

## Instruções Gerais

1. Escreva seu NOME COMPLETO, o número da sua reunião Zoom e da sua sala em TODAS as folhas de respostas que serão escaneadas.
2. Escreva o número de cada questão na folha de resposta, bem como o número da página.
3. Essa prova é de aplicação única. **NÃO HAVERÁ SEGUNDA CHAMADA.**
4. A duração da prova é de 3 (três) horas e 30 minutos e o tempo para escanear é de 30 (trinta) minutos, sem possibilidade de tempo adicional, a não ser em casos de imprevistos.
5. A prova é composta por 10 questões (totalizando 300 pontos), divididas nas seguintes categorias:
  - Questões Curtas - **5 questões**, sendo uma valendo 5 pontos, uma valendo 10 pontos e três valendo 15 pontos.
  - Questões Médias - **2 questões**, sendo uma valendo 25 pontos e uma valendo 35 pontos.
  - Questões Longas - **3 questões**, sendo duas valendo 55 pontos e uma valendo 70 pontos.
6. A prova é individual e sem consultas. Uma tabela de constantes com informações relevantes para a Prova Teórica está disponibilizada na página 2.
7. O uso de calculadoras é permitido, desde que não sejam programáveis/gráficas/com acesso a internet.
8. As resoluções das questões, numeradas de 1 a 10, podem ser feitas a lápis (bem escuro) ou caneta e devem ser apresentadas de forma clara, concisa e completa. Faça um retângulo ao redor da resposta de cada item. Sempre que possível, use desenhos e gráficos. Recomendamos o uso de borracha, régua e compasso.
9. Você pode utilizar folhas de rascunho para auxiliar no processo de resolução da prova, mas elas não devem ser entregues no formulário.

## Instruções Específicas

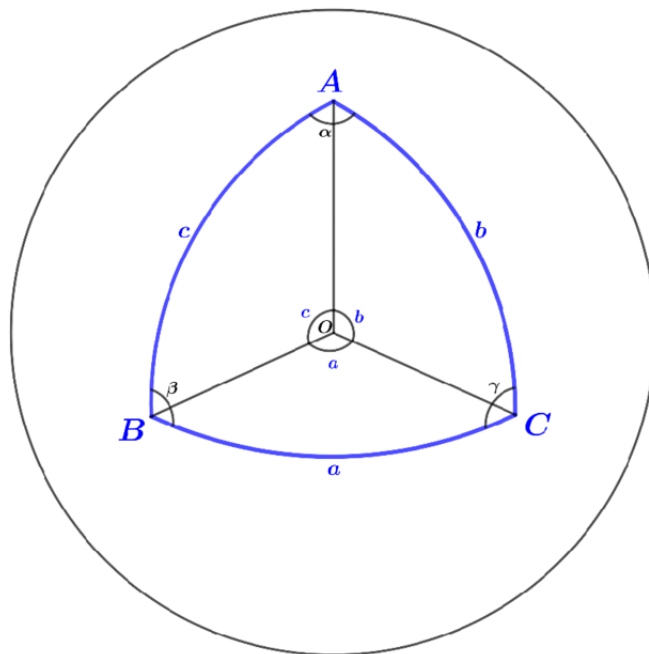
1. Os alunos só poderão se comunicar com o fiscal de sua sala por meio do chat da plataforma Zoom. São vedadas quaisquer dúvidas em relação ao conteúdo da prova.
2. Ao terminar a prova, avise o fiscal de sala pelo chat da plataforma Zoom e aguarde por instruções.
3. Os microfones deverão permanecer fechados a todo tempo. O estudante deve manter dois equipamentos conectados à sua sala no Zoom durante o curso da prova, de forma que possa ser visto durante toda sua duração.
4. O uso de aparelhos celulares ou câmeras fotográficas só é permitido enquanto o aluno realiza o scan de suas soluções.
5. Para questões em branco, escreva no topo da questão subsequente “Pulei a questão anterior.”

## Tabela de Constantes

Massa ( $M_{\oplus}$ )	$5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$	<b>Terra</b>
Raio ( $R_{\oplus}$ )	$6,38 \cdot 10^6 \text{ m}$	
Aceleração da gravidade superficial ( $g_{\oplus}$ )	$9,8 \text{ m/s}^2$	
Obliquidade da Eclíptica	$23^{\circ}27'$	
Ano Tropical	365,2422 dias solares médios	
Ano Sideral	365,2564 dias solares médios	
Albedo	0,39	
Dia sideral	$23\text{h } 56\text{min } 04\text{s}$	
Massa	$7,35 \cdot 10^{22} \text{ kg}$	<b>Lua</b>
Raio	$1,74 \cdot 10^6 \text{ m}$	
Distância média à Terra	$3,84 \cdot 10^8 \text{ m}$	
Inclinação Orbital com relação à Eclíptica	$5,14^{\circ}$	
Albedo	0,14	
Magnitude aparente (lua cheia média)	$-12,74 \text{ mag}$	
Massa ( $M_{\odot}$ )	$1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$	<b>Sol</b>
Raio ( $R_{\odot}$ )	$6,96 \cdot 10^8 \text{ m}$	
Luminosidade ( $L_{\odot}$ )	$3,83 \cdot 10^{26} \text{ W}$	
Magnitude Absoluta ( $M_{\odot}$ )	$4,80 \text{ mag}$	
Magnitude Aparente ( $m_{\odot}$ )	$-26,7 \text{ mag}$	
Diâmetro Angular	$32'$	
Velocidade de Rotação na Galáxia	$220 \text{ km s}^{-1}$	
Distância ao Centro Galáctico	$8,5 \text{ kpc}$	
Diâmetro da pupila humana	$6 \text{ mm}$	<b>Distâncias e tamanhos</b>
Magnitude limite do olho humano nu	$+6 \text{ mag}$	
1 UA	$1,496 \cdot 10^{11} \text{ m}$	
1 pc	$206.265 \text{ UA}$	
Constante Gravitacional ( $G$ )	$6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$	<b>Constantes Físicas</b>
Constante Universal dos Gases ( $R$ )	$8,314 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	
Constante de Planck ( $h$ )	$6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$	
Constante de Boltzmann ( $k_B$ )	$1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$	
Constante de Stefan-Boltzmann ( $\sigma$ )	$5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$	
Constante de Hubble ( $H_0$ )	$67,8 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$	
Velocidade da luz no vácuo ( $c$ )	$3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$	
Massa do Próton	$938,27 \text{ MeV} \cdot \text{c}^{-2}$	
$\lambda_{H\alpha}$ medido em laboratório	$656 \text{ nm}$	

## Formulário

- Para um Triângulo Esférico:



Lei dos senos:

$$\frac{\text{sen}(a)}{\text{sen}(\alpha)} = \frac{\text{sen}(b)}{\text{sen}(\beta)} = \frac{\text{sen}(c)}{\text{sen}(\gamma)}$$

Lei dos cossenos:

$$\cos(a) = \cos(b) \cdot \cos(c) + \text{sen}(b) \cdot \text{sen}(c) \cdot \cos(\alpha)$$

Lei dos quatro elementos:

$$\cot(\beta) \cdot \text{sen}(\gamma) + \cos(a) \cdot \cos(\gamma) = \cot(b) \cdot \text{sen}(a)$$

- Forma Polar da elipse :

$$r(\theta) = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e \cdot \cos(\theta)}$$

- Forma Polar da parábola :

$$r(\theta) = \frac{2r_p}{1 + \cos(\theta)}$$

- Critério de resolução de Rayleigh:

$$\theta_{min} \approx 1,22 \cdot \frac{\lambda}{D}$$

- Lei de Stefan-Boltzmann:

$$F = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4$$

sendo  $\epsilon$  a emissividade do corpo irradiante, com  $\epsilon = 1$  para corpos negros

- Efeito Doppler Clássico:

$$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v_{rad}}{c}$$

## Questões Curtas

1. **(Relógio Rice - 15 pontos)** Em junho, Giulia foi visitar sua faculdade, Rice, que se localiza em Houston ( $\phi = 29,7^\circ$  N). Como boa astrônoma (e não engenheira como outros membros da comissão), ela logo se encantou com os relógios de Sol lá presentes e resolveu fotografá-los para montar questões para a seletiva de astronomia.



**Figura 1** – Relógio de Sol localizado em Rice, Houston, EUA.

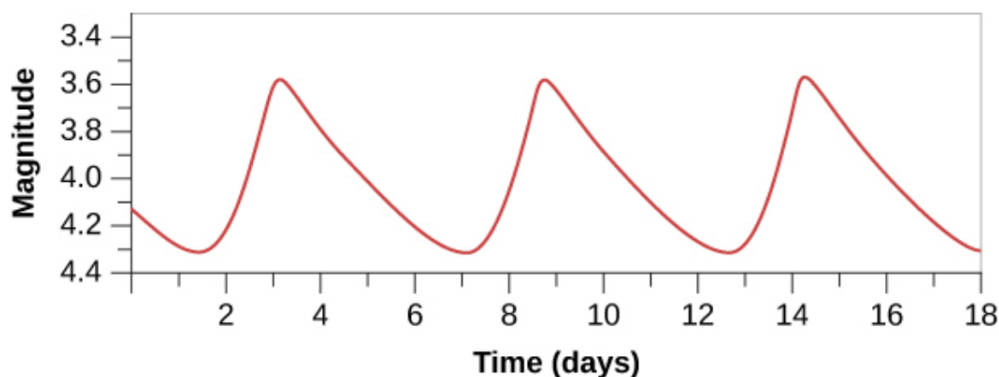
A partir dessa foto, tirada às 12h42 locais, qual a longitude de Houston? **Justifique qualquer aproximação feita.**

Houston se encontra no fuso horário UTC-6 e utiliza horário de verão entre março e novembro.

Note que trata-se de um relógio solar cilíndrico polar.

2. **(Fotografia Solar - 5 pontos)** Um astrônomo está estudando o Sol, e deseja capturar uma imagem do mesmo com um telescópio munido de filtros apropriados. Ele possui um CCD com pixels de lado  $10\ \mu\text{m}$ , e necessita que, na imagem capturada, o Sol possua um raio de 675 pixels. Sabendo disso, qual deve ser a distância focal do telescópio que o astrônomo irá utilizar para que a imagem capturada satisfaça à especificação de seus estudos?
3. **( $\delta$  Cephei - 10 pontos)** Uma variável Cefeida é um tipo de estrela que pulsa radialmente, variando em diâmetro e temperatura. Isso produz mudanças periódicas em seu brilho, com um período e amplitude estáveis e bem definidos. O gráfico abaixo mostra a curva de luz (magnitude visual aparente *versus* tempo em dias) da variável cefeida  $\delta$  Cephei A, do sistema  $\delta$  Cephei.

Figura 2 – Representação simplificada da curva de luz da estrela variável Delta Cephei



Fonte: <https://cnx.org/contents/vdWWIntw@8/Variable-Stars-One-Key-to-Cosmic-Distances>. Acesso em 28/02/2022.

Saiba que, para cefeidas, vale a seguinte relação período-luminosidade:

$$M_V = -2,78[\log_{10}(P) - 1] - 4,00$$

Sendo  $M_V$  a magnitude absoluta visual média da estrela e  $P$  o seu período de pulsação, em dias. Assuma que a estrela mantém um formato esférico e comportamento de um corpo negro perfeito a todo instante. Com isso, resolva os itens abaixo:

- (a) **(5,5 pontos)** Observações mostram que a temperatura efetiva da estrela varia entre 5500 e 6800  $K$ . Considerando que quanto maior o diâmetro da estrela, mais ela brilha, estime a razão entre os seus diâmetros mínimo e máximo.
  - (b) **(4,5 pontos)** Estime a magnitude aparente média da cefeida e sua distância até nós, em parsecs.
4. **(Vaga-lume - 15 pontos)** Giulia observa um vaga-lume que vaga em uma noite estrelada. Num primeiro momento, ela observa a luz verde na direção do Norte com uma magnitude similar à de Sirius ( $m_S = -1,46$ ). Atenta, ela rapidamente mede a que altura está o inseto:  $40^\circ$ . Depois de  $\Delta t = 3,0$  segundos, ele reaparece na direção Oeste a uma distância zenital  $70^\circ$  com uma magnitude similar à de Júpiter em oposição ( $m_J = -2,9$ ). Estime a velocidade do vaga-lume.
- Assuma que o vaga-lume voa em linha reta e tem luminosidade aproximadamente  $2,0 \times 10^{31}$  vezes menor que a do Sol. Despreze efeitos de paralaxe, e considere que Giulia não se move nesses 3 segundos.
5. **(Movimentos Orbitais - 15 pontos)** Um satélite é lançado e colocado em uma órbita geocêntrica circular, de raio  $r = 18600$  km. Com base nisso, responda os seguintes itens:
- (a) **(7 pontos)** Deseja-se, primeiramente, alterar o plano da órbita do satélite, mantendo seu formato inalterado. Calcule o módulo do impulso  $\Delta v$ , em m/s, necessário para se alterar a inclinação da órbita em  $\Delta i = 30^\circ$ .
  - (b) **(8 pontos)** Considere que o satélite realizou o impulso do item a). Queremos, agora, alterar o formato da órbita do satélite de circular para elíptica. Para isso, aplica-se em um ponto qualquer de sua órbita um impulso radial instantâneo de valor  $\Delta v' = 2200$  m/s. Determine, com cálculos, se isso cumprirá o objetivo, e calcule o semieixo maior da órbita final, em metros.

## Questões Médias

6. **(Eu consigo ver a Lua? - 35 pontos)** Eduardo é lunático pela Lua, tanto que ele decidiu construir uma janela especial para poder observá-la dentro de casa. Ele mora em uma semi-esfera - com a parte plana no solo -. Em seu centro, ficará o telescópio pelo qual ocorrerão as observações. A janela será projetada de forma que Eduardo possa enxergar a Lua em sua totalidade a qualquer momento em que ela esteja acima do horizonte, utilizando a menor área possível - então nem pense em dizer que substituir a parede inteira por vidro cumpriria a condição -. Ajude-o nessa nobre reforma.
- (4 pontos)** Considere os vetores Polo Norte Celeste, Polo Norte Eclíptico e Polo Norte de translação da Lua (em torno da Terra). Qual elemento orbital é matematicamente relacionado aos ângulos entre esses vetores? Explícite a relação.
  - (14 pontos)** Calcule a inclinação da órbita da Lua em relação ao Equador Celeste.
  - (10 pontos)** Descreva de forma qualitativa/semi-quantitativa como será a janela - você não precisa descrever como demarcá-la apenas com compasso e régua não graduada, apenas dê uma explicação sucinta relacionando a janela com ideias e conceitos da astrometria -.

O ângulo - em radianos (rad) - é a abstração de uma abertura bidimensional, sendo definido como o comprimento de um arco de circunferência dividido por seu raio. Analogamente, o ângulo sólido - em esferorradianos (sr) - é a abstração de uma abertura tridimensional - em uma esfera -, sendo definido como a área de um recorte de superfície esférica - que representa a abertura - dividida pelo quadrado do raio.

- (7 pontos)** Calcule o ângulo sólido compreendido pela janela a partir do local de observação.

Dados:

- Obliquidade da Eclíptica:  $\epsilon = 23^\circ 27'$ .
- Inclinação da órbita da Lua em relação à Eclíptica:  $i = 5^\circ 09'$
- Considere que a longitude eclíptica do nodo ascendente é aproximadamente  $60^\circ$ .
- Diâmetro aparente da lua:  $32'$
- Desconsidere a precessão do eixo de rotação da Terra. Em sua perigosa rotina combatendo incêndios, a expectativa de vida de Eduardo não é tão alta assim.
- Ângulo sólido da calota de semi abertura  $\theta$ :  $\Omega = 2\pi(1 - \cos \theta)$ .

7. **(JuvenSat - 25 pontos)** O exímio astrônomo Juventino passa parte do seu tempo livre fabricando satélites. Recentemente, Juventino colocou um satélite caseiro de 30 kg em uma órbita terrestre. Contudo, por falhas técnicas no lançamento, o satélite saiu do trajeto desejado. Por isso, Juventino mediu os valores mostrados na tabela a seguir para estudar a nova órbita do satélite. Os dois valores correspondem à órbita real do satélite, não à desejada por Juventino.

Velocidade Angular Tangencial ( $^\circ/s$ )	Velocidade Radial (m/s)
$4,51 \times 10^{-3}$	0,00
$2,30 \times 10^{-3}$	0,00

Considere apenas o efeito gravitacional da Terra no satélite.

Os valores de velocidade angular fornecidos têm como referencial o centro da Terra. Juventino já fez as correções necessárias para levar em consideração a rotação do planeta, então não há necessidade de se preocupar com isso.

- (5 pontos)** Determine o tipo de órbita desse satélite (circular, elíptica, parabólica ou hiperbólica). Justifique a sua resposta.
- (7 pontos)** Utilizando a conservação do momento angular, determine a excentricidade dessa órbita.
- (8 pontos)** Determine o semieixo maior dessa órbita em metros.
- (5 pontos)** Calcule a energia mecânica total do satélite em Joules.

## Questões Longas

8. (**Trem Estranho - 55 pontos**) Shoji faz uma viagem em um trem de alta velocidade. O trem desloca-se na direção Norte-Sul, sempre sobre o mesmo meridiano. A viagem começa às 14h00 (horário local), na latitude  $\phi = 10^\circ N$  e durará  $\Delta t = 1,5$  hora.

O assento de Shoji está posicionado de frente para o ponto cardinal Oeste. Logo antes de o trem partir, o viajante nota que o Sol encontra-se sobre o Círculo Maior que passa pelo ponto Oeste, zênite e Leste, além de estar **perfeitamente ajustado** atrás de um anteparo metálico que está sobre a janela à sua frente. O anteparo é retangular e possui a mesma altura da janela. Considere que o plano da janela diste  $L = 2$  metros dos olhos do passageiro.

- (12 pontos) Calcule a declinação do Sol nesse dia. Despreze os efeitos da equação do tempo solar.
- (5 pontos) A que altura angular, em relação ao horizonte, Shoji observa o Sol no instante de partida do trem?
- (6 pontos) Determine a largura do anteparo metálico, em centímetros.

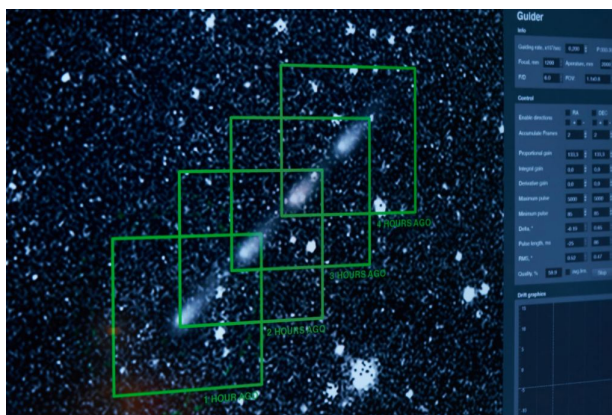
Diante dessa situação, Shoji pede ao maquinista que mantenha o Sol atrás do anteparo durante toda a viagem, de modo que ele tenha um maior conforto. Considere  $t = 0$  como o instante de partida do trem.

- (16 pontos) Determine uma expressão para a latitude em que o trem está em um instante  $t$  da viagem, dado em horas.
- (3 pontos) Com base na expressão anterior, indique o sentido de percurso do trem.
- (3 pontos) Qual a latitude do destino final de Shoji?
- (10 pontos) Determine a velocidade média do trem ao longo da viagem, em  $km/h$ .

9. (**Don't Look Up - 55 pontos**) O filme “Não Olhe Para Cima” (Netflix, 2021) conta a história de Randall Mindy (Leonardo DiCaprio) e Kate Dibiasky (Jennifer Lawrence), dois astrônomos que fazem uma descoberta surpreendente: um cometa colidirá com a Terra! O desenvolvimento da narrativa mostra, de maneira cômica, o desafio enfrentado pelos cientistas para conciliar os holofotes dos noticiários, a tentativa de convencer um público cético dos perigos associados à descoberta e a busca por uma forma de superar, com o uso de tecnologia, essa ameaça à humanidade.

No início do longa-metragem, o Dr. Mindy analisa os dados de posição do cometa, a fim de se determinar os parâmetros de sua órbita, bem como a sua trajetória. Os cálculos indicam que o intervalo de tempo entre a detecção desse objeto e seu impacto na superfície terrestre é de  $\Delta t = 6$  meses. Outra informação descoberta é que o cometa é originário da Nuvem de Oort, uma região nos confins do Sistema Solar (depois de Urano e Netuno) e supostamente ocupada por bilhões de objetos que orbitam o Sol.

**Figura 3** – Sequência de imagens que mostra o cometa, já com a coma presente.



Fonte: Don't Look Up. Direção: Adam McKay. Produção: Hyperobject Industries. Estados Unidos: Netflix, 2021. 1 DVD (138 min).

Com base nas informações acima, e assumindo que a órbita da Terra ao redor do Sol seja circular de raio  $1 \text{ UA}$ , responda as questões.

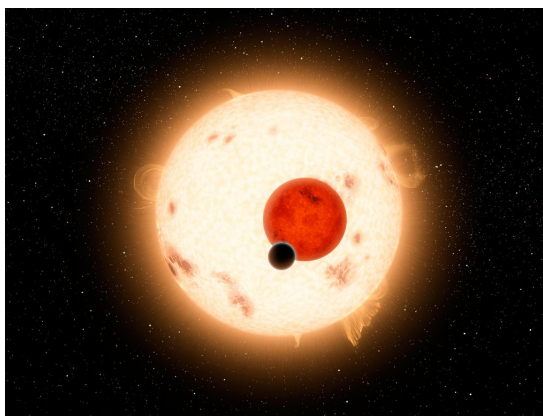
- (3 pontos)** Calcule o semi-eixo maior da órbita do cometa, em  $\text{UA}$ . Assuma que o objeto possui afélio na Nuvem de Oort a uma distância de  $d = 35.000 \text{ UA}$  do Sol.
- (4 pontos)** Calcule o período orbital do cometa, em anos.
- (3 pontos)** Calcule qual é, aproximadamente, a excentricidade da órbita do cometa.

Como se pode ver na imagem do início da questão, o cometa foi avistado pelos cientistas no exato instante em que há a formação de coma: o cometa atinge uma distância ao Sol suficiente para que a sua superfície de gelo sublima. Considere que o cometa rotaciona rapidamente e que, quando sua temperatura atinge  $T = 150 \text{ K}$ , o gelo presente em sua superfície começa a sublimar, formando a nuvem de gás característica da coma.

- (10 pontos)** Com base nos dados acima, calcule a distância do cometa ao Sol, em  $\text{UA}$ , a partir do instante em que a coma se iniciou e o mesmo foi avistado. Considere que o albedo da superfície do objeto é dado por  $A = 0,05$ .
- (5 pontos)** Encontre a velocidade do cometa em relação ao Sol no momento em que foi avistado, em  $\text{km/s}$ .

Ainda, para os itens abaixo, considere que a órbita do cometa esteja contida na Eclíptica e que o objeto descoberto translade ao redor do Sol no mesmo sentido que a Terra. Ademais, assumo que a distância angular entre o Sol e o cometa, no momento da primeira detecção, seja  $\theta = 120^\circ$ .

- (7,5 pontos)** Calcule o ângulo, em graus, entre a Terra e o cometa, quando vistos a partir do Sol, no momento da primeira detecção.
  - (2,5 pontos)** Faça um desenho da situação incluindo: o cometa e a Terra no momento da detecção; o Sol; a Terra no momento do impacto; e as órbitas dos objetos.
  - (25 pontos)** Calcule o periélio do cometa, em  $\text{UA}$ .
10. **(Tatooine - 70 pontos)** Kepler-16b é um exoplaneta que foi descoberto através do observatório espacial a bordo da espaçonave Kepler da NASA. Um fato que torna esse corpo celeste bastante especial é a sua órbita: Kepler-16b não orbita apenas uma, mas duas estrelas. Mais especificamente, as estrelas Kepler-16A (primária) e Kepler-16B (secundária) giram em torno de um centro de massa comum, formando um sistema binário, e o planeta Kepler 16b gira em torno do centro de massa desse sistema binário, caracterizando um planeta circumbinário, sendo o primeiro desse tipo encontrado e validado pela missão Kepler. O astro foi carinhosamente apelidado de "Tatooine", em referência ao célebre planeta da franquia de filmes de ficção *Star Wars*, o qual possui dois "sóis" e é a casa do protagonista Luke Skywalker. Nesse problema, iremos estudar algumas características desse curioso sistema.



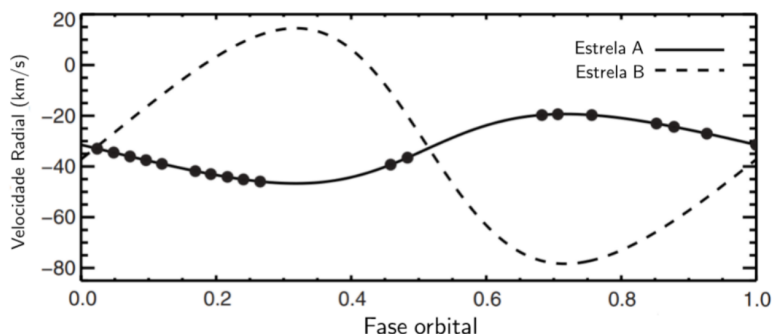
**Figura 4** – Representação artística do sistema Kepler-16, mostrando a estrela binária sendo orbitada por Kepler-16b. Crédito: NASA/JPL-Caltech.

Observações mostram que as órbitas das estrelas Kepler 16A e Kepler 16B (as quais a partir de agora serão chamadas somente de A e B, respectivamente) são circulares e *edge-on*, i.e., possuem inclinação orbital de  $90^\circ$ .

O sistema binário possui período orbital  $P = 41,08$  dias, e a sua paralaxe medida é  $p = 13,29$  mas. Além disso, a máxima separação angular observada entre as estrelas vale  $\theta = 2,98$  mas.

(a) (7 pontos) Calcule a massa total das estrelas,  $M$ , em massas solares ( $M_\odot$ ).

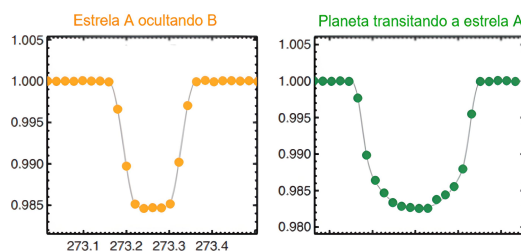
Abaixo, consta um gráfico da velocidade radial medida de cada componente, em função da fase orbital do sistema. **Uma versão ampliada do gráfico encontra-se após o fim do enunciado da questão.** Utilize-o de forma apropriada para resolver os itens a seguir.



**Figura 5** – Gráfico de velocidade radial versus fase orbital para o sistema binário, com base em observações espectrográficas do Telescópio Tillinghast, no Observatório Fred Lawrence Whipple. Os pontos cheios são medições de velocidade radial da estrela A. No gráfico figuram também as curvas previstas para a velocidades radiais de ambas as estrelas.

- (b) (3 pontos) Obtenha, em km/s, a velocidade radial do centro de massa do sistema binário,  $V_{cm}$ . Explícite se o sistema está se aproximando ou se afastando de nós.
- (c) (10 pontos) Calcule as massas individuais  $M_A$  e  $M_B$  das estrelas A e B em massas solares, bem como seus raios orbitais  $r_A$  e  $r_B$  em unidades astronômicas.

Ao estudarem a luz proveniente dessas estrelas, os cientistas conseguiram detectar o exoplaneta Kepler-16b usando o método de trânsito. Eles notaram uma queda no fluxo de luz recebido das estrelas, mesmo quando uma não estava eclipsando ou ocultando a outra, indicando a presença de um objeto passando na frente delas. Estudando as curvas de luz, podemos entender melhor esse fenômeno e fazer algumas estimativas. Abaixo, são mostradas duas curvas de luz do sistema, em dois momentos distintos. Os gráficos mostram o fluxo normalizado do sistema em função do tempo (medido em relação à uma certa data de referência) em dias. No gráfico da esquerda, ocorre a **ocultação** da estrela B pela A, e na da direita o **trânsito** do planeta na estrela A. Note que a escala horizontal foi omitida em um dos gráficos. **Versões ampliadas dos gráficos encontram-se após o fim do enunciado da questão.**



**Figura 6** – Curvas de luz do sistema Kepler 16, obtidas com dados do observatório espacial Kepler.

Para fins de simplificação, considere que Kepler-16b gira em torno do centro de massa de A e B como se toda a massa das estrelas estivesse concentrada nesse ponto. Além disso, a órbita do planeta é circular e coplanar às órbitas das estrelas (*edge-on*), com período  $T = 229$  dias. Saiba também que a magnitude aparente visual do sistema quando não há nenhum eclipse/ocultação/trânsito é  $m = 11,24$ . Considere, em seus cálculos, que os brilhos superficiais das estrelas são uniformes.

- (d) (10 pontos) Calcule os raios das estrelas  $R_A$  e  $R_B$ , em raios solares ( $R_\odot$ ).
- (e) (15 pontos) Obtenha as temperaturas efetivas das estrelas  $T_A$  e  $T_B$ , em K.
- (f) (10 pontos) Calcule o raio do planeta,  $R_P$  (em unidades do raio de Júpiter,  $R_J$ ) e o raio de sua órbita,  $r_P$ , em unidades astronômicas. Saiba que  $R_J = 6,99 \cdot 10^4$  km.

Também foi estudada a possibilidade da existência de vida em Kepler-16b. Considere que, para que um planeta possa abrigar vida, é necessário que seja possível a existência de água líquida em sua superfície. A priori, a pressão na superfície é desconhecida. É conhecido, porém, o diagrama de equilíbrio de fases da água.

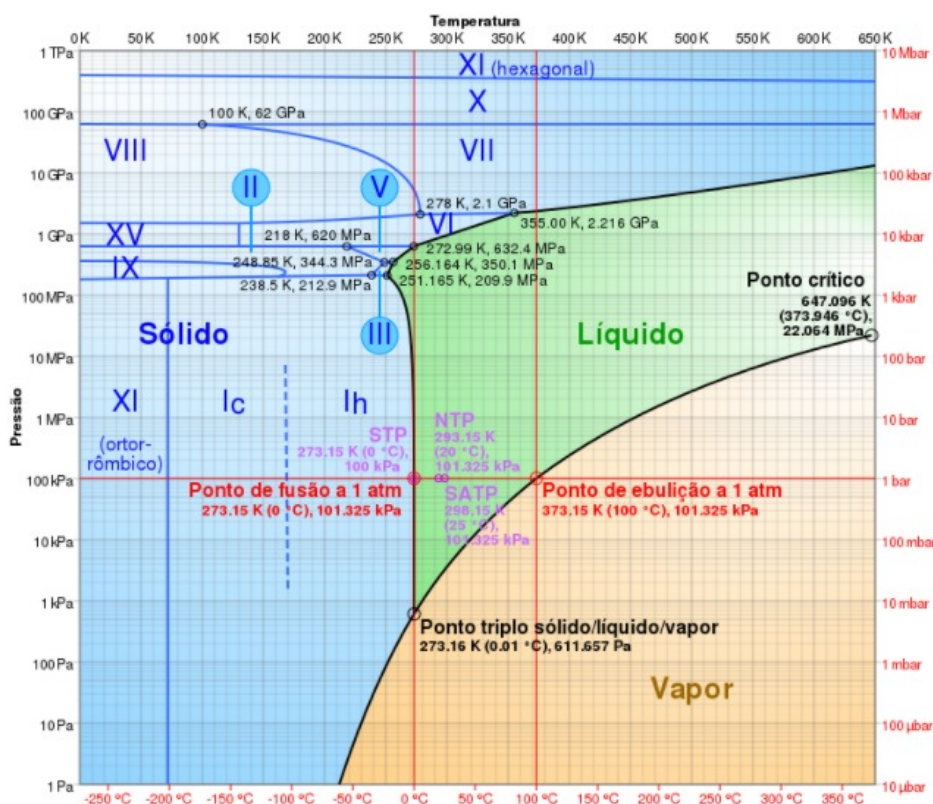


Figura 7 – Diagrama de equilíbrio de fases da água. Autoria: Cmglee. Fonte: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Phase\\_diagram\\_of\\_water.svg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Phase_diagram_of_water.svg). Acesso em 27/02/2022

- (g) (15 pontos) Assumindo que Kepler-16b possui um albedo  $A = 0,3$ , determine as temperaturas efetivas máxima e mínima que o planeta pode exibir, em  $^\circ\text{C}$ , e, com base nisso, responda **É POSSÍVEL** ou **NÃO É POSSÍVEL** quanto à possibilidade de habitabilidade no corpo celeste, e justifique sua resposta. Considere que o planeta possui rotação rápida e entra em equilíbrio termodinâmico em uma escala de tempo de poucos dias - ou seja, um evento que dure minutos ou horas não altera significativamente sua temperatura -. Despreze fontes alternativas de energia, como vulcanismo e atividade radioativa.

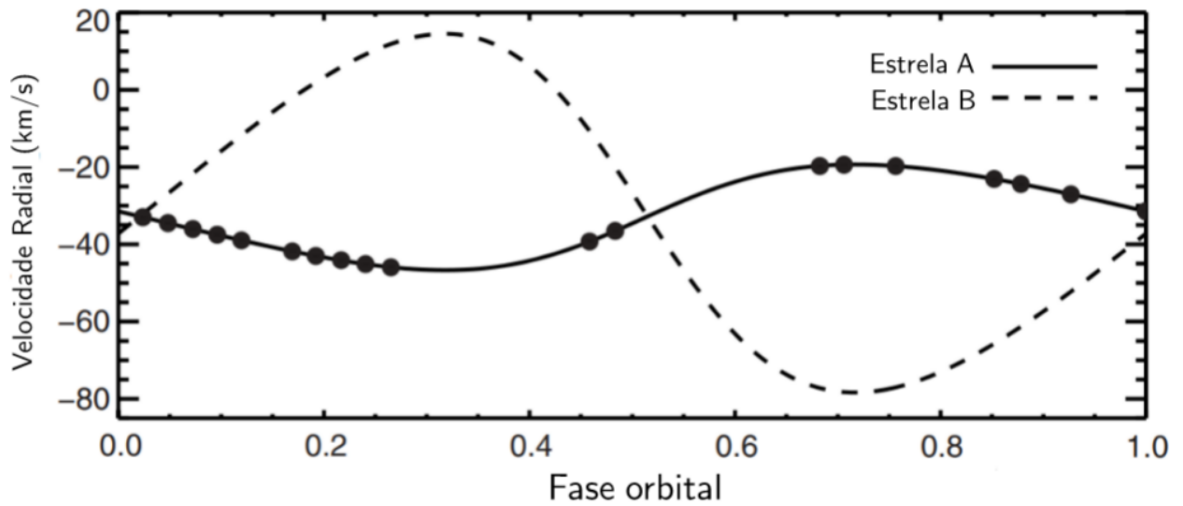


Figura 8 – Versão ampliada do gráfico de velocidade radial.

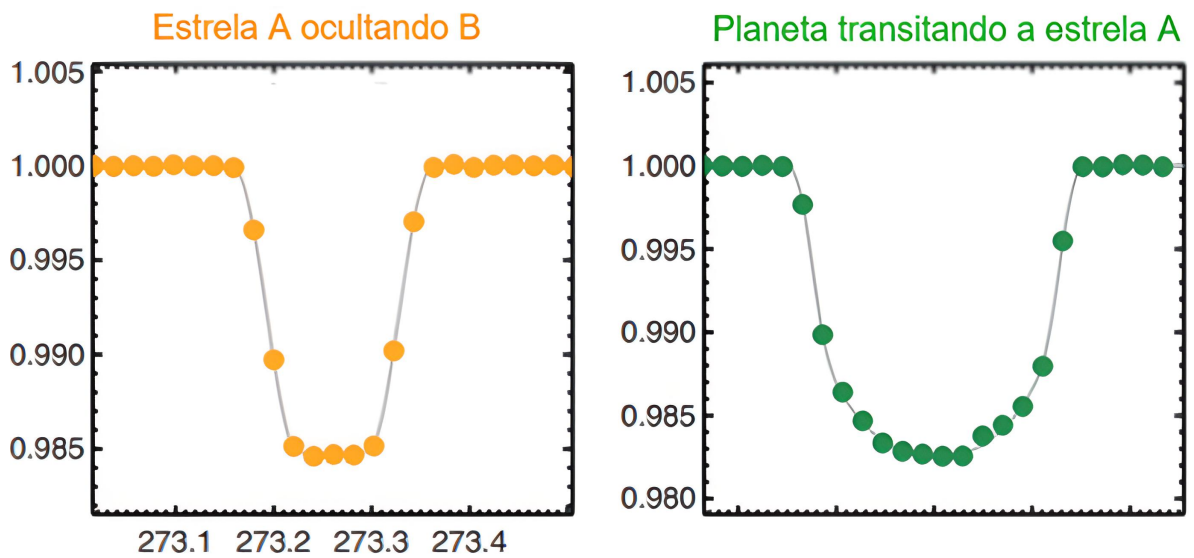


Figura 9 – Versão ampliada das curvas de luz.