



ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ  
ΝΕΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΠΛΑΝΗΤΑΡΙΟ

ΟΔΗΓΟΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ

Η ψηφιακή παράσταση «Ταξιδευτές του Ηλιακού Συστήματος» σας προσκαλεί σε ένα συναρπαστικό ταξίδι, με προορισμό τους αστεροειδείς και τους κομήτες. Από την Ζώνη των Αστεροειδών μέχρι την ευρύτερη περιοχή της Ζώνης Κείπερ, οι αστρονόμοι έχουν υλοποιήσει αρκετές διαστημικές αποστολές για την εξερεύνηση αυτών των ουράνιων σωμάτων, στην προσπάθειά τους να απαντήσουν σε πολλά καίρια ερωτήματα. Τα ερωτήματα αυτά σχετίζονται με την απαρχή του Ηλιακού μας συστήματος, με την προέλευση του νερού, αλλά και των πρώτων πολύπλοκων οργανικών μορίων, τα οποία αποδείχτηκαν καθοριστικά για την απαρχή της ζωής στην Γη, καθώς και με τους πιθανούς τρόπους αποφυγής μιας ενδεχόμενης σύγκρουσής τους με τον πλανήτη μας στο μέλλον.



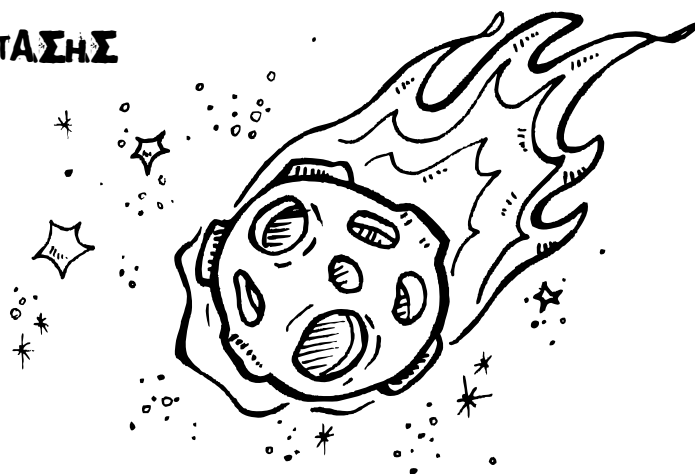
ΤΑΞΙΔΕΥΤΕΣ ΤΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ:  
ΑΣΤΕΡΟΕΙΔΕΙΣ ΚΑΙ ΚΟΜΗΤΕΣ





ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ  
ΝΕΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΠΛΑΝΗΤΑΡΙΟ

**ΟΔΗΓΟΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ**

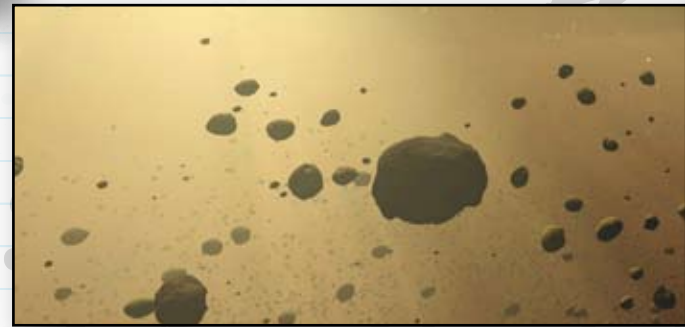
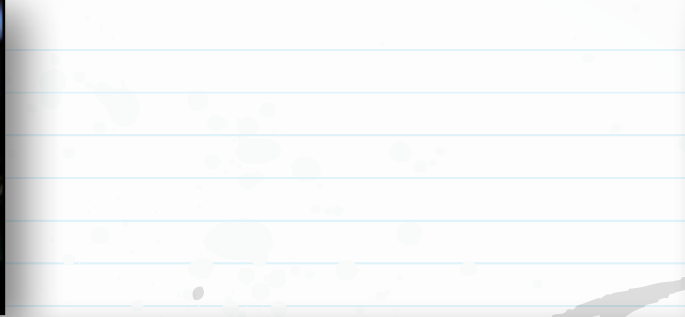


**ΤΑΞΙΔΕΥΤΕΣ ΤΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ:  
ΑΣΤΕΡΟΕΙΔΕΙΣ ΚΑΙ ΚΟΜΗΤΕΣ**



**ΑΛΕΞΗ Α. ΔΕΛΗΒΟΡΙΑ**  
Αστρονόμου Ευγενιδείου Πλανηταρίου

ΑΘΗΝΑ  
2017



Φωτογραφία εξωφύλλου:  
Καλλιτεχνική απεικόνιση του βομβαρδισμού  
ενός βραχώδους πλανήτη από κομήτες  
(φωτογρ. NASA/JPL-Caltech).

## Περιεχόμενα

<a href="#">Πρόλογος.....</a>	<a href="#">4</a>
<a href="#">1 Εισαγωγή: Η Γέννηση του Ηλιακού Συστήματος.....</a>	<a href="#">6</a>
<a href="#">Κεφάλαιο 2 - Η Ζώνη των Αστεροειδών .....</a>	<a href="#">16</a>
<a href="#">Κεφάλαιο 3 - Η Ζώνη Kuiper και οι Πλανήτες-Νάνοι.....</a>	<a href="#">24</a>
<a href="#">Κεφάλαιο 4 - Οι Κομήτες .....</a>	<a href="#">32</a>
<a href="#">5 Επίλογος: Διαστημικοί Εισβολείς.....</a>	<a href="#">42</a>
<a href="#">Βιβλιογραφία .....</a>	<a href="#">52</a>
<a href="#">Συντελεστές.....</a>	<a href="#">54</a>



# Πρόλογος

Το Νέο Ψηφιακό Πλανητάριο του Ιδρύματος Ευγενίδου, ένα από τα μεγαλύτερα και καλύτερα εξοπλισμένα ψηφιακά πλανητάρια στον κόσμο, συμβάλλει στην επιστημονική εκπαίδευση του κοινού της χώρας μας με πολλούς τρόπους, πρωτίστως όμως με τις ψηφιακές του παραγωγές. Από την έναρξη της λειτουργίας του το 2003, χρησιμοποιεί όλες τις δημιουργικές και τεχνικές δυνατότητες που παρέχουν τα σύγχρονα οπτικοακουστικά μέσα και οι νέες τεχνολογίες, τις οποίες συνδυάζει, προκειμένου να αφηγηθεί τα επιτεύγματα της επιστήμης και της τεχνολογίας και μ' έναν συναρπαστικό τρόπο. Μέσα από τις παραστάσεις του Πλανηταρίου, το ευρύ κοινό μαθαίνει τα κατορθώματα της επιστήμης, τις νέες τεχνολογικές εξελίξεις και διαφωτίζεται σχετικά με τη φύση της επιστημονικής έρευνας.

Η πρόσφατη εντυπωσιακή αποστολή της διαστημοσυσκευής Rosetta στον κομήτη 67P/Churyumov-Gerasimenko έτυχε μεγάλης δημοσιότητας από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης, αναθερμαίνοντας το ενδιαφέρον του κοινού για τα ουράνια σώματα του Ηλιακού μας συστήματος που δεν ανήκουν ούτε στην κατηγορία των πλανητών ούτε σ' αυτήν των δορυφόρων τους. Οι κομήτες και οι αστεροειδείς είναι αναμφισβήτητα τα πιο εντυπωσιακά και ενδιαφέροντα από αυτά τα ουράνια σώματα, καθώς επίσης και οι νάνοι πλανήτες, όπως η Δήμητρα που βρίσκεται στην Ζώνη των Αστεροειδών ή ο Πλούτωνας που βρίσκεται στην Ζώνη Kuiper. Το Νέο Ψηφιακό Πλανητάριο, μετά την παράσταση «Νέοι Ορίζοντες» που εστίαζε στους πλανήτες και την παράσταση «Παράξενοι Κόσμοι του Ηλιακού Συστήματος» που εστίαζε κυρίως στους δορυφόρους τους, κλείνει την τριλογία για το Ηλιακό μας σύστημα με την νέα παραγωγή «Ταξιδευτές του Ηλιακού Συστήματος: Αστεροειδείς και Κομήτες».

Η μελέτη όλων αυτών των ουράνιων σωμάτων είναι πολύ σημαντική για τους επιστήμονες, γιατί σχετίζονται άμεσα, τόσο με την γέννηση του ίδιου του Ηλιακού μας συστήματος, όσο και με την απαρχή της ζωής στην Γη. Έτσι, τα τελευταία χρόνια έχουν υλοποιηθεί πολλές διαστημικές αποστολές για την εξερεύνηση αυτών των ουράνιων σωμάτων, προσφέροντάς μας εντυπωσιακά αποτελέσματα. Η παράσταση «Ταξιδευτές του Ηλιακού Συστήματος: Αστεροειδείς και Κομήτες», μία ακόμα παραγωγή του Νέου Ψηφιακού Πλανηταρίου του Ιδρύματος Ευγενίδου, έρχεται να καλύψει αυτό το θέμα με όσο πιο επιστημονικό τρόπο γίνεται, συμπεριλαμβάνοντας όλα τα τεκμηριωμένα στοιχεία που έχουμε μέχρι σήμερα στη διάθεσή μας. Ο Οδηγός αυτής της παράστασης ακολουθεί την παράδοση της παρουσίασης επιπλέον στοιχείων, που θα ήταν αδύνατο να συμπεριληφθούν στα 40 λεπτά της διάρκειάς της, προσφέροντας μία πιο ολοκληρωμένη και

σαφή εικόνα για τους αστεροειδείς, τους κομήτες και τους νάνους πλανήτες του Ηλιακού μας συστήματος.

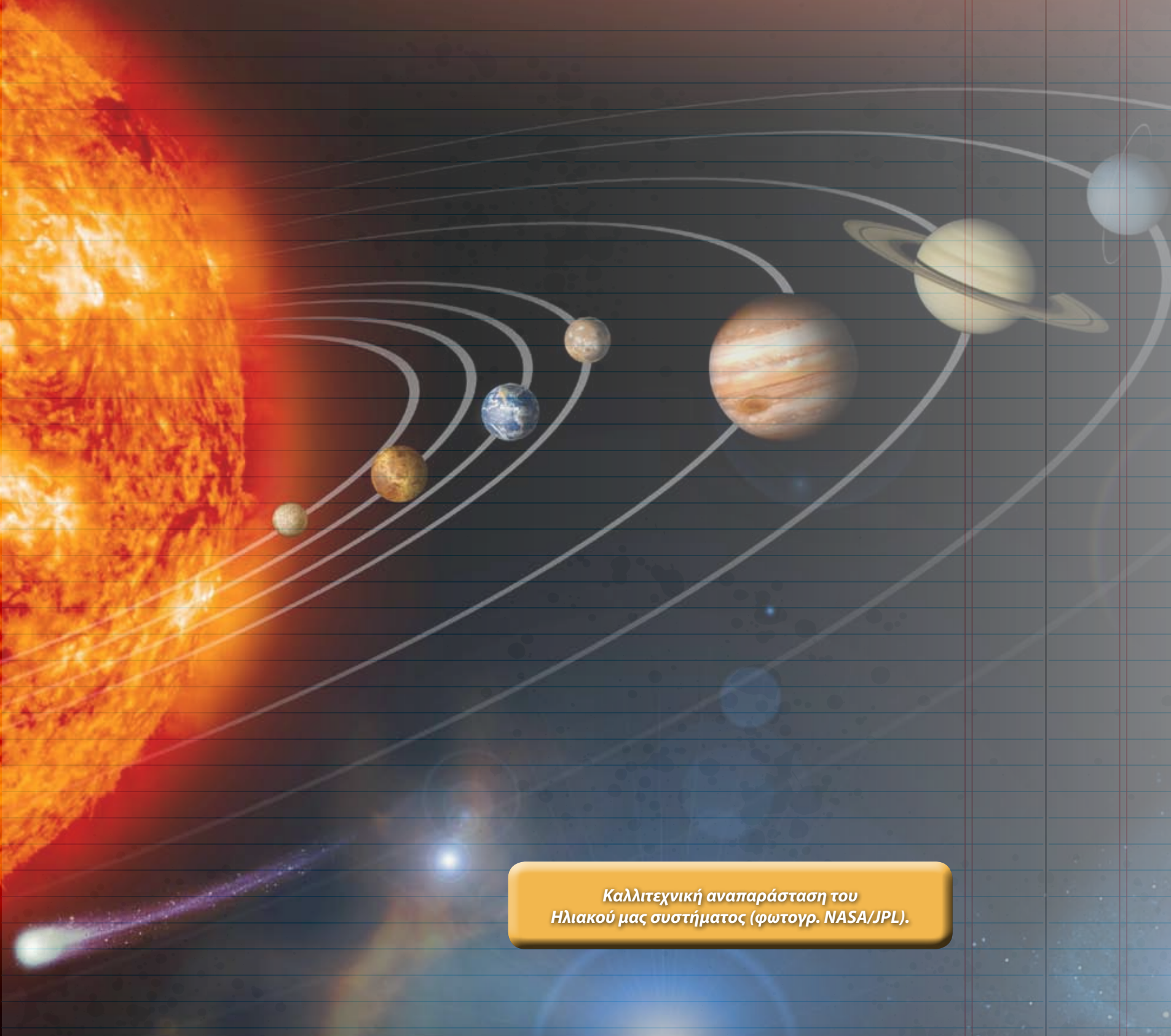
Το πρώτο κεφάλαιο περιλαμβάνει μία σύντομη εισαγωγή στο Ηλιακό σύστημα και στα ουράνια σώματα που εμπεριέχει και αναφέρεται συνοπτικά στην επικρατέστερη θεωρία σχηματισμού του. Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται οι αστεροειδείς και οι διάφορες «οικογένειές» τους, ενώ εξηγείται και το φαινόμενο των πεφταστεριών, δηλαδή των διαπτόντων αστέρων. Επίσης παρουσιάζονται μερικές από τις πιο ενδιαφέρουσες διαστημικές αποστολές προς αστεροειδείς. Στο τρίτο κεφάλαιο μεταφερόμαστε μακρύτερα, στην Ζώνη Kuiper και στους νάνους πλανήτες που ανακαλύφθηκαν εκεί, με χαρακτηριστικότερο παράδειγμα τον Πλούτωνα, οι γνώσεις μας για τον οποίο αυξήθηκαν εντυπωσιακά χάρη στην διαστημική αποστολή New Horizons που τον επισκέφθηκε τον Ιούλιο του 2015. Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι κομήτες, οι διαφορετικές κατηγορίες τους και οι λόγοι που τους έχουν κάνει τόσο σημαντικούς για την επιστήμη. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται φυσικά στην αποστολή Rosetta, που συνοδεύτηκε με την πρώτη στα χρονικά επιτυχή προσεδάφιση ρομποτικού οχήματος στην επιφάνεια ενός κομήτη. Στο τελευταίο κεφάλαιο εξετάζουμε το πολύ ενδιαφέρον ζήτημα της πρόσκρουσης αστεροειδών και κομητών στην επιφάνεια της Γης καθόλη την διάρκεια της γεωλογικής της εξέλιξης, παρουσιάζοντας τις επιπτώσεις αυτών των συγκρούσεων, αλλά και τους τρόπους που εξετάζουν οι επιστήμονες, ώστε να αντιμετωπίσουν δυνητικά επικίνδυνους αστεροειδείς στο μέλλον.

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 κάθε ενδιαφερόμενο. Ο συγκεκριμένος Οδηγός Παράστασης, καθώς και όλοι οι προηγούμενοι, είναι αναρτημένοι στην ιστοσελίδα του Ευγενειδείου Πλανηταρίου, στην Ενότητα «Παραστάσεις», ελεύθερα διαθέσιμοι για το κοινό και τους εκπαιδευτικούς.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Αλέξη Δεληβοριά, αστρονόμο του Ευγενειδείου Πλανηταρίου για τη συγγραφή, καθώς και όλους τους συναδέλφους που εργάζονται για τις εκδόσεις του Ιδρύματος Ευγενίδου για την επιμέλεια του παρόντος Οδηγού. Θα ήταν, τέλος, παράλειψη αν δεν ευχαριστούσα και όλους τους συνεργάτες του Πλανηταρίου μας που συμμετείχαν στη δημιουργία της νέας παράστασης και των οποίων τα ονόματα παρατίθενται στην τελευταία σελίδα του παρόντος Οδηγού.

Μάνος Κιτσώνας  
Διευθυντής Ευγενειδείου Πλανηταρίου

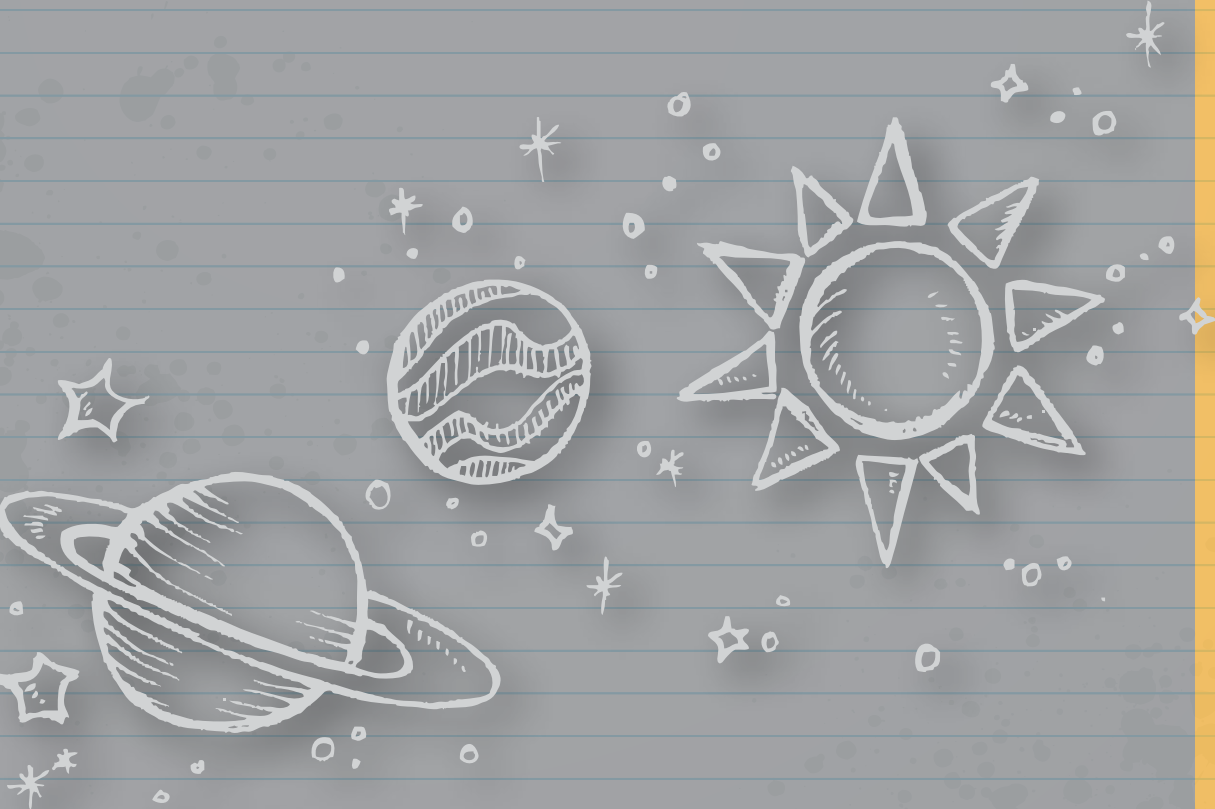




# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ: Η Γέννηση του Ηλιακού Συστήματος

Το Ηλιακό μας σύστημα γεννήθηκε πριν από περίπου 4,6 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, «συμπυκνωθήκαν» στους 8 πλανήτες, στους δεκάδες δορυφόρους και στους εκατομμύρια αστεροειδείς και κομήτες που περιφέρονται γύρω του.

Καλλιτεχνική αναπαράσταση του Ηλιακού μας συστήματος (φωτογρ. NASA/JPL).





Οι 4 πλησιέστεροι προς τον Ήλιο πλανήτες, δηλαδή ο Ερμής, η Αφροδίτη, η Γη και ο Άρης, έχουν σχετικά μικρή μάζα και μέγεθος, μεγάλη πυκνότητα και βραχύδη σύσταση, ενώ οι πυρήνες τους αποτελούνται κατά κύριο λόγο από σίδηρο. Οι πλανήτες αυτοί περιφέρονται γύρω από τον Ήλιο σε μία περιοχή, της οποίας το εύρος μόλις που υπερβαίνει την 1,5 Αστρονομική Μονάδα (1 Αστρονομική Μονάδα ή 1 AM ισούται με τη μέση απόσταση της Γης από τον Ήλιο, δηλ. περίπου 150 εκατ. km). Στην διαχωριστική γραμμή μεταξύ των εσωτερικών και εξωτερικών πλανητών του Ηλιακού μας συστήματος εκτείνεται η **Ζώνη των Αστεροειδών**, που αποτελείται από αναρίθμητα βραχώδη συντρίμια, τα οποία δεν κατάφεραν να συσσωματωθούν σε έναν ακόμη πλανήτη. Τα τέσσερα μεγαλύτερα ουράνια σώματα της Ζώνης των Αστεροειδών είναι ο πλανήτης-νάνος 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. Η περιοχή αυτή του Διαστήματος, στην οποία κινούνται οι γιγάντιοι πλανήτες, είναι κατά πολύ ευρύτερη σε σχέση μ' αυτήν στην οποία κινούνται οι βραχώδεις πλανήτες και εκτείνεται από τις περίπου 5 AM για τον Δία, μέχρι τις 30 AM για τον Ποσειδώνα, τον πιο απομακρυσμένο πλανήτη του Ηλιακού μας συστήματος. Σε αντιδιαστολή με τους βραχώδεις πλανήτες, οι πλανήτες αυτοί αποκαλούνται συχνά και **αέριοι γίγαντες** εξαιτίας του μεγάλου μεγέθους τους, καθώς και της χημικής τους σύνθεσης, που αποτελείται ως επί το πλείστον από υδρογόνο και ήλιο.

Οι μεγάλες διαφορές που παρατηρούνται στην χημική σύσταση και το μέγεθος των αέριων γιγάντων σε σχέση με τους εσωτερικούς πλανήτες οφείλεται στις συνθήκες που επικρατούσαν στο πρώιμο Ηλιακό σύστημα, όταν ακόμη διένυε τα πρώτα στάδια της εξέλιξής του. Η σχετικά υψηλή θερμοκρασία στο εσωτερικό τμήμα του Ηλιακού συστήματος δεν επέτρεψε στις διάφορες πτητικές ενώσεις, όπως το νερό και το μεθάνιο, 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, εκεί δηλαδή όπου οι αρκετά χαμηλότερες θερμοκρασίες διατηρούσαν τις διάφορες πτητικές ενώσεις 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, εμπειρείχαν και σημαντικές ποσότητες πάγων. Καθώς, λοιπόν, τα πλανητικά έμβρυα που σχηματίζονταν στο εξωτερικό Ηλιακό σύστημα συσώρευαν περισσότερη μάζα απ' αυτά που διαμορφώνονταν πλησιέστερα προς

Ο Ερμής, η Αφροδίτη, η Γη και ο Άρης (φωτογρ. Lunar and Planetary Institute).



Οι γιγάντιοι πλανήτες Δίας, Κρόνος, Ουράνος και Ποσειδώνας (φωτογρ. Lunar and Planetary Institute).



τον Ήλιο, κατάφεραν με την μεγαλύτερη βαρυτική τους έλξη να «αιχμαλωτίσουν» και μεγάλες ποσότητες αέριου υδρογόνου και ηλίου.

Η αρχέγονη Ζώνη των Αστεροειδών, απ' την άλλη, υπολογίζεται ότι εμπεριείχε αρχικά αρκετά πλανητικά «έμβρυα» με μάζες μεταξύ εκείνης της Σελήνης και αυτής του Άρη, καθώς και πολλά μικρότερα, αρκετή ύλη δηλαδή για τον σχηματισμό τουλάχιστον ενός, ίσως ακόμη και τριών πλανητών στο μέγεθος της Γης. Ο γειτονικός Δίας, όμως, καθώς και ο Κρόνος, πρέπει να προσέδωσαν με τη βαρυτική τους έλξη μεγαλύτερη ταχύτητα στα πλανητοειδή που την αποτελούσαν. Γι' αυτό και οι κατά πολύ βιαιότερες συγκρούσεις μεταξύ τους, αντί να τα συσσωματώνουν, τα διέλυαν, εκτινάσσοντας μάλιστα κάποια απ' αυτά προς το εσωτερικό Ηλιακό σύστημα.

Ακόμη μακρύτερα, σε αποστάσεις 30-55 ΑΜ από τον Ήλιο, εκτείνεται η **Ζώνη Kuiper**, η οποία περιβάλλει σαν δαχτυλίδι τις περιοχές και τα ουράνια σώματα του Ηλιακού συστήματος που προαναφέραμε. Τα περισσότερα από τα ουράνια σώματα που την απαρτίζουν αποτελούνται κυρίως από συσσωματώσεις παγωμένων πτητικών ενώσεων και πετρωμάτων. Στο εσωτερικό όριο της Ζώνης Kuiper βρίσκεται ο Πλούτωνας, που μέχρι το 2006 θεωρούνταν πλανήτης, αλλά έκτοτε «υποβιβάστηκε» σε πλανήτη-νάνο, ενώ τα τελευταία χρόνια εντοπίστηκαν σ' αυτήν την περιοχή 3 ακόμη πλανήτες-νάνοι. Κατά κανόνα, οι πλανήτες του Ηλιακού μας συστήματος, τα ουράνια σώματα της Ζώνης των Αστεροειδών και τα περισσότερα απ' αυτά που απαρτίζουν την Ζώνη 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. Υπάρχουν, όμως, και πολλά άλλα ουράνια σώματα, με ιδιαίτερα ελλειπτικές τροχιές, που τα φέρνουν από τις 30-35 ΑΜ ακόμη και στις 100 ΑΜ μακριά από τον Ήλιο. Σε αντίθεση, μάλιστα, με τα υπόλοιπα ουράνια σώματα της Ζώνης Kuiper, αλλά και με τους υπόλοιπους πλανήτες, τα σώματα αυτά κινούνται σε ιδιαίτερα κεκλιμένες τροχιές, που τέμνουν το επίπεδο της Εκλειπτικής. Αυτά τα ουράνια σώματα συγκροτούν τον επονομαζόμενο **Διασκορπισμένο Δίσκο**, απ' τον οποίο προέρχονται οι κομήτες με μικρή περίοδο περιφοράς γύρω από τον Ήλιο. Τέλος, σε ακόμη μεγαλύτερες αποστάσεις, οι οποίες υπερβαίνουν τις 50.000 ΑΜ από τον Ήλιο, υπάρχει ένα σφαιρικό νέφος παγωμένων σωμάτων, το επονομαζόμενο **Νέφος Oort**, απ' όπου εικάζεται ότι προέρχονται οι κομήτες μεγάλης περιόδου. Η ύπαρξή του, όμως, δεν έχει ακόμα επιβεβαιωθεί με την παρατήρηση.

Η θεωρία που ερμηνεύει την γένεση και τη μετέπειτα εξέλιξη του Ηλιακού μας συστήματος, όπως περίπου το περιγράψαμε, έχει τις ρίζες της στην υπόθεση του **Ηλιακού Νεφελώματος**, που διατύπωσαν οι **Immanuel Kant** (1724-1804) και **Pierre-Simon Laplace** (1749-1827) στη διάρκεια του 18ου αιώνα. Έκτοτε, οι αστρονομικές παρατηρήσεις και οι θεωρητικές μελέτες που ακολούθησαν, οδήγησαν στη διαμόρφωση ενός κοινά αποδεκτού φυσικού μηχανισμού, ο οποίος περιγράφει τη γένεση νέων άστρων και πλανητικών συστημάτων. Σύμφωνα με την θεωρία αυτή, κάθε νέο άστρο και πλανητικό σύστημα σχηματίζεται βαθιά μέσα σε γιγάντια μοριακά νέφη αερίων και σκόνης, τα οποία αποτελούνται κατά κύριο λόγο από μοριακό υδρογόνο.

Η ύλη στο εσωτερικό ενός μοριακού νέφους υπόκειται σε δύο κύριες δυνάμεις, οι οποίες βρίσκονται σε μία αδιάκοπη διελκυστίνδα: την βαρύτητα και την πίεση. Η βαρύτητα, που οφείλεται στη μάζα των σωματιδίων του μοριακού νέφους, έχει την τάση να συσσωματώνει τα σωματίδια αυτά σε πυκνότερες συγκεντρώσεις ύλης, εξαιτίας της αμοιβαίας τους έλξης. Η εσωτερική πίεση, αντιθέτως, οφείλεται στη μικρή κινητική ενέργεια αυτών των σωματιδίων και έχει την τάση να τα απομακρύνει το ένα απ' το άλλο. Επειδή, όμως, τα μοριακά νέφη είναι κατά κανόνα ψυχρά και οι ταχύτητες των σωματιδίων που εμπεριέχουν πολύ μικρές, υπάρχουν στο εσωτερικό τους περιοχές, όπου η τάση συσώρευσης των σωματιδίων υπερισχύει της τάσης τους να απομακρυνθούν. Με άλλα λόγια, η κατανομή της μάζας στο εσωτερικό των γιγάντιων μοριακών νεφών είναι ανομοιόμορφη, γεγονός που τα καθιστά βαρυτικά ασταθή. Για τον λόγο αυτόν, η οποιαδήποτε διαταραχή στην ευρύτερη περιοχή τους, όπως η σύγκρουση δύο διαφορετικών νεφών, η έκρηξη ενός γειτονικού σουπερνόβα ή ακόμη και η διέλευση του νέφους από μία περιοχή με μεγαλύτερη συγκέντρωση ύλης, θα δώσει το έναυσμα για την κατάρρευσή τους. Κάθε μοριακό νέφος μπορεί να αιωρείται σ' αυτό το χείλος της κατάρρευσης για αρκετά εκατομμύρια χρόνια, προτού κάποιος εξωτερικός παράγοντας, όπως οι προαναφερόμενοι, το επηρεάσει.

Ανάλογα με την αρχική μάζα του γιγάντιου μοριακού νέφους, μπορούν να σχηματιστούν από μερικές εκατοντάδες μέχρι και χιλιάδες νέα άστρα, καθώς το νέφος διασπάται σε μικρότερες και πυκνότερες περιοχές, κάθε μία απ' τις οποίες θα καταρρεύσει σχηματίζοντας το δικό της άστρο. Καθώς, λοιπόν,

η θερμοκρασία και η πίεση στο εσωτερικό κάθε περιοχής που καταρρέει αυξάνει διαρκώς, διαμορφώνεται στο κέντρο της μία περιστρεφόμενη υπέρθερμη σφαίρα αερίων, το «έμβρυο» δηλαδή του άστρου που θα γεννηθεί, το οποίο ονομάζεται **πρωταστέρως**. Την ίδια στιγμή, τα αέρια υλικά και η σκόνη που συνεχίζουν να στροβιλίζονται γύρω από τους πρωταστέρως, σχηματίζουν πεπλατυσμένους και περιστρεφόμενους δίσκους ύλης, που ονομάζονται **πρωτοπλανητικοί δίσκοι**.



Καλλιτεχνική αναπαράσταση πρωτοπλανητικού δίσκου [φωτογρ. NASA/JPL-Caltech/T. Pyle (SSC)].



Όταν η θερμοκρασία στο εσωτερικό ενός πρωταστέρα αγγίζει τους περίπου  $10^6$  °C, οι θετικά φορτισμένοι πυρήνες υδρογόνου, που σε χαμηλότερες θερμοκρασίες απωθούν ο ένας τον άλλον, αρχίζουν να συνενώνονται μεταξύ τους μέσω θερμοπυρηνικών αντιδράσεων σύντηξης, παράγοντας ήλιο και εκλύοντας τεράστιες ποσότητες ενέργειας. Με την έναρξη των θερμοπυρηνικών αντιδράσεων σύντηξης, η εσωτερική πίεση του νεογέννητου άστρου εξισορροπεί την περαιτέρω βαρυτική του κατάρρευση και το άστρο τότε εισέρχεται σε μία μακρά περίοδο υδροστατικής ισορροπίας ως άστρο της **Κύριας Ακολουθίας**, όπως ονομάζεται. Αυτός είναι σε γενικές γραμμές ο μηχανισμός γένεσης ενός νέου άστρου και κάπως έτσι δημιουργήθηκε και ο Ήλιος πριν από περίπου 4,6 δισ. χρόνια.

Οι πλανήτες, από την άλλη, προέρχονται από τους μικροσκοπικούς κόκκους σκόνης και τα αέρια του πρωτοπλανητικού δίσκου, που συνέχισαν να στροβιλίζονται γύρω από τον νεογέννητο Ήλιο. Η βαρυτική έλξη που ασκούσε η συσσωρευμένη ύλη του πρωτοπλανητικού δίσκου εξανάγκασε τα σωματίδια που τον περιβάλλουν να πέφτουν προς το επίπεδό του, όπου και άρχισαν να κολλούν μεταξύ τους, αρχικά με ηλεκτροστατικές και εν συνεχεία, όταν αυξήθηκε λίγο η μάζα τους, με βαρυτικές δυνάμεις, διευρύνοντας σταδιακά το μέγεθός τους απ' αυτό της σχεδόν αόρατης σκόνης στο μέγεθος ενός βράχου. Καθώς αυτά τα κομμάτια ύλης συνέχισαν να περιφέρονται γύρω από τον Ήλιο, οι περίπλοκες βαρυτικές αλληλεπιδράσεις μέσα στον πρωτοπλανητικό δίσκο τούς προσέδωσαν μία ανισομερή και ακανόνιστη κατανομή, συσσωρεύοντας τα περισσότερα απ' αυτά σε συ-


γκεκριμένες τροχιές. Μέσα σε κάθε τέτοια τροχιά οι συγκρούσεις μεταξύ των επιμέρους κομματιών συνεχίστηκαν, σχηματίζοντας όλο και μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ύλης, τους επονομαζόμενους **πλανητοειδείς**. Οι συγκρούσεις μεταξύ των πλανητοειδών ήταν πιο βίαιες: κάποιοι από αυτούς διαλύθηκαν, κάποιοι άλλοι όμως επιβίωσαν από τις συγκρούσεις και συγχωνεύθηκαν, σχηματίζοντας στα επόμενα εκατομμύρια χρόνια πρωτοπλανήτες και εντέλει πλανήτες.

Παρόλο που η θεωρία αυτή για τον σχηματισμό του Ηλιακού μας συστήματος είναι σε γενικές γραμμές σωστή, αντιμετωπίζει ορισμένα προβλήματα, τα οποία προσπαθεί να επιλύσει μία νέα θεωρία, γνωστή ως το **Πρότυπο της Νίκαιας**. Η θεωρία αυτή διατυπώθηκε από τους R. Gomes, H. Levison, A. Morbidelli και K. Τσιγάνη στο αστεροσκοπείο της ομώνυμης περιοχής της Γαλλίας και δημοσιεύθηκε στο περιοδικό **Nature** το 2005. Για την συμβολή του, μάλιστα, στην ανάπτυξη αυτού του προτύπου, ο Τσιγάνης βραβεύτηκε το 2016 με το βραβείο Paolo Farinella. Χωρίς να υπεισέλθουμε στις λεπτομέρειες της θεωρίας αυτής (που άλλωστε έχει παρουσιαστεί αναλυτικά από τον ίδιο τον Τσιγάνη στον Οδηγό Παράστασης [«Το Μυστήριο της Ζωής»](#)), η βασική διαφορά της με όσα περιγράψαμε ως τώρα είναι ότι οι 4 γιγάντιοι πλανήτες δημιουργήθηκαν σε μικρότερες αποστάσεις από τον Ήλιο, αλλά και σε μικρότερες αποστάσεις ο ένας με τον άλλον. Η μεγάλη τομή που φέρνει το Πρότυπο της Νίκαιας είναι ότι όλοι οι πλανήτες «μετανάστευσαν» στις τωρινές περιόδους τροχιές τους εξαιτίας της αλληλεπίδρασής τους με την ύλη του πρωτοπλανητικού δίσκου και του ενός με τον άλλον.



Ο Ήλιος σε εικόνα που ελήφθη από το τροχιακό αστεροσκοπείο Solar Dynamics Observatory (φωτογρ. NASA/SDO)





Κάπως έτσι, λοιπόν, οι τροχιές των 4 γιγάντων συνέχισαν να μεταβάλλονται αργά, μέχρις ότου 600–700 εκατ. χρόνια μετά τη δημιουργία του Ήλιου, ο Κρόνος και ο Δίας εισήλθαν σε τροχιακό συντονισμό, με τον Κρόνο να συμπληρώνει μία περιφορά γύρω από τον Ήλιο στον ίδιο χρόνο που ο Δίας συμπλήρωνε δύο. Ολόκληρο το πρώιμο Ηλιακό Σύστημα τότε αποσταθεροποιήθηκε πλήρως. Ο Κρόνος μετατοπίστηκε προς τη σημερινή του τροχιά, ενώ η βίαιη βαρυτική ώθηση που δέχτηκε ο Ποσειδώνας, τον εξανάγκασε να προσπεράσει τον Ουρανό και να «πέσει» στην αρχέγονη Ζώνη Κιίπερ, που ήταν κατά πολύ πυκνότερη εκείνη την εποχή, ενώ βρισκόταν και πλησιέστερα προς τον Ήλιο. Δεκάδες χιλιάδες από τους πλανητοειδείς της Ζώνης εκτινάχθηκαν τότε απ' τις αρχικά σταθερές τροχιές τους, γεγονός που ελάττωσε τη συνολική της μάζα κατά

99%. Εκείνα τα συντρίμια, στα οποία η βαρυτική «κλοτσιά» του Δία τούς προσέδωσε ιδιαίτερα ελλειπτικές τροχιές, σχημάτισαν το Νέφος Οοrt, ενώ εκείνα που εκτινάχθηκαν με λιγότερο ελλειπτικές τροχιές εξαιτίας της «μετανάστευσης» του Ποσειδώνα, εικάζεται ότι διαμόρφωσαν τη Ζώνη Κιίπερ και τον Διασκορπισμένο Δίσκο, όπως τους γνωρίζουμε σήμερα. Κάποια, όμως, από τα διαστημικά «συντρίμια» της Ζώνης των Αστεροειδών ή/και της Ζώνης Κιίπερ εκτινάχθηκαν προς το εσωτερικό Ηλιακό σύστημα, προκαλώντας έναν κατακλυσμιαίο βομβαρδισμό των εσωτερικών πλανητών του από μικρά και μεγάλα διαστημικά βλήματα, που έμεινε γνωστός ως ο **Ύστερος Μεγάλος Βομβαρδισμός**. Το βίαιο αυτό γεγονός στην προϊστορία του Ηλιακού μας συστήματος υπολογίζεται ότι συνέβη 4,1–3,8 δισ. χρόνια πριν ★

Καλλιτεχνική αναπαράσταση της αρχέγονης Γης την εποχή του Ύστερου Μεγάλου Βομβαρδισμού.



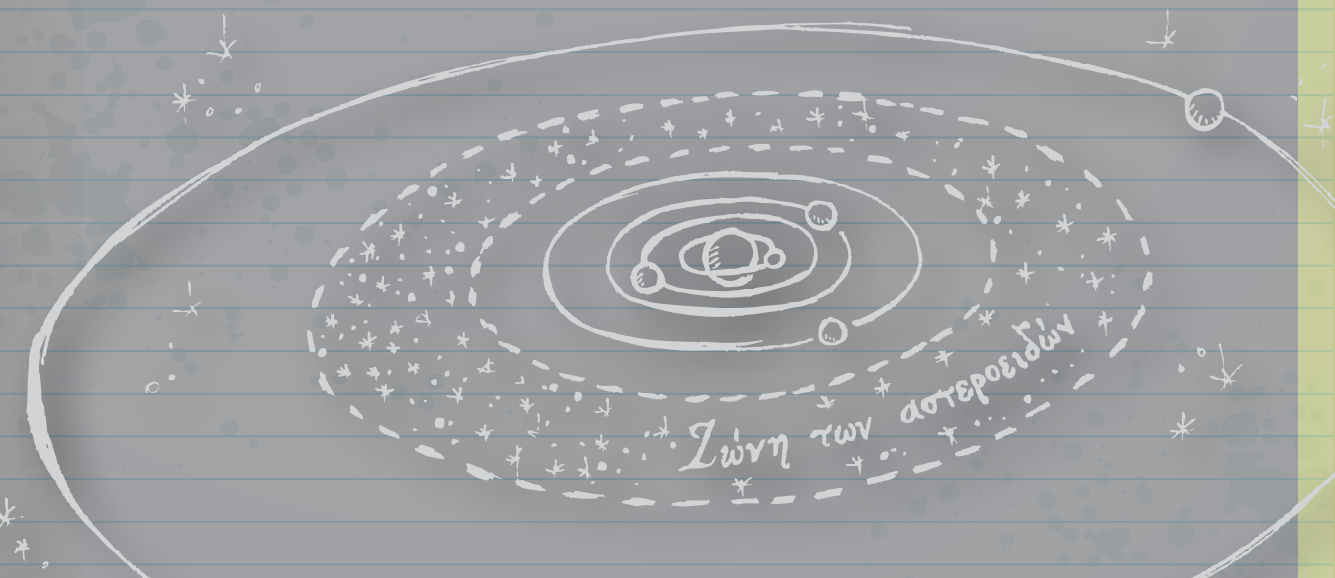


Καλλιτεχνική αναπαράσταση Ζώνης  
Αστεροειδών γύρω από άλλο άστρο  
[φωτογρ. NASA/JPL-Caltech/T. Pyle (SSC)].



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Η Ζώνη των Αστεροειδών

Τα αρχέγονα βραχώδη συντρίμια που περίσσεψαν κατά τον σχηματισμό του Ηλιακού μας συστήματος πριν από περίπου 4,6 εκατ. χρόνια ονομάζονται *αστεροειδείς*. Οι περισσότεροι αστεροειδείς σχηματίστηκαν σχετικά κοντά στον Ήλιο, εκεί δηλαδή όπου η θερμοκρασία ήταν αρκετά υψηλή και τα διάφορα πτητικά αέρια δεν μπορούσαν να στερεοποιηθούν σε πάγους. Γι' αυτό και οι αστεροειδείς απαρτίζονται κυρίως από πετρώματα και μέταλλα. Πολλοί αστεροειδείς, ωστόσο, έχουν δεσμεύσει και νερό στο εσωτερικό τους. Με μεγέθη που κυμαίνονται από λίγα μέτρα μέχρι το ένα τέταρτο περίπου της διαμέτρου της Σελήνης, οι περισσότεροι αστεροειδείς έχουν ανώμαλο σχήμα, αφού η μάζα τους δεν είναι αρκετά μεγάλη, ώστε η ίδια τους η βαρύτητα να τους προσδώσει σφαιρικό σχήμα.





Ο μεγαλύτερος πληθυσμός αστεροειδών απαρτίζει την επονομαζόμενη **Ζώνη των Αστεροειδών**, μία περιοχή σε σχήμα τόρου (σαμπρέλας) που περιβάλλει τους εσωτερικούς πλανήτες του Ηλιακού μας συστήματος και αποτελεί το όριο, πέρα από το οποίο εκτείνεται το βασίλειο των αέριων γιγάντων. Παρόλο που οι αστεροειδείς σχηματίστηκαν την ίδια περίπου εποχή που άρχισαν να διαμορφώνονται και οι βραχώδεις πλανήτες του Ηλιακού μας συστήματος, σε αντίθεση μ' αυτούς, δεν κατάφεραν να συσσωματωθούν σε μεγαλύτερα ουράνια σώματα και να δημιουργήσουν έναν ακόμα πλανήτη, αφού η βαρυτική επιρροή του γειτονικού Δία ήταν πολύ ισχυρή για να το επιτρέψει.

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

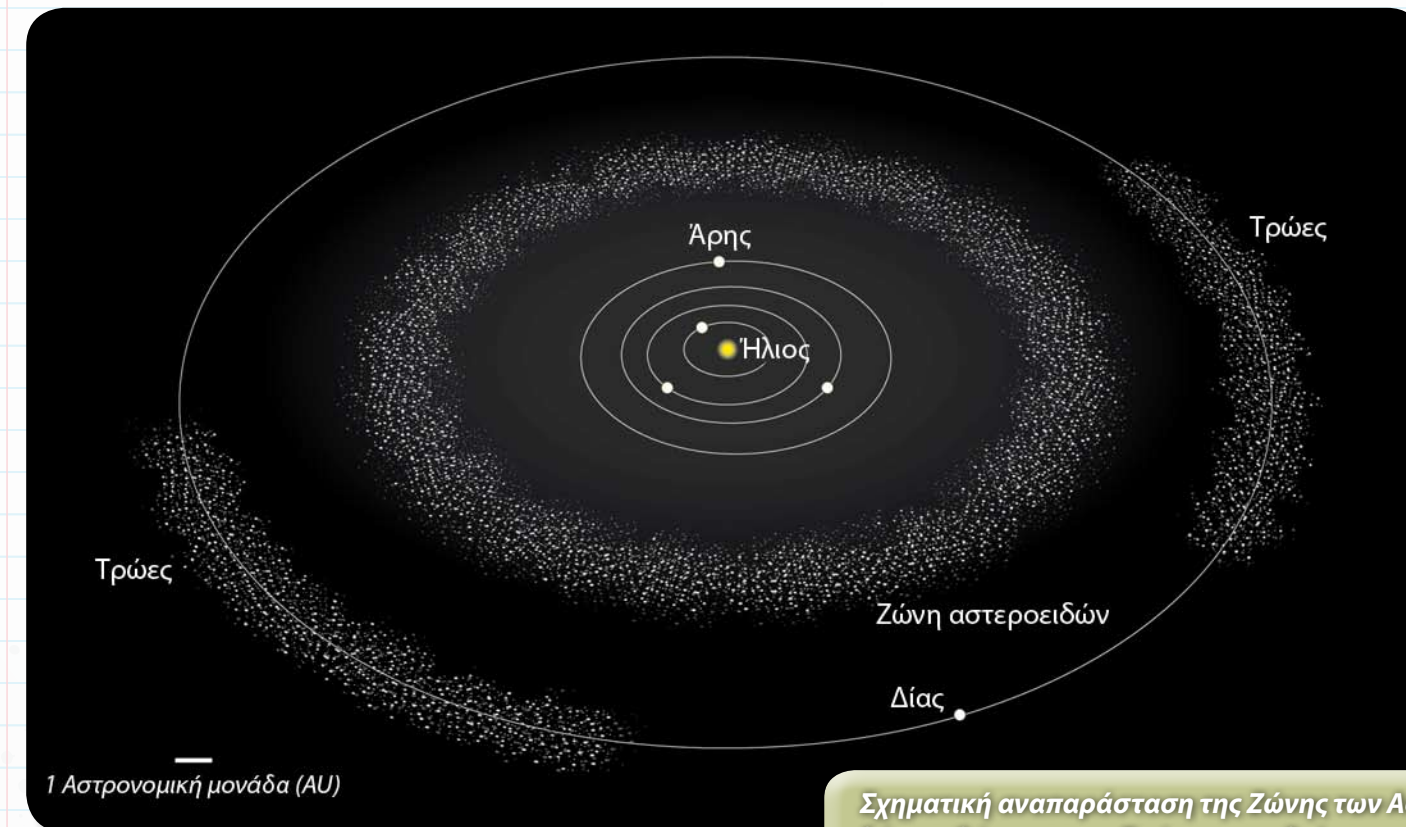
νης των Αστεροειδών. Σπανιότεροι όλων είναι οι αστεροειδείς που αποτελούνται από νικέλιο και σίδηρο, οι οποίοι θεωρείται ότι είναι τα λείψανα των μεταλλικών πυρήνων μεγαλύτερων αστεροειδών που διαμελίστηκαν από συγκρούσεις. Ο συνολικός αριθμός των αστεροειδών της Ζώνης με μέγεθος μεγαλύτερο του 1 km εκτιμάται ότι ανέρχεται περίπου σε 1,1–1,9 εκατ. αστεροειδείς.

Εκτός, όμως, από τα βραχώδη συντρίμια της Ζώνης των Αστεροειδών, υπάρχουν πολλοί ακόμη αστεροειδείς, οι οποίοι έχουν αιχμαλωτιστεί από την βαρυτική έλξη κάποιου πλανήτη σε μικρά βαρυτικά σμήνη, που είτε έπονται είτε τον ακολουθούν στην τροχιά του γύρω από τον Ήλιο. Αυτού του είδους οι αστεροειδείς ονομάζονται **Τρώες** και «μοιράζονται» την τροχιά του πλανήτη τους, χωρίς να συγκρούονται μαζί του, καθώς έχουν την τάση να συγκεντρώνονται γύρω από δύο σημεία, όπου η βαρυτική έλξη του Ήλιου εξισορροπείται απ' την βαρυτική έλξη του πλανήτη. Ο μεγαλύτερος πληθυσμός Τρώων είναι αυτός που βρίσκεται «εγκλωβισμένος» στην τροχιά του Δία, αφού, σύμφωνα με κάποιες εκτιμήσεις, οι Τρώες του Δία με μέγεθος μεγαλύτερο του 1 km υπολογίζεται ότι ανέρχονται σε περίπου 1 εκατομμύριο. Πέραν αυτών, υπάρχουν ομάδες Τρώων που κινούνται στην τροχιά του Ποσειδώνα, ενώ το 2011 η NASA ανακοίνωσε την ανακάλυψη ενός Τρώα στην τροχιά του πλανήτη μας. Επιπλέον, πολλοί από τους μικρότερους δορυφόρους των εξωτερικών γιγάντιων πλανητών εικάζεται ότι και αυτοί είναι αστεροειδείς, που αιχμαλωτίστηκαν βαρυτικά από τον πλανήτη τους, ενώ το ίδιο φαίνεται να ισχύει και για τους δύο μικρούς δορυφόρους του Άρη: τον Φόβο και τον Δείμο.

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

Εκτός, όμως, από τους αστεροειδείς, υπάρχουν πολ-

λά περισσότερα διαστημικά συντρίμια, τα οποία είναι αρκετά μικρότερα και τα οποία, για όσο χρόνο «περιπλανώνται» στο Διάστημα, ονομάζονται **μετεωροειδείς**. Οι μετεωροειδείς έχουν μέγεθος από κόκκο σκόνης μέχρι περίπου το ένα μέτρο και οι περισσότεροι αποτελούν θραύσματα αστεροειδών ή κομητών. Όταν, όμως, εισέλθουν στην γήινη ατμόσφαιρα, μετατρέπονται σε **μετέωρα** ή **διάττοντες αστέρες**. Καθώς διασχίζουν την γήινη ατμόσφαιρα με ταχύτητες που υπερβαίνουν τα 72.000 km/h, υπερθερμαίνονται εξαιτίας της τριβής με τα σωματίδια της ατμόσφαιρας, σχηματίζοντας μία



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



φωτεινή «ουρά», τόσο από το ίδιο το μετέωρο που φωτοβολεί εξαιτίας της μεγάλης του θερμοκρασίας, όσο και από τα υπερθερμασμένα μικροσωματίδια που αφήνει πίσω του. Εάν το μετέωρο είναι αρκετά μεγάλο, ώστε να επιβιώσει το σύντομο ταξίδι του μέσα από την ατμόσφαιρα, το «λείψανό» του που θα προσκρούσει στο έδαφος ονομάζεται **μετεωρίτης**. Υπολογίζεται μάλιστα ότι περίπου 40 τόνοι τέτοιου υλικού εναποτίθενται στην επιφάνεια του πλανήτη μας κάθε μέρα. Κάποιες φορές, όμως, ο αριθμός των μετεώρων που διασχίζουν τον γήινο ουρανό αυξάνεται εντυπωσιακά. Αυτές οι βροχές ή ακόμη και καταιγίδες διαπτόντων αστερών παρατηρούνται συνήθως όταν ο πλανήτης μας, καθώς κινείται στην τροχιά του, διέρχεται μέσα από τα υπολείμματα της ουράς κάποιου κομήτη. Το σύνολο σχεδόν των δεκάδων χιλιάδων μετεωριτών

που έχουμε εντοπίσει στην Γη προέρχονται από αστεροειδείς, ενώ κάποιοι ελάχιστοι είναι πετρώματα, προερχόμενα από την Σελήνη και τον Άρη, τα οποία εκτινάχθηκαν στο Διάστημα κατά την συντριβή αστεροειδών στην επιφάνειά τους.

Συστηματική μελέτη της Ζώνης των Αστεροειδών δεν έχει πραγματοποιηθεί στον βαθμό που θα ήθελαν οι αστρονόμοι. Το Pioneer 10 ήταν η πρώτη διαστημοσυσκευή που κατάφερε να διασχίσει τη Ζώνη Αστεροειδών τον Ιούλιο του 1972, κάτι που επαναλήφθηκε τα επόμενα χρόνια με τις αποστολές των Pioneer 11 (1973), Voyager 1 και 2 (1977) και Ulysses (1990). Αργότερα, αρχής γενομένης με την αποστολή Galileo, που ανακάλυψε τον πρώτο δορυφόρο να περιφέρεται γύρω από έναν αστεροειδή, οι διαστημοσυσκευές NEAR, Cassini, Stardust, New Horizons και Rosetta κατάφεραν να φωτογραφίσουν συγκεκριμένους αστεροειδείς, προτού συνεχίσουν το ταξίδι τους για τις επιμέρους αποστολές τους. Μέχρι στιγμής, όμως, μόλις 3 διαστημικές αποστολές έχουν υλοποιηθεί με αποκλειστικό στόχο την αναλυτική μελέτη κάποιου αστεροειδούς: οι αποστολές NEAR, Hayabusha και DAWN.

Η διαστημοσυσκευή **NEAR** της NASA εκτοξεύθηκε το 1996 με προορισμό τον αστεροειδή Έρως, που ανήκει στην οικογένεια των NEO. Σύμφωνα με τον σχεδιασμό της αποστολής, η διαστημοσυσκευή κατάφερε να τεθεί σε τροχιά γύρω από τον αστεροειδή, ενώ προσεδαφίστηκε στην επιφάνειά του στις 12 Φεβρουαρίου 2001. Η ιαπωνική διαστημοσυσκευή **Hayabusa** εκτοξεύθηκε τον Μάιο του 2003 με προορισμό τον αστεροειδή **Itokawa**, στον οποίο και προσεδαφίστηκε τον Νοέμβριο του 2005 σε μία προσπάθεια να συλλέξει υλικό από την επιφάνειά του για περαιτέρω ανάλυση. Δυστυχώς,

όμως, το αποσπώμενο ρομποτικό όχημα προσεδάφισης **Minerva** απέτυχε να προσεδαφιστεί στον στόχο του. Παρά τα μεγάλα προβλήματα που αντιμετώπισε η συγκεκριμένη αποστολή, κατάφερε εντέλει να μεταφέρει πίσω στην Γη κάποια δείγματα από την επιφάνεια του αστεροειδούς τον Ιούνιο του 2010. Όπως, μάλιστα, ευελπιστούν οι αστρονόμοι, η αποστολή **Hayabusa 2**, που εκτοξεύθηκε το 2014 προς έναν άλλον αστεροειδή, θα έχει μεγαλύτερη επιτυχία.

Η τελευταία, μέχρι στιγμής, διαστημική αποστολή με στόχο την μελέτη ενός αστεροειδούς, την συλλογή δειγμάτων από την επιφάνειά του και την επιστροφή τους στην Γη για περαιτέρω ανάλυση, είναι η **OSIRIS-REx**, που εκτοξεύθηκε στις 8 Σεπτεμβρίου 2016 με προορισμό τον αστεροειδή Bennu. Με μέση διάμετρο σχεδόν 500 m, ο **Bennu** είναι ένας κοντινός στην Γη αστεροειδής, για τον οποίο έχει υπολογιστεί ότι υπάρχει 0,037% πιθανότητα να προσκρούσει στον πλανήτη μας κάποια στιγμή στο χρονικό διάστημα 2.175-2.196. Αυτή ακριβώς η πολύ μικρή πιθανότητα της σύγκρουσής του με τον πλανήτη μας ήταν και ένας από τους λόγους που επιλέχθηκε για την αναλυτική του μελέτη.

Ωστόσο, η σημαντικότερη, μέχρι στιγμής, διαστημική αποστολή προς τη Ζώνη των Αστεροειδών ξεκίνησε στις 27 Σεπτεμβρίου 2007, όταν εκτοξεύθηκε η διαστημοσυσκευή **Dawn** της NASA, με στόχο την μελέτη των δύο μεγαλύτερων αστεροειδών της Ζώνης: της Δήμητρας και της Εστίας. Η Δήμητρα και η Εστία, όπως και οι άλλοι «βράχοι» της Ζώνης των Αστεροειδών σχηματίστηκαν όταν ακόμα το Ηλιακό μας σύστημα ήταν «βρέφος» και για τα επόμενα 4,5 περίπου δισ. χρόνια μετά τον σχηματισμό τους παρέμειναν σχεδόν άθικτοι, με

Η διαστημοσυσκευή Dawn εκτοξεύθηκε στις 27 Σεπτεμβρίου 2007 (φωτογρ. NASA/Sandra Joseph and Rafael Hernandez).



Καλλιτεχνική αναπαράσταση της διαστημοσυσκευής Hayabusa, καθώς πλησιάζει τον αστεροειδή Itokawa (φωτογρ. Corby Waste/NASA JPL).





εξαίρεση βέβαια την συντριβή μικρότερων αστεροειδών στην επιφάνειά τους. Γι' αυτό και κρύβουν μέσα τους πολλά από τα μυστικά του πρώιμου Ηλιακού μας συστήματος, συμπεριλαμβανομένης και της γένεσης και της εξέλιξης των πλανητών που το αποτελούν, όπως επίσης και των φυσικών διεργασιών που τους διαμόρφωσαν.

Όπως είπαμε και νωρίτερα, κατά τα πρώτα στάδια της εξέλιξης του Ηλιακού μας συστήματος, η σύσταση των διαφόρων ουράνιων σωμάτων καθοριζόταν από την απόστασή τους από τον Ήλιο: πλησιέστερα προς τον Ήλιο σχηματίστηκαν τα βραχώδη ουράνια σώματα, που απαρτίζονται από υλικά με υψηλό σημείο τήξης, ενώ εκείνα που εμπεριείχαν μεγάλες ποσότητες παγωμένων πτητικών ενώσεων, σχηματίστηκαν αρκετά μακρύτερα. Η επιλογή των δύο αυτών ουράνιων σωμάτων, δηλαδή της Εστίας και της Δήμητρας, έγινε διότι, παρόλο που αμφότερα σχετίζονται με τις γενικότερες συνθήκες και φυσικές διεργασίες που εξελίσσονταν στο νεαρό Ηλιακό σύστημα, εντέλει εξελίχθηκαν σε δύο εντελώς διαφορετικά ουράνια σώματα. Πραγματικά, η Εστία θυμίζει περισσότερο τους βραχώδεις πλανήτες του Ηλιακού μας συστήματος, ενώ η Δήμητρα μοιάζει περισσότερο με τους παγωμένους δορυφόρους των αέριων γιγάντων. Σύμφωνα με την κρατούσα θεωρία σχηματισμού τους, τόσο η Δήμητρα όσο και η Εστία διαμορφώθηκαν σε λίγα μόνο εκατ. χρόνια, σε αντίθεση με την πρώιμη Γη, η οποία συνέχισε να συσσωρεύει διαστημικά θραύσματα για αρκετά περισσότερα. Όπως σημειώσαμε νωρίτερα, βασική αιτία γι' αυτό εικάζεται ότι είναι η παρουσία του Δία, η βαρυτική έλξη του οποίου εμπόδισε την περαιτέρω συσσώρευση ύλης στους δύο αυτούς αστεροειδείς.

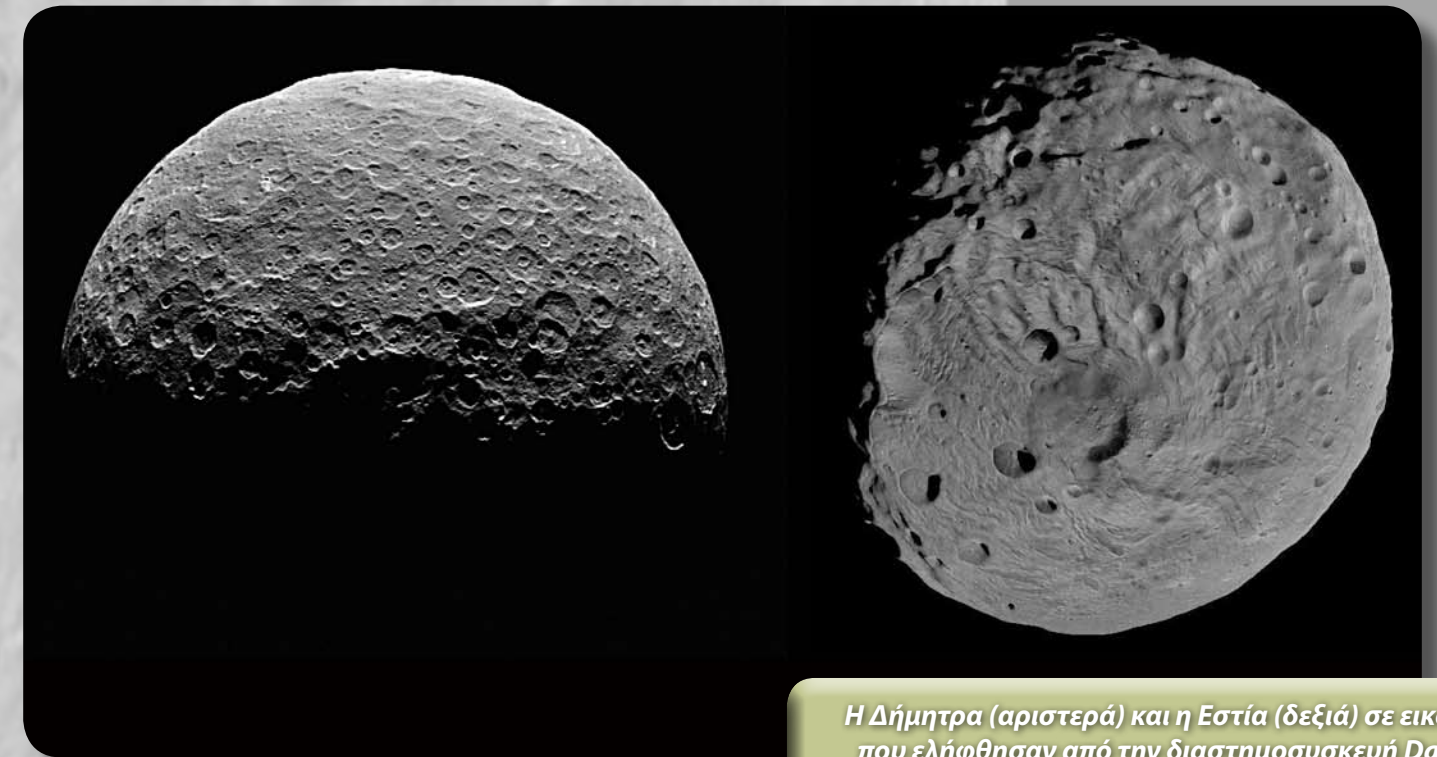
Σχεδόν 4 χρόνια μετά την εκτόξευσή της, η διαστημοσυσκευή Dawn εισήλθε σε τροχιά γύρω από την Εστία τον Ιούλιο του 2011, όπου παρέμεινε για έναν περίπου χρόνο. Στην συνέχεια κατευθύνθηκε προς τον πλανήτη-νάνο Δήμητρα, εισερχόμενη σε τροχιά γύρω του περίπου 3 χρόνια αργότερα. Εκείνη την στιγμή, το Dawn κατέρριπτε δύο διαστημικά ρεκόρ, καθώς ήταν η πρώτη διαστημοσυσκευή που τέθηκε σε τροχιά γύρω από δύο διαφορετικά ουράνια σώματα του Ηλιακού συστήματος, αλλά και η πρώτη που κατάφερε να τεθεί σε τροχιά γύρω από έναν πλανήτη-νάνο.

Η **Δήμητρα** ανακαλύφθηκε το 1801 και με διάμετρο που φτάνει τα 950 km, δεν είναι μόνο ο μεγαλύτερος αστεροειδής της Ζώνης των Αστεροειδών, αλλά και ο μικρότερος μέχρι στιγμής πλανήτη-νάνος του Ηλιακού μας συστήματος. Σύμφωνα με νεότερα στοιχεία, η Δήμητρα αποτελείται από μείγμα πετρωμάτων και πάγου, ενώ περιβάλλεται από μία πολύ αραιή ατμόσφαιρα υδρατμών. Όπως μάλιστα υποστηρίζουν ορισμένοι αστρονόμοι, ο εσωτερικός της μανδύας, πάχους 100 km, αποτελείται επίσης από πάγο. Εάν ο ισχυρισμός αυτός επιβεβαιωθεί, τα συνολικά αποθέματα της Δήμητρας σε γλυκό νερό ενδέχεται να είναι μεγαλύτερα απ' αυτά του πλανήτη μας. Αυτές ακριβώς οι μεγάλες ποσότητες πάγου αλλά και αμμωνίας που έχουν ανιχνευτεί, υποδηλώνουν ότι η Δήμητρα ίσως να σχηματίστηκε πέρα απ' την τροχιά του Ποσειδώνα και να «μετανάστευσε» προς την Ζώνη των Αστεροειδών, την εποχή που το Ηλιακό μας σύστημα ήταν ακόμη ασταθές.

Η **Εστία** από την άλλη, ανακαλύφθηκε το 1807 και είναι το δεύτερο σε μέγεθος ουράνιο σώμα της

Ζώνης των Αστεροειδών, με μέση διάμετρο περίπου 530 km και με επιφάνεια καλυμμένη από στερεοποιημένη βασαλτική λάβα, που διέρρευσε από το κάποτε ρευστό εσωτερικό της. Οι αναρίθμητες προσκρούσεις αστεροειδών στην επιφάνειά της, καθόλη την διάρκεια της γεωλογικής της ιστορίας, σχημάτισαν χιλιάδες μικρούς και μεγάλους κρατήρες, ο μεγαλύτερος των οποίων εντοπίστηκε στην ευρύτερη περιοχή του νότιου πόλου της και έχει διάμετρο 460 km και βάθος 13 km. Τα γενικότερα φυσικά χαρακτηριστικά της Εστίας παραπέμπουν περισσότερο σε αυτά των εσωτερικών πλανητών του Ηλιακού μας συστήματος, που σημαίνει ότι σ' αυτό το κάποτε ρευστό πρωτοπλανητικό σώμα, τα

βαρύτερα υλικά βυθίστηκαν προς τον πυρήνα του, ο οποίος αποτελείται μάλλον από σίδηρο και νικέλιο, ενώ τα ελαφρύτερα πετρώματα που επέπλεαν, σχημάτισαν τον μανδύα και τον φλοιό του. Χάρη στα δεδομένα που συνέλεξε η διαστημοσυσκευή Dawn, οι αστρονόμοι κατάφεραν να χαρτογραφήσουν την επιφάνεια των δύο αυτών ουράνιων σωμάτων, ενώ συνεχίζουν τις μελέτες τους, προκειμένου να προσδιορίσουν με ακόμη μεγαλύτερη ακρίβεια τα επιφανειακά ορυκτά και τα χημικά στοιχεία που τα αποτελούν. Τα δεδομένα αυτά τους δίνουν μια μοναδική ευκαιρία να διερευνήσουν πολλά από τα ερωτήματα που άπτονται της εξέλιξης του πρώιμου Ηλιακού μας συστήματος ★



Η Δήμητρα (αριστερά) και η Εστία (δεξιά) σε εικόνες που ελήφθησαν από την διαστημοσυσκευή Dawn (φωτογρ. NASA/JPL-Caltech/UCLA/MPS/DLR/IDA).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### Η Ζώνη Kuiper και οι Πλανήτες-Νάνοι

Πέρα απ' την τροχιά του Ποσειδώνα, του τελευταίου των γιγάντων του Ηλιακού μας συστήματος, και μέχρι τις περίπου 55 ΑΜ, εκτείνεται το παγωμένο βασίλειο της *Ζώνης Kuiper*. Τα Αντικείμενα της Ζώνης Kuiper, γνωστά και ως *KBO* (από τα αρχικά της αγγλικής τους ονομασίας, Kuiper Belt Objects), είναι αρχέγονα πλανητικά έμβρυα, συντρίμμια δηλαδή που περίσσεψαν κατά τον σχηματισμό του Ηλιακού συστήματος, τα οποία δεν κατάφεραν να συσσωματωθούν σε μεγαλύτερα μεγέθη. Σε αντίθεση, όμως, με τα συντρίμμια που περικλείονται στην Ζώνη των Αστεροειδών και έχουν κυρίως βραχύδη σύσταση, τα KBO εμπεριέχουν μεγάλες ποσότητες παγωμένων πτητικών ενώσεων, όπως μεθάνιο, αμμωνία και νερό. Το πρώτο KBO ανακαλύφθηκε το 1992, ενώ έκτοτε εκατοντάδες περισσότερα έχουν ήδη εντοπιστεί σ' αυτήν την περιοχή του Ηλιακού μας συστήματος. Όπως υπολογίζεται, μάλιστα, μόνο τα KBO με διάμετρο μεγαλύτερη των 100 km ανέρχονται σε εκατοντάδες χιλιάδες.



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



**Ο** Πλούτωνας είναι ίσως το γνωστότερο από τα μεγάλα αντικείμενα της Ζώνης Κίριερ. Θεωρούμενος μέχρι πριν από λίγα χρόνια ως ο ένατος πλανήτης του Ηλιακού μας συστήματος, ο Πλούτωνας υποβιβάστηκε το 2006 στην κατηγορία του πλανήτη-νάνου. Βασική αιτία γι' αυτό ήταν η ανακάλυψη το 2003 ενός ουράνιου σώματος πέρα από την τροχιά του Ποσειδώνα με χαρακτηριστικά που παρέπεμπαν σε πλανήτη, το οποίο αργότερα ονομάστηκε **Έριδα**. Με διάμετρο που αρχικά υπολογίστηκε ότι είναι 10% μεγαλύτερη απ' αυτήν του Πλούτωνα, η Έριδα είχε παρουσιαστεί πανηγυρικά από τα Μέσα Μαζικής Ενημέρωσης ως ο δέκατος πλανήτης του Ηλιακού μας συστήματος. Δεδομένου ότι δεν είχε διατυπωθεί ως τότε ένας αυστηρά επιστημονικός ορισμός για το τι είναι ένας πλανήτης, αλλά και προκειμένου να αποφεύγεται στο μέλλον ο επαναπροσδιορισμός του συνολικού αριθμού των πλανητών του Ηλιακού μας συστήματος, κάθε φορά που ανακαλύπτονται ουράνια σώματα παραπλήσια σε μέγεθος με τον Πλούτωνα, η Διεθνής Αστρονομική Ένωση αποφάσισε να αποσαφηνίσει την όλη κατάσταση στην διάρκεια της 26ης Γενικής της Συνέλευσης, που έλαβε χώρα το 2006 στην Πράγα.

Σύμφωνα με τον επιστημονικό ορισμό που υπερψηφίστηκε, προκειμένου ένα ουράνιο σώμα να θεωρείται πλανήτης, θα πρέπει να περιφέρεται



Ο Πλούτωνας σε εικόνα της διαστημοσυσκευής *New Horizons* (φωτογρ. NASA/JHUAPL/SwRI).

γύρω από ένα άστρο, να έχει αρκετά μεγάλη μάζα, ώστε η ίδια του η βαρύτητα να του έχει προσδώσει σφαιρικό σχήμα, και να έχει «καθαρίσει» την τροχιά του από κάθε άλλο μικρότερο ουράνιο σώμα που δεν είναι δορυφόρος του, είτε αφομοιώνοντας κάποια από αυτά είτε εκσφενδονίζοντας κάποια άλλα μακριά μέσω βαρυτικών αλληλεπιδράσεων. Σύμφωνα με την τελική πρόταση, εκτός από τους πλανήτες, προσδιορίζονται δύο ακόμη κατηγορίες ουράνιων σωμάτων: οι «πλανήτες-νάνοι» και τα «μικρά ουράνια σώματα του Ηλιακού συστήματος». Οι **πλανήτες-νάνοι** είναι ουράνια σώματα, τα οποία ικανοποιούν μόνο τα δύο πρώτα κριτήρια και τα οποία δεν είναι δορυφόροι. Οτιδήποτε περισσεύει, για παράδειγμα αστεροειδείς και κομήτες, ανήκει στην τρίτη κατηγορία. Η πλειονότητα των αστρονόμων ψήφισαν υπέρ αυτής της πρότασης, υποβαθμίζοντας έτσι τον

Πλούτωνα στην κατηγορία του πλανήτη-νάνου, ενώ η Δήμητρα, που μέχρι πρότινος ήταν ο μεγαλύτερος αστεροειδής του Ηλιακού συστήματος, καθώς και η Έριδα, θεωρούνται πλέον ότι κι αυτοί είναι πλανήτες-νάνοι. Με τις πρόσφατες ανακαλύψεις των νάνων-πλανητών Haumea και Makemake, ο συνολικός αριθμός των πλανητών-νάνων που έχουν ανακαλυφθεί μέχρι σήμερα ανέρχεται σε πέντε.

Ας δούμε τι γνωρίζουμε ήδη γι' αυτούς (με εξαίρεση την Δήμητρα, στην οποία έχουμε ήδη αναφερθεί). Ο **Πλού-**

**τωνας** ανακαλύφθηκε το 1930 και η μάζα του είναι τόσο μικρή σε σχέση με την μάζα της Γης, ώστε ένας άνθρωπος στην επιφάνειά του θα ζύγιζε περίπου το 1/15 του γήινου βάρους του. Το πιθανότερο είναι ότι έχει βραχώδη πυρήνα, αλλά και μανδύα από πάγο, ενώ η επιφάνειά του καλύπτεται από παγωμένο μεθάνιο και άζωτο. Ο Πλούτωνας συμπληρώνει μία πλήρη περιφορά γύρω από τον Ήλιο κάθε 248 χρόνια, διαγράφοντας μία ιδιαίτερα ελλειπτική τροχιά, που μεταβάλλει την απόστασή του από τον Ήλιο από τις 30 μέχρι και τις 50 ΑΜ. Έτσι, για 20 περίπου από τα χρόνια που διαρκεί μία πλήρης περιφορά του γύρω από τον Ήλιο, ο Πλούτωνας βρίσκεται πλησιέστερα στον Ήλιο απ' όσο ο Ποσειδώνας. Έχοντας ήδη πλησιάσει στην κοντινότερη απόστασή του από τον Ήλιο το 1989, αυτή την στιγμή ο Πλούτωνας συνεχίζει να απομακρύνεται από το άστρο μας, οδεύοντας προς το αφήλιό του (δηλ. προς την μέγιστη απόστασή του από τον Ήλιο), στο οποίο θα φτάσει το 2114. Επιπλέον, σε αντίθεση με τους άλλους πλανήτες του Ηλιακού μας συστήματος, οι οποίοι κινούνται στο ίδιο περίπου επίπεδο, αυτό δηλαδή της Εκλειπτικής, η τροχιά του Πλούτωνα σχηματίζει με το επίπεδο αυτό γωνία περίπου 17°.

Ο Πλούτωνας περιβάλλεται από μία ιδιαίτερος αραιή ατμόσφαιρα, η οποία αποτελείται κυρίως από άζωτο και μονοξείδιο του άνθρακα, καθώς και από ίχνη μεθανίου. Εξαιτίας της μεγάλης απόστασης που τον χωρίζει από τον Ήλιο, η επιφανειακή του θερμοκρασία δεν υπερβαίνει τους περίπου -230 °C, αν και εξαιτίας της ελλειπτικής του τροχιάς, η θερμοκρασία του μεταβάλλεται ανάλογα και με το εάν πλησιάζει ή απομακρύνεται απ' αυτόν. Το εσωτερικό του, αντίθετα, πρέπει να είναι

Σ' αυτή την εικόνα που ελήφθη από την διαστημοσυσκευή *New Horizons*, το φως του Ήλιου που βρίσκεται πίσω από τον Πλούτωνα αποκαλύπτει την λεπτή ατμόσφαιρα που τον περιβάλλει [φωτογρ. NASA/JHUAPL/SwRI].



θερμότερο, ενώ ορισμένοι αστρονόμοι εικάζουν ότι κάτω από την παγωμένη του επιφάνεια ενδεχομένως να υπάρχει και ένας ρευστός ωκεανός, κάτι που όπως θα δούμε πιο κάτω μοιάζει να επιβεβαιώνεται.

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 τα αέρια της ατμόσφαιράς του να συμπυκνώνονται και να πέφτουν στην επιφάνειά του σαν χιόνι.

Ο Πλούτωνα διαθέτει 5 γνωστούς δορυφόρους: τον **Χάροντα**, την **Στύγα**, την **Νύχτα**, τον **Κέρβερο** και την **Ύδρα**, που με εξαίρεση τον πρώτο και πλησιέστερο προς αυτόν, είναι όλοι τους πολύ μικροί. Με διάμετρο που δεν υπερβαίνει τα 1.210 km, ο **Χάροντας** είναι ένας σχετικά μικρός δορυφόρος του Ηλιακού συστήματος, αλλά 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 ο Πλούτωνα περιστρέφονται ο ένας γύρω από τον άλλον ή σωστότερα γύρω από το κοινό κέντρο βάρους τους, σε λίγο περισσότερο από 6 ημέρες. Εκτός αυτού, είναι κατά τέτοιον τρόπο βαρυτικά «κλειδωμένοι» μεταξύ τους, ώστε καθένα από τα δύο αυτά ουράνια σώματα εκτελεί σύγχρονη περιστροφή ως προς το άλλο. Αυτό σημαίνει ότι, όχι μόνο ο Χάροντας στρέφει διαρκώς την ίδια όψη του προς τον Πλούτωνα, αλλά και ότι ο Πλούτωνα στρέφει διαρκώς την ίδια όψη του προς τον Χάροντα. Σε αντίθεση με τον Πλούτωνα, η επιφάνεια του Χάροντα φαίνεται να είναι καλυμμένη κατά κύριο λόγο από παγωμένο νερό, ενώ εμπεριέχει μικρότερες ποσότητες πετρωμάτων. Τα γενικότερα χαρακτηριστικά του Πλούτωνα και των δορυφόρων του υποδηλώνουν ότι το δορυφορικό σύστημα του Πλούτωνα σχηματίστηκε εξαιτίας μιας τεράστιας σύγκρουσης, παραπλήσιας ενδεχομένως με εκείνη που εικάζεται ότι σχημάτισε και την Σελήνη.

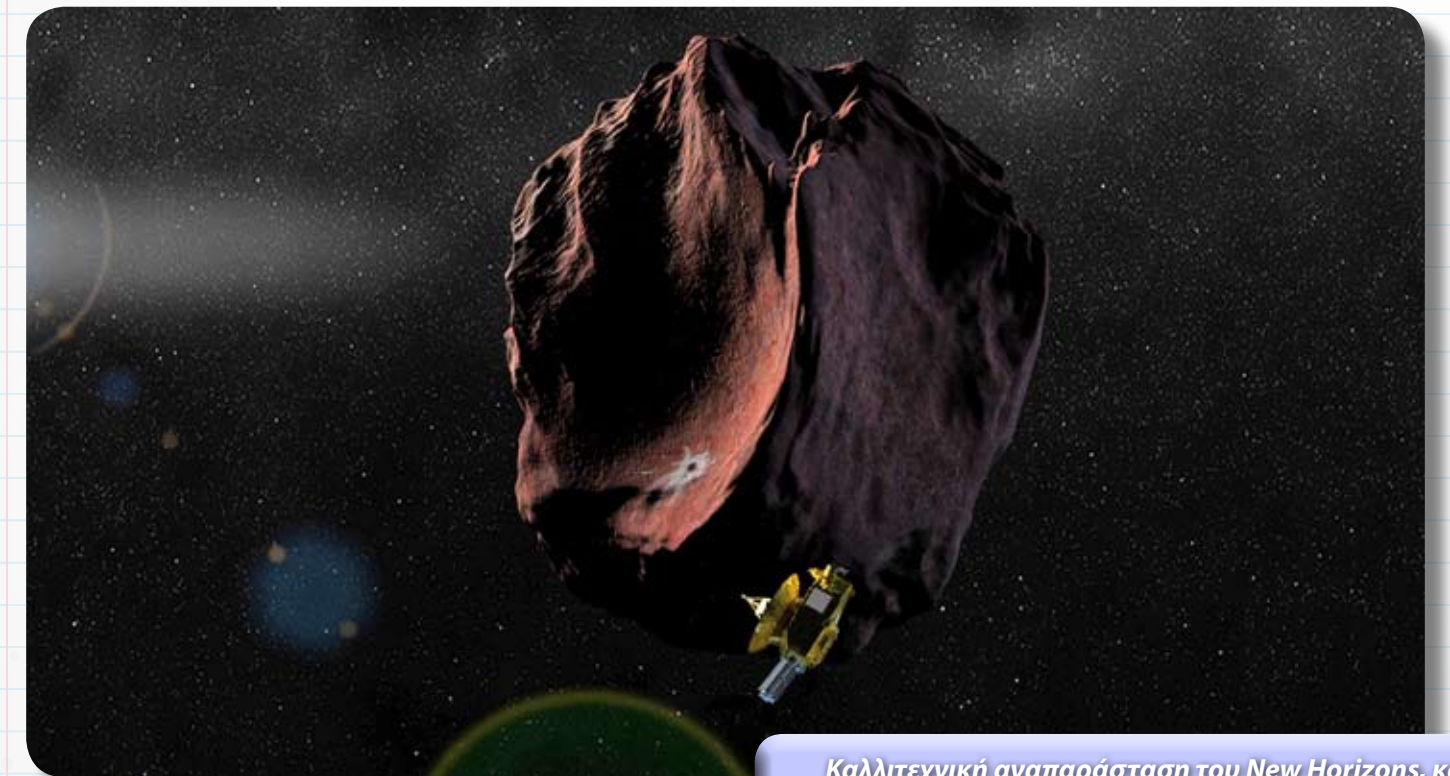
Μέχρι στιγμής, μία μόνο διαστημοσυσκευή έχει επισκεφθεί αυτήν την περιοχή του Ηλιακού συστήματος. Η διαστημοσυσκευή **New Horizons** της NASA εκτοξεύθηκε τον Ιανουάριο του 2006, με προορισμό τον Πλούτωνα, τον οποίο και προσέγγισε στην μικρότερη δυνατή απόσταση στις 14 Ιουλίου 2015. Έχοντας ήδη συλλέξει πολύτιμα δεδομένα για τον παγωμένο αυτόν κόσμο και τους δορυφόρους του, το New Horizons κινείται αυτήν την στιγμή στα όρια της Ζώνης Kuiper, επιχειρώντας να προσεγγίσει ένα ακόμα από τα διαστημικά συντρίμια που την απαρτίζουν, και ειδικότερα

το αντικείμενο **2014 MU69**, στο οποίο αναμένεται να φθάσει την Πρωτοχρονιά του 2019.

Τον Νοέμβριο του 2016, μάλιστα, οι επιστήμονες που αναλύουν τα δεδομένα που έστειλε το New Horizons ανακοίνωσαν ότι κάτω από την πιο χαρακτηριστική επιφανειακή περιοχή του Πλούτωνα, η οποία έχει σχήμα καρδιάς, είναι πολύ πιθανό να υπάρχει ένας ημίρρευστος ωκεανός παγωμένου νερού, σε ποσότητα που ίσως και να αντιστοιχεί στο νερό όλων των ωκεανών της Γης. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις τους, ο ωκεανός του Πλούτωνα βρί-

σκεται 150-200 km κάτω από την παγωμένη του επιφάνεια και έχει βάθος έως 100 km.

Η **Έριδα**, από την άλλη, έχει το ίδιο σχεδόν μέγεθος με αυτό του Πλούτωνα και η ανακάλυψή της το 2005 ήταν μία από τις βασικές αιτίες για την εκθρόνισή του από το βάθρο του πλανήτη. Δεδομένου ότι η απόφαση για τον υποβιβασμό του Πλούτωνα στην κατηγορία του πλανήτη-νάνου εξακολουθεί να προκαλεί αντιδράσεις και διαφωνίες μεταξύ των αστρονόμων, το όνομα της Έριδας είναι ασφαλώς ταιριαστό σ' αυτήν περίπτω-



Καλλιτεχνική αναπαράσταση του New Horizons, καθώς προσεγγίζει ένα άλλο KBO (φωτογρ. Credit: NASA/ Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/ Southwest Research Institute/Steve Gribben).



ση! Η Έριδα χρειάζεται 558 χρόνια προκειμένου να συμπληρώσει μία περιφορά γύρω από τον Ήλιο. Η τροχιά της όμως είναι τόσο ελλειπτική, ώστε στο περιήλιό της απέχει από τον Ήλιο «μόλις» 38 ΑΜ, ενώ στο αφήλιο της τροχιάς της, η απόστασή της από τον Ήλιο αγγίζει τις 98 ΑΜ. Τα γενικότερα χαρακτηριστικά της τροχιάς της υποδηλώνουν ότι η Έριδα ανήκει στα αντικείμενα που απαρτίζουν τον Διασκορπισμένο Δίσκο. Οι αστρονόμοι εικάζουν ότι η επιφανειακή θερμοκρασία της κυμαίνεται από τους  $-217$  στους  $-243$  °C, ενώ οι τελευταίες μετρήσεις δείχνουν ότι η Έριδα έχει εντέλει μικρότερη διάμετρο, αλλά αρκετά μεγαλύτερη μάζα από τον Πλούτωνα. Προφανώς, αυτό οφείλεται στην αρκετά μεγαλύτερη πυκνότητά της, που υποδηλώνει ότι αποτελείται πρωτίστως από βραχώδη υλικά, καλυμμένα από έναν λεπτό μανδύα πάγου. Η επιφάνειά της ανακλά περίπου το 96% της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει πάνω της, και εικάζεται ότι αποτελείται από πάγους αζώτου και μεθανίου. Γύρω από την Έριδα, τέλος, περιφέρεται ένας μικροσκοπικός δορυφόρος, η **Δυσνομία**.

Η **Haumea**, που πήρε το όνομά της από μία θεότητα της Χαβάης, προστάτιδα της γονιμότητας, είναι για το μέγεθός της ένα από τα ταχύτερα περιστρεφόμενα ουράνια σώματα του Ηλιακού μας συστήματος, αφού συμπληρώνει μια περιφορά γύρω

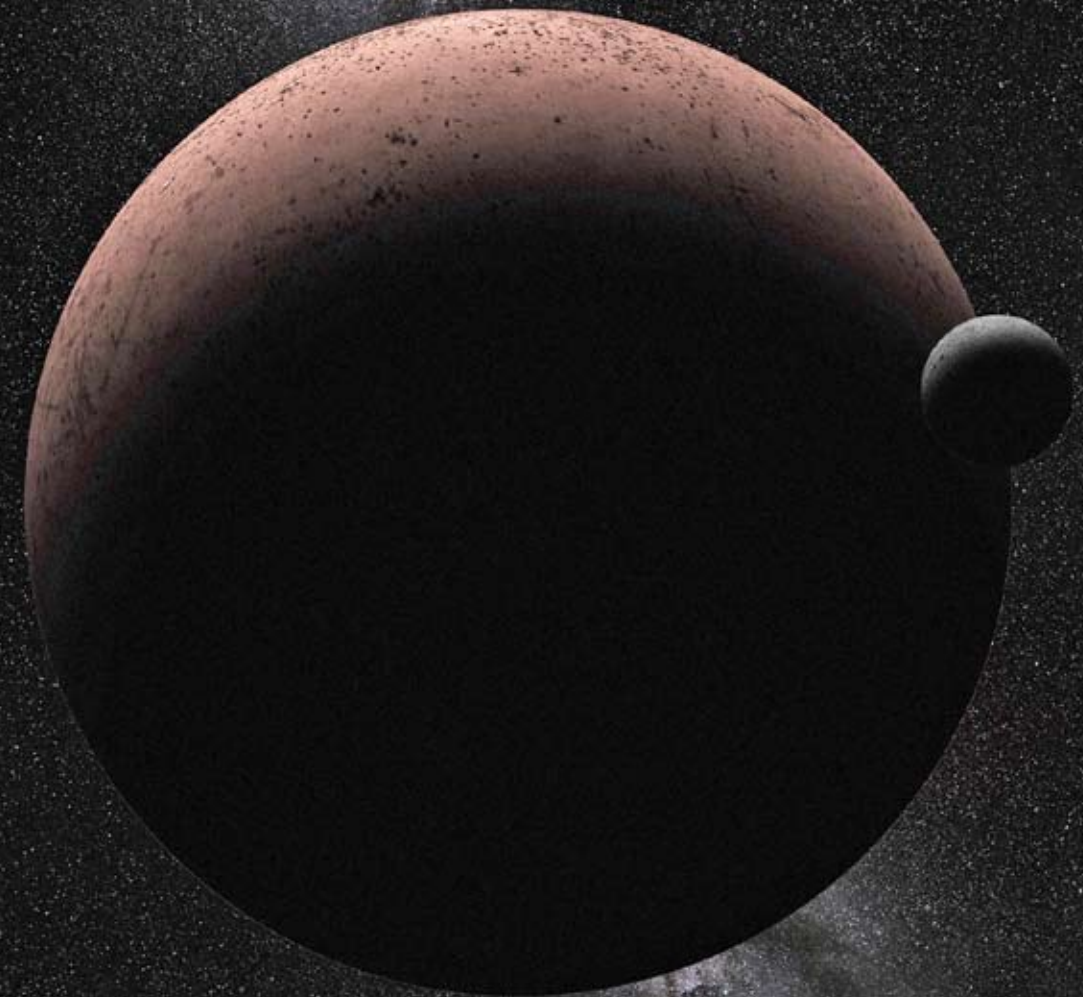


Καλλιτεχνική αναπαράσταση της Έριδας και της Δυσνομίας [φωτογρ. NASA, ESA, and A. Schaller (for STScI)].

από τον άξονά της σε 4 μόλις ώρες. Η ταχύτατη αυτή περιστροφή της Haumea, της προσέδωσε το σχήμα μπάλας του ράγκμπι, ενώ σύμφωνα με κάποιες θεωρίες, το έναυσμα για την ταχύτατο στροβιλισμό της ήταν μία βίαιη σύγκρουση με κάποιο άλλο ουράνιο σώμα, πριν από δισεκατομμύρια χρόνια. Η σύγκρουση αυτή, μάλιστα, πρέπει να δημιούργησε και τους δύο μικροσκοπικούς της δορυφόρους που περιφέρονται γύρω της. Η Haumea συμπληρώνει μία περιφορά γύρω από τον Ήλιο σε 285 χρόνια, ενώ η μέγιστη και η ελάχιστη απόστασή της απ' αυτόν είναι 34 και 51 ΑΜ.

Ο **Makemake**, τέλος, που ανακαλύφθηκε το 2005, αναγνωρίστηκε από την Διεθνή Αστρονομική Ένωση ως πλανήτη-νάνος το 2008. Με διάμετρο ίση με τα δύο τρίτα εκείνης του Πλούτωνα, ο Makemake έχει παγωμένη επιφάνεια, καλυμμένη με πάγους μεθανίου, αιθανίου και ίσως αζώτου, ενώ διαθέτει και έναν δορυφόρο. Η τροχιά του Makemake γύρω από τον Ήλιο είναι παρόμοια μ' αυτήν της Haumea: το επίπεδό της έχει μεγάλη κλίση ως προς αυτό της Εκλειπτικής, ενώ δεν είναι τόσο ελλειπτική, όσο της Έριδας για παράδειγμα. Η περίοδος περιφοράς του Makemake γύρω από τον Ήλιο είναι σχεδόν 310 χρόνια, ενώ το περιήλιο και το αφήλιό του απέχουν περίπου 39 ΑΜ και 52 ΑΜ από τον Ήλιο ★

Καλλιτεχνική αναπαράσταση του πλανήτη-νάνου Mekemake και του δορυφόρου του [φωτογρ. NASA, ESA, and A. Parker (Southwest Research Institute)].







## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Οι Κομήτες

Για χιλιάδες χρόνια, οι περιοδικές επισκέψεις των κομητών στην γειτονιά του πλανήτη μας αντιμετωπίζονταν με φόβο και δέος, καθώς τόσο στον προϊστορικό, όσο και στον αρχαίο, αλλά και στον μεσαιωνικό κόσμο, οι περισσότεροι τους θεωρούσαν προάγγελους μεγάλων δεινών και καταστροφών. Το πρώτο, ωστόσο, σημαντικό βήμα για την αποκρυπτογράφηση της φύσης τους έγινε από τον μεγάλο Δανό αστρονόμο *Tycho Brahe* (1546–1601), στην διάρκεια του 16<sup>ου</sup> αιώνα. Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα δύο απομακρυσμένων αστεροσκοπειών, ο Brahe απέδειξε ότι ο φωτεινός κομήτης που είχε παρατηρηθεί το 1577 βρισκόταν σε πολύ μεγαλύτερη απόσταση από την Σελήνη. Η άποψη του Αριστοτέλη που κυριαρχούσε ως τότε, ότι δηλαδή οι κομήτες είναι φαινόμενα της γήινης ατμόσφαιρας, κατέρρευσε. Εάν, λοιπόν, οι κομήτες είναι όντως διαστημικά αντικείμενα, ποια είναι η φύση τους και από πού προέρχονται;



Ο κομήτης ISON (φωτογρ. Adam Block/Mount Lemmon SkyCenter/University of Arizona).





**Ε**δώ και πολλά χρόνια γνωρίζουμε ότι οι **κομήτες** είναι κι αυτοί διαστημικά λείψανα της γένεσης του Ηλιακού μας συστήματος. Σε αντίθεση, όμως, με τους αστεροειδείς, οι κομήτες «γεννήθηκαν» σε μεγαλύτερες αποστάσεις από τον Ήλιο, γι' αυτό και περιέχουν μεγάλες ποσότητες παγωμένων αερίων. Δεν είναι, λοιπόν, παράξενο που οι αστρονόμοι αποκαλούν αυτές τις σαθρές συσσωματώσεις πάγων και πετρωμάτων «βρώμικα παγόβουνα». Με μέγεθος που κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες μέτρα μέχρι και μερικές δεκάδες χιλιόμετρα, οι κομήτες αποτελούνται από σαθρές συσσωματώσεις πάγων, σκόνης και πετρωμάτων, αναμειγμένων με μικρότερες συγκεντρώσεις παγωμένων πτητικών ενώσεων, όπως μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο και αμμωνία. Οι κομήτες που μας έχουν «επισκεφθεί» μέχρι σήμερα περιφέρονται γύρω από τον Ήλιο με περιόδους που κυμαίνονται από λίγα χρόνια μέχρι και αρκετές εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια, ενώ ανάλογα με την διάρκεια της περιόδου τους προέρχονται από δύο διαφορετικές περιοχές του Ηλιακού συστήματος.

Μέχρι πρόσφατα οι περισσότεροι επιστήμονες θεωρούσαν ότι οι κομήτες μικρής περιόδου προέρχονται από την **Ζώνη Kuiper**. Επειδή, ωστόσο, ο τροχιάς των περισσότερων σωμάτων της Ζώνης αυτής είναι ως επί το πλείστον σταθερές, οι περισσότεροι αστρονόμοι θεωρούν πλέον ότι οι κομήτες μικρής περιόδου προέρχονται από τον **Διασκορπισμένο Δίσκο**. Σύμφωνα με το Πρότυπο της Νίκαιας, στα πρώτα στάδια της εξέλιξης του Ηλιακού μας συστήματος, η αρχέγονη Ζώνη Kuiper βρισκόταν σε μικρότερη απόσταση από τον Ήλιο. Όταν όμως ο Ποσειδώνας μετανάστευσε σε μεγαλύτερη τροχιά, οι «αναταράξεις» που προκλήθηκαν στο πρώιμο

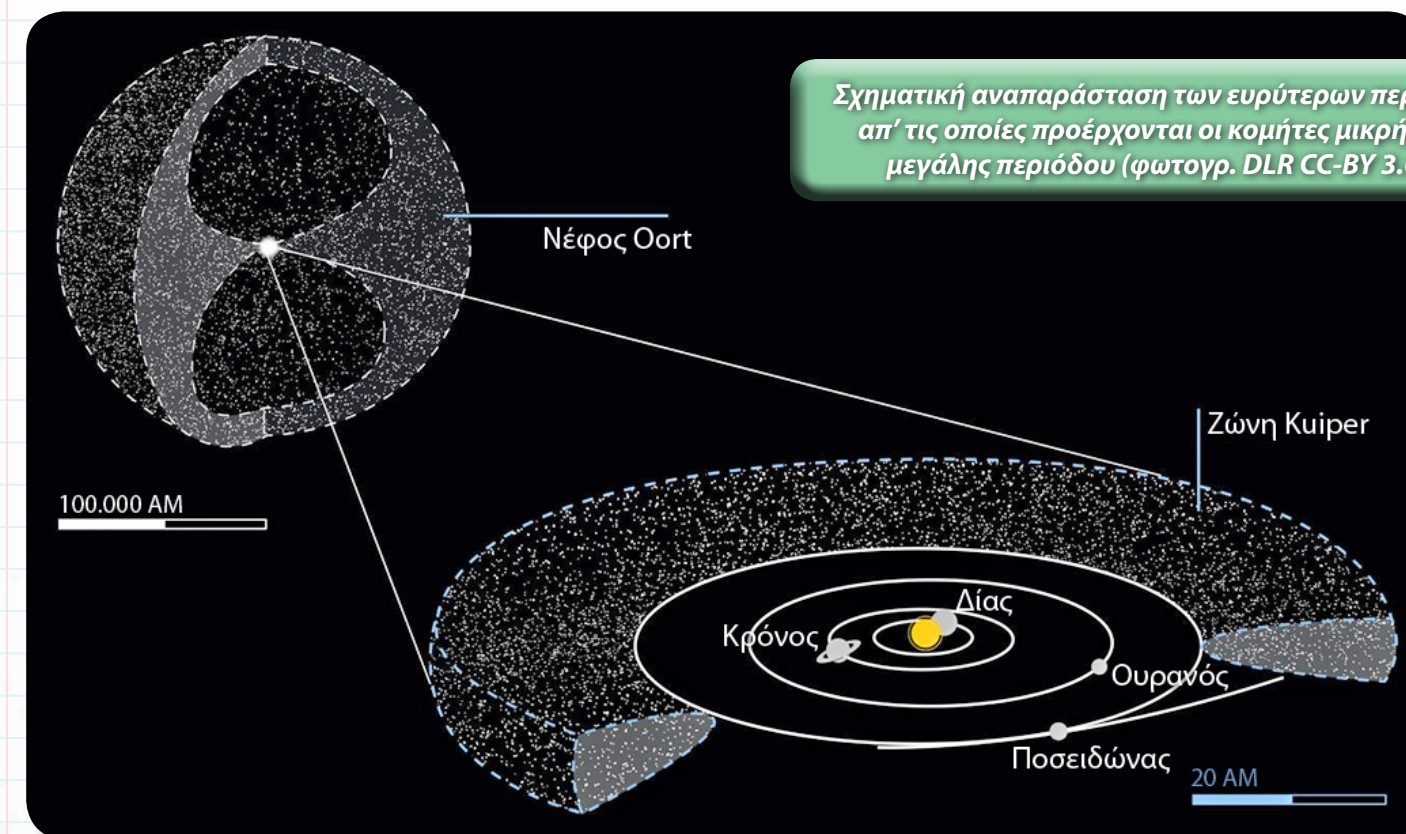
Ηλιακό σύστημα δημιούργησαν την Ζώνη Kuiper, όπως περίπου την γνωρίζουμε σήμερα, η οποία απαρτίζεται κυρίως από ουράνια σώματα σε σταθερές ως επί το πλείστον τροχιές. Παράλληλα, όμως, εξαιτίας των πολύπλοκων βαρυτικών αλληλεπιδράσεων που αναπτύσσονταν μεταξύ των διαφόρων ουράνιων σωμάτων στο πρώιμο Ηλιακό σύστημα, πολλά άλλα ουράνια σώματα της αρχέγονης Ζώνης Kuiper συγκρότησαν έναν άλλον «πληθυσμό» αντικειμένων, με ιδιαίτερα ελλειπτικές τροχιές που τέμνουν την Εκλειπτική. Τα περιήλια των αντικειμένων αυτών, μάλιστα, βρίσκονται σε μικρή απόσταση από την τροχιά του Ποσειδώνα και ως εκ τούτου μπορούν να επηρεαστούν από την βαρυτική του έλξη και να εκτραπούν προς το εσωτερικό Ηλιακό σύστημα, να μετατραπούν δηλαδή σε κομήτες μικρής περιόδου. Τα σώματα αυτά απαρτίζουν τον Διασκορπισμένο Δίσκο. Οι περισσότεροι αστρονόμοι, μάλιστα, θεωρούν ότι τουλάχιστον 1.000 φορές μακρύτερα από τη Ζώνη Kuiper, υπάρχει ένα αραιό σφαιρικό νέφος παγωμένων σωμάτων, που βρίσκεται στις παρυφές της βαρυτικής «κυριαρχίας» του Ήλιου. Πρόκειται για το **Νέφος Oort**, που αποτελεί την σχεδόν ανεξάντλητη δεξαμενή των κομητών με μεγάλη περίοδο.

Οι περισσότεροι κομήτες παραμένουν αδρανείς στις δύο αυτές περιοχές. Κάποιες φορές, όμως, εξαιτίας των βαρυτικών αλληλεπιδράσεων που ασκούνται πάνω τους, ξυπνούν από την «χειμερία νάρκη» τους και εκτινάσσονται προς το εσωτερικό τμήμα του Ηλιακού συστήματος. Οι κομήτες μικρής περιόδου επηρεάζονται συνήθως από τις βαρυτικές αλληλεπιδράσεις των γιγάντιων πλανητών, κυρίως του Ποσειδώνα. Αντιθέτως, οι κομήτες μεγάλης περιόδου εκτρέπονται από το Νέφος Oort

εξαιτίας των βαρυτικών επιρροών που ασκούνται από γειτονικά μας άστρα, από νέφη αερίων και σκόνης, τα οποία «συναντά» το Ηλιακό σύστημα, καθώς περιφέρεται γύρω από το γαλαξιακό κέντρο κ.ο.κ.. Μέχρι τον Νοέμβριο του 2014 είχαν ανακαλυφθεί 5.253 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 κο-

μήτη είναι η ουρά του, που εκτείνεται ακόμη και σε μήκος δεκάδων εκατ. km. Οι ουρές των κομητών, όμως, σχηματίζονται μόνο όταν αυτοί πλησιάζουν τον Ήλιο. Έχοντας ελάχιστη ανακλαστικότητα, οι παγωμένοι πυρήνες των κομητών απορροφούν το μεγαλύτερο μέρος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας του Ήλιου που προσπίπτει πάνω τους και θερμαίνονται, γεγονός που σε συνδυασμό με την πίεση της ηλιακής ακτινοβολίας και τον ηλιακό άνεμο εξαερώνει τα παγωμένα αέρια που εμπεριέχουν. Οι μεγάλες ποσότητες αερίων και σκόνης που απελευθερώνονται κατ' αυτόν τον τρόπο από τον πυρήνα ενός κομήτη, σχηματίζουν γύρω του μία αραιή «ατμόσφαιρα», που ονομάζεται **κόμη**.



Σχηματική αναπαράσταση των ευρύτερων περιοχών απ' τις οποίες προέρχονται οι κομήτες μικρής και μεγάλης περιόδου (φωτογρ. DLR CC-BY 3.0).



Καθώς, όμως, η ηλιακή ακτινοβολία παρασύρει τα σωματίδια σκόνης μακριά, σχηματίζεται μία ουρά σκόνης, ενώ τα φορτισμένα σωματίδια του ηλιακού ανέμου ιονίζουν μέρος των αερίων της κόμης, σχηματίζοντας 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 πλανήτες μεταβάλλονται συνεχώς από τις γεωλογικές διεργασίες, την συντριβή κομητών και αστεροειδών, την «διάβρωση» που προκαλεί ο ηλιακός άνεμος κ.ά., φαινόμενα δηλαδή που αναεώνουν διαρκώς την επιφάνειά τους. Οι κομήτες, αντιθέτως, παραμένουν κατά το μεγαλύτερο μέρος της ζωής τους αδρανείς και «παγωμένοι» στα πέριχα 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 και οι αστεροειδείς μας ενδιαφέρουν και για έναν ακόμη λόγο, αφού ο βομβαρδισμός της πρώιμης Γης από

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

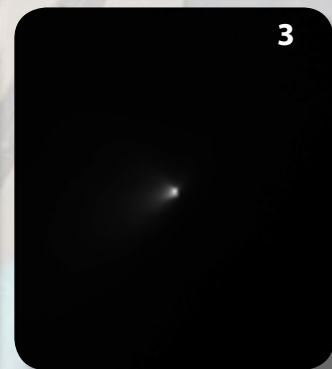
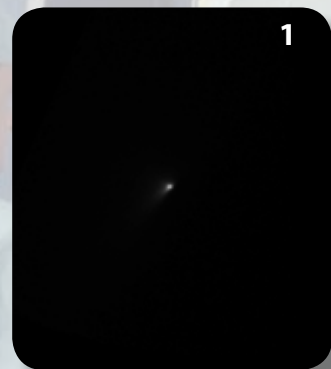
Σχετικά πρόσφατα, μάλιστα, οι επιστήμονες απέδειξαν ότι σύνθετα δομικά μόρια της ζωής, όπως τα διπεπτίδια, που είναι ενωμένα ζεύγη αμινοξέων, θα μπορούσαν να είχαν σχηματιστεί στο παγωμένο Διάστημα. Στην συνέχεια, τα μόρια αυτά θα μπορούσαν να μεταφερθούν στην Γη από τους κομήτες που συνετρίβησαν στην 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 έτσι δεν σημαίνει αναγκαστικά ότι έτσι έγινε, οπωσδήποτε όμως 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 μία 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  $-263\text{ }^{\circ}\text{C}$ , προσομοιάζοντας έτσι τις συνθήκες που επικρατούν στο παγωμένο Διάστημα, και στην συνέχεια την βομβάρδιζαν με υψηλής ενέργειας ηλεκτρόνια, που προσομοίωναν τις κοσμικές ακτίνες. Το αποτέλεσμα του πειράματος αυτού έδειξε ότι οι χημικές ενώσεις που εμπεριείχε αντιδρούσαν μεταξύ τους, σχηματίζοντας 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.

Αναμφισβήτητα, ο γνωστότερος κομήτης που μας έχει ποτέ επισκεφθεί είναι ο **κομήτης του Χάλεϋ**, με περίοδο περίπου 75 χρόνια, που σημαίνει ότι το επόμενο ραντεβού μας μαζί του υπολογίζεται για το 2061. Το 1986, μάλιστα, στο τελευταίο πέρασμά του από την διαστημική μας γειτονιά, ένας στόλος πέντε διαστημοσυσκευών, 2 Σοβιετικών, 2 Ιαπωνικών και 1 Ευρωπαϊκής, προσπάθησαν να του αποσπάσουν από κοντά τα μυστικά που κρύβει. Η Ευρωπαϊκή διαστημοσυσκευή **Giotto**, ειδικότερα, κατάφερε να τον προσεγγίσει σε απόσταση «μόλις» 600 km. Αυτή, φυσικά δεν ήταν η μοναδική αποστολή για την μελέτη ενός κομήτη. Η διαστημοσυσκευή **Stardust**, για παράδειγμα, εκτοξεύθηκε τον Φεβρουάριο του 1999, προκειμένου να συλλέξει και να μεταφέρει στη Γη σωματίδια από τον κομήτη **Wild-2**, καθώς και σωματίδια μεσοαστρικής σκόνης. Η αποστολή ήταν επιτυχής και η διαστημοσυ-

Διαδοχικές φωτογραφίες του κομήτη του Χάλεϋ από όλο και μικρότερη απόσταση, που ελήφθησαν από την διαστημοσυσκευή Giotto (φωτογρ. ESA/Giotto/HMC - Copyright MPAe/MPS 1986).





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

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

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

Η ανάλυση των δεδομένων μέχρι τώρα ανέδειξε σημαντικές, όσο και αναπάντεχες ανακαλύψεις, περιλαμβανομένου του ασυνήθιστου σχήματος του κομήτη με τους δύο λοβούς, οι οποίοι απ' ό,τι φαίνεται σχηματίστηκαν ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλον και συνενώθηκαν στην διάρκεια μιας σύγκρουσης, όταν ακόμη το Ηλιακό μας σύστημα ήταν «νέο». Εξίσου σημαντικά και αναπάντεχα ήταν τα αποτελέσματα των αναλύσεων που σχετίζονται με τα αέρια που εκλύονται από τον πυρήνα του κομήτη, τα οποία περιλαμβάνουν μοριακό οξυγόνο και άζωτο, καθώς και νερό, με διαφορετική όμως «χημική υπογραφή» από το νερό των ωκεανών της Γης. Το αποτέλεσμα αυτό φαίνεται να υποδηλώνει ότι δεν ήταν τόσο οι κομήτες, όσο οι αστεροειδείς εκείνοι που εντέλει μετέφεραν νερό στον αρχέγονο πλανήτη μας, προσκρούοντας στην επιφάνειά του. Προφανώς, όμως, θα χρειαστούν πολλές περισσότερες μελέτες για την απάντηση αυτού του ερωτή-

Μωσαϊκό τεσσάρων εικόνων του κομήτη 67P-CG, που ελήφθησαν από την διαστημοσυσκευή Rosetta στις 19 Σεπτεμβρίου 2014 (φωτογρ. ESA/Rosetta/NAVCAM).



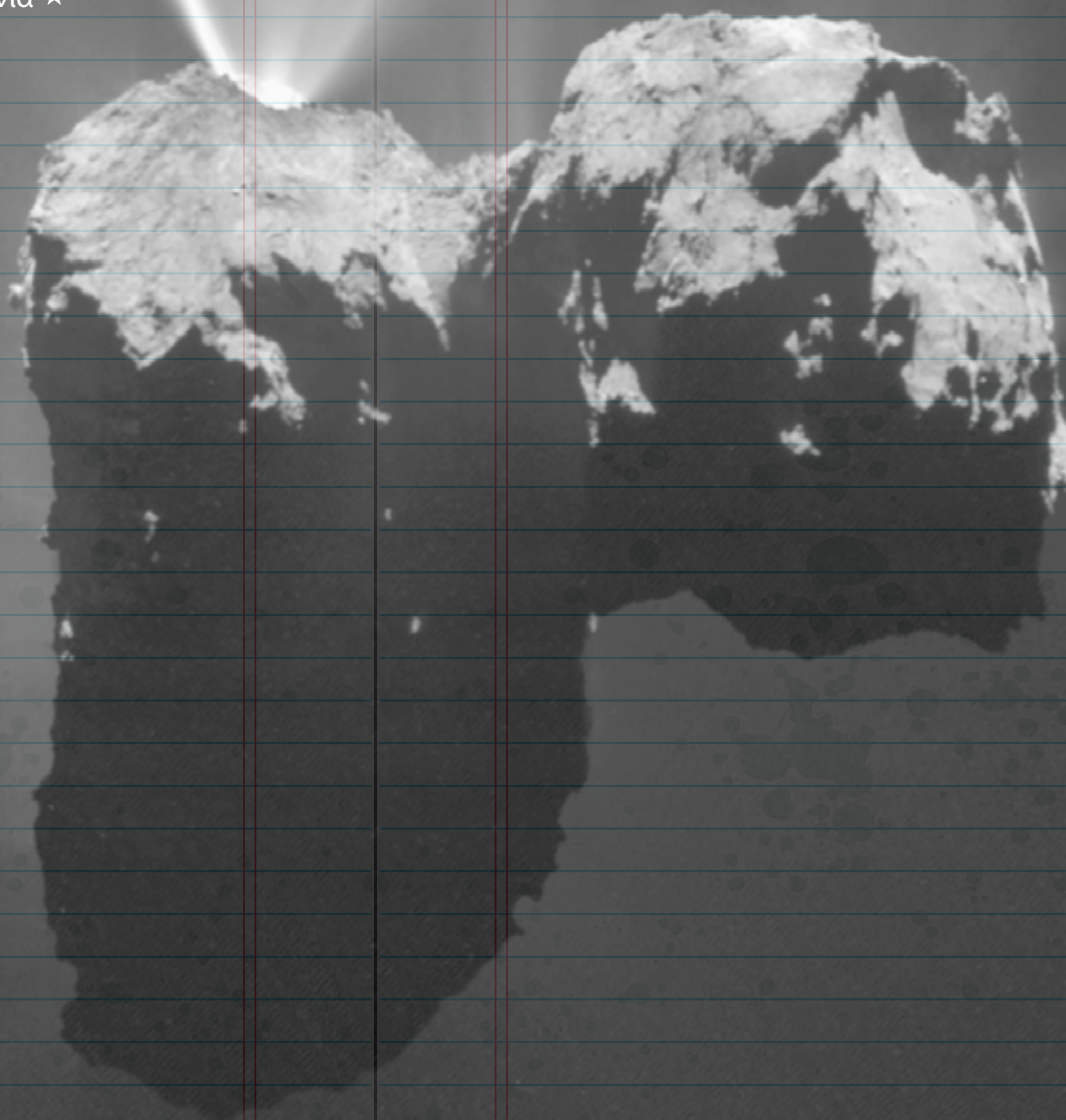
Καλλιτεχνική αναπαράσταση της προσεδάφισης του ρομποτικού οχήματος Philae (φωτογρ. ESA/ATG medialab).



ματος, δηλαδή του πώς εμπλουτίστηκε εντέλει η Γη με το νερό που εμπεριέχει. Οι αναλύσεις των σχετικών δεδομένων δείχνουν ακόμα ότι μεταξύ των πολύπλοκων οργανικών ενώσεων που ανιχνεύθηκαν στον πυρήνα του κομήτη περιλαμβάνεται και το αμινοξύ γλυκίνη, ένα βασικό συστατικό, όχι μόνο του DNA, αλλά και της κυτταρικής μεμβράνης. Η ανακάλυψη αυτή μοιάζει να επιβεβαιώνει την πιθανότητα να μετέφεραν οι κομήτες στην Γη χημικές ενώσεις, καθοριστικές για την απαρχή της ζωής. Και σ' αυτήν την περίπτωση, όμως, είναι ακόμη

πολύ νωρίς για να εξαγάγουμε τελικά συμπεράσματα.

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



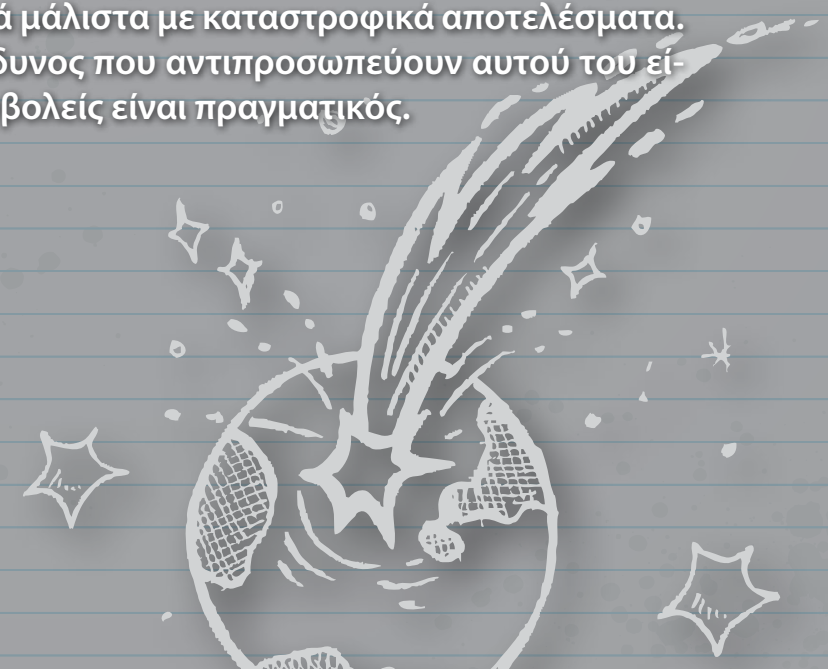
*Καθώς κομήτης 67P-CG πλησιάζει προς το περιήλιο της τροχιάς του και η θερμοκρασία του αυξάνεται όλο και πιο πολύ, τα παγωμένα αέρια του πυρήνα του εκτινάσσονται με την μορφή αέριων πιδάκων στο Διάστημα, παρασύροντας και ποσότητες σκόνης (φωτογρ. ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA).*



## 5 ΕΠΙΛΟΓΟΣ: Διαστημικοί Εισβολείς

Η μελέτη των αρχέγονων συντριμμιών του Ηλιακού μας συστήματος δεν συμβάλλει μόνο στην διεύρυνση των γνώσεών μας για την δημιουργία και τα πρώτα στάδια της εξέλιξής του, ούτε διεξάγεται με αποκλειστικό στόχο να διαπιστωθεί ο ρόλος των αστεροειδών και των κομητών στην μεταφορά νερού και πολύπλοκων οργανικών ενώσεων στον πλανήτη μας. Με άλλα λόγια, δεν διεξάγεται με αποκλειστικό στόχο την διεύρυνση των επιστημονικών μας γνώσεων για τον κόσμο και τα φυσικά φαινόμενα, αλλά υλοποιείται και για έναν επιπρόσθετο και ιδιαίτερα σοβαρό λόγο, που μας αφορά όλους. Καθόλη τη διάρκεια της γεωλογικής του εξέλιξης, ο πλανήτης μας βομβαρδίστηκε συστηματικά από τις πτώσεις αστεροειδών και κομητών, συχνά μάλιστα με καταστροφικά αποτελέσματα. Είναι προφανές ότι κίνδυνος που αντιπροσωπεύουν αυτού του είδους οι διαστημικοί εισβολείς είναι πραγματικός.

Καλλιτεχνική αναπαράσταση της πρόσκρουσης ενός αστεροειδούς στην επιφάνεια της Γης.





**Μ**όλις τον Φεβρουάριο του 2013, η έκρηξη μίας διαστημικής βολίδας πάνω από την Ρωσία, η οποία απελευθέρωσε τουλάχιστον 20 φορές περισσότερη ενέργεια απ' αυτήν που απελευθέρωσε η ατομική βόμβα της Χιροσίμα, μας υπενθύμισε με τον πλέον σαφή τρόπο το πόσο πραγματικός είναι αυτός ο κίνδυνος. Επιπλέον, όπως έδειξε και η συντριβή του κομήτη Shoemaker-Levy στον Δία τον Ιούλιο του 1994, ο βομβαρδισμός των πλανητών του Ηλιακού συστήματος από τέτοιους διαστημικούς εισβολείς δεν είναι κάτι που συνέβαινε μόνο κατά την πρώτη περίοδο της εξέλιξής του, αλλά που με εμφανώς λιγότερη συχνότητα μπορεί να συνεχίζεται και σήμερα.

Είναι γεγονός ότι το Ηλιακό σύστημα διανύει μεγάλη περίοδο ηρεμίας, που ουδεμία σχέση έχει με τη βιαιότητα του αρχέγονου παρελθόντος του. Όπως αναφέραμε και νωρίτερα, η αποσταθεροποίηση του πρώιμου Ηλιακού συστήματος, που εικάζεται ότι συνέβη εξαιτίας της «μετανάστευσης» των αέριων πλανητών σε μεγαλύτερες αποστάσεις από τον Ήλιο, μετέβαλε τις τροχιές πολλών άλλων μικρότερων ουράνιων σωμάτων, εκτινάσσοντάς τα προς το εσωτερικό του. Το γεγονός αυτό προκάλεσε τον κατακλυσμιαίο βομβαρδισμό των εσωτερικών πλανητών του Ηλιακού συστήματος από μικρά και μεγάλα διαστημικά βλήματα, ο οποίος πρέπει να σταμάτησε πριν από περίπου 3,8 δισεκατομμύρια χρόνια. Τα ίχνη του, ωστόσο, είναι

ακόμη και σήμερα ορατά, στην Σελήνη και στον Ερμή για παράδειγμα. Πραγματικά, η χαρτογράφηση του μοναδικού δορυφόρου της Γης και του εσώτατου πλανήτη του Ηλιακού μας συστήματος αποκάλυψε αναρίθμητους μικρούς και μεγάλους κρατήρες, σπαρμένους στην επιφάνειά τους.

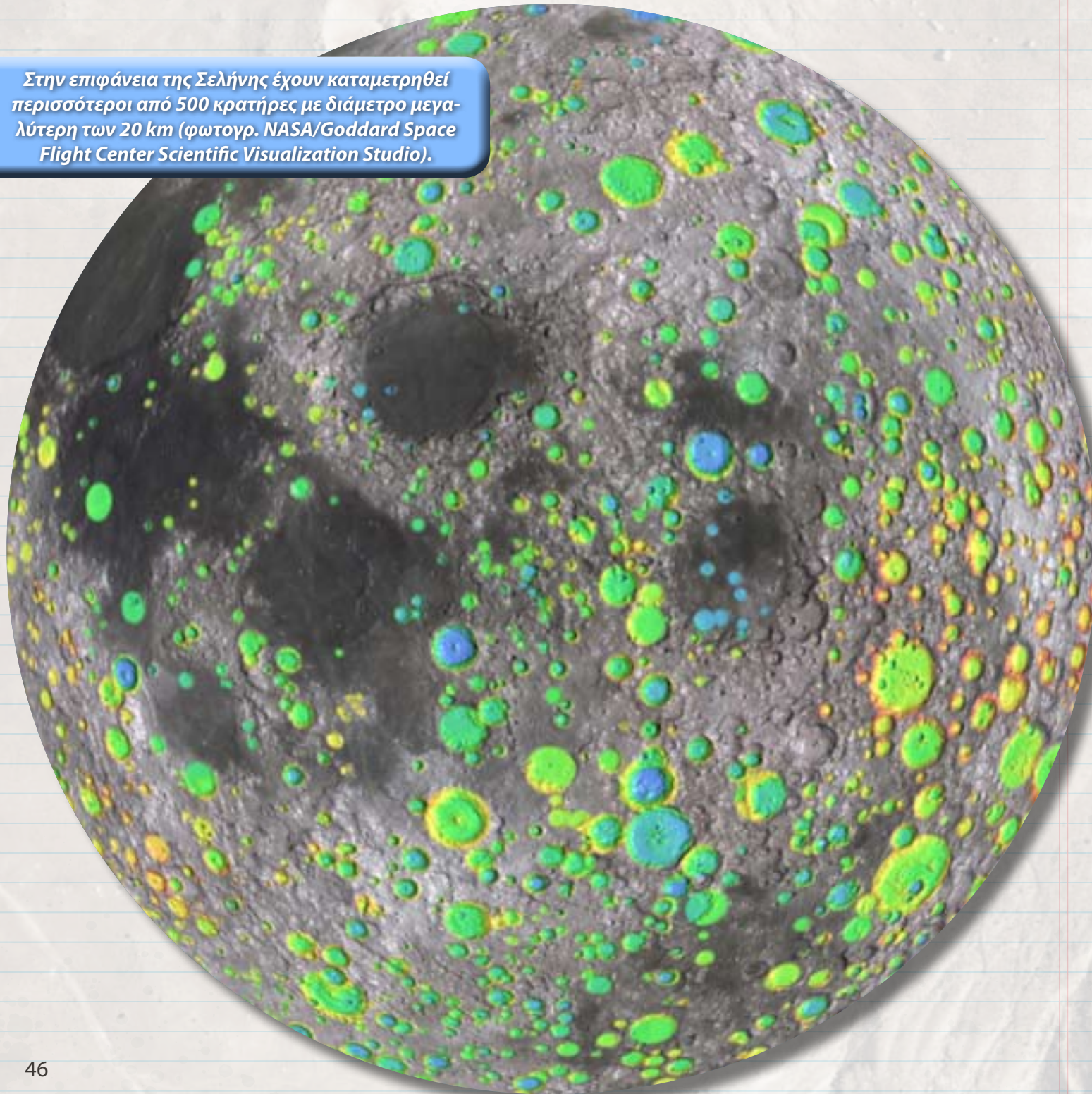
Στη **Σελήνη**, ειδικότερα, έναν εντελώς άνυδρο και γεωλογικά «νεκρό» κόσμο, έχουν καταγραφεί περισσότεροι από 300.000 κρατήρες με μέγεθος ίσο ή μεγαλύτερο του 1 km. Στον πλανήτη μας, αντιθέτως, οι πραγματικά μεγάλοι κρατήρες, με διάμετρο μεγαλύτερη των 20 km, που έχουμε εντοπίσει, μόλις υπερβαίνουν τους 45, ενώ ο συνολικός αριθμός των κρατήρων δεν υπερβαίνει

τους περίπου 175. Είναι δυνατό να «γλιτώσε» με κάποιον τρόπο ο πλανήτης μας τις συνέπειες του Ύστερου Μεγάλου Βομβαρδισμού; Η απάντηση είναι αρνητική. Έχει υπολογιστεί, για παράδειγμα, ότι οι αστεροειδείς και οι κομήτες που συνετρίβησαν στην επιφάνειά του πρέπει να ήταν τουλάχιστον δεκαπλάσιοι απ' αυτούς που έπεσαν στη Σελήνη, δηλαδή περισσότεροι από 3 εκατομμύρια κρατήρες πρόσκρουσης με διάμετρο 1 km ή μεγαλύτερη! Η συνεχής, όμως, διάβρωση των επιφανειακών πετρωμάτων από τα στοιχεία της Φύσης και η ασταμάτητη τεκτονική δραστηριότητα που αναμορφώνει συνεχώς την επιφάνεια της Γης μέσα από τη μετατόπιση των τεκτονικών πλακών και τις ηφαιστειακές εκρήξεις, απαλείφουν τα

*Καλλιτεχνική αναπαράσταση του βομβαρδισμού του πλανήτη μας από αστεροειδείς και κομήτες, κατά τα πρώτα στάδια της γεωλογικής του εξέλιξης (φωτογρ. NASA's Goddard Space Flight Center Conceptual Image Lab).*



Στην επιφάνεια της Σελήνης έχουν καταμετρηθεί περισσότεροι από 500 κρατήρες με διάμετρο μεγαλύτερη των 20 km (φωτογρ. NASA/Goddard Space Flight Center Scientific Visualization Studio).



προγενέστερα χαρακτηριστικά της και οι «ουλές» που προκλήθηκαν από την πτώση των διαστημικών εισβολέων «σβήνουν» με το πέρασμα του γεωλογικού χρόνου.

Ο εντυπωσιακός κρατήρας **Barringer** στην Αμερική, για παράδειγμα, δημιουργήθηκε πριν από 50.000 χρόνια, από την πτώση ενός αστεροειδούς, διαμέτρου 60 m και βάρους 300.000 τόνων, που μετατόπισε 175 εκατ. τόνους επιφανειακών πετρωμάτων, σχηματίζοντας κρατήρα 1,2 km και βάθους 170 m. Η ενέργεια που απελευθερώθηκε ήταν αντίστοιχη μ' αυτήν μίας πυρηνικής βόμβας και εξαέρωσε τα πάντα στην ευρύτερη περιοχή της πρόσκρουσης. Το κρουστικό κύμα που δημιουργήθηκε, προκάλεσε ανέμους με ταχύτητες μεγαλύτερες των 1.000 km/h σε ακτίνα 3–5 km από το σημείο της πρόσκρουσης, ενώ σύμφωνα με τις σχετικές εκτιμήσεις, η χλωρίδα της περιοχής ισοπεδώθηκε σε μία επιφάνεια 800–1.500 km<sup>2</sup>. Εάν ένας αστεροειδής αυτού του μεγέθους και της ίδιας σύστασης είχε χτυπήσει μία σύγχρονη πόλη, θα είχε προκαλέσει τεράστιες καταστροφές. Πολύ πιο πρόσφατα, στις 30 Ιουνίου 1908, το θραύσμα ενός κομήτη εξερράγη σε ύψος 6–10 km πάνω από την τούνδρα της Σιβηρίας, ισοπεδώνοντας περισσότερα από 2.000 km<sup>2</sup> δάσους. Στον πλανήτη μας, όμως, έχουν εντοπιστεί και πραγματικά τεράστιοι κρατήρες πρόσκρουσης, αλλά πολύ μεγαλύτερης ηλικίας, όπως ο κρατήρας **Sudbury** στον Καναδά και ο κρατήρας **Vredefort** στη Νότιο Αφρική, που σχηματίστηκαν πριν από περίπου 2 δισ. έτη, ενώ εκτιμάται ότι η αρχική τους διάμετρος έφτανε τα 250 και 300 km αντιστοίχως.

Οι προσκρούσεις των αστεροειδών απελευθερώνουν τεράστια ποσά ενέργειας, που οφείλονται



Ο κρατήρας Barringer (φωτογρ. National Map Seamless Server).



στην μεγάλη κινητική τους ενέργεια, η οποία είναι ανάλογη της μάζας τους και του τετραγώνου της ταχύτητάς τους. Δεδομένου ότι οι ταχύτητες αυτές ανέρχονται τις περισσότερες φορές στα 10–20 km/s, ακόμη και ένας σχετικά μικρός αστεροειδής, λίγων μόνο μέτρων, συντρίβεται στην επιφάνεια του πλανήτη μας με την ισχύ μίας ατομικής βόμβας. Έχει υπολογιστεί, για παράδειγμα, ότι η πρόσκρουση ενός αστεροειδούς με διάμετρο μερικών χιλιομέτρων απελευθερώνει σε δευτερόλεπτα περισσότερη ενέργεια απ' όση απελευθερώνει ο πλανήτης

μας μέσα από όλες τις ηφαιστειακές εκρήξεις, όλους τους σεισμούς, όλες τις τεκτονικές κινήσεις και όλη την θερμότητα που εκλύεται από το εσωτερικό του σε εκατοντάδες, ακόμη και χιλιάδες χρόνια. Υπήρξαν, μάλιστα, περιπτώσεις όπου η πτώση ενός αστεροειδούς επηρέασε δραματικά την ίδια την βιολογική εξέλιξη, όπως εικάζεται ότι συνέβη 65 εκατ. χρόνια πριν, όταν ένας γιγάντιος αστεροειδής συνετρίβη στη χερσόνησο Γιουκατάν στο σημερινό Μεξικό, προκαλώντας τον τελευταίο, αλλά και πιο διάσημο μαζικό αφανισμό των ειδών του πλανήτη.



Ο κρατήρας Vredefort  
(φωτόγρ. NASA).

Πραγματικά, ο αρχέγονος αυτός Αρμαγεδώνας που έδωσε οριστικό τέλος στην αδιαμφισβήτητη ως τότε κυριαρχία των δεινοσαύρων πάνω στην Γη είχε ανοίξει τον δρόμο για την κυριαρχία των θηλαστικών. Ο πρώτος που υποστήριξε ότι η μαζική εξαφάνιση των δεινοσαύρων, που παρατηρήθηκε στα όρια μεταξύ της Κρητιδικής και της Τριτογενούς γεωλογικής περιόδου, οφείλεται στην πτώση ενός αστεροειδούς ήταν ο φυσικός **Luis Alvarez** (1911–1988). Σύμφωνα με εκτιμήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί, το αρχικό μέγεθος του αστεροειδούς πρέπει να έφτανε τα 10 km και να κινούνταν με ταχύτητα 70.000 km/h, ενώ ο κρατήρας που δημιουργήθηκε είχε αρχική διάμετρο 300 km και βάθος 9,6 km.

Η ενέργεια που απελευθερώθηκε κατά την στιγμή της σύγκρουσης πρέπει να εξαέρωσε ολόκληρο τον αστεροειδή, προκαλώντας τεράστιους σεισμούς και παλιρροϊκά κύματα και εκτινάσσοντας στην ατμόσφαιρα τεράστιες ποσότητες εξαερωμένων πετρωμάτων, στάχτης και υπέρθερμης σκόνης, που κάλυψαν ολόκληρο σχεδόν τον πλανήτη. Σύμφωνα, μάλιστα, με ορισμένους ερευνητές, τα θραύσματα των πυρακτωμένων πετρωμάτων που εκτινάχθηκαν στην ατμόσφαιρα, κατά την επιστροφή τους στην επιφάνεια της Γης απελευθέρωσαν τεράστιες ποσότητες θερμότητας, αυξάνοντας την θερμοκρασία της ατμόσφαιρας στους 1.400 °C και προκαλώντας εκτεταμένες πυρκαγιές σε όλη την υφήλιο. Αμέσως μετά την καταστροφική επίγεια κόλαση που μόλις περιγράψαμε, πρέπει να ακολούθησε μία περίοδος σημαντικής πτώσης της παγκόσμιας θερμοκρασίας, η οποία προκλήθηκε από τους εκατοντάδες δισεκατομμύρια τόνους σκόνης και στάχτης που είχαν καλύψει τον πλα-

νήτη, οι οποίες ανακλούσαν και απορροφούσαν την ηλιακή ακτινοβολία, εμποδίζοντάς την να θερμάνει την Γη. Αυτό πρέπει να ήταν καταστροφικό για τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς, όπως τα φυτά και το πλαγκτόν, που αποτελούν την βάση της τροφικής αλυσίδας. Αυτή η περίοδος παγκόσμιας μείωσης της θερμοκρασίας συνοδεύτηκε από μία μεγαλύτερης διάρκειας περίοδο παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας, εξαιτίας ενός ακραίου φαινομένου του θερμοκηπίου, που προκάλεσαν οι τεράστιες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα, που διοχετεύονταν στον αέρα από τις καταστροφικές πυρκαγιές που κατέκαιγαν τα δάση του πλανήτη. Εκτός αυτού, η περιοχή της πρόσκρουσης περιείχε απ' ό,τι φαίνεται και πετρώματα με υψηλή συγκέντρωση θειικού ανυδρίτη, από τα οποία ελευθερώθηκαν μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του θείου. Καθώς αυτές ανήλθαν στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, με την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας και των υδρατμών επέστρεψαν στην επιφάνεια της Γης με τη μορφή καταρρακτώδους όξινης βροχής.

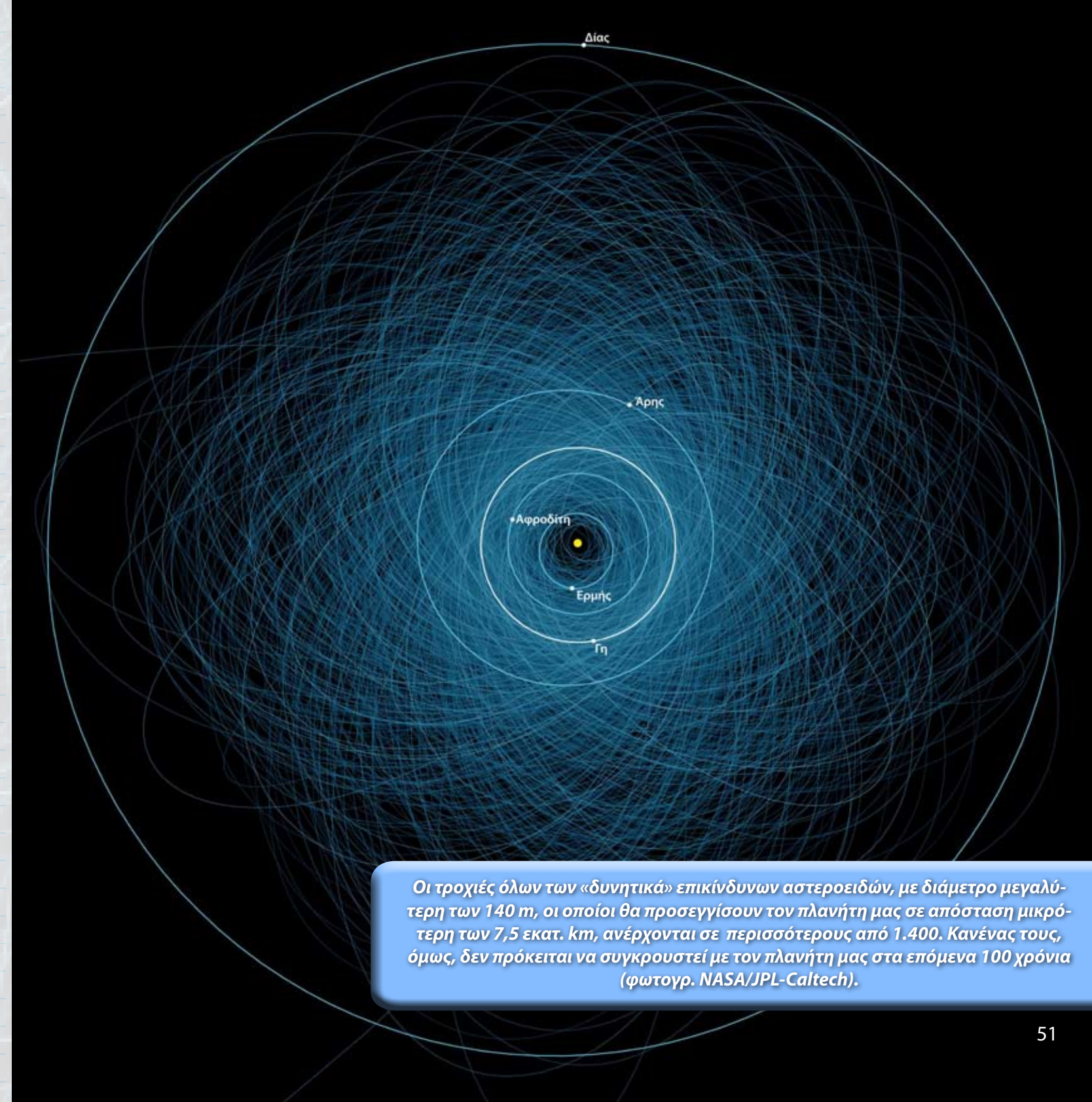
Τέτοιου είδους προσκρούσεις, ικανές να προκαλέσουν μαζικούς αφανισμούς των ειδών, είναι εξαιρετικά σπάνιες και συμβαίνουν κάθε 50-100 εκατομμύρια χρόνια περίπου. Πραγματικά, δεν υπάρχει αμφιβολία ότι η συχνότητα της σύγκρουσης ενός αστεροειδούς με την Γη είναι αντιστρόφως ανάλογη του μεγέθους του. Διαστημικές βολίδες με διάμετρο 50 m εισέρχονται στη γήινη ατμόσφαιρα με συχνότητα που συνήθως δεν υπερβαίνει τη μία φορά κάθε λίγες εκατοντάδες έως λίγες χιλιάδες χρόνια. Από την άλλη, αστεροειδείς με διάμετρο 1 km βομβαρδίζουν κατά μέσο όρο τον πλανήτη μας κάθε 500.000 χρόνια, ενώ



αστεροειδείς διαμέτρου 5 km κάθε 10 εκατομμύρια χρόνια. Αναμφίβολα, όμως, την σοβαρότερη απειλή για τον πλανήτη μας αποτελούν οι αστεροειδείς NEO, η πλήρης καταγραφή των οποίων δεν έχει ακόμη ολοκληρωθεί. Μέχρι τον Νοέμβριο του 2016 είχαν ανακαλυφθεί περισσότεροι από 15.000 NEO, 874 εκ των οποίων είναι αστεροειδείς διαμέτρου 1 km ή μεγαλύτεροι. Προφανώς, όμως, υπάρχουν πολλοί ακόμα αστεροειδείς, τύπου NEO, που δεν έχουν ακόμα ανακαλυφθεί. Η ανάγκη να καταγραφούν τα ουράνια αυτά σώματα είναι επιτακτική. Γι' αυτό και υπάρχουν διάφορα διαστημικά προγράμματα, βασικός στόχος των οποίων είναι ο εντοπισμός όλων εκείνων των «επικίνδυνων» ουράνιων σωμάτων και ο υπολογισμός της τροχιάς τους, προκειμένου να αποφανθούν οι επιστήμονες εάν όντως θα αποτελέσουν κίνδυνο για το μέλλον. Έχοντας ήδη ανακαλύψει το 90% του εκτιμώμενου αριθμού των NEO με διάμετρο μεγαλύτερη του 1 km, ο επόμενος στόχος είναι να εντοπιστεί το 90% των NEO με διάμετρο μεγαλύτερη των 140 m.

Φυσικά, προκειμένου να στεφθεί με επιτυχία η οποιαδήποτε προσπάθεια αναχαίτισης ενός αστεροειδούς, θα πρέπει το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από τον εντοπισμό του μέχρι την προβλεπόμενη σύγκρουσή του με τον πλανήτη μας να είναι αρκετά μεγάλο, ώστε να υπάρχει επαρκής χρόνος αντίδρασης. Οι περισσότεροι επιστήμονες προκρίνουν σχετικά «ήπιες» μεθόδους αναχαίτισης, οι οποίες δεν βασίζονται τόσο στην βί-

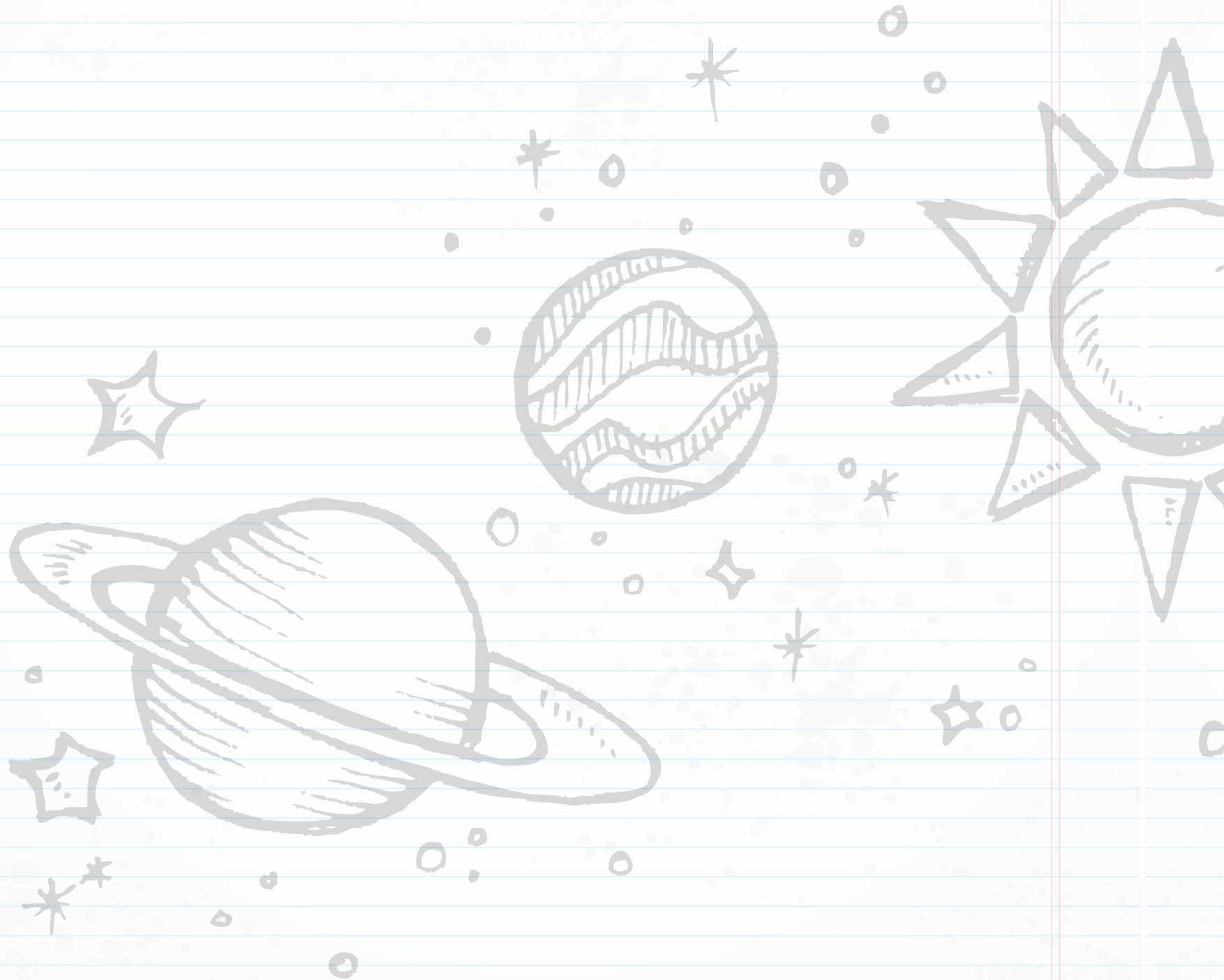
αιη καταστροφή ενός επικίνδυνου αστεροειδούς, αλλά στην τεχνητή μεταβολή της τροχιάς του σε βάθος χρόνου. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν η αποστολή μίας διαστημοσυσκευής σε τροχιά γύρω από κάποιον αστεροειδή, που θα μεταβάλει σε βάθος χρόνου την τροχιά του, απλά και μόνο με την βαρυτική της έλξη, τον χρωματισμό της επιφάνειάς του με ειδική ανακλαστική ή απορροφητική μπογιά, προκειμένου να μεταβληθεί η πίεση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας του Ήλιου ή ακόμη και τη χρήση ειδικών κατόπτρων, τα οποία, εστιάζοντας τις ακτίνες του Ήλιου πάνω στον αστεροειδή, θα ατμοποιήσουν ποσότητα από την ύλη του. Τέλος, μία άλλη μέθοδος αναχαίτισης αστεροειδούς είναι η στόχευσή του με μία βολίδα, η πρόσκρουση της οποίας στην επιφάνειά του μπορεί να μεταβάλει την ταχύτητα και την τροχιά του, ακριβώς όσο χρειάζεται, προκειμένου να εκτραπεί από την αρχική του πορεία. Το κατά πόσο αυτό είναι εφικτό αποτελεί τον στόχο μίας προτεινόμενης αποστολής, που δεν είναι ακόμη γνωστό εάν θα υλοποιηθεί, αλλά που θα μπορούσε να εκτοξευθεί τον Οκτώβριο του 2020. Πρόκειται για την αποστολή **AIDA** (Asteroid Impact and Deflection Assessment), στόχος της οποίας είναι να μελετήσει αυτό ακριβώς το σενάριο αντιμετώπισης ενός επικίνδυνου αστεροειδούς και να διαπιστώσει εάν θα μπορούσε όντως να μεταβληθεί η τροχιά του με την πρόσκρουση μίας διαστημοσυσκευής-βολίδας. Προβλήματα χρηματοδότησης, ωστόσο, καθιστούν αβέβαιη την υλοποίηση αυτής της αποστολής ★



Οι τροχιές όλων των «δυναμικά» επικίνδυνων αστεροειδών, με διάμετρο μεγαλύτερη των 140 m, οι οποίοι θα προσεγγίσουν τον πλανήτη μας σε απόσταση μικρότερη των 7,5 εκατ. km, ανέρχονται σε περισσότερους από 1.400. Κανένας τους, όμως, δεν πρόκειται να συγκρουστεί με τον πλανήτη μας στα επόμενα 100 χρόνια (φωτογρ. NASA/JPL-Caltech).



# Βιβλιογραφία



Benton, Michael J., *When Life Nearly Died: The Greatest Mass Extinction of All Time* [Kindle Edition], Thames and Hudson Ltd; 2012.

Brahic, Andre, *Τα παιδιά του ήλιου: η προέλευση, η εξέλιξη και η εξερεύνηση του ηλιακού συστήματος - και της ζωής*, Αθήνα: Κάτοπτρο, 2002.

Chapman, Clark R., *Κοσμικές καταστροφές*, Octavision Media, 2007.

Coupe, R., *Το ηλιακό σύστημα*, Άγκυρα, 2008.

Courtillot, Vincent, *Evolutionary catastrophes: the science of mass extinction*, Cambridge University Press, 1999.

Estalella, Roberto, *Πλανήτες και Δορυφόροι*, Θεσσαλονίκη: Πλανητάριο Θεσσαλονίκης, 2005.

Garlick, M.A., *The story of the solar system*, Cambridge: Cambridge University Press, 2002.

Greeley, Ronald, *The NASA atlas of the solar system*, Cambridge University Press, 1996.

Hallam, A (Anthony), *Mass extinctions and their aftermath*, Oxford University Press, 2000, c1997.

Hallam, Tony, *Catastrophes and Lesser Calamities: The Causes of Mass Extinctions*, Oxford University Press, 2005.

Hans, E. M., *Κομήτες και αστεροειδείς*, Σαββάλας, c2004.

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.

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

αφήγηση  
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΜΑΡΚΟΥΛΑΚΗΣ

narration  
GREGORY PATRICK KARR

σκηνοθετική επιμέλεια  
ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΣΙΜΟΠΟΥΛΟΣ

επιστημονική επιμέλεια & κείμενο αφήγησης  
ΑΛΕΞΗΣ ΔΕΛΗΒΟΡΙΑΣ

μουσική  
ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ Κ. ΚΑΤΣΑΡΗΣ

διεύθυνση παραγωγής  
ΜΑΝΟΣ ΚΙΤΣΩΝΑΣ

σύμβουλος παραγωγής  
ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ Π. ΣΙΜΟΠΟΥΛΟΣ

post-production video  
ΓΙΑΝΝΗΣ ΒΑΜΒΑΚΑΣ

σχεδιασμός ήχου  
ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ ΚΑΠΑΝΤΑΗΣ

graphic design  
ΕΥΓΕΝΙΑ ΣΤΑΒΑΡΗ

τεχνικοί πλανηταρίου  
ΦΙΛΙΠΠΟΣ ΛΟΥΒΑΡΗΣ  
ΧΡΗΣΤΟΣ ΧΡΗΣΤΟΓΙΩΡΓΟΣ

τεχνικοί προβολής  
ΛΟΥΚΑΣ ΑΡΜΠΙΛΙΑΣ  
ΔΩΡΟΣ ΓΙΔΟΠΟΥΛΟΣ  
ΚΩΣΤΑΣ ΠΑΝΤΑΖΟΠΟΥΛΟΣ

μέρος του υλικού προέρχεται από τις ταινίες

ASTEROID: MISSION EXTREME

directed by ANNETTE SOTHERAN BARNETT

EDGE OF DARKNESS

directed by TERENCE MURTAGH

ROSETTA

directed by ALESANDER POTEKHIN

## AMERICAN MUSEUM OF NATURAL HISTORY

New York City, NY

supervisor

CARTER EMMART

producer

CHRISTOPHER SCOLLARD

director of engineering

BENJY BERNHARDT

executive producer

ANTHONY BRAUN

lead 3D graphics programmer

ERIK WESSELAK

lead technical director

MARK BAJUK

science visualizer

RYAN WYATT

digital artist

BILL BOURDEAU

## EVANS & SUTHERLAND

Salt Lake City, Utah

executive producers

KIRK JOHNSON

TERENCE MURTAGH

producer

MICHAEL DAUT

animation

KEN CARLSON

MARTY SISAM

DON DAVIS

post-production

BRYCE BUCHANAN

## FULLDOMELAB IMMERSIVE MEDIA

ChiangMai, Thailand

supervisor

YURIY GAPON

executive producer

YAROSLAV GUBCHENKO

producers

GEORGIY AISTOV

MAKSIM GOGOLEV

YAROSLAV GUBCHENKO

OLGA KOZAKOVSKA

ALEKSANDR SAMILENKO

production designer

ANASTASIA SHILOVA

CGI supervisor

VLADIMIR PERMINOV

CGI artists

VALENTINE MEDVEDEV

ANASTASIA SHILOVA

VLADIMIR PERMINOV

ALEXEY BARTASHEVICH

ALEXANDER POTEKHIN

YURIY GAPON

graphics

YULIYA TATSKO

OLGA NAZARENKO

animation

YURIY GAPON

programmer

ALEKSANDR BEREZOVSKY

## GEOGRAPHICS IMAGING

Bradenton, Florida

producer

MARK HOWARD

animators

MARK HOWARD

JOE TUCCIARONE

consultant

GEORGE FLEENOR

starfields & sky visualizations

DIGITAL SKY

## NATIONAL GEOGRAPHIC ENTERTAINMENT

Washington, D.C.

executive producers

BROOKE RUNNETTE

JEFF HASSLER

lead animator

TROY WHITMER

CGI animation

JOEL DUBIN

RON FRIEDMAN

JOHN GOODMAN

GWENDOLYN MURRAY

3FX INC.

additional animation

MIKE SPERRY

EDWARD WHITE

CGI modelers

BRIAN DEANS-ROW

ANDREW GOSS

ERIC HANSON xRez

HENRY LUTZ

ILIR MBORJA

RAPHAEL PROTTI

MASSIMO RIGHI

NOAH SHNAPP

## SKY-SKAN

Nashua, New Hampshire

executive producer

STEVEN T. SAVAGE

post-production

SCOTT WYMAN

time-lapse photography

STEVEN T. SAVAGE

JACK WHITE

fulldome & post-production video services

ΕΥΓΕΝΙΔΕΙΟ ΠΛΑΝΗΤΑΡΙΟ

post-production audio services

STARGAZER AUDIO

Ιδρύματος Ευγενίδου

θερμές ευχαριστίες

ESA

NASA



παραγωγή

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

© 2017



