

AULAS PREPARATÓRIAS PARA A OBA - SELETIVAS INTERNACIONAIS

Aula 4

Leis de Kepler, gravitação e órbitas

Como a gravidade organiza o movimento dos astros

Isabelle Gios Martimiano

11/09/2026

1. O que é uma órbita?

Uma **órbita** é a trajetória de um corpo que se move sob a ação da gravidade de outro corpo.

Exemplos:

- ▶ planetas orbitando o Sol;
- ▶ Lua orbitando a Terra;
- ▶ satélites artificiais orbitando a Terra;
- ▶ estrelas orbitando o centro da Via Láctea;
- ▶ estrelas em sistemas binários orbitando o centro de massa comum.

Ideia central

Um corpo em órbita está continuamente “caindo”, mas sua velocidade lateral faz com que ele continue contornando o astro central em vez de atingir sua superfície.

2. De círculos perfeitos às órbitas de Kepler

Por muito tempo, imaginou-se que os planetas deveriam se mover em círculos perfeitos.

As observações extremamente precisas de **Tycho Brahe**, principalmente de Marte, permitiram que Johannes Kepler descobrisse que essa ideia não descrevia corretamente os movimentos planetários.

Kepler encontrou três regras empíricas que descrevem as órbitas dos planetas:

1ª Lei: forma da órbita

2ª Lei: variação da velocidade

3ª Lei: período e tamanho da órbita

3. Antes de Kepler: conhecendo a elipse

Uma **elipse** é uma curva fechada que possui dois pontos especiais chamados **focos**.

Semieixo maior a

É metade do maior diâmetro da elipse.
Ele é usado para representar o **tamanho da órbita**.

Excentricidade e

Indica o quanto a órbita é alongada.

$$0 \leq e < 1$$

Quanto mais próximo de zero, mais circular é a órbita.

Uma circunferência é um caso particular de elipse com $e = 0$.

4. Excentricidade: quão alongada é a órbita?

$$e \approx 0$$

Órbita quase circular.
Exemplo: vários planetas do Sistema Solar possuem excentricidades relativamente pequenas.

e intermediária

A diferença entre a menor e a maior distância ao corpo central fica mais evidente.

$$e \rightarrow 1$$

Órbita elíptica muito alongada.
É comum em vários cometas.

Para uma órbita elíptica:

$$r_{\min} = a(1 - e)$$

$$r_{\max} = a(1 + e)$$

5. Periélio, afélio, perigeu e apogeu

Os nomes dependem do corpo central.

Corpo central	Ponto mais próximo	Ponto mais distante
Sol	Periélio	Afélio
Terra	Perigeu	Apogeu
Qualquer astro	Periastro	Apoastro

Ligação com a Aula 3

Quando a Lua está no **perigeu**, ela está mais próxima da Terra e seu tamanho aparente é maior. No **apogeu**, está mais distante e parece menor.

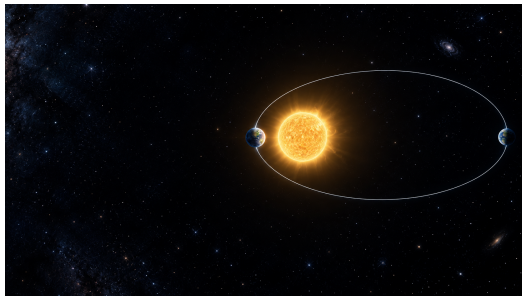
6. 1ª Lei de Kepler: Lei das Órbitas

1ª Lei de Kepler

Os planetas descrevem **órbitas elípticas**, com o Sol ocupando **um dos focos** da elipse.

Cuidado

O Sol **não fica no centro geométrico** da elipse, exceto no caso limite de uma órbita circular.



7. O que a 1ª Lei nos diz fisicamente?

Como o Sol está em um foco, a distância planeta–Sol muda ao longo da órbita.

No caso de um planeta:

- ▶ **periélio**: menor distância ao Sol;
- ▶ **afélio**: maior distância ao Sol.

Para uma órbita de semieixo maior a e excentricidade e :

$$r_p = a(1 - e)$$

$$r_a = a(1 + e)$$

Quanto maior e

maior a diferença entre as distâncias de periélio e afélio.

8. Uma relação muito útil: $r_p + r_a = 2a$

Para uma órbita elíptica:

$$r_p = a(1 - e)$$

$$r_a = a(1 + e)$$

Somando:

$$\begin{aligned} r_p + r_a &= a(1 - e) + a(1 + e) \\ &= a - ae + a + ae \\ &= 2a \end{aligned}$$

Logo:

$$r_p + r_a = 2a$$

Interpretação

As distâncias de **periélio** e **afélio**, medidas a partir do foco onde está o Sol, somam o **eixo maior completo** da elipse.

9. Por que essa soma dá exatamente $2a$?

A partir das propriedades da elipse:

$$r_p = a - c$$

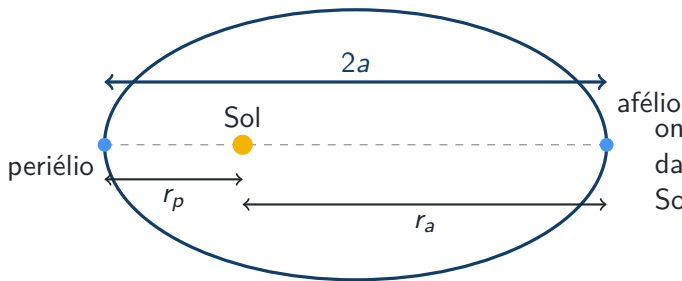
$$r_a = a + c$$

onde c é a distância entre o centro da elipse e o foco.

Somando:

$$(a - c) + (a + c) = 2a$$

$$\boxed{r_p + r_a = 2a}$$

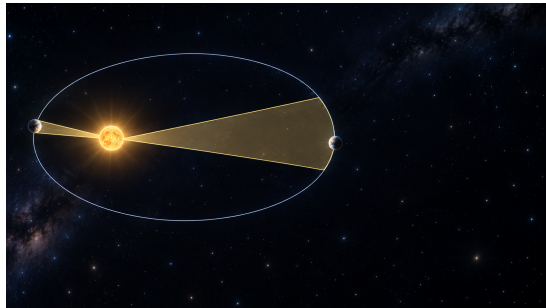


10. 2ª Lei de Kepler: Lei das Áreas

2ª Lei de Kepler

O segmento que une o Sol ao planeta varre **áreas iguais em intervalos de tempo iguais**.

Isso significa que o planeta **não se move com velocidade constante** em uma órbita elíptica.



11. A velocidade orbital muda

A 2ª Lei tem uma consequência importantíssima:

Perto do periélio

O planeta está mais próximo do Sol.
Para varrer a mesma área no mesmo tempo, precisa percorrer um arco maior.

maior velocidade

Perto do afélio

O planeta está mais distante do Sol.
Para varrer a mesma área no mesmo tempo, percorre um arco menor.

menor velocidade

12. 3ª Lei de Kepler: Lei dos Períodos

A 3ª Lei relaciona o **tempo para completar uma órbita** com o **tamanho da órbita**.

$$P^2 \propto a^3$$

ou:

$$\frac{P^2}{a^3} = \text{constante}$$

onde:

- ▶ P = período orbital;
- ▶ a = semieixo maior da órbita.

Consequência

Quanto maior a órbita, maior é o período orbital.

13. Comparando dois corpos que orbitam o mesmo astro

Se dois corpos orbitam o **mesmo corpo central**, a constante da 3ª Lei é a mesma.

$$\boxed{\frac{P_1^2}{a_1^3} = \frac{P_2^2}{a_2^3}}$$

Essa é uma das formas mais úteis nas provas.

Exemplo conceitual

Se um satélite está mais distante da Terra que outro, então ele possui um período orbital maior.

Não compare assim objetos que orbitam corpos centrais diferentes

A constante depende da massa do sistema central.

14. A 3ª Lei na forma de Newton

Newton mostrou que a 3ª Lei pode ser escrita de forma geral como:

$$P^2 = \frac{4\pi^2 a^3}{G(M + m)}$$

onde:

- ▶ P = período orbital;
- ▶ a = semieixo maior da órbita relativa;
- ▶ G = constante da gravitação universal;
- ▶ M e m = massas dos dois corpos.

Se $M \gg m$

Podemos aproximar $M + m \approx M$. É o caso de um planeta pequeno orbitando uma estrela muito mais massiva.

15. Newton entra em cena: Gravitação Universal

Kepler descreveu **como** os planetas se movem. Newton explicou **por que** eles se movem assim.

A força gravitacional entre dois corpos é:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

onde:

- ▶ F = módulo da força gravitacional;
- ▶ G = constante da gravitação universal;
- ▶ m_1 e m_2 = massas dos corpos;
- ▶ r = distância entre os centros dos corpos.

16. O que faz a força gravitacional aumentar ou diminuir?

Pela expressão:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Massas

Se uma das massas aumenta, a força gravitacional aumenta na mesma proporção.

Exemplo: dobrar m_1 dobra F .

Distância

A força varia com o **inverso do quadrado** da distância.

Se a distância dobra:

$$F \rightarrow \frac{F}{4}$$

17. Gravidade e órbita elíptica

Em uma órbita elíptica, a distância entre os corpos muda continuamente.

Assim:

- ▶ no **periélio/perigeu**: r é menor $\Rightarrow$ força gravitacional maior;
- ▶ no **afélio/apogeu**: r é maior $\Rightarrow$ força gravitacional menor.

Importante

A força não muda de forma brusca. Ela varia suavemente à medida que a distância muda.

18. Massa e peso não são a mesma coisa

Massa

É uma propriedade do corpo.
Não muda apenas porque levamos o objeto para outro planeta.
Unidade: **kg**.

Peso

É a força gravitacional exercida sobre o corpo.

$$P = mg$$

Unidade: **newton (N)**.

Na Lua, sua massa é a mesma, mas seu peso é menor.

19. Velocidade orbital em uma órbita circular

Para uma órbita circular de raio r ao redor de um corpo de massa M :

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

Consequência:

$$r \uparrow \Rightarrow v \downarrow$$

Ou seja, em torno do mesmo astro central, satélites em órbitas circulares mais altas possuem velocidades orbitais menores.

Mas o período fica maior

Mesmo se movendo mais devagar, o satélite também precisa percorrer uma circunferência maior.

20. Velocidade de escape

A **velocidade de escape** é a velocidade mínima necessária, em um modelo ideal, para que um corpo consiga se afastar indefinidamente sem voltar a cair.

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

Para o mesmo ponto:

$$v_{esc} = \sqrt{2} v_{orb}$$

para uma órbita circular naquela distância.

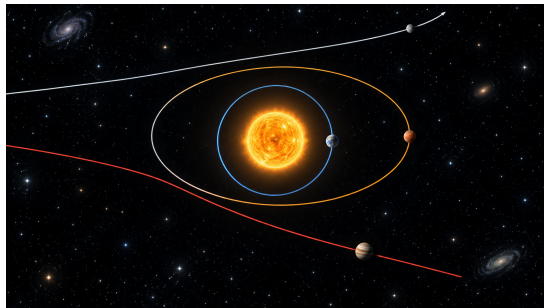
Importante

Não significa que um foguete precise atingir instantaneamente essa velocidade ao sair do solo. Foguetes continuam recebendo empuxo durante a subida.

21. Nem toda trajetória gravitacional é uma elipse fechada

Dependendo da energia do corpo, a trajetória pode ser:

- ▶ **circular**: caso especial de elipse;
- ▶ **elíptica**: órbita fechada;
- ▶ **parabólica**: limite de escape;
- ▶ **hiperbólica**: trajetória aberta, com excesso de velocidade.



22. Os dois corpos realmente orbitam um ao outro

É comum dizer que “a Lua orbita a Terra”, mas, de forma mais precisa, **Terra e Lua orbitam o centro de massa comum**, chamado **baricentro**.

Quando um corpo é muito mais massivo que o outro, o baricentro pode ficar dentro do corpo maior.

Em sistemas com massas semelhantes, o baricentro pode ficar no espaço entre os dois corpos.



23. Órbita geoestacionária

Um satélite **geoestacionário** parece permanecer sobre a mesma região da Terra. Para isso, precisa:

- ▶ ter período orbital igual ao período de rotação terrestre;
- ▶ orbitar no plano do Equador;
- ▶ mover-se no mesmo sentido da rotação da Terra;
- ▶ possuir órbita aproximadamente circular.

Uso

Órbitas geoestacionárias são muito úteis para telecomunicações e meteorologia.

24. Período orbital não é o mesmo que período de passagem

Imagine um satélite em órbita no **mesmo sentido da rotação da Terra**.

- ▶ T = período orbital sideral do satélite, medido em relação às estrelas;
- ▶ P_r = período sideral de rotação da Terra;
- ▶ S = intervalo entre duas passagens sucessivas do satélite sobre o mesmo meridiano, por exemplo, sobre o zênite de um observador.

Enquanto o satélite completa sua órbita, a Terra também gira. Por isso, após uma volta do satélite, o observador **não está mais no mesmo lugar no espaço**.

Consequência

Para reencontrar o observador, o satélite precisa “ganhar” novamente a diferença angular criada pela rotação da Terra.

25. Como obter a fórmula do período sinódico?

A velocidade angular de um movimento periódico é:

$$\omega = \frac{2\pi}{P}$$

Para o satélite:

$$\omega_s = \frac{2\pi}{T}$$

Para a rotação da Terra:

$$\omega_T = \frac{2\pi}{P_r}$$

Como os dois movimentos têm o **mesmo sentido**, a velocidade angular relativa é a diferença:

$$\omega_{rel} = \omega_s - \omega_T$$

26. A fórmula que aparece na resolução

Uma nova passagem sobre o mesmo meridiano ocorre quando a posição relativa completa 2π radianos.

Assim:

$$\frac{2\pi}{S} = \frac{2\pi}{T} - \frac{2\pi}{P_r}$$

Cancelando 2π dos três termos:

$$\boxed{\frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{P_r}}$$

Interpretação

S é um **período sinódico**: ele mede quanto tempo demora para que a mesma configuração satélite–observador se repita.

27. Como Kepler e Newton se conectam?

Kepler

Descreve o padrão observado:

- ▶ órbitas elípticas;
- ▶ áreas iguais em tempos iguais;
- ▶ $P^2 \propto a^3$.

Newton

Explica a causa física:

- ▶ gravitação universal;
- ▶ dinâmica do movimento;
- ▶ força centrípeta;
- ▶ conservação de energia e momento angular.

As Leis de Kepler aparecem naturalmente como consequência da gravitação newtoniana.

28. Kit de fórmulas da Aula 4

Kepler e elipses

$$r_p = a(1 - e)$$

$$r_a = a(1 + e)$$

$$r_p + r_a = 2a$$

$$\frac{p^2}{a^3} = \text{constante}$$

$$p^2 = \frac{4\pi^2 a^3}{G(M + m)}$$

Gravitação e órbitas circulares

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$$g = \frac{GM}{r^2}$$

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

$$v_{\text{esc}} = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

$$\frac{1}{S} = \left| \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right|$$

Resolução dos exercícios

Provas de 2021 a 2025

Questões comentadas

Q20 - P1 2021

20) Suponha um asteroide de órbita circular e interior à órbita da Terra. Você, em seu observatório, descobre com precisão que o período sinódico desse asteroide é de $S = 3,00$ anos.

Assinale a opção que traz a distância aproximada que esse asteroide está do Sol.

- a) 0,82 UA.
- b) 0,75 UA.
- c) 0,42 UA.
- d) $1/3$ UA.
- e) 0,65 UA.

Resolução dos exercícios

Q20 - P1 2021

Resposta: a) 0,82 UA.

Devemos, primeiro, calcular o período orbital desse asteroide:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{P_{\text{asteroide}}} - \frac{1}{P_{\text{Terra}}} \rightarrow \frac{1}{P_{\text{asteroide}}} = \frac{1}{3 \text{ anos}} + \frac{1}{1 \text{ ano}} \rightarrow P_{\text{asteroide}} = 0,75 \text{ ano.}$$

Depois usar a 3ª Lei de Kepler para descobrir sua distância ao Sol:

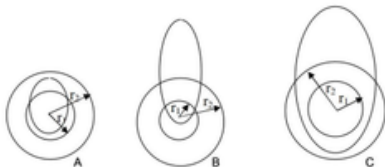
$$P_{\text{asteroide}}^2 = a_{\text{asteroide}}^3 \rightarrow a_{\text{asteroide}} = \sqrt[3]{(0,75)^2} \cong 0,82 \text{ UA.}$$

Resolução dos exercícios

Q5 - P2 2021

5) A transferência entre duas órbitas circulares coplanares é uma das mais úteis manobras que conhecemos. Através dela podemos colocar um satélite artificial em uma órbita de grande altitude. Primeiramente, nós podemos colocar o satélite em uma órbita de baixa altitude denominada *órbita de estacionamento*. Em seguida transferimos o satélite para uma órbita circular de grande altitude, utilizando uma órbita elíptica de transferência tangente às órbitas circulares. Quem primeiro concebeu este tipo de manobra foi o engenheiro alemão Walter Hohmann, em 1925. Por isso a transferência envolvida, foi denominada Transferência de Hohmann.

O caso mais geral de transferências entre duas órbitas circulares planares requer que a órbita de transferência intercepte ou pelo menos tangencie as órbitas circulares. A figura a seguir mostra três órbitas de transferências (A, B e C). Na figura, r_1 é o raio de órbita da menor altitude e r_2 , de maior altitude.



Segundo o que foi dito,

- a) apenas a órbita de transferência B é possível
- b) apenas a órbita de transferência A é possível
- c) apenas a órbita de transferência C é possível
- d) todas as órbitas de transferência são impossíveis.

Resposta: a) apenas a órbita de transferência B é possível

Pelo que foi dito, a distância do pericentro (r_p) tem que ser menor ou igual ao raio de órbita da menor altitude (r_1) e que a distância do apocentro (r_a) tem que ser maior ou igual ao raio da órbita maior (r_2). Na órbita de transferência A, temos $r_a < r_2$ e na órbita de transferência C, temos $r_p > r_1$. Portanto a única órbita de transferência possível é a B.

Q16 - P2 2021

16) QUESTÃO PARAMETRIZADA

Do mesmo jeito que a Terra possui um satélite natural (a Lua) e Júpiter possui mais de 60, os asteroides também podem ter satélites naturais. Em 1993 foi descoberto o primeiro asteroide que possui sua própria lua. Esta lua, de pouco mais de 1 quilômetro de diâmetro, ganhou o nome de Dactyl, e ela é o satélite natural do asteroide 243 Ida, que habita o Cinturão de Asteroides, entre as órbitas de Marte e Júpiter. A imagem a seguir, obtida pela sonda Galileo, da NASA, mostra o asteroide 243 Ida com sua pequena lua Dactyl, à direita dele.



Créditos da imagem: NASA

Considere um asteroide, de massa $M = 8,40 \times 10^{16}$ kg que possui um satélite natural, de massa $m = 3,90 \times 10^{12}$ kg, que orbita este asteroide a uma distância média de 200 km. Qual será, aproximadamente, o período orbital P de rotação do satélite em torno do asteroide?

Considere, também, a Constante de Gravitação Universal $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$.

- a) 2,75 dias
- b) 1,55 dias
- c) 5,50 dias
- d) 3,10 dias

Q16 - P2 2021

Resposta: a) 2,75 dias

$$p^2 = \frac{4\pi^2}{G(m+M)} a^3$$

Desprezando a massa do satélite e substituindo-se os valores, temos:

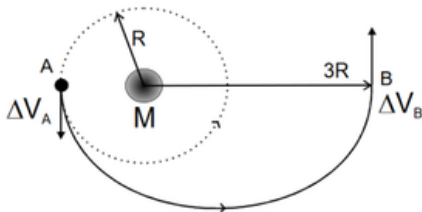
$$p^2 = \frac{4\pi^2}{6,67 \times 10^{-11} (8,40 \times 10^{16})} (200 \times 10^3)^3$$

$$p^2 \cong 5,64 \times 10^{10} \text{ s}^2 \rightarrow P \cong 2,37 \times 10^5 \text{ s} \approx 2,75 \text{ dias}$$

Resolução dos exercícios

Q15 - P3 2021

15) Uma espaçonave está orbitando um planeta de massa M em uma órbita circular de raio R . Para deixar este planeta, os engenheiros espaciais decidem aplicar dois impulsos. O primeiro impulso ΔV_A será aplicado no ponto A, na mesma direção do movimento para que a nave 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 espaçonave escapar do sistema.



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

a) $2\sqrt{2} \frac{\pi R^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{GM}}$

b) $4\sqrt{2} \frac{\pi R^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{GM}}$

c) $2\sqrt{2} \frac{\pi^2 R^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{GM}}$

d) $8 \frac{\pi R^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{GM}}$

ASTRONOMIA E ASTRONÁUTICA

Resposta: a) $2\sqrt{2} \frac{\pi R^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{GM}}$

Pela Lei de Kepler generalizada, temos:

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

Após o impulso, a nave seguirá uma trajetória elíptica com um semieixo maior $a = 2R$

Fazendo a substituição:

$$P^2 = \frac{4\pi^2}{GM} (2R)^3 \rightarrow P = 4\sqrt{2} \frac{\pi R^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{GM}}$$

A transferência de A até B será metade do período:

$$\Delta t = \frac{P}{2} = 2\sqrt{2} \frac{\pi R^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{GM}}$$

3) Em uma aula de Astronomia, um aluno pergunta ao seu professor qual a sua idade. O professor, então, responde: "Desde que nasci, já percorri 46,5 bilhões de quilômetros em torno do Sol".

Assinale a alternativa que traz a idade, em anos, aproximada do professor.

Dados: $\pi \cong 3,1$; distância Terra-Sol = 1 UA $\cong 1,5 \times 10^8$ km (considere a órbita como circular).

- a) 50
- b) 46,5
- c) 31
- d) 62
- e) 56,5

Resposta: a) 50

O perímetro da órbita da Terra vale:

$$p_T = 2\pi d_{T-S} = 2 \times 3,1 \times 1,5 \times 10^8 \text{ km} = 9,3 \times 10^8 \text{ km}$$

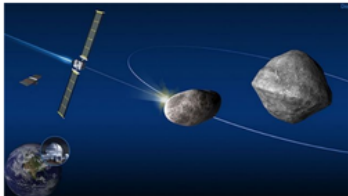
Se em 1 ano a Terra percorre $9,3 \times 10^8 \text{ km}$, em X anos terá percorrido $46,5 \times 10^9 \text{ km}$

$$\frac{1 \text{ ano}}{9,3 \times 10^8 \text{ km}} = \frac{X}{46,5 \times 10^9 \text{ km}} \Leftrightarrow X = \frac{1 \text{ ano} \times 46,5 \times 10^9 \text{ km}}{9,3 \times 10^8 \text{ km}} = 50 \text{ anos}$$

Resolução dos exercícios

Q7 - P1 2022

7) Pela primeira vez, a Nasa testou sua tecnologia para defender a Terra contra asteroides ou cometas por meio da missão Dart (sigla em inglês para "Teste de Redirecionamento de Asteroides Duplos" ou Double Asteroid Redirection Test). O objetivo da empreitada foi impactar o asteroide Dimorphos para mudar sua órbita. A figura a seguir traz o esquema, fora de escala, do impacto.



Fonte: Johns Hopkins Applied Physics Laboratory.

A sonda DART fez história ao atingir a rocha espacial no dia 26 de setembro de 2022 na primeira demonstração de uma técnica de desvio de um asteroide, sendo também a primeira vez que a humanidade tenta mudar o movimento de um objeto espacial.

Antes do impacto, Dimorphos levava 11 horas e 55 minutos para orbitar Didymos, o outro asteroide do sistema binário. As observações de telescópios mostraram que o impacto alterou a órbita de Dimorphos, que agora é de 11 horas e 23 minutos.

Baseado nestas informações, assinale a alternativa correta.

- a) Após o impacto, a distância média entre Dimorphos e Didymos diminuiu.
- b) Após o impacto, a distância média entre Dimorphos e Didymos aumentou.
- c) Após o impacto, a distância média entre Dimorphos e Didymos não se alterou.
- d) Após o impacto, a velocidade orbital de Dimorphos diminuiu.
- e) Após o impacto, a força gravitacional exercida mutuamente diminuiu.

Resposta: a) Após o impacto, a distância média entre Dimorphos e Didymos diminuiu.

Se o período orbital de Dimorphos diminuiu, pela 3ª Lei de Kepler, a distância média entre os asteroides também diminuiu:

$$\frac{P_{inicial}^2}{R_{inicial}^3} = \frac{P_{final}^2}{R_{final}^3} \leftrightarrow \frac{P_{final}^2}{P_{inicial}^2} = \frac{R_{final}^3}{R_{inicial}^3}$$

Se

$$\frac{P_{final}^2}{P_{inicial}^2} < 1 \rightarrow \frac{R_{final}^3}{R_{inicial}^3} < 1 \rightarrow R_{final}^3 < R_{inicial}^3$$

Q10 - P1 2022

10) Considere que um cometa passou por seu periélio em 2 de julho de 2006 a uma distância de 0,5 UA do Sol e passou pelo seu periélio novamente em 2 de julho de 2011.

Assinale a alternativa que traz a distância, aproximadamente, do cometa ao Sol na data do seu afélio.

- a) 5,3 UA.
- b) 3,4 UA.
- c) 11,0 UA.
- d) 2,9 UA.
- e) 1,7 UA.

Resolução dos exercícios

Q10 - P1 2022

Resposta: a) 5,3 UA.

O período orbital deste cometa será de $P = 2011 - 2006 = 5$ anos

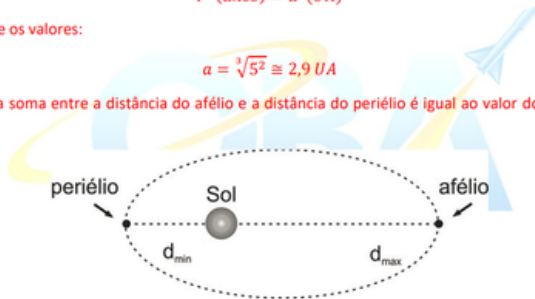
A 3ª Lei de Kepler nos dá a relação entre o quadrado do período P e o cubo do semieixo maior a da órbita:

$$P^2(\text{anos}) = a^3(\text{UA})$$

Substituindo-se os valores:

$$a = \sqrt[3]{5^2} \cong 2,9 \text{ UA}$$

Sabemos que a soma entre a distância do afélio e a distância do periélio é igual ao valor do eixo maior da órbita ($2a$).



Portanto:

$$d_{\text{afélio}} + d_{\text{periélio}} = 2a \leftrightarrow d_{\text{afélio}} = 2a - d_{\text{periélio}} \rightarrow d_{\text{afélio}} = 5,8 - 0,5 = 5,3 \text{ UA}$$

Resolução dos exercícios

Q1 - P2 2022

1) O raio vetor que conecta o Sol a um asteroide varre um quatorze avos da área total delimitada pela órbita de um asteroide em 6 meses.

Assinale a opção que traz o período **P** orbital deste asteroide.

- a) 0,5 ano
- b) 6,2 anos
- c) 7,0 anos
- d) 10,0 anos
- e) 14,0 anos

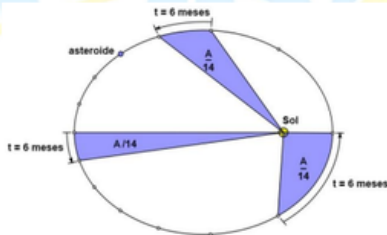
Resolução dos exercícios

Q1 - P2 2022

Resposta: c) 7,0 anos

A lei 2ª Lei de Kepler afirma que "o raio vetor que une o centro do Sol com o centro de um planeta (e qualquer corpo do Sistema Solar) varre áreas iguais em tempos iguais".

Se o raio vetor demora 6 meses para varrer $1/14$ da área total A , como podemos ver na figura fora de escala, então para varrer a área total o período será:



$$\frac{A/14}{6 \text{ meses}} = \frac{A}{P} \rightarrow P = \frac{A \times 6 \text{ meses}}{A/14} \rightarrow P = 14 \times 6 \text{ meses} = 84 \text{ meses} = 7 \text{ anos}$$

Q6 - P2 2022

6) Em 2020, Reinhard Genzel e Andrea Ghez ganharam o Prêmio Nobel de Física por terem demonstrado a existência de um buraco negro supermassivo no centro da Via Láctea. O problema a seguir propõe, de forma bastante simplificada, o método que eles utilizaram.

Ghez e Genzel observaram uma estrela, com órbita circular, ao redor do centro de nossa galáxia. O deslocamento Doppler das linhas espectrais mostrou que o módulo da velocidade orbital (corrigido pela inclinação da órbita em relação à linha de visada) era constante e com o valor de $V = 1.783 \text{ km/s}$, com período orbital de $P = 20,2 \text{ anos}$.

Assinale a opção que traz a massa aproximada deste buraco negro, em termos de massas solares (M_{Sol}).

Dados: Massa do Sol $M_{\text{Sol}} = 2,0 \times 10^{30} \text{ kg}$; Constante Gravitacional Universal $G = 6,7 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg}\cdot\text{s}^2$;
 $1 \text{ ano} \approx 3,1 \times 10^7 \text{ s}$.

- a) $4,0 \times 10^6$
- b) $4,3 \times 10^6$
- c) $4,6 \times 10^6$
- d) $4,9 \times 10^6$
- e) $5,2 \times 10^6$

Resolução dos exercícios

Q6 - P2 2022

Resposta: b) $4,3 \times 10^6$

Como a órbita é circular, a velocidade tangencial V é constante e podemos achar o raio orbital R através da seguinte relação:

$$2\pi R = VP \leftrightarrow R = \frac{VP}{2\pi}$$

Substituindo-se os valores:

$$R = \frac{1.783 \times 10^3 \frac{m}{s} \times 20,2 \text{ anos} \times 3,1 \times 10^7 \frac{s}{\text{ano}}}{2\pi} \rightarrow R \cong 1,8 \times 10^{14} m$$

A módulo da velocidade orbital da estrela em torno do buraco negro será dado por:

$$V = \sqrt{\frac{GM}{R}}$$

Isolando M e substituindo-se os valores, temos:

$$M = \frac{V^2 R}{G} \rightarrow M = \frac{(1.783 \times 10^3)^2 \times 1,8 \times 10^{14}}{6,7 \times 10^{-11}} \rightarrow M \cong 8,5 \times 10^{36} kg$$

Em termos de massas solares a massa do buraco negro vale:

$$M = \frac{8,5 \times 10^{36}}{2,0 \times 10^{30}} \rightarrow M \cong 4,3 \times 10^6 M_{\text{Sol}}$$

Resolução dos exercícios

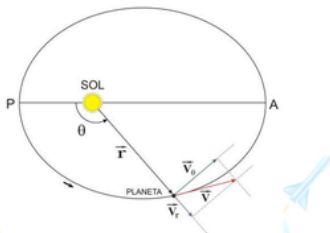
Q17 - P2 2022

17) A órbita elíptica de um astro (massa m) ao redor do Sol (massa M) pode ser definida por sua excentricidade e e seu semi-eixo maior a . Com estes valores podemos calcular a distância r do astro ao Sol e o módulo da sua velocidade orbital V , através das seguintes fórmulas:

$$r = \frac{a(1-e^2)}{(1+e \cos \theta)} \text{ e } V^2 = G(M+m) \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)$$

Onde θ é chamado de anomalia verdadeira.

A figura a seguir, fora de escala, mostra a geometria do problema.



Assinale a opção que traz a razão entre a velocidade orbital no periélio e no afélio ($\frac{V_p}{V_a}$) de um cometa cuja órbita tem semi-eixo $a = 18,0$ UA e excentricidade $e = 0,8$.

- a) 4,0
- b) 9,0
- c) 11,0
- d) 18,0
- e) 22,5

OLIMPIADA BRASILEIRA DE
ASTRONOMIA E ASTRONÁUTICA

Resolução dos exercícios

Q17 - P2 2022

Resposta: b) 9,0

Primeiramente vamos encontrar a distância do cometa no periélio (r_p) e no afélio (r_a):

Para o periélio, temos $\theta = 0^\circ$. Então,

$$r_p = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e} = a(1 - e)$$

Para o afélio, temos $\theta = 180^\circ$. Então,

$$r_a = \frac{a(1 - e^2)}{1 - e} = a(1 + e)$$

Agora, substituindo na fórmula do módulo da velocidade orbital, teremos:

$$V_p^2 = G(M + m) \left(\frac{2}{a(1 - e)} - \frac{1}{a} \right) = G(M + m) \frac{1 + e}{a(1 - e)}$$

$$V_a^2 = G(M + m) \left(\frac{2}{a(1 + e)} - \frac{1}{a} \right) = G(M + m) \frac{1 - e}{a(1 + e)}$$

A razão $\frac{V_p}{V_a}$ será então:

$$\frac{V_p^2}{V_a^2} = \left(\frac{V_p}{V_a} \right)^2 = \frac{G(M + m) \frac{1 + e}{a(1 - e)}}{G(M + m) \frac{1 - e}{a(1 + e)}} = \left(\frac{1 + e}{1 - e} \right)^2 \rightarrow \frac{V_p}{V_a} = \frac{1 + e}{1 - e}$$

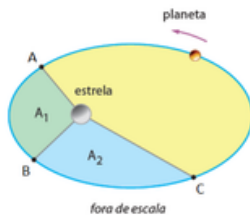
Substituindo-se o valor de e :

$$\frac{V_p}{V_a} = \frac{1 + 0,8}{1 - 0,8} = \frac{1,8}{0,2} = 9,0$$

Resolução dos exercícios

Q3 - P1 2023

3) A figura abaixo mostra a órbita elíptica, fora de escala, de um planeta hipotético em torno de sua estrela. Considere que o período de translação desse planeta é P e o intervalo de tempo necessário para que percorra o arco AB é $P/6$.



Sabendo que as áreas A_1 e A_2 são iguais, pode-se afirmar que o intervalo de tempo necessário para que o planeta percorra o arco CA é:

- a) $2P/3$
- b) $P/3$
- c) $3P/5$
- d) $3P/4$
- e) $P/6$



Resposta: a) $2P/3$

Da 2ª Lei de Kepler temos que as áreas A_1 e A_2 serão percorridas pelo mesmo intervalo de tempo, ou seja,

$P_{AB} = P_{BC} = \frac{P}{6}$. Portanto:

$$P_{AB} + P_{BC} + P_{CA} = P \Rightarrow \frac{P}{6} + \frac{P}{6} + P_{CA} = P \Rightarrow P_{CA} = \frac{2P}{3}$$

Q14 - P1 2023

14) A lua 2 de um exoplaneta gigante tem um período orbital $P_2 = 6$ dias e 6 horas, mantendo uma distância planetocêntrica de 15,0 vezes o raio do exoplaneta.

Assinale a alternativa que traz o período orbital da lua 1 (P_1), que orbita este exoplaneta a uma distância de 2,4 raios planetários. Considere as órbitas circulares.

- a) 9,6 horas
- b) 19,2 horas
- c) 24,0 horas
- d) 44,2 horas
- e) 48,0 horas

Resolução dos exercícios

Q14 - P1 2023

Resposta: a) 9,6 horas

Como estamos falando de duas luas que orbitam o mesmo planeta, podemos empregar a Terceira Lei de Kepler:

$$\frac{p^2}{r^3} = \text{constante}$$

Então:

$$\frac{p_1^2}{r_1^3} = \frac{p_2^2}{r_2^3} \leftrightarrow p_1^2 = p_2^2 \frac{r_1^3}{r_2^3} \rightarrow p_1 = \sqrt{p_2^2 \frac{r_1^3}{r_2^3}} = p_2 \sqrt{\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^3}$$

Escrevendo P2 em horas e substituindo-se os valores, temos:

$$P_2 = 6 \text{ dias} \times 24 \frac{h}{\text{dia}} + 6 h \rightarrow P_2 = 150 \text{ horas}$$

$$P_1 = (150 \text{ horas}) \sqrt{\left(\frac{2,4}{15}\right)^3} = (150 \text{ horas}) \left(\sqrt{\frac{2,4}{15}}\right)^3 = (150 \text{ horas})(\sqrt{0,16})^3$$

$$P_1 = (150 \text{ horas})(0,4)^3 = 150 \text{ horas} \times 0,064 \rightarrow P_1 = 9,6 \text{ horas}$$

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

As Leis de Kepler relacionam:

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

Resolução dos exercícios

Q20 - P2 2023

Resposta: a) Apenas II e III

Comentários:

1ª lei de Kepler: lei das órbitas

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

I – Incorreto.

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

II – Correto.

2ª Lei de Kepler: Lei das áreas

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

III – Correto.

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

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

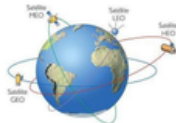
IV – Incorreto.

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

Q9 - P3 2023

9) Os satélites artificiais podem ser classificados de acordo com a órbita que utilizam:

- **LEO** (*Low Earth Orbit*, ou satélite de baixa órbita), ficam entre 500 e 2000 km de altitude.
- **MEO** (*Medium Earth Orbit*, ou satélite de média órbita), ficam entre 8.000 e 20.000 km de altitude.
- **GEO** (*Geostationary Orbit*, ou órbita geoestacionária), ficam em torno de 36.000 km da superfície da Terra, e possuem o mesmo período de revolução da Terra.
- **HEO** (*Highly Elliptical Orbit*, ou órbita altamente elíptica), com distâncias variando de 1.000 a 40.000 km de altitude, sendo colocados nesta posição principalmente para cobertura dos Polos.



Considere que um LEO e um MEO foram colocados a 1.622 km e 13.622 km de altitude, respectivamente. Ambos ao longo de órbitas equatoriais circulares, na direção da rotação da Terra.

Assinale a opção que traz os períodos aproximados de rotação dos dois satélites do ponto de vista de um observador fixo na Linha do Equador.

Dados: Constante da Gravitação $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$; Raio da Terra $R_T = 6.378 \text{ km}$; Massa da Terra $M_T = 6,00 \times 10^{24} \text{ kg}$;

- a) 2,15 horas e 11,15 horas
- b) 1,97 horas e 7,81 horas
- c) 1,39 horas e 5,52 horas
- d) 2,79 horas e 11,04 horas
- e) 1,52 horas e 7,88 horas

Resolução dos exercícios

Q9 - P3 2023

Resposta:

Primeiro precisamos calcular as velocidades orbitais.

Sabemos que força centrípeta = força gravitacional:

$$\frac{mv_{orb}^2}{r} = \frac{GM_t m}{r^2}$$

Simplificando e resolvendo para v_{orb} , temos:

$$v_{orb} = \sqrt{\frac{GM_T}{r}}$$

Substituindo-se os valores:

$$v_L = \sqrt{\frac{(6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2)(6,00 \times 10^{24} \text{ kg})}{(6.378 + 1.622) \times 10^3 \text{ m}}} \rightarrow v_L \cong 7,07 \text{ km/s} = 25.452 \text{ km/h}$$

$$v_M = \sqrt{\frac{(6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2)(6,00 \times 10^{24} \text{ kg})}{(6.378 + 13.622) \times 10^3 \text{ m}}} \rightarrow v_M \cong 4,47 \text{ km/s} = 16.092 \text{ km/h}$$

Como as órbitas são circulares o período orbital será: $P = 2\pi r/v$

Substituindo-se os valores:

$$P_L = \frac{2\pi(8.000 \text{ km})}{25.452 \text{ km/h}} \rightarrow P_L \cong 1,97 \text{ horas}$$

$$P_M = \frac{2\pi(20.000 \text{ km})}{16.092 \text{ km/h}} \rightarrow P_M \cong 7,81 \text{ horas}$$

Como os satélites estão orbitando no mesmo sentido da rotação da Terra, o período orbital (de rotação) percebido pelo observador será o período sinódico (aparente):

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{P} - \frac{1}{P_T}$$

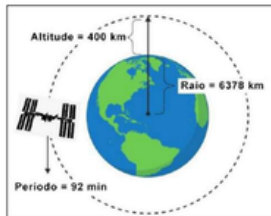
Substituindo-se os valores, sabendo que o período sideral da Terra é de 23 h e 56 min:

$$\frac{1}{S_L} = \frac{1}{1,97 \text{ h}} - \frac{1}{23 \text{ h } 56 \text{ min}} \rightarrow S_L \cong 2,15 \text{ horas}$$

$$\frac{1}{S_M} = \frac{1}{7,81 \text{ h}} - \frac{1}{23 \text{ h } 56 \text{ min}} \rightarrow S_L \cong 11,59 \text{ horas}$$

Q17 - P1 2024

17) Considere que a Estação Espacial Internacional (ISS) tem uma órbita aproximadamente circular, com altitude de 400 km e período orbital de 92 minutos, como podemos ver no esquema a seguir, fora de escala.



A certa altura a ISS passa pelo zênite de uma criança que está na superfície da Terra, ao nível do mar. Nesse mesmo momento a criança vê um *flash* produzido pela luz solar refletida na Estação Espacial. Assinale a opção que traz qual a distância aproximada que a Estação Espacial percorreu no tempo que a luz do *flash* viajou da Estação Espacial até a criança?

Dado: velocidade da luz $c = 300.000 \text{ km/s}$

- a) 8 m.
- b) 10 m.
- c) 80 m.
- d) 100 m.
- e) 1 km.



Q17 - P1 2024

Resposta: b) 10 m.

Tempo de viagem da luz da ISS no zênite até o observador em Terra;

$$\Delta t = \frac{\text{distância}}{\text{velocidade}} = \frac{400 \text{ km}}{300.000 \text{ km/s}} = \frac{4}{3} \times 10^{-3} \text{ s}$$

Perímetro p percorrido pela ISS em 1 órbita completa:

$$p = 2\pi r = 2\pi(6378 + 400) \text{ km} \cong 42.587,43 \text{ km} = 42.587.430 \text{ m}$$

Velocidade orbital da ISS:

$$v = \frac{\text{perímetro}}{\text{período}} = \frac{42.587,43 \text{ km}}{92 \text{ min}} = \frac{42.587.430 \text{ m}}{(60 \times 92) \text{ s}} \cong 7.715 \text{ m/s}$$

Distância percorrida pela ISS no tempo de viagem da luz:

$$\Delta S = vt = (7.715 \text{ m/s}) \times \left(\frac{4}{3} \times 10^{-3} \text{ s}\right) \cong 10,3 \text{ m} \approx 10 \text{ m}$$

Q19 - P2 2024

19) Considere dois planetas orbitando a mesma estrela em órbitas circulares. Em um determinado momento eles se encontram à distância mínima que pode existir entre eles. Conhecendo os períodos orbitais dos dois planetas $P_1 = 4,5$ anos e $P_2 = 7,4$ anos, depois de quanto tempo, aproximadamente, essa configuração da distância mínima irá se repetir?

- a) 4,5 anos
- b) 5,8 anos
- c) 7,4 anos
- d) 11,5 anos
- e) 11,9 anos

Resolução dos exercícios

Q19 - P2 2024

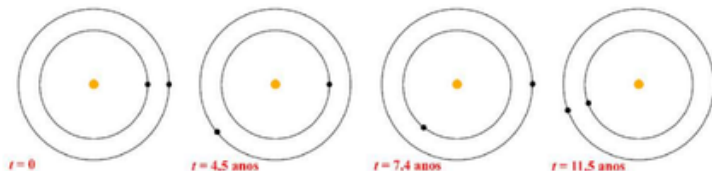
Resposta: d) 11,5 anos

O tempo decorrido para o alinhamento se repetir é o período sinódico S do sistema planetário:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{P_1} - \frac{1}{P_2}$$

Substituindo-se os valores:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{4,5} - \frac{1}{7,4} \rightarrow \frac{1}{S} = \frac{7,4 - 4,5}{4,5 \times 7,4} \rightarrow S = \frac{33,3}{2,9} \cong 11,5 \text{ anos}$$



Q5 - P3 2024

5) De um satélite artificial em torno da Terra, sabemos que a excentricidade da sua órbita vale $e = 0,8$ e que seu perigeu se dá a 9 raios terrestres de altitude.

Assinale a opção que traz a razão entre os módulos das velocidades desse satélite no perigeu e no apogeu, ou seja v_p/v_a .

Dados: massa da Terra $M_T = 6,0 \times 10^{24}$ kg; raio da Terra $R_T = 6.378,0$ km

- a) 0,2
- b) 0,8
- c) 1,8
- d) 6,0
- e) 9,0

Resolução dos exercícios

Q5 - P3 2024

Resposta: e) 9,0

Da conservação do momento angular, temos que:

$$r_p v_p = r_a v_a \Leftrightarrow \frac{v_p}{v_a} = \frac{r_a}{r_p}$$

Precisamos, então, da expressão para os raios da sua órbita no perigeu e no apogeu.

Das propriedades das elipses, sabemos que:

$$r_p = a(1 - e)$$

$$r_a = a(1 + e)$$

Então:

$$\frac{v_p}{v_a} = \frac{r_a}{r_p} = \frac{a(1 + e)}{a(1 - e)} = \frac{(1 + e)}{(1 - e)}$$

A razão não depende do semieixo maior da órbita, apenas da sua excentricidade.

Substituindo-se os valores:

$$\frac{v_p}{v_a} = \frac{(1 + 0,8)}{(1 - 0,8)} = \frac{1,8}{0,2} = 9,0$$

Q5 - P1 2025

5) Em uma aula de Astronomia, uma aluna pergunta à sua professora qual a sua idade. A professora, então, responde: "Desde que nasci, já percorri 37,2 bilhões de quilômetros em torno do Sol".

Assinale a alternativa que traz a idade, em anos, aproximada da professora.

Para facilitar as contas, considere: $\pi = 3,1$; distância Terra-Sol = 1 UA = $1,5 \times 10^8$ km (considere, também, a órbita da Terra como circular).

- a) 31
- b) 37
- c) 40
- d) 50
- e) 55

Q5 - P1 2025

Resposta: c) 40

Comentários: O perímetro da órbita da Terra vale:

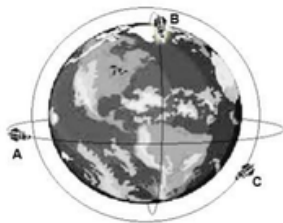
$$p_T = 2\pi d_{T-S} = 2 \times 3,1 \times 1,5 \times 10^8 \text{ km} = 9,3 \times 10^8 \text{ km}$$

Se em 1 ano a Terra percorre $9,3 \times 10^8 \text{ km}$, em x anos terá percorrido $37,2 \times 10^9 \text{ km}$:

$$\frac{1 \text{ ano}}{9,3 \times 10^8 \text{ km}} = \frac{X}{37,2 \times 10^9 \text{ km}} \Leftrightarrow X = \frac{1 \text{ ano} \times 37,2 \times 10^9 \text{ km}}{9,3 \times 10^8 \text{ km}} = 40 \text{ anos}$$

Q14 - P1 2025

14) Três satélites, **A**, **B** e **C**, se movem ao redor da Terra, cada um numa trajetória circular com raios diferentes, como sugere a figura a seguir, fora de escala.



Se P_A , P_B e P_C correspondem ao tempo que, respectivamente, os satélites A, B e C levam para dar uma volta completa em torno da Terra, como se ordenam esses períodos orbitais?

a) $P_A < P_B < P_C$

b) $P_A < P_C < P_B$

c) $P_B < P_C < P_A$

d) $P_B < P_C = P_A$

e) $P_C < P_A < P_B$



Q14 - P1 2025

Resposta: c) $P_B < P_C < P_A$

Pela Terceira Lei de Kepler sabemos que $R^3/P^2 = \text{constante}$, onde R é o raio da órbita circular que descreve o objeto ao redor da Terra e P o tempo para ele dar uma volta completa. Esta equação sugere que as órbitas com raios maiores têm períodos maiores.

De acordo com a figura vemos que $R_B < R_C < R_A$, portanto, $P_B < P_C < P_A$.

Q19 - P1 2025

19) Considere dois astros **A** e **B** de massas m_A e m_B , onde $m_A = 3m_B$, em órbitas circulares em torno de uma estrela **E**.

Sabe-se que, em relação à estrela E, o período orbital de **A** é duas vezes menor que o de **B**.

Assinale a alternativa que traz o valor da razão entre os módulos da força gravitacional entre a estrela E e o astro A e a força gravitacional entre a estrela E e o astro B, ou seja F_{EA}/F_{EB} .

a) $\frac{1}{6\sqrt[3]{2}}$

b) $\frac{1}{4\sqrt[3]{2}}$

c) 1

d) $4\sqrt[3]{2}$

e) $6\sqrt[3]{2}$

Q19 - P1 2025

Resposta: e) $6\sqrt[3]{2}$

Da 3ª lei de Kepler, temos:

$$\frac{p_A^2}{a_A^3} = \frac{p_B^2}{a_B^3} \rightarrow \frac{a_B^3}{a_A^3} = \frac{p_B^2}{p_A^2} \rightarrow \left(\frac{a_B}{a_A}\right)^3 = \left(\frac{p_B}{p_A}\right)^2 \rightarrow \left(\frac{a_B}{a_A}\right)^3 = \left(\frac{2p_A}{p_A}\right)^2 = (2)^2 = 4$$
$$\left(\frac{a_B}{a_A}\right)^3 = 4 \rightarrow \frac{a_B}{a_A} = \sqrt[3]{4}$$

Comparando as forças gravitacionais, temos:

$$\frac{F_{EA}}{F_{EB}} = \frac{\frac{GM_E m_A}{a_A^2}}{\frac{GM_E m_B}{a_B^2}} \rightarrow \frac{F_{EA}}{F_{EB}} = \frac{m_A}{m_B} \left(\frac{a_B}{a_A}\right)^2$$

Fazendo as substituições:

$$\frac{F_{EA}}{F_{EB}} = \frac{3m_B}{m_B} (\sqrt[3]{4})^2 \rightarrow \frac{F_{EA}}{F_{EB}} = 3 \times \sqrt[3]{16} = 3 \times 2\sqrt[3]{2}$$
$$\frac{F_{EA}}{F_{EB}} = 6\sqrt[3]{2}$$

Q1 - P3 2025

1) A velocidade máxima de um asteroide, que tem uma órbita elíptica ao redor do Sol, é de cerca de 17 km/s, enquanto sua velocidade orbital mínima é de cerca de 13 km/s.

Assinale a opção que traz a excentricidade da órbita deste asteroide.

- a) 0,13
- b) 0,23
- c) 0,33
- d) 0,43
- e) 0,63

Resolução dos exercícios

Q1 - P3 2025

Resposta: a) 0,13

Comentários: Sabemos que a razão entre a velocidade máxima e a mínima é dada por:

$$\frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{1+e}{1-e}$$

onde e é a excentricidade da órbita

Com uma simples manipulação algébrica, chegamos a:

$$e = \frac{V_{max} - V_{min}}{V_{max} + V_{min}}$$

Substituindo-se os valores:

$$e = \frac{17 - 13}{17 + 13} = \frac{4}{30} \rightarrow e \cong 0,13$$

Questão Parametrizada: Os valores das velocidades foram escolhidos aleatoriamente.

V_{max} pôde variar de 17 a 20 km/s, com uma casa decimal e V_{min} pôde variar de 13 a 16 km/s, com uma casa decimal.