

# GABARITO COMENTADO

## Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica

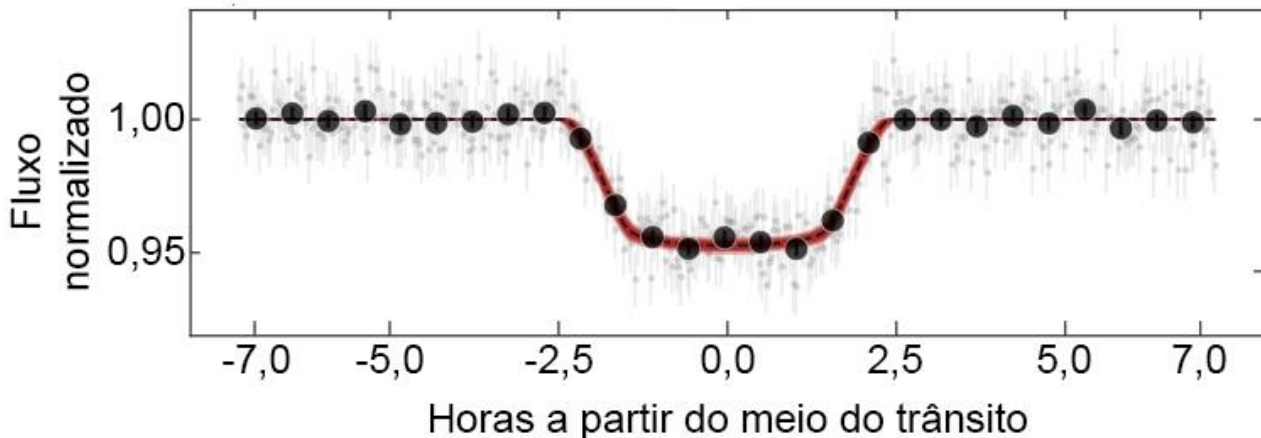
### 2ª PROVA ONLINE DE 17 DE NOVEMBRO DE 2023

- PROCESSO DE SELEÇÃO DAS EQUIPES INTERNACIONAIS DE 2024 -

1) Quando um planeta passa na frente de sua estrela hospedeira (transita pelo disco estelar), ele bloqueia uma pequena parte da luz da estrela. Isso faz com que o brilho da estrela diminua por um curto período de tempo.

Para detectar um planeta por trânsito, os astrônomos monitoram o brilho de uma estrela por um longo período de tempo. Se eles observarem uma diminuição periódica no brilho da estrela, isso pode ser um sinal de que um planeta está passando na frente dela.

O gráfico a seguir traz a medida do fluxo de uma estrela, que possui em sua órbita um exoplaneta, ou planeta extrassolar, do tamanho comparável ao nosso Júpiter. Os pontos pretos correspondem à média dos fluxos medidos e a linha cheia, à curva de luz (melhor ajuste às médias).



Com as informações contidas no gráfico, assinale a opção que traz a porcentagem do decaimento do fluxo da estrela com o trânsito do planeta e a duração desse trânsito, respectivamente.

- a) 5% e 5 horas
- b) 5% e 14 horas
- c) 0,95% e 5 horas
- d) 9,5% e 2,5 horas
- e) 95% e 14 horas

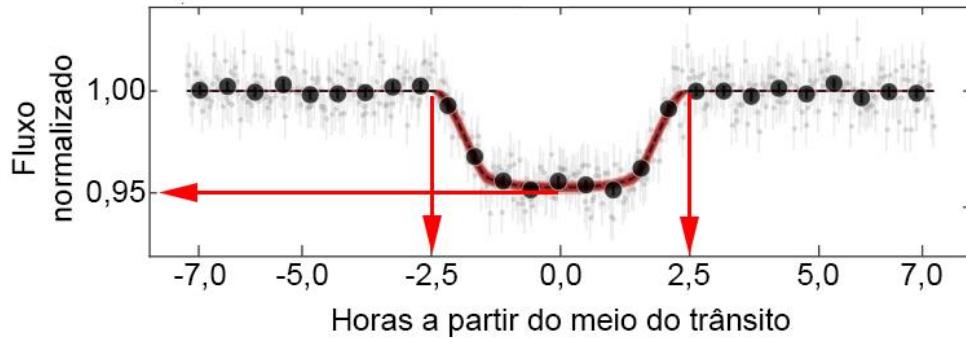
Resposta: a) 5% e 5 horas

Pelo gráfico vemos que:

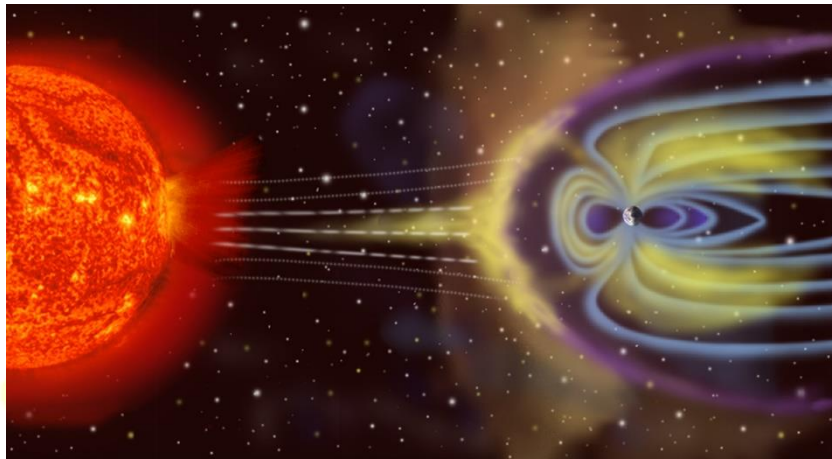
- o fluxo normalizado caiu de 1,00 (100%) para 0,95 (95%), portanto a queda foi de  $100\% - 95\% = 5\%$ .
- O início do trânsito se iniciou 2,5 horas antes do meio do trânsito e terminou 2,5 horas depois do meio do trânsito, portanto a duração do trânsito foi de  $2,5\text{ h} + 2,5\text{ h} = 5\text{ horas}$ .

# GABARITO COMENTADO

## Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica



2) A magnetosfera é a região acima da ionosfera que é definida pela extensão do campo magnético da Terra no espaço. Ela se estende por várias dezenas de milhares de quilômetros no espaço, protegendo a Terra das partículas carregadas do vento solar, como podemos ver na ilustração, a seguir, fora de escala.



Lançado em 2000, o **IMAGE** (*Imager for Magnetopause-to-Aurora Global Exploration*) foi um satélite da NASA destinado a fazer medições de partículas na magnetosfera terrestre e estudar a interação dos ventos solares com a magnetosfera. Um dos instrumentos a bordo era o **RPI** (*Radio Plasma Imager*), um radar de baixa potência que operava nas bandas de radiofrequência que contêm as frequências de ressonância das nuvens de plasma características da magnetosfera terrestre (de 3 kHz a 3 MHz, onde Hz  $\equiv$  ciclos por segundo).

As nuvens de plasma no espaço têm uma propriedade interessante: quando as ondas de rádio são refletidas nelas, a frequência de rádio do sinal refletido depende da densidade da nuvem.

A fórmula que relaciona a frequência de reflexão **F** com a densidade do plasma **n** é dada por:

$$F = 9.000 \times \sqrt{n}$$

Onde **F** é medida em Hertz e **n**, em elétron por centímetro cúbico.

Assinale a opção que traz os valores corretos que completam a tabela a seguir, com dados retirados das medidas do RPI:

Localização da nuvem de plasma	Distância em raios da Terra ( $R_T$ )	Frequência de reflexão (Hz)	Densidade (elétron/cm <sup>3</sup> )
1	1,0	288.000	X
2	4,0	Y	9

# GABARITO COMENTADO

## Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica

a)  $X = 1.024$  e  $Y = 27.000$

b)  $X = 1.024$  e  $Y = 32.000$

c)  $X = 3.200$  e  $Y = 27.000$

d)  $X = 3.200$  e  $Y = 28.800$

e)  $X = 2.048$  e  $Y = 28.800$

Resposta: a)  $X = 1.024$  e  $Y = 27.000$

Para  $F = 288.000$  Hz, temos

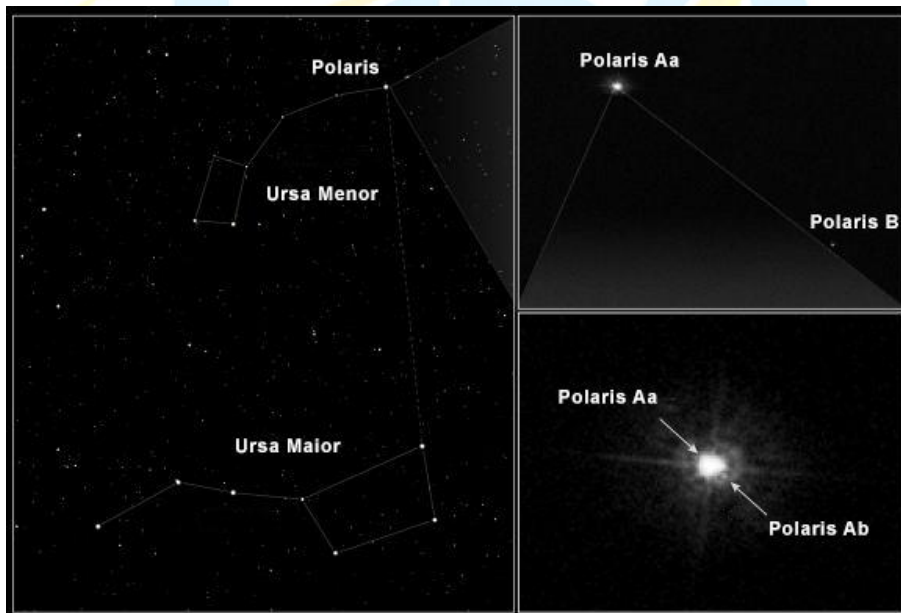
$$F = 9.000 \times \sqrt{n} \rightarrow n = \left(\frac{288.000}{9.000}\right)^2 = (32)^2 \rightarrow n = 1024$$

Para  $n = 9$  elétrons/cm<sup>3</sup>, temos

$$F = 9.000 \times \sqrt{9} = 9.000 \times 3 \rightarrow F = 27.000 \text{ Hz}$$

3) Polaris é uma estrela da constelação circumpolar norte da Ursa Menor e é comumente chamada de Estrela do Norte ou Estrela Polar, pois fica a menos de 1° de distância do Polo Celeste Norte. Sua posição estável no céu do Hemisfério Norte a tornou útil para a navegação há séculos!

Embora pareça a olho nu como um único ponto de luz, Polaris é um sistema estelar triplo, composto pela estrela principal, uma supergigante amarela designada **Polaris Aa**, que possui uma companheira menor e muito próxima conhecida por **Polaris Ab**, a 18,5 UA. O par, por sua vez, está em uma órbita mais ampla com **Polaris B**, uma estrela da sequência principal a 2.400 UA de **Polaris Aa**.



Considerando que 1 UA = 150 milhões de km e que a velocidade da luz é de 300 mil km/s, assinale a opção que traz o tempo aproximado que a luz demora para percorrer, respectivamente, as distâncias entre **Polaris Aa** e **Polaris Ab** e entre **Polaris Aa** e **Polaris B**.

a) 2h 34min 10s; 13 dias 21h 20min

b) 9.250 s; 333 h

c) 1 h 48 s; 1.200.000 s

# GABARITO COMENTADO

## Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica

d) 18,5 h; 2.400 h

e) 148 min; 13 dias 21h 20min

Resposta: a) 2h 34min 10s; 13 dias 21h 20min

Primeiro vamos calcular quanto tempo a luz demora para percorrer 18,5 UA:

$$t_{Aa-Ab} = \frac{\text{distância}}{\text{velocidade}} = \frac{(18,5 \text{ UA}) \times \left(150 \times 10^6 \frac{\text{km}}{\text{UA}}\right)}{300.000 \frac{\text{km}}{\text{s}}} = 9.250 \text{ s}$$

$$t_{Aa-Ab} = 2 \text{ h } 34 \text{ min } 10 \text{ s}$$

Agora vamos calcular quanto tempo a luz demora para percorrer 2.400 UA:

$$t_{Aa-B} = \frac{\text{distância}}{\text{velocidade}} = \frac{(2.400 \text{ UA}) \times \left(150 \times 10^6 \frac{\text{km}}{\text{UA}}\right)}{300.000 \frac{\text{km}}{\text{s}}} = 1.200.000 \text{ s}$$

$$t_{Aa-B} = 13 \text{ dias } 21 \text{ h } 20 \text{ min}$$

4) A Magnitude Absoluta **H** de um asteroide é definida, diferentemente da definição para as estrelas, como sua magnitude visual a uma distância de 1 unidade astronômica tanto do Sol como do observador, com um ângulo de fase igual a zero. Em outras palavras, é a magnitude visual do asteroide, situado a 1 unidade astronômica do Sol, sendo observado do próprio Sol. Apesar de ser um cenário impossível, é a maneira ideal para se ter uma medida de brilho que permita uma estimativa de seu tamanho.

O diâmetro **D** de um asteroide, supostamente esférico, pode ser estimado usando a seguinte equação:

$$D[\text{km}] = \frac{1329}{\sqrt{p}} 10^{-0,2H}$$

Onde **p** é o albedo geométrico do asteroide, cujo valor pode variar entre:

(absorvedor perfeito de luz)  $0 < p < 1$  (refletor perfeito de luz)

Normalmente o albedo geométrico de um asteroide não é conhecido e as estimativas são feitas assumindo-se albedos entre **0,09 ≤ p ≤ 0,25**.

Considere um asteroide com magnitude absoluta **H = 5,0** e assinale a opção que traz a estimativa mais provável do diâmetro desse asteroide.

a) 354,4 km

b) 265,8 km

c) 443,0 km

d) 531,6 km

e) 221,5 km

Resposta: a) 354,4 km

Primeiramente, calculamos o valor do diâmetro máximo e mínimo do asteroide, usando a faixa de valores típicos do albedo geométrico destes corpos.

## GABARITO COMENTADO

### Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica

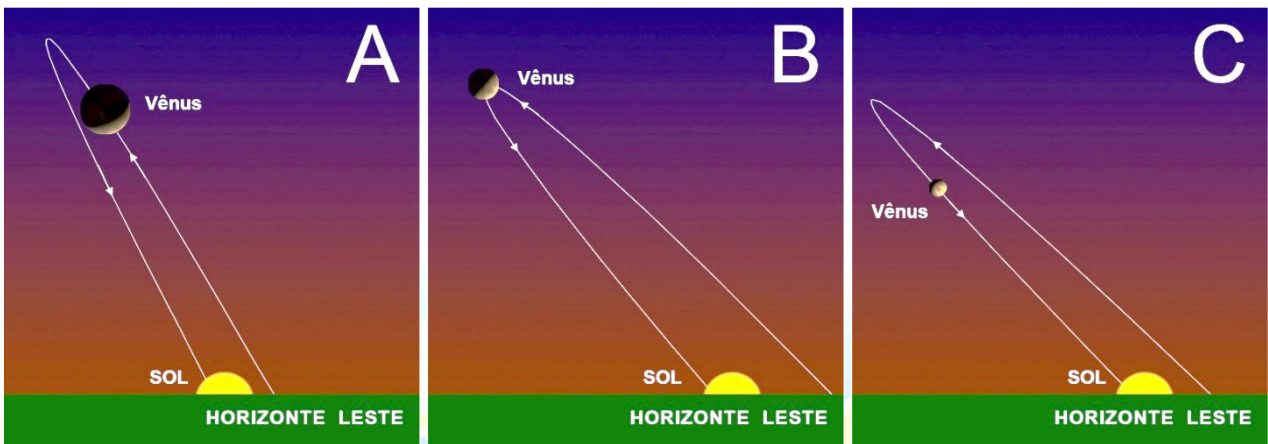
$$D_{min} = \frac{1329}{\sqrt{0,25}} 10^{-0,2 \times 5,0} = \frac{1329}{0,5} 10^{-1} = \frac{1329}{5} \rightarrow D_{min} = 265,8 \text{ km}$$

$$D_{max} = \frac{1329}{\sqrt{0,09}} 10^{-0,2 \times 5,0} = \frac{1329}{0,3} 10^{-1} = \frac{1329}{3} \rightarrow D_{max} = 443,0 \text{ km}$$

O diâmetro mais provável será a média aritmética simples entre  $D_{min}$  e  $D_{max}$ :

$$\langle D \rangle = \frac{D_{min} + D_{max}}{2} = \frac{265,8 + 443,0}{2} = 354,4 \text{ km}$$

5) As imagens a seguir mostram um esquema, fora de escala, do Planeta Vênus em três datas distintas, em ordem cronológica (A, B e C), ao longo de sua órbita.



Baseado nas informações fornecidas e em seus conhecimentos, avalie as afirmações a seguir e assinale a opção correta.

- I – Em **B** o planeta Vênus está em Conjunção Superior.
- II – Em **B** o planeta Vênus está em Máxima Elongação Leste.
- III – Em **A**, **B** ou **C** o planeta Vênus também é conhecido por ‘Estrela Vespertina’.
- IV – De **A** para **C** o planeta Vênus está em sua fase crescente.

- a) Apenas a afirmação IV está correta.
- b) Apenas as afirmações I e IV estão corretas.
- c) Apenas as afirmações II e III estão corretas
- d) Apenas a afirmação II está correta.
- e) Nenhuma afirmação está correta.

Resposta: a) Apenas a afirmação IV está correta.

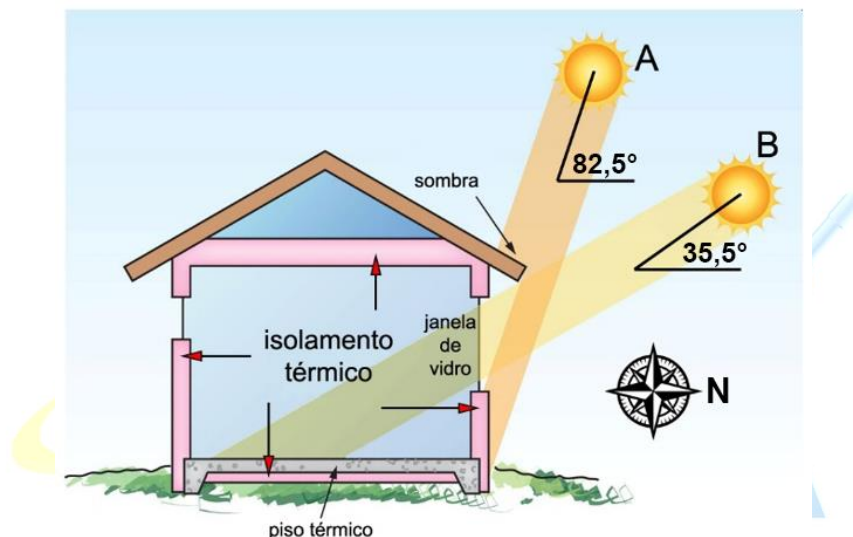
- A afirmação I está INCORRETA, pois quando um planeta de órbita interior a da Terra está em Conjunção Superior, o planeta está na mesma direção do Sol e mais longe da Terra do que do Sol, o que não é o caso em B.
- A afirmação II está INCORRETA, pois se estamos olhando para o horizonte Leste, a máxima elongação é a Oeste, pois Vênus está a oeste do Sol.

# GABARITO COMENTADO

## Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica

- A afirmação III está **INCORRETA**, pois se estamos olhando para o horizonte Leste estamos olhando o nascer do Sol, com Vênus já acima do horizonte e portanto, neste caso, Vênus também é conhecido por 'Estrela Matutina'.
- A afirmação IV está **CORRETA**, pois vemos que o disco de Vênus fica cada vez mais iluminado de A para C.

6) Um arquiteto quer projetar sua casa com boa eficiência energética, ou seja, ele quer economizar com a refrigeração no verão e com o aquecimento no inverno. Ele sabe que uma casa bem orientada em relação ao Sol pode lhe render uma boa economia na sua conta de luz. Seu projeto inicial pode ser visto no desenho a seguir, com a indicação da altura do Sol em duas posições, **A** e **B**, nos dias dos solstícios, ao meio-dia solar verdadeiro.



Baseado nas informações contidas no desenho e em seus conhecimentos, assinale a alternativa que traz a latitude geográfica  $\phi$  desta casa.

a)  $\phi = 31,0^\circ$  S

b)  $\phi = 31,0^\circ$  N

c)  $\phi = 35,5^\circ$  N

d)  $\phi = 82,5^\circ$  S

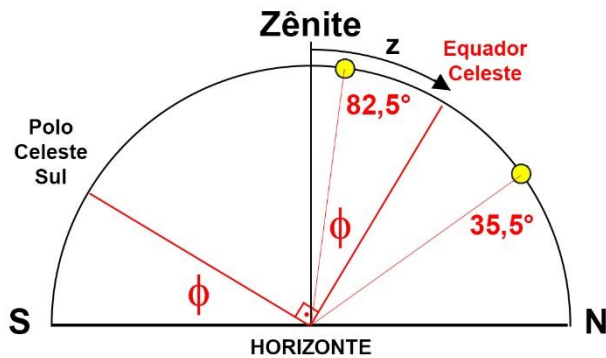
e)  $\phi = 54,1^\circ$  S

Resposta: a)  $\phi = 31,0^\circ$  S

A distância zenital do Equador Celeste corresponde à latitude geográfica do lugar ( $z = \phi$ ) e é igual ao complemento da média aritmética das alturas máxima e mínima do Sol (Solstício de Verão e Solstício de Inverno). Como o Sol está cruzando o meridiano ao norte do Zênite (indicado pela Rosa dos Ventos), o lugar se localiza no Hemisfério Sul.

# GABARITO COMENTADO

## Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica



$$\text{lat. geográfica} = 90^\circ - \left( \frac{82,5^\circ + 35,5^\circ}{2} \right) = 90^\circ - \frac{118^\circ}{2} = 31^\circ S$$

7) Considere que a massa total do material nos anéis de Saturno é de cerca de  $1,5 \times 10^{19}$  kg. Vamos supor, em primeira aproximação, que uma partícula média do anel tenha raio  $r = 6$  cm (o tamanho de uma grande bola de neve) e tenha uma densidade  $\rho = 1.000$  kg/m<sup>3</sup>.



Sendo assim, assinale a opção que traz a ordem de grandeza do número aproximado de partículas que existem nos anéis.

- a)  $10^{19}$
- b)  $10^{18}$
- c)  $10^{17}$
- d)  $10^{20}$
- e)  $10^{16}$

Resposta: a)  $10^{19}$

Primeiro vamos calcular qual é a massa de cada partícula média:

$$\rho = \frac{m}{V} \leftrightarrow m = V\rho = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho$$

Substituindo-se os valores:

$$m = \frac{4}{3}\pi(0,06 \text{ m})^3(1.000 \text{ kg/m}^3) \rightarrow m = 0,905 \text{ kg}$$

O número  $n$  de partículas dos anéis será:

# GABARITO COMENTADO

## Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica

$$n = \frac{\text{massa total}}{\text{massa de cada partícula}}$$

Substituindo-se os valores:

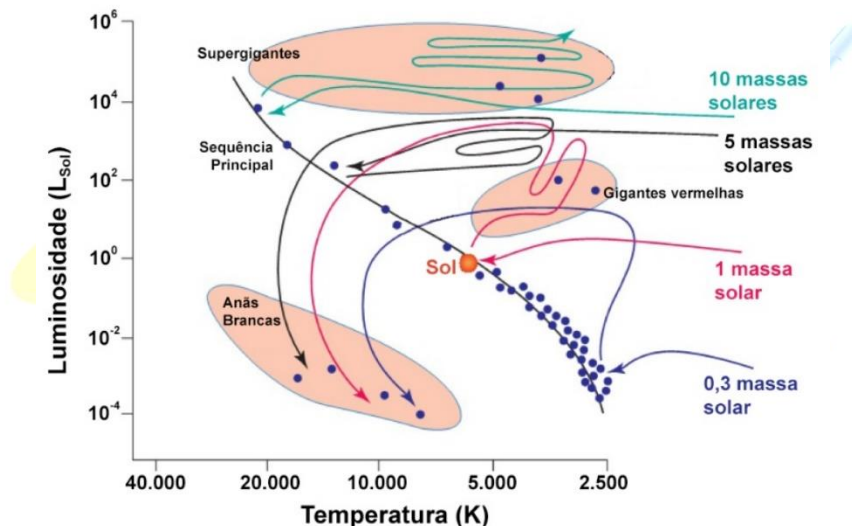
$$n = \frac{1,5 \times 10^{19} \text{ kg}}{0,905 \text{ kg}} \cong 1,657 \times 10^{19}$$

Como  $1,657 < \sqrt{10}$ , então a ordem de grandeza de  $n$  será  $10^{19}$  partículas.

8) O Diagrama HR, ou Diagrama de Hertzsprung-Russell, é um gráfico que mostra a relação entre a luminosidade e a temperatura das estrelas. Ele é uma ferramenta essencial para entender a evolução das estrelas.

A maioria das estrelas está localizada em uma faixa diagonal no Diagrama HR, chamada de Sequência Principal (SP). Estrelas na SP estão “queimando” hidrogênio em seu núcleo, e sua luminosidade e temperatura estão relacionadas à sua massa. Estrelas que estão fora da SP estão em diferentes estágios de sua evolução.

O gráfico a seguir traz a evolução teórica, dentro do Diagrama HR, de 4 estrelas com massas diferentes.



Baseado nas informações fornecidas e em seus conhecimentos, avalie as afirmações a seguir e assinale a opção correta.

I – Estrelas com 10 massas solares nem passam pela Sequência Principal. Elas já evoluem para o ramo das Gigantes e Supergigantes.

II – Após sair da Sequência Principal, a luminosidade do Sol poderá chegar acima de 1000 vezes o seu valor atual.

III – Após deixar o ramo das Gigantes Vermelhas, rumo ao ramo das Anãs Brancas, o Sol voltará novamente à Sequência Principal.

IV – Uma estrela com apenas 0,3  $M_{\text{Sol}}$  nunca chegará a ser uma Gigante Vermelha, evoluindo direto para uma Anã Branca após deixar a SP.

a) Apenas a afirmação II está correta.

b) Apenas a afirmação III está correta.

c) As afirmações II e III estão corretas.

# GABARITO COMENTADO

## Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica

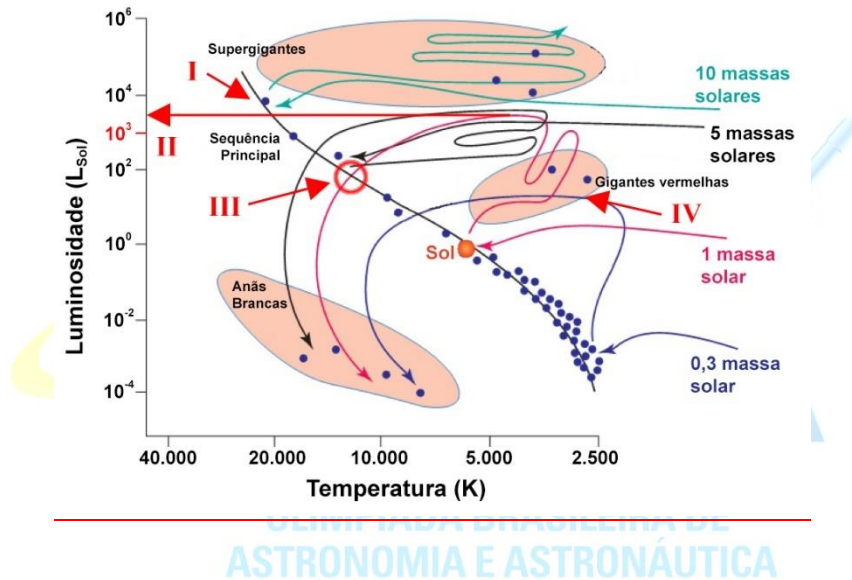
d) As afirmações I e IV estão corretas.

e) As afirmações II, III e IV estão corretas.

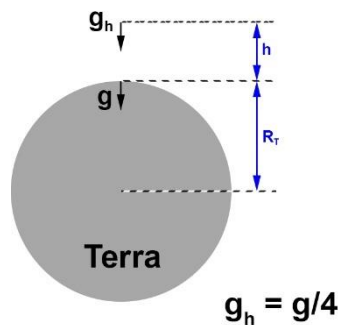
Resposta: a) Apenas a afirmação II está correta.

Comentários:

- A afirmação I está **INCORRETA**, pois vemos que estrelas com  $10 M_{\text{Sol}}$  entram na SP no topo da faixa diagonal e depois evoluem para Supergigantes.
- A afirmação II está **CORRETA**, pois vemos que a curva evolutiva do Sol tem um máximo acima dos  $10^3 L_{\text{Sol}}$ .
- A afirmação III está **INCORRETA**, pois apesar da curva evolutiva do Sol cruzar a SP, o Sol não estará mais “queimando” hidrogênio em seu núcleo.
- A afirmação IV está **INCORRETA**, pois vemos no gráfico que sua curva evolutiva passa pelo ramo das Gigantes vermelhas. Se a estrela tem cerca de  $0,2 M_{\text{Sol}}$  a  $0,5 M_{\text{Sol}}$  é massiva o suficiente para se tornar uma gigante vermelha, mas não tem massa suficiente para iniciar a fusão do hélio.



9) Assinale a opção que traz o valor da altura  $h$ , acima da superfície da Terra, onde o valor da aceleração da gravidade é igual a um quarto do seu valor ao nível do mar, em função do raio da Terra  $R_T$ .



Dados, se precisar: Raio do Terra  $R_T = 6.378 \text{ km}$ ; Massa da Terra  $M_{\text{Terra}} = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$ ; Aceleração da gravidade ao nível do mar  $g = 9,807 \text{ m/s}^2$ ; Constante da Gravitação  $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$ .

a)  $h = R_T$

# GABARITO COMENTADO

## Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica

b)  $h = 2R_T$

c)  $h = R_T/2$

d)  $h = R_T/4$

e)  $h = 4R_T$

Resposta: a)  $h = R_T$

A aceleração da gravidade  $g$  ao nível do mar é dada pela relação:

$$g = \frac{GM_T}{R_T^2}$$

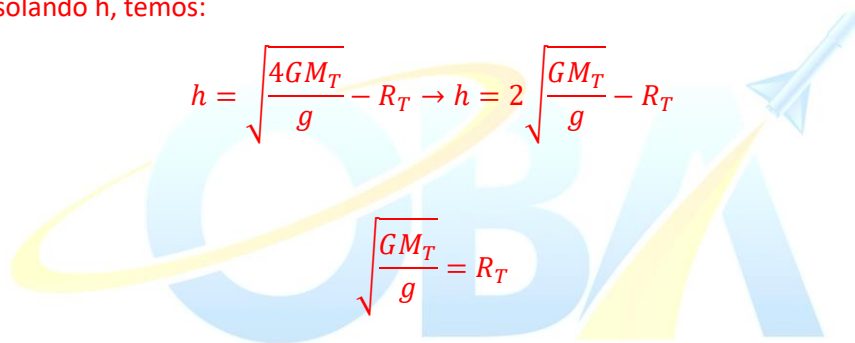
A aceleração da gravidade  $g_h$  a uma altura  $h$  é dada pela relação:

$$g_h = \frac{GM_T}{(R_T + h)^2}$$
$$\rightarrow R_T + h = \sqrt{\frac{GM_T}{g_h}}$$

Como  $g_h = g/4$  e isolando  $h$ , temos:

$$h = \sqrt{\frac{4GM_T}{g}} - R_T \rightarrow h = 2\sqrt{\frac{GM_T}{g}} - R_T$$

Como:



$$\sqrt{\frac{GM_T}{g}} = R_T$$

Temos:

$$h = 2\sqrt{\frac{GM_T}{g}} - R_T \rightarrow h = 2R_T - R_T \rightarrow h = R_T$$

Neste caso, a substituição numérica é desnecessária, mas pra quem fez as contas:

$$h = \sqrt{\frac{4 \left( 6,67 \times 10^{-11} \frac{Nm^2}{kg^2} \right) (5,97 \times 10^{24} kg)}{9,807 \frac{m}{s^2}}} - 6.378 km$$

$$h \cong 12.744 km - 6.378 km = 6.366 km \equiv R_T$$

A pequena diferença se deve aos arredondamentos.

# GABARITO COMENTADO

## Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica

10) Uma estrela de magnitude aparente  $m = 0$  tem um fluxo observado igual a  $F_0$ .

Assinale a opção que traz qual seria o fluxo observado desta estrela se ela fosse 4 vezes mais luminosa, porém estivesse 4 vezes mais distante. Desconsidere qualquer tipo de absorção ou espalhamento da luz no meio interestelar.

a)  $0,25 F_0$

b)  $1,00 F_0$

c)  $2,00 F_0$

d)  $4,00 F_0$

e)  $0,50 F_0$

Resposta: a)  $0,25 F_0$

O fluxo observado de uma estrela é dado por:

$$F = \frac{L}{4\pi d^2}$$

onde  $L$  é a luminosidade da Estrela e  $d$ , a distância da estrela.

Se  $L = 4L_0$  e  $d = 4d_0$ , então:

$$F = \frac{4L_0}{4\pi(4d_0)^2} = \frac{4}{16} \frac{L_0}{4\pi d_0^2} = 0,25F_0$$

11) Uma certa ocular proporciona uma magnificação, ou ampliação  $A$ , de 60 vezes quando usada em um telescópio de razão focal  $F/10$  e objetiva de 150 mm de diâmetro.

Assinale a opção que traz qual será a magnificação proporcionada pela mesma ocular se usada com um telescópio de razão focal  $F/15$  e objetiva de 100 mm de diâmetro.

a) 60 X

b) 75 X

c) 10 X

d) 150 X

e) 15 X

Resposta: a) 60 X

A distância focal  $F$  do telescópio será:

$$\frac{F}{10} = 150 \text{ mm} \rightarrow F = 1500 \text{ mm}$$

A magnificação, ou ampliação, de um telescópio é a razão entre a distância focal  $F$  do telescópio e a distância focal  $f$  da ocular. Portanto:

$$A = \frac{F}{f} = 60 \rightarrow f = \frac{1500 \text{ mm}}{60} = 25 \text{ mm}$$

Do mesmo modo, a distância focal  $F$  do segundo telescópio será:

# GABARITO COMENTADO

## Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica

$$\frac{F}{15} = 100 \text{ mm} \rightarrow F = 1500 \text{ mm}$$

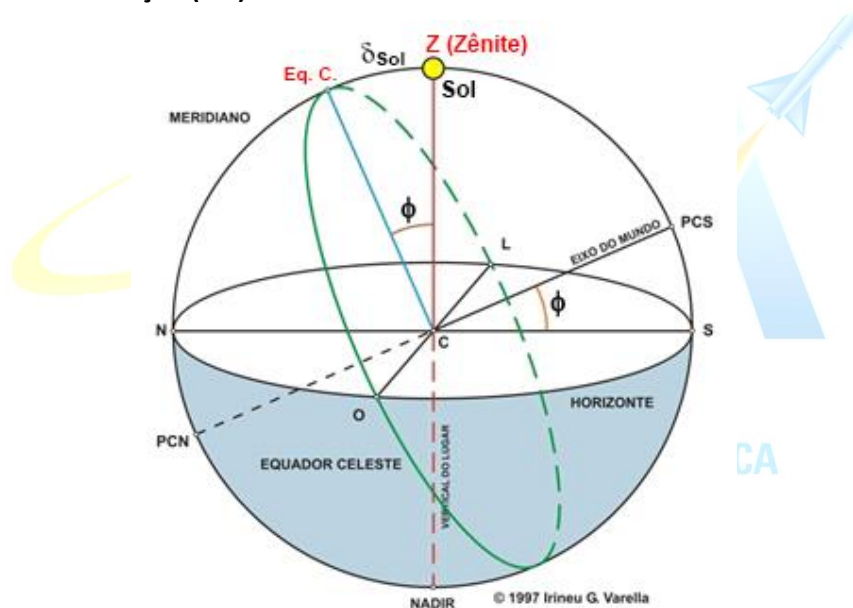
A magnificação será a mesma do primeiro telescópio:

$$A = \frac{F}{f} = \frac{1500 \text{ mm}}{25 \text{ mm}} = 60$$

12) O esquema a seguir traz a Esfera Celeste e a geometria da passagem zenital do Sol, ou seja, ele está passando a pino ao meio-dia solar verdadeiro. No desenho, PCN e PCS são respectivamente o Polo Celeste Norte e o Polo Celeste Sul.

As estrelas que vemos à noite têm posições praticamente fixas no céu umas com relação às outras (exceto pelos efeitos secundários de aberração, paralaxe e movimento próprio). O Sol, contudo, tem um movimento aparente por entre as estrelas de cerca de  $1^\circ$  por dia. Portanto, suas coordenadas, Ascensão Reta ( $AR_{\text{Sol}}$ ) e Declinação ( $\delta_{\text{Sol}}$ ) variam continuamente. Neste problema, porém, vamos considerá-las constantes ao longo de um dia.

Sendo assim, podemos dizer que no dia **1º de dezembro de 2023** as coordenadas do Sol são: **Ascensão Reta ( $AR_{\text{Sol}}$ ) = 16h 30min** e **Declinação ( $\delta_{\text{Sol}}$ ) =  $-22^\circ 00'$** .



Assinale a opção que traz a cidade em que se observará o Sol no Zênite neste dia.

- a) Cidade de Itaporanga/RJ (Latitude  $22^\circ 00' \text{ S}$ , Longitude  $41^\circ 29' \text{ O}$ )
- b) Cidade de Keyjavik, na Islândia (Latitude  $64^\circ 08' \text{ N}$ , Longitude  $22^\circ 00' \text{ O}$ )
- c) Cidade de Boa Sorte/MG (Latitude  $16^\circ 30' \text{ S}$ , Longitude  $40^\circ 14' \text{ O}$ )
- d) Cidade de Madama, no Níger (Latitude  $22^\circ 00' \text{ N}$ , Longitude  $13^\circ 36' \text{ L}$ )
- e) Cidade de Piedra de Letra, no México (Latitude  $16^\circ 30' \text{ N}$ , Longitude  $97^\circ 25' \text{ O}$ )

**Resposta: a) Cidade de Itaporanga/RJ (Latitude  $22^\circ 00' \text{ S}$ , Longitude  $41^\circ 29' \text{ O}$ )**

Pelo esquema, vemos que a cidade precisa ter Latitude igual à Declinação do Sol para que o Sol passe pelo seu zênite.

# GABARITO COMENTADO

## Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica

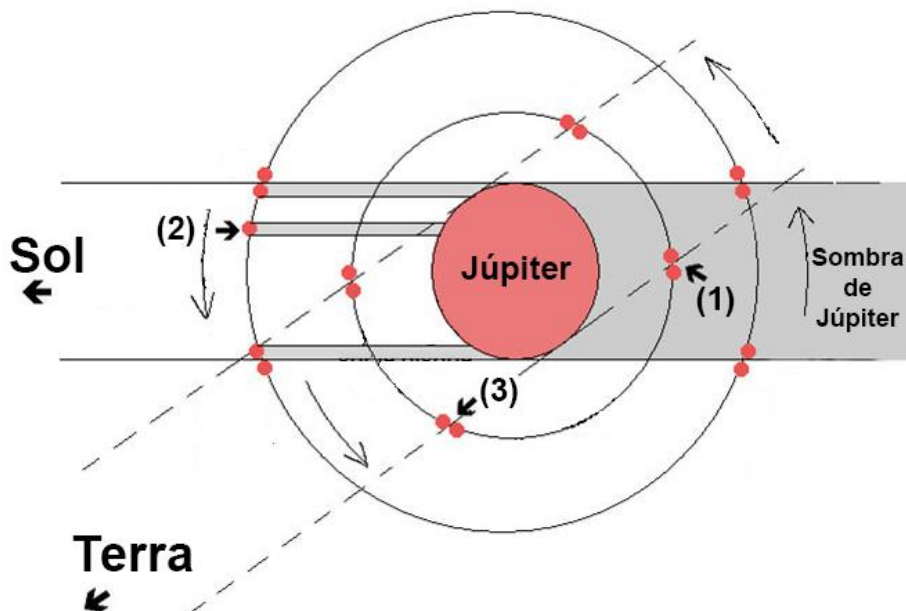
Ou seja, um local precisa ter latitude  $-23,5^\circ \leq \phi \leq +23,5^\circ$ , para que o Sol, em algum momento do ano, passe pelo zênite do local.

A longitude do local não importa, neste caso.

13) Quando o Sol está no plano orbital de um satélite de Júpiter, a sombra do planeta pode eclipsar o satélite ou a sombra do satélite pode cruzar o disco do planeta. Esses eventos são chamados de **eclipse do satélite** e **trânsito da sombra**, respectivamente.

Quando a Terra está no plano orbital de um satélite de Júpiter, um observador terrestre pode ver o satélite sendo ocultado pelo disco do planeta ou o satélite transitando pelo disco do planeta. Esses eventos são chamados de **ocultação do satélite** e **trânsito do satélite**, respectivamente.

A figura a seguir traz um esquema, fora de escala, destes fenômenos para dois satélites galileanos.



Assinale a opção que traz os nomes corretos dos respectivos fenômenos marcados com os números de 1 a 3.

- a) (1) Começo da ocultação do satélite; (2) Trânsito da sombra; (3) Fim do trânsito do satélite.
- b) (1) Começo do eclipse do satélite; (2) Trânsito da sombra; (3) Começo da ocultação do satélite.
- c) (1) Começo da ocultação do satélite; (2) Começo do Trânsito da sombra; (3) Fim do trânsito da sombra.
- d) (1) Fim do trânsito do satélite; (2) começo do trânsito do satélite; (3) Fim do trânsito da sombra.
- e) (1) Começo do eclipse do satélite; (2) Eclipse do satélite; (3) Começo do trânsito do satélite.

Resposta: a) (1) Começo da ocultação do satélite; (2) Trânsito da sombra; (3) Fim do trânsito do satélite.

Comentários:

Em (1) temos o começo da ocultação do satélite não observável, pois o satélite já está eclipsado.

Em (2) temos a sombra do satélite transitando pelo disco do planeta.

Em (3), do ponto de vista da Terra, o satélite acaba de sair da frente do disco do planeta.

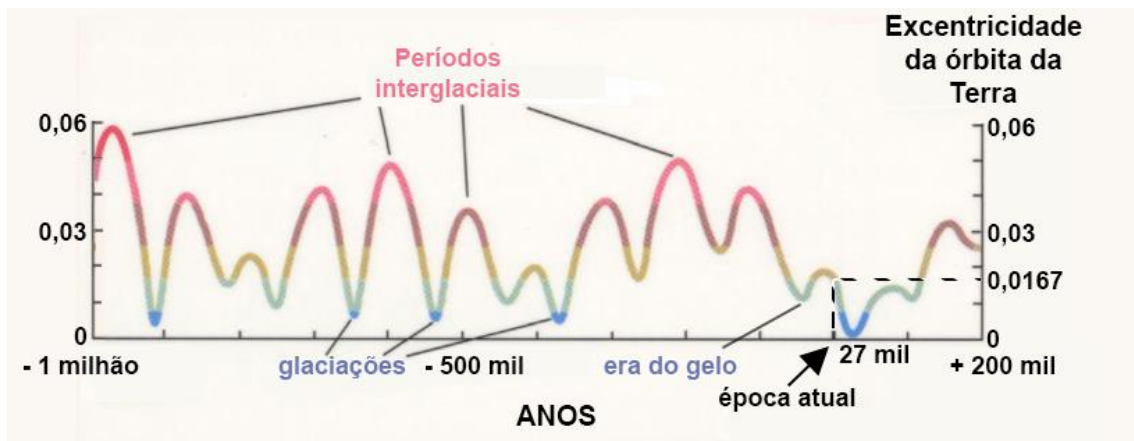
## GABARITO COMENTADO

### Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica

14) A Mecânica Celeste fornece, com certa precisão, a evolução das órbitas planetárias durante períodos muito longos, da ordem de vários milhões de anos. Verifica-se assim que a excentricidade da órbita da Terra sofre grandes variações formadas por muitos termos periódicos, os mais importantes dos quais tendo períodos de cerca de 100.000 anos e de 400.000 anos.

Os trabalhos do Instituto de Mecânica Celeste e Computação de Efemérides (IMCCE), de Paris, desde a década de 1970, confirmaram definitivamente a hipótese astronômica das variações climáticas na Terra durante a Era Quaternária. Os paleoclimatologistas mostram, de fato, a correlação entre as mudanças nos elementos da órbita da Terra e as principais glaciações do Quaternário. Uma órbita quase circular da Terra corresponde a uma glaciação, ou uma era do gelo, e uma órbita mais elíptica a um período mais quente. A precisão do “relógio” da Mecânica Celeste fornece à paleoclimatologia as datas das glaciações e dos períodos interglaciais.

O gráfico a seguir traz o resultado dos estudos do IMCCE sobre a variação da excentricidade da órbita da Terra, de 1 milhão de anos atrás até daqui a 200 mil anos.



Baseado nas informações fornecidas no gráfico, avalie as afirmações a seguir e assinale a opção correta.

I – Se as condições atmosféricas da Terra não mudarem, espera-se uma próxima glaciação daqui a 27 mil anos.

II – Considerando que o semi-eixo maior da órbita da Terra não mudou, a diferença entre o afélio e o periélio já chegou a ser cerca de 18 milhões de km, nos últimos 1 milhão de anos.

III – Daqui a 27 mil anos, quase não teremos mais diferença entre afélio nem periélio.

IV – O gráfico mostra que o aquecimento global atual, identificado pelos cientistas, é um fenômeno natural.

Dado: semi-eixo maior da órbita da Terra  $a = 1,5 \times 10^8$  km

- a) Apenas as afirmações I, II e III estão corretas.
- b) Apenas as afirmações I e III estão corretas.
- c) Apenas as afirmações II e IV estão corretas.
- d) Apenas a afirmação III está correta.
- e) Todas as afirmações estão corretas.

Resposta: a) Apenas as afirmações I, II e III estão corretas.

Comentários:

- A afirmação I está CORRETA, pois vemos no gráfico que o próximo período glacial esperado será daqui a 27 mil anos, quando a excentricidade da órbita da Terra for zero ou muitíssimo próximo disso.

# GABARITO COMENTADO

## Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica

- A afirmação II está CORRETA. O maior valor da excentricidade da órbita da Terra pode ser lido no gráfico como  $e = 0,06$ .

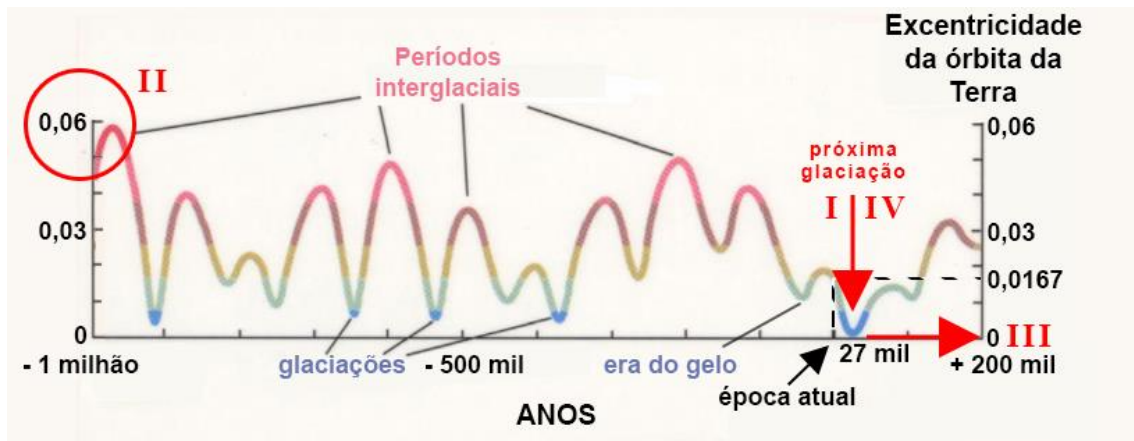
O raio da órbita no afélio pode ser calculado como:  $r_a = a(1 + e) \rightarrow r_a = 1,5 \times 10^8 \times 1,06 = 1,59 \times 10^8$  km

O raio da órbita no periélio pode ser calculado como:  $r_p = a(1 - e) \rightarrow r_p = 1,5 \times 10^8 \times 0,94 = 1,41 \times 10^8$  km

A diferença entre  $r_a$  e  $r_p$  será:  $1,59 \times 10^8$  km -  $1,41 \times 10^8$  km =  $1,8 \times 10^8$  km = 18.000.000 km

- A afirmação III está CORRETA, pois vemos no gráfico que daqui a 27 mil anos a excentricidade da órbita da Terra será zero ou muitíssimo próximo disso, fazendo com que não exista diferença significativa entre afélio e periélio. Esta diferença, atualmente é de 5 milhões de km.
- A afirmação IV está INCORRETA, pois vemos no gráfico que estamos vivenciando um decréscimo do valor da excentricidade da órbita da Terra e que a Terra deverá estar se dirigindo para uma nova glaciação.

Como o “Aquecimento Global” é uma realidade, este fenômeno decorre da influência humana no meio-ambiente.



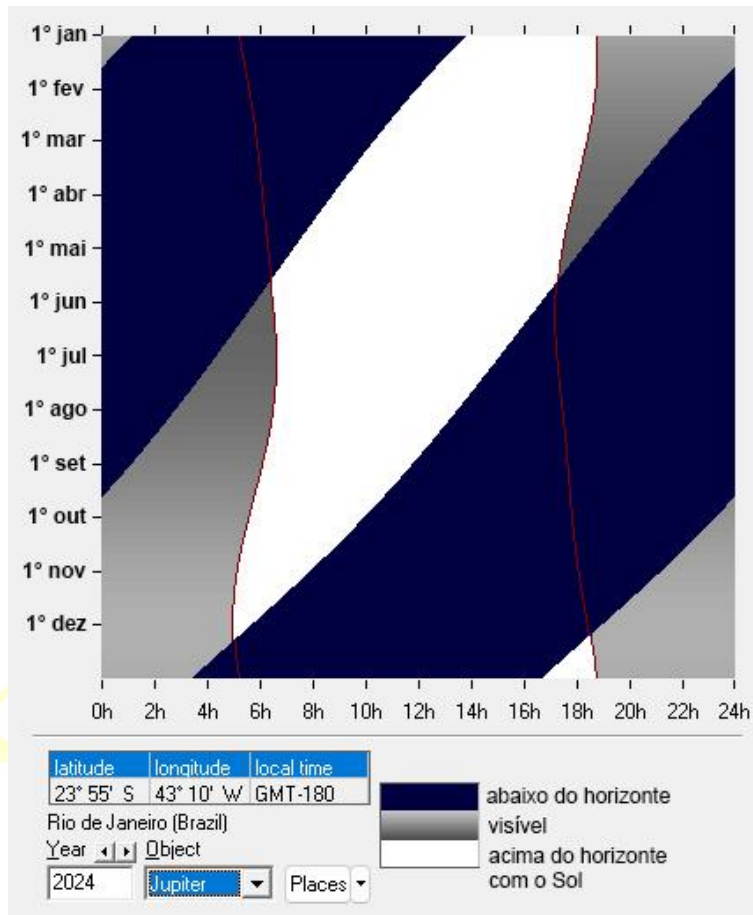
OLIMPIÁDA BRASILEIRA DE  
ASTRONOMIA E ASTRONÁUTICA

## GABARITO COMENTADO

### Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica

15) O gráfico a seguir apresenta a visibilidade diária (eixo das abscissas) do planeta Júpiter ao longo do ano de 2024 (eixo das ordenadas), para o Rio de Janeiro/RJ.

No gráfico, o tom azul escuro significa que o planeta está abaixo do horizonte, o tom cinza significa que o planeta está visível no céu noturno e o branco significa que o planeta está acima do horizonte juntamente com o Sol.



Agora que você já sabe como ler as informações no gráfico, avalie as afirmações a seguir e assinale a opção correta.

I – Na primeira semana de janeiro, Júpiter estará se pondo antes das 2h da manhã e estará visível no céu noturno, novamente, quando o Sol se pôr.

II – A partir de 1º de agosto, Júpiter já estará abaixo do horizonte quando for meio-dia.

III – Em meados de maio, Júpiter estará em conjunção com o Sol.

IV – Em 1º de abril, Júpiter estará visível no céu noturno próximo ao horizonte Leste.

a) Somente as afirmações I e III estão corretas.

b) Somente a afirmação I está correta.

c) Somente as afirmações II e IV estão corretas.

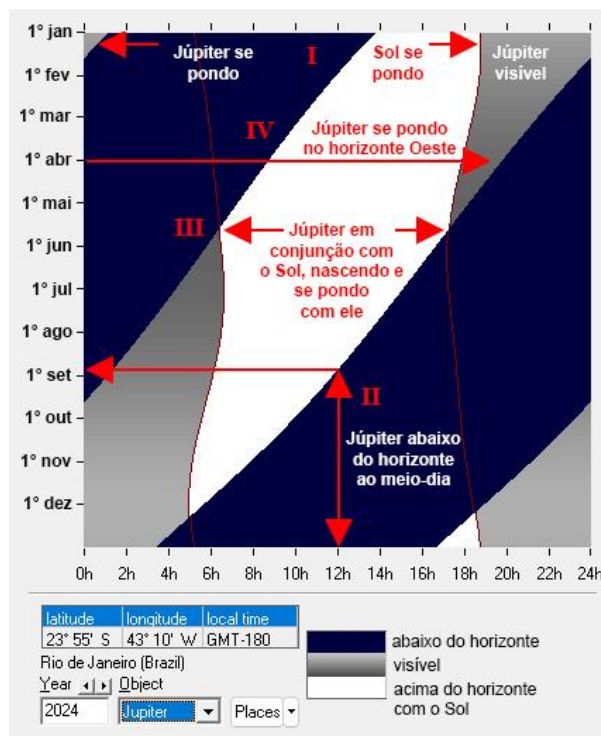
d) Somente a afirmação IV está incorreta.

e) Somente as afirmações II e III estão corretas

Resposta: a) Somente as afirmações I e III estão corretas.

# GABARITO COMENTADO

## Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica



A afirmação I **está correta**, pois o gráfico mostra Júpiter se pondo antes das 2 h da manhã no início do ano e à medida que os dias avançam, Júpiter se põe cada dia mais cedo até meados de janeiro. O gráfico também mostra que no mesmo período, quando o Sol se põe, Júpiter já está acima do horizonte.

A afirmação II **não está correta**, pois vemos no gráfico que só no final de agosto Júpiter já terá se posto quando for meio-dia.

A afirmação III **está correta**, pois vemos no gráfico que entre maio e junho Júpiter nasce e se põe com o Sol, portanto em conjunção.

A afirmação IV **não está correta**, pois vemos no gráfico que em 1º de abril, quando Júpiter estiver visível depois que o Sol se pôr, ele também estará próximo de se pôr e, portanto, no horizonte Oeste.

16) Quando olhamos para um céu bem límpido, afastado dos grandes centros urbanos, percebemos que as estrelas têm cores diferentes. Na imagem a seguir temos um exemplo de algumas estrelas bem conhecidas e suas cores.



# GABARITO COMENTADO

## Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica

Assinale a opção que traz o que as cores das estrelas revelam para nós.

- a) Apenas sua temperatura superficial.
- b) Sua luminosidade e magnitude aparente.
- c) Sua composição química.
- d) Apenas sua magnitude absoluta.
- e) Sua massa e temperatura superficial.

Resposta: a) Apenas sua temperatura.

Comentário: Estrelas apresentam um amplo domínio de cores, que refletem a temperatura em suas atmosferas em concordância com a **Lei de Wien**. A cor de uma estrela é determinada pela parte de seu espectro visível que mais contribui para sua luminosidade total.

Estrelas azuis são as mais quentes, as vermelhas as mais frias. No caso de estrelas, "frio" significa temperaturas da ordem de 2.000 K ou 3.000 K, umas 15 vezes mais quente do que nosso forno de casa. Estrelas azuis têm temperaturas de 20.000 K ou mais. O Sol é uma estrela amarela, de temperatura intermediária, próxima a 6.000 K.

17) A paralaxe heliocêntrica é usada para medir a distância das estrelas mais próximas. À medida que a Terra gira em torno do Sol, podemos medir a direção de uma estrela em relação às estrelas de fundo quando a Terra está de um lado do Sol, e tornamos a fazer a medida seis meses mais tarde, quando a Terra está do outro lado do Sol. A metade do desvio total na posição da estrela corresponde à paralaxe heliocêntrica.

Considere que uma estrela **A** tem uma paralaxe  $p_A = 0,01''$  e uma estrela **B** tem uma paralaxe  $p_B = 0,04''$  e que a estrela **B** nos parece **16 vezes** mais brilhante que a estrela **A**.

Assinale a opção que traz a razão entre suas luminosidades.

- a)  $L_A/L_B = 1,00$
- b)  $L_A/L_B = 0,25$
- c)  $L_A/L_B = 4,00$
- d)  $L_A/L_B = 16,00$
- e)  $L_A/L_B = 0,50$

Resposta: a)  $L_A/L_B = 1,0$

Primeiro vamos encontrar as distâncias até nós das estrelas A e B:

$$d_A [pc] = \frac{1}{p_A ['']} \rightarrow d_A = \frac{1}{0,01''} = 100 pc$$

$$d_B [pc] = \frac{1}{p_B ['']} \rightarrow d_B = \frac{1}{0,04''} = 25 pc$$

Da relação entre fluxo, distância e luminosidade, temos:

$$F = \frac{L}{4\pi d^2} \leftrightarrow L = 4\pi d^2 F$$

Se a estrela B é 16 vezes mais brilhante do que a estrela A, então  $F_B = 16 F_A$ .

Equacionando e substituindo-se os valores, temos:

# GABARITO COMENTADO

## Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica

$$\frac{L_A}{L_B} = \frac{4\pi d_A^2 F_A}{4\pi d_B^2 F_B} = \frac{d_A^2 F_A}{d_B^2 16F_A} = \frac{1}{16} \left(\frac{100}{25}\right)^2 = \frac{(4)^2}{16} \rightarrow \frac{L_A}{L_B} = 1$$

18) As raias visíveis no espectro de uma estrela permitem ordenar esses astros em classes de objetos similares. A classificação espectral atualmente em uso é baseada num esquema estabelecido em 1890 (*Harvard Spectral Sequence*). Das mais quentes às mais frias, as estrelas são agrupadas em classes identificadas pelas letras do alfabeto O, B, A, F, G, K e M.

Todas as estrelas do mesmo tipo espectral têm a mesma temperatura superficial. No entanto, existem estrelas de um mesmo tipo espectral que possuem diferentes luminosidades.

Assinale a opção que explica esse fenômeno.

- a) Aquelas com maior luminosidade têm maior raio.
- b) Aquelas com maior luminosidade têm sua luz mais deslocada para o vermelho.
- c) Aquelas com menor luminosidade estão a uma distância maior.
- d) Aquelas com maior luminosidade têm sua luz mais deslocada para o azul.
- e) A Lei de Wien não se aplica às estrelas do mesmo tipo espectral.

Resposta: a) Aquelas com maior luminosidade têm maior raio.

Comentário: A luminosidade  $L$  de uma estrela pode ser expressa em função de seu tamanho e de sua temperatura superficial:  $L = 4\pi R^2 \sigma T^4$ , onde  $R$  é o raio da estrela (aproximando-a como uma esfera),  $T$  a temperatura nas suas camadas externas (chamada de fotosfera) e  $\sigma$  é uma constante chamada de *Constante de Stefan-Boltzmann*.

Se a luminosidade de uma estrela é maior do que de uma outra, mas suas temperaturas superficiais são iguais, então o raio da primeira é maior do que o raio da segunda.

$$L_1 > L_2 \leftrightarrow 4\pi R_1^2 \sigma T^4 > 4\pi R_2^2 \sigma T^4 \rightarrow R_1^2 > R_2^2 \rightarrow R_1 > R_2$$

19) Segundo Isaac Newton (1643-1727), a luz era composta por partículas corpusculares, pequenas esferas que colidiam com as superfícies e sofriam reflexão e refração. Anos mais tarde com os estudos do eletromagnetismo e as contribuições de James Clerk Maxwell (1831-1879), a luz foi definida como uma **onda eletromagnética**, isto é, uma combinação de campos elétricos e magnéticos variáveis que se propagam no espaço.

Quando uma grandeza é encontrada apenas em múltiplos inteiros de uma quantidade elementar (denominada de quantum), diz-se que ela é quantizada. No século XX, Albert Einstein (1879-1955) propôs que a **energia da radiação eletromagnética** deveria ser quantizada e a quantidade elementar que definia a luz era o fóton, isto é,  $E = hf$ , onde  $E$  é a energia do fóton,  $h$  é a constante de Planck e  $f$  a frequência da radiação.

Se um fóton **A** tem energia mais baixa que um fóton **B**, como seus comprimentos de onda  $\lambda$  estão relacionados?

- a)  $\lambda_A > \lambda_B$
- b)  $\lambda_A \geq \lambda_B$
- c)  $\lambda_A < \lambda_B$
- d)  $\lambda_A \leq \lambda_B$

# GABARITO COMENTADO

## Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica

e)  $\lambda_A = \lambda_B$

Resposta: a)  $\lambda_A > \lambda_B$

Comentários: Os fótons são as partículas que compõem a luz e podem ser definidos como pequenos “pacotes” que transportam a energia contida nas radiações eletromagnéticas. Segundo Einstein, um fóton deve possuir uma quantidade fixa de energia, definida pela seguinte equação:

$$E = hf$$

Nessa equação,  $E$  é a energia pertencente ao fóton,  $f$  é a frequência da radiação eletromagnética (Hz) e  $h$  é a Constante de Planck, que possui valor de  $6,63 \times 10^{-34}$  J·s ou  $4,14 \times 10^{-15}$  eV·s.

Se  $E_A < E_B$ , então  $hf_A < hf_B$ .

Como para o fóton  $f \cdot \lambda = c$  (velocidade da luz), temos que  $f = c/\lambda$ .

Substituindo:

$$\frac{hc}{\lambda_A} < \frac{hc}{\lambda_B} \rightarrow \frac{1}{\lambda_A} < \frac{1}{\lambda_B} \rightarrow \left(\frac{1}{\lambda_A}\right)^{-1} < \left(\frac{1}{\lambda_B}\right)^{-1} \rightarrow \lambda_A > \lambda_B$$

20) Johannes Kepler (1571 — 1630) foi um astrônomo, astrólogo e matemático alemão. Considerado figura chave da revolução científica do século XVII, é, todavia, célebre por ter formulado as três leis fundamentais da Mecânica Celeste, denominadas Leis de Kepler. Essas obras também forneceram uma das bases para a teoria da Gravitação Universal de Isaac Newton (1643-1727).

As Leis de Kepler relacionam:

- I – Força com massa e aceleração
- II – Áreas orbitais com períodos orbitais
- III – Períodos orbitais com raios orbitais
- IV – Trabalho com força e deslocamento

a) Apenas II e III

b) Apenas II, III e IV

c) Apenas II

d) Apenas III

e) Apenas I, II e III

Resposta: a) Apenas II e III

Comentários:

1ª Lei de Kepler: lei das órbitas

A primeira Lei de Kepler afirma que a órbita dos planetas que giram em torno do Sol não é circular, mas sim elíptica. Além disso, o Sol sempre ocupa um dos focos dessa elipse.

I – Incorreto.

A lei que relaciona força com massa e aceleração é a 2ª Lei de Newton.

II – Correto.

2ª Lei de Kepler: Lei das áreas

## GABARITO COMENTADO

### Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica

A segunda lei de Kepler afirma que a linha imaginária que liga o Sol aos planetas que o orbitam varre áreas em intervalos de tempo iguais. Em outras palavras, essa lei afirma que a velocidade com que as áreas são varridas é igual, isto é, a velocidade areolar das órbitas é constante.

III – Correto.

3ª Lei de Kepler: lei dos períodos ou lei da harmonia

A Terceira Lei de Kepler afirma que o quadrado do período orbital ( $P^2$ ) de um planeta é diretamente proporcional ao cubo de sua distância média ao Sol ( $R^3$ ). Além disso, a razão entre  $P^2$  e  $R^3$  tem exatamente a mesma magnitude para todos os astros que orbitam essa estrela.

IV – Incorreto.

Trabalho é uma grandeza física que mede a transferência ou a transformação da energia. A unidade de medida dessa grandeza escalar é o joule. Além disso, o trabalho que é exercido por uma força equivale à variação de energia cinética, bem como da energia potencial atribuída a um corpo ou sistema de corpos.

