

Trabalho e Energia

| | |
|--|---|
| Trabalho de força constante | 2 |
| 1. Trabalho do peso em atividades humanas | 2 |
| 2. (RHK 11.P.2) Trabalho do peso e da tração no movimento de um objeto. | 2 |
| 3. (RHK 11.E.1). Trabalho das várias forças no movimento de um objeto | 2 |
| 4. (RHK11.E.2) Deduzir o trabalho da força a partir da cinemática, formal | 3 |
| 5. (Probl. Resolvido – 11.2 RHK) Deduzir o trabalho da força a partir da cinemática, realista..... | 3 |
| 6. (RHK11.E.4) Deduzir o trabalho da força a partir a cinemática, realista | 3 |
| Potência..... | 3 |
| 7. Potência desenvolvida por uma pessoa subindo escadas | 3 |
| 8. Como subir uma escada longa..... | 3 |
| 9. Potência na evaporação de água pelas árvores..... | 3 |
| 10. Potência ao guinchar um bloco pesado..... | 4 |
| Trabalho de força variável | 4 |
| 11. Trabalho de uma mola com força proporcional ao cubo da elongação | 4 |
| 12. Trabalha da força de uma mola comum, com parametrização adimensional..... | 4 |
| 13. (RHK11.E.22) Trabalho de força variável e conhecida com a posição | 4 |
| 14. (RHK11.E.24) Quantificar o efeito do potencial parabólico com a elongação..... | 4 |
| 15. Trabalho da força de gravitação, quando ela varia..... | 4 |
| 16. (RHK11.P.12) Trabalho da força inversamente proporcional à distância..... | 5 |
| 17. (Probl. resolvido. 11.5 RHK) Trabalho das forças no movimento de um pêndulo | 5 |
| Teorema do Trabalho-Energia | 5 |
| 18. Partícula sob ação de força conhecida em função da posição, numérico | 5 |
| 19. (RHK11.E.30) Partícula sob ação de força conhecida em função da posição, sem números | 6 |
| 20. Conversão de energia potencial gravitacional em cinética – numérico..... | 6 |
| 21. Conversão trabalho em energia cinética – força dada por meio de um gráfico..... | 6 |
| 22. (Merrian e Kraige, Ex 3.110 re-escrito) Absorvedores de impacto no paracheque | 6 |
| 23. Importância dos detalhes na determinação da energia para realizar um movimento | 6 |
| Energia cinética em colisões | 7 |
| 24. Compensação da perda de energia numa colisão parcialmente inelástica..... | 7 |
| 25. (HRK 9.37) Conservação da energia e quantidade de movimento no decaimento beta | 7 |
| 26. Conservação da quantidade de movimento numa explosão de energia conhecida | 7 |
| 27. Colisão inelástica em que a energia pode ser determinada | 7 |
| 28. Conservação da quantidade de movimento na colisão nuclear, com ganho de energia conhecida... | 7 |
| 29. (RHK 11.E.41) Colisão em uma dimensão, com perda de energia conhecida..... | 7 |
| 30. Colisão entre prótons, ângulo de espalhamento conhecido | 8 |

| | |
|--|----|
| 31. Colisão entre partículas de massas diferentes, um ângulo de espalhamento conhecido | 8 |
| 32. Colisão entre partículas de massas diferentes, ângulos de espalhamento conhecidos | 8 |
| 33. Colisão de um átomo de H com uma molécula de H ₂ , ângulo de espalhamento conhecido | 8 |
| 34. Colisão de dois corpos, uma velocidade e energia final desconhecidas..... | 8 |
| 35. Limites impostos pela conservação da quantidade de movimento numa colisão, numérico | 9 |
| Colisões no Centro de Massa..... | 9 |
| 36. Colisão elástica em uma dimensão, determinação da relação entre as grandezas..... | 9 |
| Questões curtas diversas | 9 |
| 37. (HRK 10.Q.10) Conceito de potência | 9 |
| 38. (HRK 10.Q.28) Colisão inelástica e relação com as leis de conservação | 9 |
| 39. Demonstração da relação entre trabalho e energia cinética..... | 9 |
| 40. Descrevendo o pêndulo a partir da conservação da energia..... | 9 |
| 41. Conceito de trabalho..... | 9 |
| 42. Conceito de energia | 10 |
| 43. Conceito de trabalho e sua relação com a energia cinética | 10 |
| 44. Interpretação da potência – relação entre os valores instantâneo e médio | 10 |

Trabalho de força constante

1. *Trabalho do peso em atividades humanas*

Um levantador de pesos ergue, com velocidade praticamente nula, uma massa de 100 kg a 2,0 m de altura, enquanto uma pessoa de 100 kg sobe, a velocidade constante, quatro lances de escada, que perfazem 12 m de altura.

Calcule, nos respectivos percursos descritos no enunciado, o trabalho realizado pela componente vertical da força:

- do levantador de pesos.
- da pessoa que sobe a escada.

2. (RHK 11.P.2) *Trabalho do peso e da tração no movimento de um objeto.*

Uma corda é usada para baixar um bloco de massa M verticalmente por uma distância d , com uma aceleração de $g/4$, constante e para baixo.

Determine, no percurso descrito no enunciado, o trabalho realizado pela força

- da corda no bloco.
- da gravidade.

3. (RHK 11.E.1). *Trabalho das várias forças no movimento de um objeto*

Um trabalhador empurra por 3,3 m um engradado de 52 kg sobre um assoalho horizontal com uma força de 190 N, inclinada em 22° para baixo da horizontal.

Determine, no percurso descrito no enunciado, o trabalho realizado pela força que atua sobre o engradado devida

- ao trabalhador.
- à gravidade.
- à reação normal do assoalho.

4. (RHK11.E.2) *Deduzir o trabalho da força a partir da cinemática, formal*

Em um experimento destinado a compreender o significado do trabalho mecânico, um objeto com 106 kg é inicialmente posto em movimento em linha reta e horizontal com velocidade igual a 51 m/s e depois parado com desaceleração uniforme.

Determine a força necessária, a distância que o objeto percorre e o trabalho realizado pela força aplicada no objeto desde o início de sua atuação até parar, quando o módulo da aceleração do objeto vale

- a) 1,97 m/s²
- b) 4,8 m/s²

5. (Probl. Resolvido – 11.2 RHK) *Deduzir o trabalho da força a partir da cinemática, realista*

Um garoto puxa um trenó de 5 kg por 10 m ao longo de uma superfície horizontal com velocidade constante. O coeficiente de atrito cinético entre o trenó e a neve é $\mu_c = 0,2$ e o ângulo formado pela corda e a horizontal é $\theta = 45^\circ$.

Determine o trabalho da força do garoto sobre o trenó nesse deslocamento.

6. (RHK11.E.4) *Deduzir o trabalho da força a partir a cinemática, realista*

Um trabalhador empurrou um bloco de 27 kg por uma distância de 9,5 m ao longo de um assoalho horizontal, com velocidade constante, aplicando-lhe uma força inclinada em 32° para baixo da horizontal. O coeficiente de atrito cinético é 0,20.

Determine o trabalho da força do homem no trajeto mencionado.

Potência

7. *Potência desenvolvida por uma pessoa subindo escadas*

Uma mulher de 57 kg sobe um lance de escadas, elevando-se de 4,5 m em 3,5 s.

Determine a potência média que ela desenvolve.

8. *Como subir uma escada longa*

Como ainda não estamos livres dos apagões, é bom saber como subir escadas longas. Considere que um ser humano consegue desenvolver no máximo 100 W de energia mecânica com as pernas por um tempo longo.

Determine a velocidade adequada para subir uma escada com muitos degraus na condição do enunciado.

Dê a velocidade em degraus/segundo.

Use valores razoáveis para a massa da pessoa e as alturas de um degrau e um andar.

A escada para subir ao 10º andar de um edifício é longa - exige subir muitos degraus.

9. *Potência na evaporação de água pelas árvores*

Alega-se que até 900 kg de água podem ser evaporados diariamente pelas grandes árvores. A evaporação ocorre nas folhas e, para chegar lá, a água tem que ser elevada desde as raízes da árvore. Adote que a evaporação ocorra durante 12 horas e considere uma árvore em que a água seja elevada a 9,2 m acima do solo, em média.

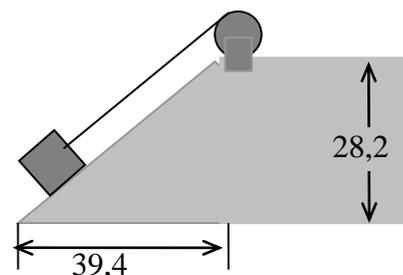
Determine:

- a) quanta energia deve ser fornecida
- b) a potência média das forças da árvore que bombeiam a água.

10. Potência ao guinchar um bloco pesado

Um guincho arrasta um bloco de granito com 1380 kg a uma velocidade constante igual a 1,34 m/s sobre um plano inclinado (veja figura ao lado). O coeficiente de atrito cinético entre o bloco e o plano inclinado é 0,41.

Determine a potência que fornecida pelo guincho.

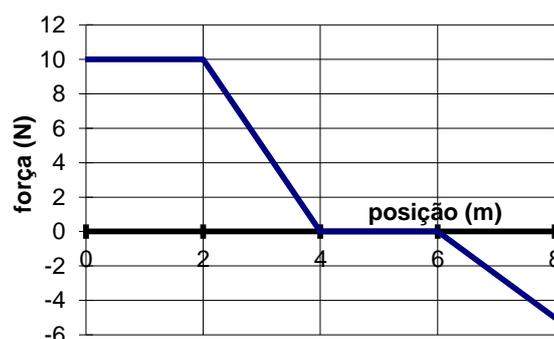


Trabalho de força variável

11. Trabalho de uma mola com força proporcional ao cubo da elongação

Uma mola “rígida” tem uma lei de força dada por $F = -kx^3$. O trabalho necessário para distender a mola desde a sua posição relaxada $x = 0$ até o comprimento distendido $x = l$ é W_0 .

Determine o trabalho necessário para estender a mola desde o comprimento distendido l até o comprimento $3l/2$; dê sua resposta em função de W_0 .



12. Trabalho da força de uma mola comum, com parametrização adimensional

A força aplicada em um objeto tem módulo $F = F_0 \left(\frac{x}{x_0} - 1 \right)$, sentido e direção constantes ao longo do eixo x , com F_0 e x_0 constantes positivas.

Determine o trabalho realizado ao mover o objeto desde $x = 0$ até $x = 3x_0$

13. (RHK11.E.22) Trabalho de força variável e conhecida com a posição

Um bloco de 5,0 kg se move em linha reta sobre uma superfície horizontal sem atrito sob influência de uma força que varia com a posição, como mostra o gráfico ao lado.

Determine

- o trabalho realizado por essa força quando o bloco se move desde a origem até a posição $x = 8,0$ m.
- se o resultado do item anterior depende da velocidade inicial do bloco, quando ela é positiva.
- se o problema tem sentido quando a velocidade inicial é negativa.

14. (RHK11.E.24) Quantificar o efeito do potencial parabólico com a elongação

Uma mola tem constante elástica igual a 15,0 N/cm.

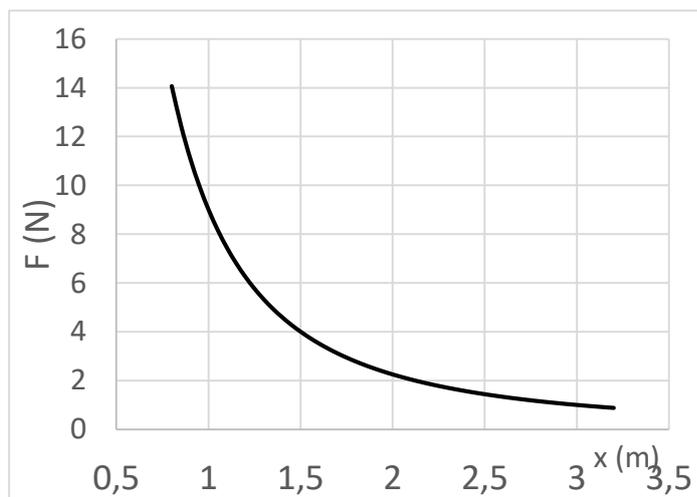
Determine o valor mínimo do trabalho de uma força externa que alongue a mola em 7,60 mm a partir:

- de sua posição distendida.
- da posição em que já está alongada 7,60 mm.

15. Trabalho da força de gravitação, quando ela varia

A força gravitacional que uma massa puntiforme M , localizada em $r = 0$, aplica em outra massa m , também puntiforme e localizada em r (a coordenada r é definida positiva), é dada por $F = -(GMm/r^2)\hat{i}$, onde G é uma constante positiva. A massa M está fixada em $r = 0$.

- Esboce o gráfico de F em função de r .
- Calcule o trabalho realizado pela força F , quando m é deslocada da posição inicial r_i para a posição r_f .
- Determine se o trabalho de F foi positivo ou negativo quando, no deslocamento, m se afastou de M .
- Determine se o trabalho de F foi positivo ou negativo quando, no movimento, m se aproximou de M .



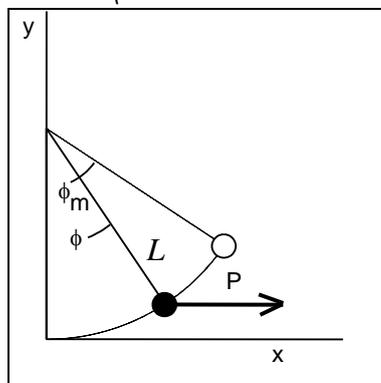
16. (RHK11.P.12) Trabalho da força inversamente proporcional à distância

O gráfico ao lado representa a força $F = A/x^2$, com $A = 9 \text{ Nm}^2$. Uma partícula se desloca desde $x = 1 \text{ m}$ até $x = 3 \text{ m}$.

Estime o trabalho realizado por essa força nesse deslocamento, calculando a integral

- numericamente, a partir de valores lidos do gráfico
- analiticamente.

17. (Probl. resolvido. 11.5 RHK) Trabalho das forças no movimento de um pêndulo



17. Um pequeno objeto de massa m é suspenso por um fio de comprimento L , conforme figura ao lado. O objeto é puxado para o lado, a partir da posição em que o fio está na vertical, por uma força P sempre horizontal até que, finalmente, o fio forma um ângulo ϕ_m com a vertical. O deslocamento é efetuado tão lentamente que podemos considerar o sistema como estando em equilíbrio durante o processo.

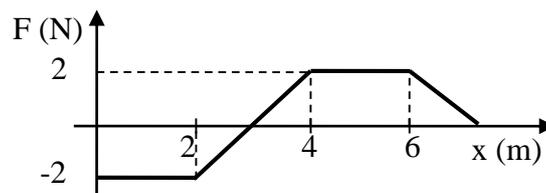
Determine o trabalho realizado nesse deslocamento por cada uma das forças que atuam no objeto.

Teorema do Trabalho-Energia

18. Partícula sob ação de força conhecida em função da posição, numérico

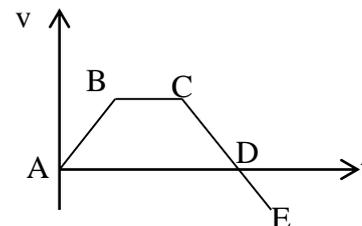
Uma partícula de massa $m = 2 \text{ kg}$ desloca-se ao longo de uma reta. Entre $x = 0$ e $x = 7 \text{ m}$, ela está sujeita a uma força $F(x)$, cuja intensidade está representada no gráfico.

- Calcule a velocidade da partícula depois de percorrer 2, 3, 4, 6 e 7 m, sabendo que sua velocidade em $x = 0 \text{ m}$ é de 3 m/s.
- Se no ponto $x = 0 \text{ m}$ sua velocidade fosse 2 m/s, ela poderia chegar até o ponto $x = 7 \text{ m}$? Justifique.



19. (RHK11.E.30) Partícula sob ação de força conhecida em função da posição, sem números

Uma única força atua em uma partícula em movimento retilíneo. Um gráfico da velocidade da partícula como função do tempo é mostrado na figura ao lado.



Determine o sinal (positivo ou negativo) do trabalho realizado pela força sobre a partícula em cada um dos intervalos AB, BC, CD e DE.

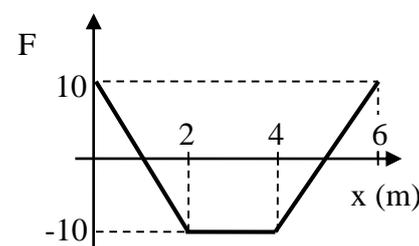
20. Conversão de energia potencial gravitacional em cinética – numérico

De que altura um automóvel de 1270 kg teria que cair para ganhar a energia cinética equivalente à que ele teria ao viajar a 88,5 km/h? A resposta depende do peso do carro?

21. Conversão trabalho em energia cinética – força dada por meio de um gráfico

Um corpo de massa $m = 2$ kg se desloca ao longo de uma reta (eixo x), sob a ação de uma única força, cuja componente x é ilustrada na figura.

- Se o corpo for lançado da origem com uma velocidade $v_x = 5$ m/s, com que velocidade atingirá o ponto $x = 5$ m?
- Se o corpo for abandonado em $x = 2$ m, qual será a sua velocidade após percorrer 2 m? Em que sentido será o movimento?



22. (Merrian e Kraige, Ex 3.110 re-escrito) Absorvedores de impacto no parachoque

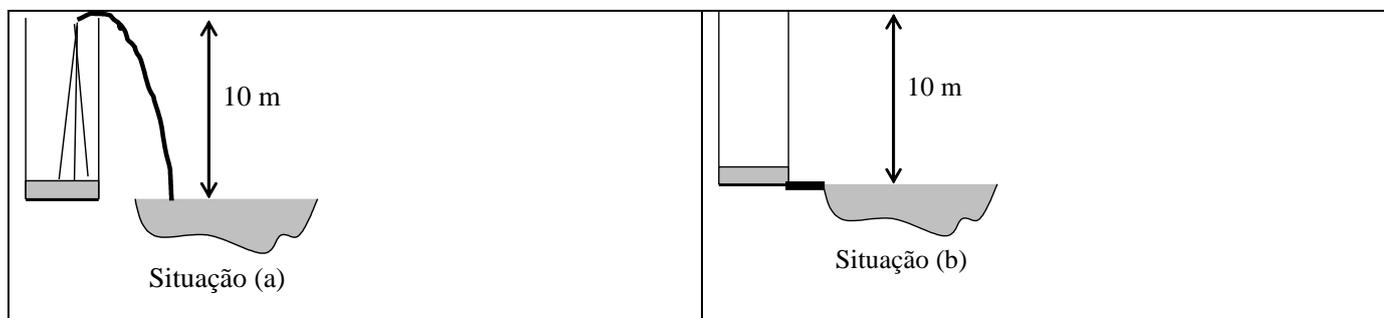
O pára-choque com molas de um carro é projetado de modo a absorver o impacto de outro veículo a 9 km/h e com 1500 kg; uma colisão dessas comprimirá cada uma das duas molas idênticas, escondidas no interior do pára-choque, em 15 cm. O veículo sofre um choque frontal, e as molas não estão deformadas no início da batida.

Determine a constante de força de cada mola.

23. Importância dos detalhes na determinação da energia para realizar um movimento

Um tanque de água cilíndrico com 10 m de altura tem uma capacidade de 1000 m^3 . Ele é preenchido com água de um grande lago cuja superfície está na mesma altura que o fundo do tanque. Duas formas diferentes podem ser usadas para o preenchimento do tanque:

- elevar a água até à boca do tanque, a 10 m de altura e com velocidade praticamente nula, e despejá-la para dentro.
- empurrar a água, a velocidade praticamente nula, por uma conexão no fundo do tanque,



- Calcule o trabalho realizado pela força que eleva a água na forma i)
- Calcule o trabalho realizado pela força que empurra a água na forma ii).
- O valor obtido em b) é menor que a), o que indica que na condição descrita em a) foi usada mais energia que a necessária para preencher o tanque. O que aconteceu com a energia excedente?

Energia cinética em colisões

24. *Compensação da perda de energia numa colisão parcialmente inelástica*

Uma bola perde 20 % de sua energia cinética quando é rebatida por um piso de concreto. Determine a velocidade com que você deve jogá-la contra esse piso, verticalmente para baixo, a partir de uma altura de 10 m, para tê-la rebatida até a mesma altura. Ignore a resistência do ar e use $g = 10 \text{ m/s}^2$.

25. (HRK 9.37) *Conservação da energia e quantidade de movimento no decaimento beta*

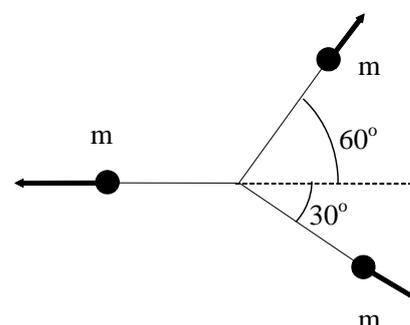
Um núcleo radioativo, inicialmente em repouso, decai pela emissão de um elétron e um neutrino com velocidades perpendiculares entre si. O momento linear do elétron é $1,2 \cdot 10^{-22} \text{ kg m/s}$ e o do neutrino, $6,4 \cdot 10^{-23} \text{ kg m/s}$. A massa do núcleo residual é $5,8 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$.

Determine:

- a direção e o módulo do momento linear do núcleo que recua.
- a energia cinética de recuo do núcleo residual.

26. *Conservação da quantidade de movimento numa explosão de energia conhecida*

Uma mina explode em três fragmentos, de 100 g cada um, que se deslocam em um plano horizontal conforme mostrado na figura ao lado. A energia cinética total liberada pela explosão é 100 kJ.



Determine as velocidades iniciais dos três fragmentos.

27. *Colisão inelástica em que a energia pode ser determinada*

Um veículo, com massa total igual a 2400 kg, bate na traseira de um carro de massa total 1200 kg, que estava parado em um sinal vermelho. O motorista do veículo mais pesado alega que o outro estava com as luzes apagadas e que ele vinha reduzindo a marcha ao aproximar-se do sinal, estando a menos de 10 km/h quando o acidente ocorreu. A perícia constata que o carro foi arrastado pelo outro por uma distância igual a 10,5 m e estima o coeficiente de atrito cinético com a estrada no local do acidente em 0,6.

Determine a velocidade real do veículo mais pesado, no momento da colisão.

28. *Conservação da quantidade de movimento na colisão nuclear, com ganho de energia conhecida*

Na reação $d+d \rightarrow p+t$, onde a diferença entre a energia cinética final e a inicial é 4 MeV, tem-se um feixe de d de 3 MeV incidindo sobre um alvo contendo d em repouso. Tome as massas como sendo $m_p=1 \text{ u}$, $m_d=2 \text{ u}$ e $m_t=3 \text{ u}$.

Determine:

- a energia (em MeV) dos p emergentes num ângulo de 45° em relação à direção de incidência.
- a energia dos t associados a esses p .
- a direção em que emergem esses t , relativamente à direção do dêuteron incidente.

29. (RHK 11.E.41) *Colisão em uma dimensão, com perda de energia conhecida*

Um vagão de carga de 35,0 toneladas choca-se com outro vagão que está parado. Eles engatam e 27,0 % da energia cinética inicial é dissipada como calor, som, vibração, deformação, etc.

Determine a massa do segundo vagão.

30. Colisão entre prótons, ângulo de espalhamento conhecido

Um próton (massa atômica 1,01 u) choca-se elasticamente, a 518 m/s, com outro próton parado. O primeiro próton é desviado 64° de sua direção inicial.

Determine, após a colisão:

- a direção do próton-alvo.
- as velocidades dos prótons.

Obs.: Você só pode usar que a soma dos ângulos de espalhamento iguala 90° se DEMONSTRAR esse fato. É possível resolver sem usar essa propriedade.

31. Colisão entre partículas de massas diferentes, um ângulo de espalhamento conhecido

Uma partícula A, de massa m e velocidade $3v_0\vec{i}$, colide com uma outra partícula B, em repouso, de massa $2m$. A primeira partícula é desviada de um ângulo θ_1 (com $\tan(\theta_1) = 2$) com uma velocidade cuja magnitude é $\sqrt{5}v_0$.

Determine:

- a magnitude da velocidade da partícula B depois da colisão.
- o ângulo θ_2 em que emerge a partícula B.
- o impulso recebido pela partícula A.
- o impulso recebido pela partícula B e e) se a colisão é elástica.

32. Colisão entre partículas de massas diferentes, ângulos de espalhamento conhecidos

Um núcleo de massa $2m$ e velocidade \vec{v} colide com um núcleo estacionário de massa $10m$. Há variação de energia cinética na colisão e observa-se que o núcleo de massa $2m$ tem uma velocidade \vec{v}_1 cuja direção é perpendicular à que ele tinha antes da colisão e o núcleo de massa $10m$ tem velocidade \vec{v}_2 cuja direção faz um ângulo θ com a direção do núcleo de massa $2m$ antes da colisão tal que $\sin \theta = 3/5$.

Determine

- as magnitudes de \vec{v}_1 e \vec{v}_2 .
- a fração da energia cinética perdida ou ganha como resultado da interação.

33. Colisão de um átomo de H com uma molécula de H_2 , ângulo de espalhamento conhecido

Um átomo de hidrogênio, movendo-se com velocidade cuja magnitude é v , colide elasticamente com uma molécula de hidrogênio em repouso, sofrendo uma deflexão de 45° . Calcule:

- a magnitude da velocidade do átomo após a colisão;
- a direção de movimento da molécula (com respeito à direção inicial do movimento do átomo) e a magnitude de sua velocidade.

34. Colisão de dois corpos, uma velocidade e energia final desconhecidas

Dois objetos A e B se chocam. A massa de A é 2,0 kg e a de B é 3,0 kg. Suas velocidades antes da colisão eram respectivamente $v_{iA} = 15\vec{i} + 30\vec{j}$ e $v_{iB} = -10\vec{i} + 5\vec{j}$. Após a colisão, $v_{fA} = -6\vec{i} + 30\vec{j}$. Todas as velocidades estão em m/s.

Determine:

- a velocidade final de B.
- a energia cinética ganha ou perdida na colisão.

35. Limites impostos pela conservação da quantidade de movimento numa colisão, numérico

Em um acidente de trânsito, um carro de massa 2000 kg, trafegando na direção sul, colidiu, no meio de um cruzamento, com um caminhão de massa 6000 kg que trafegava na direção oeste. Os veículos se engancharam e derraparam para fora da estrada numa direção praticamente coincidente com a direção sudoeste. Uma testemunha do acidente afirmou que o caminhão havia entrado no cruzamento a 80 km/h.

- Você acredita nesta testemunha?
- Determine a fração da energia cinética total inicial convertida em outras formas de energia pela colisão.

Colisões no Centro de Massa*36. Colisão elástica em uma dimensão, determinação da relação entre as grandezas*

Considere a colisão elástica entre duas partículas de massas m_1 e m_2 que se movem em uma dimensão.

- Calcule as velocidades iniciais v'_{i1} e v'_{i2} das duas partículas em relação ao centro de massa do sistema, exprimindo-as em função da velocidade relativa inicial v_{ri} da partícula 2 em relação à partícula 1 e das massas m_1 e m_2 .
- Calcule as velocidades finais v'_{f1} e v'_{f2} das duas partículas em relação ao centro de massa do sistema, exprimindo-as em função da velocidade relativa final v_{rf} da partícula 2 em relação à partícula 1 e da massa M .
- Como um observador no centro de massa das partículas descreve a colisão?.

Questões curtas diversas*37. (HRK 10.Q.10) Conceito de potência*

A potência necessária para elevar uma caixa até uma plataforma depende da velocidade com que ela é levantada?

38. (HRK 10.Q.28) Colisão inelástica e relação com as leis de conservação

Dois bolas de barro com a mesma massa e a mesma velocidade sofrem uma colisão frontal, ficam juntas e atingem o repouso. A energia cinética certamente não é conservada. O que acontece a ela? Como a quantidade de movimento é conservada?

39. Demonstração da relação entre trabalho e energia cinética

Demonstre o Teorema de Trabalho-Energia cinética.

40. Descrevendo o pêndulo a partir da conservação da energia

A massa de um pêndulo é afastada da vertical de um ângulo de 60° e solta a partir do repouso.

Determine o ângulo que o pêndulo forma com a vertical quando sua velocidade é metade da velocidade máxima atingida.

41. Conceito de trabalho

Um elevador é suspenso pelos cabos mantendo velocidade constante. O trabalho total realizado sobre o elevador é positivo, negativo ou nulo? Explique.

42. Conceito de energia

A energia cinética de um carro varia mais quando um carro acelera de 10 a 15 m/s ou quando acelera de 15 a 20 m/s? Explique.

43. Conceito de trabalho e sua relação com a energia cinética

Pode o trabalho total realizado sobre um objeto durante um deslocamento ser negativo? Explique. Caso o trabalho total seja negativo, pode seu módulo ser maior que a energia cinética inicial do objeto? Explique.

44. Interpretação da potência – relação entre os valores instantâneo e médio

Considere um gráfico da potência instantânea contra o tempo, com o eixo vertical da potência P começando em $P = 0$. Qual o significado físico da área da curva de P contra t entre as linhas verticais t_1 e t_2 ? Como você poderia achar a potência média nesse gráfico? Faça um gráfico P contra t consistindo de duas seções de linhas retas e para o qual a potência máxima seja igual ao dobro da potência média.