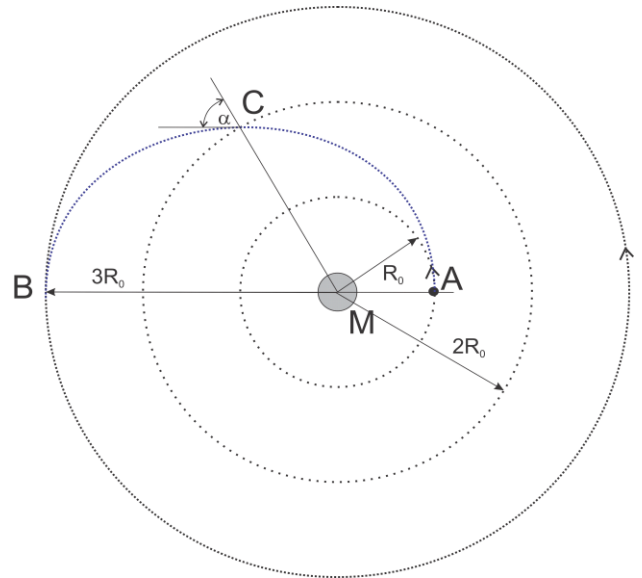


Prova Teórica em Grupo

1) Transferência orbital e controle:

Um satélite artificial encontra-se em uma órbita circular de raio R_0 ao redor de um planeta de massa M como mostra a figura ao lado. Mediante a aplicação de um impulso, na mesma direção do movimento no ponto A, deseja-se transferir um satélite ao ponto B, localizado a $3R_0$ de distância de M , de maneira tal que este ponto seja o apoastro da órbita elíptica de transferência. Para saber se a manobra é corretamente realizada, os engenheiros tomam como referência o valor do ângulo α entre o vetor velocidade e a direção radial em um ponto intermediário C, que se encontra à distância $2R_0$. A partir da situação descrita, responda:



- Qual o valor do ângulo α caso a manobra se faça corretamente?
- Quanto tempo que levará o satélite para percorrer a trajetória descrita de A até B? Expresse o resultado em função de M , R_0 e da constante de gravitacional G .

2) Climatologia Espacial:

Ejeções de massa coronal, CME, da sigla em inglês: *Coronal Mass Ejection*; são grandes erupções de gás ionizado a altas temperaturas, provenientes da coroa solar. O gás expelido constitui parte do vento solar e, quando atinge o campo magnético terrestre, pode causar tempestades, prejudicando os meios de comunicações e estações elétricas. Quando uma ejeção dirige diretamente para a Terra, a onda de choque das partículas energéticas solares causa uma tempestade geomagnética que perturba a magnetosfera terrestre, comprimindo suas linhas de campo no lado voltado para o Sol e expandindo do outro lado, produzindo uma cauda magnética. Quando a magnetosfera se reconecta em sua região expandida, libera energia na escala de terawatts, que é direcionada diretamente para as camadas mais altas da atmosfera. As partículas energéticas solares também provocam auroras polares nas regiões próximas aos polos magnéticos terrestres. As tempestades geomagnéticas podem interromper as transmissões de rádio e podem causar danos em satélites e centrais elétricas, possivelmente resultando em blecautes.

Em 2004, uma equipe de astrônomos norte-americanos observou a relação entre a amplitude da perturbação P , em nanotesla [nT], produzida pela CME, e a magnitude da componente do campo magnético da Terra B_z , em nanotesla [nT], perpendicular ao plano do Sistema Solar no momento da tempestade. Os autores expressaram essa relação mediante a seguinte fórmula (Yurchyshyn et al, 2004):

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

Também em 2004, uma equipe de astrônomos brasileiros, determinou uma relação entre a velocidade de propagação da CME, V , em km/s, e a magnitude da perturbação P , novamente em nano Tesla [nT]:

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

No ano seguinte (2005), uma equipe de astrônomos norte-americanos, estudando novos dados sobre as CME's, encontrou uma relação entre a velocidade de propagação V , em km/s, e o tempo T , em dias, que a tempestade leva para percorrer a distância Terra-Sol:

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

Os mesmos autores encontraram também uma relação entre a velocidade de propagação V , em km/s, da CME e o campo magnético terrestre máximo $B_{máx}$, em nanotesla [nT]:

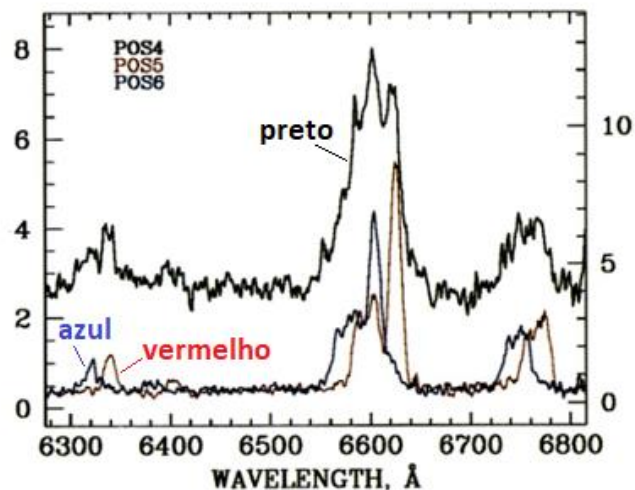
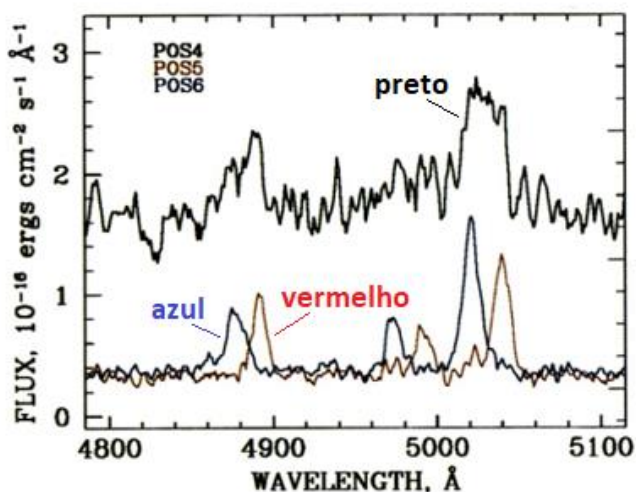
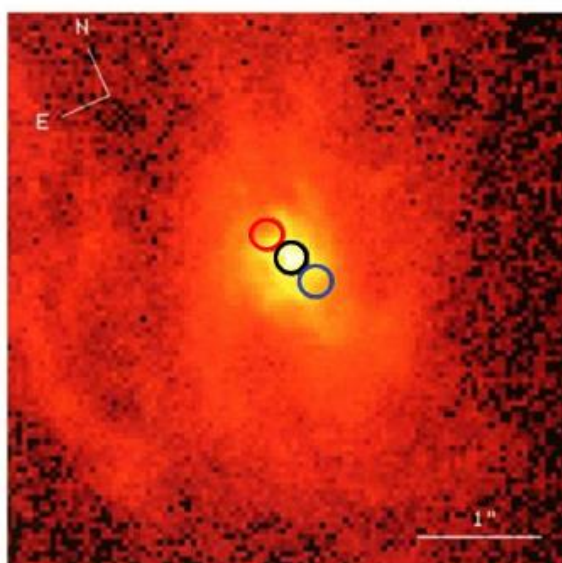
$$(4) \quad B_{máx} = 0,047V + 0,644$$

- Encontre a equação quadrática que forneça o valor da amplitude da perturbação P em função do tempo T .
- Assumindo a relação $B_z = B_{\max}/\sqrt{2}$, encontre P em função da velocidade V da CME.
- Sabendo que a velocidade da Ejeção Coronal de Massa varia entre 300 e 800 km/s, qual o tempo máximo que dispomos para se dar um alerta de tempestade solar no melhor e pior caso?

A tempestade solar de 1859, conhecida também como Evento Carrington, por conta da primeira observação realizada pelo astrônomo inglês Richard Carrington, é considerada a tempestade solar mais potente registrada na história. No ano de 1859, houve uma grande Ejeção Coronal de Massa. A partir do dia 28 de agosto daquele ano, observaram-se auroras boreais que chegavam até o Norte da Colômbia. No pico de intensidade, falharam os sistemas telegráficos em toda Europa e América do Norte produzindo curtos circuitos que provocaram numerosos incêndios. Em um trabalho realizado em 2006, físicos norte-americanos reanalisaram informações históricas do evento, chegando à conclusão que a amplitude da perturbação atingiu $P = 850$ nT.

- Utilizando os resultados dos itens anteriores, estime o tempo T que a CME de 1859 levou para percorrer a distância Terra-Sol.
- Estime a velocidade de ejeção da CME de 1859.

3) Buraco Negro Supermassivo em M87:



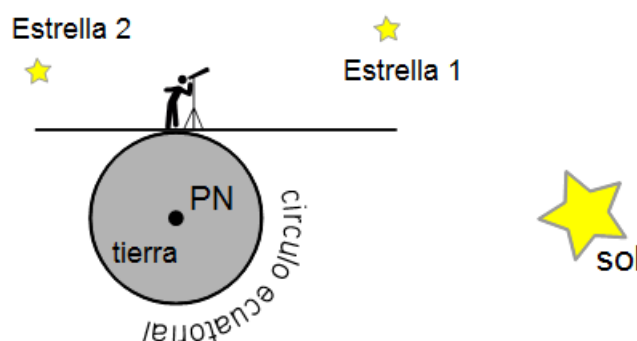
Um dos exemplos clássicos de um buraco negro supermassivo é o que encontramos no núcleo da galáxia M87 no aglomerado de Virgem. Em 1994, uma equipe de astrônomos norte-americanos apresentou a evidência de um disco de acreção ao redor desse buraco negro. A imagem acima mostra observações fotométricas e espectroscópicas da

região central de M87 feitas com o telescópio espacial Hubble. O círculo preto, vermelho e azul, na imagem, indicam diferentes regiões, respectivamente denominadas por *POS4*, *POS5* e *POS6*, para as quais se tomaram espectros. Abaixo, os autores nos mostram os espectros de cada região utilizando as mesmas cores. Como se pode ver, existe um deslocamento entre as linhas de emissão de *POS5* e *POS6*. Este deslocamento é interpretado como a rotação do disco de acreção próximo a M87, sendo *POS6* a parte do disco que se move na direção do observador e *POS5* a parte que se afasta.

- Por que razão os autores afirmam isso? Como podemos saber o sentido de rotação?
- Considerando que M87 está a 16 Mpc de distância da Terra, estime, respeitando a escala da imagem, a distância angular, em Mpc, entre as regiões *POS5* e *POS6*.
- A partir dos espectros, estime a diferença, em comprimento de onda, entre as linhas espectrais de *POS5* e *POS6*. Justifique sua resposta.
- Calcule a velocidade de rotação do disco de acreção. Assuma que ambas posições, *POS5* e *POS6*, têm a mesma velocidade, porém em sentidos opostos, em relação ao centro *POS4* considerado em repouso.
- Considerando que o movimento seja circular e uniforme, calcule a massa do objeto central a *POS5* e *POS6*. Expresse o resultado em kg e em massas solares.
- Se, admitirmos a possibilidade de que o disco esteja inclinado em relação à linha de visada, por exemplo de 35° , estamos errando para mais ou para menos a massa estimada no item anterior?
- Se considerarmos que o objeto central é formado por estrelas semelhantes ao Sol, com que magnitude aparente deveria se observar essa região?

4) Medição da massa do Sol através do Efeito Doppler:

Suponha que um observador esteja sobre o Equador terrestre e dispõe de um telescópio com espectrógrafo instalado. Este observador, mede então, as linhas espectrais de várias estrelas em diferentes alturas, imediatamente após o pôr do Sol, e encontra diferentes desvios Doppler em função das alturas dos astros. Percebe que os desvios para o vermelho são observados em estrelas próximas ao horizonte Oeste, já os desvios para o azul são observados em estrelas próximas ao horizonte Leste.



- A que se deve os diferentes desvios ao se observar em diferentes direções?
- Quais movimentos do observador geram os desvios Doppler observados?
- Indique a direção e sentido desses movimentos na figura ao lado, na posição do observador.

Considere as medições de duas estrelas com diferentes azimutes e alturas tomadas na linha $H\alpha$, com comprimento de onda no repouso igual a $\lambda_0 = 656,3 \text{ nm}$. Adote a convenção do azimute *NESO*.

Estrela	Azimute	Altura	Desvio $\Delta\lambda \text{ (nm)}$
1	270°	$35^\circ 10'$	+ 0,038 40
2	90°	$55^\circ 07'$	+ 0,052 91

- Escreva as fórmulas do desvio Doppler de ambas estrelas utilizando a altura do astro e considerando como incógnitas as velocidades de rotação e translação da Terra na localização do telescópio.
- Resolva o sistema e encontre as velocidades de rotação e translação da Terra.
- Encontre, a partir das velocidades do item anterior, o raio da Terra e a distância ao Sol. Utilize o dia e o ano siderais como medida de períodos de ambos os movimentos. Expresse o resultado em km.
- Estime a massa do Sol a partir da distância e velocidade da Terra.

Prova em Grupo – Dados e Constantes

Magnitude absoluta do Sol: $M_{\odot} = 4,83$

Massa solar: $1,99 \cdot 10^{30}$ kg

Velocidade da luz no vácuo: $c = 3 \cdot 10^8$ m/s

Constante de gravitação universal: $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ N.m²/kg²

1 pc = 3,26 al = $3,1 \cdot 10^{16}$ m

1 ua = $1,5 \cdot 10^{11}$ m

1'' = $4,848 \cdot 10^{-6}$ rad

1 dia sideral = 23h 56min 4s = $8,616 \cdot 10^3$ s

1 ano sideral = 365 dias 6h 9min 10s = $3,156 \cdot 10^7$ s