4 A conservação da energia

Há muito tempo, os cientistas perceberam que a quantidade de energia de um sistema isolado é uma grandeza invariável. A energia não pode ser criada e tampouco destruída; pode apenas se converter de uma determinada forma para outra.

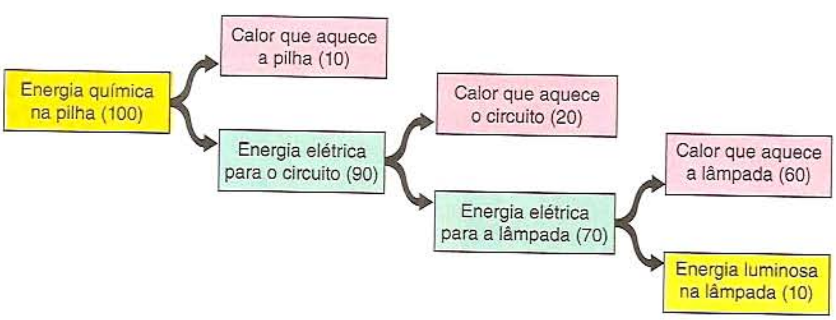
Numa queima de fogos de artifício, podemos observar a conversão da energia química dos componentes do artefato em energia cinética e energia luminosa dos estilhaços. (**Fig. 6.19**)

No início deste capítulo, vimos que os alimentos que ingerimos nos fornecem energia. Essa energia é proveniente do Sol. As plantas a absorvem e a usam nos processos metabólicos de crescimento. Quando um animal come uma planta, parte da energia que ela contém fica armazenada no corpo do animal, e ele a utilizará para se movimentar e para desempenhar suas funções; outra parte é transformada em calor (que também é uma forma de energia).

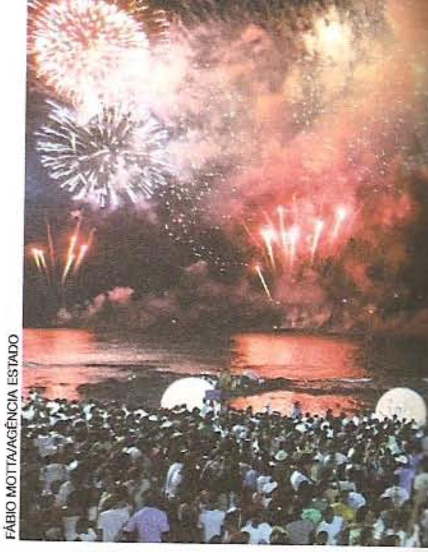
Um arqueiro, por exemplo, ao retesar seu arco, despende uma certa quantidade de energia, da qual parte fica armazenada sob a forma de energia potencial elástica do arco. (**Fig. 6.20**) Quando a corda é liberada, essa energia potencial será convertida em energia cinética da flecha.

O circuito elétrico a seguir ilustra um sistema bastante simples, no qual uma pilha é ligada por fios a uma pequena lâmpada de lanterna. (**Fig. 6.21**) A energia está inicialmente sob a forma de energia química dos componentes da pilha. Na pilha, a energia química é convertida em energia elétrica, que será transmitida à lâmpada pelos fios condutores. Mas parte dessa energia elétrica será convertida em calor, que aquecerá os fios de ligação. Na lâmpada, a energia elétrica restante, por sua vez, também será convertida em calor e em energia luminosa. A energia total do sistema permanece constante, apenas convertendo-se de um tipo em outro.

Se considerarmos que a pilha possuía inicialmente 100 unidades de energia, o fluxograma de energia nesse sistema poderia ser representado assim:

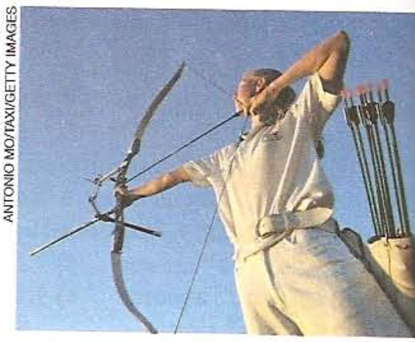


Observe que a quantidade inicial de energia (100 unidades) se converte em 10 unidades de calor, que aquece a própria pilha, e em 90 unidades de energia elétrica, que é enviada para o circuito ($10 + 90 = 100$). Dessas 90 unidades de energia elétrica, 20 unidades se convertem em calor, que aquece os fios do circuito, e as 70 unidades restantes são fornecidas à lâmpada ($20 + 70 = 90$). Na lâmpada, essas 70 unidades se convertem em 10 unidades de energia luminosa e em 60 unidades de calor, que aquece a lâmpada ($10 + 60 = 70$).



FÁBIO MOTTA/AGÊNCIA ESTADO

Figura 6.19 No espetáculo de fogos de artifício, a energia sofre transformações. Salvador, BA, 2009.



ANTONIO MO/TAXI/GETTY IMAGES

Figura 6.20 O arco retesado armazena energia, que será transferida à flecha.

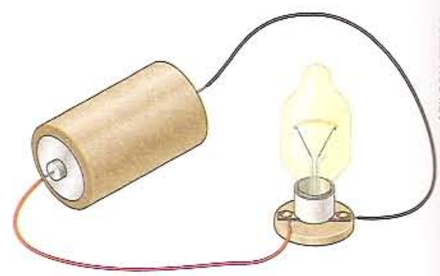


Figura 6.21 Nesse circuito elétrico, a energia química da pilha é convertida em energia luminosa (na lâmpada) e em energia térmica (na pilha, na lâmpada e nos fios de ligação).

Essa conservação de energia ocorre em todo e qualquer sistema físico e constitui o denominado **princípio da conservação de energia**. Um dos cientistas que ajudaram a estabelecê-lo foi James Prescott Joule.

Esse princípio, junto ao princípio da conservação da quantidade de movimento linear e do princípio da conservação do momento angular, devido à sua universalidade, constitui as bases da Física.

Em um sistema mecânico qualquer, a energia costuma encontrar-se sob a forma de energia mecânica (E_M), que corresponde à soma da energia cinética (E_C) com a energia potencial (E_P) (gravitacional e/ou elástica). Então, em um sistema mecânico:

$$\boxed{E_M = E_C + E_P}$$

Vamos, agora, analisar as conversões de energia que ocorrem em um sistema puramente mecânico.

Na figura a seguir, mostramos uma pessoa escorregando por um tobogã, cujo perfil segue os pontos *A*, *B*, *C*, *D* e *E*. Consideremos que o *nível zero* de energia potencial gravitacional seja o ponto *E*, isto é, no ponto *E* consideraremos que a energia potencial gravitacional é nula. (**Fig. 6.22**)

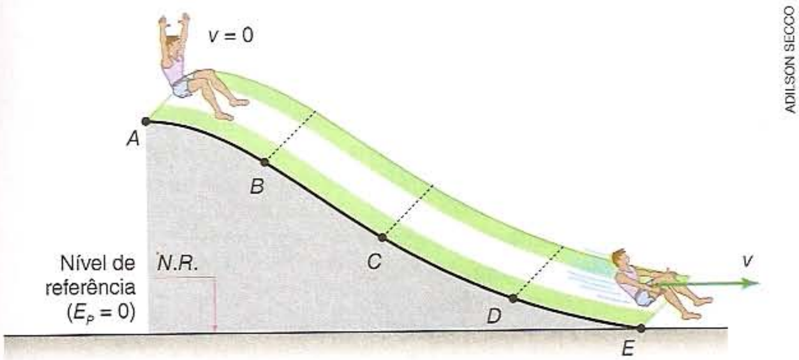


Figura 6.22 Ao descer por um tobogã, a energia estará continuamente passando por transformações.

Vamos admitir, também, que existe atrito entre a pessoa e o tobogã. Nesse caso, parte da energia mecânica inicial do sistema será dissipada sob a forma de calor.

A tabela abaixo mostra possíveis valores que as energias cinética e potencial gravitacional poderiam assumir durante a descida da pessoa pelo tobogã. Mostra também a energia dissipada sob a forma de calor no trajeto.

Observe, entretanto, que a energia total do sistema — que é a soma das energias potencial, cinética e dissipada — deverá permanecer constante.

Ponto	E_P (J)	E_C (J)	E_{diss} (J)	E_{total} (J)
A	6.000	0	0	6.000
B	4.500	1.200	300	6.000
C	3.000	2.400	600	6.000
D	1.500	3.600	900	6.000
E	0	4.800	1.200	6.000

James Prescott Joule

Retrato de Joule, século XIX.

Nasceu em 24 de dezembro de 1818, em Salford, perto de Manchester, na Inglaterra. Era filho de um importante cervejeiro e sempre manifestou interesse pelas máquinas e pela Física.

Joule foi aluno de John Dalton, cientista inglês que desenvolveu um extenso trabalho sobre a teoria atômica, que lhe ensinou Ciências e Matemática.

Joule estudou a natureza do calor e descobriu relações entre o calor e o trabalho mecânico. No seu experimento mais conhecido, realizado em 1845, a queda de um corpo fazia girar uma haste com pás dentro de um recipiente com água. Joule mediu com grande precisão a temperatura da água e observou que ela se aquecia.

A descoberta da conservação da energia foi uma das chaves para a nova ciência da Termodinâmica e originou o que, mais tarde, passou a ser conhecido como primeira lei da Termodinâmica. Seu trabalho com energia levou-o também a construir um motor elétrico, que poderia substituir o motor a vapor, usado até então.

Joule morreu em 11 de outubro de 1889, em Sale, perto de Londres, Inglaterra.

Em homenagem a um dos que mais ajudaram a estabelecer o princípio da conservação da energia, o Sistema Internacional de Unidades adotou para a unidade de medida de energia, o newton · metro, o nome joule (J).

Mas e se o tobogã fosse perfeitamente liso? O que mudaria?

Se considerarmos que o tobogã é extremamente liso, ou seja, se pudermos desprezar os atritos, então não haverá dissipação de energia sob a forma de calor. Nesse caso, a energia mecânica do sistema — que corresponde agora à energia total — permanecerá constante.

A tabela ao lado mostra os valores das energias potencial, cinética e mecânica daquela pessoa durante a descida.

Ponto	E_P (J)	E_C (J)	E_M (J)
A	6.000	0	6.000
B	4.500	1.500	6.000
C	3.000	3.000	6.000
D	1.500	4.500	6.000
E	0	6.000	6.000

Observe que, durante a descida pelo tobogã, a energia cinética da pessoa aumenta, mas a potencial gravitacional diminui. Em outras palavras, a velocidade aumenta à medida que sua altura em relação ao *nível zero* de energia potencial (ponto *E*) diminui.

No esquema abaixo mostramos, na forma de um gráfico de barras, as energias potencial, cinética e mecânica em cada um dos cinco pontos analisados. (**Fig. 6.23**)

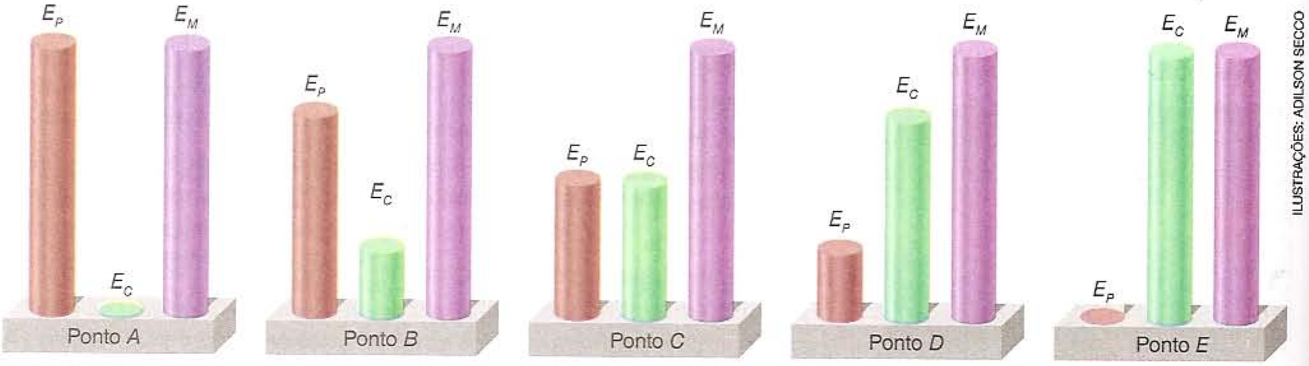


Figura 6.23 À medida que a pessoa desce pelo tobogã, sua energia cinética aumenta, porém sua energia potencial diminui.

Pela comparação dos dados das duas tabelas, observamos que a consequência direta da existência de atrito é que a energia cinética final da pessoa é menor do que ela teria se não houvesse atrito. Note também que a energia potencial gravitacional da pessoa não é afetada pela presença de atrito. Tal energia depende apenas da posição da pessoa em relação ao nível de referência adotado.

Em uma montanha-russa, a energia potencial aumenta à medida que o carrinho sobe e, consequentemente, a velocidade diminui. Durante a descida, enquanto a energia potencial diminui, a energia cinética e a velocidade do carrinho aumentam. Se desprezarmos o atrito, a energia mecânica do carrinho permanecerá constante. (**Fig. 6.24**)

RICARDO SILVA/FOLHAPRESS

Figura 6.24 *Looping* em montanha-russa de um parque de diversões em Penha-SC, 2005.

Você sabe por quê?

Uma criança sentada em um balanço, mesmo sem tocar o solo, é capaz de, por si só, impulsionar-se e atingir grandes amplitudes. Você sabe explicar como isso é possível e de onde advém a energia que o balanço e a criança adquirem?

O que diz a mídia!

A ciência vai ao parque

Com uma mistura de entusiasmo e apreensão, os passageiros do pequeno vagão veem o alto dos trilhos se aproximar lentamente. Atingido o cume, começa uma arrepiante sucessão de abismos abruptos, curvas inesperadas e subidas de tirar o fôlego. Tudo isso acontece em cerca de dois minutos numa montanha-russa — embora para os passageiros pareça uma eternidade. O objetivo dos projetistas, naturalmente, é criar o trajeto mais emocionante, de modo a proporcionar o maior número possível de sobressaltos por metro de viagem, sem o menor risco — pois nisso está toda a graça do brinquedo. A velocidade dos carros parece muito maior que a real, pela proximidade dos trilhos, e os apavorantes *loops* não passam de bem planejadas estruturas, tudo graças ao concurso das leis da Física.

Começa o passeio, e o pequeno vagão é lentamente puxado até o ponto mais alto da montanha-russa. Quanto mais alto for esse ponto, maior será a energia do carro — no caso, trata-se da energia potencial, que ao se transformar em energia cinética durante a descida aumentará progressivamente a velocidade do vagão. Qualquer objeto levantado do solo contém energia potencial, criada pela força da gravidade. Mas a corda de um relógio, por exemplo, ou um pedaço de elástico esticado também possuem energia potencial armazenada. Em Física clássica, energia potencial e energia cinética são as duas faces da energia mecânica.

A palavra energia foi usada pela primeira vez num texto científico em 1807 pela Royal Society inglesa, por sugestão do médico e físico Thomas Young (1773-1829). Outra de suas ideias brilhantes, mas que permaneceu despercebida nos arquivos da ciência, foi a definição de energia como a capacidade de realizar trabalho, ou seja, deslocar determinada massa por uma distância. Essa definição é o ponto-chave para a compreensão do conceito — e também para se entender os segredos da montanha-russa. Depois de ultrapassar o topo do ponto de partida, o vagão escorrega em desabalada viagem ladeira abaixo, sem a ajuda de motores ou máquinas, como um carrinho de rolimã ou um *skate*.

Durante o trajeto, a energia mecânica do vagão é também utilizada de forma inteligente — ela serve para mover uma série de geradores que fornecem eletricidade às lâmpadas que iluminam a montanha-russa. A energia excedente é canalizada para os acumuladores (baterias), onde é convertida em energia química. Esta poderá ser novamente transformada em eletricidade, sempre que necessário. Alguém poderia pensar que assim se obtém energia de graça. Mas, como dizia Lord Keynes em relação aos fatos da economia, nada é gratuito no Universo — a energia necessária para o guincho puxar o vagão até o início do percurso é muito superior à energia gerada na descida. A diferença transformou-se em calor.

[...]

SILVA JÚNIOR, A. C. T. e ZERO, K. *Superinteressante*, ano 3, n. 1, jan. 1989.

Questão

Em um brinquedo do tipo montanha-russa ocorrem transformações de energia. Desenhe em seu caderno um trecho da montanha-russa e o carrinho, desde a posição mais alta até a posição mais baixa, e discuta as transformações pelas quais a energia passa. Considere que no brinquedo real existem dissipações de energia mecânica. Faça outras considerações que achar necessárias.

Proposta experimental

Este experimento mostrará a conservação da energia mecânica em um sistema simples.

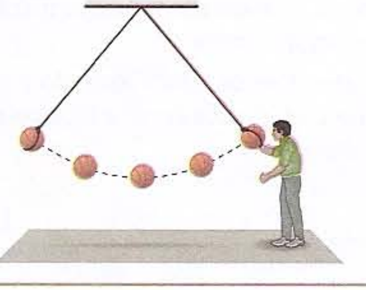
Para realizá-lo, você precisará de uma bola de basquete e uma corda de náilon com uns 2 m de comprimento.

Comece por prender firmemente uma das extremidades da corda à bola. Certifique-se de que a bola não pode se soltar facilmente da corda. Prenda a outra extremidade a um galho de árvore ou a um ponto qualquer, criando um pêndulo.

Desloque a bola da posição natural de equilíbrio e, mantendo a corda esticada, posicione-a junto a seu queixo. Solte a bola sem empurrar e permaneça imóvel.

A bola irá se deslocar em seu movimento pendular e, na volta, retornará à posição inicial, a milímetros de seu queixo.

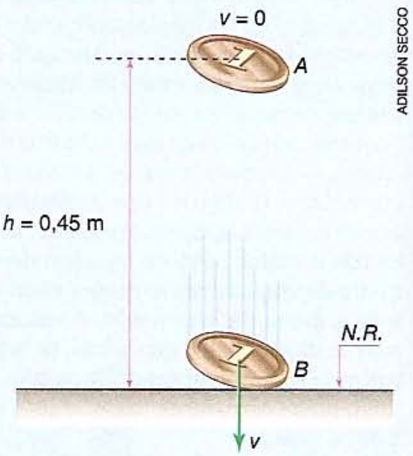
De acordo com o princípio da conservação da energia, no retorno a bola não poderá ter uma energia potencial maior do que a que tinha quando partiu. Portanto, você não precisa se preocupar, pois ela não atingirá uma altura maior do que a que tinha quando foi abandonada.



ADILSON SECCO

O princípio da conservação da energia mostra-se bastante útil em problemas nos quais precisamos calcular velocidades. Como aplicações simples, considere os exemplos seguintes.

Uma moeda é abandonada, a partir do repouso, de um ponto situado 0,45 m acima do solo. Desprezando a resistência do ar e adotando $g = 10\ m/s^2$, determine a velocidade com que ela atinge o solo.



A figura ao lado mostra-nos a moeda na posição inicial (ponto *A*) e em sua chegada ao solo (ponto *B*).

Adotaremos, ainda, o *nível zero* de energia potencial no solo (o nível de referência, *N.R.*, da figura). Dessa maneira, a energia potencial da moeda no solo será nula. Como estamos desprezando a força de resistência do ar, na moeda não atuam forças dissipativas. Assim, a energia mecânica da moeda conserva-se durante toda a queda, isto é: $E_{M(A)} = E_{M(B)}$.

Como a energia mecânica de um sistema é a soma de suas energias cinética e potencial, temos:

$$E_{C(A)} + E_{P(A)} = E_{C(B)} + E_{P(B)}$$

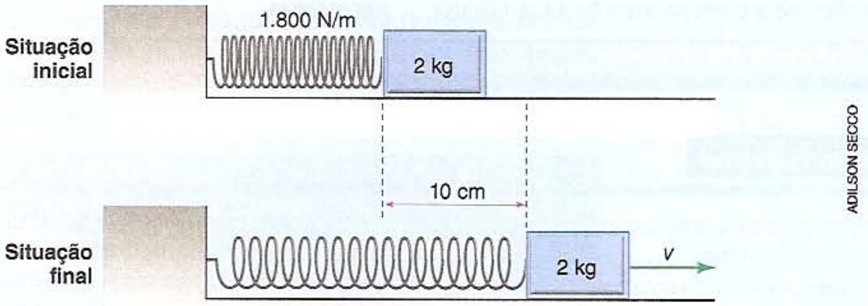
$$0 + m \cdot g \cdot h_A = \frac{m \cdot v_B^2}{2} + 0 \quad \Rightarrow \quad 2 \cdot g \cdot h_A = v_B^2 \quad \Rightarrow \quad v_B = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_A}$$

Observe que a velocidade com que a moeda chega ao solo independe de sua massa e depende basicamente da altura da qual ela foi abandonada. Com os valores numéricos fornecidos, temos:

$$v_B = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 0{,}45} \quad \Rightarrow \quad v_B = \sqrt{9} \quad \Rightarrow \quad v_B = 3\ m/s$$

O próximo exemplo explora a conversão de energia potencial elástica em energia cinética.

O corpo com massa 2 kg, mostrado no esquema abaixo, está apoiado em um plano horizontal liso e comprime a mola em 10 cm. A mola tem constante elástica de 1.800 N/m e, liberada, se distende e empurra o corpo. Determine a velocidade adquirida pelo corpo no instante em que a mola retorna à sua configuração não deformada.



No sistema apresentado, a energia mecânica encontra-se inicialmente sob a forma de energia potencial elástica da mola.

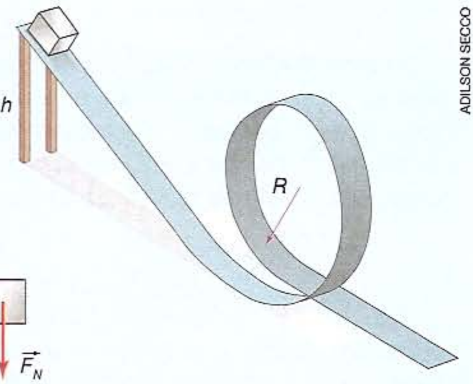
Desprezando-se os atritos, quando a mola retornar à sua configuração não deformada, a energia potencial elástica armazenada pela mola terá se convertido totalmente em energia cinética do corpo.

Então:

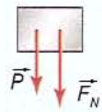
$$E_{P(mola)} = E_{C(corpo)} \quad \Rightarrow \quad \frac{k \cdot x^2}{2} = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad \Rightarrow \quad \frac{1.800 \cdot (0{,}1)^2}{2} = \frac{2 \cdot v^2}{2} \quad \Rightarrow \quad v^2 = 9 \quad \Rightarrow \quad v = 3\ m/s$$

Em problemas nos quais as forças envolvidas têm intensidades variáveis, a conservação da energia mostra-se muito útil.

Na figura ao lado, representamos um trecho de um trilho de montanha-russa com *looping* de raio R. Determine a altura mínima h da qual um carrinho deve ser abandonado para percorrer todo o trilho. Considere que a aceleração gravitacional é igual a g e despreze todos os atritos.



O ponto crítico da trajetória localiza-se no alto do *looping*. Nesse ponto, o carrinho deve ter uma velocidade tal que lhe permita completar com segurança a trajetória circular no plano vertical. O problema assemelha-se ao do "globo da morte" dos circos.



No ponto mais alto da trajetória circular, as forças que atuam no carrinho são: o seu peso $\vec{P}$ e a reação normal do apoio $\vec{F}_N$, ambas verticais e orientadas para baixo. Nesse ponto, a força resultante $(\vec{P} + \vec{F}_N)$ desempenha o papel de resultante centrípeta.

Conforme estudamos no capítulo 3, a aceleração centrípeta é dada pela expressão $a_{cp} = \frac{v^2}{R}$ e, portanto, pelo princípio fundamental da Dinâmica: $P + F_N = m \cdot \frac{v^2}{R}$. Note que, à medida que a velocidade no ponto mais alto assume valores cada vez menores, o mesmo acontece com a intensidade da força de reação normal do apoio.

Quando a velocidade no ponto mais alto assume o valor mínimo para que se complete a trajetória circular, a força de reação do apoio se anula. Então, quando: $v = v_{mín} \Rightarrow F_N = 0$.

Obtemos, nesse caso: $P = m \cdot \frac{v^2_{mín}}{R} \Rightarrow m \cdot g = m \cdot \frac{v^2_{mín}}{R} \Rightarrow v^2_{mín} = R \cdot g$

Podemos, agora, aplicar o princípio da conservação da energia entre o ponto de partida do carrinho e o ponto mais alto do *looping*. Adotaremos o *nível zero* de energia potencial no solo.

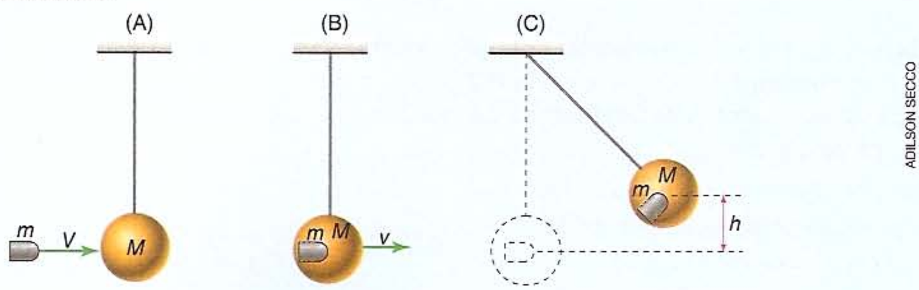
A energia potencial gravitacional do carrinho no ponto de partida se converte em energia cinética e energia potencial gravitacional quando este atinge o ponto mais alto do *looping*. Então:

$$m \cdot g \cdot h = \frac{m \cdot v^2_{mín}}{2} + m \cdot g \cdot (2 \cdot R) \Rightarrow m \cdot g \cdot h = \frac{m \cdot R \cdot g}{2} + 2 \cdot m \cdot R \cdot g \Rightarrow h = \frac{5}{2} \cdot R$$

O princípio da conservação da energia pode ser aplicado com o princípio da conservação da quantidade de movimento, estudado no capítulo 5 deste livro.

Exemplos de aplicação conjunta desses dois importantes princípios de conservação são explorados a seguir.

Um pêndulo balístico é um dispositivo que pode ser utilizado para a determinação da velocidade com que um projétil é disparado por uma arma de fogo. Consiste basicamente em uma massa suspensa por fios, contra a qual é feito o disparo. Com o impacto, a massa, juntamente com o projétil, adquire velocidade e oscila. O esquema abaixo ilustra, de maneira simplificada, a sequência de eventos.



Considerando a massa do projétil $m = 10$ g, a massa pendular $M = 990$ g, a aceleração gravitacional $g = 10$ m/s^2 e que a altura atingida pelo conjunto é $h = 45$ cm, determine a velocidade V do projétil imediatamente antes do impacto.

Devemos iniciar a resolução aplicando o princípio da conservação da energia mecânica ao conjunto, constituído pela massa pendular e pelo projétil, para as situações representadas nas figuras (B) e (C). Dessa maneira, poderemos determinar a velocidade de partida v do conjunto após o impacto, na figura (B). Desprezando a resistência do ar e adotando o *nível zero* de energia potencial na posição de partida do conjunto, temos:

$$E_{M(B)} = E_{M(C)} \Rightarrow E_{C(B)} + E_{P(B)} = E_{C(C)} + E_{P(C)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{(M+m)\cdot v^2}{2} = (M+m)\cdot g \cdot h \Rightarrow v = \sqrt{2\cdot g \cdot h}$$

Com os valores numéricos fornecidos, obtemos: $v = \sqrt{2\cdot 10 \cdot 0{,}45} \Rightarrow v = \sqrt{9} \Rightarrow v = 3$ m/s

Há, agora, elementos para aplicar o princípio da conservação da quantidade de movimento entre as situações representadas em (A) e em (B). Temos, então, na forma escalar:

$$Q_{(A)} = Q_{(B)} \Rightarrow m \cdot V = (M+m)\cdot v \Rightarrow V = \frac{(M+m)}{m}\cdot v$$

Usando os valores numéricos já conhecidos, obtemos:

$$V = \frac{(990+10)}{10}\cdot 3 \Rightarrow V = 300 \text{ m/s}$$

Observe que, conforme estudado no capítulo anterior, o choque entre o projétil e o pêndulo é do tipo perfeitamente inelástico.

Nesse tipo de choque, ocorre a máxima dissipação de energia mecânica, ou seja, é o choque no qual uma maior quantidade de energia mecânica é transformada em energia térmica e, eventualmente, em energia sonora e em trabalho de deformação permanente.

Calculemos a energia dissipada nesse choque entre o projétil e o pêndulo balístico. Para isso, precisamos conhecer a energia mecânica do sistema antes e depois do choque.

Antes do choque, temos: $E_{M(antes)} = \dfrac{m \cdot v^2}{2}$.

Então:

$$E_{M(antes)} = \frac{0{,}010 \cdot 300^2}{2} \Rightarrow E_{M(antes)} = 450 \text{ J}$$

E, após o choque, para o conjunto (projétil + pêndulo): $E_{M(depois)} = \dfrac{(m+M)\cdot v^2}{2}$.

Assim:

$$E_{M(depois)} = \frac{1{,}000 \cdot 3^2}{2} \Rightarrow E_{M(depois)} = 4{,}50 \text{ J}$$

Portanto, a energia dissipada no choque foi:

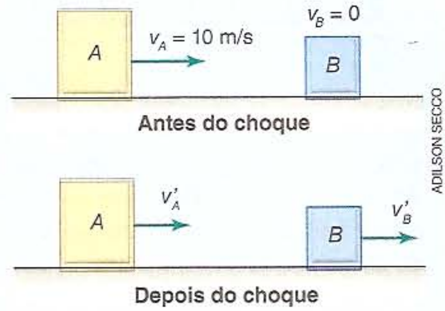
$$E_{dissipada} = 450 - 4{,}50 \Rightarrow E_{dissipada} = 445{,}5 \text{ J}$$

Vejamos agora o que acontece com a energia mecânica de um sistema em diferentes tipos de choque. Considere o exemplo a seguir.

Sejam dois blocos, A e B, com massas, respectivamente, iguais a 4 kg e 1 kg. O bloco A movimenta-se em um plano horizontal liso, com velocidade de módulo 10 m/s, e colide frontalmente com o bloco B que estava em repouso. Determine a quantidade de energia dissipada em uma colisão entre A e B considerando:

a) um choque perfeitamente elástico ($e = 1$);
b) um choque parcialmente elástico ($e = 0{,}5$);
c) um choque perfeitamente inelástico ($e = 0$).

A figura ao lado ilustra a situação dos corpos A e B antes e depois do choque.



Para determinar a quantidade de energia dissipada com o choque, precisamos antes descobrir as velocidades finais, v'_A e v'_B, de A e de B.

Devemos, portanto, obter um sistema de duas equações com duas incógnitas.

Uma primeira equação pode ser obtida aplicando-se a conservação da quantidade de movimento do sistema:

$$Q_{antes} = Q_{depois} \Rightarrow m_A \cdot v_A + m_B \cdot v_B = m_A \cdot v'_A + m_B \cdot v'_B$$

Então:

$$4 \cdot 10 + 1 \cdot 0 = 4 \cdot v'_A + 1 \cdot v'_B \quad \Rightarrow \quad v'_B + 4 \cdot v'_A = 40 \quad \textbf{(I)}$$

A segunda equação pode ser obtida a partir da definição do coeficiente de restituição e:

$$e = \frac{\text{velocidade relativa de afastamento}}{\text{velocidade relativa de aproximação}}$$

$$e = \frac{v'_B - v'_A}{10} \quad \Rightarrow \quad v'_B - v'_A = 10 \cdot e \quad \textbf{(II)}$$

a) Para o choque perfeitamente elástico, com $e = 1$, teremos o sistema:

$$\begin{cases} v'_B + 4 \cdot v'_A = 40 \\ v'_B - v'_A = 10 \end{cases}$$

A solução desse sistema fornece: $v'_A = 6$ m/s e $v'_B = 16$ m/s.

A energia dissipada durante o choque é dada pela diferença entre a energia cinética do sistema antes do choque e a energia cinética depois do choque: $E_{dissipada} = E_{antes} - E_{depois}$.
Então:

$$E_{dissipada} = \left(\frac{4 \cdot 10^2}{2} + \frac{1 \cdot 0^2}{2}\right) - \left(\frac{4 \cdot 6^2}{2} + \frac{1 \cdot 16^2}{2}\right) \Rightarrow$$
$$\Rightarrow E_{dissipada} = (200 + 0) - (72 + 128) \quad \Rightarrow \quad E_{dissipada} = 0$$

Podemos generalizar esse resultado e afirmar que em um choque elástico não ocorre dissipação de energia.

b) Para o choque parcialmente elástico ($e = 0{,}5$), obtemos de (I) e (II):

$$\begin{cases} v'_B + 4 \cdot v'_A = 40 \\ v'_B - v'_A = 5 \end{cases}$$

A solução desse sistema fornece: $v'_A = 7$ m/s e $v'_B = 12$ m/s.

Então, a energia dissipada será:

$$E_{dissipada} = \left(\frac{4 \cdot 10^2}{2} + \frac{1 \cdot 0^2}{2}\right) - \left(\frac{4 \cdot 7^2}{2} + \frac{1 \cdot 12^2}{2}\right) \Rightarrow$$
$$\Rightarrow E_{dissipada} = (200 + 0) - (98 + 72) \Rightarrow E_{dissipada} = 30 \text{ J}$$

c) Por fim, para o choque perfeitamente inelástico ($e = 0$), teremos:

$$\begin{cases} v'_B + 4 \cdot v'_A = 40 \\ v'_B - v'_A = 0 \end{cases}$$

A solução desse sistema fornece: $v'_A = v'_B = 8$ m/s.

A energia dissipada durante essa colisão será:

$$E_{dissipada} = \left(\frac{4 \cdot 10^2}{2} + \frac{1 \cdot 0^2}{2}\right) - \left(\frac{4 \cdot 8^2}{2} + \frac{1 \cdot 8^2}{2}\right) \Rightarrow$$
$$\Rightarrow E_{dissipada} = (200 + 0) - (128 + 32) \Rightarrow E_{dissipada} = 40 \text{ J}$$

Observe que a energia dissipada durante a colisão aumenta com a diminuição do coeficiente de restituição.

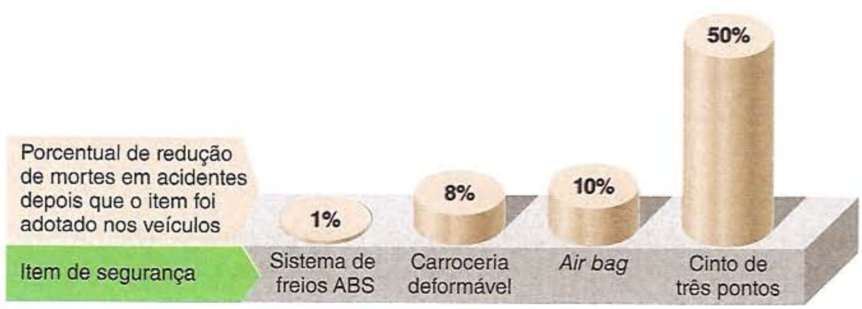
Assim, quando o coeficiente atingir seu valor mínimo ($e = 0$, na colisão inelástica), a energia dissipada atingirá seu valor máximo.

A célula de sobrevivência

Nos últimos anos, diversos itens de segurança vêm sendo incorporados às linhas de produção de veículos de série, caso dos cintos de segurança de três apoios, dos *air bags*, dos freios ABS e das células de sobrevivência. Com esses itens, os veículos tornaram-se muito mais seguros. O risco de morrer numa batida frontal atualmente é de 30%. No início da década de 1960 era de 70%.

O efeito da tecnologia

O gráfico mostra o quanto cada item de segurança adotado nos veículos contribuiu para diminuir a taxa de mortes em acidentes.



Fonte: Instituto Brasileiro de Segurança no Trânsito.

Você provavelmente já deve ter se impressionado ao assistir pela televisão a um acidente de carro de corrida. Como é possível que um carro, a incríveis 300 km/h, se choque, por exemplo, contra um muro, desmanche-se em centenas de pedaços e que o piloto escape incólume, algumas vezes com pequenos ferimentos?

O piloto polonês Robert Kubica passou por essa experiência ao sofrer um grave acidente no circuito *Gilles Villeneuve* na disputa do Grande Prêmio do Canadá de Fórmula 1 em 2007. Kubica, ao tentar ultrapassar Jarno Trulli, tocou o italiano, escapou, foi à grama, quase pegou a traseira do carro de Scott Speed, que estava estacionado no lado interno, foi de encontro ao muro e capotou. Seu carro ainda foi lançado para o outro lado da pista, chegou ao *guard rail* com a parte de baixo do carro e assim parou.

A célula de sobrevivência é um conceito de segurança imposto pela FIA (Federação Internacional de Automobilismo) aos carros da Fórmula 1 e que constitui um reforço que o *cockpit* recebe para proteger os pilotos em caso de colisões. Ao contrário das outras partes do carro, a célula de sobrevivência é projetada para resistir às deformações decorrentes de uma batida. A estrutura, que é formada por várias camadas de fibra de carbono e uma de alumínio, é projetada para suportar impactos de até 25 toneladas.

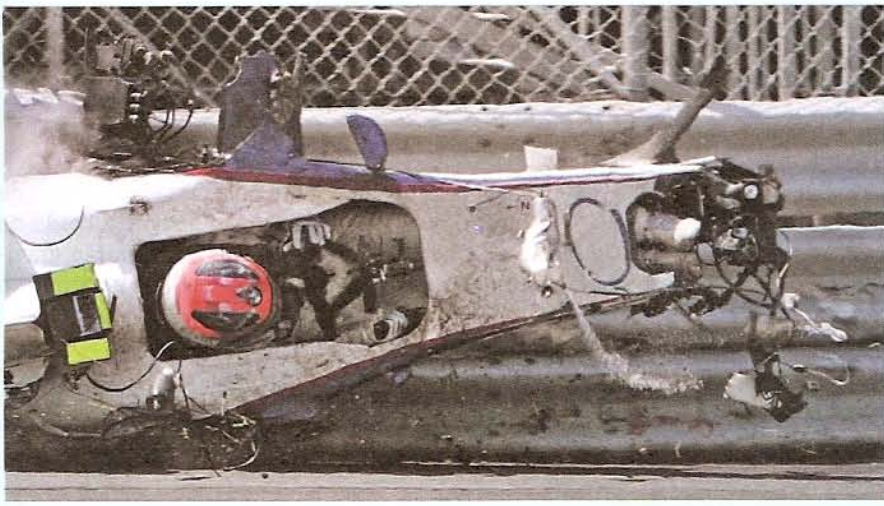
Um carro em alta velocidade possui uma grande quantidade de energia cinética. Ao sofrer uma colisão, essa energia deverá ser, de alguma forma, dissipada até o carro parar.

Geralmente, a energia cinética é dissipada sob a forma de calor e de energia sonora. Entretanto, ela pode ser convertida também em energia usada para deformar o carro. Por isso, a carroceria da maior parte dos carros de passeio hoje é construída com materiais deformáveis, que produzem o "efeito sanfona". Quando ocorre um acidente, as chapas encolhem, absorvendo grande parte da energia e, ao aumentar o tempo da colisão, a força produzida pelo impacto é reduzida.

O acidente de Robert Kubica foi impressionante, mas ele apenas torceu o tornozelo direito, o que demonstra mais uma vez toda a segurança atual do *cockpit* dos carros da Fórmula 1.

DAVID BOILY/AFP/GETTY IMAGES

CHRISTINNE MUSCHI/REUTERS/LATINSTOCK



CHRISTINNE MUSCHI/REUTERS/LATINSTOCK

Acidente de Robert Kubica no GP do Canadá de Fórmula 1, em Montreal, 2007.

Questão

Atualmente algumas pessoas reclamam da "fragilidade" dos carros modernos e recordam que antigamente as chapas usadas na lataria dos veículos eram mais espessas e resistentes. Baseando-se nas informações do texto, como você rebateria a crítica feita por essas pessoas?