

Sumário

Aplicações das leis de Newton ao Movimento Circular	2
Um corpo em movimento circular uniforme.....	2
1) RHK E4.21 – Lançamento de funda.....	2
2) Velocidade e aceleração dos ponteiros do relógio.....	2
3) RHK E4.36 – Força centrípeta na roda gigante.	2
Movimento circular não uniforme	2
4) Movimento não uniforme, formal.....	2
Força de atrito na dinâmica do MC.....	2
5. Compensação na autoestrada, limites de velocidade.	2
6. Estudo da dependência da aceleração centrípeta com o raio de curvatura da trajetória.	3
7. Compensação na pista do velódromo.....	3
8. Auto-estrada sem compensação na curva	3
9. HRK P5.15 – Moeda no prato giratório	4
Vínculos na dinâmica do movimento circular	4
10. RHK E5.17 – Esfera rodando em torno de um eixo	4
11. Montanha russa	4
12 Halliday 5.35 – Pêndulo cônico	5
13. Halliday 5.39 – Disco que roda sobre a mesa, clássico	5
14. Controlador centrífugo.....	5
15. Força na asa de um avião ao fazer uma curva.....	6
Cinemática da translação em uma dimensão	6
16. Empurrando um carro com força variável	6

Aplicações das leis de Newton ao Movimento Circular

Um corpo em movimento circular uniforme

1) RHK E4.21 – Lançamento de funda

Uma criança gira uma pedra em um círculo horizontal a 1,9 m acima do solo por meio de uma corda de 1,4 m de comprimento. A corda arrebenta e a pedra sai voando horizontalmente, atingindo o solo a uma distância de 11 m.

Determine a aceleração centrípeta da pedra enquanto estava em movimento circular.

2) Velocidade e aceleração dos ponteiros do relógio

A velocidade de um ponto na extremidade do ponteiro de minutos do relógio de uma torre é $1,75 \cdot 10^{-3}$ m/s. O ponteiro de segundos tem o mesmo comprimento do ponteiro de minutos.

Determine:

- a velocidade da extremidade do ponteiro de segundos.
- a aceleração centrípeta de um ponto na extremidade do ponteiro de minutos.

3) RHK E4.36 – Força centrípeta na roda gigante.

Uma pessoa de 75 kg está sentada em uma roda gigante, que tem um raio de 15 m e completa 5 rotações em torno do seu eixo horizontal por minuto.

Determine os seguintes vetores, dando intensidade, direção e sentido:

- a aceleração do passageiro quando está no ponto mais alto.
- a aceleração do passageiro, no ponto mais baixo.
- a força do assento sobre o passageiro, no ponto mais alto.
- a força do assento sobre o passageiro, no ponto mais baixo.

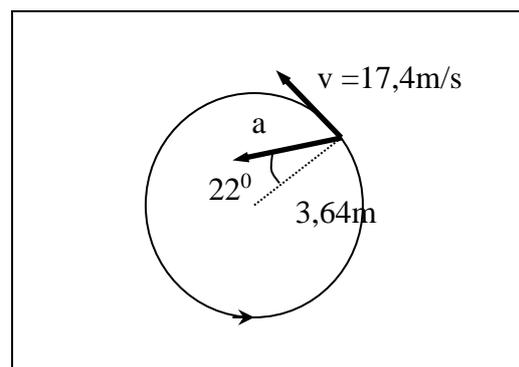
Movimento circular não uniforme

4) Movimento não uniforme, formal

Uma partícula está se movendo em uma trajetória circular de raio 3,64 m. Num certo instante, sua velocidade é 17,4 m/s e sua aceleração faz um ângulo de $22,0^\circ$ com a direção radial, vista da partícula, conforme a figura ao lado.

Determine:

- a taxa de crescimento da velocidade escalar da partícula.
- o módulo da aceleração.



Força de atrito na dinâmica do MC

5. Compensação na autoestrada, limites de velocidade.

Uma curva inclinada de um trecho circular de uma rodovia é projetada para um tráfego que se move a 95 km/h. O raio da curva é 210 m. O tráfego está se movendo ao longo da rodovia a 52 km/h em um dia chuvoso.

- a) Esboce o diagrama de corpo livre de um veículo nessa curva compensada, supondo que não haja atrito, que é a condição para a qual a curva foi projetada.
- b) Determine o coeficiente de atrito mínimo entre os pneus e a estrada que permitirá que os carros façam a curva sem derrapar. *Refaça o diagrama de corpo livre, incluindo a força de atrito – cuidado na determinação do sentido dessa força.*
- c) Com o valor do coeficiente de atrito do item anterior, determine a velocidade máxima que se pode atingir para fazer a curva compensada sem derrapar. *Refaça o diagrama de corpo livre, incluindo a força de atrito, que neste caso mudou de sentido em relação ao caso do item b).*

6. Estudo da dependência da aceleração centrípeta com o raio de curvatura da trajetória.

- a) Dois aeromodelos idênticos, com 2 kg de massa, realizam movimentos em um plano horizontal, circulares e uniformes, com velocidades de módulo igual a 10 m/s, ligados ao centro da circunferência por cabos de aço. O raio da trajetória de Alfa é 10 m e o de Beta, 15 m. Para qual dos modelos a força aplicada pelo cabo de aço é maior? Explique, usando o diagrama de corpo livre e a equação de movimento correspondente. Qual deles realiza uma volta completa em menor tempo? Explique e calcule o tempo necessário para esse aeromodelo dar uma volta completa.
- b) Duas borrachas de massa m , idênticas, foram colocadas sobre um disco de superfície uniforme, rodando em torno do seu eixo em um plano horizontal. Uma borracha está à distância r do centro do disco e a outra, à distância $2r$. Em baixa rotação, as duas borrachas não escorregam em relação à superfície do disco, realizando, junto com o disco, movimentos circulares em relação ao chão. O disco aumenta gradativa e lentamente sua velocidade angular, de maneira que a cada volta pode-se supor que o movimento do disco seja circular e uniforme. Verifica-se que as borrachas escorregam, saindo dos lugares em que estavam, mas não simultaneamente. Qual das duas escorregará primeiro e por quê? Explique detalhadamente porque as duas não escorregam no mesmo instante.

7. Compensação na pista do velódromo

A pista de um velódromo é inclinada para que a força normal do chão ajude a bicicleta a fazer a curva a alta velocidade. A trajetória do ciclista, que se move com velocidade v , é uma circunferência plana e horizontal de raio R , e a bicicleta tem direção perpendicular à superfície da pista. A fim de calcular o ângulo de inclinação ideal da pista em relação à horizontal, θ , responda às questões abaixo.

- a) Esboce o diagrama de corpo livre do ciclista em movimento supondo que a força da pista sobre a bicicleta tem direção perpendicular à superfície da pista; marque o ângulo θ no esboço.
- b) Escreva a equação de movimento e determine a relação matemática entre θ , R , v e a aceleração da gravidade, g . *Note que a soma das massas do ciclista com a da bicicleta entra na dedução da equação, mas termina cancelando-se.*
- c) Determine o ângulo θ quando a velocidade do ciclista é 50 km/h e o raio da curva é 30 m.

8. Auto-estrada sem compensação na curva

Um ônibus desloca-se sobre uma rodovia cuja superfície é horizontal a uma velocidade constante em módulo e igual a 108 km/h. O coeficiente de atrito estático entre os pneus e o piso da rodovia é $\mu = 0,8$.

Determine:

- a distância mínima de frenagem até a parar, quando ele se desloca em um trecho retilíneo.
- o menor raio que uma curva pode ter para que o ônibus trafegue sem derrapar, nas condições de velocidade e atrito do enunciado. *Suponha que, no limite da derrapagem, a força de atrito tenha exatamente a direção radial.*

9. HRK P5.15 – Moeda no prato giratório

Uma moeda, com 2,0 g de massa, é colocada sobre um prato giratório plano e horizontal a uma distância de 5,0 cm do centro do prato. O prato dá exatamente três voltas em 3,3 s. Nessas condições, a moeda gira junto com o prato, sem deslizar.

Ignore o tamanho da moeda.

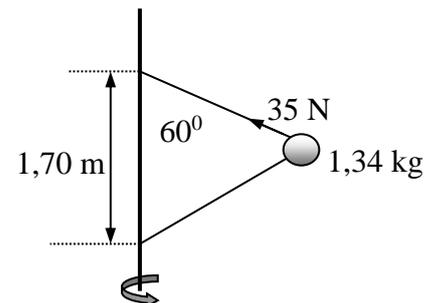
Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$ para a aceleração local da gravidade.

- Esboce o diagrama de corpo livre da moeda.
- Determine a velocidade da moeda.
- Determine a aceleração (módulo e sentido) da moeda.
- Determine a força de atrito (módulo e sentido) sobre a moeda.
- Se a moeda desliza para fora somente quando está a mais de 12 cm do centro do prato, determine o coeficiente de atrito estático entre a moeda e o prato.

Vínculos na dinâmica do movimento circular

10. RHK E5.17 – Esfera rodando em torno de um eixo

Uma bola de 1,34 kg está presa a uma haste rígida vertical por meio de dois fios sem massa, de 1,70 m de comprimento cada. Os fios estão presos à haste em pontos separados por 1,70 m. O conjunto está girando em volta do eixo da haste com os dois fios esticados formando um triângulo equilátero com a haste, como mostra a figura ao lado. A tensão no fio superior é 35,0 N.

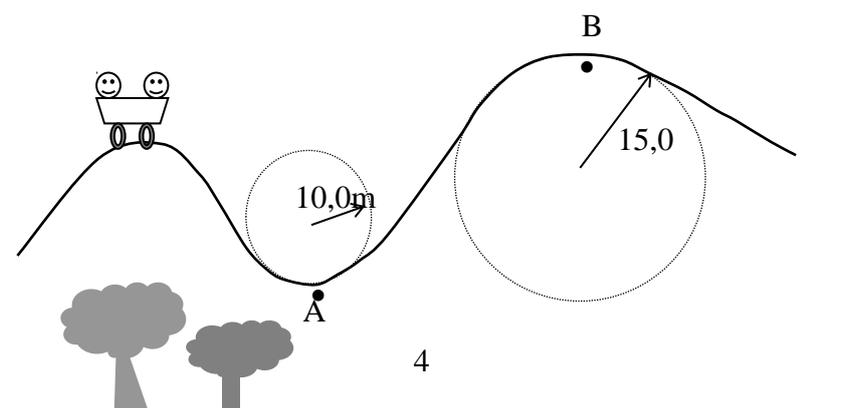


Determine:

- a tensão no fio inferior.
- a força resultante na bola, no instante mostrado na figura.
- a velocidade da bola.

11. Montanha russa

Um carro de montanha russa com seus passageiros tem 500 kg de massa e a pista tem a forma do esboço abaixo, em que o raio de curvatura da pista no ponto mais baixo, A, é 10,0 m e no ponto mais alto, B, é 15,0 m. A velocidade do carro em A é 20,0 m/s.



Determine:

- a força exercida pelos trilhos sobre o carro em A.
- a velocidade máxima do carro em B para que ele continue sobre os trilhos.

12 Halliday 5.35 – Pêndulo cônico

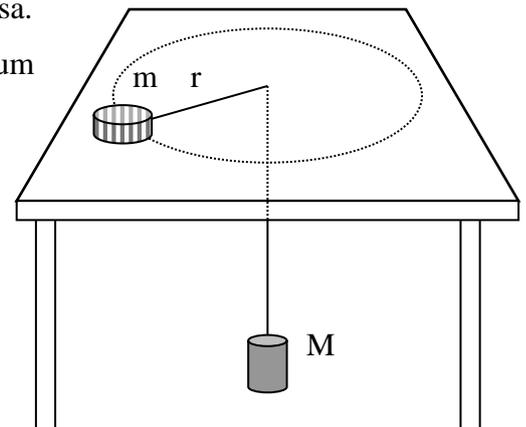
Um pêndulo cônico é formado por um seixo de massa m ligado a um fio de comprimento l . O seixo oscila em volta de um círculo de raio R .

- Esboce o diagrama de corpo livre do seixo.
- Determine uma expressão para a tração no barbante, em função dos dados m , l , R e de g , a aceleração local da gravidade.
- Determine uma expressão para a aceleração do seixo, em função de m , l , R e g .
- Determine uma expressão para a velocidade do seixo, em função de m , l , R e g .
- Calcule os valores numéricos da velocidade, aceleração e tração quando $m = 53$ g; $l = 1,4$ m; $R = 25$ cm e $g = 9,8$ m/s².

13. Halliday 5.39 – Disco que roda sobre a mesa, clássico

Um disco de massa m desliza sem atrito sobre uma mesa e está ligado a um cilindro de massa M suspenso por uma corda que passa através de um orifício da mesa.

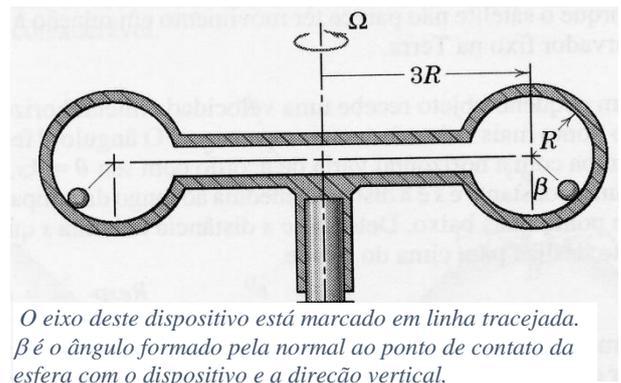
Determine a velocidade com a qual o disco deve se mover em um círculo de raio r para que o cilindro permaneça em repouso.



14. Controlador centrífugo

No dispositivo representado em corte na figura abaixo, as pequenas esferas movem-se livremente e sem atrito na superfície interna das câmaras esféricas rotativas. Para determinar a velocidade angular Ω do dispositivo ao alcançar o regime permanente, responda às questões abaixo.

- Esboce o diagrama de corpo livre de uma das esferas no regime permanente. Identifique que interação produz cada uma das forças e em que corpos as forças de reação estão aplicadas (3ª lei de Newton).
- Determine a expressão do módulo da aceleração em função de valores genéricos de Ω , R e β , supondo o movimento circular e uniforme. Dê a direção e o sentido dessa aceleração.



- c) Escreva a equação de movimento da esfera (aquela que descreve como o movimento vai se alterando; corresponde à aplicação da 2ª lei de Newton ao sistema em estudo).
- d) Determine a velocidade angular Ω do dispositivo quando as esferas alcançam uma posição angular $\beta = 45^\circ$ em regime permanente, se as câmaras têm raio $R = 200$ mm.

15. Força na asa de um avião ao fazer uma curva

O avião é sustentado pela força do ar nas asas, que é perpendicular ao plano das asas. Ele é projetado de modo que suas asas possibilitam uma força de sustentação máxima igual a 4 vezes seu peso, podendo romper-se a partir desse limite. Quando um avião inclina as asas em relação à horizontal ele faz uma curva, mas há uma inclinação máxima possível sem comprometer a segurança. No início do voo, o avião faz uma curva a altitude constante com raio $R = 1200$ m, a uma velocidade de módulo constante $v = 240$ km/h em relação ao ar.

Adote $g = 10$ m/s² e determine:

- a) o ângulo de inclinação em relação à horizontal na curva realizada no início do voo.
- b) o ângulo de inclinação máximo que um piloto pode manter em uma curva a altitude constante, numa trajetória circular, sem que haja ameaça à segurança do avião.
- c) Usando a resposta ao item b), determine o menor raio de uma curva circular a altitude constante realizada por um jato comercial a 900 km/h.
- d) Usando a resposta ao item b), determine a maior velocidade com que um jato comercial pode fazer uma curva circular de 1,0 km de raio em uma altitude constante.

Os itens c) e d) não faziam parte da formulação original deste problema, mas sim a pergunta: A resposta ao item b) depende da velocidade do avião? Justifique sua resposta. Levando em conta suas respostas aos itens c) e d), resolva a questão como proposta originalmente.

Cinemática da translação em uma dimensão

16. Empurrando um carro com força variável

Um motorista vê seu automóvel na garagem do prédio bloqueado por outro que, no entanto, está desbrecado. A partir de $t = 0$ s, o motorista empurra esse outro automóvel, de massa $8,0 \times 10^2$ kg, de modo que a força **resultante** no automóvel tem direção e sentido constantes mas módulo variável, como representado no gráfico ao lado.

Determine:

- a) a velocidade do automóvel em $t = 2,0$ s.
- b) a distância percorrida entre $t = 0,0$ s e $2,0$ s.
- c) o intervalo de tempo que demora para o automóvel percorrer os primeiros 3,0 m.

