

GABARITO COMENTADO

Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica

3ª PROVA ON LINE DE 11 DE DEZEMBRO DE 2016

- PROCESSO DE SELEÇÃO DAS EQUIPES INTERNACIONAIS DE 2017 -

1) Duas estrelas têm a mesma magnitude aparente e são do mesmo tipo espectral. A estrela 1 está duas vezes mais distante do que a estrela 2. Qual é a razão entre os raios destas duas estrelas?

- a) $R_1/R_2 = 2$
- b) $R_1/R_2 = 4$
- c) $R_1/R_2 = 16$
- d) $R_1/R_2 = \log 4$
- e) Em branco

Resposta: a) $R_1/R_2 = 2$

Dados:

- As estrelas têm a mesma magnitude aparente, então $m_1 = m_2 = m$
- São do mesmo tipo espectral, então $T_1 = T_2 = T$
- $d_1 = 2 \times d_2$

Da fórmula do módulo de distância, temos: $m - M = 5 \log d - 5$, onde d é medido em parsecs, m é a magnitude aparente e M , a absoluta.

Para a estrela 1: $m_1 - M_1 = 5 \log d_1 - 5 = m - M_1 = 5 \log(2d_2) - 5$

Para a estrela 2: $m_2 - M_2 = 5 \log d_2 - 5 = m - M_2 = 5 \log(d_2) - 5$

Subtraindo a segunda equação da primeira: $M_2 - M_1 = 5 \log 2 + 5 \log d_2 - 5 \log d_2$

$\rightarrow M_2 - M_1 = 5 \log 2$

A luminosidade de uma estrela está relacionada com sua temperatura efetiva.

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4$$

Então, $\frac{L_2}{L_1} = \frac{4\pi R_2^2 \sigma T^4}{4\pi R_1^2 \sigma T^4} = \frac{R_2^2}{R_1^2} = \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2$

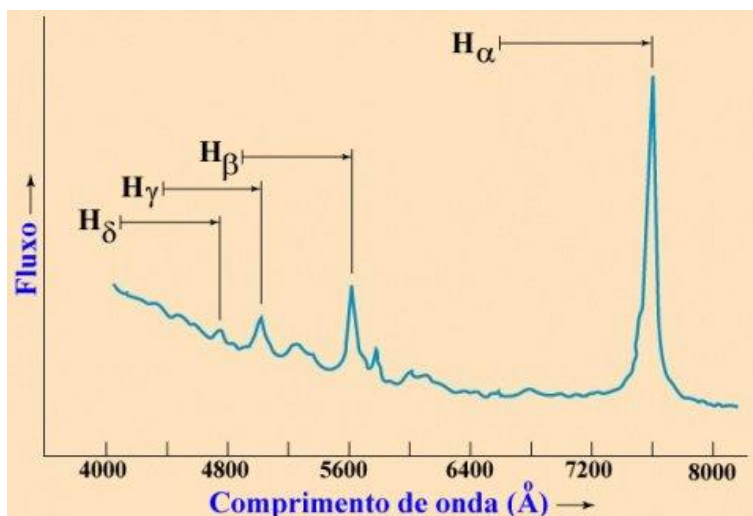
Dada a relação entre magnitudes e fluxo: $M_2 - M_1 = -2,5 \log \left(\frac{F_2}{F_1}\right)$

temos, $M_2 - M_1 = -2,5 \log \left(\frac{F_2}{F_1}\right) = -2,5 \log \left(\frac{L_2}{L_1}\right)$, já que $F \propto L$

Substituindo: $M_2 - M_1 = -2,5 \log \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2 = 5 \log \left(\frac{R_1}{R_2}\right) = 5 \log 2$

logo, $\frac{R_1}{R_2} = 2 \rightarrow$ a estrela duas vezes mais distante tem o dobro do raio.

2) O gráfico a seguir representa o espectro do quasar 3C 273 no óptico e infravermelho próximo. Ele é dominado pelas linhas do hidrogênio em emissão e deslocadas para o vermelho (*redshifted*) pela expansão do Universo (*redshift cosmológico*).



Utilizando a Lei de Hubble ($v = H_0 d$), calcule sua distância d , em parsecs, sabendo que o comprimento de onda da linha H-alfa medida em laboratório vale $H_\alpha = 6562,8 \text{ \AA}$. Considere a constante de $H_0 = 70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$.

Para calcular você precisará usar o *redshift relativístico* z , que é dado por:

$$z \equiv \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \sqrt{\frac{(1+v/c)}{(1-v/c)}} - 1, \text{ onde } v \text{ é a velocidade de recessão do quasar e } c, \text{ a velocidade da luz } (3 \times 10^8 \text{ m/s}).$$

- a) $500 \text{ Mpc} < d < 549 \text{ Mpc}$
- b) $550 \text{ Mpc} < d < 599 \text{ Mpc}$
- c) $600 \text{ Mpc} < d < 649 \text{ Mpc}$
- d) $650 \text{ Mpc} < d < 699 \text{ Mpc}$
- e) Em branco

OLIMPIÁDA BRASILEIRA DE ASTRONOMIA E ASTRONÁUTICA

Resposta: c) $600 \text{ Mpc} < d < 649 \text{ Mpc}$

Do gráfico, estimamos que o comprimento de onda observado da linha H-alfa vale 7600 \AA .

Então, $z = \frac{7600 - 6562,8}{6562,8} \cong 0,16$

Desenvolvendo:

$$(z + 1)^2 = \frac{1 + \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}} \rightarrow \frac{v}{c} = \frac{(z + 1)^2 - 1}{(z + 1)^2 + 1}$$

Substituindo:

$$\frac{v}{c} = \frac{(1,16)^2 - 1}{(1,16)^2 + 1} \cong \frac{0,35}{2,35} \cong 0,15$$

A velocidade de recessão é dada por:

$$v = H_0 d \leftrightarrow d = \frac{v}{H_0}$$

Substituindo:

$$d = \frac{0,15 \times 3,00 \times 10^5}{70} \approx 643 \text{ Mpc}$$

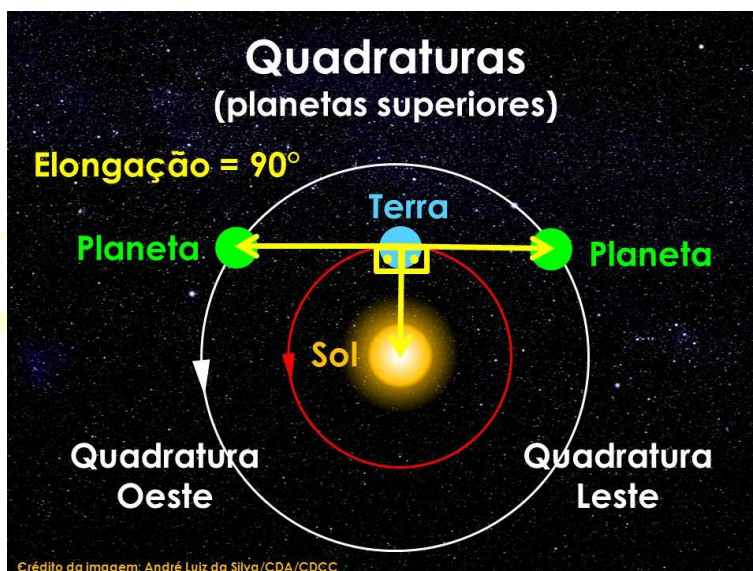
3) No livro *Perdido em Marte* o astronauta Mark Watney, ao perceber que estava completamente sozinho no planeta vermelho, procura uma forma se comunicar com a Terra para dizer que está vivo. Para isso, Watney usa as antenas do rover *Pathfinder*, que chegou a Marte em 1997.

Supondo que Marte esteja em Quadratura Oeste com a Terra, se Mark enviar um sinal de socorro, qual será o intervalo de tempo entre o envio e o recebimento de uma resposta da Terra?

Para este problema, considere: as órbitas da Terra e de Marte como **circulares**; que os sinais são enviados na velocidade da luz ($c = 3 \times 10^8$ m/s); que Marte está a 1,52 U.A. do Sol; que a Terra está a 1 U.A. do Sol e que os engenheiros da missão respondam imediatamente ao receber o pedido de socorro do astronauta.

- a) ~ 9 min
- b) ~ 13 min
- c) ~ 19 min
- d) ~ 29 min
- e) Em branco

R: c) ~ 19 min

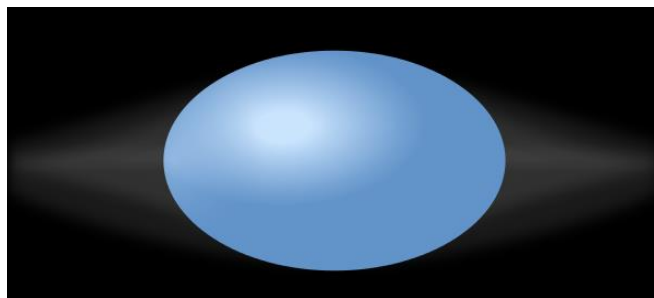


O intervalo de tempo será 2x a distância Terra-Marte/velocidade da luz.

$$\text{Distância Terra-Marte} = \sqrt{(1,52)^2 - (1)^2} \cong 1,14 \text{ U.A.}$$

$$\text{O intervalo de tempo será: } \frac{2 \times 1,14 \times 1,5 \times 10^{11}}{3 \times 10^8} \cong 1,14 \times 10^3 \text{ s} = 19 \text{ min}$$

4) Alpha Eridani, conhecida como Achernar, é uma estrela curiosa. Sua velocidade de rotação é tão alta que ela não possui um formato esférico, mas sim, oblato (veja sua concepção artística na figura).



Seu raio equatorial (R_e) é 50% maior do que seu raio polar (R_p), e a estrela tende a lançar parte de sua massa pelo seu equador, formando um disco de gás ao redor de si mesma. Para que a massa seja lançada, ela deve atingir uma velocidade de rotação crítica, que é expressa como $v_{crit} = \frac{v_{esc}}{\sqrt{2}}$, sendo v_{esc} a velocidade de escape da estrela.

Sabendo destas informações, qual das fórmulas abaixo corresponde ao valor da velocidade crítica? Considere que a estrela tenha massa M .

- a) $v_{crit} = \sqrt{\frac{GM}{R_p}}$
- b) $v_{crit} = \sqrt{\frac{2GM}{3R_p}}$
- c) $v_{crit} = \sqrt{\frac{2GM}{R_e}}$
- d) $v_{crit} = \sqrt{\frac{3GM}{2R_e}}$
- e) Em branco



Resposta: b) $v_{crit} = \sqrt{\frac{2GM}{3R_p}}$

R_e 50% maior que R_p é equivalente a dizer que $R_e = \frac{3}{2}R_p$

$$v_{esc} = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

Como $v_{crit} = \frac{v_{esc}}{\sqrt{2}} \rightarrow v_{crit} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{2GM}{R_e}} = \sqrt{\frac{GM}{R_e}}$

Ou substituindo R_e por R_p : $v_{crit} = \sqrt{\frac{GM}{\frac{3}{2}R_p}} \rightarrow v_{crit} = \sqrt{\frac{2GM}{3R_p}}$

5) O **vento solar** é um fluxo contínuo de partículas emitidas da Coroa do Sol que acarreta uma perda de massa por parte da nossa estrela em torno de $10^{-13}M_{\odot}$ (massas solares) por ano. Considerando que a massa do Sol é cerca de $3,3 \times 10^5$ vezes a massa da Terra e que o vento solar está estável desde que o Sol entrou na Sequência Principal (há 4,5 bilhões de anos), estime, em termos de massa, quantas "Terras" o Sol já perdeu desde então.

- a) Cerca de 5 Terras
- b) Cerca de 50 Terras
- c) Cerca de 100 Terras
- d) Cerca de 150 Terras
- e) Em branco

Resposta: d) Cerca de 150 Terras

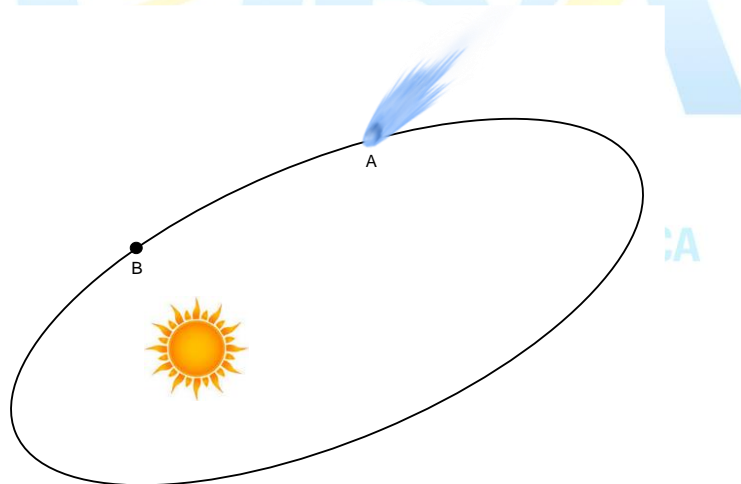
$$M_{\odot} = 3,3 \times 10^5 M_{\oplus}$$

$$\text{Massa do Sol perdida por ano: } m_{\odot} = 10^{-13} \frac{M_{\odot}}{\text{ano}} = 3,3 \times 10^{-8} \frac{M_{\oplus}}{\text{ano}}$$

$$\text{Em 4,5 bilhões de anos: } m_{\odot} = 3,3 \times 10^{-8} \frac{M_{\oplus}}{\text{ano}} \times 4,5 \times 10^9 \text{ anos} \cong 1,5 \times 10^2 M_{\oplus}$$

Portanto, desde que entrou na Sequência Principal, o Sol já perdeu o equivalente a 150 Terras.

6) Um cometa descreve uma órbita elíptica ao redor do Sol, como mostra a figura a seguir, fora de escala.



Considere os pontos **A** e **B** desta órbita, sendo que o ponto **A** está mais afastado do Sol do que o ponto **B**, quais das seguintes afirmações é correta:

- a) No ponto **B** o cometa possui maior energia potencial
- b) Em **A** e **B** a energia mecânica total é diferente, porque **A** está mais afastado do Sol do que **B**
- c) A velocidade em ambos os pontos é a mesma, porque a lei de conservação do momento linear estabelece assim
- d) Em **A** e **B** o cometa possui a mesma energia mecânica total e experimenta forças de atração diferentes
- e) Em branco

Resposta: d) Em **A** e **B** o cometa possui a mesma energia mecânica total e experimenta forças de atração diferentes

Como não existe a ação de forças externas a energia mecânica total é conservada em todos os pontos da órbita e como os pontos estão a distâncias diferentes do Sol a atração gravitacional também será diferente, pois é inversamente proporcional ao quadrado da distância.

7) A densidade de crateras (ou seja, o número de crateras por unidade de área) em uma superfície planetária, ou em um satélite natural, pode nos fornecer dados sobre a idade de formação da superfície, especialmente se não há processos de erosão que apaguem os registros de impactos, pois as superfícies mais craterizadas serão mais antigas que as menos craterizadas. Analisando a superfície de um satélite natural de um planeta no Sistema Solar, encontra-se que existe uma região **A** de 900.000 km² de área com 3200 crateras de raio maior ou igual a 100 metros. Também encontra-se que existe outra região **B** com uma área de 1.200.000 km² contendo 2000 crateras de raio maior ou igual a 100 metros. Assumindo que o fluxo de projéteis seja o mesmo em toda a superfície do satélite e que tem sido constante durante todo o tempo, calcule a idade da superfície **A** em relação com a de **B**.

- a) 1,33
- b) 1,20
- c) 2,13
- d) 1,60
- e) Em branco

Resposta: c) 2,13

O fluxo de projéteis é igual a: $\frac{n^{\circ} \text{ de crateras}}{\text{área} \times \text{tempo}}$

$$F_A = \frac{3200}{9,0 \times 10^5 \times t_a} = F_B = \frac{2000}{1,2 \times 10^6 \times t_B}$$

$$\text{Então, } \frac{t_A}{t_B} = \frac{3200 \times 1,2 \times 10^6}{2000 \times 9 \times 10^5} \cong 2,13$$

8) Em um lugar do hemisfério sul, cuja latitude se desconhece. Um observador determinou a distância zenital máxima e mínima de uma estrela circumpolar, encontrando os seguintes valores: $z_{\max} = 81^{\circ}$ e $z_{\min} = 22^{\circ}40'$.

Qual das opções abaixo representa a latitude do lugar.

- a) $-76^{\circ}20'$
- b) $-38^{\circ}10'$
- c) $-60^{\circ}50'$
- d) -9°
- e) Em branco

Resposta: b) $-38^{\circ}10'$

A latitude do lugar será a altura do Polo Sul Celeste, que pode ser encontrada pela média dos complementos das distâncias zenitais máxima e mínima.

$$Lat = \frac{(90^\circ - 81^\circ) + (90^\circ - 22^\circ 40')}{2} = \frac{76^\circ 20'}{2} = 38^\circ 10'$$

9) A espaçonave *Pionner 10* está atualmente a uma distância de 117,30 *U.A.* do Sol, o que faz dela o objeto mais distante construído pela humanidade. Qual o fluxo solar a esta distância? Considere a luminosidade do Sol $L_\odot = 3,83 \times 10^{26} W$ e $1 U.A. = 1,50 \times 10^8 km$

- a) $\sim 1 mW/m^2$
- b) $\sim 1 cW/m^2$
- c) $\sim 1 dW/m^2$
- d) $\sim 1 W/m^2$
- e) Em branco

Resposta: c) $\sim 1 dW/m^2$ (1 deciwatt/metro quadrado)

$$F(r) = \frac{L}{4\pi r^2}$$

$$\text{Então, } F(117,30) = \frac{3,83 \times 10^{26}}{4\pi(117,30 \times 1,50 \times 10^{11})^2} \cong 9,84 \times 10^{-2} \frac{W}{m^2} \sim 0,10 \frac{W}{m^2} = 1 \frac{dW}{m^2}$$

10) Nas condições ideais, o olho humano consegue detectar uma estrela de até magnitude 6 ($m = +6,0$). Qual a distância mínima que devemos estar do Sol para não mais enxergarmos o Sol a olho nu? Considere a magnitude absoluta do Sol $M_\odot = +4,8$.

Dados: $1 pc = 3,1 \times 10^{16} m$ e $1 \text{ ano-luz} = 9,5 \times 10^{15} m$

- a) $\sim 1 \text{ ano-luz}$
- b) $\sim 30 \text{ anos-luz}$
- c) $\sim 60 \text{ anos-luz}$
- d) $\sim 100 \text{ anos-luz}$
- e) Em branco

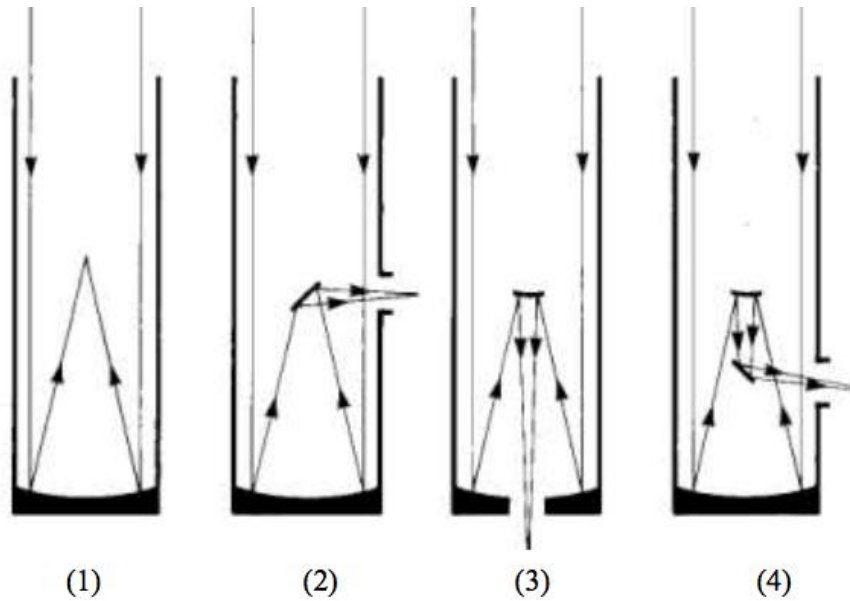
Resposta: c) $\sim 60 \text{ anos-luz}$

$$m - M = 5 \log r - 5, \text{ para } r \text{ em parsec}$$

$$\text{Substituindo: } +6 - (+4,8) = 5 \log r - 5 \rightarrow \frac{6-4,8+5}{5} = 1,24 = \log r$$

$$\text{Então: } r_{min} = 10^{1,24} \cong 17,4 pc \cong 57,4 AL$$

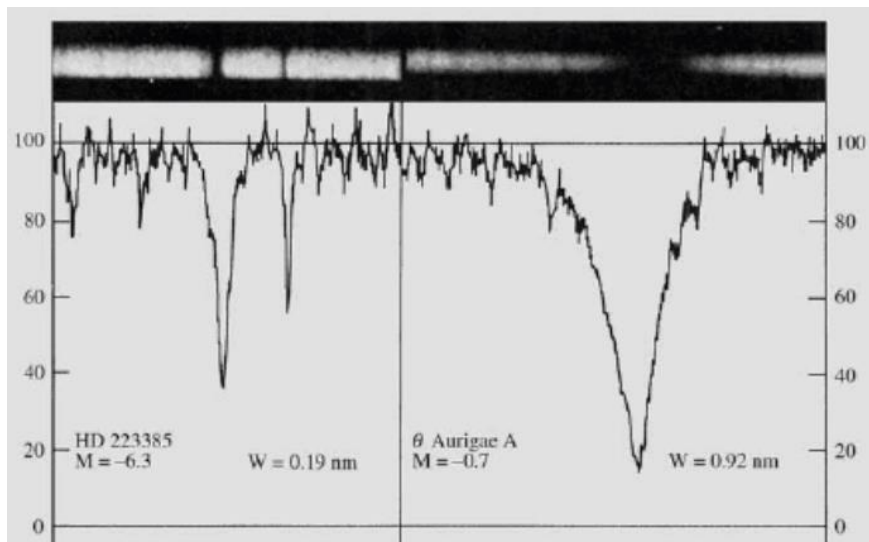
11) As figuras abaixo mostram a trajetória da luz dentro de quatro telescópios refletores. Assinale a alternativa correta com relação aos focos, respectivamente:



- a) foco Newtoniano, foco primário, foco Coudé, foco Cassegrain
- b) foco primário, foco Newtoniano, foco Cassegrain, foco Coudé
- c) foco Newtoniano, foco Coudé, foco primário, foco Cassegrain
- d) foco primário, foco Coudé, foco Cassegrain, foco Newtoniano
- e) Em branco

Resposta: b) foco primário, foco Newtoniano, foco Cassegrain, foco Coudé
Ver: Tipos de Telescópios

12) O gráfico a seguir traz os espectros de absorção das estrelas **HD 222385** (estrela 1, curva a esquerda) e **Theta Aurigae A** (estrela 2, curva a direita). Ambas são do tipo espectral A. Entretanto, a estrela 1 possui perfil da linha de absorção de hidrogênio alfa ($H\alpha$) bastante estreito, enquanto o perfil da mesma linha para a estrela 2 é largo. Podemos afirmar que:



- a) A estrela 1 é menos quente que a estrela 2.
- b) A atmosfera da estrela 1 é menos densa que a atmosfera da estrela 2.
- c) A estrela 1 possui menos hidrogênio que a estrela 2.
- d) A velocidade de afastamento da estrela 1 é menor que a da estrela 2.
- e) Em branco

Resposta: b) A atmosfera da estrela 1 é menos densa que a atmosfera da estrela 2.

Se estamos falando de linhas de absorção, então estamos falando da atmosfera das estrelas.

13) Qual a densidade média (em kg/m^3) de um buraco negro supermassivo com massa $M = 10^8$ massas solares dentro de seu raio de Schwarzschild?

Dica: utilize a expressão para o raio de Schwarzschild $r = 2GM/c^2$, onde G é a constante gravitacional universal ($6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$) e c , a velocidade da luz no vácuo ($3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$). Use $M_{sol} = 1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$.

- a) $1,85 \times 10^3$
- b) $1,99 \times 10^{30}$
- c) $6,74 \times 10^{26}$
- d) $6,67 \times 10^5$
- e) Em branco

Resposta: a) $1,85 \times 10^3$

$$\rho = \frac{\text{Massa}}{\text{Volume}}$$

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3 \rightarrow V = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{2GM}{c^2}\right)^3 = \frac{32\pi G^3 M^3}{3 c^6}$$

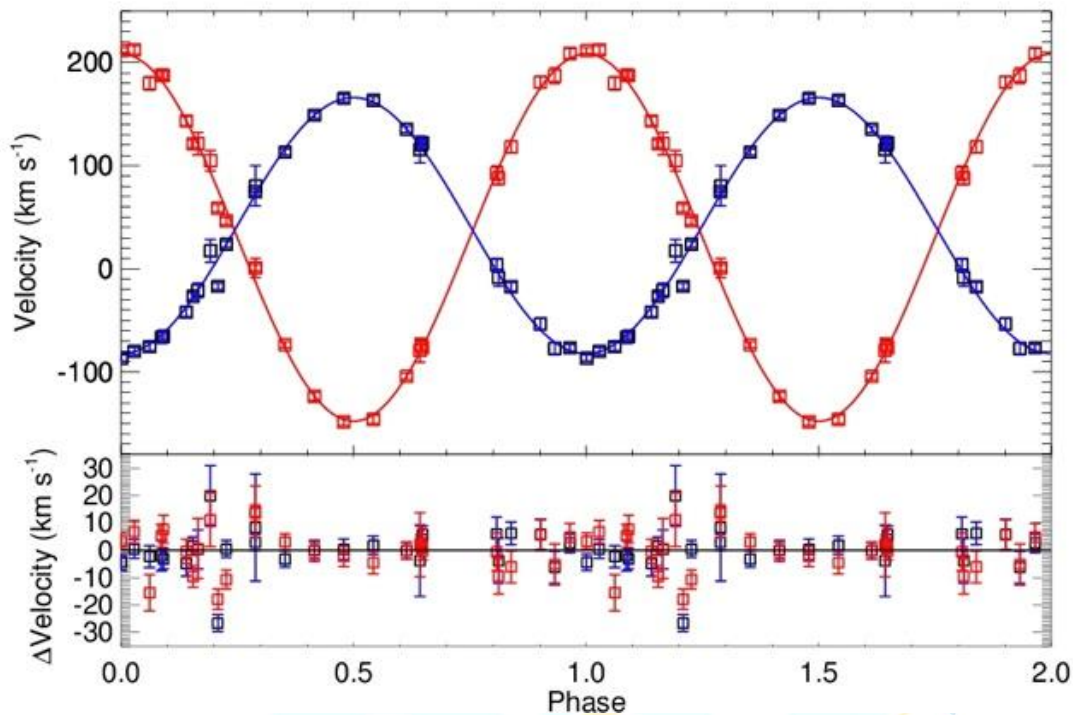
$$\text{Então: } \rho = \frac{3}{32\pi} \frac{c^6}{G^3 M^2}$$

$$\text{Substituindo os valores: } \rho = \frac{3}{32\pi} \frac{(3 \times 10^8)^6}{(6,67 \times 10^{-11})^3 (10^8 \times 1,99 \times 10^{30})^2} \cong 1,85 \times 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$$



OLÍMPIADA BRASILEIRA DE ASTRONOMIA E ASTRONÁUTICA

14) Observações espectroscópicas do sistema binário de anãs brancas WD 1242-105 forneceram as curvas de velocidade radiais apresentadas abaixo.



A componente **A** tem a curva de velocidade radial em vermelho, e a **B**, em azul. Qual conjunto de afirmações sobre as Velocidades Radiais (V), Períodos (P) e Massas (M) é correto?

- a) $V_A > V_B$, $P_A > P_B$, $M_A = M_B$
- b) $V_A < V_B$, $P_A = P_B$, $M_A > M_B$
- c) $V_A < V_B$, $P_A < P_B$, $M_A < M_B$
- d) $V_A > V_B$, $P_A = P_B$, $M_A < M_B$
- e) Em branco

Resposta: d) $V_A > V_B$, $P_A = P_B$, $M_A < M_B$

- Pelo gráfico podemos ver que a curva vermelha (componente A do binário) tem uma amplitude maior do que a curva azul (componente B do binário). Portanto $V_A > V_B$.

- Se eles formam um binário, cada componente orbita o centro de massa do sistema com igual período. Portanto, $P_A = P_B$.

- Se a velocidades radial da componente A e maior do que a da componente B, para o mesmo tempo de revolução em torno do centro de massa do sistema, então isso significa que a componente A está mais afastada do centro de massa do sistema que a componente B. Portanto, $M_A < M_B$.

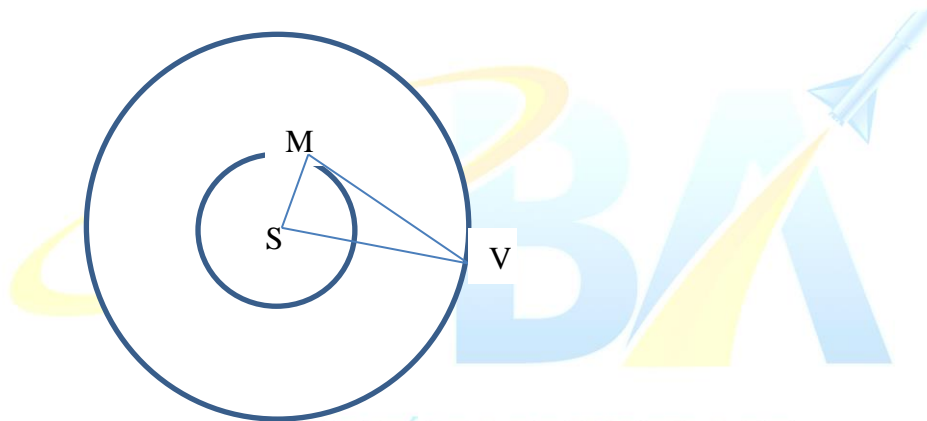
15) Qual sequência de eventos descreve corretamente a evolução do Universo após o Big Bang?

- a) Formação das galáxias; Inflação; Nucleossíntese primordial; Recombinação
- b) Nucleossíntese primordial; Recombinação; Formação das galáxias; Inflação
- c) Inflação; Formação das galáxias; Recombinação; Nucleossíntese primordial
- d) Inflação; Nucleossíntese primordial; Recombinação; Formação das galáxias
- e) Em branco

Resposta: d) Inflação; Nucleossíntese; Recombinação; Formação das galáxias

16) O semieixo maior da órbita de Mercúrio é 0,387 UA, e o de Vênus é 0,719 U.A. Visto de Vênus, qual seria a maior separação angular entre Mercúrio e o Sol? Suponha que as órbitas circulares.

- a) 15,5°
- b) 28,2°
- c) 32,6°
- d) 42,9°
- e) Em branco



Na representação acima as letras S, M e V representam Sol, Mercúrio e Vênus, respectivamente. O ângulo em M é de 90° e seja o “v” o ângulo em V, que estamos querendo encontrar.

$$\text{sen } v = \frac{SM}{SV} = \frac{0,387}{0,719} \rightarrow v = 32,6^\circ$$

Resposta: c) 32,6°

17) Ao comprar um telescópio newtoniano, um garoto percebe que na caixa aparecia impresso o número 200 acompanhado da letra x, ou seja, 200x. Esta inscrição se refere:

- a) ao poder de captação de luz do aparelho.
- b) a relação entre a distância focal da ocular e a distância focal do espelho primário do telescópio.
- c) a relação entre a área do espelho primário e a área da ocular do telescópio.
- d) a resolução angular.
- e) Em branco

Resposta: b) a relação entre a distância focal da ocular e a distância focal do espelho primário do telescópio.

A inscrição se refere a relação entre a distância focal do espelho primário e a distância focal da ocular do aparelho. O resultado é conhecido como magnificação.

A magnificação é a propriedade associada em fazer os objetos parecerem maiores.

18) Consultando o Anuário do Observatório Nacional (Efemérides Astronômicas) ficamos sabendo que o Sol nasceu no dia 20/03/2016 às 06h 10 min na cidade de São Paulo (23,5° S ; 46,6° W). Neste mesmo dia, o Sol nasceu aproximadamente a que horas na cidade de Bertioga (23,9° S ; 46,1° W)?

- a) 06h 08min
- b) 06h 09min
- c) 06h 10min
- d) 06h 11min
- e) Em branco

Resposta: a) 06h 08min

O dia 20/03/2016 será dia de equinócio. O Sol nascerá no ponto cardeal leste, e sua declinação será de 0°. Como as duas cidades se encontram dentro do mesmo fuso horário, a diferença de longitudes é então o que determina a diferença de horário de nascer do Sol entre elas nesse dia.

Bertioga está a leste de São Paulo, e portanto o Sol nascerá mais cedo em Bertioga. A diferença de longitude é de 0,5°, o que equivale a uma diferença de 2 minutos de tempo (24h = 360°). Assim, o horário de nascer do Sol será de aproximadamente 06h 08min em Bertioga.

19) Quando tivermos uma colônia permanentemente ocupada na Lua, será preciso o uso de satélites estacionários em relação à superfície lunar para serem usados em monitoramentos e comunicações. A cerca de que altura h da superfície da Lua ficarão estes satélites selenoestacionários?

Dados: Dia solar da Lua $T_{Lua} = 29$ dias, 12 h, 44 min e 3 s; $M_{Lua} = 7,3 \times 10^{22}$ kg;
 $r_{Lua} = 1738$ km; $G = 6,67 \times 10^{-11}$ m³ kg⁻¹ s⁻².

- a) cerca de 18 mil km
- b) cerca de 36 mil km
- c) cerca de 72 mil km
- d) cerca de 91 mil km
- e) Em branco

Resposta: d) cerca de 91 mil km

Para um satélite em órbita, temos: Força centrípeta = Força gravitacional

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{GMm}{r^2} \rightarrow v^2 = \frac{GM}{r}$$

Para um satélite estacionário, temos: $v = 2\pi r/T$, onde T é o período de rotação do planeta.

$$\text{Então: } \left(\frac{2\pi r}{T}\right)^2 = \frac{GM}{r} \rightarrow 4\pi^2 r^3 = GMT^2 \rightarrow r = \sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}$$

$$T_{Lua} = 29 \text{ dias, } 12 \text{ h, } 44 \text{ min e } 3 \text{ s} = 2551443 \text{ s}$$

Substituindo os valores:

$$r = \sqrt[3]{\frac{(6,67 \times 10^{-11})(7,3 \times 10^{22})(2551443)^2}{4\pi^2}} \cong 92943758,9 \text{ m} \cong 92943,7 \text{ km}$$

A altura h será $r - r_{\text{Lua}} \rightarrow h = 92943,7 - 1738 = 91205,7 \text{ km}$

20) Existe uma relação pitagórica entre as velocidades tangencial, radial e espacial das estrelas. A tangencial corresponde ao movimento próprio determinado astrometricamente e é representada (projetada) no plano do céu; a radial é obtida espectroscopicamente (doppler) e é perpendicular ao plano do céu e alinhada com o telescópio, e a espacial decorre da composição trigonométrica das duas anteriores. Ainda, conhecida a direção do movimento próprio (ângulo de posição no céu) é imediato o estabelecimento da velocidade espacial num sistema de coordenadas tridimensional.

Uma estrela está situada a 2 pc de nós, tem movimento próprio de 10"/ano (dez segundos de arco por ano) e sua velocidade radial de aproximação é de 100 km/s.

Assinale a alternativa que fornece o **valor aproximado** da velocidade espacial dessa estrela.

Dados: 1 pc = $3,0 \times 10^{16}$ m

- a) 1400 km/s
- b) 140 km/s
- c) 14 km/s
- d) 1,4 km/s
- e) Em branco

Resposta: b) 140 km/s

$$10'' \text{ equivalem a } \frac{10 \times \pi}{180 \times 3600} \cong 4,84 \times 10^{-5} \text{ radianos}$$

Para uma circunferência de raio r e ângulo medido em radianos, vale a relação $l = r\theta$, onde l é o comprimento do arco.

Para $r = 2 \text{ pc}$ e $\theta = 4,84 \times 10^{-5}$ radianos, temos:
 $l = 2 \times 3,0 \times 10^{16} \times 4,84 \times 10^{-5} \cong 2,9 \times 10^{12} \text{ m}$

A velocidade tangencial da estrela será, portanto:

$$v_t = \frac{2,9 \times 10^{12} \text{ m}}{\text{ano}} = \frac{2,9 \times 10^{12} \text{ m}}{365 \frac{\text{dias}}{\text{ano}} \times 24 \frac{\text{horas}}{\text{dia}} \times 3600 \frac{\text{s}}{\text{hora}}} \cong 91958,4 \text{ m/s} \approx 92 \text{ km/s}$$

Do triângulo retângulo, temos: $(v_e)^2 = (v_r)^2 + (v_t)^2$

Substituindo os valores: $v_e = \sqrt{100^2 + 92^2} \cong 135,8$