGIY AISTOV
MAKSIM GOGOLEV
ALEKSANDR SAMILENKO

GEOGRAPHICS IMAGING
Bradenton, Florida

producer
GEORGE FLEENOR

MUSEUM OF SCIENCE
Boston, Massachusetts

supervisor
DANIELLE KHOURY LeBLANC

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.

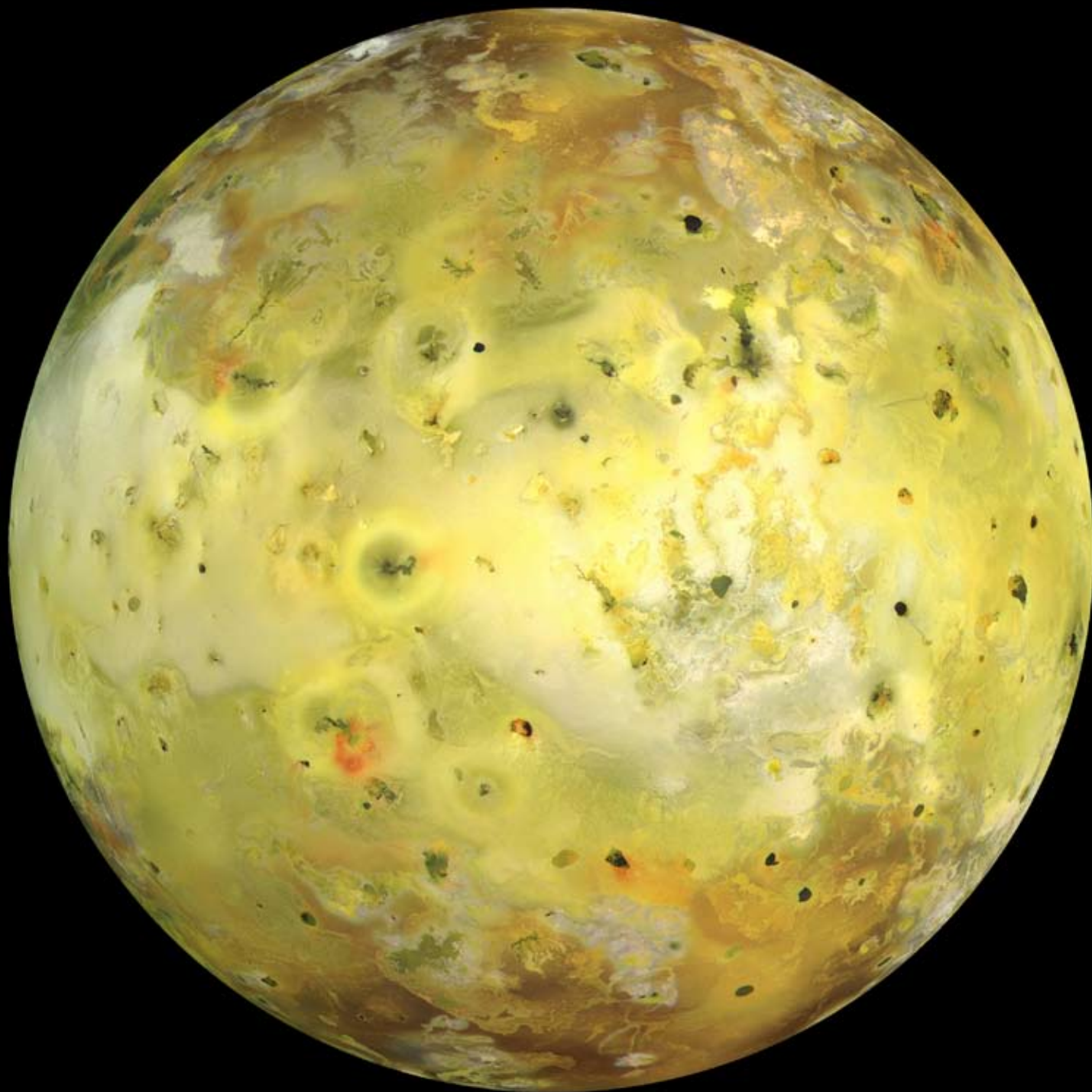
vfx supervisor
ANTOINE DURR

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



ΣΕΛΙΔΟΠΟΙΗΣΗ - ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ ΕΚΔΟΣΕΩΣ: ΕΚΔΟΤΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΤΕΝΙΔΟΥ