Explorando la marca química de formación de planetas: Análisis químico del sistema binario HD 202772A/B

M. Flores[1,2], M. Jaque-Arancibia[3], J. Yana Galarza[4], J. Alacoria[1], F. Gunella[1], P. Miquelarena[1,2], G. Martín Girardi[2], D. Calvo[2] & C. Saffe[1,2]

[1] *Instituto de Ciencias Astronómicas, de la Tierra y del Espacio, CONICET–UNSJ, Argentina*
[2] *Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, UNSJ, Argentina*
[3] *Departamento de Física y Astronomía, Universidad de La Serena, Chile*
[4] *Universidade de São Paulo, Departamento de Astronomia do IAG/USP, Rua do Matão 1226, Cidade Universitária, 05508-900 São Paulo, SP, Brazil.*

Contacto / matiasflorestrivigno@conicet.gov.ar

Resumen / Los sistemas binarios son laboratorios ideales para testear diversos procesos físicos, tal como la marca química de formación de planetas. El estudio de dicho proceso requiere de una determinación precisa de las abundancias químicas. En esta primer contribución, presentamos el cálculo de los parámetros atmosféricos fundamentales (T_{eff}, $log\, g$, [Fe/H], y v_{turb}) obtenido para las estrellas HD 202772A y HD 202772B, utililizando al Sol como estrella de referencia. Este sistema es de particular interés, ya que ambas componentes son muy similares entre sí (G8V + G9V). Además, la estrella HD 202772A alberga un planeta tipo Júpiter caliente ($P_{orb} = 3.3$ d, $a = 0.05$ ua, y $M_p = 1.01\, M_{jup}$). Los parámetros atmosféricos fueron obtenidos mediante el empleo del programa Q^2, el cual realiza el cálculo imponiendo los equilibrios de ionización y excitación de las líneas del Fe I y Fe II. Los datos aquí utilizados fueron adquiridos mediante un turno propio de observación con el espectrógrafo MIKE, el cual se encuentra adosado al telescopio Clay de 6.5 m del Observatorio Las Campanas, Chile.

Abstract / Binary systems are ideal laboratories for testing several physical processes, such as the chemical signature of planet formation. The study of this process requires a precise determination of the chemical abundances. In this first contribution, we present the fundamental atmospheric parameters (T_{eff}, $log\, g$, [Fe/H], y v_{turb}) calculated for the stars HD 202772A and HD 202772B, using the Sun as reference star. This system is of particular interest, since both components are very similar to each other (G8V + G9V). In addition, the star HD 202772A hosts a hot Jupiter planet ($P_{orb} = 3.3$ d, $a = 0.05$ ua, y $M_p = 1.01\, M_{jup}$). The atmospheric parameters were obtained making use of the Q^2 program, which performs the calculations from the ionization and excitation balances of the Fe I and Fe II lines. The data used here were acquired through an own observing run with the MIKE spectrograph, which is attached to the 6.5 m Clay telescope at the Las Campanas Observatory, Chile.

Keywords / stars: abundances — planetary systems — binaries: general — stars: individual: (HD 202772A) — stars: individual: (HD 202772B)

1. Introducción

Meléndez et al. (2009, en adelante M09) sugirieron que el proceso de formación de planetas puede dar lugar a pequeñas anomalías químicas en la atmósfera estelar. Los autores encontraron que el Sol presenta una composición química peculiar cuando se lo compara con algunas estrellas gemelas solares. En particular, observaron una correlación entre las diferencias de abundancias (Sol con respecto al promedio de 11 gemelas solares) y la temperatura de condensación (T_c) de los distintos elementos. Esta tendencia ha sido vinculada a la formación de planetas tipo rocoso. En particular los autores proponen que, durante el proceso de formación, los elementos refractarios ($T_c > 900$ K) faltantes en la atmosfera solar posiblemente quedaron atrapados en el interior de los planetas terrestres, asteroides, y núcleos de planetas gigantes. Este escenario tendría un enorme alcance, ya que de ser correcto, la marca química impondría nuevas e importantes condiciones al proceso de formación de planetas, incluyendo el modelado de las atmósferas de planetas y estrellas.

Si bien los resultados de M09 han sido validados por otros autores (e.g. Ramírez et al., 2010; Schuler et al., 2011; Saffe et al., 2015; Liu et al., 2020), a la fecha siguen bajo discusión. Algunos autores sostienen que las tendencias de T_c pueden verse afectadas por otros procesos tales como la evolución química galáctica, la edad estelar, el "Dust cleansing", e incluso por la ingesta de planetas ("Planet engulfment") (e.g. Önehag et al., 2011; Adibekyan et al., 2014; Nissen, 2015; Spina et al., 2015; Gustafsson, 2018). Afortunadamente, la mayoría de estos efectos pueden disminuirse mediante el análisis de sistemas binarios con componentes similares (e.g. Teske et al., 2016; Liu et al., 2018; Maia et al., 2019; Saffe et al., 2019).

Presentación mural

Para investigar la posible marca química del proceso de formación de planetas, presentamos aquí un análisis diferencial preliminar del sistema binario HD 202772A/B (G8V + G9V).

2. Observaciones y reducción de los datos

Los datos fueron obtenidos con el espectrógrafo echelle doble MIKE (R_{blue} ~83000, R_{red} ~65000), el cual se encuentra adosado al telescopio Clay de 6.5 m del Observatorio Las Campanas, Chile.

Ambas componentes fueron observadas una a continuación de la otra con la misma configuración instrumental, al igual que el asteroide Vesta (espectro solar). Los espectros tienen una S/N ~ 400 en una región cercana a ~6340 Å, cubriendo un rango de 3330 Å a 8280 Å. Nuestros datos fueron reducidos mediante la distribución CarPy*. La normalización, corrección por velocidad radial y combinación de los espectros fueron realizadas con IRAF**, como así también la medición de los anchos equivalentes.

3. Análisis y Resultados

3.1. Determinación de los parámetros atmosféricos fundamentales

Los parámetros estelares atmosféricos (T_{eff}, $log\,g$, [Fe/H], y v_{turb}) de HD 202772A y HD 202772B fueron diferencialmente determinados usando al Sol como estrella de referencia, para el que se adoptó una T_{eff}= 5777 K, $log\,g$= 4.44, [Fe/H]=0, y v_{turb}= 1.0 km s^{-1}. Previo a la búsqueda de los equilibrios de ionización y excitación de las líneas del Fe I y Fe II, se realizó la medición manual de los anchos equivalentes de las líneas presentes en los espectros. Para llevar adelante este análisis se ha empleado el código Q^2 (Ramírez et al., 2014).

Como resultado, los parámetros de HD 202772A junto a sus incertezas son: T_{eff} = 6484 K ± 24, $log\,g$ = 4.08± 0.04, [Fe/H]= 0.203 ± 0.015, y v_{turb} = 2.12± 0.04 km s^{-1}. Mientras que para HD 202772B se obtuvo: T_{eff} = 6390 K ± 20, $log\,g$ = 4.36 ± 0.04, [Fe/H]= 0.263 ± 0.014, y v_{turb} = 1.83 ± 0.03 km s^{-1}. Se observa claramente que la condición de equilibrio espectroscópico ha sido satisfecha para ambos objetos (ver Fig. 1).

3.2. Cálculo de las edades y masas estelares

Para calcular las edades y masas de HD 202772A y HD 202772B, usamos el método de ajuste de isócronas mediante el código Q^2 que emplea los modelos de evolución estelar de Yonsei-Yale (Yi et al., 2001; Demarque et al., 2004). A diferencia del método tradicional, el cual usa solo la magnitud absoluta para calcular edades, nosotros también incluimos la gravedad superficial y los paralajes precisos de Gaia EDR3 (Gaia Collaboration et al., 2021). Las edades y masas fueron estimadas en 1.70±0.50 Gyr, 1.70±0.01 $M_\odot$ y 0.26±0.5 Gyr, 1.3±0.01 $M_\odot$ para HD 202772A y HD 202772B, respectivamente.

*https://code.obs.carnegiescience.edu/carnegie-python-distribution

**IRAF is distributed by the National Optical Astronomical Observatories, which is operated by the Association of Universities for Research in Astronomy, Inc., under a cooperative agreement with the National Science Foundation.

4. Conclusiones

De este análisis preliminar, se advierte que la estrella B es más metálica que su compañera (~ 0.06 dex), y además menos evolucionada. Este resultado está de acuerdo con las masas derivadas con Q^2, 1.70 ± 0.01 $M_\odot$ y 1.30 ± 0.01 $M_\odot$ para la componente A y B, respectivamente.

Como trabajo a futuro, se planea redeterminar los parámetros atmosféricos de la binaria, pero utilizando una de las componentes como estrella de referencia. Posteriormente se calcularán las abundancias químicas diferenciales para el resto de los elementos, incluyendo aquéllos con estructura hiperfina. De esta manera se obtendrá una mejor precisión en el cálculo de las abundancias químicas, lo que nos permitiría determinar con mayor precisión si la menor metalicidad de HD 202772A está asociada al proceso de formación de planetas, resultado que favorecería el escenario propuesto por M09.

Agradecimientos: J. A. y P. M. agradecen el apoyo brindado por CONICET mediante la asignación de becas doctorales. J.Y.G. agradece el financiamiento otorgado por CNPq (166042/2020-0).

Referencias

Adibekyan V.Z., et al., 2014, A&A, 564, L15
Demarque P., et al., 2004, ApJS, 155, 667
Gaia Collaboration, et al., 2021, A&A, 649, A1
Gustafsson B., 2018, A&A, 620, A53
Liu F., et al., 2018, A&A, 614, A138
Liu F., et al., 2020, MNRAS, 495, 3961
Maia M.T., et al., 2019, A&A, 628, A126
Meléndez J., et al., 2009, ApJL, 704, L66
Nissen P.E., 2015, A&A, 579, A52
Önehag A., et al., 2011, A&A, 528, A85
Ramírez I., et al., 2010, A&A, 521, A33
Ramírez I., et al., 2014, A&A, 572, A48
Saffe C., Flores M., Buccino A., 2015, A&A, 582, A17
Saffe C., et al., 2019, A&A, 625, A39
Schuler S.C., et al., 2011, ApJL, 737, L32
Spina L., et al., 2015, A&A, 582, L6
Teske J.K., et al., 2016, AJ, 152, 167
Yi S., et al., 2001, ApJS, 136, 417

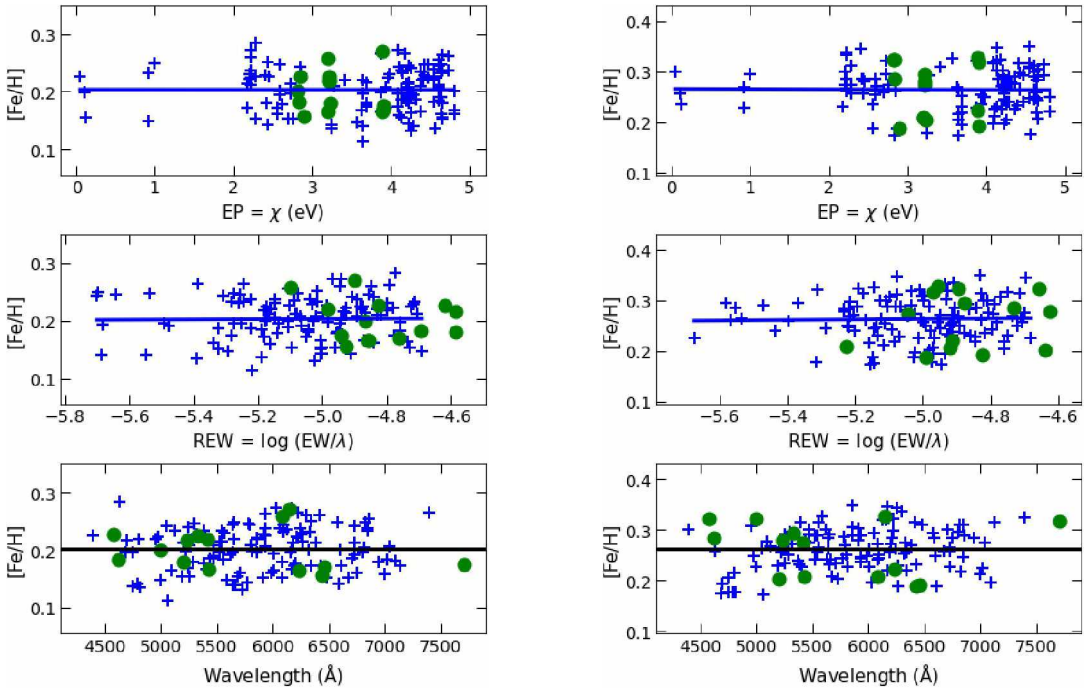

Figura 1: *(desde arriba hacia abajo)*, *panel izquierdo (derecho)*: abundancias diferenciales en función del potencial de excitación, ancho equivalente reducido, y longitud de onda para HD 202772A (HD 202772B) relativo al Sol. Las líneas del Fe I y Fe II se indican en azul y verde, respectivamente. Las líneas continuas en azul son los ajustes lineales del Fe I. La abundancia promedio del hierro de todas las líneas se muestran en el panel inferior.