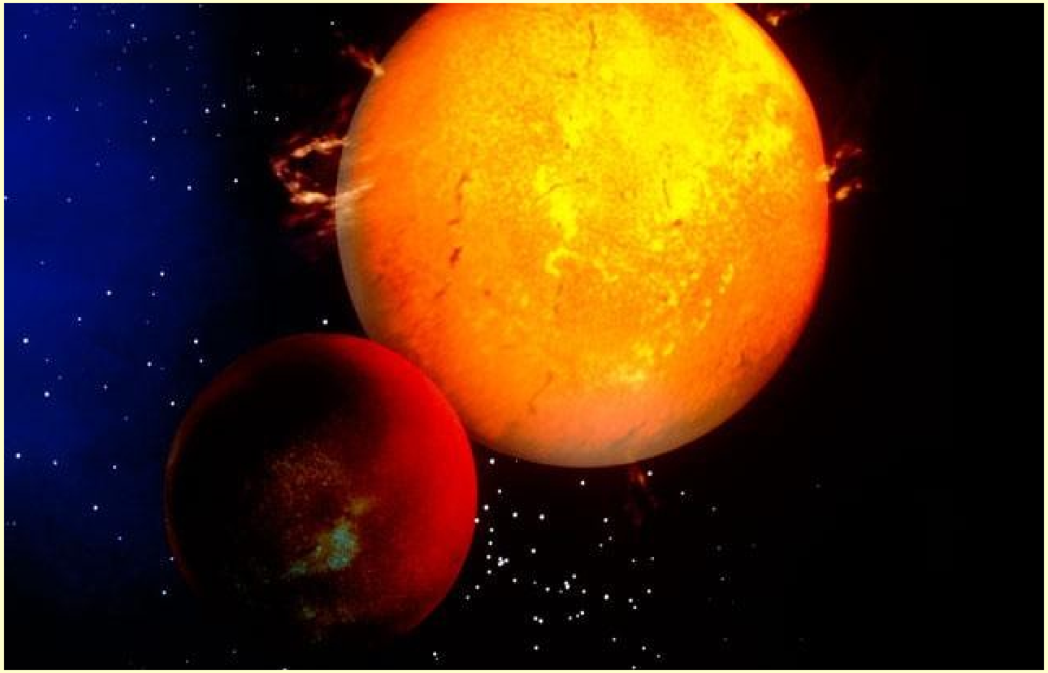
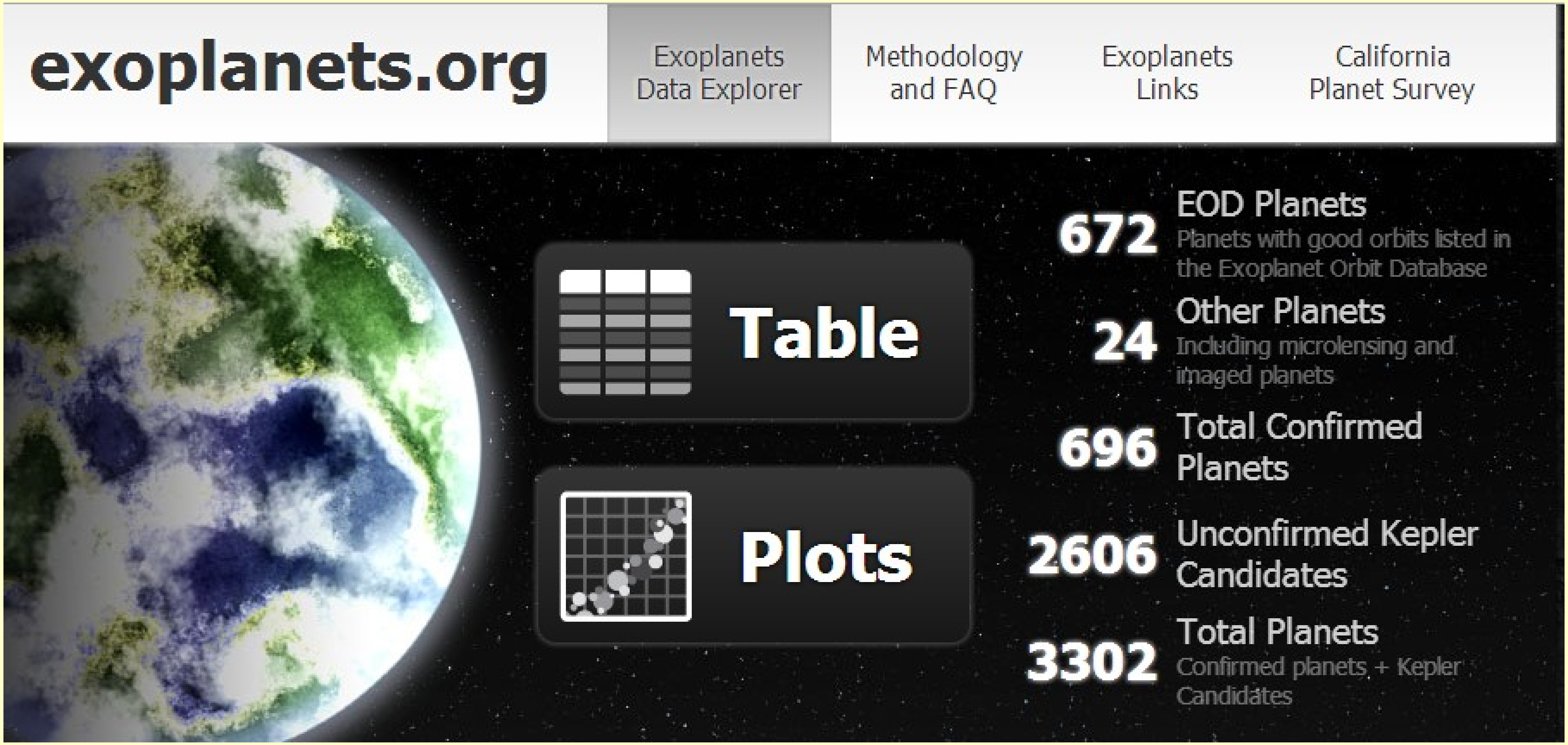
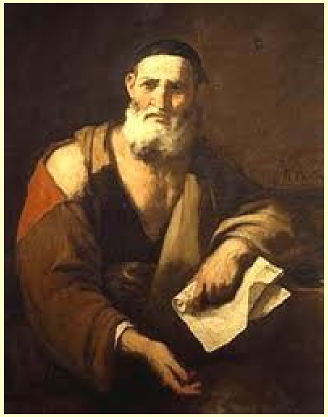
Exoplanetas: História, busca e classificação



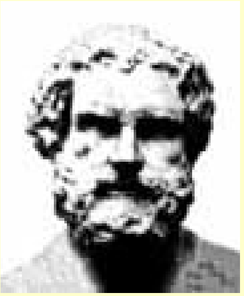
Exoplanetas descobertos até 02/04/2013 às 12:00



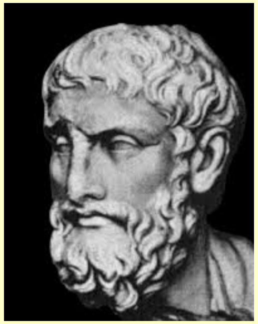
História



The worlds come into being as follows: many bodies of all sorts and shapes move from the infinite into a great void; they come together there and produce a single whirl, in which, colliding with one another and revolving in all manner of ways, they begin to separate like to like.
Leucippus (~480-420 A.C.)



In some worlds there is no Sun and Moon, in others they are larger than in our world, and in others more numerous. In some parts there are more worlds, in others fewer (...); in some parts they are arising, in others failing. There are some worlds devoid of living creatures or plants or any moisture.
Democritus (~460~370 A.C.)



There are infinite worlds both like and unlike this world of ours. For the atoms being infinite in number, as was already proven, (...) there nowhere exists an obstacle to the infinite number of worlds.
Epicurus(341-270 A.C.)

There cannot be more worlds than one.
Aristóteles(384-322 A.C.)

O pensamento de Aristoteles vigorou até começar a ser novamente discutido no século XVI...

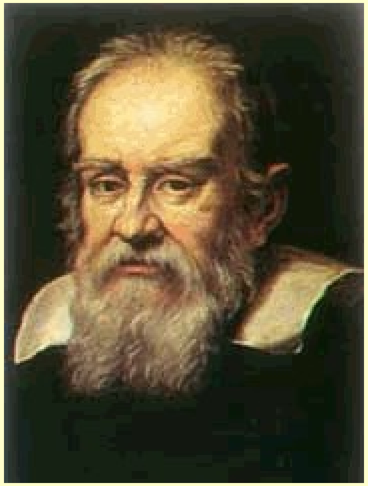
¨*There are countless countless suns and countless earths all rotating around their suns in exactly the same ways as the seven planets of our system...The countless worlds in the Universe are no worse and no less inhabitated than our world.*¨
Giordano Bruno (1548-1600)

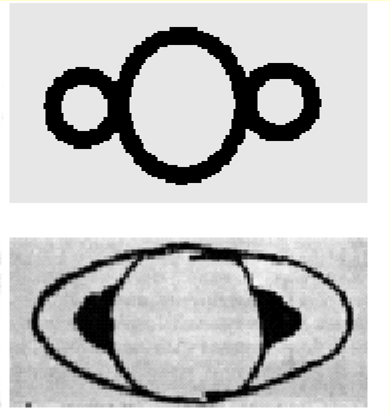
Provavelmente influenciado pelas ideias de...

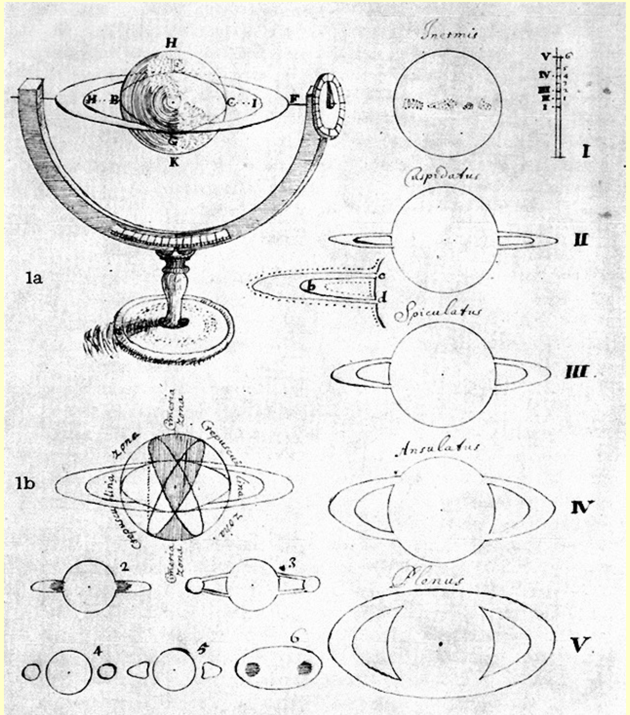
...Nicolau Copérnico e a suposição de que os planetas do nosso sistema solar giram em torno do sol.

E em 1609, com a invenção do telescópio por **Galileu Galilei**, os olhos voltam-se para o que há além da Terra.

-Descoberta das luas de Júpiter
-Anel de Saturno, o planeta com¨orelhas¨.
Posteriormente identificado por...





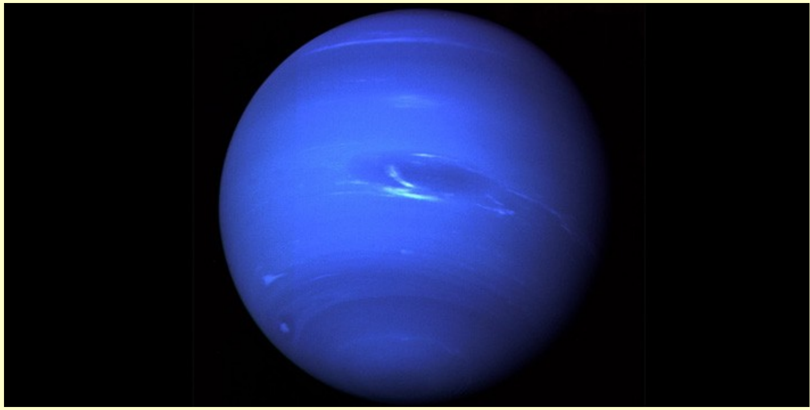


...Christiaan Huygens

-Aprimoramento do telescópio.
-Identificou os anéis de Saturno e descobriu sua maior lua: Titan.
-Conhecido pelo embate com Newton sobre a natureza corpuscular x ondulatória da luz.

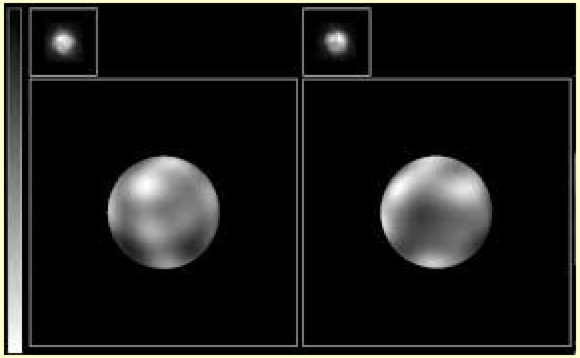
E então em 1781, William Herschel descobre o primeiro planeta depois de muito tempo: Urano!

Em 1855 no East India Observatory, são encontradas anomalias orbitais na estrela binária 70 Ophiuchi pelo Capt. W.S. Jacob. Considerada uma evidência da existência de um exoplaneta. Contudo, nos próximos 140 anos, só resultaram em falsos alarmes.



Porém, durante esse tempo, outras descobertas foram feitas:

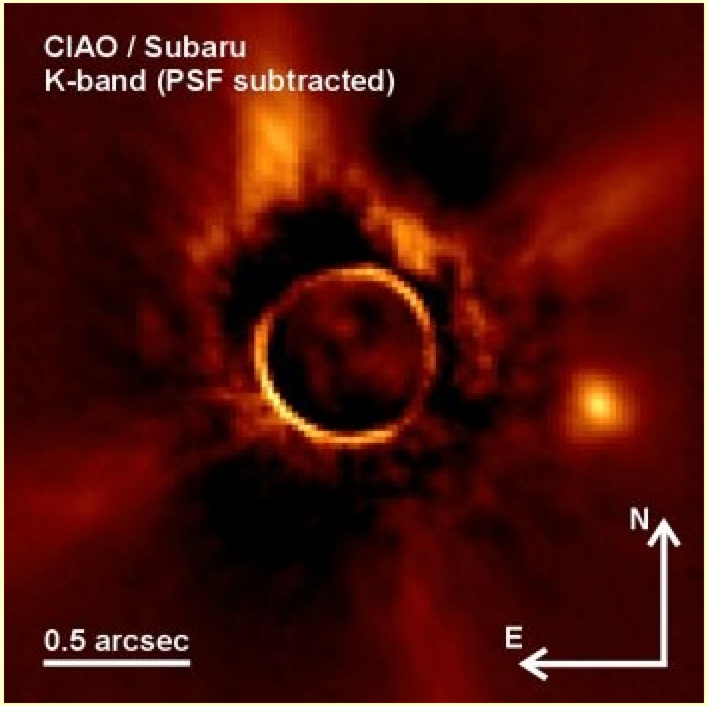
-Descoberta de Netuno, por predições matemáticas, perturbação em Urano.



-Descoberta de Plutão.

γ Cephei

-Foi descoberto em 1988 por Bruce Campbell, Gordon Walker and Stephenson Yang.

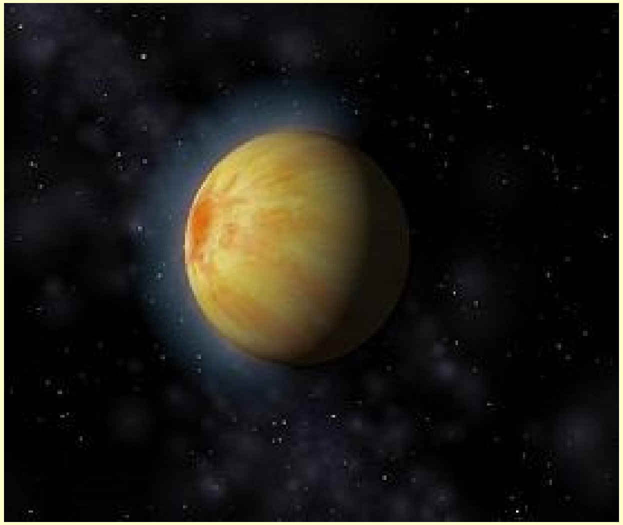


-Planeta orbitando um pulsar.

-Sua confirmação, porém, só foi realizada em 2003! Diferentemente do...

51 Pegasi b

Descoberto por Michel Mayor e Didier Queloz, em 1995.
Sua confirmação veio apenas uma semana depois por Geofrrey Marcy da Universidade Estadual de São Francisco e Paul Butler da Universidade da Califórnia, Berkeley.



*As letras após o nome da estrele seguem a ordem de sua descoberta. Neste caso, se outros planetas forem descobertos, a eles serão atribuídas as letras, c,d,e,...

Mas como se detectou esse planeta, e como se detectam outros exoplanetas?

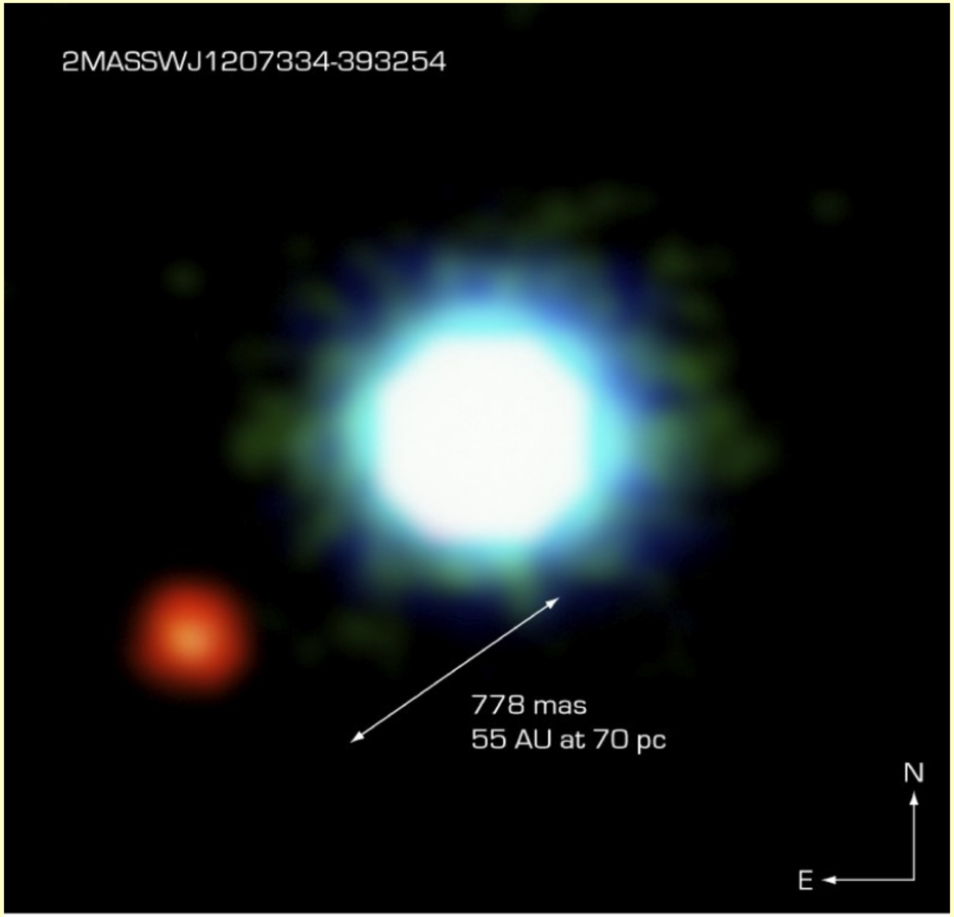
Métodos para detecção de Exoplanetas

- Observação Direta,
- Lentes Gravitacionais,
- Método das Velocidades Radiais,
- Método do Trânsito - Fotometria

Buscando e descobrindo exoplanetas

Luminosidade
de um planeta
igual a Júpiter
=
Luminosidade do Sol
1 000 000 000

Anã Marrom pouco
luminosa



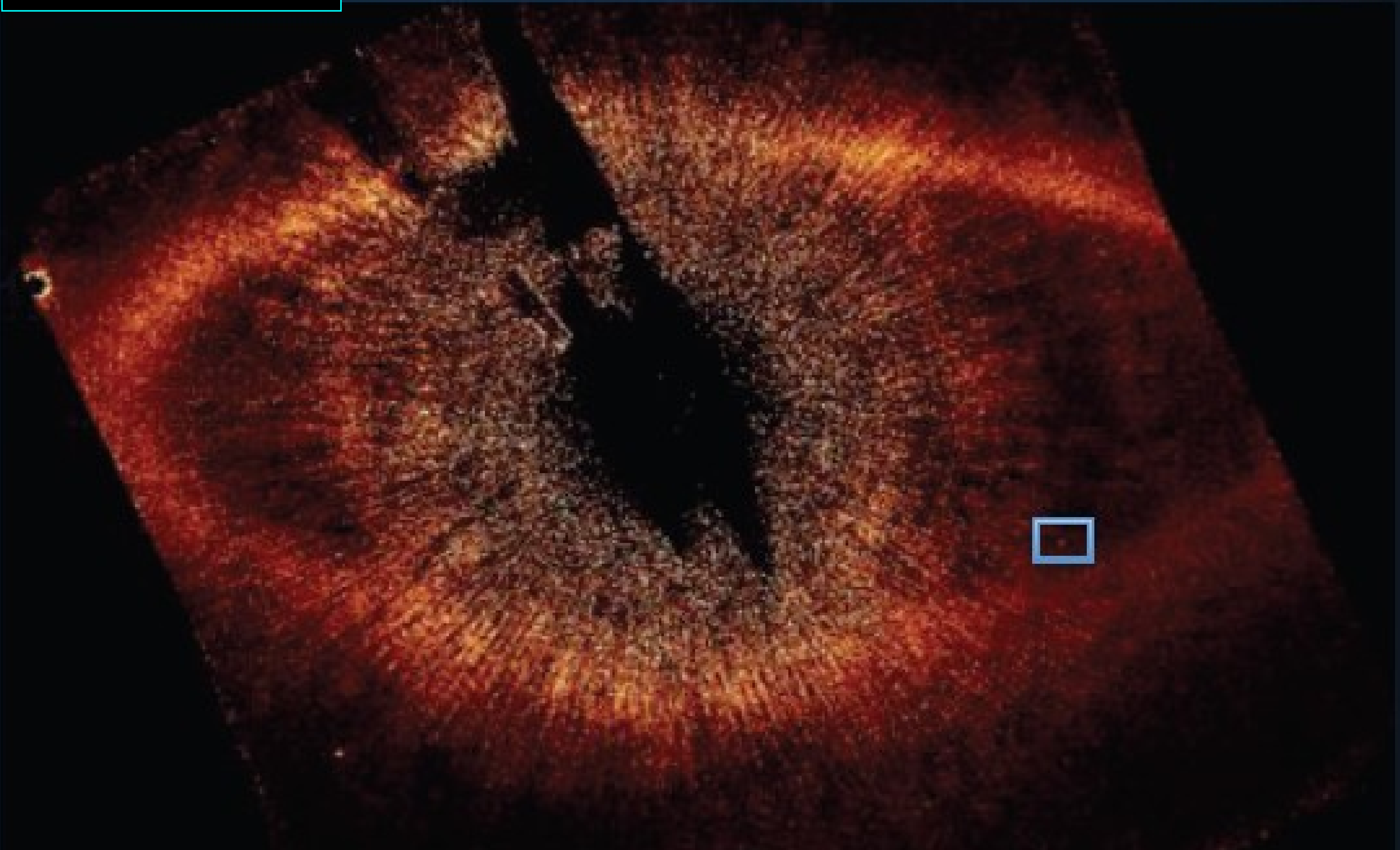
The Brown Dwarf 2M1207 and its Planetary Companion
(VLT/NACO)

ESO PR Photo 14a/05 (30 April 2005)

2006: HST/ACS deep multi-wavelength imaging

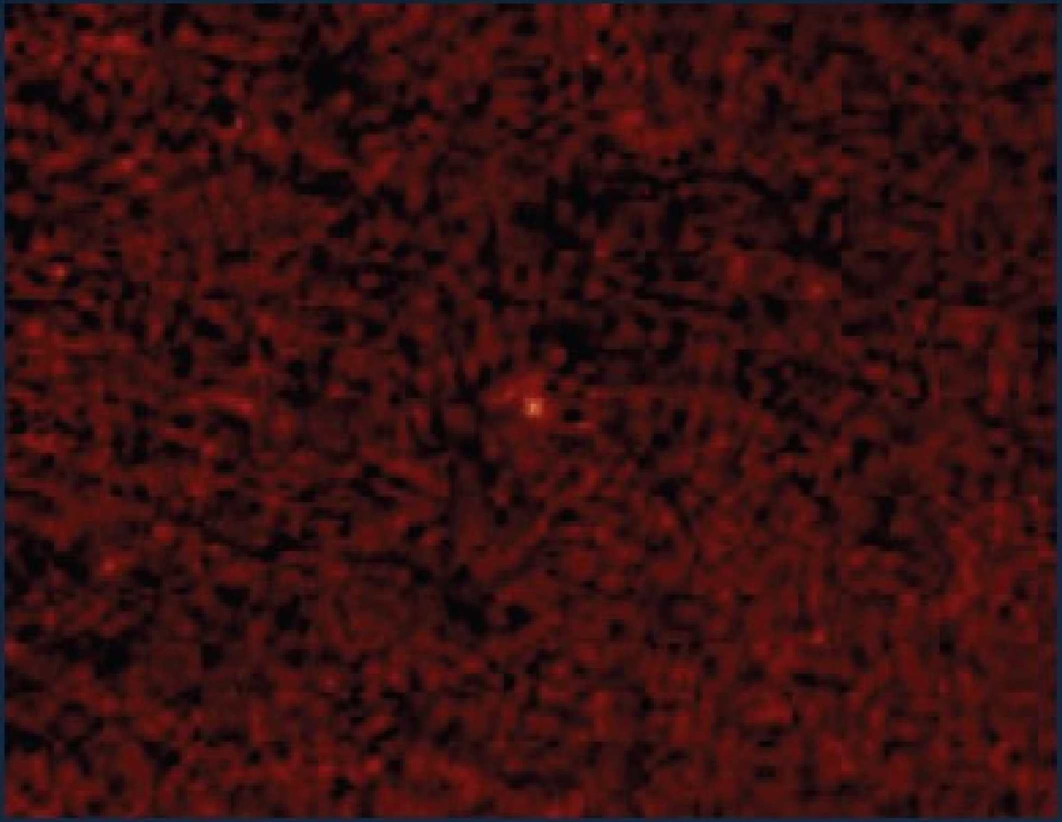
F435W, F606W, F814W

Fomalhaut b



Fomalhaut b

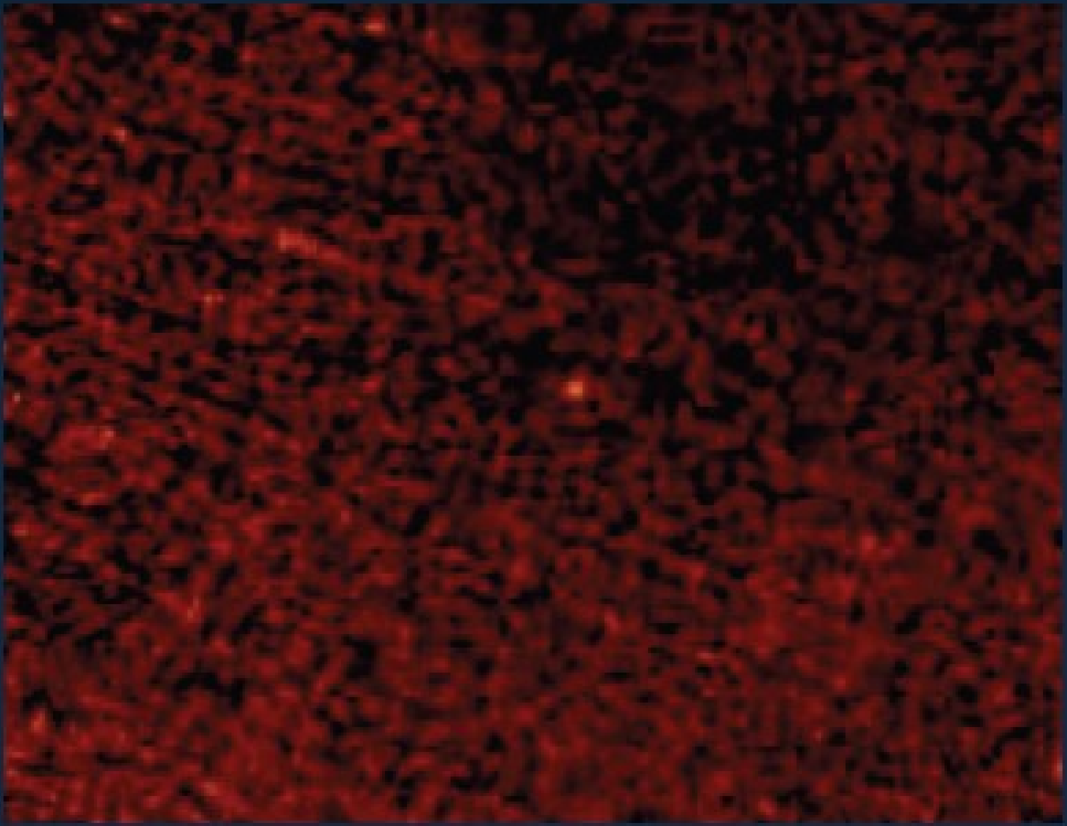
2004



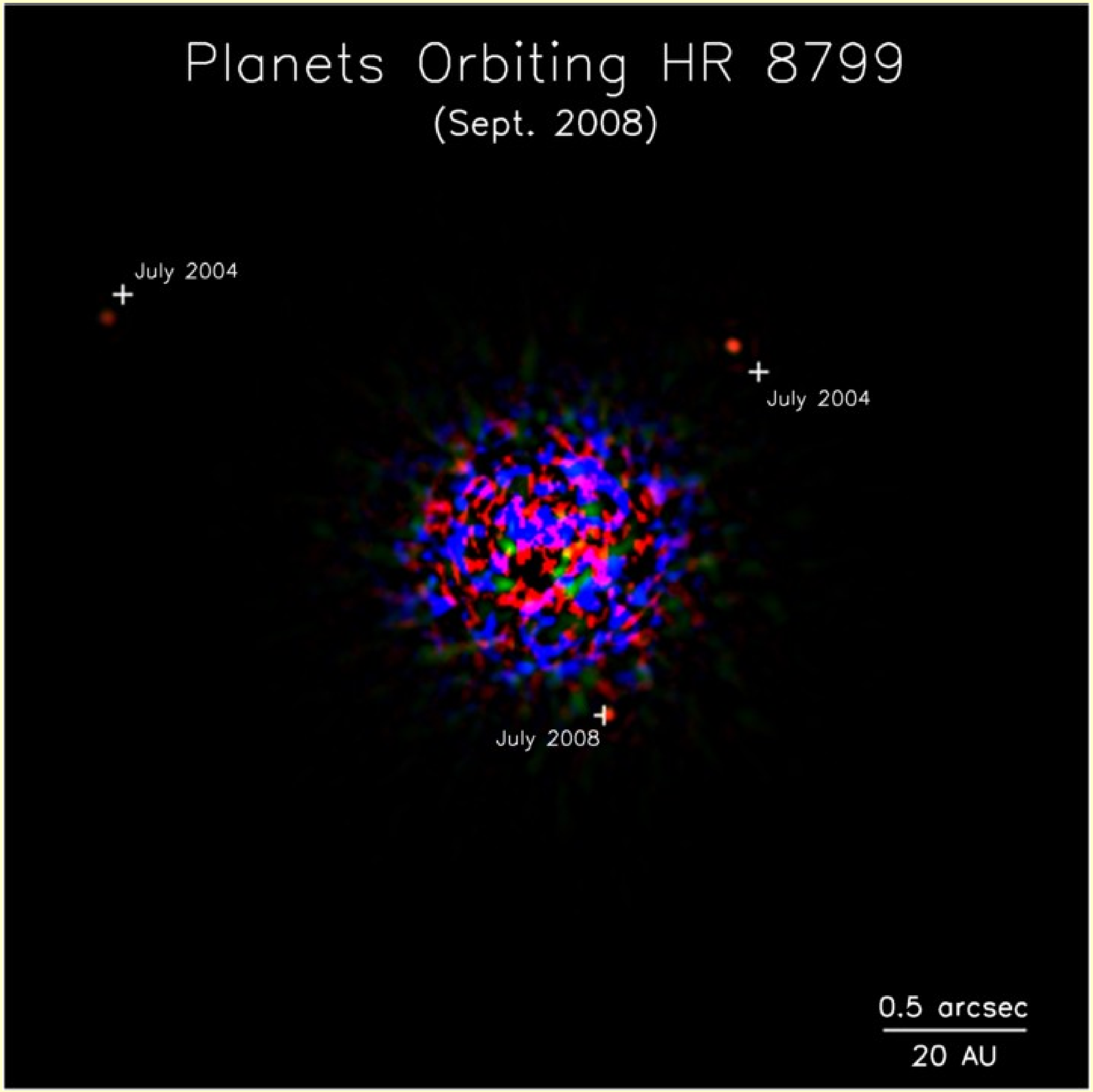
Paul Kalas (University of California, Berkeley)

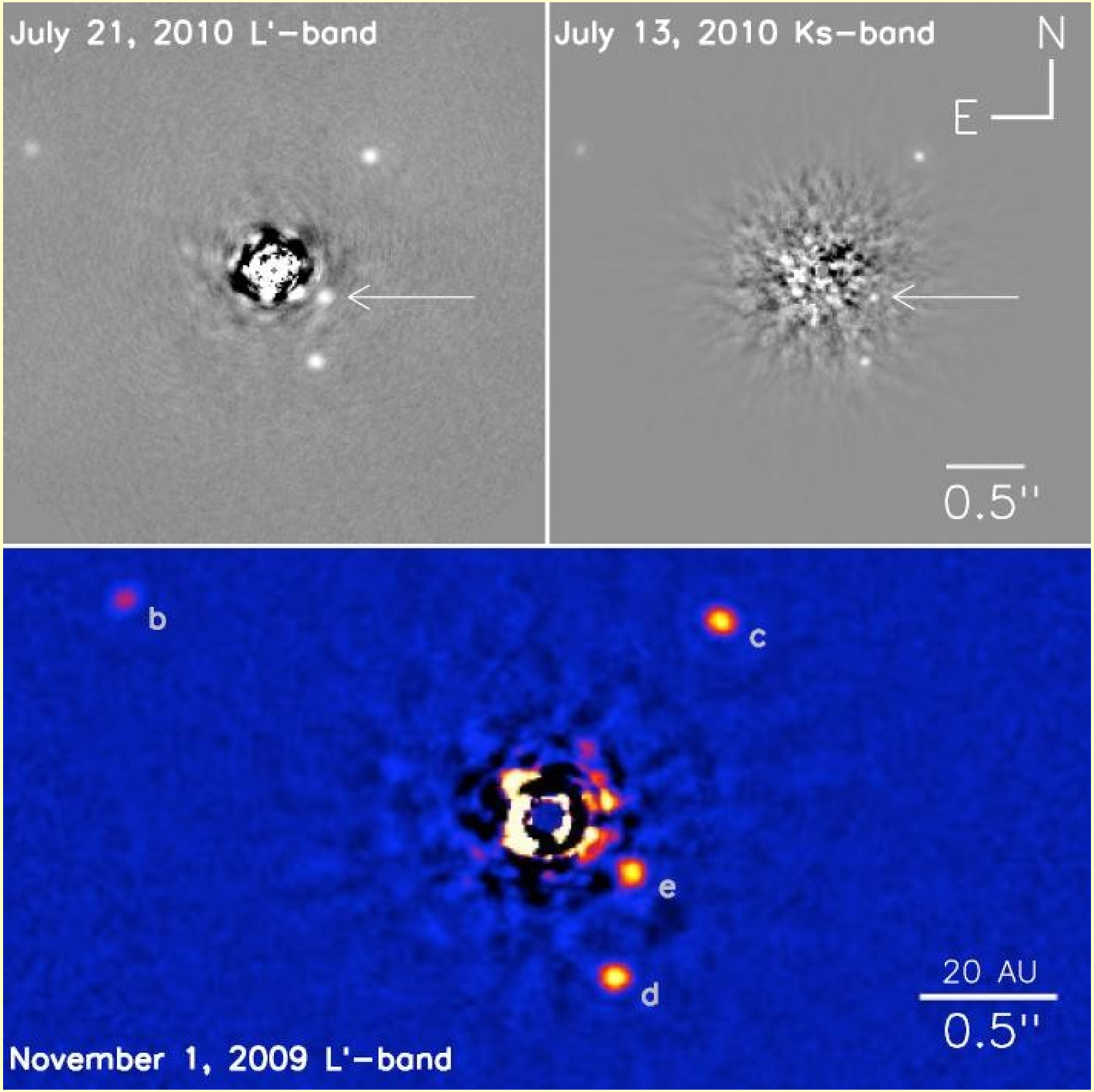
Fomalhaut b

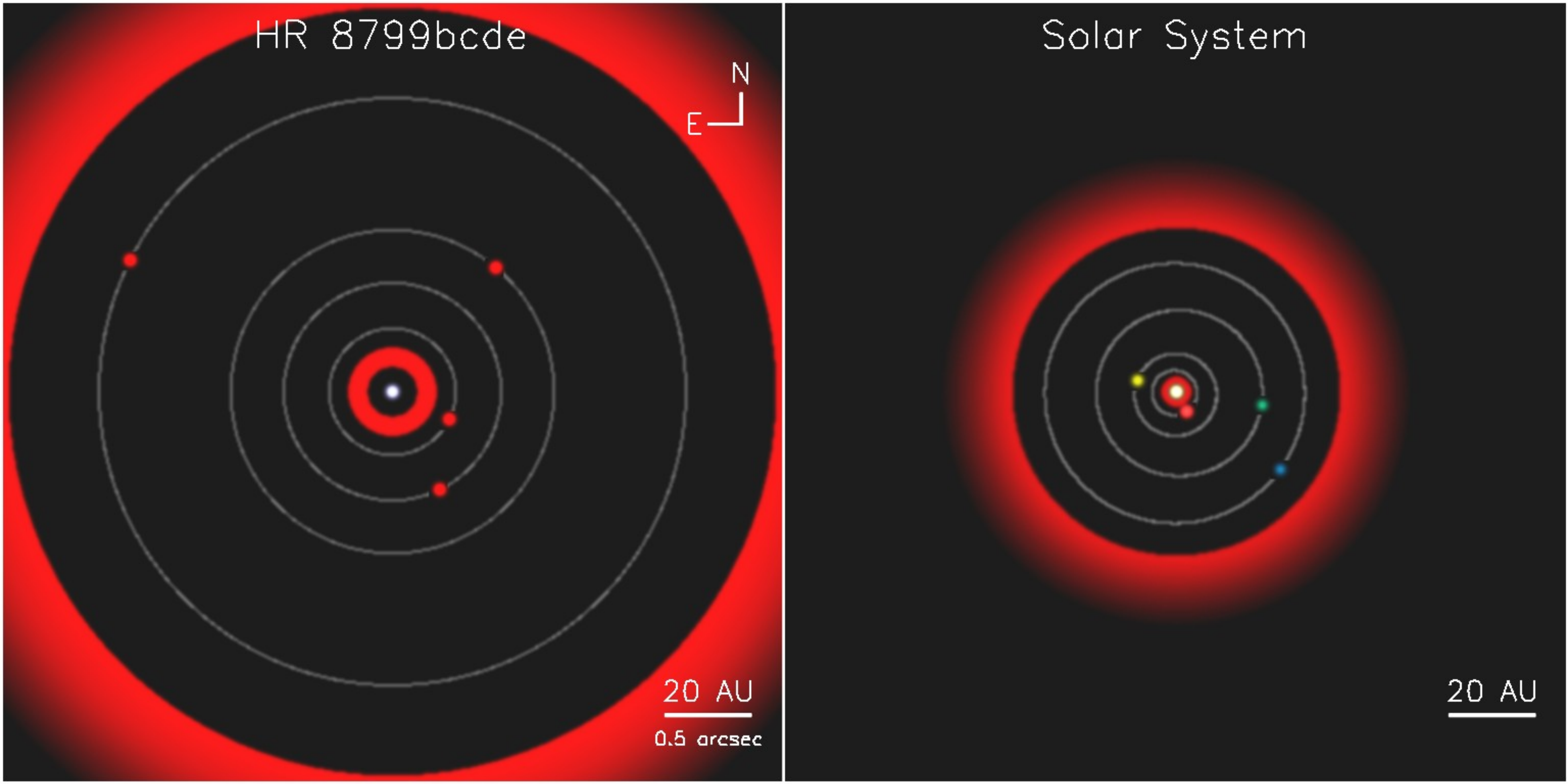
2006



Paul Kalas (University of California, Berkeley)

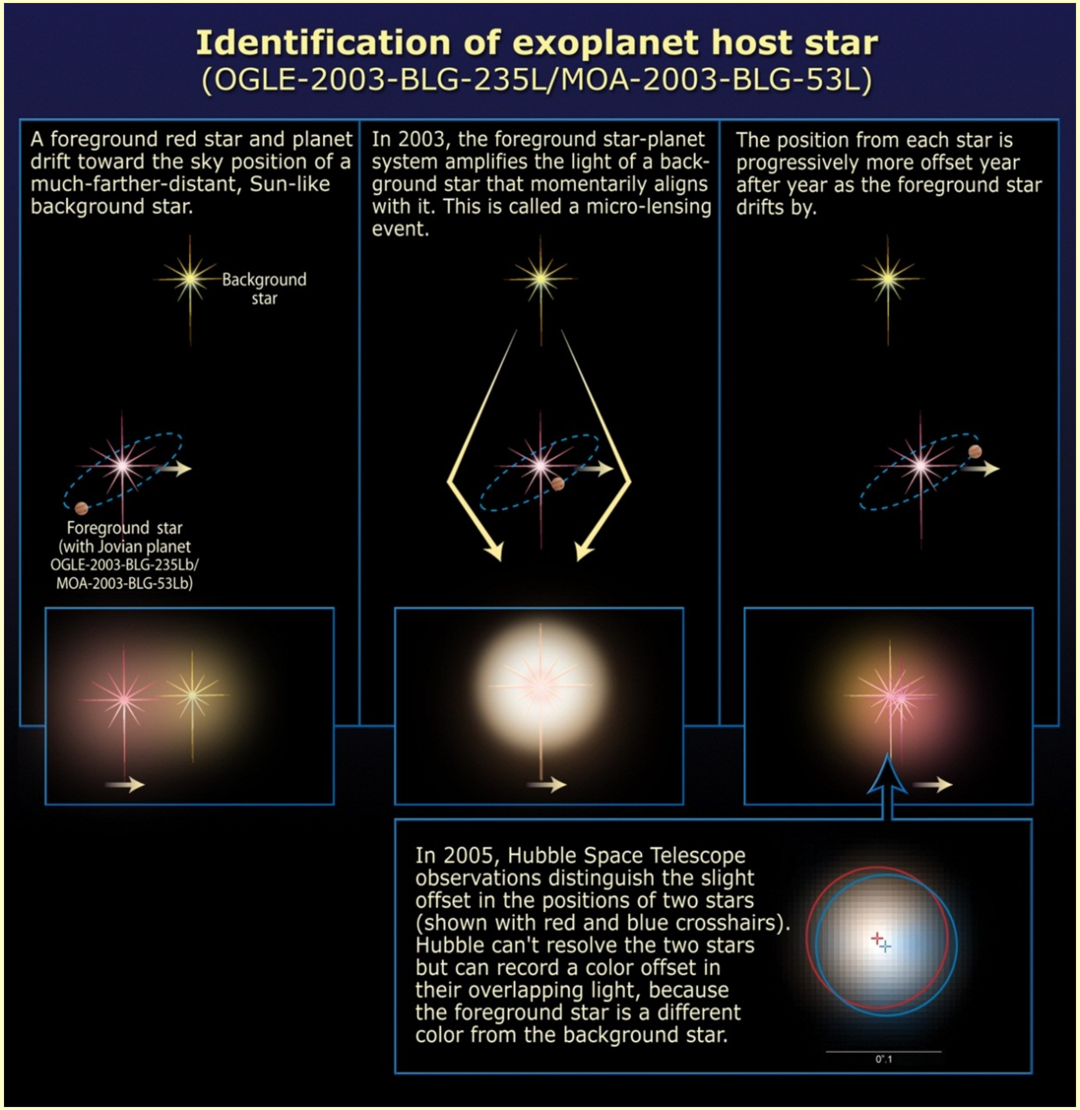

Planets Orbiting HR 8799
(Sept. 2008)
July 2004
July 2004
July 2008
0.5 arcsec
20 AU

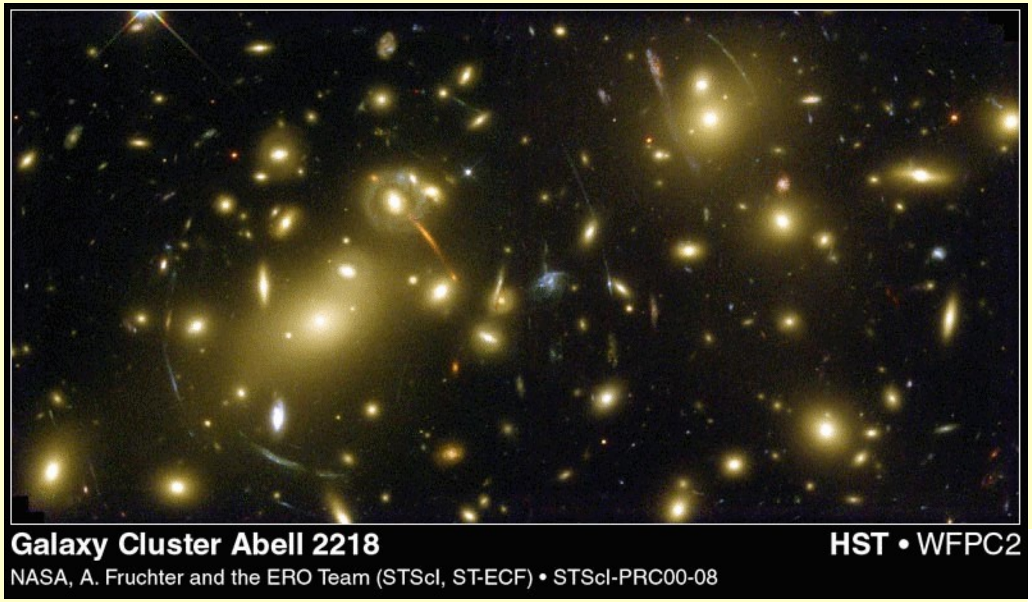

July 21, 2010 L'-band
July 13, 2010 Ks-band
N
E
0.5''
b
c
e
d
20 AU
0.5''
November 1, 2009 L'-band


HR 8799bcde
N
E
20 AU
0.5 arcsec
Solar System
20 AU

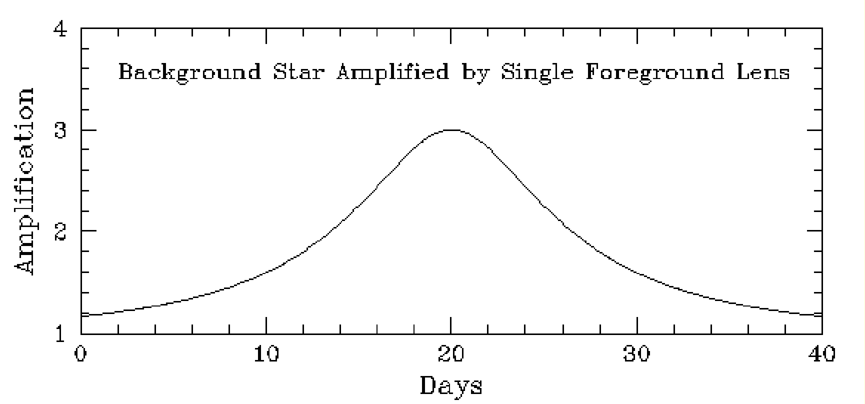
Lentes Gravitacionais

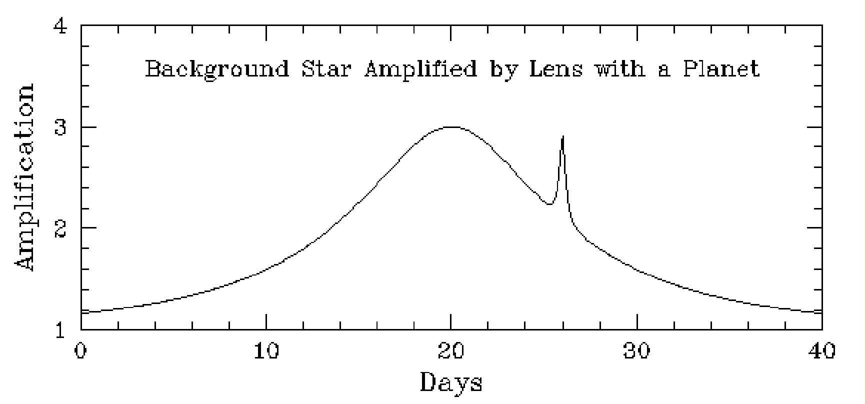
- Cerca de 15 planetas encontrados
- Variação no brilho da estrela lente.





Fotometria da Luz das Estrelas





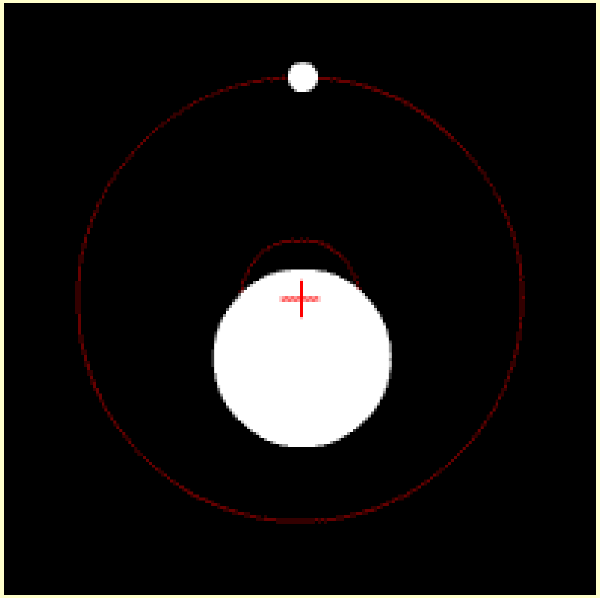
Como os planetas afetam as estrelas?

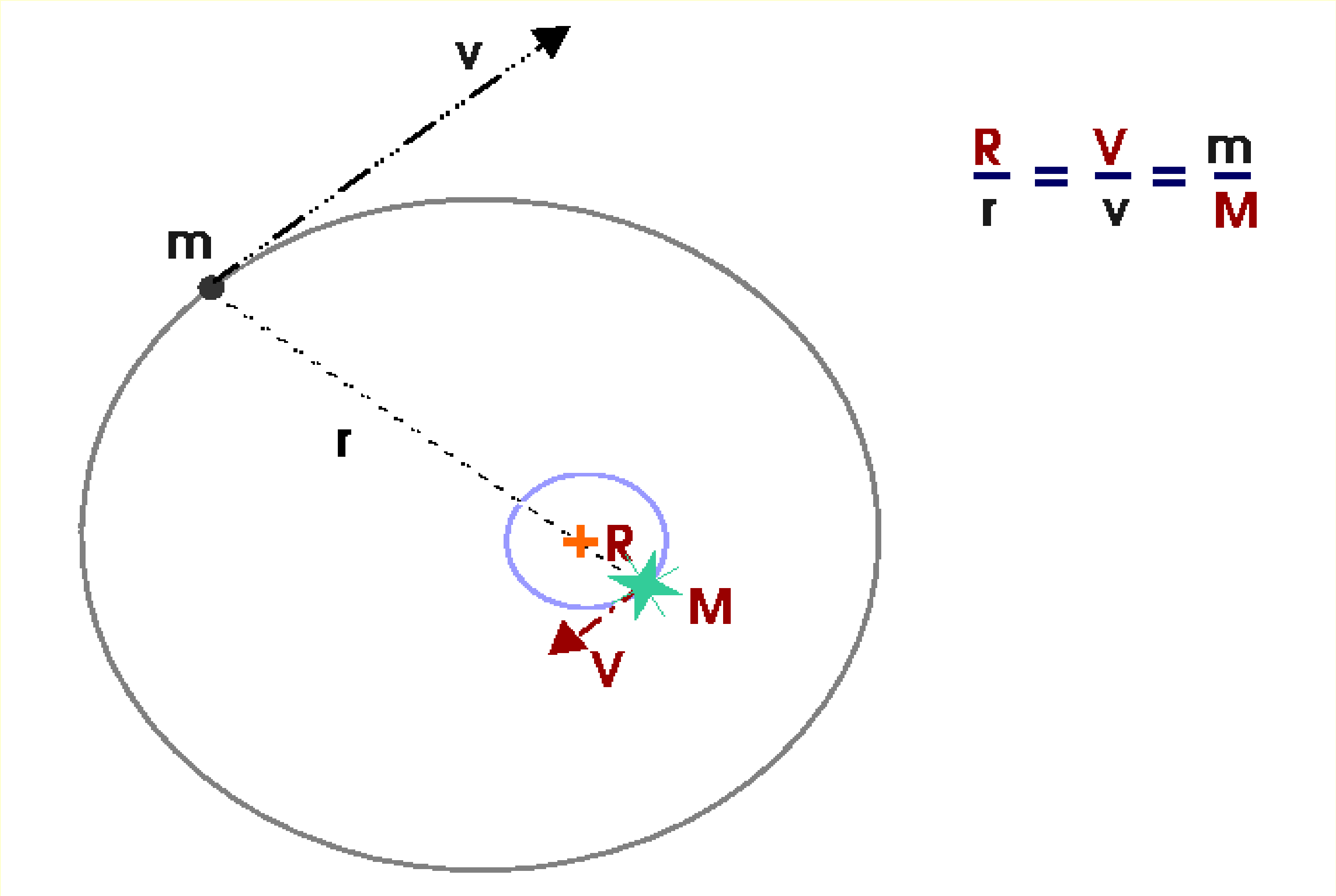
- Interação Gravitacional

- Movimento em torno do centro de massa do sistema.

- Leis de Kepler:

3ª Lei: $\frac{R^3}{T^2} = \frac{G\,m}{4\,\pi^2}$.





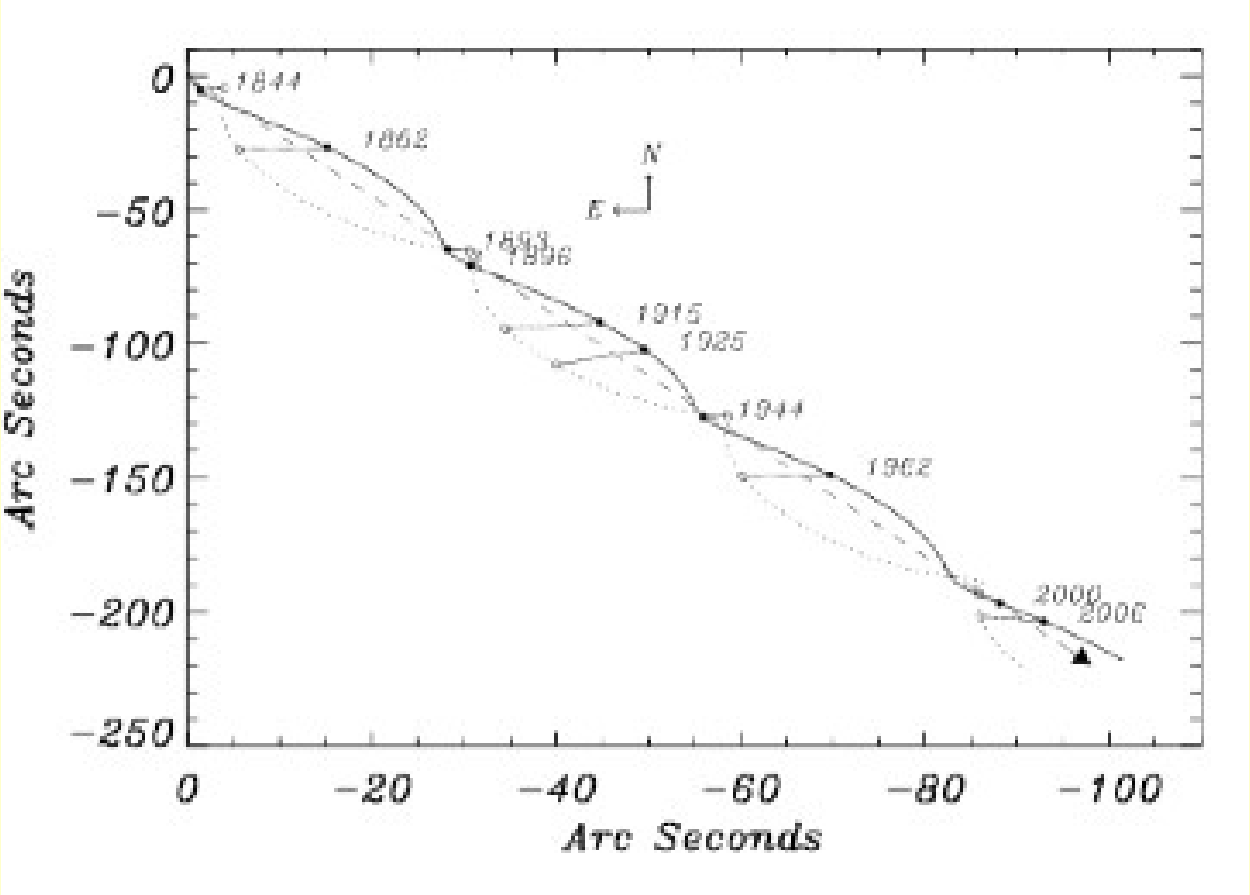
r,v,R,V são coordenadas e velocidades baricêntricas

Estrela de Barnard

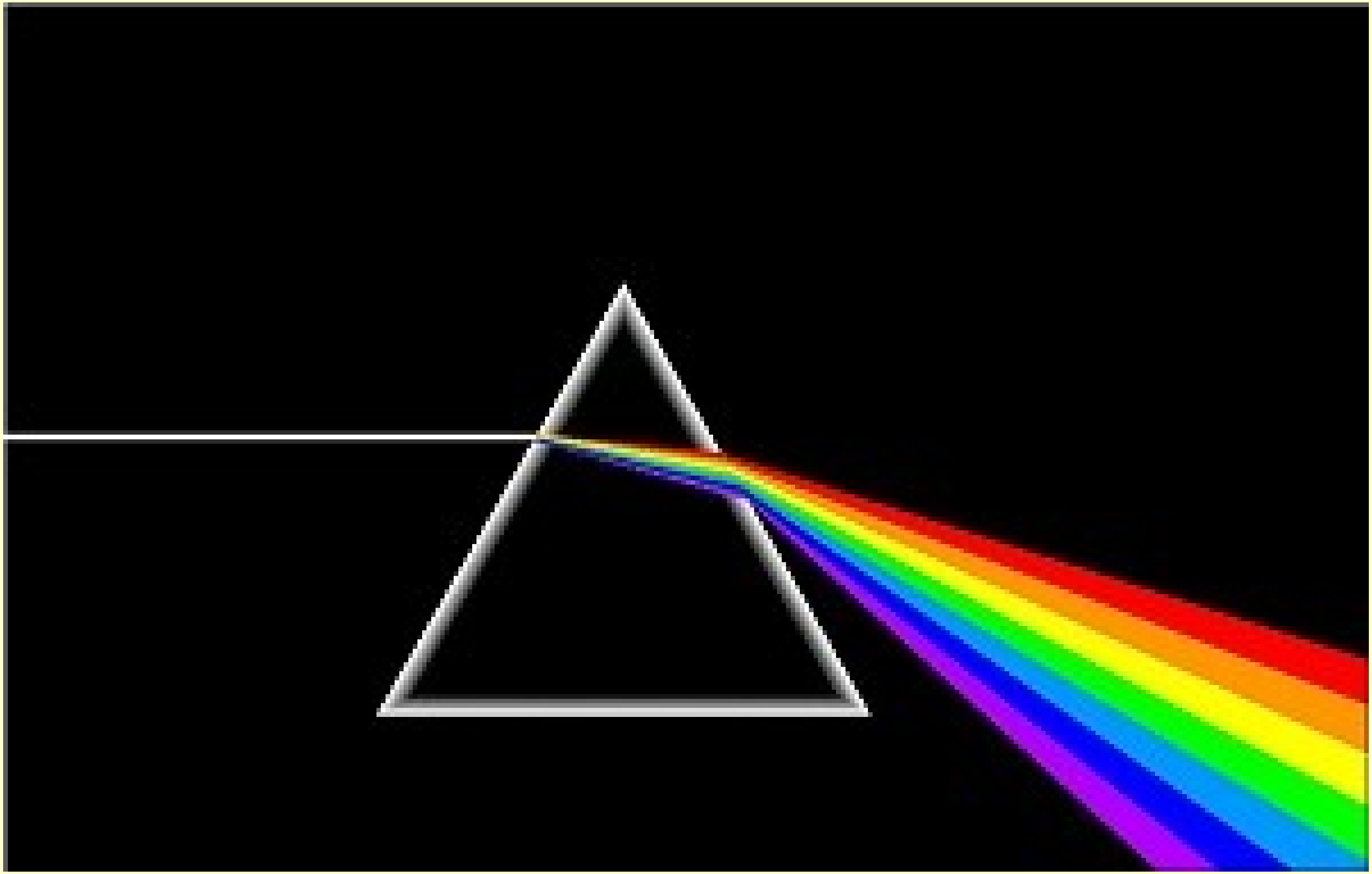
Estrelas companheiras afetam o movimento uma da outra.

E quanto a planetas?

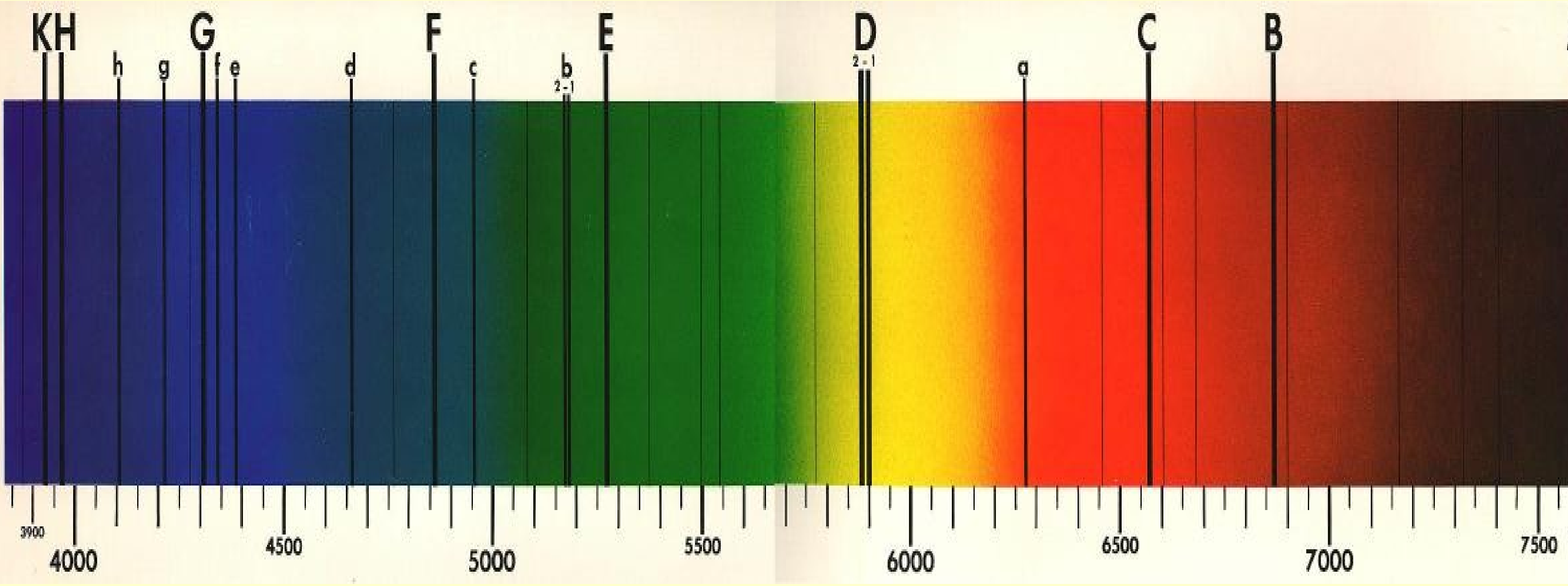
Sirius A+B

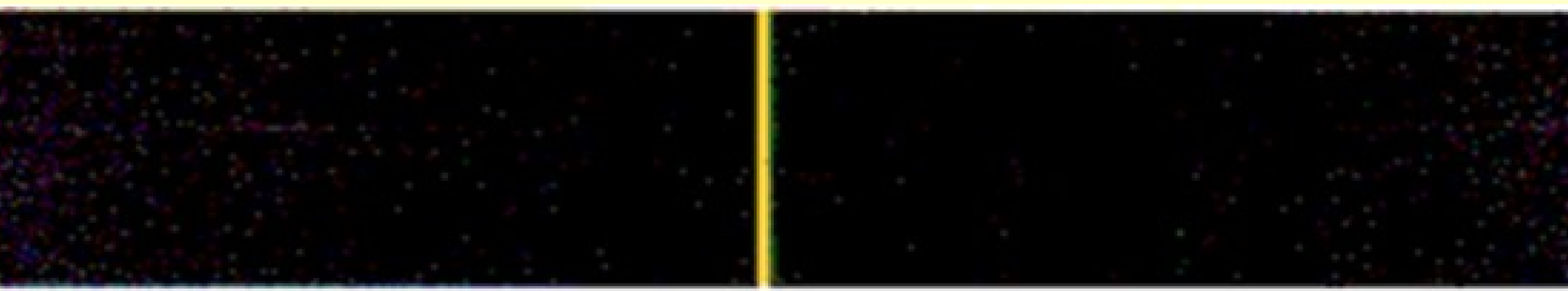


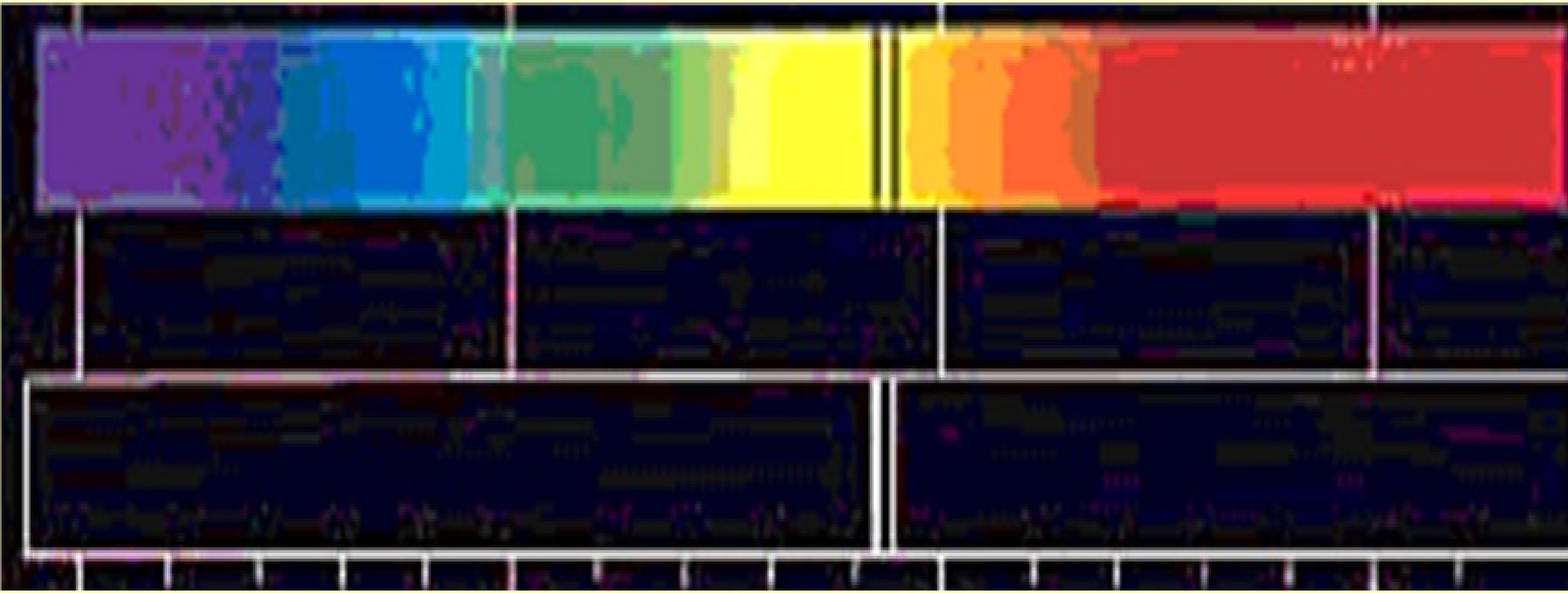
Como então, observar as pequenas variações de velocidade nas estrelas?

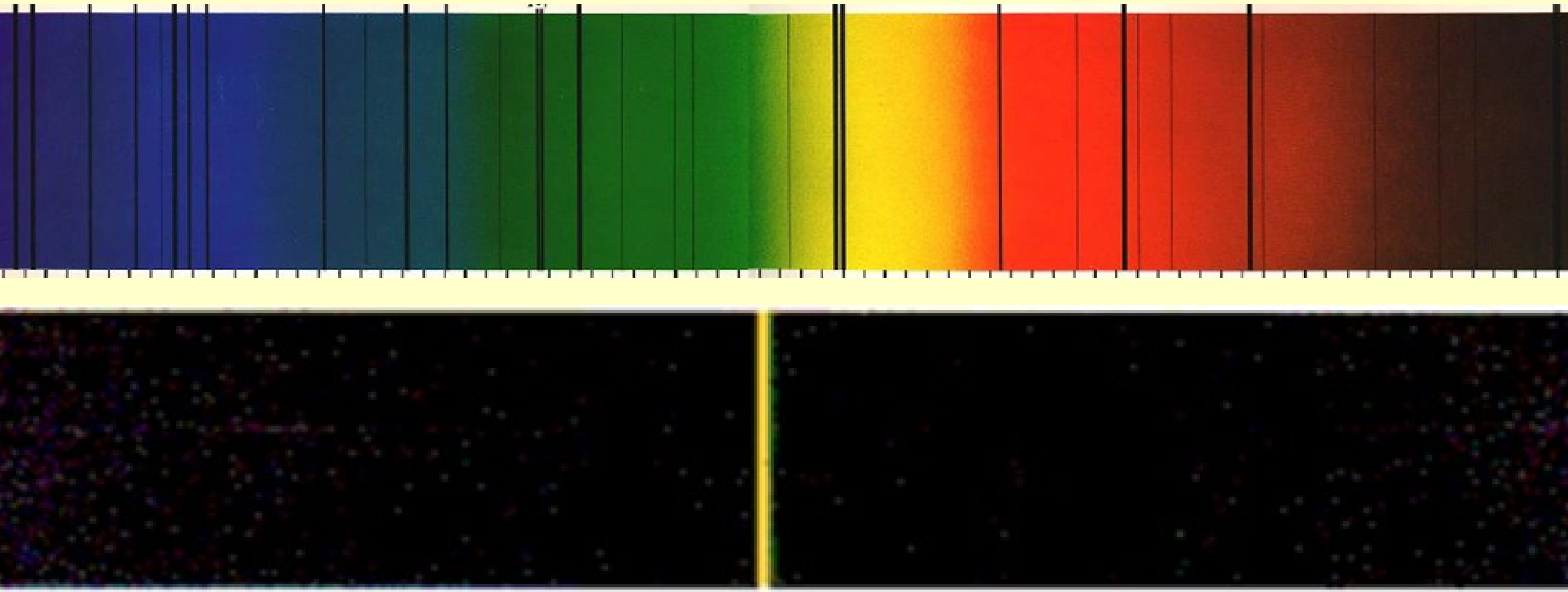


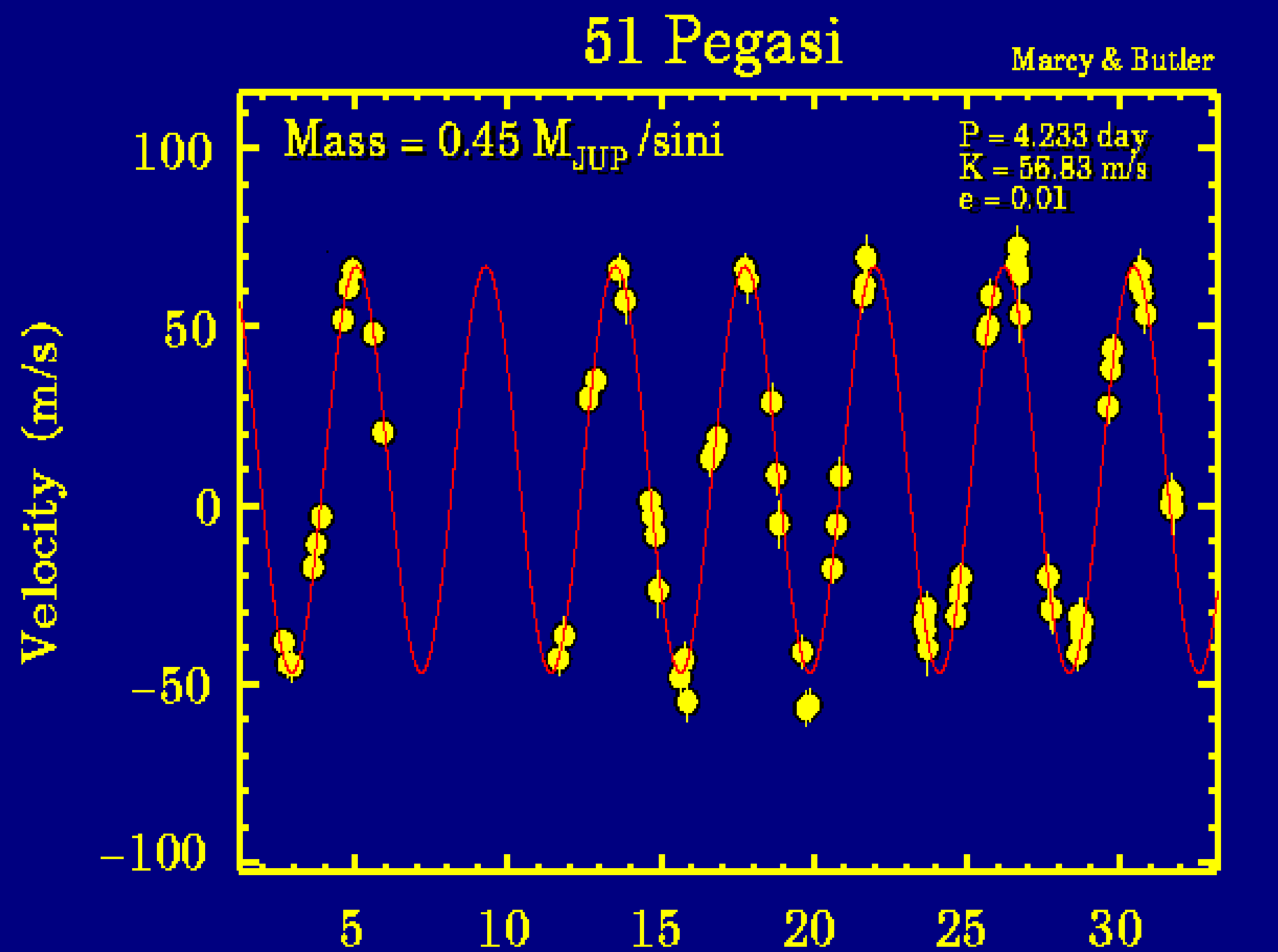
Espectro do sol - Fraunhofer





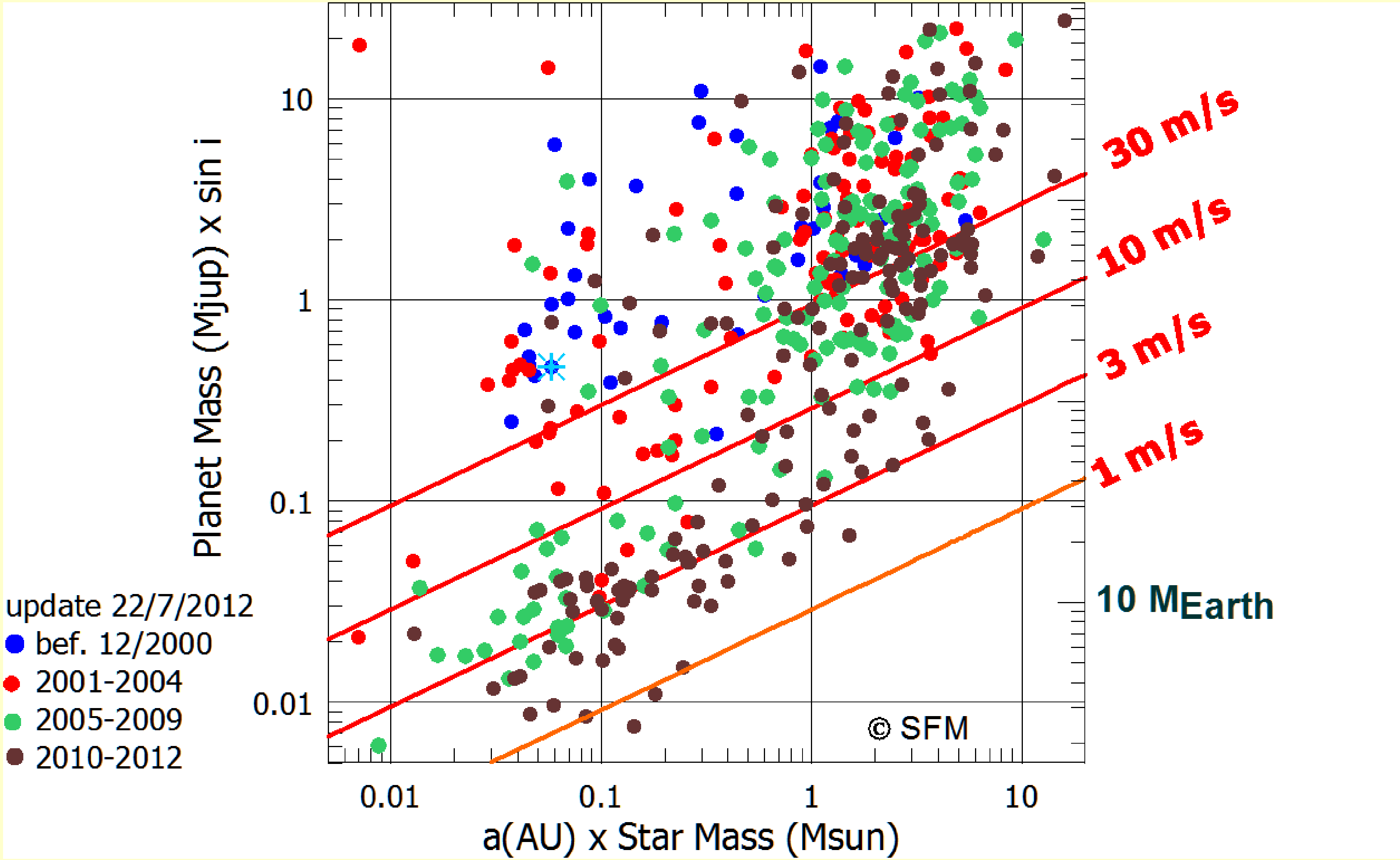






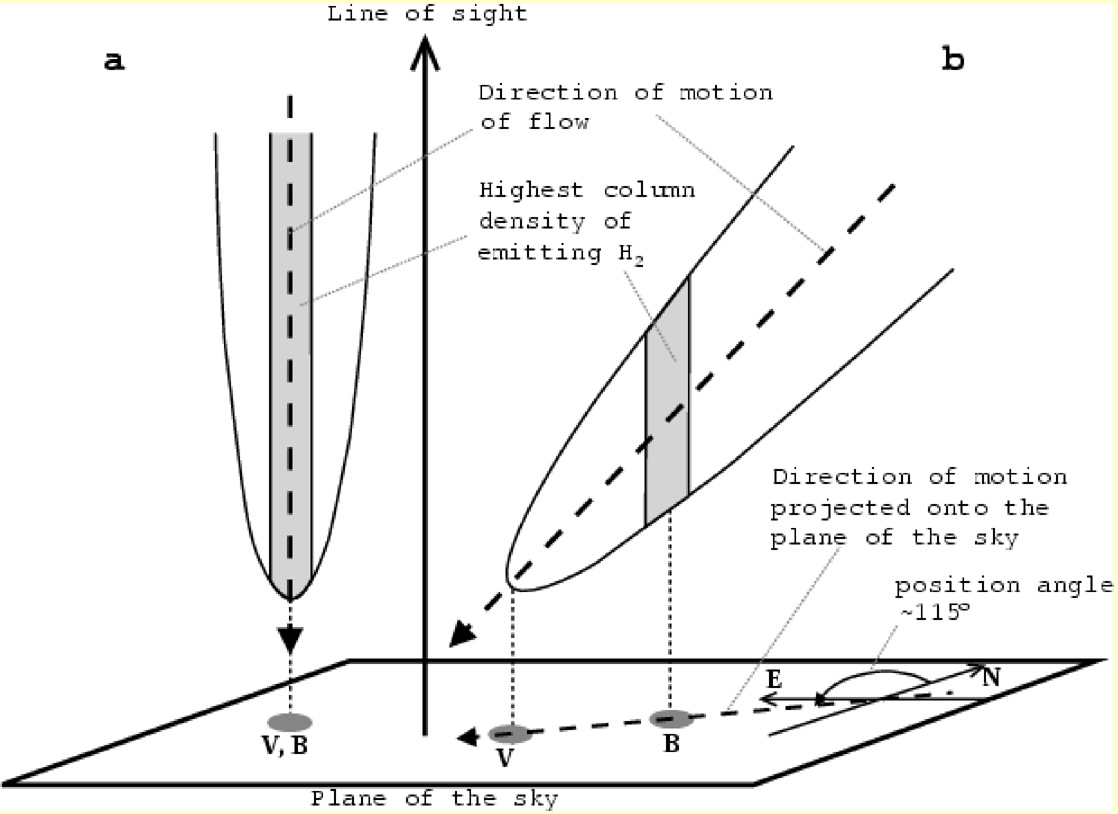
51 Pegasi
Marcy & Butler
Mass = 0.45 M_JUP /sini
P = 4.233 day
K = 56.83 m/s
e = 0.01
Velocity (m/s)
100
50
0
−50
−100
5
10
15
20
25
30

Planetas descobertos c/ Veloc. Ra



Marcado: 51 Peg b (desc. 1995)

Harps at ESO (Chile)



Exemplos:
Sol-Júpiter ~ 13 m/S
Sol-Terra ~ 9 cm/s

Não é possível separar os valores de **M, m** e **sin I!**

$$RV = \mathrm{proj}_{\text{linha de visada}} \vec{\mathbf{V}} = \mathbf{K}[\cos(v+\omega) + e\cos\omega)\ ]$$

$$\mathbf{K} = \frac{m}{m+M}\frac{na\sin i}{\sqrt{1-e^2}}$$

OS PLANETAS DE

UPSILON ANDROMEDA

ASSAS

idade: Júpiter]

)	0.69	5.9
)	1.98	14.57
)	3.95	10.19
)	1.06	?

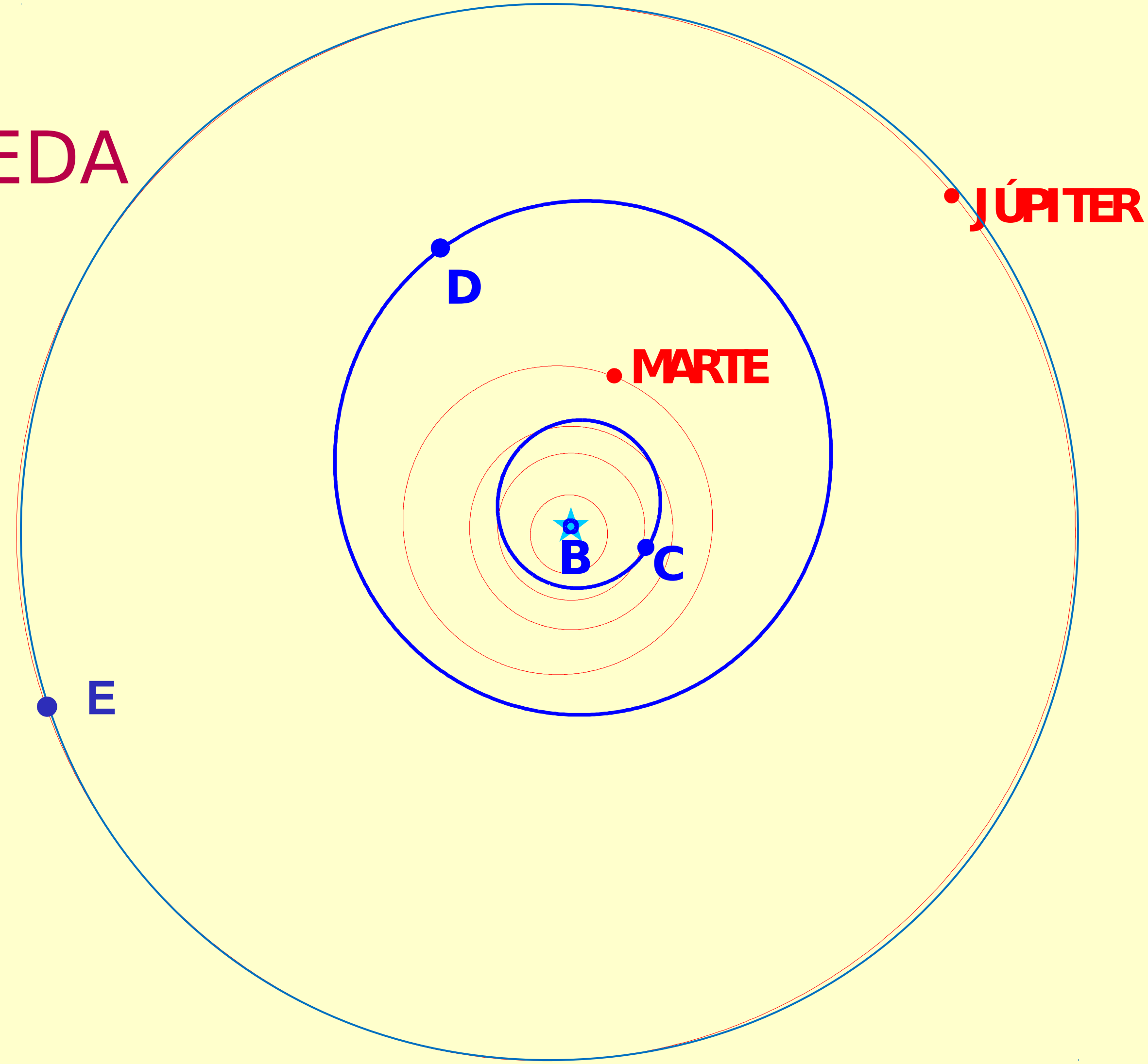
X

eriodos: 4.6 d

241 d

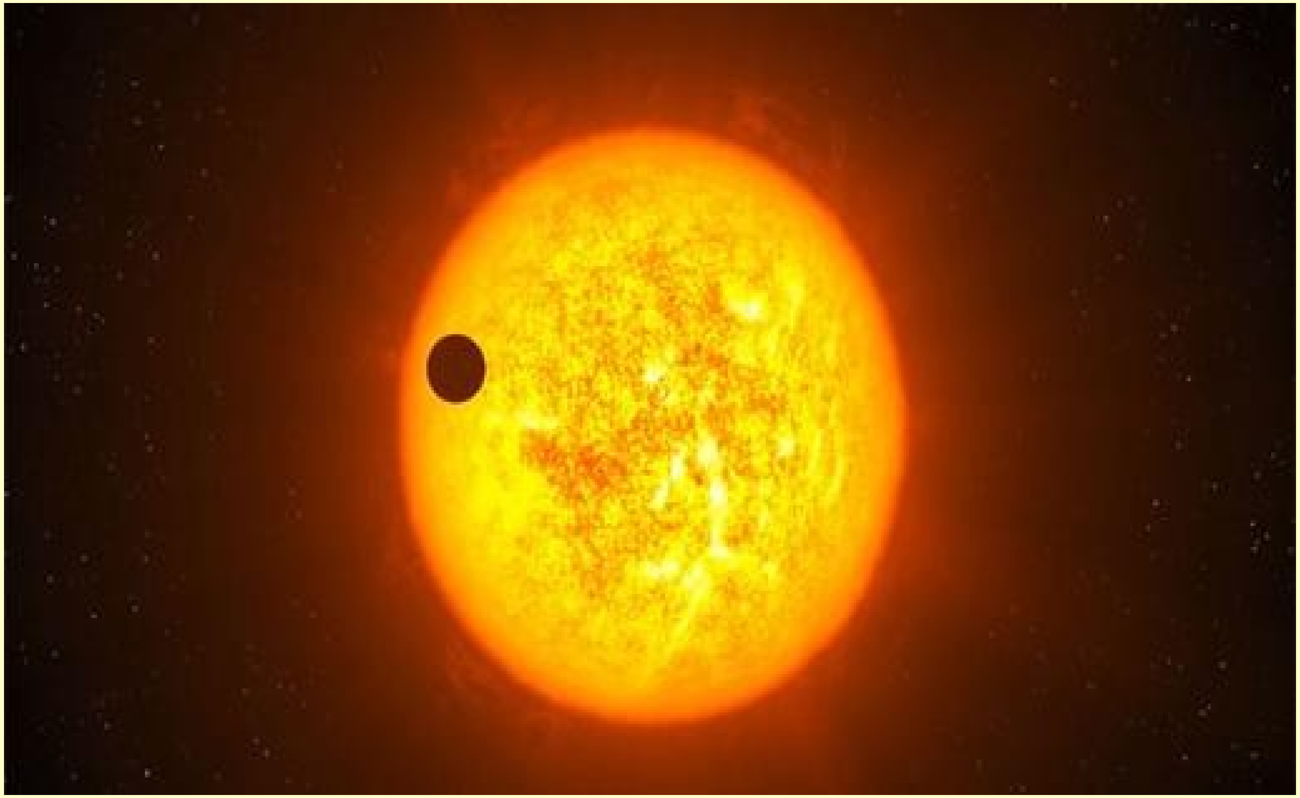
3a + 194 d

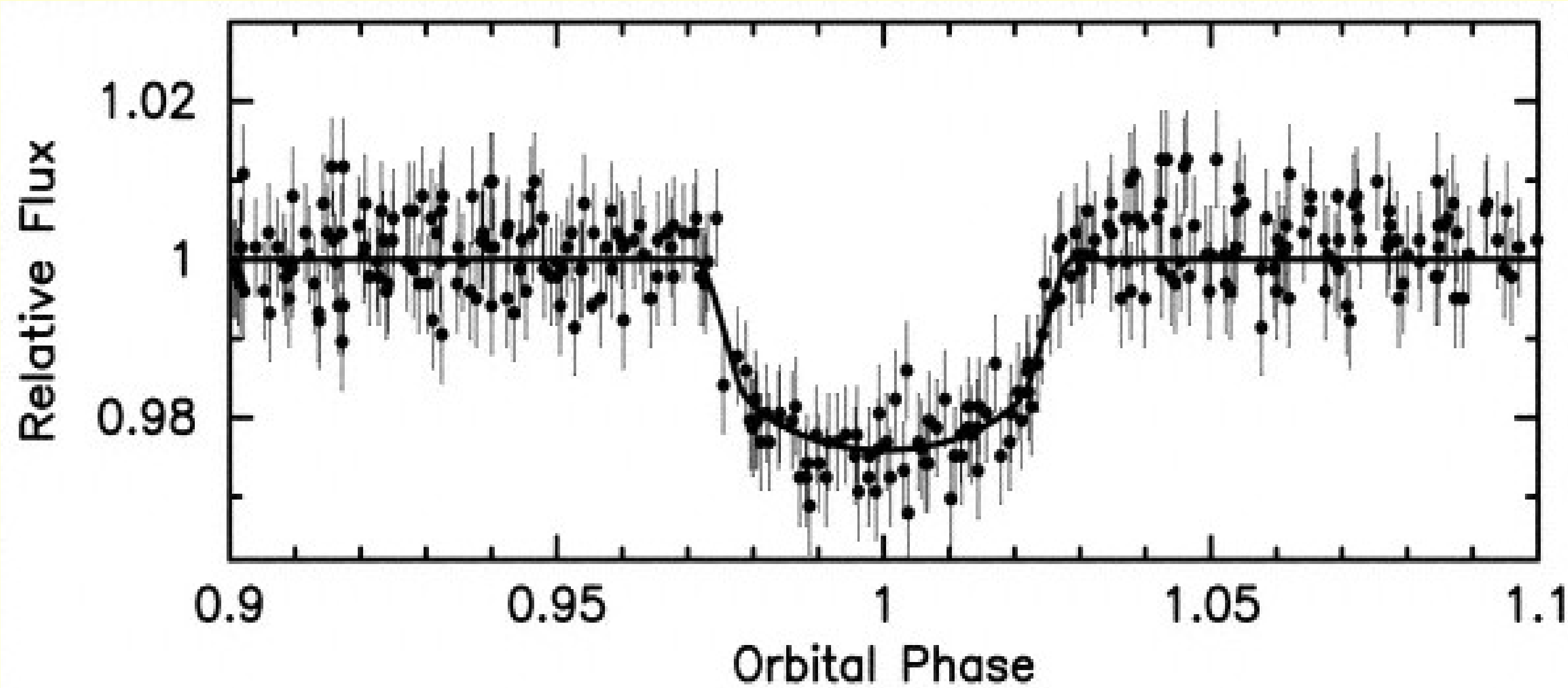
10a+196 d



Inclinações: 7-15^o

Buscando outras formas de detectar exoplanetas...Trânsito planetário!

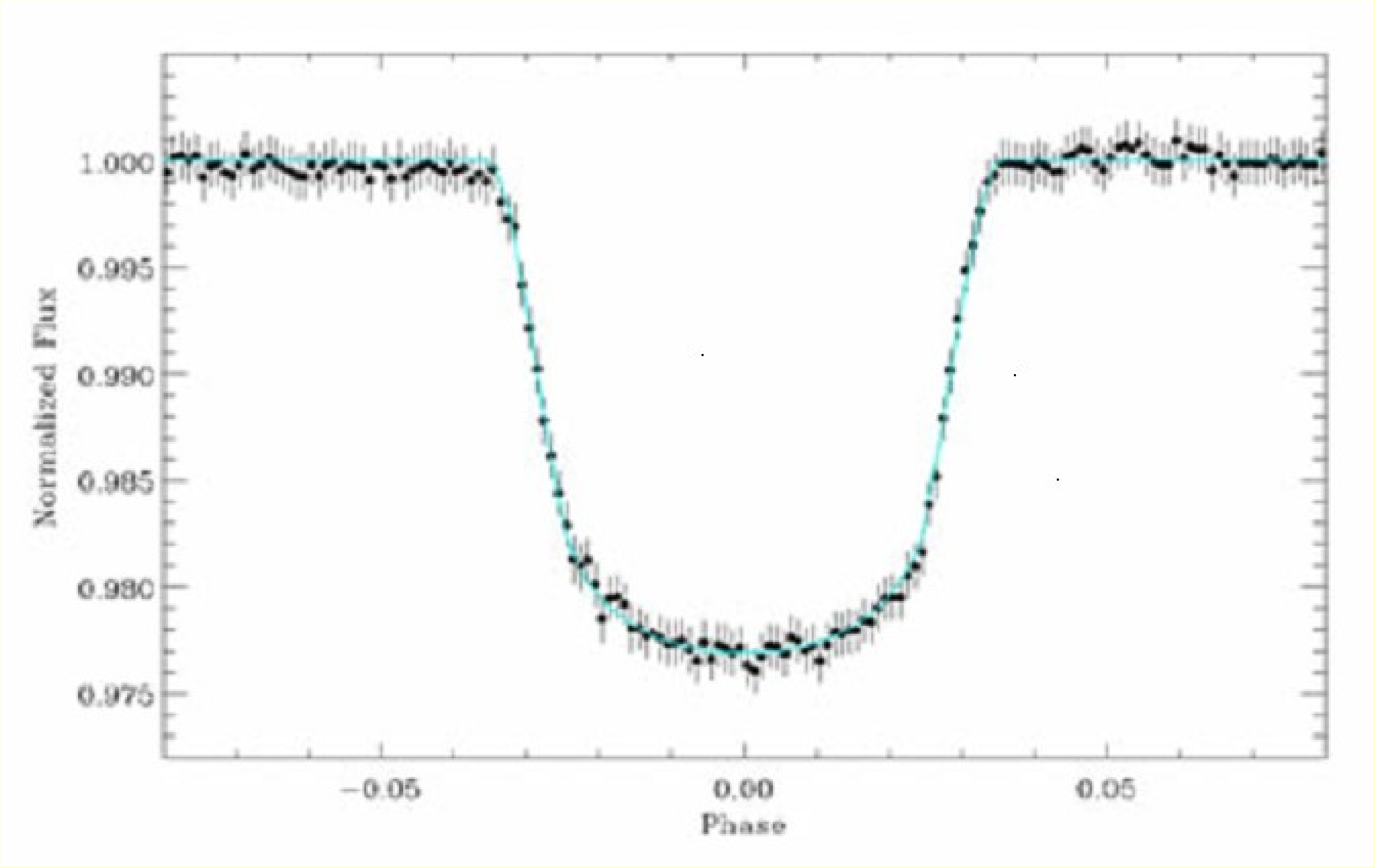




Relative Flux
1.02
1
0.98
0.9
0.95
1
1.05
1.1
Orbital Phase

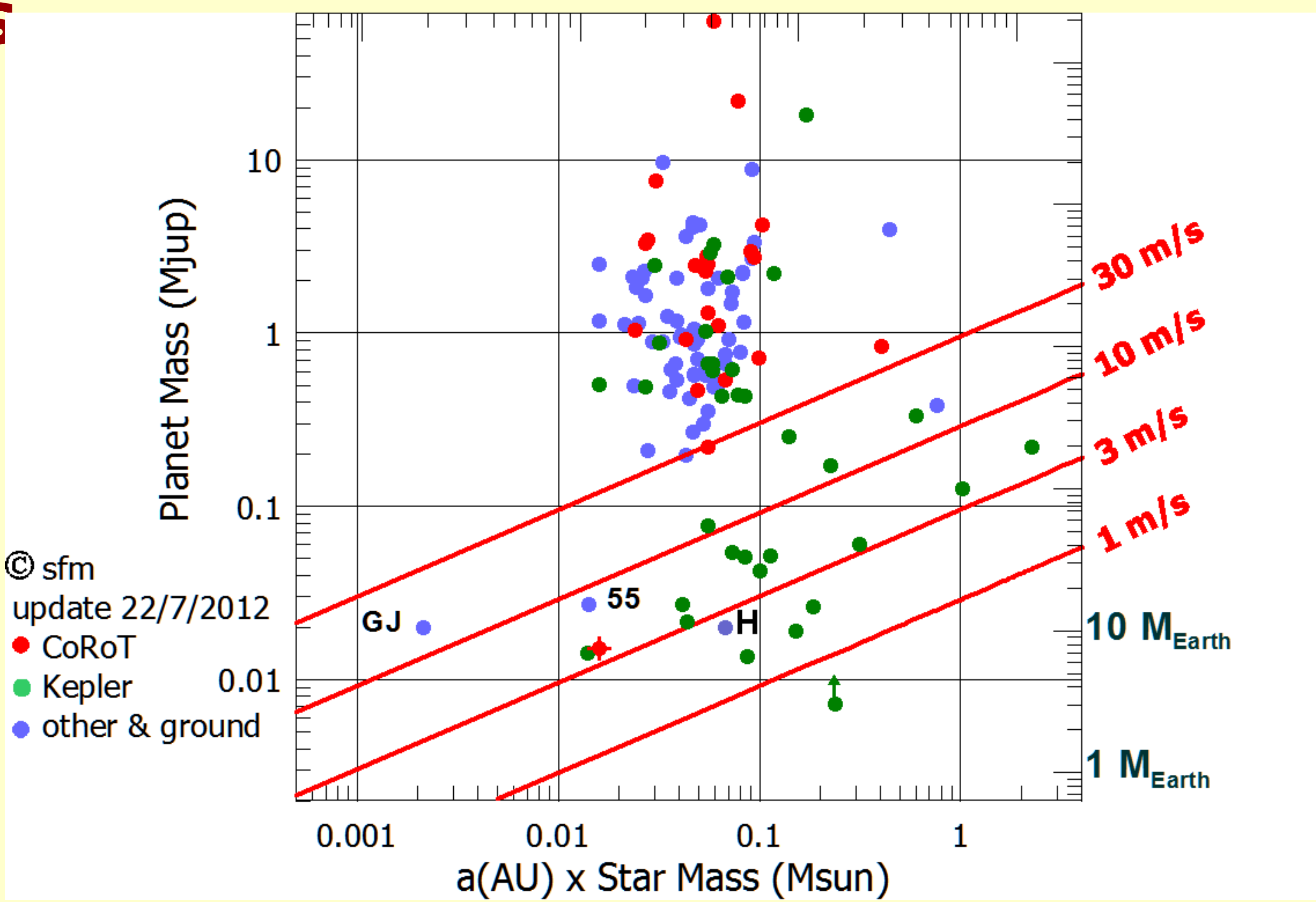
-Lançado em 2006.
-Está praticamente fora de operação desde final de 2012, devido a problemas técnicos.

CoRoT-exo-1b

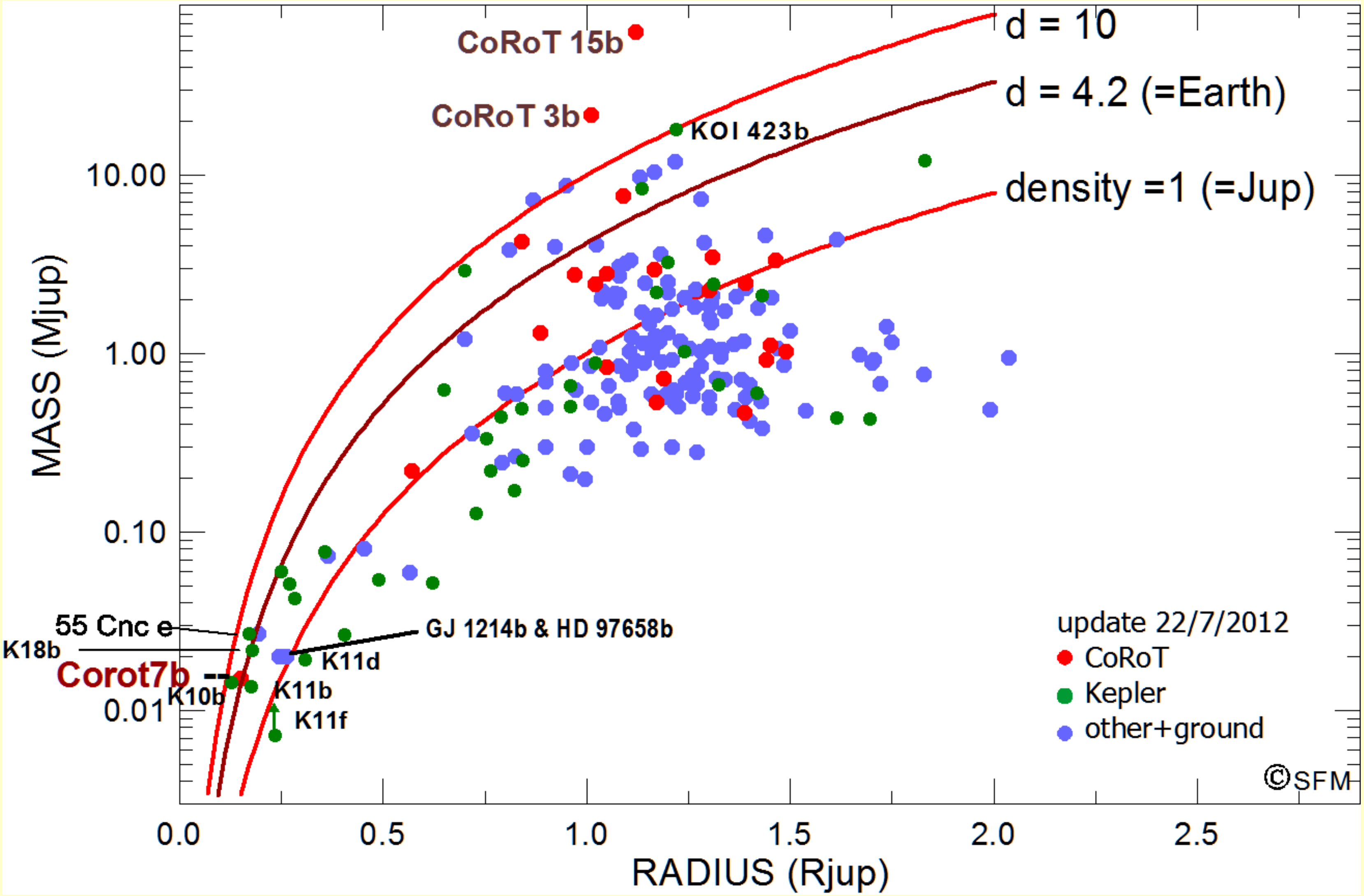


1.000
0.995
0.990
0.985
0.980
0.975
Normalized Flux
−0.05
0.00
0.05
Phase

Planetas & Anãs Marrons c/ trânsitos obs



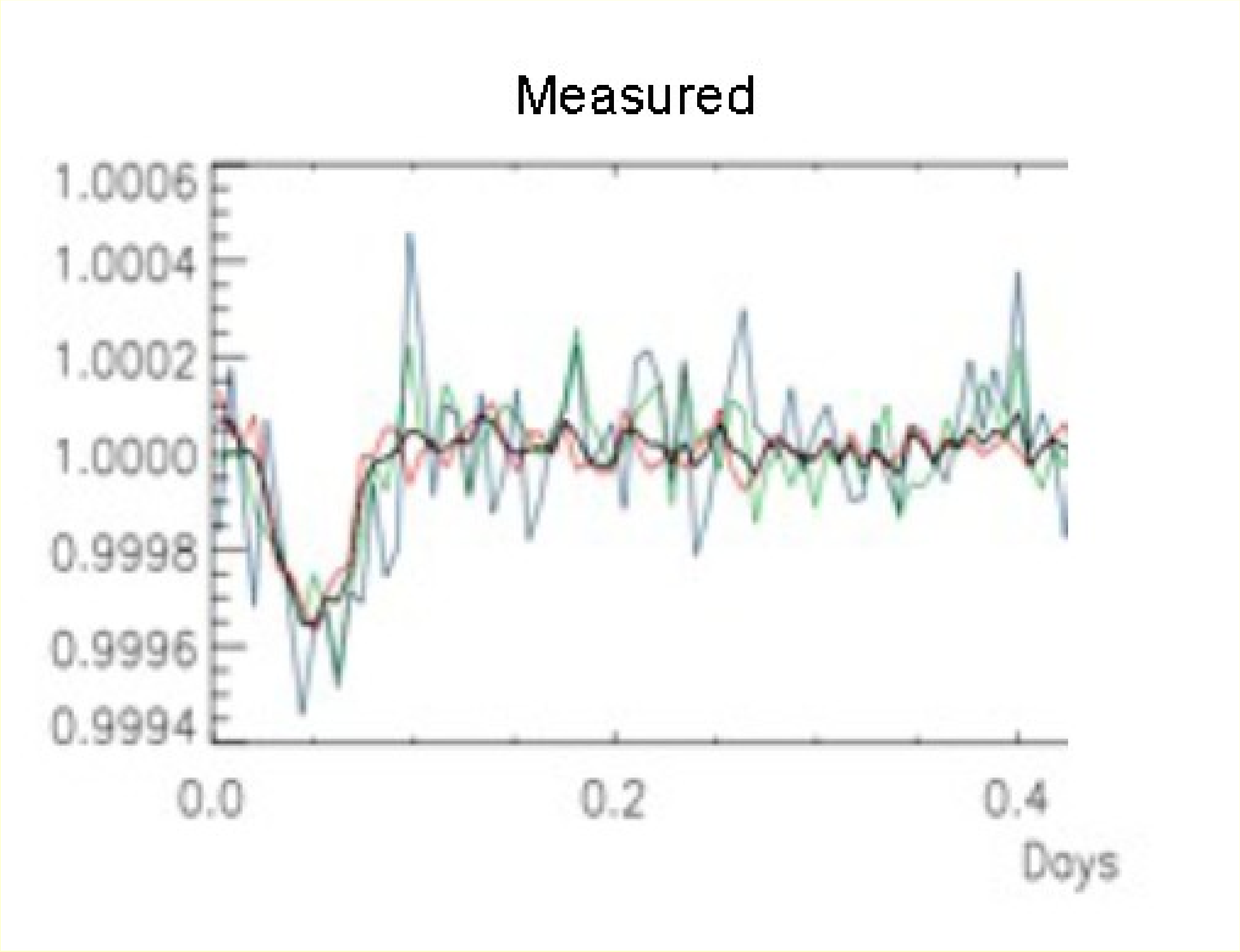
Notadas: CoRoT 7b, GJ 1214 b, 55 Cnc e, HD 97658 b



Relação Massa – Raio

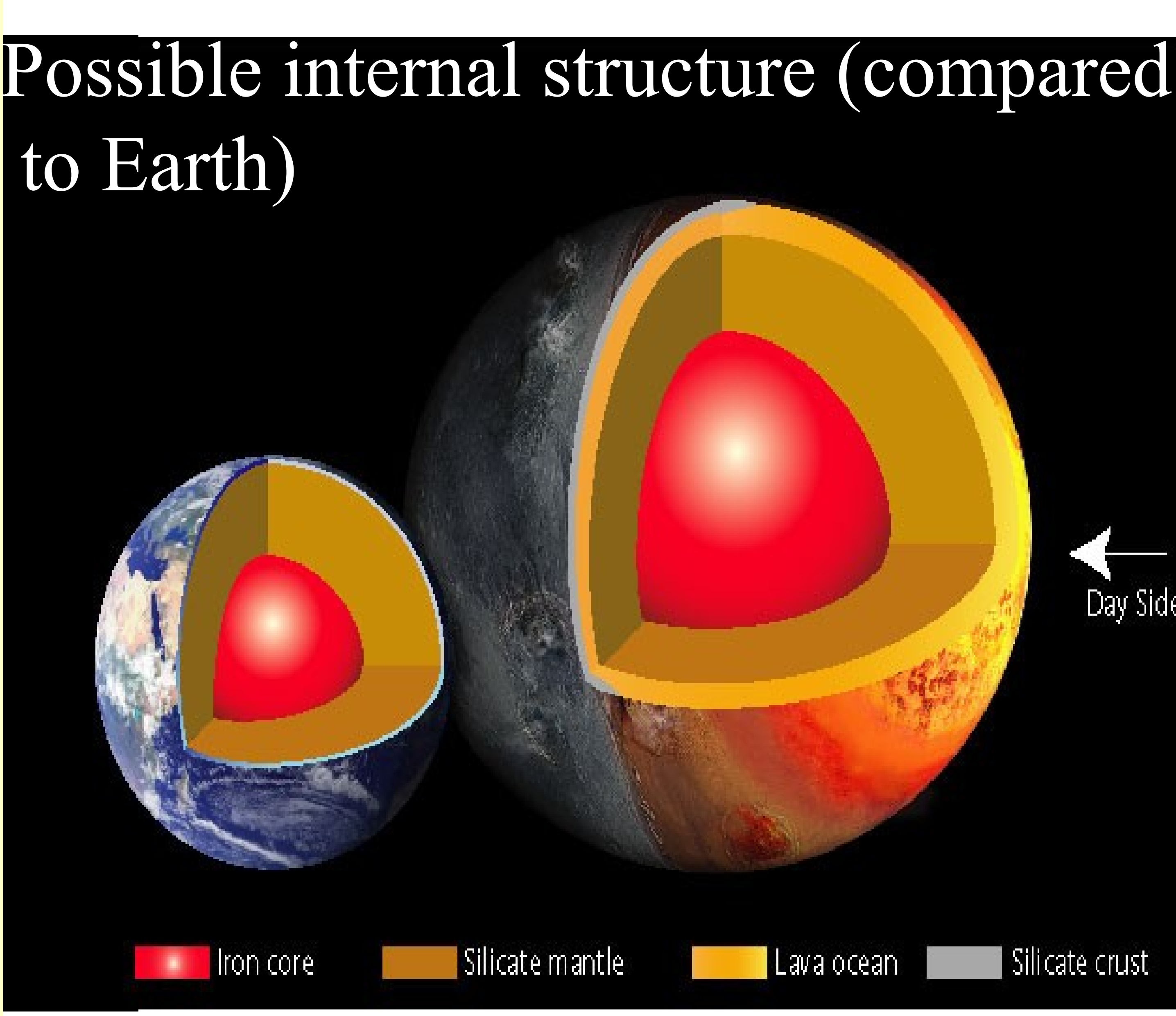
Linhas de densidade (1=Jup)

CoRoT 7b **(**Variação 0.0004**)**

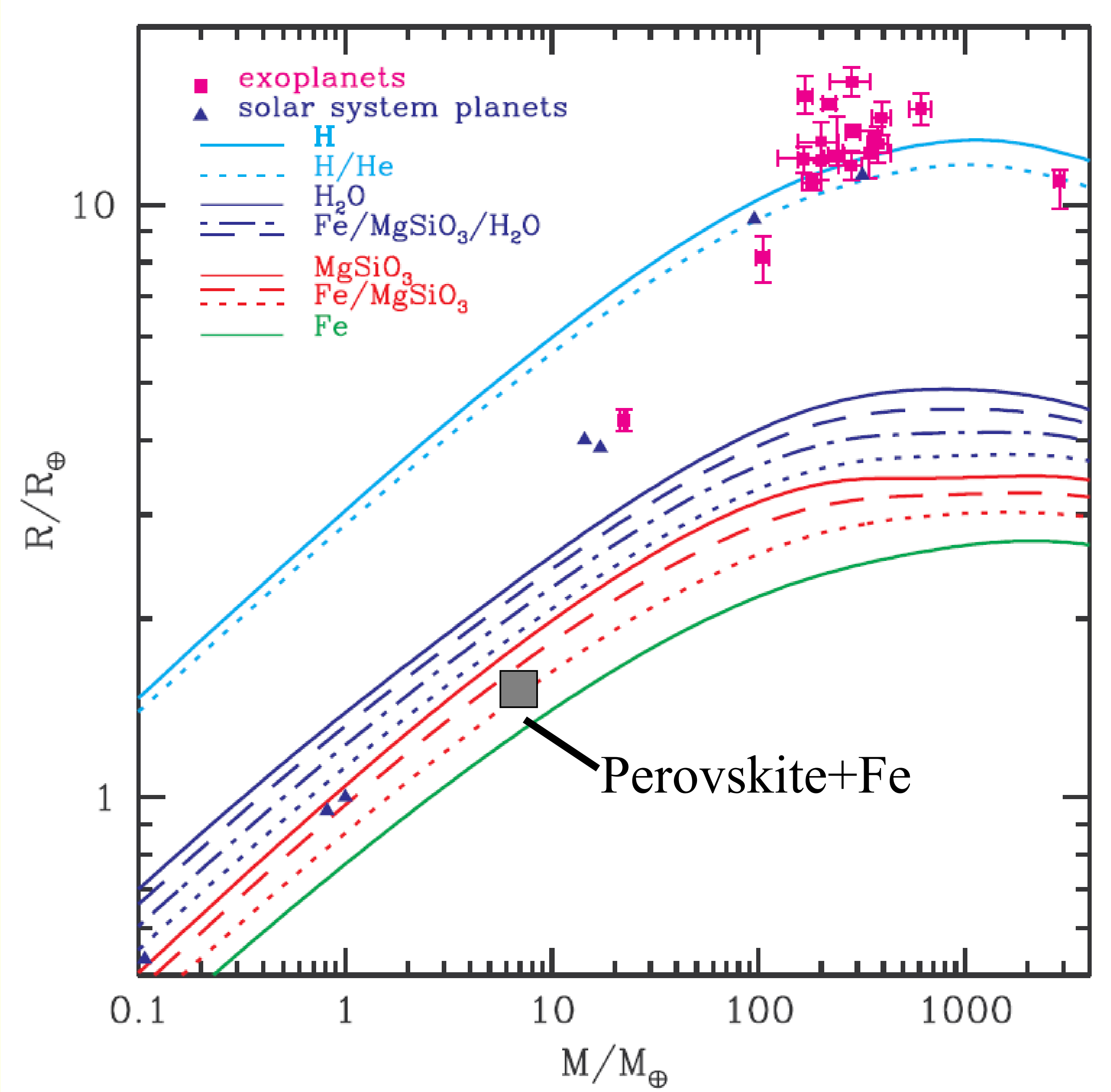


V=11.7

Começamos a classificar os exoplanetas!

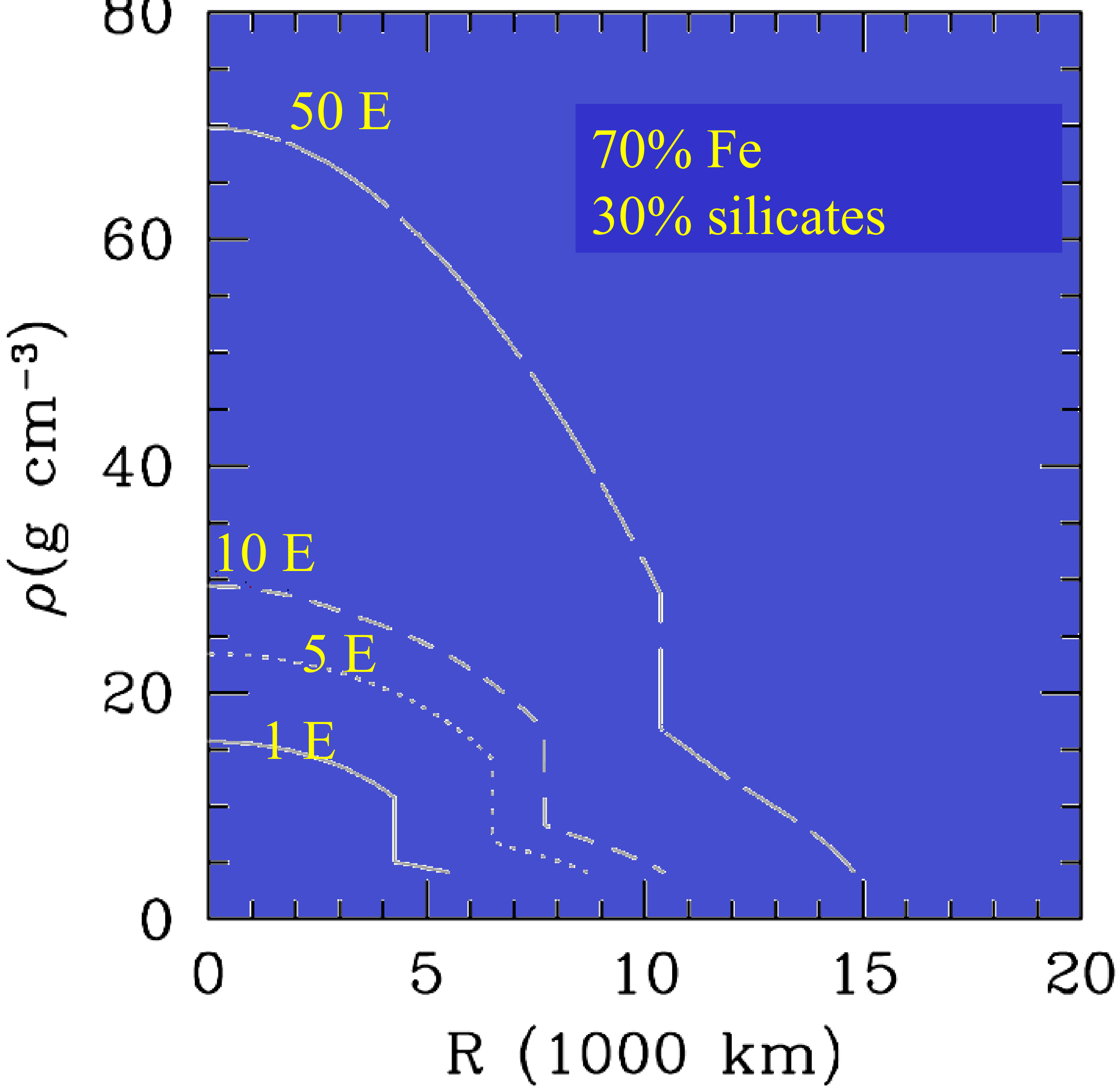


Seager
et al.
ApJ 669,
2007



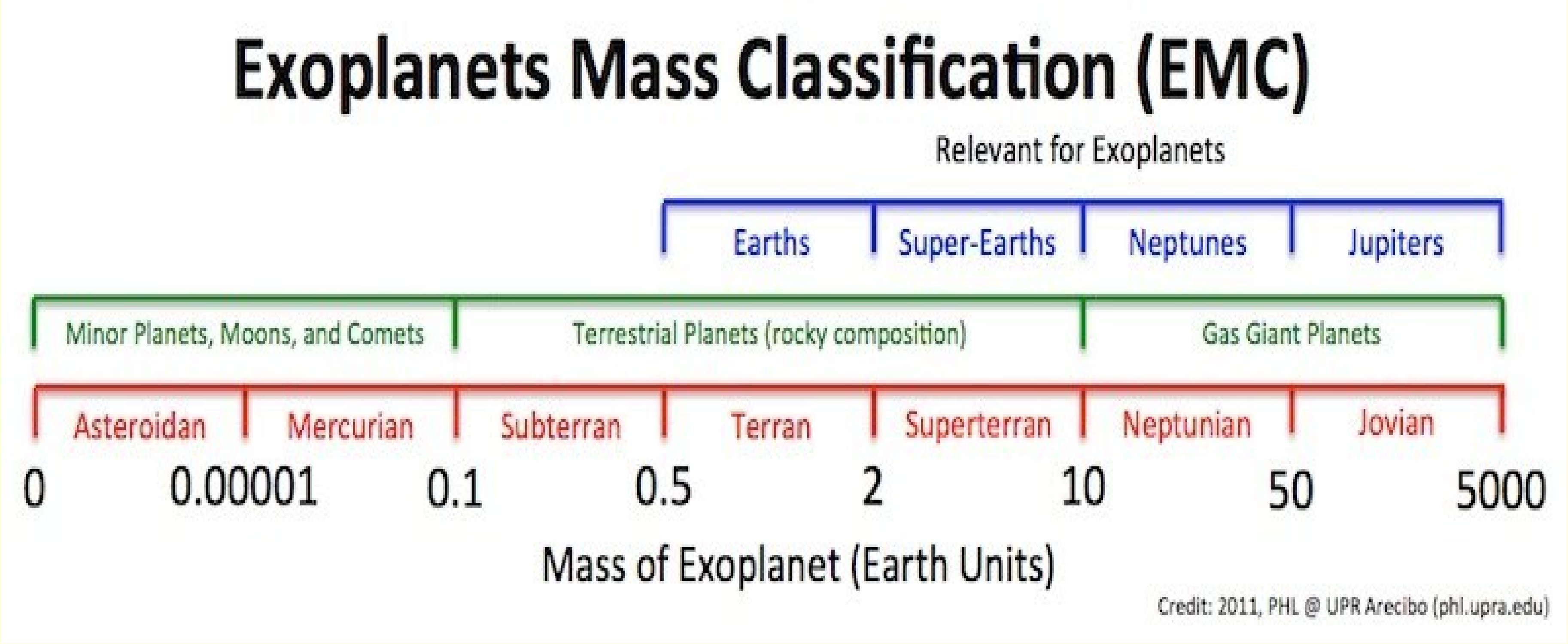
ABO_3

Seager
id.


50 E
10 E
5 E
1 E
70% Fe
30% silicates
ρ(g cm⁻³)
R (1000 km)
0
20
40
60
80
0
5
10
15
20

Classificando os exoplanetas

- Clasificação de Jornada nas Estrelas.
- Classificação Termal.
- Classificação por massas e densidades:



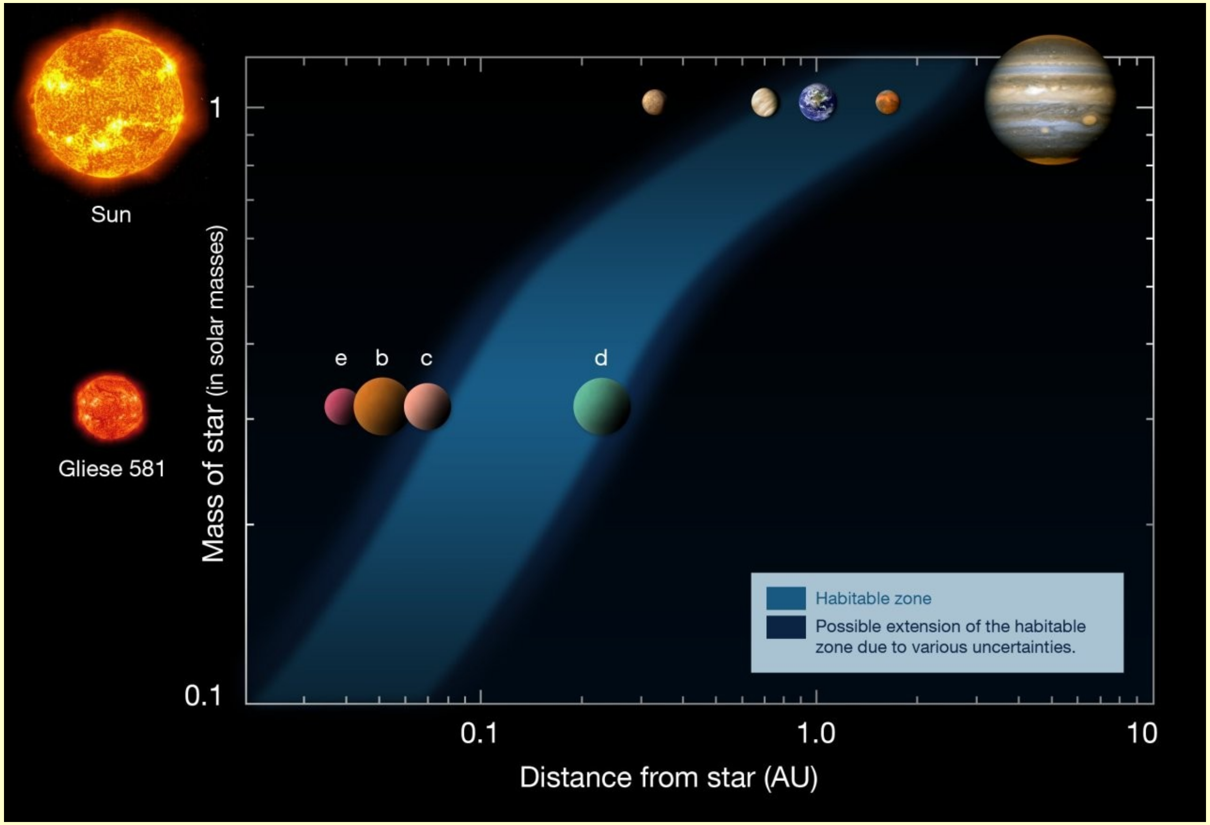
Algumas questões interessantes sobre os exoplanetas

- Existência de água liquida.

Primeira detecção de espectro da água em um sistema planetário: HD189733 b

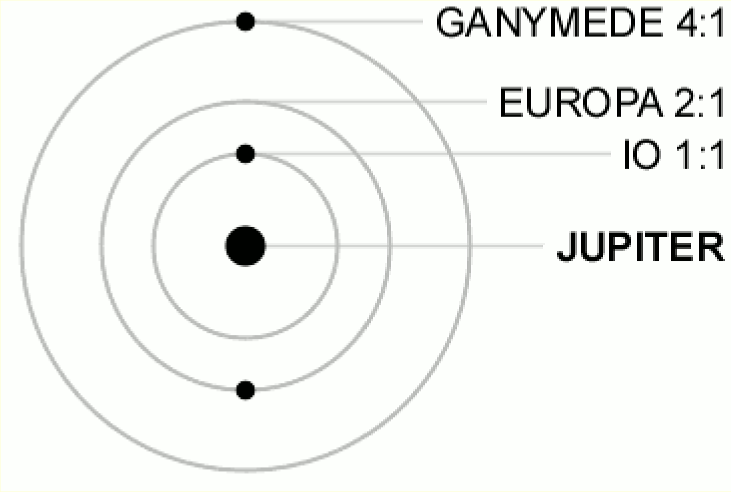
- Distância à Estrela.
- Atmosfera e composição.

Zona Habitável: Possibilidade de existência de vida?

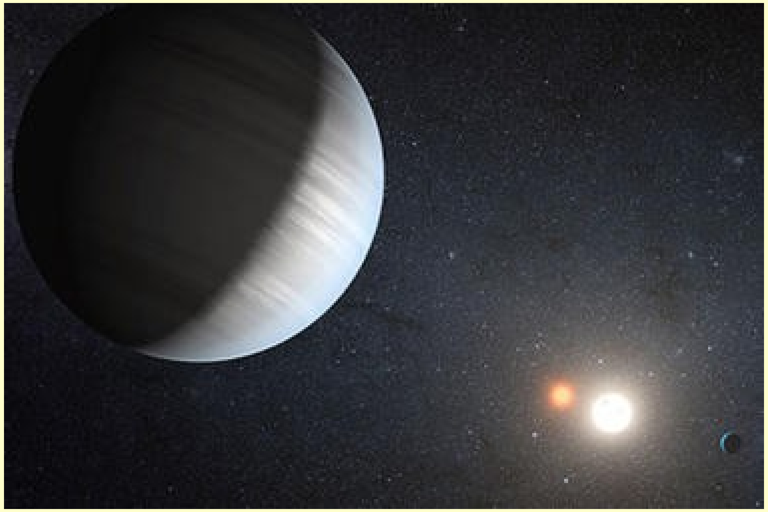


Ressonância e Planetas em sistemas múltiplos de estrelas

Planetas em ressonância!



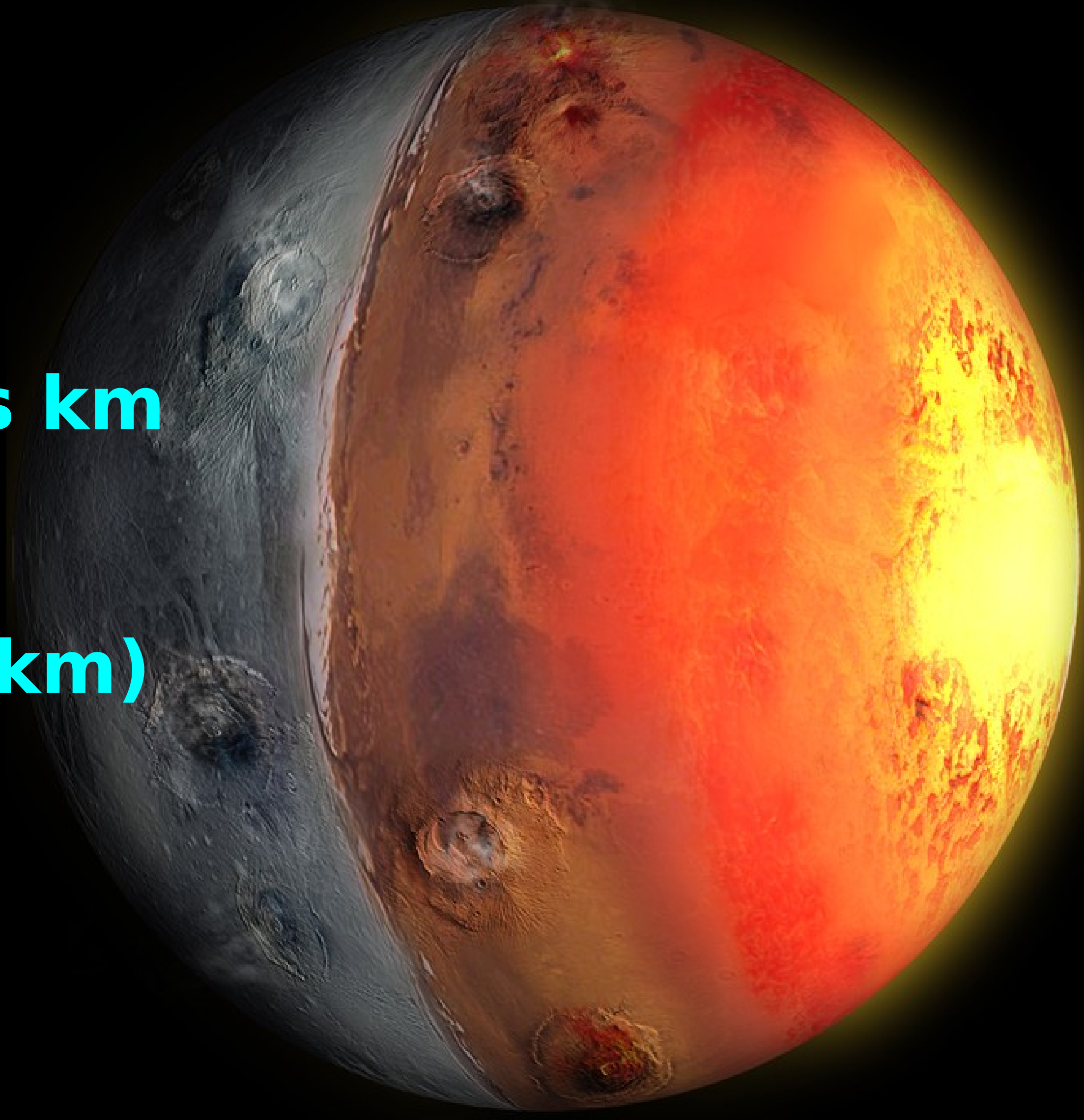
Um planeta orbitando duas estrelas gêmeas...Tatooine?



Kepler 47 b-c

Corot - 7B

m = 8 T +/- 1.2
P = 0.85 d
a = 2.5 milhoes km
R = 11000 km
(maré = +65/
-20 km)

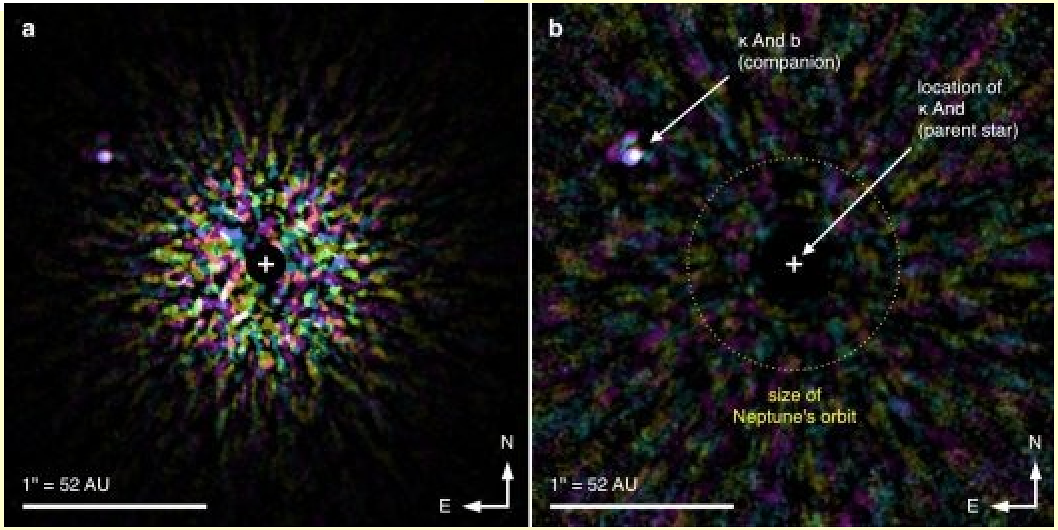


Ref: CoRoT + IAG 2010

Menor planeta descoberto? Kepler 37-b

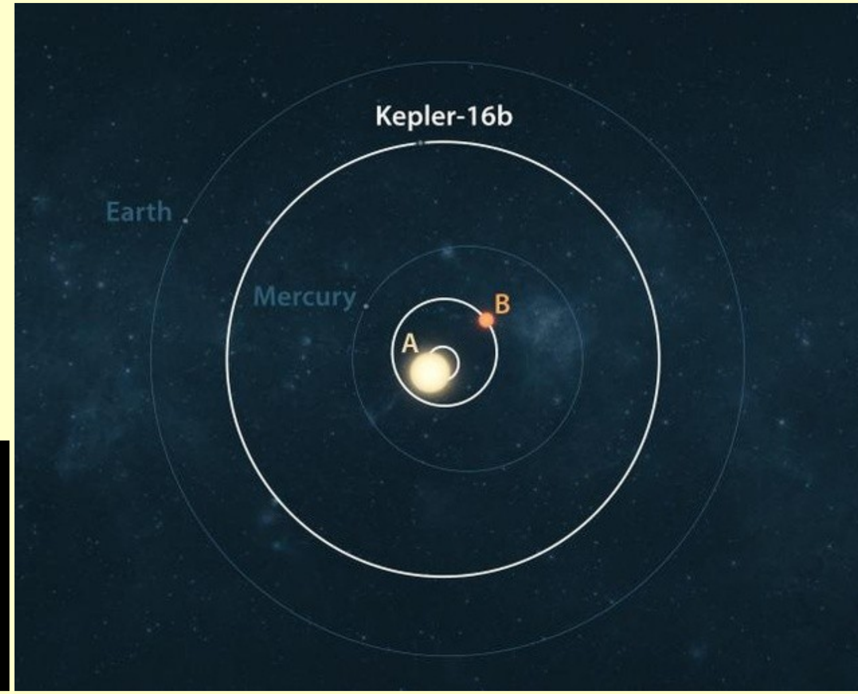
Incertezas...

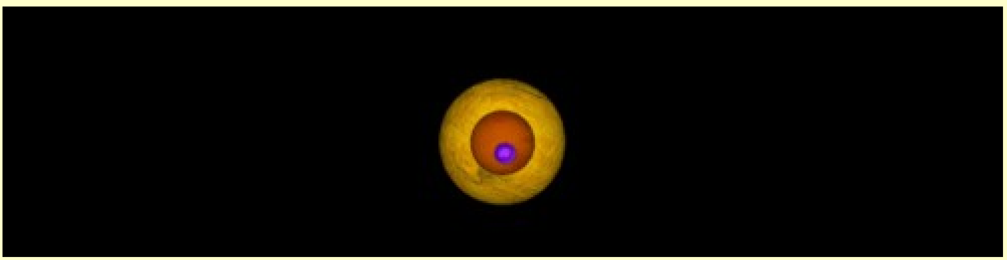
E o maior exoplaneta descoberto? Kappa Andromedae System



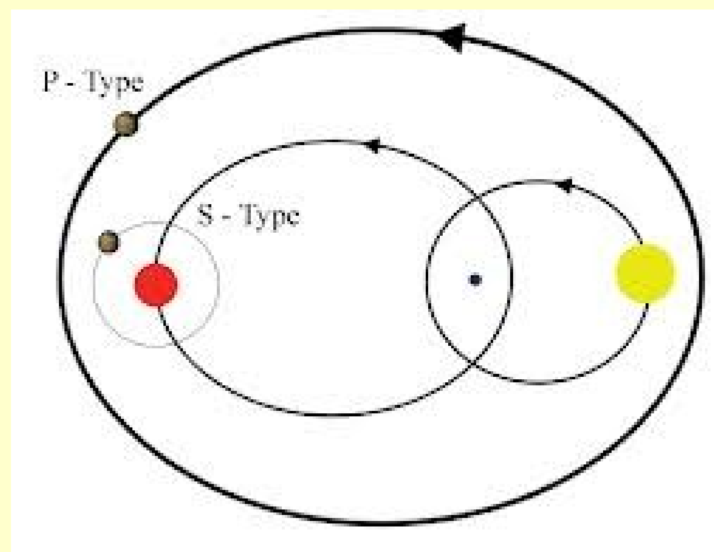
Também incertezas...

Planeta Kepler 16-b com órbita externa ao sistema binário Kepler-16: P-type ou Circumbinária.

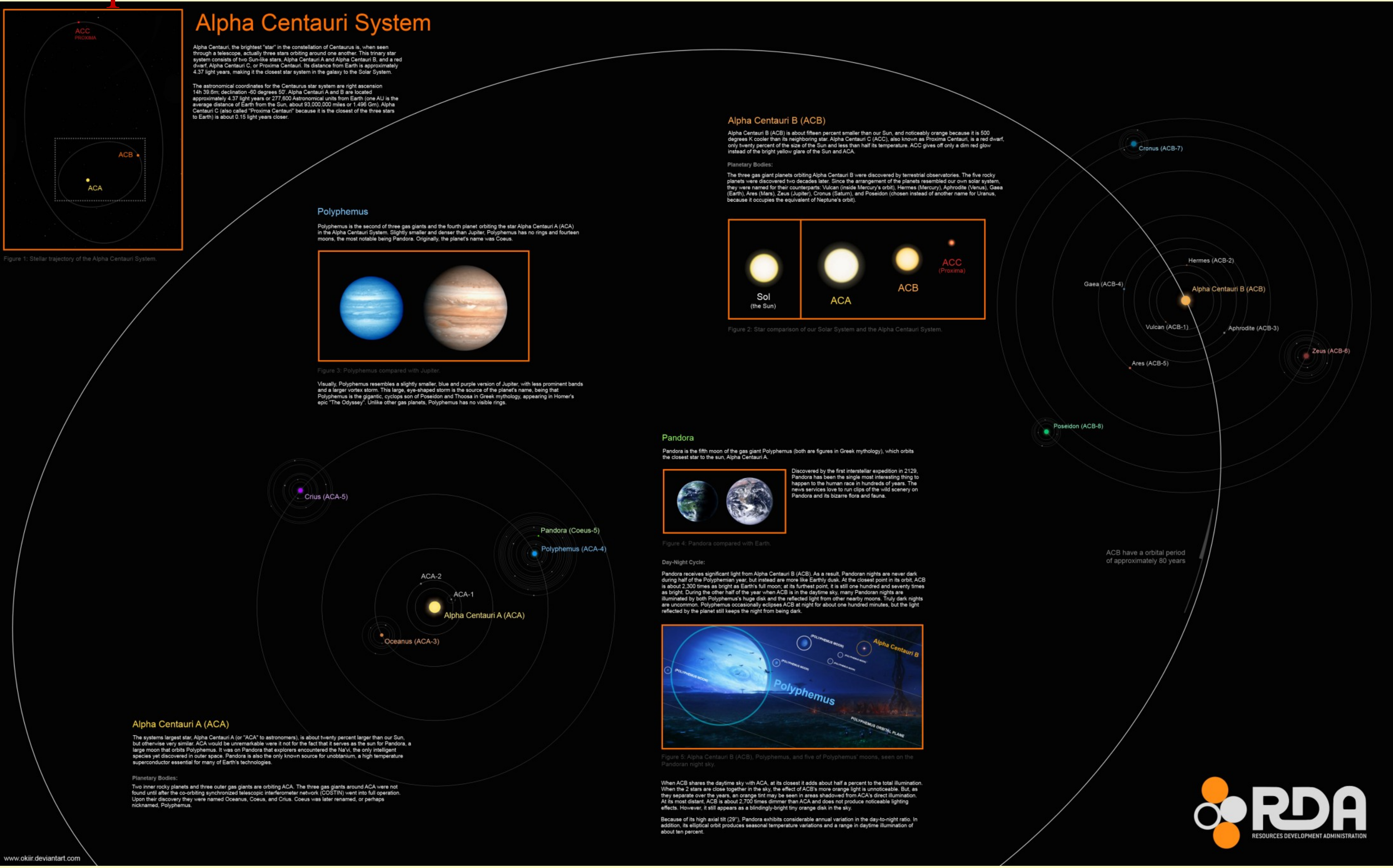




E planetas orbitando apenas uma das estrelas em um sistema binário? Chamados de S-Type. Existem!E um dos mais conhecidos



Alpha Centauri possui planetas em duas das três estrelas que compõem o sistema!

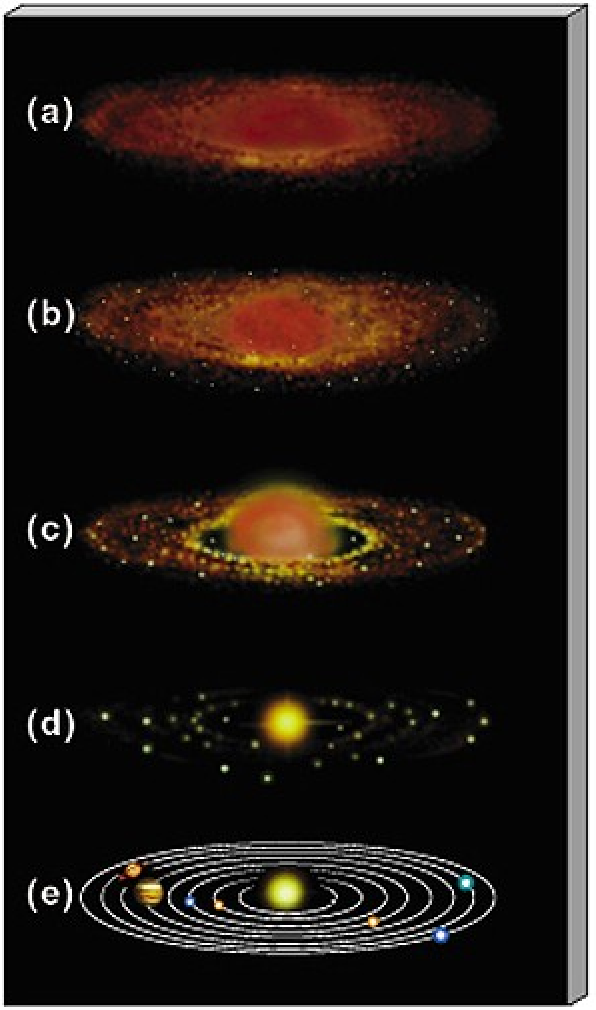


Formação e Evolução de Sistemas Exoplanetários

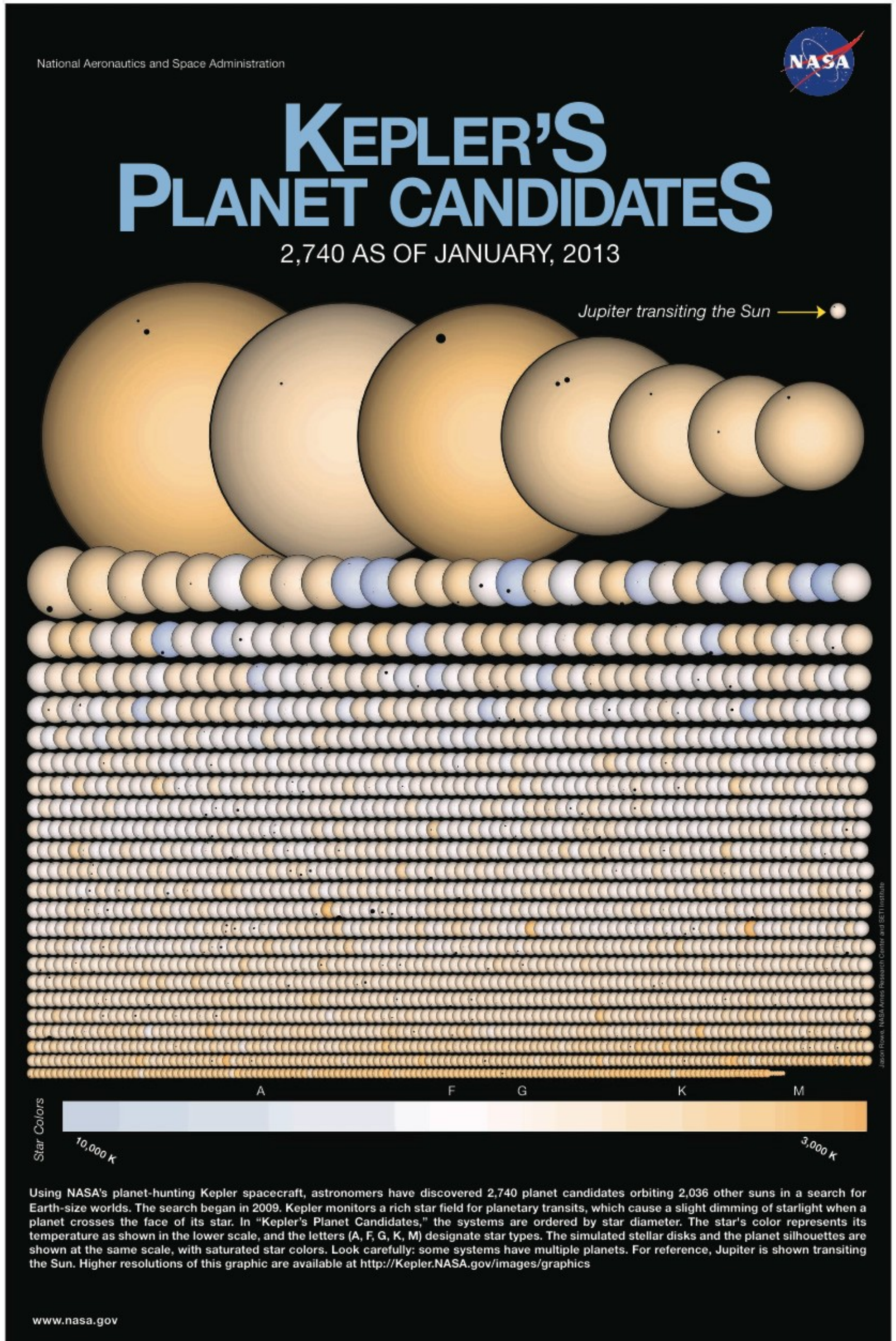
Assunto ainda bastante nebuloso. Mesmo nosso sistema solar não se tem certeza da forma como se formou e evoluiu até o momento!

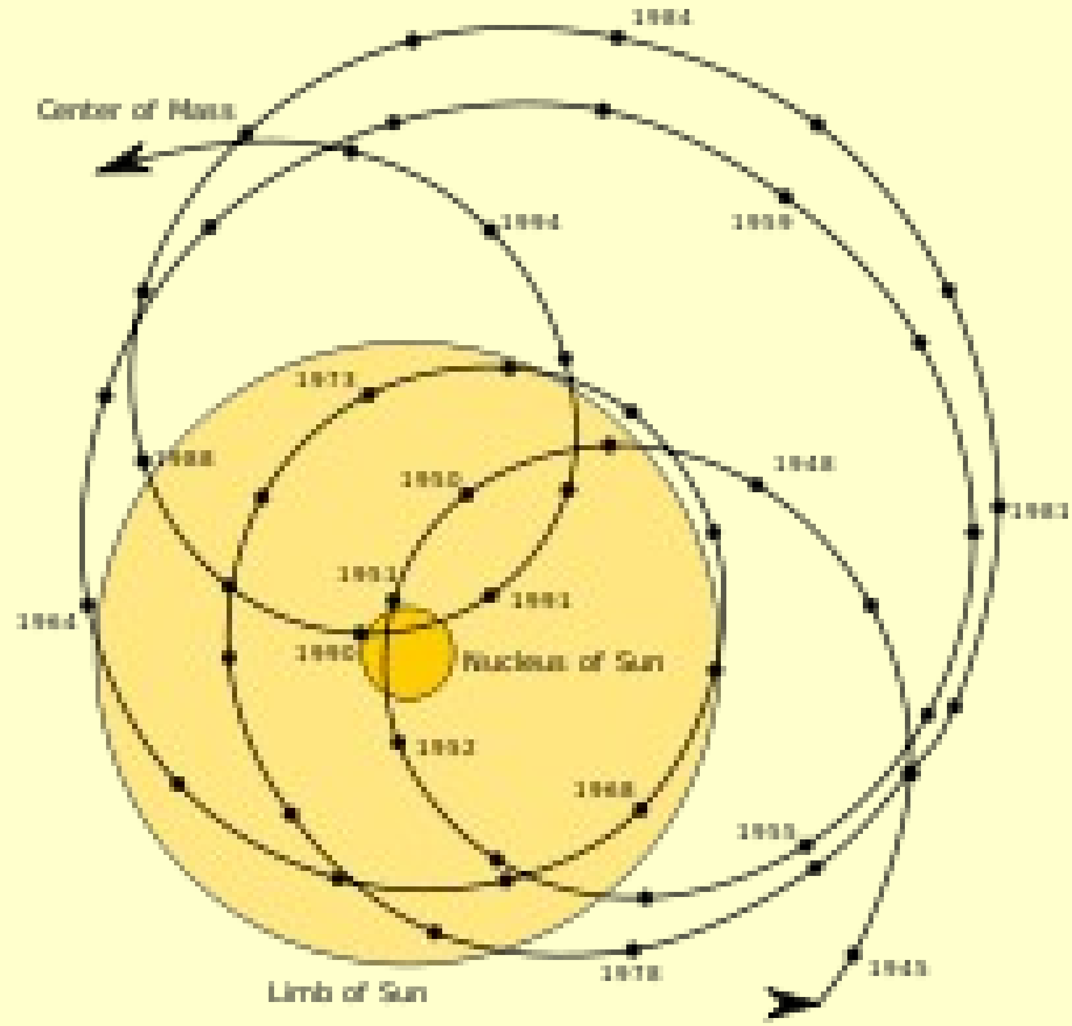
Nebular hypothesis: Proposta mais aceita!

-Migração Planetária.
-Estabilidade a longo prazo.

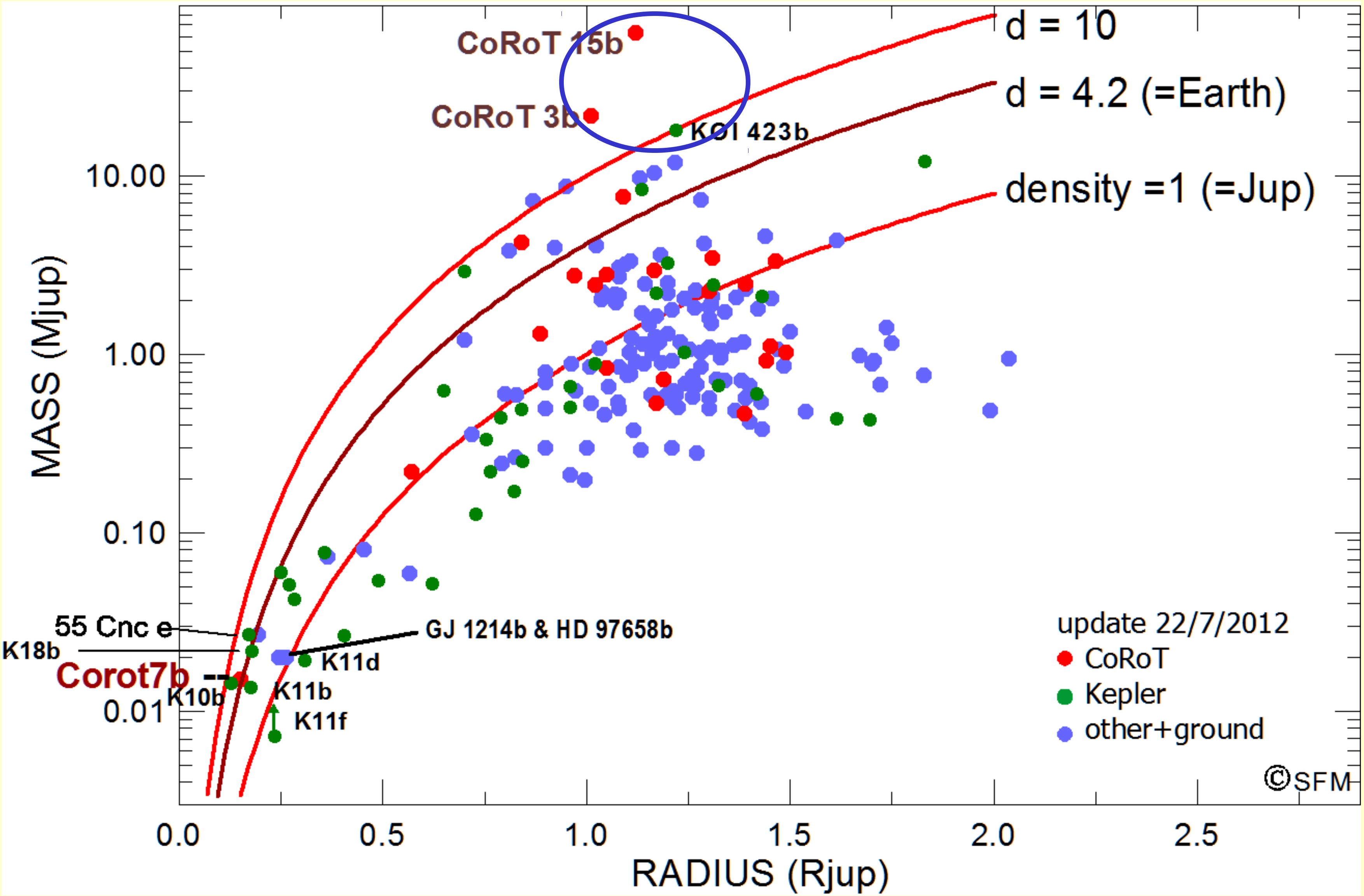


FIM

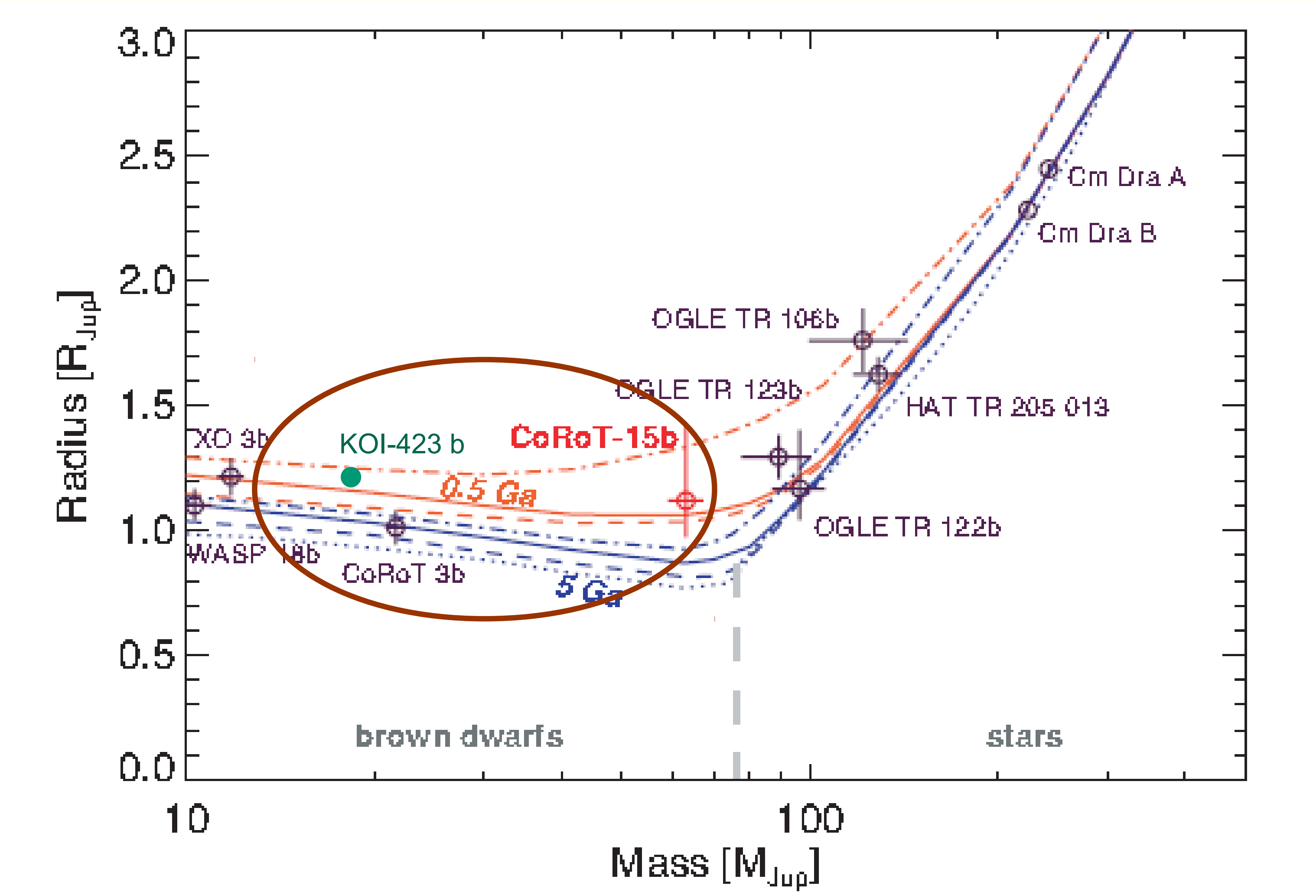

National Aeronautics and Space Administration
NASA
KEPLER'S PLANET CANDIDATES
2,740 AS OF JANUARY, 2013
Jupiter transiting the Sun
A
F
G
K
M
Star Colors
10,000 K
3,000 K
Jason Rowe, NASA Ames Research Center and SETI Institute
Using NASA's planet-hunting Kepler spacecraft, astronomers have discovered 2,740 planet candidates orbiting 2,036 other suns in a search for Earth-size worlds. The search began in 2009. Kepler monitors a rich star field for planetary transits, which cause a slight dimming of starlight when a planet crosses the face of its star. In "Kepler's Planet Candidates," the systems are ordered by star diameter. The star's color represents its temperature as shown in the lower scale, and the letters (A, F, G, K, M) designate star types. The simulated stellar disks and the planet silhouettes are shown at the same scale, with saturated star colors. Look carefully: some systems have multiple planets. For reference, Jupiter is shown transiting the Sun. Higher resolutions of this graphic are available at http://Kepler.NASA.gov/images/graphics
www.nasa.gov



Movimento do Sol relativo ao centro do S.Solar


CoRoT 15b
CoRoT 3b
KOI 423b
d = 10
d = 4.2 (=Earth)
density =1 (=Jup)
10.00
1.00
0.10
0.01
MASS (Mjup)
55 Cnc e
K18b
Corot7b
K10b
GJ 1214b & HD 97658b
K11d
K11b
K11f
update 22/7/2012
CoRoT
Kepler
other+ground
©SFM
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
RADIUS (Rjup)

O deserto das anãs marrons

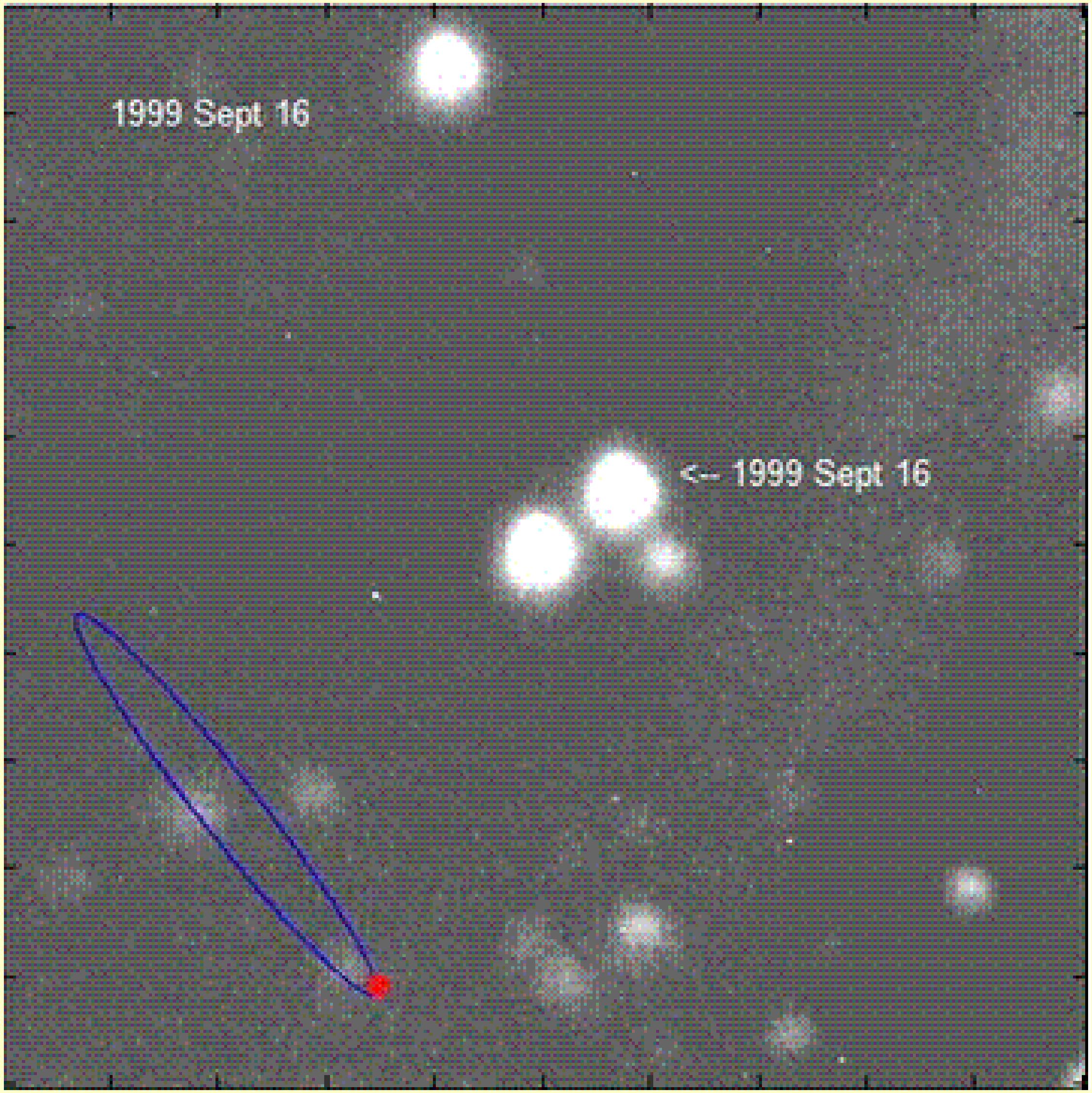


Campbell, Walker & Yang, 1988
Planeta ao redor de γ Cep A
(retirado)

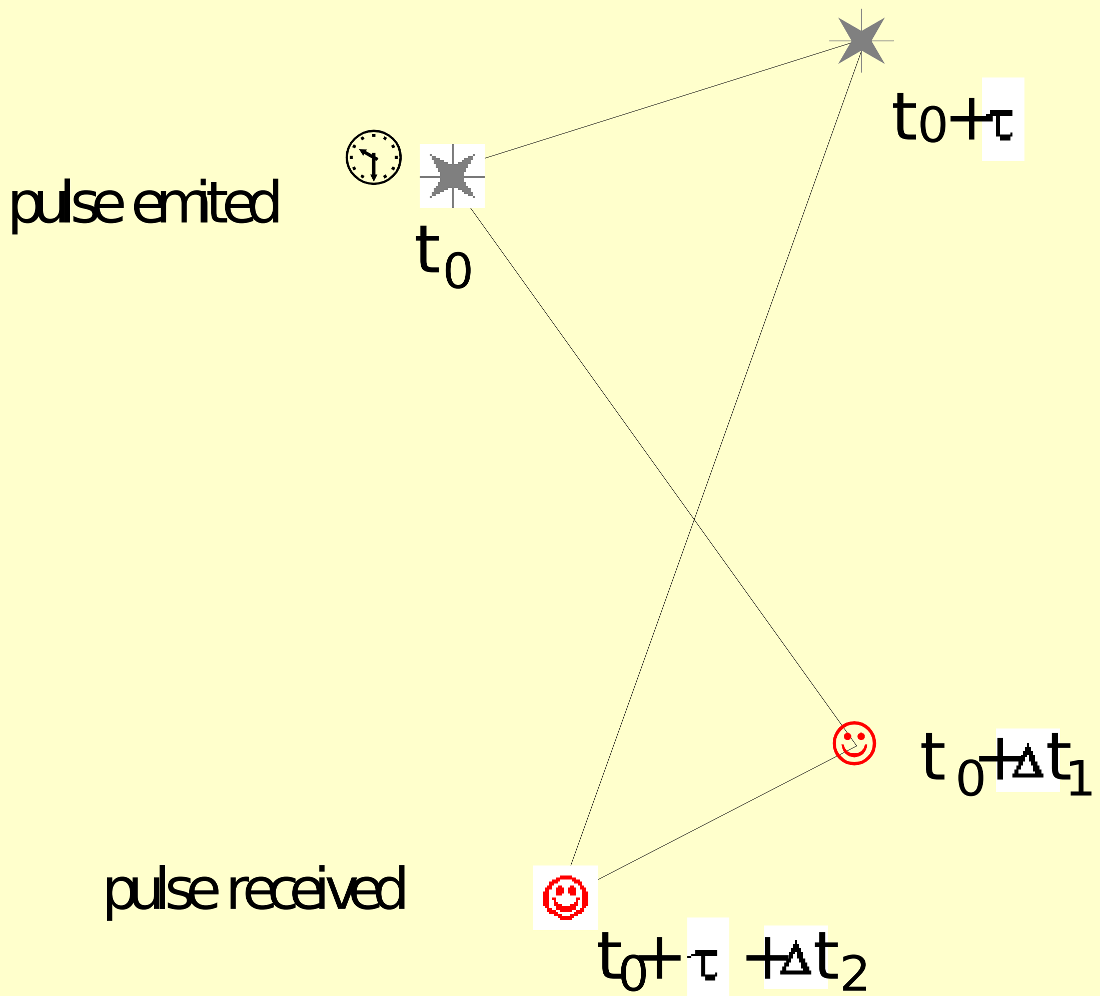
Redescoberta em 2002

K=27.5 m/s
M.sin(i)=1.7 Jup
P=2.48 yr

VB 10 – Palomar 2009 (Obs: m=0.08 Sol)

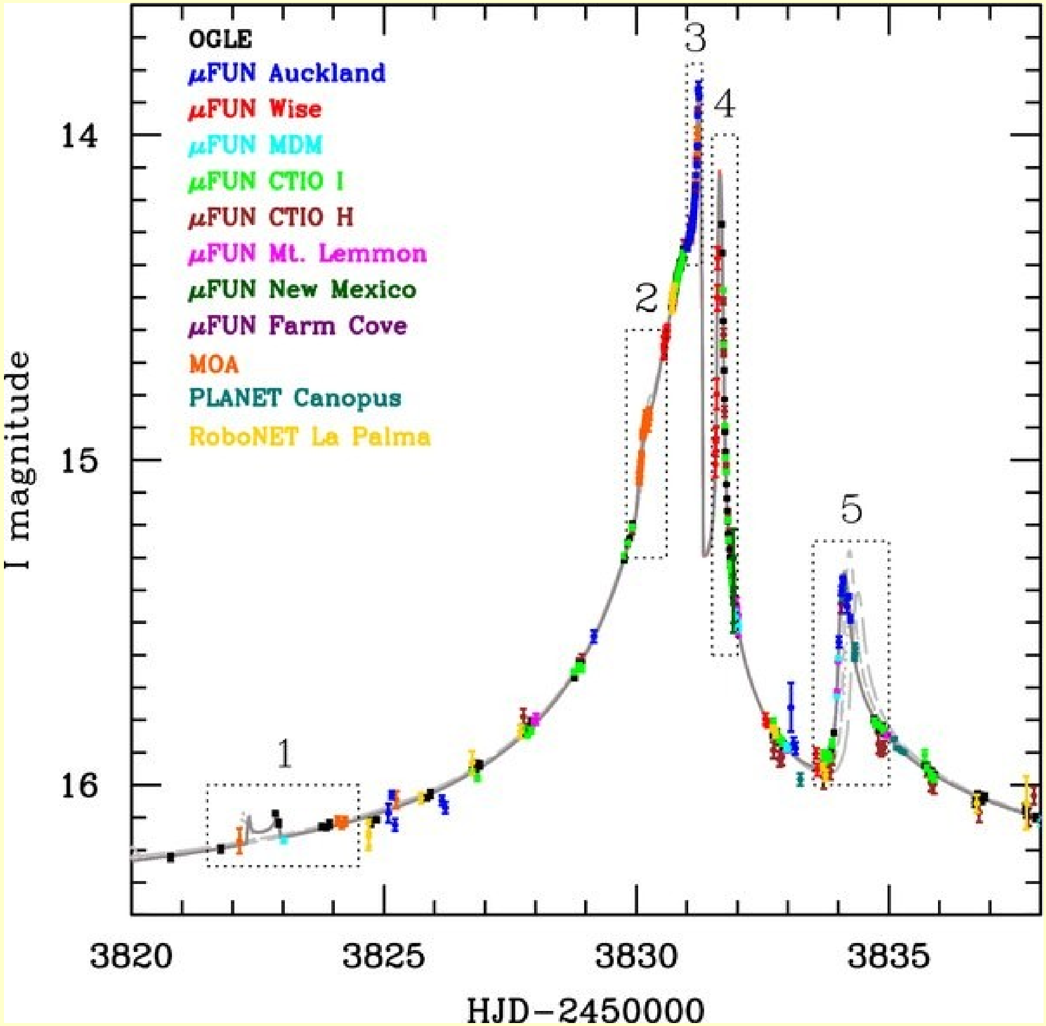


Pulse timings (Nonrelativistic model)



$$\Delta t_{arrival} = \tau + (\Delta t_2 - \Delta t_1)$$

OGLE-2006-BLG-109Lb,c JUPITER/SATURN ANALOG



Masses:
0.727 Jup
0.271 Jup

Distances:
2.3 au
4.5 au

cf D.P.Bennett et al. Astroph. J **713,** 837 (2010)

Planetas descobertos com outras técnicas