

Η ΑΝΑΚΑΛΥΨΗ ΝΕΩΝ
ΠΛΑΝΗΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΕΙΜΑΣΤΕ ΜΟΝΟΙ ΣΤΟ ΣΥΜΠΑΝ;

Ιωάννης Δ. Χατζηδημητρίου

Μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1990 δεν ήταν γνωστό κανένα πλανητικό σύστημα, εκτός από το δικό μας Ηλιακό Σύστημα.

Στο χρονικό διάστημα που μεσολάβησε έχουν ανακαλυφθεί πολλά πλανητικά συστήματα.

Η πρώτη ανακοίνωση για την ανακάλυψη εξωηλιακών πλανητών έγινε το έτος 1995.

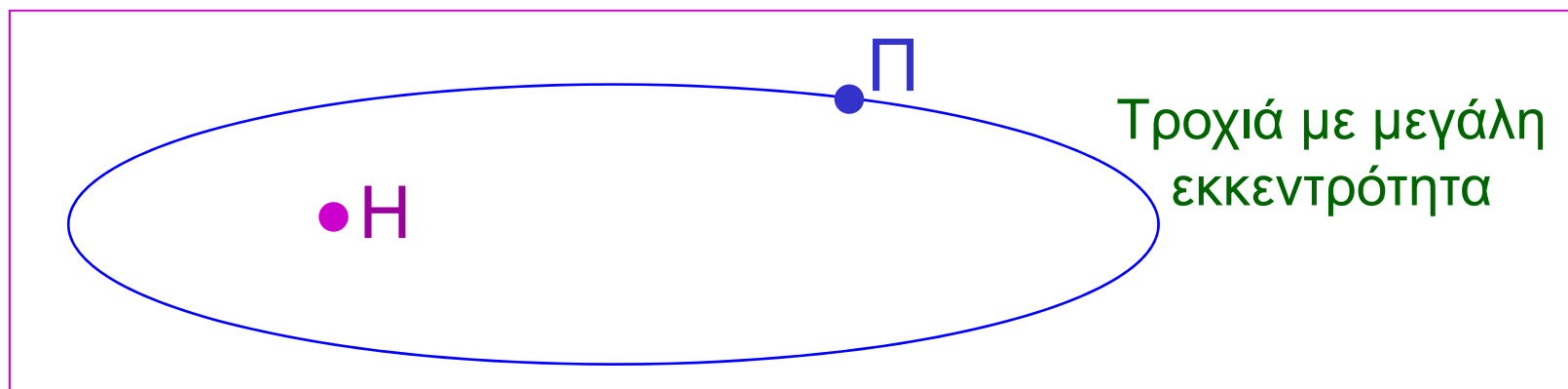
Μέχρι σήμερα (Ιανουάριος-2010) έχουν παρατηρηθεί
πλανήτες: 422
πλανητικά συστήματα: 355
πολλαπλά συστήματα: 44
Γήινοι πλανήτες: 0

(<http://planetquest.jpl.nasa.gov>)

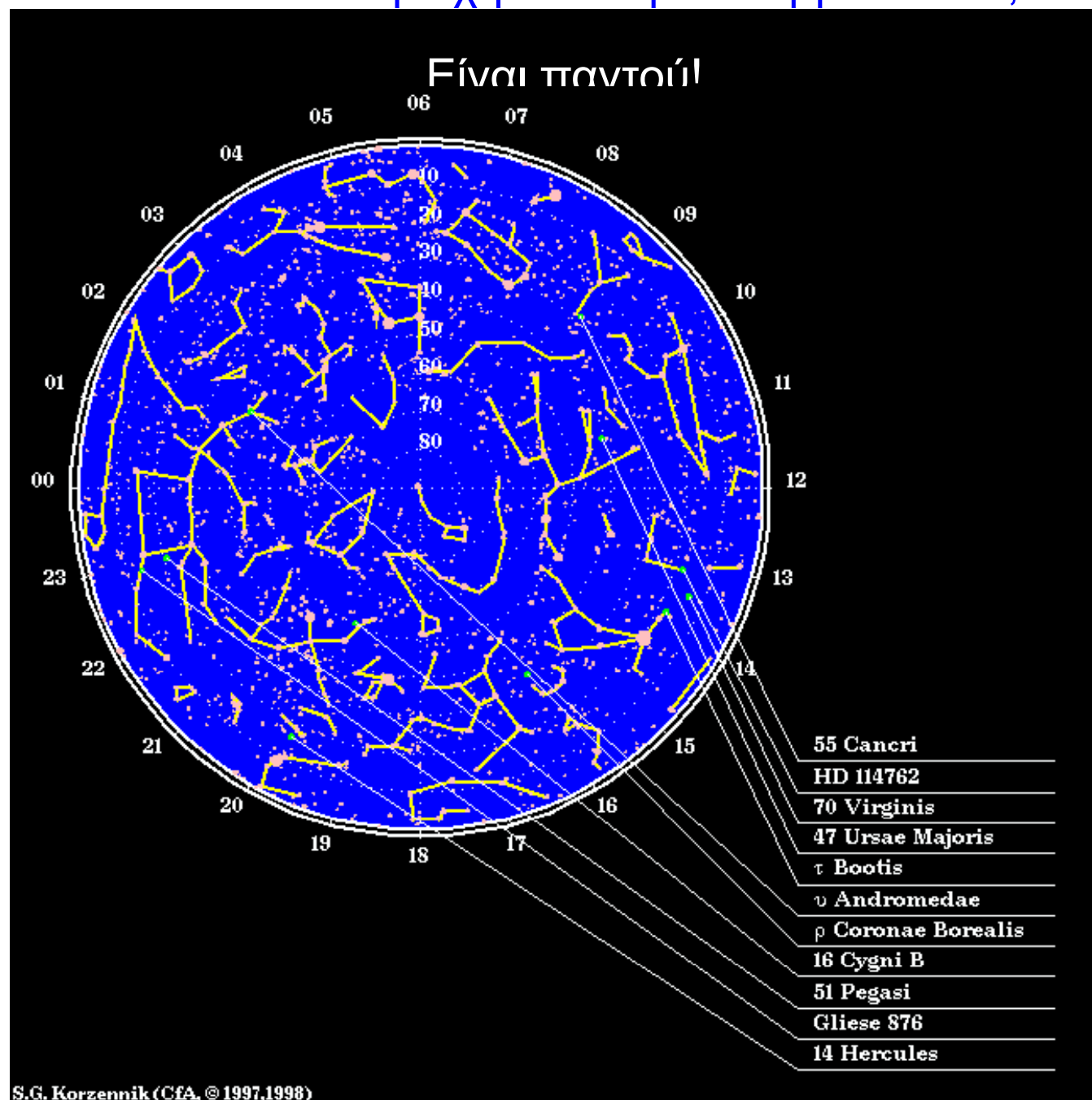
Τα πλανητικά συστήματα είναι πολύ διαφορετικά από το δικό μας Ηλιακό Σύστημα:

Οι περισσότεροι πλανήτες έχουν μεγάλες μάζες και μεγάλες εκκεντρότητες και είναι κοντά στον αστέρα (ήλιο) ή πολύ μακριά.

Υπάρχουν και πλανήτες με σχεδόν κυκλικές τροχιές, αλλά είναι πολύ κοντά στον αστέρα.



Σε ποια περιοχή του ουρανού βρίσκονται;



Η περιοχή του γαλαξία όπου παρατηρήθηκαν τα νέα πλανητικά συστήματα.



Πώς ανακαλύπτουμε πλανητικά συστήματα;

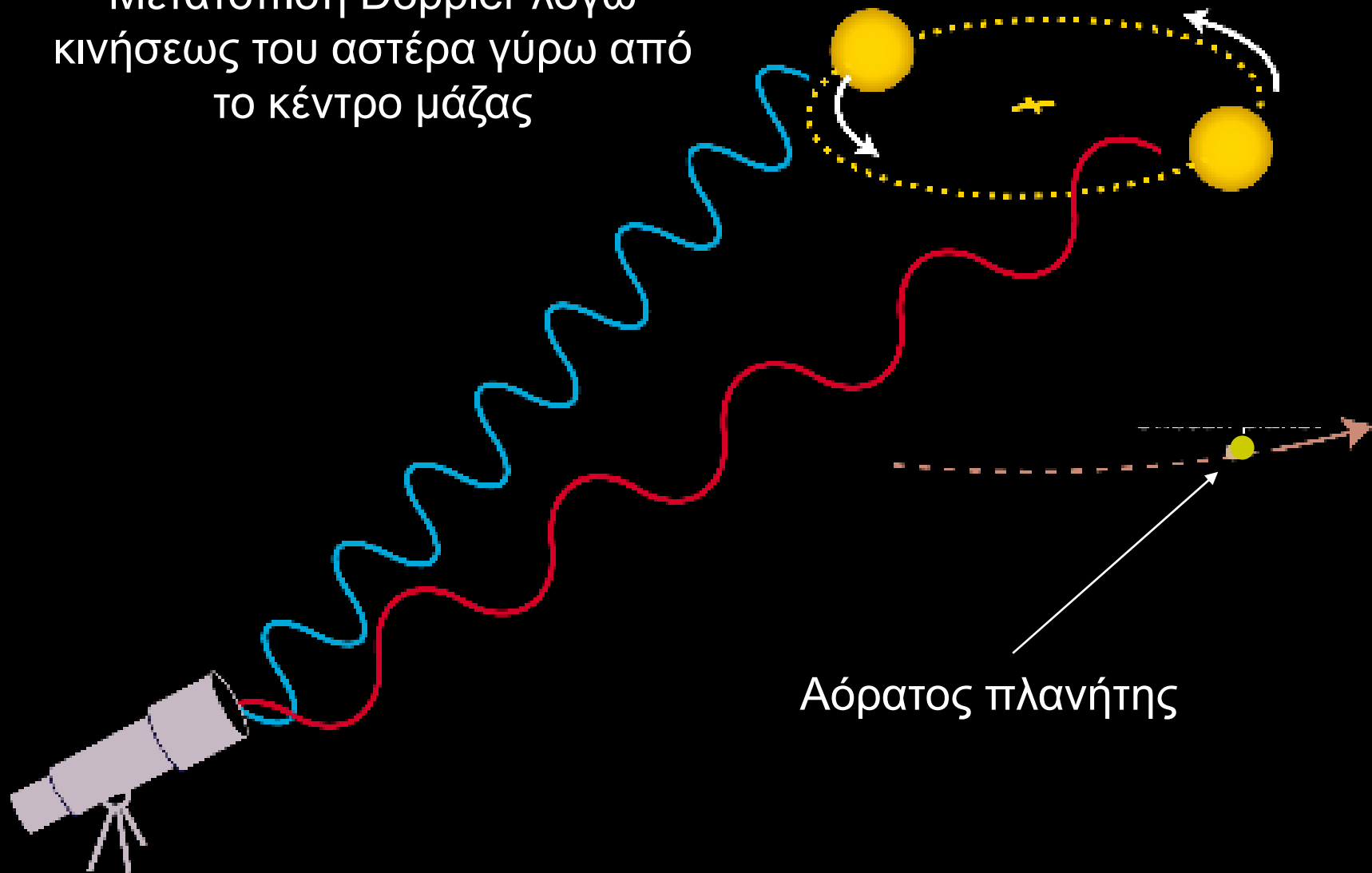
- Η παρατήρηση είναι έμμεση.
- Σε ελάχιστες περιπτώσεις έχουμε άμεση παρατήρηση.
- Θα αναφέρουμε δύο βασικές μεθόδους:
 - τη μέθοδο των ακτινικών ταχυτήτων
 - τη μέθοδο των διαβάσεων

Η μέθοδος των ακτινικών ταχυτήτων.

Μετρούμε τη μεταβολή στην ακτινική ταχύτητα του αστέρα:

Δεν παρατηρούμε τους πλανήτες, αλλά τη μικρή ταλάντωση στην κίνηση του αστέρα (ήλιου), λόγω της βαρυτικής διαταραχής του πλανήτη.

Μετατόπιση Doppler λόγω
κινήσεως του αστέρα γύρω από
το κέντρο μάζας

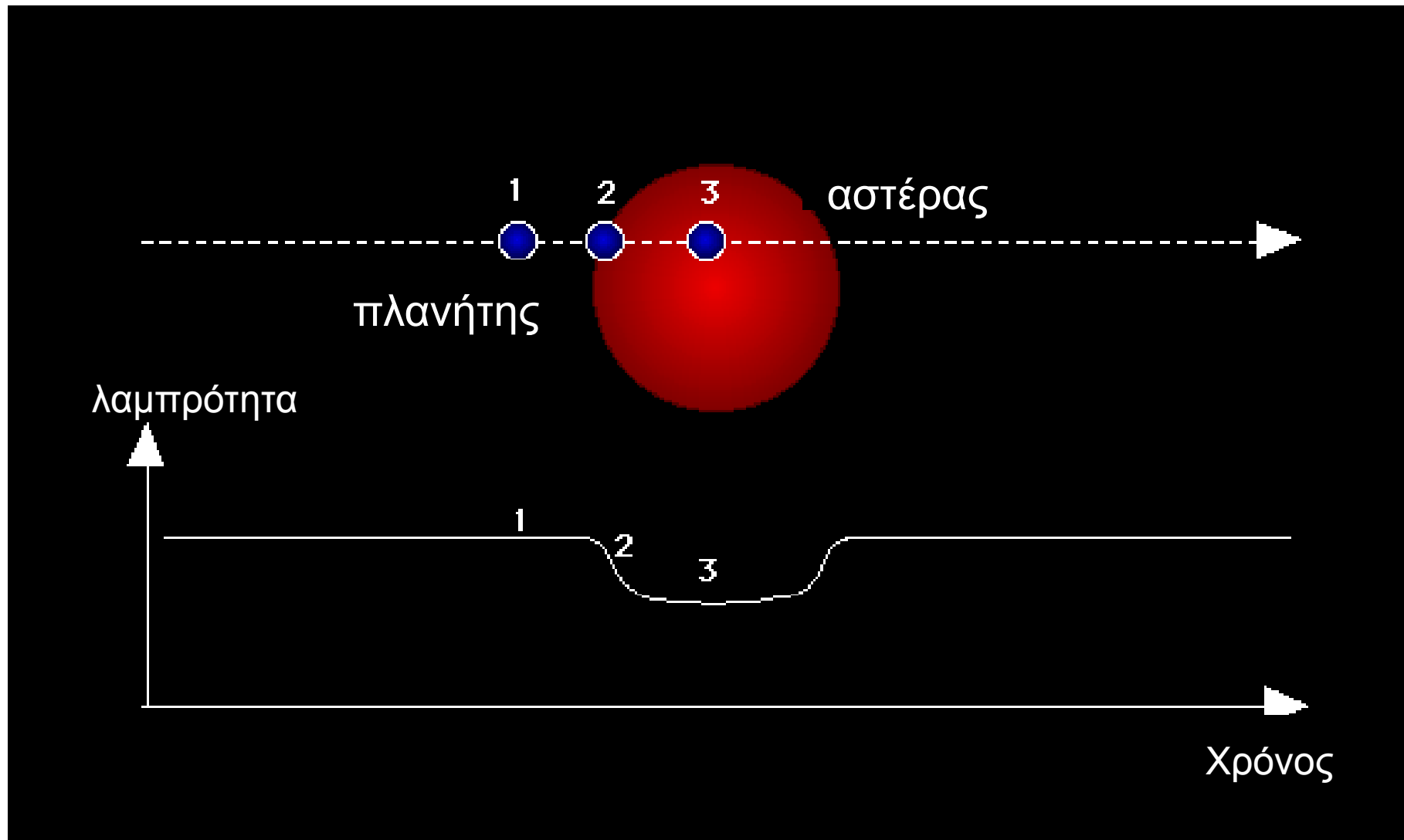


Αόρατος πλανήτης

Με τη μέθοδο των ακτινικών ταχυτήτων
δεν μπορούμε να ανιχνεύσουμε μικρούς
πλανήτες, με μάζα όσο η μάζα της Γης.

Για ανίχνευση μικρών πλανητών,
χρησιμοποιούμε τη μέθοδο των
διαβάσεων.

Διάβαση του πλανήτη μπροστά από τον αστέρα :



Άμεση παρατήρηση πλανητών

- Το Νοέμβριο του 2008 ανακοινώθηκε η άμεση παρατήρηση πλανητών σε δύο εξωηλιακά πλανητικά συστήματα:
- FOMALHAUT (Paul Kalas στον αστερισμό του Νότιου ημισφαιρίου, Νότιος ιχθύς)
- HR 8799 (στον αστερισμό του Πήγασου)

FOMALHAUT

Απόσταση: 25 έτη φωτός.

‘έτος’: 872 έτη .(Απέχει από τον αστέρα 10 φορές την απόσταση Ηλίου-Κρόνου.)

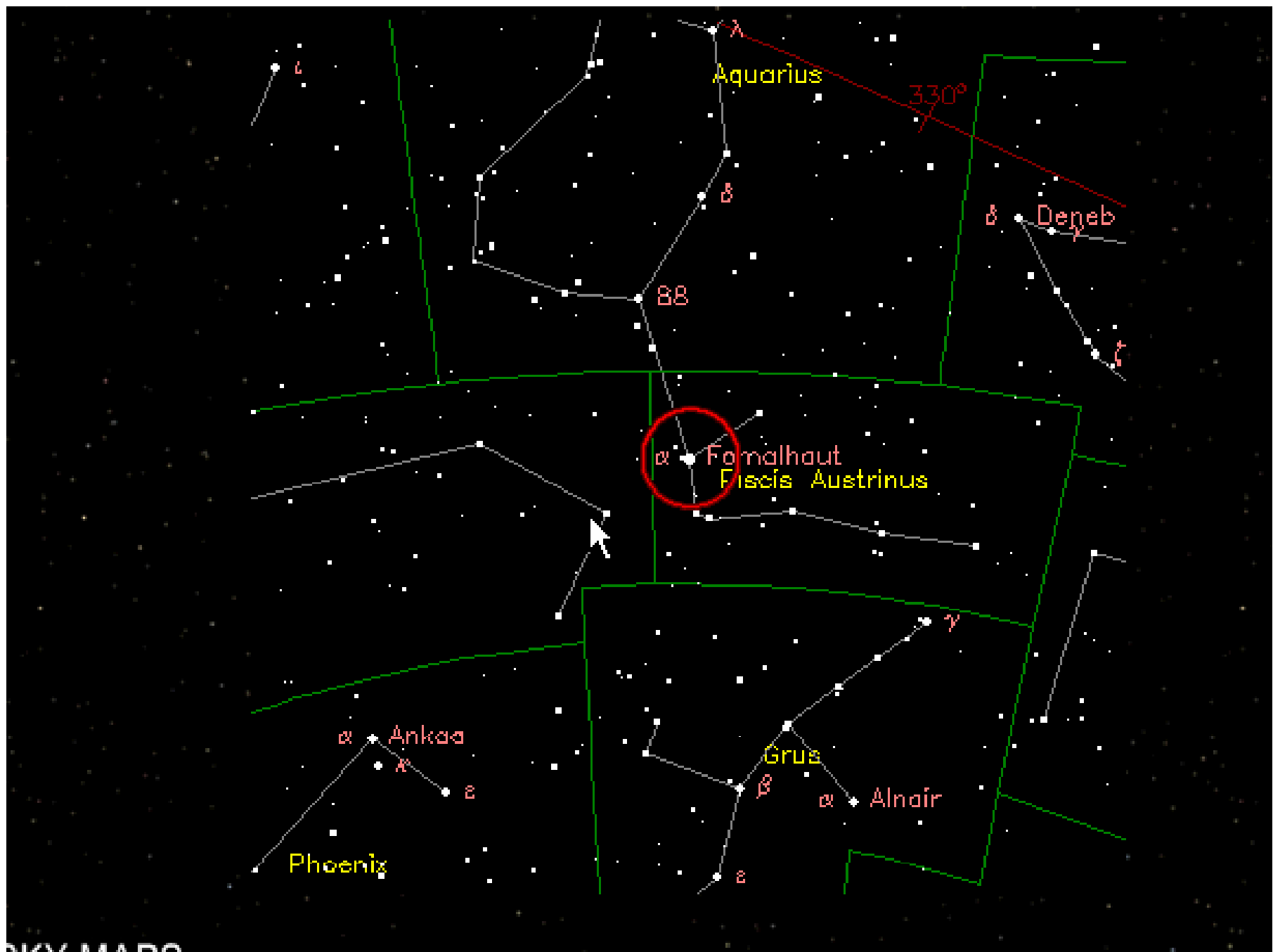
Είναι ένα εκατομμύριο φορές λιγότερο λαμπρός από τον αστέρα.

Ήδη από το 2005 είχε διαπιστωθεί ότι η ζώνη μικρών σωμάτων υφίσταται βαρυτική επίδραση από κάποιο πλανήτη (αυτό οδήγησε στην ανακάλυψη του πλανήτη!).

Μάζα αστέρα: $2.06 M_{\text{sun}}$ (μάζες Ηλίου)

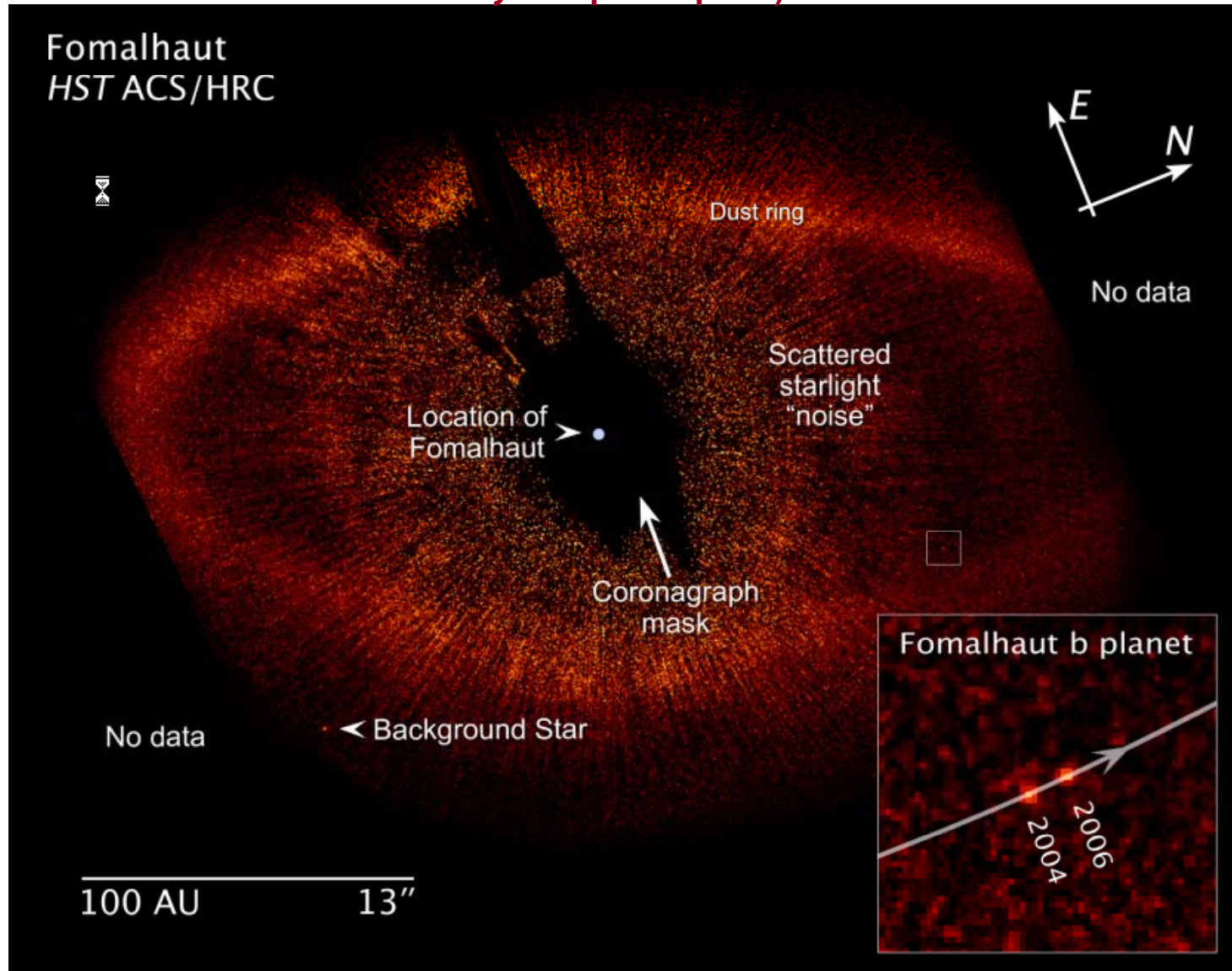
μάζα πλανήτη: $3 M_J$ (μάζες Δία)

Εκκεντρότητα: $e = 0.11$, ακτίνα: $a = 115 \text{ AU}$ (ακτίνες Γης)



Άμεση παρατήρηση από το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble

Ο αστέρας περιβάλλεται από ζώνη αστεροειδών (παρόμοια με τη ζώνη Kuiper)



HR 8799 (στον αστερισμό του Πήγασου)

Απόσταση: 129 έτη φωτός

Υπάρχει δίσκος σκόνης λίγο πιο έξω από τους πλανήτες (σε απόσταση 75 ακτίνες Γης)

Τρεις πλανήτες περιφέρονται περί τον αστέρα

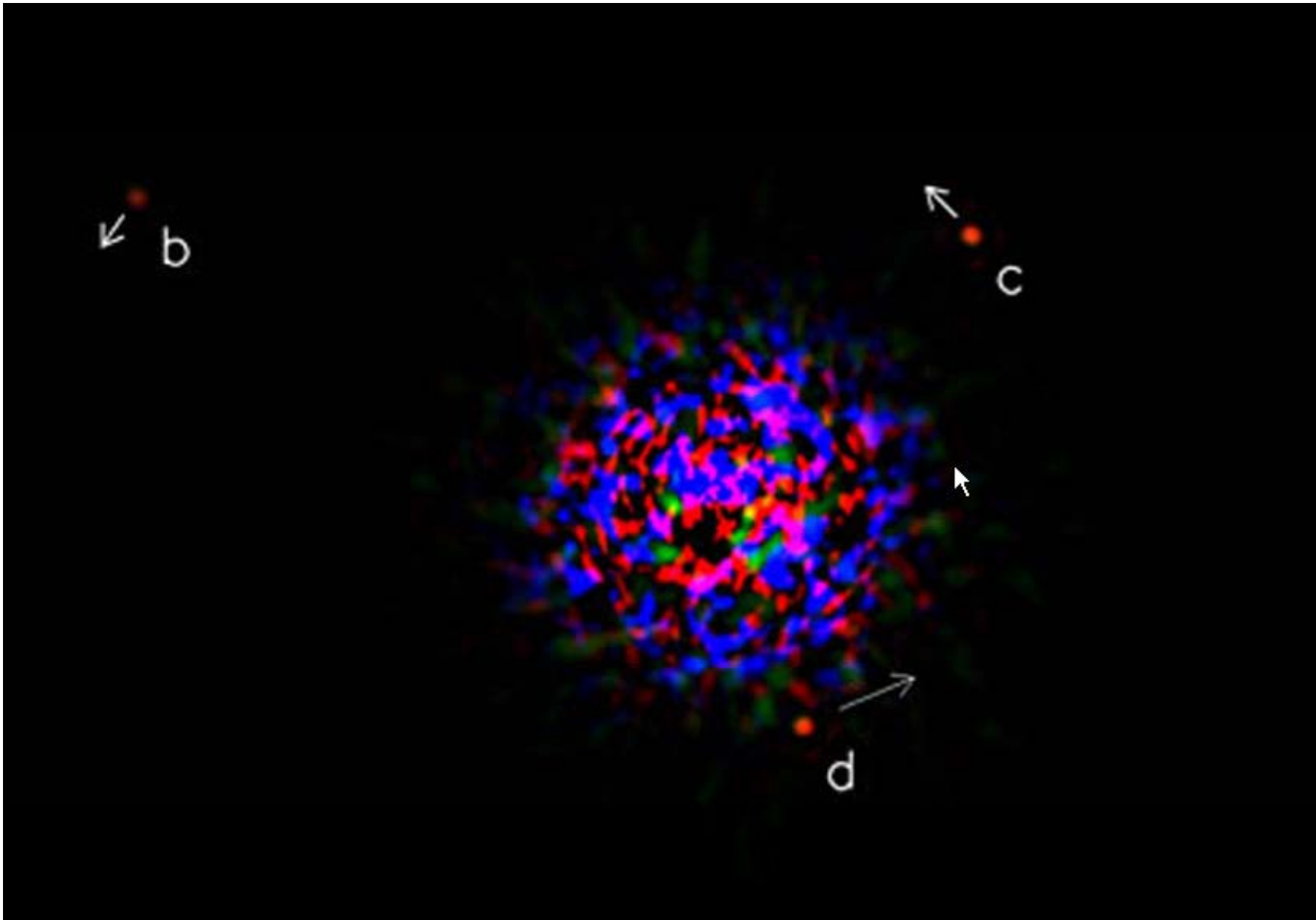
Μάζα αστέρα: 1.5 M_{sun} (μάζες Ηλίου)

Μάζες πλανητών: 10 M_J - 10 M_J - 7 M_J (μάζες Δία)

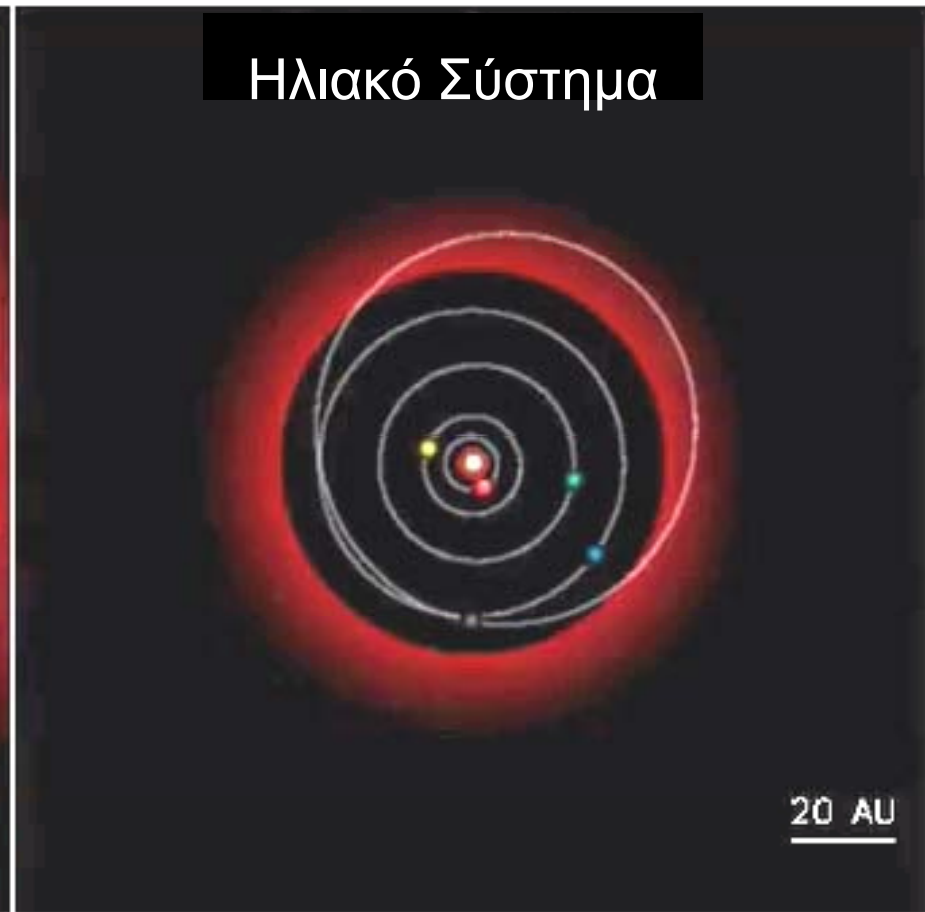
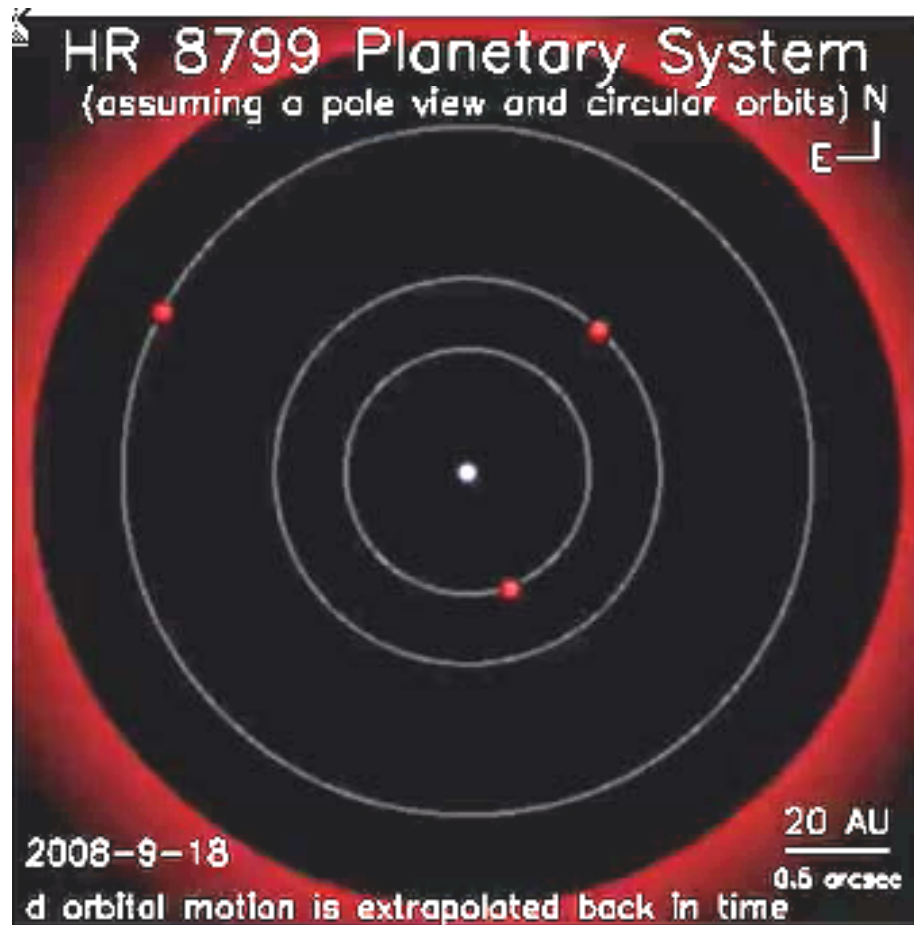
Ακτίνες: 68 AU - 38 AU - 24 AU (ακτίνες Γης)

Υπάρχει χώρος και για Γήινους πλανήτες!

Άμεση παρατήρηση του των πλανητών του HR 8799



Σύγκριση με το Ηλιακό Σύστημα



Δεν είναι όλοι οι πλανήτες τόσο φιλικοί
όσο ο δικός μας!

Ένας παγωμένος πλανήτης!



Διάγραμμα καλλιτέχνη

Παρά το ότι οι περισσότεροι πλανήτες είναι πολύ ζεστοί, ο OGLE-2005-BLG-390L b είναι ο πιο ψυχρός πλανήτης που έχει ως τώρα ανακαλυφθεί. Θερμοκρασία: -220 C° .

Είναι περίπου 5.5 φορές μεγαλύτερος από τη Γη και ο ήλιος του είναι ένας μικρός νάνος αστέρας. Το έτος του διαρκεί 10 Γήινα έτη.

Απέχει 21000 έτη φωτός.

Ένας πλανήτης που βράζει!

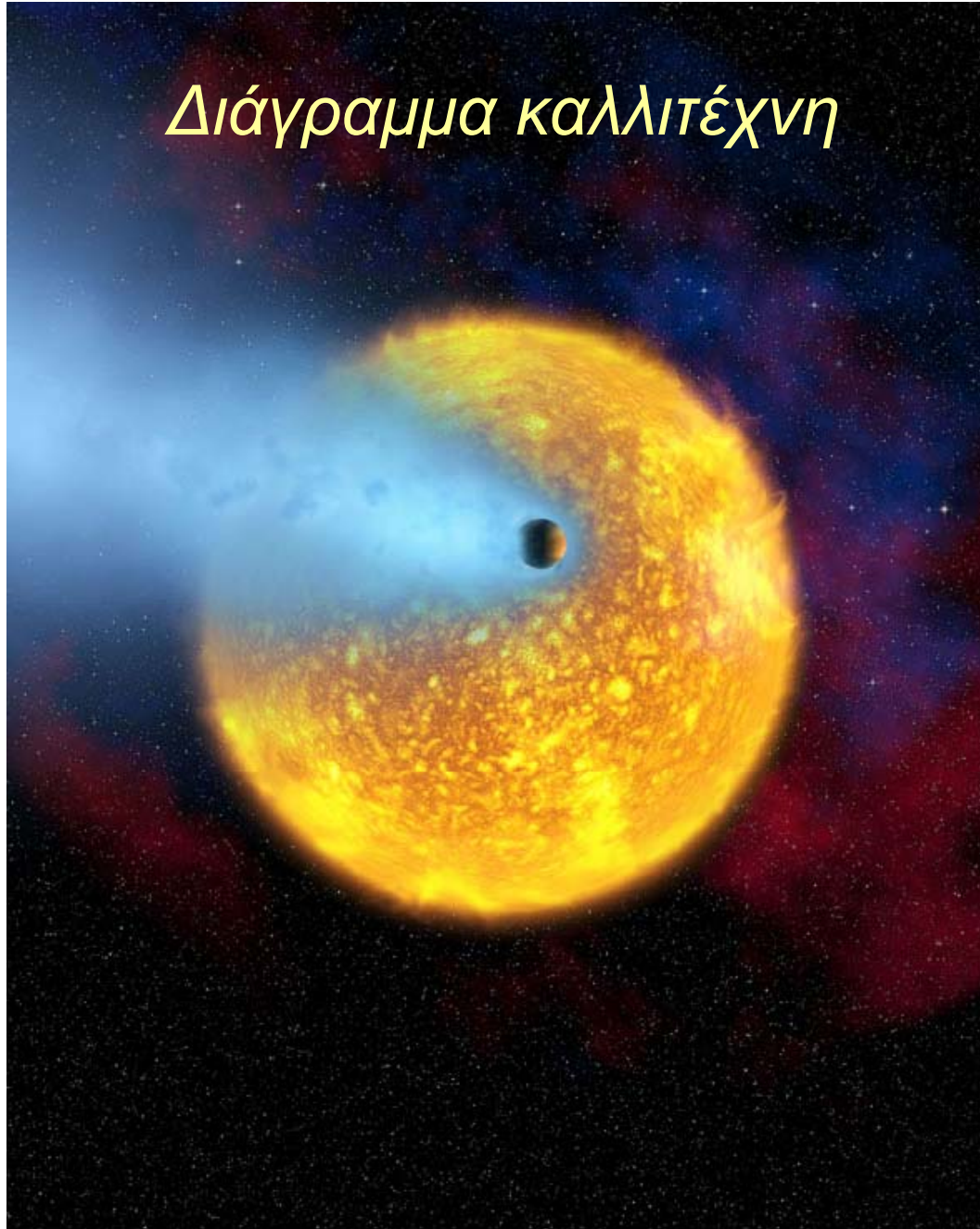
Σε αντίθεση με τον προηγούμενο πλανήτη, ο πλανήτης **HD 209458 b** έχει αρκετά στοιχεία κοινά με τη Γη: υδρατμούς, μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρά του, βασικά στοιχεία για ζωή.

Είναι όμως εντελώς αφιλόξενος, διότι είναι υπερβολικά θερμός, διότι είναι πολύ κοντά στον ήλιο του: το έτος διαρκεί 3.5 ημέρες!

Η ατμόσφαιρά του βράζει κυριολεκτικά. Τα αέρια από την ατμόσφαιρά του που διαφεύγουν, σχηματίζουν μια ουρά 200 000 χλμ.

Είναι πολύ πιθανόν τον πλανήτη αυτό να τον καταπιεί ο ήλιος του! Ή να διαλυθεί καθώς ακολουθεί σπειροειδή τροχιά προς τον ήλιο του, στα επόμενα εκατομμύρια χρόνια.

Διάγραμμα καλλιτέχνη



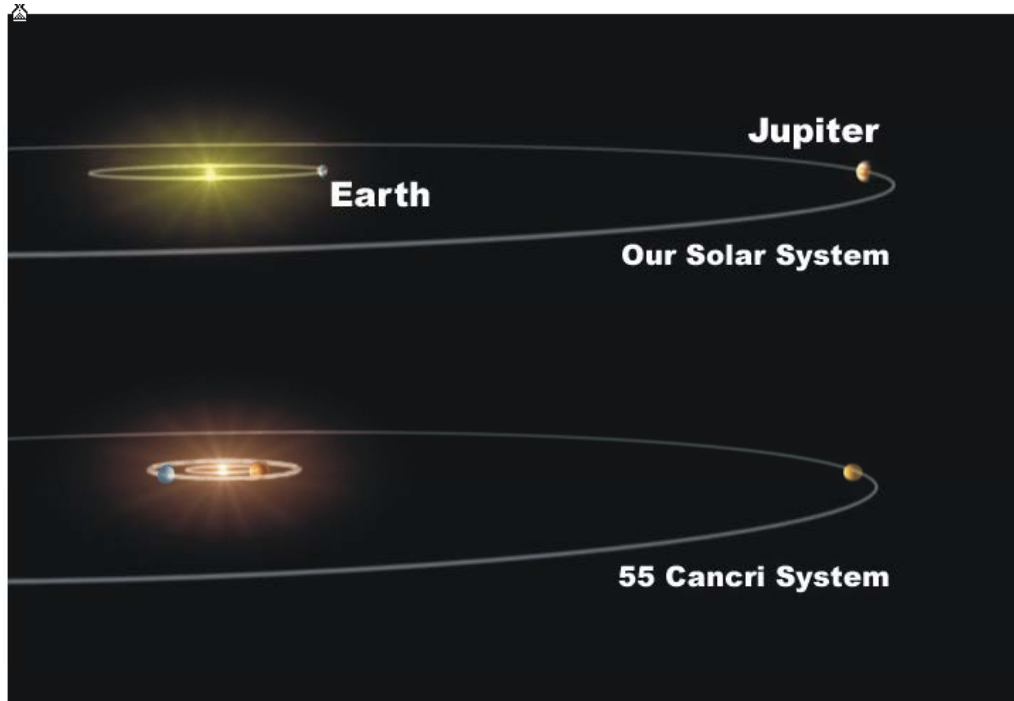
Και ένα νεκροταφείο πλανητών!

- Οι πλανήτες **PSR B1257+12 b, c, και d** είναι ότι απέμεινε από ένα πλανητικό σύστημα που ο ήλιος του εξεράγει σε **supernova**. Νεκροί πλανήτες που περιφέρονται γύρω από έναν πλανήτη που εξαφανίσθηκε!
- Η έκρηξη εξαφάνισε ατμόσφαιρα και κάθε ίχνος ζωής που πιθανόν να υπήρχε!
- Οι πλανήτες βομβαρδίζονται συνεχώς με έντονη ακτινοβολία.
- Αυτό που απέμεινε από την έκρηξη είναι ένας Pulsar.

Διάγραμμα καλλιτέχνη



Ένα πλανητικό σύστημα με 5 πλανήτες που μοιάζει με το δικό μας (55Cnc)



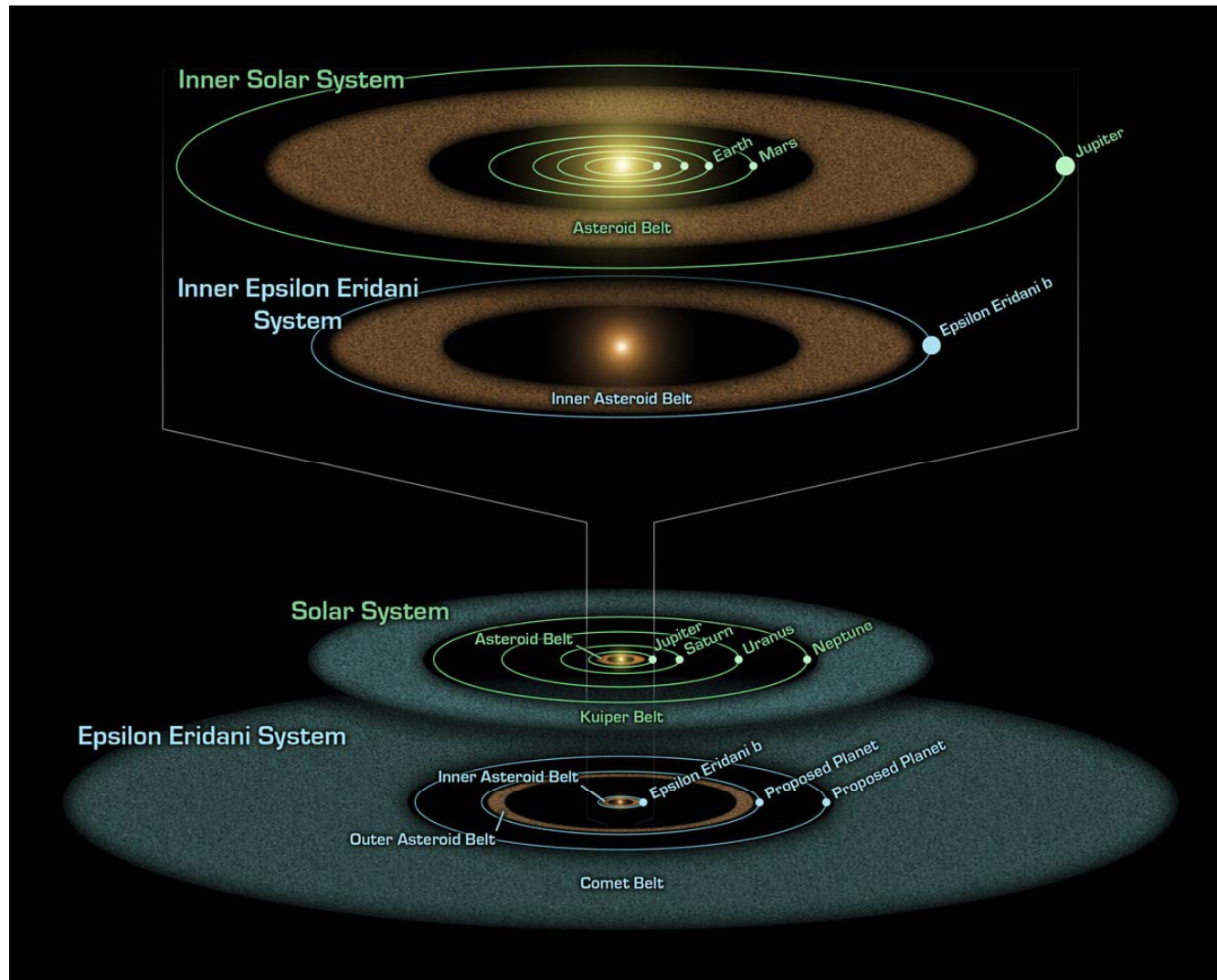
Υπάρχουν όμως και διαφορές!

- Οι τέσσερεις εσωτερικοί πλανήτες του 55Cnc είναι πιο κοντά στον 'ήλιο' από ότι η Γη στον Ήλιο και έχουν όλοι μάζες μεγαλύτερες από την Γη.
- Ο τέταρτος πλανήτης, ο οποίος είναι στην κατοικήσιμη περιοχή, έχει μάζα ίση προς τη μισή μάζα του Κρόνου και περιφέρεται γύρω από τον ήλιο σε 260 ημέρες.

- Ο κεντρικός αστέρας έχει την ίδια μάζα και ηλικία με το δικό μας Ήλιο.
- Οι τροχιές των πλανητών είναι περίπου κυκλικές, όπως και στο δικό μας ηλιακό σύστημα.
- Και τα δύο συστήματα έχουν γιγάντιους πλανήτες στο εξωτερικό τους.
- Και τα δύο συστήματα έχουν μικρούς πλανήτες στο εσωτερικό τους.

Ένα νέο πλανητικό σύστημα:
Το σύστημα Epsilon Eridani
(NASA's Spitzer Space Telescope)

- Απέχει 10 έτη φωτός.
- Ο αστέρας είναι λίγο πιο μικρός από τον Ήλιο μας.
- Μοιάζει με το δικό μας σύστημα στα πρώτα του στάδια. Έχει ηλικία 800 εκατομμυρίων ετών (το 1/5 του δικού μας συστήματος).
- Έχει δύο ζώνες αστεροειδών και μία ζώνη κομητών (ζώνη Kuiper).



Διάγραμμα καλλιτέχνη: σύγκριση του συστήματος Epsilon Eridani με το Ηλιακό μας σύστημα. *Image credit: NASA/JPL-Caltech*

Από τις μέχρι τώρα παρατηρήσεις είναι σαφές ότι υπάρχουν τρία είδη εξωηλιακών πλανητών :

- Αέριοι γίγαντες (οι περισσότεροι)
- Θερμοί υπεργήινοι πλανήτες (*hot Jupiters*) με πολύ μικρή περίοδο (τροχιά κοντά στον αστέρα)
- Παγωμένοι γίγαντες

Η πρόκληση τώρα είναι να ανακαλυφθούν
Γήινοι πλανήτες σε κατοικήσιμη περιοχή.

Γήινος πλανήτης είναι ένας πλανήτης με μάζα
περίπου ίση προς τη μάζα της Γης, ο οποίος
περιφέρεται γύρω από έναν αστέρα όμοιο με
τον Ήλιο μας, σε απόσταση 1 AU (ακτίνα Γης).

Το ιδιαίτερο ενδιαφέρον για Γήινους πλανήτες
οφείλεται στο ότι εκεί είναι πιθανή η ύπαρξη
ζωής.

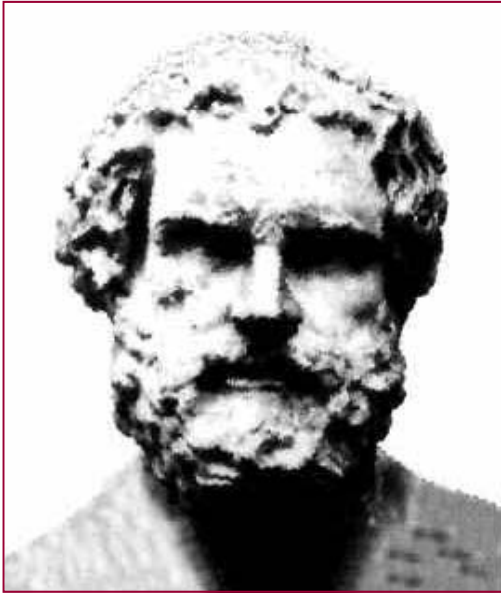
Αναζήτηση κατοικήσιμων πλανητών

- 100 δισεκατομμύρια αστέρες στο Γαλαξία μας
(ένα μεγάλο ποσοστό έχει πλανήτες)
- 100 δισεκατομμύρια γαλαξίες
- Μήπως κάπου υπάρχει ζωή;

Η ύπαρξη νοήμονος ζωής είναι άλλο θέμα!

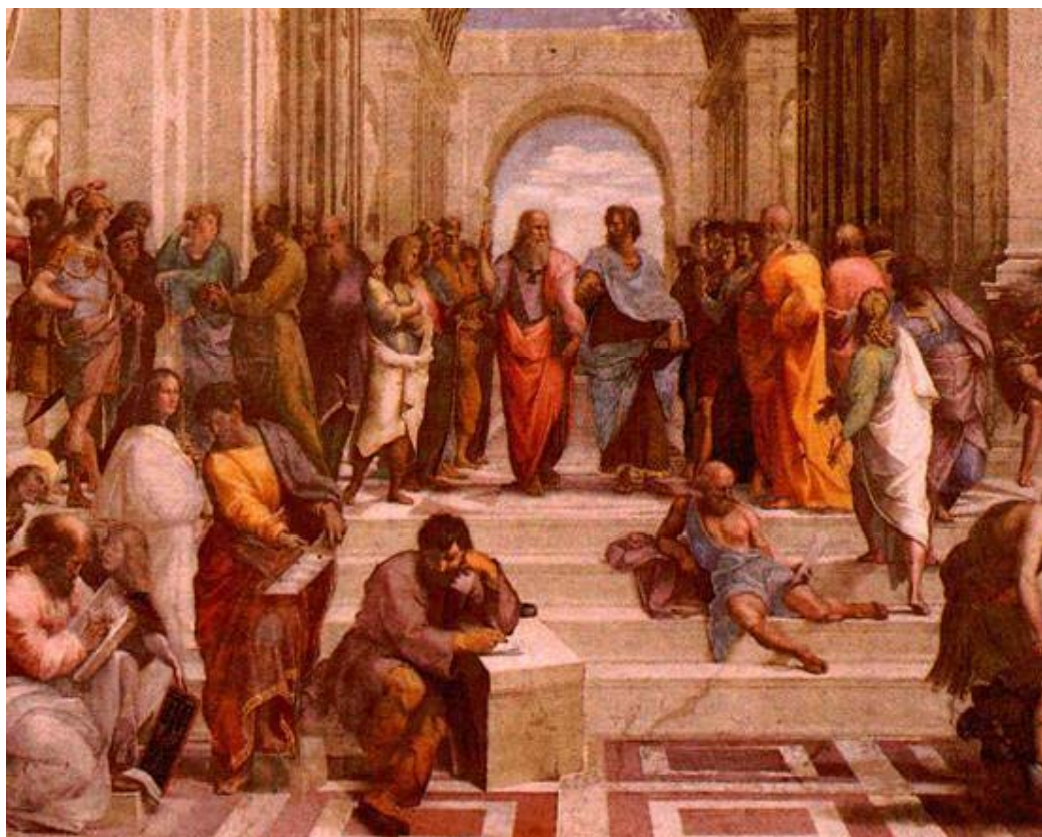
Η ύπαρξη ζωής σε άλλους κόσμους
απασχολεί την ανθρωπότητα εδώ
και χιλιάδες χρόνια

ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ (460 – 370 π.Χ.)



Από τους πρώτους
που μίλησαν για
ύπαρξη ζωής σε
άλλους κόσμους

Υπάρχουν άπειροι κόσμοι με διαφορετικά μεγέθη. Σε μερικούς από αυτούς δεν υπάρχει ούτε Ήλιος ούτε Σελήνη, σε άλλους τα δύο αυτά ουράνια αντικείμενα είναι μεγαλύτερα από όσο στον δικό μας κόσμο και σε άλλους περισσότερα. Τα διαστήματα μεταξύ των κόσμων είναι άνισα, σε μερικά μέρη υπάρχουν περισσότεροι κόσμοι, σε άλλα λιγότεροι, μερικοί αναπτύσσονται, μερικοί είναι στο αποκορύφωμα της ανάπτυξής τους και μερικοί παρακμάζουν. Αλλού οι κόσμοι δημιουργούνται και αλλού καταστρέφονται. Η καταστροφή τους οφείλεται στην αμοιβαία τους σύγκρουση.



Υπάρχουν άπειροι
κόσμοι και όμοιοι και
διαφορετικοί από τον δικό
μας κόσμο...Πρέπει να
πιστέψουμε ότι σε όλους
τους κόσμους υπάρχουν
ζωντανά όντα και
πλανήτες και άλλα
πράγματα που βλέπουμε
στο δικό μας κόσμο.

Επίκουρος

300 π.Χ.

Διανοητές του μεσαίωνα

Υπάρχουν αναρίθμητοι Ήλιοι και αναρίθμητες Γαίες οι οποίες περιστρέφονται γύρω από τους ήλιους τους με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως οι επτά πλανήτες του συστήματός μας... Οι αναρίθμητοι κόσμοι στο σύμπαν δεν είναι χειρότεροι ούτε λιγότερο κατοικήσιμοι από τη Γη μας.

Giordano Bruno
De l' infinito
Universo e Mondi
1584



Πρόγραμμα Kepler της NASA
για την ανακάλυψη Γήινων πλανητών.

Σε τέτοιους πλανήτες οι συνθήκες θα
είναι ευνοϊκές για ανάπτυξη κάποιας
μορφής ζωής.



Χρησιμοποιείται η μέθοδος
των διαβάσεων του πλανήτη
μπροστά από τον αστέρα

Εκτόξευση: 6 Μαρτίου 2009

Η πρώτη αποστολή της NASA για την ανακάλυψη Γήινων πλανητών

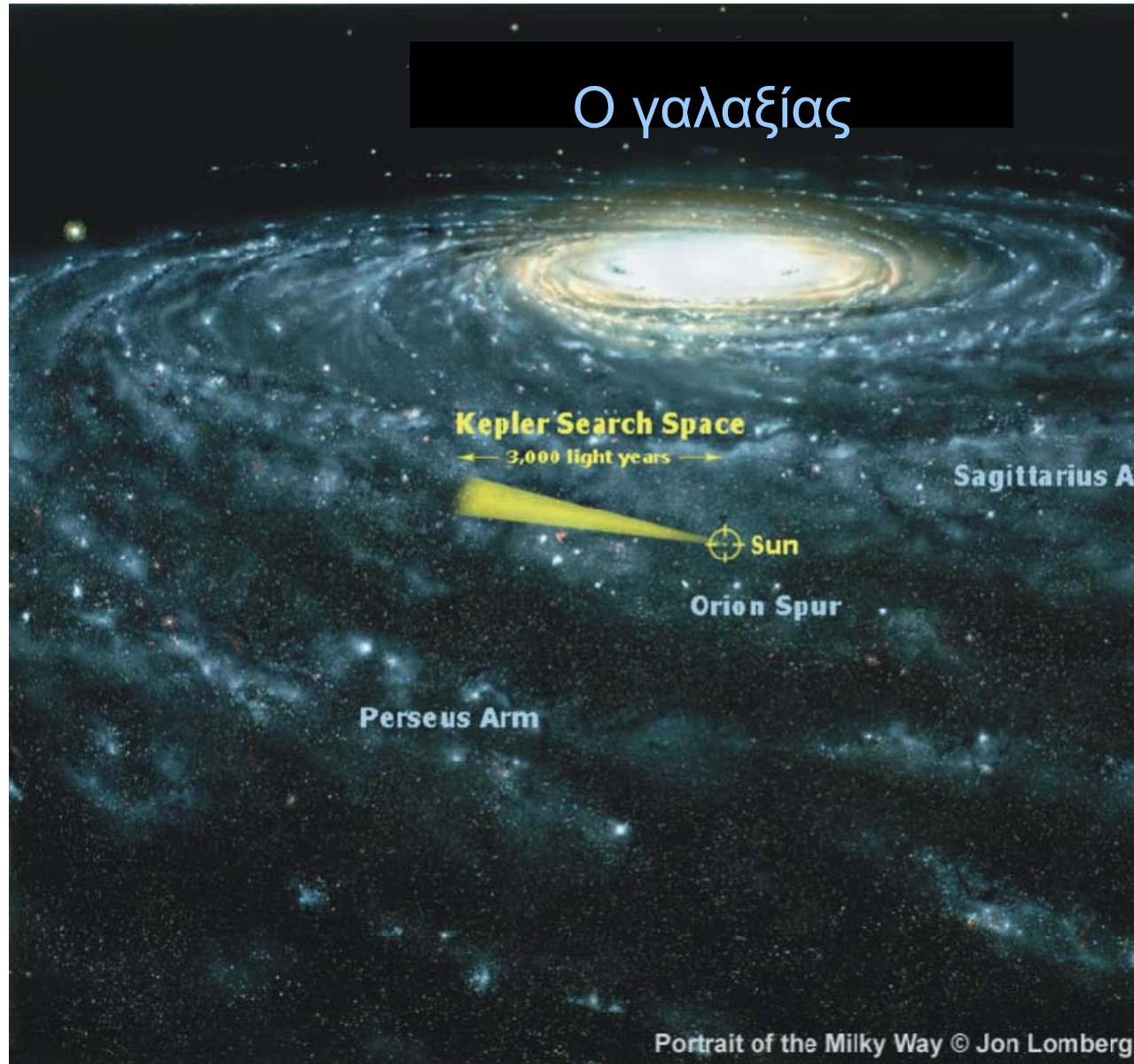


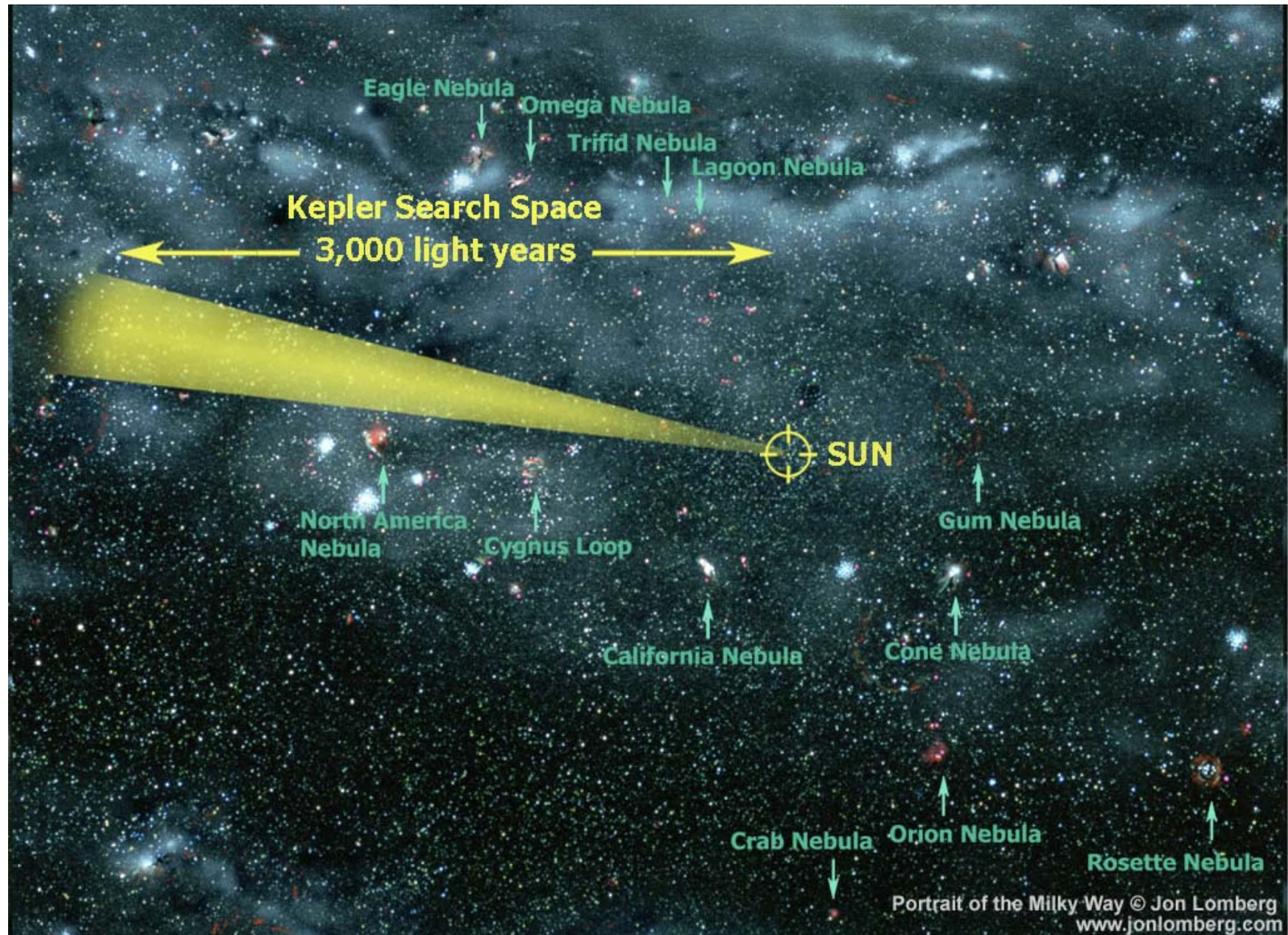
Εκτόξευση



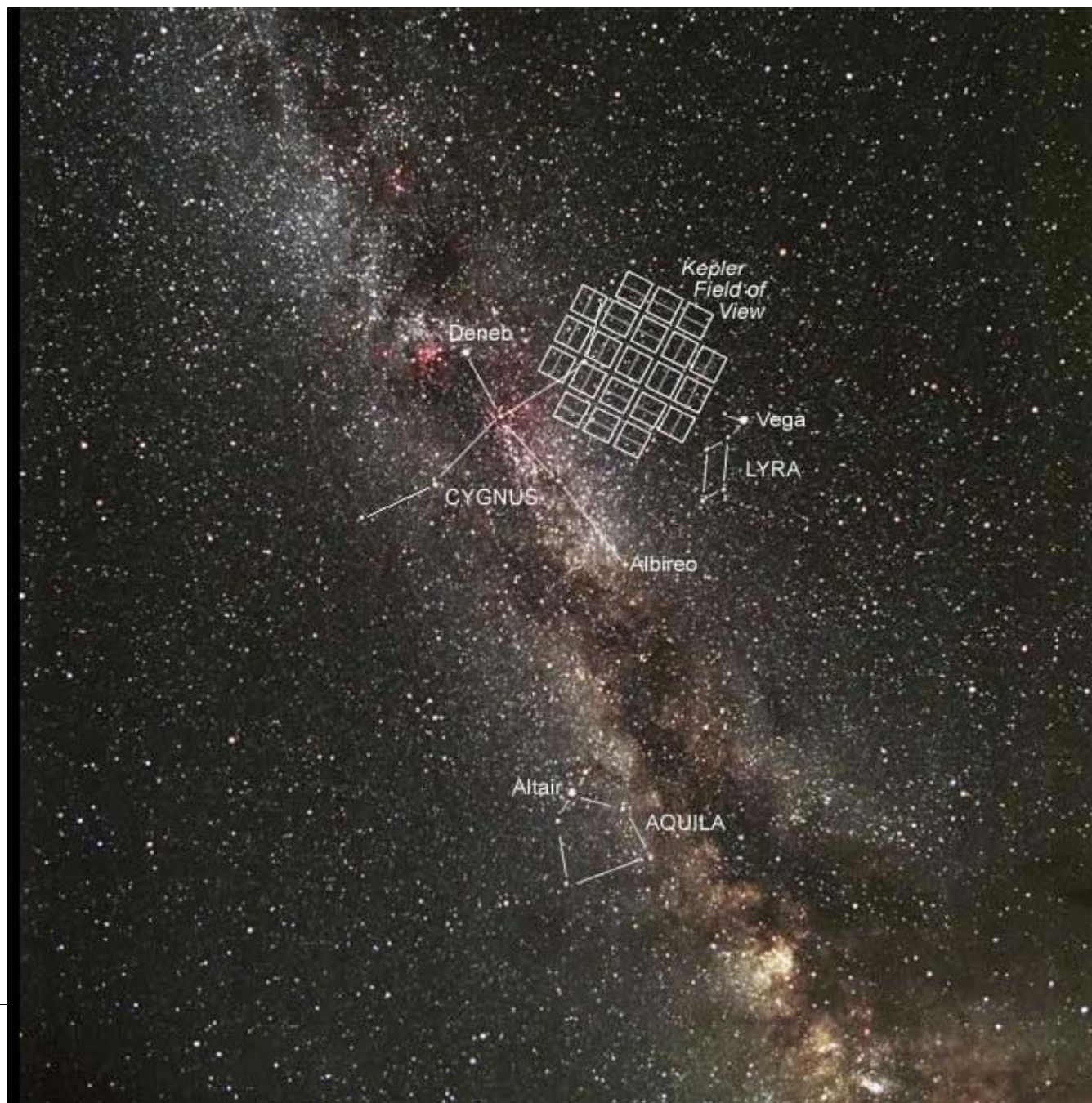
Το πρόγραμμα Kepler

Ο γαλαξίας

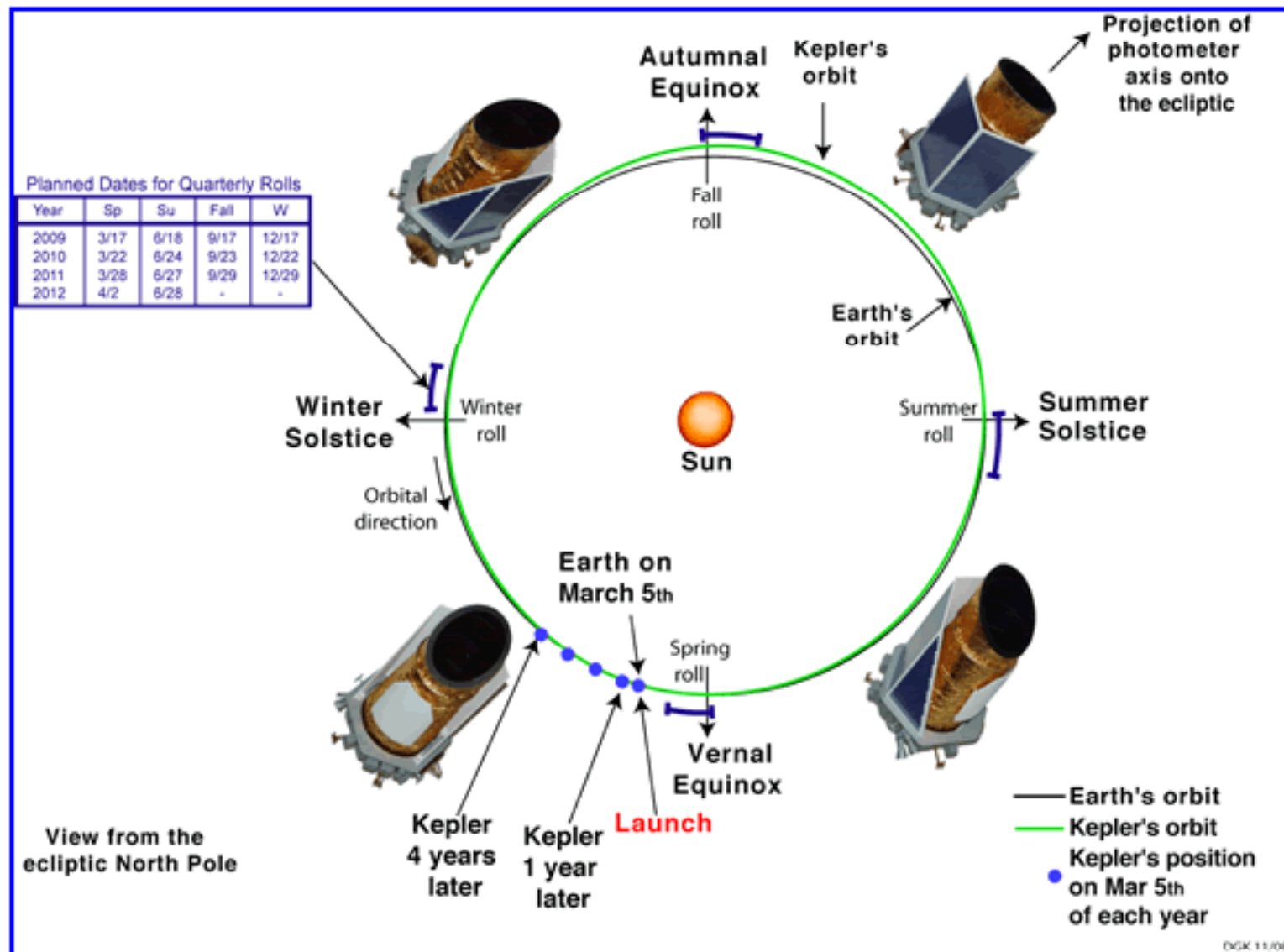




Μεγάλο
Οπτικό
Πεδίο



Ηλιοκεντρική τροχιά του διαστημόπλοιου



$T=372.5d$

μένει λίγο
πίσω κάθε
χρόνο

τροχιά



- Η πιθανότητα για μια πλανητική τροχιά να είναι σωστά προσανατολισμένη, ώστε να παρατηρήσουμε διάβαση, είναι ίση προς το λόγο της διαμέτρου του πλανήτη προς τη διάμετρο της τροχιάς του.



- Για ένα Γήινο πλανήτη που περιφέρεται γύρω από έναν αστέρα σαν τον Ήλιο μας, η πιθανότητα είναι ίση προς 0,5%.

ΔΙΑΒΑΣΗ ΓΗΙΝΩΝ ΠΛΑΝΗΤΩΝ ●

- Προκαλούν μικρή μεταβολή στη λαμπρότητα του αστέρα, περίπου $1/10.000$.

Η ανίχνευση Γήινου πλανήτη που περνάει μπροστά από έναν αστέρα είναι σαν να παρατηρούμε, από πολλά χιλιόμετρα μακριά, ένα κουνούπι που περνάει μπροστά από τα φώτα ενός αυτοκινήτου.

- Η διάρκεια της διαβάσεως είναι από 2 μέχρι 16 ώρες.
- Η μεταβολή της λαμπρότητας πρέπει να είναι απόλυτα περιοδική (για να αποκλείσουμε μεταβολές που οφείλονται στη διακύμανση της λαμπρότητας του αστέρα).

- Πρέπει να παρατηρήσουμε χιλιάδες αστέρες για να βρούμε Γήινους πλανήτες.
- Το πρόγραμμα Kepler θα παρατηρήσει 100.000 αστέρες.
- Αν οι Γήινοι πλανήτες είναι αρκετοί, τότε αναμένεται να ανακαλυφθούν μερικές εκατοντάδες.
- Για πλανήτες στην κατοικήσιμη ζώνη, ο χρόνος μεταξύ διαδοχικών διαβάσεων είναι περίπου ένα έτος.
- Για αξιόπιστα αποτελέσματα (τρεις διαβάσεις), απαιτείται χρονικό διάστημα τουλάχιστον τριών ετών.
- Η διάρκεια του προγράμματος είναι τέσσερα έτη (με δυνατότητα να φθάσει μέχρι έξι).

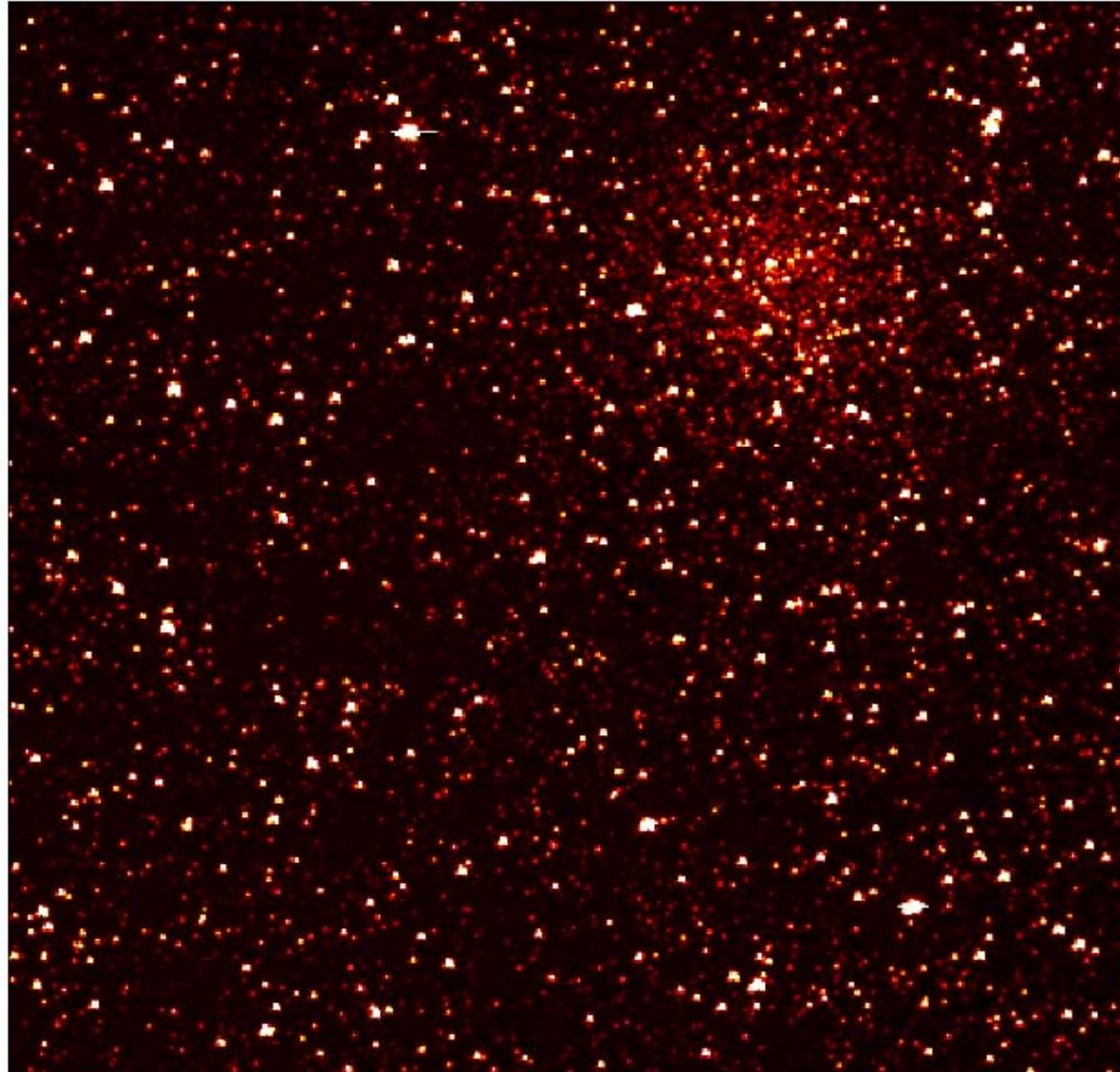
Τι περιμένουμε να παρατηρήσουμε

- Περίπου 50 πλανήτες μεγέθους όπως η Γη.
- Περίπου 185 πλανήτες με μέγεθος 1,3 Γήινες μάζες.
- Περίπου 640 πλανήτες με μέγεθος 2,2 Γήινες μάζες.
- Περίπου το 12% με δύο ή περισσότερους πλανήτες.

- Η πιο ενδιαφέρουσα ανακάλυψη της αποστολής θα είναι η ανίχνευση πλανητών με μέγεθος όπως της Γης, στην κατοικήσιμη ζώνη αστέρων όμοιων με τον Ήλιο μας.
- Αναμένονται πάντως και πολλές άλλες ανακαλύψεις για την ύπαρξη και τα χαρακτηριστικά πλανητών γύρω από άλλους αστέρες.
- Με την ολοκλήρωση του προγράμματος θα γνωρίζουμε πόσο συνηθισμένοι είναι οι Γήινοι πλανήτες στο γαλαξία μας.

- Ακόμα και αν βρεθούν πολύ λίγοι Γήινοι πλανήτες ή και κανένας, θα είναι ένα σημαντικό αποτέλεσμα.
- Θα οδηγηθούμε στο συμπέρασμα ότι οι Γήινοι πλανήτες είναι σπάνιοι, με αποτέλεσμα να αναθεωρήσουμε τις θεωρίες δημιουργίας της Γης.

Οι πρώτες φωτογραφίες
Αστρικό σμήνος NGC 6791



Πότε ένας πλανήτης θεωρείται
κατοικήσιμος;

Σε ένα πλανητικό σύστημα μπορεί να υπάρχουν περιοχές όπου οι πλανήτες, που ενδεχομένως να υπάρχουν εκεί, να είναι **κατοικήσιμοι**.

Βασικό κριτήριο: να υπάρχει νερό σε υγρή μορφή.

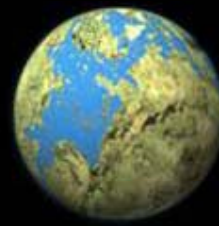
- Ο κεντρικός αστέρας (ήλιος) να μην έχει πολύ μεγάλη μάζα, διότι τότε εξελίσσεται πολύ γρήγορα, ούτε πολύ μικρή μάζα, διότι δεν θα εκπέμπει επαρκή θερμότητα.
- Ο πλανήτης να μην έχει μεγάλη εκκεντρότητα (για να μην υπάρχουν μεγάλες μεταβολές της θερμότητας κατά τη διάρκεια του 'έτους'). ●
- Να μην υπάρχει βομβαρδισμός από αστεροειδείς (η ύπαρξη ενός μεγάλου πλανήτη, όπως του Δία στο δικό μας Ηλιακό Σύστημα, μπορεί να αποτρέψει το φαινόμενο αυτό). ●
- Να υπάρχει προστασία από ακτινοβολία.

Η απόσταση από τον ήλιο
να είναι τέτοια ώστε να υπάρχει
νερό σε υγρή μορφή.

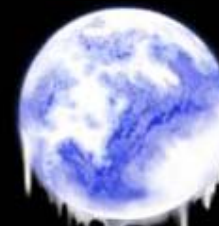
Πολλοί από τους νέους πλανήτες είναι πολύ κρύοι
ή πολύ ζεστοί, για να αναπτυχθεί ζωή



Πολύ
ζεστός



Ακριβώς
σωστός!



Πολύ
κρύος

Οι περισσότεροι πλανήτες έχουν πολύ ελλειπτικές τροχιές

- Ο πλανήτης να έχει στερεό φλοιό, για να διατηρηθεί το νερό στην επιφάνεια.
- Η μάζα του πλανήτη να μην είναι πολύ μεγάλη, διότι τότε η ατμόσφαιρά του θα αποτελείται από υδρογόνο και ήλιο, που δεν ευνοούν ανάπτυξη ζωής.
- Η μάζα του πλανήτη να μην είναι πολύ μικρή, γιατί δεν μπορεί να διατηρήσει ατμόσφαιρα.

Όλες αυτές οι συνθήκες είναι
αναγκαίες συνθήκες για την ανάπτυξη
ζωής.

Όχι ικανές

Πώς γνωρίζουμε ότι ένας πλανήτης μπορεί να συντηρήσει ζωή;

Να δούμε για
ενδείξεις ύπαρξης
οξυγόνου

O₃ Ozone, produced
by plants, algae

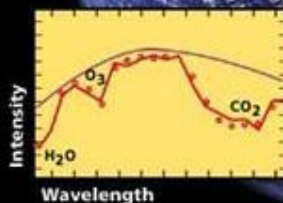


H₂O Liquid water



Να δούμε αν
υπάρχει νερό σε
υγρή μορφή

Να αναλύσουμε το
ανακλώμενο φως
από τον πλανήτη για
να δούμε αν ο
πλανήτης έχει
ατμόσφαιρα



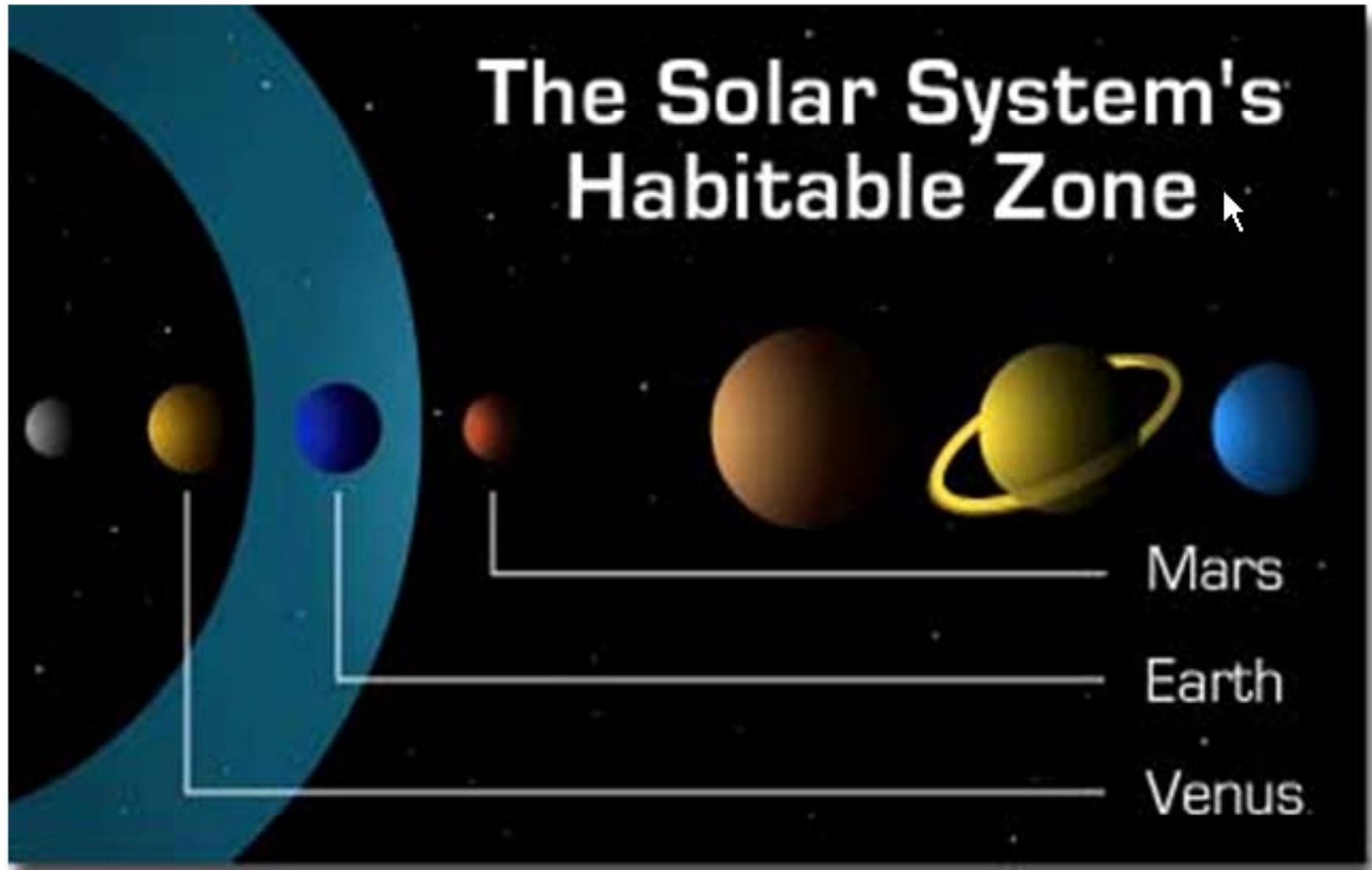
Methane produced
by living organisms

Να δούμε για
ενδείξεις
βιολογικής
δραστηριότητας
(μεθάνιο)

και να αποκλείσουμε άλλες ερμηνείες

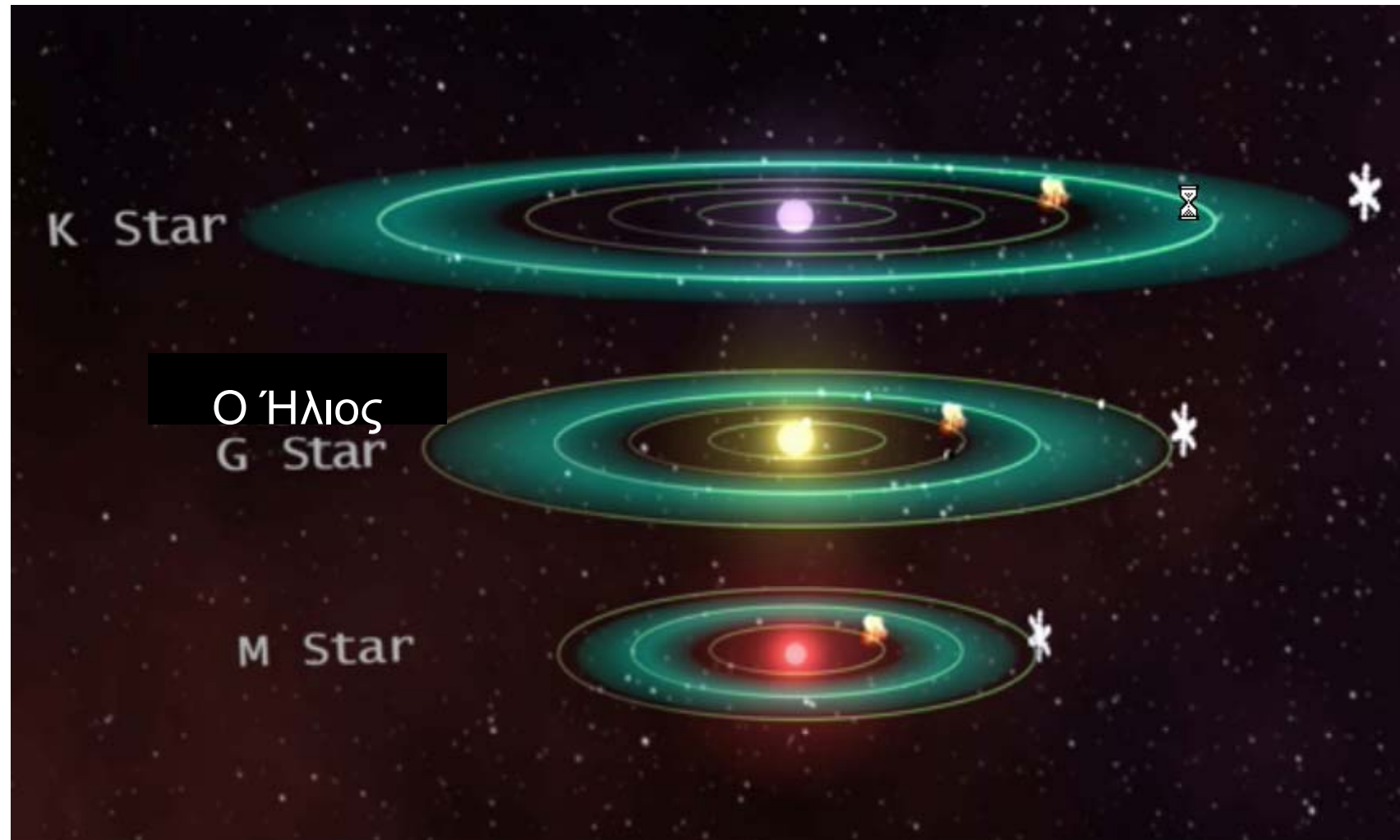
- Σε ένα πλανητικό σύστημα μπορεί να υπάρχουν περιοχές όπου οι πλανήτες, που ενδεχομένως να υπάρχουν εκεί, να είναι κατοικήσιμοι.
- Οι ζώνες αυτές ονομάζονται κατοικήσιμες ζώνες.

Η κατοικήσιμη ζώνη στο δικό μας Ηλιακό σύστημα



Μελέτη κατοικήσιμων περιοχών

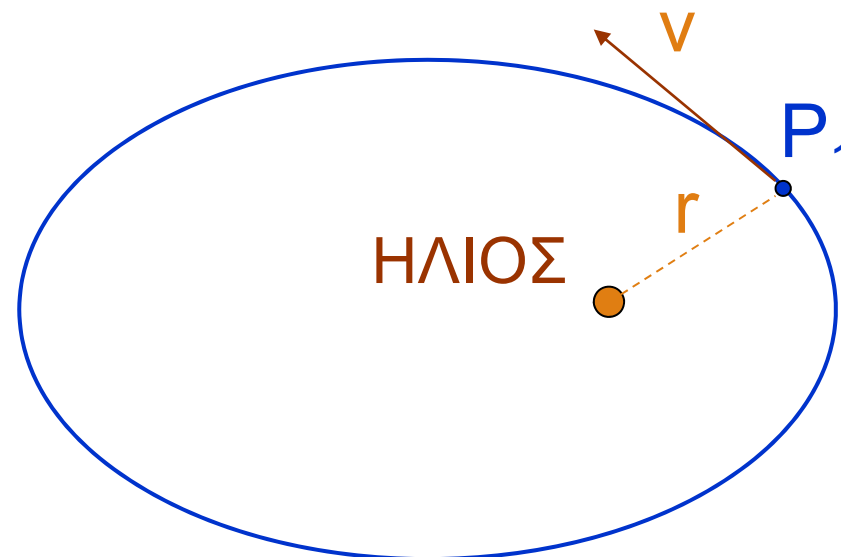
Τα όρια της κατοικήσιμης περιοχής εξαρτώνται από τον τύπο του αστέρα (πόσο λαμπρός είναι).



Πόσο εύκολο είναι να δημιουργήσουμε ένα πλανητικό σύστημα!

Εάν πάρουμε έναν αστέρα (ήλιο) και θέσουμε γύρω από αυτόν σε τροχιά έναν μόνο πλανήτη, θα έχουμε ένα ευσταθές πλανητικό σύστημα (πρόβλημα δύο σωμάτων).

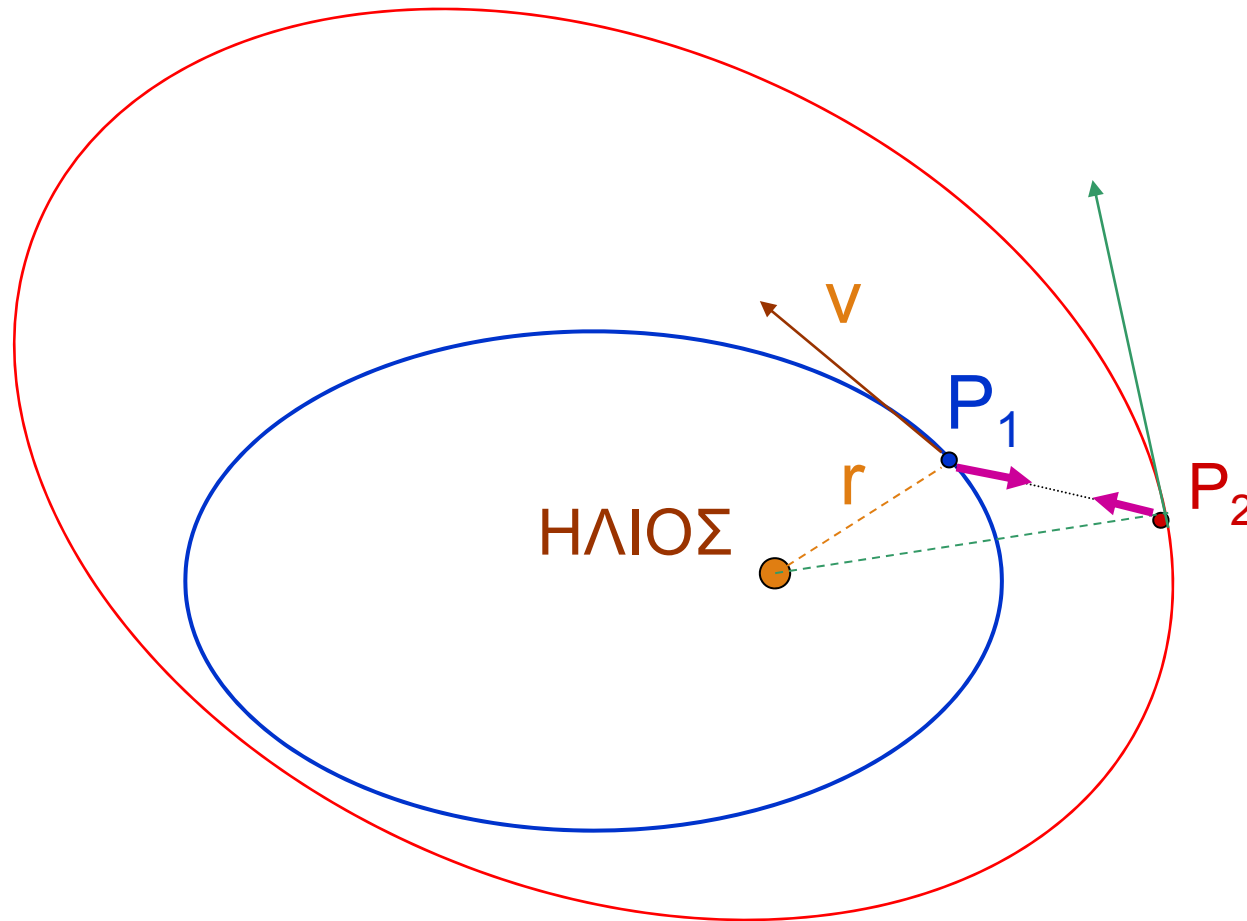
Ελλειπτική τροχιά: ομαλή κίνηση



Προσθέτουμε ένα νέο πλανήτη: Πρόβλημα τριών σωμάτων

Μη ολοκληρώσιμο $\rightarrow$ μπορεί να εμφανισθεί χαοτική κίνηση

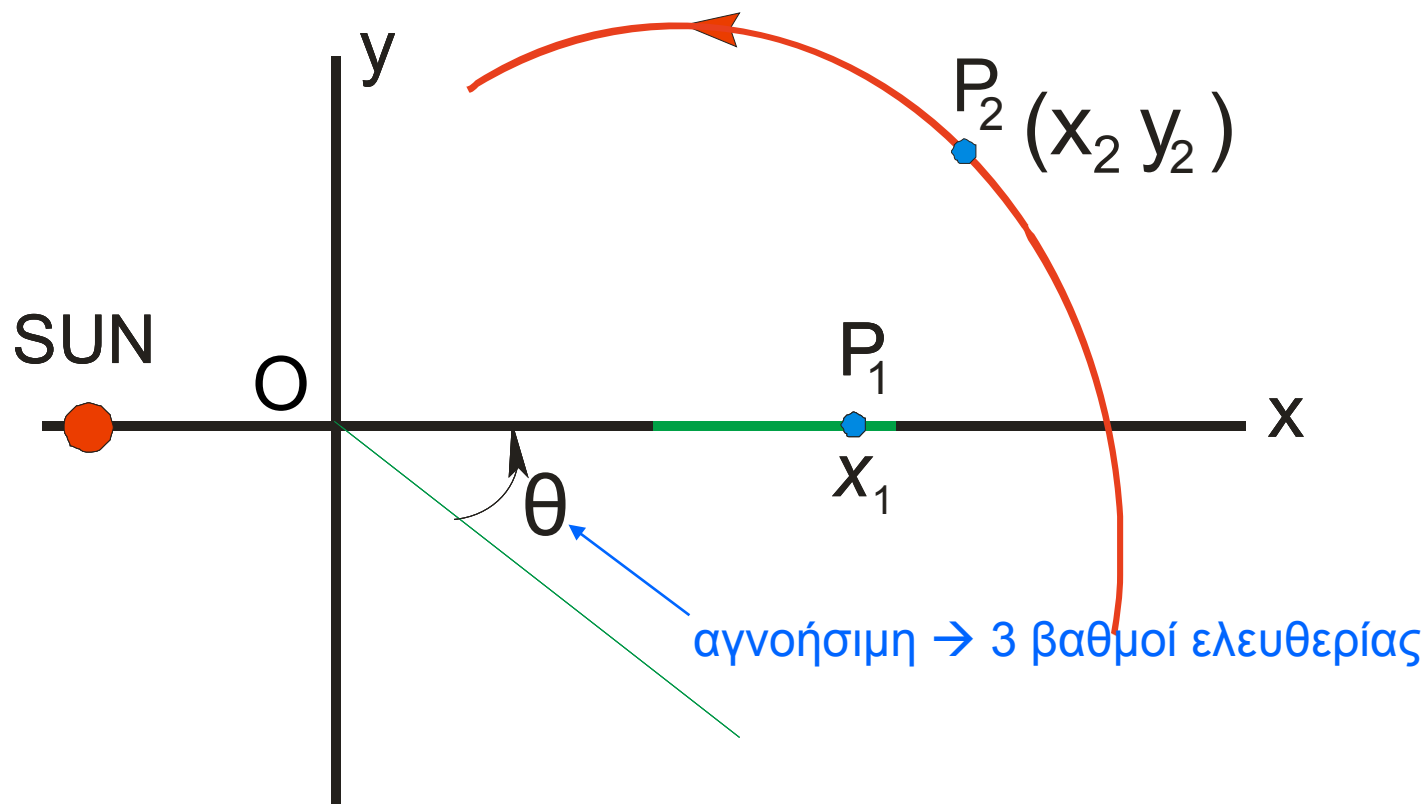
λόγω βαρυτικής αλληλεπίδρασης μεταξύ των πλανητών



- Μόνο σε ορισμένες θέσεις το σύστημα είναι ευσταθές, δηλαδή μπορεί να επιζήσει για πολλά δισεκατομμύρια χρόνια.
- Διαφορετικά το σύστημα είναι χαοτικό.

Μέθοδος μελέτης της εξέλιξης δυναμικών συστημάτων: η μέθοδος απεικόνισης Poincaré

Το περιστρεφόμενο σύστημα αναφοράς xOy
4 βαθμοί ελευθερίας: μεταβλητές: x_1, x_2, y_2, θ



Υπάρχουν οικογένειες περιοδικών τροχιών στο περιστρεφόμενο σύστημα. Καθορίζουν την τοπολογία του χώρου των φάσεων.

The Lagrangian

$$L = \frac{1}{2}(m_1 + m_2) \left\{ q(\dot{x}_1^2 + x_1^2 \dot{\theta}^2) + \frac{m_2}{m} \left[\dot{x}_2^2 + \dot{y}_2^2 + \dot{\theta}(x_2^2 + y_2^2) + 2\dot{\theta}(x_2 \dot{y}_2 - \dot{x}_2 y_2) \right] \right\} - V$$

$$V = -\frac{Gm_0 m_1}{r_{01}} - \frac{Gm_0 m_2}{r_{02}} - \frac{Gm_1 m_2}{r_{12}}$$

$$m = m_0 + m_1 + m_2$$

$$q = m_1 / m_0$$

Αναγωγή σε τρεις βαθμούς ελευθερίας:
η γωνία θ είναι αγνοήσιμη

Υπάρχει το ολοκλήρωμα της στροφορμής:

$$\partial L / \partial \dot{\theta} = p_{\theta} = \text{constant}$$

$$p_{\theta} = (m_0 + m_1) \left\{ \dot{\theta} \left[q x_1^2 + \frac{m_2}{m} (x_2^2 + y_2^2) \right] + \frac{m_2}{m} (x_2 \dot{y}_2 - \dot{x}_2 y_2) \right\}$$

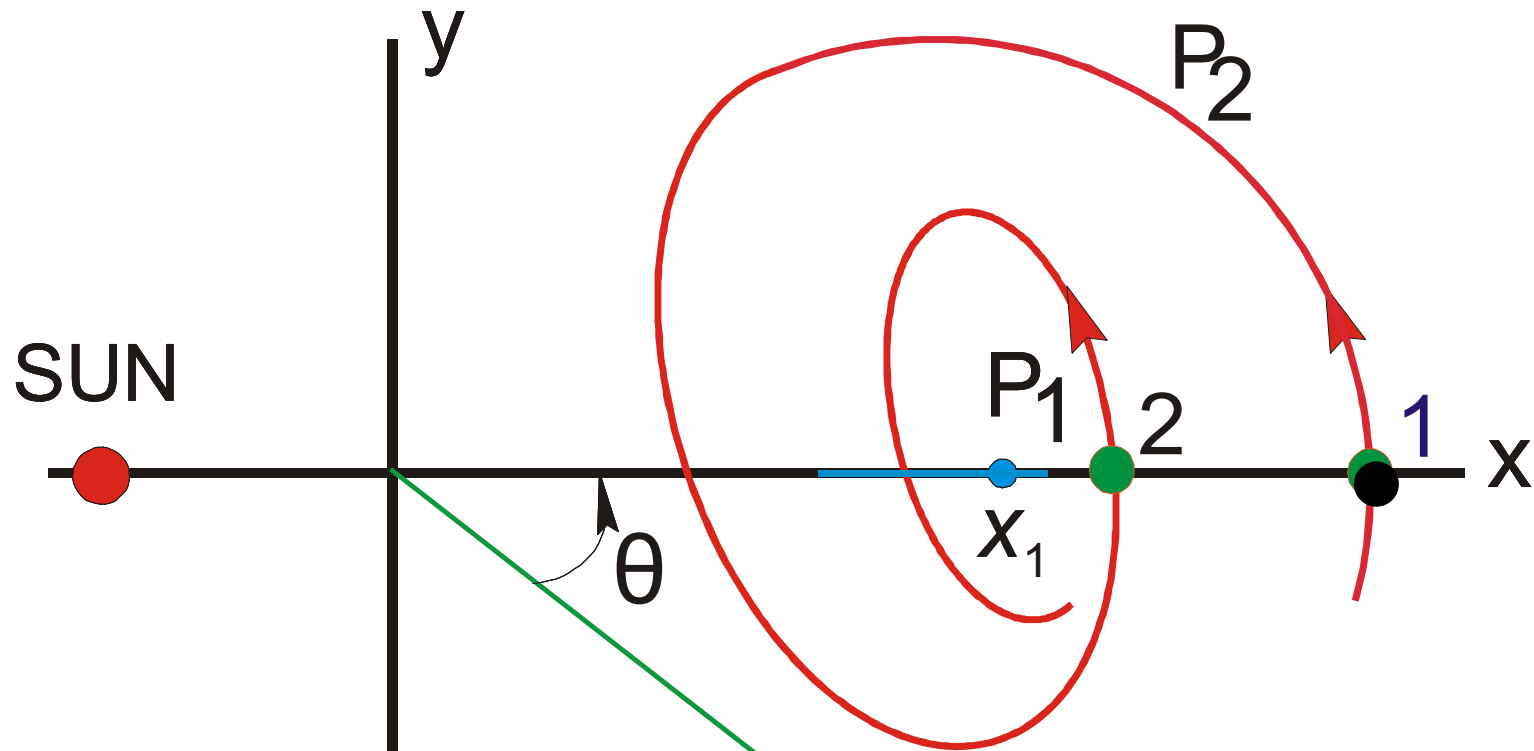
*η $d\theta/dt$ εκφράζεται συναρτήσει των $x_1, x_2, y_2, \dot{x}_2, \dot{y}_2$
στο περιστρεφόμενο σύστημα.*

Η νέα Lagrangian (Ruthian)

$$R = \frac{1}{2}(m_1 + m_2) \left\{ q\dot{x}_1^2 + \frac{m_2}{m}(\dot{x}_2 + \dot{y}_2) - \frac{\left[\frac{p_\theta}{(m_1 + m_2)} - \frac{m_2}{m}(x_2\dot{y}_2 - \dot{x}_2 y_2) \right]^2}{q\dot{x}_1^2 + \frac{m_2}{m}(x_2^2 + y_2^2)} \right\} - V$$

p_θ είναι μια σταθερή παράμετρος

Η απεικόνιση Poincaré



Σημειώνουμε τα σημεία τομής και τα σχεδιάζουμε
στον κατάλληλο χώρο: ομαλή επιφάνεια:
περατωμένη κίνηση, σκόρπια σημεία: χάος

Η απεικόνιση Poincaré

- Επιφάνεια τομής:
- $H = h$, σταθερά
- $y_2 = 0$
- Η απεικόνιση είναι στο χώρο των 4 διαστάσεων

$$x_1, dx_1/dt, x_2, dx_2/dt$$

Παρουσιάζονται προβολές σε διάφορα επίπεδα

Ένα παράδειγμα στο συντονισμό 2/1 ●

Το εξωηλιακό πλανητικό σύστημα Gliese 876

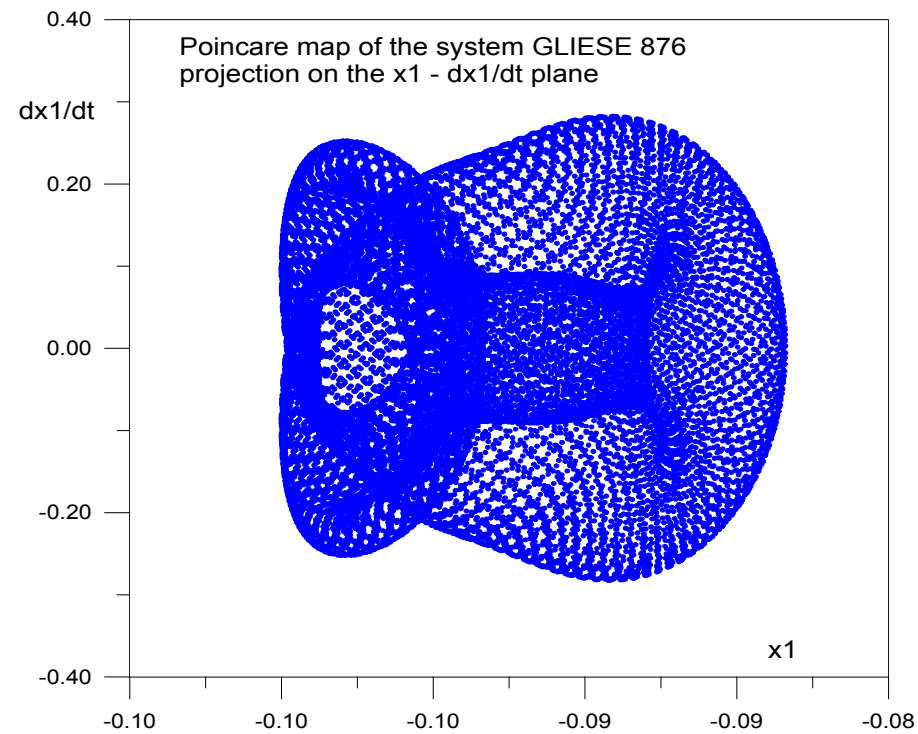
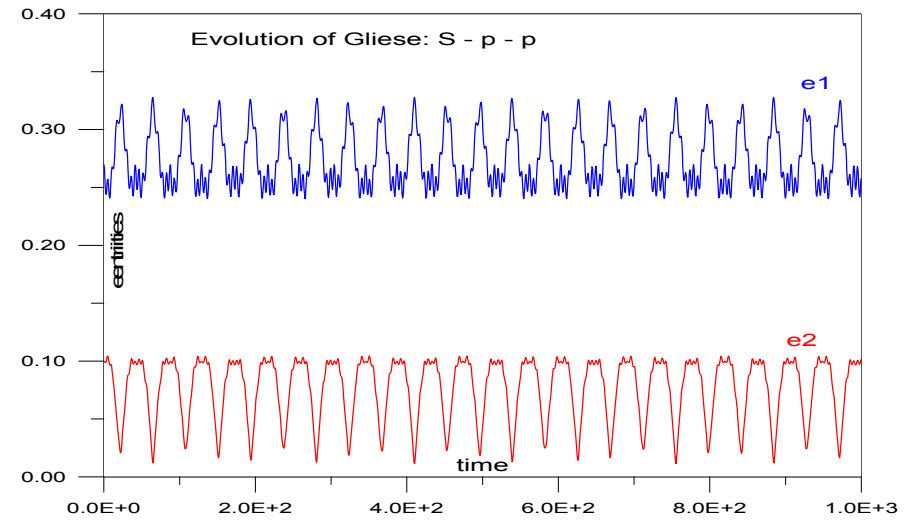
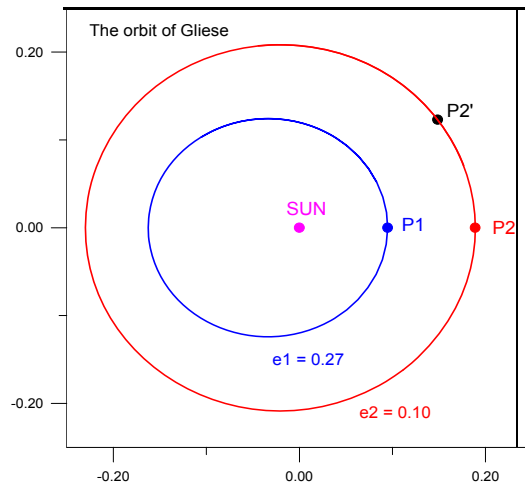
- $m_0 = 0.32 M_{\text{sun}}$, $m_1 \cdot \sin i = 1.89 M_J$, $m_2 \cdot \sin i = 0.56 M_J$
- $a_1 = 0.13 \text{ AU}$ $a_2 = 0.21 \text{ AU}$
- $e_1 = 0.27$ $e_2 = 0.10$
- Orbital period: $T_1 = 30.1 \text{ d.}$ $T_2 = 61.02 \text{ d.}$
 $T_2 / T_1 = 2.03$
- Omega : 333° 330°

Απόσταση από τη Γη: 15,4 έτη φωτός

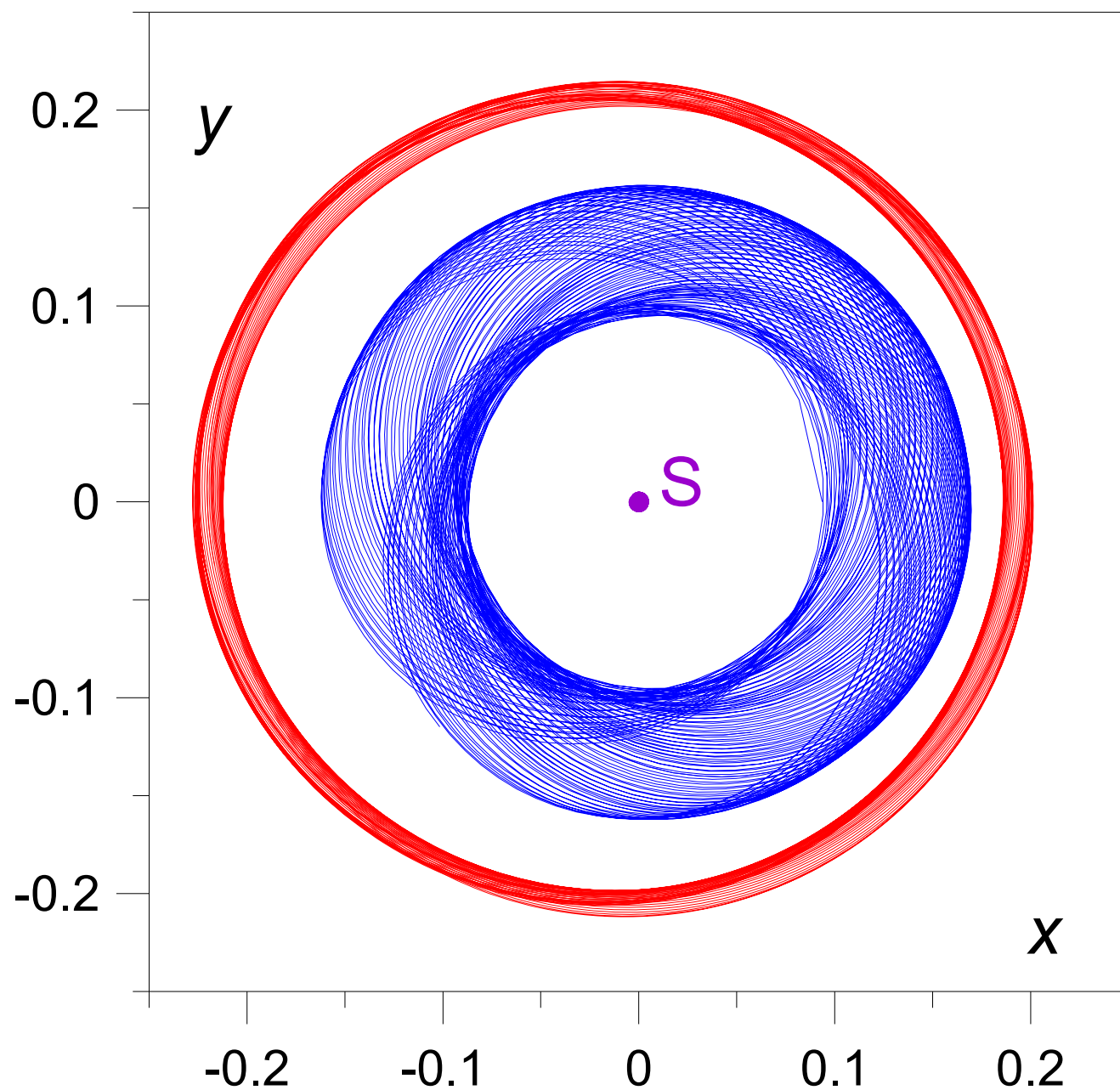
Πλανήτες στο περιήλιο



ομαλή κίνηση

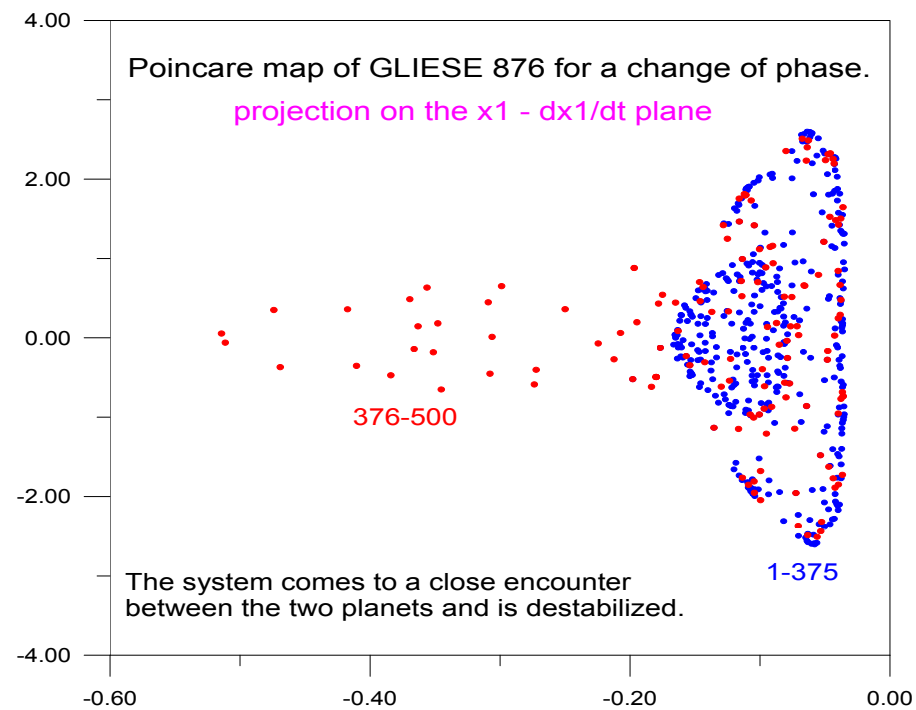
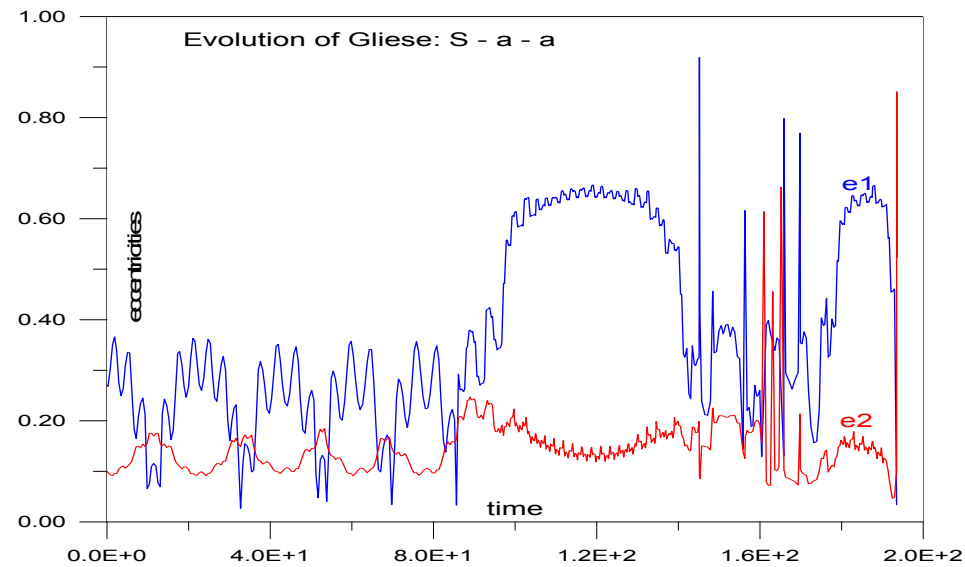
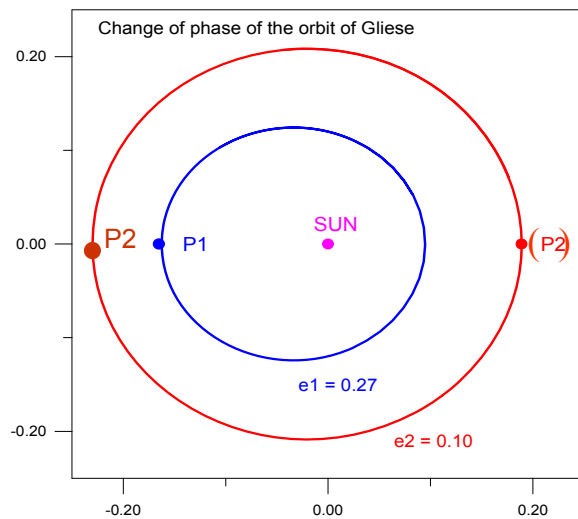


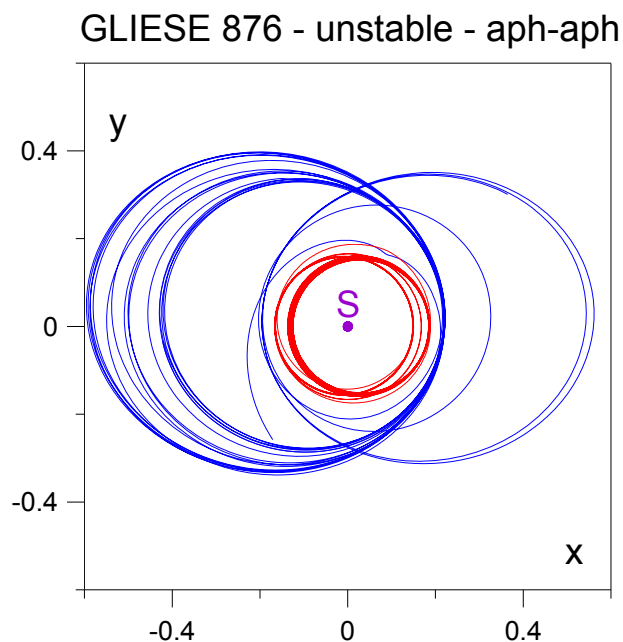
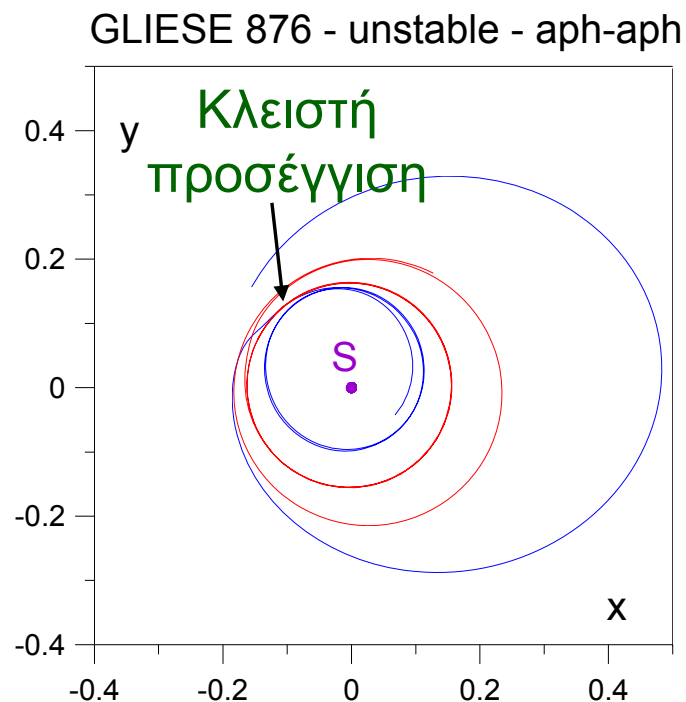
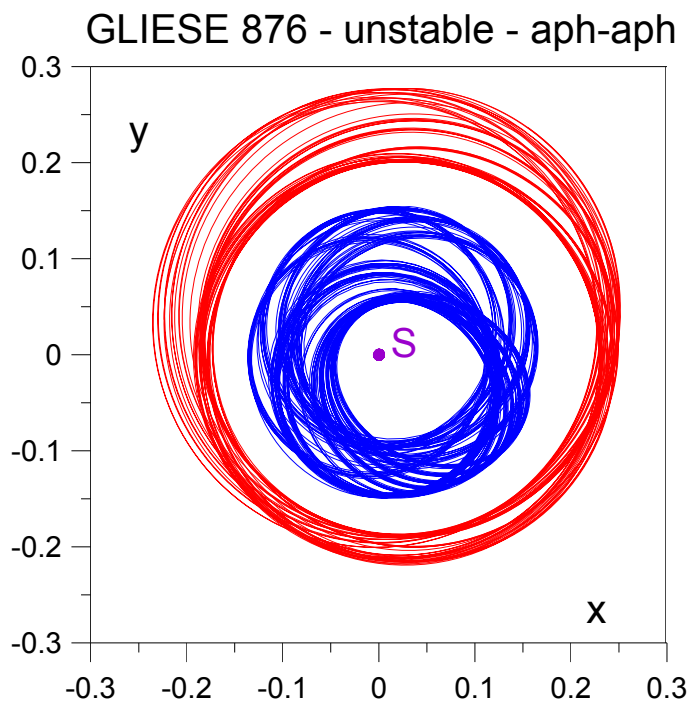
GLIESE 876 - stable - per-per



Η κίνηση είναι
ευσταθής: ο
ένας
πλανήτης δεν
πλησιάζει τον
άλλο.

Πλανήτες στο αφήλιο $\longrightarrow$ αστάθεια





Η κίνηση είναι ασταθής:
μετά από κλειστή
προσέγγιση, αλλάζει
μορφή η κίνηση των
πλανητών.

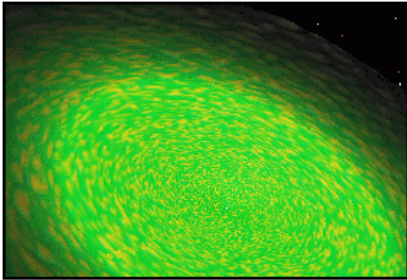
Δημιουργία πλανητών σε πρωτοπλανητικό δίσκο

Τα υπάρχοντα πλανητικά συστήματα
κατέληξαν στην παρούσα, ευσταθή,
κατάστασή τους μετά από μια ‘περιπλάνηση’
στο χώρο, υπό την επίδραση διαφόρων
δυνάμεων (*παλιρροϊκές δυνάμεις,
αλληλεπίδραση με τον πρωταρχικό
πλανητικό δίσκο*).

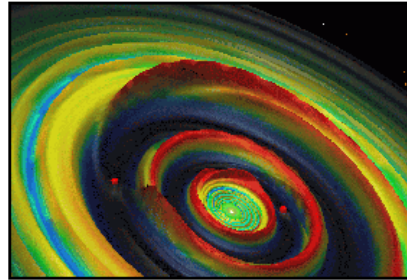
Παγιδεύτηκαν σε ευσταθείς καταστάσεις, που σε
πολλές περιπτώσεις αντιστοιχούν σε συντονισμό.

Εξέλιξη δύο γειτονικών πλανητών σε πρωτοαστρικό δίσκο

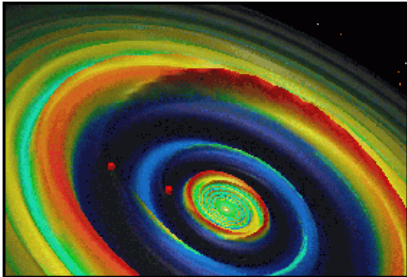
I. Initial Disk



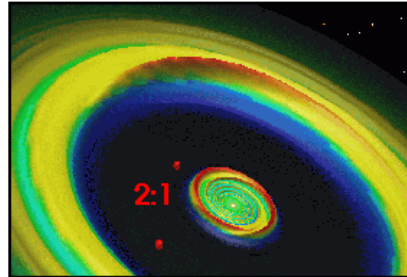
II. Gap Formation



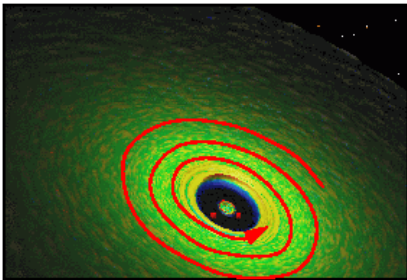
III. Gas Ring Dissipation



IV. Resonant Configuration



V. Inward Migration



VI. Disk Evaporation



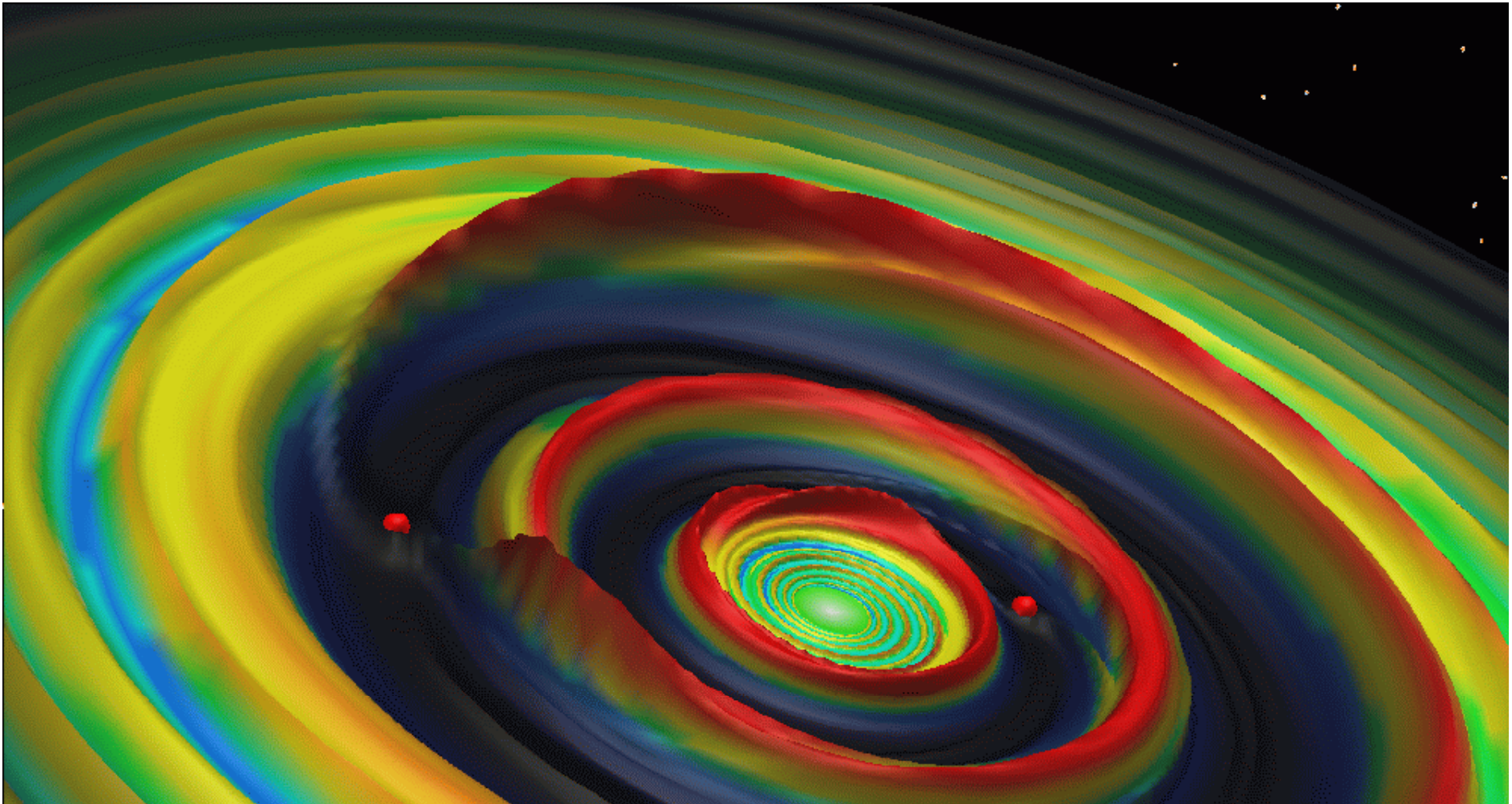
Bryden/Lin 2001

<http://www.ucolick.org/~bryden/2planet>

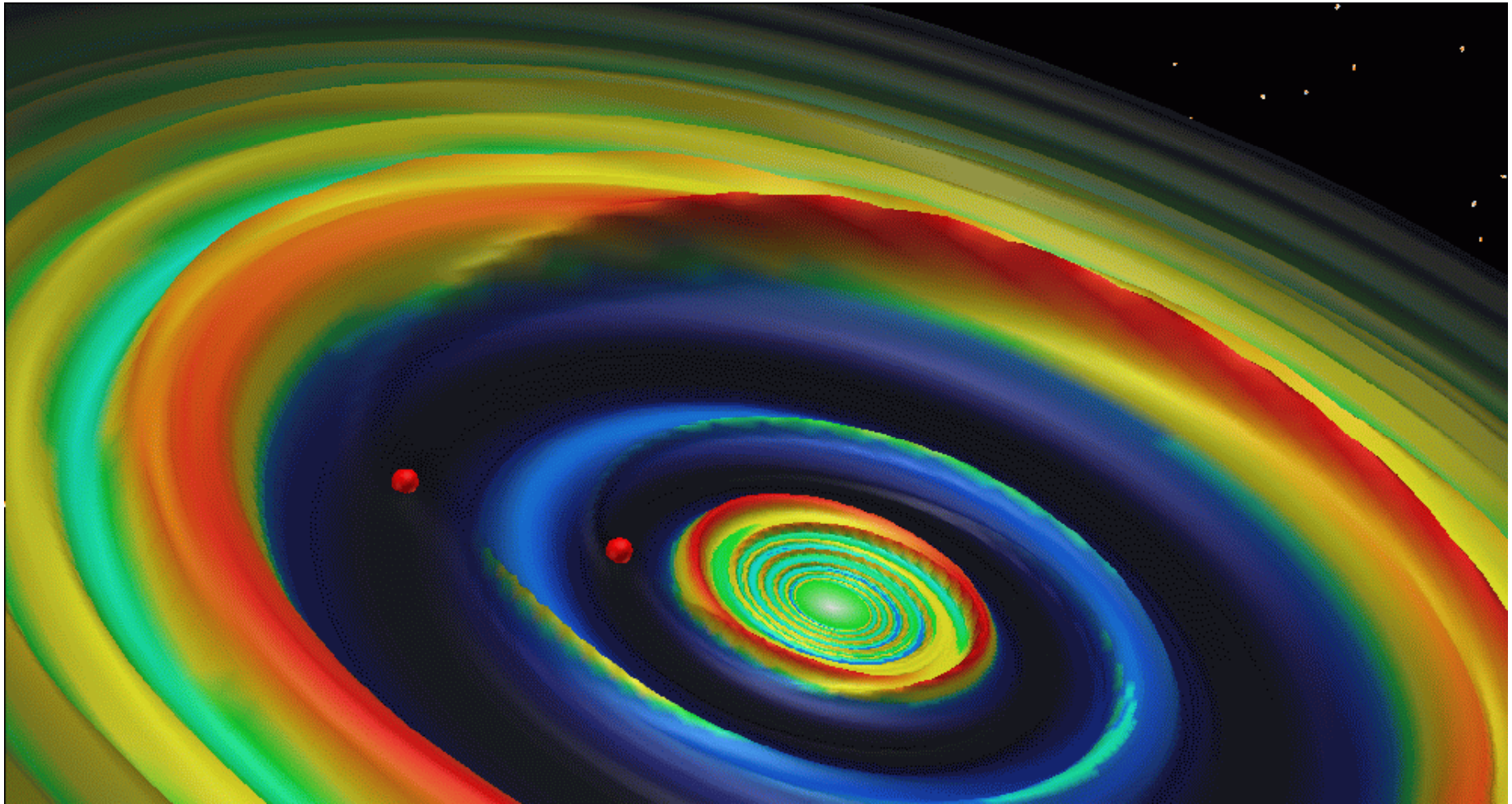
- 1. Η κατάρρευση ενός ενδοαστρικού νέφους δημιουργεί έναν πρωτοαστέρα που περιβάλλεται από ένα πρωτοπλανητικό δίσκο. Στην αρχή εμφανίζονται πλανητοειδή, μετά πλανήτες από τη ύλη του δίσκου.
- 2. Όταν οι πλανήτες αυξηθούν σε μάζες όμοιες με του Δία, δημιουργούν κενά στο δίσκο. Στο σχήμα, δύο πλανήτες είναι αρκετά μεγάλοι για να δημιουργήσουν κενό.
- 3. Τα κύματα που διεγείρονται από τους πρωτοπλανήτες συγκρούονται μεταξύ τους, στο δακτύλιο μεταξύ των πλανητών. Τα κύματα κρούσεως που προκύπτουν κάνουν το δακτύλιο να διασκορπισθεί και να εξαφανισθεί σε σύντομο διάστημα.
- 4. Ο εξωτερικός και ο εσωτερικός δίσκος ωθούν τους πλανήτες να πλησιάσουν, αλλά αρχικά παραμένουν μακριά, λόγω του αέριου δακτυλίου μεταξύ τους. Μόλις ο δίσκος διαλυθεί, οι πλανήτες αναγκάζονται να πλησιάσουν, μέχρι να παγιδευτούν στο συντονισμό 2:1.
- 5. Μετά τη δημιουργία κενού, οι πλανήτες ακολουθούν τη γενική κίνηση του αέριου δίσκου. Καθώς το αέριο συσσωρεύεται στον κεντρικό αστέρα, οι πλανήτες κινούνται σπειροειδώς προς τα μέσα. Η μετανάστευσή τους σταματάει σε μικρές ακτίνες, ίσως λόγω απευθείας μαγνητικής αλληλεπίδρασης με τον κεντρικό πρωτοαστέρα
- 6. Κάποτε ο δίσκος καθαρίζει, και αφήνει πίσω του δύο μικρής περιόδου πλανήτες στο συντονισμό 2:1.

Εξέλιξη πρωτοπλανητικού δίσκου για δύο γειτονικούς πλανήτες.

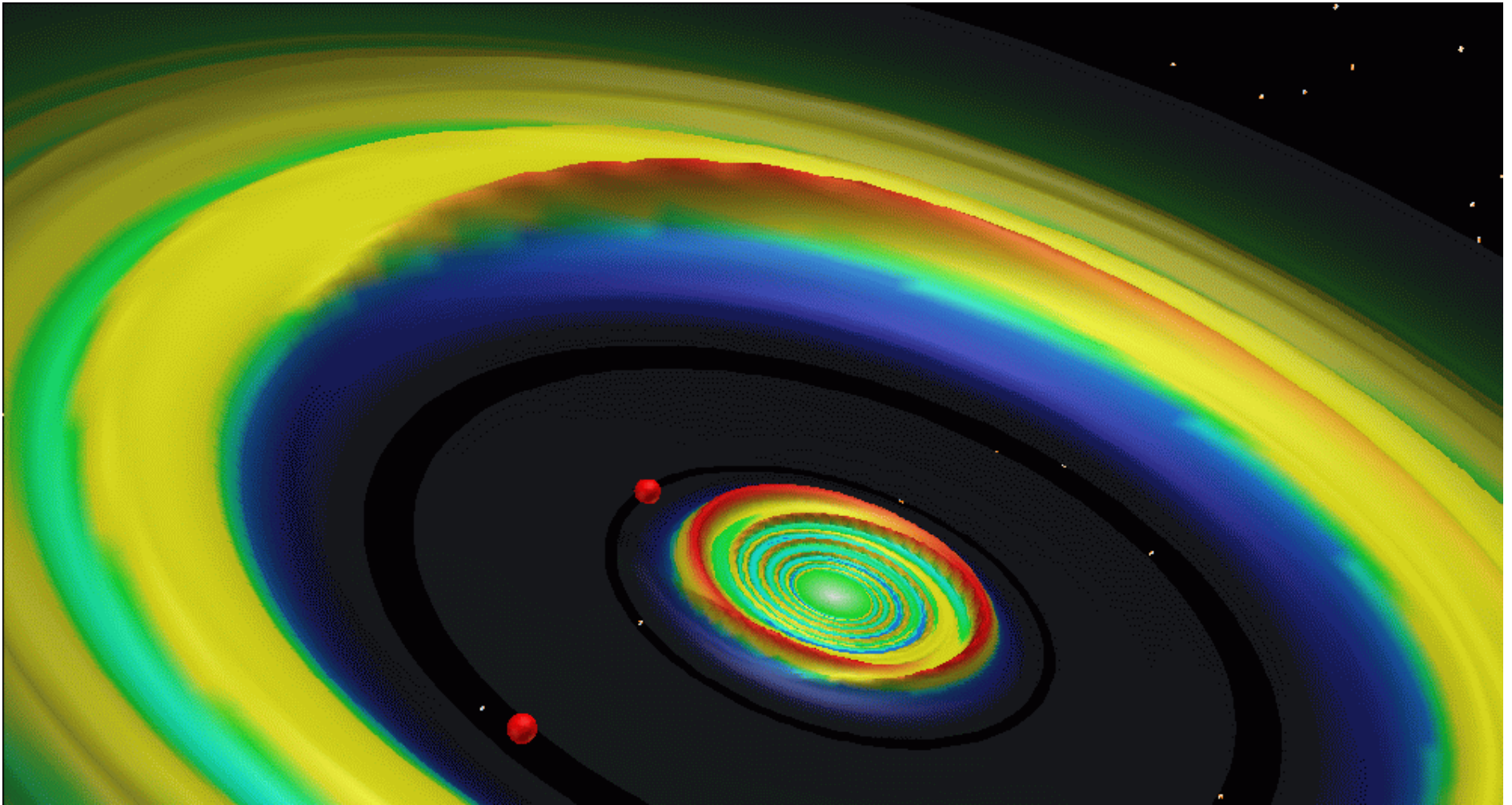
- Οι δύο πλανήτες έχουν μάζες ίσες προς τη μάζα του Δία.
- Οι σταθερές τροχιές τους διαφέρουν κατά τον παράγοντα 2.



Δημιουργία κενού γύρω από κάθε πλανήτη μετά από 100 τροχιές.



Τα κύματα που διεγείρουν οι πλανήτες συγκρούονται μέσα στο δακτύλιο, προκαλώντας ισχυρά κύματα κρούσεως, με αποτέλεσμα τη φθορά του δακτυλίου.



Τελικά, μετά από 1000 τροχιές, ο δακτύλιος
διαλύεται.

Πλανητικά συστήματα υπάρχουν πολλά.
Μπορούν όμως να συντηρήσουν ζωή;
Και σε ποια μορφή;

Είναι η Γη μοναδική ή υπάρχουν πολλοί πλανήτες
με τα ίδια χαρακτηριστικά;

*Εάν η σελήνη ήταν μικρότερη, ο άξονας της Γης θα
εκτελούσε χαοτική κίνηση, με αποτέλεσμα την
αστάθεια του κλίματος.*

*Η σελήνη είναι πολύ μεγαλύτερη από τους άλλους
δορυφόρους που γνωρίζουμε (σχετικά με τη μάζα
του πλανήτη)!*

Σε τέσσερα χρόνια, με την ολοκλήρωση του προγράμματος Kepler, θα γνωρίζουμε αν ο πλανήτης μας είναι μοναδικός ή αν υπάρχουν πολλοί πλανήτες όμοιοι με τον δικό μας.

Αυτό όμως δεν σημαίνει σε έναν Γήινο πλανήτη θα έχει αναπτυχθεί ζωή!

Υπάρχει νοήμων ζωή στο σύμπαν;

Μερικές σκέψεις

- Εάν αποδειχθεί ότι υπάρχουν νοήμονα όντα σε άλλους κόσμους, θα είναι αυτό ένα σοκ για την ανθρωπότητα;
- Βρέθηκε παλαιότερα η ανθρωπότητα σε τέτοια κατάσταση;

Όταν ανακαλύφθηκε η Αμερική πριν
από πέντε αιώνες, ή η Αυστραλία
αργότερα, και διαπιστώθηκε ότι
υπάρχουν και σε αυτούς τους ‘νέους
κόσμους’ νοήμονα όντα, πώς
αντέδρασε ο τότε πολιτισμένος κόσμος;
Είναι πολύ διαφορετική η τότε κατάσταση
από την ενδεχόμενη ανακάλυψη, σήμερα,
νοήμονος ζωής σε κάποιο εξωπλανήτη;

Και μια τελευταία ερώτηση:

- Εάν συναντούσατε κάποιον εξωγήινο, τι θα τον ρωτούσατε;