

Planetas extrassolares. Vida em outros planetas. SETI

Aula 9

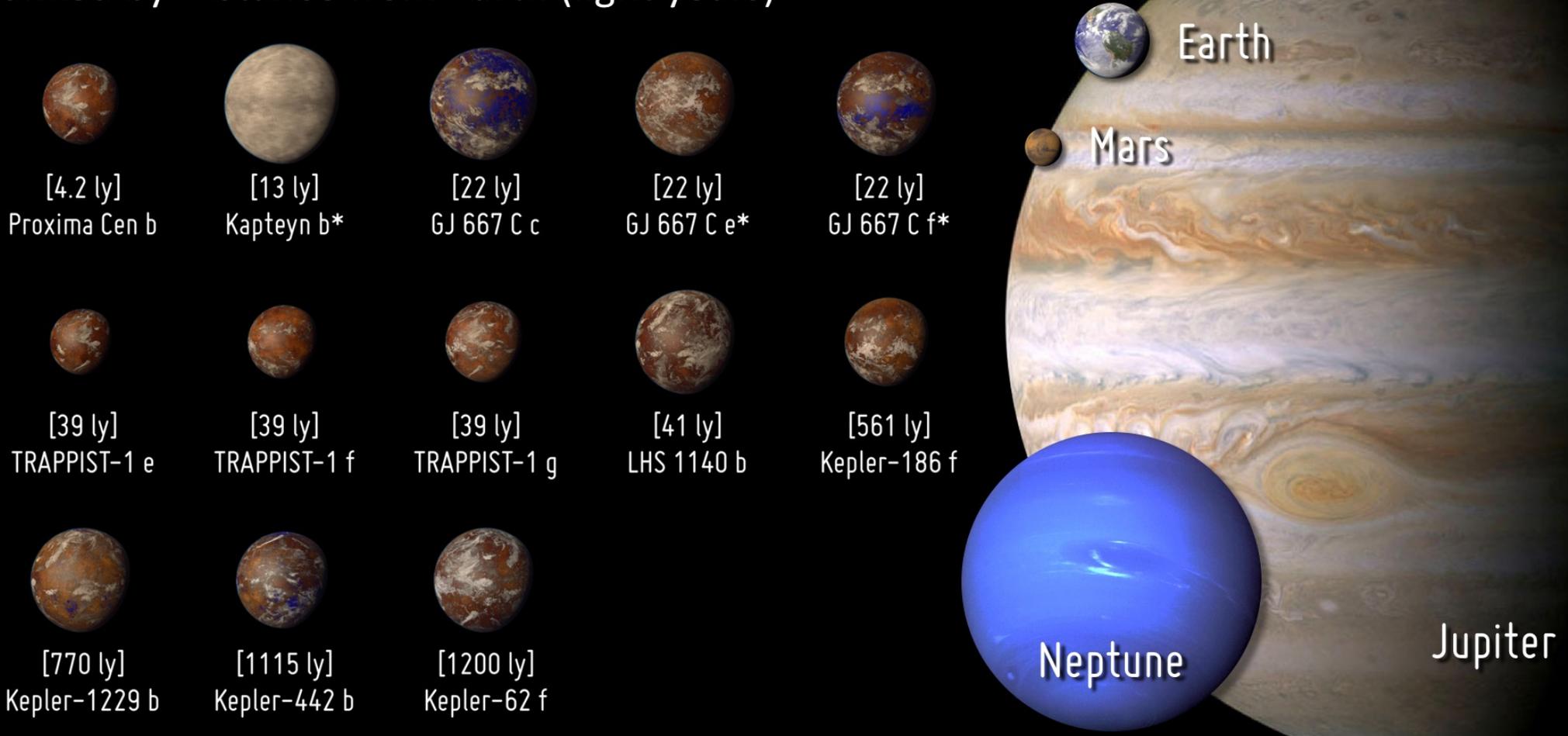
Tópicos 2018_1

S.Lorenz-Martins



Potentially Habitable Exoplanets

Ranked by Distance from Earth (light years)



Artistic representations. Earth, Mars, Jupiter, and Neptune for scale. Distance from Earth is between brackets. Planet candidates indicated with asterisks.

CREDIT: PHL @ UPR Arcibo (phl.upr.edu) Nov 15, 2017

Dados gerais

- O maior planeta do Sistema Solar é Júpiter
 - ($M_J = 318M_{\text{Terra}}$; $M_{\text{SOL}} = 1047M_J$).
- Planetas são corpos que orbitam estrelas (*definição*) e não têm reações nucleares.
- Objetos com $M \gtrsim 70M_J$ são chamados estrelas.
- Entre $\sim 12M_J$ e $70M_J \rightarrow$ estrelas anãs marrons
- Objetos com $\lesssim 12M_J$ orbitando uma estrela são chamados planetas.
- Note que os limites acima não são precisos.

Sistemas Planetários Extrassolares

- 1995 → diversos planetas
- Detecção → diversas técnicas
- A maioria dessas trabalha no limite da detectabilidade, em conjunto com o aperfeiçoamento de novas técnicas observacionais.

Sistemas Planetários Extrassolares

- Atualmente se conhece 3708 exoplanetas e 2644 sistemas planetários extrassolares
- Quatro planetas desgarrados (ou flutuantes) são conhecidos até o momento.
- Mais de 95% destes planetas são menores que Netuno (que é ~4x maior que a Terra).

O primeiro: HD 114762 b

- O primeiro planeta extrassolar descoberto foi HD 114762 b, em 1989, com cerca de 12 $M_{\text{Júpiter}}$, por David W. Latham, Robert P. Stefanik, Tsevi Mazeh, Michel G. E. Mayor (1942-) & Gilbert Burki publicado na Nature, 339, 38, mas não foi classificado como um planeta na época, e sim como uma anã marrom.

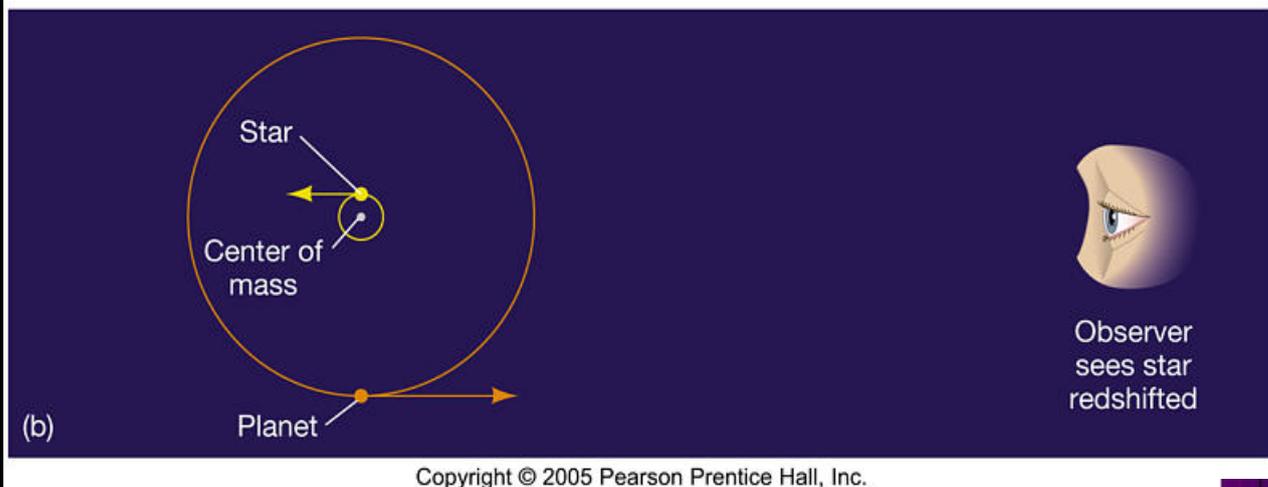
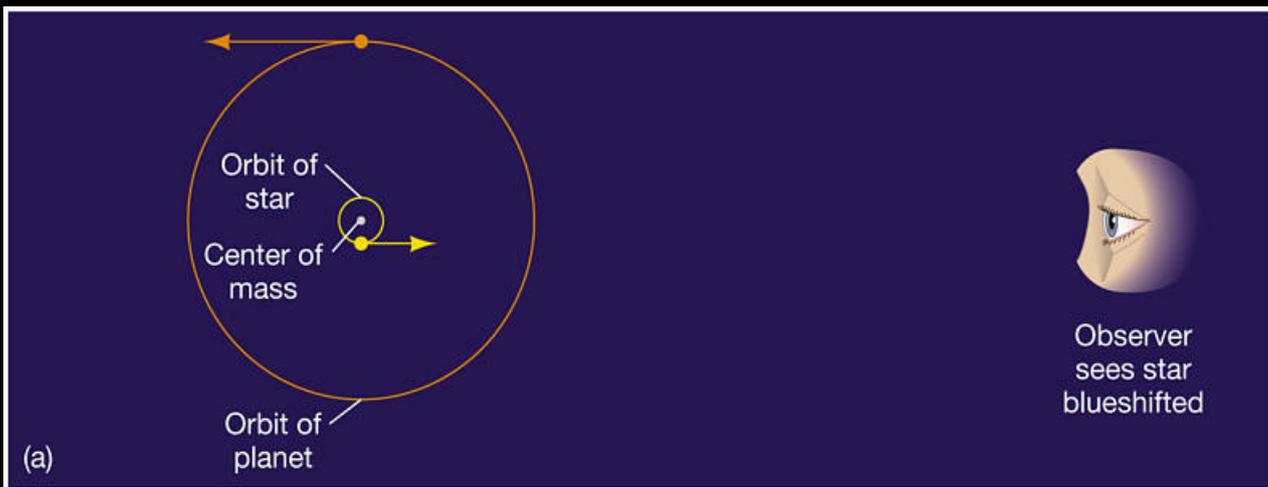
Detecção de Sistemas Extrassolares

- Efeito Doppler
- Astrometria
- Transito planetário
- Imageamento direto
- Microlenteamento

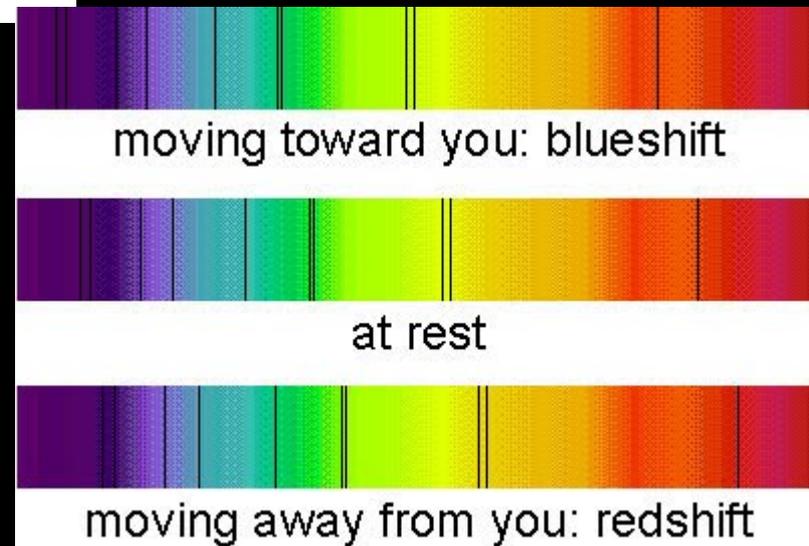
Detecção de Sistemas Extrassolares

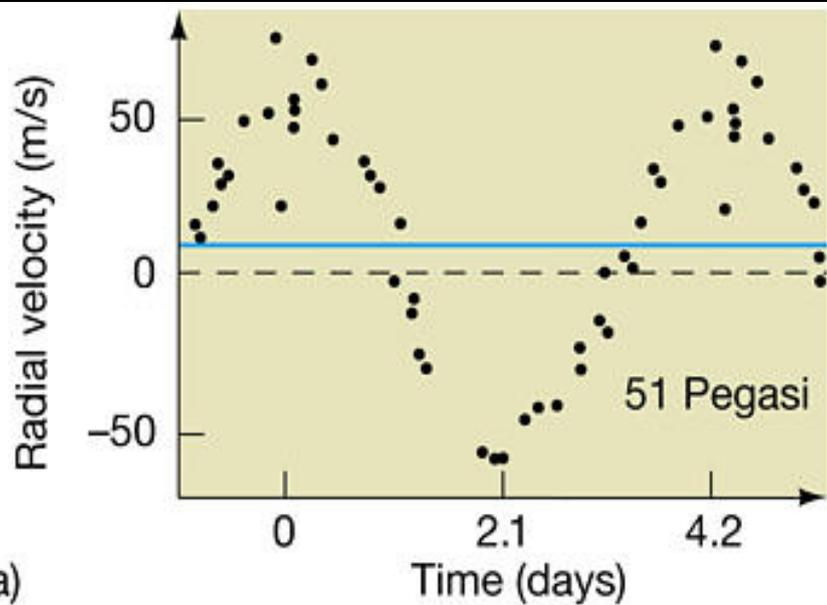
Efeito Doppler

- É um método espectroscópico que busca encontrar o movimento da estrela central em torno do centro de massa do sistema a partir de variações de velocidade radial. As variações de velocidade radial buscadas estão em torno de 50 a 1 m/s.
- Método mais produtivo, independente de distância, mas dependente de espectros de alta precisão
- Permite encontrar com facilidade jupíteres quentes, mas requer décadas de observação para encontrar jupíteres semelhantes ao do sistema solar.
- Tem a desvantagem de só permitir a estimativa da massa mínima para o planeta.

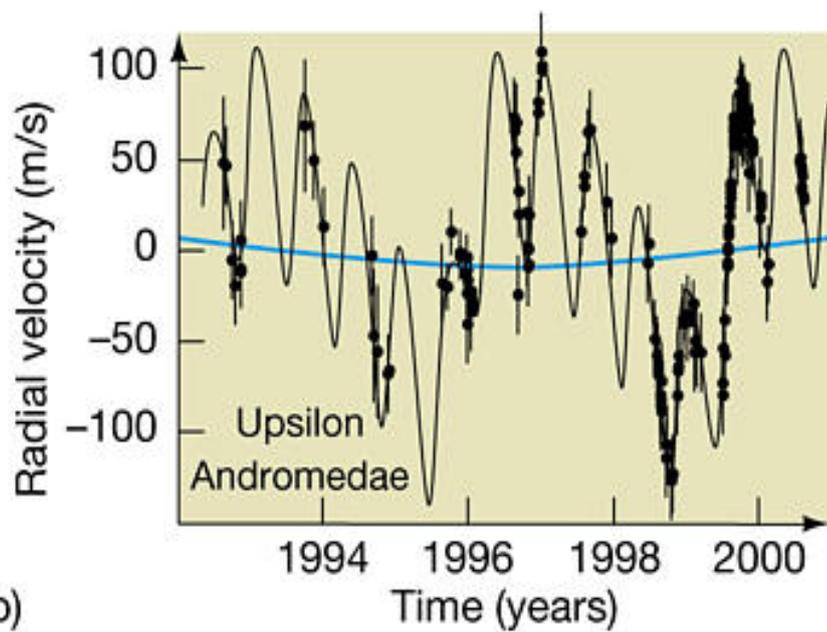


Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

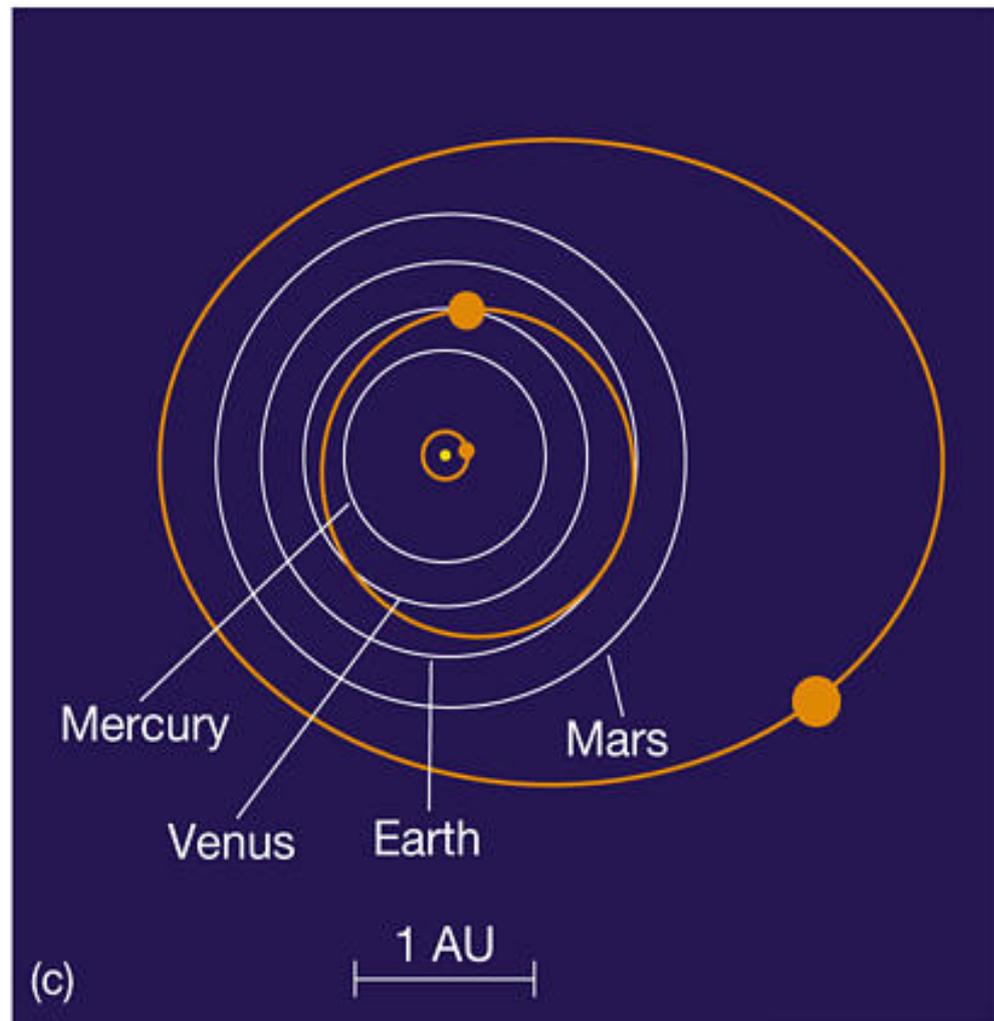




(a)

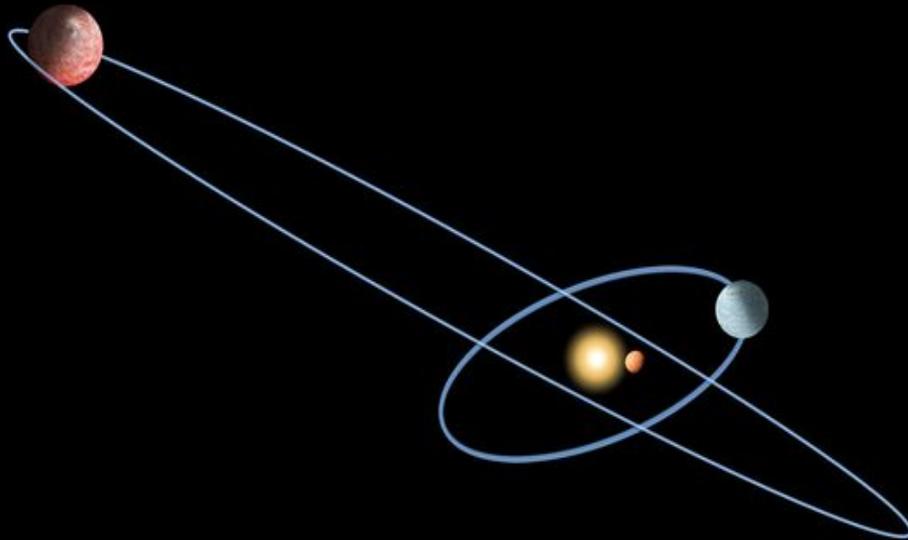


(b)



(c)

Upsilon Andromedae

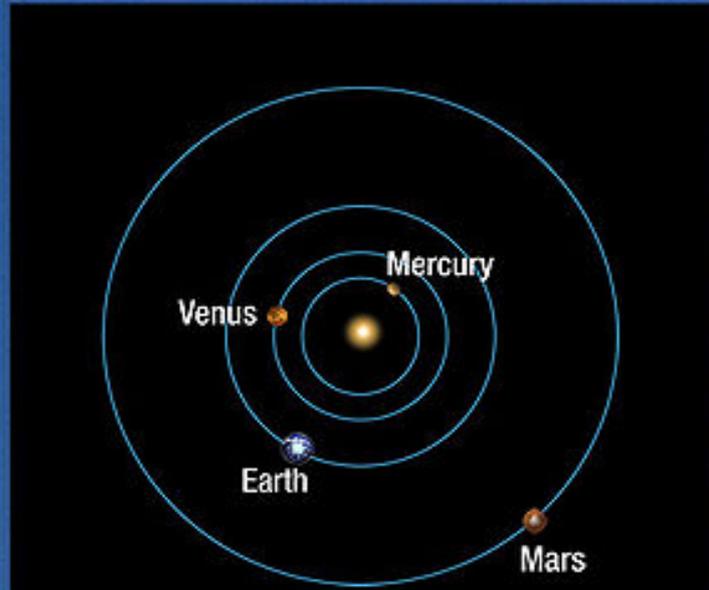


- Mesmo quando menos esperamos, os dados apresentam situações estranhas. Em 2011, descobriu-se que este sistema não apresenta órbitas planetárias coplanares, destoando completamente do nosso.

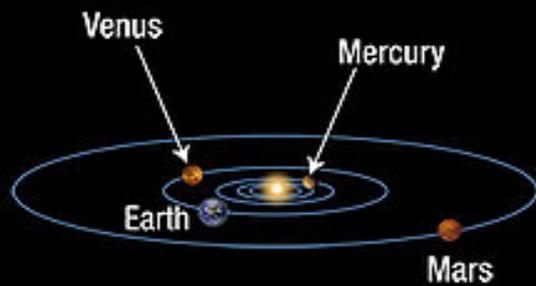
υ And is a bright F8V star with a mass of $1.3 M_{\odot}$ and a stellar radius of $1.56 R_{\odot}$ (e.g., Butler et al. 1999).

Comparison of Solar System with Upsilon Andromedae System

Inner Solar System

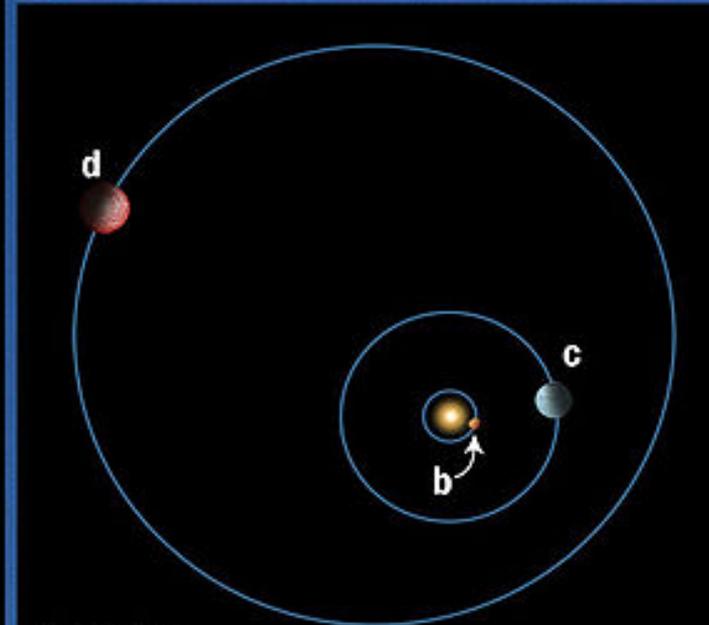


Polar view

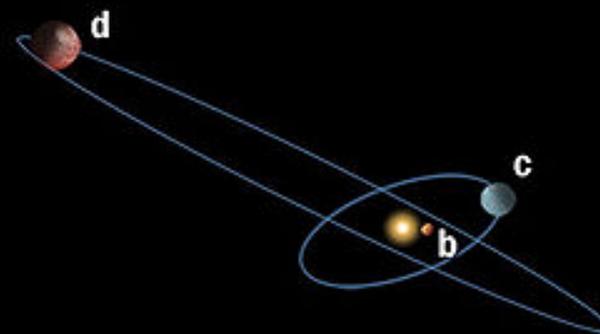


Oblique view

Upsilon Andromedae System



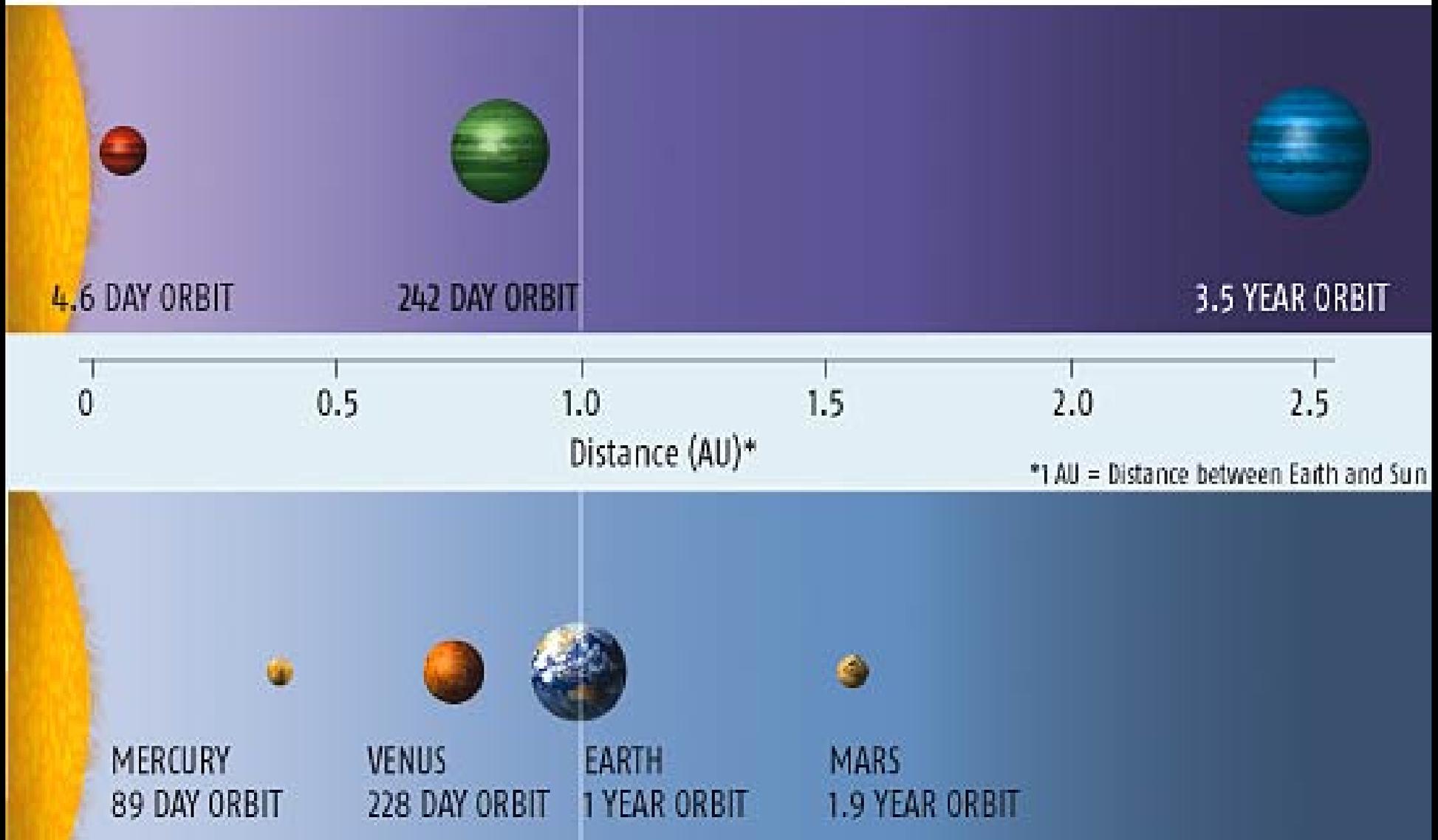
Polar view



Oblique view

THE UPSILON ANDROMEDAE SYSTEM

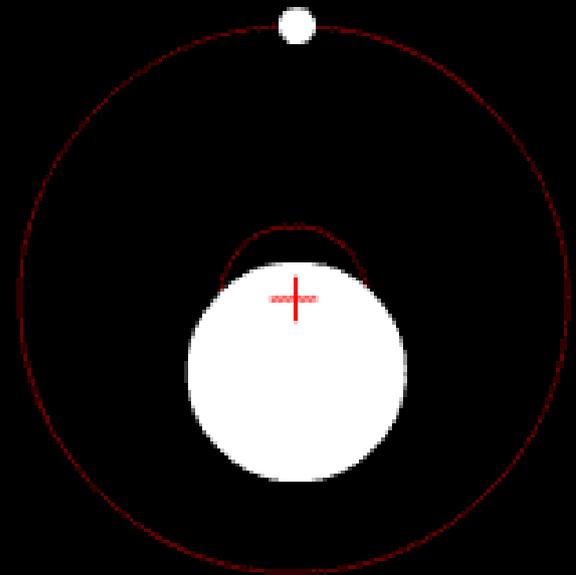
Water has been detected in the region around Upsilon Andromedae



Detecção de Sistemas Extrassolares

Astrometria

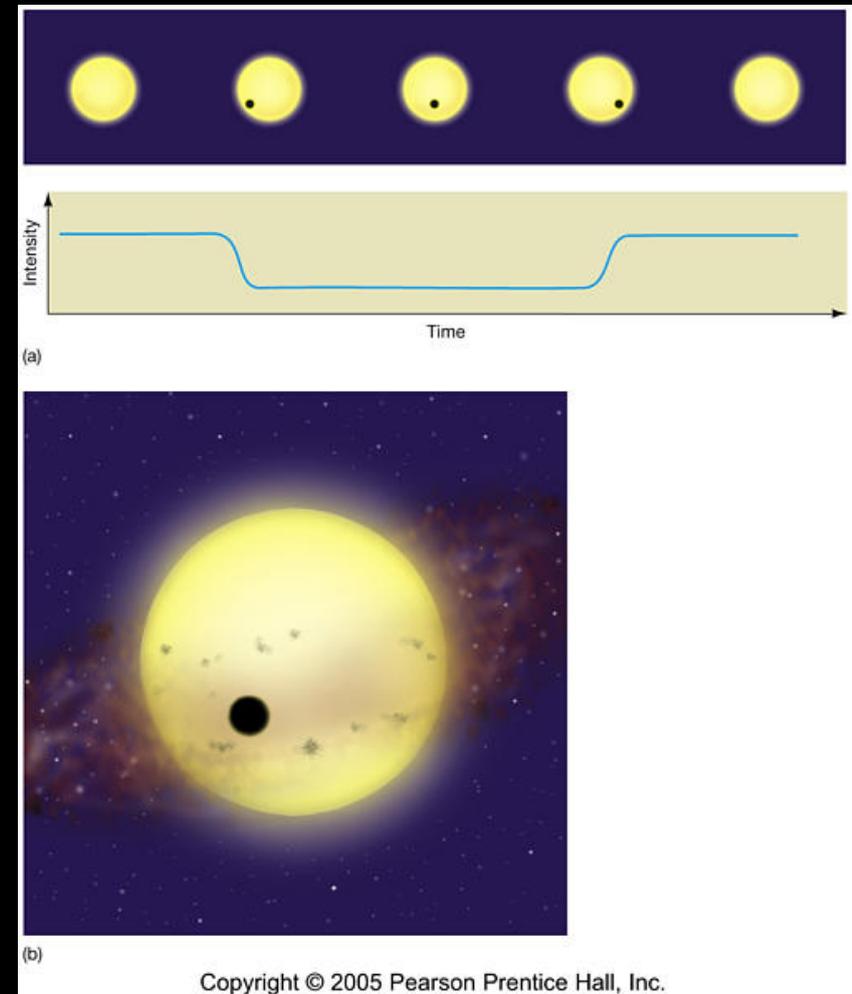
- A presença de planetas faz com que a estrela central gire em torno do centro de massa do sistema planetário. Portanto, oscilações na posição precisa da estrela podem indicar companheiros invisíveis.
- Diversas tentativas de aplicar essa técnica nos anos 50 e 60 foram infrutíferas. Contudo, em 2002, o HST conseguiu medir a oscilação na posição de Gliese 876.



Detecção de Sistemas Extrassolares

Trânsitos planetários

- A passagem de um planeta diante do disco estelar
- Permite estimar o raio do exoplaneta.
- Possui a desvantagem de só ser aplicável a sistemas planetários cujo plano orbital se alinhe com a linha de visada do observador.
- Permite o estudo da atmosfera do planeta, a partir de espectroscopia diferencial.



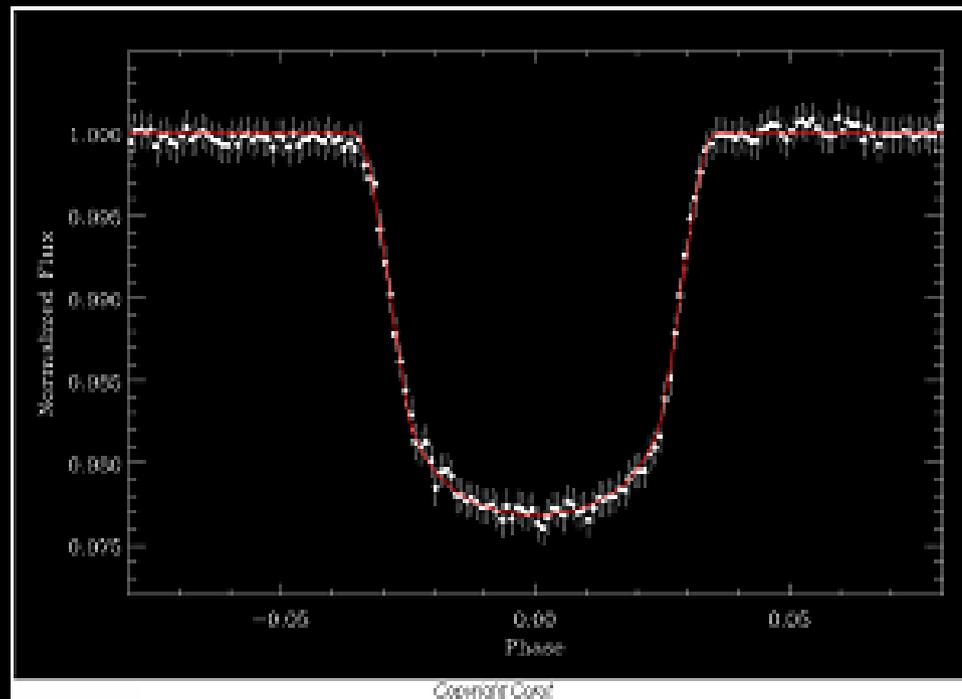
COROT

- **COROT** (COnvecção, ROtação e Trânsitos planetários), uma colaboração França-Áustria-Alemanha-Espanha-Brasil, com um telescópio de 27 cm e campo de $2,8^\circ \times 2,8^\circ$ para detectar exoplanetas por trânsitos
- **COROT-Exo-7b**, com uma massa de $(4,8 \pm 0,8) M_{\text{Terra}}$ e um diâmetro de 1,65 maior que o da Terra mas que orbita sua estrela a cada 20 horas (Alain Léger et al. 2009)

Primeiro planeta extrassolar rochoso confirmado

COROT

- Depois de descobrir 32 novos planetas, a missão COROT foi encerrada porque o satélite parou de responder em novembro de 2012.



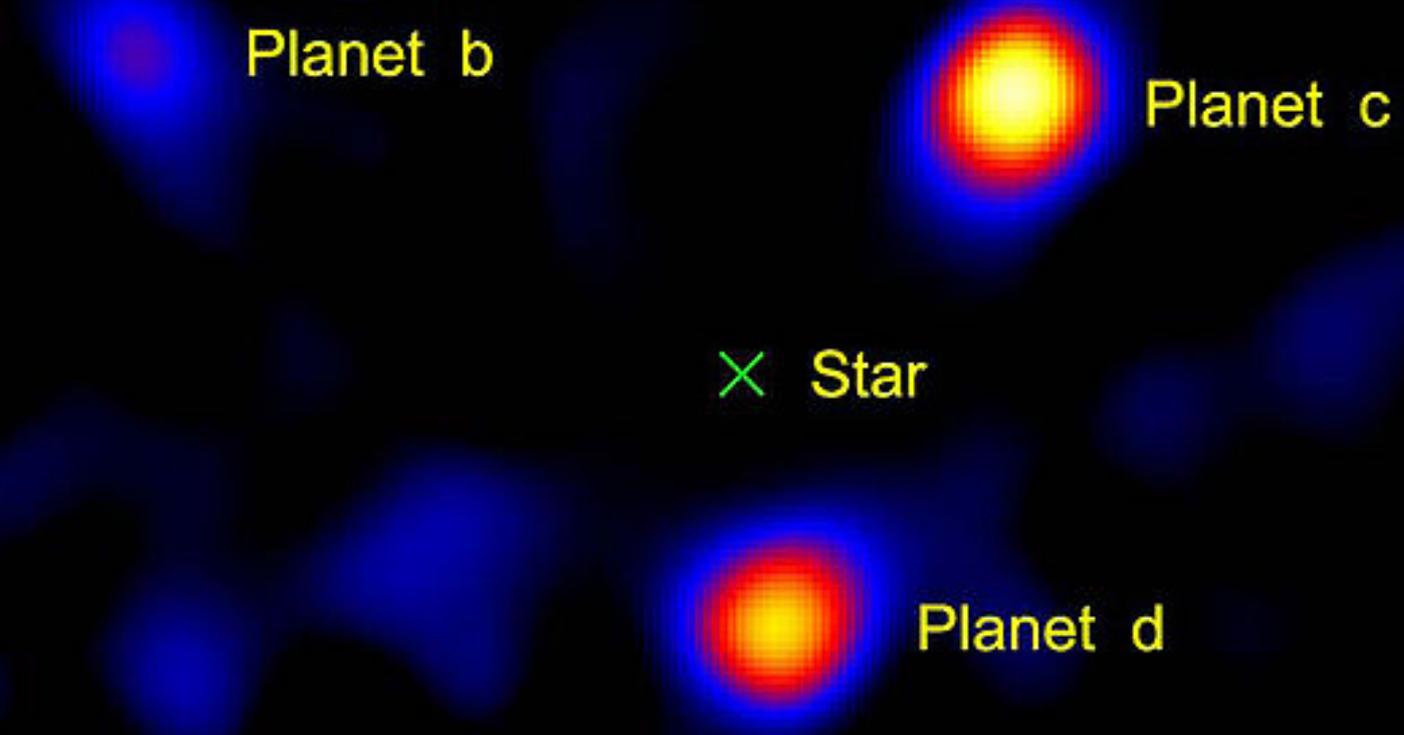
Detecção de Sistemas Extrassolares

Imageamento direto

- Planetas são fontes de luz muito débeis comparados às suas estrelas. Em geral, é impossível detectá-los diretamente.
- Todavia, planetas gasosos gigantes em órbitas distantes em torno de estrelas de baixa temperatura podem ser observados a partir de técnicas atuais de imageamento no infravermelho.



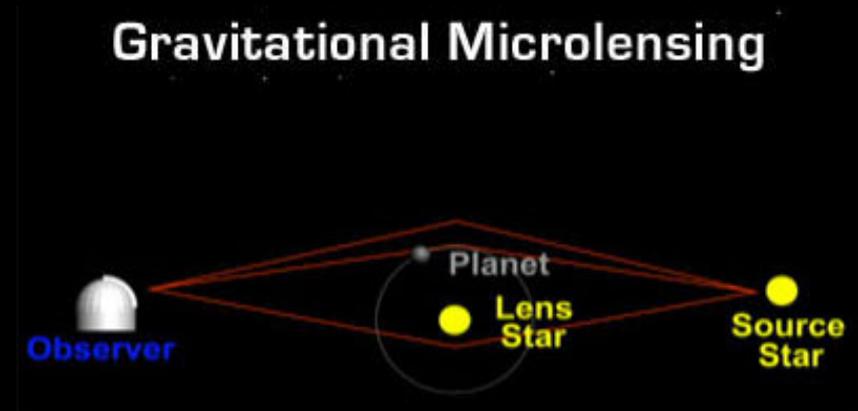
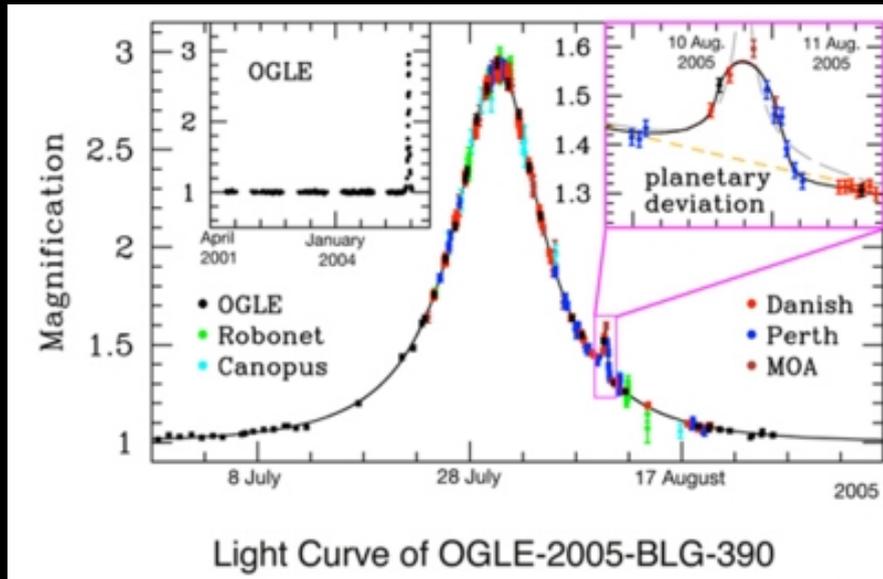
Três planetas gigantes encontrados em torno de HR 8799, em 2008



Tres planetas conhecidos da estrela HR8799, imageados pelo telescópio Hale. A luz da estrela central foi tapada por um coronógrafo (onde está marcado o X).

Detecção de Sistemas Extrassolares

Microlenteamento



- Microlenteamento gravitacional ocorre quando o campo gravitacional de uma estrela age como lente, magnificando a luz de uma estrela distante ao fundo. Este efeito ocorre quando ambas estejam exatamente alinhadas.

- Eventos deste gênero duram poucas semanas ou dias.
- Mais de 100 eventos assim foram observados nos últimos 10 anos.
- Se a estrela-lente possui um planeta, o campo gravitacional deste produz mudanças detectáveis na curva de luz do fenômeno.



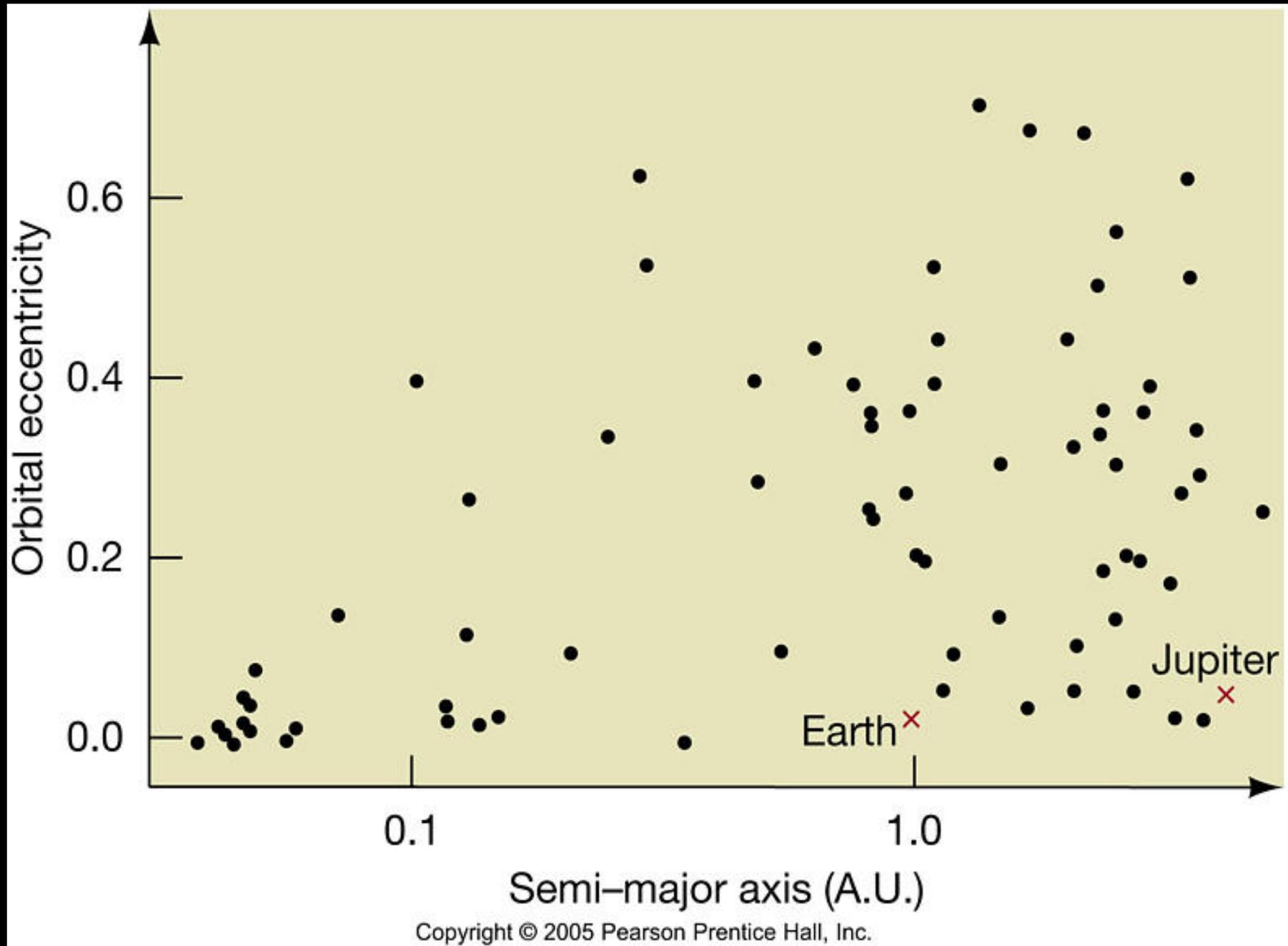
- Quatro planetas extrassolares foram confirmados através desse método.
- Uma desvantagem do método é que o efeito não pode ser reproduzido. Com isso, planetas eventualmente detectados não serão reobservados.

O satélite da NASA Kepler

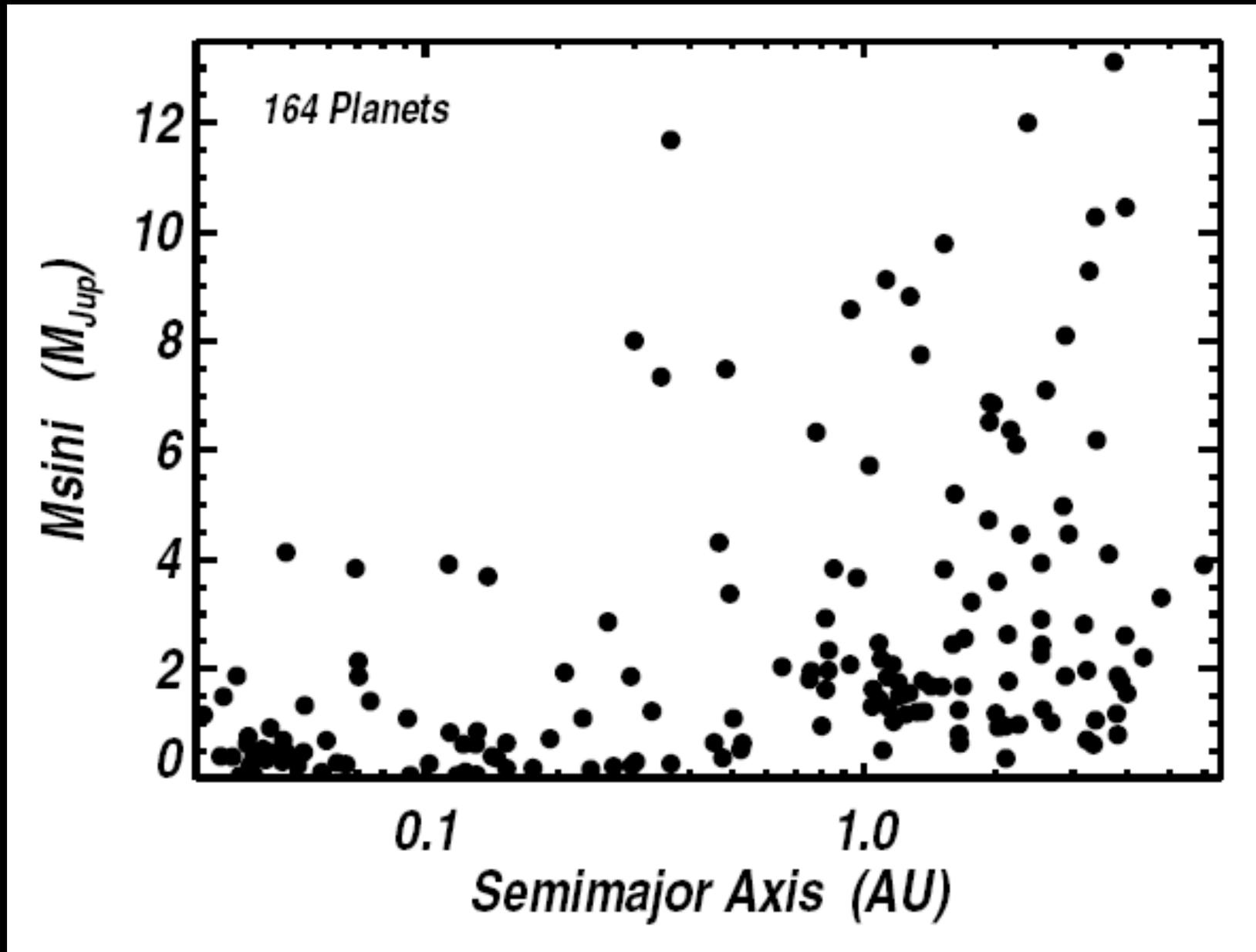
- O satélite Kepler foi lançado em 6 de março de 2009
- Missão: procurar por planetas tipo terrestres orbitando na zona habitável de outras estrelas
- Capaz de detectar a pequena redução no brilho da estrela quando um planeta passa na frente dela

Dos 2342 candidatos a planetas confirmados pela missão Kepler, somente 30 tem tamanhos de até 2 vezes o tamanho da Terra

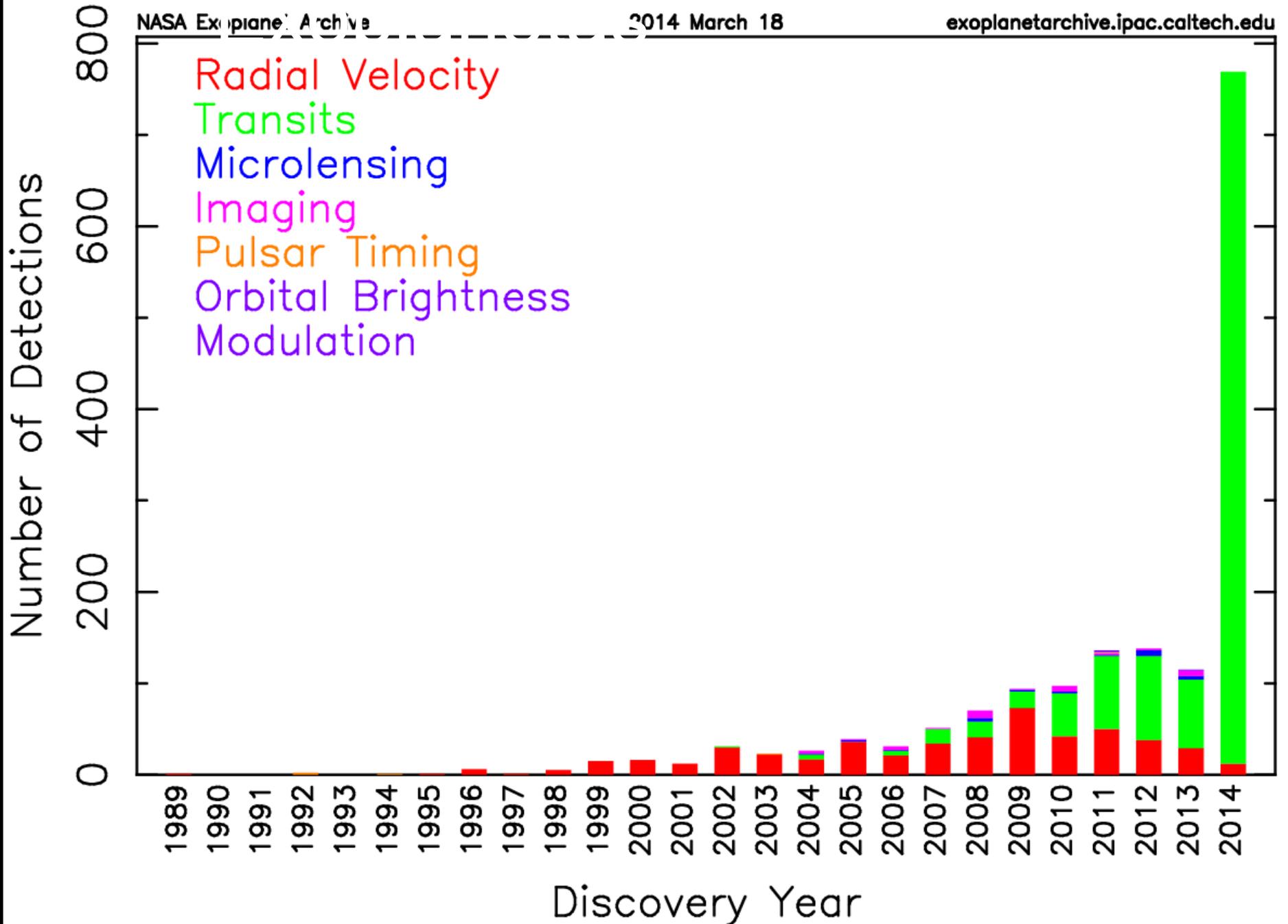
Propriedades Orbitais dos Exoplanetas



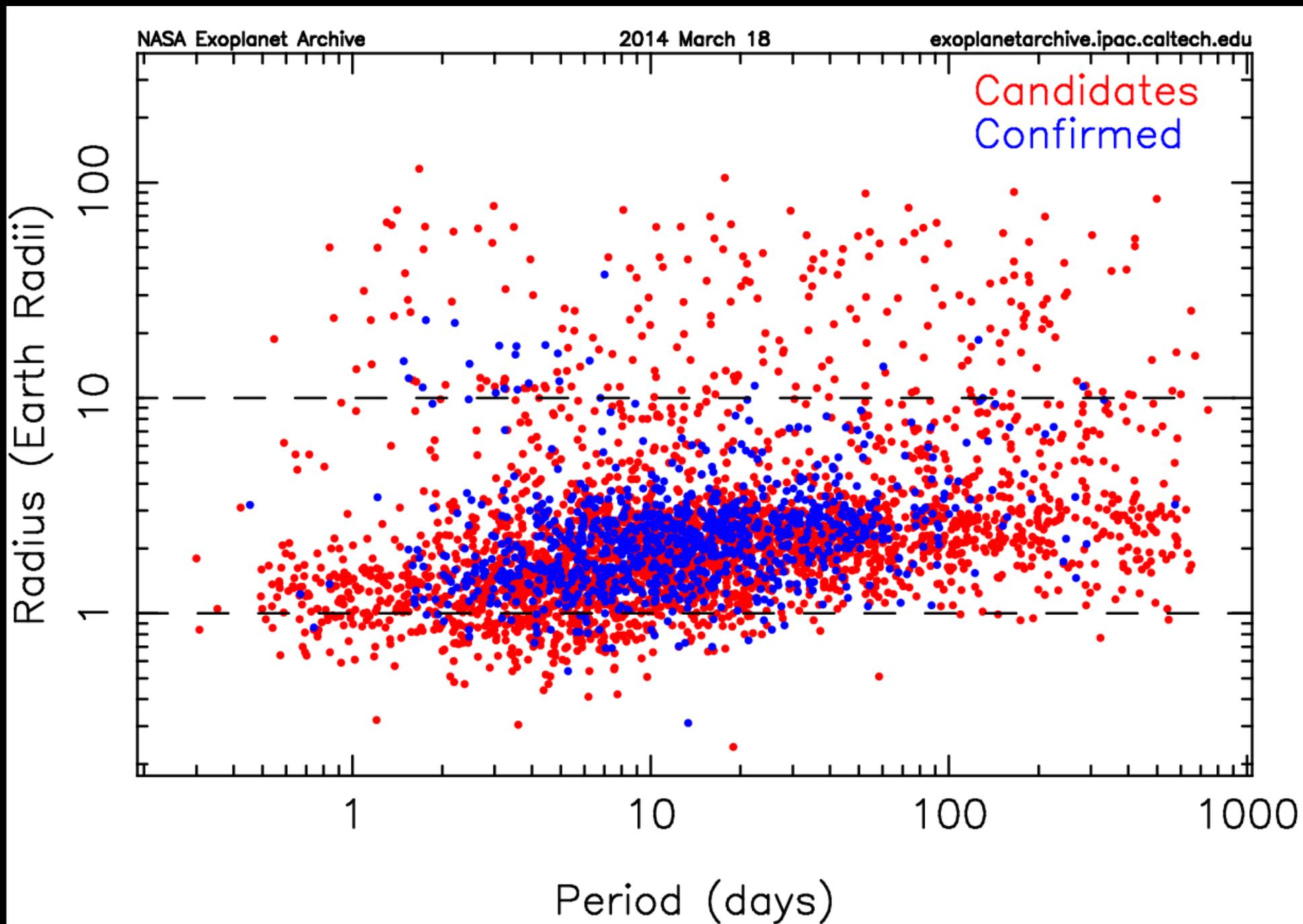
Propriedades Orbitais dos Exoplanetas



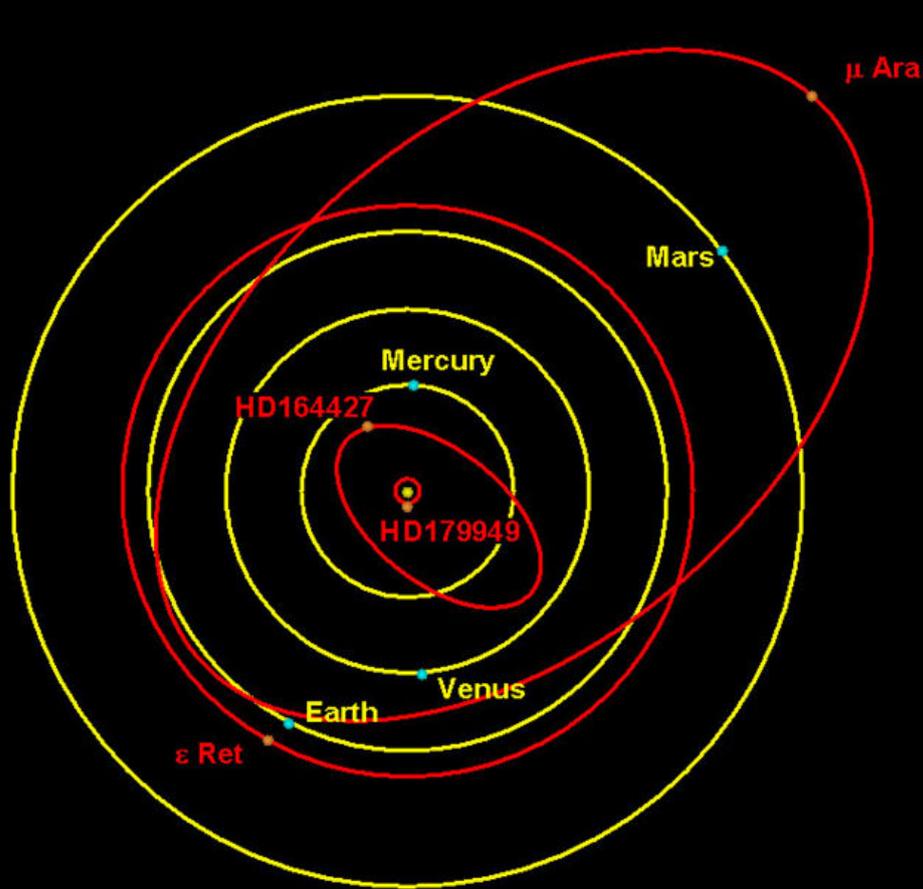
Detecções de



Propriedades Orbitais dos Exoplanetas



Exemplos de órbitas planetárias

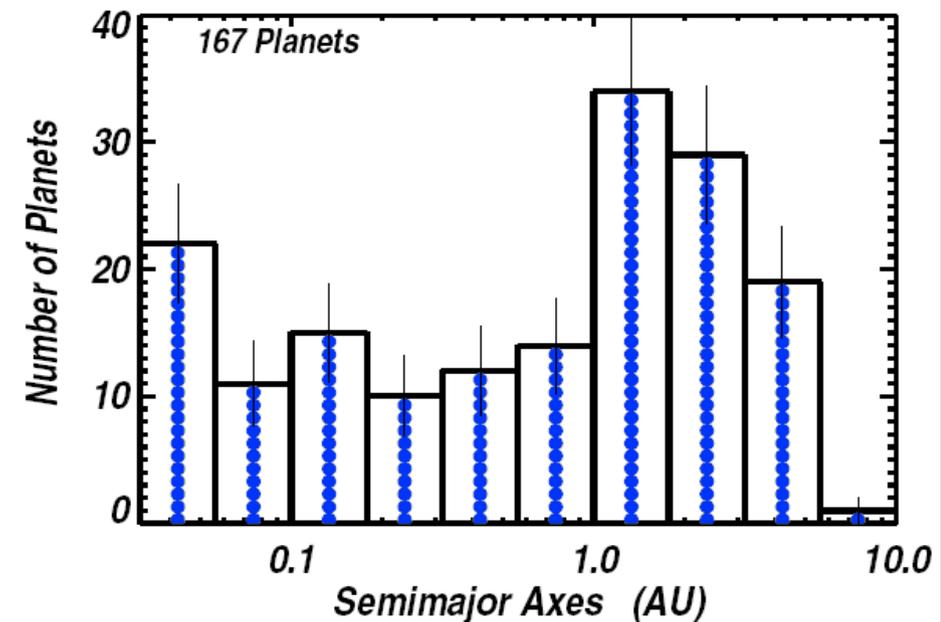


- A maioria dos exoplanetas encontrados até o momento apresentam órbita bastante excêntrica, em contraste com os planetas do sistema solar.
- Até que ponto nosso Sistema Solar é típico ou é uma exceção?

Jovianos quentes (pegasídeos)

- Os primeiros exoplanetas → gigantes gasosos que orbitavam a estrela central em órbitas intramercurianas excêntricas.
- A presença de mundos enormes tão próximos das estrelas centrais era considerada incompatível com as teorias de formação planetária.

Todavia, as observações mostraram que o número destes “jovianos quentes” é consideravelmente alto. As teorias de formação planetária foram revistas para explicar esse fenômeno através da migração planetária.



Alguns planetas extrassolares

51 Pegasi b (Belerofonte)

- Primeiro exoplaneta a ser descoberto em torno de uma estrela solar. Revolucionaria em torno da estrela a cada 4 dias terrestres, situando-se mais próximo de 51 Pegasi do que Mercúrio está do Sol.
- Temperatura $\sim 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Massa \sim metade da massa de Júpiter



51 Pegasi b (Belerofonte)



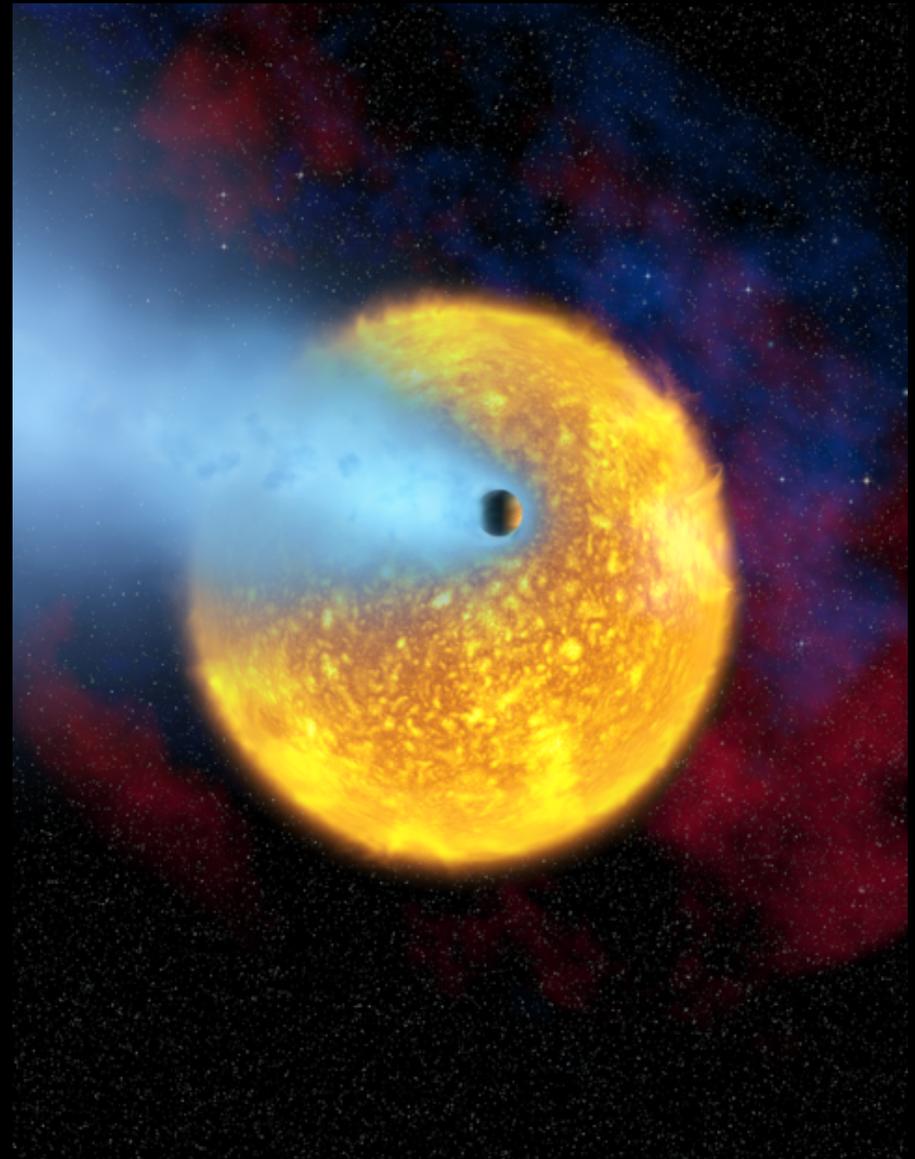
- Embora esteja muito próximo da estrela central, sua atmosfera não foi varrida pelo vento estelar, devido à massa do planeta ser consideravelmente grande.
- 51 Pegasi b provavelmente possui um raio maior do que o de Júpiter.
- A atmosfera superaquecida deve ter inchado e formado uma camada tênue, mas espessa ao redor do planeta. Abaixo desta, os gases ainda estariam tão quentes que fariam o planeta fulgurar na luz vermelha. Nuvens de silicatos devem existir na atmosfera.

O planeta está em sincronia mareal com a estrela.

Alguns planetas extrassolares

HD 209458 b (Osíris)

- Primeiro exoplaneta descoberto através de trânsitos.
- É envolto por um halo elipsoidal de H, C e O, que chega à $t \sim 10000$ K.
- Nesta temperatura, um grande número de átomos escapariam do planeta.



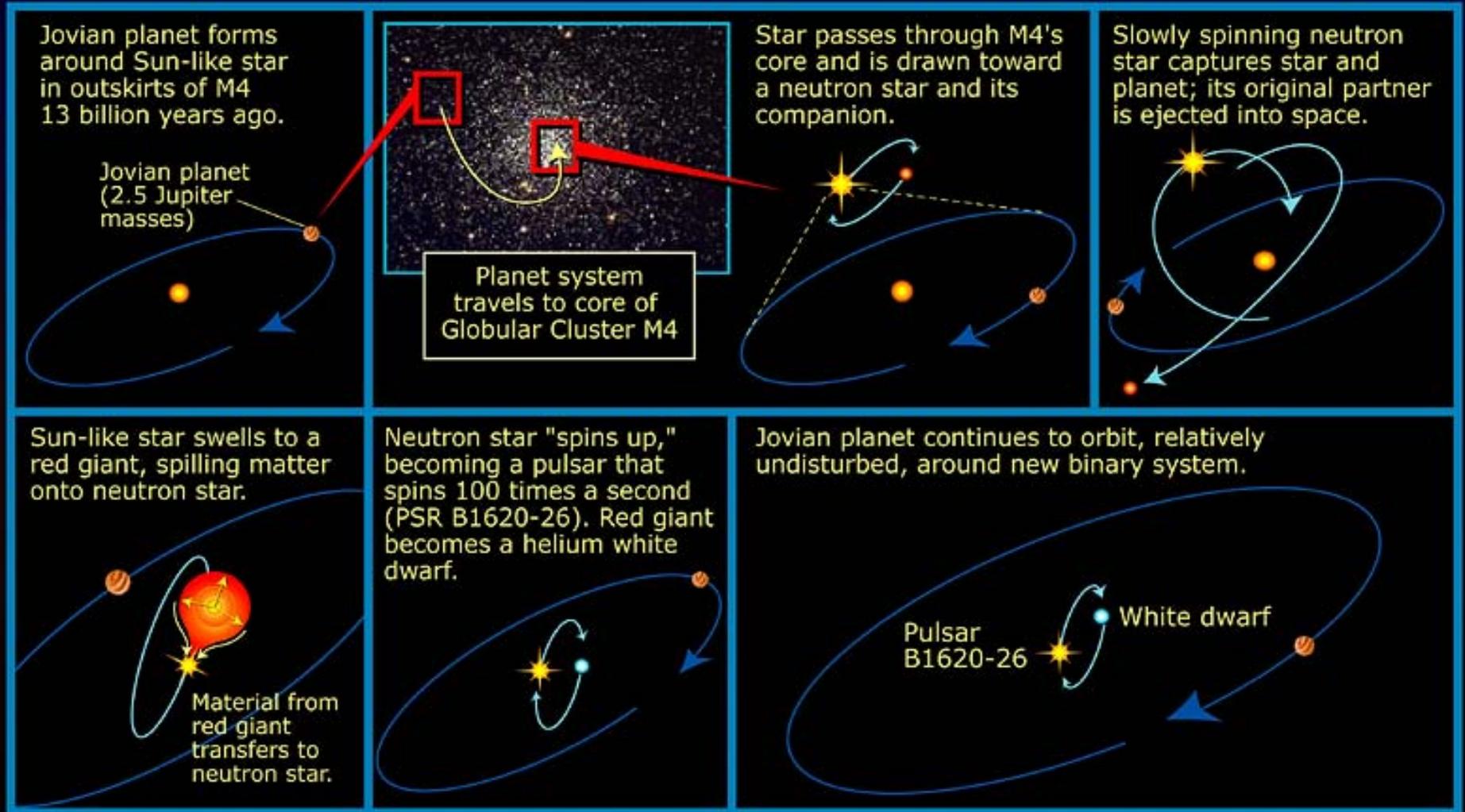
Alguns planetas extrassolares

PSR B1620-26 c (Matusalém)

- “Matusalém” → aglomerado globular M4, distante cerca de 2.14 kpc à Terra.
- Único planeta conhecido que orbita em torno de um par binário:
 - **Pulsar + anã branca.**
- O planeta possui duas vezes mais massa que Júpiter e tem cerca de 13 Ga.
- Foi descoberto a partir de variações nas pulsações do pulsar.

PSR B1620-26 c (Matusalém)

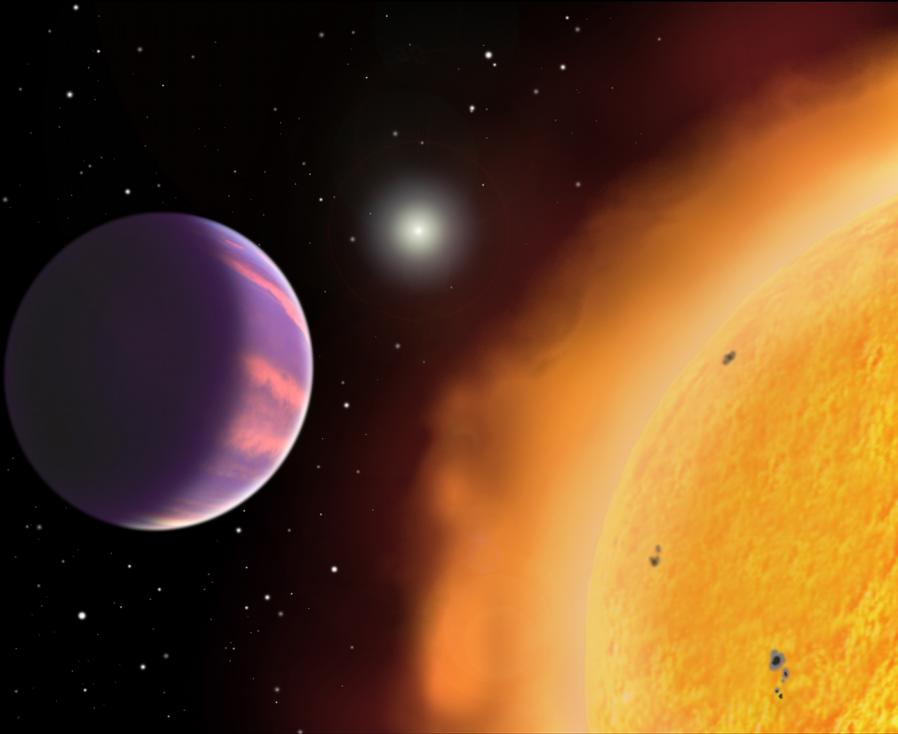
Jovian planet in Globular Cluster M4: Calm bystander in stellar drama



Alguns planetas extrassolares

TrES-4 (Fluffy/puffy planet, “planeta fofinho/inchado”)

- Massa $\sim 0.84 M_{\text{jup}}$
- Comp: H e He
- Raio: $1.674 R_{\text{jup}}$
- Possui a menor densidade já encontrada em um planeta (1/4 da densidade da água).



Alguns planetas extrassolares

OGLE-2005-BLG-390L b



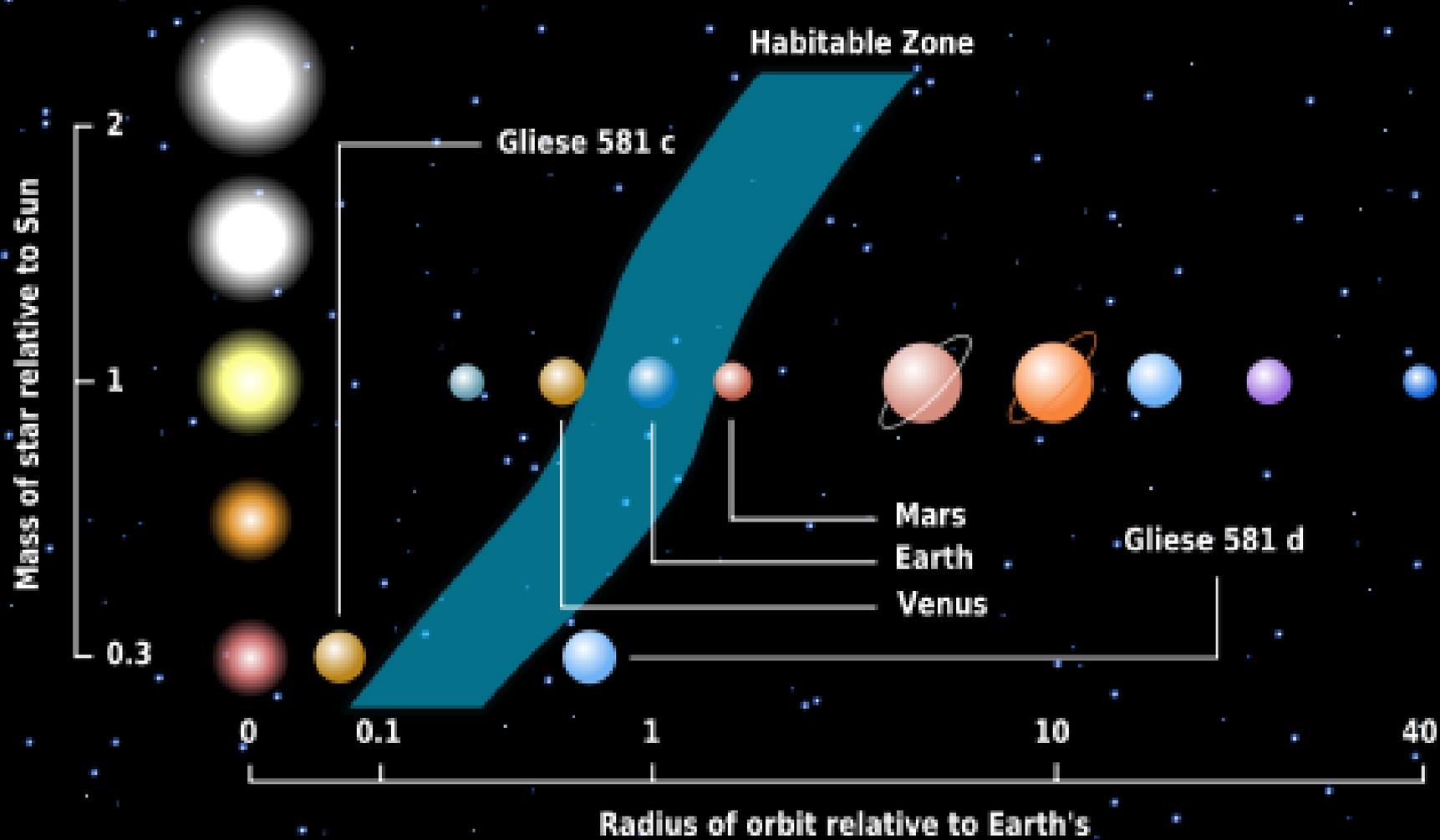
- Órbita: 2.0 - 4.1 UA
- Período: 10 anos terrestres.
- Massa: $5.5 M_{\text{Terra}}$
- $T \sim 50 \text{ K}$
- Especula-se que tenha um núcleo rochoso como a Terra e uma atmosfera tênue e fina.

Alguns planetas extrassolares

Gliese 581 c (Ymir)

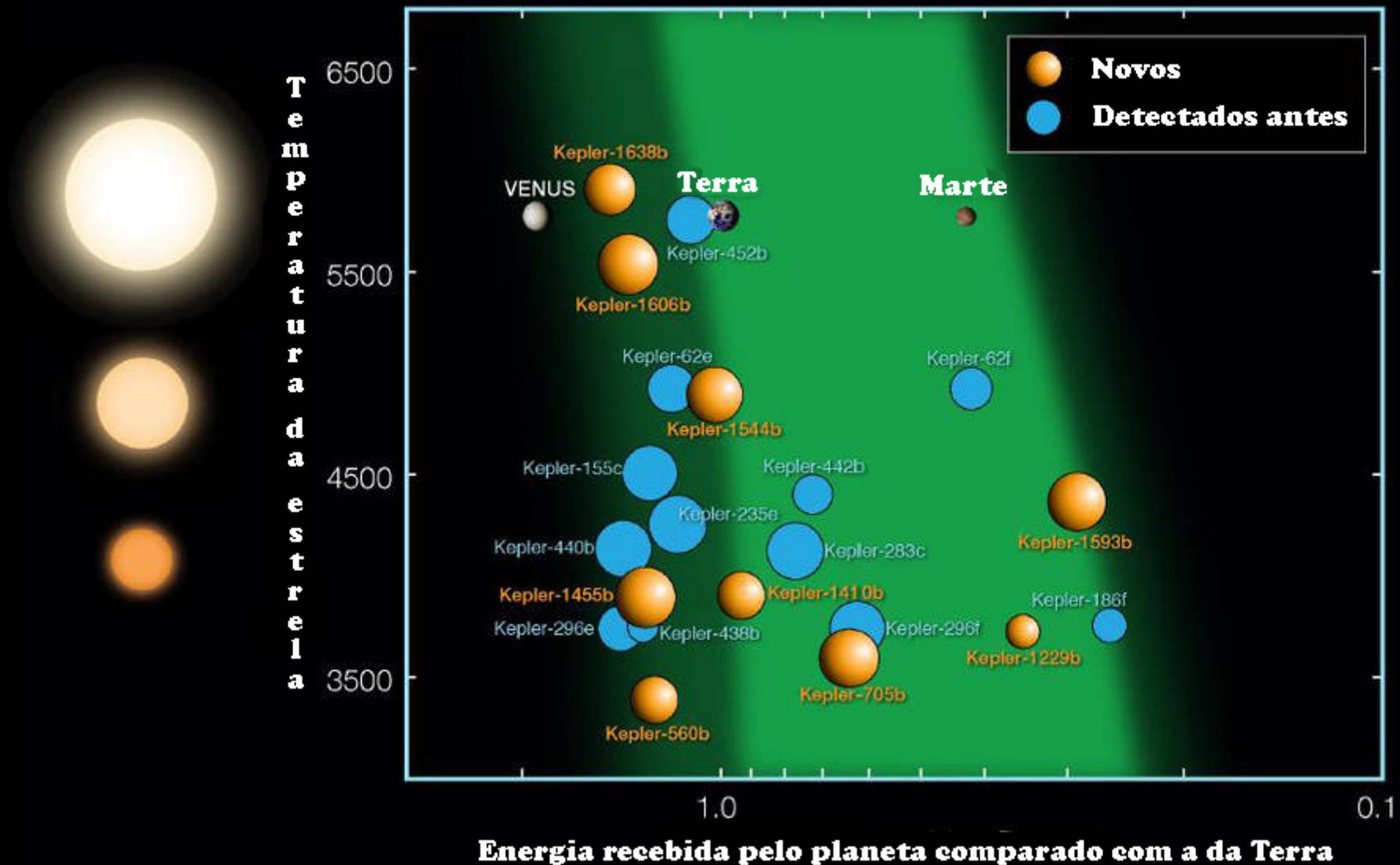


- Massa: $5.03 M_{\text{terra}}$
- O planeta parecia estar na zona habitável de sua estrela.
- Todavia, cálculos posteriores descartaram essa hipótese.



Planetas na Zona Habitável

detectados pelo satélite Kepler até maio/2016



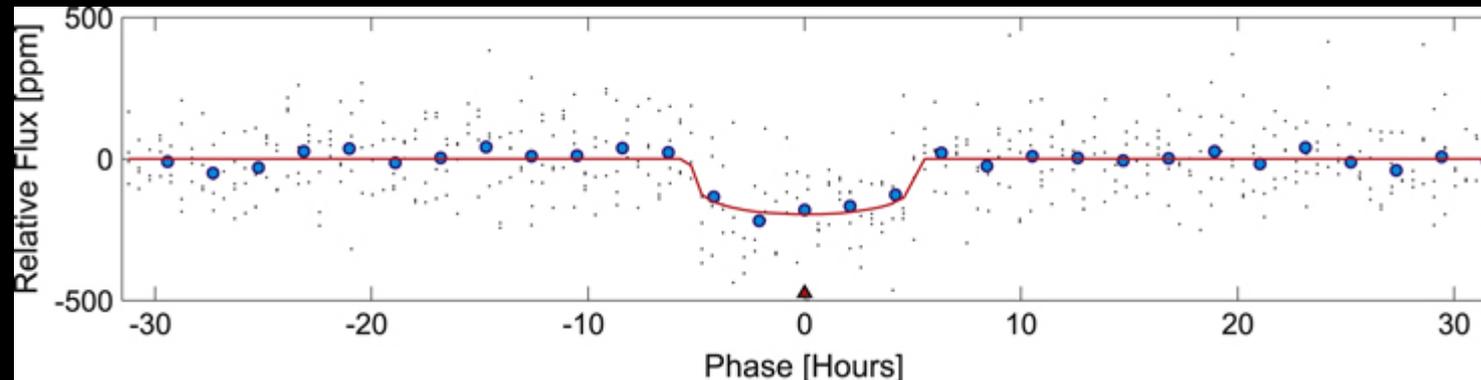
Alguns planetas extrassolares

Gliese 832 c, Kepler 452 b

- Massa: $5.4 M_{\text{Terra}}$
- Raio: $1.6 R_{\text{Terra}}$
- Provavelmente rochoso
- Zona habitabilidade

SuperTerra

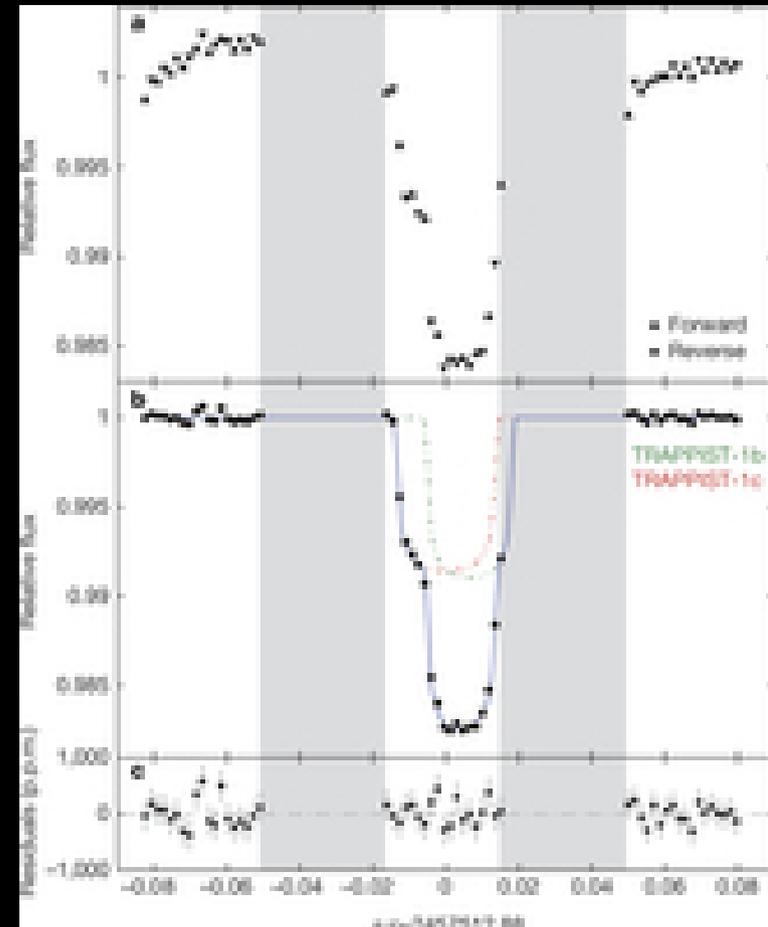
2015AJ...150...56J



Alguns planetas extrassolares

Trappist-1b , Trappist-1c

- Astrônomos do ESO (Observatório Europeu do Sul) localizaram três planetas potencialmente habitáveis a apenas 40 anos-luz da Terra.



Maio-2016

Nature, Volume 537, Issue 7618, pp. 69-72 (2016)

Trappist-1b , Trappist-1c

- Tamanhos e temperaturas semelhantes aos de Vênus e da Terra
- Orbitam uma estrela anã muito fria
- Sete planetas



Trappist-1, a estrela central, é muito mais gelada e vermelha que o Sol, porém pequena, um pouco maior do que Júpiter.

Illustrations

TRAPPIST-1 System



Orbital Period
days

Distance to Star
Astronomical Units (AU)

Planet Radius
relative to Earth

Planet Mass
relative to Earth

	b	c	d	e	f	g	h
Orbital Period	1.51 days	2.42 days	4.05 days	6.10 days	9.21 days	12.35 days	~20 days
Distance to Star	0.011 AU	0.015 AU	0.021 AU	0.028 AU	0.037 AU	0.045 AU	~0.06 AU
Planet Radius	1.09 R_{earth}	1.06 R_{earth}	0.77 R_{earth}	0.92 R_{earth}	1.04 R_{earth}	1.13 R_{earth}	0.76 R_{earth}
Planet Mass	0.85 M_{earth}	1.38 M_{earth}	0.41 M_{earth}	0.62 M_{earth}	0.68 M_{earth}	1.34 M_{earth}	—

Solar System Rocky Planets

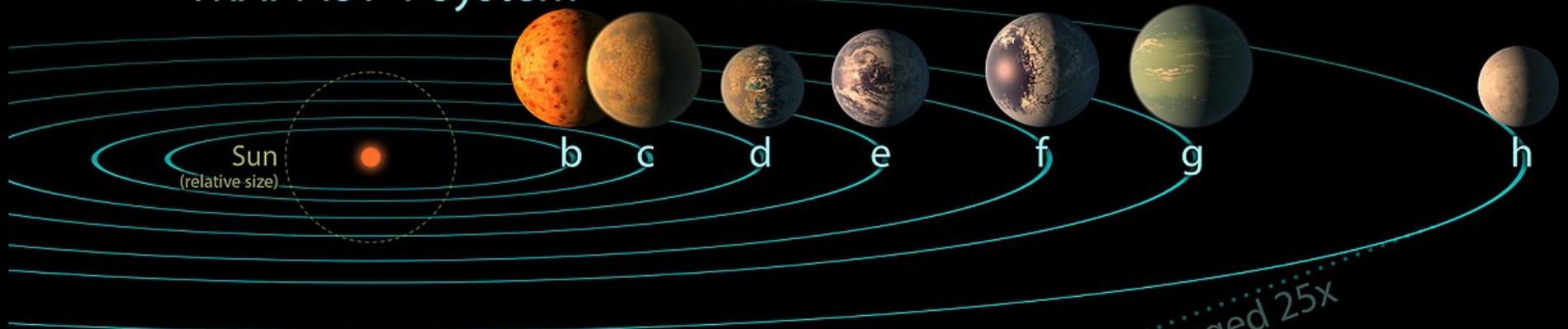


	Mercury	Venus	Earth	Mars
Orbital Period	87.97 days	224.70 days	365.26 days	686.98 days
Distance to Star	0.387 AU	0.723 AU	1.000 AU	1.524 AU
Planet Radius	0.38 R_{earth}	0.95 R_{earth}	1.00 R_{earth}	0.53 R_{earth}
Planet Mass	0.06 M_{earth}	0.82 M_{earth}	1.00 M_{earth}	0.11 M_{earth}

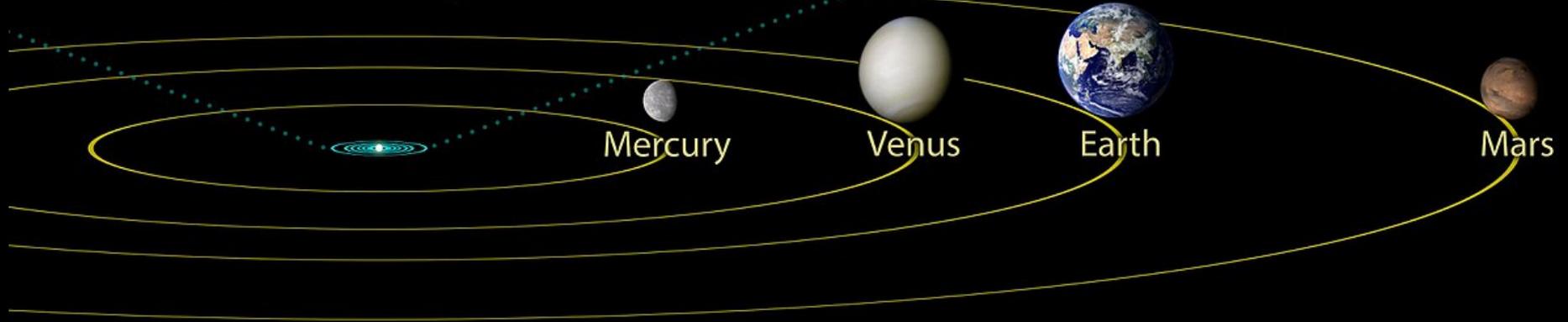
Jupiter & Major Moons



TRAPPIST-1 System



Inner Solar System



Orbits Enlarged 25x

Alguns planetas extrassolares

Planetas oceânicos

- Os planetas em ZHs que sejam um pouco maiores do que a Terra podem, eventualmente, ser completamente cobertos de água, devido a quantidade de cometas que capturaram ao longo da vida.



Kepler 22b e GJ 1214 b são prováveis planetas oceânicos

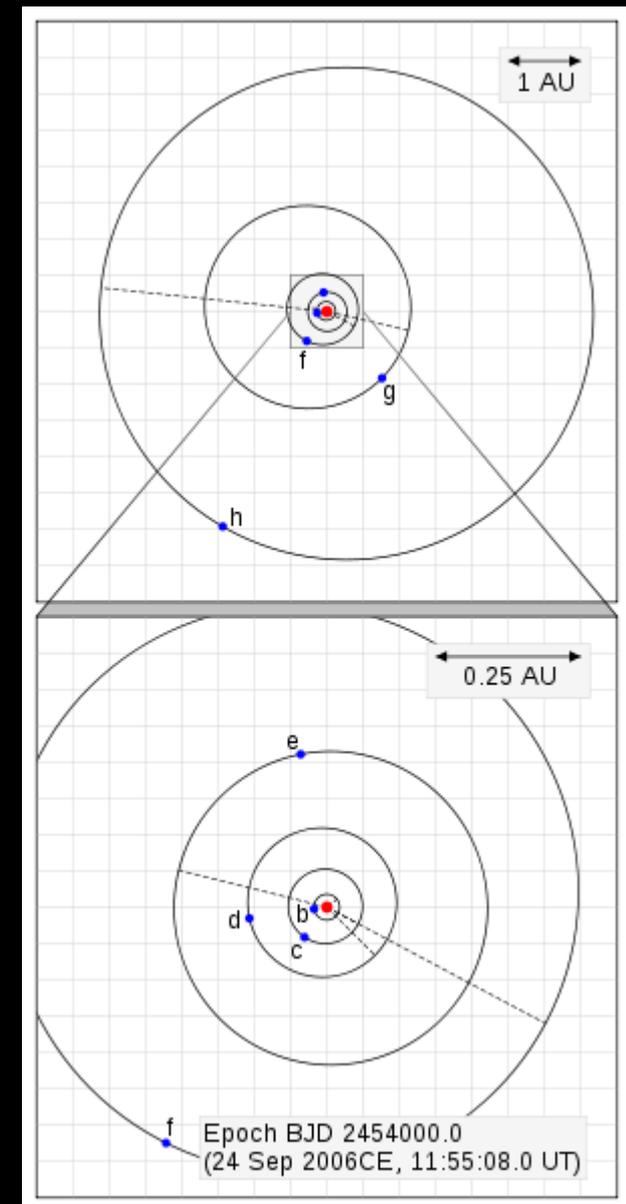
Alguns planetas extrassolares

O sistema HD 10180

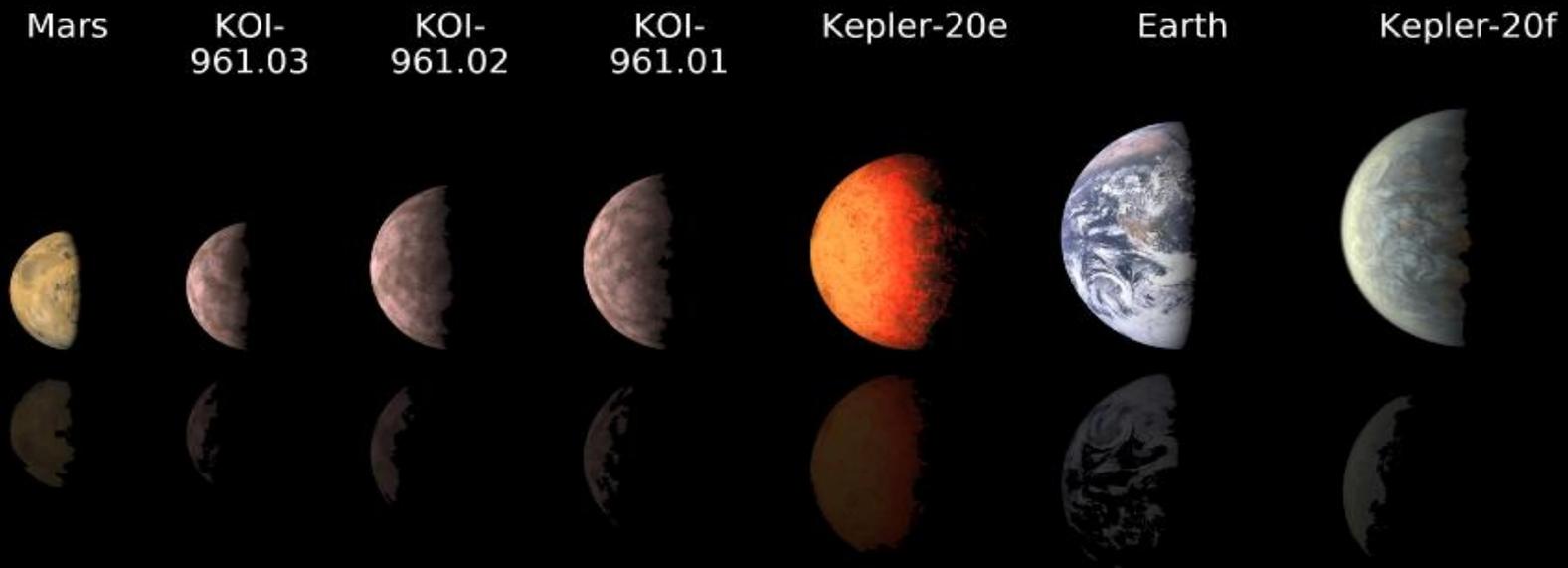
- O sistema exoplanetário HD 10180
- 9 planetas, vários dos quais encontram-se em ressonância.

The HD 10180 system^[8]

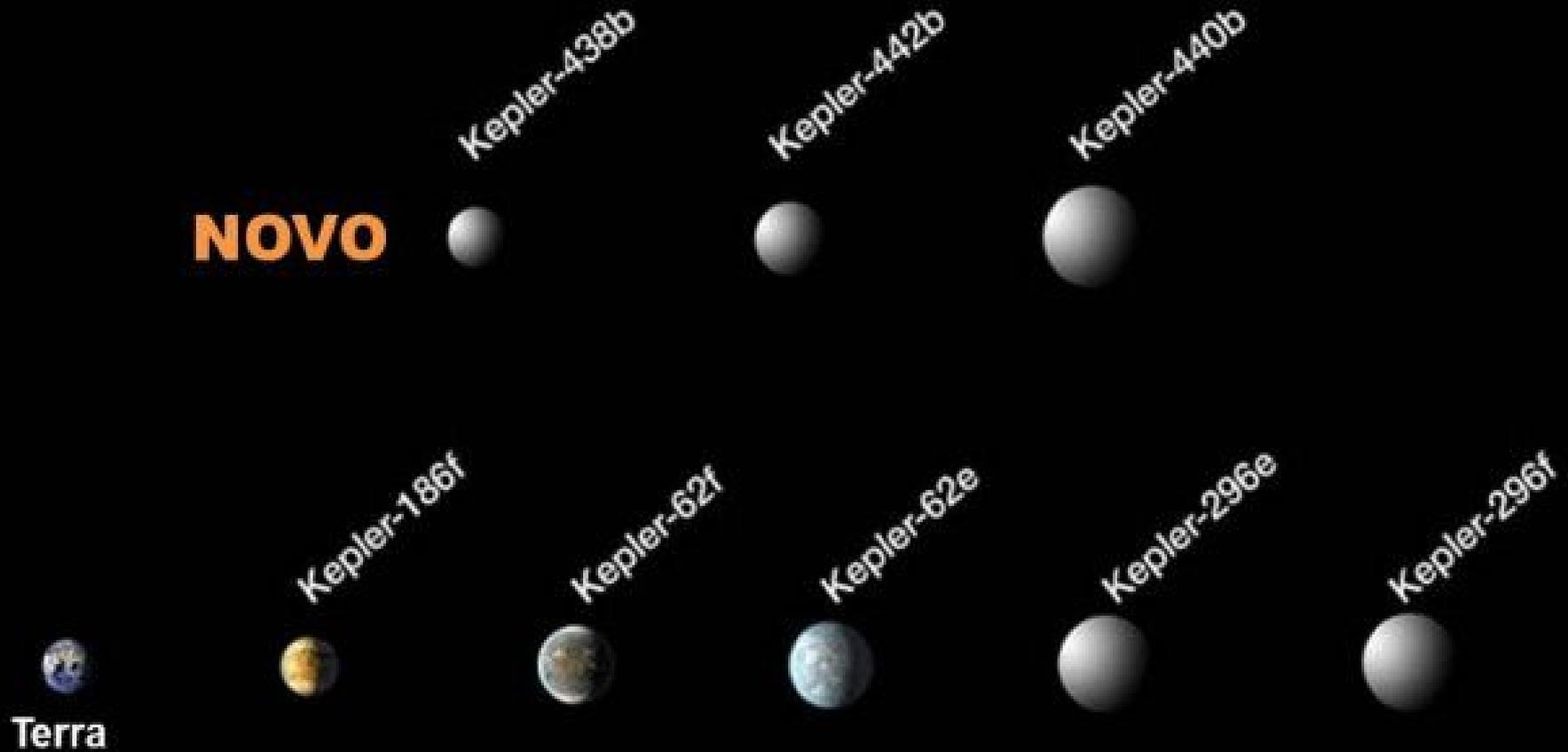
Companion (in order from star)	Mass	Semimajor axis (AU)	Orbital period (days)	Eccentricity
b	$>1.3 \pm 0.8 M_{\oplus}$	0.02222 ± 0.00011	1.17766 ± 0.00022	0.0005 ± 0.0049
c	$>13.0 \pm 2.0 M_{\oplus}$	0.0641 ± 0.0010	5.75973 ± 0.00083	0.07 ± 0.08
i	$>1.9 \pm 1.8 M_{\oplus}$	0.0904 ± 0.047	9.655 ± 0.072	0.05 ± 0.23
d	$>11.9 \pm 2.15 M_{\oplus}$	0.1284 ± 0.0061	16.354 ± 0.0013	0.011 ± 0.013
e	$>25.0 \pm 3.9 M_{\oplus}$	0.270 ± 0.0013	49.75 ± 0.007	0.001 ± 0.010
j	$>5.1 \pm 3.2 M_{\oplus}$	0.330 ± 0.016	67.55 ± 1.28	0.07 ± 0.12
f	$>23.9 \pm 1.4 M_{\oplus}$	0.4929 ± 0.0078	122.88 ± 0.65	0.13 ± 0.015
g	$>21.4 \pm 3.4 M_{\oplus}$	1.415 ± 0.091	596 ± 37	0.03 ± 0.40
h	$>65.8 \pm 12.9 M_{\oplus}$	3.49 ± 0.60	2300 ± 550	0.18 ± 0.016



A busca por outras terras



Alguns planetas extrassolares



Origem da vida

Somos nós as únicas criaturas no Universo que pensam sobre sua origem e evolução, ou existiriam outras formas de vida inteligente entre as estrelas?

Vida...

A origem da vida e a existência de vida extraterrestre vêm sendo focalizadas nos noticiários com grande intensidade desde os anos 1950

(1) detecção de vida microscópica em Marte

(2) existência de água em forma de oceanos, sob uma manta congelada, na lua Europa de Júpiter e em Marte.

Meio interestelar

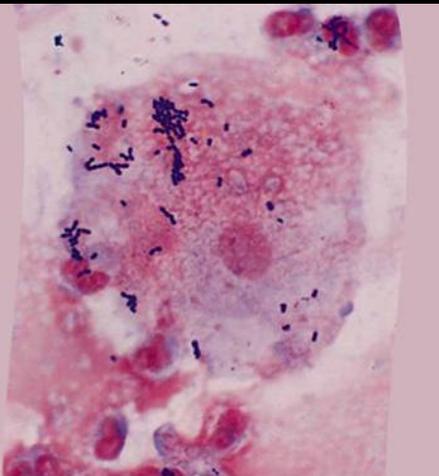
- Mais de 140 moléculas já foram observadas
- PAHs, alcools, ácidos, aldeídos, cetonas, aminos e éteres.
- Na atmosfera do satélite Titan, de Saturno, também foram encontrados vários compostos orgânicos

A Natureza da Vida

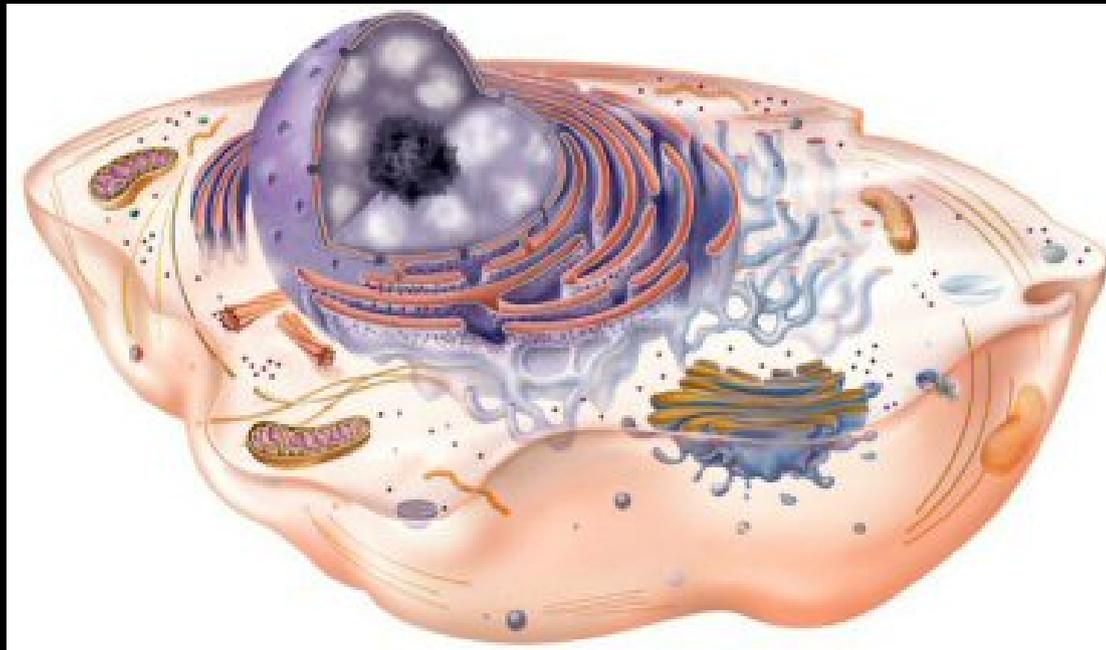
O que é “vida”? Não temos um conceito universal do que seja vida! Falemos, então, em “organismos vivos”.

Todos os organismos vivos que conhecemos são formados por “células”.

O que são células? Uma célula é a menor porção da matéria viva capaz de auto-replicação e é o local onde as reações químicas que sustentam a vida acontecem.



A CÉLULA



Qual é a origem da vida?

O que diferencia seres vivos de simples matéria orgânica?

No contexto de evolução cósmica, a vida resulta de uma sequência natural de evolução química e biológica da matéria pré-existente, regida pelas leis físicas.

Regra fundamental : seres vivos são organismos que têm metabolismo, se reproduzem, sofrem mutações, e reproduzem as mutações, isto é, passam por seleção cumulativa.

Vida inteligente: mais de uma centena de bilhões de células, diferenciadas em um organismo altamente complexo e, portanto, a seleção natural cumulativa

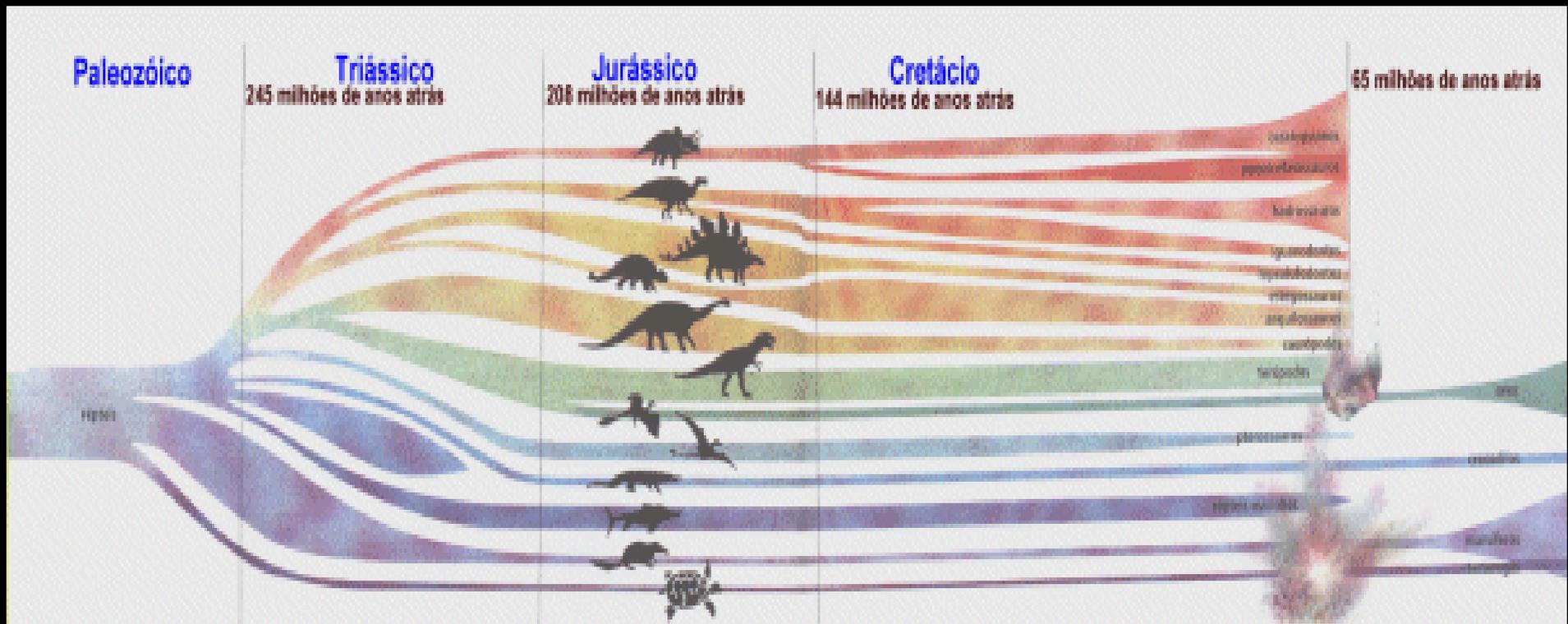
Seres Vivos



Melipona (Melipona) marginata Lep., operária, adulta.



Vida inteligente requer um longo tempo!



O que diferencia seres vivos de não vivos?

6 características biológicas dos seres vivos:

- 1 - organização em células
- 2 - Metabolismo: transformações químicas à custa de energia
- 3 - Crescimento: transformação de materiais do meio para componentes do corpo
- 4 - Reprodução: cópias do organismo mediante transferência genética
- 5 - Mutação: mudanças das características individuais
- 6 - Evolução: Reprodução da mutação, capacidade de adaptação

De fato...

A análise de meteoritos do tipo condrito carbonáceo +
Moléculas orgânicas no meio interestelar

=> corroboram a ideia de que os compostos orgânicos
podem ser sintetizados naturalmente, sem a atuação de
seres vivos.

Os compostos orgânicos são simplesmente moléculas com
o átomo de carbono, que tem propriedade elétrica de se
combinar em longas cadeias

Vários meteoritos apresentam aminoácidos de origem
extraterrestre, que se formaram possivelmente por adesão
molecular catalisada por grãos de silicato, da poeira
interestelar.

Origem da Vida na Terra

- Junto com os principais elementos que constituem os elementos vivos (C, H, O e N), a **água** também foi crucial no desenvolvimento da vida na Terra.
- Alguns fatos que sugerem isso:
 - A maior parte da massa corporal é devida à água;
 - Fluidos corporais possuem salinidade semelhante à dos oceanos;
 - Organismos desprovidos de água morrem rapidamente;
 - A reprodução ocorre normalmente num meio aquoso.
 - A água facilita a interação entre as moléculas orgânicas.



Origem da Vida na Terra

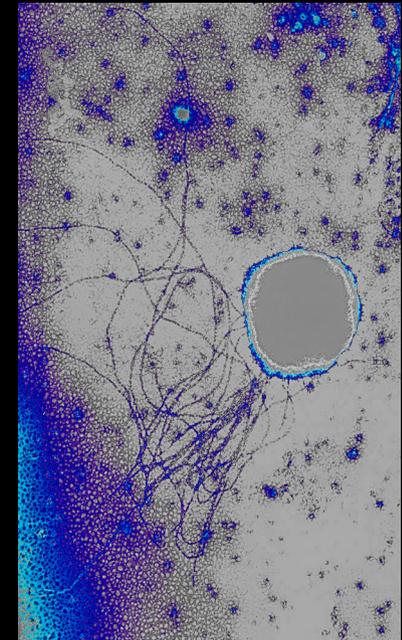
- Qual é a história dos principais elementos da vida na Terra?
 - A nebulosa solar era rica nestes materiais (H_2 , NH_3 , CH_4 , H_2O e N_2)
 - Cometas trouxeram estes elementos.
 - A atividade vulcânica liberou grande quantidade de gases, especialmente vapor d'água.

- Tais evidências mostram que os tijolos da vida orgânica são formados facilmente, e que os oceanos primitivos foram fertilizados com matéria orgânica há 4 bilhões de anos.

- Paleontologia: fósseis microscópicos de bactéria e algas datando de **3,8 bilhões de anos** são as evidências de vida mais remota na Terra.
- Cerca de 1 bilhão de anos após a formação da Terra, a evolução molecular já havido dado origem à vida
- Formas de vida sofreram muitas mutações e a evolução darwiniana selecionou as formas de vida mais adaptadas às condições climáticas da Terra, que mudaram com o tempo
- A **evolução do Homo Sapiens**, entretanto, por sua alta complexidade, levou **3,8 bilhões de anos**, pois sua existência data de 300 000 anos atrás. O Homo Sapiens Sapiens só tem 125 000 anos, e a civilização somente 10 000 anos, com o fim da última idade do gelo.

TERRA

- bactéria *Polaromonas vacuolata*, que vive quilômetros abaixo da superfície, nos pólos, sob temperaturas dezenas de graus abaixo de zero,
- bactérias em uma mina de ouro da África do Sul a 3,5 km de profundidade,
- microorganismos que vivem dentro de rochas de granito (*Methanopyrus kandleri*, que vivem no interior de vulcões submarinos, em temperaturas de até 113 C)
- arqueobactéria (a forma mais primitiva de vida que se conhece) que se reproduziu em um forno a até 121 Celsius
- 2010: bactéria *Gammaproteobacteria* GFAJ-1, encontrada em um lago na Califórnia, capaz de substituir o fósforo (P) por arsênico (As) no seu DNA



Terra, formas de vida primitiva muito diferentes existem

Vida no Sistema Solar

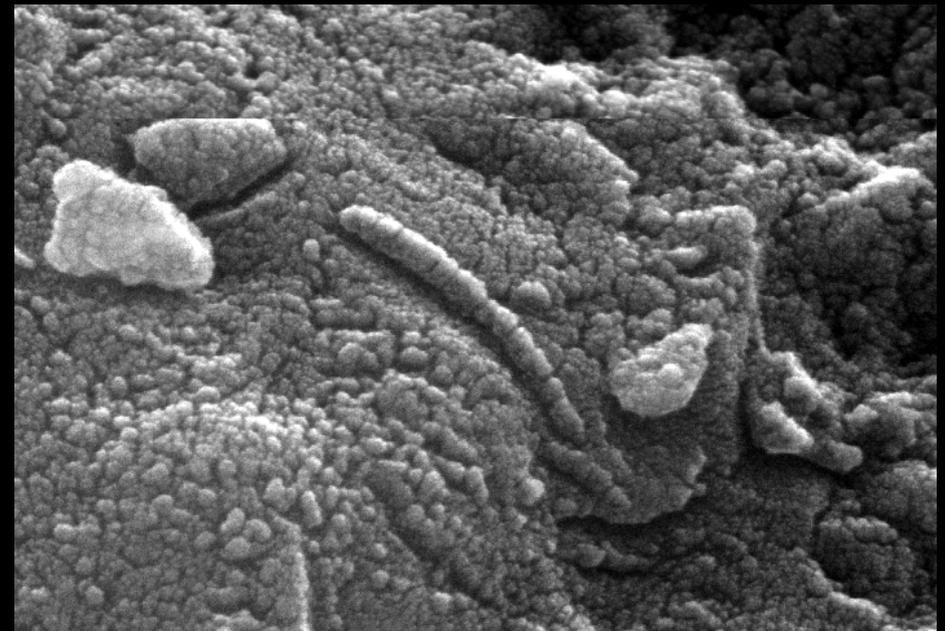
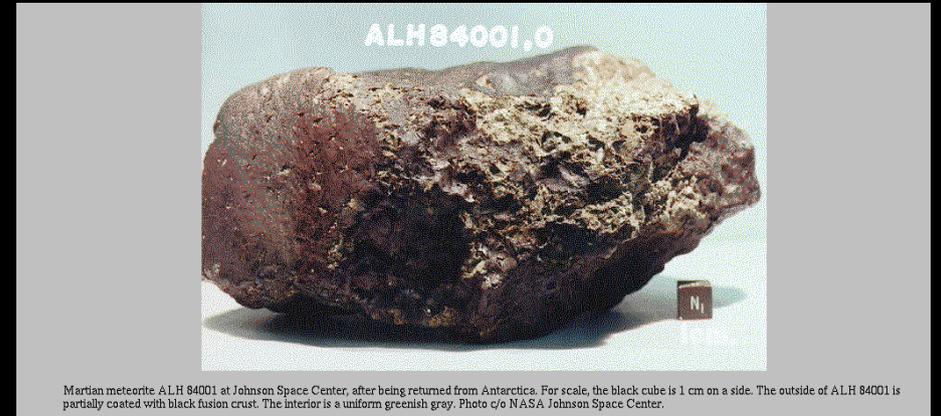
- A existência de vida inteligente pode ser descartada em todos os demais planetas do Sistema Solar.
- Em Marte, onde há água em certa abundância, atualmente em forma de vapor ou sólido, e a pressão atmosférica na superfície é 150 vezes menor do que na Terra, a morfologia da superfície indica que houve água líquida no passado.

Os Experimentos das Vikings

- O primeiro experimento mostrou que nos dois locais de pouso o **solo é estéril**.
- Os outros experimentos mostraram algo interessante: moléculas orgânicas e gás CO₂ foram produzidas, mas acredita-se que este resultado é devido à radiação ultravioleta.
 - As Vikings não avaliaram todas as possibilidades em solo
 - marciano!

Micróbios Fósseis em Rochas Marcianas

- Em 1996 foi anunciada a descoberta de uma possível evidência de um fóssil microbiano dentro de uma rocha marciana encontrada na Antártida.
- Outros grupos de pesquisadores afirmam que a rocha foi contaminada. Essa estrutura não é de um micróbio, mas sim uma estrutura de um material não vivo..



Vida Alienígena no Sistema Solar

- Alguns cientistas afirmam que os experimentos das Vikings não foram conclusivos. Mesmo a superfície de Marte sendo estéril, microorganismos podem estar escondidos em regiões mais profundas.

- Já Europa, pode ter um oceano de água líquida abaixo da sua crosta de gelo.
- Titã possui moléculas orgânicas em sua atmosfera e fontes de calor podem existir.



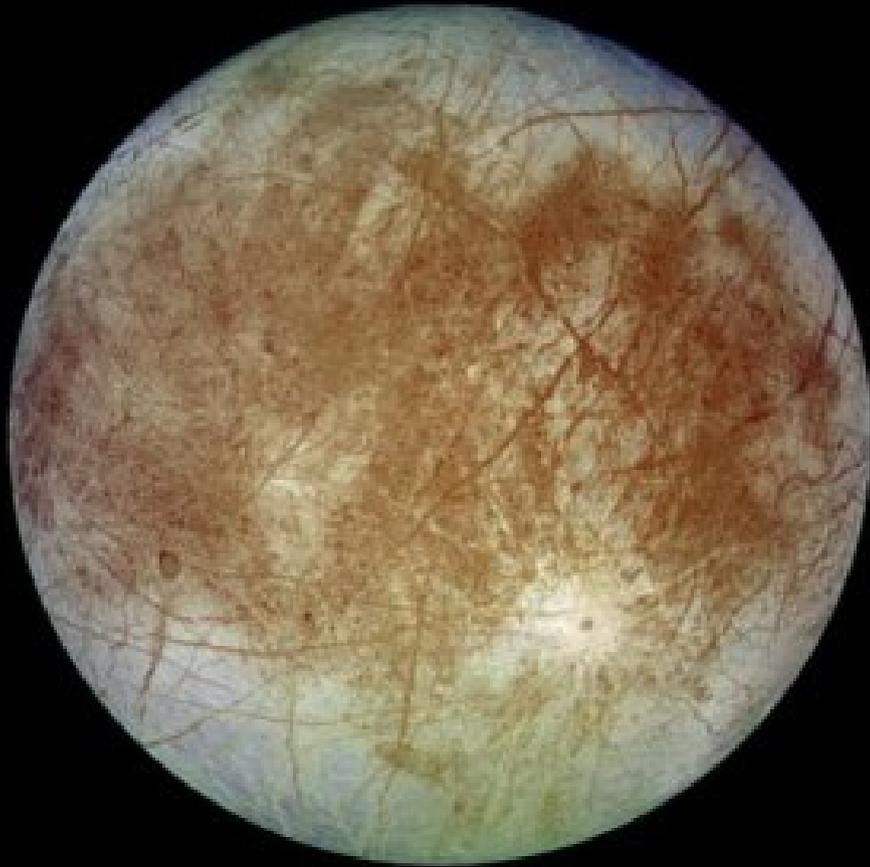
Bizarras formas de vida que poderiam existir em Júpiter, de acordo com idéias de Carl Sagan e colaboradores

Luas habitáveis:

- Satélites de planetas gigantes localizado na zona de habitabilidade de **sua** estrela
- Satélites de planetas gigantes fora da zona de habitabilidade de sua estrela (em regiões muito frias) , mas que tenham uma outra fonte de calor. Por exemplo, luas aquecidas por forças de maré, possibilitando a formação de água líquida.

Exemplos no sistema solar: Io (Júpiter), Europa (Júpiter), Titã (Saturno), Encelado (Saturno).

Procura de vida em Europa (satélite de Júpiter)



- superfície coberta de gelo (60 km de espessura)
- evidências de água líquida abaixo da superfície
- fonte de aquecimento: forças de maré produzidas por Júpiter
- possibilidade de vida nas profundidades do planeta, a exemplo dos hipertermófilos que vivem nos abismos oceânicos da Terra.

Exploração de Titã (satélite de Saturno)

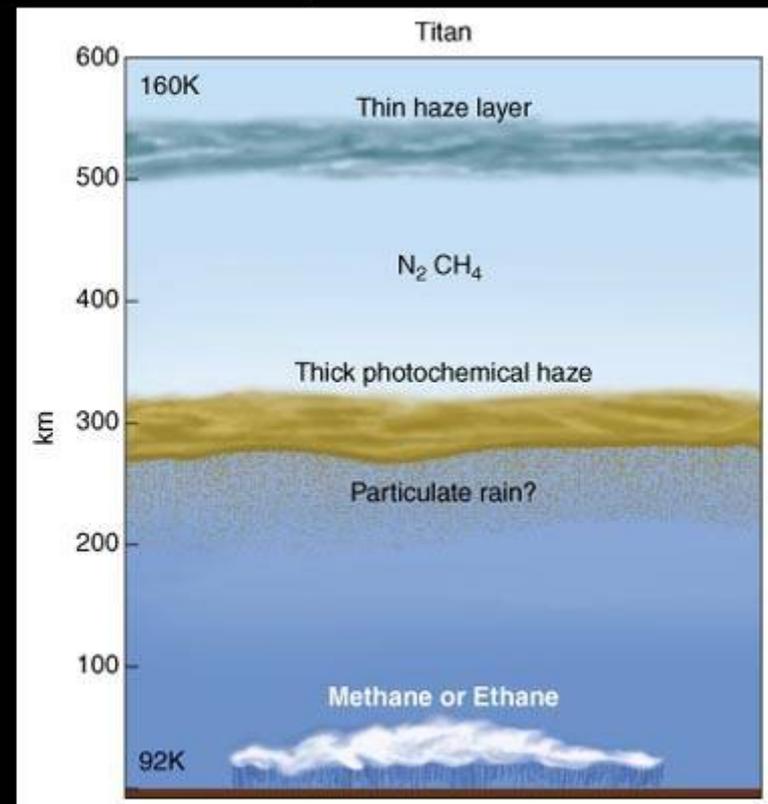
atmosfera espessa de moléculas de nitrogênio

evidências de lagos de metano/etano ou /água/amônia

deteccção negativa de água



Fraknoi/Morrison/Wolff, *Voyages Through the Universe*, 2/e
Figure 11.12 The Structure of Titan's Atmosphere

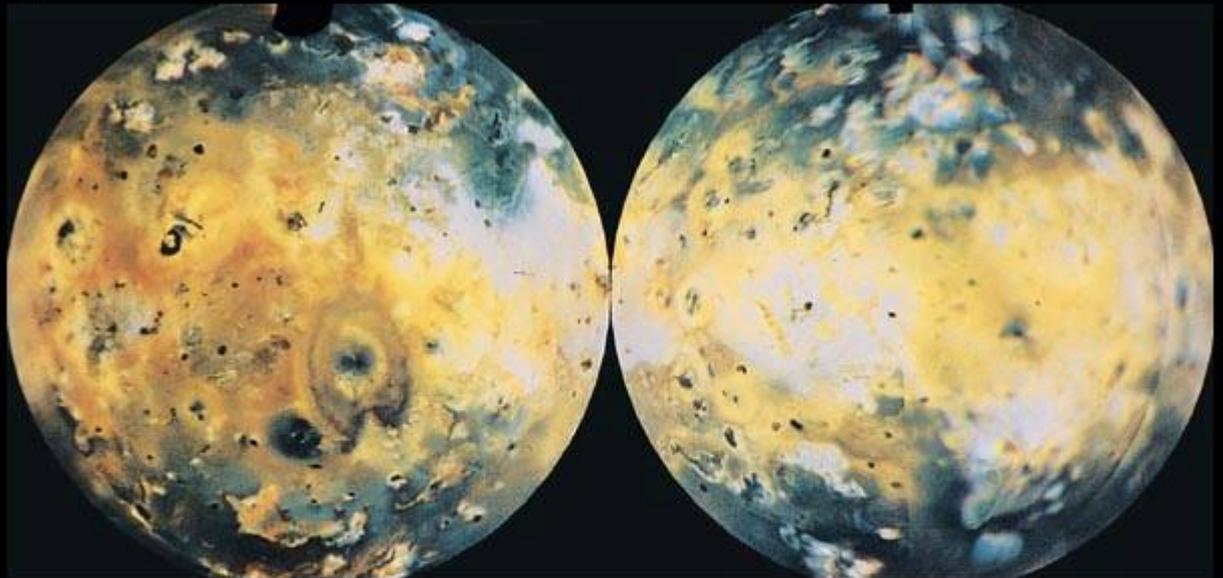


Io (satélite de Júpiter)

condições de vida do tipo extremófilo, mas..

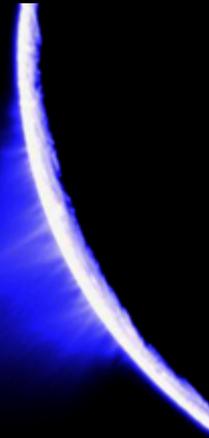
ausência de água

Fraknoi/Morrison/Wolff, *Voyages Through the Universe*, 2/e
Figure 11.8 Io Mosaic

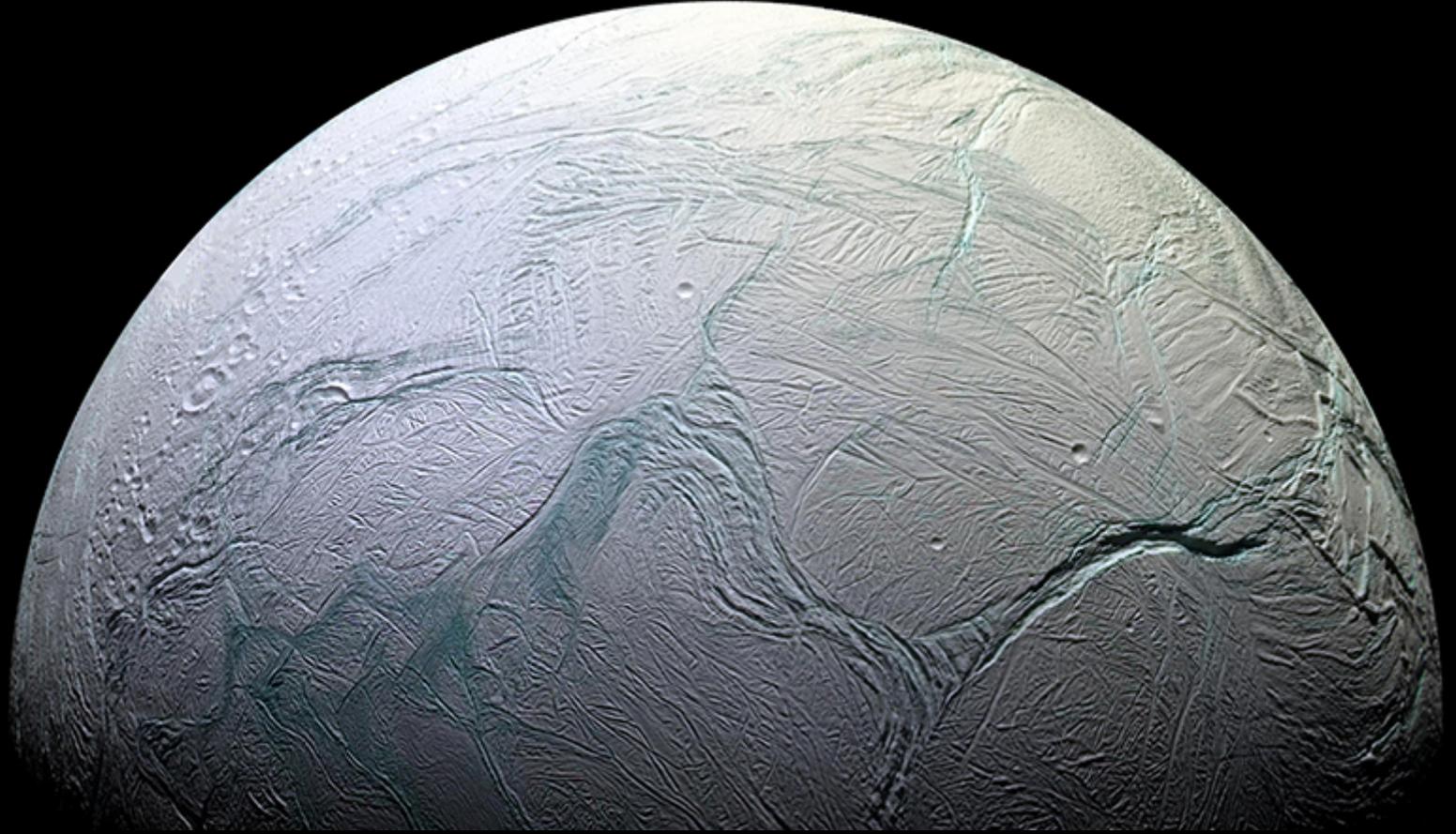


Lago oculto em Enceladus

- Resultados da Cassini (03/04/14) indicam a existência de um oceano oculto sob a superfície de Enceladus (Saturno).
- Local propício para o desenvolvimento de vida no Sistema Solar?



geiser de partículas de gelo e vapor d'água

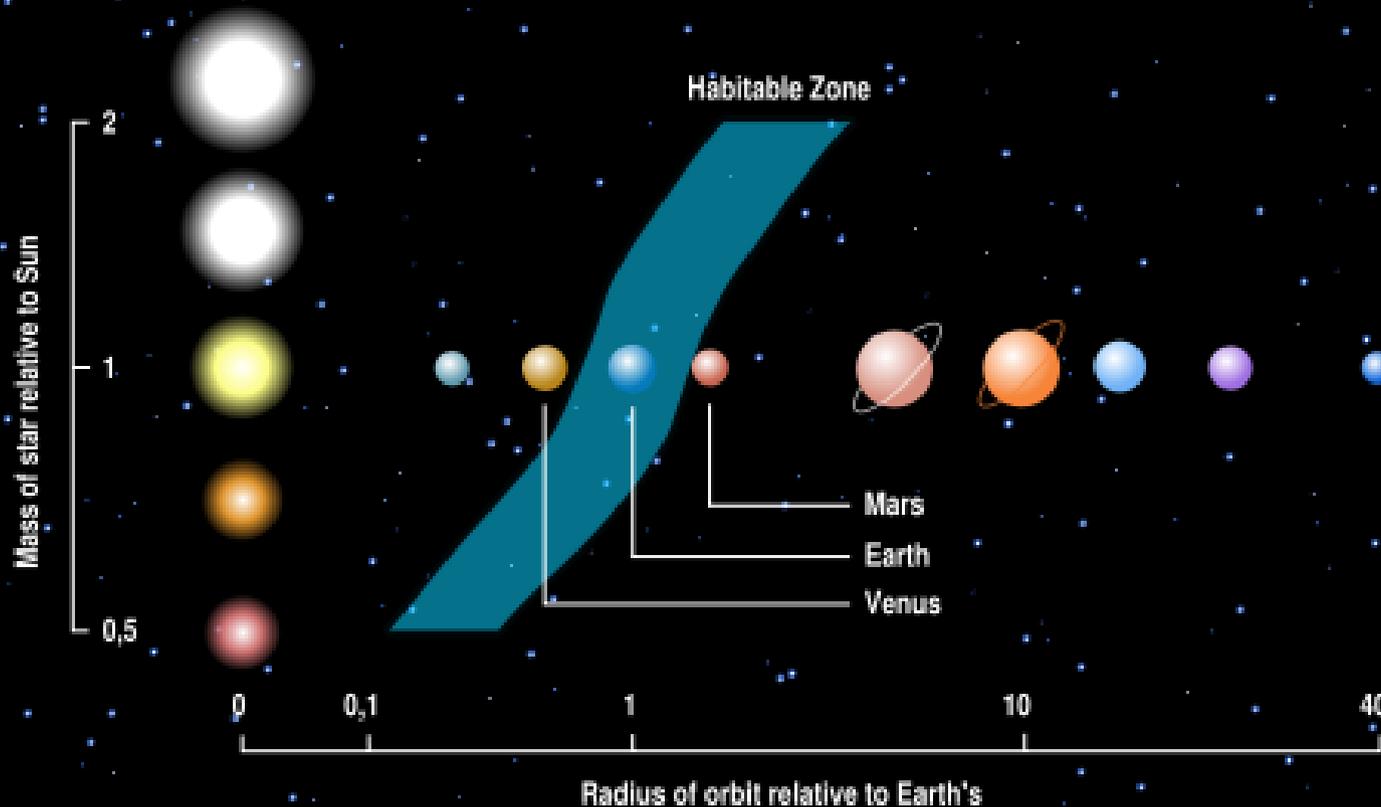


<https://saturn.jpl.nasa.gov/science/enceladus/>

Condições de habitabilidade

- A estrela central não deve ter mais do que 1.5 massa solar, para que ela possa durar um tempo suficiente para que a vida possa se desenvolver.
- A estrela central não deve ter menos que 0.3 massa solar, para que ela possa gerar calor suficiente para que uma zona de habitabilidade seja criada, onde água líquida possa existir.
- O planeta deve orbitar numa determinada distância tal que a sua água não congele e nem evapore.
- A órbita do planeta deve ser praticamente circular, para que não haja variações sazonais extremas.
- A gravidade do planeta deve ser forte o suficiente para reter atmosfera.

Zona de habitabilidade estelar



- temperatura adequada para que o planeta tenha água em forma líquida
- deve durar bilhões de anos para dar tempo de a vida se desenvolver
- deve ser estável

Vida na Galáxia - SETI

A inteligência, interesse sobre o que está acontecendo no Universo, é um desdobramento da vida na Terra, resultado da evolução e seleção natural.

Os seres inteligentes produzem => manifestações artificiais, como as ondas eletromagnéticas moduladas em amplitude (AM) ou frequência (FM) produzidas pelos terráqueos para transmitir informação (sinais com estrutura lógica).

Acreditando que possíveis seres extraterrestres inteligentes se manifestam de maneira similar, desde 1960 se usam radiotelescópios para tentar captar sinais deles

Esta busca leva a sigla **SETI**, do inglês **Search for Extra-Terrestrial Intelligence**, ou Busca de Inteligência Extraterrestre.

Até hoje não houve nenhuma detecção, mas esta busca se baseia em emissões moduladas de rádio, que produzimos aqui na Terra somente nos últimos 60 anos.

O SETI utiliza ondas de rádio para procurar sinais extraterrestres porque as ondas de rádio viajam à velocidade da luz mas não são absorvidas pelas nuvens de poeira e gás do meio interestelar.

Dentro de um raio de 80 anos-luz da Terra existem cerca de 800 estrelas similares ao Sol. Podemos ver algumas destas estrelas a olho nu:

α Centauri, τ Ceti, ε Eridani, 61 Cygni e ε Indi.

O projeto Phoenix procura por sinais em cerca de 1000 estrelas na vizinhança solar.

<http://www.seti.org/>

Zona de habitabilidade na Galáxia

Apenas 10% das estrelas da Via Láctea vivem na zona habitável da Galáxia, onde as condições químicas (alta metalicidade) e ambientais (grande separação entre as estrelas) são favoráveis ao desenvolvimento de planetas rochosos como a Terra.

Disco : órbitas mais circulares, que previnem o Sol de se aproximar da região interna da Galáxia, onde eventos violentos são mais comuns

Entre 7 kp e 9 kpc do centro (Sol: 8kpc do centro)

As estrelas nessa região estão separadas por alguns anos-luz => encontros entre elas são eventos raros. Nas regiões mais internas a distância entre as estrelas é menor.

As estrelas dessa região têm alta metalicidade => formação de planetas rochosos.

Equação de Drake

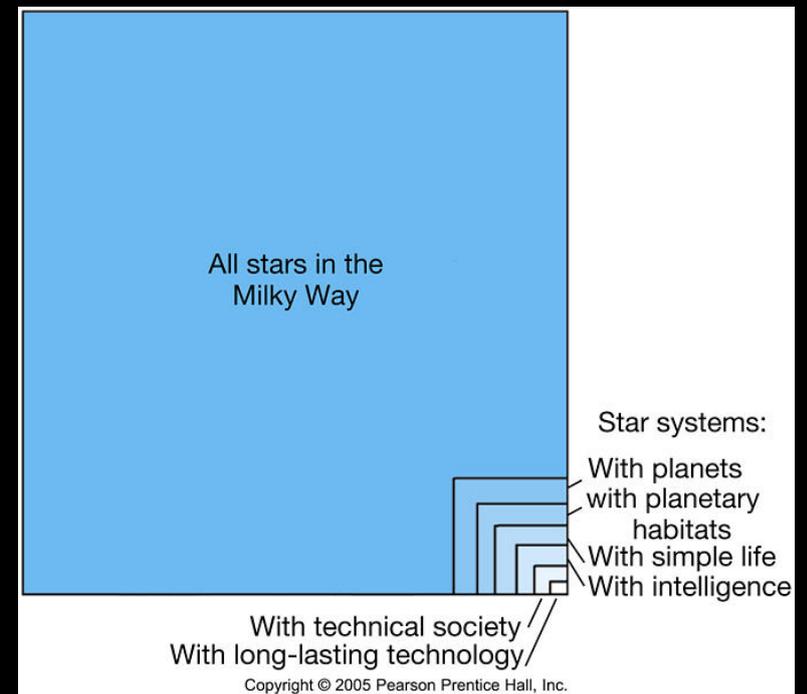
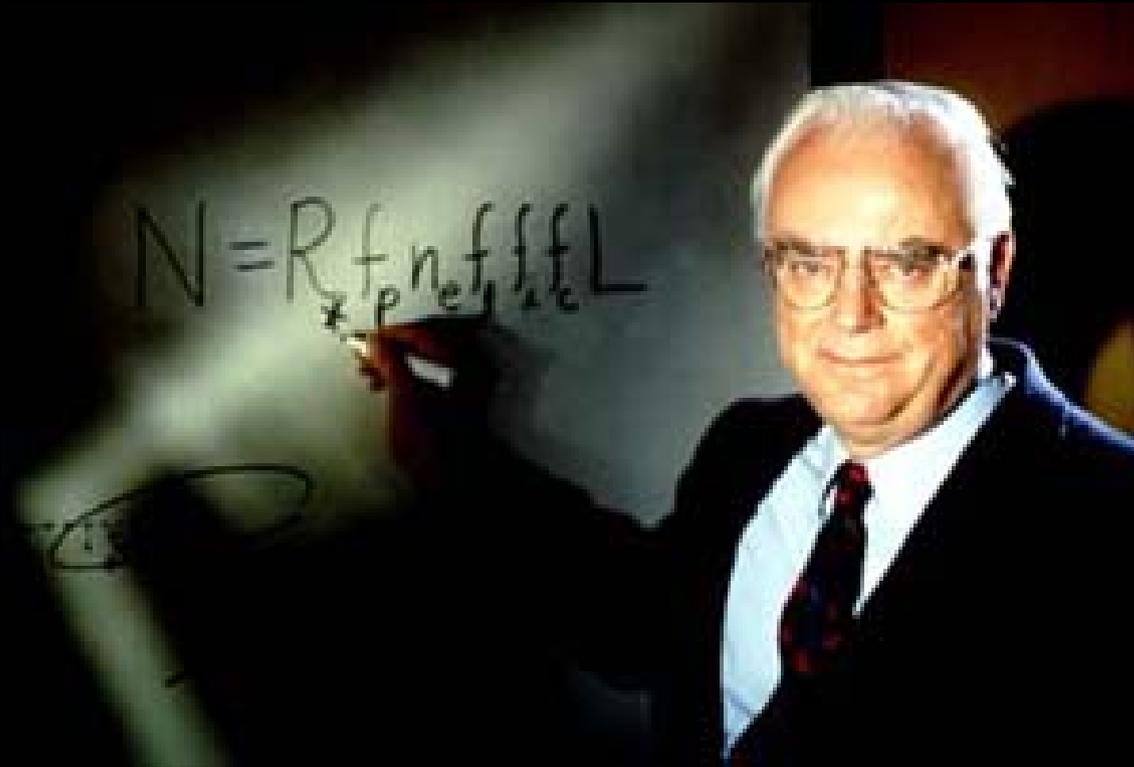
$$N = R^* \times f_p \times n_e \times f_l \times f_i \times f_c \times L$$

- N é o número de civilizações na nossa galáxia com as quais poderíamos nos comunicar
- R^* é a taxa de formação de estrelas em nossa galáxia
- f_p é a fração de tais estrelas que possuem planetas
- n_e é o número médio de planetas que potencialmente permitem o desenvolvimento de vida
- f_l é a fração de planetas que realmente desenvolvem vida
- f_i é a fração de planetas que desenvolvem vida inteligente
- f_c é a fração de civilizações que desenvolvem tecnologias de comunicação
- L é o período pelo qual sinais são transmitidos pro espaço por tais civilizações

$N = 10?!!! 10^4?!!!$

Equação de Drake

$$N = R^* \times f_p \times n_e \times f_l \times f_i \times f_c \times L$$



Vida Alienígena ao Redor de Outras Estrelas

- Podemos analisar a Equação de Drake de duas formas: pessimista e otimista.

TABLE 12-1 Estimated Fraction of Stars with Planets That Have Intelligent Life

Criterion	Fraction	
	Lower limit (?)	Upper limit (?)
1. Stars having planets	10^{-2}	0.3
2. Criterion 1: stars ever having habitable conditions on at least one planet	10^{-1}	0.7
3. Criterion 2: planets on which habitable conditions last long enough for life to evolve	10^{-1}	1
4. Criterion 3: planets on which life evolves	10^{-1}	1
5. Criterion 4: planets on which habitable conditions last long enough for intelligence to evolve	10^{-3}	0.9
6. Criterion 5: planets on which intelligence evolves	10^{-1}	1
7. Criterion 6: planets on which intelligent life endures	10^{-7}	10^{-1}
8. Fraction of duration of intelligent life during which it retains an interest in contact with Earth-like civilization	10^{-3}	1
Fraction of all stars with planets that bear intelligent life	10^{-19}	2×10^{-2}
Implication: Distance to nearest civilization	3×10^8 light years	15 light years

Hipótese otimista: $N = 10^9$:

1 bilhão de civilizações na nossa Galáxia podem e querem se comunicar!

Hipótese pessimista: $N = 10^{-11}$:

criaturas como os terráqueos são muito raras, apenas 1 caso em 100 bilhões de galáxias.

no nosso universo observável tem 10^{11} galáxias → **estamos sozinhos!**

Considerações:

A " equação" de Drake não dá uma resposta, mas tem função de fazer abordagem sistemática do problema, levando em consideração os fatores envolvidos

Fatores " biológicos" (desenvolvimento de vida inteligente) e "sociológicos"(duração da civilização) introduzem as maiores incertezas

Onde estão os ETs?

- Ou já estamos sendo visitados
- Ou a civilização mais próxima está a uma distância extrema.
- Ou a evolução biológica não precisa originar criaturas que desejem criar uma civilização interplanetária.
- Ou as eras explorativas de cada civilização não necessariamente coincidem.



Paradoxo de Fermi: Onde estão todos os outros?

Enrico Fermi (1950): se de fato existem muitas civilizações inteligentes em nossa Galáxia, por que nunca detectamos seus sinais? Muitas delas seriam sem dúvida mais avançadas do que nós, teriam se "espalhado" pela Galáxia.

Algumas respostas propostas:

- Nossa civilização é a única da Galáxia.
- As condições para desenvolvimento da vida inteligente são muito raras.
- As civilizações se autodestroem
- Os aliens existem mas estão escondidos
- Os aliens vieram e nós somos seus descendentes
- Os aliens existem, mas não podem se comunicar porque estão muito distantes