



VIII OLIMPIADA LATINOAMERICANA DE ASTRONOMÍA Y ASTRONÁUTICA  
ARGENTINA 2016

Código: \_\_\_\_\_

Prova teórica por Equipes  
OLAA 2016 - Córdoba, Argentina

P1	P2	P3	P4	Total

Dados:

Distância a M87: 16 Mega parsecs (1Mpc equivale  $10^6$  parsecs).

Velocidade da luz:  $c = 300\,000$  km/s

Constante de gravitação universal:  $G = 6,67 \times 10^{-11}$  N m<sup>2</sup>/kg<sup>2</sup>

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

Luminosidade solar:  $3,827 \times 10^{26}$  W =  $3,827 \times 10^{33}$  erg/s

Magnitude absoluta solar: 4,83

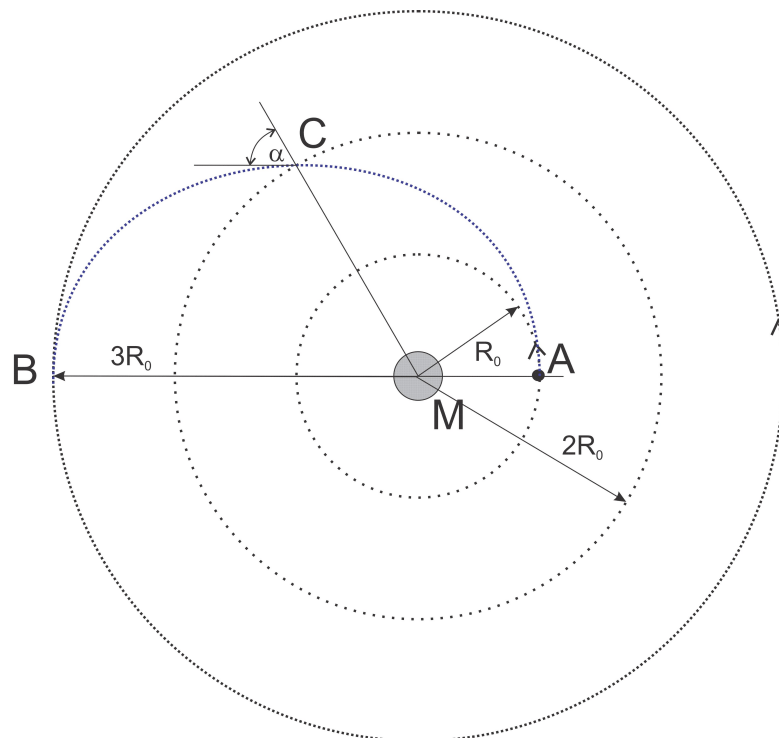
Comprimento de onda para a linha H $\alpha$ : 656,3nm

Código:  
\_\_\_\_\_

Prova teórica por Equipes  
OLAA 2016 – Córdoba, Argentina

*Ao final do exame se encontra uma folha com dados que podem ser úteis para a solução dos problemas*

**P1) Transferência orbital e controle**



Um satélite artificial encontra-se em uma órbita circular de radio  $R_0$  ao redor de um planeta de massa  $M$ . Mediante a aplicação de um impulso na mesma direção do movimento no ponto  $A$ , deseja-se transferir o satélite ao ponto  $B$ , que se encontra a uma distancia de  $3R_0$ , de maneira tal que este ponto seja o apocentro da órbita elíptica de transferência. Para saber se a manobra é corretamente realizada, os engenheiros decidem tomar como referência o valor do ângulo  $\alpha$  entre o vetor velocidade e a direção radial em um ponto intermediário  $C$ , que se encontra a uma distância  $2R_0$ .

Determinar:

- [4 pt] O valor do ângulo  $\alpha$  no caso em que a manobra se faça corretamente.
- [2 pts] O tempo que levará o satélite para chegar de  $A$  a  $B$ . Expresse o resultado em função de  $M$ ,  $R_0$  e da constante de gravitação  $G$ .



## P2) Climatologia Espacial

Denomina-se Ejeção de Massa Coronal, CME (da sigla em inglês: *Coronal Mass Ejection*), a uma onda, um fluxo de radiação e vento solar que se desprende do Sol no período de máxima atividade solar. Esta onda é muito perigosa, pois se chega à Terra e seu campo magnético está orientado para o Sul, pode danificar circuitos elétricos, transformadores e sistemas de comunicações, além de reduzir o campo magnético da Terra por algum tempo. Quando isso ocorre, diz-se que houve uma tempestade solar. Por outro lado, se o planeta está orientado para o norte, a CME refletirá inofensivamente na magnetosfera. A magnetosfera é uma região ao redor de um planeta em que seu campo magnético desvia a maior parte do vento solar, formando um escudo protetor contra as partículas carregadas de alta energia procedentes do Sol.

Em 2004, uma equipe de astrônomos norte-americanos observou uma correlação entre a amplitude da perturbação produzida pelas CME, a quais chamaremos de **P** (nos trabalhos de Física Solar se denota comumente como Dst), e a magnitude da componente do campo magnético interplanetário perpendicular ao plano do sistema solar no momento da tempestade, chamado **Bz**, ambos medidos em nano Teslas (nT). Os autores expressaram essa correlação mediante a seguinte fórmula (Yurchyshyn *et al*, 2004):

$$(1) \quad \mathbf{P} = -2,846[\text{nT}] + 6,54\mathbf{Bz} - (0,118[\text{nT}^{-1}])\mathbf{(Bz)}^2 - (0,002[\text{nT}^{-2}])\mathbf{(Bz)}^3$$

Nesse mesmo ano, outra equipe de astrônomos brasileiros determinou uma relação entre a velocidade de ejeção de massa coronal, **V**, em km/s, e a magnitude da perturbação da CME, novamente **P**, em nT:

$$(2) \quad \mathbf{P} = 0,00052 [\text{nT}] (0,22[\text{km/s}^{-1}] \mathbf{V} + 340)^2$$

Outra equipe norte-americana, no ano seguinte (2005), estudando dados sobre várias CMEs, encontrou uma relação entre a velocidade **V** e o tempo que tarda a tempestade em percorrer a distância Terra-Sol **T** (em dias, d)

$$(3) \quad \mathbf{T} = (-0,0042 [\text{km/s}^{-1}] \mathbf{V} + 5,14) [\text{d}]$$

Os mesmos autores, ainda, encontraram a seguinte relação entre a velocidade da CME e o campo magnético interplanetário **B<sub>max</sub>**, em nT:

$$(4) \quad \mathbf{B}_{\text{max}} = 0,047[\text{nT}]/[\text{km/s}] \mathbf{V} + 0,644[\text{nT}]$$

- [1 pt] Encontre uma equação quadrática que forneça a amplitude de perturbação **P** em função do tempo **T**.
- [1 pt] Assumindo a relação  $\mathbf{Bz} = \mathbf{B}_{\text{max}} / (2^{1/2})$ , encontre **P** em função da velocidade **V** da CME.
- [2 pts] Sabendo que as velocidades das ejeções de massa coronal variam entre 300 e 800 km/s, uma vez detectada uma CME, quais os intervalos de tempo que dispomos para se dar um alerta de tempestade no melhor e pior caso?



Código: \_\_\_\_\_

### A tempestade Sola de 1859

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 de massa coronal. A partir de 28 de agosto, 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 do ano de 2006, físicos estadunidenses reanalisaram informações históricas do evento, chegando a conclusão que a perturbação (Dst) provavelmente teve um valor de  $P=850nT$ .

d) [2 pts] Utilizando os resultados do problema anterior (itens a y b), estime primeiro o tempo de transito  $T$ , para logo estimar o dia em que se produziu a ejeção de massa coronal no Sol. Leve em conta que a CME chegou na Terra em algum momento de 28 de agosto de 1859.

e) [1 pt] Dado o valor de  $P=850nT$ , com que velocidade,  $V$ , pode haver sido ejetada do Sol esta fulguração?

P3) Buraco Negro Supermassivo em M87

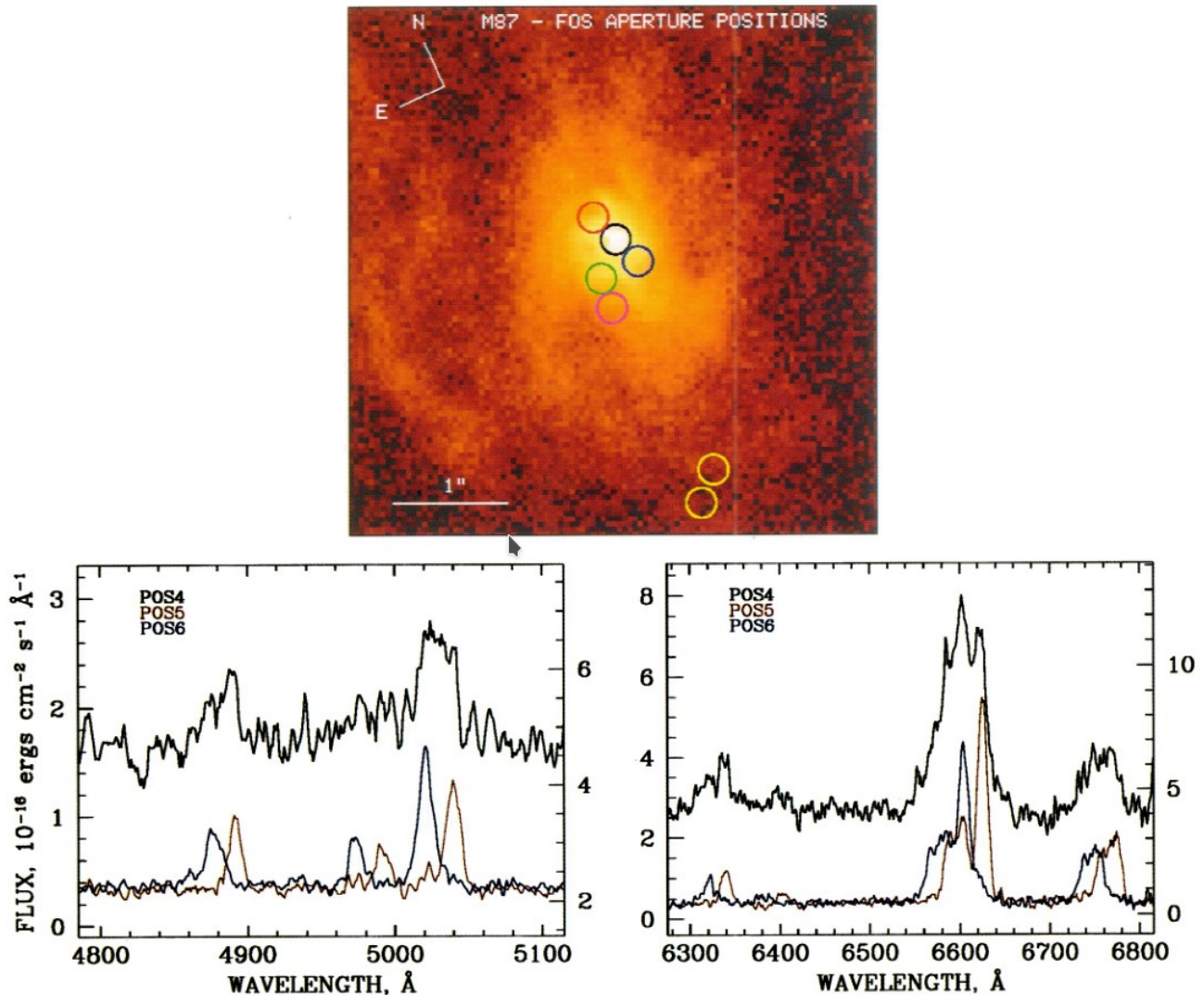


FIG. 1.—(a) Continuum-subtracted  $H\alpha + [N II]$  WFPC2 image of the center of M87. Colored circles are drawn to scale to indicate the locations of the FOS

Um dos exemplos clássicos de um buraco negro supermassivo é o que encontramos no núcleo da galáxia M87, também conhecida como Virgem A. Em 1994, uma equipe de astrônomos norte-americanos apresentou evidência de um disco de acreção ao redor desse buraco. A imagem acima mostra observações fotométricas e espectroscópicas da região central de M87 feitas com o telescópio espacial Hubble (Fig.1 em Harms e colaboradores). Os círculos negro, vermelho e azul, na imagem, indicam diferentes regiões (POS4, POS5 e POS6, respectivamente) para as quais se tomaram espectros (ignore os círculos amarelo, verde e rosa). Abaixo, os autores do trabalho nos mostram os espectros de cada região utilizando as mesmas cores. Como se pode ver, existe um deslocamento (desvio) entre as linhas de emissão de POS5 e POS6. Este deslocamento relativo é interpretado pelos autores como uma rotação do disco, sendo POS6 a parte do disco que se move, por rotação, na direção do observador e POS5 a parte que se afasta dele.



VIII OLIMPIADA LATINOAMERICANA DE ASTRONOMÍA Y ASTRONÁUTICA

ARGENTINA 2016

Código: \_\_\_\_\_

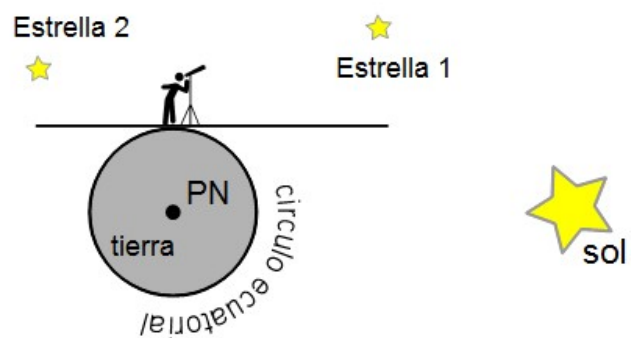
- a) [2 pts] Por que razão os autores afirmam isso? como podemos saber o sentido de rotação?
- b) [2 pts] Estime, da imagem, a distância angular e a partir dela a distância, em Mpc, até a região central (POS4) das duas posições medidas sobre o disco (POS5 e POS6). Utilize a escala dada na figura.
- c) [2 pts] A partir dos espectros, estime a diferença, em comprimento de onda, entre as linhas espectrais de POS5 e POS6. Justifique sua resposta.
- d) [1 pt] Calcule a velocidade de rotação. Assuma que ambas posições (POS5 e POS6) têm a mesma velocidade, porém com sentido oposto com respeito ao centro, considerado em repouso (POS4).
- e) [1 pt] 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.
- f) [1 pt] Se, ademais, admitirmos a possibilidade de que o disco esteja inclinado em relação à linha de visada, por exemplo de  $35^\circ$ , estamos errando para mais ou para menos a massa estimada no item anterior?
- g) [2 pts] Se considerarmos que o objeto central é formado por estrelas semelhantes ao Sol, com que magnitude aparente deveria se observar essa região?



Código: \_\_\_\_\_

**P4) Medição do Raio da Terra, a distância e massa do Sol mediante efeito Doppler:**

Suponha que um observador esteja sobre o equador da Terra e dispõe de um telescópio com espectrógrafo. Mede as linhas espectrais de várias estrelas em diferentes alturas, **imediatamente após o pôr do Sol**, e encontra diferentes desvios Doppler em função da altura do astro. Os desvios para o vermelho são observados em estrelas próximas do horizonte oeste e os desvios para o azul são observados em estrelas na direção leste.



- [1pt] A que se deve os diferentes desvios ao se observar em diferentes direções?
- [1pt] Quais são os movimentos do observador que geram esses desvios Doppler?
- [1pt] Indique a direção e sentido desses movimentos na figura ao lado, na posição do observador.
- [4 pts] Considere as medições de duas estrelas com diferentes azimutes e alturas tomadas na linha  $H\alpha$ , de 656,3 nm (azimute na convenção N.E.S.O.):

Estrela	Azimute	Altura	Desvio $\Delta\lambda$
1	270°	35° 10'	+ 0,03840 nm
2	90°	55° 7'	+ 0,05291 nm

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.

- [1pt] Resolva o sistema e encontre as velocidades de rotação e translação.
- [2 pts] 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
- [1pt] Estime a massa do Sol a partir da distância e velocidade da Terra.