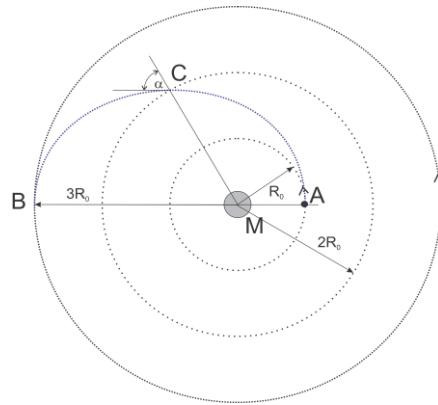


Prueba Teórica Grupal

1) Transferencia y control orbital:

Un satélite artificial se encuentra en una órbita circular de radio R_0 alrededor de un planeta de masa M como se muestra en la figura. Aplicando un impulso, en la misma dirección que el movimiento en el punto A, se desea trasladar un satélite al punto B, situado a $3R_0$ de distancia de M , de tal forma que este punto sea el apotro de la órbita elíptica de transferencia. Para saber si la maniobra se realiza correctamente, los ingenieros toman como referencia el valor del ángulo α entre el vector velocidad y la dirección radial en un punto intermedio C, que se encuentra a una distancia $2R_0$ de M . De acuerdo con la situación descrita, responde:



- ¿Cuál es el valor del ángulo α si la maniobra se hace correctamente?
- ¿Cuánto tiempo le tomará al satélite seguir el camino descrito de A a B? Exprese el resultado en términos de M y R_0 la constante gravitacional G .

2) Climatología espacial:

Eyecciones de masa coronal, CME, por sus siglas en inglés: *Coronal Mass Ejection*; son grandes erupciones de gas ionizado de alta temperatura de la corona solar. El gas expulsado forma parte del viento solar y, cuando alcanza el campo magnético terrestre, puede provocar tormentas, dañando las comunicaciones y las centrales eléctricas. Cuando una eyección se dirige directamente hacia la Tierra, la onda de choque de las partículas solares energéticas provoca una tormenta geomagnética que interrumpe la magnetosfera de la Tierra, comprimiendo sus líneas de campo en el lado hacia el sol y expandiéndose en el otro lado, produciendo una cola magnética. Cuando la magnetosfera se vuelve a conectar en su región expandida, libera energía en la escala de teravatios, que se dirige directamente a las capas superiores de la atmósfera. Las partículas energéticas solares también provocan auroras polares en regiones cercanas a los polos magnéticos de la Tierra. Las tormentas geomagnéticas pueden interrumpir las transmisiones de radio y pueden dañar los satélites y las centrales eléctricas, lo que posiblemente provoque apagones.

En 2004, un equipo de astrónomos norteamericanos observó la relación entre la amplitud de la perturbación P , en nanotesla [nT], producida por la CME, y la magnitud de la componente del campo magnético terrestre B_z , en nanotesla [nT], perpendicular al plano del Sistema Solar en el momento de la tormenta. Los autores expresaron esta relación utilizando la siguiente fórmula (Yurchyshyn *et al*, 2004):

$$(1) \quad P = -2,846 + 6,54.B_z - 0,118.B_z^2 - 0,002.B_z^3$$

También en 2004, un equipo de astrónomos brasileños determinó una relación entre la velocidad de propagación de la CME, V en km/s, y la magnitud de la perturbación P , nuevamente en nano Tesla [nT]:

$$(2) \quad P = 0,00052 \cdot (0,22 \cdot V + 340)^2$$

Al año siguiente (2005), un equipo de astrónomos norteamericanos, estudiando nuevos datos sobre las CME, encontró una relación entre la velocidad de propagación V , en km/s y el tiempo T , en días que tarda la tormenta en recorrer la Tierra. -Distancia al sol:

$$(3) \quad T = -0,0042 \cdot V + 5,14$$

Los mismos autores también encontraron una relación entre la velocidad de propagación V , en km/s, de la CME y el campo magnético terrestre máximo B_{max} , en nanotesla [nT]:

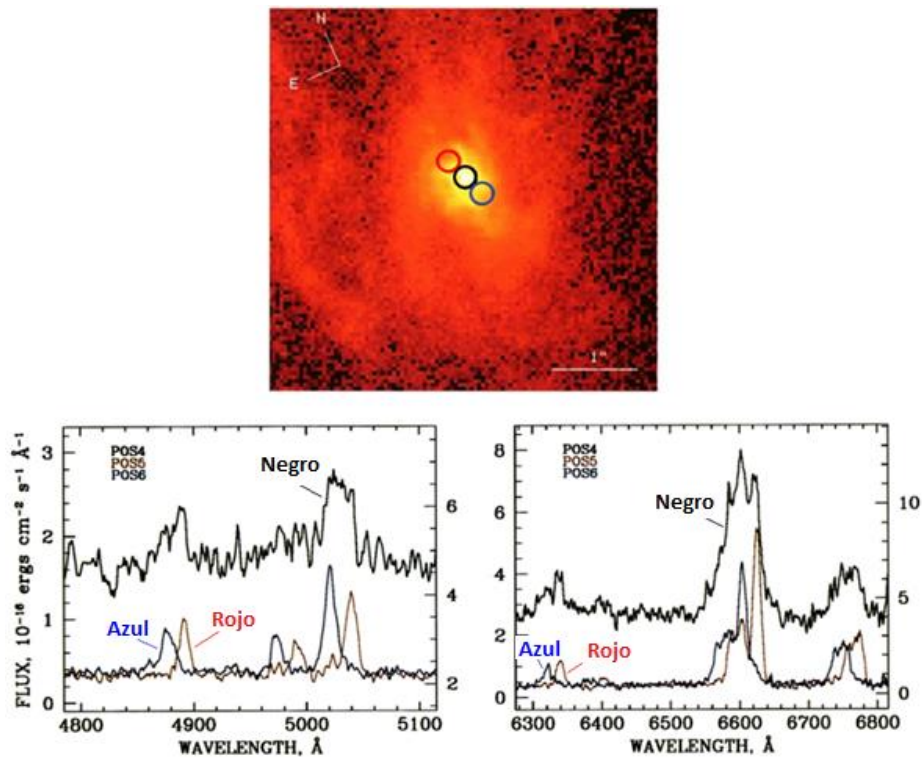
$$(4) \quad B_{max} = 0,047V + 0,644$$

- Encuentre la ecuación cuadrática que da la magnitud de la perturbación P en función de T
- Asumiendo la relación $B_z = B_{max}/\sqrt{2}$, encuentre P en función la velocidad V de la CME.
- Sabiendo que la velocidad de la Eyección de Masa Coronal varía entre 300 y 800 km/s, ¿cuál es el tiempo máximo que tenemos para dar un aviso de tormenta solar en el mejor y en el peor de los casos?

La tormenta solar de 1859, también conocida como el evento Carrington, tras la primera observación realizada por el astrónomo inglés Richard Carrington, es considerada la tormenta solar más poderosa registrada en la historia. En el año 1859, hubo una eyección masiva de masa coronal. A partir del 28 de agosto de ese año se observaron las auroras boreales llegando al norte de Colombia. En su máxima intensidad, los sistemas de telégrafo de Europa y América del Norte fallaron y produjeron cortocircuitos que provocaron numerosos incendios. En un trabajo realizado en 2006, físicos norteamericanos reanalizaron información histórica del evento, llegando a la conclusión de que la amplitud de la perturbación alcanzó $P = 850$ nT .

- Usando los resultados de los ítems anteriores, estime el tiempo T que la CME de 1859 tomó para cubrir la distancia Tierra-Sol.
- Estime la velocidad de eyección de CME de 1859.

3) Agujero negro supermasivo en M87:



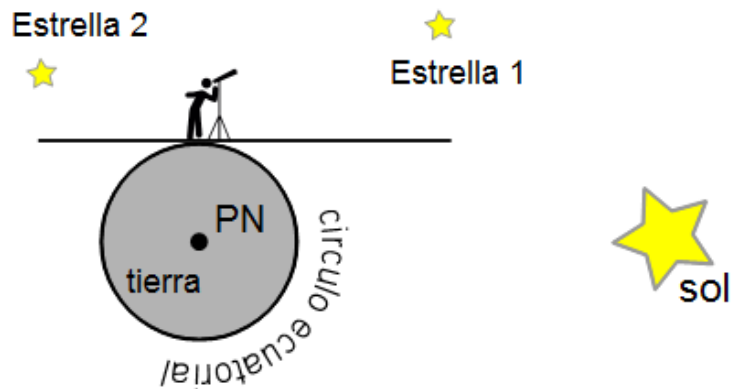
Uno de los ejemplos clásicos de un agujero negro supermasivo es el que se encuentra en el núcleo de la galaxia M87 en el cúmulo de Virgo. En 1994, un equipo de astrónomos estadounidenses presentó evidencia de un disco de acreción alrededor de este agujero negro. La imagen de arriba muestra observaciones fotométricas y espectroscópicas de la región central de M87 tomada con el Telescopio Espacial Hubble. Los círculos negros, rojos y azules en la imagen indican diferentes regiones, respectivamente denominadas *POS4*, *POS5* y *POS6*, para las cuales se tomaron los espectros.

A continuación, los autores nos muestran los espectros de cada región utilizando los mismos colores. Como puede ver, hay una compensación entre las líneas de emisión de *POS5* y *POS6*. Este desplazamiento se interpreta como la rotación del disco de acreción cerca de M87, siendo *POS6* la parte del disco que se mueve hacia el observador y *POS5* la parte que se aleja de él.

- ¿Por qué los autores afirman esto? ¿Cómo podemos saber el sentido de giro?
- Considerando que M87 está a 16 Mpc de la Tierra, estime, respetando la escala de la imagen, la distancia angular, en Mpc, entre las regiones *POS5* y *POS6*.
- A partir de los espectros, calcule la diferencia de longitud de onda entre las líneas espectrales de *POS5* y *POS6*. Justifica tu respuesta.
- Calcule la velocidad de rotación del disco de acreción. Suponga que ambas posiciones, *POS5* y *POS6*, tienen la misma velocidad, pero en direcciones opuestas, con respecto al centro *POS4* considerado en reposo.
- Suponiendo que el movimiento es circular y uniforme, calcule la masa del objeto central en *POS5* y *POS6*. Expresé el resultado en kg y en masas solares.
- Si admitimos la posibilidad de que el disco esté inclinado con respecto a la línea de visión, por ejemplo 35° , ¿estamos perdiendo por más o menos la masa estimada en el ítem anterior?
- Si consideramos que el objeto central está formado por estrellas similares al Sol, ¿con qué magnitud aparente debería observarse esta región?

4) Medida de la masa del Sol a través del Efecto Doppler:

Supongamos que un observador está sobre el ecuador de la Tierra y tiene instalado un telescopio con un espectrógrafo. Este observador luego mide las líneas espectrales de varias estrellas a diferentes alturas, inmediatamente después de la puesta del Sol, y encuentra diferentes desplazamientos Doppler en función de las alturas de las estrellas. Tenga en cuenta que se observan desplazamientos al rojo en estrellas cercanas al horizonte occidental, mientras que se observan desplazamientos al azul en estrellas cercanas al horizonte oriental.



- ¿Qué explica las diferentes desviaciones cuando se mira en diferentes direcciones?
- Qué movimientos del observador generan desplazamientos Doppler ¿observado?
- Indique el sentido y la dirección de estos movimientos en la figura del lado, en la posición del observador.

Considere las medidas de dos estrellas con diferentes azimuts y alturas tomadas en la línea $H\alpha$, con una longitud de onda en reposo igual a $\lambda_0 = 656,3 \text{ nm}$. Adopte la convención de azimut de *NESO*.

Estrella	Azimut	Altura	Desplazamiento $\Delta\lambda$ (nm)
1	270°	$35^\circ 10'$	+ 0,038 40
2	90°	$55^\circ 07'$	+ 0,052 91

- Escriba las fórmulas para el desplazamiento Doppler de ambas estrellas usando la altura de la estrella y considerando las velocidades de rotación y traslación de la Tierra como incógnitas en la ubicación del telescopio.
- Resuelva el sistema y encuentre las velocidades de rotación y traslación de la Tierra.
- Calcula, a partir de las velocidades del punto anterior, el radio de la Tierra y la distancia al Sol. Utilice el día y el año sidéreos como medida de períodos para ambos movimientos. Expresé el resultado en km.
- Calcular la masa del Sol a partir de la distancia y la velocidad de la Tierra.