



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Campus São Paulo

Impulso de uma Força e **Quantidade de Movimento**

Parte 1

Cronologia



René Descartes
1596 - 1650

$$Q = m \cdot v$$

“Deus, em sua onipotência, criou a matéria ao mesmo tempo que o movimento e o repouso de suas partes, e graças à sua cotidiana influência, Ele mantém tanta quantidade de movimento no Universo hoje quanto Ele colocou quando o criou.”

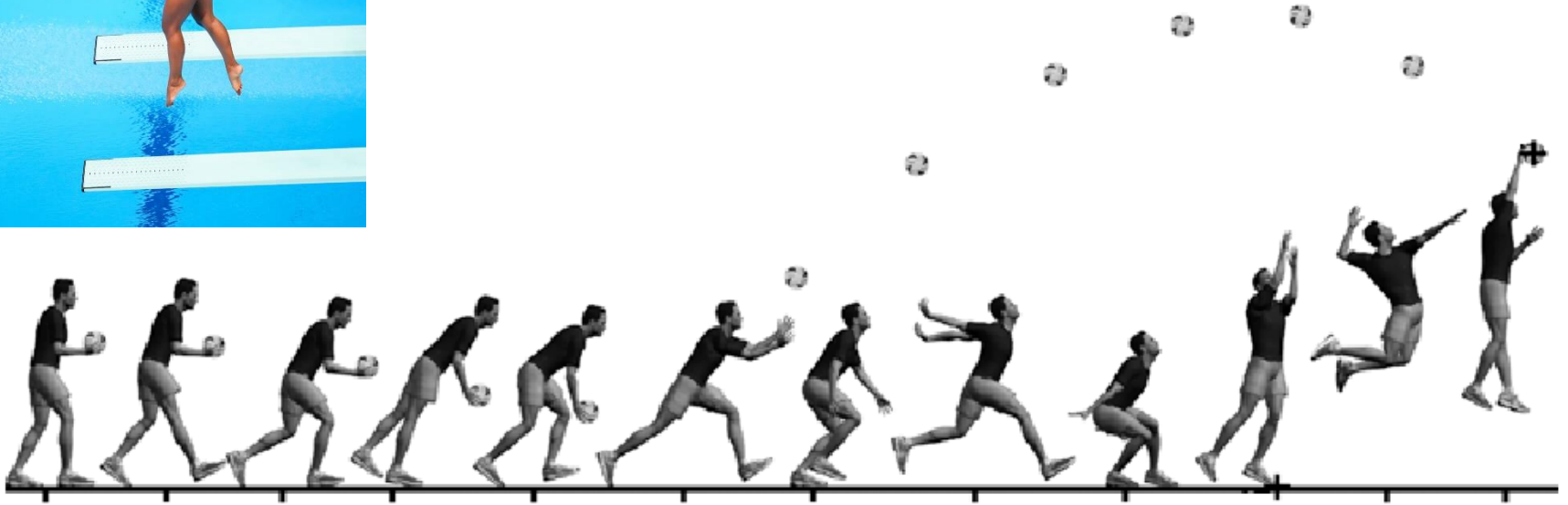


Isaac Newton
1642 - 1727

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

“...a medida do mesmo, obtida conjuntamente a partir da velocidade e da quantidade de matéria”...

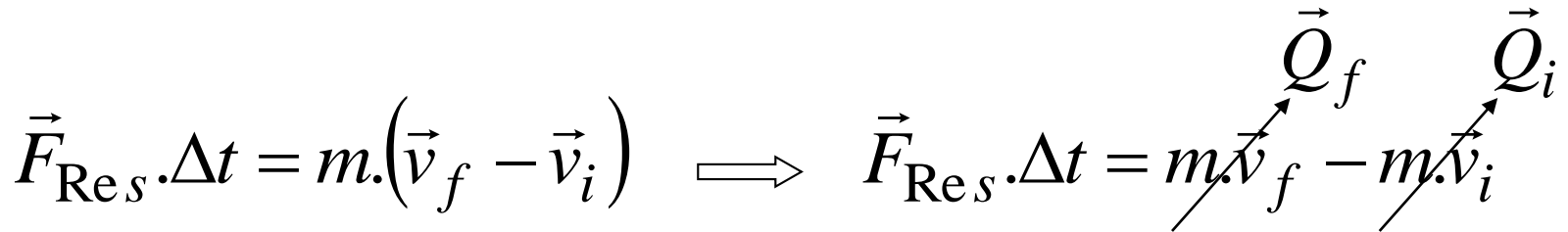
Aplicações



Princípio Fundamental da Dinâmica de Translação

$$\vec{F}_{\text{Res}} = m \cdot \vec{a}$$

$$\vec{F}_{\text{Res}} = m \cdot \vec{a} \implies \vec{F}_{\text{Res}} = m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \implies \vec{F}_{\text{Res}} \cdot \Delta t = m \cdot \Delta \vec{v}$$

$$\vec{F}_{\text{Res}} \cdot \Delta t = m \cdot (\vec{v}_f - \vec{v}_i) \implies \vec{F}_{\text{Res}} \cdot \Delta t = m \cdot \vec{v}_f - m \cdot \vec{v}_i$$


Definindo $\vec{Q} = m \cdot \vec{v}$

como **Momento Linear** ou **Quantidade de Movimento**

- Grandeza **vetorial** $\left\{ \begin{array}{l} \bullet \text{ M\u00f3dulo: } |\vec{Q}| = m \cdot |\vec{v}| \quad \left[\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \\ \bullet \text{ Dire\u00e7\u00e3o e sentido: definidos pelo vetor } \underline{\text{velocidade}} \end{array} \right.$

e $\vec{I}_{Res} = \vec{F}_{Res} \cdot \Delta t$ como **Impulso da Força Resultante**

$$\vec{I}_{Res} = \vec{Q}_f - \vec{Q}_i \quad \Longrightarrow \quad \boxed{\vec{I}_{Res} = \Delta \vec{Q}} \quad \text{“Teorema do Impulso”}$$

isto é, o *Impulso da Resultante* das forças que agem sobre o corpo, durante um certo intervalo de tempo, é igual à sua *Varição da Quantidade de Movimento*.

- Grandeza **vetorial** $\left\{ \begin{array}{l} \bullet \text{ M\u00f3dulo: } \left| \vec{I}_{Res} \right| = m \cdot \left| \Delta \vec{v} \right| \quad \left[kg \cdot \frac{m}{s} \right] \text{ ou } [N \cdot s] \\ \bullet \text{ Dire\u00e7\u00e3o e sentido: definidos pelo vetor } \Delta \vec{v} \end{array} \right.$

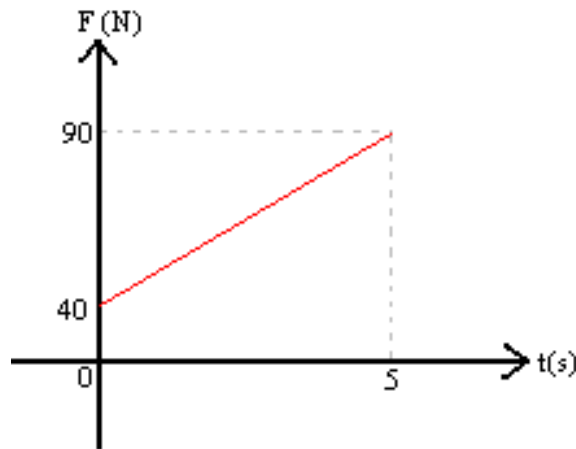
Para o caso de uma força qualquer, vale a mesma defini\u00e7\u00e3o para **Impulso**:

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

- Grandeza **vetorial** $\left\{ \begin{array}{l} \bullet \text{ M\u00f3dulo: } \left| \vec{I}_F \right| = \left| \vec{F} \right| \cdot \Delta t \\ \bullet \text{ Dire\u00e7\u00e3o e sentido: definidos pelo vetor for\u00e7a} \end{array} \right.$

Exercícios

- 1) Em um clássico do futebol goiano, um jogador do Vila Nova dá um chute em uma bola aplicando-lhe uma força de intensidade $7 \times 10^2 \text{ N}$ em $0,1 \text{ s}$ em direção ao gol do Goiás e o goleiro manifesta reação de defesa ao chute, mas a bola entra para o delírio da torcida. Determine a intensidade do impulso do chute que o jogador dá na bola para fazer o gol.
- 2) Sobre uma partícula de 8 kg , movendo-se à 25 m/s , passa a atuar uma força constante de intensidade $2,0 \times 10^2 \text{ N}$ durante 3 s , no mesmo sentido do movimento. Determine a quantidade de movimento desta partícula após o término da ação da força.
- 3) Com base no gráfico, determine o impulso produzido pela força no intervalo de 0 a 5 s .



- 4) Um corpo de massa igual a 4 kg é abandonado do topo de um prédio muito alto. Sabendo que a aceleração da gravidade no local vale $9,8 \text{ m/s}^2$, calcule o módulo do impulso da força peso nos 3 primeiros segundos de queda.

- Resolução do exercício 1:

Considerando F como *força resultante*:

$$\left. \begin{aligned} F_{Res} &= 7 \cdot 10^{+2} N \\ \Delta t &= 0,1 s \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \vec{I}_{\vec{F}_{Res}} &= \vec{F}_{Res} \cdot \Delta t \\ I_{\vec{F}_{Res}} &= F_{Res} \cdot \Delta t \end{aligned}$$

$$I_{\vec{F}_{Res}} = 7 \cdot 10^{+2} \cdot 0,1 \rightarrow I_{\vec{F}_{Res}} = 7 \cdot 10^{+1} N \cdot s$$

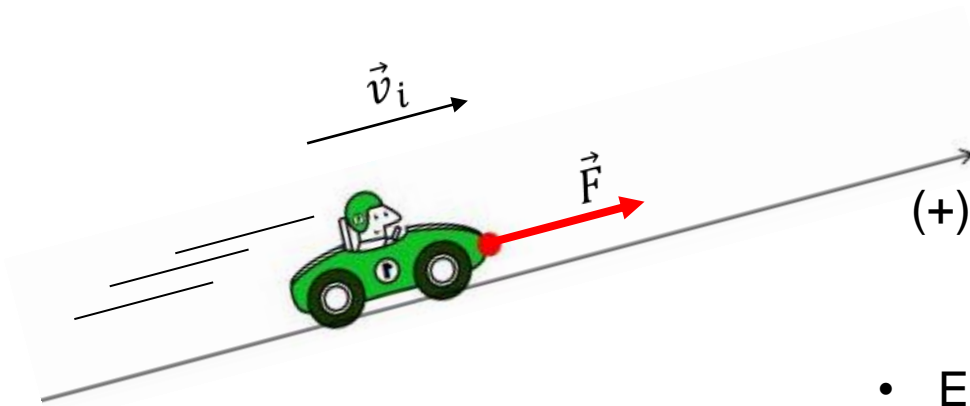


- Determine a velocidade da bola ao final do chute: $\vec{I}_{\vec{F}_{Res}} = \Delta \vec{Q}$

$$I_{\vec{F}_{Res}} = \Delta Q \rightarrow I_{\vec{F}_{Res}} = Q_f - \cancel{Q_i^0} \rightarrow I_{\vec{F}_{Res}} = m_{Bola} \cdot v_{f_{Bola}} \rightarrow$$

$$70 = 0,45 \cdot v_{f_{Bola}} \rightarrow v_{f_{Bola}} = 155,6 \frac{m}{s} \text{ ou } 560 \frac{km}{h} \quad ??$$

- Resolução do exercício 2:



$$\vec{I}_{Res} = \Delta \vec{Q}$$

$$\vec{I}_{Res} = \vec{Q}_f - \vec{Q}_i$$

- Estudando no sentido do movimento:

$$I_{Res} = Q_f - Q_i$$

$$F_{Res} \cdot \Delta t = Q_f - m \cdot v_i$$

$$Q_f = F_{Res} \cdot \Delta t + m \cdot v_i$$

$$Q_f = (+2 \cdot 10^{+2}) \cdot 3 + 8 \cdot (+25)$$

$$Q_f = +6 \cdot 10^{+2} + 2 \cdot 10^{+2}$$

$$Q_f = 8 \cdot 10^{+2} N \cdot s \text{ ou } \left[kg \cdot \frac{m}{s} \right]$$

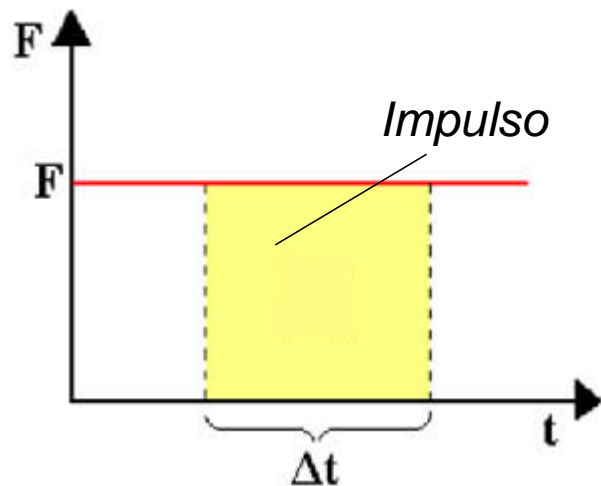
$$m = 8 \text{ kg}$$

$$v_i = 25 \frac{m}{s}$$

$$|\vec{F}| = 2 \cdot 10^{+2} N$$

$$\Delta t = 3 s$$

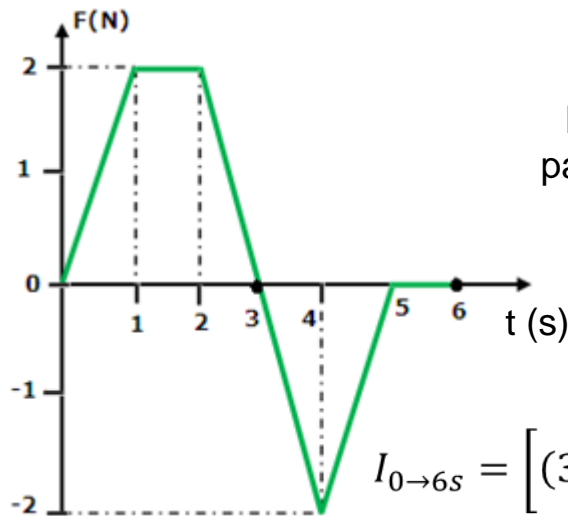
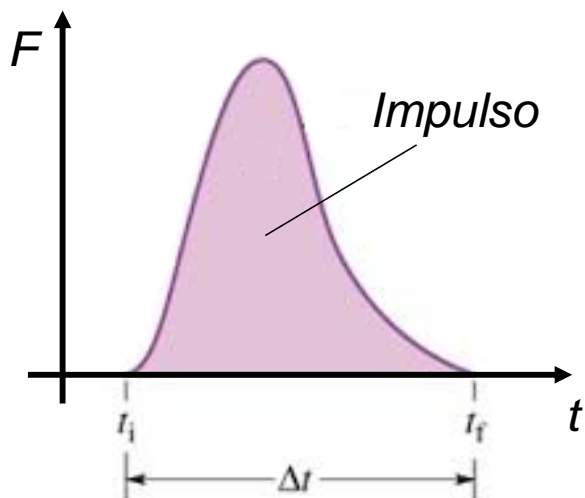
- Determinação gráfica do módulo do Impulso de uma força **constante**:



Da definição:
$$|\vec{I}_F| = |\vec{F}| \cdot \Delta t$$

É como se usássemos a **fórmula** da área do retângulo para calcularmos o Impulso da força.

- Determinação gráfica do módulo do Impulso de uma força **variável**:

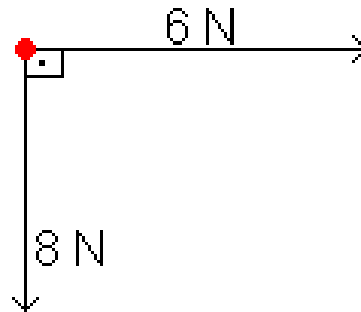


Impulso entre 0 e 6s?

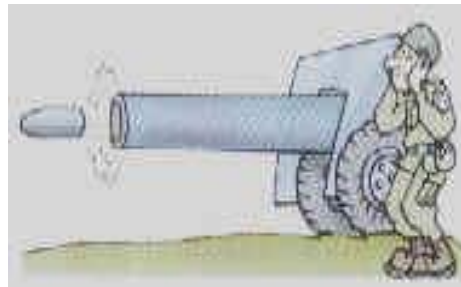
É a soma **algébrica** dos impulsos parciais no intervalo de tempo de 6s.

$$I_{0 \rightarrow 6s} = \left[(3 + 1) \cdot \frac{2}{2} \right] + \left[\frac{2 \cdot (-2)}{2} \right] + 0 = +2N \cdot s$$

- 5) Sobre um ponto material agem as duas forças indicadas na figura. Sabendo-se que essas forças agem durante 0,2 de segundo, determine o módulo do impulso resultante por elas produzido.



- 6) Um canhão dispara horizontalmente uma granada de 60kg, conferindo-lhe em $1/40$ s a velocidade de 900m/s. Qual a intensidade do impulso recebido pela granada? Admitindo que durante o disparo a força propulsora seja constante, calcule a sua intensidade.



- 7) Um corpo de 2kg de massa parte do repouso com uma aceleração constante de 5m/s^2 . Determine a intensidade de sua quantidade de movimento no instante 8 segundos.

- 8) Durante uma partida de tênis, um jogador golpeia a bola imprimindo-lhe uma velocidade \vec{v} de módulo 20m/s. Sabendo-se que a massa da bola é 100 g e que havia chegado ao jogador com velocidade \vec{v}_0 , de módulo 15m/s, de mesma direção, mas de sentido oposto a \vec{v} , qual a variação da quantidade de movimento da bola devido ao golpe?

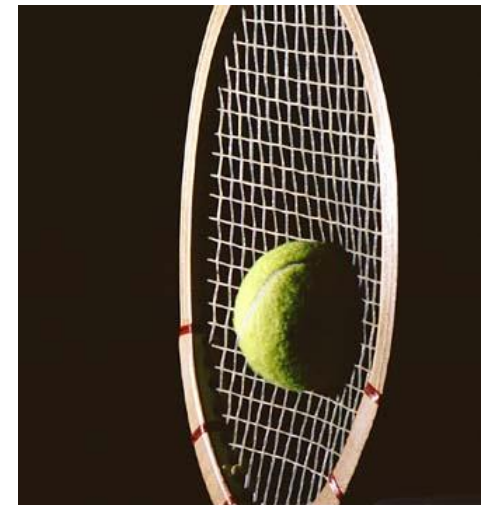


antes



depois

- 9) Considere novamente a situação do exercício anterior. Supondo que a bola tenha estado em contato com a raquete durante 0,01s, calcule a intensidade da força média exercida pela raquete sobre a bola.



- 10) (FGV-SP) Uma ema pesa aproximadamente 360 N e consegue desenvolver uma velocidade de 60 km/h, o que lhe confere uma quantidade de movimento linear, em kg.m/s, de

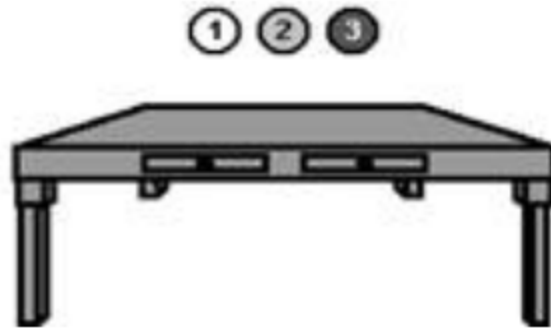


Dado: aceleração da gravidade = 10 m/s^2

- a) 36. b) 360. c) 600. d) 2 160. e) 3 600.
- 11) (ITA-SP) Um automóvel pára quase que instantaneamente ao bater frontalmente numa árvore. A proteção oferecida pelo “air-bag”, comparativamente ao carro que dele não dispõe, advém do fato de que a transferência para o carro de parte do momentum do motorista se dá em condição de
- a) menor força em maior período de tempo.
b) menor velocidade, com mesma aceleração.
c) menor energia, numa distância menor.
d) menor velocidade e maior desaceleração.
e) mesmo tempo, com força menor.

- 12) (Uff-RJ) Diversos jogos e esportes envolvem a colocação de objetos em movimento, os quais podem ser impulsionados por contato direto do atleta ou utilizando-se um equipamento adequado. O conceito físico de impulso tem grande importância na análise dos movimentos e choques envolvidos nesses jogos e esportes. Para exemplificá-lo, três bolas de mesma massa são abandonadas de uma mesma altura e colidem com a superfície horizontal de uma mesa de madeira.

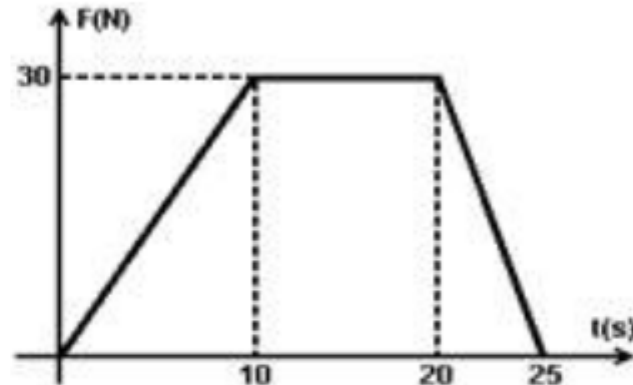
A bola 1 é feita de borracha; a 2 de madeira e a 3 de massa de modelar.



Comparando os impulsos I_1 , I_2 e I_3 que cada uma das bolas exerce, respectivamente, sobre a mesa, é correto afirmar que:

- a) $I_1 = I_2 = I_3$ b) $I_1 > I_2 > I_3$ c) $I_1 < I_2 < I_3$ d) $I_1 < I_2$ e $I_2 > I_3$ e) $I_1 > I_2$ e $I_2 < I_3$
- 13) (Ufrs-RS) Um observador, situado em um sistema de referência inercial, constata que um corpo de massa igual a 2 kg, que se move com velocidade constante de 15 m/s no sentido positivo do eixo x, recebe um impulso de 40 N.s em sentido oposto ao de sua velocidade. Para esse observador, com que velocidade, especificada em módulo e sentido, o corpo se move imediatamente após o impulso?
- a) -35 m/s. b) 35 m/s. c) -10 m/s. d) -5 m/s. e) 5 m/s.

- 14) (PUC-SP) O gráfico representa a força resultante sobre um carrinho de supermercado de massa total 40 kg, inicialmente em repouso.



A intensidade da força constante que produz o mesmo impulso que a força representada no gráfico durante o intervalo de tempo de 0 a 25 s é, em newtons, igual a

- a) 1,2 b) 12 c) 15 d) 20 e) 21
- 15) (Uerj-RJ) Um estudante, ao observar o movimento de uma partícula, inicialmente em repouso, constatou que a força resultante que atuou sobre a partícula era não-nula e manteve módulo, direção e sentido inalterados durante todo o intervalo de tempo da observação.

Desse modo, ele pôde classificar as variações temporais da quantidade de movimento e da energia cinética dessa partícula, ao longo do tempo de observação, respectivamente, como:

- a) linear – linear
b) constante – linear
c) linear – quadrática
d) constante – quadrática

16) (UNIFESP-SP) Uma menina deixa cair uma bolinha de massa de modelar que se choca verticalmente com o chão e pára; a bolinha tem massa 10 g e atinge o chão com velocidade de 3,0 m/s. Pode-se afirmar que o impulso exercido pelo chão sobre essa bolinha é vertical, tem sentido para

a) cima e módulo $3,0 \cdot 10^{-2} \text{ N} \cdot \text{s}$.

b) baixo e módulo $3,0 \cdot 10^{-2} \text{ N} \cdot \text{s}$.

c) cima e módulo $6,0 \cdot 10^{-2} \text{ N} \cdot \text{s}$.

d) baixo e módulo $6,0 \cdot 10^{-2} \text{ N} \cdot \text{s}$.

e) cima e módulo igual a zero.

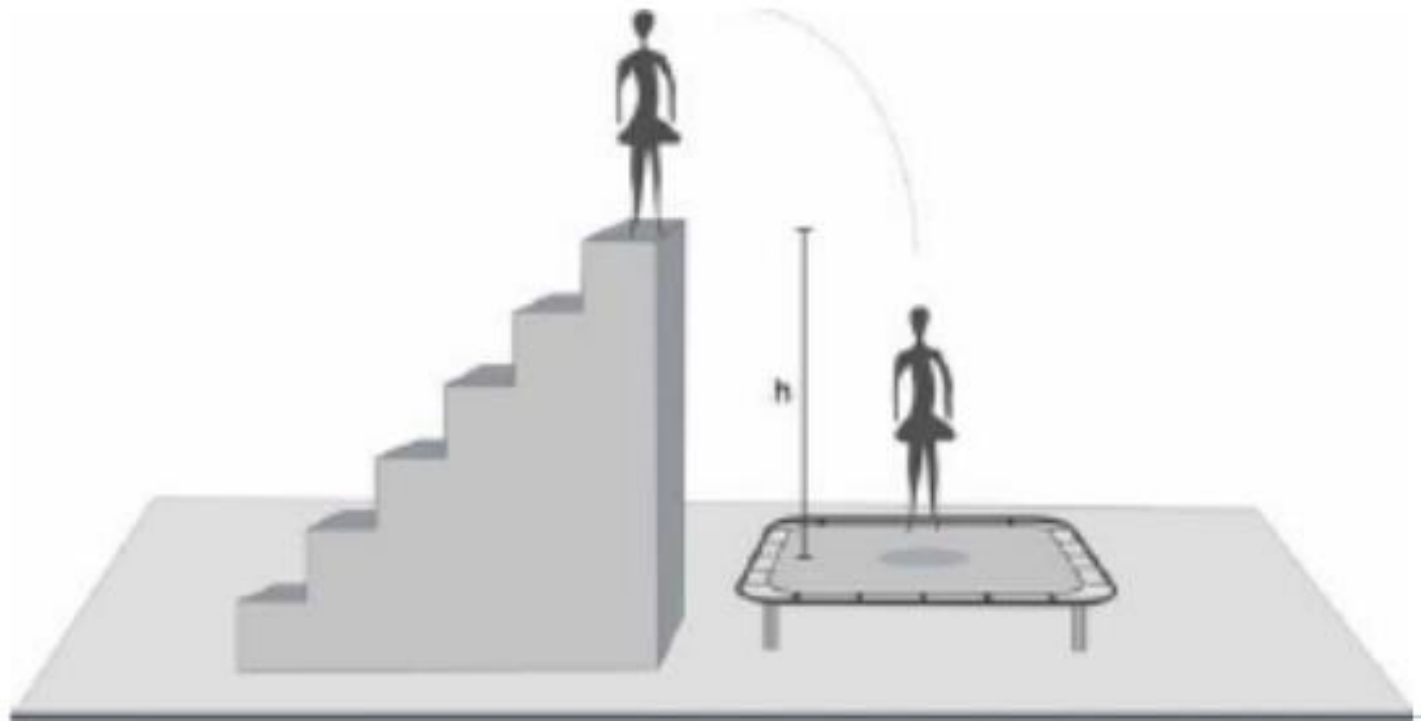
17) (Ufrj-RJ) Um artigo recente da revista “Nature” revela que a cigarrinha espumosa (*Philaenus spumarius*) é o inseto capaz de saltar mais alto. Ela salta com uma velocidade inicial de 4,0 m/s.



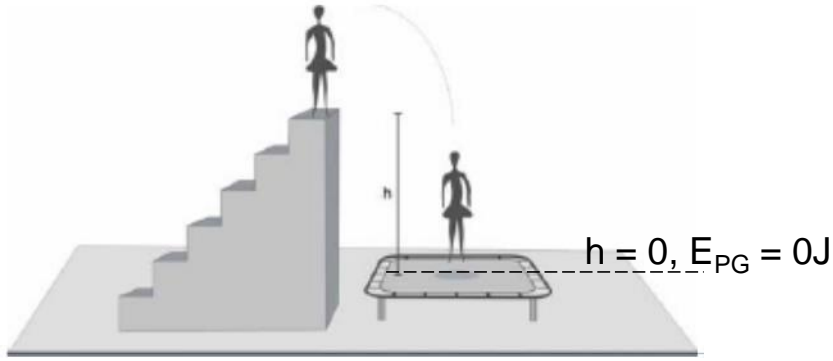
Suponha que entre o instante em que ela começa a armar o salto e o instante em que suas patas perdem o contato com o solo, com velocidade de 4,0 m/s, decorra $\Delta t = 1,0 \times 10^{-3} \text{ s}$.

Considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$, calcule a razão $|f_m| / |P|$ entre o módulo da força resultante média f_m sobre a cigarrinha durante o intervalo Δt e o módulo de seu próprio peso P .

21) (UFBA-2005) A modificação rápida do movimento do corpo é a característica principal da maioria dos esportes e dos brinquedos nos parques de diversão. Essa modificação do movimento é responsável pela sensação de prazer causada por esses “jogos do corpo”, a qual os bioquímicos associam à produção de adrenalina. Em um parque de diversões, uma jovem de 40kg brinca em uma cama elástica, representada na figura. Ela pula de uma altura $h = 1,8\text{m}$ e, durante 0,5 segundo, a cama freia o movimento da jovem até pará-la, empurrando-a, posteriormente, para cima. Sabendo que, ao atingir a cama, o movimento da jovem é na direção vertical, calcule a força elástica média que a cama exerce sobre ela até pará-la. Considere a aceleração da gravidade como sendo 10m/s^2 .



• Resolução do exercício 21:



$m = 40\text{kg}$
 $h = 1,8\text{m}$
 $\Delta t = 0,5\text{s}$ (até parar)
 $g = 10\text{m/s}^2$

$$\vec{I}_{Res} = \Delta \vec{Q} \quad \text{Teorema do Impulso}$$

$$\vec{F}_{Res} \cdot \Delta t = m \cdot \Delta \vec{v}$$

$$\vec{F}_{Res} \cdot \Delta t = m \cdot (\vec{v}_{final} - \vec{v}_{inicial})$$

Para a determinação da velocidade inicial (isto é, *na iminência de tocar a cama*) deve-se usar a Lei de Conservação da Energia (velocidade no fim da queda):

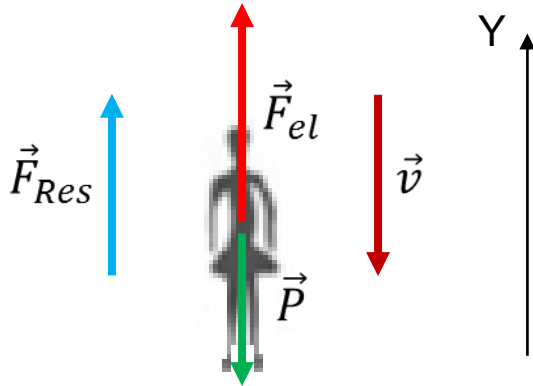
$$Energia_{inicial} = Energia_{final}$$

Colocando-se o plano de referência ($h = 0$) da energia potencial gravitacional na superfície da cama elástica:

$$E_{cin_i} + E_{pg_i} = E_{cin_f} + E_{pg_f}$$

$$m \cdot g \cdot h = \frac{m \cdot v_f^2}{2} \rightarrow \boxed{v_f = 6 \frac{m}{s}}$$

Essa velocidade calculada será a velocidade inicial no Teorema do Impulso (velocidade no início da deformação da cama elástica):

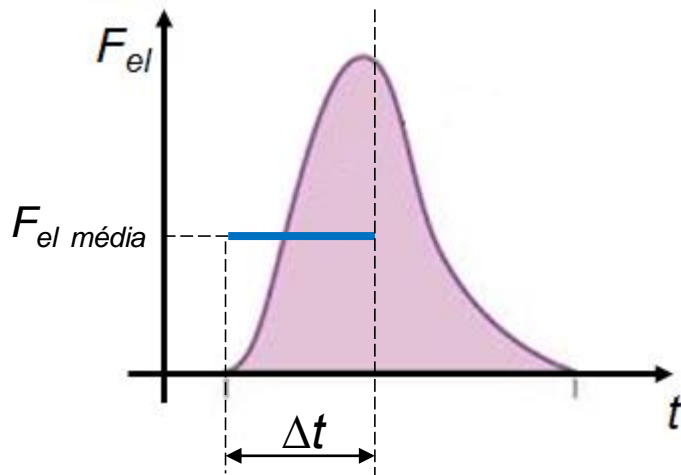


$$\vec{F}_{Res} \cdot \Delta t = m \cdot (\vec{v}_f - \vec{v}_i)$$

Em Y: $F_{Res_y} \cdot \Delta t = m \cdot (v_{f_y} - v_{i_y})$

$$F_{Res_y} = -\frac{m \cdot v_{i_y}}{\Delta t} \quad \text{Força Resultante Média}$$

$$F_{Res_y} = -\frac{40 \cdot (-6)}{0,5} \rightarrow F_{Res_y} = +480 \text{ N}$$



$$F_{Res_y} = F_{el_{média}} - P \rightarrow F_{el_{média}} = F_{Res_y} + m \cdot g \rightarrow$$

$$F_{el_{média}} = 480 + 40 \cdot 10 \rightarrow$$

$$F_{el_{média}} = +880 \text{ N}$$

Referências Sitigráficas

- <http://exercicios.brasilecola.com/exercicios-fisica/exercicios-sobre-impulso-quantidade-movimento.htm>
- <http://www.cefetsp.br/edu/okamura/>
- <https://www.youtube.com/watch?v=EB2vGlc5oPQ>.
- <http://plato.if.usp.br/1-2003/fmt0405d/apostila/renasc7/node10.html>
- <https://www.thehoopsgeek.com/the-physics-of-the-vertical-jump/>
- <https://www.thehoopsgeek.com/measurement-app/#manual>
- <https://www.youtube.com/watch?v=RcsZFj2L-Xg>
- <https://fisicaevestibular.com.br/novo/mecanica/dinamica/impulso-e-quantidade-de-movimento/exercicios-de-vestibulares-sobre-impulso-e-quantidade-de-movimento/>

Salto de Contramovimento



Salto de Contramovimento

Gráfico da Força Vertical/Velocidade x Tempo

