

COMUNICACIÓN DE TRABAJO – CONTRIBUTED PAPER

Propiedades estadísticas observacionales de planetas extrasolares

Jorge Correa

Departamento de Geofísica y Astronomía de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNSJ, San Juan, Argentina, jorgecorrea@yahoo.com.ar

Francisco López García

Departamento de Geofísica y Astronomía de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNSJ, San Juan, Argentina, flgarcia@casleo.gov.ar

Abstract. The exoplanets period-mass distribution shows important observational results as lack of massive planets ($M > 2M_{jup}$) on short-period orbits ($P < 100$ days), a shortage of planets in the 10-100 days period range and a shortage of light planets ($M < 0.75 M_{jup}$) on orbits with periods larger than 100 days. These characteristics were analyzed by Udry et al. (2003) with an observational sample of 116 exoplanets. In this work we analyze the same observational properties with an updated sample of 173 objects (see www.pbspm.fr/planets). We find a discrepancy with Udry et al for objects with masses less than $0.75 M_{jup}$.

Resumen. La distribución período-masa de planetas extrasolares proporciona importantes propiedades observacionales, como la falta de planetas con masas mayores $2 M_{jup}$ y con períodos menores a 100 días; además, se observan pocos planetas con masas menores a $0.75 M_{jup}$ y con períodos mayores a 100 días. Estas características fueron analizadas por Udry et al. (2003) con una muestra observacional de 116 exoplanetas. En este trabajo analizamos las mismas características observacionales con una muestra de 173 exoplanetas al 2005 (consultar www.pbspm.fr/planets). El análisis realizado presenta cierta discrepancia con Udry et al. (2003) debido al aumento del número de objetos en la muestra, esta diferencia se manifiesta para objetos con masas menores que $0.75 M_{jup}$.

1. Introducción

El número de planetas extrasolares descubiertos proporciona una muestra interesante que permite analizar estadísticamente las distintas relaciones entre sus parámetros orbitales. Dicha muestra a aumentado considerablemente en los últimos años, en especial si se considera los conocidos hasta el 2003, con respecto a los 173 que existen actualmente. Analizaremos en particular la relación **masa-período/distancia** a fin de corroborar los resultados obtenidos por Udry et al. (2003), estudiando las mismas características observacionales, teniendo en cuenta un aumento del 50% de la muestra. En su trabajo resaltan la ausencia de planetas masivos con período menor que 10 días, pocos planetas con períodos

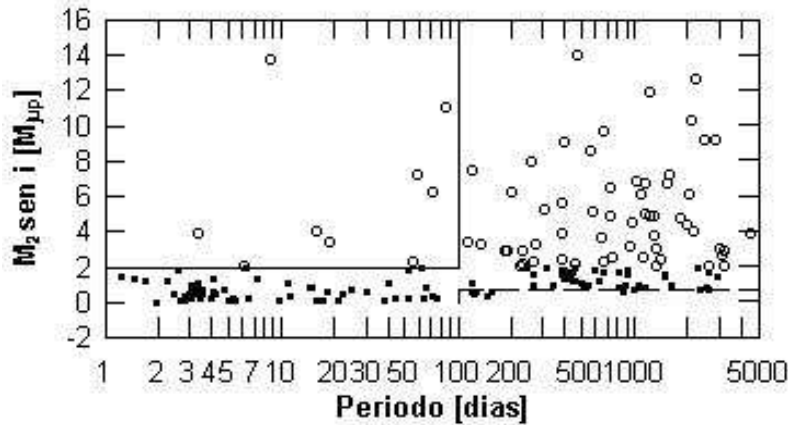


Figura 1. Masas mínimas vs. período para los exoplanetas conocidos, los círculos indican los planetas con $M > 2M_{jup}$, y los cuadrados aquellos con $M < 2M_{jup}$. Se limitan dos zonas, en línea punteada $M < 0.75M_{jup}$ y $P > 100$ días, y en línea continua $M > 2M_{jup}$, y $P < 100$ días.

entre 10 y 100 días y la falta de planetas livianos (masas menores a $0.75 M_{jup}$) con períodos mayores a 100 días, los cuales podrían estar relacionados con los procesos de formación planetaria, en especial con las hipótesis de migración. En su análisis sólo considera el sistema estrella-planeta.

2. Propiedades observacionales

La Fig. 1 muestra la relación **masa-período** considerando los 173 exoplanetas observados; los círculos representan los planetas con masas mayores a $2 M_{jup}$, y los cuadrados aquellos con masas menores a $2 M_{jup}$; las líneas continuas limita la región para $M > 2 M_{jup}$ y $P < 100$ días y las punteadas la región $M < 0.75 M_{jup}$ y $P > 100$ días. El criterio para dividir esta muestra en dos grupos (a partir de sus masas) se basa en las propiedades observacionales, a saber:

- 1) Ausencia de planetas masivos con períodos cortos: Los planetas masivos (círculos) no se observan en la región con períodos menores a 10 días, los tres puntos presentes corresponden a sistemas dobles (estrella binaria y exoplaneta), ver Fig. 1. En la sección siguiente analizaremos este hecho observacional.
- 2) La presencia de pocos objetos entre los períodos 10- 100 días: En la región comprendida entre 10 y 100 días el número de planetas con respecto al resto de la muestra es muy escaso. La presencia de objetos masivos (mayores que $2 M_{jup}$) en esta región corresponden a sistemas dobles. Udry et al. (2003) destaca estas características (item 1 y 2), que se mantienen al aumentar la muestra.

3) Pocos objetos con masas menores que $0.75 M_{jup}$ y largo período: Se observan pocos planetas con masas menores a $0.75 M_{jup}$ con períodos mayores a 100 días. Un período de 100 días corresponde aproximadamente a un semi eje mayor de 0.4 UA. Esta característica observacional puede también ser analizada representando el semi eje mayor versus la masa. En la Figura 2 se muestran los resultados obtenidos, donde los círculos representan los planetas masivos y los cuadrados los cuerpos livianos. Las líneas punteada limitan la región $M < 0.75 M_{jup}$ y $a > 0.4$ UA; las curvas continuas representan tres valores de la semi amplitud de velocidad, K (m/s), cuyos valores son: 3.0, 10.0 y 30.0 m/s, las cuales se obtuvieron para una órbita con $e = 0$ e $i = 0$ y una estrella de masa solar. En este gráfico se observa una región limitada por la semi amplitud de velocidad correspondiente a 10.0 m/s y las líneas punteadas, la cual destaca la escasa presencia de objetos livianos. Este hecho difiere con los resultados obtenidos por Udry et al. (2003), quien resalta la ausencia de planetas.

4) Distribución de las poblaciones de la muestra: Estudiaremos la relación observacional **masa–período/distancia**, analizando la muestra en cuatro poblaciones. Para ello hemos utilizado el siguiente criterio:

- a) Planetas con masas menores a $0.75 M_{jup}$, debido a los pocos objetos observados con $P > 100$ días.
- b) Masas comprendidas entre $0.75 M_{jup}$ y $2 M_{jup}$ por la falta de planetas masivos con $P < 100$ días.
- c) Masas comprendidas entre $2 M_{jup}$ y $4 M_{jup}$.
- d) Masas mayores a $4 M_{jup}$.

La distribución estadística de las masas de los planetas respecto al semi eje mayor se muestran en la Fig. 3. La Figura de la izquierda corresponde a masas menores que $2 M_{jup}$ y la derecha a masas mayores a $2 M_{jup}$. El intervalo elegido para los histogramas está relacionado con un período de 100 días correspondiente a $a = 0.4$ UA. El primer histograma presenta una gran concentración de cuerpos para $a = 0.4$ UA, en cambio en el segundo la concentración se observa para $a > 0.4$ UA. Esta propiedad observacional pone de manifiesto que los planetas menos masivos se encuentran próximos a la estrella y los masivos están distribuidos más lejos de la estrella. En este histograma no se ha considerado los sistemas estelares dobles.

Teniendo en cuenta la distribución de masas propuesta, analizamos el porcentaje de cada población con los siguientes intervalos de períodos (días): 0-10; 10-100; 100-1000; 1000-3000 días. El resultado de este análisis se muestra en la Tabla 1, donde el porcentaje es el número de planetas correspondiente a los límites entre masas y períodos. La última columna es el número total de objetos en cada población y la última fila el número total de objetos en cada intervalo de períodos. Esta Tabla sintetiza las tres características observacionales que hemos mencionado anteriormente.

3. Consideraciones teóricas

Las propiedades observacionales mencionadas en la sección anterior fueron analizadas en el trabajo de Udry et al. (2003). Para planetas con masas mayores

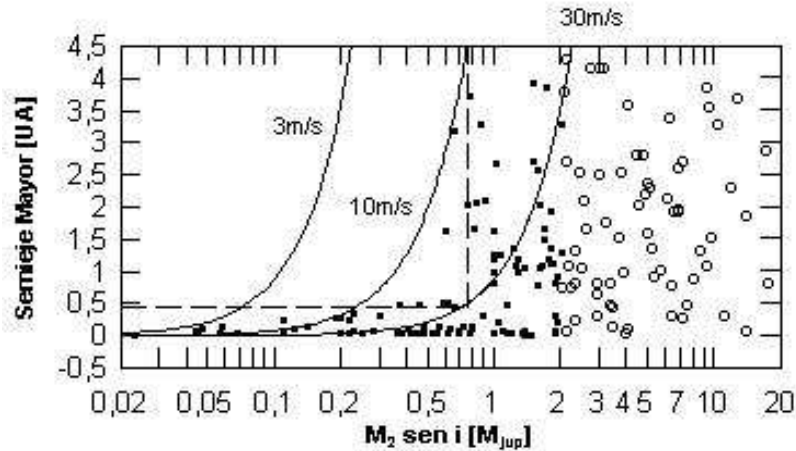


Figura 2. Diagrama masa–semi eje mayor para los exoplanetas conocidos. Los círculos representan los planetas masivos y los cuadrados los cuerpos livianos. Las líneas continuas ilustran 3 valores de semi amplitud de velocidad radial (K) para un exoplaneta orbitando una estrella de masa solar, en movimiento circular. Las líneas punteadas delimitan la zona $M < 0.75M_{jup}$, y $a > 0.4UA$.

a $2 M_{jup}$ el aumento de la muestra confirma su análisis, es decir, la ausencia de planetas masivos en sistemas estelares simples con períodos menores a 100 días, debido a una ineficiencia en los procesos migratorios que actúan sobre los planetas gigantes, migración del tipo II (Trilling et al., 2002). Sin embargo, se observan algunos exoplanetas masivos (nueve), con períodos menores a 100 días, los cuales orbitan estrellas binarias que podrían haber afectado sus procesos evolutivos, por esta razón Udry et al. (2003) no los consideran en su análisis. No obstante, son tenidos en cuenta en la Fig. 1 y en la Tabla 1.

Para planetas con masas comprendidas entre 0.75 y $2 M_{jup}$ también se encuentra un acuerdo con el trabajo de Udry et al. (2003); los cuales seguirían una migración del tipo I (Trilling et al. 2002) y por tanto se pueden hallar a cualquier distancia de la estrella, ver Tabla 1. Cuando la masa del planeta es menor que $0.75 M_{jup}$, a diferencia del trabajo de Udry et al., hallamos ocho planetas que orbitan con períodos mayores que 100 días. Según Udry et al. (2003), la ausencia de planetas en esta región, se debería a un proceso del tipo “runaway migration”, el cual arrojaría a los cuerpos hacia las regiones más cercanas a la estrella, justificando así su ausencia con grandes períodos. Este tipo de migración puede suceder cuando la masa del planeta es menor que cierta masa crítica, $1 M_{jup}$ (la cual depende de factores ajenos al planeta como ser: la masa del disco, su viscosidad o su espesor, etc), sin embargo si la masa del exoplaneta es muy pequeña (menor a $1 M_{sat}$) entonces los procesos de migración se hacen deficientes y los planetas no varían mucho de su posición original. Esta característica observa-

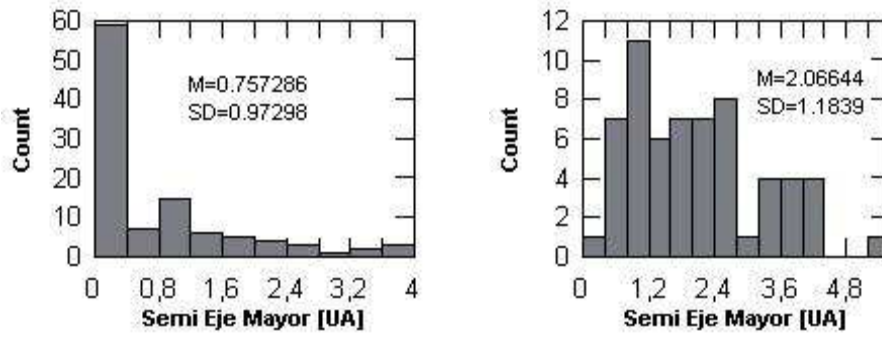


Figura 3. *Izquierda:* Histograma estadístico sobre la distribución del semi eje mayor de los exoplanetas con masas menores a $2 M_{jup}$. *Derecha:* Histograma sobre la distribución estadística del semi eje mayor de los exoplanetas con masas mayores a $2 M_{jup}$.

cional no está presente en nuestro trabajo, ya que en dicha región hallamos ocho planetas con masas mayores a la masa de Saturno, los cuales deberían haber sufrido el “runaway migration”.

Tabla 1
Porcentajes de exoplanetas en cada región masa–período.

Población	0-10 d. %	10-100 d. %	100-1000 d. %	1000-3000 d. %	Total c/Pob.
0-0.75 M_{jup}	15	8.7	4	0.59	49
0.75-2 M_{jup}	6.3	4	16	5.8	56
2-4 M_{jup}	1.1	1.1	9.2	6.4	31
4-17 M_{jup}	0.58	2.3	8.1	10.4	37
Total c/Per.	40	28	65	40	173

4. Conclusiones

Nuestros resultados concuerdan con el de Udry et al. (2003) para planetas con masas mayores a $0.75 M_{jup}$ es decir, al aumentar el número de la muestra se confirman las hipótesis de formación vía migración sobre las hipótesis de formación in situ. También se verifica la hipótesis de dos tipos de migración (Trilling et al. 2002), puestas de manifiesto en la escasa cantidad de planetas con períodos entre 10 y 100 días, ver Fig. 1 y Tabla 1. Esta región correspondería a una zona de transición entre los dos tipos de migración.

Para los exoplanetas muy livianos, el aumento de la muestra no corrobora lo formulado por Udry et al. (2003) ya que existen ocho planetas extrapolares que no confirman esta hipótesis, los cuales tienen masas 0.37, 0.45, 0.58, 0.6, 0.61, 0.65, 0.66 y $0.75 M_{jup}$, mayores que la masa de Saturno ($0.3 M_{jup}$). La falta de cuerpos en esta región no se debe a bias observacional ($K < 10$ m/s) como se puede apreciar en la Fig. 2. Podemos concluir que esta discrepancia debe ser

analizada en el futuro, cuando la muestra sea mayor a la considerada en este trabajo, para decidir si se trata sólo de casos aislados y por tanto las conclusiones de Udry et al. (2003) siguen siendo válidas o si debe modificarse esta hipótesis.

Agradecimientos. Agradecemos al Dr. Cristian Beaugé por su asesoramiento.

Referencias

- Udry, S., Mayor, M., & Santos, N.C. 2003, *A&A*, 407, 369
Trilling, D., Lunine, J., & Benz, W. 2002, *A&A*, 394, 241
Ferraz-Mello, S., Michtchenko, T.A., Beaugé, C., & Callegari, Jr. 2005, *Lectures on Extrasolar Planetary Systems.*, (preprints)