

Análisis de los parámetros en la evolución de discos de decreción viscosa en estrellas Be para la banda espectral L.

Fredy Alexander Orjuela López
201711560

Director: Beatriz Eugenia Sabogal Martínez

Codirector: Leandro Rocha Rimulo

19 de octubre de 2018

1. Introducción

Algunos de los sistemas dinámicos astronómicos que evolucionan en el tiempo son las estrellas y las galaxias. Desde la Astrofísica se estudian las propiedades de estos sistemas de acuerdo con sus líneas espectrales, metalicidad, velocidad de rotación, entre otras características.

Existe un conjunto de estrellas conocidas como Be, observadas en primera ocasión por el padre Secchi en 1866, quien realizó observaciones de las estrellas γ Cas y β Lyr.[1]. Estas estrellas masivas, no supergigantes, variables y con pulsaciones no radiales poseen un disco delgado que se encuentra en estado gaseoso ionizado en el plano ecuatorial de la estrella [2]; son estrellas de tipo B (que han mostrado líneas de la serie de Balmer en emisión) que están en equilibrio hidrostático, con una rotación de aproximadamente el 70 % de su velocidad crítica [3] la cual, junto con efectos como el de pulsaciones no radiales [4], genera la formación de un disco de decreción viscoso delgado (DDV), compuesto por gas (en su mayoría hidrógeno) en proceso de difusión hacia el exterior, que es alimentado por la masa expulsada de la estrella central mediante un fenómeno de viscosidad [5].

Este disco puede ser estudiado mediante las líneas de emisión en el espectro infrarrojo (IR), generadas por los procesos de recombinación del disco, es en esta región del espectro donde se permite reconocer el medio circunestelar [6].

En particular, la banda L de la región del espectro IR se encuentra entre los $3.0 \mu\text{m}$ y $4.1 \mu\text{m}$, es precisamente en esta banda donde se realizan las observaciones de las estrellas Be relevantes para el estudio de los mecanismos de formación del disco [7], otros espectros ya estudiados en la banda K del IR fueron presentados en [8].

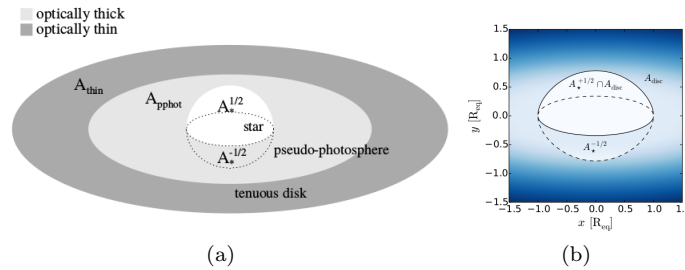


Figura 1: (a) Regiones para el disco de decreción de una estrella Be [3]. (b) Modelo de Pseudofotósfera [9].

El disco circunestelar consta de una región ópticamente gruesa y otra ópticamente delgada y no se encuentra en equilibrio termodinámico local (la absorción y emisión se hacen a diferentes tasas para diferentes capas del disco). Él puede ser modelado con una pseudo-fotósfera, la cual explica la región del continuo y del IR [3]. En los últimos años se ha venido desarrollando HDUST [10] [11], un código de transferencia radiativa que permite calcular el espectro emergente y estimar algunos observables asociados con el disco en las bandas K y N del espectro IR [7], sin embargo el estudio asociado a los espectros y parámetros de las estrellas Be en la banda L utilizando HDUST a sido la menos reportada en la literatura con base de referentes dados [6].

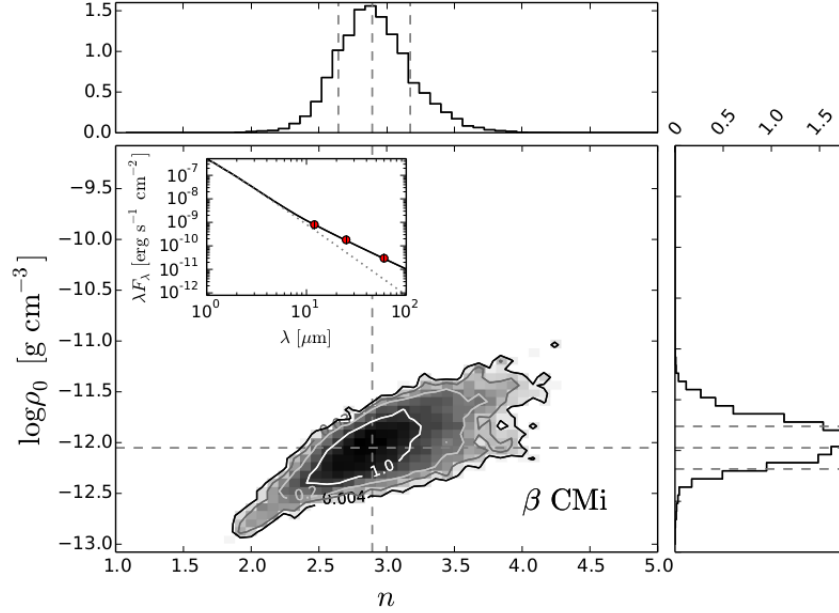


Figura 2: (a) Ejemplos de las distribuciones de probabilidad posteriores de los parámetros del disco computados con el código *emcee*. [9].

Estos observables se obtienen a partir del modelado de los datos observados en el infrarrojo, donde se construyen diferentes distribuciones de probabilidad para algunos parámetros del disco, tales como, densidad, temperatura efectiva y flujo reducido donde se hace uso de una cadena de muestras en Monte-Carlo conocido como *emcee* [12].

Emcee permite el ajuste del modelo respecto a los datos observados mediante la espectroscopía en el infrarrojo y utiliza el código HDUST para realizar una comparación entre la teoría y la observación en dicha región del espectro electromagnético, este ajuste espectral permite conocer mejor los parámetros del disco de decreción de las estrellas Be permitiendo conocer la evolución del disco [9].

2. Objetivo General

Realizar un estudio y análisis de líneas que se encuentran en emisión de los espectros en banda L de una muestra de estrellas Be que fueron tomados en el Observatorio San Pedro Mártir, ubicado en México, con el fin de encontrar parámetros que permitan modelar el disco circunestelar y determinar como son los anchos equivalentes de sus líneas de emisión. Como se reporto en la literatura, se va a ajustar el modelo respecto a los datos observados mediante la espectroscopía en la banda L donde se espera conocer los parámetros del disco de decreción de las estrellas Be y entender la evolución del mismo en esta banda de la región infrarroja del espectro.

3. Objetivos Específicos

- Revisar literatura para comprender las condiciones físicas del disco, sus parámetros y la herramienta computacional asociada al código HDUST y *emcee*.
- Reducir, extraer y corregir telúricamente los espectros reducidos de estrellas Be en banda L de la muestra.
- Calibrar los espectros en longitud de onda y flujo.
- Analizar las líneas de emisión de los espectros de la muestra y determinar los anchos equivalentes de estas líneas.
- Calcular los parámetros a partir de los espectros y ajustar estos con *emcee*.
- Utilizar HDUST para comparar la teoría y la observación en la banda L de la región del infrarrojo.
- Analizar los resultados para entender la evolución del disco en la banda L y comparar esta dinámica del disco frente a otros resultados en otras bandas del infrarrojo.

4. Metodología

Para el estudio de los espectros de las estrellas Be en la banda L y su evolución del disco de decreción se emplearán 40 semanas para la culminación de cada objetivo específico, a partir de la siguiente metodología:

Se instalará el software libre IRAF ¹ para el sistema operativo GNU/Linux en la distribución Ubuntu 16.04 LTS, su implementación permitirá la reducción, extracción, corrección y calibración de los espectros en banda L de los datos obtenidos en el observatorio de San Pedro Mártir (Baja California, México), el uso de IRAF también permite establecer las líneas de emisión y su ancho correspondiente. Se obtendrán los parámetros para el disco con los espectros ya analizados en banda L y se generarán las distribuciones de probabilidad de los parámetros del disco utilizando el código *emcee*, para facilitar el manejo del código se realizarán ejercicios computacionales disponibles en (<http://dfm.io/emcee/current/>). Obtenido el ajuste de los parámetros con *emcee*, se utilizará HDUST, en primera medida se realizarán ejercicios de adaptación, lo cual permitirá la implementación del programa para la banda espectral L y por tanto su respectiva comparación entre los espectros observados y el modelo generado.

A continuación se determinará la evolución del disco para cada estrella a partir del análisis de los parámetros de la banda espectral L y se realizará la comparación con resultados de otras bandas reportados en la literatura, para una mejor comprensión y análisis de la dinámica del disco, se realizara constante revisión de fuentes como artículos y libros. Una vez culminado los análisis, será generado un documento donde queden explícitos los métodos y resultados del presente trabajo, el cual será socializado a la comunidad académica.

5. Cronograma

En Tabla 1 se relacionan las tareas con las semanas propuestas para su ejecución.

Tarea 1. Consulta de fuentes bibliográficas.

Tarea 2. Reducción, extracción, corrección y calibración de los espectros con IRAF.

¹IRAF es un software para la reducción y análisis de datos astronómicos, desarrollado por NOAO.

Tarea 3. Análisis de las líneas de emisión y determinación de sus anchos.

Tarea 4. Adaptación, implementación y análisis de parámetros con *emcee*.

Tarea 5. Análisis de los resultados de la banda espectral L mediante HDUST y análisis de la evolución del disco circunestelar.

Tarea 6. Escritura del documento de trabajo de grado y reportes al profesor director y codirector.

Tarea 7. Preparación para la defensa de tesis.

Tareas \ Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	X	X	X	X	X	X	X	X												
3									X	X	X	X	X	X	X	X				
4	X	X	X	X	X	X	X	X									X	X	X	X
5																	X	X	X	X
6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7																				

Tareas \ Semana	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
2																				
3																				
4																				
5	X	X	X	X																
6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7																	X	X	X	X

Tabla 1: Cronograma de actividades en semanas.

6. Personas Conocedoras del Tema

- Alejandro García
Universidad de los Andes
josegarc@uniandes.edu.co
- Anahi Granada
Universidad Nacional de La Plata
granada@fcaglp.unlp.edu.ar
- Lydia Cidale
Universidad Nacional de La Plata
lydia@fcaglp.unlp.edu.ar
- Ronald Mennickent
Universidad de Concepción Chile
rmennick@astro-udec.cl

Referencias

- [1] John M Porter and Thomas Rivinius. Classical be stars. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 115(812):1153, 2003.
- [2] GW Collins, A Slettebak, and TP Snow. Physics of be stars. In *IAU Colloq*, volume 92, 1987.
- [3] Rodrigo G Vieira, Alex C Carciofi, and Jon E Bjorkman. The pseudo-photosphere model for the continuum emission of gaseous discs. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 454(2):2107–2119, 2015.
- [4] John R Percy. Non-radial pulsation in be stars. *Highlights of Astronomy*, 7:265–272, 1986.
- [5] Umin Lee, Yoji Osaki, and Hideyuki Saio. Viscous excretion discs around be stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 250:432–437, 1991.
- [6] RE Mennickent, B Sabogal, A Granada, and L Cidale. L-band spectra of 13 outbursting be stars. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 121(876):125, 2009.
- [7] Anahi Granada, María Laura Arias, and Lydia Sonia Cidale. Simultaneous k-and l-band spectroscopy of be stars: Circumstellar envelope properties from hydrogen emission lines. *The Astronomical Journal*, 139(5):1983, 2010.
- [8] JS Clark and IA Steele. A representative sample of be stars-ii. k band spectroscopy. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 141(1):65–77, 2000.
- [9] Rodrigo G Vieira, Alex C Carciofi, Jon E Bjorkman, Th Rivinius, Dietrich Baade, and Leandro R Rímulo. The life cycles of be viscous decretion discs: time-dependent modelling of infrared continuum observations. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 464(3):3071–3089, 2016.
- [10] Alex C Carciofi and Jon E Bjorkman. Non-lte monte carlo radiative transfer. i. the thermal properties of keplerian disks around classical be stars. *The Astrophysical Journal*, 639(2):1081, 2006.
- [11] Alex Cavaliéri Carciofi and Jon E Bjorkman. Non-lte monte carlo radiative transfer. ii. nonisothermal solutions for viscous keplerian disks. *The Astrophysical Journal*, 684(2):1374, 2008.
- [12] Jonathan Goodman and Jonathan Weare. Ensemble samplers with affine invariance. *Communications in applied mathematics and computational science*, 5(1):65–80, 2010.

Fredy A. Orjuela L.
Estudiante

Beatriz E. Sabogal, PhD.
Vo. Bo. Directora

Leandro R. Rimulo, PhD.
Vo. Bo. Codirector