

## Impulso e quantidade de movimento

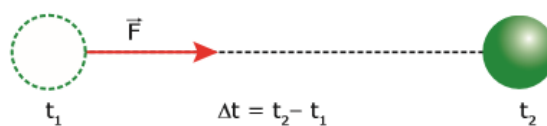
### Resumo

---

Forças de grande intensidade, ainda que atuem por curtos intervalos de tempo, provocam grandes variações na quantidade de movimento dos corpos. Por exemplo, as forças que atuam em um carro durante um teste de colisão (*crash test*), apesar de atuarem sobre o veículo durante um pequeno intervalo de tempo, provocam uma grande variação na quantidade de movimento do carro, pois o vetor quantidade de movimento do veículo, que possuía módulo não nulo, torna-se nulo em uma pequena fração de segundo.



Considere uma força constante  $F$  atuando sobre um corpo durante um intervalo de tempo  $\Delta t$ .



O impulso  $I$  da força  $F$  é a grandeza física que mede o efeito de uma força  $F$  atuando sobre um corpo durante um intervalo de tempo  $\Delta t$ . O impulso  $I$  é definido como o produto da força  $F$  pelo intervalo de tempo  $\Delta t$ .

$$I = F \cdot \Delta t$$

Como  $\Delta t$  é uma grandeza escalar positiva, o vetor impulso possui as seguintes características:

Módulo:  $I = F \Delta t$

Direção: A direção de  $I$  é a mesma de  $F$ .

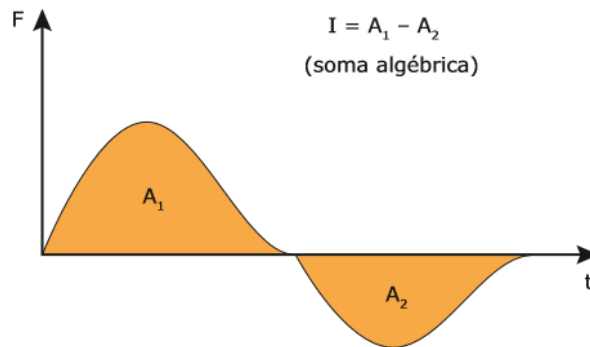
Sentido: O sentido de  $I$  é o mesmo de  $F$ .

A unidade do impulso no SI é o  $\text{kg} \cdot \text{m/s}$ . Como  $1 \text{ N}$  é igual a  $1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$ , outra unidade do impulso é o  $\text{N} \cdot \text{s}$ .

### Método gráfico para se calcular o impulso

A expressão  $I = F \cdot \Delta t$ , assim como a expressão usada para se calcular o valor do trabalho realizado por uma força ( $W = F \cdot \cos \theta \cdot d$ ), somente pode ser utilizada se o módulo da força  $F$  for constante, o que não acontece em muitas ocasiões. Quando o módulo da força  $F$  for variável, podemos calcular o módulo do impulso  $I$  por meio da área sob a curva do gráfico de força *versus* tempo. Nesse caso, o cálculo deve levar em consideração

o sinal da força, ou seja, áreas acima do eixo do tempo têm sinal positivo, e áreas abaixo do eixo do tempo têm sinal negativo no cálculo algébrico do impulso.



### Quantidade de movimento

Em diversos fenômenos físicos, é necessário agrupar os conceitos de massa e de velocidade vetorial. Isso ocorre nas colisões mecânicas e nas explosões, por exemplo. Nesses casos, torna-se conveniente a definição de **quantidade de movimento** (ou momento linear), que é uma das grandezas fundamentais da Física.

Considere uma partícula de massa  $m$  que, em certo instante, tem velocidade vetorial igual a  $v$ .

Por definição, a quantidade de movimento da partícula nesse instante é a grandeza vetorial  $Q$ , expressa por:

$$Q = mv$$

**Obs.:**

- A quantidade de movimento é uma grandeza instantânea, já que a sua definição envolve o conceito de velocidade vetorial instantânea.
- Sendo  $m$  um escalar positivo,  $Q$  tem sempre a mesma direção e o mesmo sentido de  $v$ , isto é, em cada instante é tangente à trajetória e dirigida no sentido do movimento.
- A energia cinética  $E_c$  pode ser relacionada com o módulo da quantidade de movimento:  

$$E_c = Q^2 / 2m$$
- A unidade da quantidade de movimento no SI é o  $\text{kg.m/s}$  (ou  $\text{N.s}$ ).

### Teorema do impulso

O impulso da resultante (impulso total) das forças sobre uma partícula é igual à variação de sua quantidade de movimento:

$$I = \Delta Q$$

**Obs.:** A força cujo impulso é igual à variação da quantidade de movimento deve ser a resultante.

Podemos dizer que o impulso da força resultante é equivalente à soma vetorial dos impulsos de todas as forças que atuam na partícula

---

Quer ver este material pelo Dex? Clique [aqui](#)

---

Exercícios

---

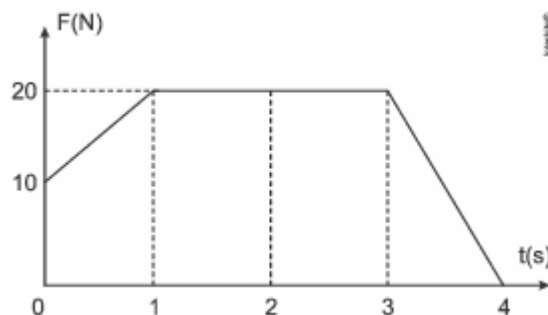
1. Considere dois astronautas com massas iguais a  $M$  que estão inicialmente em repouso e distantes de qualquer corpo celeste. Um deles resolve lançar uma mochila de ferramentas também de massa igual a  $M$  para o outro, empurrando-a com uma força de módulo  $F$ . Admitindo que uma jogada completa se dá no início do arremesso até que o outro agarre a mochila e que o impulso permaneça o mesmo, a quantidade de jogada(s) completa(s) que os astronautas conseguem realizar é
- a) uma.
  - b) duas.
  - c) três.
  - d) quatro.
  - e) mais de quatro.
2. Considere uma esfera muito pequena, de massa  $1\text{ kg}$ , deslocando-se a uma velocidade de  $2\text{ m/s}$ , sem girar, durante  $3\text{ s}$ . Nesse intervalo de tempo, o momento linear dessa partícula é
- a)  $2\text{ kg.m/s}$ .
  - b)  $3\text{ s}$ .
  - c)  $6\text{ kg.m/s}$ .
  - d)  $6\text{ m}$ .
  - e)  $9\text{ kg.m/s}$ .
3. Um jogador de tênis, durante o saque, lança a bola verticalmente para cima. Ao atingir sua altura máxima, a bola é golpeada pela raquete de tênis, e sai com velocidade de  $108\text{ km/h}$  na direção horizontal. Calcule, em  $\text{kg.m/s}$ , o módulo da variação de momento linear da bola entre os instantes logo após e logo antes de ser golpeada pela raquete.
- Dado:** Considere a massa da bola de tênis igual a  $50\text{ g}$ .
- a)  $1,5$ .
  - b)  $5,4$ .
  - c)  $54$ .
  - d)  $1500$ .
  - e)  $5400$ .
-

4. O *airbag* e o cinto de segurança são itens de segurança presentes em todos os carros novos fabricados no Brasil. Utilizando os conceitos da Primeira Lei de Newton, de impulso de uma força e variação da quantidade de movimento, analise as proposições.
- I. O *airbag* aumenta o impulso da força média atuante sobre o ocupante do carro na colisão com o painel, aumentando a quantidade de movimento do ocupante.
  - II. O *airbag* aumenta o tempo da colisão do ocupante do carro com o painel, diminuindo, assim, a força média atuante sobre ele mesmo na colisão.
  - III. O cinto de segurança impede que o ocupante do carro, em uma colisão, continue se deslocando com um movimento retilíneo uniforme.
  - IV. O cinto de segurança desacelera o ocupante do carro em uma colisão, aumentando a quantidade de movimento do ocupante.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente as afirmativas I e IV são verdadeiras.
  - b) Somente as afirmativas II e III são verdadeiras.
  - c) Somente as afirmativas I e III são verdadeiras.
  - d) Somente as afirmativas II e IV são verdadeiras.
  - e) Todas as afirmativas são verdadeiras.
5. Uma bola de futebol de massa  $m = 0,20 \text{ kg}$  é chutada contra a parede a uma velocidade de  $5,0 \text{ m/s}$ . Após o choque, ela volta a  $4,0 \text{ m/s}$ . A variação da quantidade de movimento da bola durante o choque, em  $\text{kg.m/s}$ , é igual a
- a) 0,2.
  - b) 1,0.
  - c) 1,8.
  - d) 2,6.
  - e) 5,4.
6. 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) aumenta até um certo instante e depois permanece constante durante a queda.

7. 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 antes do retorno ao solo é, em módulo,
- $2 mV$ .
  - $mV$ .
  - $mV^2/2$ .
  - $mV/2$ .
  - 0.
8. Os Jogos Olímpicos de 2016 (Rio 2016) é um evento multiesportivo que acontecerá no Rio de Janeiro. O jogo de tênis é uma das diversas modalidades que compõem as Olimpíadas. Se em uma partida de tênis um jogador recebe uma bola com velocidade de  $18,0 \text{ m/s}$  e rebate na mesma direção e em sentido contrário com velocidade de  $32 \text{ m/s}$ , assinale a alternativa que apresenta qual o módulo da sua aceleração média, em  $\text{m/s}^2$ , sabendo que a bola permaneceu  $0,10 \text{ s}$  em contato com a raquete.
- 450.
  - 600.
  - 500.
  - 475.
  - 200.
9. O gráfico abaixo mostra a intensidade de uma força aplicada a um corpo no intervalo de tempo de 0 a 4 s.



O impulso da força, no intervalo especificado, vale

- $95 \text{ kg.m/s}$ .
- $85 \text{ kg.m/s}$ .
- $65 \text{ kg.m/s}$ .
- $60 \text{ kg.m/s}$ .
- $55 \text{ kg.m/s}$ .

- 10.** Nas cobranças de faltas em um jogo de futebol, uma bola com massa de 500 gramas pode atingir facilmente a velocidade de 108 km/h. Supondo que no momento do chute o tempo de interação entre o pé do jogador e a bola seja de 0,15 segundos, podemos supor que a ordem de grandeza atua na bola, em newton, é de:
- a)  $10^0$ .
  - b)  $10^1$ .
  - c)  $10^2$ .
  - d)  $10^3$ .
  - e)  $10^4$ .

Gabarito

---

1. A

Os dois astronautas não sofrem a influência gravitacional de algum corpo celeste, portanto vamos admitir que estão realizando uma caminhada espacial em que realizam o experimento descrito. Neste sistema, a quantidade de movimento inicial é nula e, assim que o primeiro astronauta lança a mochila ao outro, pelo Princípio da Ação e Reação, a força aplicada na mochila faz o lançador se afastar com a mesma velocidade da mochila, porém em sentido contrário, sendo que a quantidade de movimento do sistema como um todo continua nula, pois ela se conserva. Quando a mochila chega ao segundo astronauta, temos uma colisão inelástica, em que os dois corpos mantêm a quantidade de movimento que a mochila quando viajava sozinha, mas com a metade da velocidade, pois as massas do astronauta e da mochila são iguais. Usando o mesmo impulso dado pelo primeiro astronauta, a mochila lançada pelo segundo astronauta não conseguirá mais alcançar o primeiro, porque teria a mesma aceleração que o astronauta. Logo, é possível executar o movimento apenas uma vez, a menos que fosse possível aplicar um impulso maior a cada arremesso.

2. A

O momento linear ou quantidade de movimento é dado pela expressão:

$$Q = mv = 1 \times 2 \Rightarrow Q = 2 \text{ kg} \cdot \text{m/s.}$$

3. A

$$\Delta p = m \cdot \Delta V \Rightarrow \Delta p = 50 \cdot 10^3 \cdot \frac{108}{3,6} \Rightarrow \Delta p = 1,5 \text{ kg m/s}$$

4. B

- [I] Falsa. O *airbag* reduz a força média sobre o corpo do ocupante do carro durante a colisão com o painel, pois aumenta o tempo de contato entre o sistema corpo-*airbag*. O impulso permanece o mesmo, que equivale à diferença de quantidade de movimento.
- [II] Verdadeira.
- [III] Verdadeira.
- [IV] Falsa. O cinto de segurança prende o passageiro ao banco evitando que o movimento do seu corpo continue por inércia após o choque. A aceleração e a variação da quantidade de movimento dos ocupantes que utilizam o cinto de segurança serão as mesmas sofridas pelo automóvel no momento do acidente.

5. C

**Nota:** A questão poderia ser melhor se pedisse o módulo da variação da quantidade de movimento.

Considerando que ela volte em sentido oposto, temos:

$$v_1 = 5 \text{ m/s}; v_2 = -4 \text{ m/s.}$$

O módulo da variação da quantidade de movimento ( $\Delta Q$ ) é:

$$\Delta Q = m|\Delta v| = 0,2|-4 - 5| = 0,2(9) \Rightarrow \Delta Q = 1,8 \text{ kg} \cdot \text{m/s.}$$

6. A

Como se trata de uma queda livre, a velocidade aumenta linearmente com o tempo durante a queda, portanto o momento linear ou quantidade de movimento ( $Q = m v$ ) também aumenta durante a queda.

## 7. A

Adotando o sentido positivo para baixo e trabalhando algebricamente, temos:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Lançamento: } Q_L = -m \cdot V \\ \text{Retorno: } Q_R = m \cdot V \end{array} \right\} \Rightarrow |\Delta Q| = |Q_R - Q_L| = |m \cdot V - (-m \cdot V)| \Rightarrow$$

$$|\Delta Q| = 2 \cdot m \cdot v.$$

## 8. C

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow a = \frac{32 - (-18)}{0,1} \Rightarrow a = \frac{50}{0,1} \Rightarrow 500 \text{ m/s}^2$$

Ou usando o teorema do Impulso – Quantidade de movimento

$$F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$$

$$m \cdot a \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$$

$$\frac{m \cdot a \cdot \Delta t}{m} = \frac{m \cdot \Delta v}{m}$$

$$a \cdot \Delta t = \Delta v$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow a = \frac{32 - (-18)}{0,1} \Rightarrow a = \frac{50}{0,1} \Rightarrow 500 \text{ m/s}^2$$

## 9. C

Sabemos que no gráfico da força em função do tempo, a intensidade do impulso é numericamente igual à "área" entre a linha do gráfico e o eixo dos tempos. Assim:

$$I_F = \frac{20+10}{2} \times 1 + \frac{(4-1)+(3-1)}{2} \times 20 = 15 + 50 \Rightarrow I_F = 65 \text{ N} \cdot \text{s}.$$

## 10. C

O teorema do impulso nos fornece a relação entre o impulso e a variação da quantidade de movimento:

$$I = \Delta Q$$

E impulso e quantidade de movimento são determinados pelas equações:

$$I = F \cdot \Delta t$$

$$Q = m \cdot v$$

Assim, como a quantidade de movimento inicial é zero, juntando as expressões acima, relacionamos a força média com a velocidade.

$$F \cdot \Delta t = m \cdot v$$

$$F = \frac{m \cdot v}{\Delta t} \Rightarrow F = \frac{0,5 \text{ kg} \cdot 108 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ m/s}}{3,6 \text{ km/h}}}{0,15 \text{ s}} \therefore F = 100 \text{ N}$$

Ordem de grandeza da força média:

$$\text{OG}(100 \text{ N}) = 10^2 \text{ N}$$