TP - Soluții

Utilizarea bazei de date exoplanetare pentru vizualizarea și analiza proprietăților exoplanetelor

(durată aproximativă 1h30)

Explorați site-ul web exoplanet.eu:

1. Accesați fila „grafice” de pe site-ul exoplanet.eu și utilizați instrumentul corespunzător pentru a produce o histogramă a numărului de descoperiri de exoplanete în timp.

2. Explicați variațiile observate. Dacă este necesar, puteți utiliza internetul pentru a găsi datele anumitor misiuni sau instrumente.

> 1995: Descoperirea lui 51 Pegasi b, prima exoplanetă confirmată care orbitează o stea asemănătoare Soarelui.
>
> 2009-2018: Misiunea Kepler NASA a revoluționat căutarea exoplanetelor. Kepler a descoperit peste 2.600 de exoplanete, cu o culminație notabilă a descoperirilor între 2014 și 2016. Din 2018: Lansarea satelitului TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) a continuat să crească numărul de descoperiri, concentrându-se pe stelele cele mai apropiate de Pământ.

3. Utilizați instrumentul histogramă pentru a analiza distribuția spațială a stelelor care găzduiesc exoplanete. Ce concludeți din aceasta?

> Afișând coordonatele „declinației” și apoi „RA”, putem observa că distribuția este izotropă. Exoplanetele sunt peste tot!

4. Explorați histograma masei. Comentați limitele minime și maxime. Distribuția masei arată un număr tot mai mare de planete pe măsură ce masa scade. Este adevărat acest lucru? Activați scara logaritmică pentru a „mări valorile mici” și schimbați unitatea de masă în mase terestre.

De unde știm ce se întâmplă în jurul a 30 de mase terestre?

- Limita superioară a histogramei este legată de definiția catalogului, care este bazat pe elementul masă. Obiectele cu o masă mai mică de 60 de mase ale lui Jupiter (MJ) sunt introduse în catalog, sau cel puțin cele a căror limită inferioară a barei de eroare de masă este mai mică de 60 MJ (de exemplu, 70 plus sau minus 20 MJ).
- Cele mai masive obiecte sunt piticele brune și stelele. Populația de obiecte între 13 și 73 MJ conține cel mai probabil un amestec de pitice brune și planete->art492].
- Limita inferioară a histogramei, planeta cu cea mai mică masă, este definită de sensibilitatea instrumentelor. Această limită va scădea pe măsură ce instrumente din ce în ce mai puternice detectează planete mai ușoare.

- Distribuția masei arată un număr tot mai mare de planete pe măsură ce masa scade. Aceasta este o tendință reală, deoarece toate metodele de detectare tind să detecteze mai ușor planetele masive. Există de fapt mult mai multe planete cu masă mică decât planete masive.
- Prin activarea scalei logaritmice și a unităților în mase terestre, histograma arată o scădere în jur de 0,1 mase ale lui Jupiter (30 mase terestre). Această scădere nu este o prejudecată, deoarece persistă atunci când ne limităm la o singură metodă de detectare, tranzite sau viteze radiale. Aceasta ar putea fi limita dintre planetele telurice și cele gazoase.

5. Explorați histograma semiaxelor majore. Unde sunt detectate cele mai îndepărtate exoplanete? Puneți-le în perspectivă în raport cu distanțele din Sistemul Solar. Unde sunt descoperite majoritatea planetelor? Justificați această valoare cu un calcul rapid.

Histograma se extinde la peste 100.000 UA. Pentru comparație, cea mai îndepărtată planetă de Soare se află la 30 UA, iar cele mai îndepărtate sonde spațiale au depășit recent 165 UA. Exoplanetele dincolo de 100 UA de steaua lor au fost toate detectate prin imagistică directă. Trebuie menționat că este atunci dificil să fim siguri că planeta detectată este legată gravitațional de stea. Majoritatea planetelor se află la mai puțin de 10 UA de steaua lor. Dacă ne jucăm cu metodele de detectare, putem vedea că această prejudecată se referă doar la planetele detectate prin tranzite sau viteze radiale. Aceste metode indirecte necesită să urmărim mișcarea stelei timp de cel puțin o perioadă a planetei. De când a început căutarea exoplanetelor acum 30 de ani, metodele indirecte au putut detecta doar planete cu perioade mai mici de 30 de ani. A treia lege a lui Kepler poate fi utilizată pentru a calcula că această perioadă corespunde unei semiaxe majore de $30^{2/3}$ = 10 UA.

6. Explorați histograma excentricităților. Aveți comentarii?

- Mai multe exoplanete au exact excentricitate zero. Acestea sunt planete pentru care nu avem informații despre forma orbitei, care, prin urmare, se presupune a fi circulară (e=0).
- De asemenea, observăm că distribuția excentricităților este în scădere, dar că există încă multe planete cu orbite foarte excentrice. Cu o excentricitate de 0,2, planeta va fi de o dată și jumătate mai departe de steaua sa la cea mai mare distanță (apocentru) decât la cea mai mare proximitate (periapsis).
- Dacă le comparăm cu planetele Sistemului Solar, putem observa că multe exoplanete au orbite mult mai excentrice decât planetele Soarelui: Mercur: 0,2 - Venus: 0,007 - Pământ: 0,02 - Marte: 0,09 - Jupiter: 0,05 - Saturn: 0,05 - Uranus: 0,05 - Neptun: 0,004

7. Folosiți un alt instrument de pe site-ul exoplanet.eu pentru a produce o figură care să arate toate exoplanetele cunoscute până în prezent, clasificate după semiaxa majoră (x), masă (y) și excentricitate (dimensiune variabilă).

- Localizați planetele Sistemului Solar pe această figură, precum și 51 Peg b (a=0,05 UA; m=0,47 M_J) și Kepler 10 b (a=0,017 UA; m=3,24 M_E).
- Aflați mai multe despre diferitele familii de exoplanete prezentate în curs.

Măriți pentru a vedea cele 2 planete mai clar și folosiți mouse-ul pentru a afișa grila de coordonate pentru a vedea țintele mai clar!

Diferitele familii: Jupiter fierbinte; super-Pământ; Jupiter cald,...

8. Explorați diagrama Masă - Rază, în coordonate log-log și în unități terestre. Cum sunt dispersate planetele cu raza Pământului? Următoarea diagramă prezintă toate obiectele cerești și le compară cu densitățile materiale. Putem vedea că Pământul și Mercur sunt compatibile cu obiectele stâncoase. Aveți comentarii?

Rețineți că metoda vitezei radiale oferă informații despre masă, dar nu și despre rază, iar metoda tranzitului oferă valoarea razei, dar nu și masa. Trebuie să utilizați ambele metode pentru a accesa ambii parametri.

Deși, per total, putem observa că masa planetelor crește pe măsură ce raza lor crește, există o dispersie enormă. Planetele cu o rază de 1 Pământ sunt împrăștiate între 0,7 și 30 de mase terestre. Dacă adăugăm barele de eroare, putem vedea că o parte din această dispersie se datorează erorilor de măsurare, dar o parte din ea este reală și reflectă obiecte cu densități extrem de diferite.

De exemplu, planetele din sistemul solar (puncte negre mai jos) sunt mult mai puțin dispersate.

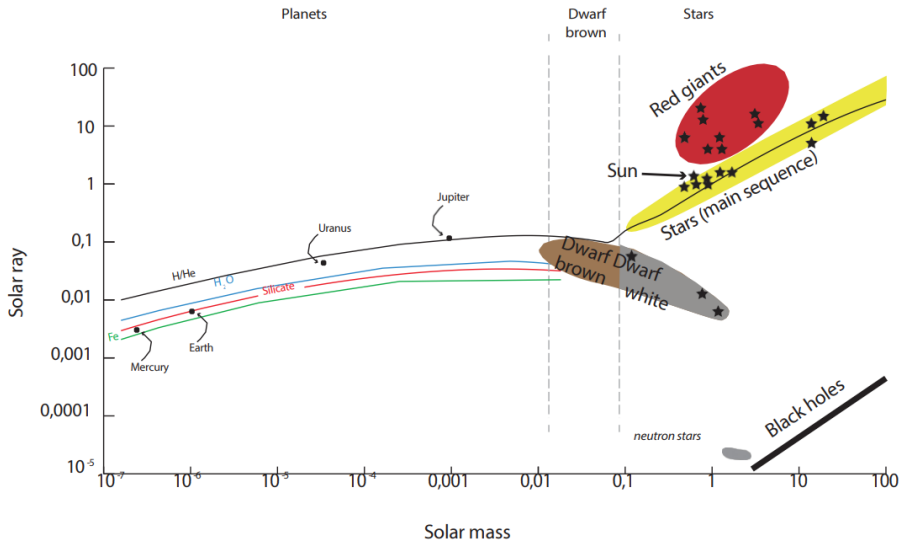
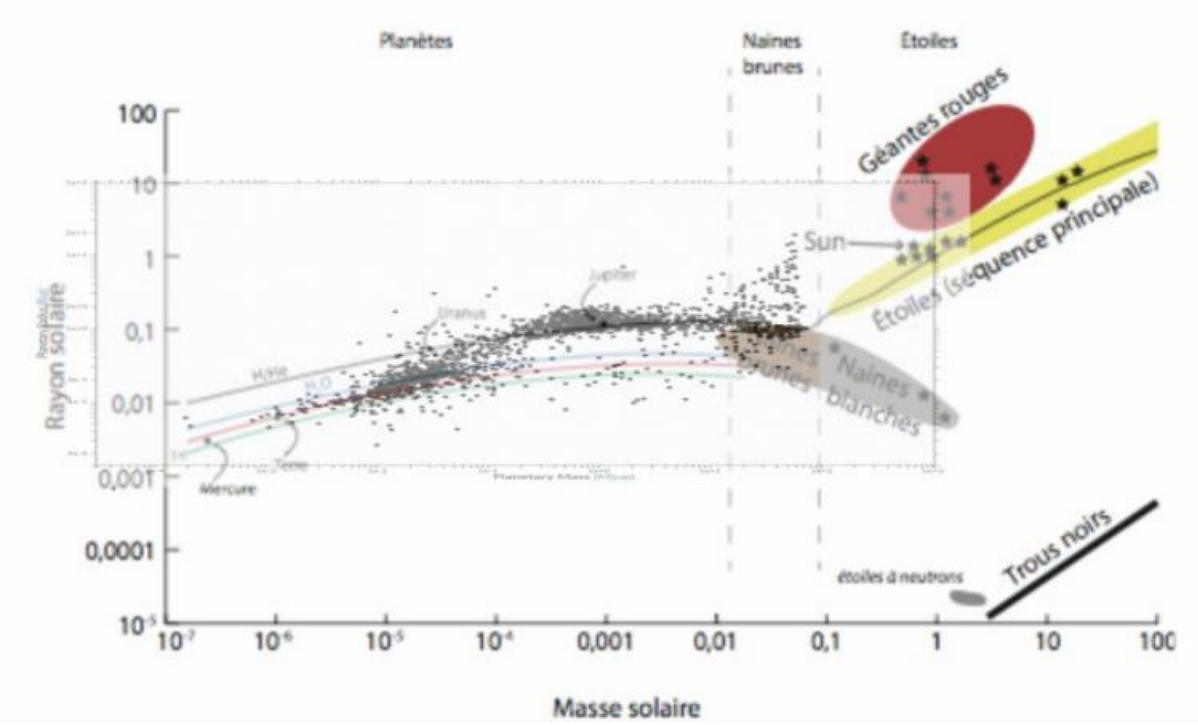


Diagrama de mai sus este suprapusă peste date. Pentru a face acest lucru, presupunem că o rază solară valorează 10 raze Jupiter și că o masă solară valorează 1000 de mase Jupiter. Piticele brune au între 13 și 60 MJ. Cele mai dense obiecte se află în partea dreaptă jos a diagramei (de exemplu, găurile negre).



9. Afișați diagrama Perioadă - Semiaxa majoră, în coordonate log-log. Ce arată? Explicați dispersia punctelor.

Aceasta arată o relație de proporționalitate între logaritmul semiaxei majore a orbitei, a, și logaritmul perioadei orbitale, P. Aceasta este a treia lege a lui Kepler:

P^2/a^3= const exprimată ca: 2*log(P)=3*log(a)+C

Această lege este utilizată pentru a deduce valoarea semiaxei majore a orbitei unei exoplanete, din măsurarea perioadei de revoluție și cunoașterea masei stelei. Dispersia punctelor se datorează dependenței constantei de masa stelei gazdă.

Autor: Alain Doressoundiram, Vara anului 2025