OLIMPÍADA BRASILEIRA DE ASTRONOMIA E ASTRONÁUTICA

PROVA P2

SELEÇÃO DAS EQUIPES BRASILEIRAS

OLIMPÍADAS INTERNACIONAIS DE 2026

INSTRUÇÕES PARA APLICAÇÃO E CORREÇÃO DA PROVA P2 DAS SELETIVAS INTERNACIONAIS 2026

DIA DA PROVA. A prova P2 das Seletivas Internacionais deverá ser realizada individualmente e presencialmente na escola, sob supervisão do professor responsável, somente na sexta-feira, dia **30/10/2026**, de forma online ou impressa (conforme previamente escolhido pelo professor). Atenção: mesmo "online" deve ser sob supervisão do professor e da escola.

DURAÇÃO DA PROVA. O tempo total de realização da prova é de **2 horas**. Organize seu tempo e procure não permanecer excessivamente em uma única questão. Atenção para que nenhum aluno inicie a prova depois que algum saiu dela. É recomendável que o professor informe os marcos de horário importante como metade do tempo de prova, faltam 30 minutos, faltam 15 minutos, etc, a fim de que os alunos possam organizar seu tempo para finalizar a prova e marcação de cartão resposta (para os que optarem pela modalidade impressa).

CONTEÚDO E DINÂMICA DAS PROVAS. Todas as provas possuem **20 questões**. Cada questão vale **1,0 ponto**. Para os alunos que realizarão a prova online, estes terão igual condição diante da prova quanto os alunos de prova impressa, ou seja, será permitido passar pelas questões, voltar nelas, fazer na ordem desejada, trocar alternativa já marcada, até que seja finalizada a prova e então não mais poderá ser trocada. Já para os alunos que fizerem a prova impressa, a marcação considerada final será a que estiver marcada no **CARTÃO RESPOSTA.**

PROIBIÇÕES. Durante a realização da prova, **NÃO** é permitida a consulta a materiais externos, incluindo livros, apostilas, anotações, sites de consulta, aplicativos, inteligência artificial ou qualquer outro recurso externo ao ambiente da prova. Também não é permitido nenhuma resolução de prova em grupos ou equipes. É altamente recomendável que durante a realização da prova, os alunos deixem seus celulares desligados e sobre a mesa do professor supervisor, a fim de evitar que fotografem a prova ou que o utilizem para benefício próprio.

MATERIAIS PERMITIDOS. São permitidos apenas papel para rascunho, lápis, caneta, borracha, transferidor, régua e calculadora científica não gráfica e não programável.

AJUDA NA PROVA OU ANTES DELA. Professores devem se **ABSTER** de tentar ajudar, de qualquer modo, os seus alunos a escolherem a alternativa correta no dia da prova e **NÃO DEVE** ler a prova antes do dia 30/10/26 (no caso da versão impressa) para fazer "questionários" ou "revisões" aos alunos já sabendo as perguntas das provas. Este procedimento é absolutamente antiético, ilegal e passível de desclassificação da escola toda.

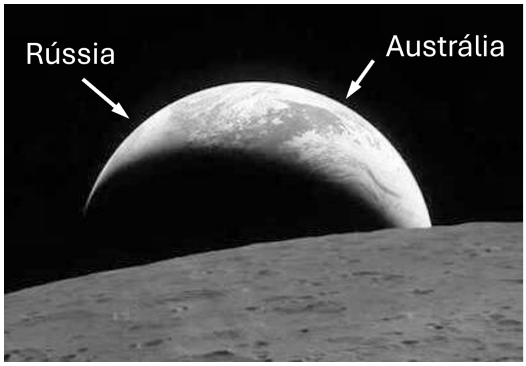
CARTÃO RESPOSTA. Para a modalidade impressa, o preenchimento do cartão resposta é obrigatório. Os alunos devem PREENCHER INTEIRAMENTE as "**bolinhas**" do cartão resposta com lápis ou caneta preta ou caneta azul. O cartão resposta poderá ser genérico ou personalizado (onde o nome do aluno já vem impresso no cartão e a correção é facilitada para o professor).

CORREÇÃO DAS PROVAS. As provas online serão corrigidas de forma automática pelo sistema, sem intervenção do professor. Já as provas impressas deverão ser corrigidas no **período de 03 a 13 de novembro**. Não haverá prorrogação neste prazo. Para correção da prova impressa, o professor deverá utilizar a ferramenta de correção, que estará disponível no ambiente do professor em **app.oba.org.br**, da mesma forma como foi feita com a prova da OBA em maio de 2026.

NOTAS DA PROVA. As notas serão disponibilizadas no ambiente do professor, a partir do dia **03 de novembro de 2026.**

ENTREGA DA PROVA. Ao final da prova, os alunos que tiverem feito a prova impressa, deverão devolver o caderno de prova, juntamente com o cartão resposta, ao professor responsável, não podendo leva-lo para casa em hipótese alguma. Este deverá permanecer sob responsabilidade da escola até dia **31/12/2026**.

1. A figura ao lado representa a Terra, fotografada a partir da Lua. Na imagem, é possível observar algumas faixas do território da Rússia e da Austrália, conforme indicado. Com base na imagem e em seus conhecimentos, qual seria a fase da Lua, se vista a partir da Terra, no instante em que a fotografia foi feita?
(**Dica:** A Rússia fica no Hemisfério Norte e a Austrália no Hemisfério Sul)



a) Gibosa minguante

b) Menisco minguante

c) Nova

d) Menisco crescente

e) Gibosa crescente



Solução: Pela orientação da imagem, a lua está se movendo em direção à fase de nova, ou seja, é uma lua minguante. Como a Terra está em fase de Menisco, a lua deve estar na fase oposta, que é gibosa. Ou seja, trata-se de uma gibosa minguante.

Gabarito: **Alternativa a)**

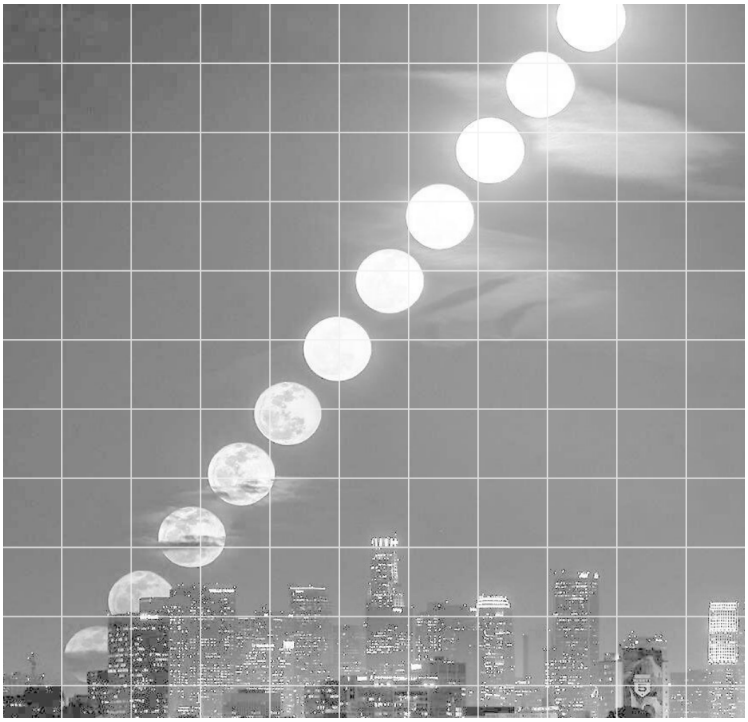
Saiba mais: Uma fase descreve a fração iluminada do disco que enxergamos, e não uma mudança no formato do astro. Chamamos de *menisco* a fase em que menos da metade do disco aparece iluminada, formando uma faixa semelhante a uma foice. Na fase *gibosa*, mais da metade está iluminada, mas o disco ainda não está completamente cheio.

As fases da Terra vista da Lua e da Lua vista da Terra são aproximadamente complementares: quando vemos a Lua cheia, um observador na Lua vê a Terra nova; quando vemos a Lua nova, ele vê a Terra cheia. Por isso, uma Terra em menisco corresponde a uma Lua gibosa.

Para distinguir crescente de minguante, também precisamos da orientação da iluminação. As indicações da Rússia e da Austrália permitem identificar os hemisférios e orientar a imagem. Ao colocar mentalmente o norte terrestre para cima, a parte iluminada fica à direita, correspondendo à Terra crescente vista da Lua e, portanto, à Lua minguante vista da Terra. Não basta olhar para a direita ou para a esquerda de uma fotografia sem antes verificar sua orientação.

Quer saber mais? Acesse esta questão no site da Saperientia e clique na bolinha de IA ao lado dela. A IA já conhece o enunciado e as alternativas e pode ajudar você a entender a solução e esclarecer dúvidas.

2. A fotomontagem abaixo mostra uma sequência de fotografias da Lua nascente obtidas por um astrofotógrafo ao longo de uma mesma noite. Considere que a declinação da Lua é $0°$.

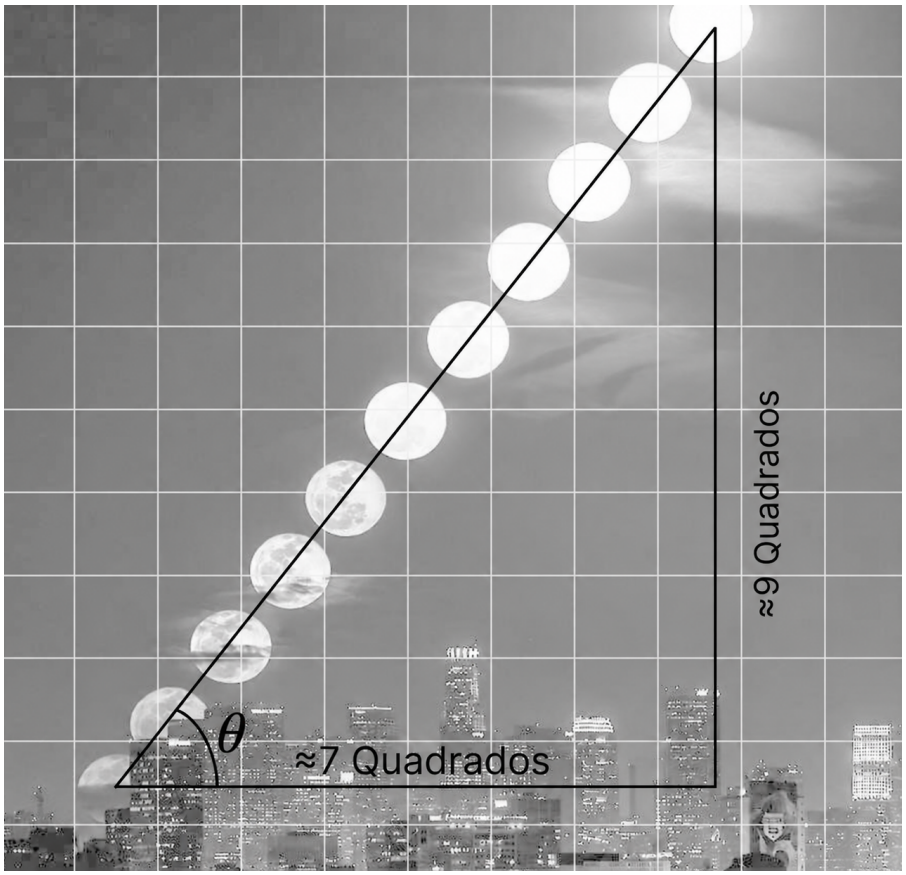


Com base nas informações fornecidas, assinale a opção que traz a latitude geográfica aproximada do astrofotógrafo quando fez esta sequência.

a) $40°$ N
b) $40°$ S
c) $60°$ N
d) $60°$ S
e) Não é possível determinar a latitude apenas com as informações fornecidas.

Solução: Pelo quadriculado da imagem, podemos estimar que a trajetória da Lua sobe aproximadamente 9 quadrados enquanto avança 7 quadrados na horizontal. Assim, sendo θ o ângulo entre a horizontal e a trajetória da Lua, indicado no triângulo retângulo abaixo, temos:

$$\tan\theta \approx \left(\frac{9}{7}\right) \to \theta \approx \arctan\left(\frac{9}{7}\right) \longrightarrow \theta \approx 52°$$



Como a trajetória aparente da Lua é paralela ao equador celeste, o ângulo entre essa trajetória e o horizonte vale $90^\circ - |\varphi|$, em que φ é a latitude do observador. Portanto, obtemos que

$$|\varphi| \approx 90^\circ - 52^\circ = 38^\circ$$

Além disso, como a Lua nasce no leste e sua trajetória está inclinada para a direita, conclui-se que o polo celeste elevado é o Polo Norte Celeste. Portanto, o observador encontra-se no Hemisfério Norte.

$$\boxed{\varphi \approx 38^\circ \text{ N}}$$

Como a contagem dos quadrados é aproximada, a alternativa mais próxima é 40° N.

Gabarito: **Alternativa a) Saiba mais:** A declinação indica quanto um astro está ao norte ou ao sul do equador celeste. Quando sua declinação é 0°, ele está sobre esse equador. Perto do horizonte leste, a inclinação de sua trajetória aparente depende da latitude do observador: no Equador terrestre, a trajetória é aproximadamente vertical; em latitudes de maior módulo, a trajetória fica menos vertical, formando um ângulo menor com o horizonte.

Nesta situação, o ângulo θ entre a trajetória e o horizonte satisfaz

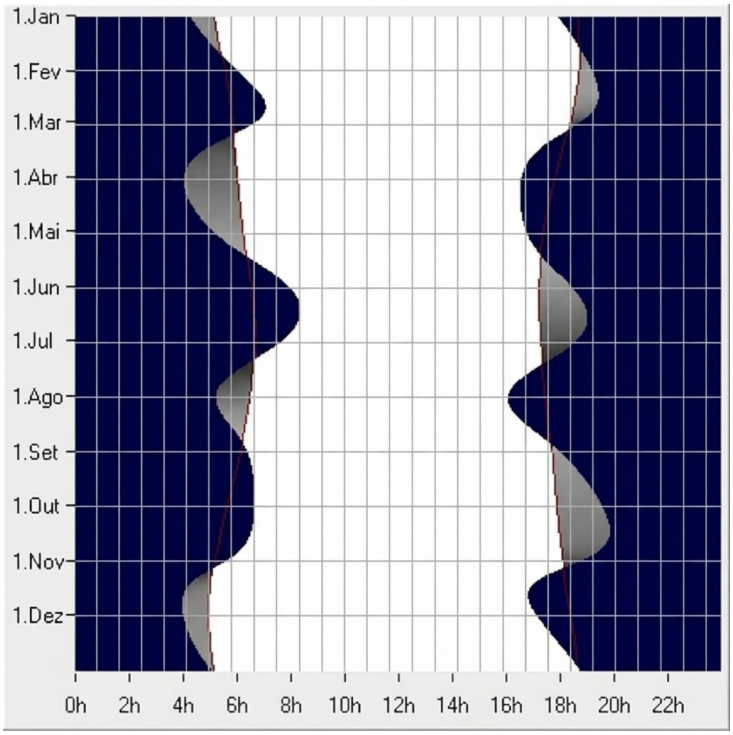
$$\theta = 90^\circ - |\varphi|,$$

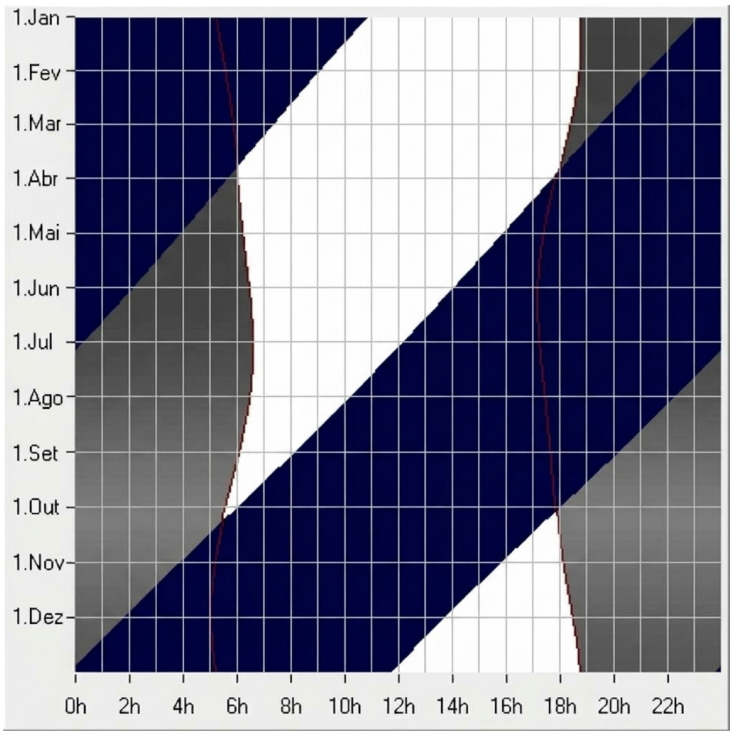
em que φ é a latitude. O quadriculado permite construir um triângulo retângulo: o deslocamento vertical e o horizontal são seus catetos, de modo que $\tan\theta$ é a razão entre eles.

O módulo da latitude vem da inclinação; o hemisfério vem do sentido da trajetória. Olhando para o leste, temos o sul à direita e o norte à esquerda. Assim, a trajetória que sobe inclinada para a direita, como na imagem, indica um observador no Hemisfério Norte. Essa análise considera o movimento aparente dominado pela rotação terrestre durante a sequência.

Quer saber mais? Acesse esta questão no site da Saperientia e clique na bolinha de IA ao lado dela. A IA já conhece o enunciado e as alternativas e pode ajudar você a entender a solução e esclarecer dúvidas.

3. Os gráficos a seguir representam a visibilidade diária durante o ano de 2026 (eixo das ordenadas) de dois planetas vistos do Rio de Janeiro/RJ.





Nos gráficos, o tom escuro significa que o planeta está abaixo do horizonte, o tom cinza claro 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, com as informações presentes no gráfico avalie as afirmações a seguir e assinale a opção correta.

I. O gráfico da esquerda pode representar o planeta Mercúrio, enquanto o da direita pode representar Saturno.

II. Em fevereiro, o planeta da esquerda poderá ser visto próximo ao horizonte leste após o Sol se pôr.

III. Em algum dia de outubro, o planeta da direita estará em oposição em relação ao Sol.

IV. O dia do ano que o planeta da esquerda pode ser visto em seu horário mais cedo possível é em 1° de agosto.

a) Apenas as afirmativas I e II são verdadeiras.

b) Apenas as afirmativas I e III são verdadeiras.

c) Apenas as afirmativas I, III e IV são verdadeiras.

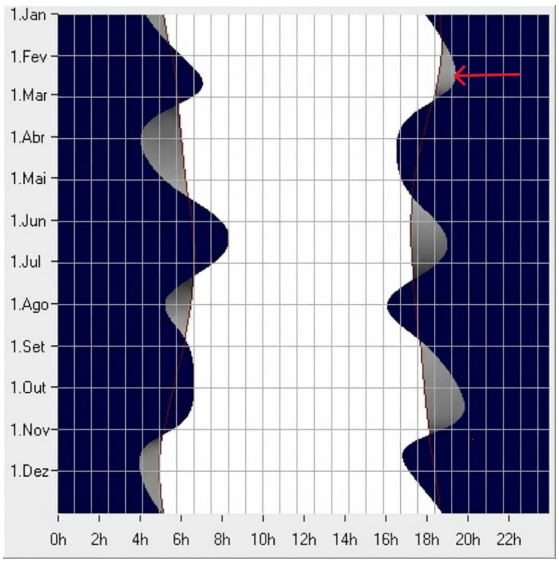
d) Apenas as afirmativas II e III são verdadeiras.

e) Apenas as afirmativas II e IV são verdadeiras.

Solução:

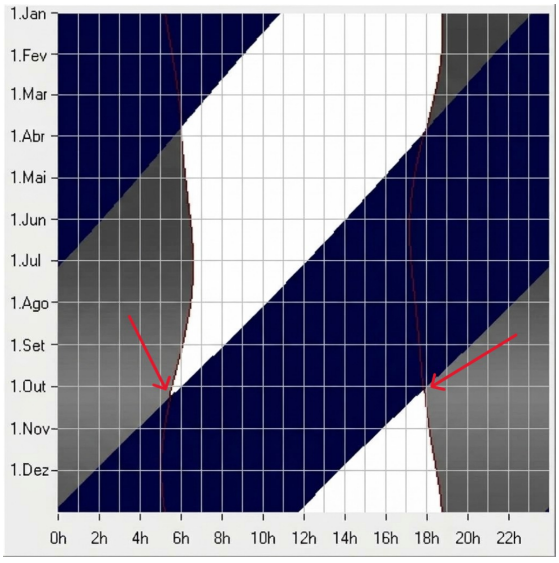
I. O gráfico da esquerda pode representar o planeta Mercúrio, enquanto o da direita pode representar Saturno. **Verdadeira**. A grande coluna branca presente no gráfico da esquerda centrada no período diurno indica que o astro permanece próximo do Sol durante todo o ano, ficando visível somente em janelas crepusculares, notadas como regiões cinzas junto ao nascer e ao pôr do Sol, característica de planetas internos como Mercúrio. Enquanto que no gráfico da direita, as faixas cinzas atravessando a região noturna, inclusive próximas da meia-noite em parte do ano, revelam épocas de oposição, quando o astro fica visível por quase toda a noite. Em outra época, a faixa branca domina, sinal de conjunção com o Sol e ausência de visibilidade noturna, características de planetas externos, como Saturno.

II. Em fevereiro, o planeta da esquerda poderá ser visto próximo ao horizonte leste após o Sol se pôr. **Falsa**.



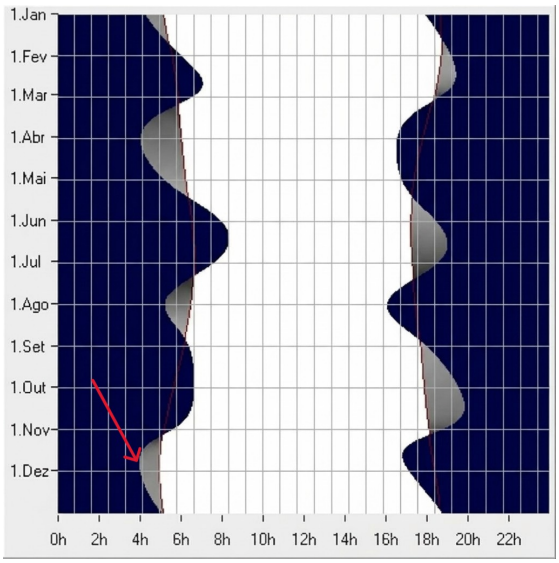
Como, após o pôr do Sol, o planeta também estará próximo de seu poente, ele na verdade estará próximo do horizonte oeste após o Sol se pôr.

III. Em algum dia de outubro, o planeta da direita estará em oposição em relação ao Sol. **Verdadeira**.



Em outubro, existe um dia em que Saturno não terá nenhum momento em que estará visível juntamente com o Sol, marcando que esse é o dia de sua oposição, sendo visível durante todo o momento em que está acima do horizonte,

IV. O dia do ano que o planeta da esquerda pode ser visto no horário mais cedo possível é em 1° de agosto. **Falsa**.



O dia em que Mercúrio poderá ser visto no horário mais cedo possível será próximo de 1° de abril ou dezembro.

Gabarito: **Alternativa b)**

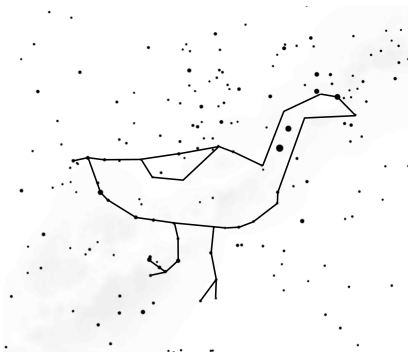
Saiba mais: Para ler esses gráficos, escolha uma data no eixo vertical e percorra horizontalmente os horários daquele dia. A faixa cinza indica quando o planeta está acima do horizonte e o Sol já está abaixo dele. Estar acima do horizonte durante o dia não significa que o planeta será facilmente observável, pois o brilho do céu pode impedir sua identificação.

Mercúrio e Vênus têm órbitas internas à da Terra e, vistos daqui, permanecem relativamente próximos do Sol. Por isso, suas melhores oportunidades de observação ocorrem geralmente no oeste após o pôr do Sol ou no leste antes do nascer do Sol.

Um planeta externo está em *oposição* quando aparece no céu aproximadamente na direção oposta à do Sol. Nessa configuração, nasce por volta do pôr do Sol, cruza o meridiano próximo à meia-noite e se põe por volta do nascer do Sol. Por isso, pode ser observado durante quase toda a noite. Já na *conjunção*, o planeta aparece próximo do Sol no céu, o que dificulta sua observação.

Quer saber mais? Acesse esta questão no site da Saperientia e clique na bolinha de IA ao lado dela. A IA já conhece o enunciado e as alternativas e pode ajudar você a entender a solução e esclarecer dúvidas.

4. A forma como agrupamos as estrelas no céu noturno depende intimamente da cultura e da história de cada povo. Enquanto a astronomia moderna adota as 88 constelações oficiais de herança predominantemente greco-romana, os povos originários do Brasil possuem sua própria fauna celeste. A imagem ao lado representa a Constelação da Ema, uma gigantesca constelação da cultura Tupi-Guarani. Com base na imagem, e em seus conhecimentos, assinale duas constelações que são visíveis na figura.



a) Gêmeos e Vulpecula

b) Cisne e Octante

c) Dragão e Pomba

d) Hydra Fêmea e Ave do Paraíso

e) Escorpião e Cruzeiro do Sul

Solução: Duas constelações visíveis são o Escorpião e o Cruzeiro do Sul, conforme a marcação a seguir.



Gabarito: **Alternativa e)**

Saiba mais: As constelações também expressam a cultura de quem observa o céu. Diferentes povos podem reconhecer figuras distintas usando as mesmas estrelas e regiões celestes. Assim, o desenho da Ema não precisa respeitar as divisões das constelações adotadas pela astronomia moderna: ele pode abranger partes de várias delas, incluindo Escorpião e Cruzeiro do Sul.

Na definição da União Astronômica Internacional, uma constelação é uma região do céu com limites estabelecidos. As 88 regiões oficiais cobrem toda a esfera celeste. Já os desenhos que ligam estrelas são maneiras de reconhecer essas regiões, e podem variar entre mapas.

Além disso, estrelas que parecem vizinhas no céu não necessariamente estão próximas no espaço. Elas podem estar a distâncias muito diferentes de nós, formando um desenho apenas por efeito de perspectiva. Reconhecer uma constelação significa identificar um padrão aparente ou uma região do céu, e não obrigatoriamente um grupo físico de estrelas.

Quer saber mais? Acesse esta questão no site da Saperientia e clique na bolinha de IA ao lado dela. A IA já conhece o enunciado e as alternativas e pode ajudar você a entender a solução e esclarecer dúvidas.

5. Considere um observatório astronômico em uma futura base em Marte, a $1{,}5$ UA do Sol. Sabendo que a paralaxe trigonométrica de uma estrela distante é 5 *mas* (milissegundo de arco), medida da Terra, qual seria a nova paralaxe medida de Marte?

a) $3{,}3$ mas b) 5 mas c) $7{,}5$ mas d) 10 mas e) 15 mas

Solução: A expressão para a paralaxe trigonométrica de uma estrela é:

$$p[''] = \frac{1[\text{UA}]}{d[\text{pc}]}$$

Onde 1 UA é utilizado por ser a distância ao Sol de um observador na Terra. Então, em Marte essa expressão será:

$$p_m[''] = \frac{1{,}5[\text{UA}]}{d[\text{pc}]}$$

Portanto, os ângulos aumentaram $1{,}5$ vezes em relação aos medidos na Terra. Logo, para a estrela mencionada na questão, sua nova paralaxe será $1{,}5 \times 5 = 7{,}5$ mas.

Gabarito: **Alternativa c)**

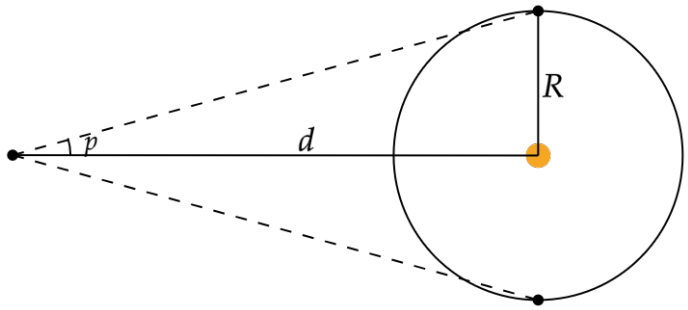
Saiba mais: Paralaxe é a mudança aparente de posição de um objeto quando mudamos o ponto de observação. Você pode perceber esse efeito colocando um dedo à frente do rosto e olhando alternadamente com cada olho: o dedo parece mudar de posição em relação ao fundo. Quanto mais distante estiver o objeto, menor será esse deslocamento.

A abreviação *mas* significa milissegundo de arco:

$$1\,\text{mas} = 10^{-3}\,\text{arcsec}, \qquad 1\,\text{arcsec} = \frac{1}{3600}\,^{\circ}.$$

Essas são unidades de ângulo, não de tempo.

Na paralaxe estelar convencional, o ângulo corresponde à metade do deslocamento entre observações feitas em lados opostos da órbita terrestre, usando seu raio de $1\,\text{UA}$ como referência, situação representada na figura a seguir:



Utilizando geometria a partir da situação representada na imagem:

$$p = \arctan\left(\frac{R}{d}\right)$$

Para pequenos ângulos, a expressão é igual a $p = \frac{R}{d}$, ao utilizar a mesma unidade de distância para R e d, o valor de p será dado em radianos. Em Astronomia, as distâncias até estrelas são muito grandes, então para representar esses valores foi definida a unidade parsec (pc), sendo definida como a distância de uma estrela à Terra que possui paralaxe de $1''$:

$$1\ \text{pc} = \frac{1\ \text{UA}}{1''} = \frac{1\,\text{UA}}{\pi/648000\ \text{rad}} = \frac{648000}{\pi}\,\text{UA} \approx 206265\,\text{UA}$$

Lembre-se que

$$1'' = \frac{\pi}{180 \times 3600}\,\text{rad} = \frac{\pi}{648000}\,\text{rad}$$

Quer saber mais? Acesse esta questão no site da Saperientia e clique na bolinha de IA ao lado dela. A IA já conhece o enunciado e as alternativas e pode ajudar você a entender a solução e esclarecer dúvidas.

6. O Parque Arqueológico do Solstício está localizado em Calçoene, no Amapá, próximo à linha do Equador. Ele abriga um círculo megalítico construído por povos originários há cerca de 1.000 anos. Um dos blocos de pedra alinha-se com o ponto de nascer do Sol no solstício de verão do hemisfério sul.



A inclinação do eixo de rotação da Terra em relação à perpendicular ao plano de sua órbita sofre uma variação cíclica no decorrer de 41.000 anos. Atualmente, essa inclinação vale $23°27'$ e está decrescendo.

Tendo em vista as informações fornecidas, qual o comportamento esperado para o alinhamento em Calçoene?

a) O Sol nasce cada vez mais ao Norte, até que o alinhamento não seja mais possível em nenhuma época do ano.

b) O Sol nasce cada vez mais ao Sul, até que o alinhamento não seja mais possível em nenhuma época do ano.

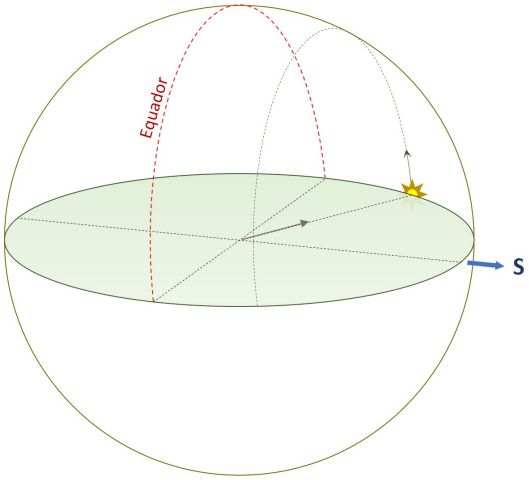
c) O Sol nasce cada vez mais ao Norte, mas ainda será possível ver o alinhamento em algum momento do ano.

d) O Sol nasce cada vez mais ao Sul, mas ainda será possível ver o alinhamento em algum momento do ano.

e) A variação da inclinação axial não compromete o alinhamento com o passar do tempo.

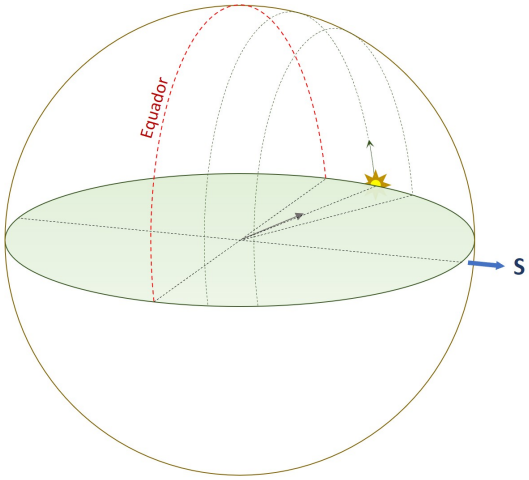
Solução: Se a inclinação axial do eixo de rotação da Terra está diminuindo, então o Sol está mais próximo do Equador. Ou seja, no solstício de verão do hemisfério sul, o Sol está menos ao Sul, ou mais ao norte.

Com a redução dessa inclinação axial, o Sol já não consegue mais atingir pontos tão ao Sul quanto ele conseguia anteriormente. Sendo assim, o Sol nasce cada vez mais ao Norte, até que o alinhamento não seja mais possível em nenhuma época do ano.



Presente

Sol nasce $23°27'$ ao sul do Equador



Futuro

Sol nasce a menos de $23°27'$ ao sul do Equador
Ou seja, nascer do Sol se deslocou para ao norte

Gabarito: **Alternativa a)**

Saiba mais:

A *obliquidade* mede a inclinação do eixo de rotação da Terra em relação à direção perpendicular ao plano de sua órbita. Essa inclinação determina até onde o Sol pode se afastar do equador celeste para o norte ou para o sul ao longo do ano.

No solstício de verão do Hemisfério Sul, o Sol atinge sua declinação mais ao sul. Nessa data, ele também nasce no ponto mais ao sul de seu percurso anual pelo horizonte.

Quando a obliquidade diminui, esse ponto extremo se aproxima do ponto cardeal leste: o Sol já não nasce tão ao sul quanto antes. Assim, uma pedra alinhada com a antiga direção extrema pode deixar de apontar para qualquer direção

em que o Sol nasce ao longo do ano. Nesse caso, escolher outra data não recupera o alinhamento. Essa análise considera um alinhamento geométrico ideal. A mudança é lenta e faz parte de um ciclo: a obliquidade está diminuindo atualmente, mas não continuará diminuindo indefinidamente.

Quer saber mais? Acesse esta questão no site da Saperientia e clique na bolinha de IA ao lado dela. A IA já conhece o enunciado e as alternativas e pode ajudar você a entender a solução e esclarecer dúvidas.

7. Quando a luz de uma estrela atinge nossa retina, é necessário que haja uma quantidade mínima de luz para produzir um estímulo visual. Se a estrela for muito fraca, é possível precisarmos de um telescópio para poder enxergá-la.

Nesse sentido, o telescópio funciona como um funil, coletando luz em uma área muito maior e redirecionando-a para o olho, a fim de produzir esse estímulo.

Suponha que a pupila humana possui diâmetro de 6 mm e observa objetos até uma magnitude limite de $+6{,}0$. Utilizando um telescópio com abertura de 60 cm, até qual magnitude será possível observar?

Dado: A equação de Pogson compara duas magnitudes a partir de seus fluxos luminosos e pode ser escrita como

$$m_1 - m_2 = -2{,}5 \cdot \log_{10}\left(\frac{F_1}{F_2}\right)$$

a) $+10{,}0$ b) $+12{,}0$ c) $+16{,}0$ d) $+20{,}0$ e) $+26{,}0$

Solução:

A coleta de luz é proporcional à área de abertura, que é proporcional ao diâmetro ao quadrado. Comparando o diâmetro do telescópio ($D = 600$ mm) com o da pupila ($d = 6$ mm):

$$\text{Ganho} = \left(\frac{D}{d}\right)^2 = \left(\frac{600}{6}\right)^2 = 100^2 = 10.000$$

Ou seja, o telescópio capta 10.000 vezes mais luz por segundo do que o olho humano isolado. Um aumento no fluxo luminoso por um fator de 10.000 permite enxergar objetos 10.000 vezes menos brilhantes. Pela equação de Pogson, isso corresponde a $2{,}5 \cdot \log_{10}(10.000) = 10$ magnitudes acima. Ou seja,

$$m_{\text{limite}} = 6{,}0 + 10{,}0 = +16{,}0$$

Gabarito: **Alternativa c)**

Saiba mais: A escala de magnitudes funciona em sentido inverso ao brilho: quanto maior a magnitude, mais fraco é o objeto. Uma diferença de cinco magnitudes corresponde a um fator de 100 no fluxo recebido; dez magnitudes correspondem a um fator de $10\,000$.

A capacidade de coleta de luz de um telescópio depende da área de sua abertura, que é proporcional ao quadrado do diâmetro. Por isso, dobrar o diâmetro permite coletar quatro vezes mais luz, e não apenas duas. No modelo ideal da questão, o ganho de magnitude limite pode ser escrito como

$$\Delta m = 2{,}5 \log_{10}\left(\frac{D^2}{d^2}\right) = 5 \log_{10}\left(\frac{D}{d}\right),$$

em que D é o diâmetro do telescópio e d é o da pupila, expressos na mesma unidade.

Na prática, perdas ópticas, brilho do céu, aumento utilizado e condições de observação também influenciam a magnitude limite. O resultado calculado corresponde à comparação idealizada proposta pelo enunciado.

Quer saber mais? Acesse esta questão no site da Saperientia e clique na bolinha de IA ao lado dela. A IA já conhece o enunciado e as alternativas e pode ajudar você a entender a solução e esclarecer dúvidas.

8. A órbita da Lua possui uma inclinação de aproximadamente $5{,}1^\circ$ em relação à eclíptica, enquanto a eclíptica possui uma inclinação de aproximadamente $23{,}4^\circ$ em relação ao equador celeste.

Considere um observador na superfície da Terra e despreze pequenas variações nesses valores.

Em qual intervalo de latitudes geográficas é possível, em algum momento, observar a Lua passando pelo zênite?

a) Entre aproximadamente $28{,}5^\circ$ S e $28{,}5^\circ$ N.
b) Apenas sobre a linha do Equador.
c) Entre aproximadamente $5{,}1^\circ$ S e $5{,}1^\circ$ N.
d) Entre aproximadamente $23{,}4^\circ$ S e $23{,}4^\circ$ N.
e) Em qualquer latitude da Terra.

Solução:

Para que a Lua passe pelo zênite de um observador, sua declinação deve ser igual à latitude geográfica do local.

A eclíptica atinge declinações de aproximadamente $\pm 23{,}4^\circ$. Quando a orientação da órbita lunar permite que as duas inclinações se somem, a Lua pode atingir os extremos aproximados

$$\delta_{\max} = 23{,}4^\circ + 5{,}1^\circ = 28{,}5^\circ$$

e

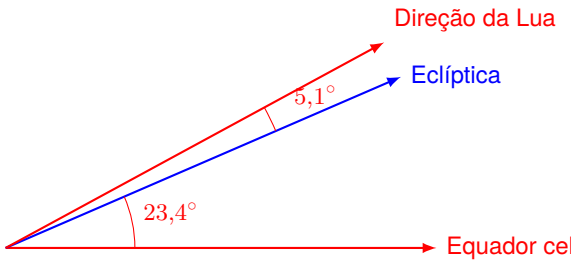
$$\delta_{\min} = -28{,}5^\circ.$$

Assim, ao longo do ciclo de orientação de sua órbita, a Lua pode passar pelo zênite em localidades situadas entre aproximadamente

$$\boxed{28{,}5^\circ \text{ S e } 28{,}5^\circ \text{ N}}.$$

Gabarito: **Alternativa a)**

Esquema da configuração extrema:



Esquema da configuração extrema ao norte. Ao sul, o raciocínio é análogo.

Saiba mais:

O *zênite* é o ponto do céu exatamente acima da cabeça do observador. A *declinação* mede a posição de um astro ao norte ou ao sul do equador celeste.

No modelo geométrico utilizado, a altura de um astro na passagem superior pelo meridiano é

$$h = 90^\circ - |\varphi - \delta|,$$

em que φ é a latitude do observador e δ é a declinação do astro. Portanto, a passagem pelo zênite, com $h = 90^\circ$, ocorre quando

$$\delta = \varphi.$$

O Sol pode atingir declinações de aproximadamente $\pm 23{,}4^\circ$. A Lua pode ir além porque sua órbita é inclinada em relação à eclíptica. Quando as inclinações se somam, seus extremos chegam aproximadamente a $\pm 28{,}5^\circ$.

Esses extremos não são atingidos em todos os meses: a orientação do plano orbital lunar muda em um ciclo de cerca de $18{,}6$ anos. Na configuração em que as inclinações se subtraem, os extremos ficam aproximadamente em

$$\pm(23{,}4^\circ - 5{,}1^\circ) = \pm 18{,}3^\circ.$$

A expressão "em algum momento" é essencial: a questão pede o intervalo total de latitudes alcançável ao longo desse ciclo, e não apenas o intervalo alcançado em um mês específico.

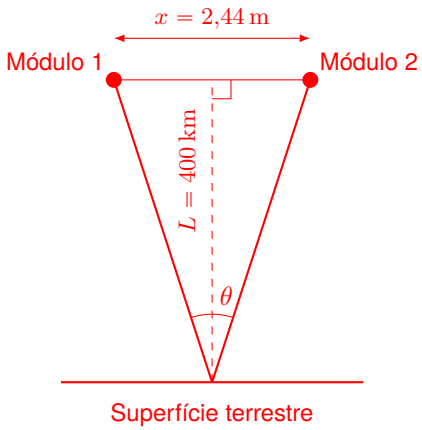
Quer saber mais? Acesse esta questão no site da Saperientia e clique na bolinha de IA ao lado dela. A IA já conhece o enunciado e as alternativas e pode ajudar você a entender a solução e esclarecer dúvidas.

9. Um astrônomo deseja observar a Estação Espacial Internacional (ISS), que orbita a Terra a uma altitude $L = 400\ \text{km}$ acima da superfície terrestre. O objetivo é conseguir distinguir dois módulos específicos da estação que estão separados por uma distância física $x = 2{,}44\ \text{m}$.

Considere que a observação ocorre exatamente no zênite e utiliza a luz solar refletida pela estrutura com um comprimento de onda médio $\lambda = 500\ \text{nm}$ e que a separação física é perpendicular à linha de visada. Desprezando os efeitos de turbulência atmosférica, determine o diâmetro mínimo D da objetiva do telescópio para que os dois módulos sejam resolvidos.

a) 5,0 cm b) 10,0 cm c) 15,0 cm d) 20,0 cm e) 25,0 cm

Solução: Esquematizando a situação:



Esquema fora de escala: a separação dos módulos foi exagerada para facilitar a visualização.

Pela geometria do problema e utilizando a aproximação de pequenos ângulos, a separação angular θ entre os módulos vistos da Terra é:

$$\theta \approx \frac{x}{L} = \frac{2{,}44}{4{,}0 \times 10^5} = 6{,}1 \times 10^{-6}\,\text{rad}.$$

Pelo Critério de Rayleigh, a resolução angular mínima de uma abertura circular é dada por:

$$\theta_{\text{lim}} \approx 1{,}22\frac{\lambda}{D}.$$

Para obter o diâmetro mínimo, igualamos o limite de resolução à separação angular entre os módulos. Substituindo o comprimento de onda $\lambda = 5{,}0 \times 10^{-7}\,\text{m}$:

$$6{,}1 \times 10^{-6} = 1{,}22\left(\frac{5{,}0 \times 10^{-7}}{D}\right)$$

$$6{,}1 \times 10^{-6} = \frac{6{,}1 \times 10^{-7}}{D}.$$

Isolando o diâmetro D:

$$D = \frac{6{,}1 \times 10^{-7}}{6{,}1 \times 10^{-6}} = 10^{-1}\,\mathrm{m}$$

$$\boxed{D = 10\,\mathrm{cm}}$$

Gabarito: **Alternativa b)**

Saiba mais: Detectar um objeto e distinguir detalhes nele são tarefas diferentes. Podemos enxergar a ISS como um ponto luminoso sem conseguir separar seus módulos. Para distinguir duas estruturas, precisamos comparar sua separação angular com o limite de resolução do instrumento.

Para ângulos muito pequenos, expressos em radianos, a aproximação nos dá:

$$\sin\theta \approx \tan\theta \approx \theta.$$

Por isso, relações geométricas envolvendo seno ou tangente podem ser simplificadas assim como fizemos na resolução.

Então, neste caso, como a separação é perpendicular à linha de visada, a aproximação de pequenos ângulos fornece

$$\theta \simeq \frac{x}{L} = 6{,}1 \times 10^{-6}\,\mathrm{rad}.$$

Um ângulo em radianos é definido pela razão entre o comprimento de um arco e seu raio. Para pequenos ângulos, a separação x aproxima o comprimento desse arco, e a distância L corresponde aproximadamente ao seu raio. Por isso, $\theta \simeq x/L$ fornece o ângulo em radianos.

Mesmo uma óptica perfeita apresenta difração: a imagem de um ponto luminoso tem uma pequena distribuição de luz, em vez de ser um ponto infinitamente pequeno. Para uma abertura circular, o critério de Rayleigh dá

$$\theta_{\mathrm{lim}} \simeq 1{,}22\frac{\lambda}{D}.$$

Quanto maior a abertura D, menores os detalhes angulares que podem ser separados. Aumentar apenas a ampliação não supera esse limite. Na observação real da ISS, a turbulência atmosférica e seu movimento rápido também dificultam a obtenção de imagens detalhadas.

Quer saber mais? Acesse esta questão no site da Saperientia e clique na bolinha de IA ao lado dela. A IA já conhece o enunciado e as alternativas e pode ajudar você a entender a solução e esclarecer dúvidas.

10. Durante a preparação de uma noite de observações, um telescópio robótico, auxiliado por inteligência artificial, precisa decidir qual de três estrelas deve ser observada primeiro. As três possuem declinações próximas, de modo que suas diferenças de posição no céu, naquele instante, podem ser analisadas principalmente por suas ascensões retas.

O tempo sideral local do observatório é

$$\mathrm{TSL} = 10\ \mathrm{h}.$$

As estrelas possuem as seguintes ascensões retas:

$$\alpha_A = 8\ \mathrm{h}, \qquad \alpha_B = 10\ \mathrm{h}, \qquad \alpha_C = 12\ \mathrm{h}.$$

O tempo sideral local corresponde à ascensão reta que, naquele instante, está cruzando o meridiano local. Devido à rotação da Terra, os astros apresentam movimento aparente de Leste para Oeste ao longo do céu.

Com base nessas informações, qual alternativa descreve corretamente a posição relativa das três estrelas nesse instante?

a) A estrela B está cruzando o meridiano, enquanto A já se encontra a Oeste dele e C ainda se encontra a Leste.

b) A estrela A está cruzando o meridiano, enquanto B e C encontram-se a Oeste dele.

c) A estrela B está cruzando o meridiano, enquanto A encontra-se a Leste e C a Oeste.

d) A estrela C está cruzando o meridiano, enquanto A e B ainda se encontram a Leste dele.

e) As três estrelas cruzam o meridiano simultaneamente, pois possuem declinações semelhantes.

Solução: O tempo sideral local indica qual ascensão reta está, naquele instante, sobre o meridiano local.

Como

$$\mathrm{TSL} = 10\ \mathrm{h},$$

uma estrela com ascensão reta

$$\alpha = 10\ \mathrm{h}$$

está cruzando o meridiano naquele momento.

Portanto, a estrela B encontra-se sobre o meridiano.

A estrela A possui ascensão reta menor,

$$\alpha_A = 8\ \mathrm{h}.$$

Isso significa que ela cruzou o meridiano anteriormente. Como o movimento aparente diário dos astros ocorre de Leste para Oeste, a estrela A já se encontra a Oeste do meridiano.

Por outro lado, a estrela C possui

$$\alpha_C = 12\ \mathrm{h},$$

de modo que sua passagem pelo meridiano ocorrerá posteriormente. Assim, ela ainda se encontra a Leste do meridiano.

Esquematicamente,

A: Oeste	B: meridiano	C: Leste

Gabarito: **Alternativa a)**

Saiba mais: A ascensão reta é uma coordenada celeste medida ao longo do equador celeste, a partir do ponto vernal. Embora seja expressa em horas, ela representa uma posição angular:

$$24\,\mathrm{h} = 360^\circ, \qquad 1\,\mathrm{h} = 15^\circ.$$

O tempo sideral local indica a ascensão reta que está passando pelo meridiano naquele instante.

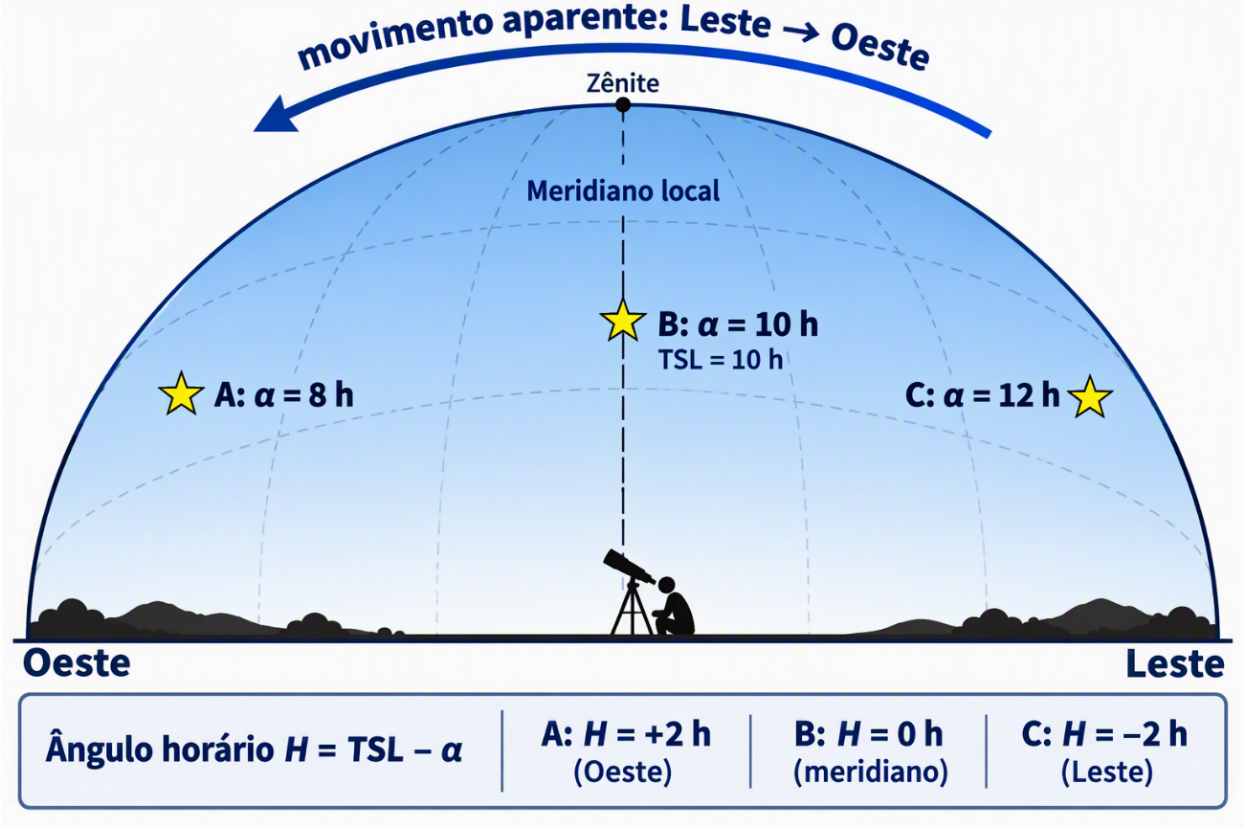
Uma maneira prática de comparar as posições é calcular o *ângulo horário*:

$$H = \mathrm{TSL} - \alpha.$$

Na convenção usual, $H = 0$ indica a passagem superior pelo meridiano, $H > 0$ indica que o astro já passou e está a oeste, e $H < 0$ indica que ainda passará e está a leste.

Assim, temos $H_A = +2\,\mathrm{h}$, $H_B = 0$ e $H_C = -2\,\mathrm{h}$. As diferenças de duas horas correspondem a 30° de ângulo horário.

A figura a seguir ilustra as posições relativas das três estrelas e seus respectivos ângulos horários.



Representação esquemática das posições das estrelas em relação ao meridiano local.

Ter a mesma declinação significa estar à mesma distância angular ao norte ou ao sul do equador celeste, mas não necessariamente na mesma posição ao longo dele. Por isso, estrelas com declinações iguais podem cruzar o meridiano em momentos diferentes: o instante dessa passagem depende da ascensão reta.

Quer saber mais? Acesse esta questão no site da Saperientia e clique na bolinha de IA ao lado dela. A IA já conhece o enunciado e as alternativas e pode ajudar você a entender a solução e esclarecer dúvidas.

11. Considere um observador localizado em uma região muito próxima do Polo Norte terrestre. Nessa situação, o polo norte celeste encontra-se muito próximo do zênite e estrelas com pequena declinação são observadas próximas ao horizonte.

Em determinado instante, o ponto vernal encontra-se aproximadamente na direção Sul. Nesse mesmo instante, uma estrela de baixa declinação, $\delta = +5^\circ$, possui ascensão reta $\alpha = 4$ h. Adote a convenção segundo a qual o azimute é medido a partir do Norte, aumentando em direção ao Leste.

Neste instante, o azimute dessa estrela é mais próximo de:

a) 60° b) 120° c) 180° d) 240° e) 300°

Solução: Como o observador está muito próximo do Polo Norte, uma estrela de baixa declinação permanece próxima do horizonte. Nessa condição, podemos relacionar aproximadamente sua posição ao redor do horizonte com sua ascensão reta.

A ascensão reta é medida a partir do ponto vernal. Como uma volta completa na esfera celeste corresponde a 24 horas,

$$24 \text{ h} = 360^\circ,$$

temos

$$1\ \mathrm{h} = 15^\circ.$$

Assim, uma ascensão reta de

$$\alpha = 4\ \mathrm{h}$$

corresponde a uma separação angular de

$$4 \times 15^\circ = 60^\circ$$

em relação ao ponto vernal.

No instante considerado, o ponto vernal encontra-se aproximadamente ao Sul, portanto seu azimute é próximo de

$$180^\circ.$$

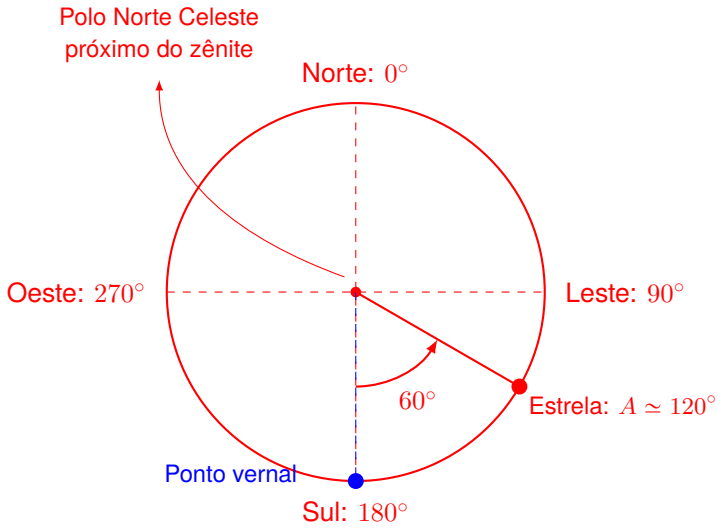
Para um observador muito próximo do Polo Norte, o aumento da ascensão reta corresponde aproximadamente a um deslocamento do Sul em direção ao Leste. Portanto,

$$A \approx 180^\circ - 60^\circ.$$

Logo,

$$\boxed{A \approx 120^\circ}.$$

Gabarito: **Alternativa b)**



O círculo representa o horizonte, com os pontos cardeais indicados. A marca da estrela mostra apenas seu azimute, sem representar sua altura no céu.

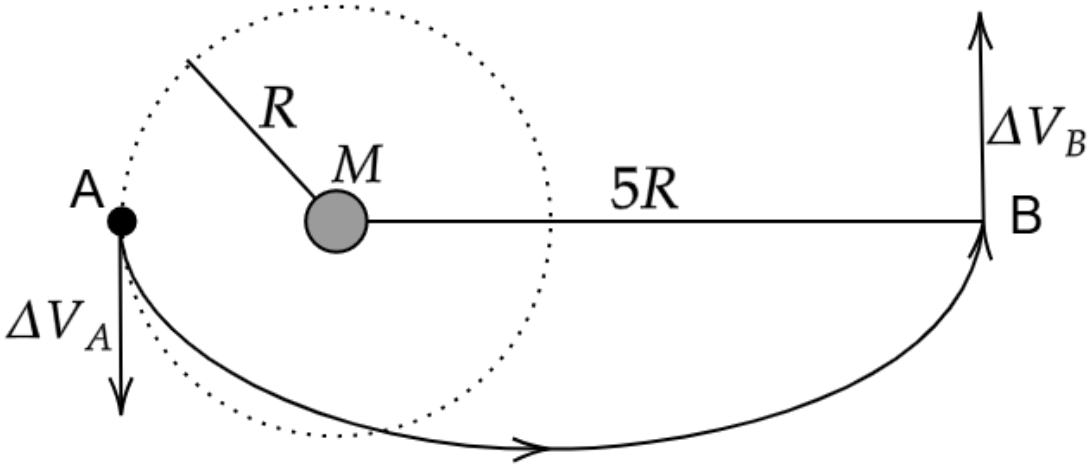
Saiba mais: A altura do polo celeste elevado é aproximadamente igual ao módulo da latitude do observador. Perto do Polo Norte terrestre, o polo norte celeste fica próximo do zênite e o equador celeste fica próximo do horizonte. Nesse limite, uma estrela de declinação $+5^\circ$ descreve uma trajetória quase horizontal, com altura próxima de 5°.

O ponto vernal é a origem da ascensão reta. Uma ascensão reta de $4\,\mathrm{h}$ corresponde a 60° medidos ao longo do equador celeste. Na configuração apresentada, o aumento da ascensão reta leva do sul em direção ao leste.

Já o azimute é contado a partir do norte, passando pelo leste: norte corresponde a 0°, leste a 90°, sul a 180° e oeste a 270°. Por isso, partir do sul e avançar 60° em direção ao leste resulta em 120°, e não em 240°. Ascensão reta e azimute têm origens e sentidos de contagem diferentes nessa geometria.

Quer saber mais? Acesse esta questão no site da Saperientia e clique na bolinha de IA ao lado dela. A IA já conhece o enunciado e as alternativas e pode ajudar você a entender a solução e esclarecer dúvidas.

12. Uma sonda espacial foi colocada em órbita terrestre para então ser lançada para o espaço com o objetivo de recolher imagens de estrelas distantes e conseguir sair da influência gravitacional da Terra. Os engenheiros espaciais decidiram realizar o escape por meio de uma manobra com dois impulsos. O primeiro impulso ΔV_A será aplicado no ponto A, na mesma direção do movimento para que a sonda faça uma transferência elíptica e alcance o ponto B. Uma vez em B, um segundo impulso ΔV_B será aplicado novamente na mesma direção de movimento para a sonda espacial escapar do sistema em uma órbita parabólica.



Assinale a opção que traz a fórmula para a determinação do tempo que levará a sonda para ir do ponto A ao ponto B, em função de M, R e G (Constante Gravitacional Universal).

a) $\Delta t = \pi\sqrt{\dfrac{R^3}{GM}}$

b) $\Delta t = 2\pi\sqrt{\dfrac{R^3}{GM}}$

c) $\Delta t = 3\pi\sqrt{3}\sqrt{\dfrac{R^3}{GM}}$

d) $\Delta t = 5\pi\sqrt{5}\sqrt{\dfrac{R^3}{GM}}$

e) $\Delta t = 6\pi\sqrt{3}\sqrt{\dfrac{R^3}{GM}}$

Solução: Primeiro, o tempo para a sonda ir do ponto A ao ponto B corresponde a metade do período orbital da órbita elíptica realizada entre os pontos A e B. Seu período pode ser encontrado pela Terceira Lei de Kepler, sabendo que o semi-eixo maior será $a = \dfrac{R+5R}{2} = 3R$:

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{GM}$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{a^3}{GM}} = 6\sqrt{3}\pi\sqrt{\frac{R^3}{GM}}$$

Como o tempo da manobra é metade do período orbital:

$$\Delta t = \frac{T}{2}$$

$$\boxed{\Delta t = 3\pi\sqrt{3}\sqrt{\frac{R^3}{GM}}}$$

Gabarito: **Alternativa c)**

Saiba mais: Durante a transferência entre A e B, a sonda percorre uma órbita elíptica com a Terra em um dos focos. O ponto A é o perigeu, ponto mais próximo do centro da Terra, e B é o apogeu, ponto mais distante. As distâncias nesses pontos são $r_A = R$ e $r_B = 5R$. Portanto, o semieixo maior da elipse é

$$a = \frac{r_A + r_B}{2} = \frac{R+5R}{2} = 3R.$$

Essas distâncias são medidas a partir do centro da Terra, e não de sua superfície.

A terceira lei de Kepler relaciona o período orbital T ao semieixo maior a:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{a^3}{GM}},$$

em que M é a massa da Terra e G é a constante gravitacional universal. Desprezamos a massa da sonda em comparação com a massa terrestre.

Como A e B são os extremos do eixo maior, o percurso entre eles corresponde a metade do período. Isso não significa que a velocidade seja constante: a sonda se move mais rapidamente perto de A e mais lentamente perto de B. Pela segunda lei de Kepler, o segmento que liga a Terra à sonda varre áreas iguais em tempos iguais. Como cada metade da elipse tem a mesma área, cada uma é percorrida no mesmo intervalo de tempo.

O segundo impulso, aplicado em B, altera a trajetória seguinte da sonda, mas não o tempo já gasto para chegar até esse ponto. Uma órbita parabólica corresponde ao limite de escape: a sonda pode se afastar indefinidamente, com sua velocidade tendendo a zero à medida que a distância tende ao infinito.

Quer saber mais? Acesse esta questão no site da Saperientia e clique na bolinha de IA ao lado dela. A IA já conhece o enunciado e as alternativas e pode ajudar você a entender a solução e esclarecer dúvidas.

13. Uma determinada estrela possui um planeta orbitando ao seu redor. Este sistema estelar tem as seguintes características, do ponto de vista de um observador na Terra:

- Período orbital do exoplaneta $P = 5$ anos;
- Separação angular no apoastro entre o exoplaneta e a estrela $\theta_{\text{máx}} = 6$ *mas* (milissegundo de arco) e no periastro de $\theta_{\text{mín}} = 2$ *mas*;
- Magnitude aparente $m = 12{,}2$ e magnitude absoluta $M = 2{,}3$.

Calcule a massa M_e desta estrela, em massas solares. Considere a massa do exoplaneta desprezível, despreze a extinção interestelar e suponha que a órbita seja vista de frente, com seu plano perpendicular à linha de visada ($i = 0°$)

Dica: A equação do módulo da distância é uma expressão que relaciona a magnitude absoluta (M), a magnitude aparente (m) e a distância de uma estrela (d) em parsec, sendo escrita como:

$$m - M = 5\log d - 5$$

a) $M_e = 1{,}11 M_\odot$ b) $M_e = 2{,}23 M_\odot$ c) $M_e = 3{,}64 M_\odot$ d) $M_e = 4{,}19 M_\odot$ e) $M_e = 5{,}72 M_\odot$

Solução: Primeiro, deve-se encontrar a distância que esse sistema está do observador, o que pode ser feito pela expressão do módulo da distância:

$$m - M = 5\log d - 5$$
$$d = 10^{\frac{m - M + 5}{5}}$$
$$d \approx 955 \text{ pc}$$

Com a distância da estrela ao observador, pode-se encontrar a distância ao periastro e apoastro a partir das separações angulares mencionadas:

$$d_{\text{máx}}[\text{UA}] = \theta_{\text{máx}}[''] d[\text{pc}] = 6 \cdot 10^{-3} \times 955$$
$$d_{\text{máx}} = 5{,}73 \text{ UA}$$

E a distância mínima será:

$$d_{\text{mín}} = \theta_{\text{mín}} d = 2 \cdot 10^{-3} \times 955$$

$$d_{min} = 1{,}91 \text{ UA}$$

Então, o semi-eixo maior dessa órbita pode ser calculado pela relação:

$$2a = d_{\text{mín}} + d_{\text{máx}}$$

$$a = \frac{1{,}91 + 5{,}73}{2}$$

$$a = 3{,}82 \text{ UA}$$

Por fim, a partir da Terceira Lei de Kepler, pode-se encontrar uma expressão que relaciona o período e o raio orbital de um planeta com a massa da estrela que ele orbita:

$$\frac{(T\ [\text{s}])^2}{(a\ [\text{m}])^3} = \frac{4\pi^2}{GM\ [\text{kg}]}$$

$$M = \frac{4\pi^2}{G}\frac{a^3}{T^2}$$

Ao utilizar as unidades de massa solar, UA e ano, a expressão se reduz a:

$$M_e[M_\odot] = \frac{(a[\text{UA}])^3}{(T[\text{anos}])^2}$$

$$M_e = \frac{3{,}82^3}{5^2}$$

$$\boxed{M_e = 2{,}23 M_\odot}$$

Gabarito: **Alternativa b)**

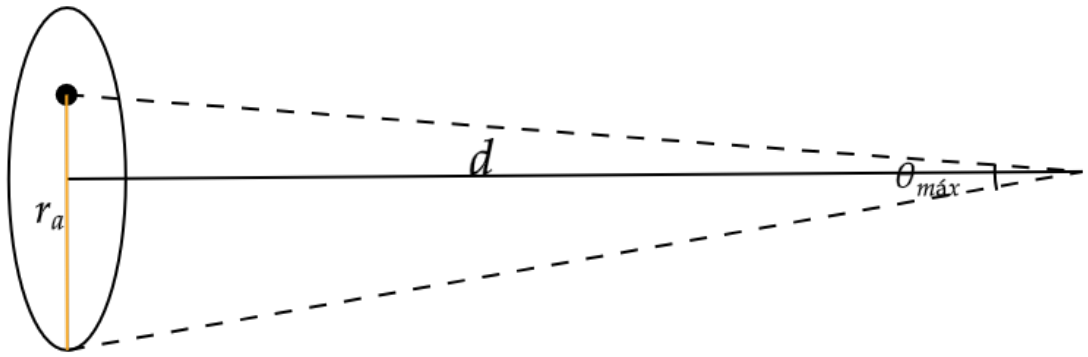
Saiba mais: Esta questão combina três formas de obter informações sobre um sistema estelar. A magnitude aparente descreve o brilho visto da Terra; a magnitude absoluta descreve o brilho que a estrela apresentaria a $10\,\text{pc}$. Desprezando a extinção interestelar, a diferença entre elas permite calcular a distância.

Conhecida a distância, podemos transformar separações angulares em comprimentos. Pela definição de parsec, uma separação de $1\,\text{arcsec}$ a $1\,\text{pc}$ corresponde a $1\,\text{UA}$. Assim,

$$\theta[''] = \frac{r[\text{UA}]}{d[\text{pc}]}$$

$$r[\text{UA}] \simeq \theta[\text{arcsec}]\, d[\text{pc}].$$

É necessário converter os milissegundos de arco para segundos de arco antes de usar essa relação. Essa relação também pode ser percebida a partir da representação a seguir:



Como a órbita é vista de frente, as separações observadas no periastro (r_p) e no apoastro (r_a) correspondem às distâncias reais à estrela. Sua média fornece o semieixo maior:

$$a = \frac{r_\mathrm{p} + r_\mathrm{a}}{2}.$$

Finalmente, a terceira lei de Kepler relaciona o tamanho da órbita e o período à massa central. A diferença entre os extremos também revela a excentricidade:

$$e = \frac{r_\mathrm{a} - r_\mathrm{p}}{r_\mathrm{a} + r_\mathrm{p}} = \frac{6-2}{6+2} = 0{,}5.$$

Quer saber mais? Acesse esta questão no site da Saperientia e clique na bolinha de IA ao lado dela. A IA já conhece o enunciado e as alternativas e pode ajudar você a entender a solução e esclarecer dúvidas.

14. Um planeta descreve uma órbita elíptica de excentricidade $e = \frac{1}{3}$ em torno de sua estrela. Qual é a razão entre o fluxo luminoso recebido pelo planeta no periastro e no apoastro?

Dica: O fluxo luminoso recebido a uma distância d de uma estrela de luminosidade L é dado por

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

a) $\frac{1}{4}$ b) 2 c) $\frac{9}{4}$ d) 3 e) 4

Solução:

Sendo a o semieixo maior da órbita, r_p a distância do planeta à estrela no periastro e r_a essa distância no apoastro, temos:

$$r_p = a(1-e) = \frac{2a}{3} \qquad \text{e} \qquad r_a = a(1+e) = \frac{4a}{3}.$$

Como o fluxo luminoso é dado por

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

e a luminosidade da estrela é a mesma nas duas situações, temos

$$\frac{F_p}{F_a} = \frac{\dfrac{L}{4\pi r_p^2}}{\dfrac{L}{4\pi r_a^2}} = \left(\frac{r_a}{r_p}\right)^2 = \left(\frac{4a/3}{2a/3}\right)^2 = 2^2$$

$$\boxed{\frac{F_p}{F_a} = 4}$$

Gabarito: **Alternativa e)**

Saiba mais: O *periastro* é o ponto da órbita mais próximo da estrela, e o *apoastro* é o mais distante. Denotamos essas distâncias por r_p e r_a. Para uma elipse de semieixo maior a e excentricidade e,

$$r_\mathrm{p} = a(1-e), \qquad r_\mathrm{a} = a(1+e).$$

A luminosidade é a potência total emitida pela estrela. O fluxo recebido pelo planeta é a potência que chega por unidade de área e diminui com o quadrado da distância, pois a energia se distribui por uma superfície cada vez maior. Portanto,

$$\frac{F_\mathrm{p}}{F_\mathrm{a}} = \left(\frac{1+e}{1-e}\right)^2.$$

Para $e = 1/3$, a distância no apoastro é o dobro daquela no periastro, fazendo o fluxo no periastro ser quatro vezes maior.

Esse fator não significa que a temperatura do planeta também seja quatro vezes maior. Em um modelo simples de equilíbrio térmico, mantendo as demais condições, a temperatura varia com a raiz quarta do fluxo. Nesse modelo, um fluxo quatro vezes maior corresponde a uma temperatura $\sqrt{2}$ vez maior, medida em kelvin.

Quer saber mais? Acesse esta questão no site da Saperientia e clique na bolinha de IA ao lado dela. A IA já conhece o enunciado e as alternativas e pode ajudar você a entender a solução e esclarecer dúvidas.

15. À medida que a temperatura na superfície de uma estrela aumenta, duas mudanças fundamentais ocorrem na radiação emitida:

1. A energia emitida por metro quadrado por segundo cresce drasticamente.
2. A cor predominante da luz emitida se desloca para comprimentos de onda cada vez menores.

Considere a estrela 1, de cor azul, e a estrela 2, de cor vermelha. Pode-se afirmar, com certeza, que a estrela 1

a) é maior que a estrela 2.
b) é mais luminosa que a estrela 2.
c) é mais quente que a estrela 2.
d) é mais jovem que a estrela 2.
e) é mais massiva que a estrela 2.

Solução:

A única alternativa que se pode afirmar com certeza é que a estrela 1 é mais quente que a estrela 2, pois a temperatura é o que determina a cor. As demais propriedades, como tamanho, luminosidade, idade e massa, não podem ser determinadas apenas pela cor das estrelas.

Gabarito: **Alternativa c)**

Saiba mais: A radiação de uma estrela pode ser aproximada pela emissão de um corpo negro. Pela lei de Wien, o comprimento de onda de máxima emissão satisfaz

$$\lambda_{\max} T = b,$$

em que b é uma constante. Quanto maior a temperatura, menor o comprimento de onda do pico de emissão. Isso explica a associação entre estrelas azuladas e temperaturas superficiais maiores.

É preciso distinguir a energia emitida por unidade de área por unidade de tempo (F_{sup}) da luminosidade total (L). Pela lei de Stefan–Boltzmann,

$$F_{\text{sup}} = \sigma T^4$$

e a luminosidade total, então, é:

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

Uma estrela mais quente emite mais energia por metro quadrado por segundo, mas sua luminosidade total também depende de quantos metros quadrados estão emitindo, ou seja, depende do raio.

Por exemplo, se uma estrela tiver o dobro da temperatura de outra, emitirá 16 vezes mais energia por unidade de área. Porém, se a primeira estrela tiver só um centésimo da área da segunda (um décimo do raio), então a luminosidade total emitida pela primeira será 16% da luminosidade emitida pela segunda.

A cor, sozinha, também não determina massa ou idade; essas comparações exigem informações adicionais sobre a estrela e seu estágio evolutivo.

Quer saber mais? Acesse esta questão no site da Saperientia e clique na bolinha de IA ao lado dela. A IA já conhece o enunciado e as alternativas e pode ajudar você a entender a solução e esclarecer dúvidas.

16. Estrelas de grande massa apresentam uma evolução diferente daquela observada em estrelas semelhantes ao Sol.

Considere uma estrela massiva que já se encontra no estágio de supergigante vermelha.

Qual das alternativas descreve corretamente o próximo grande evento em sua evolução?

a) A estrela retorna à sequência principal e passa novamente a fundir hidrogênio no núcleo.

b) A estrela transforma-se diretamente em uma anã branca, sem passar por uma supernova.

c) O núcleo sofre colapso e a estrela pode explodir como uma supernova.

d) A estrela retorna ao estágio de protoestrela após perder suas camadas externas.

e) A estrela deixa de produzir energia, mas permanece indefinidamente como uma supergigante vermelha.

Solução: Uma estrela suficientemente massiva pode atingir o estágio de supergigante vermelha após deixar a sequência principal.

Ao longo de sua evolução, sucessivos processos de fusão produzem elementos cada vez mais pesados. Quando o núcleo deixa de conseguir sustentar a estrela contra a gravidade, ocorre o colapso do núcleo.

Esse processo pode provocar uma explosão de supernova.

Portanto, entre as alternativas apresentadas, a evolução correta é

$$\boxed{\text{supergigante vermelha} \rightarrow \text{supernova}}.$$

Dependendo principalmente da massa do núcleo remanescente, o objeto compacto formado posteriormente pode ser uma estrela de nêutrons ou um buraco negro.

Gabarito: **Alternativa c)**

Saiba mais: Uma estrela permanece em equilíbrio enquanto a pressão interna consegue resistir à compressão causada pela gravidade. Depois de esgotar o hidrogênio central, uma estrela massiva pode atravessar etapas de fusão de elementos sucessivamente mais pesados, formando uma estrutura de camadas e, nas fases finais, um núcleo rico em elementos do grupo do ferro.

A fusão desses elementos não fornece uma nova fonte de energia capaz de sustentar o núcleo. Conforme ele cresce, a sustentação pela pressão dos elétrons pode se tornar insuficiente. A captura de elétrons e a desintegração de núcleos por fótons muito energéticos também favorecem o colapso.

O centro é comprimido rapidamente, e parte da energia liberada pode contribuir para a expulsão das camadas externas em uma supernova. O remanescente pode ser uma estrela de nêutrons ou um buraco negro. Nem todo colapso produz uma explosão bem-sucedida, por isso o enunciado diz que a estrela *pode* explodir. Já uma anã branca é o destino típico de estrelas de menor massa, que não chegam a formar esse tipo de núcleo.

Como ocorre o colapso do núcleo?

1. **Formação de um núcleo rico em ferro:** Nas fases finais da evolução, reações de fusão em diferentes camadas produzem elementos progressivamente mais pesados, até formar um núcleo rico em elementos do grupo do ferro.
2. **Perda da sustentação:** A fusão de elementos do grupo do ferro não fornece uma nova fonte de energia para sustentar a estrela. À medida que o núcleo cresce, a pressão de degenerescência dos elétrons pode se tornar insuficiente para resistir à gravidade.
3. **Colapso gravitacional:** A captura de elétrons por prótons reduz a quantidade de elétrons que contribuem para a pressão interna. Além disso, fótons muito energéticos podem desintegrar núcleos, consumindo energia. Esses processos aceleram o colapso.
4. **Formação de uma onda de choque:** A matéria central é comprimida até atingir densidades próximas às dos núcleos atômicos. A compressão do núcleo interno é bruscamente freada, produzindo uma onda de choque que se propaga para fora. Inicialmente, essa onda perde energia e pode ficar praticamente estacionária.

5. **Possível explosão de supernova:** Parte da enorme quantidade de neutrinos emitida pelo centro pode transferir energia à matéria atrás da onda de choque. Juntamente com movimentos turbulentos, isso pode reanimar o choque e provocar a expulsão das camadas externas. O centro remanescente pode formar uma estrela de nêutrons ou um buraco negro.

Por que as demais possibilidades estão incorretas?

- **Retorno à sequência principal:** A estrela já esgotou o hidrogênio de seu núcleo e passou por profundas transformações. Sua evolução não retorna simplesmente à fase anterior.
- **Formação direta de uma anã branca:** Esse é o destino típico de estrelas de menor massa. Estrelas suficientemente massivas podem desenvolver núcleos que sofrem colapso gravitacional.
- **Retorno ao estágio de protoestrela:** Uma protoestrela é um objeto em formação. Uma supergigante vermelha já percorreu etapas muito posteriores de evolução e não pode reiniciar sua história evolutiva.
- **Permanência indefinida como supergigante vermelha:** Quando a sustentação do núcleo se torna insuficiente, o equilíbrio com a gravidade é perdido. A estrela não pode permanecer indefinidamente nesse estado.

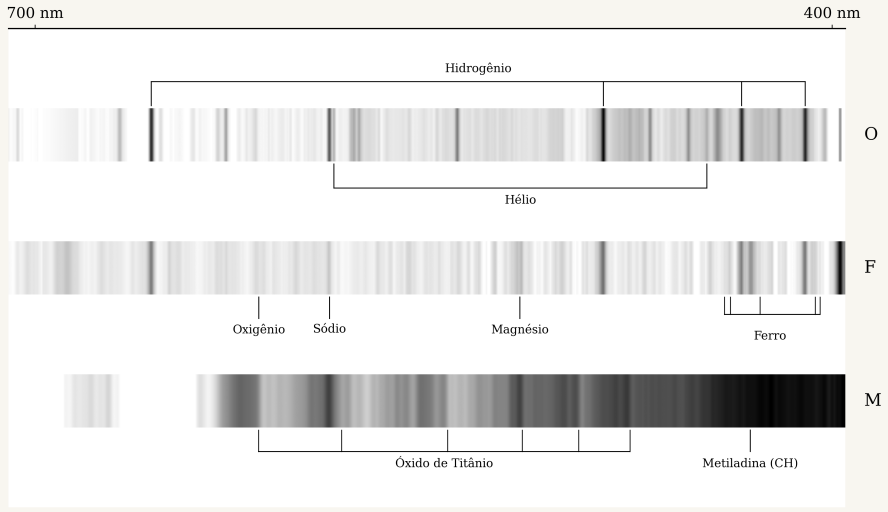
Portanto, o colapso do núcleo, possivelmente acompanhado por uma explosão de supernova, é a evolução esperada entre as alternativas apresentadas.

Quer saber mais? Acesse esta questão no site da Saperientia e clique na bolinha de IA ao lado dela. A IA já conhece o enunciado e as alternativas e pode ajudar você a entender a solução e esclarecer dúvidas.

17. Os elétrons de um átomo, de um íon, ou de uma molécula só podem existir em degraus específicos de energia, chamados de níveis de energia. Para um elétron saltar de um nível menor para um maior, ele precisa absorver luz com a energia exata para dar esse salto.

Quando a luz passa por um gás (como a atmosfera de uma estrela), os elétrons desse gás absorvem apenas a luz que possui a energia necessária para os seus saltos. A luz que foi absorvida desaparece do feixe original, deixando marcas escuras no detector. Essas marcas são chamadas de linhas de absorção.

A imagem a seguir mostra as linhas de absorção nos espectros de diversas estrelas. Em algumas dessas linhas, está indicada a espécie química responsável pela absorção.



As linhas associadas a moléculas aparecem predominantemente nas estrelas do tipo M porque essas estrelas

a) possuem gravidade menor, impedindo que partículas mais pesadas, como as moléculas, afundem para o interior estelar.

b) possuem maior velocidade de escape em sua atmosfera, impedindo que moléculas escapem para o espaço.

c) são formadas por elementos químicos instáveis, que necessitam de ligações moleculares para se estabilizar. Já os outros tipos estelares são formados predominantemente por elementos que já são estáveis sozinhos.

d) possuem temperaturas mais baixas, o que evita que colisões térmicas muito energéticas rompam as ligações moleculares.

e) possuem energia suficiente em seus núcleos para fundir átomos em moléculas pesadas.

Solução:

A presença de moléculas na atmosfera de uma estrela depende diretamente da sua temperatura fotosférica.

A temperatura reflete a energia cinética média das partículas do gás. Em estrelas quentes (como as dos tipos O, B e A), a alta energia térmica faz com que as colisões entre átomos e moléculas sejam extremamente violentas, superando a energia de ligação química e destruindo as moléculas (processo de dissociação térmica).

Como as estrelas do tipo M são as mais frias da sequência principal ($T \approx 2400\,\text{K} - 3700\,\text{K}$), a energia das colisões térmicas é baixa o suficiente para permitir que as ligações moleculares permaneçam estáveis, gerando linhas de absorção moleculares visíveis no espectro.

Associar o fenômeno à gravidade (decantação de partículas mais pesadas) falha em explicar por que espécies químicas mais pesadas, como o ferro (massa de $56\,\text{Da}$) persistem em outros tipos estelares, enquanto hidrocarbonetos leves, como a metiladina (massa de $13\,\text{Da}$), não persistem.

A associação à velocidade de escape incorre em problema similar, mas também inclui uma nova problemática: são as partículas mais leves, não as mais pesadas, que apresentam maior velocidade média, portanto um fenômeno envolvendo escape de gás deveria apresentar um desaparecimento de partículas mais leves.

A justificativa por composição química (alternativa c) também não se sustenta, com o hidrogênio e o oxigênio, por exemplo, aparecendo em diversos tipos estelares com e sem ligações químicas.

Por fim, a última alternativa está errada porque estrelas não fundem átomos em moléculas no núcleo, mas sim núcleos atômicos em outros núcleos mais pesados. Por preciosismo, evita-se escrever que fundem *átomos em outros átomos mais pesados*, pois a palavra *átomo* costuma ser reservada à espécie neutra, enquanto, no interior estelar, as espécies estão ionizadas.

Gabarito: **Alternativa d)**

Saiba mais: As classes espectrais O, B, A, F, G, K e M estão ordenadas, nessa sequência, de temperaturas superficiais maiores para menores. Nas atmosferas mais frias das estrelas do tipo M, moléculas conseguem existir em quantidade suficiente para produzir absorção marcante no espectro. Em atmosferas mais quentes, a dissociação dificulta sua sobrevivência.

Moléculas apresentam, além de transições eletrônicas, transições associadas à vibração e à rotação. Muitas linhas próximas podem formar *bandas de absorção*, que ocupam faixas mais amplas do espectro. Bandas de óxido de titânio, por exemplo, são características de muitas estrelas do tipo M.

A presença de uma banda depende tanto da existência da espécie química quanto das condições físicas da atmosfera. Assim, um espectro informa sobre composição e temperatura. Também é importante distinguir ligação química de fusão nuclear: formar uma molécula significa unir átomos por interações envolvendo seus elétrons; fundir núcleos é um processo diferente, que ocorre no interior estelar.

Quer saber mais? Acesse esta questão no site da Saperientia e clique na bolinha de IA ao lado dela. A IA já conhece o enunciado e as alternativas e pode ajudar você a entender a solução e esclarecer dúvidas.

18. A Terra não mantém seu eixo de rotação apontando exatamente para a mesma direção ao longo do tempo. A interação gravitacional com outros corpos do Sistema Solar, associada à própria distribuição de massa terrestre, produz movimentos como a precessão e a nutação do eixo de rotação.

Analise as afirmações a seguir.

I. A precessão terrestre ocorre devido à ação gravitacional da Lua, enquanto a nutação ocorre devido à ação gravitacional do Sol.

II. Se a Terra fosse uma esfera perfeitamente simétrica, mantendo sua massa e sua rotação, a precessão causada pela Lua e pelo Sol seria drasticamente reduzida, pois o fenômeno depende da distribuição não esférica da massa terrestre.

III. De maneira aproximada, durante um ciclo de cerca de 26 mil anos, o eixo de rotação da Terra descreve um cone no espaço. Consequentemente, os polos celestes mudam de posição ao longo do tempo, e uma estrela atualmente considerada polar não necessariamente ocupará essa posição no futuro.

IV. Como a precessão altera a direção para a qual o eixo terrestre aponta, ela é a principal responsável pela existência das estações do ano. Caso a Terra deixasse de sofrer precessão, o verão e o inverno deixariam de existir.

Assinale a alternativa que apresenta a sequência correta de verdadeiro (**V**) ou falso (**F**).

a) V, V, F, F b) V, F, V, F c) F, V, V, F d) F, V, F, V e) F, F, V, V

Solução: A afirmação **I é falsa**.

Tanto a Lua quanto o Sol contribuem para a precessão e para a nutação. Esses movimentos resultam dos torques gravitacionais exercidos sobre o bojo equatorial da Terra.

A afirmação **II é verdadeira**.

A precessão depende do torque exercido sobre a distribuição não esférica da massa terrestre. Em uma Terra perfeitamente esférica e simétrica, esse torque seria drasticamente reduzido.

A afirmação **III é verdadeira**.

O eixo terrestre descreve aproximadamente um cone em um período de cerca de 26 mil anos. Por isso, a posição dos polos celestes muda ao longo do tempo.

A afirmação **IV é falsa**.

As estações do ano são causadas principalmente pela inclinação do eixo terrestre. A precessão apenas modifica lentamente a orientação desse eixo no espaço.

Gabarito: **Alternativa c)**

Saiba mais: A Terra possui um bojo equatorial devido à rotação. A atração gravitacional da Lua e do Sol sobre essa distribuição de massa produz um *torque*, isto é, uma ação capaz de modificar a orientação do eixo de rotação.

A *precessão* é a mudança lenta da direção desse eixo, que descreve aproximadamente um cone em cerca de $26\,000$ anos. A *nutação* reúne pequenas oscilações sobrepostas a esse movimento, associadas a variações periódicas dos torques. Lua e Sol participam dos dois fenômenos; não é correto atribuir um movimento exclusivamente a cada astro.

Já a *obliquidade* é o ângulo de inclinação do eixo em relação à perpendicular ao plano orbital. Essa inclinação, combinada com a translação, produz as estações, alterando a duração da parte clara do dia e a altura do Sol em cada hemisfério. Se a precessão cessasse e a inclinação fosse mantida, as estações continuariam existindo. Uma consequência da precessão é a mudança gradual dos polos celestes: a estrela que hoje está próxima de um polo não permanecerá nessa posição para sempre.

Saiba um pouco mais:

I. Por que Lua e Sol participam dos dois movimentos?

A precessão e a nutação não são movimentos independentes causados por astros diferentes. Ambas resultam da ação gravitacional sobre a Terra. A precessão representa a mudança lenta e aproximadamente regular da direção do eixo, enquanto a nutação corresponde a pequenas oscilações periódicas sobrepostas a esse movimento.

A inclinação e a mudança de orientação da órbita lunar, especialmente o movimento de seus nós, produzem variações importantes no torque exercido pela Lua. O Sol também contribui para essas variações.

II. Qual é a importância do bojo equatorial?

A rotação faz com que a Terra seja ligeiramente achatada nos polos e mais larga na região equatorial. Como o eixo terrestre é inclinado, a atração gravitacional da Lua e do Sol sobre esse bojo produz um torque que tende a modificar a orientação do eixo.

Se a Terra tivesse uma distribuição de massa perfeitamente esférica e simétrica, não existiria esse bojo equatorial. Nesse modelo idealizado, o torque luni-solar responsável pela precessão associada ao achatamento terrestre seria nulo.

III. Por que a estrela polar muda com o tempo?

Os polos celestes são definidos pelo prolongamento do eixo de rotação terrestre até a esfera celeste.

Como a precessão modifica lentamente a direção desse eixo, os polos celestes também mudam de posição em relação às estrelas.

Atualmente, a Estrela Polar encontra-se próxima do Polo Norte Celeste. Entretanto, ao longo do ciclo de aproximadamente $26\,000$ anos, outras estrelas poderão ficar mais próximas dessa direção.

A Estrela Polar, portanto, não ocupa uma posição especial permanente no céu: sua proximidade com o polo é uma consequência da orientação atual do eixo terrestre.

IV. O que realmente causa as estações do ano?

O eixo de rotação terrestre apresenta uma inclinação de aproximadamente $23{,}4^\circ$ em relação à perpendicular ao plano da órbita.

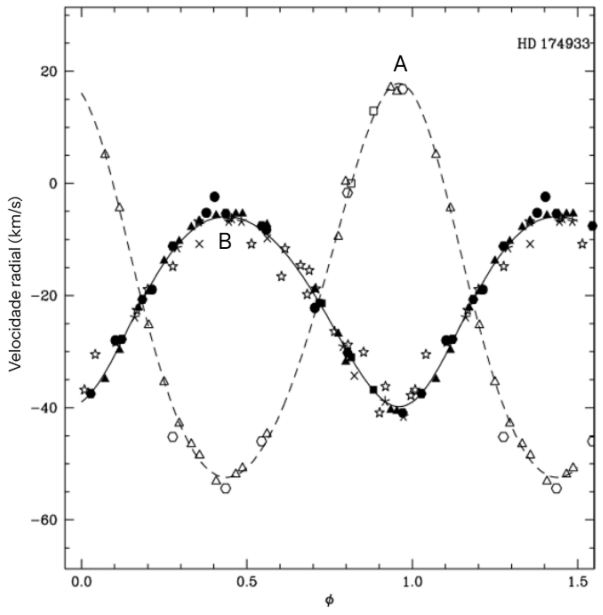
Durante a translação, essa inclinação faz com que os hemisférios recebam a luz solar com diferentes ângulos de incidência e tenham diferentes durações da parte clara do dia ao longo do ano.

Quando um hemisfério está mais voltado para o Sol, a parte clara dos dias tende a ser mais longa e a luz solar incide mais diretamente, caracterizando o verão. No hemisfério oposto, ocorre o inverno.

A precessão altera lentamente a orientação do eixo, mas não é responsável pela existência das estações. Mesmo que ela cessasse, a inclinação axial e a translação continuariam produzindo a alternância entre verão e inverno.

Quer saber mais? Acesse esta questão no site da Saperientia e clique na bolinha de IA ao lado dela. A IA já conhece o enunciado e as alternativas e pode ajudar você a entender a solução e esclarecer dúvidas.

19. A figura apresenta as curvas de velocidades radiais observadas (velocidades de aproximação ou afastamento, em que a aproximação ocorre quando a velocidade é negativa, e o afastamento, quando for positiva) de duas estrelas de um sistema binário em função da fase orbital (medida angular que indica a configuração orbital em relação a um estado inicial, onde a unidade indica uma volta completa):



A curva tracejada corresponde à estrela A, enquanto a curva contínua corresponde à estrela B. Para cada estrela, V_A e V_B representam o módulo de sua velocidade intrínseca radial máxima, ou seja, subtraindo a velocidade do centro de massa do sistema da velocidade radial observada, a qual é mostrada no gráfico. Assinale a alternativa que relaciona corretamente os valores de V_A e V_B, os períodos orbitais (P_A, P_B) e as massas (M_A, M_B) das duas estrelas. **Dica:** Perceba que o centro de massa do sistema possui uma velocidade não nula.

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) $V_A > V_B$; $P_A = P_B$; $M_A < M_B$

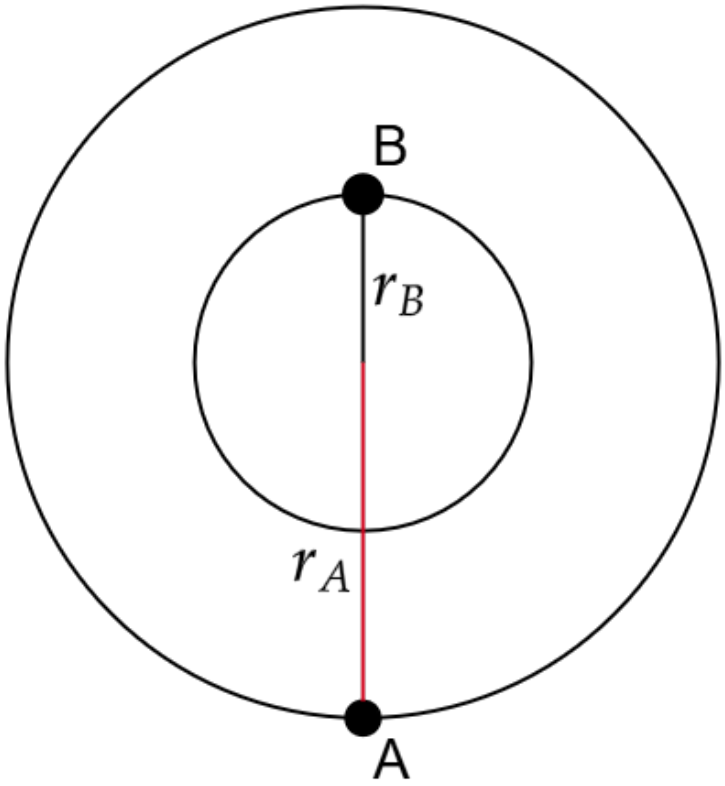
Solução: Em um sistema binário, o período orbital de ambas as componentes do sistema é igual:

$$\boxed{P_A = P_B = P}$$

Analisando o gráfico, conclui-se:

$$\boxed{V_A > V_B}$$

A imagem a seguir mostra uma representação da situação, em que se destaca a distância de cada estrela ao centro de massa:



Pela definição do centro de massa:

$$M_A r_A = M_B r_B$$
$$\frac{r_A}{r_B} = \frac{M_B}{M_A}$$

Onde r é a distância de cada componente ao centro de massa do sistema. Para deduzir a relação entre as massas, consideremos primeiro órbitas circulares vistas de perfil. Nesse caso, V_A e V_B coincidem com os módulos das velocidades orbitais. E a expressão que relaciona a velocidade (V) com o raio (R) e o período da órbita (P) é:

$$V = \frac{2\pi R}{P}$$

Para a situação representada, a expressão é melhor utilizada como:

$$V_A P_A = 2\pi r_A$$
$$V_B P_B = 2\pi r_B$$

Dividindo-se as expressões entre si:

$$\frac{V_A}{V_B} = \frac{r_A}{r_B} = \frac{M_B}{M_A}$$

Portanto, quanto maior a velocidade, menor será a massa da componente. Logo:

$$\boxed{M_A < M_B}$$

A relação final também vale para órbitas elípticas quando V_A e V_B são definidos como no enunciado.

Gabarito: **Alternativa e)**

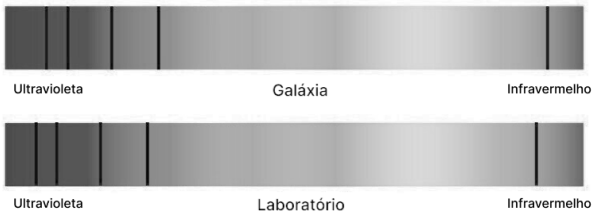
Saiba mais: O eixo horizontal mostra a fase orbital: uma variação de uma unidade corresponde a um período completo. As curvas repetem seu comportamento no mesmo intervalo porque as duas estrelas orbitam o centro de massa com o mesmo período.

A velocidade radial é a componente da velocidade ao longo da linha de visada. Na convenção usual, valores positivos indicam afastamento e negativos indicam aproximação. Entretanto, para analisar a órbita, devemos medir as variações em relação à *velocidade sistêmica*, a velocidade do centro de massa do sistema. Essa linha média não precisa corresponder a zero no gráfico. Em um sistema binário, as duas estrelas orbitam o centro de massa comum. Por isso, em relação ao centro de massa, quando uma se aproxima ao longo da linha de visada, a outra se afasta, e suas curvas aparecem em oposição de fase (isto é, quando a velocidade radial de uma é máxima, a da outra é mínima). Em sequência, teremos uma explicação detalhada para se obter cada uma das relações descritas na solução:

1. As duas estrelas pertencem ao mesmo sistema gravitacional e completam cada volta em torno do centro de massa no mesmo intervalo de tempo. No gráfico, isso aparece porque as duas curvas repetem máximos, mínimos e cruzamentos após o mesmo intervalo de fase. Elas podem ter amplitudes diferentes, mas não períodos diferentes: se uma estrela completasse uma volta antes da outra, a configuração do par deixaria de se repetir como uma única órbita ligada. Portanto, $P_A = P_B$.
2. Para comparar as velocidades orbitais a partir do gráfico, não se deve olhar apenas para o valor instantâneo em um ponto qualquer: deve-se comparar a amplitude de cada curva em relação à velocidade sistêmica, isto é, à linha média do sistema. A curva da estrela A apresenta maior afastamento vertical dessa linha média do que a curva da estrela B. Logo, a amplitude de velocidade radial de A é maior: $K_A > K_B$. Na notação usada na alternativa, isso corresponde a $V_A > V_B$. Se, por exemplo, A atingisse ± 60 km/s em torno da velocidade sistêmica e B apenas ± 30 km/s, A teria o dobro da amplitude radial de B.
3. As estrelas ficam sempre em lados opostos do centro de massa. Pela definição desse ponto, suas distâncias a ele, ponderadas pelas respectivas massas, satisfazem $M_A r_A = M_B r_B$: a estrela mais massiva fica mais próxima do centro de massa. Como ambas têm a mesma velocidade angular, $v = \omega r$, a estrela que percorre a órbita de maior raio também possui maior velocidade linear. Assim, as massas são inversamente proporcionais às amplitudes das velocidades: $\frac{M_A}{M_B} = \frac{V_B}{V_A}$. Como o gráfico mostra $V_A > V_B$, segue necessariamente que $M_A < M_B$. Em termos físicos, a estrela menos massiva move-se mais rapidamente e descreve a órbita maior; a mais massiva move-se mais lentamente e permanece mais próxima do centro de massa.

Quer saber mais? Acesse esta questão no site da Saperientia e clique na bolinha de IA ao lado dela. A IA já conhece o enunciado e as alternativas e pode ajudar você a entender a solução e esclarecer dúvidas.

20. A figura abaixo compara o espectro de absorção de uma galáxia distante com o espectro do mesmo elemento químico obtido em laboratório.



Considere uma segunda galáxia situada à mesma distância que a primeira. Ambas estão sendo afastadas de nós pela expansão do Universo. No entanto, suponha que apenas essa segunda galáxia possua um movimento local adicional, deslocando-se através do espaço na direção da Via Láctea. Isto é, embora estejam à mesma distância de nós, as duas galáxias possuem velocidades radiais resultantes diferentes.

Nesse caso, em comparação aos espectros anteriores, as linhas de absorção dessa segunda galáxia:

a) necessariamente aparecerão em comprimentos de onda menores do que no primeiro espectro, mas ainda poderão permanecer deslocadas para o vermelho em relação ao espectro de laboratório.

b) permanecerão nas mesmas posições, pois as duas galáxias encontram-se à mesma distância de nós.

c) necessariamente passarão a coincidir com as posições observadas no espectro de laboratório.

d) necessariamente passarão a apresentar blueshift em relação ao espectro de laboratório.

e) necessariamente aparecerão em comprimentos de onda maiores do que no primeiro espectro, pois o movimento adicional se soma à expansão do Universo.

Solução: O espectro apresentado na figura mostra que as linhas de absorção da primeira galáxia encontram-se deslocadas para comprimentos de onda maiores em relação ao espectro obtido em laboratório, indicando a presença de um redshift (desvio para o vermelho) causado pela expansão do Universo.

A segunda galáxia possui um movimento local adicional (frequentemente chamado de velocidade peculiar) dirigido em nossa direção. Esse movimento de aproximação produz um efeito Doppler que desloca as linhas espectrais de volta para menores comprimentos de onda, reduzindo o redshift total observado.

Entretanto, como o enunciado não informa a intensidade desse movimento local, não é possível afirmar que ele seja suficiente para anular a componente relacionada à expansão do Universo ou superá-la, produzindo, neste último caso, um blueshift. Assim, as linhas de absorção necessariamente aparecerão em comprimentos de onda menores do que no primeiro espectro, mas ainda poderão permanecer deslocadas para o vermelho em relação ao espectro de laboratório.

Sobre as alternativas erradas, temos que a alternativa b) desconsidera o movimento local da segunda galáxia. A alternativa c) exigiria que esse movimento cancelasse exatamente o efeito da expansão, o que não é garantido. A alternativa d) exigiria que a aproximação superasse a recessão causada pela expansão, algo também não informado. Já a alternativa e) inverte o efeito do movimento local: por ser dirigido para nós, ele reduz, em vez de aumentar, o desvio para o vermelho.

Gabarito: **Alternativa a)**

Saiba mais: O deslocamento de uma linha espectral é medido em relação ao comprimento de onda de repouso λ_0, obtido em laboratório:

$$z = \frac{\lambda_{\text{obs}} - \lambda_0}{\lambda_0}.$$

Se $z > 0$, há desvio para o vermelho; se $z < 0$, há desvio para o azul. É essencial distinguir duas comparações: uma linha pode ter comprimento de onda menor que o observado na primeira galáxia e ainda ter comprimento de onda maior que o de laboratório.

Por exemplo, suponha que uma linha esteja em $500\,\text{nm}$ no laboratório, em $510\,\text{nm}$ na primeira galáxia e em $506\,\text{nm}$ na segunda. A segunda apresenta menor desvio para o vermelho, mas não apresenta desvio para o azul.

O movimento local em direção à Via Láctea, chamado de *velocidade peculiar*, reduz o desvio associado à expansão. No regime de velocidades pequenas comparadas à da luz, podemos representar essa combinação por

$$v_{\text{rad}} \simeq v_{\text{exp}} - |v_{\text{pec}}|.$$

Somente se a aproximação superar a recessão o resultado será um desvio para o azul. Estar à mesma distância não garante o mesmo deslocamento espectral quando os movimentos locais são diferentes.

Quer saber mais? Acesse esta questão no site da Saperientia e clique na bolinha de IA ao lado dela. A IA já conhece o enunciado e as alternativas e pode ajudar você a entender a solução e esclarecer dúvidas.