

Introdução à Astrofísica

Origem da Vida e Vida Extraterrestre

Rogemar A. Riffel

Procura de vida fora da Terra

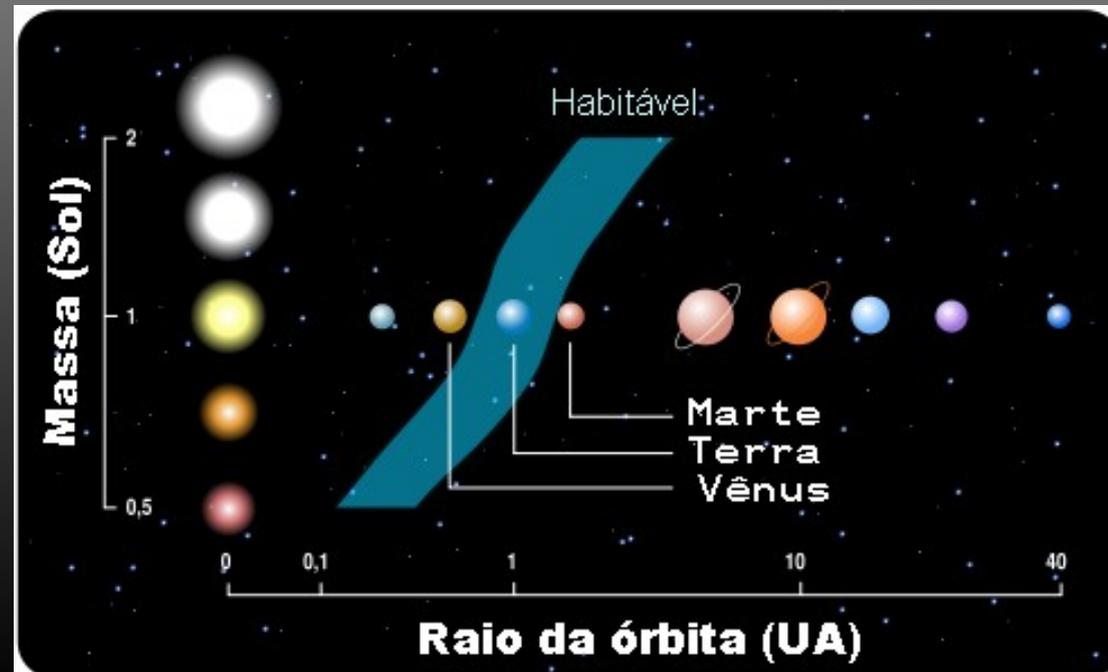
O que possibilita que um planeta e sua estrela central abriguem a vida?

- Água líquida;
- Fonte de energia (estelar);

Zona habitável: local que tenha temperatura adequada para que o planeta tenha **água em forma líquida**, para permitir o movimento das partículas e a eventual formação de moléculas orgânicas complexas, e **fontes de energia** (luz estelar, calor interno ou energia química) para manter o metabolismo

- deve durar bilhões de anos para dar tempo de a vida se desenvolver.

- A zona de habitabilidade deve ser estável



Planetas habitáveis

Planetas telúricos na zona habitável de uma estrela:

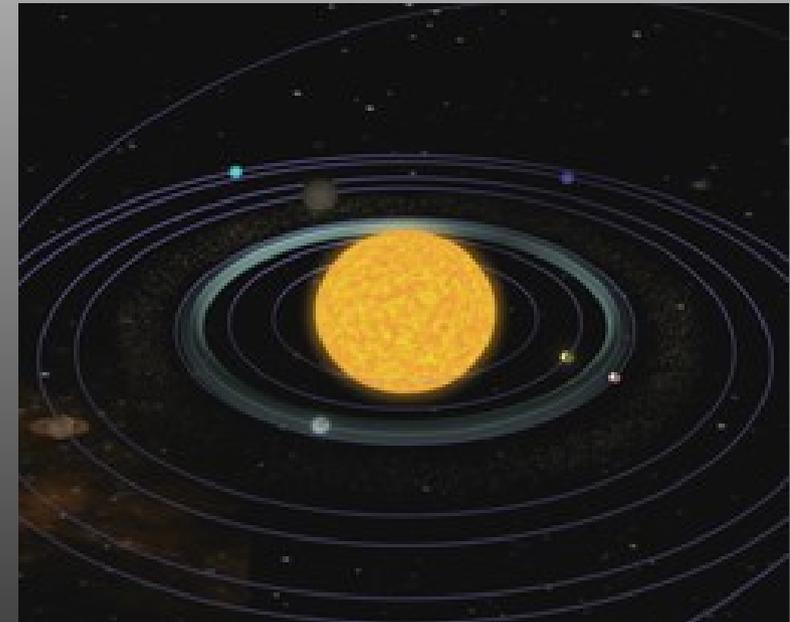
- O planeta não pode ser nem muito frio nem muito quente, para permitir água em estado líquido

Exemplos no sistema solar:



Terra: No meio da zona de habitabilidade:

- temperatura adequada permitiu o balanço entre água e CO_2 na atmosfera e nas rochas



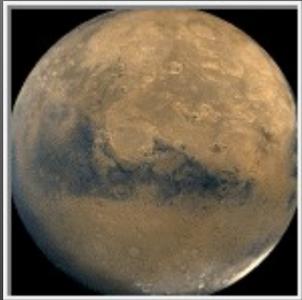
Rochas sedimentares absorvem o CO_2 quando misturado com a água. Na Terra a maior parte do CO_2 está concentrado nas rochas.

Planetas habitáveis



Vênus, muito perto do Sol, fora da zona de habitabilidade do Sol, é muito quente, perdeu sua água muito cedo. A maior parte do CO_2 está na atmosfera.

Efeito estufa desenfreado: muito calor + vapor de água -> efeito estufa -> temperatura aumenta -> CO_2 das rochas vai para a atmosfera -> efeito estufa se intensifica -> temperatura aumenta -> mais CO_2 na atmosfera



Marte mais longe do Sol, nas bordas da zona de habitabilidade(?) é muito frio, mas provavelmente teve água líquida sobre sua superfície em um passado recente

Efeito estufa inverso: vapor d'água + frio -> vapor d'água se liquidifica -> CO_2 da atmosfera é carregado com a água e se concentra nas rochas da superfície -> temperatura baixa -> mais CO_2 sai da atmosfera -> menos efeito estufa -> temperatura baixa ...

Procura de vida em Marte

Indícios:

- Presença de água congelada na superfície;
- indicações de água líquida na superfície no passado;
- possibilidade de água líquida abaixo da superfície no presente;

Missões:

1976 - sondas Viking: Ausência de sinais de organismos vivos, mas Indícios positivos de processos metabólicos dados por excesso de oxigênio em rochas;

1996: cientistas da NASA anunciaram a presença de fósseis de nanobactérias (que viveram a 3,6 bilhões de anos) no meteorito marciano ALH84001, mas as evidências apresentadas por eles nunca foram consideradas conclusivas.



Arrancado por colisões de asteróides com Marte.

Procura de vida em Marte

Concepção artística mostra a Phoenix com os pés preparados para o pouso;



- Deverá nos dar algumas respostas;
- Em junho de 2008, técnicos da missão já diziam estar convictos de que o material brilhante encontrado na superfície de Marte era gelo, e não sal.
- Presença de gelo é confirmada (quimicamente, 31/07/2008);
- O material coletado é analisado após ser transformado em gás;



Phoenix pode ter contaminado Marte com bactérias terrestres!!!!

Luas habitáveis

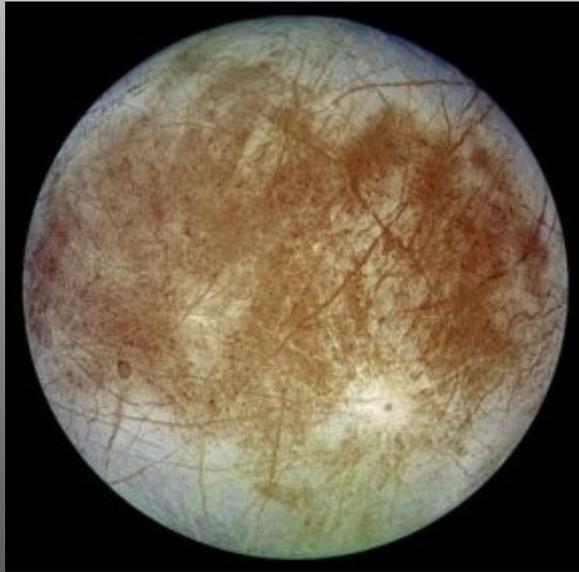
- Satélites de planetas gigantes localizado na zona de habitabilidade de sua estrela. Embora no sistema solar todos os planetas gigantes estejam fora da zona de estabilidade, muitos planetas extra-solares são gigantes e vivem próximo da estrela.

- 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).

Luas habitáveis

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 satélite, a exemplo dos hipertermófilos que vivem nos abismos oceânicos da Terra (ambientes extremos).

Titã (satélite de Saturno)



- atmosfera espessa de moléculas de nitrogênio
- evidências de lagos de metano/etano ou água/amônia;
- detecção negativa de água.

Luas habitáveis

IO (satélite de Júpiter)



- condições de vida do tipo extremófilo, mas
- Ausência de água;

Encelado (satélite de Saturno)



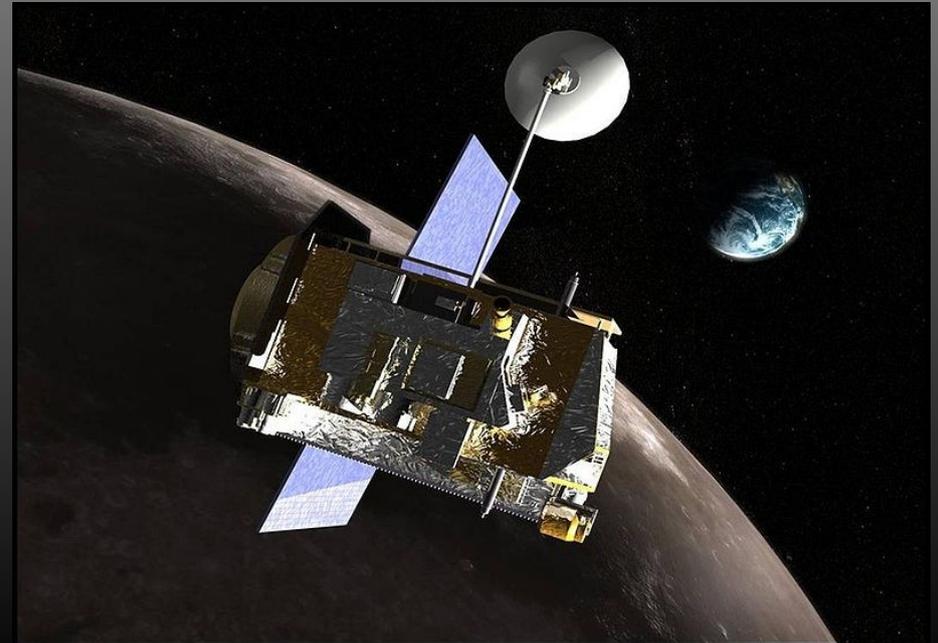
- Geiser de partículas de gelo e vapor d'água
- Pequena, fria e escura lua de Saturno

A procura de água na Lua

- Crateras na Lua foram originadas em impactos de asteróides;
- Questão: se a água na Terra foi originada em impactos de asteróides e cometas, tais impactos teriam originado água na Lua também? Poderia parte dessa água estar ainda lá?
- Em 1994 a sonda Clementine mapeou a superfície da Lua em rádio e encontrou o que parecia ser material gelado numa cratera no pólo sul da Lua que nunca recebe sol;
- Observações da mesma região com o rádio-telescópio de Arecibo não encontraram gelo;

A procura de água na Lua

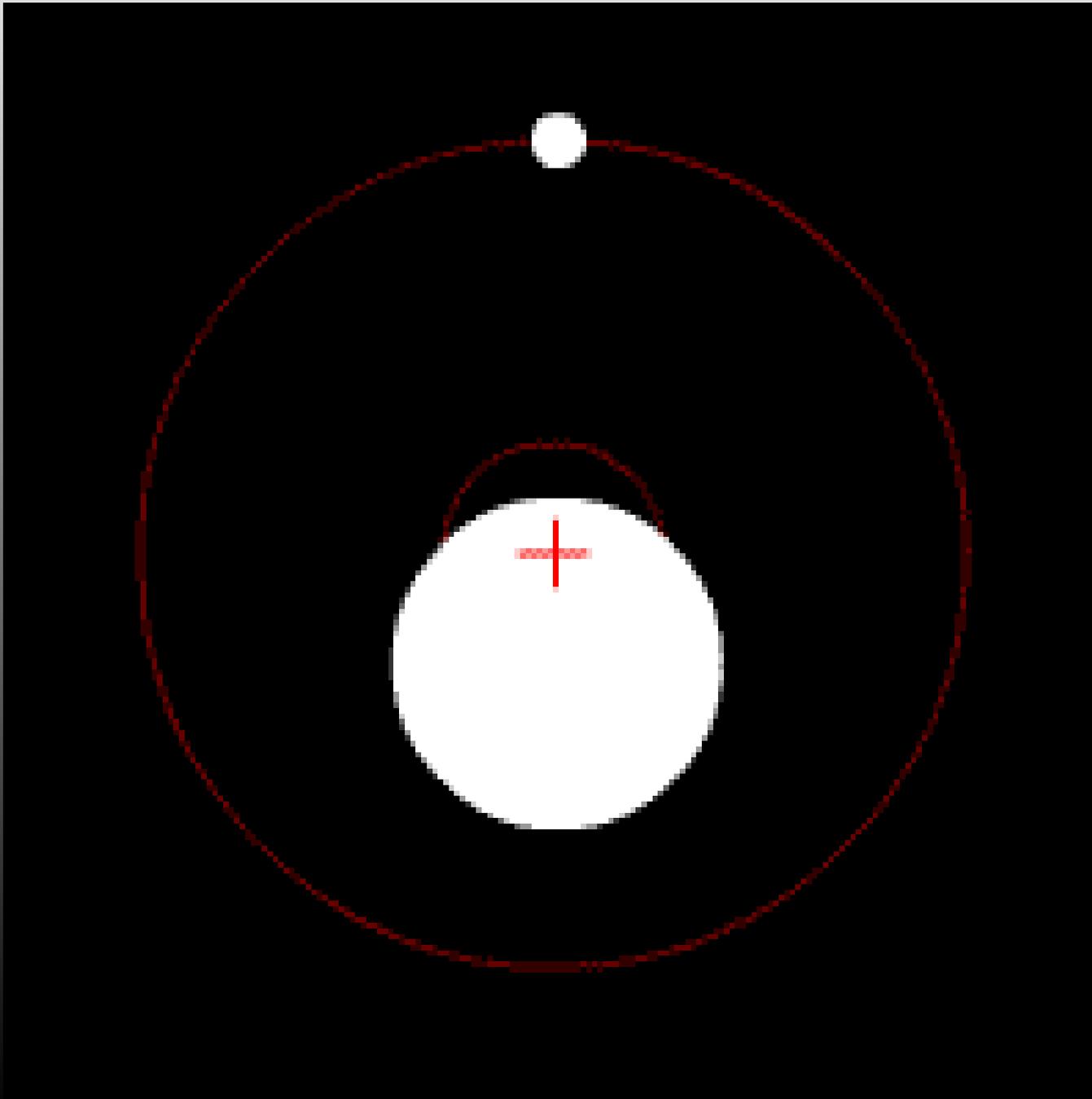
- Em 1994 a NASA enviou a Lunar Prospector para procurar mineirais ricos em hidrogênio no solo lunar. **Novamente encontraram o que poderia ser gelo de água nas crateras polares.**
- Ao fim da missão, a Lunar Prospector foi lançada contra o solo lunar: se houvesse gelo, nuvens de vapor d'água seriam levantadas no impacto. **Nada foi observado.**
- A procura por água ou comprovação da ausência dela continuará com a Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) lançada em 2009.



Planetas Extra-solares

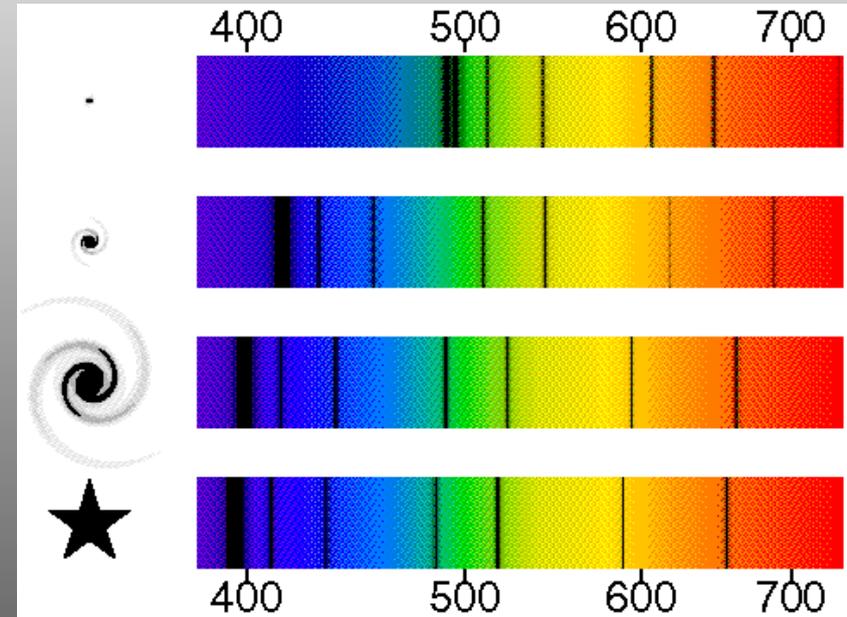
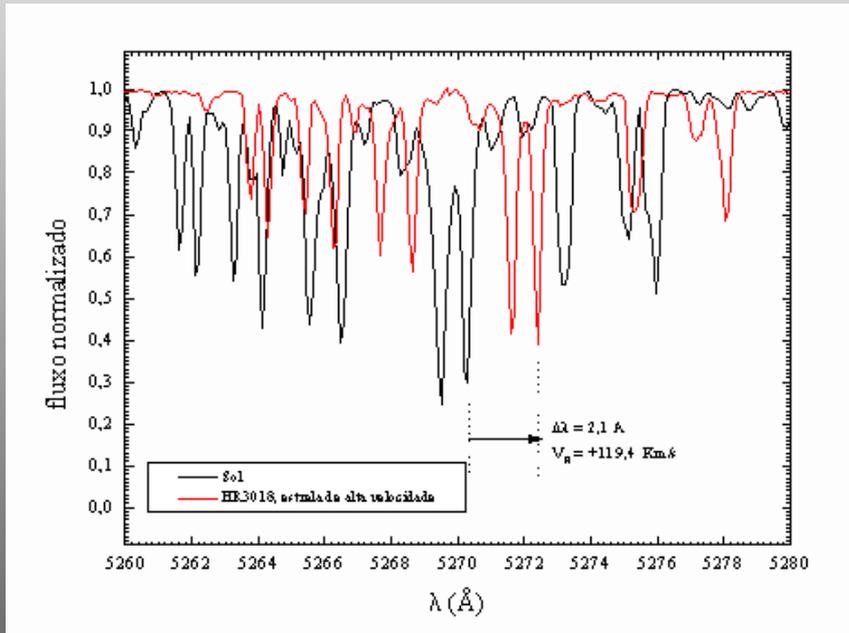
- Técnicas
 - Perturbações gravitacionais
 - Astrometria
 - Velocidade radial
 - Microlentes gravitacionais
 - Trânsito
 - Tempo de viagem da luz
 - Detecção direta

Perturbações Gravitacionais



Planetas gigantes

Perturbações Gravitacionais

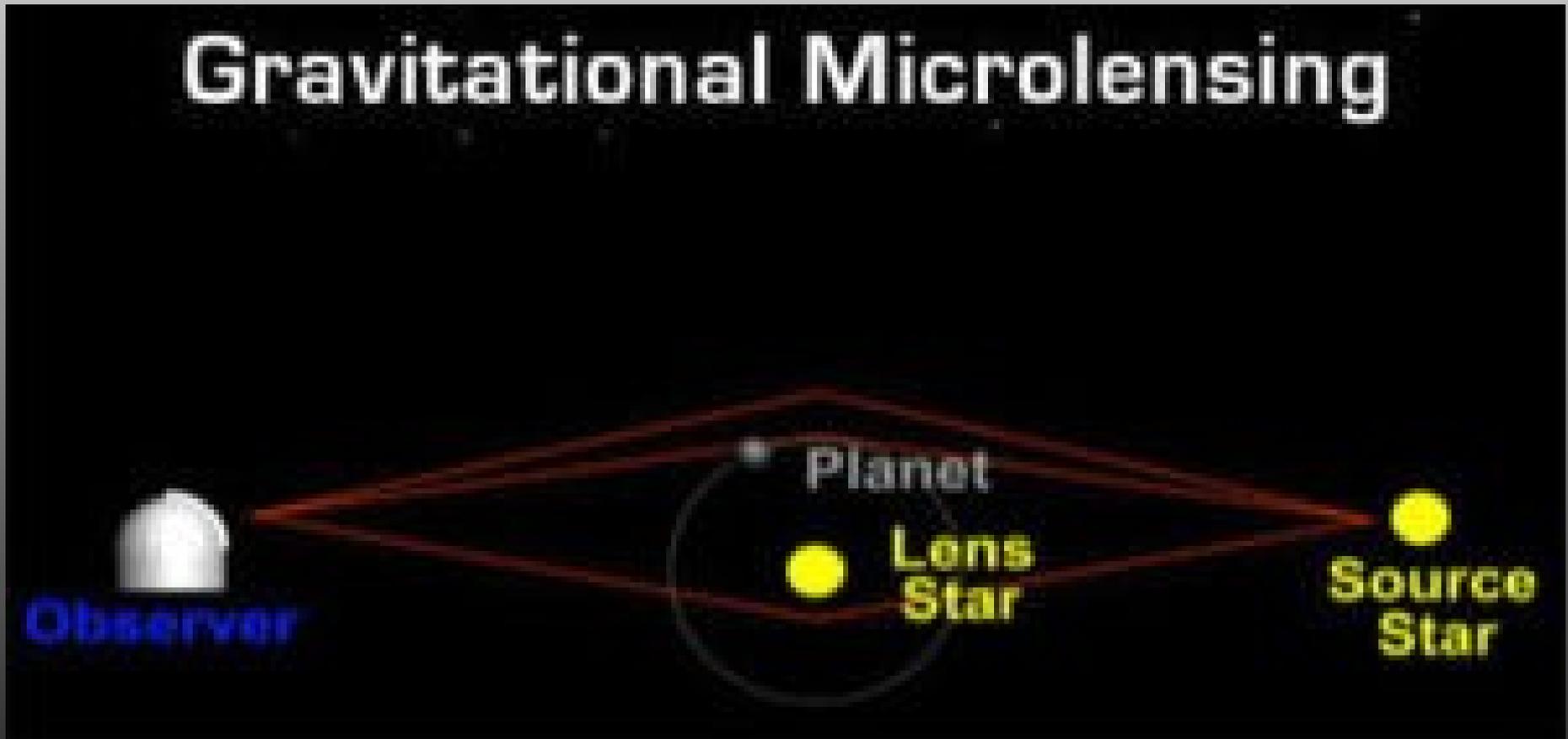


Velocidade radial: Mede-se o deslocamento das linhas espectrais devido a influência gravitacional do planeta.

Astrometria: Mede-se a variação da posição da estrela devido o planeta

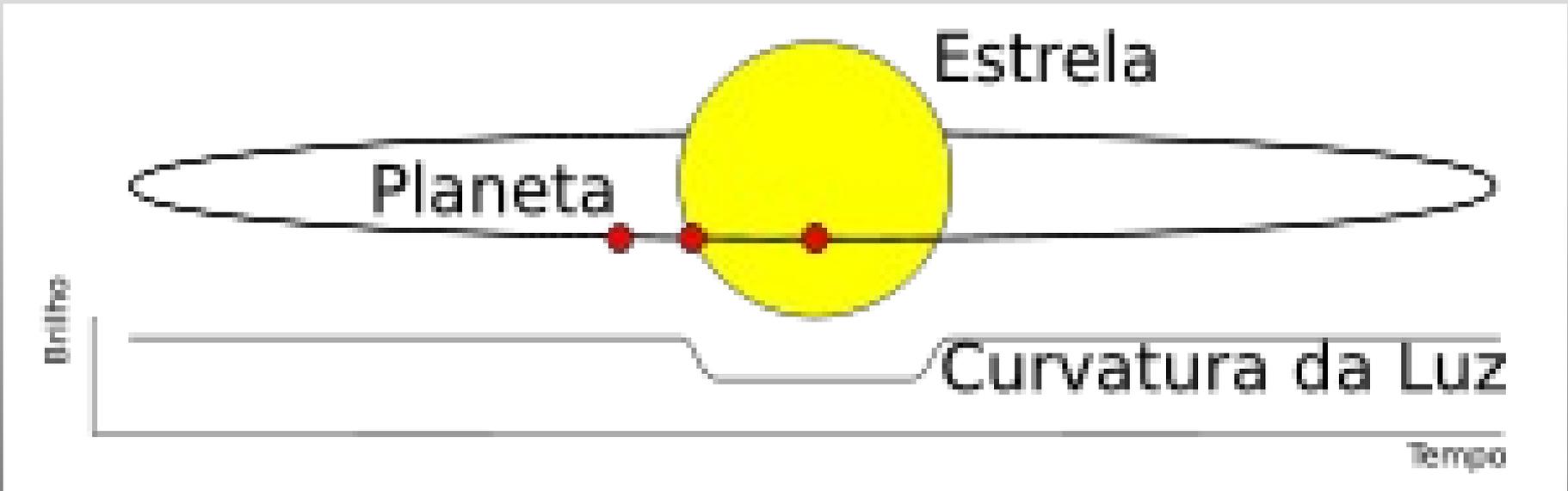
Microlentes

Gravitational Microlensing



Evento raro

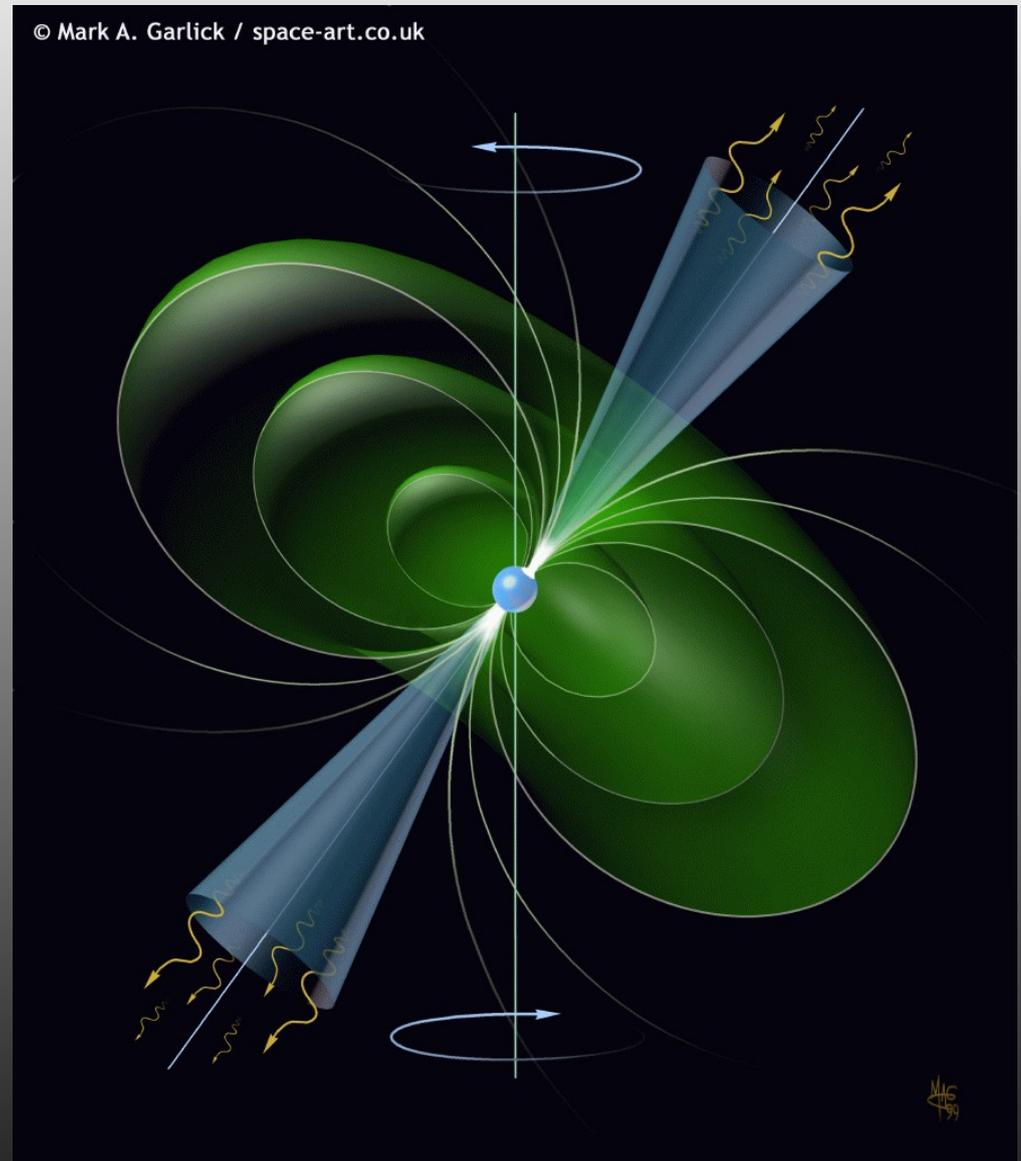
Trânsito



Corot e Kepler: Planetas terrestres

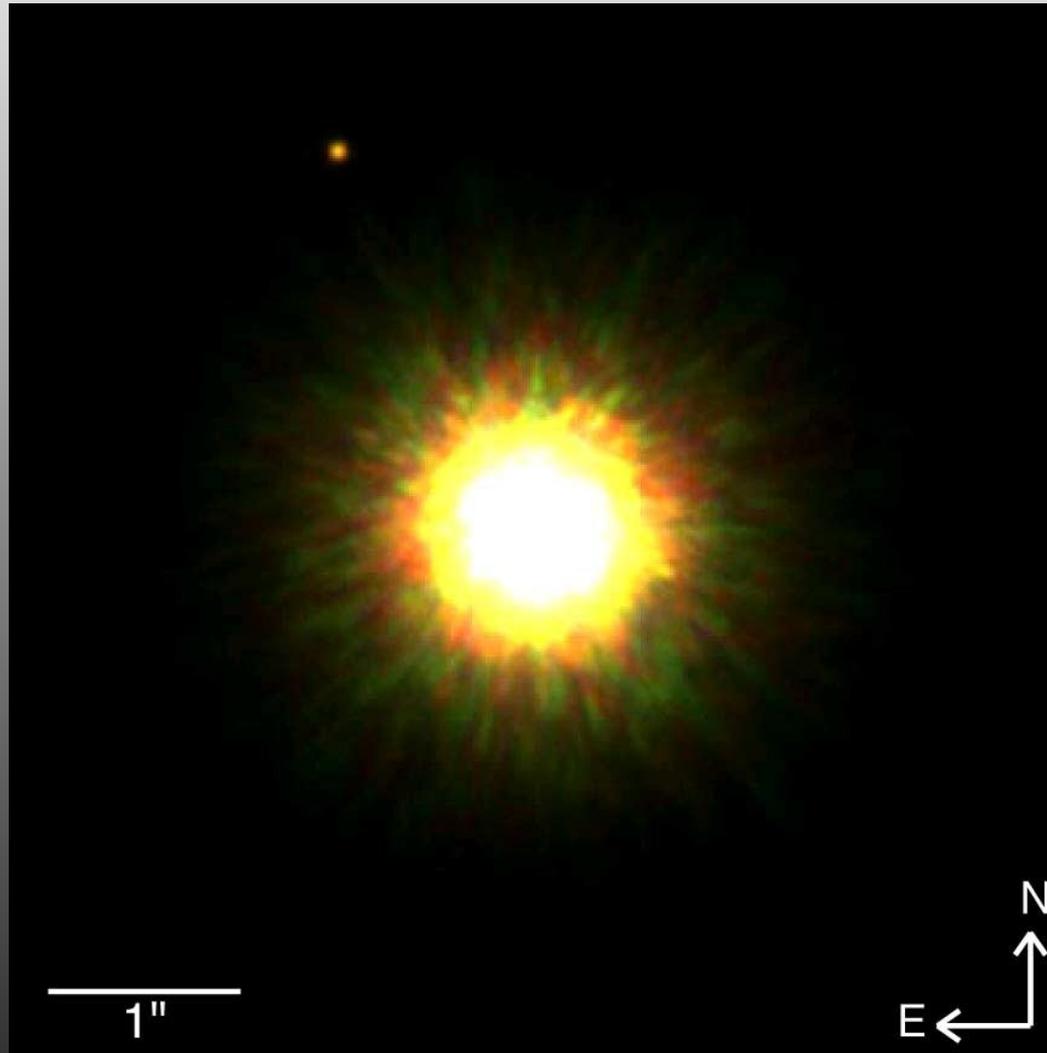


Variação do tempo de viagem da luz



Pulsares: Associados a estrelas velhas Sem condições de abrigar vida

Detecção direta



Observatório Gemini: Um planeta com $8M_{\text{Jup}}$ orbitando uma estrela parecida com o Sol (porém mais jovem) a uma distância de 330 UA

Hoje conhecemos 496 planetas extra-solares

Enciclopédia dos Planetas Extra-solares

<http://exoplanet.eu/catalog.php>

Todos os catálogos

actualização : 13 de Outubro de 2010

Todos os Candidatos detectados

496 planetas

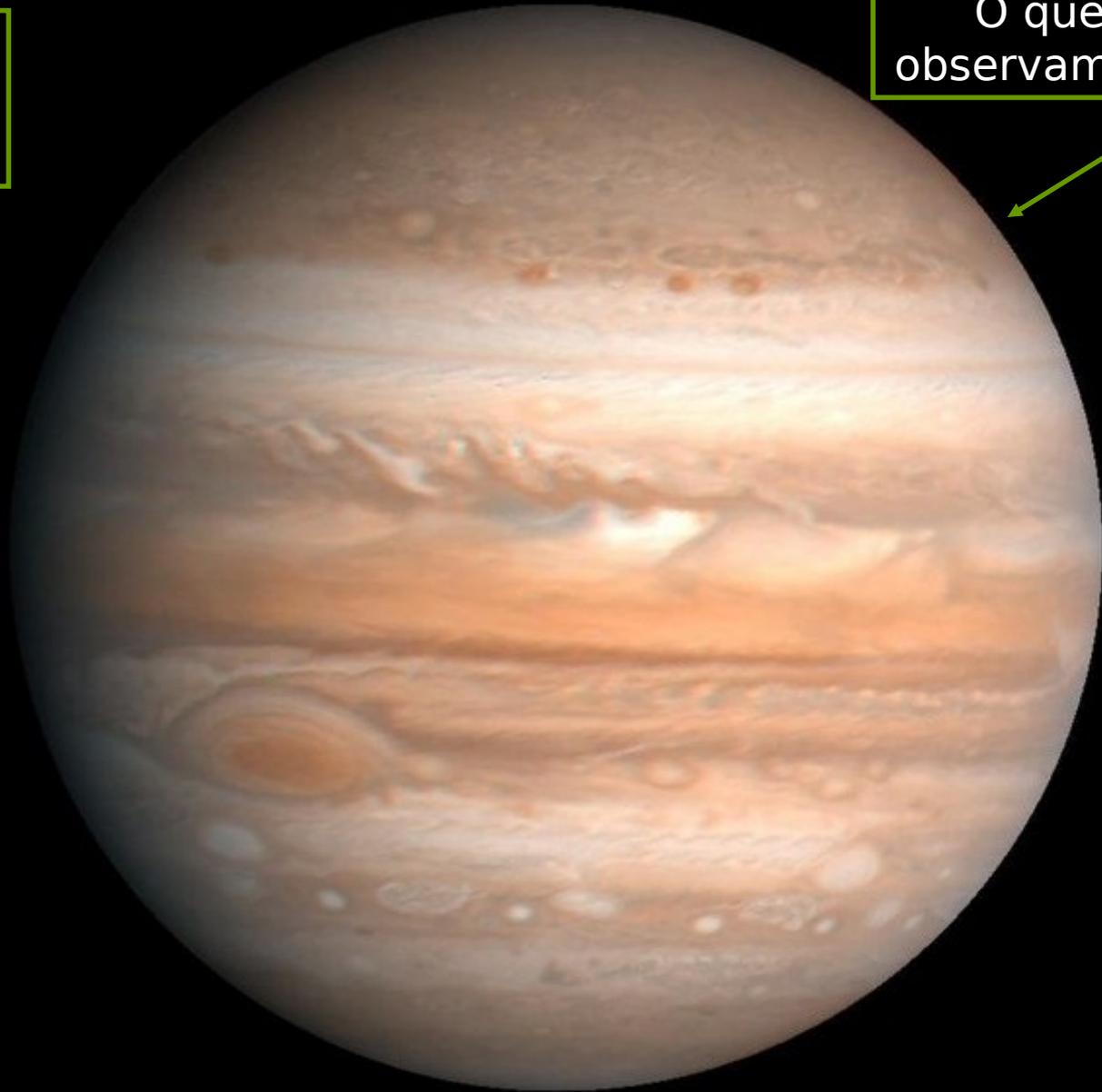
→ <u>Candidatos detectados com velocidade radial o astrometria</u> <i>actualização : 12 de Outubro de 2010</i>	391 Sistemas planetários 462 planetas 45 sistemas multi-planetários
→ <u>Planetas em trânsito</u> <i>actualização : 12 de Outubro de 2010</i>	105 Sistemas planetários 106 planetas 7 sistemas multi-planetários
→ <u>Candidatos detectados com microlentes gravitacionais</u> <i>actualização : 12 de Outubro de 2010</i>	10 Sistemas planetários 11 planetas 1 sistemas multi-planetários
→ <u>Candidatos detectados com imagem directa</u> <i>actualização : 17 de Junho de 2010</i>	11 Sistemas planetários 13 planetas 1 sistemas multi-planetários
→ <u>Candidatos detectados com timing</u> <i>actualização : 13 de Outubro de 2010</i>	6 Sistemas planetários 10 planetas 3 sistemas multi-planetários

Planetas extra-solares

O que ainda
não
observamos?



O que
observamos?



Vida em outros sistemas estelares

- A estrela mais próxima encontra-se a 4,4 anos-luz da Terra
- O ônibus espacial da NASA viaja a 28 000 km/h, portanto levaria 168 000 anos para chegar a estrela mais próxima
- Uma espaçonave perfeita (converte 100% do combustível em energia) viajando a 0.7 c levaria 6 anos para chegar a estrela mais próxima
- Energia necessária: $2,6 \times 10^{16}$ Mwatts, equivalente a toda a energia produzida na Terra hoje de todas as fontes

Por isso os astrônomos são céticos sobre as notícias de OVNI's!!!!!!

Exemplos fora do Sistema Solar

Gliese 581c, é o exoplaneta menos massivo já descoberto, e possivelmente é rochoso ($M \sim 5,1M_{\text{Terra}}$ e $R \sim 1,5 R_{\text{Terra}}$).

Localizado na Zona de Habitabilidade de uma estrela fria: **Gliese 581**.

- Os autores estimam que a temperatura superficial do planeta esteja entre 0 e 40 graus, em condições portanto de conter água no estado líquido.

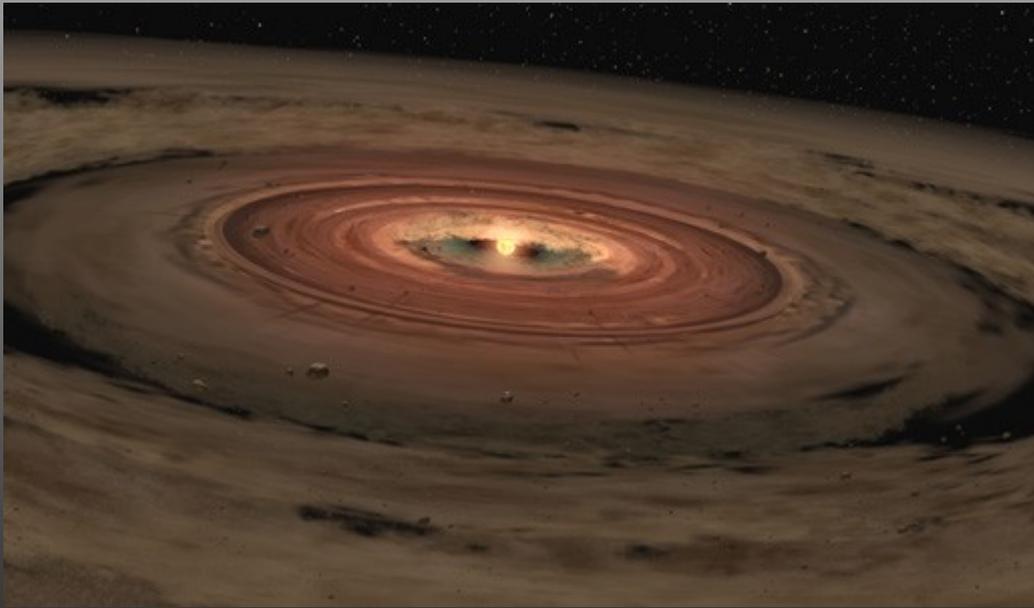


(<http://www.eso.org/public/outreach/press-rel/pr-2007/phot-22-07.html>)

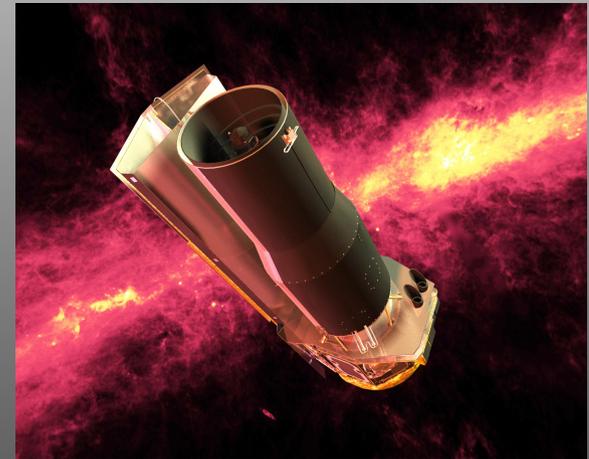
Gliese 581g

Exemplos fora do Sistema Solar

Março de 2008: Os telescópios espaciais Spitzer e Hubble detectaram metano e água na atmosfera do planeta HD189733b, um planeta do tamanho de Júpiter na região quente da estrela;



Concepção artística de uma estrela recém formada, rodeada por um disco de gás;



Estrelas adequadas a terem planetas habitáveis

A estrela deve estar na Sequência Principal

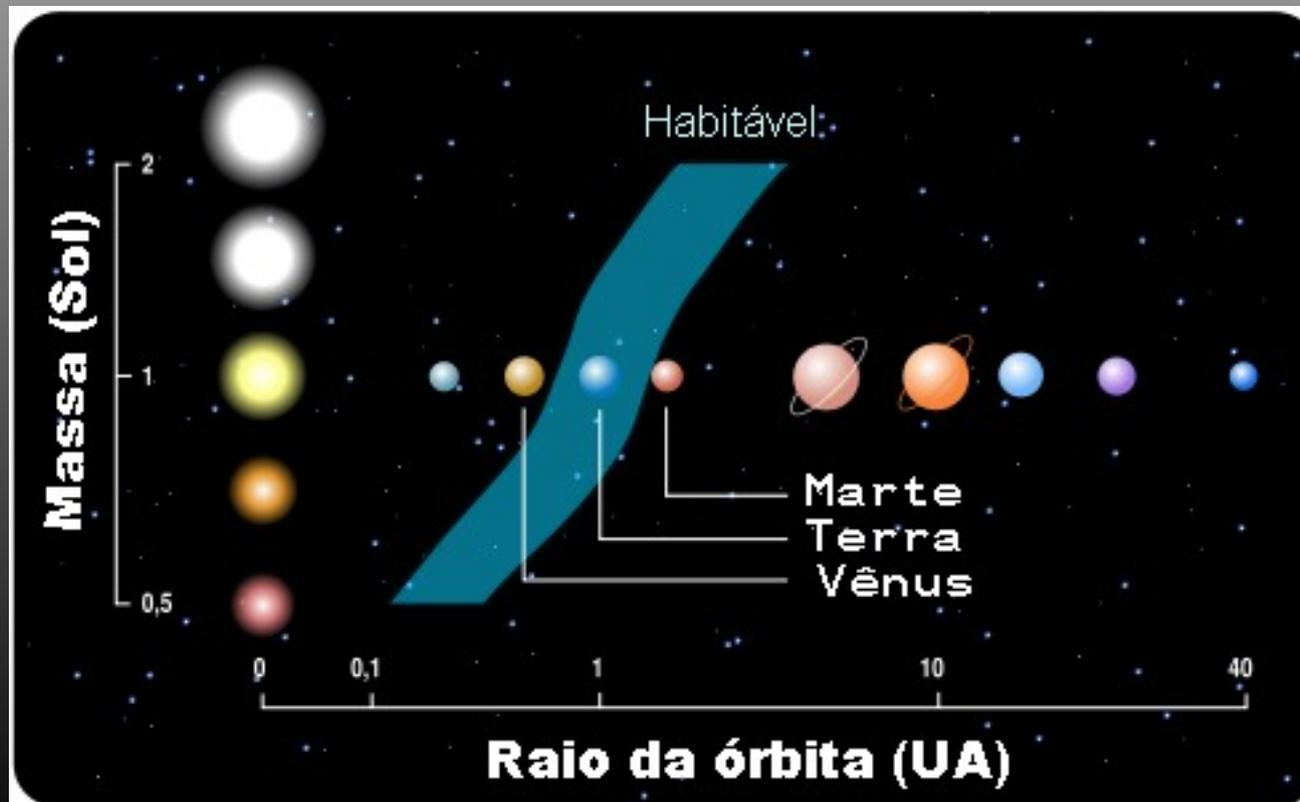
- Estrelas pós-sequência principal têm pouco tempo de vida pela frente.
- A estrela não pode ser muito jovem:
 - Estrelas muito jovens não deram tempo para a vida se desenvolver;
 - O constante bombardeio de resíduos do processo de formação do sistema planetário frustra o desenvolvimento de qualquer vida insipiente;
 - sistemas jovens têm atividade cromosférica violenta.

A estrela não pode ser nem muito massiva nem muito pouco massiva ($0,3M_{\text{Sol}} \leq M \leq 1,5M_{\text{Sol}}$).

- Estrelas muito massivas desempenham papel crucial no desenvolvimento da vida, pois geram os elementos necessários para isso, mas **duram muito pouco e emitem muita radiação ultravioleta.**

Estrelas adequadas a terem planetas habitáveis

- Estrelas muito pouco massivas duram muito tempo, mas têm suas zonas de habitabilidade muito estreitas, e muito perto da estrela (forças de maré levam a rotação sincronizada - um lado quente e outro frio, sempre)
- Estrelas pouco massivas têm intensa atividade cromosférica com grandes elevações de temperatura e emissão de partículas energéticas nocivas à vida.



Estrelas adequadas a terem planetas habitáveis

A estrela deve permitir que seus planetas tenham órbitas estáveis

- Estrelas solitárias (como o Sol) são as mais adequadas;
- Estrelas duplas, só se forem muito próximas uma da outra (de forma que a zona de habitabilidade seja comum) ou muito distante uma da outra (de forma que cada uma tenha sua própria zona de habitabilidade não afetada pela outra);
- Sistemas com mais de uma companheira são mais improváveis;

A estrela deve ter metalicidade elevada de forma a poder ter planetas telúricos;

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.

Procura de vida inteligente fora da Terra

Inteligência: capacidade de ter auto-consciência,..., de elaborar informações, de formular perguntas e procurar respostas...

Vida na Terra tem 3,8 bilhões de anos: levou 1 bilhão de anos para se desenvolver a vida;

O Homo Sapiens Sapiens só tem 125 000 anos;

Civilização tem 10 000 anos;

Tecnologia para comunicação tem menos de 100 anos;

Procura de vida inteligente fora da Terra

O projeto SETI

1959: Cocconi & Morrison publicaram "Searching for Extraterrestrial Communication" (Nature),

1960: Drake começou uma busca de sinais em Ceti e Eridani com o radiotelescópio de 25 m de Green Bank.

1961: 10 especialistas de diversas áreas (Drake, Sagan, Calvin, entre outros) se reúnem. Drake formula sua equação

$$N = f_p f_v f_i f_c \dot{N} T_t,$$

Procura de vida inteligente fora da Terra

A Equação de Drake:

$$N = f_p f_v f_i f_c \dot{N} T_t,$$

f_p é a fração provável de estrelas que tem planetas (menor que 0,4),

f_v é a fração provável de planetas que abrigam vida,

f_i é a fração provável de planetas que abrigam vida e desenvolveram formas de vida inteligente,

f_c é a fração provável de planetas que abrigam vida inteligente e que desenvolveram civilizações tecnológicas com comunicação eletromagnética,

é a taxa de formação de estrelas na Galáxia, e

T_t é o tempo provável de duração de uma civilização tecnológica.

Procura de vida inteligente fora da Terra

	R_*	f_p	f_v	n_T	f_i	f_c	T_t	N
hipótese muito otimista	20	0,6	2	1	1	1	10^9	$\sim 10^9$
hipótese pessimista	2	0,1	0,1	10^{-3}	10^{-6}	10^{-3}	10^2	$\sim 10^{-12}$
Valores de Drake	10	0,5	2	1	0,01	0,01	10000	100

Hipótese muito otimista: $N = 10^9$:

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

Hipótese pessimista: $N = 10^{-12}$:

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

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

Vida Inteligente fora da Terra?



Hipotese pessimista
Estamos Sozinhos!!

Hipotese Otimista??

