

Medición de la velocidad de rotación de estrellas de alta temperatura (tipo O, B y A)

Javier Alejandro Acevedo Barroso*

Directores:

Alejandro García Ph.D

Beatriz Sabogal Ph.D

21 de febrero de 2019

Resumen

En este proyecto se medirá la velocidad de rotación de al menos una estrella de tipo espectral O, B o A comparando el FWHM de las líneas de Helio y Magnesio de la estrella con líneas de emisión simuladas a diferentes velocidades de rotación, o con una escala definida para ese tipo espectral de estrella. En este trabajo se responderá a las preguntas: ¿se puede medir la velocidad de rotación espectral de una estrella en el cielo de Bogotá con el equipamiento del observatorio de la universidad (OAU)? ¿Cómo se compara la medición (incluyendo la incertidumbre) con los valores reportados en la literatura?

1. Introducción

Durante siglos, el estudio de las estrellas ha sido esencial para la humanidad, desde el desarrollo de calendarios, hasta la medición de distancias cosmológicas. En particular, el estudio de la *velocidad de rotación* de una estrella respecto a su propio eje da información sobre su proceso de formación, su achatamiento en los polos y su edad. Por lo tanto, la medición de la velocidad de rotación de una estrella es una importante herramienta para un astrónomo profesional. Adicionalmente, al ser una técnica espectroscópica, está considerablemente menos afectada por la contaminación atmosférica de la ciudad y el mal cielo. El proyecto se realizará bajo la supervisión de los profesores Beatriz Sabogal y Alejandro García, la toma de datos, al ser en el observatorio de la universidad, será supervisada por María Batista.

*e-mail: ja.acevedo12@uniandes.edu.co

Objetivos

El objetivo principal del proyecto es medir la velocidad rotacional de al menos una estrella de tipo O, B o A, y compararla con valores de la literatura reportados recientemente. Este objetivo general está acompañado de tres de objetivos específicos: tomar espectros de estrellas tipo O,B o A usando el equipamiento del observatorio; obtener familiaridad con la técnica del cálculo de la velocidad de rotación a partir del FWHM; y obtener familiaridad con la operación del equipo del observatorio, en particular, el telescopio Meade LX200 y el espectrógrafo eShel.

Estos objetivos se plantearon teniendo en cuenta el mal cielo característico de Bogotá y las dificultades de observación predecibles para el semestre. De ser posible, se espera medir la velocidad de rotación de más de una estrella, o poder repetir la medición para la misma estrella.

2. Marco Teórico

Medición de la velocidad de rotación

La medición de la velocidad de rotación es una técnica espectroscópica que se vale del efecto Doppler para medir la velocidad de rotación proyectada.

El efecto Doppler es el cambio de frecuencia en una onda cuando hay una velocidad relativa entre la fuente y el observador. En el caso de la rotación estelar, una sección de la estrella estará alejándose de la tierra, mientras que la otra se estará acercando. Ambos efectos juntos corresponden a un ensanchamiento de las líneas de emisión de la estrella. La representación esquemática del fenómeno se puede apreciar en la figura 1.

Sin embargo, dado que el eje de rotación de la estrella usualmente no es perpendicular a nuestro eje de observación, terminaremos observando una proyección de la verdadera velocidad de rotación. Sea V la velocidad de rotación de una estrella en el ecuador. Si su eje rotación está inclinado respecto a la línea de visión de la tierra con un ángulo i , entonces la velocidad de rotación observada será:

$$v_{rot} = V \sen(i). \quad (1)$$

Esta proyección se puede apreciar mejor en la figura 2. En este trabajo al hablar de velocidad de rotación, siempre se hablará de la velocidad rotacional proyectada (v_{rot})

Por último, se considerarán dos maneras para relacionar el FWHM de las líneas medidas con la velocidad rotacional proyectada de la estrella:

- Simular las líneas de emisión de interés incluyendo diferentes posibles velocidades de rotación, al final, la velocidad reportada sería el mejor ajuste entre el modelo simulado y las líneas medidas. Las líneas simuladas deben incluir no solo el efecto Doppler de

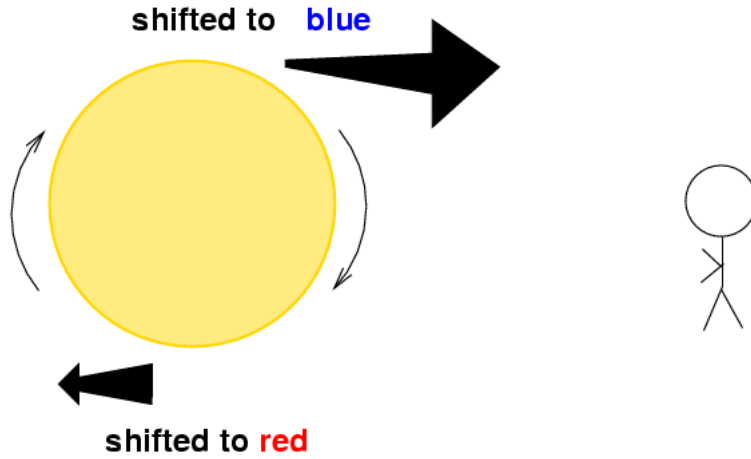


Figura 1: Efecto Doppler debido a la rotación de la estrella sobre su propio eje. Tomada de [1]

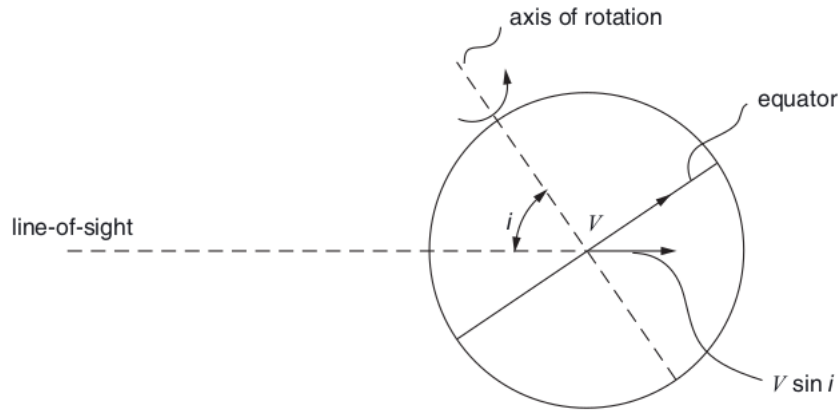


Figura 2: Proyección de la velocidad de rotación ecuatorial V debido a la inclinación entre el eje de rotación y la línea de visión de la tierra. Figura tomada de [2].

la rotación, sino también el oscurecimiento del limbo, el oscurecimiento gravitacional y el achatamiento de la estrella [3] [4]. Para la simulación de la línea se utiliza códigos y algoritmos ya diseñados[5], el código final a utilizar dependerá del tipo de espectros que se logren captar antes del inicio de la temporada de lluvia.

- El segundo método es usar una escala o catálogo que incluya el FWHM para diferentes estrellas junto a su correspondiente velocidad de rotación proyectada $v_e \sin i$ y tomar un espectro a alguna estrella de la escala similar al blanco de interés. Por ejemplo si se captura un espectro de Sirio (estrella tipo A1), se necesitaría de la escala una estrella

en una posición cercana y también de tipo A1. Dada la relativa improbabilidad de encontrar tales estrellas, este método solo se utilizará en caso de efectivamente logra captar una estrella adecuada de la escala de calibración[3].

3. Desarrollo experimental

La realización del proyecto requiere la toma de espectros de al menos una estrella objetivo, una estrella de calibración de flujo, imágenes de calibración para las correcciones de la cámara CCD, y si se puede, el espectro de una estrella de la escala. Se decidió estudiar estrellas de tipo O, B y A pues tienen líneas de Helio y Magnesio lo suficientemente fuertes para su análisis. Además que son el tipo de estrella más luminoso y hay extensiva literatura sobre sus velocidad rotacionales [4] [6] [7].

Dadas las adversas condiciones de observación que caracterizan a Bogotá¹ se decidió hacer una lista de estrellas blanco para cada bloque de 15 días. Esta lista se hizo usando el planetario virtual Stellarium, tomando las 8:00 pm como hora de observación. Adicional a la lista de estrellas objetivo se debe tener estrellas de calibración para el flujo, para esto los observatorios profesionales fijan estándares espectrofotométricos [8]. En este trabajo utilizaremos el estandar disponible más cercano a nuestra estrella objetivo, diferentes estrellas pueden tener diferentes estándares espectrofotométricos.

En principio con un espectro correctamente tomado por estrella objetivo sería suficiente para obtener la velocidad de rotación. Con el fin de ganar familiaridad con la técnica, y de obtener mejores mediciones, se tomará cuantos espectros sean posibles por estrella (en diferentes noches). Naturalmente, es necesario volver a tomar las imágenes de corrección de la cámara CCD (BIAS, FLATS y DARKS) y la estrella estandar estectrofotométrica por cada noche de observación.

Las predicciones meteorológicas señalan que hay temporada de lluvia desde mitad-finales de marzo hasta finales de mayo. Por lo anterior, se espera tomar la mayor cantidad de espectros en las semanas 5 a 8 del semestre. Sin embargo, la lista de estrellas objetivo incluye estrellas hasta la semana 14 del semestre, en caso de que se de una buena noche de observación. Los datos se tomarán entre 7 pm y 10 pm, de acuerdo al horario del observatorio.

Para la toma de datos se utilizará el telescopio del observatorio Meade LX200 de 16 pulgadas y razón focal f/10. Para la toma de los espectros se utilizará el espectrógrafo eShel. El espectrógrafo es de tipo «echelle», incluye su propia cámara CCD, una unidad de acople al telescopio y una colección pequeña de lámparas de calibración. El equipo a utilizar se puede apreciar en la figura 3

Se espera tener al menos un espectro a más tardar la semana 8 del semestre. Una vez se tenga noches de observación exitosas, se procederá al análisis de los espectros que tomará

¹Contaminación lumínica, contaminación atmosférica, poco número de noches de observación al año, entre otros.



Figura 3: Equipo a utilizar durante el proyecto. Izquierda: Espectrógrafo, unidad de acople al telescopio y lámpara de calibración. Derecha: observatorio de la universidad y el telescopio.

desde la semana 8 hasta la 12. Se empezará a escribir el documento desde la semana 10 y continuará a un ritmo estable durante hasta la entrega final. En la semana 12 se presentará el avance con la velocidad de rotación proyectada de al menos una estrella. De la semana 12 hasta la entrega final del proyecto se procesará los nuevos espectros (si se logró continuar la toma de datos durante la temporada de lluvia) y se explorará mejores modelos o alternativas para el cálculo de la velocidad. En la semana 15 se entregará el documento final y se hará la presentación del poster. La revisión bibliográfica se realizó en la semana 5 y 6, y se realizará una última revisión en la semana 14 antes de la entrega final.

4. Referencias

- [1] Michael Richmond. *Using spectra to derive motions*. URL: <http://spiff.rit.edu/classes/phys301/lectures/doppler/doppler.html> (visitado 20-02-2019).
- [2] Francis LeBlanc. *An Introduction to Stellar Astrophysics*. 1.^a ed. 2010. ISBN: 9780470699560.
- [3] A. Slettebak y col. «A system of standard stars for rotational velocity determinations». En: *ApJS* 29 (mayo de 1975), págs. 137-159. DOI: [10.1086/190338](https://doi.org/10.1086/190338).
- [4] S. Daflon y col. «The Projected Rotational Velocity Distribution of a Sample of OB stars from a Calibration Based on Synthetic He I Lines». En: *AJ* 134 (oct. de 2007), págs. 1570-1578. DOI: [10.1086/521707](https://doi.org/10.1086/521707). arXiv: [0707.3934](https://arxiv.org/abs/0707.3934).
- [5] N. Przybilla. «Non-LTE modelling of the He I 10830 Å line in early-type main sequence stars». En: *A&A* 443 (nov. de 2005), págs. 293-296. DOI: [10.1051/0004-6361:20053412](https://doi.org/10.1051/0004-6361:20053412). eprint: [astro-ph/0508068](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0508068).

- [6] H. A. Abt, H. Levato y M. Grosso. «Rotational Velocities of B Stars». En: ApJ 573 (jul. de 2002), págs. 359-365. DOI: [10.1086/340590](https://doi.org/10.1086/340590).
- [7] F. Royer, J. Zorec y A. E. Gómez. «Rotational velocity distributions of A-type stars». En: *The A-Star Puzzle*. Ed. por J. Zverko y col. Vol. 224. IAU Symposium. Dic. de 2004, págs. 109-114. DOI: [10.1017/S1743921304004442](https://doi.org/10.1017/S1743921304004442).
- [8] R. P. S. Stone. «Spectrophotometry of Flux Calibration Stars for Hubble Space Telescope». En: ApJS 107 (nov. de 1996), pág. 423. DOI: [10.1086/192369](https://doi.org/10.1086/192369).