DINÂMICA

Ricardo Lauxen

SOLUÇÕES EDUCACIONAIS INTEGRADAS

Revisão técnica:

Eduardo Vinícius Galle
Bacharel em Física

D583 Dinâmica / Ivan Rodrigo Kaufmann... [et al.] ; [revisão técnica: Eduardo Vinícius Galle]. – Porto Alegre : SAGAH, 2018.
348 p. : il. ; 22,5 cm

ISBN 978-85-9502-365-9

1. Física. I. Kaufmann, Ivan Rodrigo.

CDU 531.3

Catalogação na publicação: Karin Lorien Menoncin – CRB 10/2147

Momento linear e impulso

Objetivos de aprendizagem

Ao final deste texto, você deve apresentar os seguintes aprendizados:

- Definir momento linear e impulso.
- Reconhecer os fundamentos do momento linear e impulso.
- Aplicar esses conceitos em algumas situações básicas do cotidiano.

Introdução

A velocidade é uma das grandezas mais estudadas em física, e outras tantas surgiram a partir dela. É o que acontece com o momento linear, por exemplo, que é o produto da massa pela velocidade de um corpo. O momento linear também pode ser chamado de quantidade de movimento ou, ainda, de *momentum*.

Neste capítulo, você verá o que é momento linear e impulso e como aplicá-los no seu dia a dia.

Quantidade de movimento (momento) linear

Para introduzirmos o conceito de quantidade de movimento linear, também denominado momento linear, vamos considerar dois jogos que envolvem bolas de massas completamente diferentes, como tênis e boliche.

Em treinamentos de jogadores de tênis profissionais e amadores, é comum que sejam utilizados canhões de lançamento de bolas de tênis. Essas máquinas são capazes de lançar uma bola a uma velocidade de até 24 km/h. Em um jogo de boliche, embora as velocidades da bola não sejam tão grandes quanto no tênis, a bola tem uma massa que pode passar dos 7 kg, um valor mais expressivo que os cerca de 60 gramas da massa máxima que uma bola de tênis profissional pode ter.

Em qualquer uma das situações anteriores, não é uma boa ideia ficar na linha da trajetória da bola, pois podemos nos machucar. Com isso em mente, podemos nos fazer a seguinte pergunta: existe alguma grandeza física carregada pelos corpos em ambas as situações que sejam comuns a eles?

A resposta para essa pergunta é sim. A razão pela qual não é uma boa ideia estar na trajetória tanto da bola de tênis quanto da bola de boliche é elas portarem grande quantidade de movimento linear. Matematicamente, a quantidade de movimento é um vetor definido pelo produto da massa e da velocidade do corpo:

$$\vec{p} = m\vec{v} \ (1)$$

de modo que a unidade de medida para o momento angular é **kg m/s**.

O momento linear, definido em (1), é uma grandeza muito importante na física, pois auxilia na descrição da dinâmica de partículas, sistemas de partículas e corpos rígidos, sendo particularmente útil no estudo de colisões. A sua importância é tal que a equação do movimento pode ser escrita em termos dela. Lembrando que $\vec{a} = d\vec{v}/dt$, a segunda lei de Newton, pode ser escrita como:

$$\vec{F}_R = m\frac{d\vec{v}}{dt} \ (2)$$

Sendo a massa uma quantidade constante, podemos escrever a segunda lei em termos do momento linear:

$$\vec{F}_R = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \frac{d\vec{p}}{dt} \ (3)$$

Embora tenhamos adotado o caminho inverso, a equação (3) é, na verdade, a forma mais geral da segunda lei de Newton, sendo válida inclusive para sistemas com massa variável. A expressão $\vec{F} = m\vec{a}$ é que é um caso particular de (3).

Exemplo

No ano de 2004, o tenista Andy Roddick sacou uma bola a 246,2 km/h, quebrando o seu próprio recorde. Considerando que a massa da bola de tênis não pode ultrapassar 58,5 g, estime a quantidade de movimento linear da bola.

Solução:

O primeiro passo aqui é converter a velocidade e a massa da bola de tênis (bt) para unidades do SI:

$$v_{bt} = 246{,}2\frac{km}{h} \times \left(\frac{1\ h}{3600\ s}\right) \times \left(\frac{1000\ m}{1\ km}\right) = \quad 68{,}39\ m/s$$

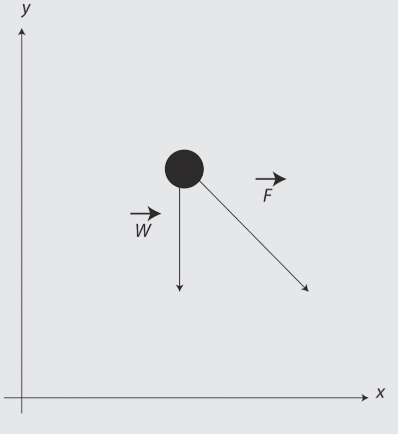
$$m_{bt} = 58{,}5\ g \times \left(\frac{1\ kg}{1000\ g}\right) = 0{,}0585\ kg$$

Desse modo, a quantidade de movimento linear da bola de tênis é:

$$p = m_{bt}v_{bt} = 3{,}71\ kg \cdot m/s$$

Exemplo

Uma partícula de 140 g move-se em um plano *y-z*, sobre a ação da sua força peso e da força $\vec{F}$, como mostra a figura abaixo. Sabendo que o momento linear da partícula é expresso por $\vec{p} = \frac{1}{2}(t^2 + 1)\hat{\imath} - \frac{1}{3}(t^3 - 3)\hat{\jmath}$, determine o módulo da força $\vec{F}$ que age sobre a bola no instante 3,00 s.



Solução:

Para resolver esse problema, devemos utilizar a segunda lei de Newton:

$$\vec{F}_R = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

Do lado esquerdo, a força resultante é dada por:

$$\vec{F}_R = \vec{F} + \vec{W}$$

O módulo do vetor $\vec{F}$ é a incógnita a ser determinada. Para determinar o vetor peso, o primeiro passo é converter g para kg e determinar a força peso:

$$m = 140\ g \times \left(\frac{1\ kg}{1000\ g}\right) = 0{,}140\ kg$$

Assim:

$$\vec{W} = m\vec{g} = -(0{,}140)(9{,}81)\hat{\jmath} = -(1{,}373\ N)\hat{\jmath}$$

Logo,

$$\vec{F}_R = \vec{F} - (1{,}373\ N)\hat{\jmath}$$

Do lado direito da equação, é necessário derivar o momento linear em relação ao tempo:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{1}{2}(2t)\hat{\imath} - \frac{1}{3}(3t^2)\hat{\jmath} = t\hat{\imath} - t^2\hat{\jmath}$$

Logo, pela segunda lei de Newton:

$$\vec{F} - (1{,}373\ N)\hat{\jmath} = t\hat{\imath} - t^2\hat{\jmath}$$
$$\Rightarrow \vec{F} = t\hat{\imath} + (-t^2 + 1{,}373)\hat{\jmath}$$

Para um tempo de 3 segundos:

$$\vec{F} = (3{,}00)\hat{\imath} + (-(3{,}00)^2 + 1{,}373)\hat{\jmath} = 3{,}00\hat{\imath} - 7{,}627\hat{\jmath}$$

Agora é possível determinar o módulo do vetor:

$$F = \sqrt{(3{,}00)^2 + (-7{,}627)^2} = 8{,}20\ N$$

Impulso

Na seção anterior, foi definida a quantidade de movimento de uma partícula de massa m e velocidade $\vec{v}$ e foi demonstrada a sua relação direta com o vetor força resultante via segunda lei de Newton. Aqui, vamos novamente recorrer a uma situação prática para compreender o conceito de impulso e a sua relação com os vetores força e o momento linear.

Em uma partida de golfe, ao dar uma tacada, o taco exerce uma força na bola, que está inicialmente parada, de modo que passe a se movimentar descrevendo uma trajetória parabólica. Embora a sensação que fica na tacada é que ela ocorreu de maneira instantânea, na verdade o taco aplicou uma força sobre a bola durante um curto intervalo de tempo. Nessa situação, a bola acabou experimentando um impulso externo capaz de alterar a sua quantidade de movimento inicial, que era nula.

Como o problema envolve uma força aplicada em certo intervalo de tempo, podemos utilizar (3) para encontrar uma expressão matemática para o impulso, reescrevendo-a na forma:

$$\vec{F}dt = d\vec{p} \ (4)$$

e integrando (4) em ambos os lados da igualdade no intervalo de tempo t_i até t_f:

$$\int_{t_i}^{t_f} \vec{F}dt = \int_{p_i}^{p_f} d\vec{p} \ \ (5)$$

Sendo $p_i \equiv p(t_i)$ e $p_f \equiv p(t_f)$, a quantidade que aparece no lado esquerdo de (5) é o vetor impulso linear:

$$\vec{I} = \int_{t_i}^{t_f} \vec{F}dt \ \ (6)$$

Resolvendo o lado direito de (5), obtemos que:

$$\vec{I} = \vec{p}_f - \vec{p}_i = \Delta\vec{p} \ (7)$$

Que é conhecido como princípio do impulso e quantidade de movimento linear, que não será abordado em detalhes neste capítulo. Aqui, vamos nos restringir ao cálculo do impulso.

Análise gráfica

O impulso foi definido na equação (6) por meio de uma integral. Desse modo, essa quantidade pode ser determina de maneira gráfica, calculando a área abaixo da curva que está sendo integrada, que é equivalente ao módulo do vetor impulso. A Figura 1 ilustra o caso em o módulo da força varia com o tempo, isto é, $F_{Res} \equiv F_{Res}(t)$.

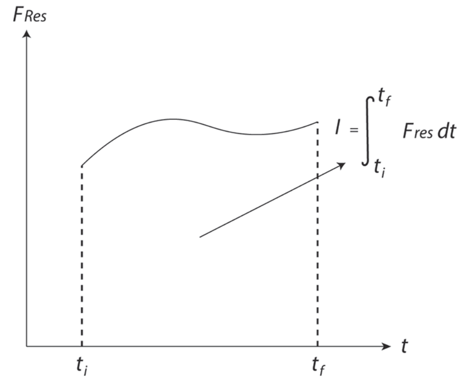


Figura 1. A área abaixo da curva representa a integral da força que varia com o tempo.

No caso em que o vetor força é constante em relação ao tempo, $F_{Res} = F_c$, a integral do impulso passa a ser:

$$\vec{I} = \vec{F}_c \int_{t_i}^{t_f} dt = \vec{F}_c\left(t_f - t_i\right) = \vec{F}_c \Delta t$$

Nesse caso, a área a ser determinada será sempre de um retângulo, como mostrado na Figura 2.

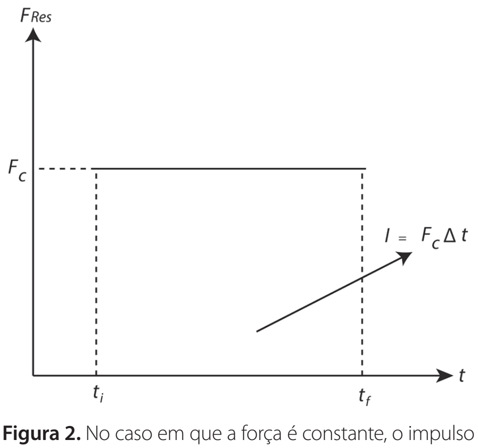
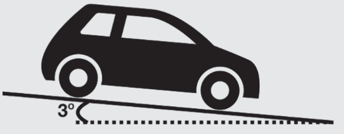


Figura 2. No caso em que a força é constante, o impulso será determinado pela área do retângulo mostrado na figura.

Vejamos agora um exemplo do cálculo de impulso em uma situação cotidiana.

Exemplo

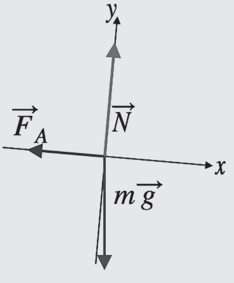
Um carro de 1500 kg trafega a uma velocidade de 110,0 km/h sobre uma pista retilínea como mostra a figura a seguir:



Sabendo que, nessas condições, a pista oferece uma força resistiva de 7000 N ao movimento do carro, determine o impulso após 8,50 segundos.

Solução:

O primeiro passo é desenhar o diagrama de forças (figura abaixo) para calcular a força resultante.



Como o movimento ocorre somente ao longo do eixo x, então:

$$F_R = mgsen3° - F_A$$
$$F_R = (1500)(9{,}81)sen3° - 7000$$
$$F_R = - 6230N$$

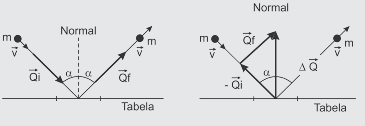
Nesse caso, a força é constante, então:

$$I = -6230\int_0^{8{,}50} dt = -6230(8{,}50) = -52955\ N \cdot s = -53{,}0\ kN.s$$

O resultado final foi arredondado para três algarismos significativos devido à precisão das medidas apresentadas no problema.

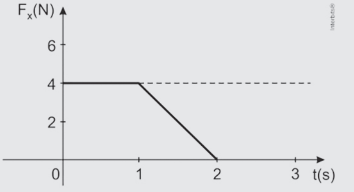
Exercícios

1. A Figura a seguir ilustra uma visão superior de uma mesa de sinuca, em que uma bola de massa 400 g atinge a tabela com um ângulo de 60º com a normal e ricocheteia, formando o mesmo ângulo com a normal. A velocidade da bola, de 9 m/s, altera apenas a direção do movimento durante o choque, que tem uma duração de 10 ms. Qual é o valor da força média da colisão da bola com a tabela?



a) 360 N.
b) 5400 N.
c) 3600 N.
d) 4000 N.
e) 600 N.

2. Um bloco de massa 1kg move-se retilineamente com velocidade de módulo constante igual a 3m/s sobre urna superfície horizontal sem atrito. A partir de dado instante, o bloco recebe o impulso de sua força externa aplicada na mesma direção e sentido de seu movimento. A intensidade dessa força, em função do tempo, é dada pelo gráfico abaixo.



A partir desse gráfico, pode-se afirmar que o módulo da velocidade do bloco após o impulso recebido é, em m/s, de:

a) -6.
b) 1.
c) 5.
d) 7.
e) 9.

3. Uma esfera de massa *m* é lançada do solo verticalmente para cima, com velocidade inicial *V*, em módulo, e atinge o solo 1 s depois. Desprezando todos os atritos, a variação no momento linear entre o instante do lançamento e o instante imediatamente anterior ao retorno ao solo é, em módulo:

a) 2Mv.
b) mV.
c) mV2/2.
d) mV/2.
e) m.

4. Considere uma esfera metálica em queda livre sob a ação somente da força peso. Sobre o módulo do momento linear desse corpo, pode-se afirmar corretamente que:
   a) Aumenta durante a queda.
   b) Diminui durante a queda.
   c) É constante e diferente de zero durante a queda.
   d) É zero durante a queda.
   e) Nada se pode afirmar.
5. Um objeto de massa igual a 2kg move-se em linha reta com velocidade constante de 4m/s. A partir de certo instante, uma força de módulo igual a 2N é exercida por 6s sobre o objeto, na mesma direção de seu movimento. Em seguida, o objeto colide frontalmente com um obstáculo e tem seu movimento invertido, afastando-se com velocidade de 3m/s.
   O módulo do impulso exercido pelo obstáculo e a variação da energia cinética do objeto, durante a colisão, foram, respectivamente:
   a) 26 Ns e -91 J.
   b) 14 Ns e -91 J.
   c) 26 Ns e -7 J.
   d) d) 14 Ns e -7 J.
   e) e) 7 Ns e -7 J.

Leituras recomendadas

BEER, F. P.; JOHNSTON JUNIOR, E. R.; CORNWELL, P. J. *Mecânica vetorial para engenheiros:* dinâmica. 9. ed. Porto Alegre: AMGH, 2012.

CHAVES, A.; SAMPAIO, J. F. *Física básica:* mecânica. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de física:* mecânica. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. v. 1.

HIBBELER, R. C. *Dinâmica:* mecânica para engenharia. 10. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de física básica 1:* mecânica. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2002. v. 1.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G. *Física para cientistas e engenheiros:* mecânica, oscilações e ondas, termodinâmica. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

Encerra aqui o trecho do livro disponibilizado para esta Unidade de Aprendizagem. Na Biblioteca Virtual da Instituição, você encontra a obra na íntegra.

Conteúdo:

SOLUÇÕES EDUCACIONAIS INTEGRADAS