

*Asociación Argentina de Astronomía
BAAA, Vol. 53, 2010
J.J. Clariá, M.V. Alonso, A.E. Piatti & F.A. Bareilles, eds.*

PRESENTACIÓN MURAL

Metalicidad de estrellas con exoplanetas y discos de polvo

R. Petrucci^{1,5}, C. Saffe^{2,3,5} & E. Jofré^{4,5}

(1) *Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE)*

(2) *Instituto de Ciencias Astronómicas de la Tierra, y del Espacio (ICATE)*

(3) *Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan*

(4) *Observatorio Astronómico, Universidad Nacional de Córdoba*

(5) *CONICET*

Abstract. We present an uniform comparison among three different kind of objects: cool-Jupiter exoplanet host-stars, stars with dust disks and exoplanet host-stars with dust disks. The goal of this contribution was to determine why stellar objects originally surrounded by planetesimals evolve to different final configurations, from stars with planets to stars with debris disks.

Resumen. Realizamos una comparación uniforme de las metalicidades de tres grupos de objetos diferentes: estrellas con planetas del tipo Júpiter frío, estrellas con discos de polvo y estrellas que poseen tanto planetas como discos de polvo. El objetivo de esta contribución fue el de indagar sobre los motivos por los cuales objetos estelares que originalmente son circundados por planetesimales, evolucionan hacia configuraciones finales distintas, que van desde estrellas con compañeras de masa planetaria hasta estrellas rodeadas por discos de partículas sólidas.

1. Introducción

Hasta la fecha se han encontrado en la secuencia principal unas 400 estrellas con discos de polvo (o análogos del Cinturón de Kuiper), casi 500 estrellas con uno o más planetas, y aproximadamente 20 objetos que presentan ambos. Estos hechos dieron lugar al surgimiento y desarrollo de teorías que pudieran explicar tanto el origen de los discos de polvo como el origen de los planetas. Para el primer caso, actualmente se asume que es la erosión o colisión de planetesimales (Backman & Paresce 1993) la que genera los discos análogos del Cinturón de Kuiper, mientras que en el segundo caso la teoría más aceptada corresponde al modelo de acreción de núcleos de Pollack et al. (1996) que indica que los planetas surgen de la fusión de planetesimales. Luego, ¿por qué estrellas con planetas y discos de polvo han evolucionado hacia configuraciones finales distintas si ambas poseen un antecesor común? En el año 2007 Greaves et al. postularon que la masa total de metales en el disco primordial de una estrella es el principal factor para determinar cuál será su configuración final. Las hipótesis básicas de este modelo son que la metalicidad

es una cantidad originalmente común a la estrella y su disco, y que un número mayor de metales en el disco primordial implica un crecimiento planetario más efectivo. Es decir que, a medida que la cantidad de metales en el disco primordial disminuye, se generan distintos escenarios: a) estrellas con “Júpiteres calientes”, b) estrellas con “Júpiteres fríos”, c) sistemas con planetas gigantes y disco, d) objetos con discos de polvo y e) estrellas aisladas. Según el modelo de Pollack, en el caso a) un número elevado de metales como carbono, hierro, etc, favorece un crecimiento rápido de planetesimales que posteriormente se fusionan formando núcleos planetarios. Cuando estos núcleos acretan una envoltura gaseosa y dan origen a una atmósfera, se convierten en planetas gigantes gaseosos. Finalmente, las interacciones con el material del disco dan lugar al fenómeno de migración que los ubica a distancias de la fuente central menores a 0,1 UA, originando planetas del tipo Júpiter caliente. En el caso de los Júpiteres fríos, el disco presenta un número de metales inferior al del caso a); los planetas se forman más lentamente, de modo que migran mucho menos y se ubican a distancias mayores de la fuente central. En la situación c) solo una fracción del material en el disco es convertida en planetas. En el caso d) se originan principalmente planetesimales; mientras que en el caso e) no queda material alrededor de la estrella. Basándonos en esta teoría, comparamos las distribuciones de metalicidad de distintos grupos de objetos de secuencia principal para determinar si existen o no diferencias significativas entre ellas.

2. Objetos seleccionados y determinación de metalicidades

Seleccionamos un total de 34 objetos pertenecientes a tres categorías distintas. 12 corresponden al grupo de estrellas con discos de polvo, 13 a la muestra de estrellas de secuencia principal que albergan al menos un planeta del tipo Júpiter frío detectado con la técnica Doppler, y 9 al grupo de objetos que presentan discos y planetas simultáneamente. Las observaciones fueron realizadas en el CASLEO con el telescopio “Jorge Sahade” de 2,15 m y el espectrógrafo echelle de banco EBASIM durante octubre de 2008 y febrero y marzo de 2009. Todos los espectros cubrieron un rango aproximado en longitud de onda de 3830 a 5870 Å, y fueron corregidos por bias, flat y llevados a una dimensión con las tareas del paquete de programas IRAF. Para cada objeto de la muestra obtuvimos su temperatura y logaritmo de la gravedad superficial a través de la calibración de Napiwotzki et al. (1993) que requirió la fotometría Strömgren $ubv\gamma\beta$ de cada estrella. Con el programa ATLAS9 (Kurucz 1970) y asumiendo inicialmente una metalicidad solar, calculamos modelos de atmósfera acordes a los parámetros fundamentales determinados (Teff y log g). Medimos los anchos equivalentes de las líneas de absorción de interés (veáse “Selección de líneas espectrales”) que no presentaban “blends” por medio del código ARES desarrollado por Sousa et al. (2007). Finalmente, a partir del modelo de atmósfera calculado y los anchos equivalentes medidos, ejecutamos el programa WIDTH9 (Kurucz 1970) y determinamos la abundancia de Fe de cada estrella de la muestra.

2.1. Selección de líneas espectrales

Para las estrellas tempranas utilizamos un total de 52 líneas de FeI y 24 de FeII que fueron empleadas por Qiu et al. (2001) para determinar las abundancias de

diversos elementos químicos presentes en Vega, la cual se caracteriza por presentar un disco de polvo. Por otra parte, para los objetos con planetas escogimos un total de 142 líneas de FeI y 16 de FeII que fueron utilizadas por Sousa et al. (2008) para derivar la metalicidad de un total de 451 estrellas de tipo FGK.

3. Resultados

En la Figura 1 presentamos las distribuciones de metalicidad de los objetos pertenecientes a cada grupo. Tomando como referencia una metalicidad solar de cero ($[\text{Fe}/\text{H}]=0$), los valores de la mediana correspondientes a cada distribución fueron de: -0,16 dex para las estrellas con discos, 0,13 dex para las que albergan planetas del tipo Júpiter frío y 0,11 dex para las que poseen discos y planetas simultáneamente. Los resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov indican que existe una probabilidad de 0.01 % de que las distribuciones de metalicidad de las estrellas con planetas y de las estrellas con discos de polvo, representen a la misma población, mientras que para los grupos de objetos con y sin discos que poseen una compañera de masa planetaria, la probabilidad de que pertenezcan a la misma población es del 94 %. Esto concuerda con el hecho actualmente aceptado de que la gran mayoría de los planetas del tipo de Júpiter se forma en sistemas ricos en metales. No obstante, de la Figura 1, también debemos notar que la frecuencia de objetos con baja metalicidad que poseen compañeras planetarias no es nula, lo cual confirma que la formación de planetas no toma lugar únicamente en nubes protoplanetarias ricas en metales.

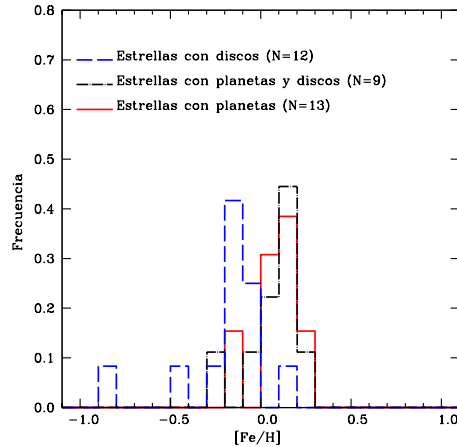


Figura 1. Comparación entre las distribuciones de metalicidad de los distintos grupos de objetos.

4. Conclusión

Los valores de mediana de los dos grupos de estrellas con planetas (con y sin discos), nos indican que se trata de muestras ricas en metales (0,13 y 0,11 dex). Para el grupo de las estrellas con discos de polvo, el valor de la mediana es de

-0,16 dex, similar a lo obtenido para las estrellas de la Vecindad Solar, lo cual señala que ésta es una muestra pobre en metales en comparación con la muestra de objetos que poseen compañeras planetarias. Estos resultados acuerdan con el escenario propuesto por Greaves et al. (2007) y por ende con el modelo de acreción de núcleos de Pollack et al. (1996). Es decir, por un lado, nuestra muestra de estrellas que albergan planetas del tipo Júpiter frío es la que presenta la metalicidad promedio más alta. Luego, aunque con una metalicidad sutilmente inferior, se encuentra la muestra de estrellas con planetas y discos análogos del Cinturón de Kuiper, y finalmente el grupo de estrellas con discos que poseen la abundancia de Fe más pequeña. En este sentido, la teoría de Pollack explica que si el disco primordial presenta un alto contenido de metales, entonces los planetesimales se fusionan rápidamente formando núcleos planetarios. Cuando estos núcleos son lo suficientemente masivos, acretan una atmósfera convirtiéndose en planetas gigantes gaseosos. Si todo este proceso toma lugar rápidamente entonces habrá suficiente gas en el disco para permitir que los planetas recién formados migren hacia las cercanías (distancias $< 0,1$ UA) de la estrella convirtiéndose en Júpiteres calientes. Así mismo, cuanto menor sea el contenido de metales, más lento será el crecimiento de planetesimales y por lo tanto transcurirá un lapso de tiempo mayor para que se formen los planetas, durante el cual una gran parte del gas presente en el disco se habrá disipado, impidiendo que los gigantes recién formados migren hasta distancias tan próximas de la estrella, transformándose entonces en Júpiteres fríos. Si la metalicidad es menor aún, el crecimiento de planetesimales se producirá tan lentamente que parte de ellos o bien todos no llegarán a formar planetas. Por último, notamos que todos los resultados enunciados se basan en muestras de objetos relativamente pequeñas, por lo cual sólo son tendencias iniciales a confirmar a partir de un mayor número de estrellas.

Referencias

- Backman, D.E. & Paresce, F., 1993, in "Protostars and Planets III", ed. Levy, Lunine, Mathews (Tucson: Univ. Arizona Press).
- Greaves, J. S., Fischer, D. A., Wyatt, M. C., Beichman, C. A. & Bryden, G., 2007, MNRAS 378, L1
- Kurucz, R. L., 1970, "ATLAS: A computer program for calculating model stellar atmospheres", SPECIAL REPORT 309, Smithsonian Astrophysical Observatory, Cambridge
- Napiwotzki, R., Schoenberner, D. & Wenske, V., 1993, A&A 268, 653
- Pollack, J. B., Hubickyj, O., Bodenheimer, P., Lissauer, J. J., Podolak, M. & Greenzweig, Y., 1996, Icarus 124, 62
- Qiu, H. M., Zhao, G., Chen, Y. Q. & Li, Z. W., 2001, ApJ 548, 953
- Sousa, S. G., Santos, N. C., Israelian, G., Mayor, M. & Monteiro, M. J. P. F. G., 2007, A&A 469, 783
- Sousa, S. G., Santos, N. C., Mayor, M., Udry, S., Casagrande, L., Israelian, G., Pepe, F., Queloz, D. & Monteiro, M. J. P. F. G., 2008, A&A 487, 373