Trabalho prático
Utilizar a base de dados de exoplanetas para visualizar e analisar as propriedades dos exoplanetas
(aproximadamente 1,5 horas)

Explorando o site exoplanet.eu:

1.º Aceda ao site exoplanet.eu, clique no separador "plots" e utilize a ferramenta adequada para gerar um histograma do número de descobertas de exoplanetas ao longo do tempo.
2.º Explique as variações observadas. Se necessário, pode utilizar a internet para encontrar as datas de determinadas missões ou instrumentos.

1995: Descoberta de 51 Pegasi b, o primeiro exoplaneta confirmado a orbitar uma estrela semelhante ao Sol.
2009–2018: A missão Kepler da NASA revolucionou a procura de exoplanetas. O Kepler descobriu mais de 2.600 exoplanetas, com um pico notável de descobertas entre 2014 e 2016.
Desde 2018: O lançamento do Satélite de Investigação de Exoplanetas em Trânsito (TESS) continuou a aumentar o número de descobertas, com foco nas estrelas mais próximas da Terra.

3.º Utilize a ferramenta histograma para analisar a distribuição espacial das estrelas que acolhem exoplanetas. O que conclui daí?
Ao exibir as coordenadas de "declinação" em função do "RA", vemos que a distribuição é isotrópica. Os exoplanetas estão por toda a parte!

4.º Explore o histograma de massas. Comente os limites mínimo e máximo.
A distribuição de massa mostra um número crescente de planetas à medida que a massa diminui. Isto é real? Ative a escala logarítmica para "ampliar valores pequenos" e altere a unidade de massa para massas terrestres. Comente o que acontece à volta de 30 massas terrestres?

• O limite superior do histograma está ligado à definição do catálogo, que se baseia na massa. Os objetos com uma massa inferior a 60 massas de Júpiter (MJ) estão incluídos no catálogo, ou pelo menos aqueles cujo limite inferior da barra de erro de massa é inferior a 60 MJ (por exemplo, 70 mais ou menos 20 MJ).
• Os objetos mais massivos são as anãs castanhas e as estrelas. A população de objetos entre 13 e 73 MJ contém provavelmente uma mistura de anãs castanhas e planetas -
> art37].
• O limite inferior do histograma, o planeta menos massivo, é definido pela sensibilidade dos instrumentos. Este limite diminuirá à medida que instrumentos cada vez mais potentes detetem planetas mais leves.
• A distribuição de massa mostra um número crescente de planetas à medida que a massa diminui. Esta tendência é real, uma vez que todos os métodos de deteção tendem a detetar planetas massivos com mais facilidade. Na verdade, existem muito mais planetas de baixa massa do que massivos.
• Ao ativar a escala logarítmica e as unidades em massas terrestres, o histograma mostra uma queda de cerca de 0,1 massas de Júpiter (30 massas terrestres). Esta queda não é um enviesamento, pois persiste quando nos limitamos a um único método de deteção, trânsitos

ou velocidades radiais. Poderá corresponder à fronteira entre os planetas terrestres? e os planetas gasosos.

5.º Explore o histograma dos semieixos maiores. Onde estão os exoplanetas mais distantes que foram detetados? Coloque isto em perspetiva com as distâncias no Sistema Solar. Onde se localiza a maioria dos planetas descobertos? Justifique esse valor com um cálculo rápido.

O histograma estende-se por mais de 100.000 UA. Para comparação, o planeta mais distante do Sol está a 30 UA, e as sondas espaciais mais distantes só recentemente viajaram para além das 165 UA. Os exoplanetas a mais de 100 UA da sua estrela foram todos detetados por imagens diretas. É de notar que, neste caso, é difícil ter a certeza de que o planeta detetado está gravitacionalmente ligado à estrela.
A maioria dos planetas está a menos de 10 UA da sua estrela. Variando os métodos de deteção, verificamos que este enviesamento apenas afeta os planetas detetados por trânsitos ou velocidades radiais. Estes métodos indiretos requerem o rastreio do movimento da estrela durante pelo menos um período planetário. Desde que a procura de exoplanetas começou, há 30 anos, os métodos indiretos apenas conseguiram detetar planetas com períodos inferiores a 30 anos. A 3ª lei de Kepler permite-nos calcular que este período corresponde a um semieixo maior de 302/3 = 10 UA.

6.º Explore o histograma de excentricidade. Algum comentário?

• Vários exoplanetas têm uma excentricidade exatamente nula. São planetas para os quais não temos informação sobre a forma das suas órbitas, que, por isso, são consideradas circulares (e=0).
• Observamos também que a distribuição das excentricidades está a diminuir, mas que ainda existem muitos planetas com órbitas altamente excêntricas. Com uma excentricidade de 0,2, o planeta estará uma vez e meia mais afastado da sua estrela na sua maior distância (apoastro) do que na sua maior proximidade (periápside).
• Em comparação com os planetas do Sistema Solar, verificamos que muitos exoplanetas têm órbitas muito mais excêntricas do que os planetas do Sol:

Mercúrio: 0,2 - Vénus: 0,007 - Terra: 0,02 - Marte: 0,09 - Júpiter: 0,05 - Saturno: 0,05 - Urano: 0,05 - Neptuno: 0,004

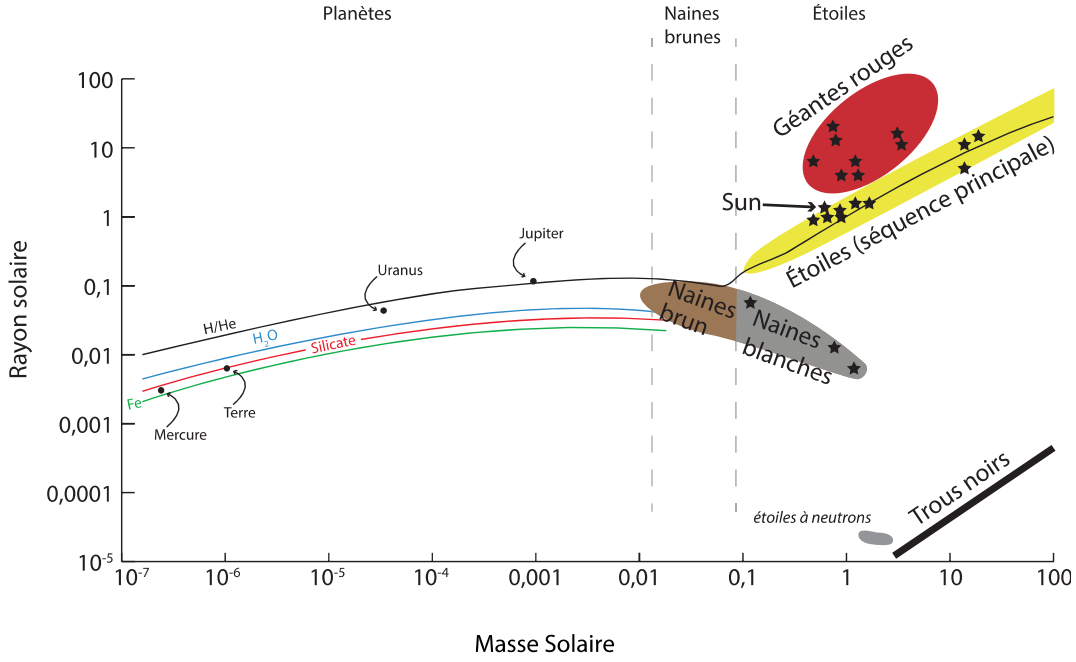
7.º Utilize outra ferramenta do site exoplanet.eu para criar um diagrama que represente todos os exoplanetas atualmente conhecidos, classificados por distância da estrela (x), massa (y) e excentricidade (tamanho variável).
- Identifique os planetas do Sistema Solar neste esquema, bem como 51 Peg b (a=0,05 UA; m=0,47 MJ) e Kepler 10 b (a=0,017 UA; m=4,6 MT).
- Identifique as diferentes famílias de exoplanetas apresentadas no curso.

Aumente o zoom para melhor localizar os dois planetas e utilize o rato para exibir a grelha de coordenadas para melhor localizar os alvos!
As diferentes famílias: Júpiter quente; super-Terra; Júpiter morno,…

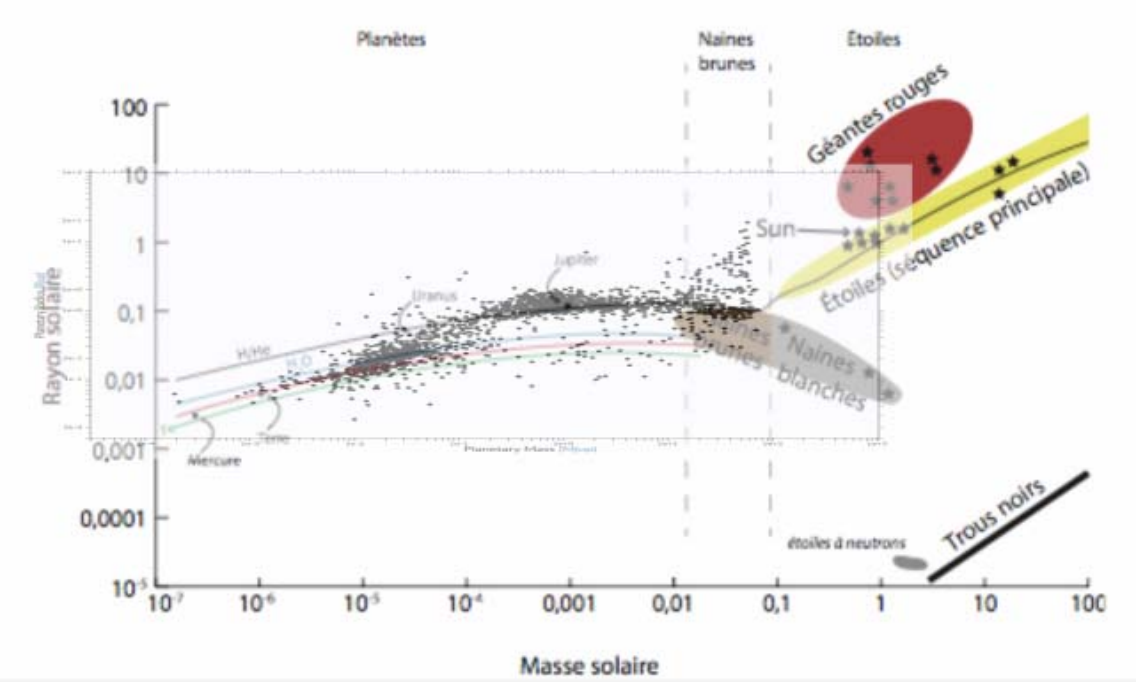
8.º Explore o diagrama Massa-Raio, em coordenadas log-log e em unidades terrestres. Como estão dispersos os planetas com raio terrestre? A figura seguinte mostra o esquema de todos os objetos celestes e compara-os com as densidades materiais. Vemos que a Terra e Mercúrio são compatíveis com os objetos rochosos. Comentários?

Recorde-se que o método da velocidade radial fornece informação sobre a massa, mas não sobre o raio, e o método do trânsito fornece o valor do raio, mas não a massa. Ambos os métodos devem ser utilizados para aceder a ambos os parâmetros.

Embora, de um modo geral, observemos que a massa dos planetas aumenta à medida que o seu raio aumenta, existe uma enorme dispersão. Os planetas com raio de 1 Terra estão dispersos entre 0,7 e 30 massas terrestres. Adicionando as barras de erro, vemos que parte desta dispersão se deve a erros de medição, mas parte é real e reflete objetos com densidades extremamente diferentes. Assim, os planetas do sistema solar (pontos pretos abaixo) estão muito menos dispersos.



Sobrepomos o diagrama anterior aos dados. Para tal, considerámos um raio solar igual a 10 raios de Júpiter e uma massa solar igual a 1000 massas de Júpiter. As anãs castanhas têm entre 13 e 60 MJ. Os objetos mais densos estão localizados no canto inferior direito do diagrama (por exemplo, buracos negros).



9.º Apresente o diagrama de Períodos - Semi-eixos maiores, em coordenadas log-log. O que mostra? Explique a dispersão dos pontos.

Mostra uma relação proporcional entre o logaritmo do semieixo maior da órbita, a, e o logaritmo do período orbital, P. Esta é a terceira lei de Kepler:

P2/a3 = cste, expressa na forma: 2*log(P)=3*log(a)+C

Esta lei é utilizada para deduzir o valor do semieixo maior da órbita de um exoplaneta, com base na medição do período orbital e no conhecimento da massa da estrela. A dispersão dos pontos deve-se à dependência da constante em relação à massa da estrela hospedeira.

Autor : Alain Doressoundiram, verão de 2025