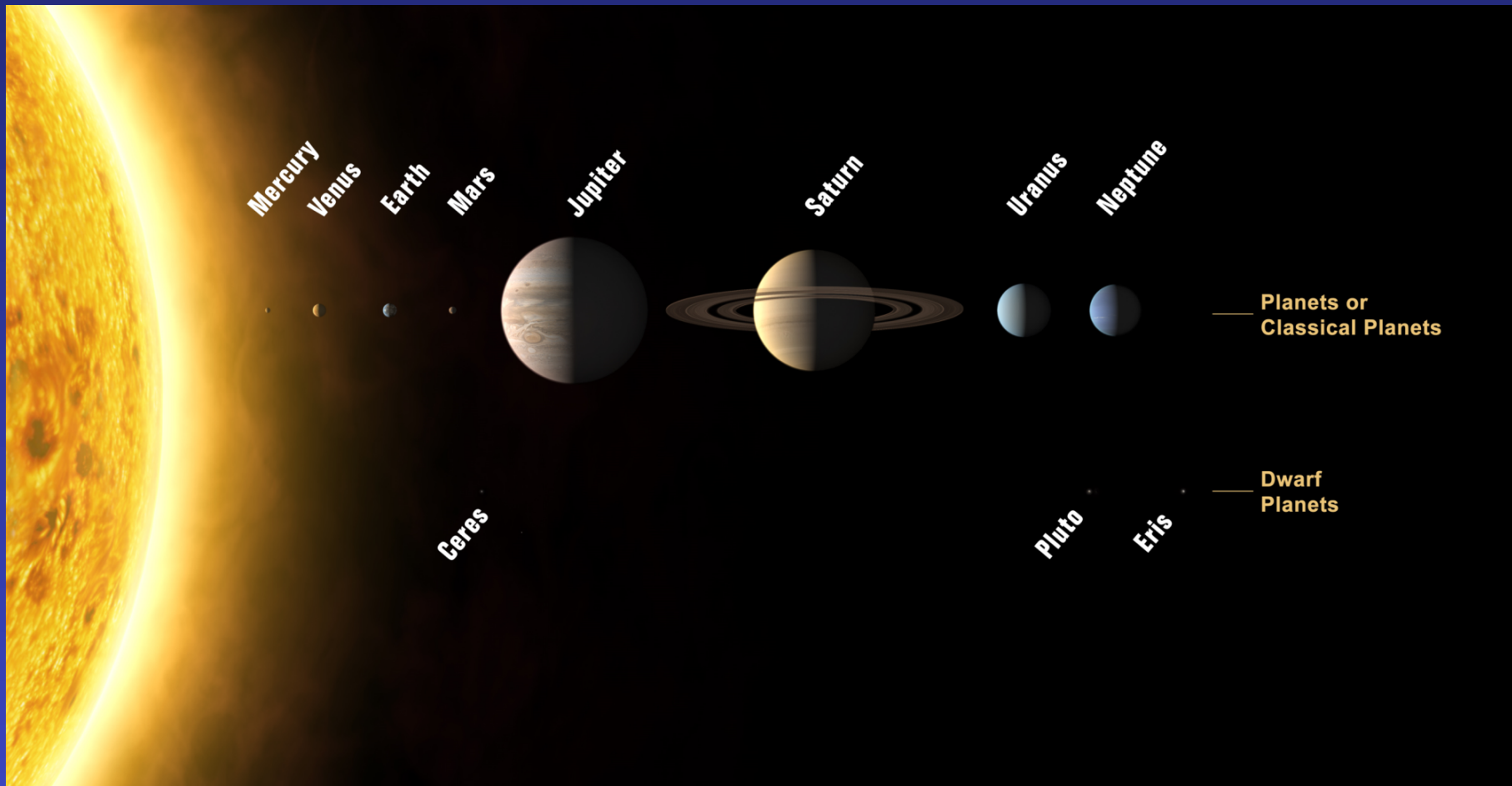


# ΤΟ ΠΛΑΝΗΤΙΚΟ ΜΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑ



Οι πλανήτες του ηλιακού μας συστήματος. Φαίνεται η σειρά των πλανητών και το σχετικό τους μέγεθος (οι αποστάσεις είναι εκτός κλίμακας)  
Μέγεθος πλανητικού συστήματος (απόσταση Ηλίου Ποσειδώνα): 30 AU  
Απόσταση από κέντρο γαλαξία: 27000 έτη φωτός

Οι διαφάνειες βασίζονται σε αυτές των Ν.Στεργιούλα και Γ.Σειραδάκη

# ΤΟ ΠΛΑΝΗΤΙΚΟ ΜΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑ

**Δημιουργία** από πρωτοπλανητικό νέφος αερίου και σκόνης πριν  $\sim 5 \times 10^9$  χρόνια. Το αέριο κυριαρχείται από **H** και **He**, σε ποσοστά που καθορίζονται από την πυρηνογένεση στο νεαρό Σύμπαν (στα πρώτα 3' μετά το BB), και η σκόνη κυρίως από **Si** και **C** που δημιουργούνται στους πυρήνες αστέρων προγενέστερων γενεών που τροφοδοτούν τη μεσοαστρική ύλη μέσω εκρήξεων υπερκαινοφανών.

**Βαρυτική συστολή** νέφους και κατάρρευση δημιουργεί πάντα δίσκο (κατάσταση ελαχίστης ενέργειας). Όπως είπαμε η βαρυτική συστολή αυξάνει την κεντρική θερμοκρασία.

**Το νέφος ψύχεται** αλλά όχι ομοιόμορφα. Διαταραχές πυκνότητας δημιουργούν τοπικές συμπυκνώσεις, τα πλανητοειδή, η σύγκρουση και βαρυτική σύνδεση των οποίων (ανάλογα με την σχετική τους ταχύτητα) αποτελούν τους πυρήνες των μεταγενέστερων πλανητών.

Η **αρχική σύσταση** των πρωτοπλανητών είναι η ίδια, αλλά λόγω διαφορετικού μεγέθους και απόστασης από Ήλιο, εν τέλει διαφοροποιείται

# ΤΟ ΠΛΑΝΗΤΙΚΟ ΜΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑ

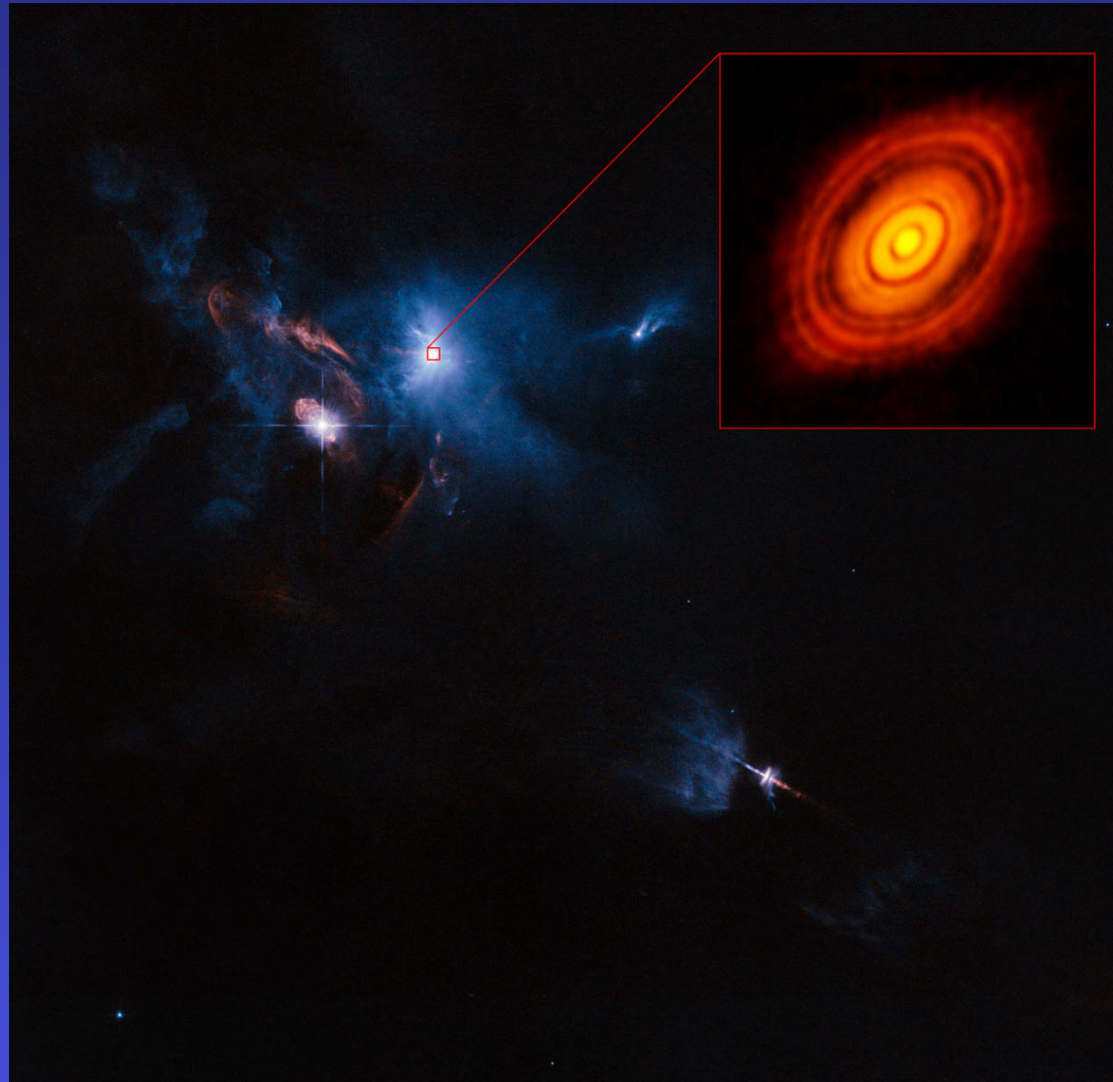
Τα βαρύτερα υλικά λιώνουν και συγκεντρώνονται στο κέντρο ενώ τα ελαφρότερα παραμένουν κοντά στην επιφάνεια. Οι πλανήτες αρχικά είναι αεριώδεις και παίρνουν σφαιρικό σχήμα.

Μέρος των πλανητοειδών δημιουργούν και το μεγαλύτερο μέρος των δορυφόρων των πλανητών, άλλο μέρος τους **ελάσσονες πλανήτες (αστεροειδείς)** και άλλο τους **μετεωροειδείς** και κομήτες.

Η **Σελήνη** δημιουργείται από σύγκρουση πλανητοειδούς με νεαρή Γη. Αυτό στοιχειοθετείται από το γεγονός ότι ο πυρήνας της Σελήνης είναι πολύ μικρός σε μέταλλα συγκρινόμενος με αυτόν της Γης και των υπολοίπων πλανητών και δορυφόρων της ίδιας περίπου μάζα (που εξηγείται από το γεγονός ότι η αποσπασθείσα ύλη της Γης ήταν επιφανειακή που ήταν πλούσια σε Si αλλά φτωχή σε βαρύτερα μέταλλα, καθώς επίσης και από το γεγονός ότι υπάρχουν χημικές ενώσεις που δεν βρίσκονται στη Γη).

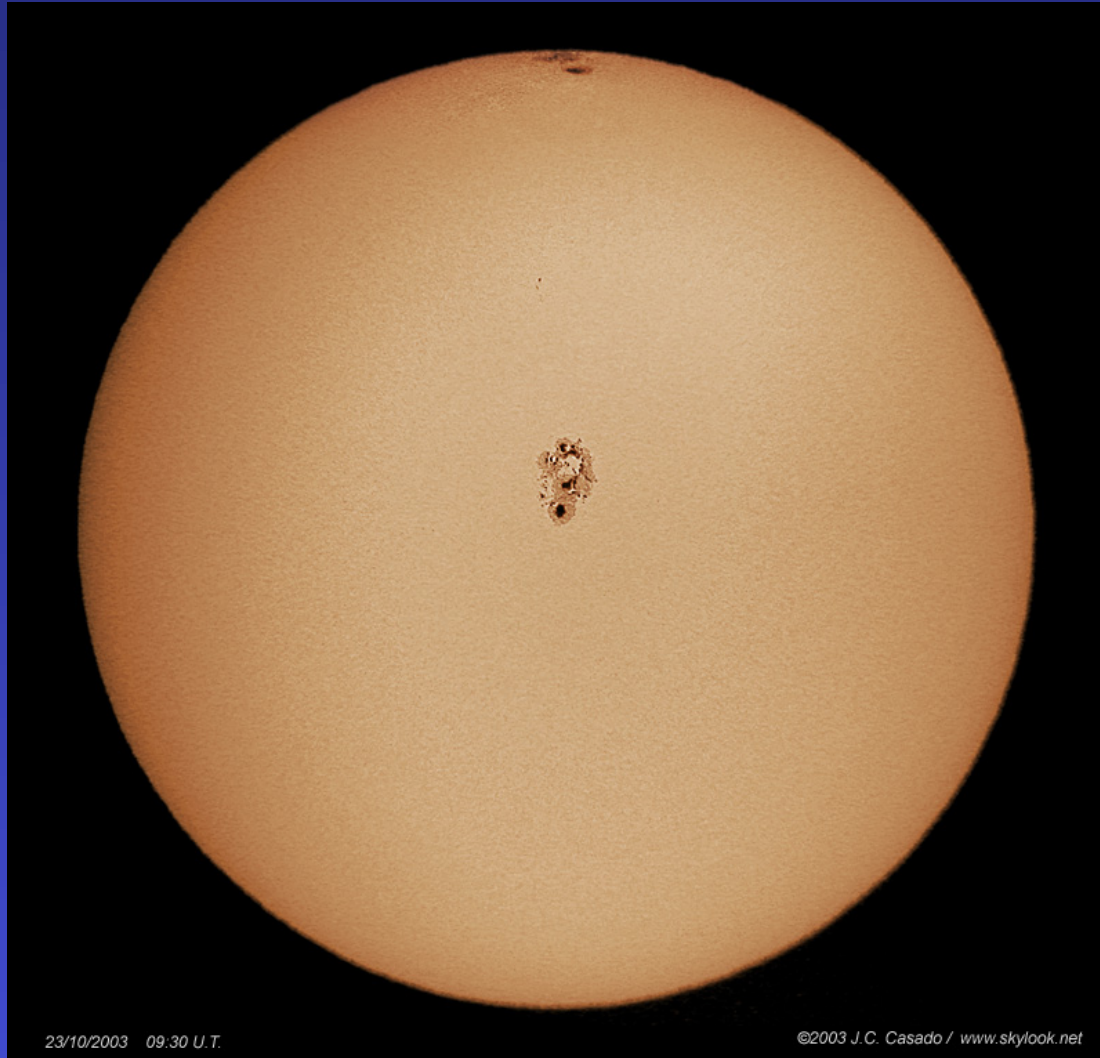
# ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΛΑΝΗΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Παρατηρήσεις με την συστοιχία τηλεσκοπίων ALMA στην έρημο της Ατακάμα στη Χιλή του αστέρα **HL Tauri** (~μόνο 100.000 ετών) σε απόσταση 450 ετών φωτός στον αστερισμό του Ταύρου μας δείχνουν για 1<sup>η</sup> φορά ένα **πλανητικό σύστημα εν τω γεννάσθαι**.





# Ο Ήλιος



Που είναι το λάθος  
σε αυτή την εικόνα;

23/10/2003 09:30 U.T.

©2003 J.C. Casado / [www.skylook.net](http://www.skylook.net)



## Φυσικά χαρακτηριστικά του Ήλιου

99% της ολικής μάζας του ηλιακού συστήματος

Ηλικία: 5 δισεκατομμύρια έτη

Θερμοκρασία πυρήνα: 15 εκατομμύρια K

Πυρηνικές αντιδράσεις στο εσωτερικό του

Απόσταση: 150 εκατομμύρια χλμ = 1 AU

Γωνιώδης διάμετρος:  $32^\circ$  (μισή περίπου μοίρα)

Ακτίνα: 700 000 χλμ

Θερμοκρασία επιφάνειας: 5800 K

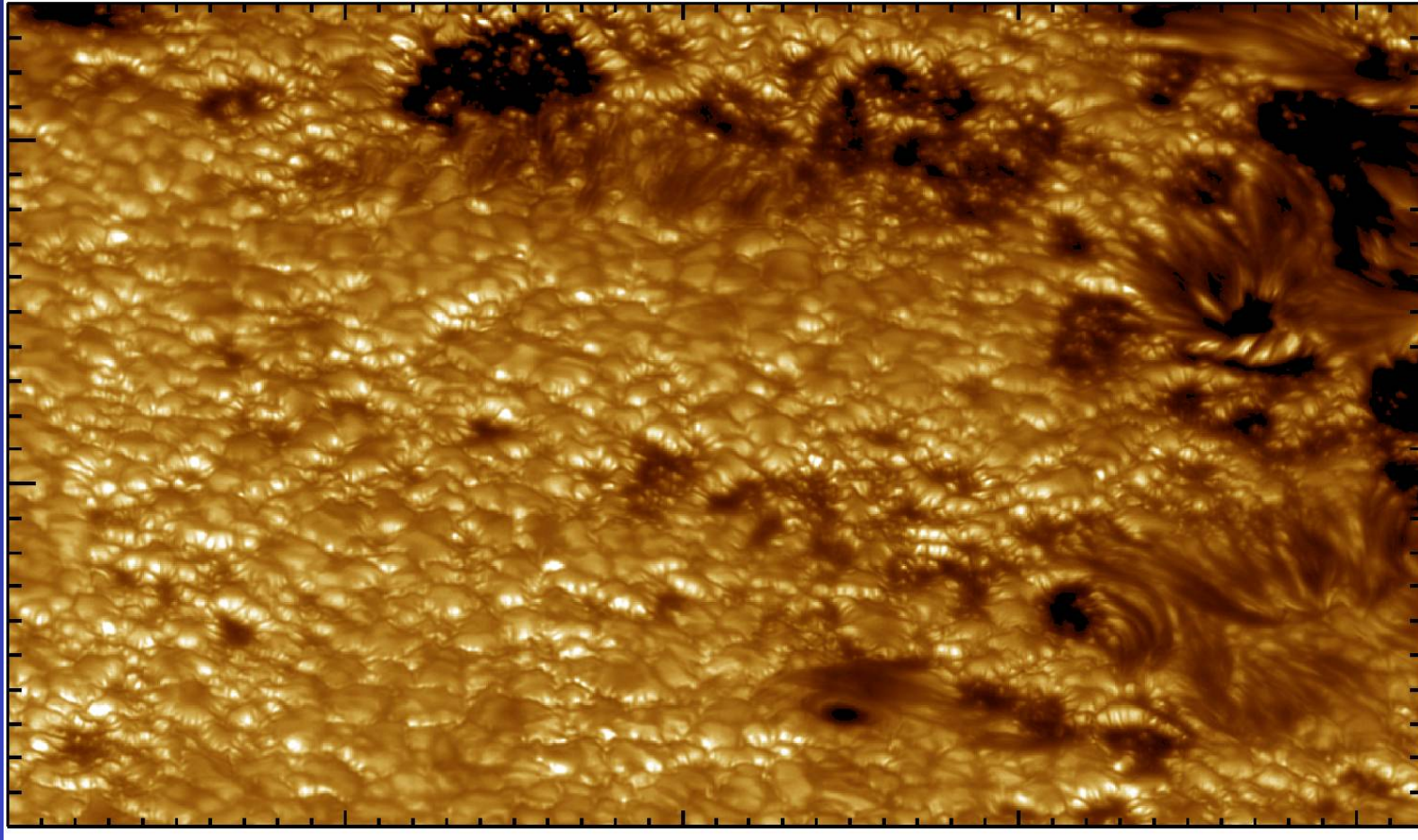
Μάζα:  $2 \times 10^{33}$  gr

# Φωτόσφαιρα

- (1) Η επιφάνεια του Ήλιου από την οποία προέρχεται το συνεχές φάσμα εκπομπής (λευκό φως) με γραμμές απορρόφησης. Επειδή η ατμόσφαιρα του Ηλίου είναι πολύ αραιή το οπτικό βάθος της είναι μηδενικό και επομένως υπάρχει αμεληταία απορρόφηση του φωτός της φωτόσφαιρας.
- (2) Έχει πάχος 400km (δηλαδή το 1/10000 της ακτίνας Ηλίου -> άρα θεωρείται σχεδόν μοναδιαίου πάχους επιφάνεια.
- (3)  $T \sim 6000\text{K}$  στη βάση της και  $T \sim 4000\text{K}$  στη κορφή της.
- (4) Φαινόμενο της φωτόσφαιρας είναι και η «**κοκκίαση**», που οφείλεται στη ζώνη μεταφοράς: Είναι κορυφές ανοδικών ρευμάτων που μεταφέρουν θερμό υλικό από εσωτερικό Ήλιου στην φωτόσφαιρα. Είναι πιο θερμό από πέριξ περιοχή και λόγω νόμου **Stefan-Boltzmann** ( $f = \sigma T^4$ ) η ροή φωτός είναι μεγαλύτερη από αυτή των πέριξ περιοχών.



# Η επιφάνεια του Ήλιου "βράζει"!

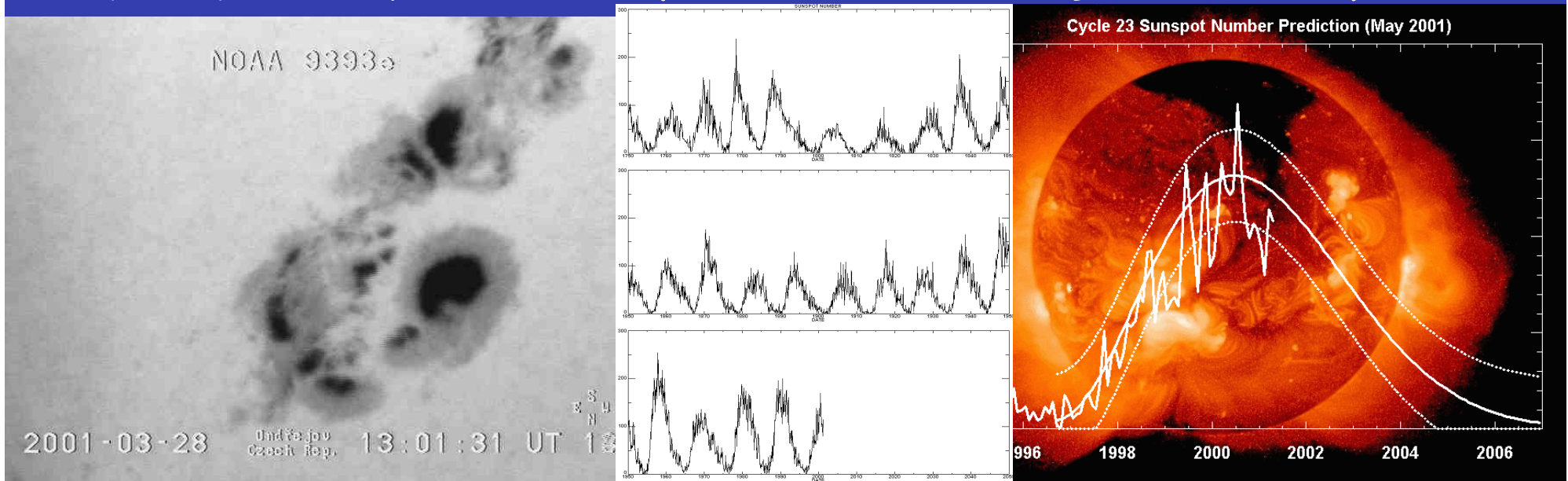


Η κοκκίαση οφείλεται στην μεταφορική κίνηση του πλάσματος + μαγνητικό πεδίο. Διάμετρος "κόκκων": ~1000 χλμ!



# Ηλιακές κηλίδες

- Δισκοειδείς σχηματισμοί διαμέτρου  $\sim 10000\text{km}$  και  $T \sim 3800\text{K}$ .
- Φαίνονται σκοτεινοί λόγω  $\Delta T \sim 2000\text{K}$  με φωτόσφαιρα
- Διάρκεια ζωής 10-60 μέρες
- Παρουσιάζουν ισχυρό μαγνητικό πεδίο κάθετο στην επιφάνεια Ήλιου
- Εμφανίζονται σε ζεύγη (Ηγούμενη & Επόμενη) με αντίθετη πολικότητα
- Οι πολικότητες όλων των ηγούμενων είναι ίδια και αντίθετη στα δύο ημισφαίρια
- Κύκλος εμφάνισης με περίοδο 11 ετών, αλλά κανονικά όλο το φαινόμενο διαρκεί 22 έτη (αλλαγή πολικότητας κάθε 11 έτη).



# Ηλιακές κηλίδες

**Αιτίες δημιουργίας:** Όπως περνούν οι μαγνητικές δυναμικές γραμμές στα ανώτερα μέσα από τις ζώνες μεταφοράς παραμορφώνονται από την διαφορική περιστροφή του και περιελίσσονται παράλληλα με τον ισημερινό, δημιουργώντας **μαγνητικούς σωλήνες** με μεγάλη μαγνητική ένταση (λόγω του  $B \sim N/\Sigma$

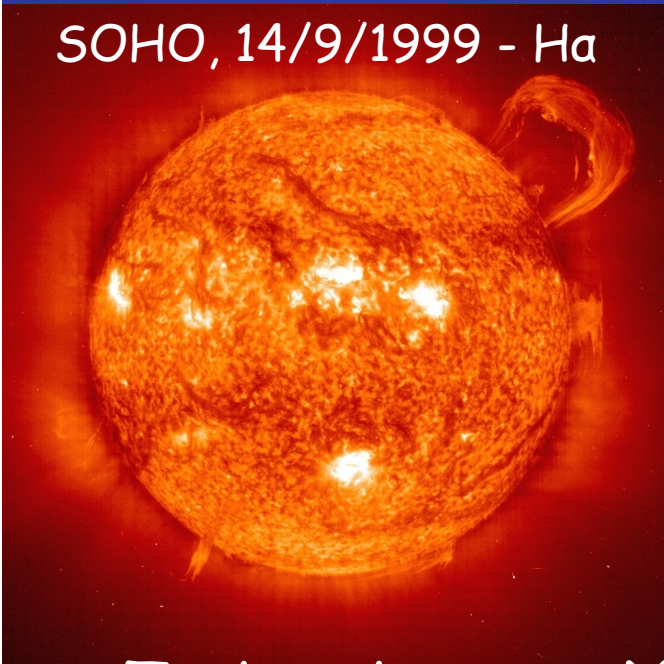
( $N$ =αριθμός δυναμικών γραμμών,  $\Sigma$ =επιφάνεια).

- Οι μαγνητικοί σωλήνες ωθούνται να βγουν στην επιφάνεια του Ήλιου, δημιουργώντας **βρόχους**, λόγω του ότι η πυκνότητα του πλάσματος μέσα στους μαγνητικούς σωλήνες είναι μικρότερη από του περιβάλλοντος.
- Οι κηλίδες είναι οι περιοχές όπου οι βρόχοι τέμνουν την φωτόσφαιρα. Για αυτό εμφανίζονται σε ζεύγη με αντίθετη πολικότητα.
- Νέες αστάθειες λόγω διαφορικής περιστροφής τελικά διαλύουν τους βρόχους, και αναδιατάσσουν τις δυναμικές γραμμές.

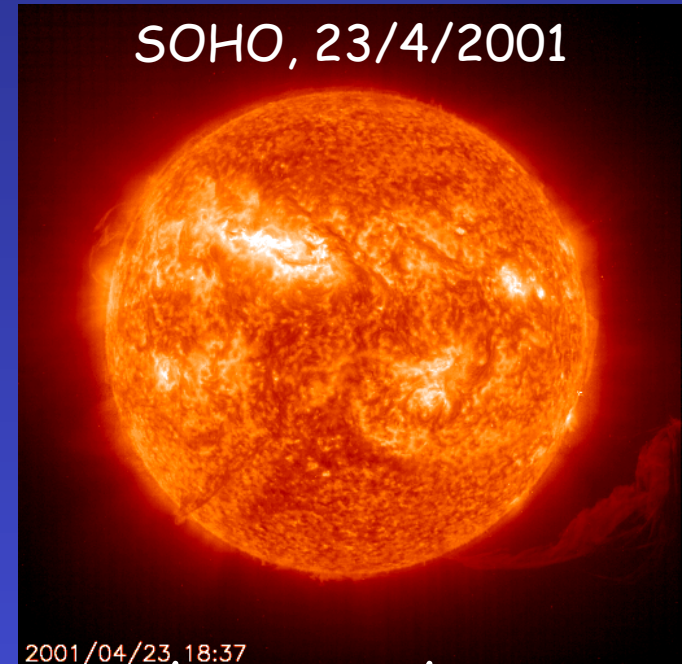
# Χρωμόσφαιρα

- Εδώ αυξάνει η θερμοκρασία και φτάνει  $T \sim 20000\text{K}$  στη κορυφή της.
- Είναι ουσιαστικά αόρατη και φαίνεται μόνο στις εκλείψεις
- Εκπέμπει γραμμικό φάσμα, και το κοκκινωπό χρώμα της οφείλεται στην κυριαρχία της γραμμής Balmer  $H\alpha$  ( $6563 \text{ \AA}$ )

SOHO, 14/9/1999 -  $H\alpha$



SOHO, 23/4/2001

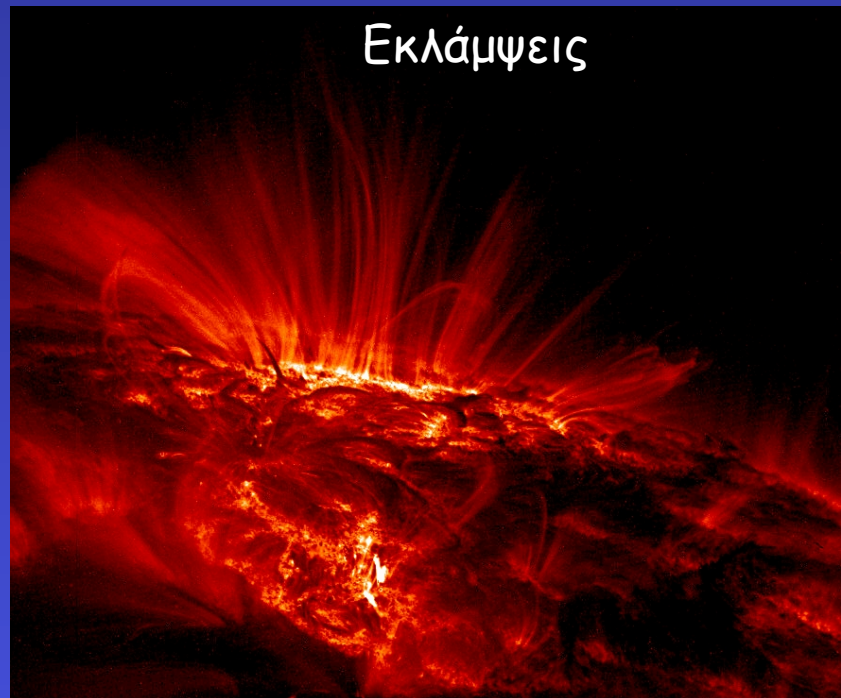


- Το άνω όριο της Χρωμόσφαιρας δεν είναι καλά ορισμένο. Θεωρούμε ότι είναι εκεί που η ένταση της εκπομπής  $H\alpha$  γίνεται μικρότερη από ένταση φωτός Στέμματος



# Χρωμόσφαιρα (Εκλάμψεις)

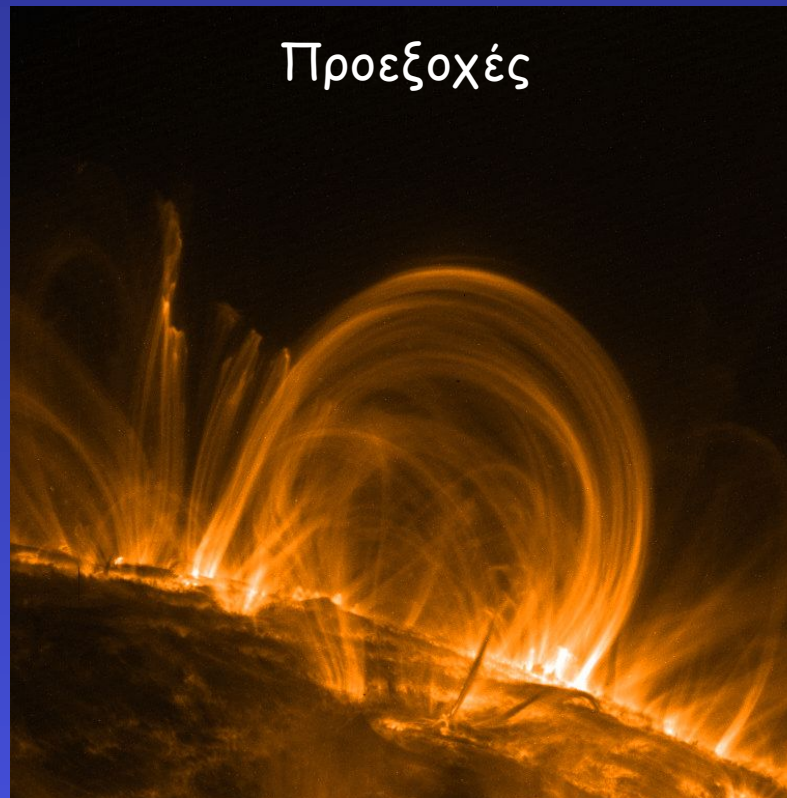
- Στις περιοχές όπου εμφανίζονται κηλίδες γίνονται ορισμένες φορές μεγάλες εκρήξεις. Η φωτεινότητα τους φτάνει γρήγορα σε μέγιστο και φθίνουν αργά (20λεπτά). Φτάνουν σε  $T \sim 10^6 \text{ K}$  Ακτινοβολούν στο οπτικό αλλά και ακτίνες-Χ, ραδιοκύματα αλλά και σωματίδια (ιόντα και  $e^-$  πολλών MeV)
- Συνολική ενέργεια που εκλύεται  $E \sim 10^{32} \text{ erg}$  (αντιστοιχεί με  $10^7$  μεγατόνους για την έκταση και χρονικό διάστημα της)
- Δημιουργούνται από την επανασύνδεση των δυναμικών γραμμών, απομείωση τους, που συνεπάγεται έκλυση ενέργειας.
- Προκαλούν στη Γη προβλήματα στις τηλεπικοινωνίες, δορυφορικές ζεύξεις, κλπ





# Χρωμόσφαιρα (Προεξοχές)

- Αψιδωτοί τεράστιοι σχηματισμοί που εκτείνονται σε μεγάλες εκτάσεις και ύψη (πχ. 500.000km) και φτάνουν μέχρι το στέμμα.
- Είναι κλειστοί **σωλήνες μαγνητικής ροής** (οι ανοιχτοί λέγονται νήματα) με πυκνότητα πλάσματος μεγαλύτερη από αυτή του στέμματος αλλά μικρότερη από αυτή της χρωμόσφαιρας
- Δύο τύπων: **Ήρεμες** προεξοχές και **Εκρηκτικές** προεξοχές. Οι πρώτες καμιά φορά μετασχηματίζονται στις δεύτερες, άγνωστο γιατί.



Από δορυφόρο TRACE

# Το ηλιακό στέμμα

- Σφαιρικός φλοιός αραιής ύλης που περιβάλλει την Χρωμόσφαιρα (11 τάξεις πιο αραιή από φωτόσφαιρα)
- $T \sim 2 \times 10^6$  K. Η αύξηση της θερμοκρασίας δεν οφείλεται σε απορρόφηση της ακτινοβολίας της φωτόσφαιρας από ύλη στέμματος
- Τυπικά θεωρούμε ότι το στέμμα εκτείνεται σε  $\sim 10 R_{\text{solar}}$ .
- Όμως, **ηλιόπαυση** (εκεί που το ένταση μαγνητικό πεδίο ηλιακού ανέμου = μαγνητικό πεδίο μεσοαστρικού χώρου,  $\sim 100-150$  AU (πέρα από τροχιά Πλούτωνα).

11/8/1999: Ολική έκλειψη Ήλιου  
~ Μέγιστο ηλιακής δραστηριότητας



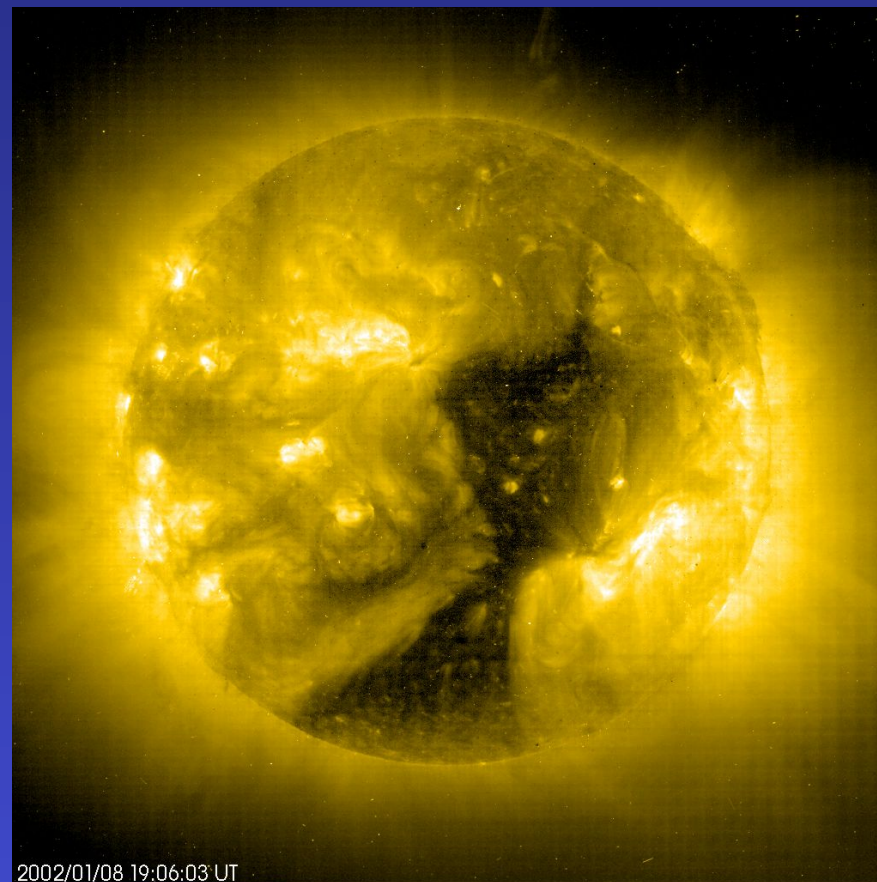
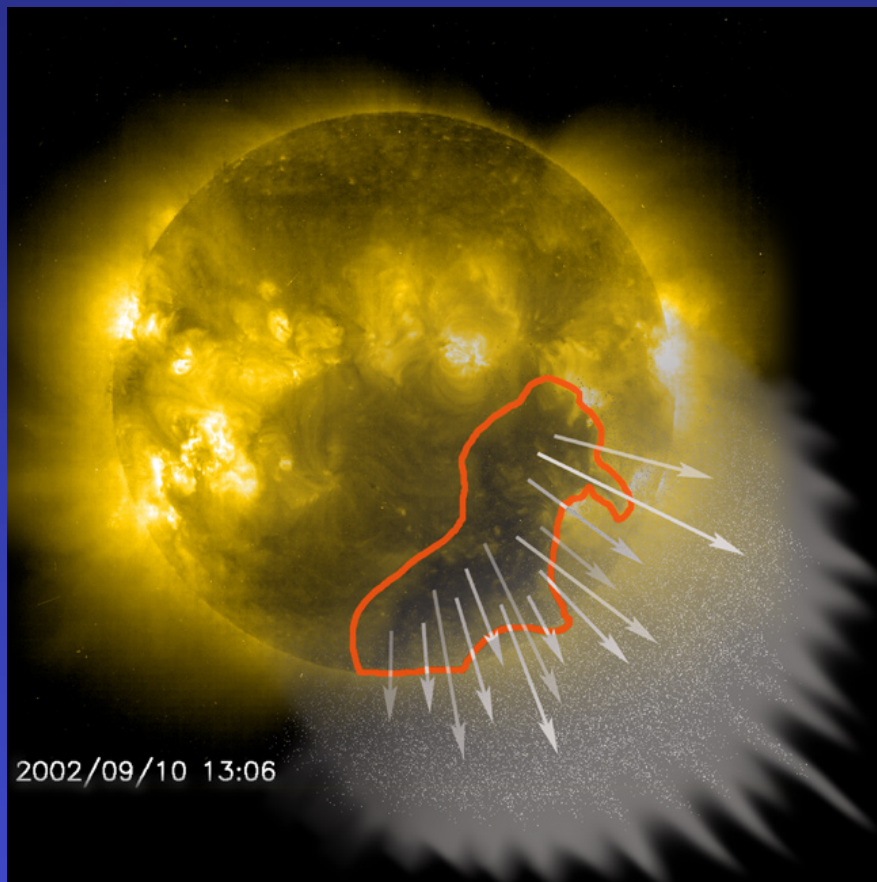
©1999 F. Espenak - All rights reserved.

29/3/2006: Ολική έκλειψη Ήλιου  
~ Ελάχιστο ηλιακής δραστηριότητας



© 1998 Andreas Gada and Jerry Lodriguss

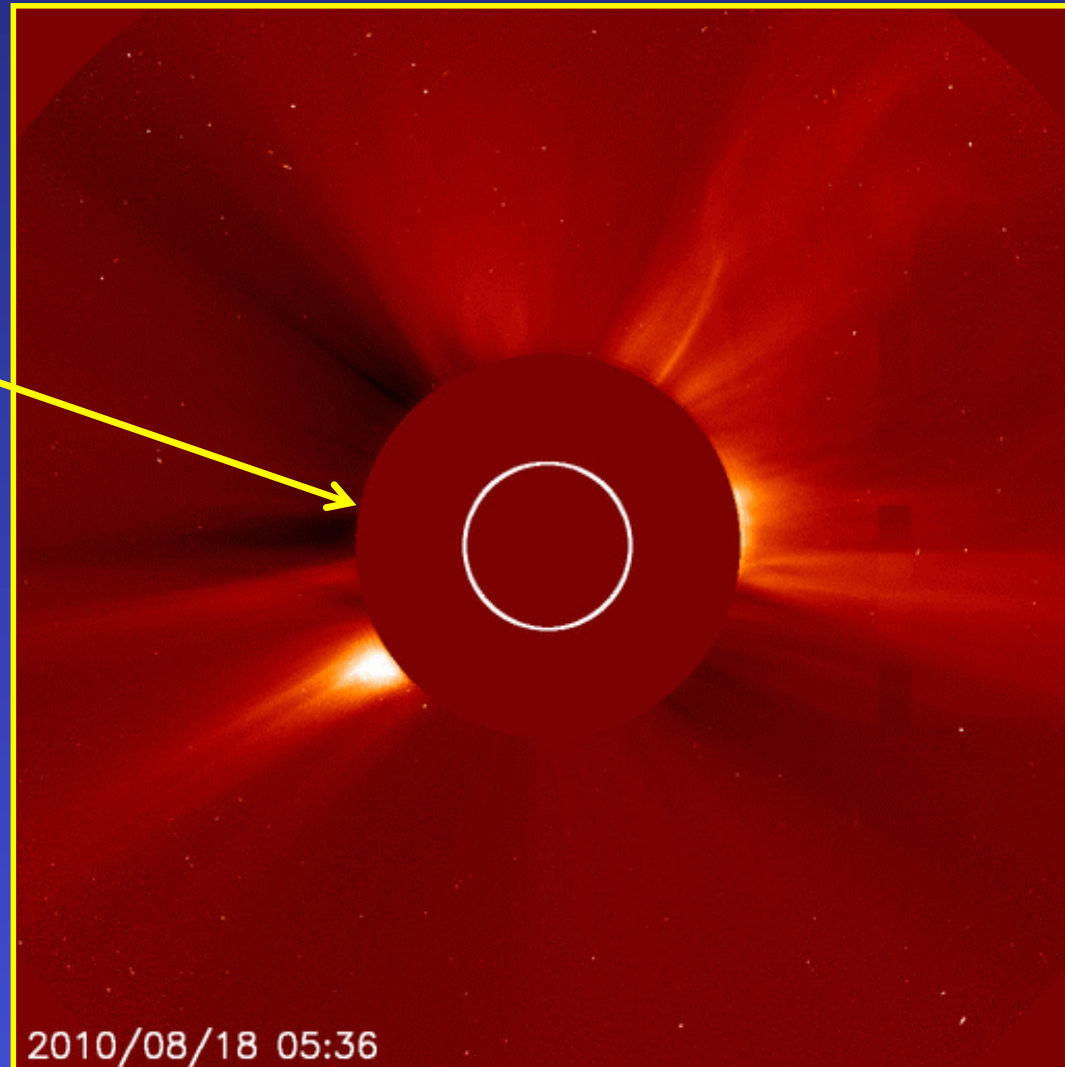
# Οπές του Στέμματος





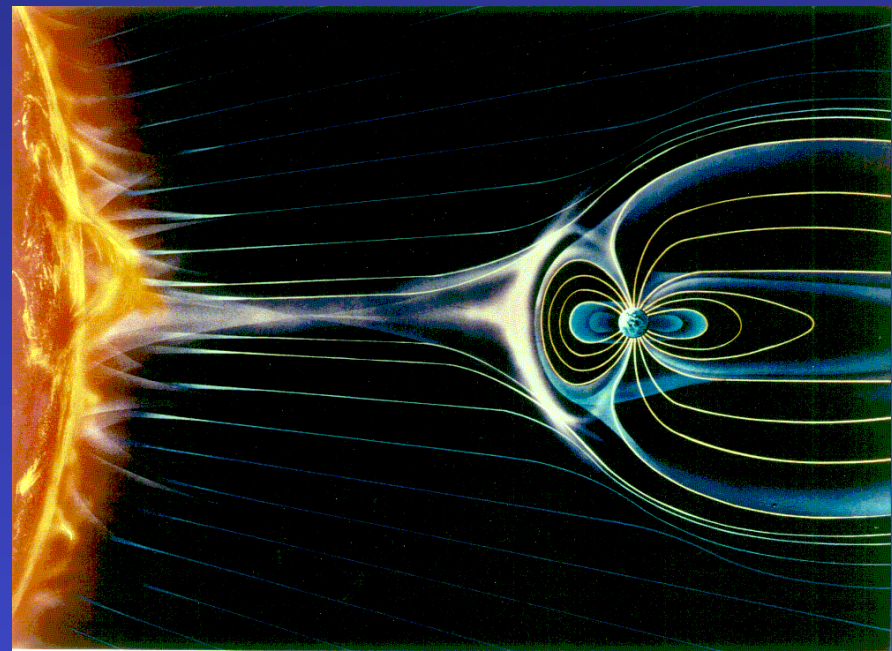
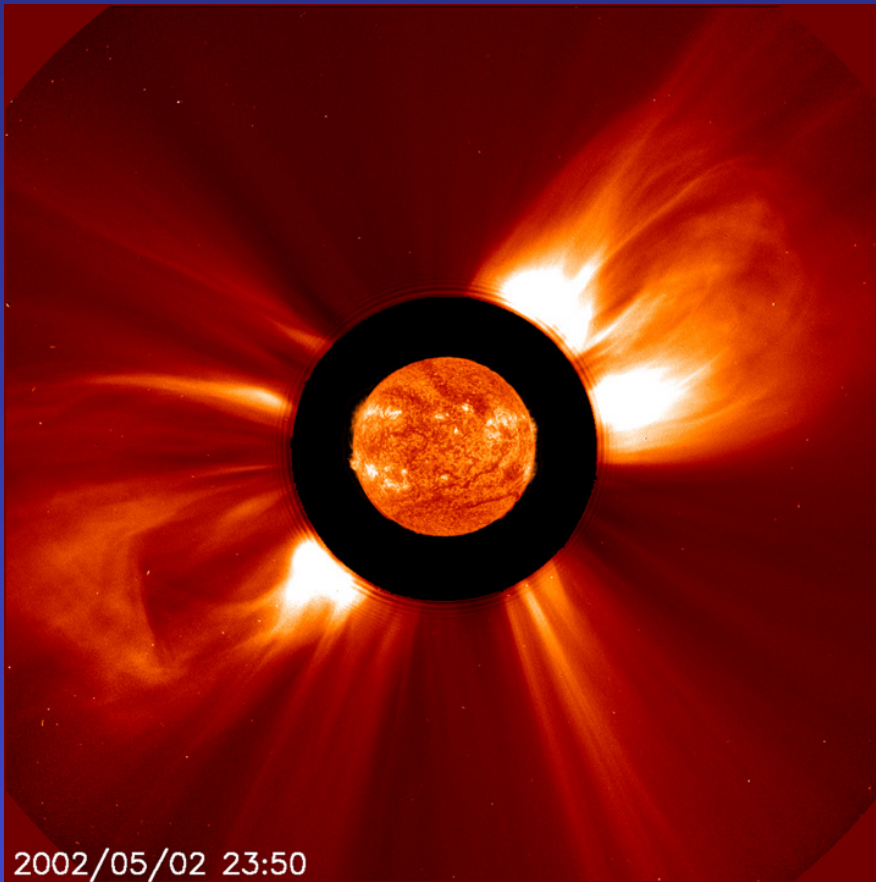
# Εκροή πλάσματος Coronal Mass Ejection (CME)

Στεμματογράφος

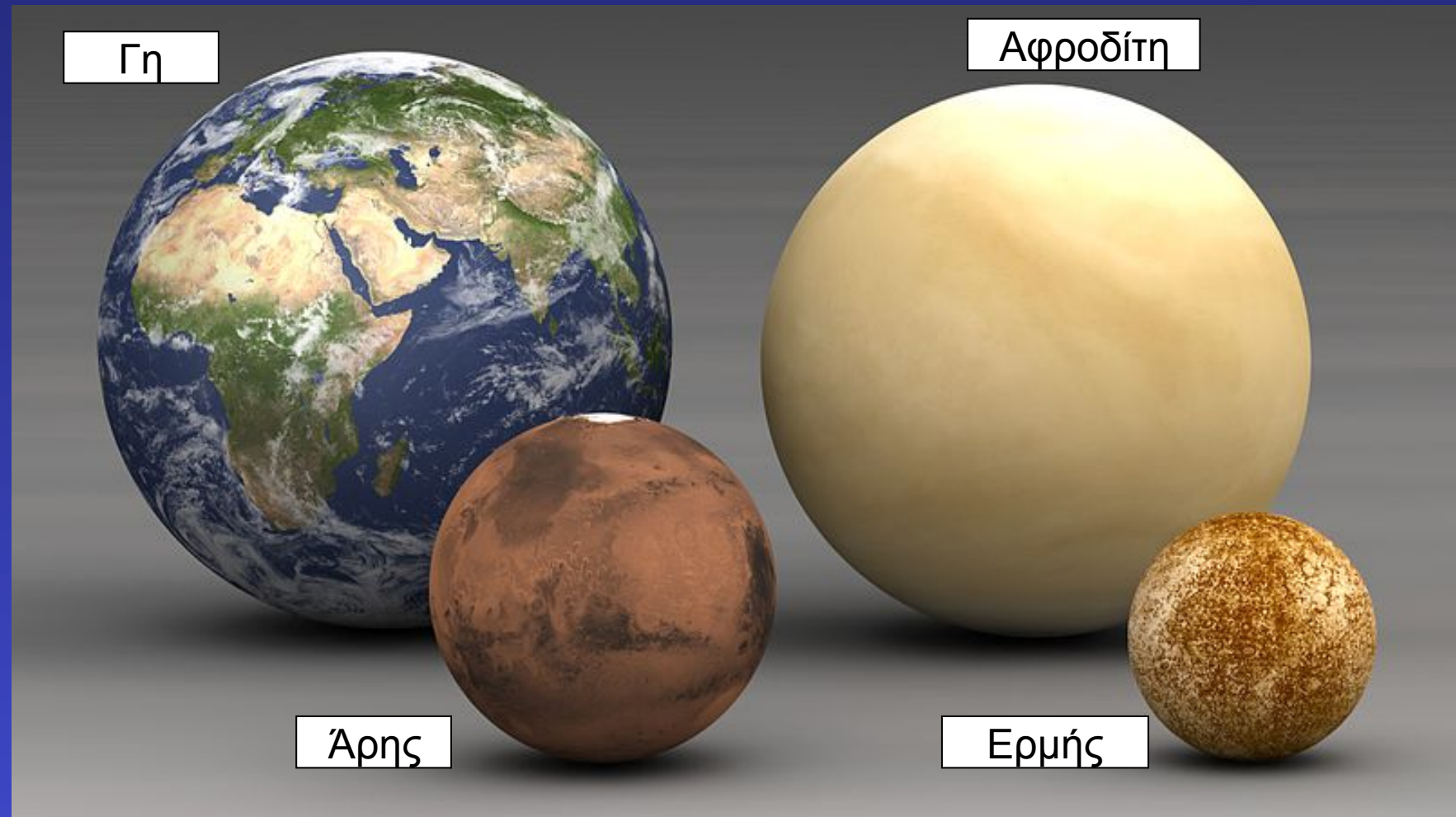




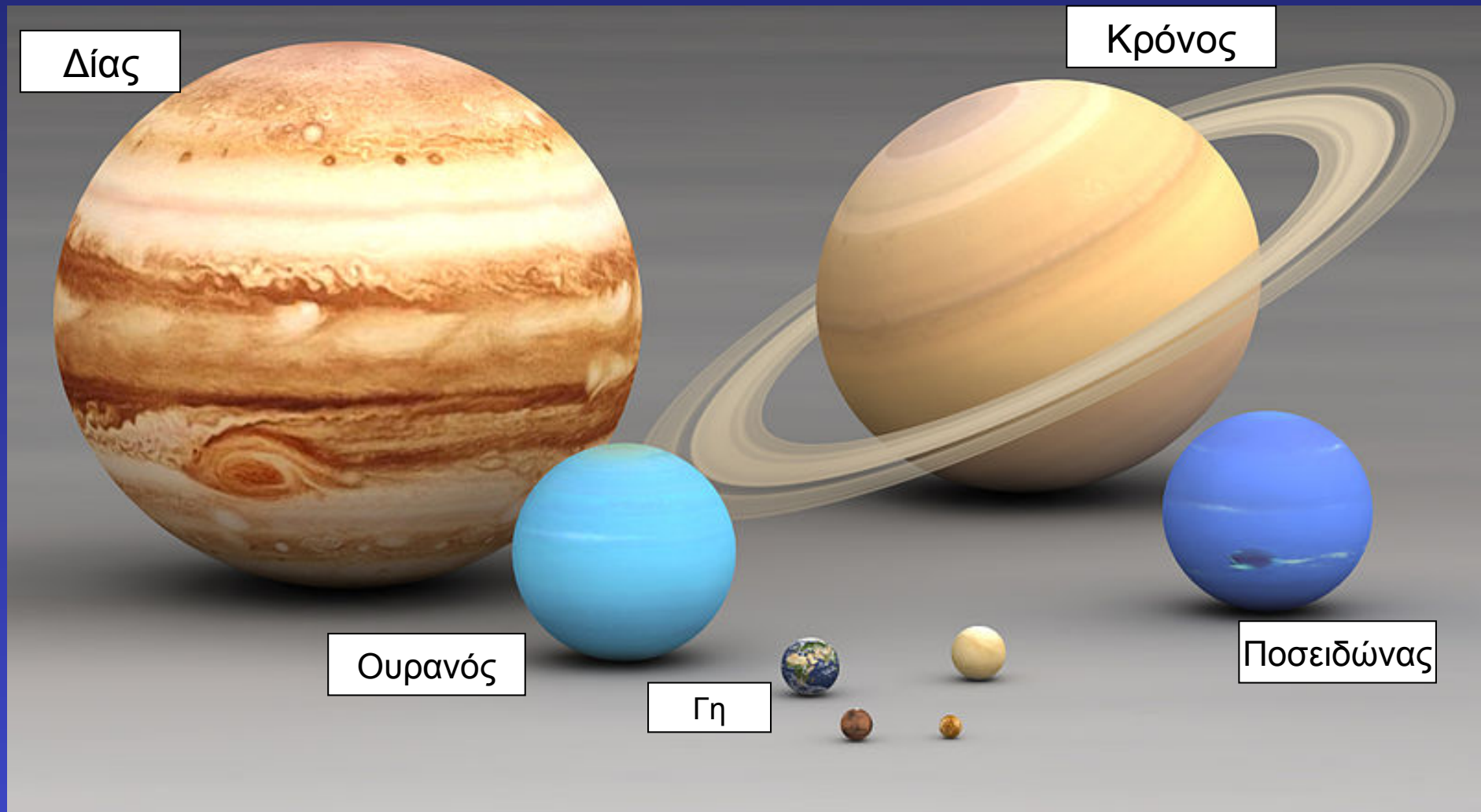
# Ηλιακός άνεμος



# Πλανήτες

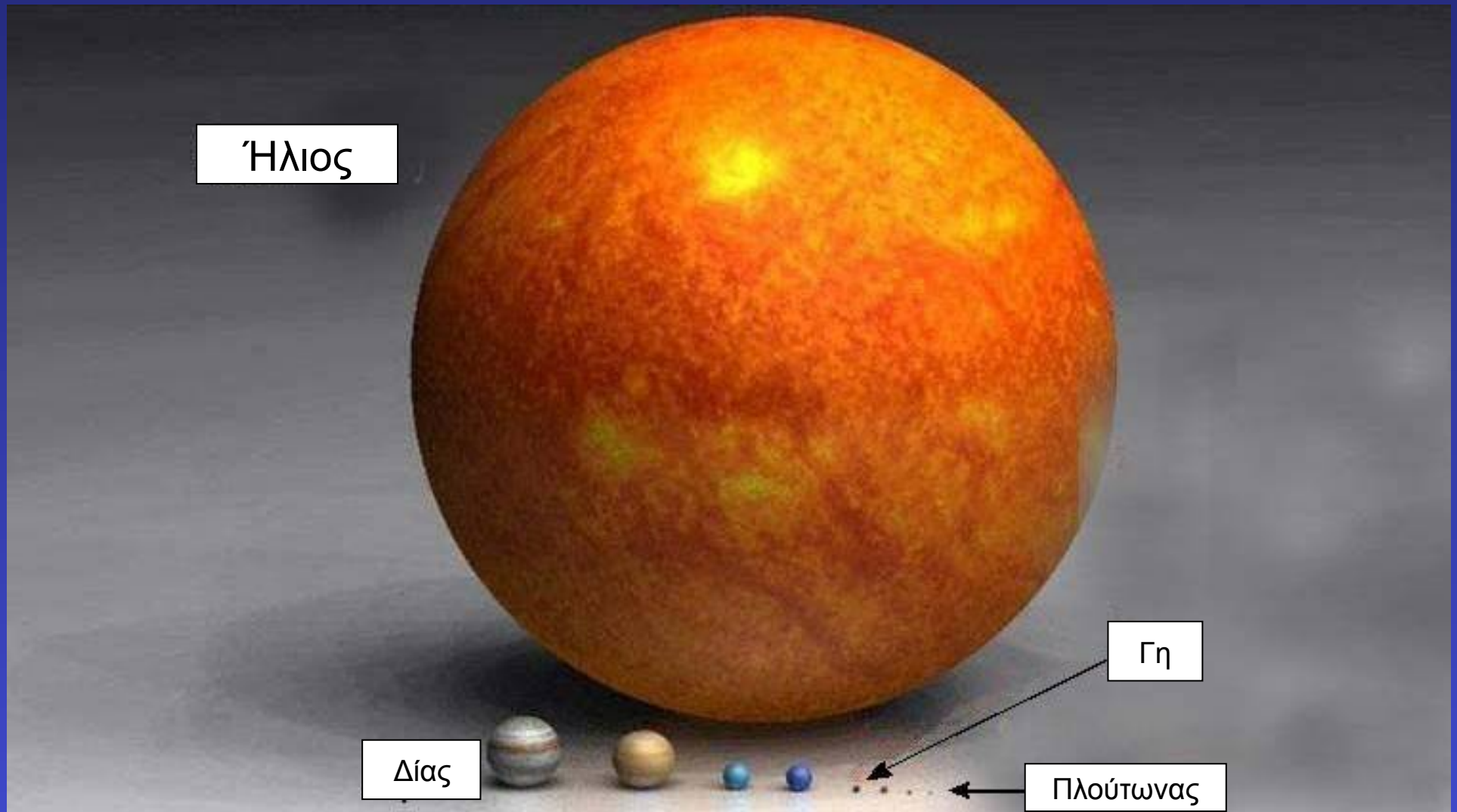


Οι εσωτερικοί πλανήτες του ηλιακού μας συστήματος. Φαίνεται το σχετικό τους μέγεθος



Σύγκριση των μεγεθών των πλανητών του Ηλιακού Συστήματος





Σύγκριση του μεγέθους του Ήλιου με τους πλανήτες του Ηλιακού Συστήματος



# Στοιχεία για Πλανήτες

Δεν είναι ακριβώς κλειστές και αμετάβλητες ελλείψεις, λόγω των παρέλξεων από άλλους πλανήτες.

Οι τροχιές των πλανητών βρίσκονται σχεδόν στο ίδιο επίπεδο.

Αφροδίτη: κλίση  $3^{\circ}.4$  ως προς την εκλειπτική

Ερμής: κλίση  $7^{\circ}$

Πλούτωνας: κλίση  $17^{\circ}$  -> είναι ελάσσων πλανήτης

Οι τροχιές των πλανητών είναι σχεδόν κυκλικές με μέση εκκεντρότητα  $\sim 0.04$ . Εξαιρέση: Ερμής  $e=0.206$ .

Όλοι οι πλανήτες περιφέρονται γύρω από τον Ήλιο ορθά!

Οι πλανήτες σχηματίστηκαν σε ένα περιστρεφόμενο δίσκο.

Γήινοι πλανήτες: Ερμής, Αφροδίτης, Γη, Άρης

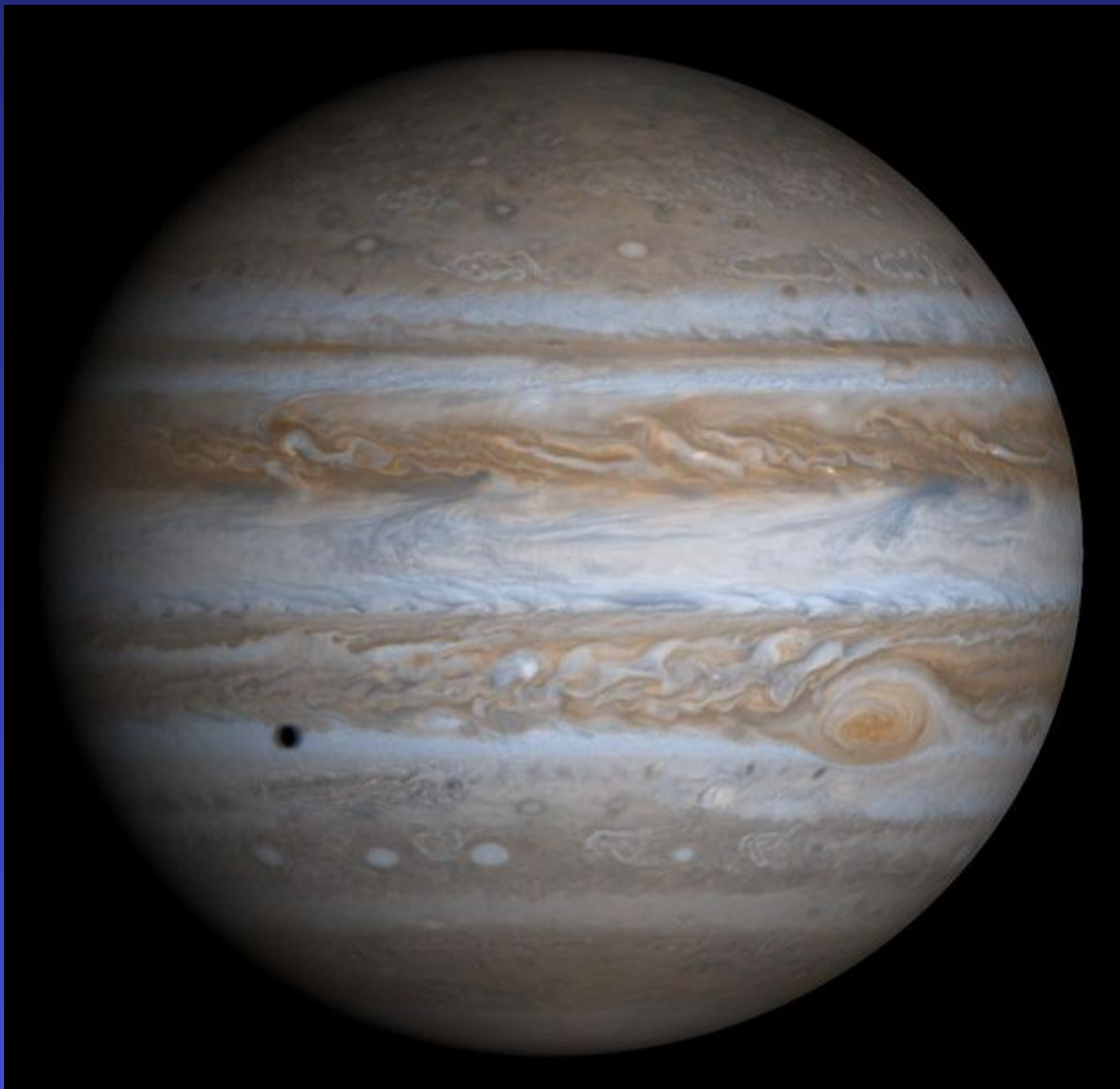
Αεριώδεις γίγαντες: Δίας, Κρόνος, Ουρανός, Ποσειδώνας

Όλοι έχουν δακτύλιους, αλλά μόνο του Κρόνου είναι ορατοί από τη Γη με απλό τηλεσκόπιο.

	Ερμής	Αφροδίτη	Γη	(Σελήνη)	Άρης
Μεγάλος ημιάξονας (AU)	0.387	0.723	1.000	-	1.524
Περίοδος περιφοράς	87.66 <sup>d</sup>	226.46 <sup>d</sup>	365.256 <sup>d</sup>	27.32 <sup>d</sup>	1.88 <sup>y</sup>
Περίοδος περιστροφής	43.67 <sup>d</sup>	-243.01 <sup>d</sup>	23.93 <sup>h</sup>	27.32 <sup>d</sup>	24.62 <sup>h</sup>
Ισημερινή ακτίνα, km	2 439	6 052	6 378	1 738	3 397
Μάζα, M (M <sub>☉</sub> )	0.06	0.82	1.00	0.012	0.11
Μέση πυκνότητα gr/cm <sup>3</sup>	5.44	5.25	5.52	3.34	3.94
Ταχύτητα διαφυγής km/sec	4.3	10.3	11.2	2.37	5.0
Ανώτερη θερμοκρασία °C	350	480	58	107	27
Κατώτερη θερμοκρασία °C	-170	-33 <sup>a</sup>	-88	-153	-123
Ατμόσφαιρα (κύρια αέρια)	-	CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub>	-	CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub>
Δορυφόροι	0	0	1	-	2
Εκκεντρότητα τροχιάς (e)	0.2056	0.0068	0.0167	0.055	0.0933
Λόξωση (μοίρες)	0	2.12	23.45	1.54	23.98
Κλίση τροχιάς ως προς την εκλειπτική (μοίρες)	7.0	3.39	0.0	5.15	1.85

	Δίας	Κρόνος	Ουρανός	Ποσειδών	Πλούτων	Ήλιος
Μεγάλος ημιάξονας (AU)	5.202	9.555	19.218	30.109	39.439	-
Περίοδος περιφοράς	11.86 <sup>y</sup>	29.46 <sup>y</sup>	84.01 <sup>y</sup>	164.79 <sup>y</sup>	247.68 <sup>y</sup>	-
Περίοδος περιστροφής	9.92 <sup>h</sup>	10.66 <sup>h</sup>	17.24 <sup>h</sup>	16.11 <sup>h</sup>	153.3 <sup>h</sup>	25.38 <sup>d</sup>
Ισημερινή ακτίνα, km	71 492	60 268	25 559	24 764	1 140	695 990
Μάζα, M (M <sub>☉</sub> )	317.89	95.18	14.54	17.15	0.002	332 946
Μέση πυκνότητα gr/cm <sup>3</sup>	1.33	0.69	1.27	1.64	2.0	1.41
Ταχύτητα διαφυγής km/sec	59.5	35.6	21.2	23.6	0.43	617.7
Ανώτερη θερμοκρασία °C	29 700 <sup>b</sup>	93 <sup>a</sup>	730	470	-30	1.5×10 <sup>7</sup>
Κατώτερη θερμοκρασία °C	-95 <sup>a</sup>	-180 <sup>a</sup>	-210 <sup>a</sup>	-220 <sup>a</sup>	-230 <sup>a</sup>	5 800
Ατμόσφαιρα (κύρια αέρια)	H <sub>2</sub> , He	H <sub>2</sub> , He	H <sub>2</sub> , He	H <sub>2</sub> , He	-	H <sub>2</sub> , He
Δορυφόροι	26+ δακτύλιοι	18+ δακτύλιοι	21+ δακτύλιοι	8	1	9 πλανήτες
Εκκεντρότητα τροχιάς (e)	0.048	0.056	0.046	0.010	0.248	-
Λόξωση (μοίρες)	3.08	26.73	97.92	28.8	96	7.3
Κλίση τροχιάς ως προς την εκλειπτική (μοίρες)	1.30	2.49	0.77	1.77	17.17	-





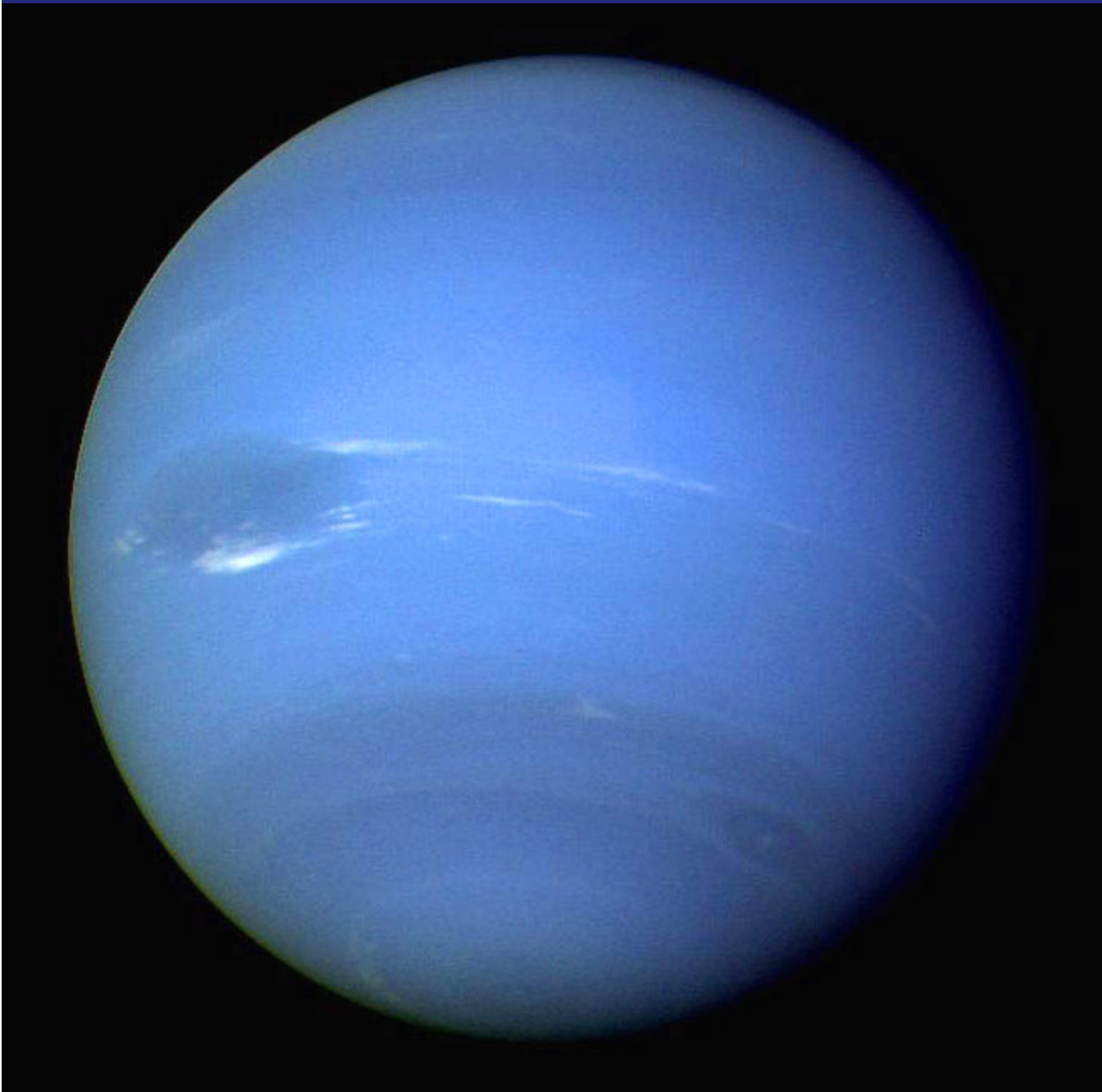
Ο πλανήτης **Δίας**, όπως φωτογραφήθηκε από το διαστημόπλοιο Cassini στις 07/12/2000. Φαίνεται η σκιά του δορυφόρου «Ευρώπη»



Ο πλανήτης **Κρόνος**, όπως φωτογραφήθηκε από το διαστημόπλοιο Cassini στις 07/05/2004

Ο πλανήτης **Ουρανός**,  
όπως φωτογραφήθηκε από  
το διαστημόπλοιο Voyager  
2 το 1986

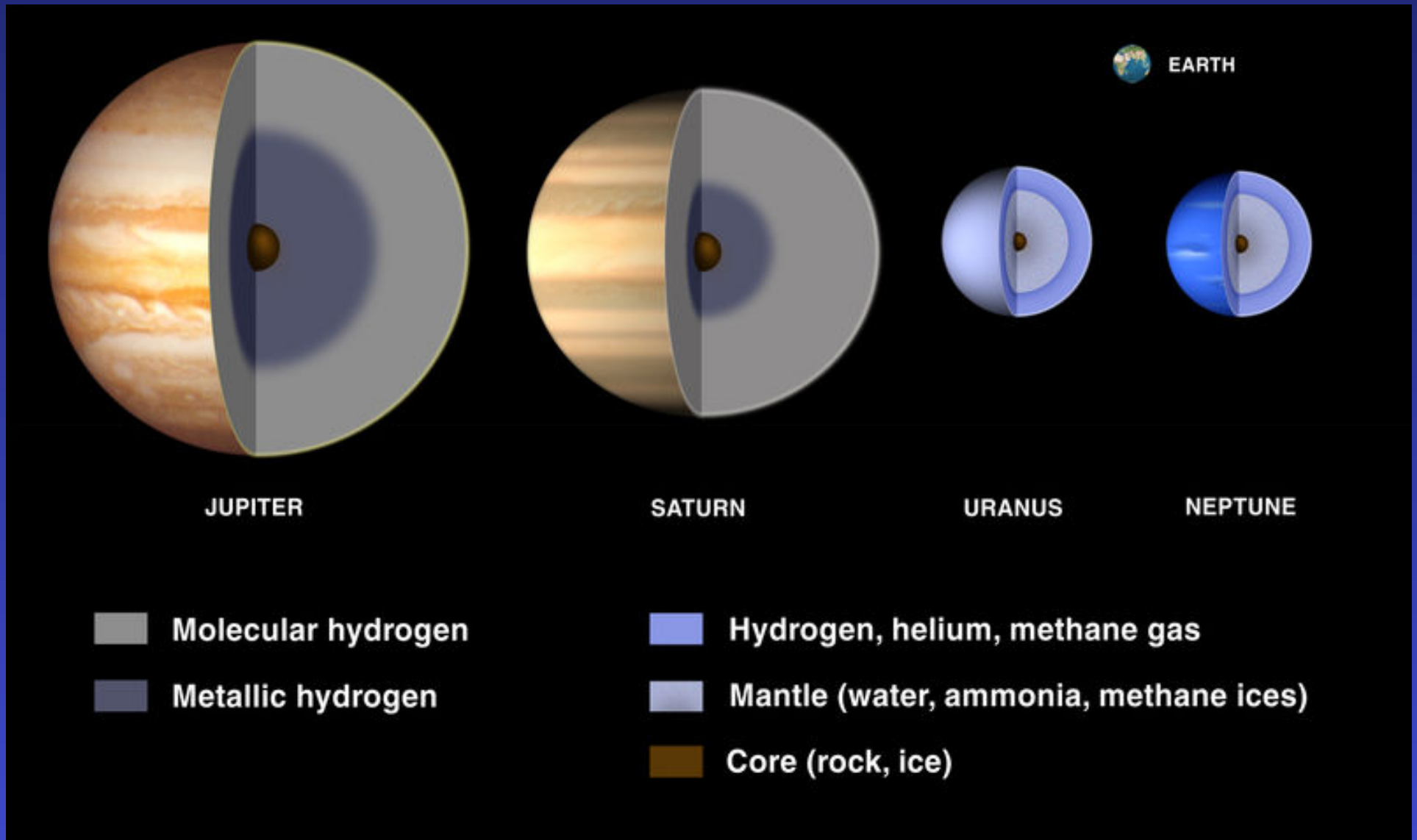




Ο πλανήτης Ποσειδώνας, όπως φωτογραφήθηκε από το διαστημόπλοιο Voyager 2 το 1989. Τα σκούρα σημάδια αριστερά και κάτω δεξιά είναι καταιγίδες



# Εσωτερική Δομή Πλανητών



Η εσωτερική δομή των τεσσάρων αεριωδών γιγάντων. Στο κέντρο των αεριωδών γιγάντων εκτιμάται ότι υπάρχουν στερεοί πυρήνες

# Εσωτερική Δομή Πλανητών

Όλοι οι αεριώδεις γίγαντες έχουν στερεούς πυρήνες και περιβάλλονται από εκτεταμένες ψυχρές ατμόσφαιρες, όπου υπάρχουν μεγάλες ποσότητες μεθανίου, αμμωνίας, ηλίου και υδρογόνου.

Τέτοια ελαφρά αέρια υπήρχαν αρχικά και στους γήινους πλανήτες, αλλά παρασύρθηκαν στο διάστημα από τον ηλιακό άνεμο, ο οποίος στη νεαρή ηλικία του Ήλιου ήταν πολύ πιο έντονος από ό,τι είναι σήμερα.

Η σημερινή ατμόσφαιρα της Γης δημιουργήθηκε από την απελευθέρωση αερίων από το εσωτερικό της και κυρίως από τον πυρήνα της, όταν αυτός έλιωσε, λόγω της μεγάλης θερμότητας που εκλύθηκε από ραδιενεργές διασπάσεις.

# Εσωτερική Δομή Πλανητών

Εξαιτίας της μικρής τους μάζας, η πίεση και η θερμοκρασία στο εσωτερικό των πλανητών, ποτέ δεν φθάνουν τις υψηλές εκείνες τιμές που απαιτούνται για να αρχίσουν και να διατηρηθούν θερμοπυρηνικές αντιδράσεις κι έτσι δεν παράγεται ενέργεια.

Η μέση επιφανειακή θερμοκρασία τους οφείλεται κατά κύριο λόγο στη θέρμανσή τους από την ηλιακή ακτινοβολία.

Η θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνειά τους με κατανομή θερμοκρασίας μελανού σώματος έχει μέγιστη ένταση στην υπέρυθρη περιοχή του φάσματος).

Στην ορατή περιοχή του φάσματος είναι σώματα ετερόφωτα.

# Ελάχιστον Πλανήτες

Οι ελάχιστον πλανήτες έχουν διάμετρο μέχρι μερικές χιλιάδες km.

Σώματα με διάμετρο μικρότερη από κάποιες εκατοντάδες km ονομάζονται και αστεροειδείς.

Σώματα με διάμετρο  $< 50\text{m}$  ονομάζονται μετεωριδείς.



# Ελάσσονες Πλανήτες

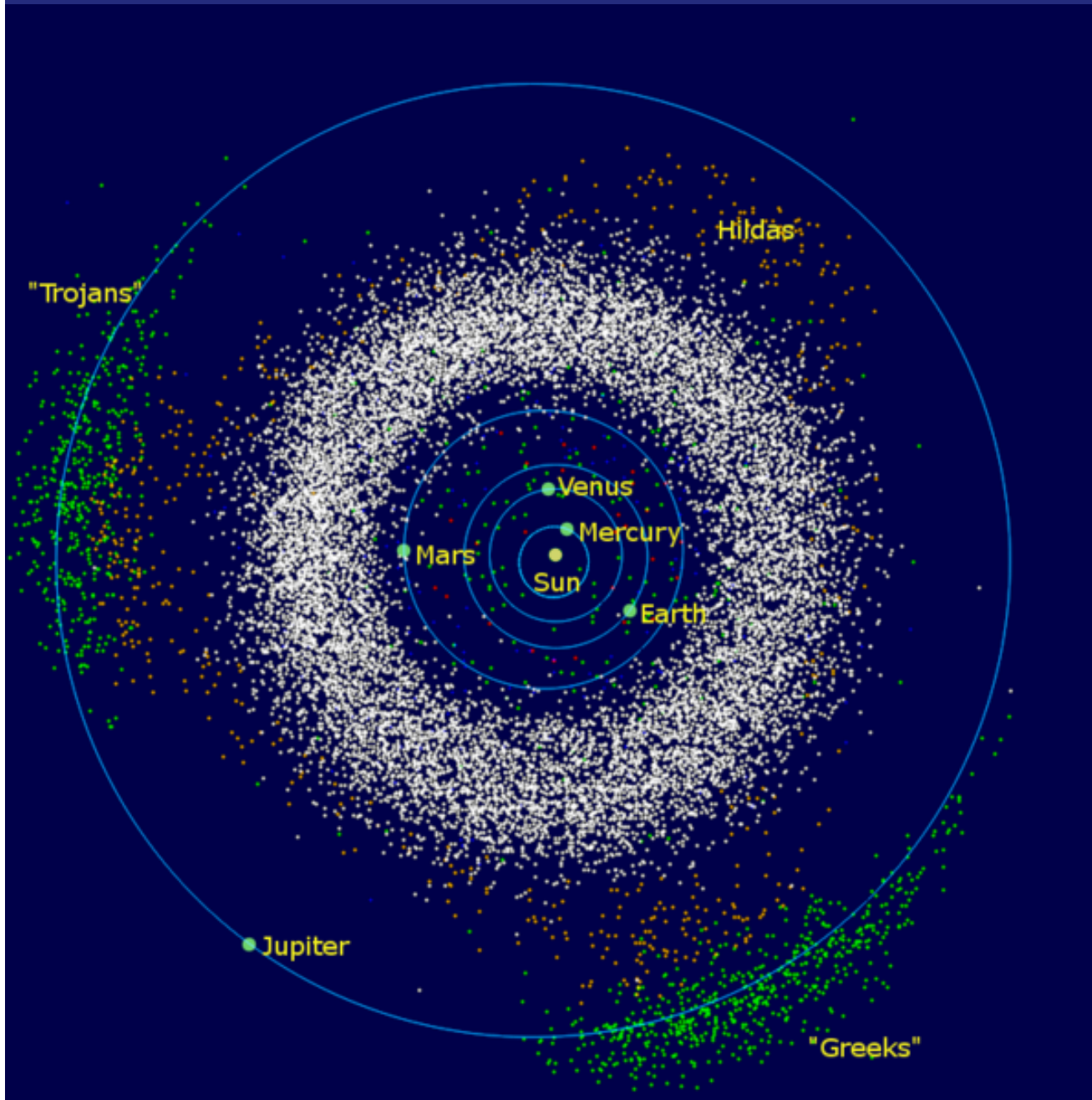
Οι τροχιές ελάσσονων πλανητών / αστεροειδών / κομητών και μετεωροειδών **δεν βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο** με τους κύριους πλανήτες.

Η **εκκεντρότητα** ελασσόνων πλανητών / αστεροειδών / κομητών είναι αρκετά μεγάλη και **πλησιάζει την τιμή 1**.

Οι τροχιές των **κομητών**, ιδιαίτερα, ποικίλλουν κατά πολύ σε κλίση. Μερικοί κομήτες έχουν τόσο **μεγάλη κλίση** (μεγαλύτερη από  $90^\circ$ ), που κινούνται γύρω από τον Ήλιο **ανάδρομα**.

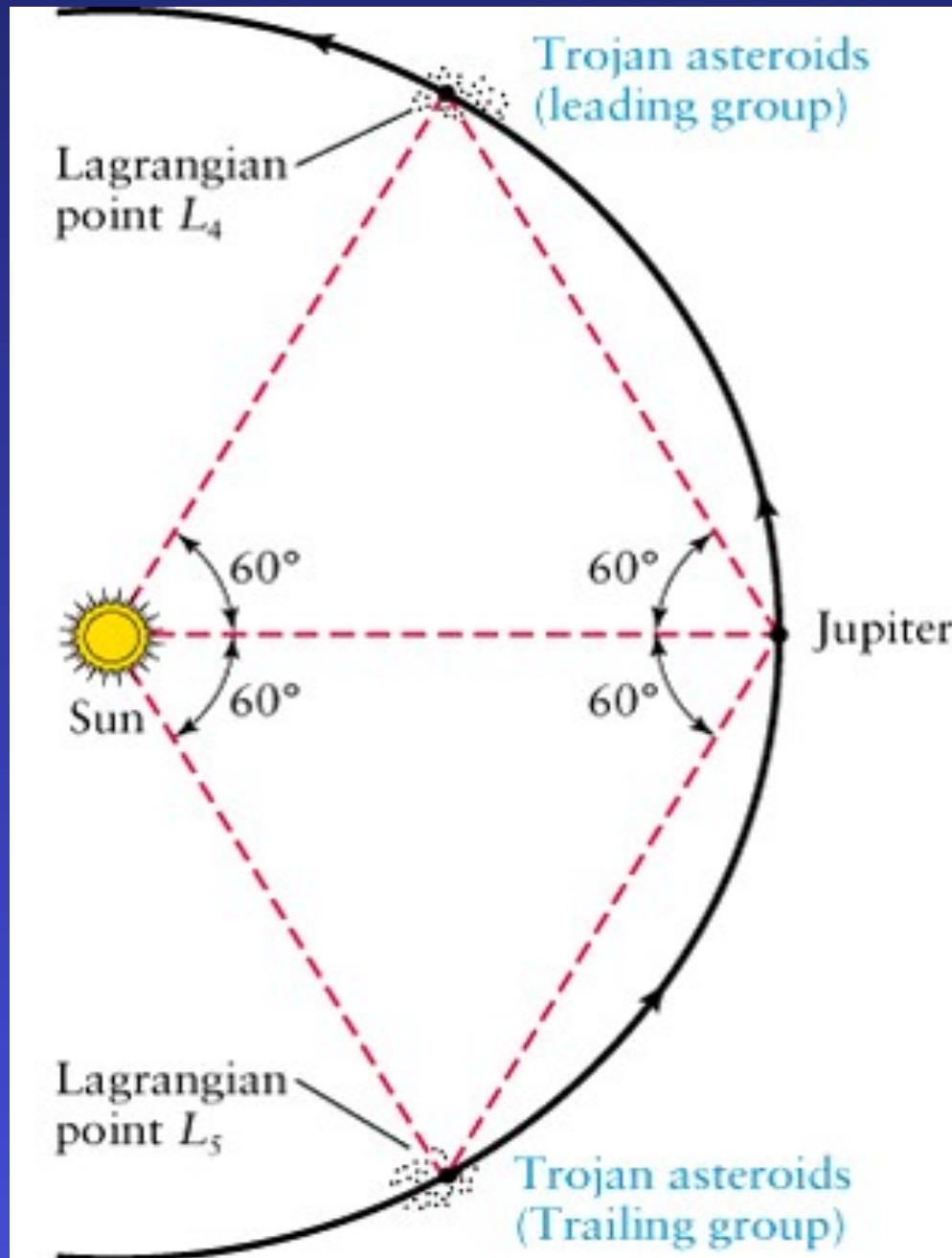
Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο **κομήτης του Halley**, του οποίου η τροχιά έχει κλίση ως προς την εκλειπτική  **$162^\circ$** .

# Απεικόνιση της ζώνης των αστεροειδών, μεταξύ της τροχιάς του Άρη και του Δία



Το εσωτερικό Ηλιακό σύστημα με την κύρια ζώνη αστεροειδών, τους «Τρωικούς» και τους «Έλληνες»

## Συναθροίζονται στα σημεία ευστάθειας



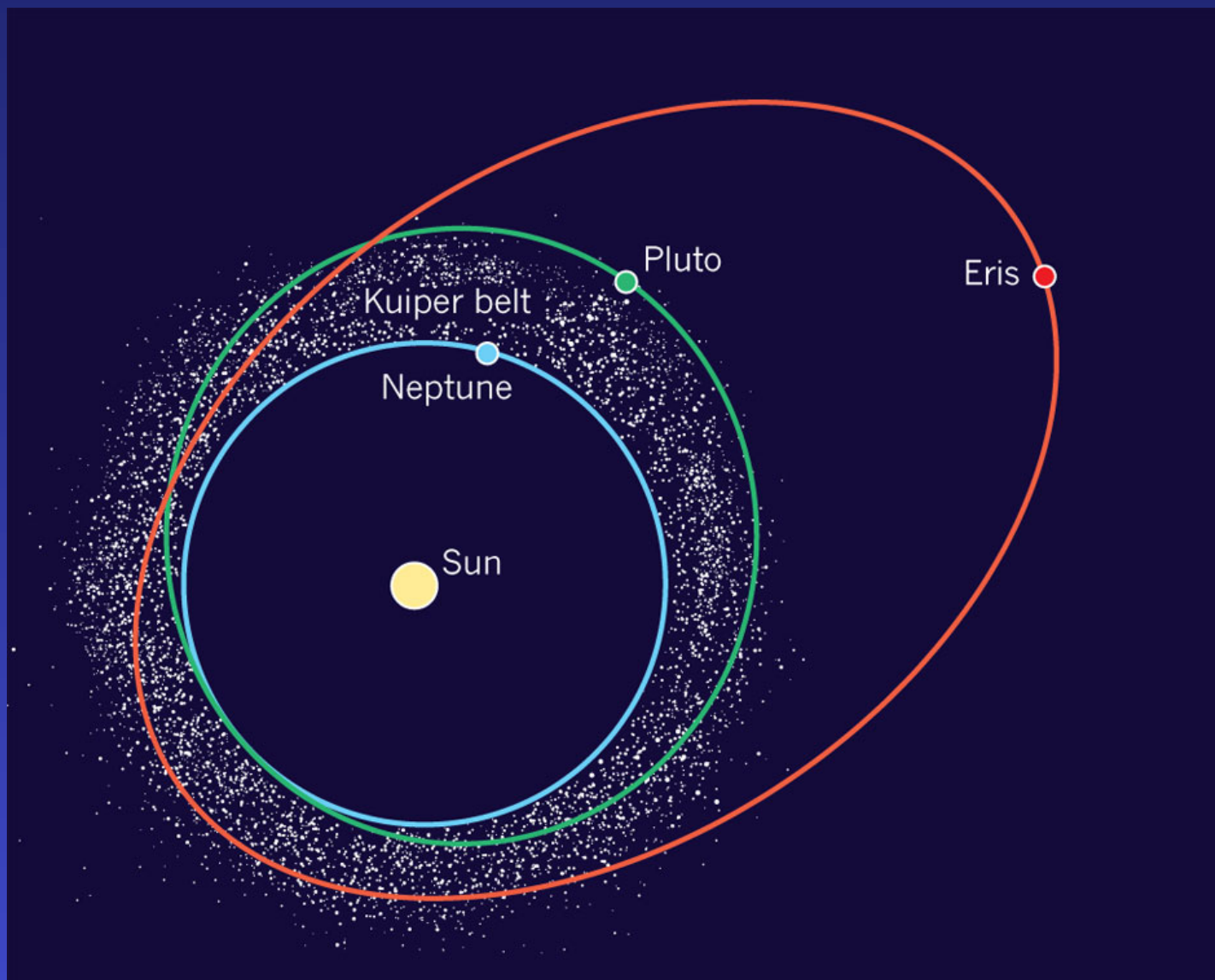
Τα σημεία Lagrange για τις τροχιές των Τρωικών αστεροειδών, υπό την επίδραση των βαρυτικών πεδίων του Ήλιου και του Δία

# Ελάσσονες Πλανήτες

Οι περισσότεροι ελάσσονες πλανήτες/αστεροειδείς, βρίσκονται στην **κύρια ζώνη των αστεροειδών**, μεταξύ των τροχιών του Άρη και του Δία. Η συνολική μάζα είναι μικρότερη από το **1/35** της μάζας της Σελήνης!

Η ύπαρξη κομητών με περίοδο μικρότερη από 150 χρόνια οδήγησε τους Edgeworth και Kuiper να υποθέσουν (το 1943) ότι υπάρχει και **δεύτερη ζώνη** με μικρά σώματα, **πέραν από την τροχιά του Ποσειδώνα**. Αυτή η δεύτερη, η **ζώνη Edgeworth-Kuiper**, εκτείνεται σε ένα δακτύλιο μεταξύ 30 και 100 AU από τον Ήλιο.

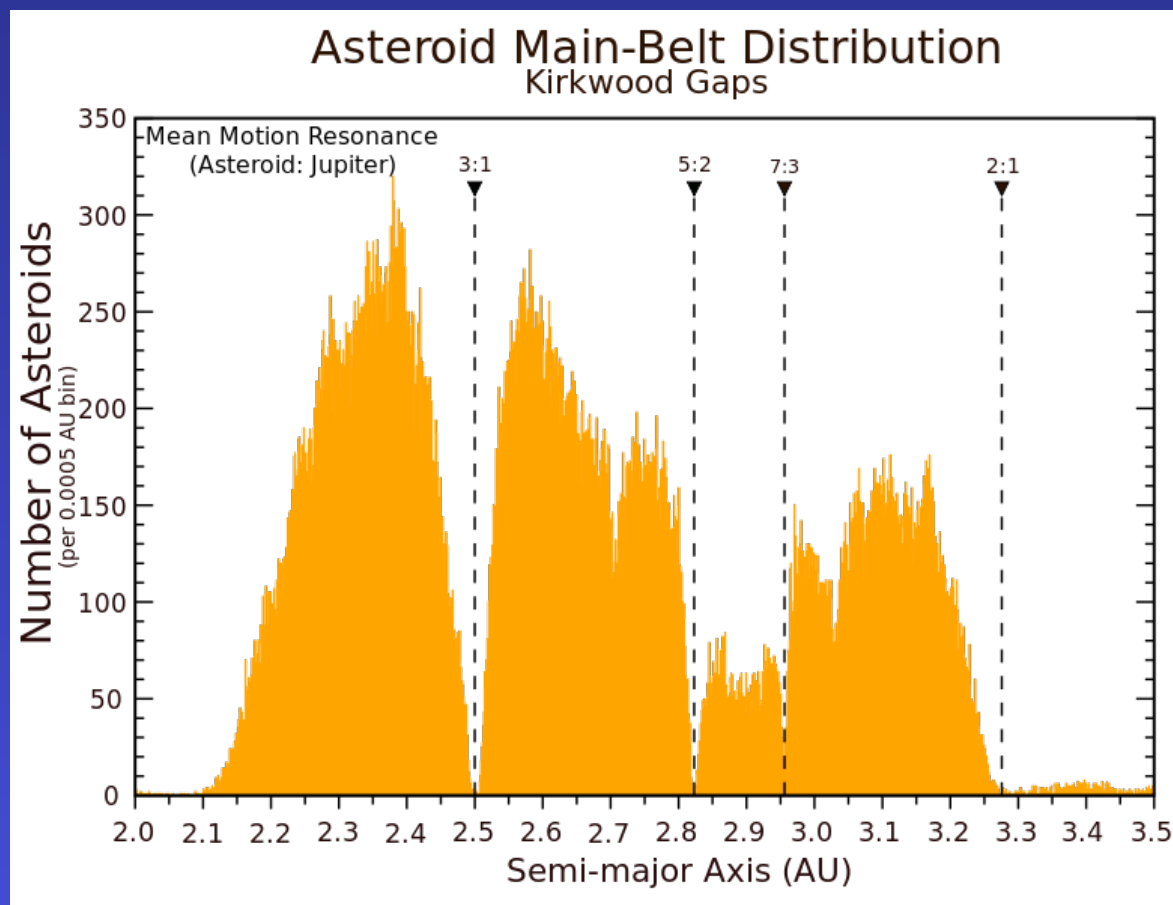




Η ζώνη Edgeworth - Kuiper, που εκτείνεται από την τροχιά του Ποσειδώνα (γαλάζιο) στα 30 AU, μέχρι τα 50 περίπου AU



Διάκενα Kirkwood - σε αποστάσεις όπου υπάρχει **τροχιακός συντονισμός** (τροχιακές περίοδοι σε **ακέραιους λόγους** με την περίοδο άλλων πλανητών) - ο συντονισμός έχει ως αποτέλεσμα οι τροχιές να γίνονται **ολόένα και πιο ελλειπτικές** με το χρόνο.



Κατανομή των αστεροειδών σε διαφορετικές αποστάσεις. Φαίνονται τα διάκενα Kirkwood, ως περιοχές μηδενικού αριθμού αστεροειδών, καθώς και οι συντονισμοί που τα προκαλούν

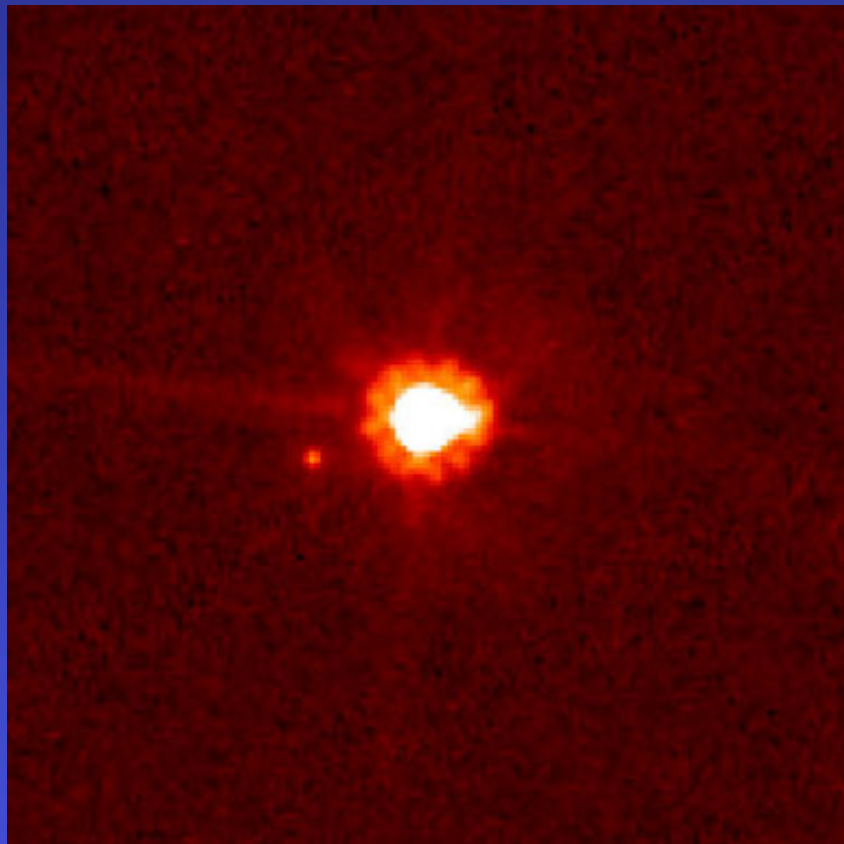
Αστεροειδής	Στοιχεία τροχιάς				Μάζα [g]	Ακτίνα [km]	Περίοδος περιστροφής [h]
	Μεγάλος ημιάξονας [AU]	Περίοδος περιφοράς [ημέρες]	Εκκεντρό- τητα	Κλίση [°]			
1 Δήμητρα	2.767	1681	0.078	10.6	$100 \times 10^{22}$	473	9.08
2 Παλλάς	2.772	1686	0.234	34.8	$25 \times 10^{22}$	292	7.88
3 Juno	2.668	1592	0.258	13.0	$2 \times 10^{22}$	125	7.21
4 Vesta	3.361	1325	0.089	7.1	$20 \times 10^{22}$	278	5.34
5 Astraea	2.58		0.19	5.3		58	16.81
6 Ήβη	2.426	1380	0.202	14.8	$20 \times 10^{21}$	103	7.27
7 Ίρις	2.386	1347	0.229	5.5	$15 \times 10^{21}$	111	7.14
8 Φλόρα	2.20		0.16	5.9		80	13.60
9 Metis	2.39		0.12	5.6		84	5.06
10 Υγεία	3.134	2027	0.120	3.8	$60 \times 10^{21}$	222	18.00
15 Ευνομία	2.643	1570	0.185	11.8	$40 \times 10^{21}$	136	6.08
16 Ψυχή	2.923	1825	0.134	3.1	$40 \times 10^{21}$	125	4.30
433 Έρως	1.458	643	0.223	10.8	$5 \times 10^{18}$	10	5.27
588 Αχιλλέας	5.18		0.15	10.3		35	
624 Έκτωρ	5.16		0.03	18.3		115	6.92
944 Hidalgo	5.85		0.66	42.4		15	10.06
1566 Ίκαρος	1.078	409	0.827	22.9	$5 \times 10^{15}$	1	2.27
1620 Γεωγράφος	1.245	507	0.335	13.3	$5 \times 10^{16}$	1.5	5.23
1862 Απόλλων	1.471	652	0.560	6.4	$2 \times 10^{15}$	1.3	
2060 Χείρων	1.47		0.38	6.9		160	
2101 Άδωνις	1.875	938	0.764	1.4	$5 \times 10^{13}$	0.3	



Η τροχιά του Πλούτωνα, έχει **κλίση πάνω από  $17^\circ$** . Το γεγονός αυτό, μαζί με άλλα χαρακτηριστικά (π.χ. τη μικρή ανακλαστικότητα της επιφάνειάς του), έκανε τους αστρονόμους να συμπεράνουν ότι ο Πλούτωνα δεν ανήκει πραγματικά στους (μείζονες) πλανήτες.

Σήμερα θεωρούμε ότι ανήκει στα σώματα της **ζώνης των Edgeworth-Kuiper** και απέκτησε τη σημερινή τροχιά του λόγω των παρέλξεων των πλανητών (κυρίως του Ποσειδώνα και του Ουρανού).

Ο ελάχιστων πλανήτη έριδα έχει διάμετρο  $\sim 2.500\text{km}$  (μεγαλύτερος από τον Πλούτωνα) και βρίσκεται σε απόσταση  $\sim 40 - 100 \text{ AU}$  από τον Ήλιο ( $\sim 3$  φορές πιο μακριά από τον Πλούτωνα). Εκκεντρότητα  $\sim 0.4$ . Περίοδος περιφοράς  $\sim 500$  έτη. Ανακαλύφθηκε το 2005.



Ο ελάχιστων πλανήτη Eris  
και ο δορυφόρος του  
Dysnomia

## Trans-Neptunian Objects (TNO)

Το μακρινότερο TNO ακολουθεί πολύ έκκεντρη τροχιά με μεγάλο ημιάξονα 220 AU και εκκεντρότητα 0.8.

Εκτίμηση ότι υπάρχουν ~ 80.000 TNO.

Λόγω της μεγάλης απόστασης και της μικρής ανακλαστικότητας της επιφάνειάς τους, η λαμπρότητά τους είναι πολύ μικρή.

Το νέφος του Oort (Oort cloud) είναι ένας σφαιρικός φλοιός με κέντρο τον Ήλιο και θεωρείται ως **η κύρια πηγή των κομητών μακράς περιόδου** (μεγαλύτερης από 150 χρόνια).

Καταλαμβάνει μια ευρεία περιοχή του διαστήματος που ξεκινάει από απόσταση **1000 AU** και εκτείνεται μέχρι **50000 AU**.

Το νέφος του Oort επομένως εκτείνεται σε πολύ μακρινές αποστάσεις, **λίγο μεγαλύτερες από το ένα τέταρτο της απόστασης του πλησιέστερου προς τον Ήλιο αστέρα**, που είναι ο Εγγύτατος του Κενταύρου.



Ο Ερμής και η Αφροδίτη στερούνται δορυφόρων.

Η Γη έχει **έναν** δορυφόρο (τη Σελήνη) και ο Άρης **δύο**.

Οι **αεριώδεις γίγαντες** φαίνεται ότι έχουν **πάρα πολλούς δορυφόρους**, με αποτέλεσμα κάθε χρόνο να ανακαλύπτονται νέοι.

Ο Πλούτωνας έχει ένα δορυφόρο, τον Χάροντα.

Ορισμένοι δορυφόροι έχουν διάμετρο της τάξεως των λίγων km, όπως συμβαίνει λ.χ. με τους δύο δορυφόρους του Άρη, ενώ οι διάμετροι άλλων δορυφόρων είναι κατά πολύ μεγαλύτερες.

Η διάμετρος του **Γανυμήδη** (ο μεγαλύτερος από τους δορυφόρους του πλανητικού μας συστήματος), είναι ίση με 5262 km, δηλαδή **μεγαλύτερη από τη διάμετρο του Ερμή** (4878 km) και του Πλούτωνα (2300 km).

Υπάρχουν και δορυφόροι που περιφέρονται γύρω από πλανήτες κατά την **ανάδρομη φορά** (ανώμαλοι δορυφόροι -irregular satellites-).

Σήμερα πιστεύουμε ότι οι δορυφόροι με ανώμαλες τροχιές δεν σχηματίστηκαν εξ αρχής στην περιοχή του πλανήτη.

Δορυφόρος	Στοιχεία τροχιάς				Ακτίνα [km]	Μάζα [% μάζας πλανήτη]	Μέση πυκνότητα [g/cm <sup>3</sup> ]
	Μεγάλος ημιάξονας [km]	Περίοδος [d m s]	Εκκεντρό- τητα	Κλίση [°]			
<b>Δορυφόροι του Ερμή</b>							
Δεν έχει δορυφόρους							
<b>Δορυφόροι της Αφροδίτης</b>							
Δεν έχει δορυφόρους							
<b>Δορυφόροι της Γης</b>							
Σελήνη	384 400	27 07 43	0.055	18 – 29	1738	1.230002	3.34
<b>Δορυφόροι του Άρη</b>							
1 Φόβος	9 378	00 07 39	0.015	1.1	14×11×9	1.5×10 <sup>-6</sup>	1.95
2 Δείμος	23 459	01 06 18	0.0005	0.9 – 2.7	8×6×6	3×10 <sup>-7</sup>	2

Δορυφόρος	Στοιχεία τροχιάς				Ακτίνα [km]	Μάζα [% μάζας πλανήτη]	Μέση πυκνότητα [g/cm <sup>3</sup> ]
	Μεγάλος ημιάξονας [km]	Περίοδος [d m s]	Εκκεντρό- τητα	Κλίση [°]			
<b>Δορυφόροι του Δία</b>							
XVI Metis	127 960	00 07 04			20	$0.5 \times 10^{-8}$	
XV Adrastea	128 980	00 07 06			13×10×8	$0.1 \times 10^{-8}$	
V Αμάλθεια	180 000	00 11 57	0.003	0.4	135×83×75	$38 \times 10^{-8}$	
XIV Θήβη	222 000	00 16 11	0.015	0.8	55×45	$4 \times 10^{-8}$	
I Ιώ	422 000	01 18 28	0.004	0.0	1815	$4.68 \times 10^{-3}$	3.5
II Ευρώπη	671 000	03 13 14	0.009	0.5	1569	$2.52 \times 10^{-3}$	3.0
III Γανυμήδης	1 070 000	07 03 43	0.002	0.2	2631	$7.80 \times 10^{-3}$	1.9
IV Καλλιστώ	1 883 000	16 16 32	0.007	0.5	2400	$5.66 \times 10^{-3}$	1.8
XIII Λήδα	11 094 000	240 00 00	0.148	26.1	8	$0.03 \times 10^{-8}$	
VI Himalia	11 480 000	251 00 00	0.158	27.6	90	$50 \times 10^{-8}$	
X Λυσιθέα	11 720 000	260 00 00	0.107	29.0	20	$0.4 \times 10^{-8}$	
VII Elara	11 740 000	260 00 00	0.207	24.8	40	$4 \times 10^{-8}$	
XII Ananke	21 200 000	671 00 00R	0.169	147	15	$0.2 \times 10^{-8}$	
XI Carme	22 600 000	692 00 00R	0.207	164	20	$0.5 \times 10^{-8}$	
VIII Πασιφάη	23 500 000	735 00 00R	0.378	145	20	$1 \times 10^{-8}$	
IX Σινώπη	23 700 000	758 00 00R	0.275	153	20	$0.4 \times 10^{-8}$	

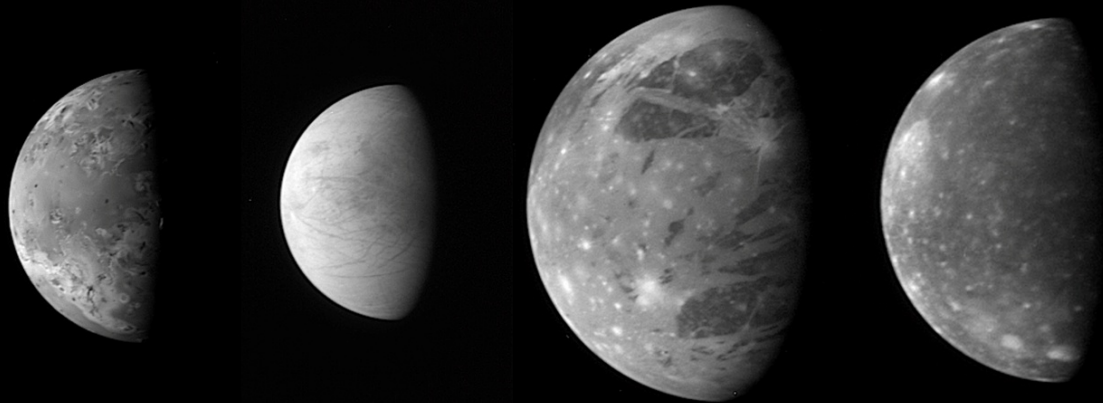


Δορυφόρος	Στοιχεία τροχιάς				Ακτίνα [km]	Μάζα [% μάζας πλανήτη]	Μέση πυκνότητα [g/cm <sup>3</sup> ]
	Μεγάλος ημιάξονας [km]	Περίοδος [d m s]	Εκκεντρό- τητα	Κλίση [°]			
<b>Δορυφόροι του Κρόνου</b>							
Παν	133 583	00 13 48			9.66	$8 \times 10^{-10}$	
15 Άτλας	137 640	00 14 27	0.000	0.3	20×15		
16 Προμηθέας	139 353	00 14 43	0.003	0.003	73×43×33		0.7
17 Πανδώρα	141 700	00 15 05	0.004	0.0	57×42×31		0.7
11 Επιμηθέας	151 422	00 16 40	0.009	0.34	72×54×49		0.7
10 Ιανός	151 472	00 16 40	0.007	0.14	98×96×75		0.67
1 Mimas	185 520	00 22 37	0.020	1.5	196	$8 \times 10^{-6}$	1.2
2 Εγκέλαδος	238 000	01 08 32	0.005	0.0	250	$1.3 \times 10^{-5}$	1.1
3 Tethys	294 700	01 22 15	0.000	1.9	530	$1.3 \times 10^{-4}$	1.0
13 Τελεστό	294 700	01 22 15			17×14×13		
14 Καλυψώ	294 700	01 22 15			17×11×11		
4 Διώνη	377 400	02 17 36	0.002	0.0	560	$1.9 \times 10^{-4}$	1.4
12 Ελένη	377 400	02 17 45	0.005	0.0	18×16×15		
5 Ρέα	527 000	04 12 16	0.001	0.4	765	$4.4 \times 10^{-4}$	1.3
6 Τιτάν	1 221 800	15 21 51	0.029	0.3	2575	$2.4 \times 10^{-2}$	1.9
7 Υπερίων	1 481 000	21 06 45	0.104	0.4	205×130×110	$3 \times 10^{-6}$	1.9
8 Ιάπετος	3 561 300	79 03 43	0.028	14.7	730	$3.3 \times 10^{-4}$	1.2
9 Φήβη	12 952 000	549 03 33	0.163	177	110	$7 \times 10^{-8}$	

Δορυφόρος	Στοιχεία τροχιάς				Ακτίνα [km]	Μάζα [% μάζας πλανήτη]	Μέση πυκνότητα [g/cm <sup>3</sup> ]
	Μεγάλος ημιάξονας [km]	Περίοδος [d m s]	Εκκεντρό- τητα	Κλίση [°]			
<b>Δορυφόροι του Ουρανού</b>							
Cordelia	49 771	00 08 02	<0.001	0.3	25		
Ophelia	53 796	00 09 02	0.01	<0.5	25		
Bianca	59 173	00 10 25	<0.001	0.2	25		
Cressida	61 777	00 11 07	<0.0001	0.2	30		
Desdemona	62 676	00 11 22	<0.0001	0.2	30		
Juliet	64 352	00 11 50	0.001	<0.2	40		
Portia	66 085	00 12 19	<0.005	<0.2	40		
Rosalind	69 942	00 11 54	<0.0005	0.4	30		
Belinda	75 258	00 14 57	<0.003	0.1	25		
Puck	86 000	00 18 17	<0.0003	0.3	85		
5 Miranda	129 783	01 09 56	0.003	3.4	240	0.2×10 <sup>-3</sup>	1.26
1 Ariel	191 239	02 12 29	0.003	4.2	579	1.8×10 <sup>-3</sup>	1.65
2 Umbriel	265 969	04 03 27	0.005	0.4	586	1.2×10 <sup>-3</sup>	1.44
3 Titania	435 844	08 16 56	0.0002	0.1	790	6.8×10 <sup>-3</sup>	1.59
4 Oberon	582 596	13 11 07	0.001	0.1	762	6.9×10 <sup>-3</sup>	1.50

Δορυφόρος	Στοιχεία τροχιάς				Ακτίνα [km]	Μάζα [% μάζας πλανήτη]	Μέση πυκνότητα [g/cm <sup>3</sup> ]
	Μεγάλος ημιάξονας [km]	Περίοδος [d m s]	Εκκεντρό- τητα	Κλίση [°]			
<b>Δορυφόροι του Ποσειδώνα</b>							
Ναΐάδα	48 230	00 07 00			25		
Θάλασσα	50 070	00 07 30			40		
Δέσποινα	52 530	00 08 00			75		
Γαλάτεια	61 950	00 10 00			90		
Λάρισα	73 550	00 13 00			95		
Πρωτέας	117 640	00 27 00			200		
Τρίτων	354 800	05 21 03R	10 <sup>-5</sup>	157	1350	0.1	2.07
Νηρηίδα	5 513 360	360 05 00	0.75	7.2	170	2×10 <sup>-5</sup>	2.03
<b>Δορυφόροι του Πλούτωνα</b>							
Χάρων	19 405	06 09 17R	0	96.6	590	8	

## Family Portrait



Io

Europa

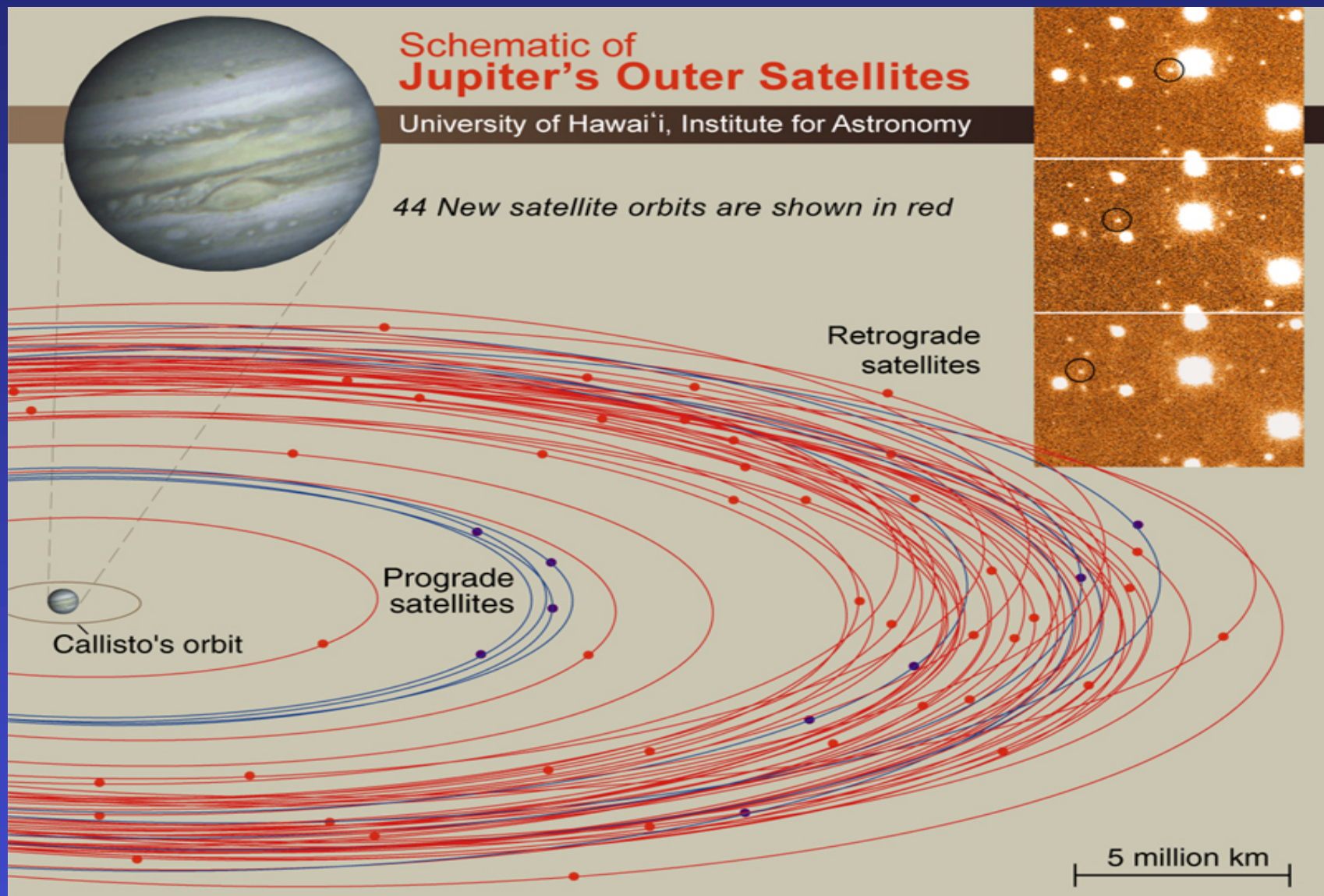
Ganymede

Callisto

Οι τέσσερις μεγάλοι  
δορυφόροι του Δία

Περίοδοι: 4, 2, 1 → συντονισμός

Ιό και Ευρώπη θα είχαν ελλειπτικές τροχιές, όμως ο παλιρροιογόνες δυνάμεις του Δία ασκούν τριβή και κρατούν την ελλειπτικότητα μικρή (και θερμαίνουν το εσωτερικό!).



Σχηματική αναπαράσταση των τροχιών των εξωτερικών δορυφόρων του Δία



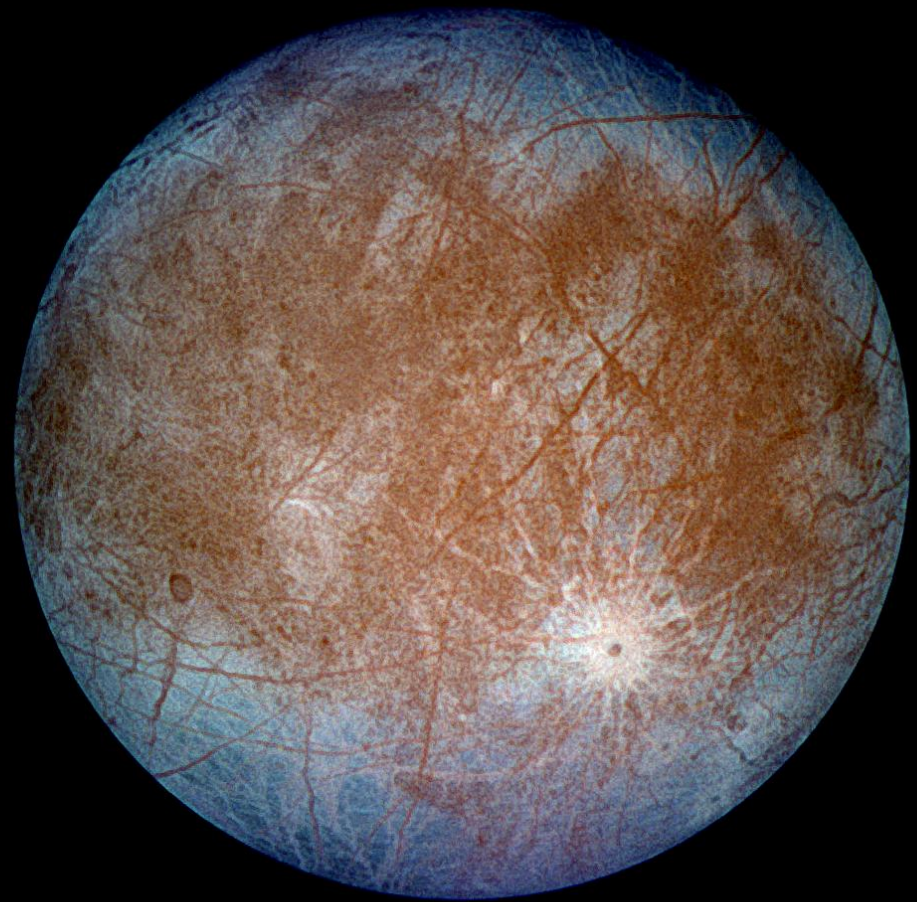
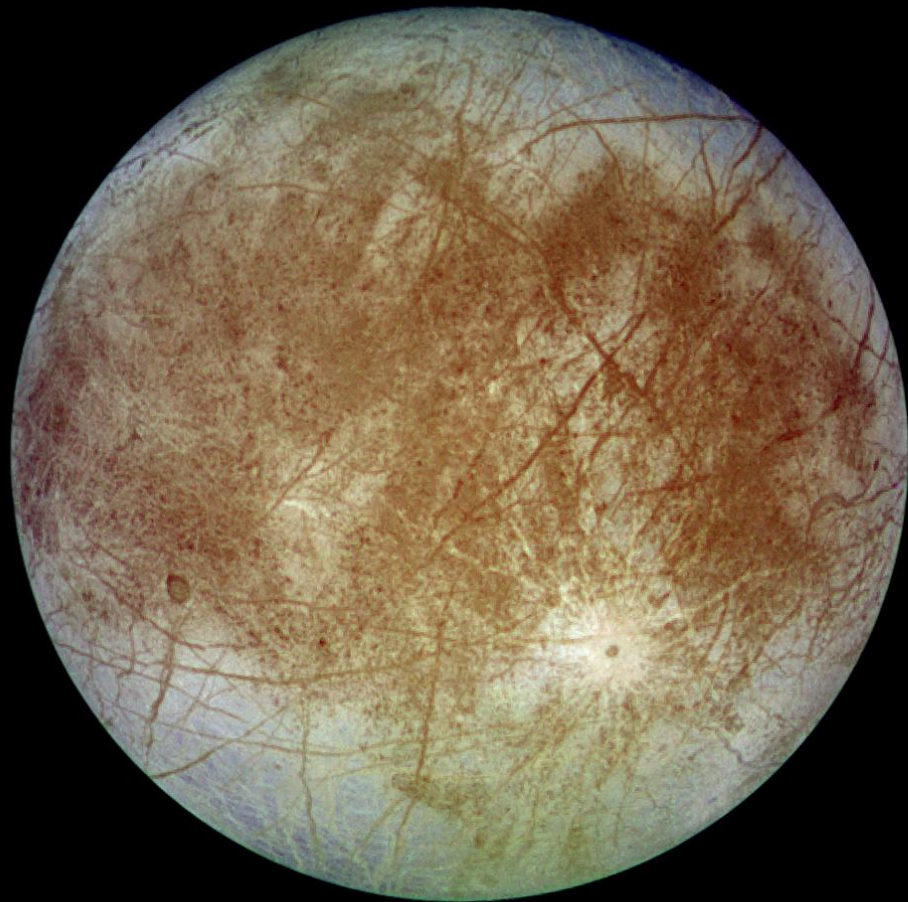
Η Ευρώπη είναι ο δεύτερος από τους λαμπρούς δορυφόρους του Δία. Περίοδος περιφοράς της γύρω από τον Δία: 3.5 ημέρες. Διάμετρος: 3138 km (μόλις μικρότερη από τη Σελήνη αλλά μεγαλύτερη από τον Πλούτωνα). Η χημική σύστασή της είναι παρόμοια με αυτήν των γήινων πλανητών.

Έχει μικρό μεταλλικό πυρήνα. Τα εξωτερικά στρώματα αποτελούνται κυρίως από πετρώματα πλούσια σε πυρίτιο. Αυτό που χαρακτηρίζει όμως την επιφάνεια της Ευρώπης είναι η σχεδόν παντελής έλλειψη κρατήρων και η εκτεταμένη κάλυψή της από πάγους. Οι πάγοι εμφανίζουν χαρακτηριστικές σχισμές μήκους πολλών εκατοντάδων χιλιομέτρων και πλάτους μέχρι 20 km.

Το πιθανότερο σενάριο είναι ότι οι σχισμές των πάγων δημιουργήθηκαν από τις περιοδικές **παλιρροιογόνες δυνάμεις που εξασκεί ο Δίας** στην Ευρώπη, εξ αιτίας των οποίων δημιουργούνται τριβές και επομένως μεγάλες θερμοκρασίες στο εσωτερικό της, το οποίο αναμένεται να περιέχει σημαντικές ποσότητες υγρού ύδατος. Οι αυξομειώσεις της θερμοκρασίας προκαλούν **έντονες εποχιακές μεταβολές**, τόσο στο εσωτερικό του δορυφόρου όσο και στην παγωμένη επιφάνειά του, η οποία θρυμματίζεται.

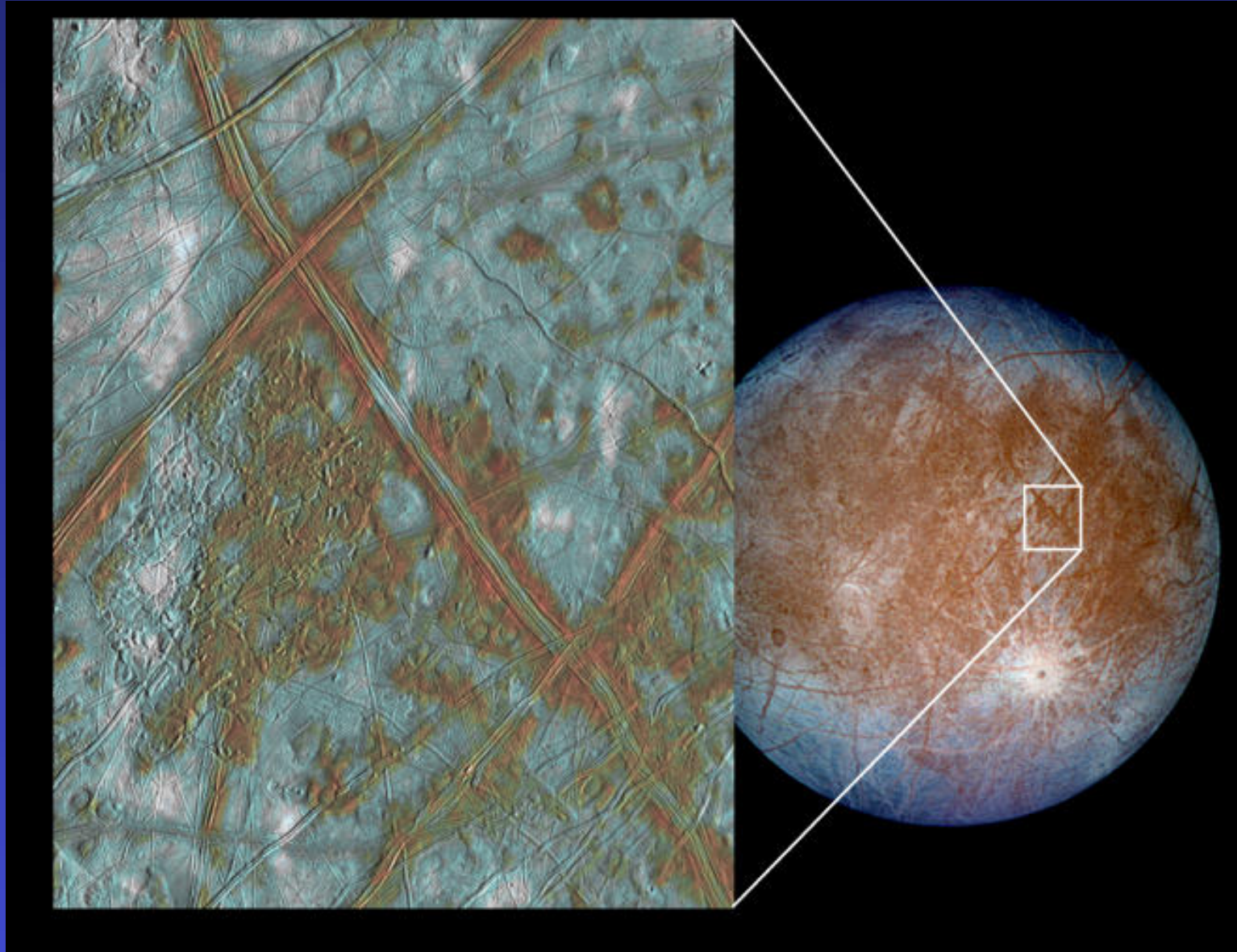
Η **ύπαρξη ύδατος σε υγρή μορφή στο εσωτερικό της Ευρώπης** επιβεβαιώθηκε από μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου της, η διεύθυνση του οποίου μεταβάλλεται περιοδικά καθώς αυτή περιφέρεται γύρω από τον Δία. Η μεταβολή αυτή υπολογίστηκε ότι μπορεί να οφείλεται στα άλατα που περιέχει το νερό.

Σημαντική είναι επίσης η ανίχνευση ατμόσφαιρας που περιέχει **οξυγόνο** στην Ευρώπη, καθιστώντας την ένα από τους 6 δορυφόρους (μεταξύ των 74 του πλανητικού συστήματός μας) που έχουν ατμόσφαιρα. Η ύπαρξη ύδατος στο εσωτερικό, πάγου στην επιφάνεια και οξυγόνου στην ατμόσφαιρα της Ευρώπης την καθιστούν προφανή στόχο για διαστημικές αποστολές ανίχνευσης εξωγήινης ζωής.



Η Ευρώπη, όπως φωτογραφήθηκε από το διαστημόπλοιο Galileo στις 07/09/1996, από απόσταση 677,000 χιλιομέτρων





Μεγέθυνση του φλοιού της Ευρώπης, όπου φαίνονται οι χαρακτηριστικές σχισμές των πάγων

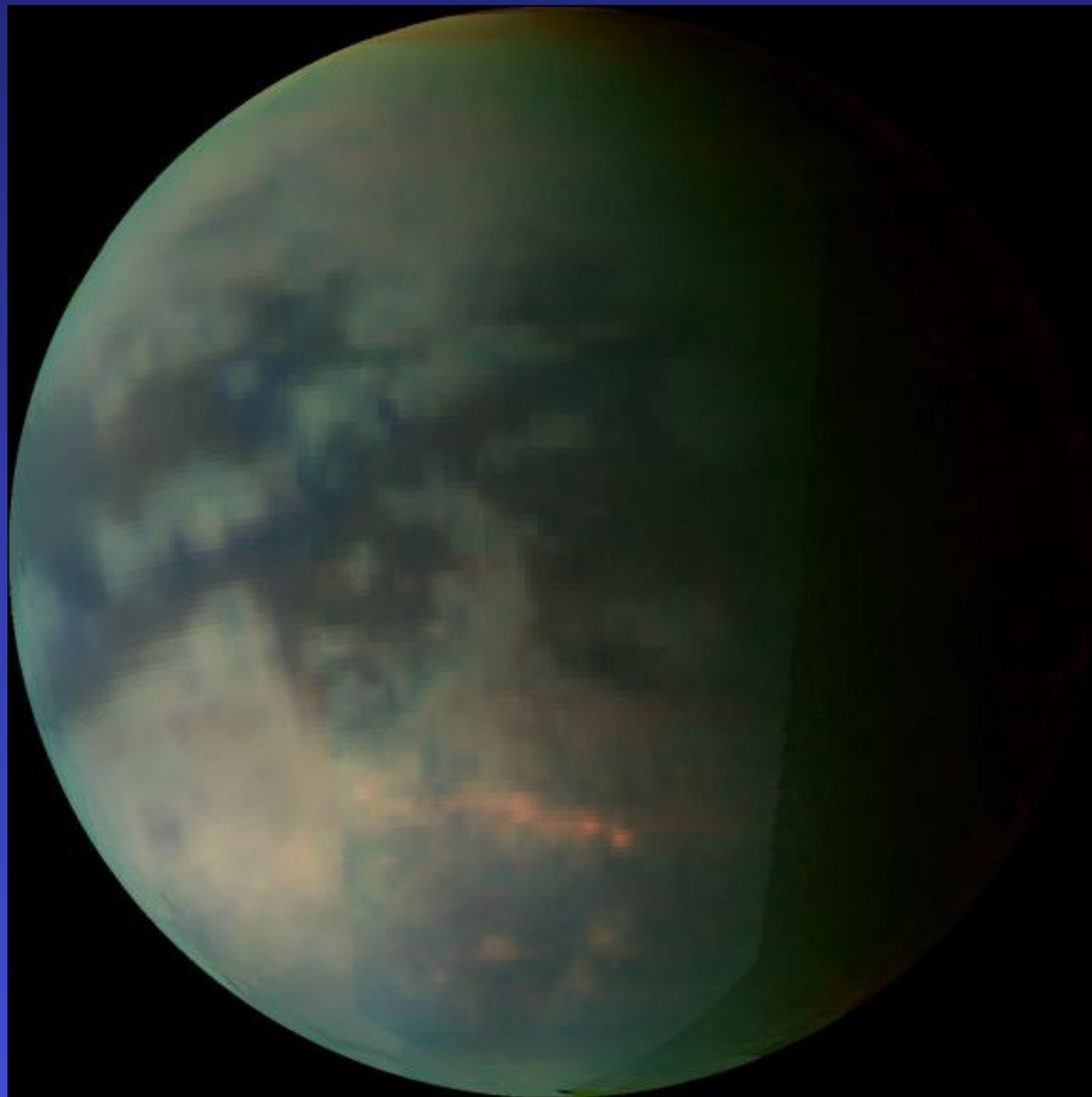


Ο Τιτάνας είναι ο μεγαλύτερος δορυφόρος του Κρόνου.  
Διάμετρος: 5150 km (δεύτερος σε μέγεθος στο ηλιακό σύστημα)  
Μεγαλύτερος από τον πλανήτη Ερμή!

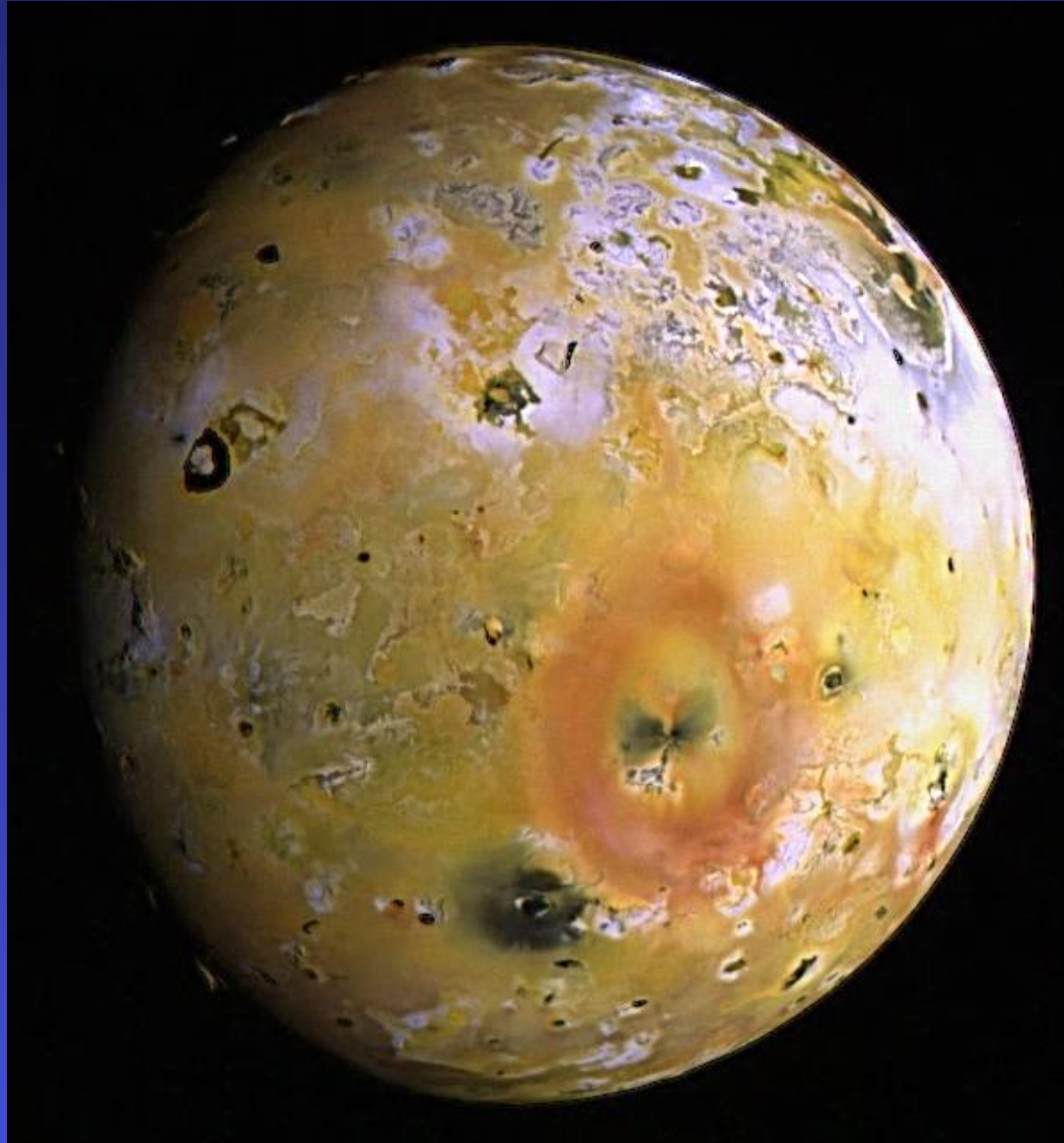
Έχει πυκνή ατμόσφαιρα του από άζωτο, αργόν, μεθάνιο και ίχνη άλλων ενώσεων (οργανικών, όπως αιθάνιο και υδροκυάνιο, και ανόργανων, όπως διοξείδιο του άνθρακα και νερό).

Η ατμοσφαιρική πίεση στην επιφάνειά του είναι περίπου 1.5 ατμόσφαιρες.

Υπάρχουν ωκεανοί που περιέχουν υδρογονάνθρακες προερχόμενους από φωτοχημικές αντιδράσεις στην ανώτερη ατμόσφαιρα του δορυφόρου.

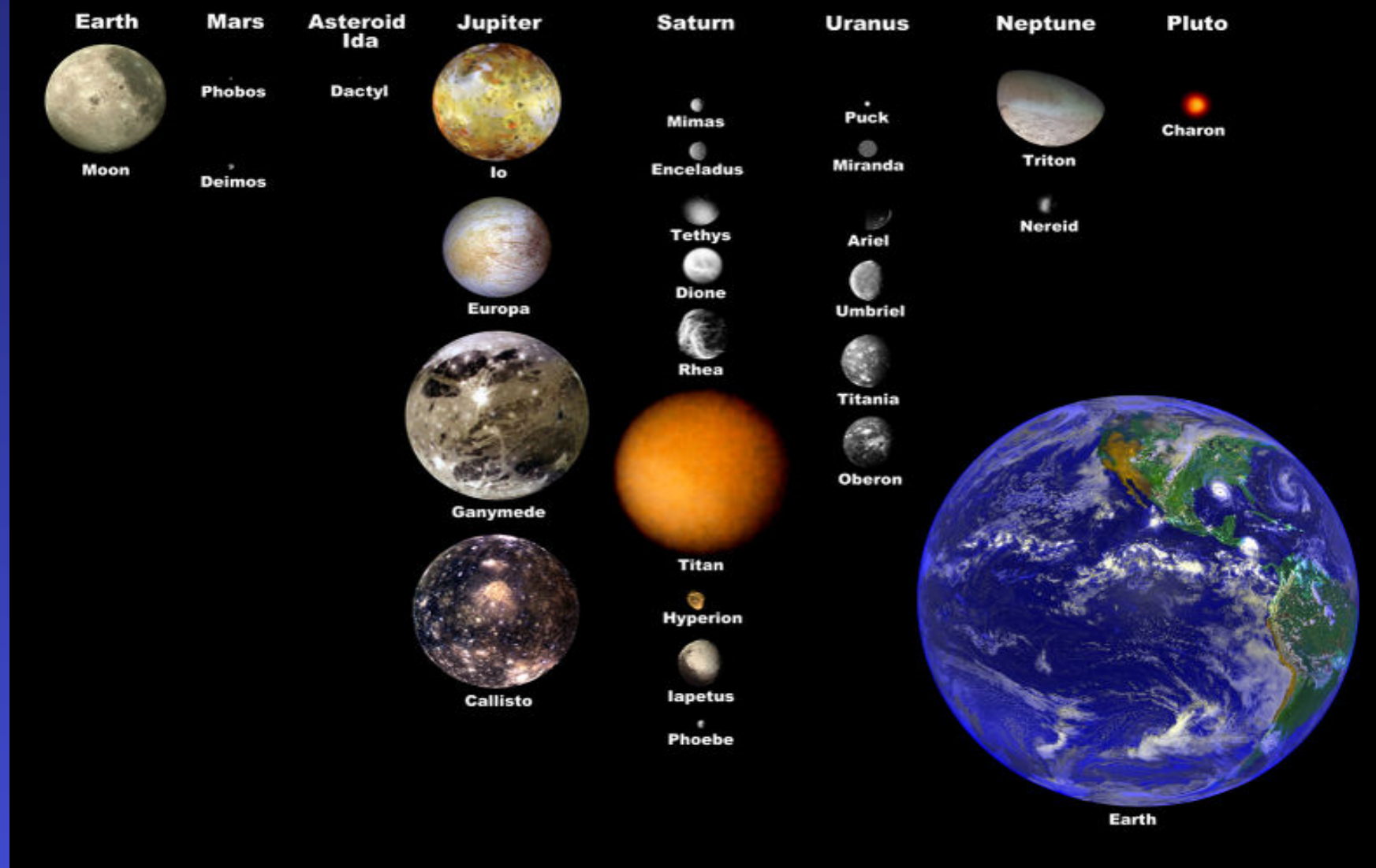


Ο δορυφόρος του Κρόνου,  
Τιτάνας



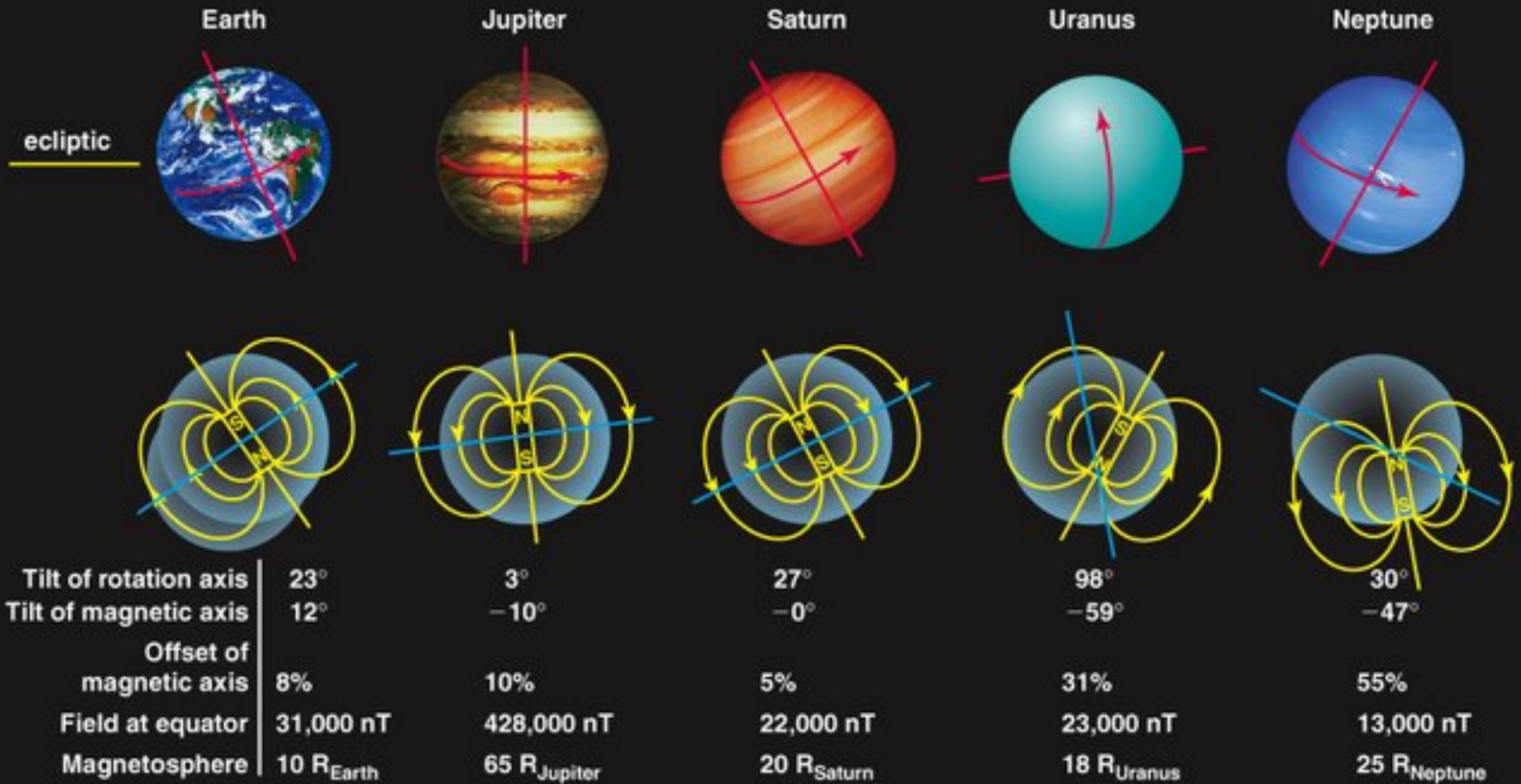
Ο δορυφόρος του Κρόνου, Ιώ

## Moons of the Solar System Scaled to Earth's Moon



Δορυφόροι του Ηλιακού συστήματος, σε σύγκριση με τη Σελήνη

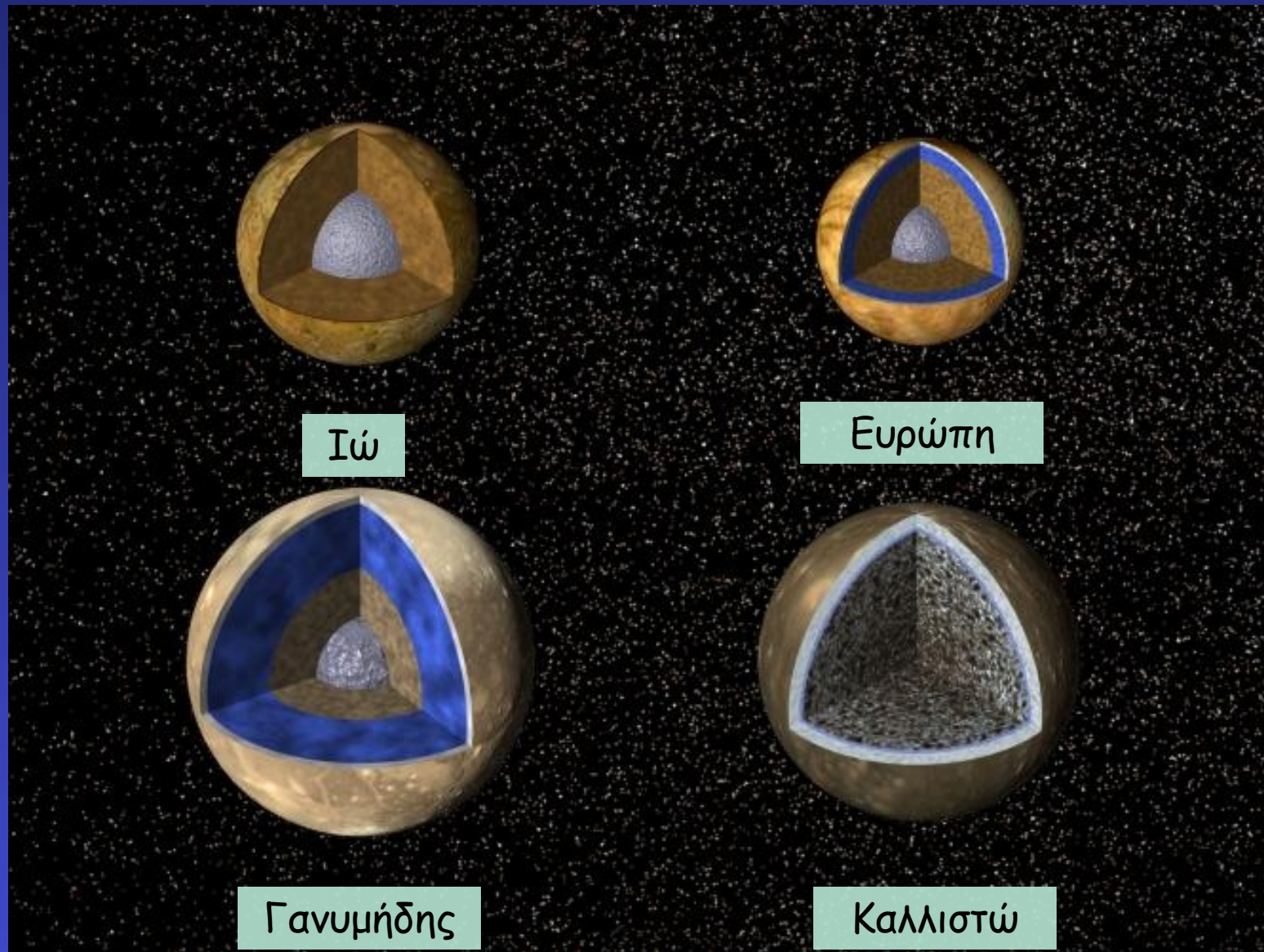




© 2007 Thomson Higher Education

## Πλανητικά μαγνητικά πεδία





Πιθανή δομή δορυφόρων του Δία. Το εξωτερικό των εικόνων προέρχεται από φωτογραφίες του Voyager, ενώ το εσωτερικό είναι η πιθανή δομή από μετρήσεις των βαρυτικών και μαγνητικών τους πεδίων.

# Κομήτης C/2006 P1 (McNaught) (23 Ιαν. 2007)



Ο κομήτης C/2006 P1, πάνω από το Swifts Creek, Victoria της Αυστραλίας





Φωτογραφία του κομήτη Hale -  
Bopp (Κροατία, 29/03/1997)



Ο κομήτης Hale - Bopp  
(04/04/1997)

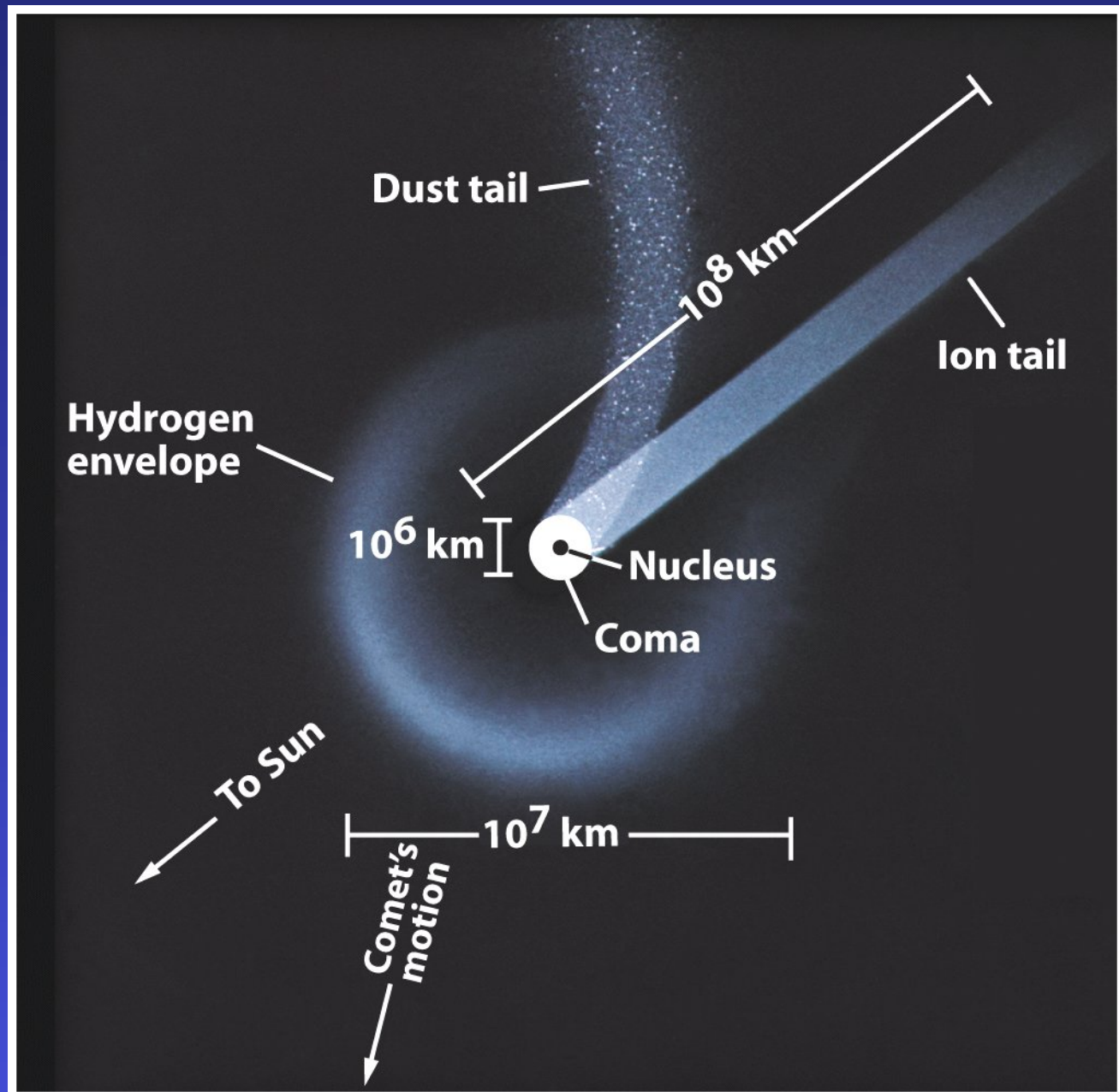




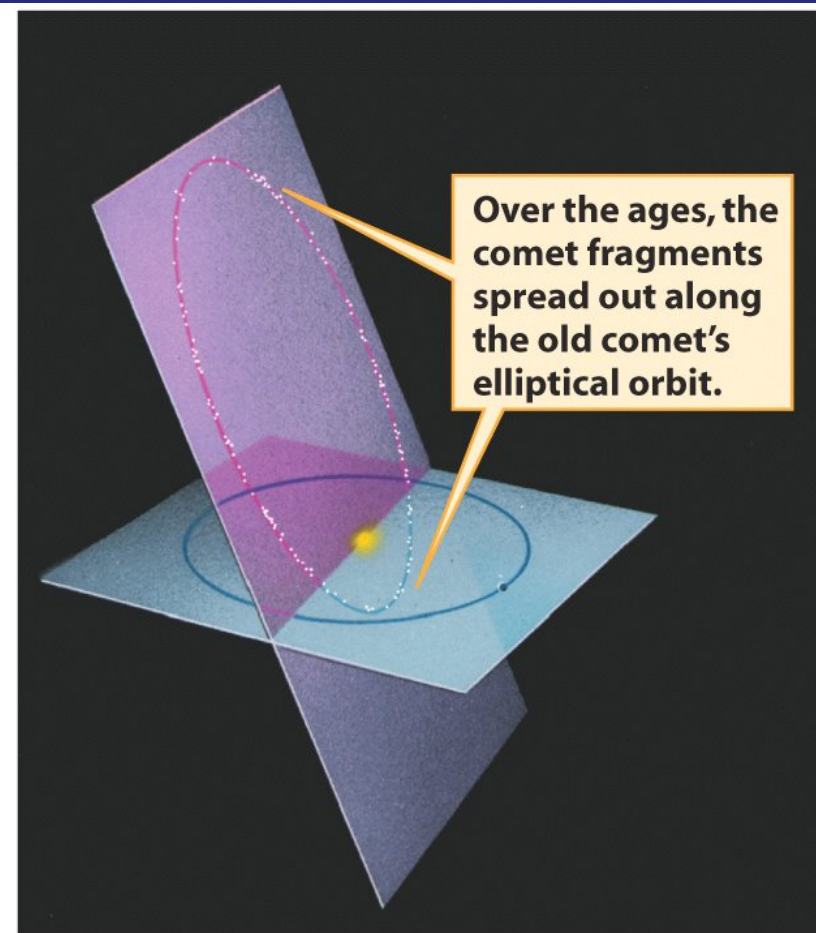
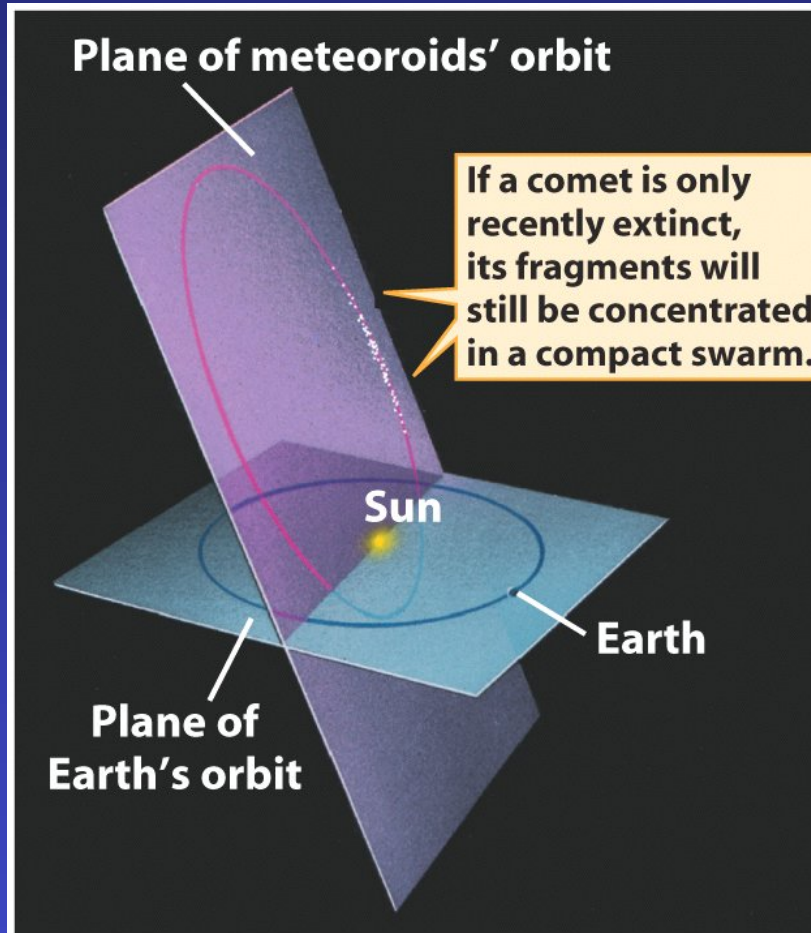
Φωτογραφία της κεφαλής του κομήτη Halley, κατά την προσέγγιση του στον Ήλιο, από το ευρωπαϊκό διαστημόπλοιο Giotto



Η κόμη περιβάλλει τον κομήτη και αποτελείται από αέρια και σκόνη. Οι δύο ουρές του κομήτη αποτελούνται από σκόνη και ιόντα, αντίστοιχα.



# Μετωροειδείς



Τα απομεινάρια ενός κομήτη, κατά μήκος της τροχιάς του.