

PLAN DE TRABAJO DE TESIS DE LICENCIATURA

Formación de líneas espectrales utilizadas en la búsqueda de planetas tipo Tierra

Temática General: Astrofísica estelar

Abordaje: Teórico/Computacional/Observacional

Director: Mariela Vieytes

Lugar de Trabajo: Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE, CONICET-UBA)

Contacto: mariela@iafe.uba.ar / mvieytes@untref.edu.ar

Objetivo:

Calcular modelos de atmósfera de una estrella dK con distintos niveles de actividad magnética para estudiar su impacto en la formación del espectro estelar visible.

Antecedentes y desarrollo:

Este año iniciará sus operaciones una de las búsquedas más intensivas de planetas tipo Tierra orbitando estrellas de tipo solar, el proyecto llamado "The Terra Hunting Experiment" (<https://www.terrahunting.org/>). El mismo observará cada noche durante 10 años el espectro visible de una veintena de estrellas de tipos espectrales dK y dG (nuestro Sol es una estrella dG2). El espectrógrafo de alta resolución llamado HARPS-3, será instalado en el telescopio Isaac Newton de 2.5 m, ubicado en La Palma.

Uno de los principales problemas que afronta esta búsqueda, es poder detectar cambios en la velocidad radial de las estrellas observadas del orden de 0.1 m/seg, un orden de magnitud menor que los cambios generados por planetas tipo Tierra orbitando estrellas más frías y pequeñas, las enanas rojas (dM). Para lograr este objetivo es fundamental determinar la región del espectro visible que menos se modifique frente a uno de los principales enemigos de esta alta precisión, la actividad estelar (Hall et al. 2018).

Es bien conocido que nuestro Sol presenta ciclos de actividad magnética de aproximadamente 11 años. Durante ese tiempo, su superficie se ve alterada con diferentes estructuras que dependen de la intensidad del campo, modificando el espectro solar emitido. En otras estrellas de tipo solar, el comportamiento observado es más variado: hay estrellas con comportamientos cíclicos como el Sol, otras que parecen no variar en el tiempo, y algunas que son variables pero sin un patrón claro establecido (Baliunas et al. 1995, Baum et al. 2022). En toda esta variedad, es necesario poder estimar la influencia de la actividad en el espectro estelar.

Al Moulla et al. (2022) investigaron la relación entre la temperatura de formación de un conjunto de líneas espectrales y la velocidad radial. Encontraron que esta temperatura es un indicador más consistente que la profundidad de la línea utilizada habitualmente, y que puede caracterizar el impacto de la actividad estelar sobre las escalas de tiempo típicas de un ciclo estelar como el del Sol. El método utilizado en su estudio fue el cálculo del espectro estelar usando modelos de atmósfera estelar que solo

consideran la capa más interna de la misma, y en donde se sostiene la aproximación de equilibrio termodinámico local. Sin embargo, el centro de líneas intensas utilizadas en la detección de planetas, tiene como región de formación las capas más externas de la atmósfera estelar, donde la aproximación utilizada deja de ser válida.

Vieytes et al. (2023) utilizando uno de los modelos semiempíricos más confiables de la atmósfera completa del Sol (Fontenla & Landi 2017), mostraron que hay regiones del espectro visible que son altamente sensibles a la actividad estelar, y que para disminuir su impacto en la precisión de la medición del cambio en la velocidad radial estelar, deben ser evitados. La identificación de estas líneas, puede ser realizada calculando modelos específicos para los tipos espectrales de las estrellas de la muestra a observar, por lo que es de particular interés expandir el estudio realizado.

En este plan de trabajo se propone calcular modelos semiempíricos de la atmósfera de estrellas de tipo dK con distinto nivel de actividad. A partir de estos modelos, calcular el espectro estelar visible emitido para identificar las líneas más afectadas por la actividad. Se utilizará como punto de partida el modelo de atmósfera de la estrella Epsilon Eridani (dK2) construido por Vieytes & Peralta (2021). Con los resultados obtenidos, se calculará la función de correlación cruzada entre el espectro estelar con y sin estas líneas para cuantificar las variaciones en la velocidad radial estelar introducida por la actividad.

Recursos materiales, factibilidad, y posibles oportunidades futuras:

Para realizar los cálculos se utilizará la librería de códigos Solar Stellar Radiation Physical Modeling (SSRPM, Fontenla & Landi 2017), la cual ha sido exitosamente usada en la construcción de modelos solares y de estrellas de distinto tipo espectral. Esta librería de códigos está escrita en C++, y permite la resolución de la ecuación de transporte de radiación acoplada con las ecuaciones de equilibrio estadístico de las especies atómicas y moleculares que conforman la atmósfera, asumiendo equilibrio hidrostático. En el IAFE tenemos un conjunto de máquinas para correr el SSRPM, así como la base de datos atómicos y moleculares (escrita en lenguaje SQL) a utilizar. También contamos con subsidios (PICT, PIP, UBACyT) para financiar todos los gastos asociados al plan.

Este trabajo además ofrece intercambiar ideas y colaboraciones con investigadores del exterior, las Dras. Lily Zhao y Megan Bedell del Center for Computational Astrophysics (Flatiron Institute, Nueva York). La directora propuesta de este plan realizó recientemente una estadía de investigación de 6 meses en dicho centro, lo cual abre muchas oportunidades a futuro.

Referencias:

- Al Moulla, K.; Dumusque, X.; Cretignier, M.; Zhao, Y.; Valenti, J. A., "Measuring precise radial velocities on individual spectral lines. III. Dependence of stellar activity signal on line formation temperature" 2022, *Astronomy & Astrophysics*, 664, A34
- Baliunas, S. et al. "Chromospheric Variations in Main-Sequence Stars. II" 1995, *ApJ*, 438, 269

- Baum, Anna C.; Wright, Jason T.; Luhn, Jacob K.; Isaacson, Howard 2022, "Five Decades of Chromospheric Activity in 59 Sun-like Stars and New Maunder Minimum Candidate HD 166620" *AJ*, 163, 183
- Fontenla, J; Landi, E. "Bright Network, UVA, and the Physical Modeling of Solar Spectral and Total Irradiance in Recent Solar Cycles" 2018, *The Astrophysical Journal*, 861, 120
- Hall, Richard D.; Thompson, Samantha J.; Handley, Will; Queloz, Didier 2018, "On the Feasibility of Intense Radial Velocity Surveys for Earth-Twin Discoveries", *MNRAS*, 479, 3
- Vieytes, M. & Peralta, J. "An improved model for the upper atmosphere of Epsilon Eridani" 2021, *BAAA*, 62
- Vieytes, M; Zhao, L.; Bedell, M. "The influence of chromospheric activity on line formation and RV measurements" en preparación.