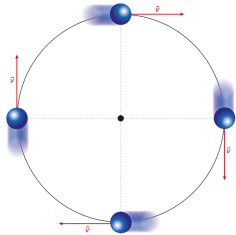


O movimento circular uniforme (MCU) é aquele no qual um móvel percorre uma trajetória circular, com velocidade de módulo constante (por isso uniforme). Trata-se de um movimento periódico, pois o móvel passará várias vezes pelo mesmo ponto. Vamos entender mais a frente que duas velocidades serão estudadas, a velocidade linear e a velocidade angular, e ambas serão constantes em módulo (valor).

DEFININDO UM MOVIMENTO CIRCULAR UNIFORME

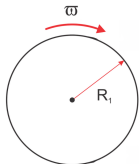
Um movimento uniforme é aquele onde um objeto percorre distâncias iguais em intervalos de tempos iguais. Quando essa trajetória é circular, temos o Movimento Circular Uniforme (MCU). Neste caso, como é um círculo e há uma distância percorrida em intervalos iguais, o movimento é periódico, cíclico.



Todo movimento circular apresentará basicamente duas velocidades, a velocidade linear (chamada também de tangencial) e a velocidade angular, abaixo definimos as duas.

VELOCIDADE ANGULAR (ω)

Velocidade angular é a velocidade que mede o deslocamento angular em razão do tempo. Dessa forma, é necessário um movimento circular para que haja a velocidade angular. De uma outra forma, falamos que a velocidade angular é a velocidade de "giro" de um corpo que executa um movimento circular.



Um corpo gira em uma trajetória circular, e a rapidez que ele executa o giro é medida justamente pela velocidade angular. O movimento circular uniforme é periódico, ou seja, em intervalos de tempo iguais. Quando o corpo executa uma volta completa, esse intervalo de tempo é denominado período (T).

O período é dada geralmente em segundos, essa medida chamada período é muito importante para o cálculo da velocidade angular. Existe outra grandeza física além do período que é bem importante, a frequência. A frequência (f) representa o número de voltas que o corpo efetua em uma unidade de tempo, e sua unidade geralmente é dada em hertz (Hz): 1 Hz significa 1 rotação por segundo. Assim, se um móvel dá 300 rotações por segundo, a frequência é 300 Hz (300 rotações por segundo). É válido você entender algo importante:

- 1- O período é o tempo que o corpo demora para dá uma volta completa e sua unidade mais utilizada é o segundo.
- 2- A frequência é a quantidade de voltas completas por unidade de tempo, a unidade mais utilizada é o Hz (que é rotações por segundo).
- 3- Por fim perceba que a frequência e o período são definições inversas, assim sendo, um é o inverso do outro. Logo, se você achar o valor da frequência o valor do período será o inverso, exemplo, se a frequência for 2 Hz o período será $T = \frac{1}{2} = 0,5$ s. Lembre-se que matematicamente o inverso é pegar o numeral 1 e dividir pelo valor.

Existem outras unidades do período e da frequência, em aula citarei todas e faremos suas respectivas transformações.

Já que aprendemos o que é período e frequência, quero apresentar as relações que utilizaremos para calcular a velocidade angular (ω). Serão três relações, a primeira relação não é tão importante, já a segunda e terceira são fundamentais.

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad \begin{matrix} \Delta\theta = \text{Variação angular} \\ \Delta t = \text{Variação de tempo} \end{matrix}$$

Podemos reescrever a fórmula acima num formato mais interessante:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad \begin{matrix} \text{Fique ligado nas unidades mais usuais:} \\ \omega \rightarrow \text{rad/s} \\ f \rightarrow \text{Hz} \\ T \rightarrow \text{s} \end{matrix}$$

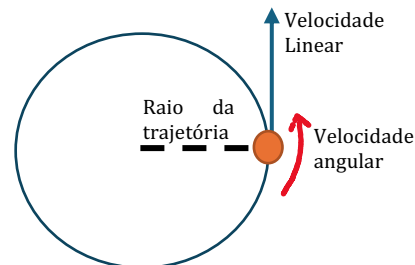
[T = Período do movimento]

$$\omega = 2\pi \cdot f$$

[f = Frequência do movimento]

VELOCIDADE LINEAR OU TANGENCIAL (V)

A velocidade linear é bem difícil de ser vista no movimento circular, mas ela existe, é importante e bem fácil de ser calculada. Definimos que a velocidade linear seria a velocidade em linha reta que seria executada se o corpo no movimento circular se "desprendesse", abaixo o desenho dessa velocidade no movimento circular:



Para calcularmos a velocidade linear, usamos a única relação abaixo:

$$V = \omega \cdot r$$

$$\begin{matrix} r = \text{Raio da trajetória circular em metros} \\ \omega = \text{Velocidade angular em rad/s} \end{matrix}$$

A unidade da velocidade linear (v) é o metro/segundo (m/s)

Lembre-se que tanto a velocidade linear como a velocidade angular são constantes em módulo(valor).

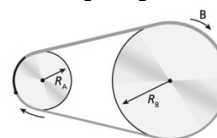
Quero que você fique ligado a um ponto importante, mesmo esse movimento sendo uniforme, ele possui aceleração, estranho isso, né? Mas não se preocupe, em aula vamos definir essa aceleração e como fisicamente ela funciona, não se preocupe.

TRANSMISSÃO DE MCU

Transmissão de movimento circular uniforme é algo muito aplicado no nosso dia a dia, engrenagens industriais, bicicleta e ferramentas, são instrumentos que utilizam muito dessa teoria. Abaixo, vamos definir os dois tipos de ligações e suas respectivas relações matemáticas.

Primeiro tipo

Ligado por correia ou engrenagem → A velocidade linear das duas ou mais engrenagens é a mesma.

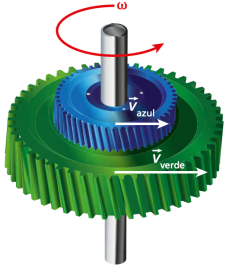


$$\begin{matrix} V_A = V_B \\ \omega_A R_A = \omega_B R_B \\ \text{Como } \omega = 2\pi \cdot f \\ 2\pi \cdot f_A \cdot R_A = 2\pi \cdot f_B \cdot R_B \\ f_A \cdot R_A = f_B \cdot R_B \end{matrix}$$

Logo terá mais frequência de giro quem tiver menor raio.
E o número de dentes é proporcional ao raio, assim você pode substituir na fórmula o raio pelo número de dentes no caso de engrenagens.

Segundo tipo

Ligado no mesmo eixo [eixo concêntrico] → A velocidade angular das duas ou mais engrenagens é a mesma.



$$\omega_{azul} = \omega_{verde}$$

$$2\pi \cdot f_{azul} = 2\pi \cdot f_{verde}$$

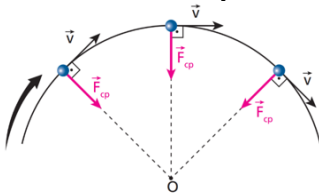
OU

$$\frac{\omega_{azul}}{R_{azul}} = \frac{\omega_{verde}}{R_{verde}}$$

Logo, a engrenagem de maior raio deve possuir a maior velocidade linear.

FORÇA CENTRÍPETA

Como a velocidade tem um módulo e uma direção, um objeto em movimento circular está o tempo todo alterando sua velocidade, ou seja, está acelerando. Como um objeto em movimento circular está acelerando, precisa haver uma força resultante externa atuante sobre ele (de acordo com a segunda lei de Newton, força = massa x aceleração). A força resultante que mantém um objeto em movimento circular é chamada de FORÇA CENTRÍPETA.



A força centrípeta não é de fato uma força, ela na verdade é a resultante das forças que verdadeiramente atuam no sistema. Por exemplo, se você faz um ioiô descrever uma trajetória circular, a força de tração do barbante é a força que segura o corpo no movimento,

portanto, a força de tração é chamada de resultante centrípeta do movimento circular. Um outro exemplo seria a força gravitacional entre a lua e a terra, que segura ambas na execução do movimento circular. A força centrípeta é a força resultante do movimento circular, ela sempre é igual a "subtração" vetorial das forças que apontam para o centro da circunferência e as forças que apontam para fora da circunferência. A sua "função" é segurar o corpo durante o movimento circular.

$$F_{CP} = F_{CENTRO} - F_{FORA}$$

Por fórmula Força centrípeta é:

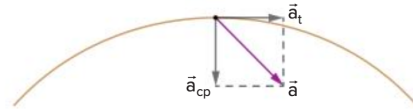
$$F_{CP} = \frac{m \cdot v^2}{R}$$

$m \rightarrow$ massa em kg

$v^2 \rightarrow$ Velocidade linear em m/s

$R \rightarrow$ raio da trajetória circular em metros (m)

ACELERAÇÃO TANGENCIAL E ACELERAÇÃO CENTRÍPETA



Os movimentos em geral podem apresentar esses dois componentes (aceleração tangencial e centrípeta), ou somente um deles. Há também movimentos que não apresentam aceleração alguma; nesse caso, o vetor velocidade é constante, isto é, o movimento é retilíneo e uniforme. Quando falamos de movimento circular uniforme, a aceleração tangencial não existe, pois por ser uniforme, o módulo da velocidade é constante e assim, como a aceleração tangencial tem o papel de mudar o valor da velocidade, ela deve ser zero no MCU. Já aceleração centrípeta sempre existirá e sempre apontará para o centro no movimento circular sendo uniforme ou não.

Aprofundando mais um pouco na aceleração centrípeta:

A aceleração centrípeta está relacionada com as variações de direção e sentido da velocidade vetorial.

Nos movimentos curvilíneos, isto é, naqueles em que a direção da velocidade vetorial é variável, a aceleração centrípeta é não nula. Os movimentos retilíneos, isto é, naqueles em que a direção da velocidade vetorial é constante, a aceleração centrípeta é nula.

Logo, todo movimento circular possui aceleração centrípeta, e podemos calcular essa aceleração pela relação abaixo:

$$a_{cp} = \frac{v^2}{R}$$

No MCU a aceleração centrípeta é constante, se o movimento for circular e não uniforme a aceleração centrípeta será variável.

Questões

1. Os últimos anos testemunharam a retomada do interesse de alguns países pela exploração da Lua. Diversas missões com destino a esse satélite foram lançadas: Chandrayaan-3 (Índia, 2023), Luna 25 (Rússia, 2023), Peregrine Mission One (EUA, 2024), Slim (Japão, 2024) e Chang'e 6 (China, 2024).

Uma sonda descreve, em torno da Lua, uma órbita circular de raio $r = 1,848 \times 10^6 \text{ m}$ e dá uma volta completa num período $T = 2,0 \text{ h}$. Nesse movimento circular uniforme, qual a velocidade escalar da sonda em relação ao centro da Lua?

Se necessário, Use $\pi \approx 3,0$.

- 256,6 m/s.
- 1540 m/s.
- 3696 km/s.
- 5544 km/s.

2. Uma criança está em um carrossel em um parque de diversões. Este brinquedo descreve um movimento circular com intervalo de tempo regular.

A força resultante que atua sobre a criança

- é nula.
- é oblíqua à velocidade do carrossel.
- é paralela à velocidade do carrossel.
- está direcionada para fora do brinquedo.
- está direcionada para o centro do brinquedo.

3. A Lua leva 28 dias para dar uma volta completa ao redor da Terra. Aproximando a órbita como circular, sua distância ao centro da Terra é de cerca de 380 mil quilômetros.

A velocidade aproximada da Lua, em km/s, é:

- 13
- 0,16
- 59
- 24
- 1,0

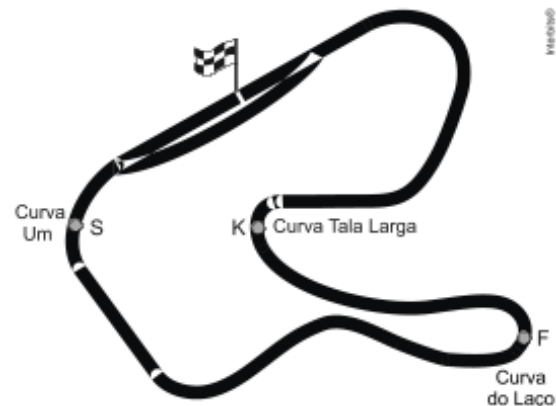
4. O Brasil prepara-se para construir e lançar um satélite geoestacionário que vai levar banda larga a todos os municípios do país. Além de comunicações estratégicas para as Forças Armadas, o satélite possibilitará o acesso à banda larga mais barata a todos os municípios brasileiros. O ministro da Ciência e Tecnologia está convidando a Índia – que tem experiência neste campo, já tendo lançado 70 satélites – a entrar na disputa internacional pelo projeto, que trará ganhos para o consumidor nas áreas de Internet e telefonia 3G.

(Adaptado de: BERLINCK, D. Brasil vai construir satélite para levar banda larga para todo país. O Globo, Economia, mar. 2012. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/economia/brasil-vai-construir-satelite-para-levar-banda-larga-para-todo-pais-4439167>>. Acesso em: 16 abr. 2012.)

A posição média de um satélite geoestacionário em relação à superfície terrestre se mantém devido à

- sua velocidade angular ser igual à velocidade angular da superfície terrestre.
- sua velocidade tangencial ser igual à velocidade tangencial da superfície terrestre.
- sua aceleração centrípeta ser proporcional ao cubo da velocidade tangencial do satélite.
- força gravitacional terrestre ser igual à velocidade angular do satélite.
- força gravitacional terrestre ser nula no espaço, local em que a atmosfera é rarefeita.

5. A figura representa, de forma simplificada, o autódromo de Tarumã, localizado na cidade de Viamão, na Grande Porto Alegre. Em um evento comemorativo, três veículos de diferentes categorias do automobilismo, um kart (K), um fórmula 1 (F) e um stock-car (S), passam por diferentes curvas do circuito, com velocidades escalares iguais e constantes.



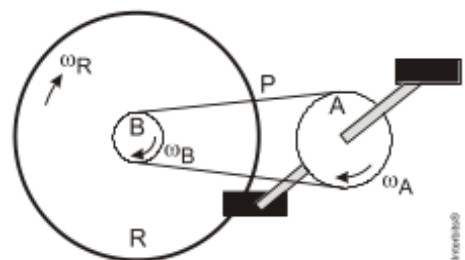
As tabelas 1 e 2 indicam, respectivamente e de forma comparativa, as massas de cada veículo e os raios de curvatura das curvas representadas na figura, nas posições onde se encontram os veículos.

TABELA 1		TABELA 2	
Veículo	Massa	Curva	Raio
kart	M	Tala Larga	2R
fórmula 1	3M	do Laço	R
stock-car	6M	Um	3R

Sendo F_K , F_F e F_S os módulos das forças resultantes centrípetas que atuam em cada um dos veículos nas posições em que eles se encontram na figura, é correto afirmar que

- $F_S < F_K < F_F$.
- $F_K < F_S < F_F$.
- $F_K < F_F < F_S$.
- $F_F < F_S < F_K$.
- $F_S < F_F < F_K$.

6. A figura apresenta esquematicamente o sistema de transmissão de uma bicicleta convencional.

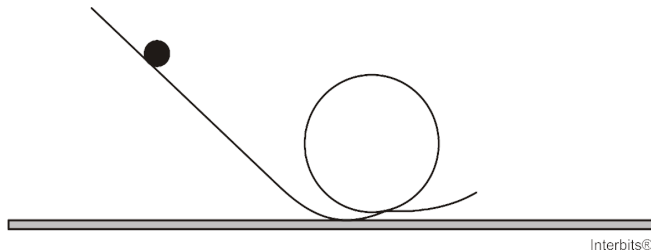


Na bicicleta, a coroa A conecta-se à catraca B através da corrente P. Por sua vez, B é ligada à roda traseira R, girando com ela quando o ciclista está pedalando.

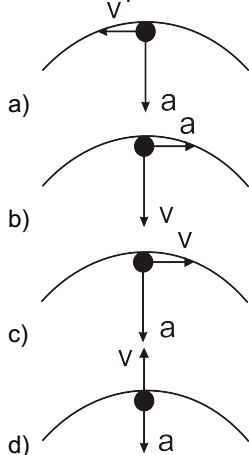
Nesta situação, supondo que a bicicleta se move sem deslizar, as magnitudes das velocidades angulares, ω_A , ω_B e ω_R , são tais que

- $\omega_A < \omega_B = \omega_R$.
- $\omega_A = \omega_B < \omega_R$.
- $\omega_A = \omega_B = \omega_R$.
- $\omega_A < \omega_B < \omega_R$.
- $\omega_A > \omega_B = \omega_R$.

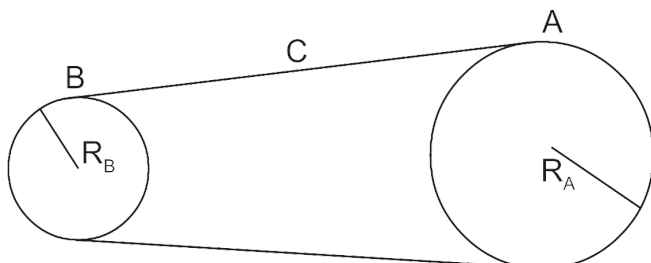
7. Considere o "looping" mostrado na Figura, constituído por um trilho inclinado seguido de um círculo. Quando uma pequena esfera é abandonada no trecho inclinado do trilho, a partir de determinada altura, percorrerá toda a trajetória curva do trilho, sempre em contato com ele.



Seja $\mathbf{v}$ a velocidade instantânea e $\mathbf{a}$ a aceleração centrípeta da esfera, o esquema que melhor representa estes dois vetores no ponto mais alto da trajetória no interior do círculo é:



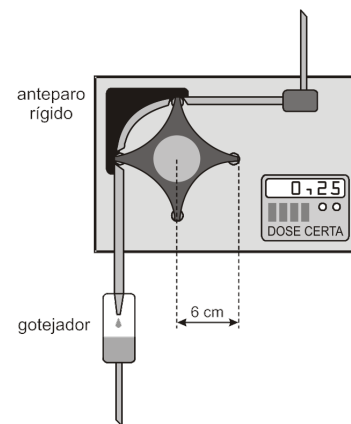
8. O acoplamento de engrenagens por correia C, como o que é encontrado nas bicicletas, pode ser esquematicamente representado por:



Considerando-se que a correia em movimento não deslize em relação às rodas A e B, enquanto elas giram, é correto afirmar que

- a velocidade angular das duas rodas é a mesma.
- o módulo da aceleração centrípeta dos pontos periféricos de ambas as rodas tem o mesmo valor.
- a frequência do movimento de cada polia é inversamente proporcional ao seu raio.
- as duas rodas executam o mesmo número de voltas no mesmo intervalo de tempo.
- o módulo da velocidade dos pontos periféricos das rodas é diferente do módulo da velocidade da correia.

9. Fazendo parte da tecnologia hospitalar, o aparelho representado na figura é capaz de controlar a administração de medicamentos em um paciente.



Regulando-se o aparelho para girar com frequência de 0,25Hz, pequenos roletes das pontas da estrela, distantes 6cm do centro desta, esmagam a mangueira flexível contra um anteparo curvo e rígido, fazendo com que o líquido seja obrigado a se mover em direção ao gotejador.

Sob essas condições, a velocidade escalar média imposta ao líquido em uma volta completa da estrela é, em m/s:

Dado : $\pi = 3,1$

- $2,5 \times 10^{-2}$.
- $4,2 \times 10^{-2}$.
- $5,0 \times 10^{-2}$.
- $6,6 \times 10^{-2}$.
- $9,3 \times 10^{-2}$.

10. Anemômetros são instrumentos usados para medir a velocidade do vento. A sua construção mais conhecida é a proposta por Robinson em 1846, que consiste em um rotor com quatro conchas hemisféricas presas por hastes, conforme figura abaixo. Em um anemômetro de Robinson ideal, a velocidade do vento é dada pela velocidade linear das conchas. Um anemômetro em que a distância entre as conchas e o centro de rotação é $r = 25$ cm, em um dia cuja velocidade do vento é $v = 18$ km/h, teria uma frequência de rotação de

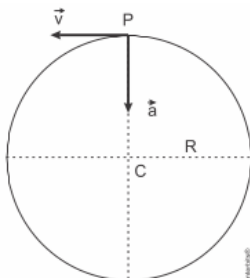


THE ROBINSON ANEMOMETER.

Se necessário, considere $\pi \approx 3$.

- a) 3 rpm.
- b) 200 rpm.
- c) 720 rpm.
- d) 1200 rpm.

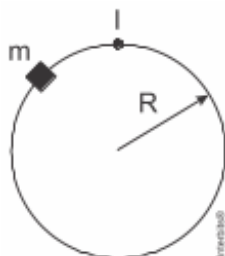
11.



Uma partícula percorre a trajetória circular de centro C e raio R. Os vetores velocidade (V) e aceleração (a) da partícula no instante em que ela passa pelo ponto P da trajetória, estão representados na figura acima. O vetor velocidade e o vetor aceleração formam um ângulo de 90° . Se $|v| = 10,0 \frac{m}{s}$ e $R = 2,00 \text{ m}$, o módulo da aceleração ($|a|$) será igual a

- a) $4,00 \frac{m}{s^2}$
- b) $5,00 \frac{m}{s^2}$
- c) $20,00 \frac{m}{s^2}$
- d) $40,00 \frac{m}{s^2}$
- e) $50,00 \frac{m}{s^2}$

12. A figura abaixo representa um móvel m que descreve um movimento circular uniforme de raio R, no sentido horário, com velocidade de módulo V.



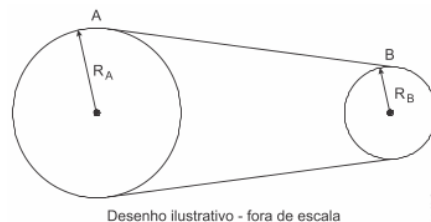
Assinale a alternativa que melhor representa, respectivamente, os vetores velocidade V e aceleração a do móvel quando passa pelo ponto I, assinalado na figura.

- a)
- b)
- c)
- d)
- e)

13. Uma determinada caixa é transportada em um caminhão que percorre, com velocidade escalar constante, uma estrada plana e horizontal. Em um determinado instante, o caminhão entra em uma curva circular de raio igual a 51,2 m, mantendo a mesma velocidade escalar. Sabendo-se que os coeficientes de atrito cinético e estático entre a caixa e o assoalho horizontal são, respectivamente, 0,4 e 0,5 e considerando que as dimensões do caminhão, em relação ao raio da curva, são desprezíveis e que a caixa esteja apoiada apenas no assoalho da carroceria, pode-se afirmar que a máxima velocidade, em m/s, que o caminhão poderá desenvolver, sem que a caixa escorregue é

- a) 14,3
- b) 16,0
- c) 18,0
- d) 21,5

14. Duas polias, A e B, ligadas por uma correia inextensível têm raios $R_A = 60 \text{ cm}$ e $R_B = 20 \text{ cm}$, conforme o desenho abaixo. Admitindo que não haja escorregamento da correia e sabendo que a frequência da polia A é $f_A = 30 \text{ rpm}$, então a frequência da polia B é



Desenho ilustrativo - fora de escala

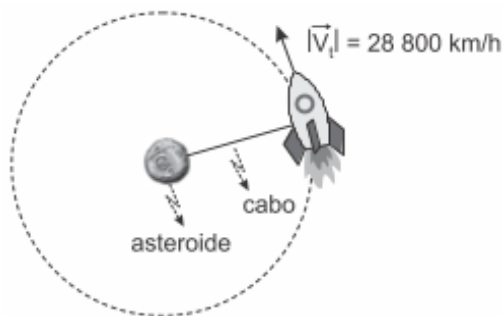
- a) 10 rpm.
- b) 20 rpm.
- c) 80 rpm.
- d) 90 rpm.
- e) 120 rpm.

15. As agências espaciais NASA (norte-americana) e ESA (europeia) desenvolvem um projeto para desviar a trajetória de um asteroide através da colisão com uma sonda especialmente enviada para esse fim. A previsão é que a sonda DART (do inglês, "Teste de Redirecionamento de Asteroides Duplos") será lançada com a finalidade de se

chocar, em 2022, com Didymoon, um pequeno asteroide que orbita um asteroide maior chamado Didymos. O asteroide satélite Didymoon descreve uma órbita circular em torno do asteroide principal Didymos. O raio da órbita é $r = 1,6\text{km}$ e o período é $T = 12\text{ h}$. A aceleração centrípeta do satélite vale

- $8,0 \times 10^{-1} \text{ km/h}^2$.
- $4,0 \times 10^{-1} \text{ km/h}^2$.
- $3,125 \times 10^{-1} \text{ km/h}^2$.
- $6,667 \times 10^{-2} \text{ km/h}^2$.

16. O *tether* consiste em dois objetos fixos nas duas extremidades de um cabo. A pesquisadora brasileira Alessandra F. S. Ferreira, da Unesp de Guaratinguetá (SP), foi agraciada com o prêmio Mario Grossi no evento internacional *Tether in Space 2019* (em Madrid). Em seu estudo, ela propôs a aplicação de um cabo fino e rígido de 100 km de comprimento com uma ponta ancorada na superfície de um corpo celeste, como um asteroide por exemplo. A outra ponta estará ancorada em um veículo espacial, conforme apresentado na figura. Assim, a técnica poderá ser utilizada para economizar energia e aumentar o impulso em viagens espaciais mais longas.



Obs.: Imagem fora de escala.

Uma espaçonave de 100 toneladas, navegando a uma velocidade tangencial aproximada de 28,8 mil km/h, acopla-se ao cabo citado de 100 km de extensão ancorado em um asteroide (considerado aqui como um ponto material em repouso). Assumindo que a massa do cabo seja desprezível em relação ao sistema, podemos afirmar, corretamente, que a força centrípeta aplicada na extremidade do cabo ligada ao veículo espacial, em newtons, é

Lembre-se de que $a_c = \frac{v^2}{R}$

- $6,4 \times 10^7$
- $6,4 \times 10^5$
- $6,4 \times 10^3$
- $8,3 \times 10^4$
- $8,3 \times 10^6$

17. Uma bicicleta é um aparelho mecânico que serve para transporte pessoal e cujo "motor" são as pernas do ciclista, que aplicam forças sobre os pedais, fazendo com que discos acoplados aos pedais girem e, por meio de uma corrente, transmitam o movimento circular às rodas. A força de atrito entre as superfícies do solo e da roda permitem que a bicicleta se desloque. Considerando que um ciclista que se desloca com velocidade constante percorre 628m em 100s em uma bicicleta cujas rodas têm 600mm de diâmetro, é possível

afirmar que as rodas dessa bicicleta executam um número de voltas por segundo aproximado de:

(considere $\pi = 3,14$)

- 6,6
- 9,9
- 15
- 3,3
- 7

18. Um episódio impressionante passou despercebido durante o treino oficial do GP da Austrália de Fórmula 1. Durante a volta rápida que lhe rendeu a *pole position*, Lewis Hamilton foi submetido a uma força g de surreais 6,5g na curva 11 do circuito de rua de Melbourne. O gráfico comparativo da transmissão indicou um aumento de 1,2g em relação ao pico registrado na mesma prova da temporada anterior, conforme indicado no canto inferior esquerdo da figura.



Disponível em: <https://quatrorodas.abril.com.br/noticias/o-aumento-na-forca-g-nos-carros-de-f-1-pode-afetar-a-saude-dos-pilotos/>. Acesso em: 20 fev. 2020.

Considerando-se o trecho da pista plano e horizontal e um observador em repouso no solo e na lateral da pista, é correto afirmar que a força de 6,5g possui

- sentido para cima e sua reação está localizada entre os pneus e o solo.
- sentido para o centro do planeta Terra e tem sua origem na ação da gravidade.
- sentido para fora da curva e recebe o nome de força centrípeta.
- sentido para dentro da curva e resulta da ação de partes do carro sobre o piloto.

19. Força centrípeta é a força resultante que puxa um corpo na direção e sentido do centro da trajetória de um movimento curvilíneo.

Um exemplo de força centrípeta é a força gravitacional no movimento do planeta Terra ao redor do Sol. Nesse caso, é a força gravitacional entre o planeta e a estrela que faz com que a TERRA não escape da trajetória elíptica ao redor do Sol e deixe de orbitá-lo.

Analisando o movimento curvilíneo de um carro em uma pista horizontal, a força que tem o papel de força centrípeta é a

- força peso do carro.
- força de atrito entre os pneus e a pista.
- força normal dos pneus na pista.
- força de tração do motor.
- força de gravitacional entre o carro e a pista.

20. Uma aeronave, antes de aterrissar no Aeroporto Santos Dummont no Rio de Janeiro, faz uma curva no ar, mostrando aos passageiros a bela vista da Baía de Guanabara. Suponha que essa curva seja um círculo de raio 6000m e que a aeronave trace essa trajetória com velocidade de módulo constante igual a $432,0 \text{ kmh}^{-1}$ em relação ao solo.

A aceleração centrípeta da aeronave, em relação ao solo, vale, em $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$, aproximadamente

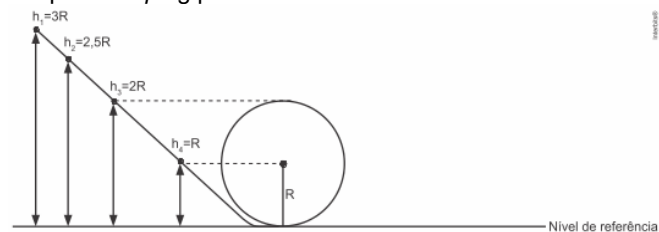
- a) 7,200
- b) 9,800
- c) 2,400
- d) 31,10
- e) 2,000

21. O Globo da Morte é um espetáculo circense capaz de provocar adrenalina, suspense e medo nos expectadores. Os globistas são motoqueiros que giram no interior do globo. Se um globo da morte possui um diâmetro de 12,8 m, o módulo da velocidade mínima com que o globista deverá percorrer a parte mais alta, sem cair, será de aproximadamente (assinale a alternativa correta):

Dado: módulo da aceleração da gravidade $g = 10 \text{ m/s}^2$

- a) 28,8 km/h.
- b) 39,9 km/h.
- c) 54,2 km/h.
- d) 72,0 km/h.

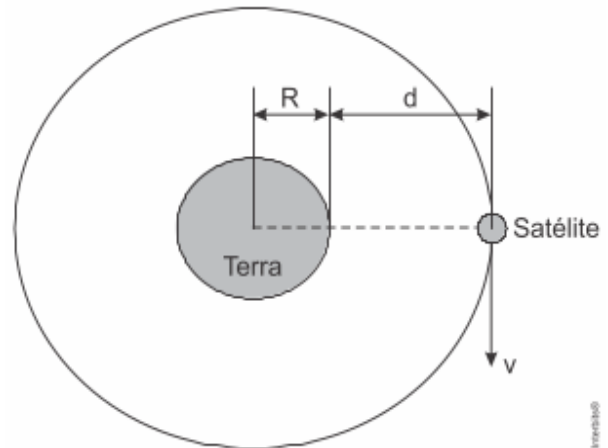
22. Os grandes parques de diversões espalhados pelo mundo são destinos tradicionais de férias das famílias brasileiras. Considere um perfil de montanha-russa mostrado na imagem, na qual o *looping* possui um raio R.



Desprezando qualquer forma de dissipação de energia no sistema e supondo que a energia cinética medida para o carrinho seja apenas de translação, a altura mínima em relação ao nível de referência em que o carrinho pode partir do repouso e efetuar o *looping* com sucesso é

- a) h_1
- b) h_2
- c) h_3
- d) h_4

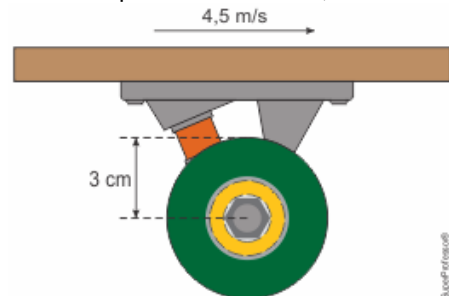
23. A figura representa um satélite geoestacionário em movimento circular e uniforme a uma distância (d) da superfície da Terra. A trajetória desse satélite está contida no plano equatorial terrestre e seu período de translação é igual ao de rotação da Terra, cerca de 24 h.



Considerando que o raio equatorial da Terra mede R e adotando $\pi = 3$, a velocidade orbital desse satélite é de

- a) $\frac{3(R+d)}{4}$
- b) $\frac{(R+d)}{4}$
- c) $\frac{2(R+d)}{3}$
- d) $\frac{(R+d)}{3}$
- e) $\frac{12}{8}$

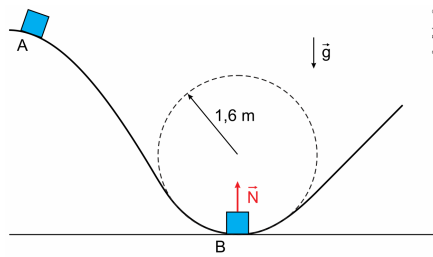
24. Uma garota está andando sobre um skate que se desloca em relação ao solo com velocidade constante de 4,5 m/s. Cada rodinha desse skate possui raio de 3 cm, como mostra a figura.



Considerando $\pi = 3$, o número de rotações por minuto (rpm) com que as rodinhas desse skate giram é de

- a) 350 rpm.
- b) 1500 rpm.
- c) 600 rpm.
- d) 25rpm.
- e) 1050 rpm.

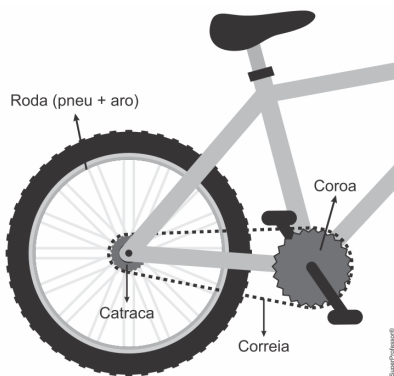
25. Um bloco de dimensões desprezíveis e de massa 4 kg é abandonado do ponto A da pista representada na figura. Ao passar pelo ponto B, localizado na parte mais baixa de um trecho circular de raio 1,6 m, esse bloco recebe, da pista, uma força $\vec{N}$ de intensidade 240 N, como mostra a figura.



Adotando $g = 10 \text{ m/s}^2$ e desprezando todos os atritos, a velocidade desse bloco, quando ele passa pelo ponto B, é

- a) $4\sqrt{5} \text{ m/s}$.
- b) $4\sqrt{6} \text{ m/s}$.
- c) $3\sqrt{5} \text{ m/s}$.
- d) $2\sqrt{6} \text{ m/s}$.
- e) $3\sqrt{2} \text{ m/s}$.

26. O ciclismo é uma ótima forma de realizar exercícios físicos e também aproveitar a vida ao ar livre na companhia de bons amigos. Um ciclista pedala sua bicicleta, parcialmente representada na figura a seguir, fazendo com que a coroa realize 40 voltas por minuto.

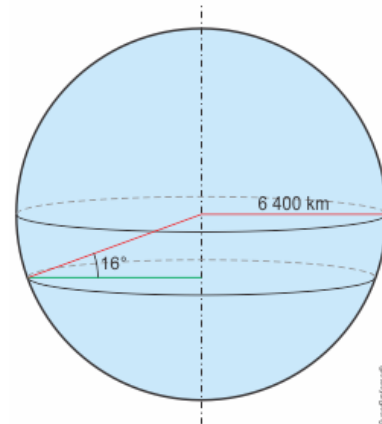


Sabendo que os diâmetros da coroa, catraca e roda são, respectivamente, 20 cm, 10 cm e 60 cm, qual o módulo da velocidade do ciclista, em metros por segundo, em relação a um referencial fixo no solo? Desconsidere qualquer perda no sistema e assuma que não há nenhum deslizamento entre correia, catraca e coroa, nem entre roda e solo.

- a) $\frac{4}{5}\pi$
- b) 8π
- c) $\frac{5}{4}\pi$
- d) 16π
- e) $\frac{8}{5}\pi$

27. A fotografia de corpos celestes a partir da Terra pode ser feita com um telescópio instalado sobre um suporte de guiagem. Esse suporte é composto por um sistema mecânico que é utilizado para compensar o movimento de rotação da Terra, ao manter o telescópio apontado para um "ponto fixo" no céu. Um estudante de física, em Brasília (latitude 16° Sul), adquiriu um telescópio e um suporte de guiagem. Como experimento, ele usou o telescópio para estimar a velocidade linear de rotação da Terra na sua latitude. Para realizar os

cálculos, ele utilizou o esboço a seguir e considerou $\pi = 3$ e $\cos(16^\circ) = 0,9$.

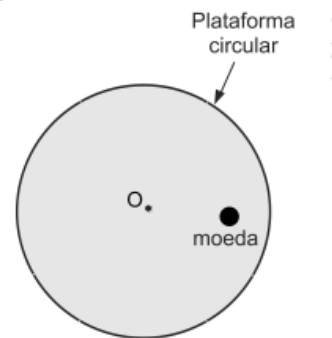


A velocidade linear, em quilômetro por hora, obtida pelo estudante é

- a) 720 km/h.
- b) 800 km/h.
- c) 1 440 km/h.
- d) 1 600 km/h.
- e) 2 880 km/h.

28. Uma plataforma circular plana está girando em um plano horizontal, em torno de um eixo fixo vertical, que passa pelo ponto O, a 30 rotações por minuto, conforme representado no desenho abaixo. Sobre a plataforma giratória, encontra-se uma pequena moeda. Sabendo que o coeficiente de atrito estático entre a moeda e a plataforma é 0,18, a máxima distância do centro da plataforma, em m, que a moeda poderá ficar sem deslizar é:

Dados: Despreze a resistência do ar e as dimensões da moeda; considere o módulo da aceleração da gravidade igual a 10 m/s^2 e $\pi = 3$.

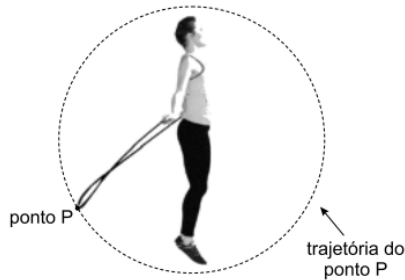


Desenho Ilustrativo - Fora de Escala

- a) 0,20
- b) 0,25
- c) 0,30
- d) 0,36
- e) 0,54

29. A prática esportiva de "pular corda" vem conquistando muitos adeptos e se tornando uma modalidade de competição. Numa prova de velocidade, um atleta consegue dar 105 saltos em 30 segundos. Considerando que o ponto da corda que

passa sob os pés e acima da cabeça do praticante descreve uma trajetória circular de raio $r = 90$ cm, qual é a velocidade escalar desse ponto da corda? Use $\pi = 3$.



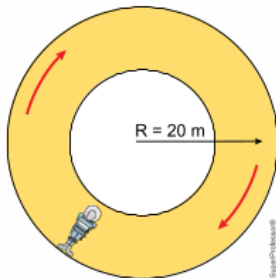
- a) 0,18 m/s.
- b) 3,15 m/s.
- c) 18,9 m/s.
- d) 567 m/s.

30. A ausência de gravidade será um dos grandes problemas durante possíveis viagens espaciais para outros planetas, pois causa perda de massa muscular, perda de cálcio dos ossos, perda de imunidade e, nos primeiros dias no espaço, o deslocamento do sangue para a parte superior do corpo.

Uma solução já cogitada para esse problema é produzir "gravidade artificial", o que pode ser feito por meio de um compartimento rotativo que produza uma aceleração que simule o efeito do peso sobre os astronautas.

(<https://planeta.rio>. Adaptado.)

Considere uma estrutura rotatória de forma cilíndrica na qual se pretenda produzir uma aceleração centrípeta de mesmo módulo que a aceleração da gravidade terrestre, de $9,8 \text{ m/s}^2$, em um ponto que esteja a 20 m de distância do eixo longitudinal dessa estrutura.



Para isso, esse cilindro deve girar em torno desse eixo com velocidade angular de

- a) 1,40 rad/s.
- b) 0,70 rad/s.
- c) 2,04 rad/s.
- d) 1,86 rad/s.
- e) 0,35 rad/s.

RESOLUÇÃO

Resposta da questão 1:

[B]

Aplicando a expressão da velocidade escalar para o movimento circular uniforme:

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 1,848 \times 10^6}{7.200} \therefore v = 1.540 \text{ m/s}.$$

Resposta da questão 2:

[E]

Num movimento circular uniforme, a força resultante é a força centrípeta, que está direcionada para o centro do brinquedo.

Resposta da questão 3:

[E]

$$28 \text{ dias} = 28 \times 24 \text{ horas} = 28 \times 24 \times 3600 \text{ s}.$$

$$V = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2 \times 3,14 \times 380.000}{28 \times 24 \times 3600} \cong 1,0 \text{ km/s}.$$

Resposta da questão 4:

[A]

Se o satélite é geoestacionário, ele está em repouso em relação à Terra. Para que isso ocorra, a velocidade angular do satélite deve ser igual à velocidade angular da Terra.

Resposta da questão 5:

[B]

Como as velocidades escalares são iguais e constantes, de acordo com a figura e as tabelas dadas, comparando as resultantes centrípetas temos:

$$F_{cp} = \frac{Mv^2}{R} \begin{cases} F_K = \frac{Mv^2}{2R} \Rightarrow F_K = \frac{1}{2} \left(\frac{Mv^2}{R} \right) \\ F_F = \frac{3Mv^2}{R} \Rightarrow F_F = 3 \left(\frac{Mv^2}{R} \right) \\ F_S = \frac{6Mv^2}{3R} \Rightarrow F_S = 2 \left(\frac{Mv^2}{R} \right) \end{cases} \Rightarrow F_K < F_S < F_F$$

Resposta da questão 6:

[A]

Como a catraca B gira juntamente com a roda R, ou seja, ambas completam uma volta no mesmo intervalo de tempo, elas possuem a mesma velocidade angular: $\omega_B = \omega_R$.

Como a coroa A conecta-se à catraca B através de uma correia, os pontos de suas periferias possuem a mesma velocidade escalar, ou seja: $V_A = V_B$.

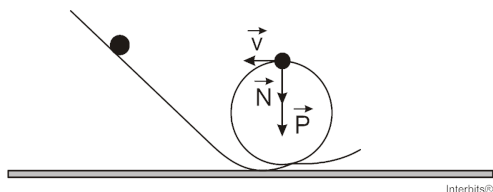
$$\text{Lembrando que } V = \omega \cdot r : V_A = V_B \rightarrow \omega_A \cdot r_A = \omega_B \cdot r_B.$$

Como: $r_A > r_B \therefore \omega_A < \omega_B$.

Resposta da questão 7:

[A]

A figura mostra a velocidade tangencial da esfera e as forças atuantes. A resultante será para baixo e a aceleração também.



Resposta da questão 8:

[C]

Nesse tipo de acoplamento (tangencial) as polias e a correia têm a mesma velocidade linear (v). Lembrando que $v = wR$ e que $w = 2\pi f$, temos:

$v_A = v_B \Rightarrow \omega_A R_A = \omega_B R_B \Rightarrow (2\pi f_A) R_A = (2\pi f_B) R_B \Rightarrow f_A R_A = f_B R_B$. Grandezas que apresentam produto constante são inversamente proporcionais, ou seja: quanto menor o raio da polia maior será a sua frequência de rotação.

Resposta da questão 9:

[E]

Dados: $R = 6\text{ cm} = 6 \times 10^{-2}\text{ m}$; $f = 0,25\text{ Hz}$; $\pi = 3,1$.

$$v = 2\pi Rf = 2(3,1)(6 \times 10^{-2})(0,25) \Rightarrow v = 9,3 \times 10^{-2}\text{ m/s}.$$

Resposta da questão 10:

[B]

Dados: $v = 18\text{ km/h} = 5\text{ m/s}$; $r = 25\text{ cm} = 0,25\text{ m}$; $\pi = 3$.

$$v = 2\pi r f \Rightarrow f = \frac{v}{2\pi r} = \frac{5}{2 \times 3 \times 0,25} = \frac{5}{1,5}\text{ Hz} = \frac{5}{1,5} \times 60\text{ rpm} \Rightarrow f = 200\text{ rpm}.$$

Resposta da questão 11:

[E]

O módulo da aceleração centrípeta é dado por:

$$a_c = \frac{v^2}{R}$$

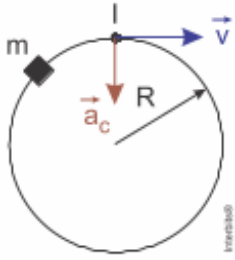
Assim, teremos:

$$a_c = \frac{(10\text{ m/s})^2}{2\text{ m}} \therefore a_c = 50\text{ m/s}^2$$

Resposta da questão 12:

[C]

No movimento circular uniforme (MCU) a velocidade é representada por um vetor tangente ao círculo em cada ponto ocupado pelo móvel, com isto, apesar do módulo da velocidade permanecer constante, ao longo do movimento o vetor velocidade altera sua direção e sentido, sendo, portanto, um movimento acelerado em que a aceleração é sempre perpendicular ao vetor velocidade apontando para o centro da curva, chamada de aceleração centrípeta. Assim, a alternativa correta é a [C].



Resposta da questão 13:

[B]

No movimento circular uniforme, a resultante das forças radiais é a força centrípeta:

$$F_r = F_c = \frac{m \cdot v^2}{R}$$

A única força radial é a força de atrito que, dependendo da velocidade, impede que a caixa seja deslocada dentro do caminhão, sendo a resultante centrípeta.

$$F_r = F_{at} = \mu \cdot N \xrightarrow{\text{horizontal}} F_{at} = \mu \cdot m \cdot g$$

Igualando as duas equações:

$$\frac{m \cdot v^2}{R} = \mu \cdot m \cdot g$$

Isolando v:

$$v = \sqrt{\mu R \cdot g}$$

Substituindo os valores, temos a velocidade máxima para a caixa não escorregar na carroceria:

$$v = \sqrt{0,5 \cdot 51,2 \cdot 10} = \sqrt{256} = 16 \text{ m/s}$$

Resposta da questão 14:

[D]

Para a situação dada, temos que:

$$\begin{aligned} v_A &= v_B \\ 2\pi R_A &= 2\pi R_B \\ 30 \cdot 60 &= f_B \cdot 20 \\ \therefore f_B &= 90 \text{ rpm} \end{aligned}$$

Resposta da questão 15:

[B]

A aceleração centrípeta será dada por:

$$\begin{aligned} a_{cp} &= \omega^2 r = \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 r \\ a_{cp} &= \frac{4\pi^2 r}{T^2} \end{aligned}$$

Substituindo os valores, com $\pi = 3$, obtemos:

$$\begin{aligned} a_{cp} &= \frac{4 \cdot 3^2 \cdot 1,6}{12^2} = 0,4 \\ \therefore a_{cp} &= 4 \cdot 10^{-1} \text{ km/h}^2 \end{aligned}$$



MOVIMENTO CIRCULAR UNIFORME

Resposta da questão 16:

[A]

A força centrípeta é dada pelo produto da massa pela aceleração centrípeta, mas primeiramente devemos passar as unidades para o SI.

Massa em kg:

$$m = 100 \text{ ton} \cdot \frac{10^3 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} \therefore m = 10^5 \text{ kg}$$

Velocidade em m/s :

$$v = 28800 \text{ km/h} \cdot \frac{1 \text{ m/s}}{3,6 \text{ km/h}} \therefore v = 8 \cdot 10^3 \text{ m/s}$$

Raio em m:

$$R = 100 \text{ km} \cdot \frac{10^3 \text{ m}}{1 \text{ km}} \therefore R = 10^5 \text{ m}$$

Cálculo da força centrípeta:

$$F_c = m \cdot \frac{v^2}{R} = 10^5 \text{ kg} \cdot \frac{(8 \cdot 10^3 \text{ m/s})^2}{10^5 \text{ m}} \therefore F_c = 6,4 \cdot 10^7 \text{ N}$$

Resposta da questão 17:

[D]

A velocidade linear da bicicleta é:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{628 \text{ m}}{100 \text{ s}} \therefore v = 6,28 \text{ m/s}$$

A velocidade linear é relacionada com a frequência de rotação das rodas por meio da expressão:

$$v = 2\pi Rf \Rightarrow f = \frac{v}{2\pi R} = \frac{6,28 \text{ m/s}}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,3 \text{ m}} \therefore f = 3,33 \text{ Hz}$$

Resposta da questão 18:

[D]

A força centrípeta aponta para dentro da curva e representa a força resultante no movimento curvilíneo, assim, essa força resulta das laterais do carro sobre o piloto.

Resposta da questão 19:

[B]

Se não houvesse atrito entre os pneus e a pista, o carro tangenciaria a curva.

Resposta da questão 20:

[C]

Primeiramente devemos adequar as unidades, isto requer passar a velocidade dada em km/h para m / s .

$$v = 432,0 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 120,0 \text{ m/s}$$

A aceleração centrípeta é dada por:

$$a_c = \frac{v^2}{R} = \frac{(120,0 \text{ m/s})^2}{6000 \text{ m}} = \frac{14400 \text{ m}^2/\text{s}^2}{6000 \text{ m}} \therefore a_c = 2,400 \text{ m/s}^2$$



MOVIMENTO CIRCULAR UNIFORME

Resposta da questão 21:

[A]

A força resultante centrípeta é o próprio peso do conjunto.

$$F_{Rcp} = p \Rightarrow \frac{m v^2}{R} = m g \Rightarrow v = \sqrt{Rg} = \sqrt{6 \cdot 4 \times 10} = 8 \text{ m/s} \Rightarrow \\ v = 8 \times 3,6 \text{ km/h} \Rightarrow v = 28,8 \text{ km/h}$$

Resposta da questão 22:

[B]

A velocidade mínima para descrever o *looping* ocorre quando a normal no ponto mais alto tende a zero, ou seja, a resultante centrípeta nesse ponto é o próprio peso do carrinho.

Então:

$$F_{cent} = P \Rightarrow \frac{m v^2}{R} = m g \Rightarrow \underline{v^2 = R g}$$

Aplicando a conservação da energia mecânica entre os pontos inicial e o ponto mais alto do *looping*:

$$m g h = \frac{m v^2}{2} + m g 2R \Rightarrow g h = \frac{R g}{2} + 2R g \Rightarrow h = \frac{R}{2} + 2R = \frac{5}{2} R \Rightarrow \\ h = 2,5 R.$$

Resposta da questão 23:

[B]

A velocidade em função do período, no MCU é dada por:

$$v = \frac{2\pi(R + d)}{T}$$

Como no enunciado não foi observada a unidade para a resposta, seria oportuno para o candidato pensar em deixar a resposta no Sistema Internacional de Unidades, o S.I., assim, a resposta obtida seria:

$$v = \frac{2\pi(R + d)}{T} = \frac{2 \times 3 \times (R + d)}{24h \times \frac{3600s}{1h}} \therefore v = \frac{(R + d)}{14400} \text{ m/s}$$

Como não existe essa resposta, a banca deveria repensar essa questão sendo mais objetiva e concisa em seus enunciados, evitando situações com perdas de tempo para os candidatos. Bastaria agregar à questão a unidade km/h para a distância considerada em km e o tempo em horas.

Com essa observação, teríamos:

$$v = \frac{2\pi(R+d)}{T} = \frac{2 \times 3 \times (R+d)}{24 h} \therefore v = \frac{(R+d)}{4} \text{ km/h, (com R e d em km)}$$

Combinando com a alternativa [B], mas o ideal, para que a questão fique correta, seria indicar no enunciado que a velocidade seria em km/h, sendo R + d dado em km.

Resposta da questão 24:

[B]

Para resolver esta questão, aplicamos conceitos de movimento circular uniforme.

Primeiro, calculamos o comprimento da circunferência da roda (C) usando o raio $r = 3\text{cm} = 0,03\text{m}$ e $\pi = 3$:

$$C = 2 \cdot \pi \cdot r = 2 \cdot 3 \cdot 0,03 = 0,18\text{m}$$



MOVIMENTO CIRCULAR UNIFORME

A velocidade linear do skate (v) é igual à velocidade tangencial da periferia da roda. A relação entre velocidade, comprimento e frequência (f) é:

$$v = C \cdot f$$

$$4,5 = 0,18 \cdot f$$

$$f = \frac{4,5}{0,18} = 25\text{Hz (rotações por segundo)}.$$

Para converter para rotações por minuto (rpm), multiplicamos por 60:

$$25 \cdot 60 = 1500\text{rpm}$$

Justificativa das alternativas:

[B] Correta: Resultado exato do cálculo de conversão entre velocidade linear e frequência em rpm.

[A], [C] e [E] Incorretas: Valores decorrentes de erros de cálculo no comprimento da circunferência ou manipulação algébrica das unidades de medida.

[D] Incorreta: Representa a frequência em Hertz (rotações por segundo), esquecendo a conversão para minutos solicitada no enunciado.

Resposta da questão 25:

[A]

No ponto B, teremos:

$$F_{\text{res}} = F_{\text{cp}}$$

$$N - P = \frac{mv^2}{R}$$

$$240 - 40 = \frac{4v^2}{1,6}$$

$$v^2 = 80$$

$$\therefore v = 4\sqrt{5} \text{ m/s}$$

Resposta da questão 26:

[A]

A transmissão do MCU entre a coroa e a catraca se dá por correia, portanto, as velocidades lineares são iguais, temos $v_1 = v_2 \Rightarrow 2\pi \cdot f_1 \cdot R_1 = 2\pi \cdot f_2 \cdot R_2 \Rightarrow f_2 = 80 \text{ rpm}$.

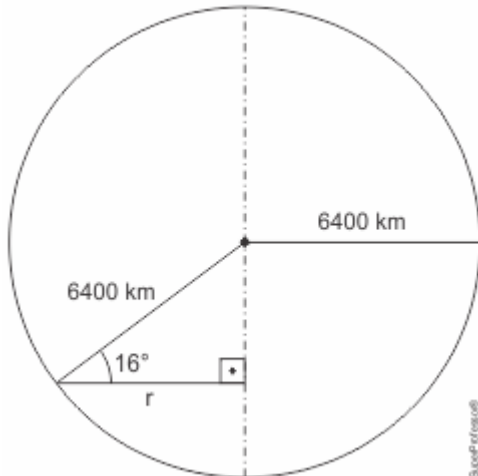
Como a catraca e a roda estão conectadas por um mesmo eixo, suas frequências de rotação são iguais, então $f_3 = 80 \text{ rpm}$.

Assim, é possível determinar a velocidade linear da roda, temos $v_3 = 2\pi \cdot R_3 \cdot f_3 \Rightarrow v_3 = 2\pi \cdot 0,3 \cdot 80 \Rightarrow v_3 = 48\pi \text{ m/min} \Rightarrow v_3 = \frac{48\pi}{60} \Rightarrow v_3 = \frac{4}{5}\pi \text{ m/s}$.

Resposta da questão 27:

[C]

Raio de giro do estudante:



$$\cos 16^\circ = \frac{r}{6400}$$

$$0,9 = \frac{r}{6400}$$

$$r = 5760 \text{ km}$$

Velocidade linear obtida pelo estudante:

$$v = \frac{2\pi r}{\Delta t}$$

$$v = \frac{2 \cdot 3 \cdot 5760}{24}$$

$$\therefore v = 1440 \text{ km/h}$$

Resposta da questão 28:

[A]

Para que a moeda não deslize, o seu raio máximo de trajetória deve ser igual a:

$$F_{at} = F_{cp}$$

$$\mu \cancel{m} g = \cancel{m} \omega^2 r$$

$$\mu g = (2\pi f)^2 r$$

$$r = \frac{\mu g}{4\pi^2 f^2}$$

$$r = \frac{0,18 \cdot 10}{4 \cdot 3^2 \cdot \left(\frac{30}{60}\right)^2}$$

$$\therefore r = 0,2 \text{ m}$$

Resposta da questão 29:

[C]

Considerando 1 salto a cada volta, são 105 voltas (n) em 30 s (Δt). Assim:

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{n(2\pi R)}{\Delta t} = \frac{105 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 0,9}{30} \Rightarrow v = 18,9 \text{ m/s}$$

Resposta da questão 30:

[B]

Para que a aceleração centrípeta produzida seja equivalente à aceleração da gravidade, devemos ter que:



MOVIMENTO CIRCULAR UNIFORME

$$a_{cp} = \omega^2 R = g$$

$$\omega^2 \cdot 20 = 9,8$$

$$\omega = \sqrt{0,49}$$

$$\therefore \omega = 0,70 \text{ rad/s}$$