

Medio interestelar

Pedro Villegas — pedrovillegas@gmail.com

Sistemas Estelares (2022) – Práctica 07
Facultad de Cs. Astronómicas y Geofísicas – UNLP
Profesoras: Claudia Scóccola, Sergio Cellone, Lilia Bassino
JTP: Gabriel Ferrero
AD: Lucía Rizzo
AA: Natalia Guevara

Última modificación: 14 de noviembre de 2022

Ejercicios:

Ejercicio 1.

- a) Descargue del Classroom el archivo `polarizacion.dat` que contiene los datos de polarización en la banda R de un conjunto de estrellas en el campo del *blazar* 1ES 1959+650 ¹ ([ver Sosa et al. 2017 \[S17\]](#)).
- b) Usando las ecuaciones (1), (2) y (3) de S17, calcule la polarización (P) y el ángulo de polarización observado (θ_{obs}).

Tome en cuenta que es necesario corregir los índices de Stokes observados (Q_{obs} y U_{obs}) por la polarización instrumental (Q_{ins} y U_{ins}), de acuerdo a las relaciones

$$Q = Q_{\text{obs}} - Q_{\text{ins}} \quad \text{y} \quad U = U_{\text{obs}} - U_{\text{ins}}$$

donde $Q_{\text{ins}} = 0.029\%$ y $U_{\text{ins}} = 0.015\%$.

Lleve los ángulos de polarización observados al sistema estándar, aplicando la corrección

$$\theta_s = \theta_{\text{obs}} + \Delta\theta,$$

donde $\Delta\theta = 175.1^\circ$.

- c) Represente los resultados graficando las direcciones e intensidades de P sobre la imagen del campo tomada con el polarímetro (archivo `vonC_0053_PRO.fits`).
- d) Identifique las estrellas cuya polarización parece debida al medio interestelar. Con esas estrellas, calcule la polarización promedio $\langle P \rangle$ y el ángulo de polarización promedio en el sistema estándar $\langle \theta_s \rangle$ del medio interestelar en esa dirección.

Respuesta 1.

Utilizando los datos de polarización en la banda R de las estrellas del campo del *blazar* 1ES 1959+650 del archivo `polarizacion.dat`, procedemos a calcular la polarización P y el ángulo de polarización observado θ_{obs} de estos cuerpos. Para ello, utilizamos las ecuaciones presentes en [S17], [Sosa et al. 2017](#) para los parámetros de Stokes:

$$Q = \frac{R_Q - 1}{R_Q + 1}, \quad U = \frac{R_U - 1}{R_U + 1} \quad (1)$$

donde R_Q y R_U están dados por:

$$R_Q^2 = \frac{I_0^O/I_0^E}{I_{45}^O/I_{45}^E}, \quad R_U^2 = \frac{I_{22.5}^O/I_{22.5}^E}{I_{67.5}^O/I_{67.5}^E} \quad (2)$$

Aquí, las I corresponden al flujo observado en los rayos ordinario y extraordinario de polarización (superíndices O y E), donde las láminas de media onda del polarímetro subtienden el ángulo determinado por el subíndice. Si consideramos la polarización instrumental, hemos de corregir la polarización observada según:

$$Q_{\text{corr}} = Q_{\text{obs}} - Q_{\text{ins}} = Q_{\text{obs}} - 0.029\% \\ U_{\text{corr}} = U_{\text{obs}} - U_{\text{ins}} = U_{\text{obs}} - 0.015\%$$

Estrella	Polarización	θ_s
01	7.06 %	135.58°
02	2.14 %	120.55°
03	0.64 %	88.77°
04	0.76 %	98.63°
05	0.93 %	115.12°
06	0.81 %	95.23°
07	1.00 %	107.59°
08	0.95 %	151.65°
09	1.59 %	134.28°
10	2.77 %	121.59°
11	2.41 %	131.02°
12	1.15 %	226.20°

Tabla 1: Polarización y ángulo de polarización obtenidos para las estrellas del campo del blazar 1ES 1959+650.

Para luego poder calcular la polarización y el ángulo de polarización correctamente:

$$P = \sqrt{Q_{\text{corr}}^2 + U_{\text{corr}}^2} \quad \theta_{\text{obs}} = \frac{1}{2} \arctan \left(\frac{U_{\text{corr}}}{Q_{\text{corr}}} \right) \quad (3)$$

Donde además se precisa llevar el ángulo de polarización al sistema estándar según la ecuación $\theta_s = \theta_{\text{obs}} + \Delta\theta = \theta_{\text{obs}} + 171.5^\circ$. Los resultados para las 12 estrellas del campo fueron los presentes en la tabla 1. En la figura 1 podemos observar los valores ya tabulados superpuestos sobre la imagen del campo, con la respectiva numeración de las estrellas. Notemos que, entre los objetos identificados, hay dos que presentan una polarización muy diferente a la de los demás objetos del campo: se trata de los objetos 1 y 12. En el caso del objeto 1, el alto nivel de polarización nos está indicando que el origen de esta radiación es no térmico: se trata del blazar 1ES 1959+650 en cuestión. El objeto 12 podría tratarse de una estrella que esté sufriendo una polarización debida a otro agente, como podría ser una nebulosa planetaria. Si descartamos estos valores anómalos, podemos decir que la polarización y el ángulo de polarización medios en esta región debidos al medio interestelar estarán dados por:

$$\langle P \rangle = 1.40 \pm 0.77 \% \quad \langle \theta_s \rangle = 116.45 \pm 19.5^\circ \quad (4)$$

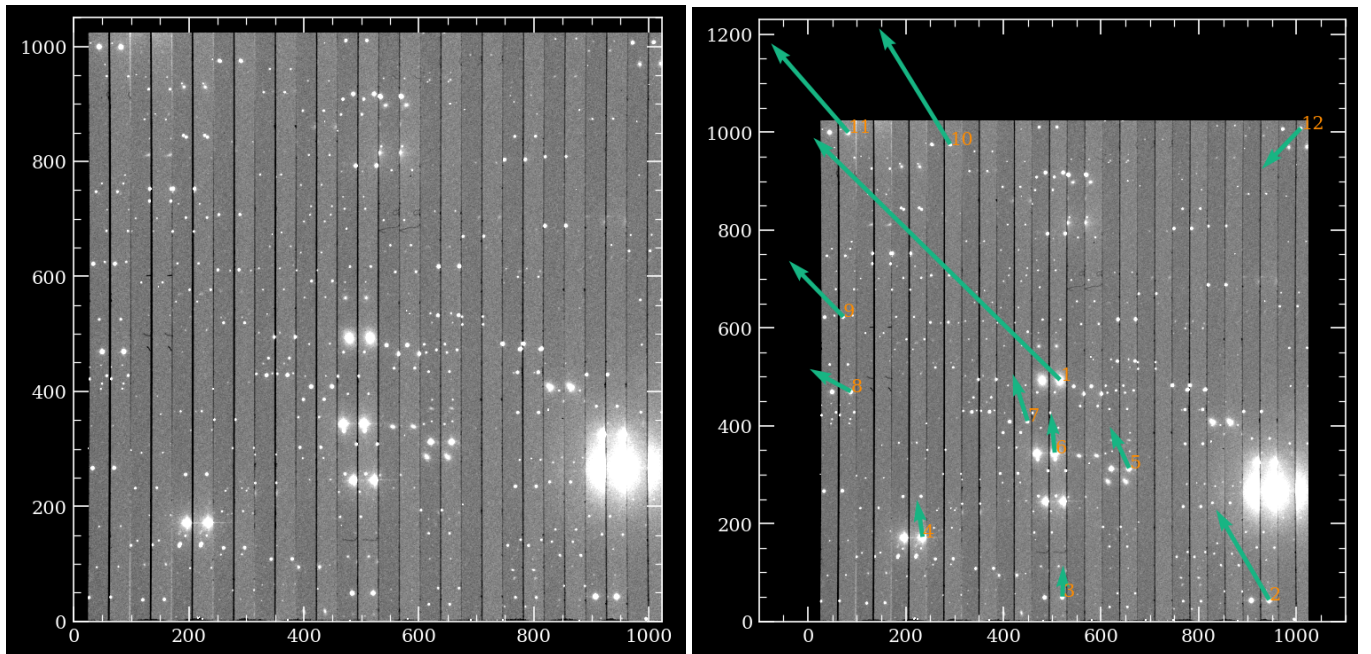


Figura 1: Campo del blazar 1ES 1959+650 observado con un polarímetro, a la derecha superpuesto con los vectores de polarización de las estrellas identificadas.

□

¹Datos obtenidos con el polarímetro CAFOS (Calar Alto Faint Spectrograph) en el telescopio de 2.2 m del Observatorio de Calar Alto en la noche del 29 de Julio de 2011.

Ejercicio 2.

En el archivo NGC6250_po1.dat se encuentran las medidas de polarización en las bandas fotométricas UBVRI de cuatro estrellas del cúmulo abierto NGC 6250. Verifique si es posible ajustar la ley de Serkowski a dichas medidas. Cuando sea posible, obtenga los valores de la polarización máxima y su correspondiente longitud de onda, para cada caso. ¿Qué puede decir acerca del origen de la polarización medida?

En la ley de Serkowski, adopte un valor de $k = 1.15$ (típico para el medio interestelar en nuestra galaxia).

Respuesta 2.

Utilizando los datos del archivo NGC6250_po1.dat, hemos realizado una gráfica de las polarizaciones de 5 estrellas del cúmulo abierto NGC 6250 en las bandas fotométricas UBVRI, como podemos observar en la figura 2. Hemos considerado también la ley de Serkowski, dada por la ecuación:

$$P(\lambda) = P_{\max} \exp \left[-K \ln^2 \left(\frac{\lambda_{\max}}{\lambda} \right) \right] \quad (5)$$

Que describe cómo varía la polarización producida por el polvo interestelar en función de la longitud de onda λ . En ella, P_{\max} representa la máxima polarización, λ_{\max} es la longitud de onda de máxima polarización y consideramos $K = 1.15$. En líneas generales, sabemos que si los datos observacionales de la polarización de una estrella son acordes a un ajuste de esta función, es porque a priori la polarización que recibimos en su luz es proveniente del polvo del MIE.

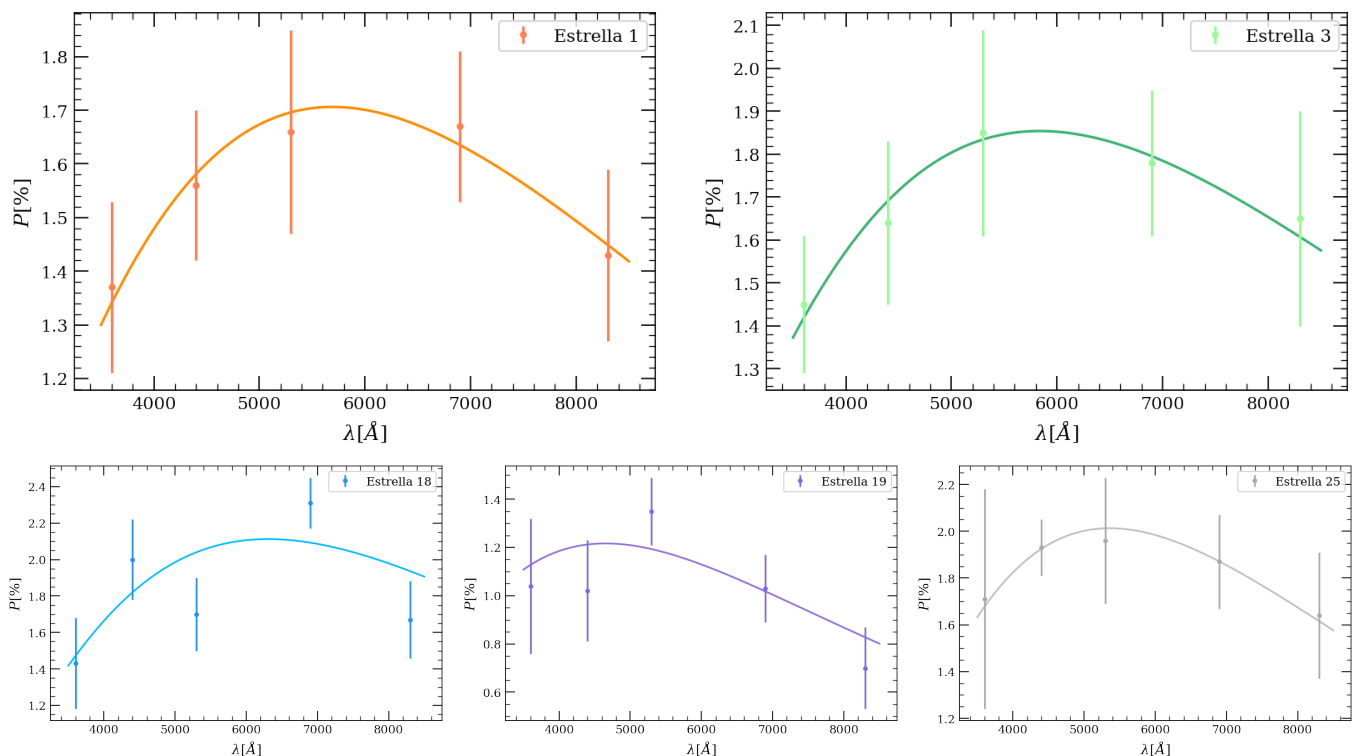


Figura 2: Polarizaciones en porcentaje de 5 estrellas del cúmulo abierto NGC 6250 en las bandas fotométricas UBVRI. En cada gráfico también podemos observar el correspondiente ajuste obtenido a la curva de polarización mediante la Ley de Serkowski.

Si observamos las curvas de la figura 2, podemos notar que los ajustes realizados para las estrellas 1, 3 y 25 son bastante acordes a las polarizaciones obtenidas en los filtros, mientras que para las estrellas 18 y 19 el ajuste obtenido podría percibirse como un modelado bastante pobre para estos datos. Observando más en detalle estos dos casos, vemos que las polarizaciones observadas de estas estrellas difícilmente sean ajustables por este tipo de curvas, por lo que podemos decir que estas dos estrellas se encontrarían polarizadas por otros agentes distintos del medio interestelar. Para los otros tres casos, un modelado de polarización producida exclusivamente por el MIE es bastante bueno, y obtuvimos como parámetros:

- $P_{\max} = 1.70 \pm 0.02 \%$, $\lambda_{\max} = 5692.5 \pm 0.02 \text{ Å}$ para la estrella 1,
- $P_{\max} = 1.85 \pm 0.02 \%$, $\lambda_{\max} = 5835.6 \pm 0.02 \text{ Å}$ para la estrella 3,
- $P_{\max} = 2.01 \pm 0.01 \%$, $\lambda_{\max} = 5361.1 \pm 0.01 \text{ Å}$ para la estrella 25.

Ejercicio 3.

En los alrededores del Sol, el gas interestelar difuso tiene una densidad del orden de $1 \text{ molécula cm}^{-3}$. Calcule hasta qué volumen sería necesario comprimir un cubo de gas interestelar de 30 km de lado para llevarlo a la densidad normal de la atmósfera terrestre (6.02×10^{23} moléculas en 22.4 litros). Comparar ambas densidades entre sí y con la del mejor vacío que se puede obtener con bombas de vacío (10^5 a 10^7 cm^{-3}).

Respuesta 3.

Si en los alrededores del Sol el gas interestelar difuso tiene una densidad de $1 \text{ molécula cm}^{-3}$, un cubo de gas interestelar de 30km de lado tendrá:

$$N = 1 \text{ molécula cm}^{-3} \times (30 \text{ km})^3 \frac{100000 \text{ cm}^3}{\text{km}^3} = 2.7 \times 10^9 \text{ moléculas.}$$

Luego, si consideramos que la densidad normal de la atmósfera terrestre es de 6.02×10^{23} moléculas en 22.4 litros, lo que equivale a $2.6875 \times 10^{19} \text{ moléculas cm}^{-3}$, tendremos que para que un cubo de gas interestelar de 30km de lado tenga la densidad atmosférica terrestre necesitaríamos un volumen:

$$V_1 = \frac{2.7 \times 10^9 \text{ moléculas}}{2.6875 \times 10^{19} \text{ moléculas cm}^{-3}} = 1.0046 \text{ cm}^3$$

por lo que al volumen original habría que comprimirlo:

$$\frac{V_0}{V_1} = \frac{2.7 \times 10^9 \text{ cm}^3}{1.0046 \text{ cm}^3} = 2.6876 \times 10^9 \text{ veces.}$$

Es decir que este volumen equivale a un $3.7 \times 10^{-8} \%$ del volumen original. En comparación al mejor vacío que podemos obtener mediante bombas de vacío, la densidad del medio interestelar es mucho menor, estamos hablando de entre 5 y 7 órdenes de magnitud de diferencia. □