GETEF – GRUPO DE ESTUDOS EM TECNOLOGIA DE ENSINO DE FÍSICA

FÍSICA AUTO-INSTRUTIVO FAI 3

- IMPULSO E QUANTIDADE DE MOVIMENTO LINEAR
- ENERGIA MECÂNICA

edição SARAIVA

FÍSICA
AUTO-INSTRUTIVO **FAI**

Supervisão Editorial: Alexandre Faccioli

6 ª edição

FICHA CATALOGRÁFICA

(Preparada pelo Centro de Catalogação-na-Fonte,
CÂMARA BRASILEIRA DO LIVRO, SP)

G941f 3. 6. ed.	Grupo de Estudos em Tecnologia de Ensino de Física. FAI 3, física auto-instrutivo: impulso e quantidade de movimento linear, energia mecânica; texto programado para 2º grau. 6. ed. São Paulo, Saraiva, 1977.

1. Física (2º grau) — Instrução programada I. Título: FAI 3. II. Título: Física auto-instrutivo.

77-0190 CDD-530.77

Índice para catálogo sistemático:
1. Instrução programada: Física 530.77

SARAIVA S. A. — Livreiros Editores

São Paulo — SP
Av. do Emissário, 1897
Tels.: (011) 66-2106 e 66-2126
Belo Horizonte — MG
R. Célia de Souza, 571 - Bairro Sagrada Família
Tels.: (031) 461-9962 e 461-9995
Rio de Janeiro — RJ
Av. Marechal Rondon, 2231
Tels.: (021) 201-7149 e 261-4811

GETEF

FÍSICA AUTO-INSTRUTIVO FAI 3

- IMPULSO E QUANTIDADE DE MOVIMENTO LINEAR
- ENERGIA MECÂNICA

TEXTO PROGRAMADO PARA 2º GRAU

edição SARAIVA

1977

GETEF – GRUPO DE ESTUDOS EM TECNOLOGIA DE ENSINO DE FÍSICA

PROJETO FAI

Coordenadores

Fuad Daher Saad – Paulo Yamamura – Kazuo Watanabe

Autores

Fuad Daher Saad
Instituto de Física –USP
Prof. efetivo de Física
do Col. Est. "Anísio Teixeira"

Paulo Yamamura
Instituto de Física – USP
Prof. efetivo de Física
do Col. Est. "Idalina
Macedo da Costa Sodré"

Kazuo Watanabe
Instituto de Física – USP
Faculdade de Tecnologia
de São Paulo

Norberto Cardoso Ferreira
Instituto de Física – USP
Prof. efetivo de Física do
Col. Est. "Assis Chateaubriand"

Denitiro Watanabe
Instituto de Física – USP
Prof. efetivo de Física do Col. Est.
Prof. "Wolny Carvalho Ramos"

Dononzor Sella
Instituto de Física – USP
Colégio "Santa Cruz"

Dr. Iuda Dawid Goldman Lejbman
Instituto de Física – USP

Ms. João André Guillaumon Filho
Instituto de Física – USP

Ms. Yashiro Yamamoto
Instituto de Física – USP

Dr. Sadao Isotani
Livre Docente do
Instituto de Física – USP

Dr. Shozo Motoyama
Instituto de História – USP
Prof. efetivo de Física do
Col. Est. "Antônio Raposo Tavares"

Dra. Maria Amélia Mascarenhas Dantas
Instituto de História – USP

Marcelo Tassara
Faculdade de Comunicações e Artes – USP

Eda Tassara
Instituto de Psicologia – USP

Wilson Carron
Prof. efetivo de Física do Col. Est.
"Profa. Eugênia Vilhena de Moraes"
Ribeirão Preto

Cláudio Chagas
Prof. de Física do Col. Est.
Prof. "Wolny Carvalho Ramos"

Oziel Henrique Silva Leite
Instituto de Ciências Exatas e
Tecnológicas – UEM
(Maringá–PR)

José André Perez Angotti
Instituto de Ciências Exatas e
Tecnológicas – UEM
(Maringá–PR)

AO ESTUDANTE

O trabalho que ora lhe apresentamos tem por objetivo dar a você condição de aprender uma parte substancial da Física Fundamental. São tratados assuntos que vão desde as primeiras leis elementares de movimento, passando pela análise dos conceitos de energia, movimentos complexos, etc., até noções básicas da Física Moderna. Quanto à importância prática da Física Fundamental, é desnecessário ressaltar. Entretanto, para sua compreensão e para seu uso eficaz, exigem-se conhecimentos razoavelmente detalhados.

Tendo em vista tal fato, este volume é constituído de textos programados, cujo conteúdo foi cuidadosamente analisado e apresentado em pequenos passos (itens). Em cada passo é fornecida uma certa informação e, logo em seguida, uma ou mais questões são apresentadas. Você deverá ler atentamente e escrever a resposta à questão formulada em espaço próprio ou desenvolver à parte. Tendo respondido, deverá verificar se sua resposta corresponde a um acerto, comparando-a com aquela correta apresentada logo a seguir.

Suas respostas servem de informação aos passos seguintes. Por isso, e por outros motivos, escrever a resposta é essencial. É essencial, também, que você escreva sua resposta *antes* de olhar a correta. Uma olhadela à resposta correta, ainda que bem intencionada, só poderá dificultar sua tarefa no futuro. Uma boa norma é fazer resumos de assuntos estudados, ressaltando pontos importantes.

As aparentes repetições que você poderá notar no texto foram incluídas porque há razão para tal. Não pule itens. Siga com o trabalho continuamente.

Se começar a notar que suas respostas não estão sendo correspondidas, é possível que você não tenha estudado o texto atentamente. Nesse caso, reestude o texto, antes de passar adiante. Se persistir a dificuldade, talvez você não esteja utilizando o texto adequadamente. Para sanar eventuais falhas peça auxílio a seu professor.

Este trabalho é um *desafio*: *você* é o responsável pelo seu aprendizado. Livre de esquemas tradicionalmente conhecidos, você irá trabalhar para criar dentro de si a satisfação de uma auto-realização, de ter enriquecido seu repertório e de sentir o sabor de um êxito constante cada vez maior.

Os autores

ÍNDICE

VI — IMPULSO E QUANTIDADE DE MOVIMENTO LINEAR

1 — Interações — 3ª Lei de Newton 11

2 — Quantidade de movimento linear 17
- A — Quantidade de movimento linear de um objeto
- B — Quantidade de movimento linear de um sistema de objetos

3 — Impulso e variação da quantidade de movimento linear 25
- A — Variação da quantidade de movimento linear de um objeto
- B — Impulso de uma força
- C — Impulso de força não-constante

4 — Lei da Conservação da Quantidade de Movimento Linear 43
- A — Sistema isolado
- B — Conservação da quantidade de movimento linear

5 — Conservação da quantidade de movimento linear em interações 50
- A — Interações em uma dimensão
- B — Interações em duas dimensões

6 — Newton e as três leis de movimento — histórico 64

VII — ENERGIA MECÂNICA

1 — Conceito de energia 66
- A — Introdução ao conceito de energia
- B — Energia de movimento ou energia cinética de um objeto
- C — Energia de posição ou energia potencial gravitacional de um objeto
- D — Energia de posição de corpos elásticos ou energia potencial elástica

2 — Medida da variação de energia de um objeto — Trabalho 74
- A — Trabalho de uma força constante: $W = F \times d$
  Unidade dimensional de trabalho: joule
- B — Resolução de problemas que envolvem o uso do "instrumento" trabalho

3 — Trabalho (de força constante) e energia 84
- A — Trabalho e energia cinética
- B — Trabalho e energia potencial gravitacional

4 — Trabalho (de força variável) e energia 98
- A — Trabalho de força variável
- B — Trabalho e energia potencial elástica

5 — Energia mecânica de um objeto 110
- A — Energia mecânica de um objeto
- B — Transformação e conservação de energia
- Apêndice 1 — Sistemas isolados
- Apêndice 2 — A Lei da Conservação de Energia em sistemas isolados

6 — Energia interna de um corpo 128

7 — Colisões 131

8 — Potência 143

9 — Problemas 145

10 — Evolução do conceito de energia — histórico 149

CAPÍTULO VI

Impulso e Quantidade de Movimento Linear

OBJETIVOS: **Ao final deste capítulo, o estudante deve estar apto para:**

a. **conceituar interações.**
b. **descrever a 3ª Lei de Newton.**
c. **identificar as forças de ação e reação numa interação.**
d. **calcular a quantidade de movimento linear de um objeto ou sistema de objetos.**
e. **calcular impulso de uma força constante e de uma força variável.**
f. **medir a variação da quantidade de movimento linear de um objeto ou sistema de objetos.**
g. **enunciar a Lei da Conservação da Quantidade de Movimento Linear.**
h. **resolver problemas.**

Toda vez que um objeto perturba o movimento de outro ou exerce uma força sobre outro, ele também sofrerá perturbações em seu próprio movimento ou também receberá do outro objeto uma força contrária. Dizemos então que a **ação** de um objeto sobre outro é sempre acompanhada de uma **reação** do segundo sobre o primeiro objeto. A ação e a reação são simultâneas e sempre que elas aparecem dizemos que existe uma **interação** entre os objetos de um sistema. Na verdade, o movimento não precisa necessariamente ser perturbado para que exista a interação: basta que exista **tendência.**

Neste capítulo, estudaremos a 3ª Lei de Newton, que governa tais interações, e serão introduzidas duas novas grandezas vetoriais: **quantidade de movimento linear** e **impulso de uma força.** Veremos que a quantidade de movimento linear é de grande importância na Física pelo fato de ela se conservar durante a interação e de suas variações poderem ser determinadas calculando-se o impulso da força externa.

SEÇÃO 1 — INTERAÇÕES — 3ª LEI DE NEWTON

1 ■ Todos nós sabemos muito bem o que é cerrar o punho e socar uma parede de concreto. A ação de nosso punho poderá não causar nenhum dano à parede, mas a _____ da parede prejudicará sensivelmente nosso punho. A ação entre a parede e o punho corresponde a uma _____.

★★★★★★★★★★★★

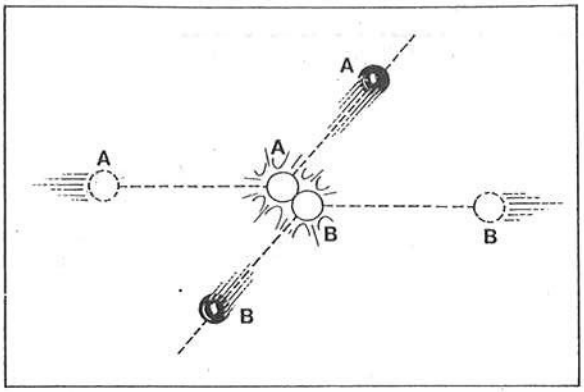
reação; interação

2 ■ Se chutarmos uma bola com o pé haverá uma _____ entre o pé e a bola. Nosso pé exercerá uma ação, isto é, uma força sobre a bola e esta (poderá exercer; sempre exercerá) uma reação, ou seja, uma força sobre o pé. Numa interação, (sempre; nem sempre) surge o par de forças denominadas: _____ e _____.

★★★★★★★★★★★★

interação; sempre exercerá; sempre; ação; reação.

3 ■ Imagine duas bolas de bilhar: A e B. Elas se movimentam sobre uma mesa em sentidos opostos. Elas se tocam lateralmente e ambas são desviadas de suas trajetórias retilíneas originais.



No evento acima descrito, dizemos que existe uma _____ entre as bolas A e B. Nesta interação, a bola A exerce uma _____ sobre a bola B, e esta exerce uma _____ sobre a primeira.

Na interação, o estado de movimento de cada bola (foi; não foi) modificado.

★★★★★★★★★★★

interação; ação; reação; foi

4 ■ A bola A exerce uma ação sobre a bola B. Em virtude desta ação, a bola B (modifica ; não modifica) seu estado de movimento. Como a bola A também modifica seu estado de movimento, isto significa que B também exerce uma ação sobre A. Nesta interação, A exerce uma força sobre B e esta exerce uma força sobre A. A força que A exerce sobre B é denominada _____ , e a força que B exerce sobre A é denominada _____ . Podemos inverter as denominações, ou seja, a força de B sobre A é denominada ação e a de A sobre B, _____.

★★★★★★★★★★★

modifica; ação; reação; reação

5 ■ Nos exemplos acima, você constatou uma interação entre a parede e o _____, entre a bola e o _____, entre a _____ A e a _____.

★★★★★★★★★★★

punho ; pé; bola; bola B

6 ■ Uma pedra cai em queda livre. No exemplo, existe uma interação entre a pedra e a _____, que a atrai. Esta interação é denominada **interação gravitacional.** A pedra é atraída pela Terra (força gravitacional sobre a pedra) e a pedra também _____.

★★★★★★★★★★★

Terra; atrai a Terra, para cima

7 ■ A ação entre dois elétrons é uma **interação elétrica.** A ação entre dois prótons ou entre um elétron e um próton são exemplos de _____.

★★★★★★★★★★★

interações elétricas

8 ■ Dos exemplos descritos acima e de muitos outros que você poderá citar, podemos concluir que numa interação (sempre; nem sempre) existe a presença de no mínimo dois corpos. As forças que aparecem nas interações são denominadas _____ e _____.

★★★★★★★★★★★

sempre; ação; reação

9 ■ Sempre que um objeto provoca ou tende a provocar uma mudança no estado de movimento de um segundo objeto, dizemos que existe uma _____ entre eles.

★★★★★★★★★★★

interação

10 ■ A 3ª Lei de Newton, também denominada Lei da Ação e Reação, nos informa como, numa interação qualquer, as forças estão relacionadas. Podemos enunciá-la da seguinte forma: "A qualquer ação corresponde uma _____ _____ (em sentido oposto; de mesmo sentido) e de (igual; diferente) intensidade."

★★★★★★★★★★★

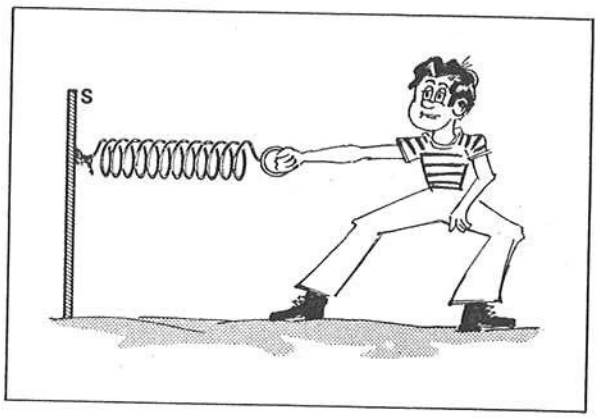
reação; em sentido oposto; igual

11 ■ "A ação mútua, isto é, a _____ entre dois objetos são sempre iguais em módulo e diretamente opostas." Este enunciado (corresponde; não corresponde) à _____.

★★★★★★★★★★★

interação; corresponde; 3ª Lei de Newton

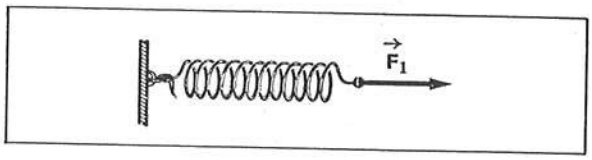
12 ■ Na figura ao lado, um garoto puxa uma mola e segura-a distendida. Este exemplo ilustra uma _____ _____. O garoto exerce uma ação sobre a mola, isto é, ele exerce uma _____. A mola reage a esta ação, isto é, ela também exerce uma força _____ a mão do garoto. Se o garoto exerce uma força de 100 N sobre a mola, esta por sua vez _____ _____.



★★★★★★★★★★★

interação; força sobre a mola; sobre; exercerá uma força de 100 N sobre a mão do garoto

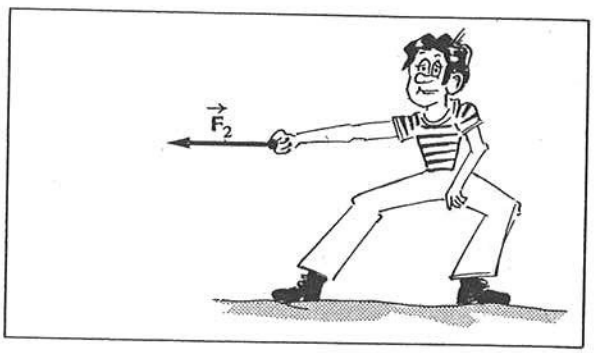
13 ■ A figura ao lado representa a mola isoladamente. A força $\vec{F}_1$ corresponde à ação do _____ _____.



★★★★★★★★★★★

garoto sobre a mola

14 ■ A figura ao lado representa o garoto isoladamente. A força $\vec{F}_2$ (está; não está) atuando na mão do garoto. Ela representa a reação da mola à força _____. Pela 3ª Lei de Newton, $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ (possuem; não possuem) a mesma intensidade.



★★★★★★★★★★★

está; $\vec{F}_1$; possuem

15 ■ $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ representam o par de forças que aparecem numa interação e são denominadas _____ e _____. Observamos que estas forças (atuam; não atuam) em corpos diferentes e são diretamente _____. ($|\vec{F}_1| = |\vec{F}_2|$ ou $|\vec{F}_1| \neq |\vec{F}_2|$).

★★★★★★★★★★★

ação; reação; atuam; opostas; $|\vec{F}_1| = |\vec{F}_2|$

16 ■ Observe a figura do item 12. A extremidade da mola oposta àquela segurada pelo garoto está presa a uma estaca, que é simbolizada pela letra _____. A mola (exerce; não exerce) uma força sobre a estaca. Como a situação é de equilíbrio, a força da mola sobre a estaca S (é; não é) igual a $\vec{F}_1$.

★★★★★★★★★★★

S; exerce; é

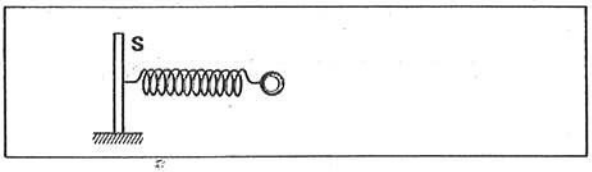
17 ■ Pela lei da ação e reação, a estaca S (exerce; não exerce) uma força de mesma intensidade, porém de _____ _____ sobre a mola. Como a força exercida pela mola, neste exemplo, é _____, a estaca exercerá sobre a mola uma força $\vec{F}_3$ tal que: $|\vec{F}_3| = |$ ____ $|$

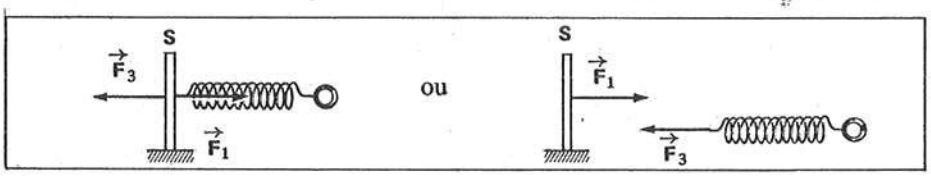
★★★★★★★★★★★

exerce; sentido oposto; $\vec{F}_1$; $\vec{F}_1$

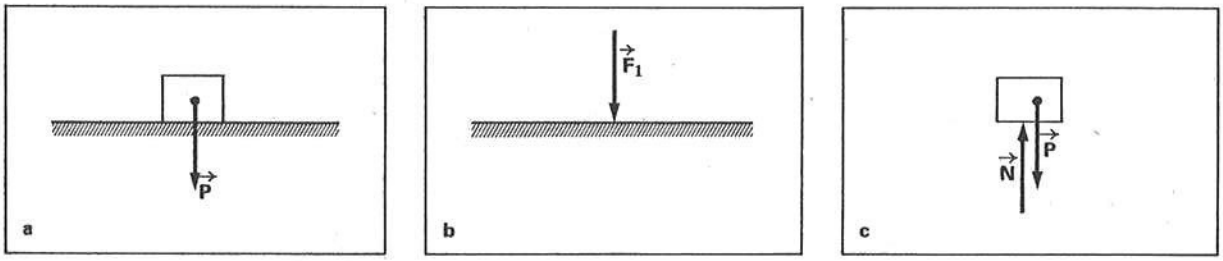
18 ■ Desenhe no quadro ao lado os vetores que representam a ação da mola sobre a estaca e vice-versa.

★★★★★★★★★★★





19 ■



A figura a acima representa um objeto sobre uma mesa. $\vec{P}$ representa a força _____ sobre o objeto, ou seja, o _____ do objeto. A mesa (é; não é) empurrada para baixo pelo objeto. Na figura b, $\vec{F}_1$ representa a força que o objeto exerce _____. Sua intensidade é _____ que a intensidade do peso. Logo, $|\vec{F}_1| =$ _____.

A reação à força que o objeto exerce sobre a mesa está representada na figura c pelo vetor _____. $\vec{N}$ é portanto a força exercida _____ sobre o objeto. A intensidade de $\vec{N}$ é _____. Como $|\vec{F}_1| = |\vec{P}|$, $|\vec{N}| =$ _____.

★★★★★★★★★★★

gravitacional; peso; é; sobre a mesa; a mesma; $|\vec{P}|$; $\vec{N}$; pela mesa; igual à de $\vec{F}_1$; $|\vec{P}|$

20 ■ Nas figuras apresentadas no item 19, as forças que correspondem ao par **ação-reação** são _____ e _____. $\vec{N}$ e $\vec{P}$ (correspondem; não correspondem) ao par ação-reação porque _____. As forças de ação e reação estão sempre aplicadas em corpos diferentes.

★★★★★★★★★★★

$\vec{F}_1$; $\vec{N}$; não correspondem; estão aplicadas num mesmo objeto

21 ■ A fig. c do item 19 mostra porque o objeto está em equilíbrio. Observe que $\vec{P}$ e $\vec{N}$ estão aplicadas no _____ ; como elas possuem a mesma _____ , porém _____ , a força resultante na direção vertical é _____ . Eis porque o objeto está _____ .

★★★★★★★★★★★

objeto; intensidade; sentidos opostos; nula; em equilíbrio

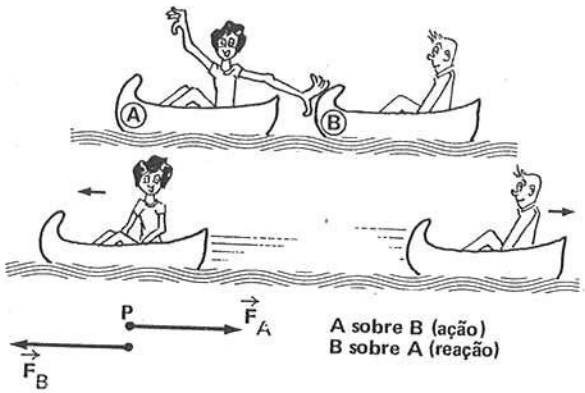
22 ■ Resumindo: para que duas forças constituam um par **ação-reação**, elas devem:

a) aparecer (numa mesma; em diferentes) interação (ões);
b) atuar numa mesma _____ , porém _____ ;
c) possuir módulos _____ ;
d) atuar em _____ .

★★★★★★★★★★★

numa mesma; direção; em sentidos opostos; iguais; corpos ou objetos diferentes

23 ■ Imagine duas canoas A e B paradas num lago, cada uma delas com uma pessoa dentro. Se uma das pessoas empurrar a outra canoa numa determinada direção, a canoa empurrada movimentar-se-á num sentido e a outra (permanecerá em repouso; movimentar-se-á no sentido oposto) com referência ao lago.



★★★★★★★★★★★

movimentar-se-á no sentido oposto

24 ■ Nessa interação (item 23), a pessoa que empurra exercerá uma força sobre a outra canoa e esta por sua vez _____ . Uma canoa recebe a _____ e a outra a _____ .

★★★★★★★★★★★

exercerá uma força sobre a primeira canoa; ação; reação

25 ■ Analise o seguinte exemplo: você está dentro de uma canoa que flutua em um lago. Em suas mãos há um pacote. Você arremessa o pacote para as margens do lago. O ato de arremessar o pacote constitui uma interação entre _____ e _____ .

★★★★★★★★★★★

você; o pacote

26 ■ Nessa interação, ao arremessar o pacote, você exercerá uma força sobre o mesmo. Podemos chamá-la de ação. A ação é exercida sobre o _____ e a reação, _____ . No caso, a reação é a força _____ .

★★★★★★★★★★★

pacote; sobre sua pessoa; exercida pelo pacote sobre sua pessoa

27 ■ Após a interação, o pacote movimentar-se-á para as margens e a canoa _____ . Se a ação e a reação estivessem aplicadas num mesmo objeto, por exemplo, o pacote, ele _____ , pois _____ .

★★★★★★★★★★★

na mesma direção, porém afastando-se das margens; permaneceria em repouso; a força resultante sobre ele seria nula

28 ■ Os mesmos princípios são aplicados, por exemplo, num foguete. Durante a "explosão" dos gases dentro da turbina, os gases em expansão colidem e (exercem; não exercem) forças sobre as paredes do foguete, o que faz com que o foguete (entre; não entre) em movimento. Pela Lei da Ação e Reação, sobre os gases atuam forças de mesma _____ e sentido _____, o que faz com que os gases sejam expelidos para fora da turbina.

★★★★★★★★★★★

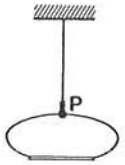
exercem; entre; intensidade; oposto

29 ■ As forças denominadas ação e reação aparecem numa _____ e possuem o mesmo _____, porém sentidos _____. Elas sempre estão aplicadas em _____.

★★★★★★★★★★★

interação; módulo; opostos; corpos diferentes

EXERCÍCIOS DE REVISÃO



1 ■ Um lustre encontra-se preso ao teto por meio de um fio, conforme mostra a figura ao lado. Desenhe as forças atuantes sobre o lustre e sobre o fio. Identifique depois quais as forças que constituem o par ação-reação. Represente-as atuando no ponto P.

2 ■ Quando uma arma de fogo é acionada, ela sofre um recuo. Tal evento pode ser confirmado por alguém que realizou tal experiência. Explique por que a arma de fogo recua nesta interação.

3 ■ Descreva em termos de ação e reação o seguinte evento: um carro colidindo-se com uma árvore.

4 ■ A Terceira Lei de Newton diz que a reação possui o mesmo módulo da força denominada ação. Em quais aspectos estas duas forças se diferenciam?

5 ■ Descreva a força de reação para cada uma das seguintes forças de ação e indique o objeto sobre o qual ela atua:
a) a força gravitacional da Terra sobre a Lua;
b) a força de atração de um elétron sobre um próton;
c) a força exercida pelo pólo norte magnético de um ímã sobre o pólo sul de outro ímã;
d) a força que as moléculas de ar exercem sobre a câmara de um pneu inflado.

6 ■ O peso de um corpo é a força gravitacional da Terra sobre um corpo. Qual é a reação ao peso do corpo?

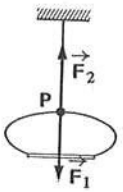
7 ■ Você aplica uma força de 230 N sobre um caixote. Qual é a força exercida pelo caixote sobre você?

8 ■ Um escritor, ao escrever um romance, num certo capítulo, descreveu a seguinte passagem com um de seus personagens: " . . . ele foi lançado na areia movediça e, para se safar da morte por afogamento, começou a puxar para cima, com suas mãos, os seus cabelos. E desta forma ele conseguiu sair-se do atoleiro, salvando-se".
Comente o trecho acima descrito sob a luz da Lei da Ação e Reação que você acabou de aprender.

9 ■ Dois astronautas flutuam no espaço. Um deles, Manoel, de massa 50 kg, empurra Fritz, que possui massa de 80 kg, com uma força de 50 N. Se a força aplicada por Manoel atuar sobre Fritz em um intervalo de tempo de 1,0 s, determine:
a) a força de reação de Fritz sobre Manoel.
b) a aceleração resultante em cada astronauta.
c) a velocidade com que Fritz é lançado após a interação.
d) a velocidade com que Manoel recua após a interação.

RESPOSTAS

1. No ponto P:
   ação = $\vec{F}_1$ (peso) (peso do lustre sobre o fio)
   reação = $\vec{F}_2$ (reação do fio sobre o lustre)
   ($\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$) = par ação-reação; $|\vec{F}_1| = |\vec{F}_2|$



2. No instante em que a arma é acionada, o projétil é lançado devido à explosão da pólvora e aplica sobre a arma uma ação. Surge, então, em sentido oposto ao movimento da bala, uma reação, ocasionando o recuo da arma.

3. No instante da colisão, o carro aplica sobre a árvore uma ação. A árvore aplica, então, sobre o carro, uma reação.

4. A ação e a reação têm sentidos opostos; elas aparecem em uma interação, simultaneamente, e cada uma é aplicada sobre corpos diferentes.

5. a) a força gravitacional da Lua **sobre a Terra**;
   b) a força de atração do próton **sobre o elétron**;
   c) a força exercida pelo pólo sul **sobre o pólo norte do primeiro ímã**;
   d) a força da câmara **sobre as moléculas de ar.**

6. A reação é a força de atração do corpo **sobre a Terra** e está aplicada no centro da Terra.

7. A força do caixote sobre sua pessoa possui intensidade de 230 N e possui sentido oposto à força que você aplica.

8. O escritor, evidentemente, ignorava as leis de Newton. Você sabe que se o personagem aplica uma ação com sua mão sobre seus cabelos, estes reagem sobre a mão com uma força de igual intensidade e sentido oposto. Entretanto, o par ação-reação supra está aplicado sobre partes do mesmo corpo. Conseqüentemente, o estado de movimento do corpo não é alterado, e o personagem continuará imergindo na areia sob a ação da força de gravidade. Para que um corpo altere seu estado de movimento, como você sabe, é necessário que a ação e a reação estejam aplicadas em objetos distintos.

9. a) 50 N de intensidade, aplicada sobre Manoel e em sentido oposto;
   b) aceleração de Fritz: $a_F = \frac{5}{8}$ m/s²; aceleração de Manoel: $a_M = 1{,}0$ m/s²
   c) $v_F = \frac{5}{8}$ m/s
   d) $v_M = 1{,}0$ m/s

SEÇÃO 2 – QUANTIDADE DE MOVIMENTO LINEAR

Definiremos nesta seção uma grandeza vetorial muito relacionada com a velocidade de um objeto. Em muitos eventos ou acontecimentos físicos, tal grandeza torna-se muito mais importante que a velocidade simplesmente. Por exemplo: numa colisão de um carro de passeio com um caminhão tanque carregado, mesmo que ambos possuam velocidades de mesmo módulo, é evidente que o carro sofrerá muito mais avarias que o caminhão. Numa colisão, não somente a velocidade, mas a velocidade e a massa, conjuntamente, é que são fatores importantes.

A – QUANTIDADE DE MOVIMENTO LINEAR DE UM OBJETO

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$$

$$|\vec{p}| = m \cdot |\vec{v}|$$

1 ■ Suponha que duas bolas de massas iguais possuam velocidades de módulos iguais a 10 m/s e 20 m/s respectivamente. É mais **difícil** alterar o estado de movimento da bola com velocidade de módulo _____. Sob outro ponto de vista, é mais **fácil** alterar o estado de movimento da bola que possui velocidade de módulo (maior; menor).

★★★★★★★★★★★

20 m/s; menor

2 ■ Se as bolas acima citadas possuírem velocidades de mesmo módulo, a facilidade ou a dificuldade de alterar seus estados de movimento (seria a mesma; seria diferente).

★★★★★★★★★★★

seria a mesma

3 ■ Aparentemente é mais **fácil** alterar o estado de movimento de objetos que possuem velocidade de módulo (maior; menor) e mais **difícil** dos que possuem velocidade de módulo _____.

★★★★★★★★★★★

menor; maior

4 ■ Suponha agora que duas bolas de massas diferentes possuam velocidades de mesmo módulo. É mais difícil alterar o estado de movimento da bola que possui _____.

★★★★★★★★★★★

maior massa

5 ■ Por outro lado, é mais fácil alterar _____.

★★★★★★★★★★★

o estado de movimento da bola que possui menor massa

6 ■ Aparentemente, a massa de um objeto está relacionada com a facilidade ou dificuldade de alterar seu estado de movimento. Quanto maior for a massa do objeto, (maior; menor) será a dificuldade de _____ _____.

★★★★★★★★★★★

maior; alterar seu estado de movimento

7 ■ Considere duas massas. Uma de 10 kg e outra de 1 kg, que se movem com velocidades cujos módulos são 2 m/s e 8 m/s, respectivamente. Qual das duas oferece maior **facilidade** em modificar o estado de movimento? Possivelmente você não saberá dar uma resposta de imediato. Já analisamos que tanto a massa como a velocidade estão relacionadas com a **facilidade** ou **dificuldade** oferecida pelo objeto em modificar seu estado de movimento. Definiremos então uma grandeza que está intimamente ligada a esta facilidade ou dificuldade: tal grandeza denominar-se-á **quantidade de movimento linear** do objeto. O termo **linear** aparece porque trataremos apenas de movimento de translação, isto é, movimento ao longo de uma trajetória. Movimentos como o de rotação em torno de um eixo não serão considerados no momento. Portanto, quanto maior for a quantidade de movimento linear de um objeto (maior; menor) será a **facilidade** de alterar seu _____.

★★★★★★★★★★★

menor; estado de movimento

8 ■ Quanto menor a quantidade de movimento linear de um objeto, (maior; menor) será a **dificuldade** de alterar seu _____ e _____ será a **facilidade** de modificar seu estado de movimento.

★★★★★★★★★★★

menor; estado de movimento; maior

9 ■ A quantidade de movimento linear de um objeto de massa m e velocidade $\vec{v}$ é dada como sendo o produto da massa pela velocidade. Representaremos esta grandeza pela letra $\vec{p}$. Portanto: $\vec{p}$ = _____.

★★★★★★★★★★★★

$m \cdot \vec{v}$

10 ■ $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$ A massa é uma grandeza (escalar; vetorial) e a velocidade é uma grandeza _____. O produto de uma grandeza escalar por uma vetorial resulta sempre uma grandeza (escalar; vetorial). Logo, a quantidade de movimento linear é uma _____.

★★★★★★★★★★★★

escalar; vetorial; vetorial; grandeza vetorial

11 ■ A quantidade de movimento linear, sendo uma grandeza _____, possui _____, _____ e _____.

★★★★★★★★★★★★

vetorial; módulo; direção; sentido

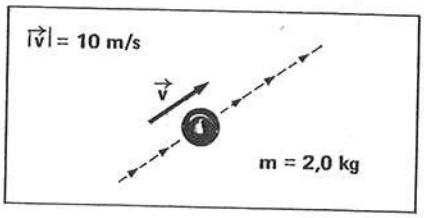
12 ■ $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$ A expressão ao lado representa simbolicamente a _____ de _____ de um objeto de _____ (m) e _____ ($\vec{v}$). O módulo da quantidade de movimento linear é dado pelo produto da _____ do objeto pelo _____ da velocidade. Simbolicamente:

$|___| = _____ \cdot |___|$

★★★★★★★★★★★★

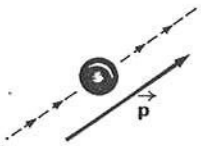
quantidade; movimento linear; massa; velocidade; massa; módulo; $|\vec{p}| = m \cdot |\vec{v}|$

13 ■ A figura ao lado representa uma esfera movimentando-se com velocidade de módulo 10 m/s. Sendo a massa de 2,0 kg, calcule o módulo da quantidade de movimento linear e represente na figura o vetor quantidade de movimento.



★★★★★★★★★★★★

$|\vec{p}| = 2{,}0 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s} = 20 \text{ kg m/s}$



14 ■ Uma bola movimenta-se horizontalmente para o norte com velocidade cujo módulo é 5,0 m/s. Se sua massa é 1,2 kg, o módulo de sua quantidade de movimento linear vale _____; sua direção é _____ e o sentido é _____.

★★★★★★★★★★★★

6,0 kg m/s; horizontal; para o norte

15 ■ Um corpo de massa 1,5 kg possui num determinado instante velocidade de módulo 2,0 m/s e um outro de massa 3,0 kg, velocidade de módulo 1,0 m/s. Qual dos dois possui quantidade de movimento linear de módulo maior? _____.

★★★★★★★★★★★★

Nenhum, pois ambos possuem $|\vec{p}| = 3{,}0$ kg m/s.

16 ■ No Sistema Internacional de Unidades, a unidade padrão de massa é _____ e a unidade de velocidade é _____. Portanto, a unidade de quantidade de movimento, neste sistema, é _____.

★★★★★★★★★★★

kg; m/s; kg m/s

17 ■ Um caminhão de massa 2 000 kg movimenta-se para o norte com velocidade igual a 20 m/s enquanto outro carro de massa 800 kg movimenta-se para o leste com velocidade igual a 50 m/s. A quantidade de movimento do caminhão possui módulo _____ e a do carro, _____.
Entretanto, estas quantidades não são iguais porque _____
_____.

★★★★★★★★★★★

$4 \cdot 10^4$ kg m/s; $4 \cdot 10^4$ kg m/s; a do caminhão está dirigida para o norte e a do carro, para o leste, diferindo portanto quanto à direção e ao sentido.

EXERCÍCIOS DE REVISÃO

1 ■ Defina a quantidade de movimento linear de um objeto de massa m e velocidade $\vec{v}$.

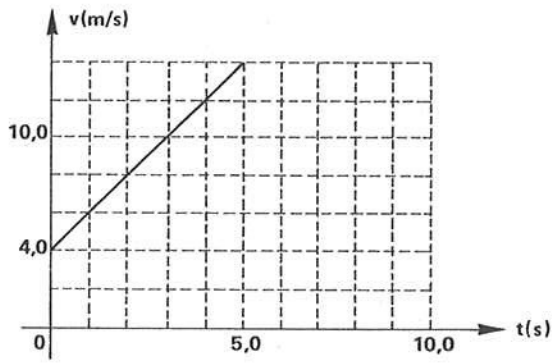
2 ■ Por que a quantidade de movimento linear é uma grandeza vetorial?

3 ■ Calcule o módulo da quantidade de movimento linear de um projétil cuja massa é 0,01 kg e velocidade igual a 400 m/s.

4 ■ Um objeto movimenta-se em linha reta e possui massa igual a 10 kg. Sua velocidade varia de acordo com o gráfico ao lado.

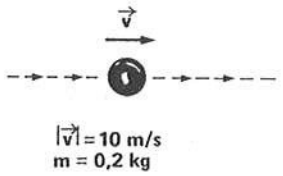
a) Calcule o módulo da quantidade de movimento linear do objeto nos instantes
t = 0 s; t = 3,0 s; t = 4,0 s.

b) A quantidade de movimento do objeto está variando? Por quê?

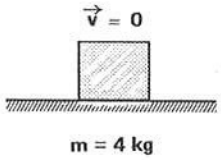


5 ■ Represente vetorialmente a quantidade de movimento linear em cada caso abaixo. Utilize escalas convenientes.

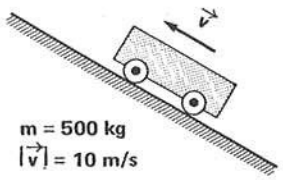
a)



b)



c)



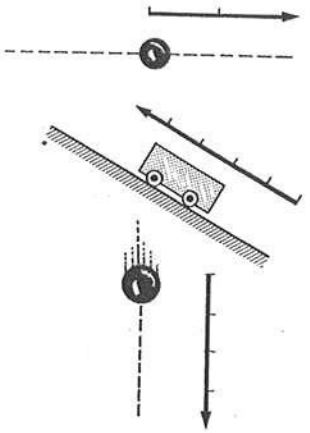
d)

6 ■ Um carro possui massa 500 kg e quantidade de movimento linear de módulo $|\vec{p}| = 1{,}8 \cdot 10^4$ kg m/s, dirigida para leste. Determine o módulo, a direção e o sentido de sua velocidade.

7 ■ O módulo da quantidade de movimento linear de um objeto de velocidade 10 m/s é igual a 800 kg m/s. Determine sua massa.

RESPOSTAS

1. $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$
2. Por ser função da velocidade, que é uma grandeza vetorial.
3. $|\vec{p}| = 4$ kg m/s
4. a) 40 kg m/s; 100 kg m/s; 120 kg m/s
   b) Sim. Porque a velocidade está variando.
5. a) $|\vec{p}| = 2{,}0$ kg m/s
   (esc: 1 cm = 1,0 kg m/s)
   b) $|\vec{p}| = 0$
   c) $|\vec{p}| = 5 \times 10^3$ kg m/s
   (esc: 0,5 cm = 1×10^3 kg m/s)
   d) $|\vec{p}| = 4$ kg m/s
   (esc: 0,5 cm = 1 kg m/s)



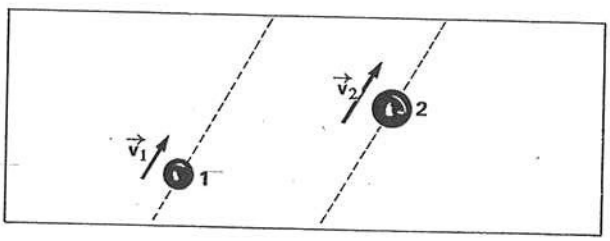
   Obs: Você pode ter usado uma escala diferente.
6. $|\vec{v}| = \dfrac{|\vec{p}|}{m} = 36$ m/s;
   sentido: para leste
7. m = 80 kg

B — QUANTIDADE DE MOVIMENTO LINEAR DE UM SISTEMA DE OBJETOS

Na parte A desta seção, vimos como a quantidade de movimento linear de um objeto está relacionada com sua massa e sua velocidade. Vimos também que ela é uma grandeza vetorial. Nesta parte, trataremos da quantidade de movimento linear total de um sistema ou conjunto de objetos.

A quantidade de movimento linear total — $\vec{p}_T$ — de um sistema de objetos é a soma vetorial da quantidade de movimento linear de cada objeto: $\vec{p}_T = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \ldots + \vec{p}_n$. Portanto, esta parte B desta seção admite como pré-requisito o conhecimento dos procedimentos operacionais da soma de vetores. Se você já não se lembra destas operações é bom recapitular ligeiramente o Capítulo IV desta série.

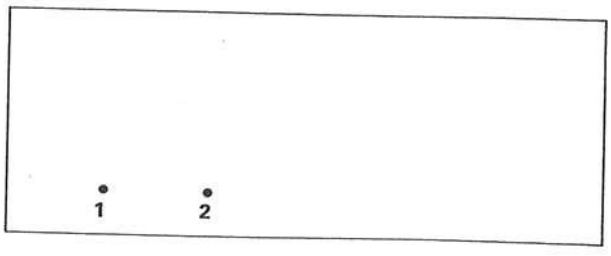
1 ■ No quadro ao lado, temos duas esferas movimentando-se sobre um tablado horizontal e liso. A esfera 1 possui massa m_1 e a esfera 2, massa m_2.
Então:
$\vec{p}_1 =$ _____ e $\vec{p}_2 =$ _____ .



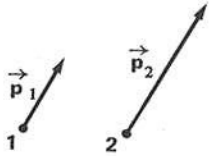
★★★★★★★★★★★★

$m_1 \cdot \vec{v}_1$; $m_2 \cdot \vec{v}_2$

2 ■ Desenhe ao lado os vetores $\vec{p}_1$ e $\vec{p}_2$ a partir dos pontos 1 e 2.



★★★★★★★★★★★★



3 ■ Suponha $m_1 = 0{,}2$ kg e $m_2 = 0{,}1$ kg; $|\vec{v}_1| = 1$ m/s e $|\vec{v}_2| = 4$ m/s. Calcule os módulos de $\vec{p}_1$ e $\vec{p}_2$.

$|\vec{p}_1| =$ _____.

$|\vec{p}_2| =$ _____.

★★★★★★★★★★★

$|\vec{p}_1| = 0{,}2$ kg m/s; $|\vec{p}_2| = 0{,}4$ kg m/s

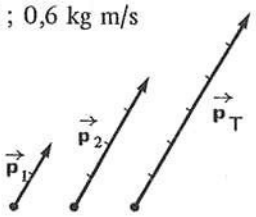
4 ■ m_1 e m_2 constituem o nosso _____ de objetos. Calcule a quantidade de movimento linear do sistema e represente-o vetorialmente, no quadro ao lado.

$\vec{p}_T$ – _____ + _____ (vetorialmente)

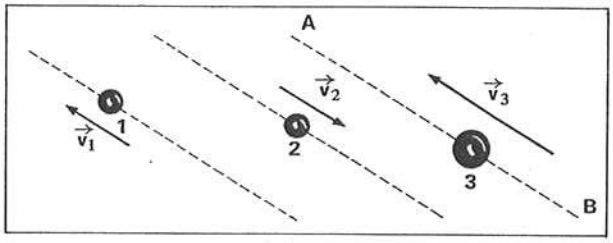
$|\vec{p}_T| =$ _____.

★★★★★★★★★★★

sistema; $\vec{p}_1$; $\vec{p}_2$; 0,6 kg m/s



5 ■ Na figura ao lado, está representado um sistema de três bolas. A bola 3 movimenta-se na direção AB no sentido de B para A. A bola 2 movimenta-se _____ _____ e a bola 1 _____ _____.



★★★★★★★★★★★

na direção AB, sentido de A para B; na mesma direção das anteriores, sentido de B para A.

6 ■ Se $m_1 = 0{,}2$ kg; $m_2 = 0{,}2$ kg; $m_3 = 0{,}4$ kg; $|\vec{v}_1| = 1{,}0$ m/s; $|\vec{v}_2| = 1{,}0$ m/s e $|\vec{v}_3| = 2{,}0$ m/s, então:

$|\vec{p}_1| =$ _____; $|\vec{p}_2| =$ _____ e $|\vec{p}_3| =$ _____.

★★★★★★★★★★★

0,2 kg m/s; 0,2 kg m/s; 0,8 kg m/s

7 ■ Levando em consideração a direção e o sentido dos movimentos, a quantidade de movimento linear total do sistema será:

$\vec{p}_T =$ _____ + _____ + _____ (vetorialmente)

e o módulo de $\vec{p}_T$ será: $|\vec{p}_T| =$ _____ = _____.

★★★★★★★★★★★

$\vec{p}_1$; $\vec{p}_2$; $\vec{p}_3$; $|\vec{p}_1| - |\vec{p}_2| + |\vec{p}_3|$; 0,8 kg m/s

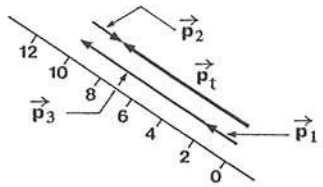
8 ■ $|\vec{p}_2|$ possui sinal negativo porque _____.

★★★★★★★★★★★

seu sentido é oposto ao das outras bolas em movimento

9 ■ Determine vetorialmente a quantidade de movimento linear do sistema. (Faça os gráficos dos vetores.)

★★★★★★★★★★★★

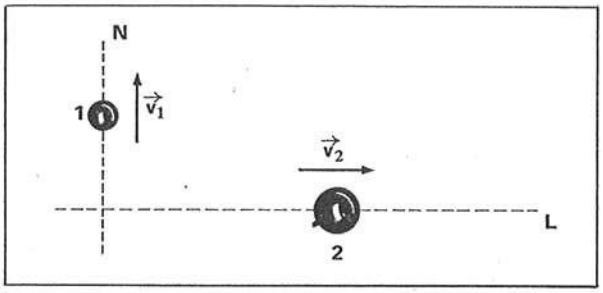


10 ■ Portanto, a quantidade de movimento linear do sistema terá módulo $|\vec{p}_T|$ = _____ e está dirigida para (A; B).

★★★★★★★★★★★★

0,8 kg m/s; A

11 ■ A figura ao lado mostra duas esferas $m_1 = 1{,}0$ kg e $m_2 = 2{,}0$ kg. Uma movimenta-se para o norte e a outra para o _____. Se $|\vec{v}_1| = 2{,}0$ m/s e $|\vec{v}_2| = 2{,}0$ m/s, a quantidade de movimento linear de m_1 terá módulo _____ dirigida para o _____ e m_2, _____ dirigida para o _____.



★★★★★★★★★★★★

leste; 2 kg m/s; norte; 4 kg m/s; leste

12 ■ Para determinarmos a quantidade de movimento linear do sistema constituído pelas duas esferas, devemos realizar uma _____.

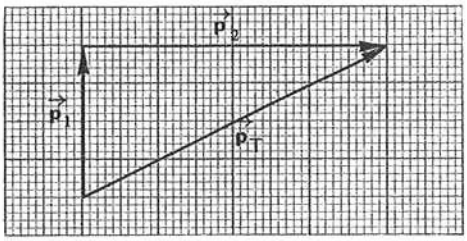
★★★★★★★★★★★★

soma vetorial de $\vec{p}_1$ e $\vec{p}_2$

13 ■ Faça a soma vetorial de $\vec{p}_1$ e $\vec{p}_2$ e determine o módulo de $\vec{p}_T$.

★★★★★★★★★★★★

$|\vec{p}_T| \cong 4{,}5$ kg m/s



EXERCÍCIOS DE REVISÃO

1 ■ Para se determinar a quantidade do movimento linear de um sistema _____ _____.

★★★★★★★★★★★★

devemos fazer a soma vetorial da quantidade de movimento de cada objeto pertencente ao sistema

2 ■ Dois carros movimentam-se em sentidos opostos, porém numa mesma direção. Um possui massa 800 kg e velocidade de módulo 10 m/s e o outro, massa 1 600 kg e velocidade de módulo 5 m/s. Qual é o módulo da quantidade de movimento do sistema constituído pelos carros?

★★★★★★★★★★★

$|\vec{p}_T| = 0$

3 ■ Três objetos de massas iguais movimentam-se na mesma direção e mesmo sentido: suas velocidades em módulos são iguais a 2 m/s, 3 m/s e 4 m/s. Se a massa de cada um é de 10 kg, qual é a quantidade de movimento linear do sistema?

★★★★★★★★★★★

$|\vec{p}_T| = 90$ kg m/s, na mesma direção e mesmo sentido do movimento dos objetos

4 ■ Sabe-se que a quantidade de movimento total de um sistema de 2 objetos é de 50 kg m s^{-1}, dirigida para a esquerda e horizontal. Se um dos objetos possui uma quantidade de movimento linear de módulo 80 kg m s^{-1}, dirigida para a esquerda, qual é a direção, o sentido e o módulo da quantidade de movimento do outro objeto?

★★★★★★★★★★★

30 kg m s^{-1}, horizontal e para a direita

5 ■ Dois objetos de massas iguais e velocidades de módulos iguais e diferentes de zero podem apresentar uma quantidade de movimento linear total igual a zero? Explique. _____

_____.

★★★★★★★★★★★

Pode. Se eles se movimentarem em sentidos opostos.

6 ■ Dois aviões, um com quantidade de movimento linear 3×10^6 kg m/s dirigindo-se para oeste e outro com quantidade de movimento linear de módulo 4×10^6 kg m/s, dirigindo-se para o sul, apresentam uma quantidade de movimento linear total de _____.

★★★★★★★★★★★

$|\vec{p}_T| = 5 \times 10^6$ kg m/s

7 ■ Uma bola de bilhar de massa 0,3 kg e velocidade igual a 2,0 m/s dirige-se no sentido de colidir com uma outra idêntica que está em repouso. Considerando a situação envolvida antes da colisão, determine:

a) o módulo da quantidade de movimento linear de cada bola.

b) o módulo da quantidade de movimento linear do sistema.

c) a direção e o sentido de $\vec{p}_T$.

★★★★★★★★★★★

a) 0 (bola em repouso) e 0,6 kg m/s (bola em movimento)

b) $|\vec{p}_T| = 0,6$ kg m/s

c) direção e sentido: o mesmo da bola em movimento

8 ■ Duas massas, uma de 10,0 kg e outra de 5,0 kg, movimentam-se ao longo de uma mesma linha reta, em sentidos opostos. A massa maior tem velocidade de módulo 2,0 m/s e a outra, 4,0 m/s. Determine:

a) a quantidade de movimento linear de cada massa.

b) a quantidade de movimento linear do sistema.

★★★★★★★★★★★

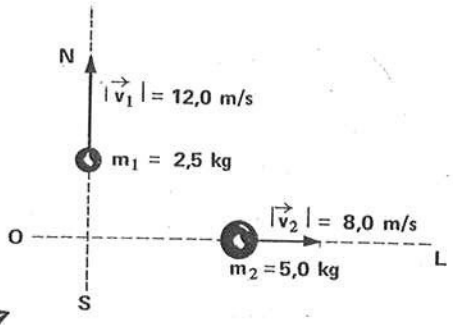
a) massa maior: $|\vec{p}_1| = 20$ kg m/s; massa menor: $|\vec{p}_2| = 20$ kg m/s

b) $|\vec{p}_T| = 20 - 20 = 0$

9 ■ Duas massas iguais a 2,5 kg e 5,0 kg movimentam-se nas direções norte-sul e leste-oeste, conforme mostra a figura ao lado. Determine:

a) a quantidade de movimento linear de cada massa (módulo, direção e sentido).

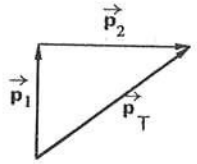
b) a quantidade de movimento linear total do sistema.



★★★★★★★★★★★

a) $m_1 \Rightarrow |\vec{p}_1| = 30{,}0$ kg m/s, para o norte
$m_2 \Rightarrow |\vec{p}_2| = 40{,}0$ kg m/s, para o leste

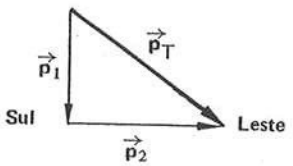
b) $|\vec{p}_T| = 50{,}0$ kg m/s, para o nordeste



10 ■ Um automóvel de massa 1 300 kg movimenta-se para leste com velocidade 20,0 m/s e um outro de massa 1 500 kg movimenta-se para o sul com velocidade 15,0 m/s. Determine a quantidade de movimento linear total do sistema.

★★★★★★★★★★★

$|\vec{p}_T|$ = "comprimento da hipotenusa" $\cong 3{,}4 \times 10^4$ kg m/s



11 ■ Uma massa de 10 kg é abandonada de uma altura de 20,0 metros acima da superfície da Terra. Supondo $g_0 = 10{,}0$ m/s^2 (a aceleração da gravidade), calcule a quantidade de movimento linear do sistema que inclui a Terra e a massa, no instante que a massa colide com a Terra.

★★★★★★★★★★★

Terra: $|\vec{p}_1| = 0$

massa: $|\vec{p}_2| = mv = 10 \times 20{,}0 = 200{,}0$ kg m s^{-1},

onde $v = \sqrt{2gh} = \sqrt{400} = 20{,}0$ m/s

sistema: $|\vec{p}_T| = 200{,}0$ kg m s^{-1}.

SEÇÃO 3 – IMPULSO E VARIAÇÃO DA QUANTIDADE DE MOVIMENTO LINEAR

A – VARIAÇÃO DA QUANTIDADE DE MOVIMENTO LINEAR DE UM OBJETO

$$\Delta \vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1$$

$$\Delta \vec{p} = m \cdot \Delta \vec{v}$$

Na seção anterior, foram definidas a quantidade de movimento linear de um objeto e de um sistema de objetos. Caracterizamos sua natureza vetorial e resolvemos alguns exercícios. Nesta parte, tomaremos conhecimento da **variação da quantidade de movimento linear** e veremos que para alterarmos esta quantidade é necessário a presença de uma força externa sobre o objeto.

1 ■ Você já sabe que, se um objeto conserva seu estado de movimento, ele **não deve**: alterar o módulo de sua _____, alterar a _____ e nem o _____ de seu movimento.

★★★★★★★★★★★

velocidade; direção; sentido

2 ■ Portanto, se um objeto **não altera** seu estado de movimento, ele (altera; não altera) sua quantidade de movimento linear.

★★★★★★★★★★★

não altera

3 ■ Um carro faz uma curva com o velocímetro acusando sempre um mesmo valor da velocidade. Sua quantidade de movimento linear _____ variando porque _____ _____.

★★★★★★★★★★★

está; apesar da velocidade manter sempre um mesmo valor, a direção do movimento está sendo alterada (curva)

4 ■ Um objeto que se movimenta em linha reta com aceleração constante (altera; não altera) sua quantidade de movimento porque _____.

★★★★★★★★★★★

altera; ele está com aceleração e portanto sua velocidade varia

5 ■ Um objeto em movimento retilíneo com velocidade constante (altera; não altera) sua quantidade de movimento linear porque _____.

★★★★★★★★★★★

não altera; a velocidade não varia em intensidade, direção e sentido

6 ■ Se nenhuma força atuar sobre um objeto, ele conserva seu estado de movimento, isto é, ele conserva sua _____. Por outro lado, se uma força atuar sobre o objeto e este possuir livre movimento, sua quantidade de movimento linear (sofre; não apresenta) variação.

★★★★★★★★★★★

quantidade de movimento linear; sofre

7 ■ Para que um objeto apresente variação em sua quantidade de movimento linear, é necessário que uma força externa atue sobre ele. Uma pedra que cai em queda livre (altera; não altera) sua quantidade de movimento linear porque _____.

★★★★★★★★★★★

altera; sob a ação da força gravitacional, sua velocidade aumenta

8 ■ Um objeto de massa m = 2,0 kg que se movimenta em linha reta possui num determinado instante uma velocidade $\vec{v}_1$, e num instante posterior sua velocidade é $\vec{v}_2$. Veja a figura abaixo:

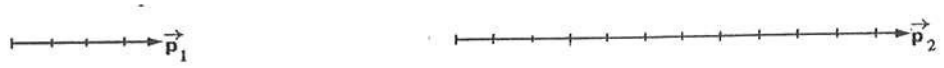
A quantidade de movimento linear inicial é $\vec{p}_1$ = _____ e seu módulo é $|\vec{p}_1|$ = _____ kg m/s. A quantidade de movimento linear final será $\vec{p}_2$ = _____ e seu módulo será $|\vec{p}_2|$ = _____ kg m/s.

★★★★★★★★★★★

$m \cdot \vec{v}_1$; 4,0; $m \cdot \vec{v}_2$; 12

9 ■ Construa, no diagrama abaixo, os vetores $\vec{p}_1$ e $\vec{p}_2$ acima determinados, utilizando a escala: 0,5 cm = 1 kg m/s.

★★★★★★★★★★★



10 ■ A quantidade de movimento (é; não é) vetorial. Sua variação é $\Delta\vec{p}$ = _____ - _____ . Tal diferença é (algébrica; vetorial). Portanto, para calcular o módulo ou o valor da variação da quantidade de movimento linear, devemos, antes, realizar uma diferença (algébrica; vetorial).

★★★★★★★★★★★

é; $\vec{p}_2$; $\vec{p}_1$; vetorial; vetorial

11 ■ $\Delta\vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1$

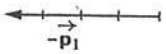
A expressão acima corresponde a **somar** o vetor $\vec{p}_2$ com o oposto do vetor $\vec{p}_1$. O oposto ou simetrico de $\vec{p}_1$ é o vetor _____ , que possui o mesmo módulo, porém sentido oposto de $\vec{p}_1$. Logo, $\Delta\vec{p}$ = _____ + (_____)

★★★★★★★★★★★

$-\vec{p}_1$; $\vec{p}_2$; $-\vec{p}_1$

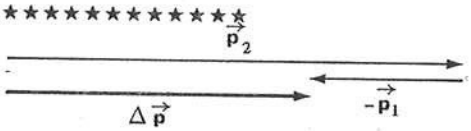
12 ■ Construa ao lado o simétrico do vetor $\vec{p}_1$ representado no item 9.

★★★★★★★★★★★



13 ■ Construa agora a diferença $\Delta\vec{p}$ referente aos vetores do item 9.

★★★★★★★★★★★



14 ■ Portanto, o módulo de $\Delta\vec{p}$ será $|\Delta\vec{p}|$ = _____ .

★★★★★★★★★★★

8,0 kg m/s

15 ■ No caso analisado, o resultado teria sido o mesmo se tivéssemos realizado a diferença algébrica dos módulos de $\vec{p}_1$ e $\vec{p}_2$, isto é, $|\Delta\vec{p}| = |\vec{p}_2| - |\vec{p}_1|$, isto porque $\vec{p}_2$ e $\vec{p}_1$ possuem a mesma **direção** e o mesmo _____ . Como $|\vec{p}_2|$ = _____ e $|\vec{p}_1|$ = _____, $|\Delta\vec{p}|$ = _____ .

★★★★★★★★★★★

sentido; 12 kg m/s; 4,0 kg m/s; 8,0 kg m/s

16 ■ Sempre que $\vec{p}_2$ e $\vec{p}_1$ possuírem a mesma _____ e o mesmo _____, para se determinar o módulo da variação da quantidade de movimento linear, $|\Delta\vec{p}|$, podemos realizar a _____ _____ .

★★★★★★★★★★★

direção; sentido; diferença algébrica dos módulos das quantidades de movimento linear inicial e final

17 ■ Uma massa de 1,0 kg movimenta-se em linha reta horizontalmente para a direita. Num dado momento, sua velocidade vale 10,0 m/s e depois de decorridos 10,0 s, sua velocidade vale 20,0 m/s, horizontal e para a direita. Neste intervalo de tempo, a variação da quantidade de movimento linear da massa é de _____ _____ . (Faça a solução algébrica.)

★★★★★★★★★★★

$|\Delta\vec{p}| = |\vec{p}_2| - |\vec{p}_1| = 20 - 10 = 10$ kg m/s, horizontal e para a direita

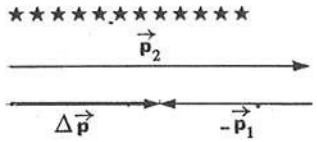
18 ■ No item 17 a solução algébrica foi possível porque _____ .

★★★★★★★★★★★

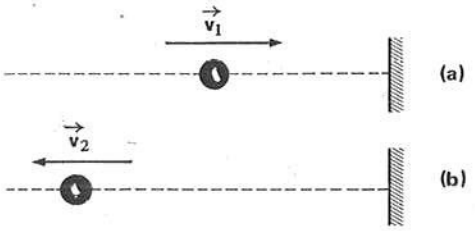
$\vec{p}_2$ e $\vec{p}_1$ possuem a mesma direção

19 ■ Resolva vetorialmente o item 17.

★★★★★★★★★★★



20 ■ Vejamos um outro exemplo de variação da quantidade de movimento linear de um objeto. A figura ao lado ilustra o movimento de uma bola de bilhar. Ela atinge a tabela e volta na mesma direção. Na figura **a**, a quantidade de movimento da bola é (para a direita; para a esquerda) e na figura **b**, ela é para a _____. Nesta colisão, a bola (mudou; não mudou) o sentido do movimento, mas manteve a _____.



★★★★★★★★★★★

para a direita; esquerda; mudou; mesma direção

21 ■ Logo, a quantidade de movimento linear inicial (antes da colisão com a tabela) é $\vec{p}_1$ = _____(em termos de m e $\vec{v}_1$).

Represente $\vec{p}_1$ vetorialmente:

A quantidade de movimento linear final (após a colisão) é $\vec{p}_2$ = _____ (em termos de m e $\vec{v}_2$).

Represente $\vec{p}_2$ vetorialmente:

★★★★★★★★★★★

$m \cdot \vec{v}_1$; $\vec{p}_1$; $m \cdot \vec{v}_2$; $\vec{p}_2$.

22 ■ $\Delta\vec{p}$ = _____ - _____.

O oposto de $\vec{p}_1$ é um vetor de mesmo módulo (_____), porém de sentido _____.

Represente o vetor $-\vec{p}_1$:

★★★★★★★★★★★

$\vec{p}_2$; $\vec{p}_1$; comprimento; oposto a $\vec{p}_1$; $-\vec{p}_1$

23 ■ $\Delta\vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1$. Logo, o vetor $\Delta\vec{p}$ é a soma de $\vec{p}_2$ com _____.

Faça vetorialmente a diferença $\vec{p}_2 - \vec{p}_1$:

★★★★★★★★★★★

$-\vec{p}_1$; $-\vec{p}_1$ $\vec{p}_2$ $\Delta\vec{p}$

24 ■ Se o módulo de $\vec{p}_1$ for igual a 10,0 kg m/s e o de $\vec{p}_2$ for igual a 10,0 kg m/s, o módulo de $\Delta\vec{p}$ será: $|\Delta\vec{p}|$ = _____ e sentido _____.

★★★★★★★★★★★

20 kg m/s; para a esquerda

25 ■ Podemos calcular o módulo da variação da quantidade de movimento linear da bola, neste caso, por meios algébricos. Entretanto, como $\vec{p}_1$ é de sentido contrário a $\vec{p}_2$, devemos colocar um sinal _____ no módulo de $\vec{p}_1$. Logo, p_1 = _____ kg m/s. E Δp = _____ - (_____) = _____.

★★★★★★★★★★★

negativo; - 10; 10; - 10; 20 kg m/s

26 ■ Quando $\vec{p}_2$ e $\vec{p}_1$ possuírem sentidos opostos, como no caso acima, (podemos; não podemos) calcular algebricamente o módulo de $\Delta\vec{p}$. Para tanto, devemos colocar um sinal _____ no módulo de _____.

★★★★★★★★★★★

podemos; negativo; $\vec{p}_1$

27 ■ Resolva o seguinte problema, primeiro algebricamente e depois vetorialmente: uma bola bate perpendicularmente numa parede rígida com velocidade de 2,0 m/s e volta com velocidade de 1,8 m/s, na mesma direção, mas em sentido oposto. Se a massa da bola é 0,40 kg, calcule o módulo, a direção e o sentido da variação da quantidade de movimento linear da bola.

solução algébrica:

solução vetorial:

★★★★★★★★★★★

solução algébrica: $|\vec{p}_2| = 0{,}40 \text{ kg} \cdot 1{,}8 \text{ m/s} = 0{,}72 \text{ kg m/s}$

$|\vec{p}_1| = 0{,}40 \text{ kg} \cdot (-2{,}0 \text{ m/s}) = -0{,}80 \text{ kg m/s}$

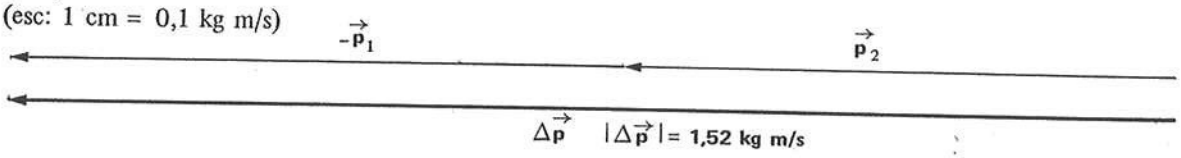
$|\Delta\vec{p}| = 0{,}72 - (-0{,}80) = 1{,}52 \text{ kg m/s}$

no sentido e direção de $\vec{v}_2$ ou $\vec{p}_2$

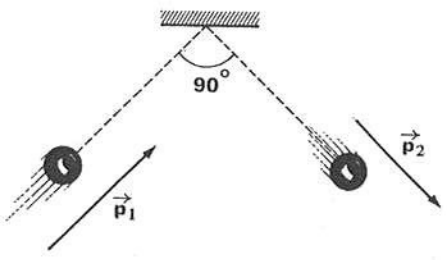
(esc: 1 cm = 0,1 kg m/s)

solução vetorial:

(esc: 1 cm = 0,1 kg m/s)



28 ■ Vejamos um outro exemplo. Uma esfera de aço bate numa parede rígida da maneira esquematizada na figura ao lado. Após a colisão com a parede, a esfera (muda; não muda) de direção. Como a direção inicial não é igual à final, (podemos; não podemos) calcular a variação da quantidade de movimento linear da esfera pelo método algébrico. Neste caso, só a solução vetorial é viável.



★★★★★★★★★★★

muda; não podemos

29 ■ Suponha que $|\vec{p}_1| = 10{,}0$ kg m/s e $|\vec{p}_2| = 8{,}0$ kg m/s. Para se calcular $|\Delta\vec{p}|$, devemos realizar a diferença vetorial $\Delta\vec{p} =$ _____ – _____.

★★★★★★★★★★★

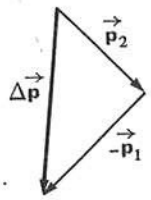
$\vec{p}_2$; $\vec{p}_1$

30 ■ $\Delta\vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1$

Para realizar esta diferença devemos somar a $\vec{p}_2$ o vetor _____.

Construa o diagrama vetorial e determine $|\Delta\vec{p}|$.

★★★★★★★★★★★

$-\vec{p}_1$; 

$|\Delta\vec{p}| \cong 13$ kg m/s

31 ■ $\Delta\vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1$

$\vec{p}_1 =$ _____ (em função da massa e da velocidade)

$\vec{p}_2 =$ _____ (em função da massa e da velocidade)

$\Delta\vec{p} =$ _____ (em função da massa e das velocidades)

★★★★★★★★★★★

$m \cdot \vec{v}_1$; $m \cdot \vec{v}_2$; $m \cdot \vec{v}_2 - m \cdot \vec{v}_1$

32 ■ $\Delta\vec{p} = m \cdot \vec{v}_2 - m \cdot \vec{v}_1$ Desde que a massa de um objeto seja constante, podemos colocar m em evidência. Portanto: $\Delta\vec{p} =$ _____.

★★★★★★★★★★★

$m(\vec{v}_2 - \vec{v}_1)$

33 ■ Mas $\vec{v}_2 - \vec{v}_1 =$ _____, portanto $\Delta\vec{p} =$ _____.

★★★★★★★★★★★

$\Delta\vec{v}$; $m \cdot \Delta\vec{v}$

34 ■ $\Delta\vec{p} =$ _____ (em função de m e $\Delta\vec{v}$). O módulo ou o valor de $\Delta\vec{p}$ também pode ser calculado pelo produto da _____ pelo _____ da _____ ($\Delta\vec{v}$). Simbolicamente:

$|\Delta\vec{p}| =$ _____.

★★★★★★★★★★★

$m \cdot \Delta\vec{v}$; massa; módulo; variação de velocidade; $m \cdot |\Delta\vec{v}|$

35 ■ Um carrinho que se movimenta em linha reta aumenta sua velocidade de 10,0 m/s para 15,0 m/s quando sob a ação de uma força. Se a massa do carrinho é 2,0 kg, determine o módulo da variação da quantidade de movimento linear do carrinho.

$|\Delta\vec{v}| = |\vec{v}_2| - |\vec{v}_1| =$ _____ e $|\Delta\vec{p}| =$ _____.

★★★★★★★★★★★

$15 - 10 = 5{,}0$ m/s; $2{,}0$ kg $\cdot 5{,}0$ m/s $= 10{,}0$ kg m/s

36 ■ Um objeto de massa 4,0 kg movimenta-se em linha reta e possui em dado momento velocidade igual a 10,0 m/s. Sob a ação de uma força contrária a seu movimento, sua velocidade diminui até 5,0 m/s. Determine o valor da variação de sua quantidade de movimento linear:

$|\Delta\vec{v}|$ = _____ $|\Delta\vec{p}|$ = _____

O sinal de $|\Delta\vec{p}|$ é negativo porque _____

_____.

★★★★★★★★★★★

-5,0 m/s; -20 kg m/s; a velocidade do objeto diminuiu, logo sua quantidade de movimento linear também diminuiu

37 ■ Num determinado instante, uma pedra de massa 10,0 kg está subindo com velocidade de módulo 10,0 m/s e depois de certo tempo ela está descendo com velocidade de módulo 5,0 m/s. Calcule:

a) $|\Delta\vec{v}|$;

b) o módulo da variação da quantidade de movimento linear da pedra neste intervalo de tempo.

★★★★★★★★★★★

$|\Delta\vec{v}| = 5,0 + 10,0 = 15,0$ m/s, para baixo. Por que o sinal + ?!

$|\Delta\vec{p}| = 150$ kg m/s, para baixo. Por que para baixo?!

EXERCÍCIOS DE REVISÃO

1 ■ A 1ª Lei de Newton descreve uma situação na qual um objeto tende a conservar seu _____. Um objeto em movimento retilíneo e com velocidade constante (conserva; não conserva) sua quantidade de movimento linear.

★★★★★★★★★★★

estado de movimento; conserva

2 ■ Em quais situações um objeto de massa m apresenta modificações em sua quantidade de movimento linear?

★★★★★★★★★★★

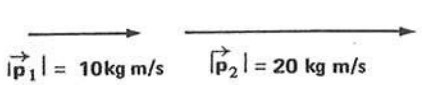
a) quando apresentar variações no módulo de sua velocidade;
b) quando modificar a direção de seu movimento;
c) quando modificar o sentido de seu movimento;
d) quando variar sua massa.

3 ■ A Lua, em seu movimento ao redor da Terra, conserva sua quantidade de movimento linear? Justifique.

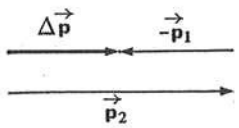
★★★★★★★★★★★

Não conserva, pois sua trajetória é circular.

4 ■ Na ilustração ao lado, está representada a quantidade de movimento linear em dois instantes. Determine $|\Delta\vec{p}|$, vetorial e algebricamente.



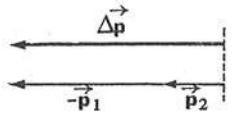
★★★★★★★★★★★



; $|\Delta\vec{p}| = 20 - 10 = 10$ kg m/s

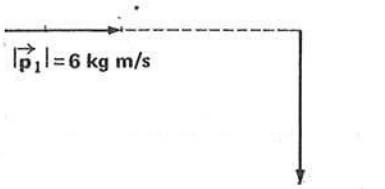
5 ■ Determine $|\Delta\vec{p}|$, vetorial e algebricamente, para um objeto que apresenta, em dois momentos, a quantidade de movimento linear conforme mostram as figuras ao lado.

****

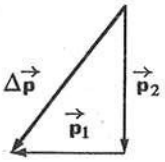


; $\Delta p = -4 - 10 = -14$ kg m/s

6 ■ Determine, vetorialmente, a variação da quantidade de movimento linear de um objeto cuja quantidade de movimento linear, em dois momentos, é ilustrada na figura ao lado.



****



; $\Delta p = 10$ kg m/s

7 ■ Um carro de massa 600 kg movimenta-se horizontalmente para o norte em linha reta. Num determinado instante, sua velocidade vale 10,0 m/s e, 10,0 segundos após, 20,0 m/s. Determine:

a) a quantidade de movimento linear inicial e final.

b) a variação da quantidade de movimento do carro neste intervalo de tempo.

c) a força resultante que acelerou o carro.

****

a) $p_{in} = 6{,}0 \times 10^3$ kg m/s; $p_{fin} = 12{,}0 \times 10^3$ kg m/s

b) $\Delta p = 6{,}0 \times 10^3$ kg m/s

8 ■ Em 10 s a velocidade de um objeto de massa 2,0 kg aumenta de 5,0 m/s, horizontalmente para a direita. Determine a variação da quantidade de movimento linear do objeto.

****

$\Delta p = 10$ kg m/s

9 ■ Um objeto de massa 10 kg apresenta uma variação em sua quantidade de movimento linear de módulo 20 kg m/s. Qual foi o módulo da variação da velocidade do objeto?

****

2 m/s

10 ■ Um carro de massa 1 200 kg é freado quando está a 36 km/h e pára depois de 5,0 s. Qual foi a variação na quantidade de movimento linear do carro desde a freada até parar?

****

$\Delta p = -1{,}2 \times 10^4$ kg m/s

B — IMPULSO DE UMA FORÇA

Nesta parte, iremos determinar de que maneira se dá o relacionamento entre a força aplicada e a variação da quantidade de movimento linear de um objeto.

Já sabemos que tal variação é provocada pela ação de uma força sobre o objeto, isto é, para que haja variação na quantidade de movimento linear do objeto, é necessário que ele seja submetido à ação de uma força, durante certo tempo.

Definiremos então uma outra grandeza vetorial, denominada **impulso**, que está diretamente relacionada com a variação acima mencionada.

(Impulso) = (Força) × (Duração do intervalo de tempo em que ela atua)

$\vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t$

$\vec{I} = \Delta \vec{p}$

$\vec{I} = m \cdot \Delta \vec{v}$

1 ■ Se uma força resultante não-nula atuar sobre um objeto de massa m, pela 2ª Lei de Newton, ele ficará sujeito a uma aceleração, tal que:

$\vec{F}_R =$ _____

★★★★★★★★★★★★

$m \cdot \vec{a}$

2 ■ Nas condições descritas no item 1, o objeto irá apresentar uma variação em sua velocidade de modo que:

$\vec{a} =$ _____ (em função de $\Delta \vec{v}$ e Δt)

★★★★★★★★★★★★

$\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$

3 ■ $\vec{F}_R = m \cdot \vec{a}$, mas, como $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$, então $\vec{F}_R =$ _____.

★★★★★★★★★★★★

$m \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$

4 ■ $\vec{F}_R = m \cdot$ _____

(Podemos; Não podemos) passar ou transportar Δt do 2º para o 1º membro da equação.

★★★★★★★★★★★★

$\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$; Podemos

5 ■ Portanto, $\vec{F}_R \cdot$ _____ $= m \cdot \Delta \vec{v}$

★★★★★★★★★★★★

Δt

6 ■ $\vec{F}_R \cdot \Delta t = m \cdot \Delta \vec{v}$

O 2º membro desta equação representa a _____ do objeto de massa _____.
Para uma mesma força resultante $\vec{F}_R$ e para uma mesma massa, quanto (maior; menor) for a duração do intervalo de tempo em que a força atua, maior será a _____.

★★★★★★★★★★★★

variação da quantidade de movimento linear; m; maior; variação da quantidade de movimento linear do objeto

7 ■ _____ $= m \cdot \Delta \vec{v}$

A variação da quantidade de movimento linear de um objeto (depende; não depende) do produto _____.
Quanto maior for este produto, _____ será a variação da quantidade de movimento linear. Ao produto $\vec{F}_R \cdot \Delta t$ daremos o nome de **impulso** da força resultante $\vec{F}_R$. Representando **impulso** com a letra $\vec{I}_R$, $\vec{I}_R =$ _____.

★★★★★★★★★★★★

$\vec{F}_R \cdot \Delta t$; depende; $\vec{F}_R \cdot \Delta t$; maior; $\vec{F}_R \cdot \Delta t$

8 ■ Em virtude da força considerada até então ser a **força resultante**, o impulso é denominado **impulso resultante**. O impulso de uma força $\vec{F}$ qualquer é simbolizado por $\vec{I}$ = _____.

★★★★★★★★★★★★

$\vec{F} \cdot \Delta t$

9 ■ $\vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t$

O impulso (é; não é) uma grandeza vetorial porque ele é o produto de uma grandeza vetorial _____ por uma grandeza escalar Δt.

★★★★★★★★★★★★

é; $\vec{F}$

10 ■ $\vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t$

Portanto, a direção do impulso é (a mesma; diferente) da direção da força aplicada $\vec{F}$. O sentido do impulso $\vec{I}$ é _____.

★★★★★★★★★★★★

a mesma; o mesmo de $\vec{F}$

11 ■ $\vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t$. O impulso é o produto da força pelo tempo. Logo, a unidade de medida de impulso é _____ _____ multiplicada pela _____. No Sistema Internacional, a unidade de impulso é _____. _____(em símbolos).

★★★★★★★★★★★★

unidade de força; unidade de tempo; N; s

12 ■ $\vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t$. O módulo ou o valor do impulso é igual ao módulo da _____vezes o intervalo de tempo Δt. Simbolicamente: $|\vec{I}|$ = _____.

★★★★★★★★★★★★

força $\vec{F}$; $|\vec{F}| \cdot \Delta t$

13 ■ Uma força de 12 newtons atua durante 10 segundos sobre um objeto. Ela é horizontal e para a direita. O impulso da força terá módulo $|\vec{I}|$ = _____e é horizontal e para a _____.

★★★★★★★★★★★★

12 N·10 s = 120 N·s; direita

14 ■ O impulso de uma força de 10 N é 25 N·s. A força atuou durante _____.

★★★★★★★★★★★★

$\Delta t = \dfrac{|\vec{I}|}{|\vec{F}|} = 2{,}5 \text{ s}$

15 ■ Uma força $\vec{F}$ produz um impulso de 100 N·s e atuou durante 5,0 s. A intensidade da força é _____.

★★★★★★★★★★★★

$|\vec{F}| = \dfrac{|\vec{I}|}{\Delta t} = \dfrac{100 \text{ N} \cdot \text{s}}{5{,}0 \text{ s}} = 20 \text{ N}$

16 ■ $\vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t$; como $\vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \Delta \vec{v}$, então $\vec{I}$ = _____.

★★★★★★★★★★★★

$m \cdot \Delta \vec{v}$

17 ■ Como $m \cdot \Delta\vec{v} = \Delta\vec{p}$, logo $\vec{I} =$ _____.

★★★★★★★★★★★★

$\Delta\vec{p}$

18 ■ $\vec{I} = m \cdot \Delta\vec{v} = \Delta\vec{p}$. Podemos calcular o impulso de uma força conhecendo-se a variação da quantidade de movimento linear do objeto no qual a força atua. Um objeto que se movimenta em linha reta possui uma quantidade de movimento linear inicial $|\vec{p}_1| = 20$ kg m/s e uma quantidade de movimento final $|\vec{p}_2| = 30$ kg m/s. Portanto, o impulso recebido pelo objeto foi de _____.

★★★★★★★★★★★★

$|\vec{I}| = |\Delta\vec{p}| = |\vec{p}_2| - |\vec{p}_1| = 30$ kg m/s $- 20$ kg m/s $= 10$ kg m/s

19 ■ Mostre que $N \cdot s = kg \cdot m/s$

★★★★★★★★★★★★

$N = kg \cdot m/s^2$, logo $N \cdot s = (kg \cdot m/s^2)\,(s) = kg \cdot m/s$

20 ■ Uma força resultante de 50 N atua sobre um objeto de massa 5,0 kg durante 2,0 s. O impulso recebido pela massa possui módulo _____ e a variação da quantidade de movimento linear da massa foi de _____ _____.

★★★★★★★★★★★★

$1{,}0 \cdot 10^2$ Ns; $1{,}0 \cdot 10^2$ kg m/s

21 ■ Se a força mencionada no item anterior atuasse durante o dobro do tempo, o impulso seria de _____ e a variação da quantidade de movimento linear seria de _____.

★★★★★★★★★★★★

$2{,}0 \cdot 10^2$ Ns; $2{,}0 \cdot 10^2$ kg m/s

22 ■ Por quanto tempo deve uma força de módulo 25 N atuar sobre um objeto para lhe produzir uma variação de quantidade de movimento linear igual a 50 kg m/s?

★★★★★★★★★★★★

$\Delta t = 2{,}0$ s

23 ■ "Um carro de massa 800 kg movimenta-se ao longo de uma estrada retilínea com velocidade 30 m/s dirigida para a direita. Que impulso devemos fornecer ao carro para pará-lo?" Vejamos como resolver o problema. Em primeiro lugar, o carro possui uma quantidade de movimento linear de módulo $|\vec{p}| =$ _____ dirigida para a _____. Sua quantidade de movimento linear final é _____.

★★★★★★★★★★★★

$2{,}4 \cdot 10^4$ kg m/s; direita; zero

24 ■ Portanto, até parar, o carro apresenta uma variação em sua quantidade de movimento linear de módulo $|\Delta\vec{p}| =$ _____. (Interprete o sinal negativo)

★★★★★★★★★★★★

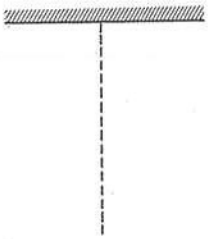
$|\Delta\vec{p}| = |\vec{p}_2| - |\vec{p}_1| = -2{,}4 \cdot 10^4$ kg m/s. O sinal negativo significa que sua quantidade de movimento diminuiu.

25 ■ Portanto, como $|\vec{I}| = |\Delta\vec{p}|$, até parar o carro deve receber um impulso de _____ no sentido contrário a seu movimento ou simplesmente: $|\vec{I}| =$ _____.

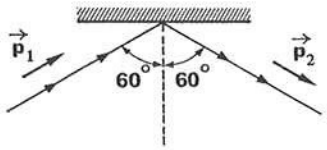
★★★★★★★★★★★★

$2{,}4 \cdot 10^4$ Ns; $2{,}4 \cdot 10^4$ Ns (O sinal negativo significa que o impulso deve ser no sentido oposto ao do movimento.)

26 ■ Uma bola bate numa parede numa direção que faz um ângulo de 60° com a perpendicular à parede e volta fazendo um mesmo ângulo. A quantidade de movimento linear da bola, antes e depois da interação, tem módulo igual a 50 kg m/s. Desenhe ao lado o esquema do problema.

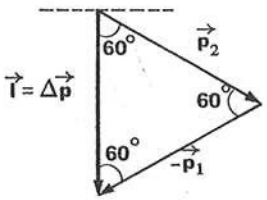


★★★★★★★★★★★★



27 ■ Calcule vetorialmente a variação da quantidade de movimento linear da bola acima.

★★★★★★★★★★★★



escala: 2,5 cm = 50 kg m/s

28 ■ Portanto, $|\vec{I}| = 50$ kg m/s. O impulso recebido pela bola possui a mesma direção e o mesmo sentido de ____.

★★★★★★★★★★★★

$\Delta\vec{p}$

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ Qual é o impulso exercido por uma força de 4,0 N durante 2,0 s?

2 ■ Qual é o impulso que produz a uma massa de 6,0 kg uma variação de velocidade de 2,0 m/s? (horizontalmente para a direita)

3 ■ De quanto varia a velocidade de um objeto de 6,0 kg quando recebe um impulso de 12 Ns?

4 ■ De quanto varia a velocidade de um objeto de 3,0 kg quando recebe um impulso de 12 Ns?

5 ■ Uma força constante de valor desconhecido quando aplicada isoladamente sobre um objeto de massa 6,0 kg, inicialmente em repouso, desloca-o de 12 metros em 2,0 s.

a) Qual foi o valor da aceleração?
b) Qual foi o valor da força?
c) Qual foi o valor do impulso recebido pelo objeto?
d) Qual foi a variação em sua quantidade de movimento linear?

6 ■ Um carrinho de massa 10 kg está com velocidade de 4,0 m/s. Devido ao atrito, ele pára depois de 5,0 s. Qual é o impulso da força de atrito?

7 ■ Um objeto, com massa de 20 kg, move-se horizontalmente para a direita com velocidade constante de 10 m/s. Uma força constante atua isoladamente sobre o objeto, horizontalmente para a esquerda, e depois de 4,0 s sua velocidade é 2,0 m/s, horizontal e para a direita.

a) Qual foi o impulso recebido pelo objeto?
b) Qual foi o valor da força retardadora?
c) Qual foi a variação da quantidade de movimento linear do objeto?

8 ■ Um corpo de massa 4,0 kg movimenta-se horizontalmente para a esquerda com velocidade de 20 m/s. Uma força resultante constante passa a atuar sobre ela e depois de 10 segundos o corpo movimenta-se horizontalmente, com a mesma velocidade, porém em sentido oposto ao inicial.

a) Qual foi o impulso recebido pela massa?

b) Qual foi a variação na quantidade de movimento linear do objeto?

c) Em que sentido atuou a força?

d) Qual foi o seu valor?

9 ■ Uma pedra de massa 20 kg é lançada verticalmente para cima com velocidade 5,0 m/s. Supondo a aceleração da gravidade igual a 10 m/s^2:

a) depois de quanto tempo atinge a altura máxima?

b) até atingir a altura máxima, qual foi o impulso devido ao peso da pedra?

c) qual é a quantidade de movimento inicial e final da pedra?

d) qual foi a variação da quantidade de movimento linear da pedra desde o lançamento até atingir a altura máxima?

10 ■ Um objeto de 1,5 kg muda sua velocidade de 3,2 m/s em um período de 0,8 s. Qual foi a força que causou tal variação?

11 ■ Dois astronautas flutuam no espaço fora de sua espaçonave. Tabajara, de massa 80 kg, empurra Cláudio, de massa 60 kg, e este sai com velocidade de 4,0 m/s. Com que velocidade recua Tabajara?

12 ■ Uma bola de bilhar atinge perpendicularmente a tabela com velocidade de 10 m/s e volta na mesma direção com velocidade de 10 m/s. Se a massa da bola é 0,3 kg, qual foi o impulso recebido?

RESPOSTAS

1. $I = 8{,}0$ Ns

2. $I = 12{,}0$ kg m/s

3. $\Delta v = 2{,}0$ m/s

4. $\Delta v = 4{,}0$ m/s

5. a) $a = 6{,}0\ m/s^2$

b) $F = 36$ N

c) $I = 72$ Ns

d) $\Delta p = 72$ kg m/s

6. $I = -40$ kg m/s

(O impulso é contra o movimento.)

7. a) $I = -160$ kg m/s

b) $F = 40$ N

c) $\Delta p = -160$ kg m/s

8. a) $I = -160$ kg m/s

b) $\Delta p = -160$ kg m/s

c) A força atuou contra o sentido do movimento inicial.

d) $F = 16$ N

9. a) 0,5 s

b) $I = -100$ Ns

c) $p_{in} = 100$ kg m/s; $p_{fin} = 0$

d) $\Delta p = -100$ kg m/s

10. $F = 6{,}0$ N

11. $v_{Tabaj.} = -3$ m/s (O sinal "menos" indica que ele recua no sentido oposto ao de Cláudio.)

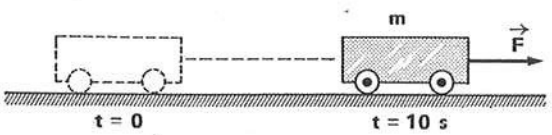
12. $I = -6$ kg m/s (O sinal negativo indica que o impulso agiu no sentido contrário ao do movimento inicial da bola.)

C – IMPULSO DE FORÇA NÃO-CONSTANTE

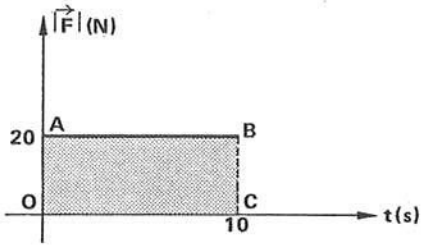
Impulso = "área" (valor numérico) no gráfico $|\vec{F}| \times t$

Leia e observe atentamente o quadro abaixo. Ele se refere aos itens 1 a 4.

QUADRO A



Uma força $\vec{F}$ atua sobre o carrinho, horizontalmente para a direita.



O gráfico acima mostra a variação do módulo desta força com o tempo.

1 ■ A força $\vec{F}$ que atua sobre o carrinho (é; não é) constante porque sua direção, seu sentido e seu valor _____ _____.

★★★★★★★★★★★

é; se mantêm constantes

2 ■ Entre os instantes t = 0 e t = 10,0 s, o módulo da força $\vec{F}$ é igual a _____. Neste intervalo de tempo, o impulso da força $\vec{F}$ foi de _____.

★★★★★★★★★★★

20 N; $2{,}0 \times 10^2$ N s

3 ■ Observe o gráfico. Ele representa a variação da intensidade da força $\vec{F}$ em função do tempo. O produto $|\vec{F}| \cdot \Delta t$ mede o valor do _____ da força $\vec{F}$. No gráfico, este produto (corresponde; não corresponde) ao valor numérico da "área" entre o gráfico e o eixo dos tempos, limitada pelo intervalo de tempo.

★★★★★★★★★★★

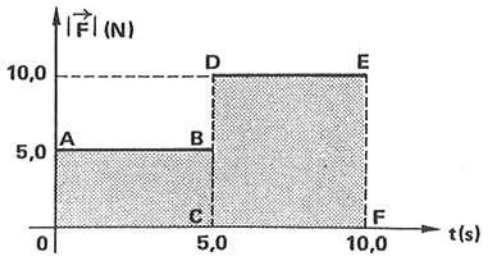
impulso; corresponde

4 ■ O impulso de $\vec{F}$, entre 0 e 10,0 s, calculado pelo gráfico, corresponde numericamente à "área" hachurada do retângulo _____ e vale _____. Por que tal área não é medida em m^2? _____ _____.

★★★★★★★★★★★

OABC; $2{,}0 \times 10^2$ N s; Porque os lados são medidos em **newtons** e em **segundos.**

5 ■ A figura ao lado representa o módulo de uma força $\vec{F}$ em função do tempo. Desde t = 0 até o instante t = 10,0 s, a força (manteve-se; não se manteve) constante. De 0 até 5,0 s a força manteve-se constante, mas no instante t = 5,0 s seu valor aumentou (lentamente; bruscamente).
Do instante t = 5,0 s até t = 10,0 s, a força novamente se manteve _____.



★★★★★★★★★★★

não se manteve; bruscamente; constante

6 ■ Com relação ao gráfico do item 5, o impulso da força entre 0 e 5,0 s (corresponde; não corresponde) à "área" do quadrilátero OABC e vale _____. O impulso da força entre 5,0 e 10,0 s corresponde à "área" do quadrilátero _____ e vale _____.

★★★★★★★★★★★

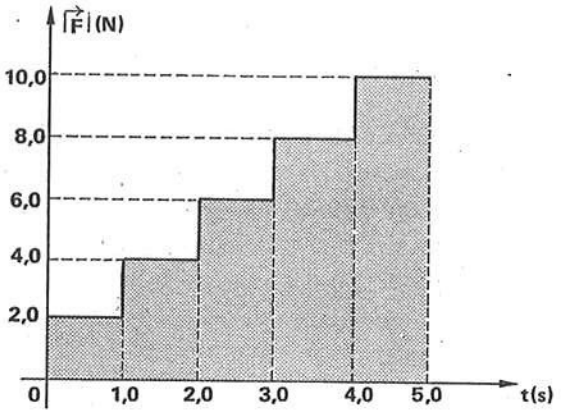
corresponde; 25,0 Ns; CDEF; 50,0 Ns

7 ■ Com relação ao gráfico do item 5: se quisermos determinar o valor do impulso total da força $\vec{F}$ devemos (somar; subtrair; multiplicar) o impulso entre 0 e 5,0 s com o impulso entre 5,0 e 10,0 s. Portanto, o impulso total corresponde à _____ total no gráfico $|\vec{F}| \times t$. Logo, $|\vec{I}_T| =$ _____.

★★★★★★★★★★★

somar; área; 75 Ns

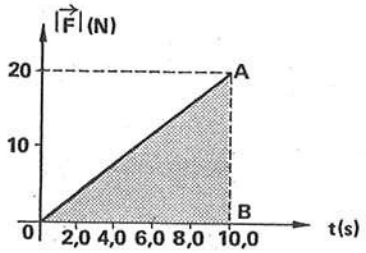
8 ■ Vamos analisar o gráfico do lado.
Ele representa a maneira pela qual o módulo de uma força varia em função do tempo. Observamos que o módulo da força varia (de maneira linear; aos saltos). O impulso entre 0 e 1,0 s vale _____ e é igual ao valor da _____ do 1º retângulo. O impulso total, de 0 até 5,0 s, corresponde à _____ _____ e vale _____.



★★★★★★★★★★★

aos saltos; 2,0 Ns; área total; 30,0 Ns

9 ■ Na figura ao lado está representado o gráfico que mostra a maneira pela qual o módulo de uma força varia em função do tempo. Podemos observar que a força varia (linearmente; aos saltos) com o tempo. O impulso da força, desde t = 0 até t = 10,0 s, corresponde à _____ do triângulo OAB.



★★★★★★★★★★★

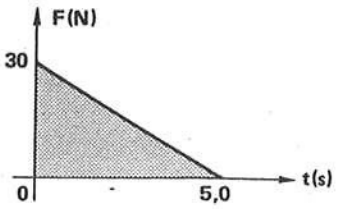
linearmente; área

10 ■ Com relação ao gráfico do item 9, o impulso total é calculado determinando-se a área da figura, que no caso é o triângulo OAB. A área do triângulo é dada pela expressão $S = \frac{b \cdot h}{2}$, onde b é a base e h é a altura. No caso, $b = \overline{OB}$ e $h = \overline{AB}$. Logo, o impulso total será $|\vec{I}_T| = S =$ _____.

★★★★★★★★★★★

$\frac{20\,N \cdot 10{,}0\,s}{2} = 100\,Ns$

11 ■ Qual é o impulso total da força entre 0 e 5,0 s, se o seu módulo varia de acordo com o gráfico ao lado?



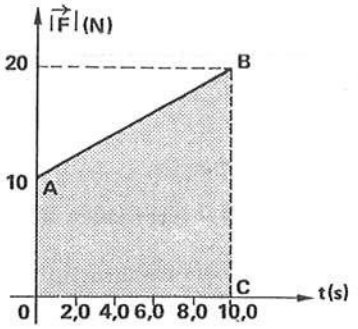
★★★★★★★★★★★

$|\vec{I}_T|$ = "área" do triângulo = $30 \times \frac{5{,}0}{2} = 75\,Ns$

12 ■ Uma força aplicada a um objeto varia de intensidade conforme ilustra o gráfico ao lado. A área do (triângulo; retângulo; trapézio) OABC mede o _____ _____.

Portanto, se determinarmos a área do trapézio, estaremos determinando o impulso total da força.

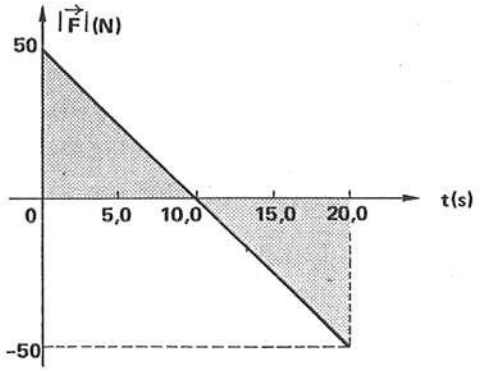
Logo: $|\vec{I}_T| =$ _____ _____.



★★★★★★★★★★★

trapézio; impulso total da força entre 0 e 10,0 s; área do trapézio $= \frac{B + b}{2} \cdot h = \frac{20 + 10}{2} \cdot 10 = 150$ Ns

13 ■ Uma força pode mudar de sentido. O gráfico ao lado ilustra o caso. De 0 até 10,0 s, o módulo da força (aumenta; diminui) linearmente com o tempo. No instante t = 10,0 s, seu módulo vale _____. De 10,0 s até 20,0 s, o valor da força é (positivo; negativo), o que indica que a força (mudou; não mudou) de sentido.



★★★★★★★★★★★

diminui; zero; negativo; mudou

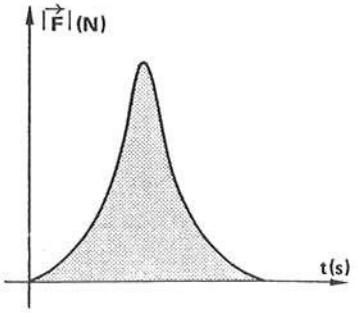
14 ■ Com relação ao gráfico do item 13, o impulso da força desde t = 0 até t = 10,0 s vale _____. De 10,0 até 20,0 s o gráfico está (acima; abaixo) do eixo dos tempos. Logo, o sinal da "área" do triângulo será (positivo; negativo) e portanto o impulso será (negativo; positivo). Então, de 10,0 até 20,0 s o impulso vale _____. O impulso total da força, desde 0 até 20,0 s, será igual a _____.

★★★★★★★★★★★

250 Ns; abaixo; negativo; negativo; -250 Ns; zero (pois os dois impulsos de mesmo valor absoluto porém de sinais opostos se anulam)

15 ■ Podemos concluir que, qualquer que seja a variação da força em função do tempo, a área da figura que representa esta variação nos fornece o impulso total ou parcial. Por exemplo, o gráfico ao lado representa a variação da força exercida por uma raqueta em função do tempo quando esta "bate" numa bola de pingue-pongue.

O impulso total pode ser calculado pela _____ _____.

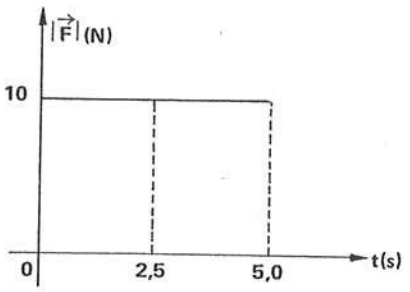


★★★★★★★★★★★

área do gráfico $|\vec{F}| \times t$

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ A força que atua sobre um objeto de massa 2,0 kg em repouso sobre uma superfície lisa varia com o tempo conforme ilustra o diagrama ao lado.



a) Qual o impulso recebido pelo objeto entre 0 e 2,5 s?

b) Qual o impulso recebido pelo objeto entre 2,5 s e 5,0 s?

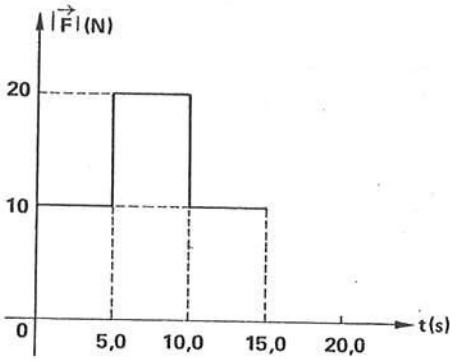
c) Qual o módulo da variação da quantidade de movimento linear do objeto entre 0 e 5,0 s?

d) Qual a velocidade final do objeto? (para t = 5,0 s)

****

25 Ns; 25 Ns; 50 Ns ou 50 kg m/s; 25 m/s

2 ■ O módulo da força que atua sobre um carrinho de massa 10 kg varia com o tempo conforme o gráfico ao lado. Admita que o carrinho esteja inicialmente em repouso e possua livre movimento. Qual a velocidade do carrinho nos instantes:



a) 5,0 s;

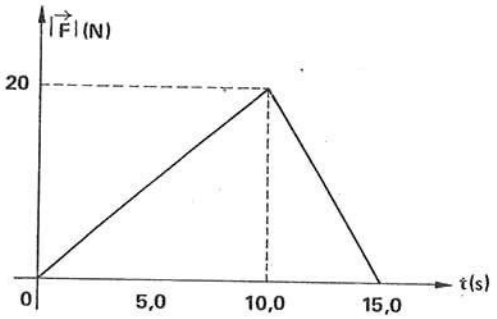
b) 10,0 s;

c) 15,0 s?

****

a) 5,0 m/s; b) 15 m/s; c) 20 m/s

3 ■ Maria Aparecida empurra Marisa com uma força que varia com o tempo de acordo com o gráfico ao lado. Ambas estão com patins nos pés, possuem massas iguais a 50,0 kg e estão sobre um tablado apropriado. Considere, pois, o atrito desprezível. Inicialmente, ambas estão em repouso. Analisando o gráfico, responda:



a) Em que instante é aplicado o empurrão?

b) Em que instante termina a interação entre ambas?

c) Qual é o impulso total aplicado por Maria Aparecida sobre Marisa?

d) Após a interação, qual é o valor da velocidade de Marisa?

****

a) 0 s; b) 15,0 s; c) 150 Ns; d) 3,0 m/s

4 ■ Considere a interação descrita no problema 3. Sabemos pela Lei da Ação e Reação que, em cada instante, as forças são opostas, de mesmo módulo e aplicadas em corpos diferentes. Com estas informações, responda:

a) No instante t = 10,0 s, que força Marisa exerce sobre Maria Aparecida?

b) E no instante t = 5,0 s?

c) Qual é o impulso total recebido por Maria Aparecida?

d) Qual é a velocidade final de Maria Aparecida?

Em todos os casos, interprete o sinal da sua resposta.

★★★★★★★★★★★★

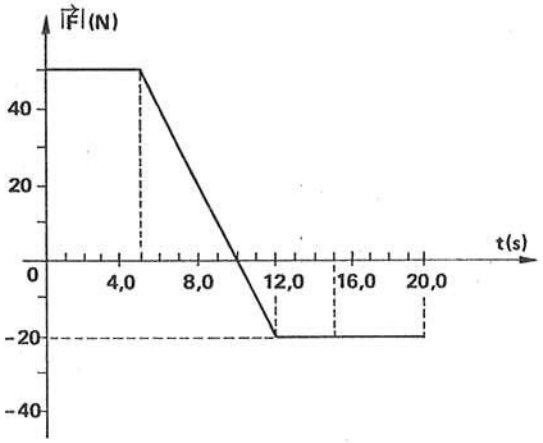
a) - 20 N (O sinal significa que a força é oposta àquela recebida por Marisa.)
b) - 10 N (idem)
c) - 150 N s (Maria Aparecida recebe um impulso no sentido oposto ao que foi recebido por Marisa.)
d) - 3,0 m/s (Maria Aparecida movimenta-se no sentido oposto ao do movimento executado por Marisa.)

5 ■ Considere ainda o enunciado do problema 3. Qual seria sua resposta aos itens **a**, **b**, **c** e **d** do problema anterior, se Maria Aparecida fosse ligeiramente gorda, vamos dizer, uns 100 kg de massa?

★★★★★★★★★★★★

a); b); c) as mesmas respostas
d) - 1,5 m/s

6 ■ Uma força varia com o tempo conforme mostra o gráfico ao lado. Determine o impulso da força entre:
a) 0 e 10,0 s;
b) 0 e 15,0 s;
c) 0 e 20,0 s.



★★★★★★★★★★★★

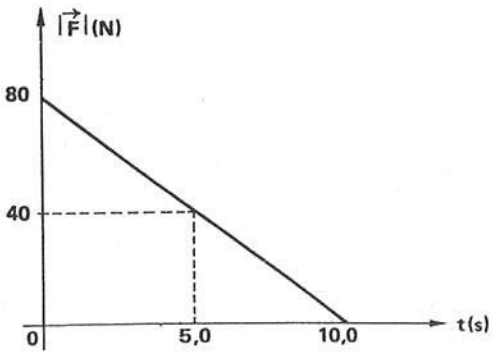
a) 375 Ns
b) 295 Ns
c) 195 Ns

7 ■ Se a força descrita no problema 6 fosse aplicada sobre um objeto de massa 10,0 kg, qual seria a variação de velocidade apresentada pelo objeto entre os intervalos de tempo mencionados? Despreze o atrito.

★★★★★★★★★★★★

a) $\Delta v = 37{,}5$ m/s b) $\Delta v = 29{,}5$ m/s c) $\Delta v = 19{,}5$ m/s

8 ■ Um objeto está inicialmente com velocidade de 10,0 m/s. Uma força cujo gráfico em função do tempo é dado na figura ao lado é aplicada sobre ele. Admita a inexistência de atrito e que a massa do objeto seja igual a 20,0 kg. Qual a velocidade do objeto nos instantes
a) t = 0 s;
b) t = 5,0 s;
c) t = 10,0 s?



★★★★★★★★★★★★

a) v = 10,0 m/s b) v = 25 m/s c) v = 30 m/s

SEÇÃO 4 – LEI DA CONSERVAÇÃO DA QUANTIDADE DE MOVIMENTO LINEAR

Nas seções anteriores, definimos a quantidade de movimento e impulso de uma força constante e não-constante. Vimos também como o impulso de uma força está relacionado com a variação da quantidade de movimento.

Discutimos também a 3ª Lei de Newton e analisamos as forças de ação e reação que aparecem numa interação.

Nesta seção, iremos estabelecer a Lei da Conservação da Quantidade de Movimento Linear. Uma grandeza como a **quantidade movimento**, que é **conservada** e que não pode ser criada nem destruída, é de particular interesse na Física. Veremos então sob quais condições tal grandeza é conservada.

A – SISTEMA ISOLADO

1 ■ Ao conjunto de um ou mais objetos damos o nome de _____.

****

sistema

2 ■ Podemos considerar uma bola como sendo um sistema. Neste caso, ele é constituído de um só _____.

****

elemento

3 ■ Duas bolas que se colidem constituem um sistema. No caso, o sistema é constituído de _____.

****

dois elementos

4 ■ A caracterização de um sistema depende de nossa escolha. Podemos considerar a Terra e a Lua como sendo um sistema. O resto do universo será um outro _____.

****

sistema

5 ■ Considere o sistema formado pelos objetos existentes dentro da sala de aula. As paredes que a delimitam constituem o que denominamos **fronteira** do sistema. A fronteira de um sistema o separa do resto do universo. A água contida em uma garrafa fechada é um sistema e sua fronteira é _____.

****

a própria garrafa

6 ■ Uma esfera de aço é um sistema. Sua fronteira é a _____.

****

superfície esférica que a delimita

7 ■ Um sistema que não permite passagem de massa através de sua fronteira é denominado **sistema fechado**. Uma esfera de aço será um sistema fechado se sua massa (diminuir; aumentar; permanecer constante).

****

permanecer constante

8 ■ Um sistema é dito **aberto** quando permite passagem de massa através de sua fronteira.
Uma lata furada contendo água pode ser considerada um sistema (aberto; fechado) se a fronteira for a própria lata.

★★★★★★★★★★★

aberto

9 ■ Dois objetos, A e B, constituem um sistema cuja fronteira é uma superfície imaginária que os contém. A e B constituir-se-ão um sistema fechado se _____

_____.

★★★★★★★★★★★

não houver transferência de massa através de sua fronteira ou se sua massa permanecer constante

10 ■ Uma pedra cai em queda livre. O sistema pedra-Terra será fechado se _____.

_____.

★★★★★★★★★★★

não houver transferência de massa ao longo da fronteira do sistema.

11 ■ Um sistema é dito **isolado** se ele for **fechado e não sofrer influência de força resultante externa.** Um sistema aberto (é; não é) um sistema isolado.

★★★★★★★★★★★

não é

12 ■ Se um objeto sofrer a ação de uma força resultante externa, o sistema constituído pelo próprio objeto (é: não é) isolado porque sobre ele _____ uma força resultante externa.

★★★★★★★★★★★

não é; atua

13 ■ Um sistema será isolado se a força resultante externa sobre ele for nula e se não houver transferência de _____ através de sua fronteira.

★★★★★★★★★★★

massa

14 ■ A força de atrito é sempre uma força externa ao sistema. Sempre que houver atrito, o sistema (poderá; não poderá) ser considerado isolado.

★★★★★★★★★★★

não poderá

15 ■ É difícil imaginar um sistema totalmente isento de força externa; entretanto, em muitos casos, quando a força resultante externa for desprezível, podemos caracterizá-lo como um sistema isolado. Por exemplo, um carrinho que se movimenta sobre uma superfície onde o atrito é desprezível (pode; não pode) ser caracterizado como um sistema isolado.

★★★★★★★★★★★

pode

16 ■ Considere uma pedra em queda livre. Tome a pedra como um sistema. Desta forma, a pedra é um sistema fechado, pois durante a queda sua massa permanece constante. A pedra (constitui; não constitui) um sistema isolado, porque a Terra, que pode ser considerada como um outro sistema, _____.

★★★★★★★★★★★

não constitui; exerce uma força sobre ela

17 ■ Todo sistema isolado (é; não é) fechado.

★★★★★★★★★★★

é

18 ■ Um sistema fechado (é; não é; pode ser) um sistema isolado.

★★★★★★★★★★★

pode ser

19 ■ Nem todas as forças que atuam sobre um objeto são consideradas **forças externas**. Por exemplo, quando uma esfera colide com uma segunda, já vimos que aparecem as forças denominadas ação e _____. Se considerarmos as duas esferas constituindo um sistema, o par de forças chamadas _____ e _____ serão forças _____.

★★★★★★★★★★★

reação; ação; reação; internas

20 ■ Se considerarmos cada esfera do item 19 constituindo um sistema, a força que uma exerce sobre a outra será, neste caso, uma força (interna; externa).

★★★★★★★★★★★

externa

21 ■ Volte ao exemplo da pedra caindo, do item 16. Já vimos que, se considerarmos a pedra constituindo um sistema, o peso ou a força de atração gravitacional da Terra sobre a pedra é uma força _____. Se considerarmos o **sistema pedra-Terra**, o peso da pedra será uma força _____, pois neste caso o peso será a **ação** da Terra sobre a pedra e a reação será uma força que a pedra exerce sobre a _____.

★★★★★★★★★★★

externa; interna; Terra

22 ■ Portanto, numa interação, se considerarmos os objetos que se interagem constituindo um só sistema, as forças de ação e reação são consideradas forças _____.

★★★★★★★★★★★

internas

23 ■ Em uma interação, onde o atrito é desprezível, o sistema formado pelos objetos que interagem será um sistema _____, admitindo que a massa permaneça constante.

★★★★★★★★★★★

isolado

QUESTÕES PARA DISCUSSÃO

Responda às questões formuladas a seguir com suas próprias palavras. Se você não se sentir seguro, volte ao texto ou discuta em grupo com colegas que já estudaram o texto ou consulte seu professor.

1 ■ Caracterize sistema fechado. Dê um exemplo.

2 ■ Caracterize sistema aberto. Dê um exemplo.

3 ■ Caracterize sistema isolado. Dê um exemplo.

4 ■ Se considerar todas as partículas que constituem o Universo como um único sistema, tal sistema será isolado? Explique.

5 ■ Considere o sistema solar. Sob quais condições ele pode ser considerado isolado?

6 ■ Uma lata dotada de um orifício e contendo água permitirá que o líquido escoe para fora. O sistema lata-água é fechado? É isolado? Explique.

7 ■ Um carrinho movimenta-se sobre uma plataforma rugosa. O sistema é fechado ou aberto? É isolado? Explique.

8 ■ As forças de ação e reação que aparecem numa interação são forças internas ou externas? Explique sua resposta.

9 ■ O que acontece com a velocidade de um objeto quando ele está sob a ação de uma força externa?

10 ■ Um sistema fechado é sempre isolado? Explique.

B – CONSERVAÇÃO DA QUANTIDADE DE MOVIMENTO LINEAR

Estabeleceremos nesta parte a Lei da Conservação da Quantidade de Movimento Linear para um objeto ou sistema de objetos. Veremos que **se o sistema for isolado** a quantidade de movimento não apresentará variações, isto é, a quantidade de movimento total será sempre a mesma, em qualquer instante. É o que ocorre com o Universo. O Universo como um sistema isolado possui uma determinada quantidade de movimento; os objetos que o compõem não estão em repouso, mas movimentam-se em diversas direções; porém a quantidade de movimento total do sistema será a mesma agora ou daqui a dez séculos.

1 ■ O valor do impulso de uma força $\vec{F}$ é igual ao produto do _____ da força pelo valor do intervalo de tempo Δt durante o qual ela atua.

★★★★★★★★★★★

módulo

2 ■ O impulso (é; não é) uma grandeza vetorial, pois ele possui _____ , _____ e _____.

★★★★★★★★★★★

é; módulo ou valor; direção; sentido

3 ■ Quando uma força externa ($\vec{F}_{ext}$) atua sobre um objeto ou sistema de objetos durante um intervalo de tempo Δt, o impulso da força é definida pela expressão: _____.

★★★★★★★★★★★

$\vec{I}_{ext} = \vec{F}_{ext} \cdot \Delta t$

4 ■ O impulso mede a _____ da quantidade de movimento do sistema sobre o qual ele é aplicado.

★★★★★★★★★★★

variação

5 ■ Simbolicamente, $\vec{I}_{ext}$ = _____ (em termos de $\vec{p}_2$ e $\vec{p}_1$)

★★★★★★★★★★★

$\vec{p}_2 - \vec{p}_1$ (onde $\vec{p}_2$ é a quantidade de movimento final do sistema e $\vec{p}_1$ é a quantidade de movimento inicial)

6 ■ Se um objeto recebe um impulso de valor 50 N s, horizontal e para a esquerda, a quantidade de movimento linear total do objeto apresentará uma variação de valor _____, (horizontal; vertical), cujo sentido será para a _____.

★★★★★★★★★★★

50 kg m/s; horizontal; esquerda

7 ■ Quando a força resultante externa for igual a zero, isto é, $\vec{F}_{ext} = 0$, o impulso externo $\vec{I}_{ext} =$ _____.

★★★★★★★★★★★★★

zero

8 ■ Quando o impulso for igual a zero, a variação da quantidade de movimento linear total do sistema será igual a _____.

★★★★★★★★★★★

zero

9 ■ Uma grandeza que não apresenta variação permanece _____. Logo, em qualquer instante, seu valor será (o mesmo; diferente).

★★★★★★★★★★★

constante; o mesmo

10 ■ $\vec{I}_{ext} = \Delta\vec{p}_t$ se $\vec{I}_{ext} = 0$, então $\Delta\vec{p}_t =$ _____.

★★★★★★★★★★★

0

11 ■ $\Delta\vec{p}_t = 0$, portanto, $\vec{p}_2 =$ _____.

★★★★★★★★★★★

$\vec{p}_1$

12 ■ No item 11, $\vec{p}_2$ representa a _____ de _____ linear total (final; inicial) do sistema; $\vec{p}_1$ representa _____.

★★★★★★★★★★★

quantidade; movimento; final; a quantidade de movimento linear total inicial do sistema

13 ■ $\Delta\vec{p}_t$ é o vetor que representa a _____ da quantidade de movimento total do sistema. Se $\Delta\vec{p}_t = 0$, o vetor que representa a quantidade de movimento linear, em cada instante, (é; não é) o mesmo.

★★★★★★★★★★★

variação; é

14 ■ Se $\Delta\vec{p}$ é um vetor constante, em qualquer tempo, seu valor será (o mesmo; diferente) bem como sua _____ e seu _____.

★★★★★★★★★★★

o mesmo; direção; sentido

15 ■ Um objeto de massa 2,0 kg movimenta-se em linha reta e com velocidade constante de 2,0 m/s, horizontalmente para a direita. Em qualquer instante, sua quantidade de movimento $\vec{p}$ valerá _____ e estará dirigida _____ para a _____. Portanto, sua quantidade de movimento linear será _____ e a variação será (igual a; diferente de) zero.

★★★★★★★★★★★

4,0 kg m/s; horizontalmente; direita; constante; igual a

16 ■ Se $\Delta\vec{p}_t = 0$, podemos também concluir que a força resultante externa é (igual a; diferente de) zero.

★★★★★★★★★★★

igual a

17 ■ Podemos então dizer que a quantidade de movimento linear total de um sistema permanece inalterado ou se conserva quando a força resultante externa for igual a _____.

★★★★★★★★★★★

zero

18 ■ Se um sistema de objetos constituir um sistema (isolado; não-isolado), a quantidade de movimento linear total do sistema se **conserva** porque no sistema isolado a _____.

★★★★★★★★★★★

isolado; força externa é nula e portanto $I_{ext} = 0$

19 ■ Um sistema não sofre a ação de força do resto do Universo. Tal sistema (é; não é) isolado. Portanto, sua quantidade de movimento linear total _____.

★★★★★★★★★★★

é; permanece constante

20 ■ Podemos expressar a Lei da Conservação da Quantidade de Movimento Linear da seguinte forma: "em um sistema _____, a quantidade de movimento linear total _____".

★★★★★★★★★★★

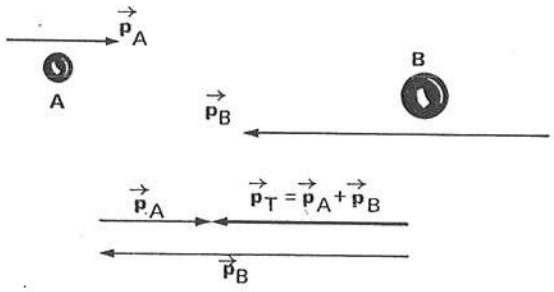
isolado; permanece inalterado ou constante

21 ■ Dizer que a quantidade de movimento linear se conserva equivale a afirmar que ela é algo que (pode; não pode) ser criado ou destruído.

★★★★★★★★★★★

não pode

22 ■ Não podemos esquecer que a quantidade de movimento é uma grandeza _____. Na figura ao lado, A e B constituem um sistema isolado. A quantidade de movimento do sistema num determinado momento é representado pelo vetor _____, que é obtido pela soma (vetorial; algébrica) dos vetores _____ e _____.



★★★★★★★★★★★

vetorial; $\vec{p}_T$; vetorial; $\vec{p}_A$; $\vec{p}_B$

23 ■ Qual seria a quantidade de movimento linear total do sistema descrito no item 22 depois de 20 segundos? _____.

★★★★★★★★★★★

$\vec{p}_T$ (pois como o sistema é isolado, não importa que A e B estejam em movimento. A quantidade $\vec{p}_A + \vec{p}_B$ permanece a mesma.)

EXERCÍCIOS DE REVISÃO

1 ■ Um objeto que se movimenta em MRU (conserva; não conserva) sua quantidade de movimento linear total porque _____

_____.

★★★★★★★★★★★★

conserva; a velocidade é constante, logo o produto $m \cdot \vec{v}$ é constante e portanto a quantidade de movimento é a mesma em qualquer instante.

2 ■ Um objeto que se movimenta em linha reta atinge uma superfície com atrito. Podemos afirmar que a quantidade de movimento do objeto (se conserva; não se conserva) porque o atrito (é; não é) uma força externa.

★★★★★★★★★★★★.

não se conserva; é

3 ■ Um carrinho é puxado com uma força resultante constante de 50 N. A quantidade de movimento do carrinho (se conserva; não se conserva) porque _____

_____.

★★★★★★★★★★★★

não se conserva; sobre ele atua uma força resultante externa e portanto ele não é um sistema isolado.

4 ■ Uma partícula de massa 0,2 kg possui no instante $t = 0$ uma velocidade igual a $5{,}0 \times 10^2$ m/s. Ele constitui um sistema isolado.

a) Qual é o valor da quantidade de movimento da partícula depois de 10 s?

b) Sua direção e seu sentido se alteraram? Por quê?

★★★★★★★★★★★★

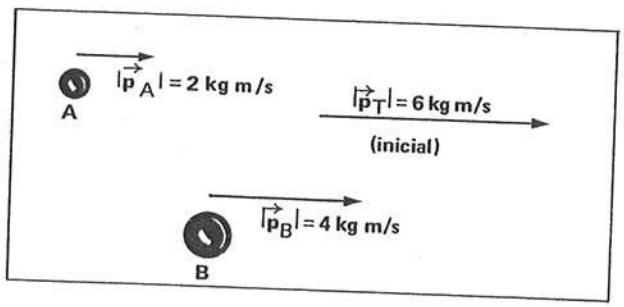
a) $1{,}0 \times 10^2$ kg m/s; b) a direção e o sentido são os mesmos porque o sistema, sendo isolado, conserva a quantidade de movimento e esta, sendo uma grandeza vetorial, conserva o módulo, a direção e o sentido.

5 ■ Uma pedra movimenta-se em queda livre. A pedra (constitui; não constitui) um sistema isolado porque o peso (é; não é) uma força externa. Nestas condições, a quantidade de movimento linear total da pedra (se conserva; não se conserva).

★★★★★★★★★★★★

não constitui; é; não se conserva

6 ■ O sistema ao lado é isolado. Ele é constituído por duas esferas que se deslocam sobre uma mesa horizontal, onde o atrito é desprezível. Depois de 10,0 s, qual é a quantidade de movimento linear total do sistema? Por quê?



★★★★★★★★★★★★

$|\vec{p}_T| = 6$kg m/s, horizontal e para a direita, porque o sistema, sendo isolado, conserva sua quantidade de movimento linear.

7 ■ Dois objetos de massas iguais a 3,0 kg movimentam-se com velocidade 2,0 m/s numa mesma direção porém em sentidos opostos. Não existe força externa agindo sobre o sistema. Qual a quantidade de movimento linear total inicial do sistema?

★★★★★★★★★★★

$\vec{p}_T = \vec{p}_A + \vec{p}_B$

$|\vec{p}_T| = |\vec{p}_A| - |\vec{p}_B| = 6{,}0 \text{ kg m/s} - 6{,}0 \text{ kg m/s} = 0$

O sinal da quantidade de movimento de B é negativo porque seu sentido é oposto ao de A.

8 ■ Considere o enunciado do item 7. Qual é a quantidade de movimento total do sistema depois de certo intervalo de tempo? Por quê?

★★★★★★★★★★★

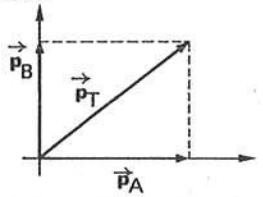
$|\vec{p}_T| = 0$ porque o sistema é isolado e portanto há a conservação da quantidade de movimento total.

9 ■ Dois corpos A e B movimentam-se em direções perpendiculares entre si. A possui massa 8,0 kg e velocidade 5,0 m/s. B possui massa 3,0 kg e velocidade 10,0 m/s. Qual o valor da quantidade de movimento do sistema? Admita-o isolado. Faça um esquema.

★★★★★★★★★★★

$\vec{p}_T = \vec{p}_A + \vec{p}_B$

$|\vec{p}_T|$ = hipotenusa = 50 kg m/s



10 ■ Considere o enunciado do item 9. Qual é o módulo, direção e sentido da quantidade de movimento do sistema depois de 10,0 segundos?

★★★★★★★★★★ ★

$|\vec{p}_T| = 50$ kg m/s, direção e sentido iguais às da situação inicial, devido à conservação da quantidade de movimento.

11 ■ Considere o item 10. Durante os 10,0 s, qual foi o deslocamento de cada corpo?

★★★★★★★★★★★

O deslocamento de A foi 50 m e o de B, 100 m.

Observe que apesar de cada massa não se encontrar na posição original, a quantidade de movimento total do sistema é sempre a mesma.

SEÇÃO 5 – CONSERVAÇÃO DA QUANTIDADE DE MOVIMENTO LINEAR EM INTERAÇÕES

Vimos que a quantidade de movimento se conserva quando o sistema é isolado, isto é, quando a força resultante externa for nula.

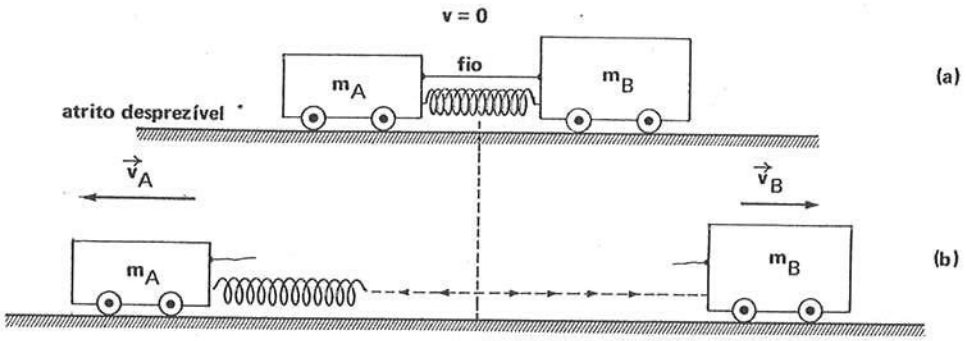
Nesta seção, iremos aplicar a Lei da Conservação da Quantidade de Movimento para as interações. Já sabemos que nas interações surgem as forças de **ação** e **reação** que se correspondem a forças internas ao sistema de partículas que se interagem. Portanto, as forças de ação e reação podem modificar a quantidade de movimento de cada partícula em particular, mas não devem alterar a quantidade de movimento total do sistema.

Inicialmente, iremos considerar casos em que os objetos se movimentam na mesma direção antes e depois da interação. Depois trataremos de casos em que após a interação as partículas se deslocam em direções diferentes.

A – INTERAÇÕES EM UMA DIMENSÃO (objetos na mesma direção)

Leia e observe atentamente o quadro abaixo. Ele se refere aos itens 1 a 18.

QUADRO B



1º) As figuras a e b representam uma interação entre dois carrinhos A e B inicialmente em repouso, sobre um plano horizontal onde o atrito é desprezível.

2º) A figura a representa os dois carrinhos que comprimem uma mola de massa desprezível que está presa em A.

3º) O fio que prende os dois carrinhos é rompido sem alterar o estado de repouso de ambos.

4º) A figura b mostra os carrinhos após a interação (após o rompimento do fio).

1 ■ O sistema que abrange os dois corpos é _____ porque o atrito é desprezível. O movimento dos carrinhos após a interação se dá (em direções diferentes; numa mesma direção) porém em sentidos opostos.

★★★★★★★★★★★

isolado; numa mesma direção

2 ■ A Terra exerce uma força externa sobre cada carrinho, porém esta força (é; não é) equilibrada pela reação do plano onde os objetos se apóiam. Portanto, na direção vertical, não há força resultante. A interação deve ser analisada somente na direção _____.

★★★★★★★★★★★

é; horizontal

3 ■ Durante a interação, a mola empurra o carrinho B com uma força $\vec{F}$ e, ao mesmo tempo, devido à lei da _____ e _____, o carrinho A é empurrado no sentido oposto com uma força _____. O sinal é negativo porque ela é de _____ oposto à força recebida por B.

★★★★★★★★★★★

ação; reação; $-\vec{F}$; sentido

4 ■ Durante a interação, em cada instante, a força sobre o carrinho B é (de mesmo valor; de valor diferente) que a força que atua sobre o carrinho A.

★★★★★★★★★★★

de mesmo valor

5 ■ Em cada instante, as forças que atuam sobre cada carrinho possuem a mesma _____, porém sentidos _____.

★★★★★★★★★★★

direção; opostos

6 ■ Imagine um intervalo de tempo Δt em que estas forças atuam: o carrinho B receberá um impulso de módulo $|\vec{I}_B| = |\vec{F}| \cdot \Delta t$ e o carrinho A, $|\vec{I}_A| = -|_____| \cdot _____$.

★★★★★★★★★★★

$\vec{F}$; Δt

7 ■ O sinal negativo no impulso recebido por A significa que _____.

★★★★★★★★★★★

o impulso é de sentido oposto ao recebido por B

8 ■ Como as forças possuem, em cada instante, o mesmo módulo, os valores dos impulsos, em cada intervalo de tempo, (possuem; não possuem) o mesmo valor.

★★★★★★★★★★★

possuem

9 ■ $|\vec{I}_A| = -m_A \cdot |\Delta\vec{v}_A|$ e $|\vec{I}_B| = m_B |\Delta\vec{v}_B|$

como $|\vec{I}_B| =$ _____; então _____ = _____ (em termos de m_A; m_B; $|\Delta\vec{v}_A|$ e $|\Delta\vec{v}_B|$)

★★★★★★★★★★★

$-|\vec{I}_A|$; $m_B \cdot |\Delta\vec{v}_B|$; $-m_A \cdot |\Delta\vec{v}_A|$

10 ■ Portanto, $m_B \cdot |\Delta\vec{v}_B| = -m_A \cdot |\Delta\vec{v}_A|$. O sinal negativo na variação da quantidade de movimento do carrinho A é devido ao fato de ele receber um impulso (no mesmo sentido; em sentido oposto) ao recebido por B.

★★★★★★★★★★★

em sentido oposto

11 ■ Pode-se escrever também que: $\Delta\vec{p}_B = -\Delta\vec{p}_A$.
Se passarmos o termo $-\Delta\vec{p}_A$ para o primeiro membro desta equação, teremos:
_____ + _____ = _____

★★★★★★★★★★★

$\Delta\vec{p}_A + \Delta\vec{p}_B = 0$

12 ■ $\Delta\vec{p}_A + \Delta\vec{p}_B = 0$. Esta equação nos informa que, após a interação, cada carrinho apresenta uma variação em sua quantidade de movimento, mas a soma das variações da quantidade de movimento dos dois carrinhos, em qualquer instante, é sempre zero. Em outras palavras, a quantidade de movimento total do sistema (se alterou; permaneceu constante).

★★★★★★★★★★★

permaneceu constante

13 ■ $\Delta\vec{p}_A = m_A \cdot \vec{v}_{A_2} - m_A \cdot \vec{v}_{A_1}$ onde o índice 1 significa inicial e 2, final (após a interação).

$\Delta\vec{p}_B =$ _____ - _____

★★★★★★★★★★★

$m_B \cdot \vec{v}_{B_2}$; $m_B \cdot \vec{v}_{B_1}$

14 ■ Portanto, considerando a equação escrita no item 12 e as escritas no item 13, podemos escrever:

$(m_A \cdot \vec{v}_{A_2} - m_A \cdot \vec{v}_{A_1}) + (_____ - _____) = 0$

★★★★★★★★★★★

$m_B \cdot \vec{v}_{B_2}$; $m_B \cdot \vec{v}_{B_1}$

15 ■ $(m_A \cdot \vec{v}_{A_2} - m_A \cdot \vec{v}_{A_1}) + (m_B \cdot \vec{v}_{B_2} - m_B \cdot \vec{v}_{B_1}) = 0$

Eliminando-se os parênteses e transferindo os termos de índice 2 para o membro da direita, teremos:

_____ = _____ .

★★★★★★★★★★★

$m_A \cdot \vec{v}_{A_1} + m_B \cdot \vec{v}_{B_1} = m_A \cdot \vec{v}_{A_2} + m_B \cdot \vec{v}_{B_2}$

16 ■ $m_A \cdot \vec{v}_{A_1} + m_B \cdot \vec{v}_{B_1} = m_A \cdot \vec{v}_{A_2} + m_B \cdot \vec{v}_{B_2}$

$m_A \cdot \vec{v}_{A_1}$ é a quantidade de movimento de A (antes; depois) da interação.

★★★★★★★★★★★

antes

17 ■ Na equação escrita no item anterior, o primeiro membro é a soma das quantidades de movimento de cada carrinho (antes; depois) da interação. O segundo membro representa a _____ das _____ de _____ linear dos carrinhos _____ da interação.

★★★★★★★★★★★

antes; soma; quantidades; movimento; depois

18 ■ Podemos dizer então que, numa interação, a quantidade de movimento linear total do sistema antes da interação é igual à _____ .

★★★★★★★★★★★

quantidade de movimento linear total do sistema após a interação

PROBLEMAS RESOLVIDOS

PROBLEMA 1. Dois carrinhos que comprimem uma mola encontram-se apoiados sobre uma superfície horizontal onde o atrito é desprezível. Inicialmente, o sistema encontra-se em repouso. Os carrinhos são soltos e após a interação movimentam-se em sentidos opostos. Se a massa de um é 2,0 kg e a do outro é 4,0 kg, determine a velocidade do carrinho de massa maior após a interação, sabendo-se que o de massa menor possui velocidade de 2,0 m/s.

1 ■ O sistema é isolado? (sim; não)

★★★★★★★★★★★

sim

2 ■ (Podemos; Não podemos) então aplicar a Lei da Conservação da Quantidade de Movimento Linear.

★★★★★★★★★★★

Podemos

3 ■ Esta lei diz que a quantidade de movimento total do sistema (é; não é) a mesma antes e _____ da interação.

★★★★★★★★★★★

depois

4 ■ A velocidade inicial do sistema é _____; logo, a quantidade de movimento total do sistema, antes da interação, é _____.

★★★★★★★★★★★

zero; zero

5 ■ Portanto, a quantidade de movimento total do sistema após a interação deve ser igual a _____.

★★★★★★★★★★★

zero (igual à inicial)

6 ■ A velocidade da massa de 2,0 kg, após a interação, possui valor igual a _____. Logo,
$|\vec{p}_{A_2}| = 2{,}0\ \text{kg} \cdot 2{,}0\ \text{m/s} = 4{,}0\ \text{kg m/s}$
A velocidade da massa de 4,0 kg, após a interação, é (desconhecida; conhecida). Vamos chamá-la de v_{B_2}. A quantidade de movimento dessa massa após a interação será:
$|\vec{p}_{B_2}| =$ _____

★★★★★★★★★★★

2,0 m/s; desconhecida; $4{,}0 \cdot v_{B_2}$

7 ■ Já sabemos que a soma das quantidades de movimento das duas massas após a interação deve ser igual a _____. Então:
$|\vec{p}_{A_2}| + |\vec{p}_{B_2}| = 0$; logo, $4{,}0\ \text{kg m/s} + 4{,}0 \cdot |\vec{v}_{B_2}| = 0$
Portanto, $v_{B_2} =$ _____.

★★★★★★★★★★★

0; −1,0 m/s

8 ■ $v_{B_2} = -1{,}0$ m/s. O sinal negativo indica que o carrinho de massa 4,0 kg movimenta-se (no mesmo sentido; em sentido oposto) ao do movimento do carrinho de massa 2,0 kg.

★★★★★★★★★★★

em sentido oposto

PROBLEMA 2. Com relação ao problema 1:
a) durante a interação, qual é a variação da quantidade de movimento de cada carrinho?
b) qual é o impulso aplicado em cada carrinho?

1 ■ O carrinho de massa 2,0 kg possui, antes da interação, uma velocidade igual a _____ e, após a interação, sua velocidade é _____. Portanto, a variação em sua quantidade de movimento foi de: _____.

****

zero; 2,0 m/s; $\Delta p_A = m_A \cdot |\vec{v}_{A_2}| - m_A \cdot |\vec{v}_{A_1}| = 2{,}0 \text{ kg} \cdot 2{,}0 \text{ m/s} - 2{,}0 \text{ kg} \cdot 0 = 4{,}0 \text{ kg m/s}$

2 ■ O carrinho de massa 4,0 kg possui, antes de interação, uma velocidade igual a _____ e, após a interação, sua velocidade é _____. Portanto, sua quantidade de movimento variou de: _____.

****

0; - 1,0 m/s; $|\Delta \vec{p}_B| = m_B \cdot |\vec{v}_{B_2}| - m_B \cdot |\vec{v}_{B_1}| = 4{,}0 \text{ kg} \cdot (-1{,}0 \text{ m/s}) - 4{,}0 \text{ kg} \cdot 0 = -4{,}0 \text{ kg m/s}$

3 ■ Portanto, a variação da quantidade de movimento de cada carrinho é de igual módulo, porém de sinal oposto. Como o impulso é igual à variação da quantidade de movimento, o impulso recebido por A é _____ e o impulso recebido por B é _____.

****

$|\vec{I}_A| = 4{,}0 \text{ N s}$; $|\vec{I}_B| = -4{,}0 \text{ N s}$

PROBLEMA 3. Ainda com relação ao problema 1: se a duração da interação for igual a 0,01 s, qual o módulo da força exercida pela mola sobre cada carrinho? (Admita que a força é constante.)

1 ■ $|\vec{I}| = |\vec{F}| \cdot \Delta t$

Você já sabe que $|\vec{I}| =$ _____
Logo, $|\vec{F}| \cdot \Delta t =$ _____

****

$|\Delta \vec{p}|$; $|\Delta \vec{p}|$

2 ■ Considere,então, o carrinho A de massa 2,0 kg. Pode-se escrever, então:

$$|\vec{F}_A| \cdot \Delta t = |\Delta \vec{p}_A|$$

Logo, substituindo os valores, $|\vec{F}_A| =$ _____.

****

$|\vec{F}_A| \, 0{,}01 \text{ s} = 4{,}0 \text{ N s} \quad \therefore \quad |\vec{F}_A| = 4{,}0 \times 10^2 \text{ N}$

3 ■ A força sobre B tem o mesmo valor, porém, _____, isto é, $F_B =$ _____.

****

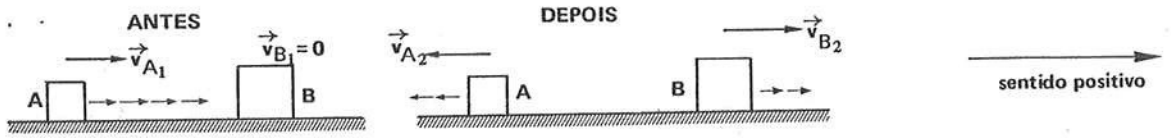
sentido oposto; $-4{,}0 \times 10^2$ N

PROBLEMA 4. Um objeto com massa 5,0 kg movimenta-se para a direita sobre um plano horizontal com velocidade de 10 m/s. Esse objeto colide com um segundo de massa 20 kg que está em repouso. O primeiro objeto, após a interação, recua com velocidade de 2,0 m/s. Qual a velocidade resultante no segundo objeto, após a interação? (Ignore atrito de qualquer espécie.)

1 ■ Desenhe um diagrama que mostre as condições dos objetos do sistema, antes e depois da interação, e escolha um sentido positivo.

ANTES DA INTERAÇÃO DEPOIS DA INTERAÇÃO

★★★★★★★★★★★★



2 ■ O sistema (é; não é) isolado.

★★★★★★★★★★★★

é

3 ■ Se o sistema é isolado, a quantidade de movimento do sistema permanece _____. Portanto, se convencionarmos índice 1 e 2 às velocidades iniciais e finais dos objetos, poderemos escrever a equação que exprime a Lei da Conservação da Quantidade de Movimento Linear numa interação. (Escreva a equação em módulo)

★★★★★★★★★★★★

constante; $m_A \cdot |\vec{v}_{A_1}| + m_B \cdot |\vec{v}_{B_1}| = m_A \cdot |\vec{v}_{A_2}| + m_B \cdot |\vec{v}_{B_2}|$

4 ■ Faça agora uma tabela de valores conhecidos e desconhecidos:

$m_A =$ _____ $|\vec{v}_{A_1}| =$ _____ $|\vec{v}_{A_2}| =$ _____

$m_B =$ _____ $|\vec{v}_{B_1}| =$ _____ $|\vec{v}_{B_2}| =$ _____

★★★★★★★★★★★★

5,0 kg; 10 m/s; - 2,0 m/s (negativo devido ao sentido); 20 kg; 0 (zero); x

5 ■ Substitua esses valores na equação do item 3 e resolva-a para $|\vec{v}_{B_2}| = x$.

★★★★★★★★★★★★

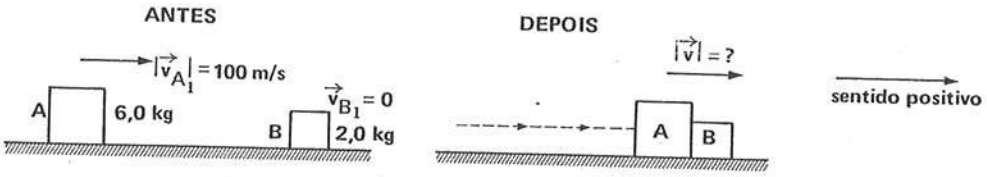
$50 + 0 = -10 + 20x \quad \therefore \quad x = 3{,}0$ m/s, logo $|\vec{v}_{B_2}| = 3{,}0$ m/s

PROBLEMA 5. Um corpo de massa 6,0 kg, em movimento, colide com um outro de massa 2,0 kg, em repouso, de modo que após a interação movem-se juntos formando um só corpo. O atrito, entre os objetos e a plataforma horizontal sobre a qual se movimentam, é desprezível. Calcule a velocidade do conjunto após a colisão.

1 ■ Faça um desenho esquemático das condições antes e depois da interação. Escolha um sentido positivo para as velocidades.

ANTES DEPOIS

★★★★★★★★★★★★



2 ■ O sistema (é; não é) isolado.

★★★★★★★★★★★★

é

3 ■ Portanto, podemos escrever a Lei da Conservação da Quantidade de Movimento Linear, ou seja, _____ _____(em módulo).

★★★★★★★★★★★★

$m_A \cdot |\vec{v}_{A_1}| + m_B \cdot |\vec{v}_{B_1}| = (m_A + m_B) \cdot |\vec{v}|$

4 ■ Na equação anterior, a quantidade de movimento total do sistema é a de um objeto único de massa _____ + + _____ e a velocidade é a velocidade única do conjunto.

★★★★★★★★★★★★

m_A; m_B

5 ■ As grandezas conhecidas e desconhecidas são:

m_A = _____ m_B = _____ $|\vec{v}_{A_1}|$ = _____ $|\vec{v}_{B_1}|$ = _____ $|\vec{v}|$ = _____

★★★★★★★★★★★★

6,0 kg; 2,0 kg; 100 m/s; 0; x

6 ■ Substitua os valores conhecidos e determine o valor da velocidade do sistema após a interação.

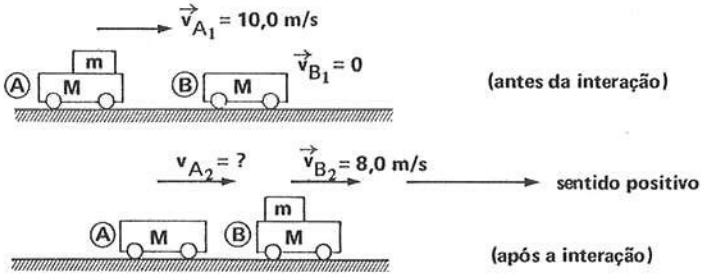
★★★★★★★★★★★★

$|\vec{v}| = +75$ m/s

PROBLEMA 6. Dois vagonetes de massa 10,0 kg cada um colidem entre si. O da esquerda, inicialmente com velocidade 10,0 m/s, colide com o segundo, que está em repouso. Como resultado da colisão, o primeiro vagonete cede sua carga de massa 5,0 kg para o segundo. Este passa a se movimentar com velocidade 8,0 m/s. Determinar a velocidade do primeiro vagonete após a colisão. Considere o atrito desprezível.

1 ■ Desenhe o esquema mostrando a situação, antes e depois da interação.

★★★★★★★★★★★



2 ■ Como o atrito entre os trilhos e os vagonetes são desprezíveis, não existe força externa resultante e portanto o sistema é isolado. Pode-se então escrever a equação da conservação da quantidade de movimento. Lembre-se que a carga do primeiro vagonete passa para o segundo durante a interação.

A equação é: _____ = _____

★★★★★★★★★★★

$(M + m)_A \cdot |\vec{v}_{A_1}| + M_B \cdot |\vec{v}_{B_1}| = M_A \cdot |\vec{v}_{A_2}| + (M + m)_B \cdot |\vec{v}_{B_2}|$

onde M é a massa de cada vagonete e m é a massa da carga.

3 ■ Substitua os valores conhecidos da equação e resolva-a para $|\vec{v}_{A_2}|$.

★★★★★★★★★★★

$(10 + 5) \cdot 10{,}0 + 10 \cdot 0 = 10 \cdot |\vec{v}_{A_2}| + (10 + 5{,}0) \cdot 8{,}0$

$|\vec{v}_{A_2}| = +3{,}0$ m/s

portanto, após a interação, o primeiro vagonete, agora sem a carga, movimenta-se no mesmo sentido.

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ Um astronauta encontra-se em repouso numa região do espaço onde a gravidade é desprezível. A sua massa, incluindo seu equipamento, é de 180 kg. Ele lança então um tanque de oxigênio vazio de massa 30 kg com velocidade de 10,0 m/s num certo sentido. Com que velocidade o astronauta recua?

2 ■ Dois astronautas A e B encontram-se no espaço, onde tanto a gravidade como o atrito podem ser desprezados. Eles estão inicialmente em repouso. A possui massa 120 kg e B, 90 kg. A empurra B em direção à espaçonave. Se, após a interação, a velocidade de B é de 0,4 m/s, qual é a velocidade de A, e em que sentido ele se movimenta?

3 ■ No problema 2, qual é o impulso recebido por A e por B?

4 ■ No problema 2, se o tempo de interação for de 0,10 s, qual é o módulo da força, suposta constante, recebida por B?

5 ■ Um pedaço de argila de massa 80 g e velocidade 2,0 m/s colide com um jarro de massa 120 gramas, que se encontra em repouso. Supondo o sistema isolado, determine a velocidade do sistema, após a interação, se a argila grudar no jarro.

6 ■ Dois patinadores encontram-se no centro de uma pista circular de gelo e um empurra o outro. O patinador de massa 75 kg atinge a borda da pista depois de 12 s. Depois de quanto tempo o patinador de massa 90 kg atingirá a borda da pista, no sentido oposto? Considere o raio da pista igual a 24 metros.

7 ■ Dois astronautas A e B estão em repouso numa região onde a gravidade e o atrito são desprezíveis. O astronauta A possui massa 110 kg. O astronauta B possui massa 90 kg, inclusive uma caixa de ração de 10 kg. B joga a caixa para A com uma velocidade de 12 m/s. Calcule:

a) a velocidade de B após jogar a caixa.

b) a velocidade de A após segurar a caixa junto ao seu corpo.

8 ■ Um corpo com velocidade **v**, movimentando-se sobre uma superfície horizontal sem atrito, colide com outro igual e os dois se juntam, formando, após a interação, um corpo único. Qual a velocidade resultante do sistema?

9 ■ Qual seria a velocidade do corpo combinado no problema 8, se o corpo que estava em repouso fosse 2 vezes maior?

10 ■ Um rapaz de patins está parado no centro de uma pista, onde o atrito é desprezível. Quando uma jovem de massa 50 kg vem ao seu encontro, com velocidade 6,0 m/s, o rapaz abraça-a e, após a interação, ambos estão se movimentando juntos. Se a massa do rapaz é de 70 kg, qual é a velocidade resultante final do sistema?

11 ■ Um bloco com velocidade V e massa M colide com um outro em repouso e de massa m. Como resultado da colisão, o primeiro recebe uma velocidade $\frac{V}{2}$ no sentido oposto ao seu movimento inicial. Qual a velocidade do bloco de massa m após a interação?
(Considere os blocos em cima de uma plataforma horizontal sem atrito.)

12 ■ Um objeto de massa 10 kg desliza sobre um plano horizontal sem atrito, com velocidade de 20 m/s dirigida para a direita. Ele colide com um segundo objeto de massa 40 kg, em repouso. O primeiro objeto recua com velocidade 4,0 m/s. Qual é a velocidade do segundo objeto, após a interação? Qual é o impulso recebido pela massa de 10 kg, se a interação se processou em 0,10 s? Qual é a força aplicada sobre cada um?

13 ■ Um rifle carregado encontra-se sobre uma plataforma de gelo sem atrito, próximo a um bloco de madeira de massa 3 kg. O rifle descarrega-se automaticamente, emitindo um projétil que se aloja no bloco. O projétil possui massa de 0,03 kg e sai do cano com velocidade de 500 m/s. O rifle possui massa de 4,0 kg.

a) Qual é a velocidade de recuo do rifle?

b) Qual é a velocidade do bloco de madeira após o impacto? (Observe que a massa total inclui a massa do projétil.)

c) Qual é o impulso recebido pelo rifle?

d) Qual é o impulso recebido pelo projétil?

e) Qual é o impulso recebido pelo bloco de madeira?

f) Qual é o impulso recebido pelo projétil na interação com o bloco de madeira?

RESPOSTAS

1. v = −2,0 m/s (sentido oposto ao do tanque de oxigênio)
2. v_{A_2} = −0,3 m/s; em sentido oposto ao do movimento de B.
3. I_A = −36 N s; I_B = 36 N s
4. F = 360 N
5. v = 0,8 m/s

6. O patinador de massa 75 kg percorre 24 m em 12 s. Logo, sua velocidade é 2,0 m/s. Esta é a velocidade apos a interação. Como a pista é de gelo, admitimos o sistema isolado. Fazendo os cálculos, encontramos a velocidade do outro patinador e como este deve percorrer 24 metros, seu tempo será de aproximadamente 14 s(14,4 s).

7. a) - 1,5 m/s; b) 1,0 m/s

8. $\frac{v}{2}$ 9. $\frac{v}{3}$ 10. 2,5 m/s 11. $\frac{3M \cdot V}{2 \cdot m}$

12. 6 m/s; - 240 N s; a massa de 10 kg recebe F = - 2 400 N e a massa de 40 kg, F = 2 400 N.

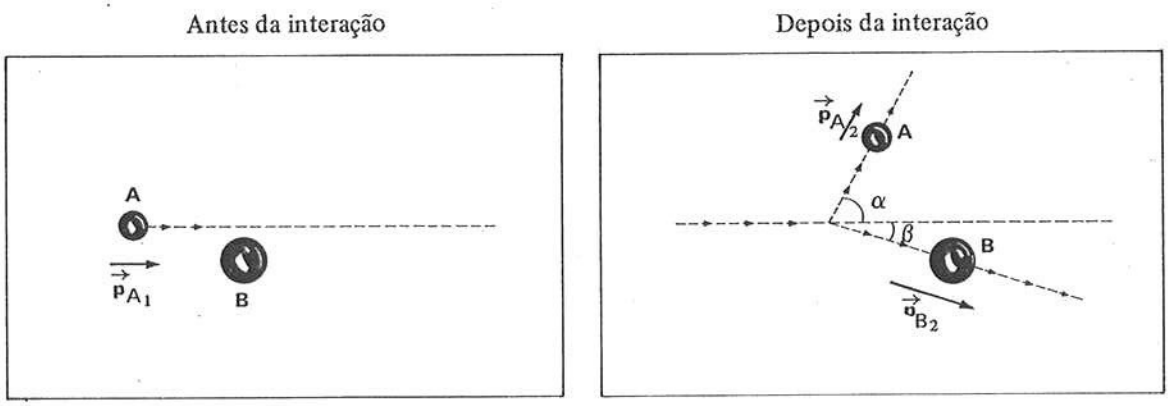
13. a) $-\frac{15}{4}$ m/s; b) $\simeq -5$ m/s; c) - 15 N s; d) 15 N s; e) - 15 N s

B – INTERAÇÕES EM DUAS DIMENSÕES

Aplicaremos, nesta parte, a Lei da Conservação da Quantidade de Movimento Linear para alguns casos de interações em duas dimensões.

A interação em duas dimensões se dá quando as direções do movimento dos objetos que participam da interação não são iguais. O quadro abaixo ilustra um exemplo. Leia-o e observe-o atentamente. Os itens 1 a 20 referem-se a ele.

QUADRO C



A esfera B encontra-se em repouso sobre um plano horizontal onde o atrito é desprezível. A esfera A movimenta-se na direção de B de forma que a colisão não seja frontal, isto é, de frente a frente.

Após a interação, a esfera A movimenta-se numa direção que faz um ângulo α com a direção original, e B movimenta-se numa outra direção que faz um ângulo β com a direção original.

1 ■ Como o atrito é desprezível e o plano de movimento é horizontal, o sistema constituído pelas duas esferas (é; não é) isolado.

★★★★★★★★★★★

é

2 ■ Se o sistema é isolado, vale então a Lei _____.

★★★★★★★★★★

da Conservação da Quantidade de Movimento Linear.

3 ■ Esta Lei diz que: a quantidade de movimento total do sistema **antes** da interação é igual à _____

_____.

★★★★★★★★★★★

quantidade de movimento total do sistema **depois** da interação

4 ■ A quantidade de movimento total do sistema (é; não é) uma grandeza vetorial.

★★★★★★★★★★★

é

5 ■ A quantidade de movimento total do sistema, $\vec{P}_T$, é obtida pela soma (vetorial; algébrica) das quantidades de movimento linear de cada objeto pertencente ao sistema.

★★★★★★★★★★★

vetorial

6 ■ Logo, no caso da interação entre as duas bolas ilustradas no quadro C, a quantidade de movimento total do sistema é:

$$\vec{P}_{T_1} = \vec{p}_{A_1} + \vec{p}_{B_1} \quad \text{(antes da interação)}$$

Supondo a massa de A igual a 0,20 kg e a massa de B igual a 0,40 kg e a velocidade de A, antes da interação, $v_{A_1} = 10$ m/s, a quantidade de movimento total do sistema será em módulo:

$|\vec{P}_{T_1}| =$ _____.

★★★★★★★★★★★

$|\vec{P}_{T_1}| = |\vec{p}_{A_1}| + |\vec{p}_{B_1}| = m_A \cdot |\vec{v}_{A_1}| + m_B \cdot |\vec{v}_{B_1}| = 0{,}20 \cdot 10 + 0{,}40 \cdot 0 = 2{,}0$ kg m/s

7 ■ Logo, a quantidade de movimento total coincide com a quantidade de movimento de A porque a bola B (está; não está) em repouso, e, portanto, sua quantidade de movimento é igual a _____.

★★★★★★★★★★★

está; zero

8 ■ Então, o vetor que representa a quantidade de movimento total (coincide; não coincide) com $\vec{p}_{A_1}$.

★★★★★★★★★★★

coincide

9 ■ Podemos, por conseguinte, representar $\vec{P}_{T_1}$ pelo vetor horizontal dirigido para a (direita; esquerda), de módulo igual a _____.

★★★★★★★★★★★

direita; 2,0 kg m/s

10 ■ Represente $\vec{p}_{T_1}$ vetorialmente, utilizando a escala 1 cm = 0,5 kg m/s.

★★★★★★★★★★★

$\vec{p}_{T_1}$ ⟶

11 ■ Pela Lei da Conservação da Quantidade de Movimento Linear, a quantidade de movimento total do sistema após a interação deve ser (igual a; diferente da) inicial.

★★★★★★★★★★★

igual a

12 ■ Logo, $\vec{P}_{T_1} =$ _____

★★★★★★★★★★★

$\vec{P}_{T_2}$

13 ■ Represente, então, $\vec{P}_{T_2}$ vetorialmente, utilizando a mesma escala usada para $\vec{P}_{T_1}$.

★★★★★★★★★★★

$|\vec{P}_{T_2}| = 2{,}0$ kg m/s $\qquad \xrightarrow{\vec{p}_{T_2}}$

14 ■ A quantidade de movimento total do sistema após a interação é a soma (vetorial; algébrica) das quantidades de movimento de A e de B, após a interação. Portanto:

$\vec{P}_{T_2}$ = _____ + _____

★★★★★★★★★★★

vetorial; $\vec{p}_{A_2}$; $\vec{p}_{B_2}$

15 ■ A soma vetorial $\vec{p}_{A_2} + \vec{p}_{B_2} = \vec{P}_{T_2}$ terá módulo, direção e sentido igual a _____

★★★★★★★★★★★

$\vec{P}_{T_1}$

16 ■ Para melhor compreendermos o processo, vamos supor que após a interação o ângulo entre a direção do movimento de A e a direção original seja de 60° e que a direção de B faça um ângulo de 30°. E que a velocidade de A, após a interação, é de 5,0 m/s. Logo, o módulo da quantidade de movimento de A, após a interação, será: $|\vec{p}_{A_2}|$ = _____.

★★★★★★★★★★★

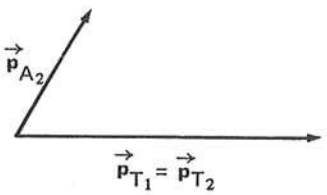
1,0 kg m/s

17 ■ Quanto valerá a quantidade de movimento de B, após a interação?
Já sabemos que $\vec{p}_{A_2} + \vec{p}_{B_2} = \vec{P}_{T_1} = \vec{P}_{T_2}$.
Portanto, nesta equação, conhecemos $\vec{p}_{A_2}$ e _____.

★★★★★★★★★★★

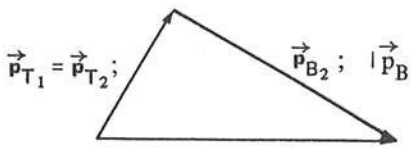
$\vec{P}_{T_1}$ (e, por conseqüência, $\vec{P}_{T_2}$)

18 ■ Então, a soma vetorial de $\vec{p}_{A_2}$ com o vetor desconhecido $\vec{p}_{B_2}$ resulta o vetor conhecido _____.
Complete o triângulo vetorial abaixo e determine o vetor $\vec{p}_{B_2}$.
Escala: 1 cm = 0,5 kg m/s



; $|\vec{p}_{B_2}|$ = _____.

★★★★★★★★★★★



19 ■ Quanto valerá a velocidade de B após a interação? A quantidade de movimento de B, após a interação, possui módulo $|\vec{p}_{B_2}|$ = _____, valor este determinado através do diagrama vetorial no item 18.

★★★★★★★★★★★

$\simeq 1{,}7$ kg m/s

20 ■ Como $|\vec{p}_{B_2}| = m \cdot |\vec{v}_{B_2}|$, então $|\vec{v}_{B_2}| =$ _____.

★★★★★★★★★★★★

$\simeq 4{,}2$ m/s

O exemplo que você acabou de analisar mostrou que, para se resolver problemas de interações em duas dimensões, necessitamos utilizar vetores, pois a quantidade de movimento é uma grandeza vetorial. Quando dizemos que ela se conserva, estamos afirmando que tanto o módulo, como a direção e o sentido, permanecem inalterados.

Uma granada quando explode envia estilhaços para todas as direções, de modo que a soma vetorial da quantidade de movimento de cada estilhaço seja igual à quantidade de movimento total da granada antes da explosão.

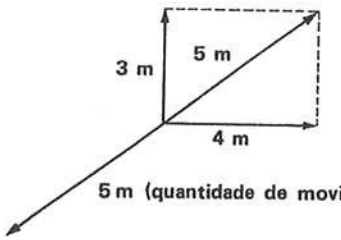
PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ Uma bomba está inicialmente em repouso. Ela explode em 2 partes iguais de massa M. Uma sai para o norte com velocidade v. Para que direção e sentido deve sair a outra parte, e com que velocidade?

2 ■ Uma bomba está inicialmente em repouso. Ela explode em 4 pedaços iguais. Um vai para o norte com velocidade v e o outro, para leste com velocidade v. Qual é a direção, o sentido e a velocidade de cada um dos outros dois pedaços da bomba?

3 ■ Uma bomba explode em 3 pedaços iguais, A, B e C. A e B saem formando entre si um ângulo de 90° e com velocidade de 4,0 m/s e 3,0 m/s respectivamente. Qual é a direção, o sentido e a velocidade da parte C? Considere a bomba inicialmente em repouso.

RESPOSTAS

1. A outra parte deve sair com velocidade v para o sul, isto é, com quantidade de movimento de mesmo módulo e em sentido oposto ao do primeiro pedaço, de modo que a quantidade de movimento dos dois fragmentos seja nula, pois a bomba inicialmente estava em repouso.
2. Um dos pedaços vai para o sul e o outro para oeste, ambos com velocidade de módulo v.
3. 

; v = 5 m/s

5 m (quantidade de movimento do terceiro pedaço)

SEÇÃO 6 – NEWTON E AS TRÊS LEIS DE MOVIMENTO – HISTÓRICO

No século XVII, a primazia científica transladava-se da Itália para a Inglaterra e França. Na Inglaterra, principalmente, o ambiente era propício para a Ciência. Fazendo da indústria manufatureira seu principal agente modernizador, esse país teve de desenvolver extraordinariamente a Marinha para conquistar os mercados de além-mar. A navegação e a indústria eram naquela época empresas novas e exigiam conhecimentos científicos novos. Não é pois de se estranhar que existisse entre os ingleses um grande interesse pela pesquisa. Entretanto, as velhas universidades, ainda eivadas de espírito medieval, não conseguiam atender e satisfazer a esses interesses. Deste modo, a Ciência teve de progredir em círculos extra-universitários. Esses círculos eram as academias ou sociedades científicas, onde se discutia e se pesquisava livremente.

Em 1645, fundou-se em Londres a mais famosa delas, o "Invisible College", que se transformou mais tarde numa instituição oficial da coroa inglesa, a "Royal Society". Os assuntos versados nela eram da mais variada gama: teoria de circulação do sangue, teoria de Copérnico, natureza dos cometas e das novas, telescópios e lentes, horror da Natureza ao vácuo, experiência de Torricelli, queda dos corpos, medida do peso do ar, etc. Deve-se a esse grupo, reunido em torno da Royal Society, o mérito de ter lançado as bases da Mecânica. A essa tarefa, em geral, associa-se apenas o nome de Newton, sem dúvida, o maior deles. Contudo, considerar a edificação da Mecânica uma obra individual de I.Newton (1642–1727) seria desconhecer a História e a verdadeira natureza da Ciência. Sem aquele ambiente estimulante, sem a amizade e a rivalidade de R. Boyle (1627–1691), W. Petty (1623–1687), C. Wren (1632–1723), R. Hooke (1635–1703), E. Halley (1656–1742), todos cientistas de primeira grandeza, o "Principia" (onde Newton expõe suas três leis) teria pouca probabilidade de ter acontecido. Por isso, ao se falar na formação da Mecânica, nunca se deve esquecer esse aspecto social e cultural da Grã-Bretanha daquela época. O "Principia" é considerado uma das maiores obras-primas da literatura científica. Produto da época histórica e do gênio de Newton, foi escrito com o objetivo de "descobrir as diversas forças da Natureza a partir dos fenômenos de movimento e esclarecer os outros fenômenos com o uso dessas forças". Outro aspecto a ser destacado é a maneira sistemática e abstrata do tratamento newtoniano. Nem Galileo, nem Huygens, apesar de tentarem, haviam conseguido tal façanha. Newton abarcou todos os fenômenos relativos ao movimento conhecidos até então, assentando as leis fundamentais. E conseguiu isso dando a elas um caráter altamente abstrato e geral. Libertou-se dos casos particulares e erigiu com base nelas um sistema sem contradições. Assim, podia-se "explicar" os fenômenos individuais deduzindo-os dos princípios fundamentais. Não só isso: conseguiu prever e explicar os fenômenos ainda não descobertos. Era uma teoria científica na verdadeira acepção dessa palavra.

Para se compreender a estrutura das três leis, é preciso levar em consideração um aspecto não muito ressaltado na maioria dos livros didáticos. Trata-se da cosmovisão atomística de Newton. Como para Galileo, também adepto do atomismo, o Universo para Newton era constituído de átomos (partículas) e vácuo. Esses átomos (partículas) abandonados a si mesmo e sem a interferência de outros (ou seja, no seu estado natural) estariam em repouso ou em movimento retilíneo e uniforme. Em outras palavras, Newton estabeleceu um sistema de referencial particular na Natureza. Nele seriam válidas as suas leis. Eis o significado da Primeira Lei. A Segunda mostra como se pode modificar esse estado natural. O agente modificador ele chamou abstratamente de força e estabeleceu sua relação com a variação na velocidade (aceleração). Outrossim, ele considerou a resistência a essa mudança proporcional à quantidade de átomos do corpo. Essa quantidade ele chamou de massa, uma grandeza intrínseca e característica do corpo. Finalmente, com a Terceira Lei, esclareceu a origem das forças como uma interação entre partículas (átomos). Ou seja, uma partícula tem a propriedade de exercer uma ação sobre outra e receber uma reação igual e contrária. Os corpos de tamanhos não desprezíveis eram considerados como um sistema de partículas. Daí a necessidade de todo um aparato matemático. Como se pode notar, nos alicerces das três leis existe claramente a visão atomística da Natureza. O gênio de Newton está justamente na sua habilidade em associar essa cosmovisão com fatos concretos, experimentais, abstraindo-os na forma de leis.

A partir de então, os átomos se movimentarão segundo as leis de Newton. A essa cosmovisão, atomismo mais a mecânica newtoniana, dá-se o nome de mecanicismo, que seria a visão dominante por um longo tempo.

CAPÍTULO VII

Energia Mecânica

OBJETIVOS: Ao final deste capítulo, o estudante deve estar apto para:

a. **conceituar energia cinética e potencial.**
b. **definir operacionalmente trabalho de uma força constante.**
c. **resolver problemas utilizando o conceito de energia e trabalho.**
d. **conceituar trabalho de força variável e relacioná-lo com energia.**
e. **definir energia mecânica de um objeto.**
f. **caracterizar transformação de energia mecânica.**
g. **enunciar a Lei da Conservação de Energia Mecânica.**
h. **conceituar energia interna de um objeto e enunciar a Lei da Conservação de Energia na nova situação.**
i. **resolver problemas sobre colisões.**
j. **definir potência.**

Energia é uma palavra que certamente já está incorporada em seu repertório. Ela é considerada uma das grandezas fundamentais da ciência em geral e especialmente da Física, pois através dela podemos compreender melhor os inúmeros fenômenos da Natureza.

Todos nós sabemos que, para nos mantermos vivos, necessitamos de alimentos que nos fornecem energia para o próprio desenvolvimento do corpo, bem como para efetuarmos trabalhos.

Ao observarmos as correntes de água, suas quedas, notamos quão grande é a energia que elas encerram. Uma fração ínfima de água é aproveitada pelo homem principalmente para gerar energia elétrica. Por outro lado, o Sol envia à Terra uma enorme quantidade de energia sem a qual, como você sabe, a vida dos seres sobre a superfície terrestre seria impossível.

Se invadirmos o universo microscópico, estamos diante de um quadro deslumbrante. Vemos que o núcleo atômico contém uma quantidade fantástica de energia. Notamos que os elétrons se movimentam ao redor do núcleo com uma determinada quantidade de energia que os mantém em órbitas específicas.

Se caminharmos ainda mais, deparamos com a conhecida equação da mecânica relativística: $E = m \cdot c^2$. A massa pode ser transformada em energia! É realmente deslumbrante! Não será, todo corpo, levado à expressão mais simples, um punhado de energia?

Tudo isso é emocionante. O conceito de energia deve ser, realmente, uma grandeza física importante. Evidentemente, ela não é algo fácil de se compreender. Não se pode defini-la prontamente. Para entendê-la, não há outra maneira senão começar com informações simples e não podemos fugir do esquema clássico do processo empírico, isto é, deveremos observar os fatos, catalogá-los e analisá-los.

Em nossa introdução ao conceito de energia, iremos desenvolver os conceitos de energia cinética e potencial, suas medidas e as leis gerais de transferência e de conservação de quantidades medidas.

Durante o desenvolvimento do curso, outras formas de energia serão analisadas, assim como algumas grandezas derivadas.

SEÇÃO 1 – CONCEITO DE ENERGIA

Objetivos: **a. conceituar energia de movimento e energia de posição.**
b. caracterizar energia potencial gravitacional e energia potencial elástica.
c. conceituar variação de energia de um objeto.

A – INTRODUÇÃO AO CONCEITO DE ENERGIA

1 ■ Você já terá, por certo, ouvido falar em energia. Por exemplo, em relação ao vento, que muitas vezes chega a destruir casas, arrancar árvores, etc., costumamos dizer que ele possui energia.
Um cata-vento colocado de fronte a uma corrente de ar (vento) começa a girar, porque o vento possui _____.

★★★★★★★★★★ ★★

energia

2 ■ Quando uma banana de dinamite colocada no interior de uma rocha é detonada, pedras de vários tamanhos são atiradas, pois durante a detonação há liberação de grande quantidade de _____. A energia, portanto, é a responsável pelo movimento das pedras.

★★★★★★★★★★★

energia

3 ■ As pedras acima referidas são atiradas em todas as direções, algumas a altitudes razoáveis. Se uma delas cair sobre um automóvel, ela pode amassá-lo, pois possui _____. Esta energia está, então, associada ao movimento da pedra.

★★★★★★★★★★★

energia

4 ■ Um caminhão, parado numa ladeira, perde os freios; então ele desce a ladeira, ganhando velocidade; existe uma energia associada a seu _____; essa energia faz com que o caminhão possa derrubar, por exemplo, um muro.
Dizemos, então, que, enquanto o caminhão está parado na ladeira, ele apresenta uma energia associada à sua **posição** em relação a um nível mais baixo. Essa energia é que provocou o _____ do carro.

★★★★★★★★★★★

movimento; movimento

5 ■ Uma queda-d'água pode fazer girar uma roda, pois a água em movimento tem _____; essa energia é transferida à roda, fazendo-a girar.

★★★★★★★★★★★

energia

6 ■ Um chuveiro elétrico pode aquecer uma certa quantidade de água a partir de uma corrente elétrica percorrendo um fio especial. A corrente elétrica (em movimento) tem _____. Ela é a responsável pelo aquecimento da água.

★★★★★★★★★★★

energia (elétrica)

7 ■ Os raios solares, concentrados no foco de uma lente, podem iniciar uma combustão. Os raios solares transportam _____.

★★★★★★★★★★★

energia (calorífica)

8 ■ Quando você "dá corda" em um relógio, na realidade você está comprimindo uma mola. Ela terá, nessas condições, energia de (posição; movimento). Esta energia é que fará os ponteiros movimentarem-se durante certo tempo.

★★★★★★★★★★★

posição

9 ■ Os exemplos acima indicam que, à primeira vista, a energia apresenta-se sob diversas formas: ora como energia de movimento, associada a objetos em _____; ora como energia de posição, associada à _____ dos objetos; ora como energia elétrica; ora como energia calorífica, etc.

★★★★★★★★★★★

movimento; posição

B – ENERGIA DE MOVIMENTO OU ENERGIA CINÉTICA DE UM OBJETO

1 ■ Vamos supor um objeto em movimento. Um navio, por exemplo. Podemos, normalmente, calcular sua velocidade média, sua velocidade instantânea e também a força resultante que movimenta o navio, determinando-se sua _____ e sua _____.

★★★★★★★★★★★

aceleração; massa

2 ■ Podemos, então, descrever o movimento do navio e estudar as forças que atuam sobre ele. Mas, se indagarmos: O que provoca o movimento do navio? O que fornece a força necessária para seu movimento? Parece-nos que devemos procurar algo além da simples descrição do movimento. É o que tentaremos fazer em seguida.

3 ■ Todos nós já incorporamos a idéia de que um combustível contém energia acumulada e, quando queimado, essa energia é liberada. Essa energia liberada é o que coloca o objeto em _____. Pode-se concluir que o combustível transfere parte de sua energia ao motor do navio, fazendo-o movimentar-se.

★★★★★★★★★★★

movimento

4 ■ Um combustível tem, portanto, _____ acumulada, que, quando convenientemente aproveitada e transferida ao objeto, pode colocá-lo em _____. Objetos em movimento têm, assim, _____.

★★★★★★★★★★★

energia; movimento; energia

5 ■ Num automóvel, há queima de combustível enquanto em movimento. O combustível contém energia e essa energia liberada pela queima mantém o automóvel em _____.

★★★★★★★★★★★

movimento

6 ■ Uma bola de bilhar em movimento sobre uma mesa (tem; não tem) energia. Ela, ao colidir com outra em repouso, é capaz de colocá-la em _____.

★★★★★★★★★★★

tem; movimento

7 ■ As águas de um rio possuem velocidade, isto é, se movimentam. Elas possuem _____, pois são capazes de colocar em movimento rodas ou turbinas.

★★★★★★★★★★★

energia

8 ■ A Lua gira em torno da Terra. Ela tem uma certa velocidade. A Lua (possui; não possui) energia associada ao movimento.

★★★★★★★★★★★

possui

9 ■ Associamos então, a qualquer objeto _____, uma energia: **energia de movimento** ou **energia cinética.** Evidentemente, "alguém" colocou o objeto em movimento, transferindo a ele uma certa quantidade de _____.

★★★★★★★★★★ ★

em movimento; energia

10 ■ Um objeto em movimento (terá; não terá) sempre energia cinética.

★★★★★★★★★★★

terá

11 ■ A essa altura, estamos interessados nas grandezas que envolvem, basicamente, a energia cinética. Tratando-se de energia associada ao movimento, parece-nos evidente que uma delas será a _____ do objeto. Vejamos alguns exemplos.

★★★★★★★★★★★

velocidade

12 ■ Sejam duas bolas de bilhar idênticas, isto é, de mesma massa, em movimento. Uma delas possui maior velocidade. Aparentemente, aquela que possui velocidade maior tem (maior; menor) energia cinética.

★★★★★★★★★★★

maior

13 ■ Dois carros, A e B, em movimento, têm seus velocímetros marcando 80 km/h e 50 km/h, respectivamente. Se imaginarmos os dois carros chocando-se com um muro, é de se esperar que o "estrago" maior será aquele devido ao carro (A; B). Aparentemente, o primeiro possui (maior; menor) energia cinética.

★★★★★★★★★★★

A; maior

14 ■ Dois projéteis de mesma massa são disparados por armas diferentes. O projétil que tiver _____ terá maior energia cinética.

★★★★★★★★★★★

velocidade maior

15 ■ Parece-nos que o objeto que tiver maior velocidade terá maior _____. Portanto, a energia cinética de um objeto (depende; não depende) de sua velocidade.

★★★★★★★★★★★

energia cinética; depende

16 ■ Reveja o item 11. A outra grandeza será, talvez, a massa do objeto em movimento. Veja as seguintes experiências:

a) Um caminhão de transporte e um carro de passeio possuem a mesma velocidade. Se ambos colidirem contra um obstáculo, o "estrago" feito pelo _____ será maior. O caminhão de transporte terá, então, (maior; menor) energia cinética porque possui (maior; menor) massa.

b) Sejam duas esferas de mesmo tamanho, uma de chumbo e outra de alumínio. Ambas se movimentam sobre uma mesa com a mesma velocidade. A de chumbo terá _____ energia cinética, pois tem _____ massa.

★★★★★★★★★★★

caminhão de transporte; maior; maior; maior; maior

17 ■ Aparentemente, o objeto de maior _____ terá maior energia _____.

★★★★★★★★★★★

massa; cinética

18 ■ Pelo que você viu até aqui, poderá concluir que, basicamente, a energia cinética de um objeto depende de _____ e de _____. Resta descobrir **de que maneira** se dá esta dependência. Veremos isto mais adiante.

★★★★★★★★★★★

sua velocidade; sua massa

19 ■ Veremos agora em que caso podemos afirmar que a energia cinética está **variando.** Você deve, antes, fixar o significado do termo **variar.**

20 ■ Vamos supor que você tem uma conta bancária. Se durante um determinado mês você efetuou depósitos, ela sofreu acréscimo, isto é, seu saldo aumentou. Você dirá, então, que sua conta sofreu uma **variação.**

21 ■ Se durante um outro mês você não efetuou nenhum depósito e também não retirou dinheiro algum, o saldo de sua conta bancária não aumentou nem diminuiu. Você dirá, então, que ela não sofreu _____, ou seja, permaneceu _____.

★★★★★★★★★★★

variação; constante

22 ■ Se durante um mês você somente retirou dinheiro, o saldo de sua conta (sofreu; não sofreu) variação. Você calcularia esta variação efetuando _____ entre os saldos.

★★★★★★★★★★★

sofreu; a diferença

23 ■ Pois bem, a energia cinética de um objeto, assim como a conta bancária, pode sofrer ou não variação. Desta forma, se desejarmos variar a energia cinética de um objeto, devemos variar sua _____ ou sua _____.

★★★★★★★★★★★

massa; velocidade

24 ■ Um carro se movimenta com o velocímetro marcando 30 km/h; o motorista pisa o acelerador e o aparelho passa a registrar 60 km/h. A energia cinética (aumentou; diminuiu). Ela sofreu uma _____. Neste exemplo, supõe-se que a massa não se alterou.

★★★★★★★★★★★

aumentou; variação

25 ■ Se, em prosseguimento ao item anterior, o motorista pisa os freios e o velocímetro passa a registrar 10 km/h, a energia cinética do carro (diminui; aumenta), e ela, então, sofre _____.

★★★★★★★★★★★

diminui; uma variação

26 ■ Admitindo a hipótese de que a massa dos objetos não se altera durante o movimento, sempre que for constatada uma variação de velocidade podemos afirmar que a energia _____ está _____.

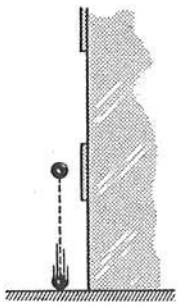
★★★★★★★★★★★

cinética; variando

C – ENERGIA DE POSIÇÃO OU ENERGIA POTENCIAL GRAVITACIONAL DE UM OBJETO

1 ■ Veremos, nesta parte, que podemos associar a objetos um outro tipo de energia: aquela que depende da posição do objeto no espaço.

2 ■ Uma pedra é abandonada do primero andar de um edifício. Ela atingirá a parte mais baixa (solo) com uma certa velocidade, ou seja, em termos de energia, com uma determinada _____. Antes de ser abandonada, a energia cinética era (nula; não-nula). Dizemos que a pedra, nessa circunstância, possuía uma **energia de posição** ou **energia potencial gravitacional**. Essa posição corresponde, no caso, à altura do 1º andar. Essa energia de posição, liberada durante a queda, é que é a responsável pelo surgimento da energia cinética.



★★★★★★★★★★★

energia cinética; nula

3 ■ Um lustre preso ao teto de uma sala, em relação ao solo (referência), tem _____ e ela pode ser liberada. Para tal, basta cortar o elo que prende o lustre ao teto. Ele cairá desenvolvendo uma energia _____.

★★★★★★★★★★★

energia potencial gravitacional; cinética

4 ■ Você está, neste instante, sentado em sua carteira. Em relação a um nível mais baixo (assoalho), você (possui; não possui) energia potencial gravitacional. A justificativa é que em relação ao assoalho você está a uma certa _____.

★★★★★★★★★★★

possui; altura

5 ■ Associamos a um certo objeto uma **energia de posição** ou **energia potencial gravitacional**, qualquer que seja sua posição nas proximidades da superfície da Terra, em relação ao nível de _____.

★★★★★★★★★★★

referência

6 ■ Como foi feito com a energia cinética, procuraremos saber **de que depende**, basicamente, a energia potencial gravitacional de um objeto. Um livro, o de Português por exemplo, encontra-se sobre a mesa. Em relação ao solo, ele terá uma certa energia _____. Se erguermos o livro 1,0 metro acima do nível da mesa, sua energia potencial gravitacional será (maior; menor) do que quando estava sobre a mesa.

★★★★★★★★★★★

potencial gravitacional; maior

7 ■ Um homem sobe pela escada de um edifício. Ao encontrar-se no 1º andar, ele (terá; não terá) energia potencial gravitacional em relação ao nível mais baixo. Em relação ao nível do 1º andar, ele (terá; não terá) energia potencial gravitacional. Quanto mais alto ele estiver em relação ao nível mais baixo, (maior; menor) será sua energia potencial gravitacional.

★★★★★★★★★★★

terá; não terá; maior

8 ■ Atente para os seguintes casos:

a) um carro está subindo uma ladeira;

b) um carro que está no topo de uma ladeira perde os freios e desce ladeira abaixo;

c) uma pessoa sobe pelo elevador até o 10° andar de um edifício.

Nos três casos acima citados, podemos afirmar que a energia potencial gravitacional (varia; não varia).

★★★★★★★★★★★

varia

9 ■ A energia de posição do tipo gravitacional de um objeto estará variando quando sua altura em relação a um nível de referência estiver _____.

★★★★★★★★★★★

variando

10 ■ Aparentemente, a energia potencial gravitacional de um determinado objeto depende de sua _____ em relação ao nível de referência.

★★★★★★★★★★★

altura

11 ■ A distância entre cada andar de um prédio é constante. Existe no piso de cada andar um pacote de açúcar de 5,0 kg.

a) A energia potencial gravitacional do pacote do 1º andar é (maior que; menor que; igual a) a do que está no 2º andar.

b) A energia potencial gravitacional do pacote do 3º andar em relação ao 2º andar é (maior que; menor que; igual a) a energia potencial do pacote do 2º andar em relação ao 1º andar.

★★★★★★★★★★★

menor que; igual a

12 ■ Dois pacotes de açúcar, um de 5,0 kg e outro de 2,0 kg, encontram-se sobre a mesa da cozinha. A energia potencial gravitacional do pacote de 5,0 kg é (maior que; menor que; igual a) a do pacote de 2,0 kg.

★★★★★★★★★★★

maior que

13 ■ Objetos de massas diferentes encontram-se sobre sua carteira. Aquele de _____ massa terá maior energia potencial gravitacional.

★★★★★★★★★★★

maior

14 ■ Aparentemente, a energia de posição depende também da _____ do objeto. Quanto maior sua massa, maior sua _____.

★★★★★★★★★★★

massa; energia potencial gravitacional

15 ■ Combinando o que você observou no item 10 e no 14, pode-se concluir que, aparentemente, a energia potencial gravitacional de um objeto depende de sua _____ e de sua _____. Resta você descobrir de que maneira se dá essa dependência. Esse fato você estudará mais adiante.

★★★★★★★★★★★

altura em relação a um nível de referência; massa

D – ENERGIA DE POSIÇÃO DE CORPOS ELÁSTICOS OU ENERGIA POTENCIAL ELÁSTICA

Além da energia cinética e da energia potencial gravitacional, alguns corpos, como uma mola, um elástico, uma lâmina de aço, apresentam um outro tipo de energia: energia potencial elástica.

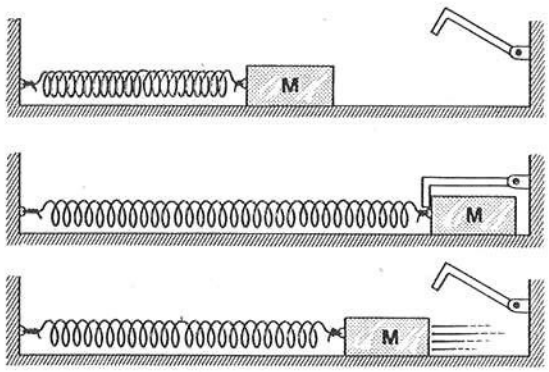
Leia e observe atentamente o quadro abaixo. Ele se refere aos itens 1 a 7.

QUADRO A

a. Uma mola de comprimento normal está presa a uma parede e em sua extremidade está colocada uma certa massa M.

b. A mola é distendida e a massa M é travada.

c. Solta-se a trava e a massa M inicia um movimento.



1 ■ Figura a: Nesta situação a mola (tem; não tem) energia cinética.

★★★★★★★★★★★

não tem

2 ■ Figura a: A mola (tem; não tem) energia potencial gravitacional, pois ela se encontra no nível de referência.

★★★★★★★★★★★

não tem

3 ■ Figura b: A mola (tem; não tem) energia cinética. A mola (tem; não tem) energia potencial gravitacional.

★★★★★★★★★★★

não tem; não tem

4 ■ Figura c: No caso anterior, ela não apresenta energia, nem cinética, nem potencial gravitacional. Entretanto, se a trava for solta, a mola moverá a massa M, comunicando-lhe uma energia _____.

★★★★★★★★★★★

cinética

5 ■ Diremos que tal energia cinética provém de uma energia acumulada pela mola distendida. A esta energia denominamos **energia potencial elástica.**

Portanto, na situação da figura b, a mola possui energia _____.

★★★★★★★★★★★

potencial elástica

6 ■ Na situação da figura a, a mola (possui; não possui) energia potencial elástica.

★★★★★★★★★★★

não possui

7 ■ Se, na figura b, esticarmos mais a mola antes de travá-la, ela conseguirá comunicar uma energia cinética (maior; menor) à massa M. A energia potencial (elástica; gravitacional) será (maior; menor).

★★★★★★★★★★★

maior; elástica; maior

Observação: No momento não nos aprofundaremos nas considerações a respeito da energia potencial elástica. Mencionamos ainda o fato de existirem outros tipos de energia potencial. Por exemplo, os prótons e os elétrons num átomo possuem energia de posição em relação ao núcleo; esse tipo de energia será objeto de estudo quando estudarmos os fenômenos ligados à eletricidade.

EXERCÍCIOS DE REVISÃO

1 ■ O carvão utilizado numa locomotiva à vapor possui _____; quando queimado, transforma essa energia em energia _____, que por sua vez é transformada em energia _____ dos pistões. Estes fazem a locomotiva se movimentar.

2 ■ Um navio em movimento possui energia _____.

3 ■ Uma pessoa está caminhando numa rua com velocidade constante; ela (possui; não possui) energia cinética. Ela "aperta o passo"; sua energia _____ aumenta. Continuando mais uma vez em velocidade constante, encontra uma rampa em aclive e inicia a subida; sua energia _____ não varia, enquanto que sua energia _____ aumenta.

4 ■ Um atleta sobe a escada dirigindo-se ao topo de um trampolim. Durante a subida, sua energia potencial (aumenta; diminui). No topo, o atleta possui energia _____ e não possui energia _____. Durante o "mergulho", sua _____ diminui, ao passo que sua _____ aumenta.

5 ■ O que podemos afirmar acerca da variação da energia cinética de um objeto, quando ele não altera seu estado de movimento? Justifique sua resposta.

6 ■ Um objeto movimenta-se de forma que seu estado de movimento não sofre alteração. Podemos afirmar que sua energia potencial gravitacional **não** está variando? Justifique sua resposta.

7 ■ Quando a energia cinética de um objeto de massa **m** estiver variando, sua energia potencial deverá, necessariamente, apresentar variações? Justifique sua resposta:

8 ■ Quando a energia potencial gravitacional de um objeto de massa **m** estiver variando, sua energia cinética deverá, necessariamente, variar? Justifique sua resposta.

RESPOSTAS

1. energia; calorífica; cinética
2. cinética
3. possui; cinética; cinética; potencial gravitacional
4. aumenta; potencial; cinética; energia potencial; energia cinética
5. Não há variação de energia cinética. Se o estado de movimento não é alterado, a velocidade do objeto será constante; logo, a energia cinética permanecerá inalterada.
6. Não. Um objeto pode manter seu estado de movimento, ainda que varie sua altura (posição). Exemplo: uma pedra que cai verticalmente dentro de um líquido em repouso.
7. Não. Somente se a altura estiver variando podemos afirmar que a energia potencial sofrerá variação.
8. Não. A energia cinética estará variando se a velocidade do objeto estiver variando.

SEÇÃO 2 – MEDIDA DA VARIAÇÃO DE ENERGIA DE UM OBJETO – TRABALHO

Objetivos:
- **a. relacionar força com deslocamento.**
- **b. definir operacionalmente trabalho de força constante.**
- **c. definir unidade dimensional de trabalho.**
- **d. resolver problemas sobre energia.**

Energia não é algo que possa ser medido com um transferidor ou uma régua. Para medirmos as variações de energia necessitaremos "construir" uma "ferramenta" nova. Desta forma, vamos definir uma nova quantidade física intimamente ligada à energia e que nos possibilitará medir variações de energia de um objeto, tanto de posição como de movimento.

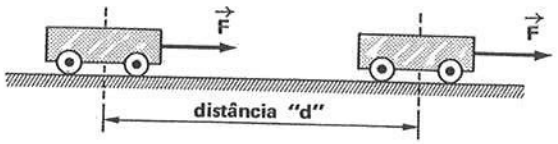
A – TRABALHO DE UMA FORÇA CONSTANTE: $W = F \times d$
UNIDADE DIMENSIONAL DE TRABALHO: joule

1 ■ Um carrinho de massa m está em repouso sobre um plano horizontal. Se aplicarmos uma força resultante, horizontalmente, sobre ele, sua velocidade (aumentará; diminuirá) e conseqüentemente sua energia _____ _____.

★★★★★★★★★★★★

aumentará; cinética aumentará

2 ■ Enquanto a força atua sobre o carrinho, este é deslocado uma certa _____.



★★★★★★★★★★★★

distância

3 ■ Ao erguermos um objeto do assoalho e o colocarmos sobre uma mesa, dizemos que ele sofreu uma variação em sua energia _____. Uma força foi aplicada sobre o objeto e enquanto ela atuou, o objeto se desloca uma certa _____.

★★★★★★★★★★★★

potencial gravitacional; distância

4 ■ Ao comprimirmos ou distendermos uma mola, variamos sua energia _____. Neste caso, também, houve a aplicação de uma _____ e houve certo _____.

★★★★★★★★★★★★

potencial elástica; força; deslocamento (deformação da mola)

5 ■ Quando você chuta uma bola, enquanto seu pé está em contato com a bola:

a) (há; não há) variação de energia da bola.

b) (existe; não existe) força sobre a bola e também um deslocamento.

c) a energia em questão é do tipo _____.

★★★★★★★★★★★★

há; existe; potencial elástico

6 ■ Você já deve ter notado que sempre que existe uma variação de energia (tanto cinética como potencial, gravitacional ou elástica) aparece uma _____ e um _____ enquanto esta força atua sobre o objeto.

★★★★★★★★★★★★

força; deslocamento

7 ■ Partiremos, portanto, da **força** e do **deslocamento**, a fim de definirmos a **quantidade** que nos possibilitará medir a variação de _____.

★★★★★★★★★★★★

energia de um objeto

8 ■ Essa quantidade, que chamaremos de **trabalho de uma força**, será a nossa "ferramenta" para medir _____ _____.

★★★★★★★★★★★★

variação de energia

Leia e observe atentamente o quadro abaixo. Ele se refere aos itens 9 a 16.

QUADRO B

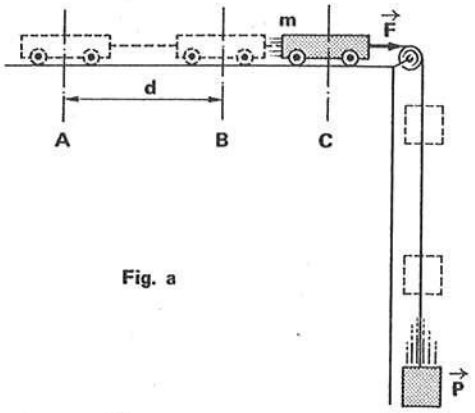


Fig. a

Devido à ação da gravidade, o objeto (carrinho) de massa m é puxado através de um fio com uma força $\vec{F}$ ($|\vec{F}| \neq |\vec{P}|$). O objeto sai da posição A, em repouso, atinge a posição B com certa velocidade e depois o ponto C com uma velocidade maior que aquela do ponto B.

Ao peso $\vec{P}$ da experiência anterior é acrescido um outro peso $\vec{P'}$. Conseqüentemente, o objeto de massa m é puxado por uma força maior que a anterior.

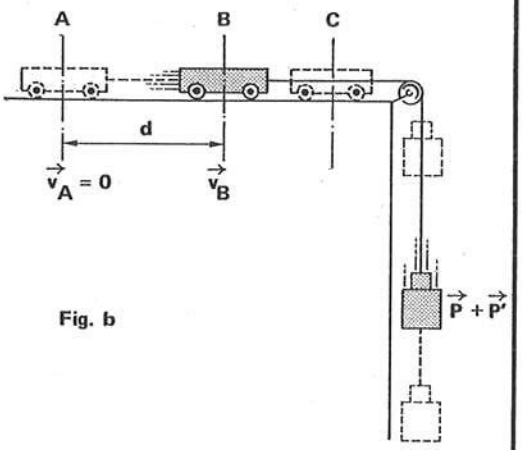


Fig. b

9 ■ **Fig. a:** O objeto de massa m (sofreu; não sofreu) uma variação de energia de (movimento; posição) porque sua (velocidade; posição em relação a um nível) sofreu variação.

★★★★★★★★★★★

sofreu; movimento; velocidade

10 ■ **Fig. a:** Ao passar pela posição C (AC > AB), ainda sob a ação da força $\vec{F}$, o carrinho possui velocidade (maior; menor) do que aquela ao passar por B.

★★★★★★★★★★★

maior

11 ■ **Fig. a:** A variação de energia _____ do objeto entre A e B é (maior; menor) que a variação daquela entre A e C.

★★★★★★★★★★★

cinética; menor

12 ■ **Fig. a:** Analisando esta simples experiência e com base em suas respostas anteriores, você poderá concluir: "Uma mesma força deslocando um determinado objeto a uma distância (maior; menor) produzirá uma variação de energia (maior; menor).

★★★★★★★★★★★

maior; maior (ou menor; menor)

13 ■ **Fig. b:** Partindo do repouso ($v_A = 0$) do ponto A, ao passar pela posição B, o carrinho, terá, em relação à experiência da figura a, (maior; menor) velocidade. Portanto, a energia _____ dele ao atingir B é (maior; menor) que no caso da figura a.

★★★★★★★★★★★

maior; cinética; maior

14 ■ Para um mesmo deslocamento AB de um objeto, quanto maior a força aplicada sobre ele, a variação de energia do objeto será (menor; maior).

★★★★★★★★★★★

maior

15 ■ Podemos afirmar que a variação de energia cinética de um objeto depende de seu _____ e da _____ que sobre ele atua.

★★★★★★★★★★★

deslocamento; força

16 ■ Para uma mesma força, quanto maior o deslocamento, _____ a variação de _____ e, para o mesmo deslocamento, quanto maior a _____ maior a variação de _____ do objeto.

★★★★★★★★★★★

maior; energia cinética; força, energia cinética

Leia e observe atentamente o quadro abaixo. Ele se refere aos itens 17 a 20.

QUADRO C

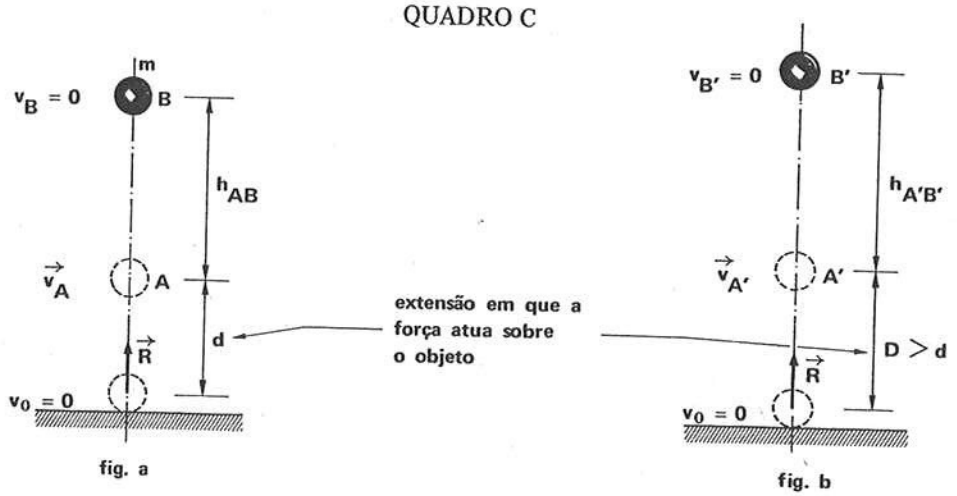


fig. a fig. b

Fig. a: Um corpo de massa m encontra-se inicialmente em repouso no solo. Num determinado instante, ele é arremessado para cima com uma força resultante $\vec{R}$. Depois de o objeto se deslocar, sob a ação da força, uma distância d, a força aceleradora deixa de atuar sobre ele. Isto acontece quando ele passa pela posição A. Apesar de cessar a força, o objeto, por inércia, continua com seu movimento até atingir a altura máxima (ponto B), onde momentaneamente pára, antes de iniciar o movimento de regresso sob a ação da gravidade.

Fig. b: A força resultante é $\vec{R}$ (igual a do caso da figura a). A força aceleradora, entretanto, atua numa extensão maior (D > d). Esta força cessa quando o objeto passa pela posição A'. O objeto atinge a posição B' > B, ou seja, $h_{A'B'} > h_{AB}$.

17 ■ **Fig. a:** O objeto na posição B terá a energia potencial gravitacional (maior; menor) que na posição A, em relação ao solo.

★★★★★★★★★★★

maior

18 ■ **Fig. b:** A força aceleradora atuou sobre o objeto numa extensão (maior; menor) que na situação da figura a e, conseqüentemente, a variação de energia do objeto foi (maior; menor).

★★★★★★★★★★★

maior; maior

19 ■ Suponha agora o mesmo objeto de massa **m** descrito na figura a lançado verticalmente para cima a partir do repouso (solo) por uma força resultante $\vec{R}' > \vec{R}$, numa extensão igual a **d** (figura a). Como a força é (maior, menor), o objeto atingirá um ponto C (acima; abaixo) de B. Logo, neste caso, a variação da energia _____ _____do objeto será (maior; menor) do que quando a força era $\vec{R}$, ambas as forças atuando numa mesma extensão **d**.

★★★★★★★★★★★

maior; acima; potencial gravitacional; maior

20 ■ Para o mesmo deslocamento d, quanto maior a força, (maior; menor) a variação de energia potencial do objeto entre os pontos A (onde a força cessa sua ação) e B (onde o objeto atinge sua altura máxima).

★★★★★★★★★★★

maior

21 ■ Você deve ter notado, através das experiências dos quadros B e C, que há uma dependência entre a variação de _____do objeto, a força aplicada e o correspondente _____.

★★★★★★★★★★★

energia; deslocamento

22 ■ Assinale dentre as afirmativas abaixo aquela (as) correta (as):

a) A variação de energia de um objeto é diretamente proporcional à força e ao deslocamento.
b) A variação de energia de um objeto é inversamente proporcional à força e diretamente proporcional ao deslocamento.
c) A variação de energia é inversamente proporcional à força e ao deslocamento.
d) A força aplicada é diretamente proporcional à variação de energia de um objeto.

★★★★★★★★★★★

a; d

23 ■ Você já notou com certeza que a variação de energia está diretamente relacionada com _____e _____. Portanto, vamos definir o produto $|\vec{F}| \times \Delta d$ (força vezes deslocamento) como sendo **a medida** da variação de energia de um objeto. A esse produto daremos o nome de **trabalho** da força $\vec{F}$.

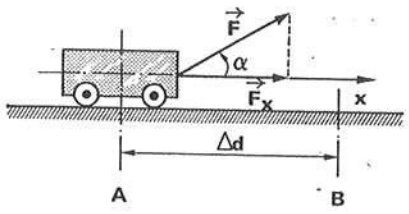
★★★★★★★★★★★

a força; o deslocamento

24 ■ $W = F \times \Delta d$, onde W é o símbolo que usaremos para representar o trabalho (**work**, em inglês) da força constante $\vec{F}$. Deve ser ressaltado que, até aqui, a força $\vec{F}$ foi considerada sempre atuando sobre o objeto na direção do deslocamento.

25 ■ Num caso mais geral, devemos considerar a componente da força que efetivamente atua na direção do deslocamento. No esquema ao lado, a força $\vec{F}$ é aplicada sobre o objeto formando um ângulo α em relação ao deslocamento de A até B.

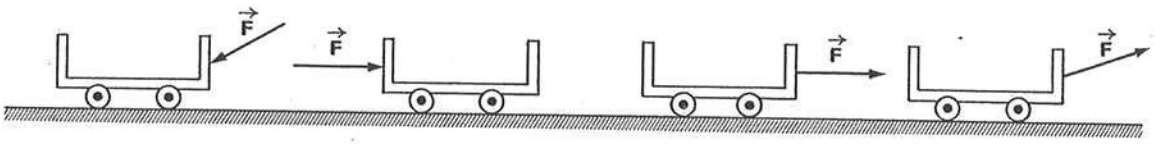
O trabalho W será dado, então, pelo produto_____ X X_____.



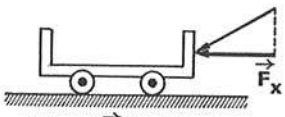
★★★★★★★★★★★★

$|\vec{F}_x|$; Δd

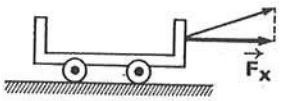
26 ■ Na figura abaixo, em cada caso, o carrinho desloca-se horizontalmente. Indique o valor do trabalho para um deslocamento Δ**d** em cada caso.



★★★★★★★★★★★★



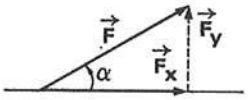
; W = $|\vec{F}|$ · Δd; W = $|\vec{F}|$ · Δd



W = $|\vec{F}_x|$ · Δd

W = $|\vec{F}_x|$ · Δd

27 ■ Podemos relacionar, matematicamente, o valor de $\vec{F}$, o ângulo que ela faz com o deslocamento e o valor da componente $\vec{F}_x$. Note que $\vec{F}$, $\vec{F}_x$ e $\vec{F}_y$ formam um triângulo retângulo. Podemos definir:



$\cos \alpha = \frac{\text{cateto adjacente}}{\text{hipotenusa}}$

Portanto, cos α =_____.

★★★★★★★★★★★★

$\frac{F_x}{F}$

28 ■ Cos $\alpha = \frac{F_x}{F}$. Então, por uma transformação algébrica podemos escrever: F_x =_____.

★★★★★★★★★★★★

F · cos α

29 ■ A expressão do trabalho de uma força $\vec{F}$ que faz um ângulo α com o deslocamento do objeto é dado por W = F ·_____.

★★★★★★★★★★★★

Δd · cos α

30 ■ No caso particular, quando a força e o deslocamento têm a mesma direção e o mesmo sentido, o ângulo α é zero. Assim, cos α =_____. Logo, W =_____.

★★★★★★★★★★★★

1; F · Δd

31 ■ Quadro C, figura a: Se tivermos $\Delta d = 2\,m$ e $F = R = 4\,N$, o trabalho realizado pela força para deslocar o objeto de massa m do solo até a posição A é: $W =$ _____.

★★★★★★★★★★★

$F \cdot \Delta d = 4N \times 2m = 8N \cdot m$

32 ■ No exemplo anterior, $8\,N \cdot m$ mede, portanto, a variação de _____ do objeto entre o solo e o ponto A.

★★★★★★★★★★★

energia (cinética e potencial)

33 ■ O produto $N \cdot m$ (unidade de força vezes a unidade de deslocamento) é definido como **unidade de trabalho.** Comumente é chamado de **joule.** $1N \times 1m = 1\,N \cdot m = 1$ _____.

★★★★★★★★★★★

joule

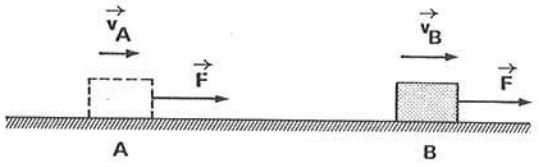
B — RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS QUE ENVOLVEM O USO DO "INSTRUMENTO" TRABALHO

A fim de melhor compreender e empregar a nova grandeza definida como trabalho, você irá resolver nesta parte alguns problemas numéricos.

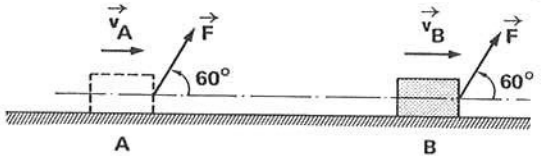
Leia e observe atentamente o quadro abaixo. Ele se refere aos itens 1 a 11.

QUADRO D

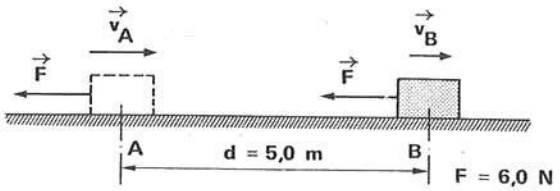
a. Uma força constante $F = 2{,}0\,N$ atua sobre o objeto na extensão $AB = 5{,}0\,m$, conforme o esquema ao lado.



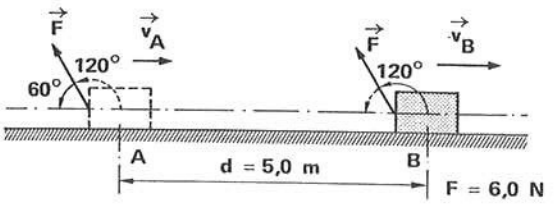
b. Uma força constante $F = 10{,}0\,N$ atua sobre um objeto fazendo um ângulo de 60° em relação ao deslocamento, no trecho $AB = 4{,}0\,m$.



c. Ao passar pela posição A, o objeto do esquema ao lado tem velocidade $\vec{v}_A$ para a direita, quando neste instante uma força $\vec{F}$ passa a atuar sobre ele no sentido para a esquerda. Ao passar por B, o objeto tem velocidade $|\vec{v}_B| < |\vec{v}_A|$.



d. Considere a mesma situação do item anterior e de tal forma que agora a força aplicada sobre o objeto faz um ângulo de 120° com o deslocamento (ou 60° do outro lado).



1 ■ Item a: A força e o deslocamento têm direções e sentidos _____.

★★★★★★★★★★★

idênticos

2 ■ Item a: O trabalho realizado pela força para deslocar o objeto de A até B é dado pela equação _____ _____ e sua grandeza é _____.

★★★★★★★★★★★

$W = F \cdot \Delta d$; 10 J

3 ■ Item b: Para determinar o trabalho efetivo do problema proposto, devemos considerar a _____ na direção do deslocamento.

★★★★★★★★★★★

componente da força

4 ■ Item b: A componente da força na direção do deslocamento é dada pela expressão $\vec{F}_x$ = _____ e vale, em módulo, F_x = _____.

★★★★★★★★★★★

$\vec{F} \cdot \cos \alpha$; 5 N

5 ■ Item b: Neste caso, a componente da força e o deslocamento têm sentidos (iguais; opostos).

★★★★★★★★★★★

iguais

6 ■ Você observou nos itens 1 a 5 que a força (ou componente da força) e o _____ têm o mesmo _____. Neste caso, dizemos que o trabalho é **positivo**, o que indica um (aumento; diminuição) de energia do corpo.

★★★★★★★★★★★

deslocamento; sentido; aumento

7 ■ Item c: A força e o deslocamento têm sentidos (iguais; opostos) ou seja, o ângulo entre a força e o deslocamento vale 180°. Como cos 180° = -1, o trabalho vai ter um valor (positivo; negativo).

★★★★★★★★★★★

opostos; negativo

8 ■ Item c: O trabalho realizado pela força para reduzir a velocidade do objeto entre A e B vale _____.

★★★★★★★★★★★

-30 J

9 ■ Item c: O trabalho que você calculou é uma grandeza negativa. Isto significa que a energia do corpo (diminuiu; aumentou).

★★★★★★★★★★★

diminuiu

10 ■ Item d: O trabalho entre A e B realizado pela _____ na direção do _____ é dado pela expressão _____.

★★★★★★★★★★★

componente da força; deslocamento; $F \cdot \Delta d \cdot \cos \alpha$

11 ■ Item d: O trabalho vale _____. Trabalho negativo significa que a energia do corpo _____.

★★★★★★★★★★★

$-6 \cdot 5 \cdot 0{,}5 = -15$ J; diminui

12 ■ Trabalho positivo e trabalho negativo:
Se a força (ou componente da força) e o _____ do objeto têm o mesmo sentido, o trabalho realizado pela força para deslocá-lo uma certa distância é dito (positivo; negativo). Ao contrário, se tiverem sentidos opostos, dizemos que o _____ é negativo.
Correspondentemente, dizemos que no primeiro caso a energia do objeto (aumenta; diminui) e que no segundo a energia do objeto (aumenta; diminui).

★★★★★★★★★★★

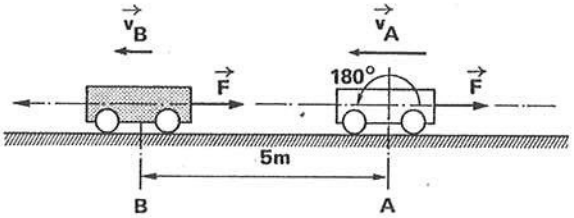
deslocamento; positivo; trabalho; aumenta; diminui

13 ■ O enunciado do item anterior, simbolicamente, terá a seguinte forma:
$W > 0 \Rightarrow \Delta E$ _____ $\Rightarrow$ energia do corpo _____.
$W < 0 \Rightarrow \Delta E$ _____ $\Rightarrow$ energia do corpo _____.

★★★★★★★★★★★

> 0; aumenta; < 0; diminui

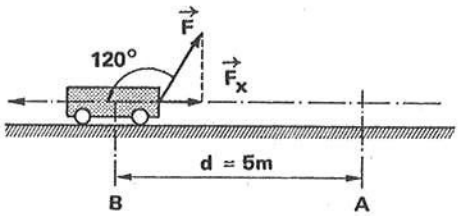
14 ■ No diagrama ao lado, se a força F vale 10 N e sabendo que $\cos 180° = -1$, calcule o trabalho W_{AB}.



★★★★★★★★★★★

$W = F \cdot \Delta d \cdot \cos 180° = -50$ J

15 ■ Considere a mesma situação anterior, sendo que a força é aplicada sobre o objeto formando um ângulo de 120° com relação ao deslocamento.
a) Trace um esquema geométrico do problema.
b) Calcule o trabalho W_{AB}.



★★★★★★★★★★★

$W = F \cdot \Delta d \cdot \cos 120° = 10 \times 5 \times (-0{,}5) = -25$ J

16 ■ $W = F \cdot \Delta d \cdot \cos \alpha$. Se $\alpha = 90°$ e sabendo-se que $\cos 90° = 0$, o trabalho W é igual a _____.

★★★★★★★★★★★

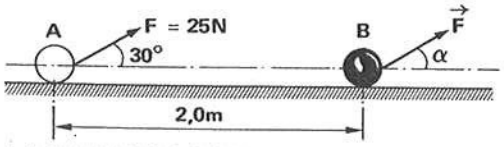
zero

17 ■ Quando uma força é aplicada sobre um objeto fazendo um ângulo reto com o deslocamento, o trabalho da força é _____.

★★★★★★★★★★★

nula

18 ■ Calcule o trabalho de $\vec{F}$, entre A e B, conforme o esquema abaixo.

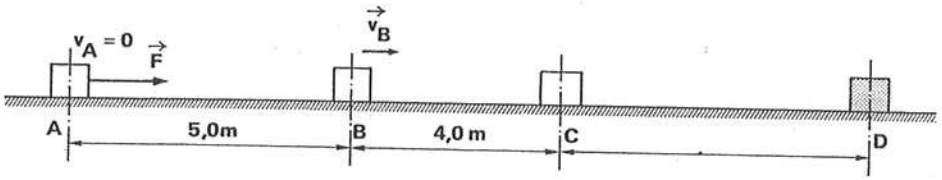


★★★★★★★★★★★

$W_{AB} = F \cdot \Delta d \cdot \cos \alpha = 25 \times 2 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 25\sqrt{3}$ J

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ Um corpo está em repouso sobre uma superfície horizontal sem atrito, pelo menos até C. Aplica-se sobre esse corpo uma força de 10,0 N, como indica a figura abaixo.



a) Qual é o trabalho realizado enquanto o corpo vai de A até B?

b) Desde que a velocidade do corpo em A é zero, esse corpo (tem; não tem) energia cinética em A.

c) Enquanto o corpo vai de A até B, realizou-se sobre esse corpo um trabalho. (Houve; Não houve) aumento de energia cinética nesse corpo. Quanto vale a energia do corpo em B?

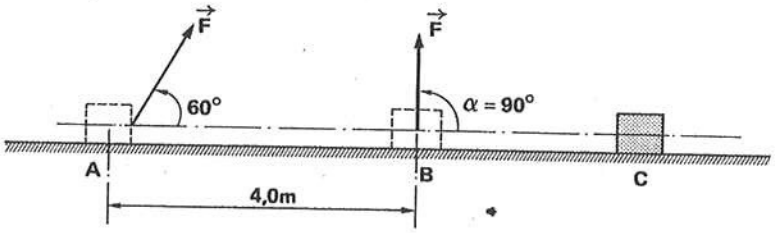
d) Se no ponto B deixarmos de aplicar a força, qual é o trabalho realizado sobre esse corpo, enquanto vai de B até C?

e) Se no ponto D o corpo pára, qual é o trabalho realizado sobre esse corpo, enquanto vai de C até D?

f) Qual é a variação de energia cinética entre C e D?

g) O trabalho realizado sobre esse corpo, enquanto vai de C a D, é no sentido de (fornecer; tirar) energia.

2 ■ Um corpo está sobre uma superfície com atrito desprezível, parado, na posição A. Aplica-se nesse corpo uma força F = 10 N, como indica a figura.



a) Qual é o trabalho realizado pela força F desde A até B?

b) Se em B continuarmos aplicando a mesma força, mas com $\alpha = 90°$, qual é o trabalho realizado pela força enquanto o corpo vai de B até C?

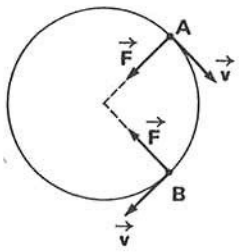
3 ■ Um corpo gira em movimento circular uniforme sobre uma superfície horizontal, sem atrito, como indica a figura.

a) Qual é o trabalho realizado por F desde A até B?

b) Sua resposta ao item a seria modificada se o raio do arco fosse maior? (sim; não)

c) Sua resposta ao item a ainda seria a mesma se o raio fosse 10 vezes maior? (sim; não)

d) O que você pode afirmar acerca do trabalho de uma força que atua perpendicularmente ao deslocamento?



4 ■ Uma força de intensidade $|\vec{F}| = 100$ N atua na direção do deslocamento sobre um objeto e o desloca 2,0 m. Calcule o trabalho da força.

5 ■ Num determinado instante, a velocidade de um objeto de massa 10,0 kg é de 5,0 m/s. Sob a ação da força retardadora de atrito, ele pára depois de 2,5 s. Determine:

a) a aceleração provocada no corpo pela força do atrito.

b) a intensidade da força retardadora do atrito.

c) o deslocamento do objeto até parar.

d) o trabalho da força retardadora do atrito.

e) A energia mecânica do objeto aumentou ou diminuiu? Explique.

6 ■ Uma força de módulo 50 N puxa um carrinho, inicialmente em repouso, ao longo de um plano horizontal. A força faz 60° com o deslocamento. Sendo cos 60° = 0,5 e o deslocamento efetuado de 10 m:

a) Determine o trabalho da força.

b) A energia do carrinho aumentou ou diminuiu? Explique.

7 ■ Uma massa de 5,0 kg é erguida verticalmente para cima, com velocidade constante, por uma força $\vec{F}$. Se o campo gravitacional local é 10,0 N/kg e o deslocamento for $\Delta d = 5,0$ m, determine:

a) a aceleração resultante na massa.

b) a intensidade da força $\vec{F}$.

c) o trabalho da força $\vec{F}$.

d) A energia da massa aumentou ou diminuiu? Explique.

8 ■ Uma força $\vec{F}$ imprime num objeto de massa 8,0 kg um impulso de 80,0 N s dirigida horizontalmente para a esquerda, num intervalo de tempo cuja duração é 5,0 s. Se o deslocamento do objeto foi de 25 metros, determine o trabalho recebido pelo objeto.

RESPOSTAS

1. a) $W_{AB} = F \times d = 10,0 \times 5,0 = 50,0$ J
   b) não tem
   c) Houve; $E_{CB} = W_{AB} = 50,0$ J
   d) Nulo
   e) - 50,0 J
   f) - 50,0 J
   g) tirar

2. a) W = 20 J
   b) Nulo

3. a) Nulo
   b) não
   c) sim
   d) É sempre nulo

4. $W = 100 \times 2,0 = 200$ J

5. a) $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{0 - 5,0}{2,5} = -2,0$ m/s²
   b) $F = m \cdot a = -10,0 \times 2,0 = -20,0$ N
   c) $v^2 = v_0^2 + 2a \cdot \Delta d \Rightarrow \Delta d = 6,25$ m
   d) $W = F \times d = -20 \times 6,25 = -125$ J
   e) diminuiu. A energia inicial do objeto era de 125 J e no fim a energia mecânica do objeto é nula.

6. a) $W = 50 \times 10 \times 0,5 = 250$ J
   b) aumentou. A componente $\vec{F}_x$ e o deslocamento possuem o mesmo sentido.

7. a) a = 0, pois a velocidade é constante
   b) $F = P = mg = 50$ N
   c) $W = F \cdot \Delta d \cdot \cos \alpha = 250$ J
   d) aumentou. O corpo sobe; portanto, a E_p aumenta apesar da E_c não variar.

8. $I = F \cdot \Delta t \Rightarrow F = 16,0$ N
   $W = 16,0 \text{ N} \cdot 25 \text{ m} = 4,0 \times 10^2$ J

SEÇÃO 3 – TRABALHO (DE FORÇA CONSTANTE) E ENERGIA

Objetivos:

a. **caracterizar energia cinética em termos de massa e velocidade: $E_c = \frac{1}{2} mv^2$**

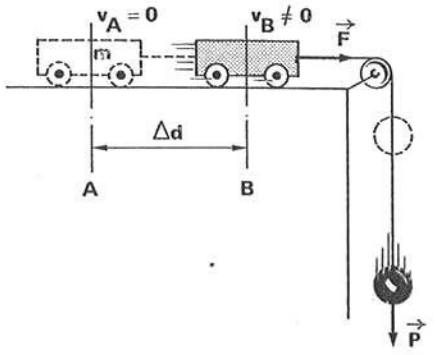
b. **caracterizar energia potencial gravitacional em termos de massa, campo gravitacional e altura: $E_p = m \cdot g \cdot h$.**

c. **comparar, em termos de trabalho, energia cinética com energia potencial gravitacional.**

d. **definir operacionalmente variação de energia.**

e. **resolver problemas utilizando o conceito de energia.**

Um carrinho de massa m está preso a um fio. Na extremidade do fio está um peso $\vec{P}$.
Inicialmente, o carrinho está parado. Depois de se deslocar uma distância Δd, sua velocidade é v_B (em módulo).
Obs: $F \neq P$.



1 ■ No quadro acima, o carrinho na posição A (tem; não tem) energia cinética.

★★★★★★★★★★★

não tem

2 ■ Na posição B, o carrinho (tem; não tem) energia cinética, pois possui _____.

★★★★★★★★★★★

tem; velocidade

3 ■ A energia potencial gravitacional do carrinho na posição A(é; não é) a mesma daquela na posição B.

★★★★★★★★★★★

é (pois em ambos os casos não variou a altura).

4 ■ Utilizando os conhecimentos adquiridos até aqui, como poderemos determinar o valor para a energia cinética de um objeto? Para aumentarmos a energia cinética de um corpo, precisamos realizar um _____ sobre esse corpo. Usaremos, como medida da variação da energia cinética, a medida desse trabalho.

★★★★★★★★★★★

trabalho

5 ■ No trecho AB (foi; não foi) realizado um trabalho sobre o carrinho.

★★★★★★★★★★★

foi

6 ■ Continuando, a força que age sobre o carrinho pode ser calculada através da 2ª Lei de Newton, $F = m \cdot a$, onde m é a massa do carrinho e a, sua _____.

★★★★★★★★★★★

aceleração

7 ■ Conhecidos os valores do deslocamento Δd, da velocidade inicial v_0 (no nosso caso, v_0 = _____) e da velocidade final $v_B \neq 0$ (podemos; não podemos) determinar a aceleração. Ela vale _____.

★★★★★★★★★★★

0 (zero); podemos; $\frac{v_B^2}{2\Delta d}$ (pois, da Cinemática temos $v_B^2 = v_A^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta d$)

8 ■ A força que age sobre o carrinho (F = ma) pode ser escrita, em termos de velocidade, da seguinte forma:

$F = m \cdot$ _____.

★★★★★★★★★★★

$\frac{v_B^2}{2\Delta d}$

9 ■ $F = \frac{m \cdot v_B^2}{2\Delta d}$. A força F tem a mesma direção do _____. Portanto, o trabalho será dado por:

$W =$ _____.

★★★★★★★★★★★

deslocamento; $\frac{m \cdot v_B^2}{2 \cdot \not{d}} \cdot \not{d} = \frac{m \cdot v_B^2}{2}$ ($W = F \cdot \Delta d \cdot \cos \alpha$, onde $\cos \alpha = 1$)

10 ■ Como o trabalho foi usado para aumentar a energia cinética do carrinho, e tendo em vista que a energia cinética dele, inicialmente, era (zero; diferente de zero), a energia cinética no ponto B vale: _____.

★★★★★★★★★★★

zero; $\frac{m \cdot v_B^2}{2}$

11 ■ Indicando a energia cinética no ponto B com o símbolo E_{c_B} e no ponto A por E_{c_A} temos:

$E_{c_A} =$ _____ e $E_{c_B} =$ _____.

★★★★★★★★★★★

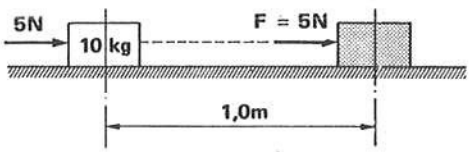
zero; $\frac{m \cdot v_B^2}{2}$

12 ■ O trabalho realizado pela força F é igual à _____ do carrinho.

★★★★★★★★★★★

variação da energia cinética (entre os pontos A e B)

Um corpo de massa m = 10 kg está em repouso sobre uma superfície horizontal sem atrito. Uma força de 5 N atua sobre esse corpo deslocando-o de 1 m.



13 ■ Examine o quadro acima. O trabalho realizado pela força $\vec{F}$ vale _____.

★★★★★★★★★★★

5 joules ($W = |\vec{F}| \cdot \Delta d = 5\ N \times 1\ m = 5$ joules)

14 ■ O trabalho realizado pela força $\vec{F}$ é igual à variação da _____ do corpo. A energia cinética inicial vale _____. Portanto, o valor da energia cinética final é igual a _____.

★★★★★★★★★★★

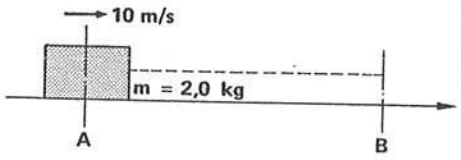
energia cinética; zero; 5 joules (calculado no item anterior)

15 ■ Conforme você já viu anteriormente, a energia cinética pode ser expressa em função da massa e da velocidade do objeto, ou seja, $E_c =$ _____. No quadro acima, a energia cinética adquirida pelo objeto vale _____ _____. Portanto, podemos igualar a expressão da energia cinética em termos de massa e velocidade com seu valor e podemos determinar a velocidade do objeto, isto é, $v =$ _____.

★★★★★★★★★★★

$\frac{mv^2}{2}$; 5 J; $\frac{mv^2}{2} = 5\ J \Rightarrow v^2 = \frac{5\ J}{5\ kg} \Rightarrow v = 1{,}0$ m/s (pois m = 10 kg)

Um movel de 2,0 kg vai de A para B animado com a velocidade de 10,0 m/s, como mostra a figura ao lado. Ao atingir o ponto B, o móvel retorna com a mesma velocidade (em módulo).



16 ■ No quadro acima, quando o móvel vai de A para B, sua velocidade é (positiva; negativa). Contrariamente, se o móvel vai de B para A, a velocidade é (positiva; negativa).

★★★★★★★★★★★

positiva (mesmo sentido do eixo); negativa

17 ■ Considerando o sentido A para B, o móvel possui energia cinética igual a _____.

★★★★★★★★★★★

$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2} = 100\ J$

18 ■ Quando o móvel vai de B para A, temos a velocidade $v =$ _____. Sua energia cinética vale, então, $E_c =$ _____.

★★★★★★★★★★★

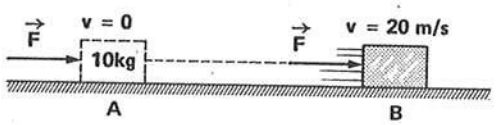
-10 m/s; + 100 joules

19 ■ A energia cinética de um corpo (pode; não pode) ser negativa, pois a massa desse corpo é sempre positiva e v^2 (é; não é) sempre positiva.

★★★★★★★★★★★

não pode; é

Um corpo de massa 10,0 kg tem velocidade nula no ponto A. No ponto B, sua velocidade é de 20,0 m/s.



20 ■ Examine o quadro acima. O trabalho realizado pela força F é igual à _____. Em B, a energia cinética vale: $E_{c_B} =$ _____.

★★★★★★★★★★★

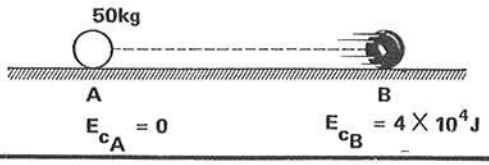
energia cinética em B (pois em A ela vale zero); 2 000 joules

trabalho realizado pela força entre A e B vale _____.

★★★★★★★★★★★

2 000 J ($W = E_{c_B}$)

A massa de um corpo é de 50 kg. No ponto A, sua energia cinética é zero, e no ponto B, 4×10^4 J.

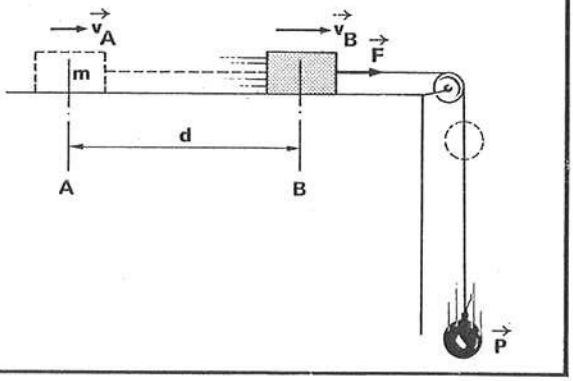


22 ■ No quadro acima, a velocidade do corpo no ponto B pode ser calculada, pois sabemos o valor da energia cinética do corpo nesse ponto, bem como sua massa. Ela vale _____.

★★★★★★★★★★★

$E_{c_B} = 4 \times 10^4 J = \frac{50 \cdot v_B^2}{2}$ → $v_B = 40$ m/s

A figura representa um bloco de massa m, arrastado por um peso $\vec{P}$, que aplica sobre a massa m uma força $\vec{F}$. No ponto A, sua velocidade é $\vec{v}_A$ e no ponto B, $\vec{v}_B$. Do ponto A ao ponto B, a massa andou uma distância d.



23 ■ Até agora tratamos apenas dos casos nos quais a energia cinética inicial era _____. Vejamos, agora, o que podemos concluir quando a velocidade inicial é diferente de zero.

★★★★★★★★★★★

zero

24 ■ Examine o quadro acima atentamente. As velocidades em A e B são (iguais; diferentes) de zero. Você poderá calcular a aceleração do corpo usando a equação da Cinemática $v_B^2 - v_A^2 = 2a\Delta d$, ou seja, a = _____. A força aceleradora F vale, então, F = m · a = _____.

★★★★★★★★★★★

diferentes; $\frac{v_B^2 - v_A^2}{2\Delta d}$; $\frac{m(v_B^2 - v_A^2)}{2\Delta d}$

25 ■. Conhecidos o valor da força e da distância na qual a força atuou, você poderá determinar o valor do trabalho realizado por essa força.

W = F · d = _____

★★★★★★★★★★★

$\frac{m(v_B^2 - v_A^2)}{2\cancel{d}} \cdot \cancel{d} = \frac{mv_B^2}{2} - \frac{mv_A^2}{2}$

26 ■ No item anterior, os termos $\frac{m \cdot v_A^2}{2}$ e $\frac{m \cdot v_B^2}{2}$ representam, respectivamente, a energia _____ do objeto nos pontos A e B.

★★★★★★★★★★★

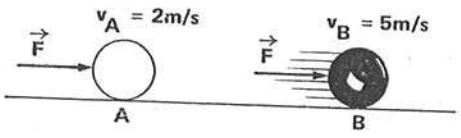
cinética

27 ■ Podemos escrever, então: $W = E_{c_B} -$ _____, ou seja: $W = \Delta E_c$. O trabalho equivale à variação da energia cinética do corpo.

★★★★★★★★★★★

E_{c_A}

Uma esfera de massa m = 10 kg é empurrada por uma força $\vec{F}$. Sua velocidade varia de 2,0 m/s para 5,0 m/s.



28 ■ A energia cinética no ponto A da figura acima vale _____. No ponto B a energia cinética vale _____. Portanto, a variação da energia cinética $\Delta E_c =$ _____.

★★★★★★★★★★★

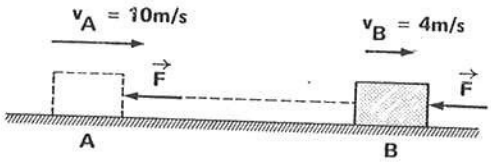
20 J; 125 J; $E_{c_B} - E_{c_A} = 105$ J

29 ■ $\Delta E_c = 105$ J. O trabalho vale, portanto, _____.

★★★★★★★★★★★

$W = \Delta E_c = 105$ J

Um bloco de massa 8,0 kg tem velocidade 10,0 m/s no ponto A. Aplica-se-lhe uma força $\vec{F}$ em sentido contrário ao do movimento. No ponto B a velocidade do bloco é de 4,0 m/s.



30 ■ As energias cinéticas nos pontos A e B do esquema acima valem respectivamente _____ e _____. Então, o trabalho realizado pela força F entre A e B vale _____.

★★★★★★★★★★★

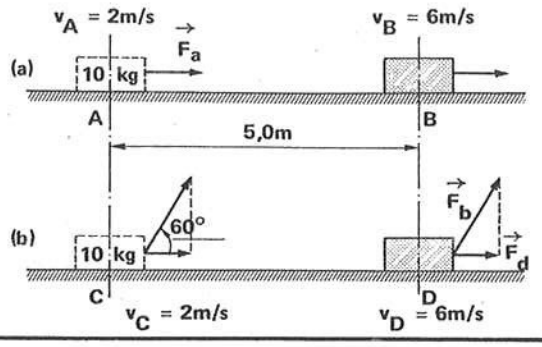
400 J; 64 J; $W = E_{c_B} - E_{c_A} = 64 - 400 = -336$ J

31 ■ O trabalho negativo acima calculado significa que _____.

★★★★★★★★★★★

o corpo perdeu energia. (A ação da força foi no sentido de diminuir a energia cinética do corpo.)

Neste exemplo, vamos comparar forças e trabalhos realizados por elas, quando causam a mesma variação de energia cinética.
Na figura a temos uma força atuando na direção do movimento e na figura b uma força que atua formando um ângulo de 60° com a direção do movimento.



32 ■ Examine com atenção os dados do problema acima. A variação de energia cinética no caso a é (maior que; menor que; igual a) a variação de energia cinética no caso **b**. A variação, em cada caso, vale _____.

★★★★★★★★★★★

igual a; 160 J

33 ■ O trabalho realizado pela força $\vec{F}_a$ vale _____ e o da força $\vec{F}_b$ vale _____.

★★★★★★★★★★★

160 J; 160 J

34 ■ Em cada caso, conhecidos os valores do trabalho e da distância percorrida pelo objeto, podemos determinar os valores das forças respectivas, isto é, F_a = _____ e F_b = _____.

★★★★★★★★★★★

$\frac{W_a}{d}$ = 32 N (mesma direção); $\frac{W_b}{d \cdot \cos 60°}$ = 64 N ($\cos 60° = 0{,}5$)

35 ■ $\vec{F}_a$ e $\vec{F}_b$ têm módulos (iguais; diferentes) e produzem trabalhos (iguais; diferentes). Justifique.

★★★★★★★★★★★

diferentes; iguais; Somente uma parte da força $\vec{F}_b$, isto é, a componente segundo o deslocamento, atua no sentido de realizar o trabalho necessário para a variação da energia cinética.

36 ■ Resumindo: "A variação da energia cinética de um corpo, entre dois pontos, é medida pelo trabalho da componente da força na direção da reta que passa por esses dois pontos." Simbolicamente, podemos representar o fato como: _____.

★★★★★★★★★★★

$\Delta E_c = W = F_d \cdot d$

EXERCÍCIOS DE REVISÃO

1 ■ Um bloco de massa igual a 20,0 kg tem velocidade 30,0 m/s. Sua velocidade inicial é zero. Qual é a variação da energia cinética sofrida pelo bloco?

2 ■ Qual é o trabalho necessário para que um corpo de massa igual a 10,0 kg e em repouso atinja uma velocidade de 20,0 m/s?

3 ■ Um automóvel de massa 10^3 kg possui velocidade constante de 10,0 m/s. Aplica-se-lhe o freio. O automóvel pára depois de percorrer 8,0 m.

a) Calcule a variação da energia cinética sofrida pelo auto.

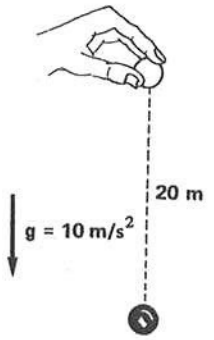
b) Determine o trabalho realizado pela força de atrito dos pneus e o solo.

c) Quanto vale a força de atrito?

4 ■ Uma esfera de massa igual a 10,0 kg está a uma altura de 20,0 m. Ela é abandonada em queda livre. Determine:

a) a velocidade da esfera ao atingir o solo.

b) a variação da energia cinética sofrida ao atingir o solo.



5 ■ A energia cinética de um corpo de massa igual a 4,0 kg vale 200 J. Aplica-se-lhe uma força $\vec{F}$. Depois de certo tempo, a velocidade do corpo é de 20,0 m/s. Supor o movimento horizontal.

a) Qual é a variação da energia cinética?

b) Qual é o trabalho realizado pela força $\vec{F}$?

c) Se $\vec{F}$ for paralela ao movimento, qual seria o seu sentido?

6 ■ Um bloco de massa m = 10,0 kg é arrastado horizontalmente por uma força de 80,0 N que forma com a direção do deslocamento um ângulo de 60°. O bloco inicialmente está em repouso.

a) Qual é o trabalho depois de percorridos 30,0 m?

b) Qual é a variação da energia cinética nesse deslocamento?

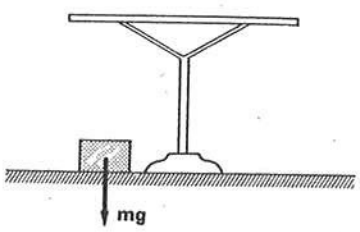
c) Qual é a velocidade final do bloco?

RESPOSTAS

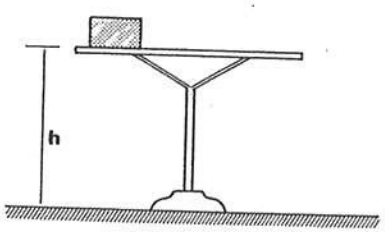
1. $\Delta E_c = 9{,}00 \times 10^3 J$
2. $W = \Delta E_c = 2{,}00 \times 10^3 J$
3. a) $\Delta E_c = -5 \cdot 10^4 J$ b) $W = -5 \cdot 10^4 J$ c) $F_{at} \simeq 6 \cdot 10^3 N$
4. a) v = 20 m/s (por Torricelli) b) $\Delta E_c = 2 \cdot 10^3 J$
5. a) $\Delta E_c = 600$ J b) W = 600 J c) mesmo do deslocamento
6. a) W = 1 200 J b) $\Delta E_c = 1\,200$ J c) $v = \sqrt{240}$ m/s $= 4\sqrt{15}$ m/s

B – TRABALHO E ENERGIA POTENCIAL GRAVITACIONAL

Uma caixa de massa m está no solo.



A caixa é levada até a superfície da mesa de altura h.



1 ■ No quadro acima, quando colocada no chão, a caixa tem velocidade _____. Sua energia _____ é nula.

★★★★★★★★★★★

nula; cinética

2 ■ A caixa colocada sobre a mesa tem energia cinética igual a _____. Ou seja, ela (variou; não variou) em relação à posição inicial. Todavia, sua altura com relação ao solo (variou; não variou).

★★★★★★★★★★★

zero; não variou; variou

3 ■ Você já sabe que, quando um objeto tem sua altura com relação ao solo variada, sua _____ é alterada.

★★★★★★★★★★★

energia potencial gravitacional

4 ■ Ainda com relação ao mesmo quadro, para levar a caixa do solo até a superfície da mesa (foi preciso; não foi preciso) realizar um trabalho.

★★★★★★★★★★★

foi preciso

5 ■ Vamos distinguir de maneira precisa quem realiza o trabalho. Sobre a caixa, no solo, (existe; não existe) uma força atuando. Esta força, que está indicada na figura, é a força peso. Ela vale _____.

★★★★★★★★★★★

existe; mg (m = massa da caixa e g = campo gravitacional)

6 ■ Quando levantamos a caixa, exercemos sobre ela uma força que (realiza; não realiza) trabalho. Este trabalho será igual àquele que a força peso realizaria em queda livre. Nessas condições, a força utilizada para levantar a caixa é (igual à; diferente da) força peso.

★★★★★★★★★★★

realiza; igual à

7 ■ Em queda livre, sobre o objeto age a força peso, que é expressa por _____. Se ele percorre uma distância h, o trabalho realizado pela força peso vale _____.

★★★★★★★★★★★

mg; $W = F \cdot d = mg \cdot h$

8 ■ Para levar a caixa até a mesa, o trabalho realizado, vale **mgh**. É este o trabalho que vai causar a variação da energia _____ da caixa.

★★★★★★★★★★★

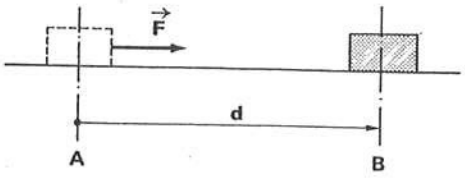
potencial gravitacional

9 ■ Se chamarmos a variação de energia potencial de ΔE_p, no exemplo que acabamos de ver, ela vale _____.

★★★★★★★★★★★

mgh

Uma caixa de massa m é arrastada por uma força $\vec{F}$ do ponto A até o ponto B.
Nos pontos A e B a caixa está em repouso.



10 ■ Quando a caixa acima é arrastada pela força $\vec{F}$, esta realiza um trabalho. Entretanto, a altura não sofre nenhuma variação. Portanto, não houve variação em sua _____.

★★★★★★★★★★★★

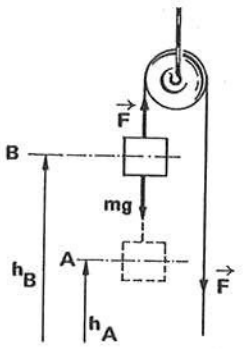
energia potencial

11 ■ Neste exemplo, a força peso (realiza; não realiza) trabalho, pois não houve variação em sua energia potencial. Por outro lado, o ângulo entre a direção da força peso e a do deslocamento vale _____. Você já sabe que o trabalho é dado por $W = F \cdot d \cdot \cos \theta$. Como cos θ, no caso, é nulo, W também é nulo.

★★★★★★★★★★★★

não realiza; 90°

Um bloco de massa m é levado do ponto A até o ponto B, conforme a figura ao lado.
As alturas com relação ao solo são h_A e h_B.



12 ■ Para levarmos o bloco do ponto A até B, conforme o esquema acima, com velocidade constante, é necessário exercer sobre ele uma força que é, em módulo, exatamente igual a seu _____; logo, F = _____.

★★★★★★★★★★★★

peso; mg

13 ■ F = mg. O trabalho realizado pela força entre A e B é _____.

★★★★★★★★★★★★

$mg\,(h_B - h_A)$

14 ■ O trabalho acima determinado é a variação de energia potencial. Então, ΔE_p = _____.

★★★★★★★★★★★★

$mg\,(h_B - h_A)$

15 ■ A variação ΔE_p indica a diferença entre a energia potencial que o corpo tem no ponto B e a energia potencial que tinha no ponto A. Ou seja, $\Delta E_p = E_{p_B} - E_{p_A}$. Em termos de h_B e h_A, $\Delta E_p =$ _____.

★★★★★★★★★★★★

$mgh_B - mgh_A = mg(h_B - h_A)$

16 ■ mgh_B e mgh_A representam valores da energia potencial gravitacional que o corpo possui, respectivamente, nos pontos _____ e _____, com relação ao solo.

★★★★★★★★★★★★

B; A

17 ■ Exemplo: "Um corpo de massa m = 5,0 kg é elevado de uma altura de 2,0 m". Quanto variou sua energia potencial?

Seu peso vale _____.

O trabalho realizado sobre o corpo vale _____.

Sua energia potencial aumentou _____.

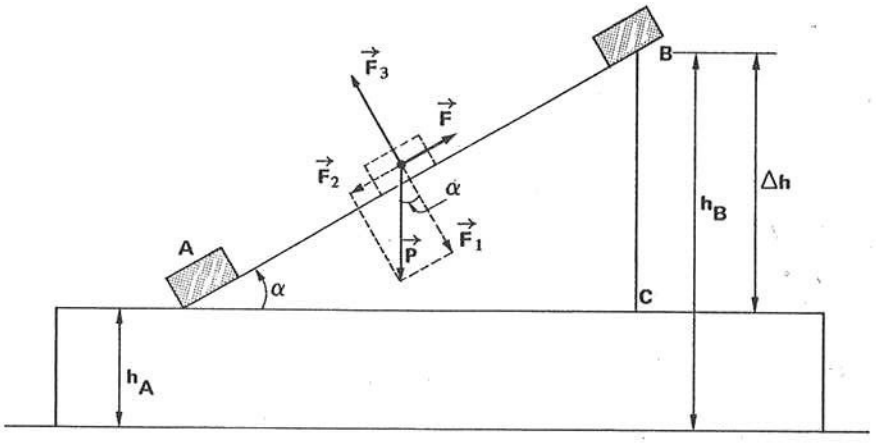
★★★★★★★★★★★★

$P = mg = 5\ kg \times 10\ m/s^2 = 50\ N$; $W = mg \cdot h = 50\ N \times 2\ m = 100\ J$; 100 J

18 ■ Podemos concluir que: "à medida que um corpo tem sua altura aumentada, sua energia potencial gravitacional _____".

★★★★★★★★★★★★

aumenta



Um objeto de massa m é levado por uma força $\vec{F}$, do ponto A até o ponto B, através de uma rampa, sem atrito. Sobre o corpo, representamos as forças: $\vec{F}$, $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ e $\vec{F}_3$.

$\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ são as componentes da força peso $\vec{P}$.

$\vec{F}_3$ é a reação normal da rampa sobre a massa m.

19 ■ Vejamos agora o caso em que o corpo é levado para uma altura maior segundo uma trajetória não vertical (quadro acima). No ponto A o objeto possui energia potencial mgh_A. No ponto B, ele possui energia potencial igual a _____.

★★★★★★★★★★★★

mgh_B

20 ■ A força peso $\vec{P}$ foi decomposta em duas forças $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$. O ângulo entre a rampa e o solo é α. Logo, $|\vec{F}_1| = |\vec{P}| \cdot \cos \alpha$ e $|\vec{F}_2| =$ _____.

★★★★★★★★★★★★

$|\vec{P}| \cdot \operatorname{sen} \alpha$

21 ■ Para que o corpo suba a rampa em MRU, é necessário que se exerça sobre esse corpo uma força $\vec{F}$, cujo módulo deve ser igual ao módulo de $\vec{F}_2$ e cujo sentido é _____ a $\vec{F}_2$. Então $\vec{F}$ = _____.

★★★★★★★★★★★★

contrário; $|\vec{P}| \operatorname{sen} \alpha$

22 ■ A massa m está sujeita a quatro forças: $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$, $\vec{F}$, cuja resultante tem módulo _____.

★★★★★★★★★★★★

nulo (pois, $|\vec{F}_3| = |\vec{F}_1|$ e $|\vec{F}_2| = |\vec{F}|$ e têm sentidos opostos)

23 ■ Podemos calcular, então, o trabalho de qualquer uma dessas forças. Assim, o trabalho de $\vec{F}_1$ entre A e B vale _____, pois tem direção _____ ao deslocamento.

★★★★★★★★★★★★

zero; perpendicular

24 ■ O trabalho realizado pela força $\vec{F}$ entre A e B, como sabemos, é dado por $W = |\vec{F}| \cdot \overline{AB}$, ou, em termos de $\vec{P}$ e α, W = _____.

★★★★★★★★★★★★

$(|\vec{P}| \operatorname{sen} \alpha)\ \overline{AB}$

25 ■ $W = |\vec{P}|\ AB \cdot \operatorname{sen} \alpha$

Vejamos qual é a relação existente entre a distância $\overline{AB}$ e a variação de altura $\Delta h = h_B - h_A$ sofrida pelo objeto. No triângulo ABC, sen α = _____. Substituindo este valor na expressão acima, W = _____.

★★★★★★★★★★★★

$\frac{\Delta h}{AB}$; $|\vec{P}| \cdot \cancel{\overline{AB}} \cdot \frac{\Delta h}{\cancel{AB}} = |\vec{P}| \cdot \Delta h$

26 ■ $W = |\vec{P}| \cdot \Delta h$

O valor de $\vec{P}$ é dado pelo produto _____. Logo, W = _____.

★★★★★★★★★★★★

$m \cdot g$; $m \cdot g \cdot \Delta h$

27 ■ $W = mg\Delta h$

Como $\Delta h = h_B - h_A$, podemos escrever $W = mgh_B$ - _____.

Em termos de energia potencial, W = _____ - _____.

★★★★★★★★★★★★

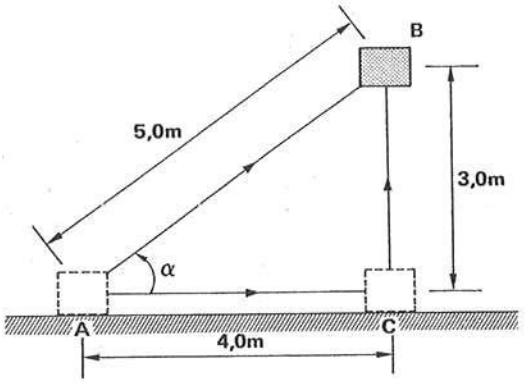
mgh_A; E_{p_B}; E_{p_A}

28 ■ O trabalho realizado pela força $\vec{F}$ dará a medida da variação da (energia cinética; energia potencial gravitacional) entre os pontos A e B.

★★★★★★★★★★★

energia potencial gravitacional

A superfície AC (horizontal) não apresenta atrito. Um corpo de massa 20,0 kg move-se de A para B com velocidade constante. (g = 10 N/kg)



29 ■ Quando o corpo se dirige de A para C, (existe; não existe) força atuando sobre ela na direção do movimento, no quadro acima.

★★★★★★★★★★★

não existe (A força que atua sobre o corpo é seu peso, que é perpendicular ao movimento.)

30 ■ O trabalho W_{AC} para levar o corpo de A até C (é; não é) nulo. Explique:

★★★★★★★★★★★

é(pois a única força que age sobre o corpo é perpendicular ao movimento; então $\cos \alpha = 0$ e portanto $W = 0$.)

31 ■ O corpo é deslocado de C para B. A variação da energia potencial é dada por $\Delta E_p = W_{CB}$. Porém, W_{CB} = _____. Tomado os valores fornecidos, podemos calcular o trabalho e ele vale:

W_{CB} = _____ · _____ · _____ = _____

★★★★★★★★★★★

F · AB; 20 kg; 10 N/kg; 3 m; 600 J

32 ■ O trabalho total realizado para deslocar o corpo de A até B, seguindo o caminho descrito, vale:

$W_{AB} = W_{AC} + W_{CB}$ = _____ J

★★★★★★★★★★★

600

33 ■ Ainda com relação ao quadro, se deslocarmos o corpo diretamente de A até B através da força $\vec{F}$ e em movimento uniforme, temos: (veja o esquema abaixo.)

a) F = _____ = _____

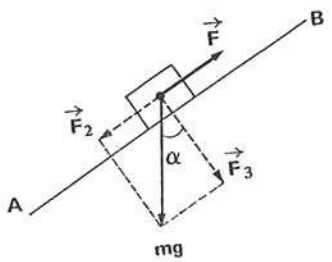
b) W_{AB} = _____

Substituindo os valores:

c) F = _____ N

d) W_{AB} = _____ J

★★★★★★★★★★★



F_2; mg · sen α (sen $\alpha = \frac{BC}{AB}$); (m · g · sen α) · $\overline{AB}$; 120; 600

34 ■ Comparando os resultados obtidos nos itens anteriores, concluímos que em caminhos diferentes (encontramos; não encontramos) o mesmo valor para o trabalho.

****

encontramos

35 ■ O trabalho acima determinado é a variação da energia potencial entre os pontos A e B.
Nos pontos A e C o corpo (tem; não tem) a mesma energia potencial.

****

tem

36 ■ Pontos que tem a mesma energia potencial formam uma **superfície equipotencial.** Essa noção é de grande importância no estudo de vários ramos da Física.
Os pontos A e B (pertencem; não pertencem) à mesma superfície equipotencial.

****

não pertencem

37 ■ Os pontos A e C do quadro acima estão na mesma superfície _____.

****

equipotencial

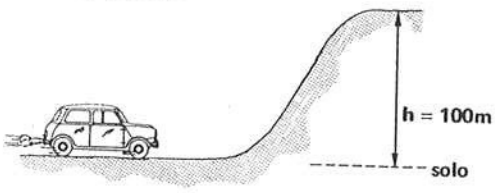
PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ Por convenção, adotamos que a energia potencial gravitacional de um corpo na superfície da Terra é nula. Determine, então: (adotar g = 10 N/kg)
a) a energia potencial de um avião cuja massa é de 20 toneladas e que se encontra a uma altura de 3 km.
b) a energia potencial de um bloco de 2 toneladas numa mina cuja profundidade é de 500 m.
c) o trabalho realizado para trazer a pedra do item anterior até a superfície.

2 ■ Uma esfera de massa 5 kg é elevada de 5 m até a altura de 20 m.
Determine: (adotar g = 10 N/kg)
a) sua energia potencial inicial.
b) sua energia potencial final.
c) o trabalho realizado para transportar a esfera.

3 ■ Um guindaste eleva um bloco de 200 kg até a altura de 10 m. Gira em torno de seu eixo e em seguida eleva o bloco até a altura de 30 m. Determine: (adotar g = 10 N/kg)
a) o trabalho realizado pelo guindaste na primeira etapa.
b) a variação da energia potencial do bloco durante o giro.
c) a energia potencial do bloco com relação ao solo numa posição durante o giro.
d) a variação da energia potencial do bloco durante a operação inteira.

4 ■ Um automóvel cuja massa é de 1 000 kg sobe uma rampa como mostra a figura ao lado. Determine: (adotar g = 10 N/kg)
a) a energia potencial com relação ao solo do auto antes do início da subida.
b) a energia potencial do auto na parte mais alta da rampa.
c) o trabalho realizado para elevar o auto até a metade da rampa (adotar $\Delta v = 0$).
d) Trace um gráfico da energia potencial em função da altura com relação ao solo.



5 ■ Sob a ação de uma força de 100 N um corpo de massa 10,0 kg é erguido do solo até a uma altura de 5,0 metros, num local onde o campo gravitacional possui módulo 10,0 N/kg. Com os dados mencionados acima, determine:

a) o peso do corpo.
b) a aceleração do corpo.
c) a força resultante sobre o corpo.
d) a variação da energia cinética do corpo.
e) o trabalho da força.
f) a variação da energia potencial gravitacional do corpo.

6 ■ Uma pedra de massa 2,5 kg é abandonada e cai 10 m. Se o campo gravitacional tiver módulo 9,8 N/kg, qual é a variação da energia potencial gravitacional da pedra no evento?
A pedra "perdeu" ou "ganhou" energia potencial? Justifique.

7 ■ Uma massa de 1,4 kg é lançada verticalmente para cima e atinge uma altura máxima de 5,0 metros. Se $g_0 = 10$ N/kg, determine a variação de energia potencial da massa desde o solo até a altura máxima.

RESPOSTAS

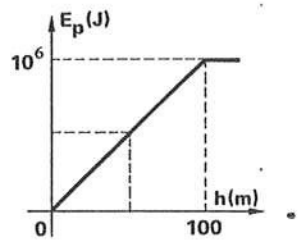
1. a) $E_p = 6 \cdot 10^8$ J
b) $E_p = -1 \cdot 10^7$ J (abaixo da referência zero)
c) $W = 0 - (-1 \cdot 10^7) = 1 \cdot 10^7$ J

2. a) $E_{p_0} = 250$ J b) $E_p = 1\,000$ J c) $W = 750$ J

3. a) $W = 2{,}0 \cdot 10^4$ J b) $E_p = 0$ c) $E_p = 2{,}0 \cdot 10^4$ J
d) $E_p = 6{,}0 \cdot 10^4$ J

4. a) $E_{p_0} = 0$ b) $E_p = 10^6$ J c) $W = 5 \cdot 10^5$ J

d)



5. a) $p = m \cdot g = 100$ N b) $a = 0$ c) $F_R = F - P = 0$ d) $\Delta E_c = 0$
e) $W = F \cdot \Delta d = 5{,}0 \times 10^2$ J f) $\Delta E_p = mg\Delta h = 5{,}0 \times 10^2$ J

6. $\Delta E_p = m \cdot g \cdot \Delta h = 2{,}5$ kg $\cdot 9{,}8$ N/kg $(-10$ m$) = -245$ J.
A pedra "perdeu" a energia potencial porque sua altura diminuiu.

7. $\Delta E_p = m \cdot g \cdot \Delta h = 70$ J.

SEÇÃO 4 – TRABALHO (DE FORÇA VARIÁVEL) E ENERGIA

Objetivos: **a. definir operacionalmente trabalho de força não-constante.**
b. relacionar trabalho e energia potencial elástica.
c. resolver problemas.

A – TRABALHO DE FORÇA VARIÁVEL

Até o presente momento você estudou apenas trabalho de força constante. Você já sabe que a força é uma grandeza que depende, para sua completa caracterização, da direção, do sentido e do seu módulo (magnitude). Se uma dessas características que a definem sofrer variação, a força estará variando.

1 ■ O trabalho de uma força constante depende do módulo, do _____ sofrido por essa força e do ângulo entre essa força e o deslocamento.

★★★★★★★★★★★★

deslocamento

2 ■ Uma força que não varia em módulo, direção e sentido é uma força _____. O peso de um corpo (é; não é) uma força constante.

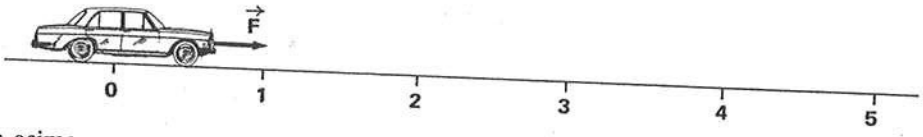
★★★★★★★★★★★★

constante, é

3 ■ Uma força aplicada a um corpo pode ou não variar enquanto esse corpo é deslocado por ela. Teremos assim trabalhos de forças constantes ou trabalhos de forças _____.

★★★★★★★★★★★★

variáveis

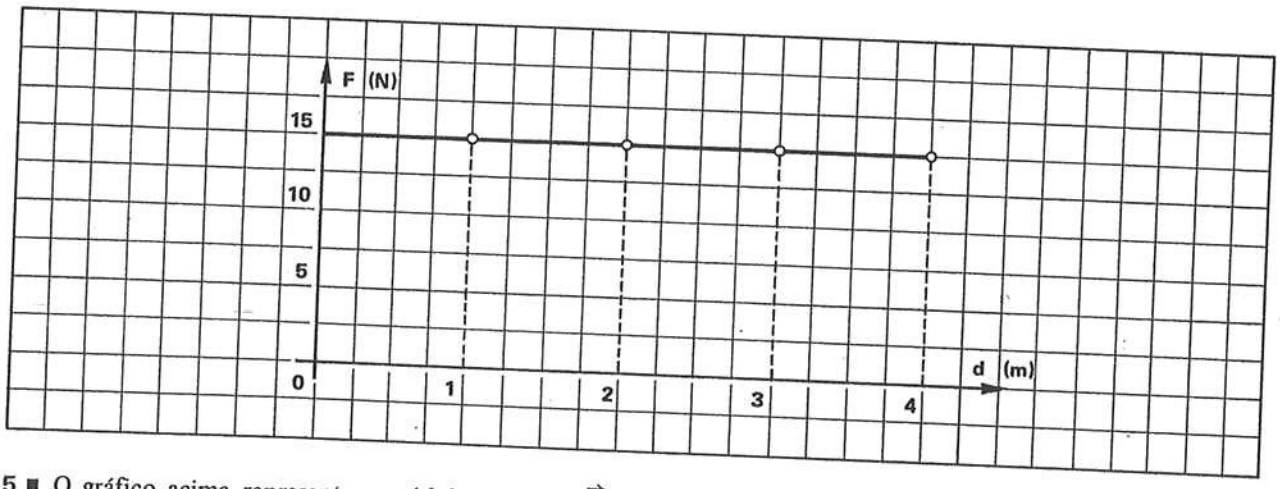


A figura acima representa um carro sendo puxado por uma força de 15,0 N que não varia enquanto ele se desloca.

4 ■ O carro acima é puxado por uma força (constante; variável). Se o valor da força quando o carro está na posição inicial for de 15,0 N, o valor para a posição 3,0 m será _____.

★★★★★★★★★★★★

constante; 15,0 N



5 ■ O gráfico acima representa o módulo da força $\vec{F}$ em função do deslocamento do problema do item anterior. Vamos relacionar a área que está sob a "curva" com o trabalho realizado pela força $\vec{F}$.

a) O trabalho realizado por uma força é dado por W = _____.

b) No nosso exemplo, a força e o deslocamento são paralelos, isto é, cos θ = 1; logo, podemos escrever W = _____.

★★★★★★★★★★★★

$F \cdot \Delta d \cdot \cos \theta$; $F \cdot \Delta d$

6 ■ A área do retângulo sob a "curva" que representa a variação da força com a distância é A = (base)X (_____), onde a base é o deslocamento e vale _____ m, e a altura é o valor constante da força e vale _____ N.

★★★★★★★★★★★

altura; 4; 15

7 ■ A área vale, então, A = _____ X _____ = _____.

★★★★★★★★★★★

4 m; 15 N; 60 J

8 ■ O trabalho realizado vale, portanto, _____.

★★★★★★★★★★★

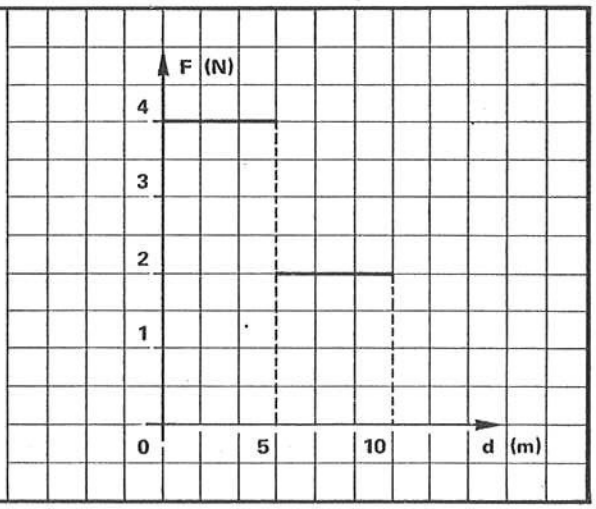
60 J (pois $W = F \cdot d$)

9 ■ A área representa, então, _____.

★★★★★★★★★★★

o trabalho realizado pela força $\vec{F}$

A figura representa a variação da força aplicada sobre um corpo à medida que este se deslocava. Força e deslocamento têm a mesma direção.



10 ■ No diagrama acima, de 0 a 5 m a força que atuou no corpo (permaneceu; não permaneceu) constante. O trabalho realizado por essa força nos primeiros 5 m vale _____.

★★★★★★★★★★★

permaneceu; 20 J

11 ■ No segundo trecho, o trabalho vale _____.

★★★★★★★★★★★

10 J

12 ■ O trabalho realizado no percurso total foi de _____.

★★★★★★★★★★★

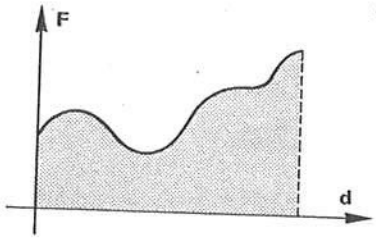
20 J + 10 J = 30 J (1º trecho + 2º trecho)

13 ■ Quando num corpo atua uma força não-constante, (podemos; não podemos) usar a fórmula $W = F \cdot \Delta d \cdot \cos \theta$.

★★★★★★★★★★★

não podemos (pois nela a força é constante).

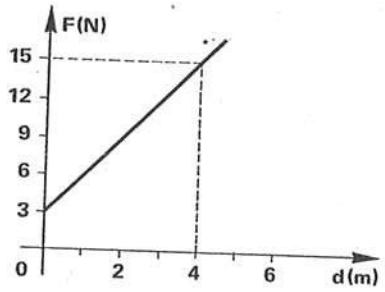
14 ■ Para tais casos, é em geral difícil de se calcular o trabalho. No gráfico ao lado, a força (varia; não varia) com o deslocamento. Casos como esse, não trataremos durante o curso, mas podemos dizer que, neles também a área sob a curva F X d, indica quanto vale o trabalho realizado pela força.



★★★★★★★★★★★★

varia

15 ■ No gráfico ao lado, a força (varia; não varia) com o deslocamento. A variação da força com o deslocamento (é; não é) linear.



★★★★★★★★★★★★

varia; é

16 ■ No caso da variação linear da força com o deslocamento, usaremos a seguinte relação para o cálculo do trabalho: $W = F_m \cdot \Delta d \cdot \cos \theta$, onde $F_m = \frac{F_i + F_f}{2}$

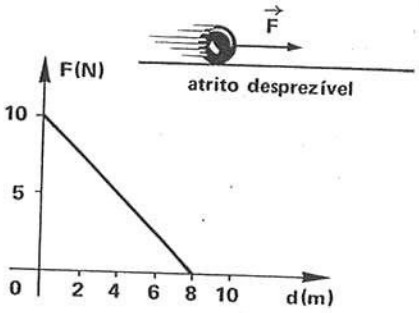
F_i e F_f são os valores da força no início e no fim de deslocamento. No gráfico do item anterior, $F_m =$ _____.

F_m representa a força média que atua sobre o corpo num certo deslocamento.

★★★★★★★★★★★★

9N

17 ■ Na figura ao lado, temos o gráfico de uma força que foi variando à medida que o objeto se deslocava. Tal variação (é; não é) linear. O valor da força média durante o deslocamento vale:



$F_m =$ _____ $=$ _____

★★★★★★★★★★★★

é; 10 N + 0; 5 N

18 ■ Logo, o trabalho realizado por tal força vale:

$W =$ _____

★★★★★★★★★★★★

$F_m \cdot \Delta d = 5\ N \cdot 8\ m = 40\ J$

19 ■ O trabalho realizado sobre um corpo será a medida da variação de sua energia cinética ou de sua _____ _____.

★★★★★★★★★★★★

energia potencial gravitacional

20 ■ A energia cinética do corpo do item 17 aumentou de _____.

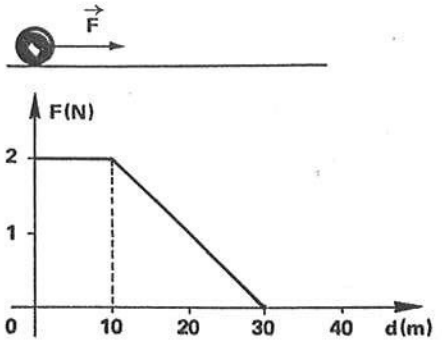
★★★★★★★★★★★★

40 J

PROBLEMAS RESOLVIDOS

PROBLEMA 1

Uma esfera de massa 10 kg está sujeita a uma força que varia de acordo com o gráfico ao lado. No início do movimento, a esfera está parada. O atrito é desprezível. Qual será a velocidade para as posições 10,0 m e 30,0 m?



1 ■ A esfera, em sua posição inicial, tem velocidade nula; sua energia cinética é _____.

★★★★★★★★★★★

nula

2 ■ Nos primeiros 10 m, a esfera (sofreu; não sofreu) a ação de uma força constante.

★★★★★★★★★★

sofreu

3 ■ O trabalho realizado pela força vale, nesse trecho, _____.

★★★★★★★★★★★

20 J

4 ■ Então, a energia cinética da esfera na posição 10 m vale _____.

★★★★★★★★★★★

20 J

5 ■ Mas, $E_c = \frac{mv^2}{2}$; como m = 10 kg, v = _____.

★★★★★★★★★★★

2 m/s

6 ■ Entre 10 e 30 m, o trabalho foi de _____.

★★★★★★★★★★★

20 J

7 ■ A variação da energia cinética foi de _____.

★★★★★★★★★★★

20 J

8 ■ A energia cinética no fim de 30 m é, portanto, igual a _____.

★★★★★★★★★★★

40 J

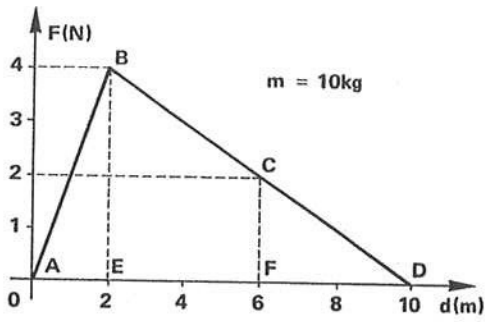
9 ■ Então, a velocidade ao fim de 30 m é igual a _____.

★★★★★★★★★★★

$\sqrt{8}$ m/s

PROBLEMA 2

A mesma esfera do problema anterior é sujeita agora a uma força que varia de acordo com a figura ao lado. Qual será a energia cinética nas posições 2, 6 e 10 m? Qual será a velocidade final da esfera?



1 ■ O trabalho entre 0 e 2 m vale _____.

****

4 J

2 ■ Então, a energia cinética nesse ponto vale _____.

****

4 J

3 ■ O trabalho entre 2 e 6 m é dado pela área do trapézio BCEF. Então, W = _____.

****

12 J

4 ■ A energia cinética no ponto 6 m vale, então, _____.

****

16 J

5 ■ A energia cinética no ponto 10 m vale _____.

****

20 J

6 ■ Se E_c = 20 J, v = _____.

****

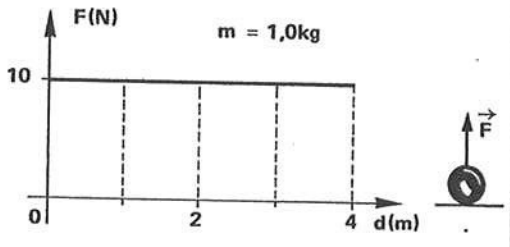
2 m/s

PROBLEMA 3

Uma esfera está sob a ação de uma força $\vec{F}$ igual a seu peso. Tal força atua durante o deslocamento de 4,0 m. (adotar g = 10 N/kg)

Qual será a energia potencial da esfera numa altura de 2,0 m?

Qual será a variação de energia potencial entre 2,0 e 4,0 m?



1 ■ O trabalho realizado pela força $\vec{F}$, cujo módulo é _____, vale, se o deslocamento for 2 m, _____.

★★★★★★★★★★★

10 N; 20 J

2 ■ Então, a variação da energia potencial da esfera desde o solo até 2 m vale _____, pois a energia potencial da esfera no solo tem valor _____.

★★★★★★★★★★★

20 J; zero

3 ■ O trabalho realizado pela força $\vec{F}$ entre 2 e 4 m é a área do retângulo que tem por base os pontos 2 m e _____. Tal área vale _____.

★★★★★★★★★★★

4 m; 20 J

4 ■ Então, a variação da energia potencial entre 2 e 4 m vale _____.

★★★★★★★★★★★

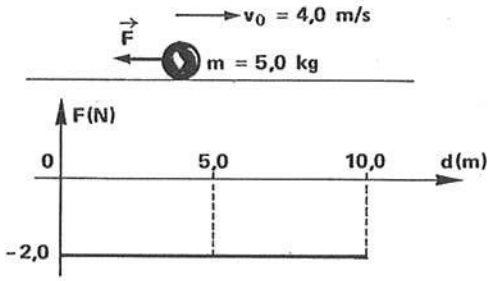
20 J

PROBLEMA 4

Uma esfera de massa 5,0 kg está animada de uma velocidade de 4,0 m/s. Aplica-se-lhe, então, uma força cujo módulo é de 2,0 N e de sentido contrário ao movimento num espaço de 10,0 m.

a) Qual será a variação da energia cinética da esfera?

b) Qual será sua velocidade no fim de 10,0 m?



1 ■ A força e a velocidade têm (mesmo sentido; sentidos contrários). Vamos considerar que a velocidade esteja dirigida para um sentido que consideraremos positivo. O sentido da força será _____.

★★★★★★★★★★★

sentidos contrários; negativo

2 ■ A área que representa o trabalho, que por sua vez dará a variação da energia _____ da esfera será (negativa; positiva).

★★★★★★★★★★★

cinética; negativa

3 ■ O valor da variação da energia cinética é _____.

★★★★★★★★★★★

-20 J

4 ■ A energia cinética da esfera, antes da aplicação da força, é dada por $E_{c_0} = m \cdot \frac{\quad}{2}$. Então, substituindo-se os valores das grandezas, teremos $E_{c_0} =$ _____.

★★★★★★★★★★★

v_0^2 ; 40 J

5 ■ Depois da aplicação da força, a energia cinética (diminuiu; aumentou) para _____.

★★★★★★★★★★★

diminuiu; 20 J

6 ■ Logo, podemos calcular o valor da velocidade depois da aplicação da força, pois, $E_c = \frac{m \cdot v^2}{2}$ ou $20 = \frac{5 \cdot v^2}{2}$. Portanto, v = _____.

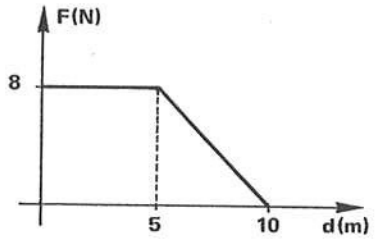
★★★★★★★★★★★

$\sqrt{8}$ m/s

PROBLEMAS A RESOLVER

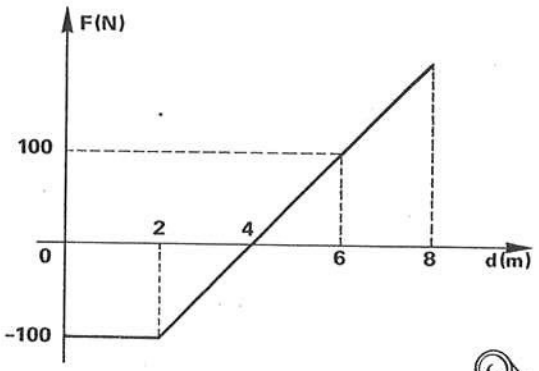
1 ■ Aplica-se sobre um corpo uma força conforme a figura ao lado. Calcule:

a) o trabalho realizado pela força entre 0 e 5 m.
b) a variação de energia do corpo entre 5 e 10 m.
c) a variação total da energia do corpo.
d) Podemos afirmar se a energia em jogo é cinética ou potencial?
e) E se disséssemos que a massa do corpo é de 2,0 kg, poderíamos afirmar alguma coisa sobre a variação de energia?



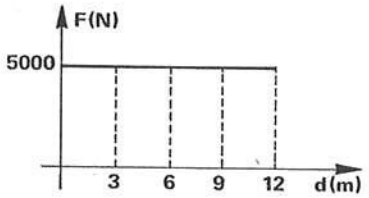
2 ■ Um carrinho de massa 10 kg está sob a ação de uma força que varia conforme o gráfico ao lado. Inicialmente, a velocidade do carro é 8,0 m/s. Admita o movimento horizontal. Calcule:

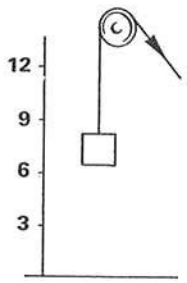
a) a velocidade depois de o carrinho percorrer 2 m.
b) a velocidade para d = 4 m; d = 6 m; d = 8 m.
c) a variação da energia cinética entre 0 e 4 m e entre 4 e 8 m.



3 ■ Um guindaste levanta verticalmente um corpo em MRU. O gráfico da força em função da altura é ilustrado ao lado. Calcule:

a) a massa do corpo.
b) o trabalho que o guindaste realiza entre o solo e a altura de 6 m.
c) a variação da energia potencial entre 3 e 9 m.
d) a energia potencial do corpo no ponto mais alto.



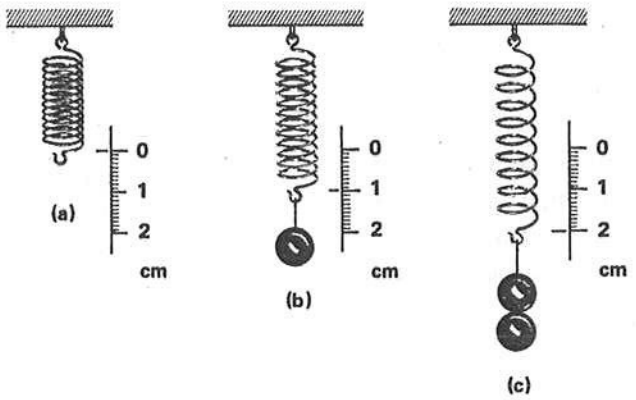


RESPOSTAS

1. a) $W_{5-0} = 40$ J; b) $W_{10-5} = 20$ J; c) W = 60 J;
   d) Não; pois não sabemos se o movimento é horizontal ou não.
   e) Não; pelas razões expostas na resposta ao item **d**.
2. a) $v = 2\sqrt{6}$ m/s; b) para d = 4 m, v = 2,0 m/s; para d = 6 m, $v = 2\sqrt{6}$ m/s; para d = 8 m, $v = \sqrt{84}$ m/s
   c) $\Delta E_{c_{4-0}} = W_{4-0} = -300$ J; $\Delta E_{c_{8-4}} = +400$ J
3. a) m = 500 kg; b) $W = 3 \times 10^4$ J; c) $\Delta E_p = 3 \cdot 10^4$ J; d) $E_p = 6 \cdot 10^4$ J

B – TRABALHO E ENERGIA POTENCIAL ELÁSTICA

Após nosso estudo de dois tipos de energia (cinética e potencial gravitacional), veremos um outro tipo: a energia potencial elástica de um corpo. Nesta altura, usaremos uma experiência realizada por Hook para estudar a deformação dos corpos.



(a) A figura mostra uma mola de comprimento normal. A mola possui um ponteiro que aponta uma escala graduada em cm.

(b) Colocamos uma massa de 1,0 kg; a mola se distende 1,0 cm.

(c) Uma massa de 2,0 kg distende a mola 2,0 cm. (adotar g = 10 N/kg)

1 ■ No quadro acima, o indicador aponta na escala de medida o valor _____ (a). Quando colocamos a massa (b) esta (exerce; não exerce) uma força sobre a mola.

★★★★★★★★★★★

zero; exerce

2 ■ A força exercida é o peso da massa. Essa força desloca o ponteiro 1,0 cm; então, ela realiza um _____.

★★★★★★★★★★★

trabalho

3 ■ O peso colocado vale _____ N, e o deslocamento sofrido pela mola vale _____ m.

★★★★★★★★★★★

10; 10^{-2}

4 ■ Na figura (c) acrescentamos mais uma massa de _____. Agora a força total que atua sobre a mola é de _____ e a deformação é _____.

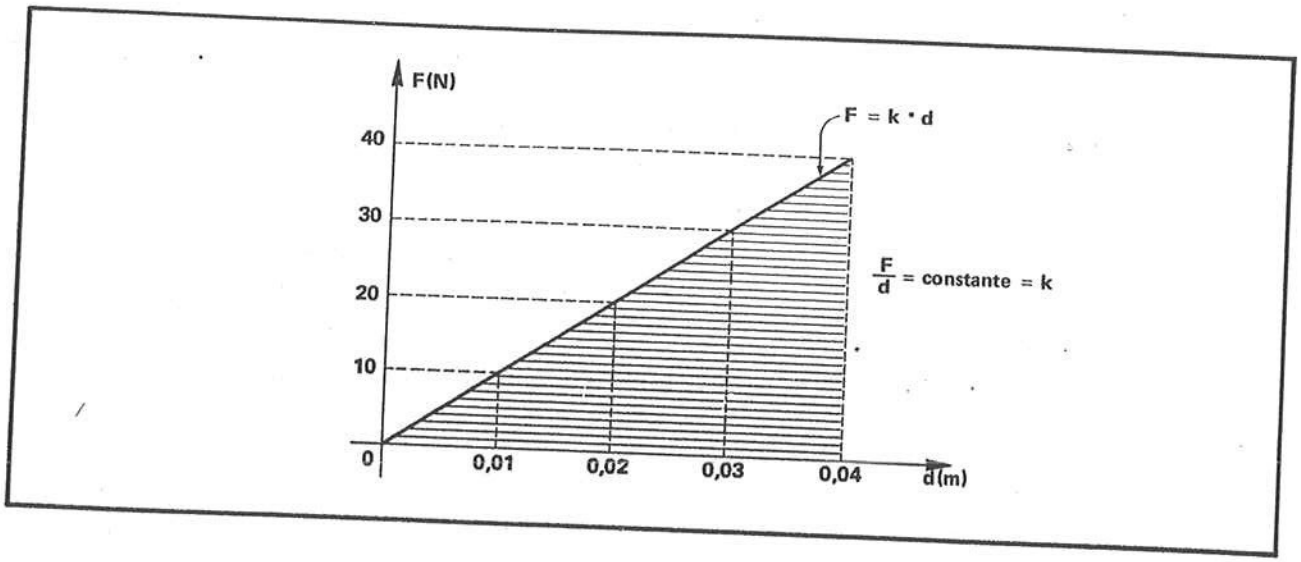
★★★★★★★★★★★

1,0 kg; 20 N; 2×10^{-2} m

5 ■ Pendurando-se sucessivamente pesos idênticos, podemos construir um gráfico F X d. Tal gráfico mostra que a força e o deslocamento (são; não são) proporcionais.

★★★★★★★★★★★

são



6 ■ Podemos afirmar então que $F = k \cdot d$, onde **k** é chamada constante elástica da mola (depende da mola). Ela pode ser determinada, portanto, pela razão de uma força (peso) e um deslocamento provocado por essa força, isto é, k = _____.
Na mola acima descrita, ela vale _____.

★★★★★★★★★★★★

$\frac{F}{d}$; 1 000 N/m

7 ■ O trabalho realizado pela força é dado pela área hachurada na figura. Esse trabalho vai aumentar a energia da mola, que chamaremos energia potencial elástica.
A energia potencial elástica de uma mola distendida é (maior; menor) que quando em seu tamanho normal.

★★★★★★★★★★★★

maior

8 ■ Coloca-se na mola uma massa de 2,0 kg. Nesta situação, a área abaixo da reta que representa a força vale _____.

★★★★★★★★★★★★

0,2 J

9 ■ Podemos achar a energia potencial da mola numa posição qualquer. A força média numa determinada posição vale $\frac{k \cdot d}{2}$. Se o deslocamento dessa força for **d**, o trabalho será dado por _____.

★★★★★★★★★★★★

$\frac{k \cdot d}{2} \cdot d = \frac{k \cdot d^2}{2}$

10 ■ A mola, no caso, quando estiver na posição 10 cm, terá uma energia potencial elástica de _____.

★★★★★★★★★★★★

5 J

11 ■ Se a mesma mola tiver uma energia de 2,0 J, o valor da distensão correspondente será _____.

★★★★★★★★★★★★

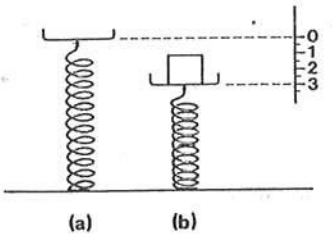
$d = 2\sqrt{10}$ cm

12 ■ Uma mola comprimida também adquire uma energia potencial $E_p = \frac{k \cdot d^2}{2}$, onde **d** representa quanto foi comprimida a mola. A constante **k** tem o mesmo valor na compressão ou na distensão.
Na mola descrita, o valor da constante elástica k para compressão vale _____.

★★★★★★★★★★★★

1 000 N/m

A mola da experiência anterior é colocada de acordo com a figura ao lado. Coloca-se uma massa sobre a mesma. Ela passa da posição 0 para 3,0 cm. ($g = 10\ m/s^2$)



13 ■ No quadro acima, quando a massa não está no prato, a mola aponta a posição _____.

★★★★★★★★★★★

zero

14 ■ A força que a mola exerce sobre o objeto vale $F = k \cdot d$; logo, o peso vale _____, pois o sistema está em equilíbrio.

★★★★★★★★★★★

1 000 N/m X 0,03 m = 30 N

15 ■ Podemos, portanto, calcular a massa colocada, ou seja, $m = \frac{F}{g} =$ _____.

★★★★★★★★★★★

3,0 kg

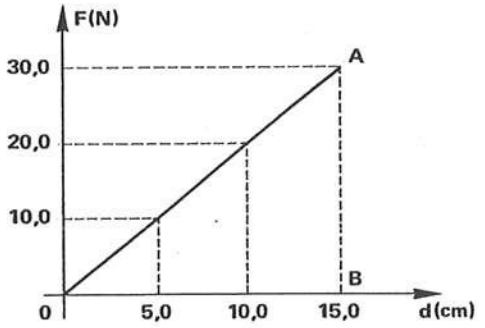
16 ■ Os processos descritos nos dois quadros acima são usados na confecção de balanças. Elas se baseiam na proporcionalidade entre força aplicada e a _____ sofrida por uma mola.

★★★★★★★★★★★

deformação (distensão ou compressão)

17 ■ Numa certa experiência, a força aplicada numa mola e sua respectiva deformação varia conforme o gráfico ao lado.

a) O trabalho total realizado pela força é dado pela _____. Seu valor é igual a _____.
b) Entre a posição de repouso e 5,0 cm, foi realizado um trabalho de _____.
c) A variação da energia potencial elástica entre 5,0 e 15,0 cm foi de _____.
d) A constante da mola vale _____.



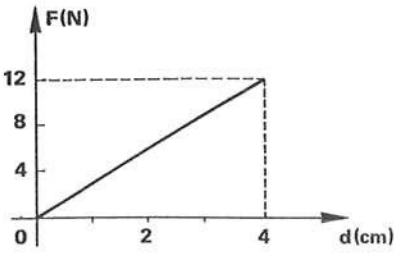
★★★★★★★★★★★

área do ΔOAB; 2,25J; $2{,}5 \cdot 10^{-1}$ J; 2,0 J; 200 N/m

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ Uma mola cuja constante elástica vale 500 N/m sofre uma distensão de 2,0 cm. Determine:
a) a força que produz essa deformação.
b) a energia potencial elástica da mola nessa posição.
c) o trabalho realizado pela força para produzir essa deformação.
d) a energia potencial da mola quando ela estiver comprimida 5,0 cm.

2 ■ O gráfico da deformação de uma mola é o que vem a seguir. Calcule:
a) a constante da mola.
b) a energia potencial elástica para d = 3,0 cm.
c) o trabalho para distender a mola 5,0 cm.



3 ■ Um trabalho de 2,0 J é necessário para se comprimir uma determinada mola 4,0 cm. Calcule:
a) a energia potencial elástica da mola para essa deformação.
b) a constante elástica da mola.
c) a força exercida pela mola nessa posição.
d) a variação da energia potencial elástica quando a mola passa de uma posição de compressão de 2,0 cm para 5,0 cm.

4 ■ Duas molas têm o mesmo comprimento na posição normal. Quando sofrem uma distensão de 5,0 cm, elas têm respectivamente 5,0 J e 10,0 J de energia potencial elástica. Determine a razão das constantes elásticas das molas.

5 ■ Uma mola de constante elástica igual a 500 N/m recebe 10,0 J de energia, e como conseqüência ela sofre uma deformação x. Determine a deformação x.

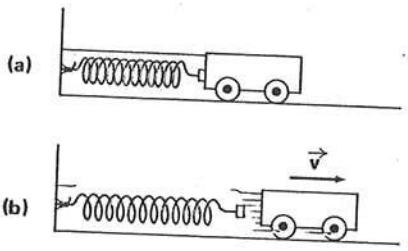
6 ■ É necessário uma força de 100 N para manter uma mola deformada 5,0 cm. Calcule:
a) a constante elástica da mola.
b) a energia potencial elástica da mola quando deformada 5,0 cm.
c) Qual seria a nova energia potencial da mola se a deformação fosse 2,5 cm?

7 ■ Uma mola possui energia potencial elástica igual a 400 joules quando sofre uma deformação de 4 cm. Qual será a energia da mola quando a deformação é 2 cm?

8 ■ De quanto aumenta a deformação de uma mola quando sua energia potencial elástica for aumentada de 500 joules para 1 000 joules?

9 ■ Uma massa de 4,0 kg colide com uma mola e a deforma 10 cm. Se a constante elástica da mola é de 1 000 N/m, determine com que velocidade a massa colidiu com a mola. Suponha que toda a energia cinética da massa transformou-se em energia potencial.

10 ■ Na figura a ao lado um carrinho de massa 10 kg encontra-se comprimido com uma mola e preso por um fio.
Na figura b o fio é rompido e o carrinho é lançado com velocidade de 2 m/s.
Determine a energia potencial elástica que estava acumulada na mola.



RESPOSTAS

1. a) $F = 10$ N; b) $E_p = 1 \cdot 10^{-1}$ J; c) $W = 1 \cdot 10^{-1}$ J; d) $E_p \cong 63 \cdot 10^{-2}$ J

2. a) $k = 300$ N/m; b) $E_p \simeq 1{,}4 \cdot 10^{-1}$ J; c) $W \simeq 3{,}8 \cdot 10^{-1}$ J

3. a) $E_p = 2{,}0$ J; b) $k = 2{,}5 \cdot 10^3$ N/m c) $F = 1{,}0 \cdot 10^2$ N; d) $E_p \cong 2{,}6$ J

4. $\frac{k_1}{k_2} = \frac{1}{2}$

5. $d = 2 \cdot 10^{-1}$ m

6. a) $k = 20 \cdot 10^2$ N/m; b) $E_p = 2{,}5$ J; c) $E_p = \frac{2{,}5}{4}$ J

7. $E_p = 100$ J

8. Para deformação d_0, $E_{p_0} = 500$ J, logo $500 = \frac{1}{2} k \cdot (d_0)^2$

Para deformação d, $E_p = 1\,000$ J, logo $1\,000 = \frac{1}{2} k \cdot (d)^2$

Portanto, dividindo-se membro a membro, temos que

$$\frac{d^2}{d_0^2} = 2; \text{ logo, } d = d_0 \cdot \sqrt{2}$$

A deformação é então aproximadamente 1,4 vezes maior que a inicial.

9. $v = \sqrt{2{,}5}$ m/s

10. $E_p = 20$ J

SEÇÃO 5 – ENERGIA MECÂNICA DE UM OBJETO

Objetivos: **a. definir energia mecânica de um objeto.**
b. caracterizar transformação de energia.
c. definir conservação de energia.
d. resolver problemas.

A – ENERGIA MECÂNICA DE UM OBJETO

Um objeto qualquer, numa certa situação, possui uma energia total definida pela soma de todos os tipos de energia que possui. Temos discutido duas formas de energia: energia cinética e energia potencial. Em situações em que elas são as únicas duas importantes formas de energia (as demais são desprezíveis), a energia total do objeto é dada pela soma delas. Ela é chamada de **energia mecânica** do objeto. Ou seja, (energia mecânica) = (energia cinética) + + (energia potencial).

1 ■ Uma esfera rolando sobre uma mesa tem energia mecânica (nula; não-nula), pois possui energia _____.

★★★★★★★★★★★★

não-nula; cinética

2 ■ Um corpo de massa 5,0 kg está parado a 8,0 m do solo. Ele possui energia mecânica (nula; não-nula), pois sua energia _____ é diferente de zero.

★★★★★★★★★★★★

não-nula; potencial

3 ■ Uma mola normal está sobre o solo. Ela possui energia mecânica (nula; não-nula).

★★★★★★★★★★★★

nula (pois tanto energia cinética como potencial gravitacional e potencial elástica são nulas)

4 ■ A esfera do item 2 tem uma energia potencial E_p (g = 10 N/kg) igual a _____.
Sua energia cinética E_c vale _____ joules.

★★★★★★★★★★★★

400 J; zero (pois ela está parada)

5 ■ Ainda com relação a esfera do item 2, sua energia mecânica E_m é dada por E_m = _____ + _____, e ela vale E_m = _____.

★★★★★★★★★★★★

E_p ; E_c ; 400 joules

6 ■ Um avião tem uma energia potencial de $5{,}0 \times 10^7$ J e uma energia cinética de $0{,}3 \times 10^7$ J. Sua energia mecânica é de _____.

★★★★★★★★★★★★

$5{,}3 \times 10^7$ J

7 ■ Um corpo de massa 25,0 kg está com velocidade de 2,0 m/s a 20,0 m do solo. Então:

a) sua energia potencial vale _____.

b) sua energia cinética vale _____.

c) sua energia mecânica é de _____.

★★★★★★★★★★★

5 000 J; 50 J; 5 050 J

8 ■ Um objeto tem massa de 100 kg e energia total igual a 8 000 J. Sua velocidade é de 8,0 m/s. A energia cinética desse objeto vale _____.

★★★★★★★★★★★

$E_c = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 100 \cdot 64 = 3\,200\ J = 3{,}2 \times 10^3 J$

9 ■ Sua energia potencial com relação ao solo vale _____.

★★★★★★★★★★★

$E_p = E_m - E_c = 8\,000 - 3\,200 = 4\,800\ J = 4{,}8 \times 10^3 J$

10 ■ Então, podemos dizer que esse objeto (está; não está) sobre o solo. Explique:

★★★★★★★★★★★

não está; (pois sua energia potencial é diferente de zero)

11 ■ A energia potencial de um corpo vale, como você já sabe, mgh. A altura do objeto do item 8 vale, portanto, _____.

★★★★★★★★★★★

$E_p = mgh \Rightarrow \frac{E_p}{mg} = \frac{4\,800}{100 \times 10} = 4{,}8\ m$.

12 ■ Um avião tem energia total de $3{,}3 \times 10^7 J$. Sua massa é de 3,0 toneladas e se encontra a uma altitude de 100 m. Sua energia potencial é de _____.

★★★★★★★★★★★

$E_p = 3\,000\ kg \times 100\ m \times 10\ m/s^2 = 3{,}0 \times 10^6 J$

13 ■ A energia cinética do avião vale _____. Logo, sua velocidade é de _____.

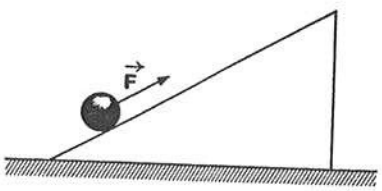
★★★★★★★★★★★

$3{,}0 \times 10^7 J$; $E_c = \frac{mv^2}{2} \Rightarrow v = 100\sqrt{2}\ m/s$

14 ■ Já temos, agora, alguma noção do que seja a energia mecânica de um objeto. Vamos relacioná-la com o trabalho (nosso instrumento de medida da variação de energia).

Na figura ao lado, uma força $\vec{F}$ leva a esfera, ladeira acima, em um movimento acelerado.

Sua energia cinética (é; não é) constante.



★★★★★★★★★★★

não é (pois a velocidade varia)

15 ■ Se a velocidade da esfera aumenta, sua _____ aumenta.

★★★★★★★★★★★

energia cinética

16 ■ A altura da esfera em relação ao solo aumenta durante o movimento. Logo, sua energia potencial _____ .

★★★★★★★★★★★

aumenta

17 ■ A força $\vec{F}$ está contribuindo para aumentar ao mesmo tempo a energia cinética e a energia potencial do corpo. A força $\vec{F}$ aumenta, então, a energia _____ da esfera.

★★★★★★★★★★★

mecânica

18 ■ A força $\vec{F}$ (realiza; não realiza) trabalho durante o percurso.

★★★★★★★★★★★

realiza

19 ■ O trabalho da força $\vec{F}$ aumenta, portanto, a energia _____ do objeto.

★★★★★★★★★★★

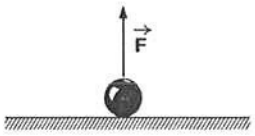
mecânica

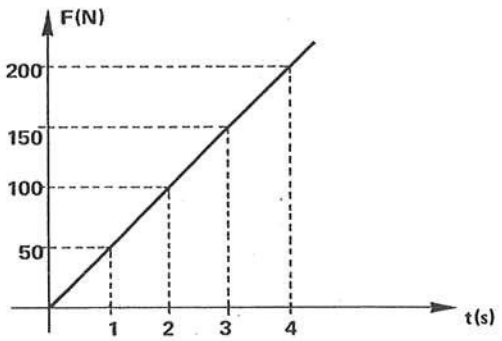
20 ■ Num caso mais geral, o trabalho de uma força é dado por: $W = \Delta E_m$, ou seja, $W = \Delta E_p + \Delta E_c$.
Se substituirmos os valores da E_p e da E_c em função da massa, da velocidade e da altura, teremos:
$W =$ _____ + _____ . (Utilize índices 1 e 2 para as situações inicial e final.)

★★★★★★★★★★★

$mgh_2 - mgh_1$; $\frac{1}{2} mv_2^2 - \frac{1}{2} mv_1^2$

Um bloco de massa 20,0 kg está sob a ação de uma força $\vec{F}$ que varia em função do tempo, de acordo com o gráfico ao lado.





21 ■ Vamos aprofundar um pouco mais a noção da relação entre trabalho e energia total.
No gráfico acima, a força que atua sobre o bloco é (constante; variável).

★★★★★★★★★★★

variável

22 ■ Além da força $\vec{F}$, o peso do bloco também age sobre o mesmo. Seu peso vale $P =$ _____ .

★★★★★★★★★★★

$mg = 200$ N

23 ■ Para $t = 2,0$ s, o valor da força $\vec{F}$ é de _____ .

★★★★★★★★★★★

100 N

24 ■ A força resultante do peso e da força $\vec{F}$ para t = 2,0 s tem módulo igual a _____ N. Ela está dirigida para (cima; baixo).

★★★★★★★★★★★

200 - 100 = 100; baixo

25 ■ Então, o bloco (se move; não se move). A força $\vec{F}$ (realiza; não realiza) trabalho.

★★★★★★★★★★★

não se move; não realiza (pois seu deslocamento é nulo)

26 ■ O bloco só poderá se mover depois de _____ s, porque nesse instante a força $\vec{F}$ iguala a força peso. A partir desse ponto, a força $\vec{F}$ (pode; não pode) realizar trabalho.

★★★★★★★★★★★

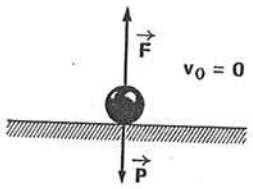
4,0 ; pode (pois o bloco será deslocado)

27 ■ Então, o peso é uma força que precisa ser vencida por uma força $\vec{F}$ para que esta realize _____ no sentido de aumentar a energia potencial de um objeto.

★★★★★★★★★★★

trabalho

Um objeto de massa 2,0 kg está sob a ação de uma força constante de 50 N. Procuraremos relacionar a energia mecânica com o trabalho da força $\vec{F}$. (adotar g = 10 N/kg)



28 ■ No quadro acima, a força F que age sobre o corpo é (constante; variável). Esta força não é a única, já que além dela temos a força _____.

★★★★★★★★★★★

constante; peso

29 ■ A resultante dessas duas forças tem módulo igual a _____ e é dirigida para (cima; baixo).

★★★★★★★★★★★

30 N; cima

30 ■ Um corpo de massa 2,0 kg e sob a ação de uma força de 30,0 N, adquire uma aceleração de _____.

★★★★★★★★★★★

15,0 m/s²

31 ■ Vejamos, agora, qual é o trabalho realizado e a energia mecânica do corpo, depois de 2,0 s. Depois desse tempo, sua velocidade vale $v = v_0 + at$, ou seja, v = _____.

★★★★★★★★★★★

30,0 m/s

32 ■ Logo, sua energia cinética nesse instante vale: E_c = _____.

★★★★★★★★★★★

900 J

33 ■ Em 2,0 s o corpo se desloca $\Delta d = v_0 \Delta t + \frac{1}{2} a (\Delta t)^2$, ou seja, $\Delta d =$ _____ . A variação da energia potencial será, portanto, $\Delta E_p =$ _____ .

★★★★★★★★★★

30,0 m; $mg \cdot \Delta d = 600$ J

34 ■ A variação da energia mecânica do corpo foi então de _____ .

★★★★★★★★★★

$E_c + E_p = 900 + 600 = 1\,500$ J

35 ■ Uma força de 50 N que desloca um corpo 30 m realiza um trabalho de _____ .

★★★★★★★★★★

$W = F \cdot d = 1\,500$ J

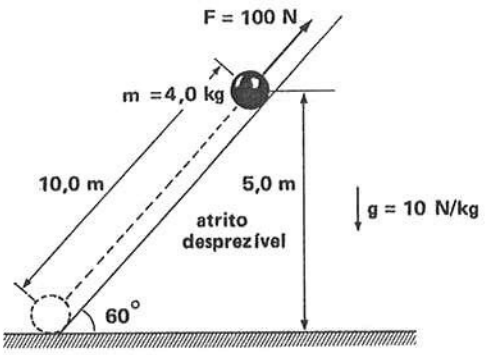
36 ■ Compare os resultados obtidos nos dois itens precedentes. O trabalho realizado pela força $\vec{F}$ em 2,0 s é igual à variação da _____ nesse intervalo de tempo.

★★★★★★★★★★

energia mecânica

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ Uma esfera de massa 4,0 kg está inicialmente na base de uma rampa em repouso. Uma força $\vec{F}$ constante e igual a 100 N desloca-a 10 metros ao longo da rampa, até uma altura de 5,0 metros. Determine:
a) o trabalho da força.
b) a variação da energia mecânica da esfera.
c) a variação da energia potencial.
d) a variação da energia cinética.
e) a velocidade final da esfera.



2 ■ Uma massa de 10 kg recebe um trabalho de 200 joules. Em conseqüência, sua altura aumenta 1,2 metros. Determine:
a) a variação da energia mecânica da massa.
b) a variação da energia potencial.
c) a variação da energia cinética.
d) a velocidade final da massa.

3 ■ Um objeto recebe trabalho e em conseqüência sua energia potencial apresenta variação $\Delta E_p = 400$ J e sua energia cinética, $\Delta E_c = 100$ J. Determine o trabalho recebido pelo objeto.

4 ■ Uma massa de 2,0 kg recebe 300 J de trabalho e em conseqüência sua energia cinética varia de $\Delta E_c = 200$ J. Determine a variação na altura do objeto. (adotar $g = 10$ N/kg).

5 ■ Uma força horizontal de 20 N atua sobre uma massa de 4,0 kg, inicialmente em repouso, e desloca-o por 10 metros sobre uma plataforma horizontal sem atrito. Determine:
a) a variação da energia potencial.
b) o trabalho recebido.
c) a variação da energia cinética e a velocidade final.

6 ■ Uma força horizontal de 36,0 N atua sobre um objeto de massa 2,0 kg, inicialmente em repouso sobre um plano horizontal. O objeto é deslocado, sem atrito, de 10,0 m, posição na qual a força deixa de atuar. Determine:

a) o trabalho realizado pela força.

b) a variação da energia mecânica do objeto.

c) a variação da energia potencial.

d) a variação da energia cinética.

e) a velocidade do objeto no fim de 10,0 m.

RESPOSTAS

1. a) $W = 1\,000\ J$
   b) $\Delta E_m = W = 1\,000\ J$
   c) $\Delta E_p = mg \cdot \Delta h = 200\ J$
   d) $\Delta E_m = \Delta E_c + \Delta E_p \ \therefore \ \Delta E_c = 800\ J$
   e) $v = 20\ m/s$

2. a) $\Delta E_m = 200\ J$; b) $\Delta E_p = 120\ J$; c) $\Delta E_c = 80\ J$; d) $v = 4{,}0\ m/s$

3. $W = \Delta E_m = 500\ J$

4. $\Delta E_m = 300\ J$, $\Delta E_m = \Delta E_p + \Delta E_c$, logo $100 = mg \cdot \Delta h \ \therefore \ \Delta h = 5{,}0\ m$

5. a) $\Delta E_p = 0$, pois $\Delta h = 0$
   b) $W = 200\ J$
   c) $\Delta E_c = 200\ J$; $v = 10\ m/s$

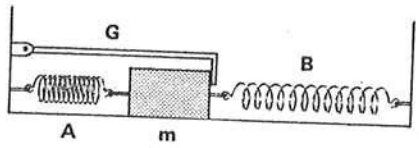
6. a) $W = 360\ J$; b) $\Delta E_m = 360\ J$; c) $\Delta E_p = 0$;
   d) $\Delta E_c = 360\ J$; e) $v \cong 19\ m/s$

B — TRANSFORMAÇÃO E CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

Os vários fenômenos físicos podem ser melhor compreendidos à luz dos conceitos de energia, isto é, quando são analisados em termos de como um corpo ou um sistema de corpos pode ter sua energia mudada. Esta análise envolve, portanto, numa interação de sistemas de corpos, a transferência de energia e a transformação de energia de uma forma em outra.

Desta análise, surge uma importante conclusão: a Lei da Conservação da Quantidade de Energia. Ela é muito importante, assim como as leis de conservação de quantidades físicas, como por exemplo a conservação da massa, a conservação da quantidade de movimento, etc.

Antes, porém, de você iniciar a discussão da Lei da Conservação de Energia, é conveniente conhecer as definições de determinados termos que você irá empregar, bem como uma idéia geral sobre o fato. Para tal, antes de prosseguir você deve ler cuidadosamente o Apêndice 1, que se encontra no fim desta seção (pág. 125).



Um bloco de massa m está preso a duas molas iguais A e B. A mola A está comprimida e a mola B distendida. O bloco é mantido na posição através do gancho G. Não existe atrito entre o bloco e o chão.

1 ■ O bloco mostrado no quadro acima (tem; não tem) energia cinética.

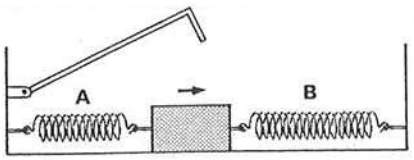
★★★★★★★★★★★★

não tem (pois está parado)

2 ■ Nesta situação (somente uma mola tem; as duas molas têm) energia potencial elástica.

★★★★★★★★★★★

as duas molas têm



Solta-se o gancho e o bloco começa a se movimentar no sentido AB impulsionado pelas duas molas.

3 ■ Quando o bloco é solto, a mola A começa a se distender e sua energia potencial elástica começa a (aumentar; diminuir).

★★★★★★★★★★★

diminuir

4 ■ A mola B está distendida e começa a ser comprimida. Sua energia potencial então (aumenta; diminui).

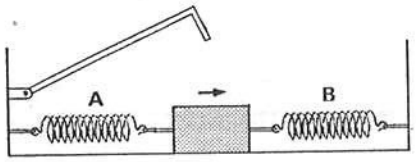
★★★★★★★★★★★

diminui

5 ■ O bloco inicialmente estava parado. Sua energia cinética era _____.
Em seguida começa a se mover por ação das duas forças que as duas molas exercem sobre ele. Nessa situação, sua energia cinética (aumenta; diminui).

★★★★★★★★★★★

zero; aumenta



Na posição média, as duas molas não estão comprimidas nem distendidas.

6 ■ Na posição média, as molas não estão comprimidas nem distendidas. Portanto, (não exercem; exercem igualmente) forças sobre o bloco.

★★★★★★★★★★★

não exercem

7 ■ Na posição média, as molas (possuem; não possuem) energia potencial elástica.
A energia potencial elástica das molas foi transferida ao bloco sob a forma de energia _____.

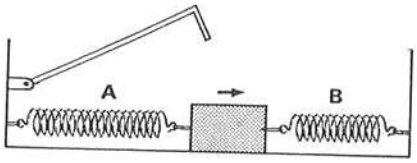
★★★★★★★★★★★

não possuem; cinética

8 ■ Atingindo o ponto médio, o bloco tem energia cinética e as molas não tem _____.
Nesse ponto, o bloco (cessa; continua) seu movimento.

★★★★★★★★★★★

energia potencial elástica; continua (por inércia)



Agora, a mola A está distendida e a mola B comprimida.

9 ■ Ultrapassado o ponto médio, a mola _____ começa a se distender e a mola _____ começa a se comprimir.

★★★★★★★★★★★★

A; B

10 ■ As molas A e B exercerão sobre o bloco duas forças no sentido (AB; BA).
Essas forças produzirão no bloco uma aceleração no sentido (AB; BA).

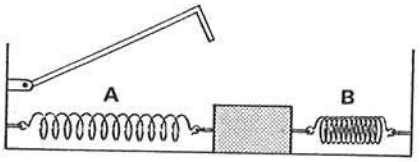
★★★★★★★★★★★★

BA; BA

11 ■ A aceleração tende a (aumentar; diminuir) a velocidade do bloco. Se a velocidade do bloco está diminuindo, sua energia _____ também irá diminuir.

★★★★★★★★★★★★

diminuir (aceleração negativa); cinética



Sob as ações das duas molas o bloco pára.

12 ■ Na situação da figura, o bloco (possui; não possui) energia cinética.
As molas (possuem; não possuem) energia potencial elástica.

★★★★★★★★★★★★

não possui; possuem

13 ■ Então, a energia _____ do bloco foi transformada em energia _____ das molas.

★★★★★★★★★★★★

cinética; potencial elástica

14 ■ Agora, as molas (exercerão; não exercerão) forças sobre o bloco no sentido de movimentá-lo.
O movimento do bloco será agora no sentido (AB; BA).

★★★★★★★★★★★★

exercerão; BA

15 ■ O movimento prossegue até o bloco atingir a posição que ocupava inicialmente (item 1). Nesta posição, o bloco tem energia cinética (nula; não-nula) e as molas (têm; não têm) energia potencial elástica.

★★★★★★★★★★★★

nula; têm

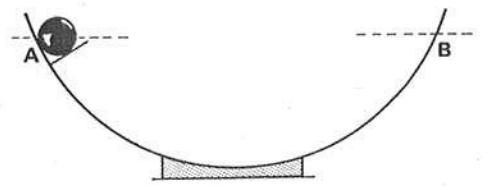


fig. a

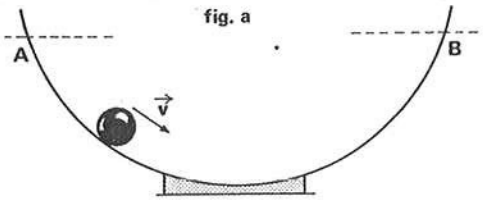


fig. b

Uma esfera está presa no ponto A de uma rampa semicircular como mostra a figura.
O atrito é desprezível.

A esfera é solta e começa a se movimentar com velocidade crescente.

16 ■ Vejamos mais um exemplo. Na posição da fig. a acima, a esfera tem energia _____ e não tem energia cinética. Quando a esfera começa a se mover (fig. b), sua altura vai diminuindo. Então, sua energia _____ vai diminuindo.

★★★★★★★★★★★

potencial gravitacional; potencial

17 ■ Durante a diminuição da energia potencial, a energia _____ da esfera vai aumentando.

★★★★★★★★★★★

cinética (pois a esfera aumenta de velocidade)

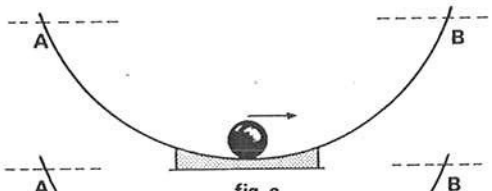


fig. c

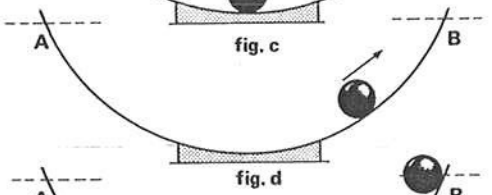


fig. d

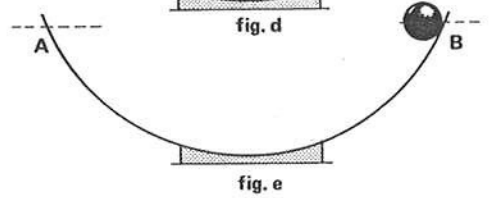


fig. e

Em sua posição mais baixa, sua velocidade é máxima.

A esfera começa a subir a rampa.

A esfera tem velocidade nula no ponto B.

18 ■ Na fig. c, a energia potencial vale _____, mas a energia _____ da esfera é máxima.

★★★★★★★★★★★

zero; cinética

19 ■ Na fig. d, a partir do ponto central da rampa, a energia _____ da esfera começa a diminuir e a energia _____ a aumentar.

****

cinética; potencial

20 ■ Na fig. e, a energia cinética é _____ e a energia _____ é a mesma que a esfera possuía na situação da fig. a.

****

nula; potencial

21 ■ Dos exemplos que você acaba de ver e da análise de inúmeros outros semelhantes, chegou-se à conclusão de que a energia de um corpo, ou é cedida a outro, ou permanece no corpo da mesma forma ou transformada em outra espécie de energia.

Nas figs. a, b e c, a energia _____ da esfera foi transformada em energia _____.

****

potencial; cinética

22 ■ Em seguida, nas figs. d e e a energia _____ foi transformada em _____.

****

cinética; energia potencial

23 ■ De qualquer maneira, se o sistema for isolado, a energia que um corpo ou um sistema de corpos possui permanece constante. Se um corpo perde energia cinética, por exemplo, ele ganha energia potencial gravitacional ou energia potencial elástica, ou ainda cede a outro corpo sua energia. Quando a esfera perde energia potencial gravitacional, ela ganha energia _____.

****

cinética

24 ■ No primeiro exemplo (das molas) não temos apenas um corpo. Temos um sistema formado por duas molas e uma massa. Enquanto a massa ganha energia cinética, as molas (ganham; perdem) energia potencial elástica.

****

perdem

25 ■ Mas o sistema como um todo não perde nem ganha energia. Dizemos que a **energia se conserva**, ou seja, se somarmos todas as espécies de energia que possui um corpo num instante, esta soma será igual à energia que tem o corpo no instante seguinte.

A energia mecânica da esfera no ponto A (é; não é) a mesma que a energia mecânica da esfera no ponto médio de sua trajetória.

****

é

26 ■ Esses resultados levaram os físicos a estabelecerem um princípio que é de grande utilidade na resolução de problemas: **A Lei da Conservação de Energia Mecânica.**

Um corpo ou um sistema de corpos que interage com outros apenas mecanicamente tem sua energia mecânica conservada.

No exemplo das figs. a a e, a energia mecânica (é; não é) constante em qualquer ponto da trajetória da esfera.

****

é

OBS: Antes de prosseguir, leia cuidadosamente o Apêndice 2, que se encontra no fim da seção (pág. 126).

27 ■ Quando o sistema é isolado, a força externa F_{ext} = _____; portanto W = _____.

★★★★★★★★★★★

zero; zero

28 ■ Como $W = \Delta E_p + \Delta E_c$, quando o sistema for isolado, W = 0; logo, $\Delta E_p + \Delta E_c$ = _____.

★★★★★★★★★★★

0

29 ■ Sistema isolado vale: $\Delta E_p + \Delta E_c = 0$; logo, $\Delta E_p = -\Delta E_c$ ou ΔE_c = _____.

★★★★★★★★★★★

$-\Delta E_p$

30 ■ $\Delta E_p = -\Delta E_c$, para sistema isolado. Esta relação informa que uma diminuição na energia cinética corresponde a um (aumento; diminuição) na energia _____.

★★★★★★★★★★★

aumento; potencial

31 ■ A Lei da Conservação de Energia Mecânica é válida para sistema _____ e é expressa por _____.

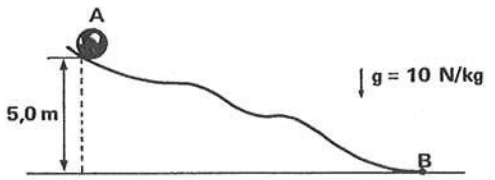
★★★★★★★★★★★

isolado; $\Delta E_p + \Delta E_c = 0$

PROBLEMAS RESOLVIDOS

PROBLEMA 1

Uma esfera de massa 4,0 kg está numa rampa de 5,0 m de altura. Determine a velocidade da esfera ao atingir o ponto B. Despreze o atrito entre a esfera e a superfície da rampa.



1 ■ Vamos utilizar a Lei da Conservação de Energia Mecânica para resolver o problema.
A energia potencial da esfera no ponto A vale mgh, ou seja, numericamente, E_p = _____ joules.

★★★★★★★★★★★

200

2 ■ Sua energia cinética nesse ponto é nula, pois está parado. Logo, sua energia total vale, no ponto A, E_{tA} = _____.

★★★★★★★★★★★

200 J

3 ■ No ponto B, sua energia potencial é nula. Como a energia total se conserva, ou seja, $E_{tA} = E_{tB}$, então, E_{tB} = _____.

★★★★★★★★★★★

200 J

4 ■ A energia cinética da esfera no ponto B será então igual a _____.

★★★★★★★★★★★★

200 J

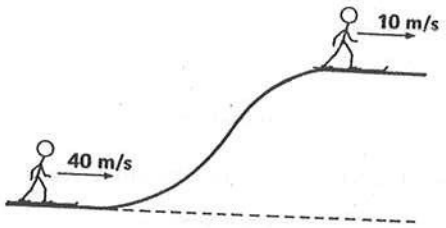
5 ■ Portanto, podemos escrever: $\frac{1}{2}$ mv^2 = 200. Como m = 4 kg, v = _____.

★★★★★★★★★★★★

10 m/s

PROBLEMA 2

Um esquiador tem velocidade de 40 m/s. Ele sobe uma rampa e ao chegar a um patamar está com velocidade de 10 m/s. Determinar a altura do patamar. A massa do esquiador é de 70 kg.



1 ■ A energia total do esquiador antes deve ser igual à energia total depois da subida. Então, como $E_t = E_p + E_c$, devemos calcular as energias antes e depois da subida da rampa. A energia cinética do esquiador na parte mais baixa vale _____.

★★★★★★★★★★★★

56 000 J

2 ■ A energia potencial antes da subida vale _____.

★★★★★★★★★★★★

zero

3 ■ Logo, a energia total do esquiador antes da subida vale _____.

★★★★★★★★★★★★

56 000 J

4 ■ A energia cinética do esquiador depois da subida vale _____.

★★★★★★★★★★★★

3 500 J

5 ■ A energia potencial do esquiador, se a altura é x metros, será de _____.

★★★★★★★★★★★★

$70 \cdot 10 \cdot x$

6 ■ Então, a energia total do esquiador no ponto mais alto será igual a $700 \cdot x$ + _____.

★★★★★★★★★★★★

3 500 J

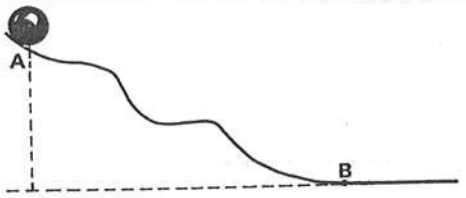
7 ■ Então, como $E_{t\ antes} = E_{t\ depois}$, teremos: $56\,000 = 3\,500 + 700 \cdot x$
Resolvendo a equação, x = _____.

★★★★★★★★★★★★

75 m

PROBLEMA 3

Uma esfera de massa 4,0 kg está numa rampa de 5,0 m de altura. Determine a velocidade da esfera ao atingir o ponto B. Despreze o atrito entre a esfera e a superfície da rampa.



1 ■ A energia mecânica (se conserva; não se conserva), pois o sistema é _____ . O atrito (é; não é) desprezível.

★★★★★★★★★★★★

se conserva; isolado; é

2 ■ O sistema é isolado. Portanto, ΔE_m = _____ . Logo, $\Delta E_c + \Delta E_p$ = _____

★★★★★★★★★★★★

0; 0

3 ■ $\Delta E_p + E_c = 0$. Portanto, ΔE_c = _____ .

★★★★★★★★★★★★

$-\Delta E_p$

4 ■ ΔE_p = _____ (em função de m; g; h_A e h_B)

ΔE_c = _____ (em função de m; v_A e v_B)

★★★★★★★★★★★★

$mgh_B - mgh_A$; $\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_B^2 - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_A^2$

5 ■ $\Delta E_c = -\Delta E_p$

$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_B^2 - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_A^2$ = _____ .

★★★★★★★★★★★★

$-(m \cdot g \cdot h_B - m \cdot g \cdot h_A)$

6 ■ Os dados, fornecidos pelo enunciado, são:

m = _____ ; g = _____ ; h_A = _____ ; h_B = _____ ;

v_A = _____ ; v_B = _____ .

★★★★★★★★★★★★

4,0 kg; 10 N/kg; 5,0 m; 0; 0; v_B = ?

7 ■ Substituindo-se os valores na expressão do item 5, tem-se:

( ) - ( ) = - ( )

★★★★★★★★★★★★

$2 \cdot v_B^2 - 0 = -(0 - 200)$

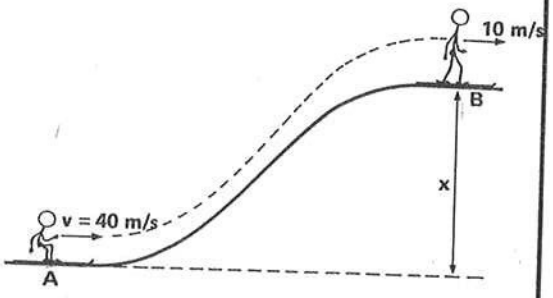
8 ■ Logo, v_B = _____ .

★★★★★★★★★★★★

10 m/s

PROBLEMA 4

Um esquiador tem velocidade de 40,0 m/s. Inicia então a subida de uma rampa e atinge o patamar com a velocidade de 10,0 m/s.
Determine a altura do patamar. A massa do esquiador é de 70 kg.
Supor o atrito desprezível.



1 ■ O sistema (é; não é) isolado, pois o atrito (é; não é) desprezível e por outro lado não atua força externa sobre o esquiador.

★★★★★★★★★★★★

é; é

2 ■ A energia mecânica (se conserva; não se conserva). Portanto, a energia mecânica do esquiador em A (é; não é) igual à energia mecânica em B.

★★★★★★★★★★★★

se conserva; é

3 ■ Em A, a energia potencial do esquiador é $E_{p_{(A)}}$ = _____ , pois h_A = _____.
Em A, a energia cinética é $E_{c_{(A)}}$ = _____.
Portanto, em A, a $E_{m_{(A)}}$ = _____.

★★★★★★★★★★★★

0; 0; $56 \cdot 10^3$ J; $56 \cdot 10^3$ J

4 ■ Em B, a altura do esquiador é h_B = _____ e a velocidade é v_B = _____.

★★★★★★★★★★★★

x; 10 m/s

5 ■ Em B, a energia potencial do esquiador é expressa por $E_{p_{(B)}}$ = _____ e a energia cinética é $E_{c_{(B)}}$ = _____ joules.

★★★★★★★★★★★★

700 x; 3 500

6 ■ A energia mecânica do esquiador em B é $E_{m_{(B)}}$ = _____. Portanto, $E_{p_{(B)}} + E_{c_{(B)}}$ = _____.

★★★★★★★★★★★★

$56 \cdot 10^3$ J; $56 \cdot 10^3$ J

7 ■ Logo, _____ + _____ = $56 \cdot 10^3$. Portanto, x = _____

★★★★★★★★★★★★

700 x; 3 500; 75 m

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ Um objeto é lançado verticalmente para cima com uma energia de 2 000 J. Se a massa do objeto é de 10,0 kg, qual é a altura máxima atingida pelo objeto? Desprezar o atrito com o ar.

2 ■ Uma pedra é lançada verticalmente para baixo com velocidade de 2,0 m/s, de uma altura de 10,0 m. Se a pedra tem massa 0,5 kg e o sistema é isolado, calcular:

a) a energia mecânica inicial.

b) a energia mecânica do sistema na posição 1,0 acima do solo.

c) a velocidade com que a pedra atinge o solo.

d) a variação de energia mecânica da pedra entre as alturas de 10,0 e 1,0 m.

3 ■ Um vaso de flor de massa 5,0 kg cai do alto de um edifício cuja altura é de 30,0 m. Uma jovem que olha para fora da janela vê o vaso passar com uma velocidade de 20,0 m/s. Qual é a altura da janela?

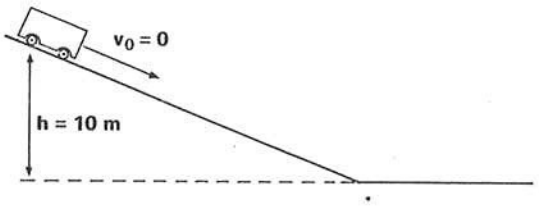
4 ■ Com que velocidade um corpo de massa 10 kg atingirá o solo, se for abandonada de uma altura de 20 metros? Ignore o atrito com o ar.

5 ■ Na figura ao lado, temos um carrinho de massa 10 kg num plano inclinado. Supondo g = 10 N/kg e atrito desprezível, determine:

a) a energia mecânica total inicial.

b) a energia do carrinho no instante em que ele atingir o solo.

c) a velocidade com que o carrinho atinge o solo.

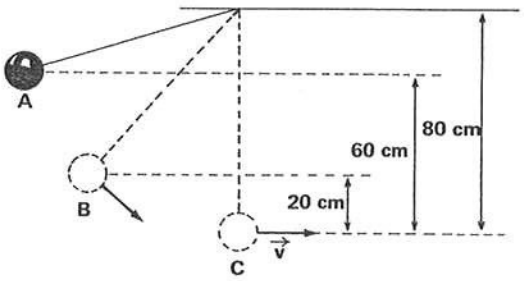


6 ■ Um pêndulo de massa 0,10 kg é abandonado do ponto A, conforme ilustra a figura ao lado. Suponha o campo gravitacional g_0 = 10 N/kg e o atrito desprezível. Utilizando a Lei da Conservação de Energia Mecânica, determine:

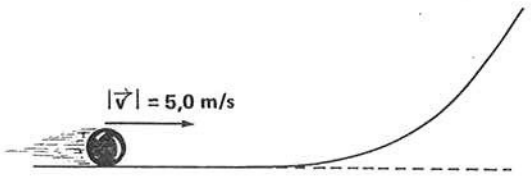
a) a velocidade da massa pendular quando passar por B.

b) a velocidade de massa pendular ao passar por C.

c) a altura que a massa atingirá no outro lado.



7 ■ Uma bola de massa 0,50 kg movimenta-se ao longo de uma superfície, conforme ilustra a figura ao lado. Supondo o atrito desprezível e g = 10 N/kg, determine a altura máxima que a massa irá atingir no plano inclinado.



8 ■ Num determinado instante, um objeto de massa 10 kg possui energia cinética igual a 100 J e energia potencial igual a 100 J. Qual será a altura do objeto quando sua energia cinética tornar-se nula?

9 ■ No problema 8, qual é a velocidade quando $E_p = 0$?

10 ■ No problema 8, qual é a velocidade e altura iniciais?

RESPOSTAS

1. $h = 20$ m
2. a) $E_m = 51$ J; b) $E_m = 51$ J c) $v \cong 14$ m/s; d) $E_m = 0$ (sistema isolado)
3. $h = 10$ m
4. $v = 20$ m/s
5. a) $E_m = 1{,}0 \cdot 10^3$ J; b) $E_m = 1{,}0 \cdot 10^3$ J; c) $v \cong 14$ m/s
6. a) $v \cong 2{,}8$ m/s; b) $v \cong 3{,}5$ m/s; c) $h = 60$ cm
7. $h = 1{,}25$ m
8. $h = 2{,}0$ m
9. $v \cong 6{,}3$ m/s
10. $h_0 = 1{,}0$ m e $v_0 \cong 4{,}5$ m/s

APÊNDICE 1 — SISTEMAS ISOLADOS

A essa altura, convém que você conheça as definições de certos termos que sempre serão empregados.

EVENTOS:

Qualquer acontecimento físico é denominado evento. Assim, uma pedra que cai é um evento físico. Igualmente, um carro em movimento, uma viagem à Lua, uma explosão de dinamite, uma transferência ou transformação de energia são exemplos de eventos físicos.

INTERAÇÕES:

Sempre que um objeto provoca um distúrbio no movimento de outro objeto, seu movimento também sofre algum distúrbio. A ação de um objeto sobre outro é sempre acompanhada pela reação do segundo objeto sobre o primeiro. Temos, então, uma interação entre os dois objetos e ambos são perturbados. É a **Lei da Ação e Reação**, comumente conhecida como a Terceira Lei de Newton. Você, certamente, lembra-se desta lei, que foi analisada no Capítulo VI.

Exemplos:
1. Quando uma pedra cai, há uma interação entre a pedra e a Terra. É uma interação gravitacional, porque a força que atua é do tipo gravitacional.
2. A ação entre os nêutrons e os prótons dentro do núcleo atômico é uma interação.
3. Quando um objeto transfere energia para outro, ocorre uma interação entre os dois objetos.

SISTEMA:

É uma coleção de objetos que possui uma fronteira. Por exemplo, o gás dentro de um balão caracteriza um sistema onde a fronteira é o próprio balão. O resto do Universo seria um outro sistema, no caso. Um sistema pode interagir com outro por uma transferência de energia ou de massa através de sua fronteira. Um copo de água fria é um sistema. Um copo de água quente, outro sistema. Se misturarmos os dois, teremos uma interação entre os dois sistemas.

SISTEMA FECHADO:

É aquele onde não existe transferência de massa através de sua fronteira. Por exemplo, o sistema constituído de todos os corpos do Universo. Se admitirmos que ele não transfere nem recebe massa de outro sistema qualquer, ele será um sistema fechado. Sua fronteira seria uma superfície imaginária que envolve todo o Universo.

SISTEMA ISOLADO:

É aquele onde não existe transferência de energia e/ou massa através de sua fronteira. Por exemplo, o sistema pedra-Terra quando a pedra cai livremente; admitindo-se a inexistência do atrito com o ar (vácuo perfeito) e que o sistema não transfere nem recebe massa, ele será um sistema isolado. Sua fronteira será uma superfície imaginária que envolve os dois objetos: a Terra e a pedra em questão. Outro exemplo: um carrinho em movimento sobre uma superfície horizontal e sem atrito. Se nenhuma força externa ao sistema carrinho-superfície estiver atuando sobre ele, o sistema será isolado. O sistema não apresentará variação em sua massa nem em sua energia.

APÊNDICE 2 – A LEI DA CONSERVAÇÃO DE ENERGIA EM SISTEMAS ISOLADOS

A compreensão de muitos fenômenos naturais é aprofundada pela descoberta de como a energia se transforma de uma forma em outra, ou de como ela se transfere de um objeto a outro.

O enfoque dos processos naturais ou fenômenos naturais sob o ponto de vista energético suplanta a nossa compreensão desses fenômenos vistos sob as definições de força e aceleração.

Diversos, se não muitos dos modernos físicos, consideram a energia muito mais "real" que a força. De fato, embora energia seja tecnicamente uma grandeza derivada, parece que ela é uma das fundamentais e importantes "realidades" que estudamos na Física. Sempre temos ouvido falar que a massa é uma das fundamentais "realidades" físicas. De agora em diante, ao lado da massa, aparecerá sempre a energia.

Uma outra razão para pensar que a massa e a energia são importantes "realidades" é que ambas são conservadas. Ambas podem aparecer sob diversas formas e, com algumas restrições, elas podem ser transformadas de uma forma em outra, mas a quantidade total de cada uma dessas grandezas permanece a mesma, isto é, permanece constante ou invariável.

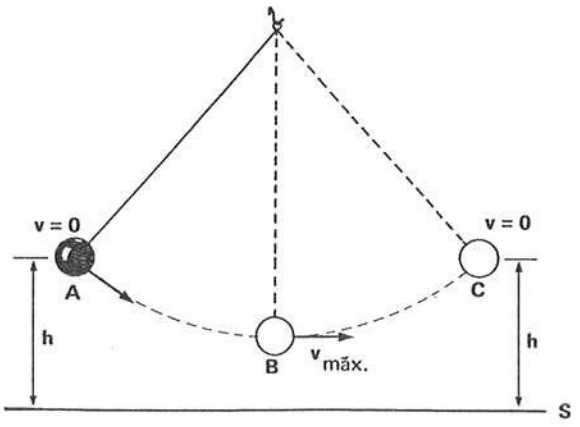
O conceito de conservação, ou de quantidades que são conservadas, é considerado muito importante na Física moderna por razões práticas e também por razões estéticas e filosóficas. Freqüentemente, estaremos interessados em uma interação ou em um processo complexo que acontece tão rapidamente que não podemos observar os detalhes do evento. Podemos inclusive desconhecer a lei que governa a interação. Tudo o que podemos fazer é, muitas vezes, estudar as condições que existem antes e depois do evento. Afortunadamente, encontramos na Natureza grandezas mensuráveis, tais como a massa, a energia, a quantidade de movimento, que não se modificam em uma interação: existe a mesma quantidade de grandezas, antes e depois da interação, quando o sistema é isolado. Este fato nos dá informações acerca das condições após a interação e nos permite fazer previsões das mesmas.

Você irá agora realizar uma experiência e analisá-la.

EXPERIÊNCIA:

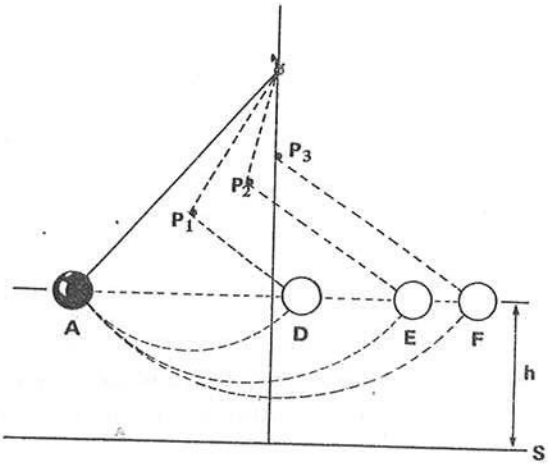
Seja um pêndulo simples como o da figura ao lado. Abandone a massa pendular **m**, inicialmente em repouso, da posição A correspondente a uma altura **h** da superfície S de referência.

A velocidade começa a aumentar gradativamente à medida que a altura vai diminuindo. Em B a velocidade da massa é máxima e a altura, mínima. Ultrapassando essa posição, a massa começa a ganhar altura e ao mesmo tempo perder velocidade. Em C, atingida a altura máxima **h**, a massa, que nesse instante tem velocidade nula, muda de



sentido e inicia a viagem de retorno. Como o nosso sistema não é isolado, pois existem forças de atrito, considere apenas uma oscilação. Nessa situação, o sistema é aproximadamente isolado. Em seguida, coloque um prego na posição P_1. Abandone a massa **m** novamente da posição A. Embora o caminho seguido pelo pêndulo seja diferente comparado com a experiência anterior, a massa pendular **m** alcançará a altura **h** na posição D. O pêndulo muda de sentido nessa posição e volta novamente até a posição A, e assim sucessivamente. Se colocarmos o prego P_2 ou P_3 chegamos ao mesmo resultado, ou seja, abandonando **m** de uma altura **h**, qualquer que seja o caminho percorrido pela massa pendular, sempre ela alcança a mesma altura.

Após ter realizado a experiência acima descrita, leia a interpretação abaixo, completando ou respondendo os quesitos que surgirem.



INTERPRETAÇÃO DA EXPERIÊNCIA:

Podemos avaliar a quantidade de energia pela capacidade de alcançar uma certa altura. Evidentemente, o corpo com maior energia alcança (maior; menor) altura. Veja que isso é uma idéia coerente, pois a massa pendular **m** de maior energia potencial, ou seja, de (maior; menor) altura no instante inicial, alcança maior altura do outro lado. Se a massa possui maior velocidade, ou seja, (menor; maior) energia cinética, ela possui maior capacidade de subir a uma altura maior.

No caso do pêndulo, a não ser nas posições extremas A, B, C, D, E, F, ele não possui uma única forma de energia. Na verdade, em qualquer instante, a energia mecânica total é a soma da energia cinética mais a potencial. Então, para que a energia total se conserve é necessário que $[E_c; E_p; (E_c + E_p)]$ se conserve ou permaneça inalterada. No nosso caso, tanto a energia cinética como a potencial são proporcionais à altura da posição de inversão do movimento. Logo, $(E_c + E_p)$ = constante caracteriza a capacidade do pêndulo alcançar a altura constante **h**.

Para podermos individualizar cada um dos instantes, colocamos um prego na trajetória do pêndulo. Por exemplo, ao colocarmos o prego na posição P_1, nosso intuito é conhecer quanto vale a energia total do pêndulo no instante em que ele passa por essa posição. Podemos, segundo as considerações anteriores, avaliar essa quantidade pela altura alcançada depois de passar por P_1. De acordo com esse raciocínio, para que as energias nos instantes em que o pêndulo passando pela posição A, P_1, P_2, P_3, etc., sejam constantes, basta termos as alturas nas posições C, D, E, F (iguais a, diferentes de) **h**. Uma vez chegada a essa conclusão, o restante é fácil. Basta verificar se realmente, na experiência feita, os pontos D, C, E e F possuem altura h.

Então, chegamos a uma notável conclusão: **"A energia cinética mais a energia potencial é constante em nosso sistema isolado."**

Isso significa dizer, em outras palavras: há conservação de energia mecânica em um sistema isolado.

Agora muita atenção. Essa Lei da Conservação de Energia, quando generalizada, é uma das leis mais importantes da Física. Ela se aplica não só para energia mecânica, mas outras formas de energia. Um dia você verificará que, graças a ela, foi previsto por um físico uma estranha e aparentemente impossível partícula elementar chamada neutrino, cuja confirmação experimental se deu recentemente.

Você não poderia imaginar que atrás de uma tão simples, tão inocente experiência estivesse presente uma lei tão importante, não é mesmo? Então, para um sistema isolado, a energia mecânica se conserva, isto é,

$$E_m = E_c + E_p = \text{constante}$$

****

maior; maior; maior; $E_c + E_p$; iguais a

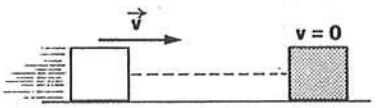
SEÇÃO 6 – ENERGIA INTERNA DE UM CORPO

Objetivos: **a. conceituar energia interna de um objeto.**
b. enunciar e justificar a Lei da Conservação de Energia.
c. resolver problemas.

Até agora vimos problemas que envolveram corpos associados a energia cinética e potencial.

Entretanto, em quase todas as interações, a existência do atrito nos convence de que existe mais formas de energia, além daquelas por nós discutidas até aqui. Iremos, portanto, analisar interações em que estão presentes os fenômenos de atrito e justificar a Lei da Conservação de Energia.

1 ■ Um bloco de um material qualquer desliza ao longo de um plano horizontal, conforme ilustra a figura ao lado. No sistema (existe; não existe) variação de energia potencial gravitacional do bloco.



★★★★★★★★★★★

não existe (pois não houve variação na altura)

2 ■ À medida que o bloco se desloca, ele perde _____.

★★★★★★★★★★★

energia cinética (pois perde velocidade)

3 ■ A energia cinética desaparece inteiramente. Uma possibilidade óbvia é que ela "desaparece" para dentro do bloco ou para dentro do plano ou para dentro de ambos. Haverá alguma mudança nos objetos que justifique a afirmação de que há aumento de energia dentro dos objetos? (sim; não). Justifique.

★★★★★★★★★★★

sim; Os objetos se aquecem, como resultado do atrito.

4 ■ A energia cinética que é "perdida" devido ao atrito é transformada em energia que denominaremos **energia interna** dos objetos envolvidos. Em nosso exemplo, a energia cinética foi transformada parte em energia interna do _____ e parte em _____.

★★★★★★★★★★★

bloco; energia interna do plano

5 ■ O sistema de nosso exemplo (sofreu; não sofreu) variação de energia mecânica.

★★★★★★★★★★★

sofreu

6 ■ Esta energia mecânica, aparentemente "desaparecida", transformou-se em _____ dos objetos presentes.

★★★★★★★★★★★

energia interna

7 ■ A energia interna (vamos simbolizá-la por U) de um objeto aumenta quando sua temperatura _____; neste caso o objeto recebeu _____.(Exceto quando ocorrer mudança de estado.)

★★★★★★★★★★★★

aumenta; energia

8 ■ Dos exemplos podemos concluir que: num sistema **com atrito,** a energia mecânica (é; não é) conservada.

★★★★★★★★★★★★

não é

9 ■ Entretanto, se considerarmos a energia interna, podemos escrever uma nova expressão para a conservação de energia, isto é, E = (energia mecânica) + (_____).

★★★★★★★★★★★★

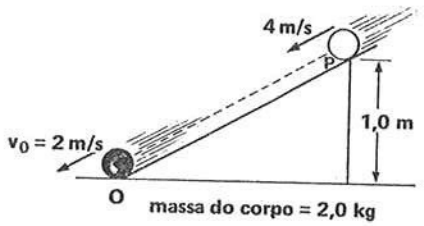
energia interna

10 ■ $E = E_c + E_p + U$: A energia total E, portanto, num sistema isolado, (é; não é) conservada.

★★★★★★★★★★★★

é

11 ■ Vejamos alguns exemplos. Na figura ao lado, a energia mecânica no ponto P vale $E_t = E_p + E_c =$ _____ J. Por outro lado, a energia mecânica na parte mais baixa vale _____.



★★★★★★★★★★★★

36; $E_c + E_p = E_c = 4\,J$

12 ■ Portanto, a variação de energia mecânica foi de: $\Delta E_m =$ _____.

★★★★★★★★★★★★

$E_{m_O} - E_{m_P} = -32\,J$

13 ■ O objeto (conservou; ganhou; perdeu) energia mecânica.

★★★★★★★★★★★★

perdeu (pois houve variação de 32 J, ou seja, perdeu 32 J)

14 ■ A variação de energia mecânica (no caso o corpo perdeu energia mecânica) corresponde à variação na _____ _____, isto é, o corpo ganhou energia interna.

★★★★★★★★★★★★

energia interna do objeto

15 ■ Portanto, podemos concluir que:

a) no ponto P (antes) a energia total vale _____.

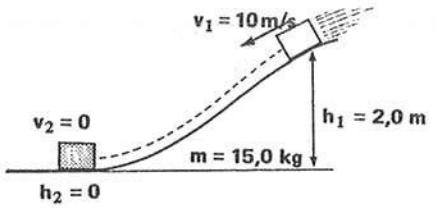
b) no ponto O (depois) a energia total vale _____ + _____ = _____ = _____.

c) portanto, $E_{antes} = E_{depois}$, isto é, a energia total (foi; não foi) conservada.

★★★★★★★★★★★★

36 J; E_m; U; (2 + 32) J; 36 J ; foi

16 ■ No esquema ao lado, há (aumento; diminuição) da energia interna do sistema plano-corpo deslizante.



★★★★★★★★★★★

aumento

17 ■ Examinando o problema, portanto, podemos considerar que o sistema (é; não é) isolado.

★★★★★★★★★★★

não é

18 ■ Há diminuição de energia mecânica do corpo e conseqüente aumento de _____ .

★★★★★★★★★★★

energia interna (do corpo móvel e da superfície)

19 ■ A Lei de Conservação de Energia, incluindo a energia interna, nos dá a seguinte relação:
$U_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 = U_2 +$ _____ + _____ .
Substituindo os valores fornecidos no item 16, a variação de energia interna $U_2 - U_1 = \Delta U =$ _____ .

★★★★★★★★★★★

$\frac{1}{2}mv_2^2$; mgh_2; 1 050 J (A equação acima não fornece os valores de U_1 e U_2; entretanto, a variação ΔU é exatamente o que estávamos procurando.)

Em geral, quando dois objetos são atritados, a maior parte da energia mecânica, aparentemente "perdida" devido ao atrito, é transformada em energia interna e normalmente causa o aquecimento dos objetos. A energia interna adicional que um objeto recebe é novamente liberada pelo corpo quando a temperatura abaixa.

A existência de atrito nos leva, como você viu nos exemplos anteriores, a considerar a expressão da conservação da energia como (energia total) = (energia mecânica) + (energia interna).

Na realidade, ainda existem outras formas de energia que não discutimos. Por exemplo, energias associadas ao som, à luz, à eletricidade, etc.

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ Uma bola de tênis de massa 0,100 kg é abandonada de uma altura de 2,0 m. Ela colide com o solo e volta a uma altura de 0,5 m. Determine o aumento da energia interna devido à colisão. Despreze o atrito com o ar.

2 ■ Um corpo é colocado sobre um plano horizontal com uma energia cinética de 10,0 J. Depois de percorrer uma distância de um metro, sua velocidade é zero.
a) O sistema é isolado? Por quê?
b) Qual é a variação da energia mecânica do sistema?
c) Qual é a variação da energia interna do sistema?
d) Qual é o valor da força de atrito, supondo-a constante?

3 ■ Um objeto está em movimento e verifica-se que sua temperatura aumenta.
a) O sistema é isolado?
b) Há aumento na energia interna do sistema?
c) Como você justifica sua resposta do item anterior?

4 ■ O que acontece com a energia cinética de um objeto após a colisão com o solo?

5 ■ Um caminhão quando está em uma ladeira, numa posição cuja altura é 5 m em relação ao nível, "perde" os freios e desce a ladeira abaixo sob a ação da gravidade (g = 10 N/kg). O caminhão atinge o nível com velocidade igual a 8 m/s. Se a massa do caminhão é igual a 2 000 kg,

a) qual é a energia total do caminhão no topo da ladeira?

b) qual é a energia total (mecânica) no solo?

c) houve conservação da energia mecânica?

d) de quanto foi o trabalho da força de atrito?

e) de quanto aumentou a energia interna do sistema?

6 ■ Uma carreta de 35 kg, inicialmente em repouso, desliza para baixo ao longo de um plano inclinado, a partir de uma altura de 2,5 m. Quando ela atinge o solo, sua velocidade é de 6,2 m/s. (considere g = 10 N/kg)

a) Qual foi sua variação de energia potencial gravitacional?

b) Qual foi sua variação de energia cinética?

c) Qual foi a variação na energia interna do sistema?

d) Quantos joules de calor foi produzido no evento?

e) Se a distância percorrida pela carreta ao longo do plano foi de 4 metros, qual foi a intensidade da força de atrito?

RESPOSTAS

1. $\Delta U = 1{,}5$ J
2. a) O sistema não é isolado, pois ele não conserva energia mecânica.
   b) $\Delta E_m = -10{,}0$ J
   c) $\Delta U = -\Delta E_m$. Logo, $\Delta U = 10{,}0$ J
   d) $W_{F_{at}} = \Delta E_m$, portanto, $F_{at} = -10{,}0$ N
3. a) Não; b) Sim; c) A temperatura do corpo aumentou.
4. Transforma-se em outras formas de energia: calor, sonora, etc.
5. a) $E_m = 1{,}0 \cdot 10^5$ J; b) $E_m = 0{,}64 \cdot 10^5$ J; c) Não, pois $\Delta E_m = -0{,}36 \cdot 10^5$ J
   d) $W_{F_{at}} = \Delta E_m = -0{,}36 \cdot 10^5$ J; e) $\Delta U = +0{,}36 \cdot 10^5$ J
6. a) $\Delta E_p = -875$ J; b) $\Delta E_c \cong 673$ J; c) $\Delta U = 202$ J;
   d) 202 J e) $F_{at} \cong -50$ N

SEÇÃO 7 – COLISÕES

Objetivos: **a. caracterizar colisões perfeitamente elásticas.**
b. caracterizar colisões inelásticas.
c. caracterizar colisões perfeitamente inelásticas.

Nesta seção estudaremos a colisão entre dois objetos sob o ponto de vista energético e também sob o ponto de vista da quantidade de movimento. Veremos que em certas interações a energia mecânica se conserva (em alguns casos) e que em outras a energia mecânica se transforma total ou parcialmente em outros tipos de energia (caso geral).

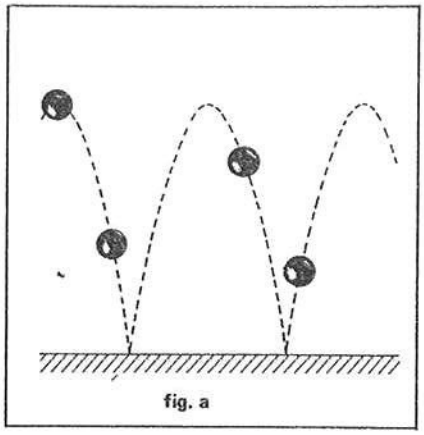


fig. a

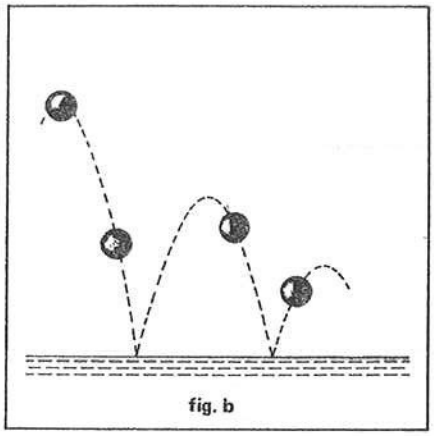


fig. b

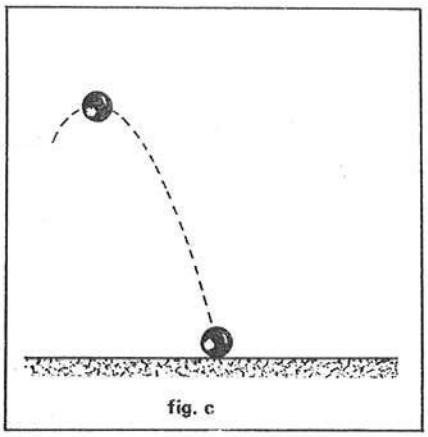


fig. c

1 ■ Na figura a acima uma esfera é abandonada de uma altura h. Ela colide com uma placa horizontal e (volta; não volta) à altura inicial.

★★★★★★★★★★★

volta

2 ■ **Figura a:** Durante a queda a energia _____ é transformada em energia cinética. Quando colide com a placa, a estera possui somente energia _____ .

★★★★★★★★★★★

potencial; cinética

3 ■ **Figura a:** Após a colisão com a placa, a esfera ao subir transforma energia _____ em potencial. Na altura máxima, ela somente possui energia _____ .

★★★★★★★★★★★

cinética; potencial

4 ■ **Figura a:** A energia (se conserva; não se conserva), pois a energia potencial na altura máxima, após a colisão, (é; não) igual à energia potencial ao ser abandonada.

★★★★★★★★★★★

se conserva; é

5 ■ Tipos de colisões em que existe conservação de energia são denominadas **perfeitamente elásticas.** A colisão representada na figura é do tipo denominado _____ .

★★★★★★★★★★★

perfeitamente elástica

6 ■ **Figura b:** A esfera agora é abandonada da mesma altura inicial h. Entretanto, após a colisão com a placa, ela (volta; não volta) à mesma altura inicial.

★★★★★★★★★★★

não volta

7 ■ **Figura b:** Nesta figura (está; não está) representada uma colisão perfeitamente elástica, porque a energia (se conserva; não se conserva)

★★★★★★★★★★★

não está; não se conserva

8 ■ **Figura b:** Durante a colisão, a esfera (perde; não perde) energia. A energia perdida é transformada em energia interna (calor), o que acarreta um aumento na temperatura da esfera. Parte da energia também é transformada em energia sonora.

★★★★★★★★★★★

perde

9 ■ **Figura b:** Nesta colisão, apenas parte da energia mecânica da esfera é transformada em outros tipos de energia. Colisões deste tipo são denominadas **colisões inelásticas**. Numa colisão inelástica (apenas uma parte da energia; toda a energia) é transformada em outros tipos de energia como _____, _____, etc.

★★★★★★★★★★★

apenas uma parte da energia; calor; energia sonora

10 ■ **Figura c:** Nesta figura, a esfera, após a colisão com a placa, (transforma; não transforma) sua energia mecânica em outro tipo de energia.

★★★★★★★★★★★

transforma

11 ■ **Figura c:** Esta figura representa, por exemplo, uma colisão entre uma esfera e uma placa contendo melaço. A esfera bate no melaço e fica grudada. Este tipo de colisão é denominada **perfeitamente inelástica**. Numa colisão perfeitamente inelástica, (toda a energia; apenas uma parcela da energia) mecânica é transformada em outro tipo de energia.

★★★★★★★★★★★

toda a energia

12 ■ Uma esfera de borracha dura é abandonada de uma altura de 1,00 m. Ela bate no assoalho e volta, após a colisão, até uma altura de 0,75 m. A colisão foi (perfeitamente elástica; perfeitamente inelástica; inelástica). Pela diferença de altura, (podemos; não podemos) determinar a energia mecânica "perdida".

★★★★★★★★★★★

inelástica; podemos

13 ■ Numa colisão elástica, a energia mecânica (permanece; não permanece) constante; enquanto que na inelástica, a energia _____.

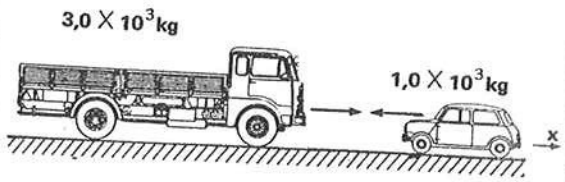
★★★★★★★★★★★

permanece; mecânica não se conserva

PROBLEMAS RESOLVIDOS

PROBLEMA 1

Um caminhão de massa $3{,}0 \cdot 10^3$ kg movimenta-se com velocidade constante de 20 m/s quando colide com um carro de massa $1{,}0 \cdot 10^3$ kg que se move a 40 m/s em sentido oposto. Após a colisão, os dois ficam solidários ("grudados"). Qual é a velocidade do conjunto logo após a interação? Qual foi a "perda" de energia mecânica do sistema?



1 ■ Observe a figura. A velocidade do caminhão deverá ser tomada com o sinal positivo porque ele se movimenta no sentido (positivo; negativo) de orientação do eixo x.

★★★★★★★★★★★

positivo

2 ■ A velocidade do carro deve ser acompanhada com o sinal _____ porque ele se movimenta no (mesmo sentido; sentido oposto) à orientação do eixo de referência x.

★★★★★★★★★★★

(-) negativo; sentido oposto

3 ■ Esta colisão obviamente não é _____ , pois parte da energia mecânica do sistema é utilizada para produzir energia sonora, calor, etc.

★★★★★★★★★★★

elástica (ou perfeitamente elástica)

4 ■ Para determinarmos a velocidade do conjunto caminhão-carro logo após a colisão, aplicaremos a Lei da Conservação da Quantidade de Movimento. Esta lei diz que:

(quantidade de movimento do sistema antes da colisão) = (_____

★★★★★★★★★★★

quantidade de movimento do sistema após a colisão

5 ■ A quantidade de movimento do caminhão antes da colisão é p_1 = _____ e a do carro é p_2 = _____ .

★★★★★★★★★★★

$+60 \cdot 10^3$ kg m/s; $-40 \cdot 10^3$ kg m/s

6 ■ O sinal negativo da quantidade de movimento do carro antes da colisão é devido ao fato da velocidade ser _____ .

★★★★★★★★★★★

negativa (o carro move-se no sentido oposto ao eixo x)

7 ■ $P_T = p_1 + p_2$. Logo, a quantidade de movimento do sistema antes da colisão é:
P_T = _____ .

★★★★★★★★★★★

$20 \cdot 10^3$ kg m/s

8 ■ Após a colisão, o caminhão e o carro formam um conjunto solidário. Logo, a massa do conjunto será igual a
M = _____ + _____ (numericamente)

★★★★★★★★★★★

$3{,}0 \cdot 10^3$ kg; $1{,}0 \cdot 10^3$ kg

9 ■ Portanto, M = _____ .

★★★★★★★★★★★

$4{,}0 \cdot 10^3$ kg

10 ■ Seja v a velocidade do conjunto solidário após a colisão. Então, a quantidade de movimento após a colisão será: P'_T = _____ .

★★★★★★★★★★★

$(4{,}0 \cdot 10^3) \cdot v$

11 ■ A Lei da Conservação da Quantidade de Movimento diz que:
$P_T = P'_T$; logo, $20 \cdot 10^3$ kg m/s = _____.

★★★★★★★★★★★★

$(4{,}0 \cdot 10^3)$ v

12 ■ Portanto, v = _____.

★★★★★★★★★★★★

5,0 m/s

13 ■ v = 5,0 m/s. O sinal é positivo. Isto indica que o conjunto solidário, logo após a interação, move-se no sentido (positivo; negativo) do eixo x.

★★★★★★★★★★★★

positivo

14 ■ Tanto caminhão como carro (apresentarão; não apresentarão) variação em suas energias potenciais, porque ambos se movimentam num plano horizontal.

★★★★★★★★★★★★

não apresentarão

15 ■ Devemos então analisar somente variações em suas energias _____.

★★★★★★★★★★★★

cinéticas

16 ■ A energia cinética do caminhão antes da colisão é E_{c_1} = _____ e a do carro é E_{c_2} = _____.

★★★★★★★★★★★★

$6{,}0 \cdot 10^5$ J; $8{,}0 \cdot 10^5$ J

17 ■ Logo, a energia mecânica total do sistema antes da colisão é E_m = _____.

★★★★★★★★★★★★

$14 \cdot 10^5$ J

18 ■ Após a colisão a massa do conjunto solidário é M = _____ e a velocidade é v = _____.
Logo, a energia mecânica total do conjunto após a colisão será E_m = _____.

★★★★★★★★★★★★

$4{,}0 \cdot 10^3$kg; 5,0 m/s; $0{,}50 \cdot 10^5$ J

19 ■ Logo, a variação de energia do sistema será E_m = _____

★★★★★★★★★★★★

$-13{,}5 \cdot 10^5$ J

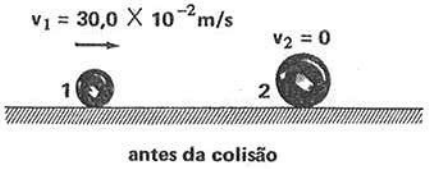
20 ■ Portanto, $13{,}5 \cdot 10^5$ joules de energia mecânica foram transformados em outros tipos de energia, como por exemplo, em calor, em energia sonora, etc. Portanto, numa colisão entre carros, (sempre; nem sempre) há perda de energia mecânica.

★★★★★★★★★★★★

sempre

PROBLEMA 2

Uma esfera de 40×10^{-3} kg movimentando-se com velocidade constante de 30×10^{-2} m/s colide frontalmente com outra esfera de massa 80×10^{-3} kg inicialmente em repouso. Ambas movimentam-se sobre uma plataforma horizontal, suposta sem atrito. Se a colisão for perfeitamente elástica, determine a velocidade de cada esfera após a colisão.



antes da colisão

1 ■ Vamos designar a esfera de 40×10^{-3} kg com o símbolo 1 e a outra com o símbolo 2. Logo, $v_1 =$ _____ e $v_2 =$ _____ ; e $m_1 =$ _____ e $m_2 =$ _____ .

★★★★★★★★★★★

30×10^{-2} m/s; 0; 40×10^{-3}kg; 80×10^{-3} kg

2 ■ Simbolizaremos com o índice (') as velocidades após a colisão. Logo, a velocidade da esfera 1 após a colisão será designada por _____ e a da esfera 2 por _____ .

★★★★★★★★★★★

v'_1 ; v'_2

3 ■ Vamos aplicar a Lei da Conservação da Quantidade de Movimento ao sistema:
$(80 \times 10^{-3}\text{kg}) \cdot 0$ m/s + $(40 \times 10^{-3}\text{kg}) \cdot 30 \times 10^{-2}$ m/s = _____ + _____

★★★★★★★★★★★

$80 \times 10^{-3} \cdot v'_2 + 40 \times 10^{-3} \cdot v'_1$

4 ■ Logo, $40 \times 10^{-3} \cdot v'_1 + 80 \times 10^{-3} \cdot v'_2 =$ _____ .

★★★★★★★★★★★

12×10^{-3}

5 ■ Simplificando a expressão teremos: _____ + _____ = ____

★★★★★★★★★★★

$10 \cdot v'_1 + 20 \cdot v'_2 = 3$

6 ■ As nossas incógnitas são v'_1 e v'_2. Como temos apenas uma equação, (podemos; não podemos) determiná-las.

★★★★★★★★★★★

não podemos

7 ■ Necessitamos, portanto, de mais uma equação diferente. Esta equação será estabelecida pela Lei da Conservação de Energia, pois a colisão é _____ .

★★★★★★★★★★★

perfeitamente elástica

8 ■ Como as esferas movimentam-se num plano horizontal (devemos; não devemos) considerar as energias potenciais, pois elas não sofrerão variações. Consideraremos apenas a energia _____ .

★★★★★★★★★★★

não devemos; cinética

9 ■ Podemos escrever então a Lei da Conservação de Energia como:

(energia cinética do sistema antes da colisão) = (_____)

★★★★★★★★★★★

energia cinética do sistema depois da colisão

10 ■ E_{c_1} = _____ ; E_{c_2} = _____ ; E'_{c_1} = _____ ; E'_{c_2} = _____

★★★★★★★★★★★

$1{,}8 \cdot 10^{-3}$ J; 0; $20 \cdot 10^{-3} (v'_1)^2$ J; $40 \cdot 10^{-3} (v'_2)^2$ J

11 ■ Logo, podemos escrever que:

(energia cinética antes) = (energia cinética depois) ou _____ = _____ + _____

★★★★★★★★★★★

$1{,}8 \cdot 10^{-3}$J; $20 \cdot 10^{-3}(v'_1)^2$; $40 \cdot 10^{-3}(v'_2)^2$

12 ■ Simplificando teremos: _____ = _____ + _____

★★★★★★★★★★★

$9 \cdot 10^{-2}$; $(v'_1)^2$; $2 \cdot (v'_2)^2$

13 ■ Temos, então, duas equações: $10 \cdot v'_1 + 20 \cdot v'_2 = 3$ (I) e $(v'_1)^2 + 2 \cdot (v'_2)^2 = 9 \cdot 10^{-2}$ (II)
Tirando-se v'_1 da equação (I) teremos: v'_1 = _____.

★★★★★★★★★★★

$\frac{3 - 20 \cdot v'_2}{10}$

14 ■ Substituindo-se o valor de v'_1 na equação (II), teremos, após a simplificação:
$600 \cdot (v'_2)^2 - 120 (v'_2) = 0$. Logo, colocando-se em evidência o termo (v'_2), teremos:
v'_2 (_____ - _____) = 0 (III)

★★★★★★★★★★★

$600 \cdot v'_2$; 120

15 ■ A solução desta equação é $v'_2 = 0$ ou (_____) = 0, o que nos fornece v'_2 = _____

★★★★★★★★★★★

$600 \cdot v'_2 - 120$; 0,2 (m/s)

16 ■ Temos então duas respostas para v'_2, ou sejam: 0 e 0,2 m/s. Vamos determinar então qual será o valor de v'_1. Para tal vamos analisar primeiramente a solução $v'_2 = 0$. Substitua este valor na expressão (I) ou (II) do item 13. Logo, v'_1 = _____.

★★★★★★★★★★★

0,3 m/s ou seja $30 \cdot 10^{-2}$ m/s

17 ■ $v'_1 = 30 \cdot 10^{-2}$ m/s é igual à velocidade inicial da esfera 1 antes da colisão ($v_1 = 30 \cdot 10^{-2}$ m/s). E $v'_2 = 0$ significa que a esfera 2 encontra-se em repouso após a colisão. Fisicamente, isto é equivalente a (haver colisão; não haver colisão nenhuma).

★★★★★★★★★★★

não haver colisão nenhuma

18 ■ Portanto, as respostas $v'_1 = 30 \cdot 10^{-2}$ m/s e $v'_2 = 0$ (devem; não devem) ser deixadas de lado, pois não representam soluções físicas para o problema.

★★★★★★★★★★★

devem

19 ■ Veja então a solução $v'_2 = 0{,}20$ m/s, ou seja, $20 \cdot 10^{-2}$ m/s. Substituindo-se este valor na equação (I) do item 13, teremos: $v'_1 =$ _____ .

★★★★★★★★★★★

$-10 \cdot 10^{-2}$ m/s

20 ■ Portanto, após a colisão a esfera 1 está com velocidade $v'_1 =$ _____ . O sinal negativo significa que ela, após a colisão com a esfera 2, movimenta-se no (sentido oposto ao inicial; mesmo sentido que antes da colisão).

★★★★★★★★★★

-10×10^{-2} m/s; sentido oposto ao inicial

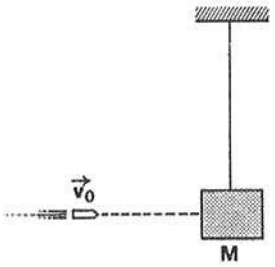
21 ■ Portanto, as soluções para o problema são: $v'_1 =$ _____ e $v'_2 =$ _____ .

★★★★★★★★★★★

$-10 \cdot 10^{-2}$ m/s; $20 \cdot 10^{-2}$ m/s

PROBLEMA 3

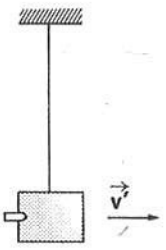
Um projétil de massa $10 \cdot 10^{-3}$ kg de velocidade desconhecida v_0 é atirado contra um bloco de massa 2 kg suspenso por um fio (figura ao lado). Após a colisão, o conjunto projétil-bloco sobe até a altura de 0,03 m, medida a partir do centro do bloco. Qual era a velocidade v_0 do projétil? (g = 10 N/kg)



1 ■ Como o projétil fica "encravado" no bloco, trata-se de uma colisão inelástica; portanto, a energia não se _____ _____ nesta interação.

★★★★★★★★★★★

conserva



2 ■ A figura ao lado mostra a situação instante após a interação. O bloco e o projétil solidários partem da posição mais baixa com velocidade v' que não conhecemos. Desta posição, o conjunto parte então com energia cinética dada pela expressão $E'_c =$ _____ .

★★★★★★★★★★★

$\frac{(M) \cdot v'^2}{2}$ (onde M é a massa do bloco mais a do projétil)

3 ■ Esta energia cinética E'_c irá se transformar em energia _____ na parte mais alta, isto é, quando h = _____ .

★★★★★★★★★★★

potencial; 0,03 m

4 ■ Portanto, após a colisão, a energia irá se conservar. Isto é, a energia cinética do conjunto logo após a interação será (igual à; diferente da) energia potencial na altura 0,03 m.

★★★★★★★★★★★

igual à

5 ■ Podemos escrever, então, que: $\frac{1}{2}$ (_____ + _____) · v'² = _____

★★★★★★★★★★★

2; $10 \cdot 10^{-3}$; $(2 + 10 \cdot 10^{-3}) \cdot 10 \cdot 0{,}03$

6 ■ Portanto, v' ≅ _____

★★★★★★★★★★★

0,8 m/s

7 ■ v' = 0,8 m/s. Esta é então a velocidade do _____ e do _____ (logo após a; antes da) colisão.

★★★★★★★★★★★

bloco; projétil; logo após a

8 ■ O termo "logo após" significa um tempo (extremamente curto; razoável).

★★★★★★★★★★★

extremamente curto

9 ■ Voltemos agora ao problema na situação antes da colisão. Aplicaremos agora a Lei da _____ da _____ de Movimento.

★★★★★★★★★★★

Conservação; Quantidade

10 ■ Seja p_1 a quantidade de movimento do projétil antes da colisão. Logo, p_1 = _____ .

★★★★★★★★★★★

$10 \cdot 10^{-3} \cdot v_0$

11 ■ Seja p_2 a quantidade de movimento do bloco antes da colisão. Logo, $p_2 = 0$, porque sua _____ é nula.

★★★★★★★★★★★

velocidade

12 ■ Portanto, antes da colisão, a quantidade de movimento total do sistema é: P_T = _____ .

★★★★★★★★★★★

$10 \cdot 10^{-3} \cdot v_0$

13 ■ Após a colisão, projétil + bloco estão com velocidade v' = _____ .

★★★★★★★★★★★

0,8 m/s

14 ■ Logo, a quantidade de movimento do sistema logo após a colisão será P'_T = _____ .

★★★★★★★★★★★

$(2 + 10 \cdot 10^{-3})$ 0,8 kg m/s

15 ■ Pela Lei da Conservação da Quantidade de Movimento podemos escrever $P_T = P'_T$ ou, numericamente:

_____ = _____ .

★★★★★★★★★★★

$10 \cdot 10^{-3} \cdot v_0$; $(2 + 10 \cdot 10^{-3})$ 0,8

16 ■ 2 e $10 \cdot 10^{-3}$: $10 \cdot 10^{-3}$ é muito pequeno em relação a 2. Portanto, podemos desprezá-lo no cálculo. A equação anterior torna-se então: _____ = _____ .

★★★★★★★★★★★

$10 \cdot 10^{-3}\ v_0$; $2 \cdot 0{,}8$

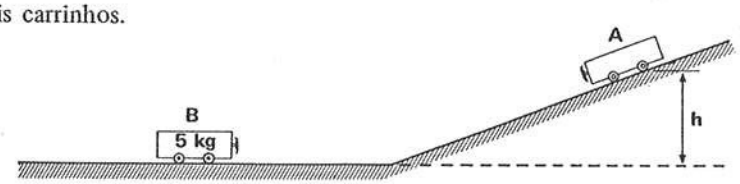
17 ■ Portanto, v_0 = _____ .

★★★★★★★★★★★

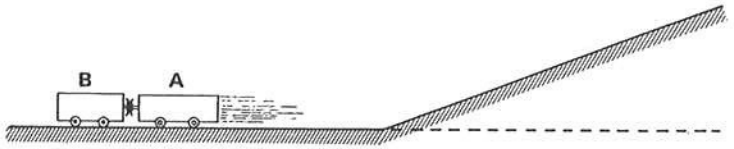
160 m/s

PROBLEMA 4

Um carrinho A de massa m_A = 10 kg é abandonado de uma altura h = 1,8 m a partir do repouso e colide com um outro B em repouso. Após a colisão, A e B movimentam-se solidários com velocidade $\vec{v}$. Ignore o atrito entre o plano e os carrinhos e adote g = 10 N/kg. Determine $\vec{v}$ e a variação de energia do sistema formado pelos dois carrinhos.



situação inicial



situação após a colisão

1 ■ Como não existe atrito, a energia potencial de A transforma-se em _____ quando atinge a parte mais baixa do plano.

★★★★★★★★★★★

energia cinética

2 ■ Logo, aplicando-se a Lei da Conservação de Energia, podemos determinar a velocidade v_0 do carrinho A antes de colidir com B. Portanto, $m_A \cdot g \cdot h$ = _____ .

★★★★★★★★★★★

$\frac{1}{2} \cdot m_A \cdot v_0^2$

3 ■ Portanto, v_0 = _____ .

★★★★★★★★★★★

6,0 m/s

4 ■ Logo, a velocidade com que A colide com B é v_0 = _____ .

★★★★★★★★★★★

6,0 m/s

5 ■ A colisão (é; não é) elástica porque após a colisão A e B movem-se solidários. Para que A e B se juntem para formar um corpo único (despende-se; não se despende) energia.

★★★★★★★★★★★

não é; despende-se

6 ■ Portanto, após a colisão, a velocidade do conjunto (é; não é) igual a 6,0 m/s. Ela deve ser (maior; menor) que 6,0 m/s.

★★★★★★★★★★★

não é; menor

7 ■ Seja v a velocidade com que o conjunto se movimenta após a colisão. Para determiná-la devemos aplicar a Lei da _____ .

★★★★★★★★★★★

Conservação da Quantidade deMovimento

8 ■ Antes da colisão, A possui velocidade 6,0 m/s. Portanto, sua quantidade de movimento será: p_A = _____ .

★★★★★★★★★★★

60 kg m/s

9 ■ Antes da colisão, B encontra-se em _____ . Logo, sua quantidade de movimento inicial é p_B = _____ .

★★★★★★★★★★★

repouso; 0

10 ■ Portanto, antes da colisão, a quantidade de movimento total do sistema é P_T = _____ .

★★★★★★★★★★★

60 kg m/s

11 ■ Após a colisão, o conjunto solidário possui massa M = _____ , que é igual à soma das massas de A e B.

★★★★★★★★★★★

15 kg

12 ■ Logo, a quantidade de movimento total do sistema após a colisão é P'_T = _____ .

★★★★★★★★★★★

15 · v

13 ■ Pela Lei da Conservação da Quantidade de Movimento podemos escrever então que: _____ = _____ .

★★★★★★★★★★★

60 kg m/s; 15 kg · v

14 ■ Portanto, v = _____ .

★★★★★★★★★★★

4,0 m/s

15 ■ Vamos calcular agora a variação de energia mecânica do sistema. Antes da colisão temos E_{c_B} = _____ ; E_{p_B} = _____ ; E_{c_A} = _____ ; E_{p_A} = _____ .

★★★★★★★★★★★

0; 0; 0; 180 J

16 ■ Logo, a energia mecânica total antes da colisão era E_m = _____ .

★★★★★★★★★★★

180 J

17 ■ Após a colisão, $E_{c_{(A+B)}}$ = _____ ; $E_{p_{(A+B)}}$ = _____ .

★★★★★★★★★★★

120 J ; 0

18 ■ Portanto, após a colisão, E'_m = _____ .

★★★★★★★★★★★

120 J

19 ■ Logo, a variação de energia mecânica durante a colisão foi de E_m = _____ .

★★★★★★★★★★★

- 60 J

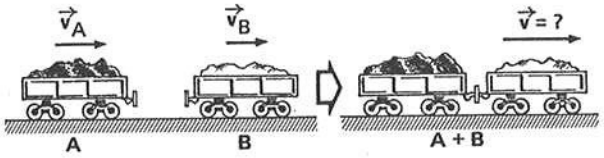
20 ■ Despende, então, na colisão, uma energia de _____ .

★★★★★★★★★★★

60 J

EXERCÍCIOS DE REVISÃO

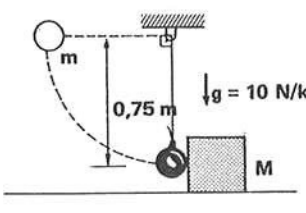
1 ■ Tem-se dois vagões ferroviários A e B que se movimentam no mesmo sentido com velocidades v_A = 1,5 m/s e v_B = 1,0 m/s.
As massas são $m_A = 3{,}2 \cdot 10^4$ kg e $m_B = 2{,}4 \cdot 10^4$ kg.
O vagão A alcança o vagão B e após a colisão eles se engatam.



a) Qual é a velocidade comum dos dois vagões após a colisão?
b) Qual é a variação de energia mecânica?

2 ■ Com relação ao problema anterior, considere agora a colisão elástica, e que os vagões não se engatam mas separam-se após a colisão.
Calcule a velocidade de cada vagão após a colisão.

3 ■



Uma esfera maciça de massa m = 0,50 kg presa num fio pendular de 0,75 m de comprimento é abandonada de uma posição conforme mostra a figura ao lado. No ponto mais baixo da trajetória, a esfera colide elasticamente com o bloco de massa M = 3,0 kg, inicialmente em repouso, que se encontra em um plano horizontal.
Calcule:

a) a velocidade de m no instante da iminência de colidir com M.
b) as velocidades dos dois objetos imediatamente após a colisão.
c) que altura máxima o pêndulo de massa m irá atingir após a colisão.

RESPOSTAS

1. a) $v = \frac{9}{7}$ m/s
   b) $\Delta E_m = 2{,}0 \cdot 10^3$ J

2. $v'_A \cong 1{,}1$ m/s e $v'_B \cong 1{,}6$ m/s

3. a) $v'_m \cong 3{,}9$ m/s
   b) $v'_m = -2{,}7$ m/s (movimenta-se então no sentido oposto ao inicial)
   $v'_M = 1{,}1$ m/s
   c) $h \cong 38$ cm

SEÇÃO 8 - POTÊNCIA

Objetivos: **a. definir potência: $P = \frac{W}{t}$.**
b. definir unidade de medida (watt).
c. resolver problemas.

Em aplicações práticas, o interesse não recai somente no montante do trabalho efetuado ou da energia transformada ou transferida. É de muita importância o conhecimento da taxa ou da velocidade com que o trabalho é efetuado.

Tal fato é reconhecido na linguagem diária quando se fala na **potência** de uma máquina ou de um carro. Quem lida com carros poderá constatar o fato de que o motor de maior potência fará com que o carro desenvolva maior velocidade em tempo menor que aquele cuja potência seja menor. Nesta seção, desenvolveremos então a noção de potência tal como ela é concebida em Física. Estabeleceremos sua unidade de medida e resolveremos alguns problemas.

1 ■ Um trabalho $W = 50$ J é realizado em um intervalo de tempo $\Delta t = 5{,}0$ s. A velocidade com que tal trabalho é realizado é de _____ J/s.

★★★★★★★★★★★★

$\frac{W}{\Delta t} = \frac{50\text{ J}}{5{,}0\text{ s}} = 10$ J/s

2 ■ O mesmo trabalho $W = 50$ J é realizado agora num intervalo de tempo $\Delta t = 20$ s. Agora, a velocidade com que o trabalho é realizado é de _____.

★★★★★★★★★★★★

2,5 J/s

3 ■ Dizemos, então, que no primeiro caso a **potência média** é (maior; menor) que no segundo caso.

★★★★★★★★★★★★

maior

4 ■ Definimos potência média como sendo igual ao _____ (dividido; multiplicado) pelo intervalo de tempo gasto para realizá-lo.
Ou seja:

$$\text{(potência média)} = \frac{(_____)}{(_____)}$$

Simbolicamente: $P_m =$ _____

★★★★★★★★★★★★

trabalho realizado; dividido; $\frac{\text{trabalho realizado}}{\text{tempo gasto}}$; $\frac{W}{\Delta t}$

5 ■ $P = \frac{W}{\Delta t}$. As unidades envolvidas em potência são _____. Ou seja, unidade de potência = _____ (simbolicamente)

★★★★★★★★★★★

joules e segundo; J/s

6 ■ A potência de 1 joule/segundo significa: um trabalho de _____ é realizado num intervalo de tempo igual a _____.

★★★★★★★★★★★

1 joule; 1 segundo

7 ■ No Sistema Internacional de Unidades a potência é então medida em _____. 1 joule/segundo é denominado 1 watt (W). 1 watt corresponde, então, a um trabalho de _____ realizado em _____.

★★★★★★★★★★★

joules/segundo; 1 joule; 1 segundo

8 ■ Se um trabalho de 80 J é realizado em 10 s, poderemos dizer que a potência foi de _____

★★★★★★★★★★★

8 W

9 ■ Um motor é capaz de desenvolver 2 000 W. O trabalho que ele pode realizar em 10 s será de _____.

★★★★★★★★★★★

$P = \frac{W}{\Delta t}$, logo $W = P \cdot \Delta t = 2\,000 \times 10 = 2 \times 10^4$ J

10 ■ Um motor é capaz de desenvolver uma potência de $P = 4 \times 10^3$ W. Para ele realizar um trabalho de 40×10^3 J é necessário que funcione durante $\Delta t =$ _____.

★★★★★★★★★★★

$P = \frac{W}{\Delta t}$, logo $\Delta t = \frac{W}{P} = \frac{40 \times 10^3\ J}{4 \times 10^3\ W} = 10$ s

11 ■ Uma força de 100 N desloca um corpo 10 m em 10 s. Qual a potência desenvolvida?

★★★★★★★★★★★

$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{|\vec{F}|\,\Delta d}{\Delta t} = \frac{100\ N \times 10\ m}{10\ s} = \frac{10^3\ J}{10\ s} = 10^2\ W$

12 ■ Uma máquina eleva um objeto de massa 100 kg até a altura de 10 m do solo, em velocidade constante. O tempo gasto é de 20 s. Qual a potência desenvolvida pela máquina?

★★★★★★★★★★★

$W = \Delta E_p + \Delta E_c$, mas como $\Delta E_c = 0$, pois a velocidade é constante, $W = \Delta E_p = m \cdot g \cdot \Delta h = 100 \cdot 10 \cdot 10 = 10^4$ J.

Logo, $P = \frac{10^4\ J}{20\ s} = 5 \times 10^2$ W.

RESPOSTAS

1. a) $v = \frac{9}{7}$ m/s
   b) $\Delta E_m = 2{,}0 \cdot 10^3$ J

2. $v'_A \cong 1{,}1$ m/s e $v'_B \cong 1{,}6$ m/s

3. a) $v'_m \cong 3{,}9$ m/s
   b) $v'_m = -2{,}7$ m/s (movimenta-se então no sentido oposto ao inicial)
   $v'_M = 1{,}1$ m/s
   c) $h \cong 38$ cm

SEÇÃO 8 - POTÊNCIA

Objetivos: a. definir potência: $P = \frac{W}{t}$.
b. definir unidade de medida (watt).
c. resolver problemas.

Em aplicações práticas, o interesse não recai somente no montante do trabalho efetuado ou da energia transformada ou transferida. É de muita importância o conhecimento da taxa ou da velocidade com que o trabalho é efetuado.

Tal fato é reconhecido na linguagem diária quando se fala na **potência** de uma máquina ou de um carro. Quem lida com carros poderá constatar o fato de que o motor de maior potência fará com que o carro desenvolva maior velocidade em tempo menor que aquele cuja potência seja menor. Nesta seção, desenvolveremos então a noção de potência tal como ela é concebida em Física. Estabeleceremos sua unidade de medida e resolveremos alguns problemas.

1 ■ Um trabalho $W = 50$ J é realizado em um intervalo de tempo $\Delta t = 5{,}0$ s. A velocidade com que tal trabalho é realizado é de _____ J/s.

★★★★★★★★★★★★

$\frac{W}{\Delta t} = \frac{50\text{ J}}{5{,}0\text{ s}} = 10$ J/s

2 ■ O mesmo trabalho $W = 50$ J é realizado agora num intervalo de tempo $\Delta t = 20$ s. Agora, a velocidade com que o trabalho é realizado é de _____.

★★★★★★★★★★★★

2,5 J/s

3 ■ Dizemos, então, que no primeiro caso a **potência média** é (maior; menor) que no segundo caso.

★★★★★★★★★★★★

maior

4 ■ Definimos potência média como sendo igual ao _____ (dividido; multiplicado) pelo intervalo de tempo gasto para realizá-lo.
Ou seja:

$$\text{(potência média)} = \frac{(_____)}{(_____)}$$

Simbolicamente: $P_m =$ _____

★★★★★★★★★★★★

trabalho realizado; dividido; $\frac{\text{trabalho realizado}}{\text{tempo gasto}}$; $\frac{W}{\Delta t}$

5 ■ $P = \frac{W}{\Delta t}$. As unidades envolvidas em potência são _____. Ou seja, unidade de potência = _____ (simbolicamente)

★★★★★★★★★★★

joules e segundo; J/s

6 ■ A potência de 1 joule/segundo significa: um trabalho de _____ é realizado num intervalo de tempo igual a _____ .

★★★★★★★★★★★

1 joule; 1 segundo

7 ■ No Sistema Internacional de Unidades a potência é então medida em _____. 1 joule/segundo é denominado 1 watt (W). 1 watt corresponde, então, a um trabalho de _____realizado em _____.

★★★★★★★★★★★

joules/segundo; 1 joule; 1 segundo

8 ■ Se um trabalho de 80 J é realizado em 10 s, poderemos dizer que a potência foi de _____

★★★★★★★★★★★

8 W

9 ■ Um motor é capaz de desenvolver 2 000 W. O trabalho que ele pode realizar em 10 s será de _____ .

★★★★★★★★★★★

$P = \frac{W}{\Delta t}$, logo $W = P \cdot \Delta t = 2\,000 \times 10 = 2 \times 10^4$ J

10 ■ Um motor é capaz de desenvolver uma potência de $P = 4 \times 10^3$ W. Para ele realizar um trabalho de 40×10^3 J é necessário que funcione durante $\Delta t =$ _____.

★★★★★★★★★★★

$P = \frac{W}{\Delta t}$, logo $\Delta t = \frac{W}{P} = \frac{40 \times 10^3\ J}{4 \times 10^3\ W} = 10$ s

11 ■ Uma força de 100 N desloca um corpo 10 m em 10 s. Qual a potência desenvolvida?

★★★★★★★★★★★

$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{|\vec{F}|\,\Delta d}{\Delta t} = \frac{100\ N \times 10\ m}{10\ s} = \frac{10^3\ J}{10\ s} = 10^2\ W$

12 ■ Uma máquina eleva um objeto de massa 100 kg até a altura de 10 m do solo, em velocidade constante. O tempo gasto é de 20 s. Qual a potência desenvolvida pela máquina?

★★★★★★★★★★★

$W = \Delta E_p + \Delta E_c$, mas como $\Delta E_c = 0$, pois a velocidade é constante, $W = \Delta E_p = m \cdot g \cdot \Delta h = 100 \cdot 10 \cdot 10 = 10^4$ J.
Logo, $P = \frac{10^4\ J}{20\ s} = 5 \times 10^2$ W.

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ Uma força atuando sobre um objeto desloca-o 5 m em 2 s. Se a potência desenvolvida para tal é de 100 W, qual é a intensidade da força?

★★★★★★★★★★★★

$|\vec{F}| = 40$ N

2 ■ A potência de um motor é de 1 500 W. Se toda a potência for utilizada para erguer um corpo de massa 15 kg até uma altura de 10 m, qual será o tempo necessário? Supor g = 10 N/kg.

★★★★★★★★★★★★

$\Delta t = 1{,}0$ s

3 ■ Um homem sobe uma rampa até uma altura de 5 m do solo em 10 s. Se sua massa é 80 kg e a gravidade g = 10 N/kg, determine a potência desenvolvida pelo homem.

★★★★★★★★★★★★

P = 400 W

4 ■ Analisando as unidades envolvidas em **potência**, diga se ela é uma grandeza vetorial ou escalar.

★★★★★★★★★★★★

escalar

5 ■ Uma certa máquina eleva um objeto de massa 50 kg até a altura de 20 m em 20 s. Uma segunda máquina realiza a mesma tarefa, mas leva um tempo de apenas 10 s.

a) Qual o trabalho de cada máquina? b) Qual a potência de cada máquina?

★★★★★★★★★★★★

a) $W = 10^4$ J (para cada máquina)

b) primeira máquina: P = 500 W
segunda máquina: P = 1 000 W

6 ■ Suponha uma lâmpada de 100 W. Se toda a energia liberada em 10 s fosse utilizada para erguer um elevador de massa 10^2 kg, qual seria a altura final do elevador?

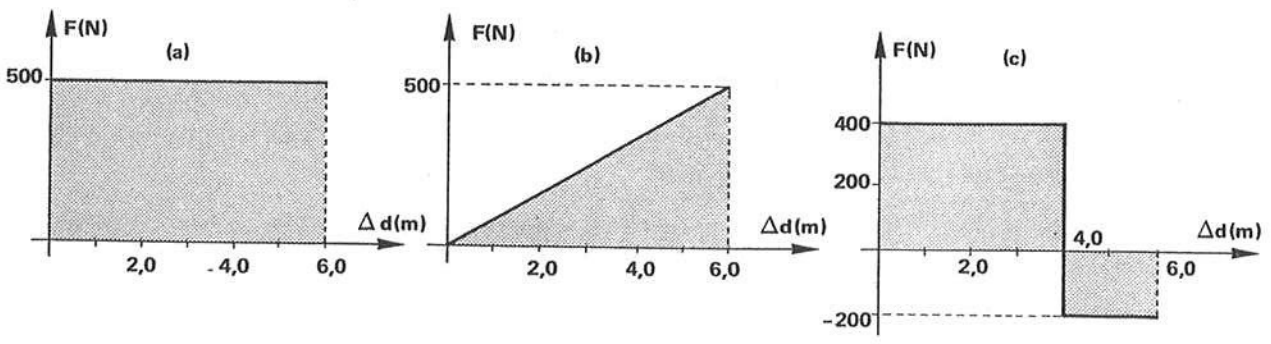
★★★★★★★★★★★★

$\Delta h = 1$ m

SEÇÃO 9 – PROBLEMAS

1 ■ Um homem ergue uma pedra de peso 25 N até a altura de 2 m a partir do solo. Qual foi o montante de trabalho realizado pelo homem?

2 ■ Os diagramas abaixo mostram a força na direção do deslocamento em função do deslocamento Δ d. Em cada caso, calcule o trabalho realizado para um deslocamento de 6,0 metros.



3 ■ Qual o trabalho mínimo necessário para manter uma lâmpada de 100 W acesa por 10 min?

4 ■ Suponha que um homem realiza uma operação para gerar energia necessária para manter acesa a lâmpada mencionada no problema 3, puxando uma corda que aciona um dínamo, com força de 20 N. Com que velocidade constante ele deve puxar a corda para gerar 100 W?

5 ■ Um trator exerce uma força de $5{,}0 \times 10^4$ N e está movimentando-se com velocidade 3,0 m/s. Qual é a potência desenvolvida?

6 ■ Um automóvel possante possui uma máquina com cerca de 400 HP. Suponha que a massa do automóvel seja de 1 200 kg e que toda a potência da máquina seja utilizada para erguer o automóvel verticalmente para cima. Se 1 HP = 746 watts e g_0 = 10 N/kg, qual seria a velocidade de ascensão, suposta constante?
(Obs.: O HP é uma unidade incoerente, isto é, não pertence a nenhum sistema de unidades legais.)

7 ■ Um carro a 60 m/s sofre a ação de uma força resistiva dos ventos e do atrito com as rodas no total de 2 000 N. Qual deve ser a potência mínima da máquina para manter esta velocidade na estrada?

8 ■ Qual é a energia cinética de um automóvel de massa 1 200 kg movimentando-se a 50 m/s? E a 25 m/s?

9 ■ Qual é a energia cinética de um projétil de rifle de massa 10 g com velocidade de 1 200 m/s?

10 ■ Qual é a energia cinética de um próton "viajando" a $2{,}0 \times 10^8$ m/s? Massa de um próton = $1{,}67 \cdot 10^{-27}$ kg.

11 ■ Um corpo de massa 5,0 kg, inicialmente em repouso, sofre a ação de uma força de valor 15 N por um intervalo de tempo cuja duração é de 5,0 s.
a) Qual o deslocamento do corpo neste intervalo de tempo?
b) Qual o trabalho recebido pelo corpo?
c) Qual a velocidade final?
d) Qual a energia cinética final do corpo?
e) Qual a potência?

12 ■ Qual a variação de energia cinética de um corpo de massa 10 kg quando ele aumenta sua velocidade de 2,0 para 6,0 m/s?

13 ■ Qual a variação na energia potencial de um homem de massa 70 kg quando sobe uma montanha até uma altura de 4 000 metros?

14 ■ Qual a variação na energia potencial gravitacional de uma pedra de massa 1 000 kg quando erguida 5 metros? Considere g = 10 N/kg.

15 ■ Um homem de massa 80 kg sobe numa escada para trocar uma lâmpada. Enquanto ele realiza a operação, seus pés encontram-se a 2,0 metros do assoalho.
a) Qual a energia potencial do homem com relação ao assoalho?
b) Se a operação está sendo realizada num apartamento, cujo andar está a 20 m do nível da rua, qual a energia potencial com relação ao nível da rua?
c) Se a cidade onde a operação é realizada for São Paulo, cuja altitude com relação ao nível do mar é de 740 metros, qual a energia potencial do homem com relação ao nível do mar?

16 ■ Qual a deformação apresentada por uma mola cuja constante elástica é 300 N/m quando sujeita a uma força de 15 N? E nesta situação qual é a energia potencial elástica da mola?

17 ■ Qual é a constante elástica de uma mola que se deforma 2,5 cm quando sujeita a uma força de 500 N? Nesta situação, qual é a energia potencial elástica da mola?

18 ■ Uma mola de constante k = 500 N/m é comprimida 5 cm. Qual foi o trabalho necessário? Qual é a energia potencial elástica acumulada na mola?

19 ■ Uma espingarda de ar possui uma mola de constante $k = 2 \cdot 10^3$ N/m. Quando o rifle não está armado, o comprimento da mola é 10 cm. Quando armado, o comprimento da mola torna-se igual a 5 cm. Qual o trabalho necessário para armar o rifle? Qual é a energia potencial elástica acumulada pelo rifle quando armado?

20 ■ Uma pedra de massa 200 kg encontra-se no alto de um penhasco cuja altura é 200 metros.

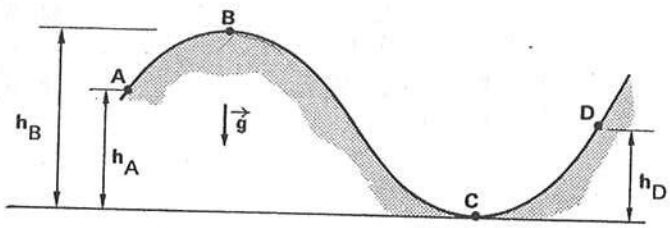
a) Tomando como referência a parte mais baixa para o cálculo da energia potencial gravitacional, calcule a energia mecânica total da pedra quando no alto do penhasco.

b) Suponha que a pedra caia em queda livre do alto do penhasco. Qual é a energia cinética da pedra após 5 segundos? Qual é a energia potencial neste instante? Qual é a energia mecânica total neste momento?

c) Qual é a velocidade da pedra ao atingir o solo?

Supor desprezível o atrito.

21 ■ O diagrama ao lado mostra a vista lateral de uma montanha russa. Um carro de massa m pode ser colocado em vários pontos e adquirir várias velocidades iniciais. Admita que o atrito seja desprezível e que a força gravitacional seja mg.



a) Se o carro for colocado em B com velocidade inicial zero e for permitido seu movimento para a direita, com que velocidade atingirá C?

b) Qual será a velocidade em D?

c) Se o carro estiver em A e lhe for fornecida uma velocidade v para a direita qual será a velocidade em B? Sob quais condições o carro atingirá B?

22 ■ Um corpo de massa 6,0 kg é atirado para cima com velocidade inicial de 10 m/s. Observa-se que ele atinge uma altura máxima de 3,0 metros. Supor g = 10 N/kg.

a) Qual é a energia mecânica total no ato do lançamento?

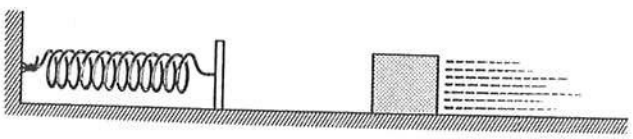
b) Qual é a energia mecânica total no ponto mais alto da trajetória do corpo?

c) Qual é a quantidade de energia transformada em energia interna?

d) Se na volta o corpo transformar a mesma quantidade de energia em energia interna, com que velocidade o corpo atingirá o solo?

23 ■ Um carrinho movimenta-se sobre um plano rugoso. Num determinado instante, sua velocidade é de 4,0 m/s. Observa-se que o carrinho pára depois de 2,0 segundos. Se a massa do carrinho é de 5,0 kg, determine a variação na energia interna do sistema.

24 ■ Um bloco de massa 1,0 kg desliza, sem atrito, sobre uma superfície horizontal, conforme a figura. Atinge a mola, comprimindo-a 20,0 cm da sua posição normal. A constante da mola vale 1 000 N/m.



a) Qual é a energia potencial elástica na posição de compressão máxima da mola?

b) Qual é a velocidade do bloco, antes de atingir a mola?

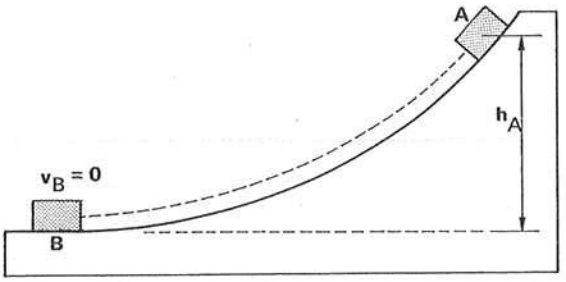
c) Qual é a energia do bloco após a interação com a mola?

d) Descreva acerca da transferência e da conservação de energia mecânica verificada na experiência.

25 ■ Um objeto desliza sobre uma superfície da posição A até B, conforme a figura ao lado. Em A o objeto é solto ($v_A = 0$) e atinge B, onde pára.

a) Qual foi a variação de energia mecânica do sistema?

b) Houve conservação de energia mecânica? Explique.



RESPOSTAS

1. $W = 50$ J

2. a) $W = 3{,}0 \cdot 10^3$ J

b) $W = 1{,}5 \cdot 10^3$ J

c) $W = 1{,}2 \cdot 10^3$ J

3. $W = P \cdot \Delta t = 6 \cdot 10^4$ J

4. $W = F \cdot \Delta d$

$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{F \cdot \Delta d}{\Delta t} = F \cdot v$

$P = F \cdot v$; $v = 5{,}0$ m/s

5. $P = F \cdot v = 15 \cdot 10^4$ watts

6. $v \cong 25$ m/s

7. $P = 12 \cdot 10^4$ watts

8. $15 \cdot 10^5$ J e $\frac{15}{4} \cdot 10^5$ J

9. $E_c = 72 \cdot 10^2$ J

10. $E_c \cong 3{,}3 \cdot 10^{-11}$ J

11. a) $\Delta d \cong 38$ m

b) $W \cong 5{,}7 \cdot 10^2$ J

c) $v = 15$ m/s

d) $E_c \cong 5{,}7 \cdot 10^2$ J

e) $P \cong 1{,}1 \cdot 10^2$ watts

12. $\Delta E_c = 160$ J

13. $\Delta E_p = 28 \cdot 10^5$ J

14. $\Delta E_p = 5 \cdot 10^4$ J

15. a) $E_p = 1{,}6 \cdot 10^3$ J

b) $E_p \cong 1{,}8 \cdot 10^4$ J

c) $E_p = 6{,}1 \cdot 10^5$ J

16. $d = 5 \cdot 10^{-2}$ m

$E_p \cong 3{,}8 \cdot 10^{-1}$ J

17. $k = 2{,}0 \cdot 10^4$ N/m

$E_p \cong 6{,}3$ J

18. $W \cong 6 \cdot 10^{-1}$ J

$E_p = W \cong 6 \cdot 10^{-1}$ J

19. $W = 2{,}5$ J

$E_p = 2{,}5$ J

20. a) $E_m = 4{,}0 \cdot 10^5$ J

b) $E_c = 2{,}5 \cdot 10^5$ J; $E_p = 1{,}5 \cdot 10^5$ J; $E_m = 4{,}0 \cdot 10^5$ J

c) $v \cong 63$ m/s $(10\sqrt{40})$

21. a) $v_c = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_B}$

b) $v_D = \sqrt{2 \cdot g \cdot (h_B - h_D)}$

c) $v_B = \sqrt{2 \cdot g \cdot (h_A - h_B) + v_A^2}$; o carro atingirá B se $v_A \geqslant \sqrt{2 \cdot g \cdot (h_B - h_A)}$

22. a) $E_m = 3{,}0 \cdot 10^2$ J

b) $E_m = 1{,}8 \cdot 10^2$ J

c) $\Delta U = 1{,}2 \cdot 10^2$ J

d) $v \cong 4{,}5$ m/s

23. $\Delta U = 40$ J

24. a) $E_p = 20$ J

b) $v \cong 6{,}3$ m/s

c) $E_c = 20$ J

d) Inicialmente, o bloco possui E_c; durante a interação ele transfere esta energia para a mola. A mola acumula em forma de E_p, que é transformada em E_c do bloco após a interação.

25. a) $\Delta E_m = -m \cdot g \cdot h_A$

b) Não. A energia mecânica (em A) foi transformada em energia interna do sistema plano - objeto - atmosfera.

SEÇÃO 10 — EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE ENERGIA — HISTÓRICO

A utilização das forças da natureza — primeiros passos

O conceito de energia é bem recente na História das Ciências: surgiu em meados do séc. XVII. Entretanto, se entendermos a energia como a capacidade de realizar trabalho, constatamos que a procura da energia é muito antiga e na verdade surgiu com o próprio homem.

Se voltarmos os olhos para a Pré-história, vamos encontrar os primeiros homens sem recursos diante da natureza. Eles dispunham apenas de sua própria capacidade de trabalho. Estes primeiros agrupamentos humanos viviam da caça e é nesta época que o homem descobre os instrumentos de pedra (machados, lanças, arpões, etc.) e tornam seus trabalhos mais eficientes.

Com o tempo, o homem aprendeu a domesticar os animais e posteriormente a utilizá-los para tarefas pesadas. Ao mesmo tempo, o homem descobre a agricultura e torna-se sedentário. De modo geral, esses primeiros agrupamentos situavam-se nas margens dos rios, o que desenvolveu o transporte fluvial. As primeiras canoas não eram muito eficientes, porém, com a descoberta das velas passa-se a usar a força dos ventos. O transporte torna-se então mais rápido.

Para nós, que vivemos numa civilização com muito mais recursos, estes primeiros progressos parecem irrisórios. Porém, não devemos deixar de ver a importância destes primeiros passos dados pelo homem na utilização da natureza para seu próprio bem-estar.

Já pelo ano 3 000 a.C., grandes impérios estavam estabelecidos à beira de rios: o Egito (à beira do rio Nilo) e a Mesopotâmia (entre os rios Tigre e Eufrates). Nestes grandes impérios, grandes construções foram realizadas à custa do trabalho escravo; basta lembrar as pirâmides e templos deixados por estes povos. Calcula-se que milhões de escravos trabalharam, durante dezenas de anos, na construção de cada um deste monumentos.

A utilização de trabalho escravo vem até a nossa era. No Império Romano, cujo apogeu deu-se aproximadamente de 200 a.C. até 100 d.C., os prisioneiros de guerra eram escravizados e constituíam a mão-de-obra utilizada para todo o tipo de tarefas.

Os moinhos

Nos escritos do romano Vitrúvio, do 1º século d.C., já aparecem descrições de moinhos d'água (vide fig. 1). Estes moinhos utilizavam a energia hidráulica, transformando-a em trabalho mecânico. Mas, apesar de os homens já terem conhecimento desta nova forma de energia, houve pouco interesse em sua utilização, devido ao sistema econômico baseado no trabalho escravo.

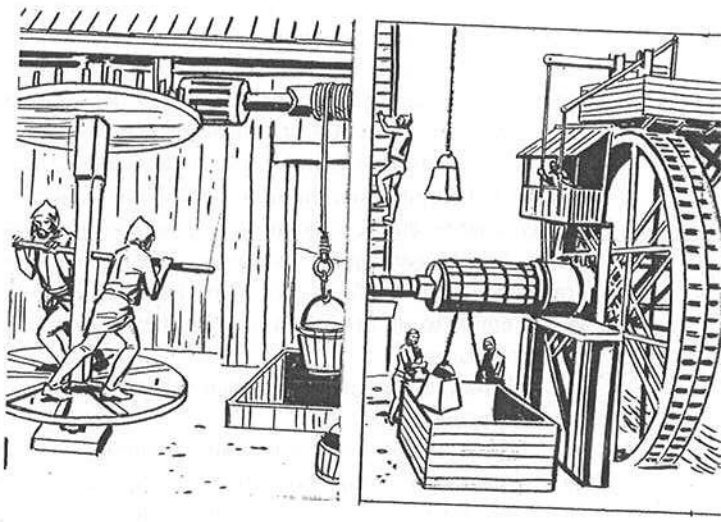


Fig. 1

Com o declínio da escravidão, os moinhos desenvolveram-se plenamente na Idade Média. O sistema econômico medieval era baseado na agricultura e dispunha de pouca mão-de-obra. Os moinhos d'água eram utilizados na moagem de grãos de cereais e em pequenas indústrias.

Já no séc. XI, surgem na Europa os moinhos de vento. Parecem ter vindo da Pérsia e eram utilizados para serrar madeira, forjar ferro, etc. (vide fig. 2)

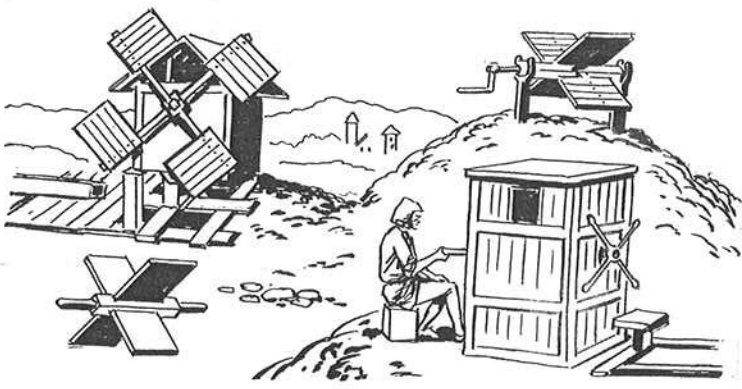


Fig. 2

Estes transformadores de energia tornaram muito mais rendoso o trabalho do homem: aumentaram as colheitas e a produção industrial. Como conseqüência, há um enriquecimento da sociedade medieval, que se expande e se transforma. As cidades se desenvolvem, a produção de mercadorias torna-se mais complexa e surgem novos mercados com os grandes descobrimentos do séc. XVI.

O desenvolvimento da ciência da natureza

Enquanto que na Idade Média o homem estivera preocupado principalmente com os problemas da alma, o homem renascentista reencontra a natureza. As ciências da natureza desenvolvem-se. Já no séc. XVII, a ciência do estudo dos movimentos, a Mecânica, tem suas bases estabelecidas por Galileo Galilei, Isaac Newton e outros. É em 1695 que Gottfried W. Leibnitz, filósofo e cientista alemão, dá o nome de "visviva" ou "força viva" à quantidade mv^2 (referindo-se a um corpo de massa m e velocidade v). Poucos anos depois, o físico holandês Christian Huygens descobre que: durante a colisão de duas esferas perfeitamente elásticas, a força viva se conserva. Além disso, foi Huygens quem verificou a equivalência entre trabalho realizado e força viva. Tudo isso parecia mostrar que o conceito de força viva seria de grande importância na Mecânica.

Porém, os cientistas tiveram pouco interesse por este novo conceito.

Surge no séc. XVII a máquina a vapor d'água, que se mostrou eficiente no bombeamento de água para fora das minas de carvão. A extração de carvão era de grande importância na época, pois o uso deste combustível estava substituindo em grande escala o uso da madeira, que se tornara escassa. As máquinas a vapor desenvolveram-se rapidamente e no séc. XVIII chegam a uma forma mais econômica, com James Watt. Este período é de grande desenvolvimento industrial e a máquina a vapor começa a ser utilizada na indústria têxtil, nas metalurgias, etc.

No início do séc. XIX, quando era grande o interesse dos cientistas pela transformação de calor em energia mecânica, o cientista inglês Thomas Young dá o nome atual de energia à capacidade de realizar trabalho. Este ramo da ciência está diretamente ligado à necessidade da sociedade da época. No sistema industrial de produção que estava se desenvolvendo, a noção de trabalho era básica e estreitamente ligada à produção.

O interesse dos cientistas é por todas as formas de energia. Os fisiologistas começam a relacionar a energia mecânica dos animais com a energia química adquirida pela alimentação.

O desenvolvimento da Termodinâmica leva Rudolph Clausius (físico alemão), em 1857, a explicar o calor dos gases como devido ao movimento das moléculas: a energia cinética das moléculas equivaleria à energia calorífica do gás.

Estes resultados levam à lei da conversibilidade da energia: uma forma de energia pode transformar-se em outra. Além disso, surge a constatação de que a energia não pode ser destruída, somente transformada.

Novas fontes de energia

A procura de novas formas de energia é uma constante no séc. XIX. Com o desenvolvimento da Eletricidade, chega-se à energia elétrica, cujo uso generaliza-se no século atual: na iluminação das cidades, na movimentação do maquinário das fábricas, etc.

O nosso século vê surgir, porém, uma nova forma de energia: a energia atômica. O homem descobriu que o átomo, este constituinte da matéria, armazena grande quantidade de energia. A energia atômica já foi usada para a destruição (do mesmo modo que a pólvora, dinamite). Porém, existem projetos de utilização pacífica desta energia. O homem sabe que um dia o petróleo encontrável na terra acabará e que as quedas-d'água que movimentam as turbinas das usinas geradoras de eletricidade não darão conta da necessidade da sociedade. Ele precisará, então, dispor desta nova forma de energia.

Fazendo um retrospecto, vamos observar uma constante na história da humanidade: sempre o homem procurou dominar a natureza e utilizá-la para suas próprias necessidades. A ciência, procurando o entendimento dos fenômenos que ocorrem na natureza, traz novos elementos desta luta do homem. E, pelo entendimento, o homem consegue de modo cada vez mais eficaz manipular a natureza.