



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

# **Lei de Conservação da Quantidade de Movimento**

*Parte 2*

# Princípio Fundamental da Dinâmica de Translação

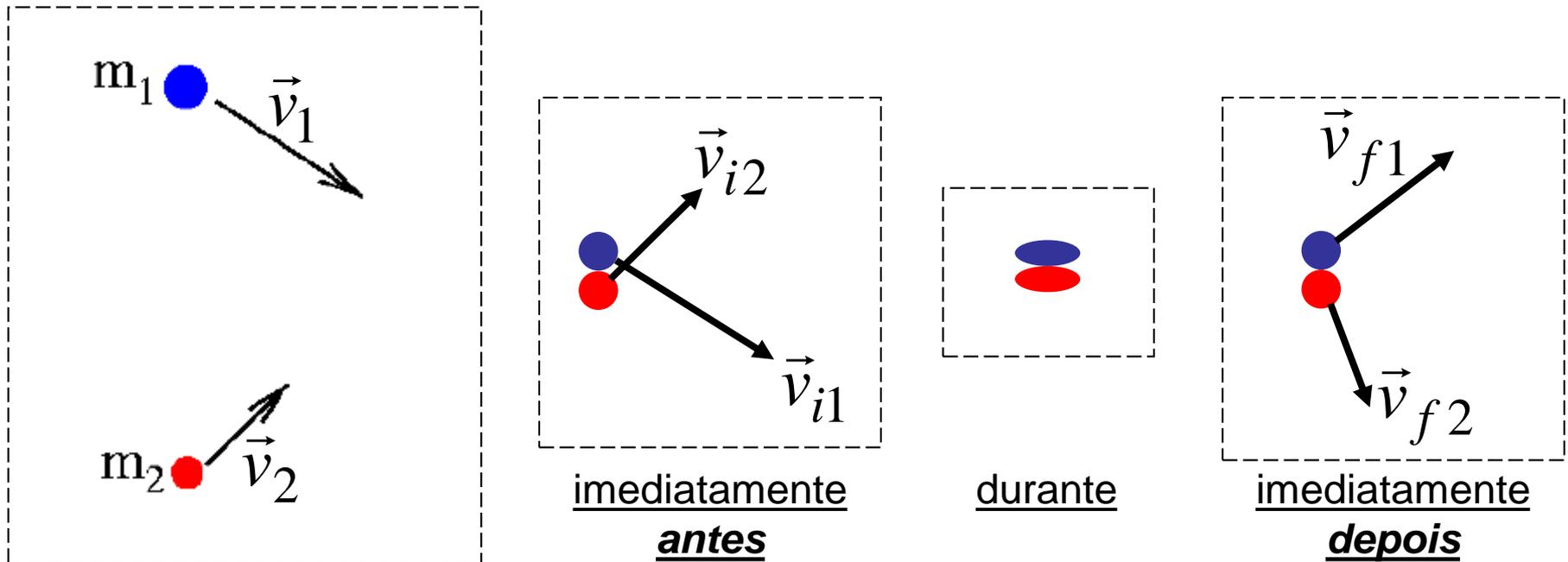
$$\boxed{\vec{F}_{\text{Res}} = m \cdot \vec{a}} \quad \longrightarrow \quad \boxed{\vec{I}_{\text{Res}} = \Delta \vec{Q}}$$

para **corpos isolados**

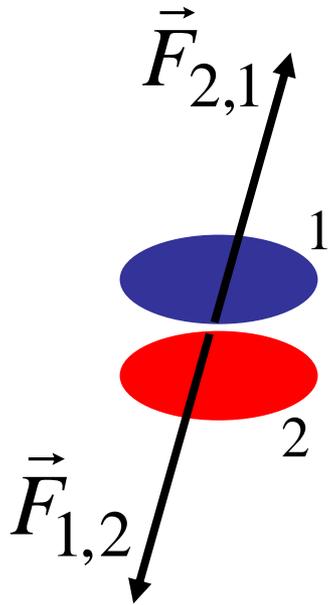
## Princípio da Ação/Reação

A toda ação (  $\vec{F}$  ) corresponde uma reação (  $-\vec{F}$  ), de mesma intensidade, mesma direção, sentidos opostos e aplicadas em corpos diferentes.

Sistema mecanicamente isolado (S.M.I.)



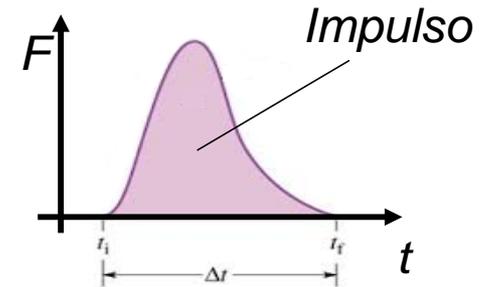
Analisando um certo instante do **durante**:



$\vec{F}_{1,2} \rightarrow$  ação do corpo **1** sobre o corpo **2**

$\vec{F}_{2,1} \rightarrow$  ação do corpo **2** sobre o corpo **1**

$$\vec{F}_{1,2} = -\vec{F}_{2,1}$$



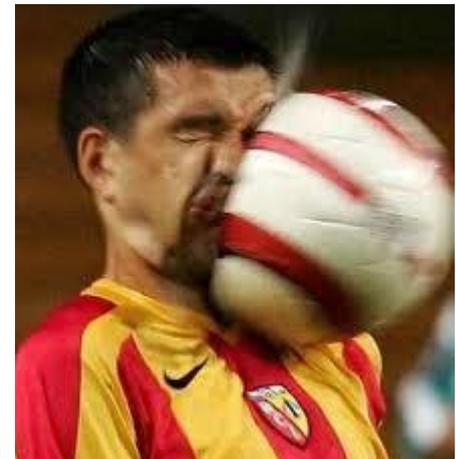
Assim, cada termo representa a força resultante em cada corpo.

Multiplicando os dois lados pelo tempo de interação  $\Delta t$ , tem-se que:

$$\vec{I}_{1,2} = -\vec{I}_{2,1}$$

ou, do Teorema do Impulso,

$$m_2 \cdot \Delta \vec{v}_2 = -m_1 \cdot \Delta \vec{v}_1$$



$$m_2 \cdot \Delta \vec{v}_2 = -m_1 \cdot \Delta \vec{v}_1$$

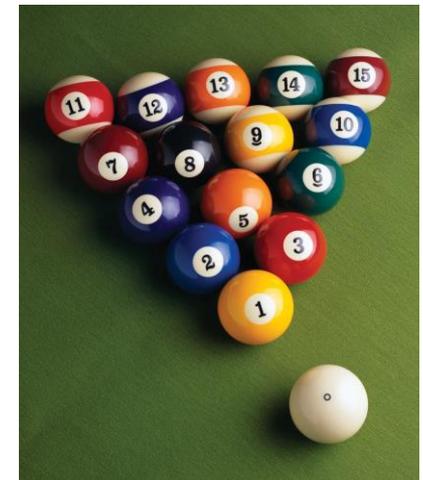
$$m_2 \cdot (\vec{v}_{f2} - \vec{v}_{i2}) = -m_1 \cdot (\vec{v}_{f1} - \vec{v}_{i1})$$

$$+ m_2 \cdot \vec{v}_{f2} - m_2 \cdot \vec{v}_{i2} = -m_1 \cdot \vec{v}_{f1} + m_1 \cdot \vec{v}_{i1}$$

$$(-1) \times -m_1 \cdot \vec{v}_{i1} - m_2 \cdot \vec{v}_{i2} = -m_1 \cdot \vec{v}_{f1} - m_2 \cdot \vec{v}_{f2} \times (-1)$$

e lembrando que  $\vec{Q} = m \cdot \vec{v}$

$$+ \vec{Q}_{i1} + \vec{Q}_{i2} = +\vec{Q}_{f1} + \vec{Q}_{f2}$$



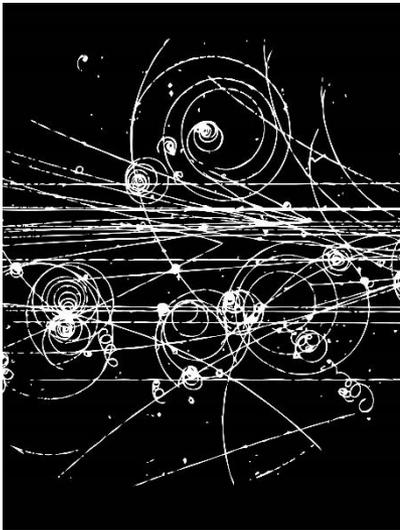
Para o caso de  $n$  corpos dentro do sistema mecanicamente isolado:

$$+ \vec{Q}_{i1} + \vec{Q}_{i2} + \vec{Q}_{i3} + \dots = +\vec{Q}_{f1} + \vec{Q}_{f2} + \vec{Q}_{f3} + \dots$$

$$\sum_{j=1}^n \vec{Q}_{i_j} = \sum_{j=1}^n \vec{Q}_{f_j}$$

## Lei de Conservação da Quantidade de Movimento

“Em um sistema mecanicamente isolado, isto é, livre da ação de **impulsos externos**, a quantidade de movimento se conserva.”



Colisões entre partículas subatômicas



Berço de Newton



“Colisão” entre galáxias espirais NGC 5426/27

# Outros exemplos



Cometa McNaught  
2007

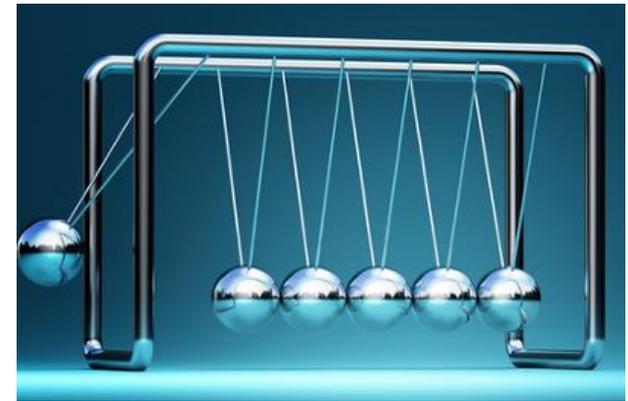


## Outros exemplos



# Colisões (ou choques - Interações) Mecânicas(os)

- **Elásticas**: A energia mecânica **se conserva** e os corpos movimentam-se separadamente após a colisão.



- **Semi-elásticas**: A energia mecânica **não se conserva** e os corpos movimentam-se separadamente após a colisão.



- **Inelásticas**: A energia mecânica **não se conserva**. Após a colisão, os corpos movimentam-se juntos.

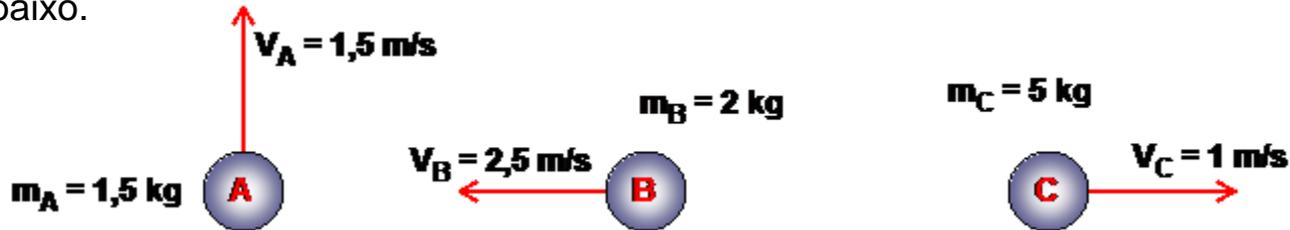


# Exercícios

- 1) Um peixe de 8,6kg, nadando para a direita a 1m/s, engole um peixe de 0,4kg, que nada ao seu encontro a 3,5m/s, como indicado na figura. Determine o módulo da velocidade do peixe maior imediatamente após engolir o menor.

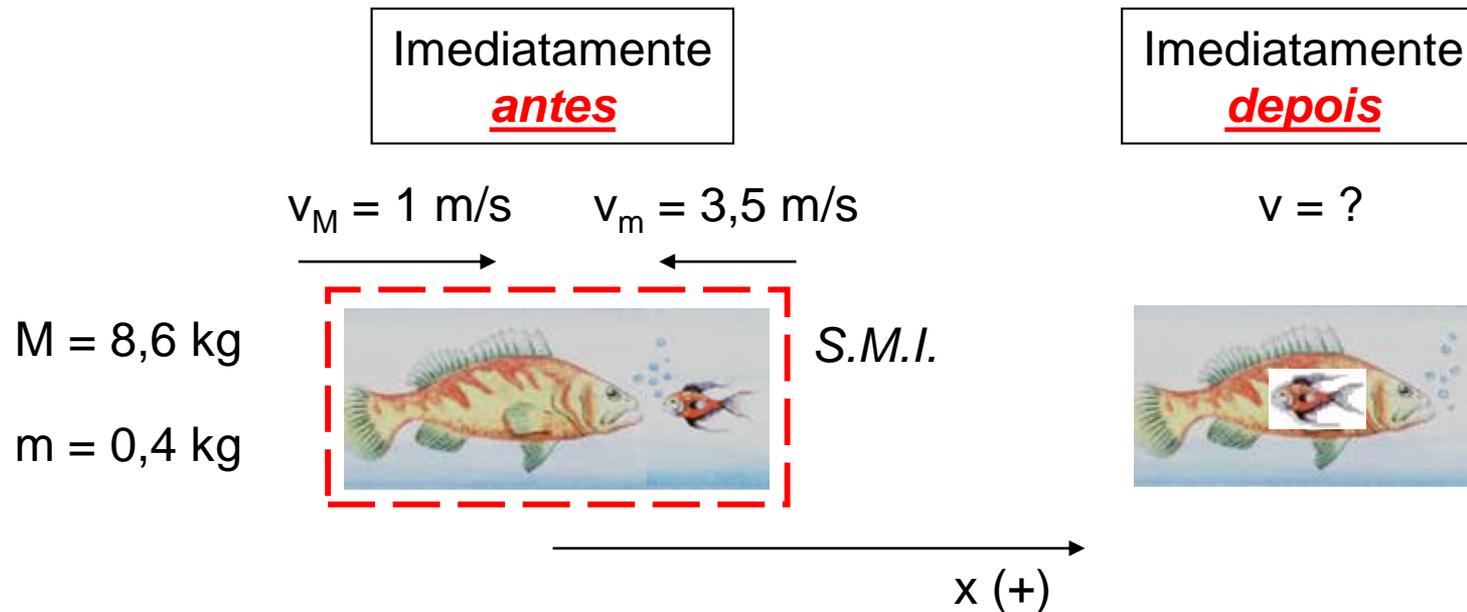


- 2) Determine a intensidade da quantidade de movimento total do sistema de corpos indicado na figura abaixo.



- 3) Uma carga de dinamite explode uma pedra de 400kg em três pedaços. Um pedaço de 200kg com velocidade de 14m/s, outro de 100kg sai perpendicularmente à direção do primeiro com velocidade de 15m/s. Qual a velocidade com que parte o terceiro pedaço?
- 4) Um carregador joga uma mala de 20kg com velocidade horizontal de 5m/s sobre um carrinho cuja massa é 80kg. O carrinho pode deslizar sem atrito sobre o plano horizontal. Calcule a velocidade adquirida pelo sistema carrinho-mala.

- Resolução do exercício 1:



$$\sum_{j=1}^2 \vec{Q}_{i_j} = \sum_{j=1}^2 \vec{Q}_{f_j}$$

Analisando em  $\underline{x}$ :

$$+M \cdot v_M - m \cdot v_m = (M + m) \cdot v$$

$$+8,6 \cdot 1 - 0,4 \cdot 3,5 = (8,6 + 0,4) \cdot v$$

$$+\vec{Q}_{i_M} + \vec{Q}_{i_m} = +\vec{Q}_{f_M} + \vec{Q}_{f_m}$$

$$v = \frac{+8,6 - 1,4}{9,0} \rightarrow \boxed{v = +0,8 \text{ m/s}}$$

- Questão adicional: qual seria a  $v_m$  para os dois peixes ficarem parados?

5) Uma esfera A de massa igual a 2kg desloca-se numa superfície horizontal, sem atrito, com velocidade de 3m/s, e atinge frontalmente uma segunda esfera, B, de massa  $m$ , inicialmente em repouso. Após o choque, perfeitamente elástico, a esfera A recua com velocidade de 1m/s. Determine:

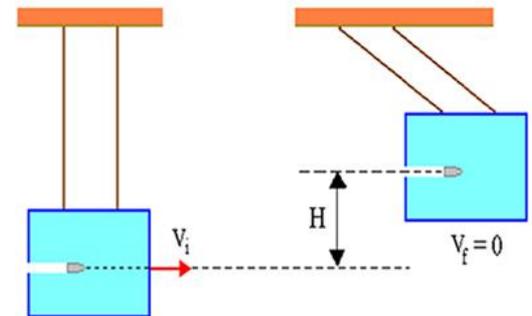
- a) o valor da massa  $m$  da esfera B;
- b) a energia cinética da esfera B, após o choque.

6) Uma bola de massa  $4\text{kg}$  desloca-se com velocidade  $v_1 = 2\text{m/s}$ , num plano horizontal sem atrito, choca-se frontalmente com uma outra bola idêntica em repouso e prossegue seu movimento na mesma direção e no mesmo sentido com velocidade  $v'_1 = 0,5\text{m/s}$ . Calcule a velocidade final da segunda bola. Verifique se há conservação de energia cinética. O que se pode concluir?

7) Um carro de  $800\text{kg}$ , parado num sinal vermelho, é abalroado por trás por outro carro, de  $1200\text{kg}$ , com velocidade de  $72\text{km/h}$ . Imediatamente após o choque, os dois carros se movem juntos.

- a) calcule a velocidade do conjunto logo após a colisão;
- b) prove que o choque não é elástico.

8) Uma bala de massa  $m$  e velocidade  $v_0$  é disparada horizontalmente contra o bloco (veja na figura ao lado), penetrando e ficando alojada nele. Com isso, o conjunto bala + bloco se eleva a uma altura máxima  $H$  em relação à posição de repouso. Conhecidos os valores de  $H$ ,  $M$ ,  $m$  e da aceleração da gravidade ( $g$ ), é possível calcular o valor de  $v_0$ . Nesse exemplo, faremos o inverso: daremos o valor de  $v_0$  e pediremos o valor de  $H$ . São dados:  $m = 0,05\text{kg}$ ;  $M = 29,95\text{kg}$ ;  $g = 10\text{m/s}^2$ ;  $v_0 = 600\text{m/s}$ .



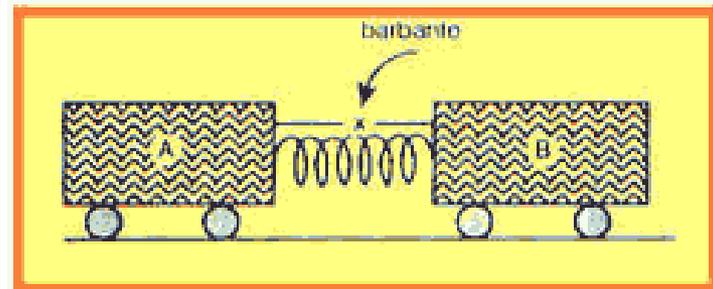
9) (AFA) um avião está voando em linha reta com velocidade constante de módulo  $7,2 \cdot 10^2$  km/h quando colide com uma ave de massa 3,0kg que estava parada no ar. A ave atingiu o vidro dianteiro (inquebrável) da cabine e ficou grudada no vidro. Se a colisão durou um intervalo de tempo de  $1,0 \cdot 10^{-3}$ s, a força que o vidro trocou com o pássaro, suposta constante, teve intensidade de:

- a)  $6,0 \cdot 10^5$ N
- b)  $1,2 \cdot 10^6$ N
- c)  $2,2 \cdot 10^6$ N
- d)  $4,3 \cdot 10^6$ N
- e)  $6,0 \cdot 10^6$ N

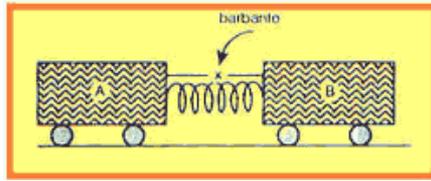


10) (FUVEST) Um corpo A com massa  $M$  e um corpo B com massa  $3M$  estão em repouso sobre um plano horizontal sem atrito. Entre eles existe uma mola, de massa desprezível, que está comprimida por meio de barbante tensionado que mantém ligados os dois corpos. Num dado instante, o barbante é cortado e a mola distende-se, empurrando as duas massas, que dela se separam e passam a se mover livremente. Designando-se por  $\underline{T}$  a energia cinética, pode-se afirmar que:

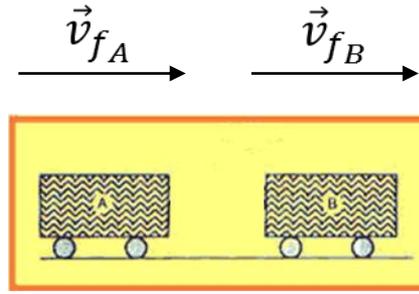
- a)  $9T_A = T_B$
- b)  $3T_A = T_B$
- c)  $T_A = T_B$
- d)  $T_A = 3T_B$
- e)  $T_A = 9T_B$



- Resolução do exercício 10:



Imediatamente  
antes



Imediatamente  
depois

$$\sum_{j=1}^n \vec{Q}_{i_j} = \sum_{j=1}^n \vec{Q}_{f_j}$$

—————→  
x (+)

Analisando em x:

$$+m_A \cdot v_{i_A} + m_B \cdot v_{i_B} = +m_A \cdot v_{f_A} + m_B \cdot v_{f_B}$$

$$E_{cin_A} = \frac{M \cdot v_{f_A}^2}{2} \quad E_{cin_B} = \frac{3 \cdot M \cdot v_{f_B}^2}{2}$$

$$+M \cdot 0 + 3 \cdot M \cdot 0 = +M \cdot (+v_{f_A}) + 3M \cdot (+v_{f_B})$$

$$T_A = \frac{M \cdot (3 \cdot v_{f_B})^2}{2}$$

$$-M \cdot (v_{f_A}) = +3 \cdot M \cdot (v_{f_B})$$

$$v_{f_A} = -3 \cdot v_{f_B} \quad \leftarrow$$

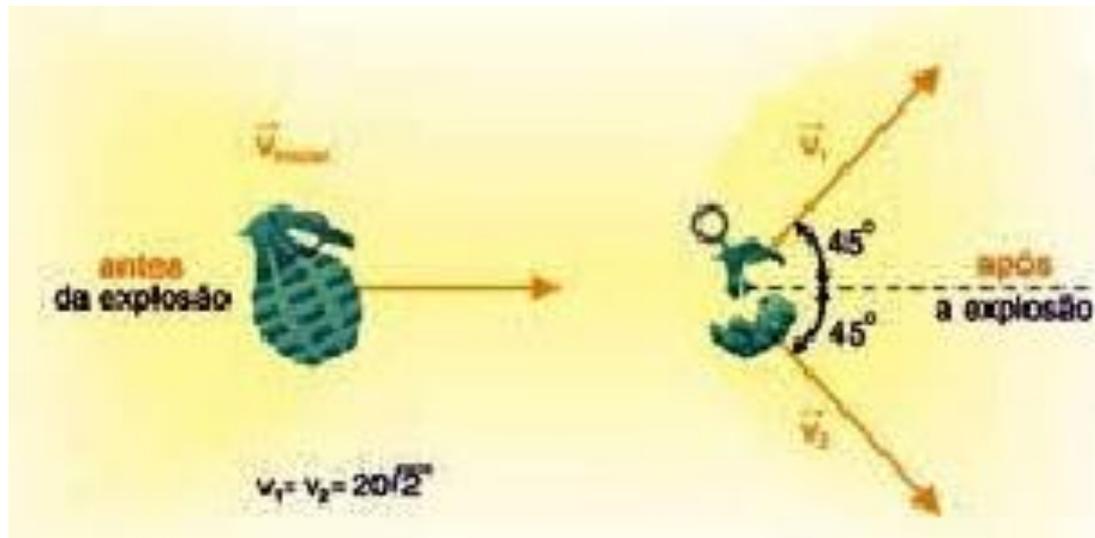
$$\frac{T_A}{T_B} = \frac{\frac{M \cdot 9 \cdot v_{f_B}^2}{2}}{\frac{3 \cdot M \cdot v_{f_B}^2}{2}} = \frac{M \cdot 9 \cdot v_{f_B}^2 \cdot 2}{3 \cdot M \cdot v_{f_B}^2 \cdot 2} = 3 \quad \boxed{T_A = 3 \cdot T_B}$$

Energia  
Cinética

$$E_{cin} = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

11) (UECE-2002) A Lua descreve um círculo de raio  $r$  em torno da Terra em 28 dias terrestres. Sendo  $G$  a constante da gravitação universal e  $m$  e  $M$  as massas da Lua e da Terra, respectivamente, determine a intensidade da variação da quantidade de movimento linear da Lua em 14 dias.

12) (PUC-SP) Uma granada, inicialmente parada, explode em três pedaços, que adquirem as velocidades indicadas na figura. Sendo as massas de cada pedaço  $m_1 = 100g$ ,  $m_2 = 50g$  e  $m_3 = 100g$ , qual é o módulo da velocidade do terceiro pedaço?

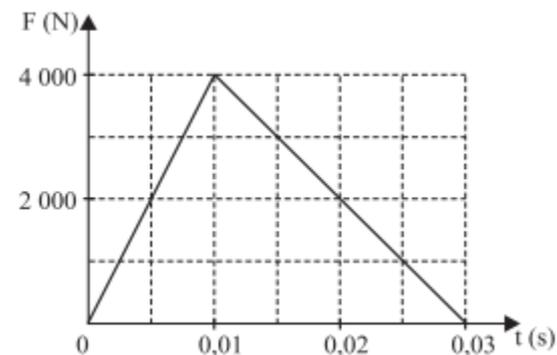


13) (UFSCar-2009) O *airbag* tem provado salvar vidas. De acessório opcional, é agora um dispositivo de segurança que deverá estar presente em todos os automóveis. Mas essa inovação tecnológica não é privilégio da humanidade. Há séculos, a natureza emprega os mesmos princípios mecânicos em uma ave, o Atobá, mais conhecido como *mergulhão*. Em voo, após ter avistado um cardume, esta ave fecha suas asas e se atira verticalmente em direção às águas, atingindo-as com velocidades próximas a 150km/h. Assim como os carros modernos, o Atobá possui um pequeno *airbag* natural. Trata-se de uma bolsa em seu peito, que é inflada com ar momentos antes do choque violento com a água. (Animal Planet/documentários. Adaptado.)

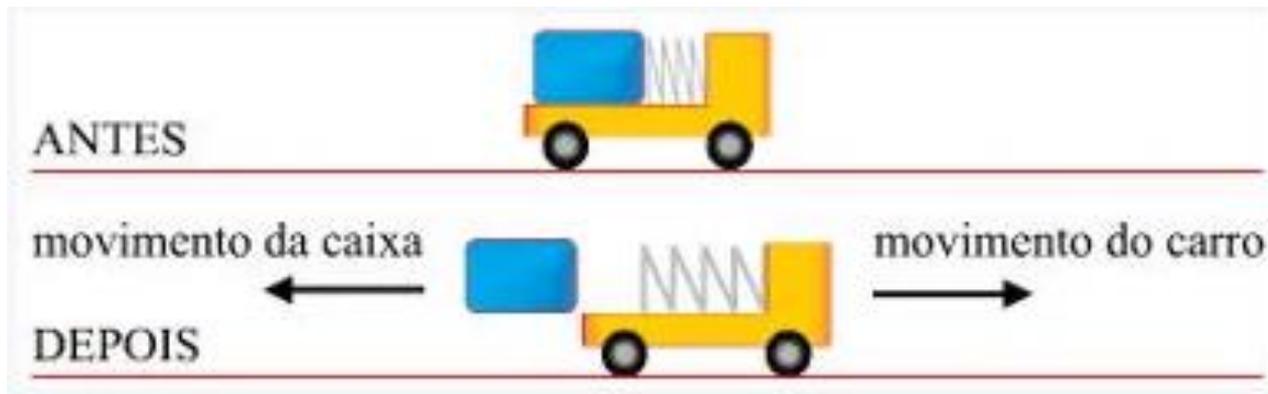


a) O motorista do quadrinho certamente não está protegido pelo seu travesseiro. Em situações idênticas, considere um choque sem bolsa de ar e outro com bolsa de ar. Como se comportam qualitativamente o impulso e o tempo de interação em cada um desses choques?

b) Suponha que, durante o choque do Atobá contra a água, a força de interação tenha as intensidades representadas pelo gráfico abaixo. Determine qual seria o impulso sofrido pela ave e a intensidade da força média (se o choque não envolvesse a variação de intensidades de força) no processo de entrada na água.



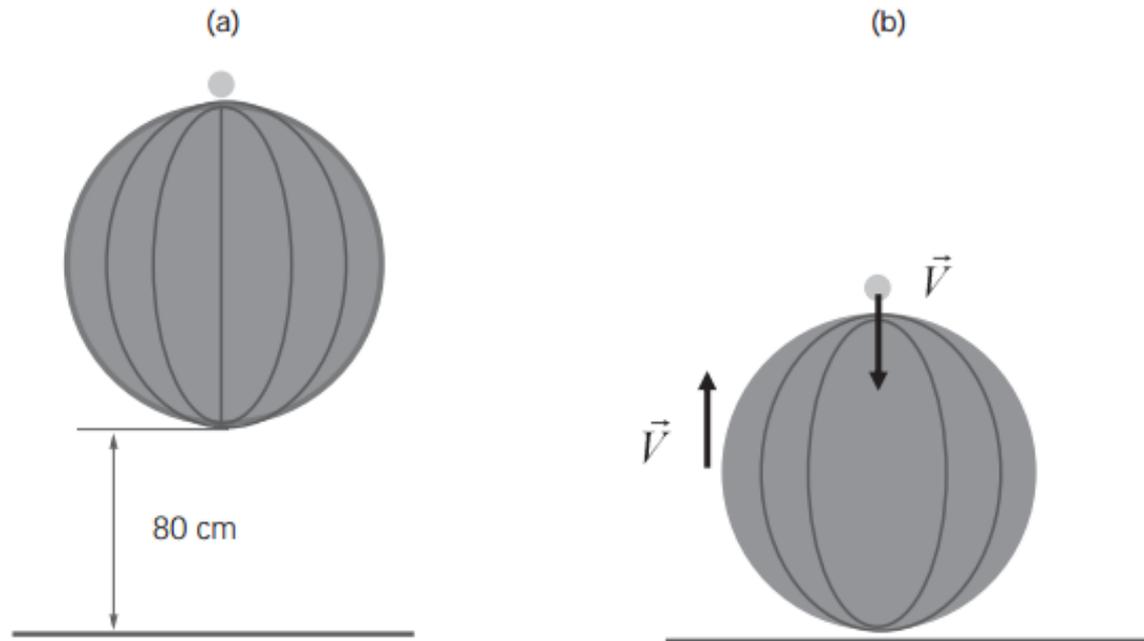
- 14) (**Fameca-SP**) Em um experimento de laboratório, uma mola de massa desprezível inicialmente comprimida é liberada e, ao distender-se, empurra um carrinho, ao qual está presa, e uma caixa apoiada sobre ele. Antes da distensão da mola, o conjunto estava em repouso. Quando a caixa perde o contato com a mola, sua velocidade tem módulo  $v$  em relação ao solo.



Desprezando-se todos os atritos e sabendo que a massa do carrinho sem a caixa é 5 vezes maior do que a massa da caixa, o módulo da velocidade adquirida pelo carrinho ( $V$ ), em relação ao solo, no instante em que a mola para de empurrar a caixa é:

- a)  $0,75.v$
- b)  $1,2.v$
- c)  $0,20.v$
- d)  $0,70.v$
- e)  $1,6.v$

15) Um experimento interessante pode ser realizado abandonando-se de certa altura uma bola de basquete com uma bola de pingue-pongue (tênis de mesa) em repouso sobre ela, conforme mostra a figura (a). Após o choque da bola de basquete com o solo, e em seguida com a bola de pingue-pongue, esta última atinge uma altura muito maior do que sua altura inicial.



- a) Para  $h = 80 \text{ cm}$ , calcule a velocidade com que a bola de basquete atinge o solo. Despreze a resistência do ar.
- b) Abandonadas de uma altura diferente, a bola de basquete, de massa  $M$ , reflete no solo e sobe com uma velocidade de módulo  $V = 5,0 \text{ m/s}$ . Ao subir, ela colide com a bola de pingue-pongue que está caindo também com  $V = 5,0 \text{ m/s}$ , conforme a situação representada na figura (b). Considere que, na colisão entre as bolas, a energia cinética do sistema não se conserva e que, imediatamente após o choque, as bolas de basquete e pingue-pongue sobem com velocidades de  $V'_b = 4,95 \text{ m/s}$  e  $V'_p = 7,0 \text{ m/s}$ , respectivamente. A partir da sua própria experiência cotidiana, faça uma estimativa para a massa da bola de pingue-pongue, e, usando esse valor e os dados acima, calcule a massa da bola de basquete.

**16)** Acredita-se que a extinção dos dinossauros tenha sido causada por uma nuvem de pó levantada pela colisão de um asteróide com a Terra. Esta nuvem de pó teria bloqueado a ação do Sol. Estima-se que a energia liberada pelo impacto do asteróide tenha sido de  $10^8$  megatons, equivalente a  $10^{23}$  J. Considere a massa do asteróide  $m = 8,0 \times 10^{15}$  kg e a massa da Terra  $M = 6,0 \times 10^{24}$  kg.

**a)** Determine a velocidade do asteróide imediatamente antes da colisão.

**b)** Determine a velocidade de recuo da Terra imediatamente após a colisão, supondo que o asteróide tenha ficado encravado nela.

**17)** Um motor de foguete iônico, digno de histórias de ficção científica, equipa uma sonda espacial da NASA e está em operação há mais tempo do que qualquer outro propulsor espacial já construído. O motor iônico funciona expelindo uma corrente de gás eletricamente carregado para produzir um pequeníssimo impulso. Cerca de 103 gramas de xenônio são ejetados por dia com uma velocidade de 108.000 km/h. Após um período muito longo, esse impulso faz a sonda atingir uma velocidade enorme no espaço. Em aproximadamente 200 dias de viagem, a sonda chega a uma velocidade de 4320 km/h, o que é muito mais rápido do que seria possível com uma quantidade similar de combustível de foguete. Aproxime um dia para  $9 \times 10^4$  s.

**a)** Que massa de combustível teria sido consumida para atingir 4320 km/h?

**b)** Qual é a aceleração média da sonda? Considere que a sonda parte do repouso.

**c)** Qual é a quantidade de movimento do combustível ejetado em 1 s?

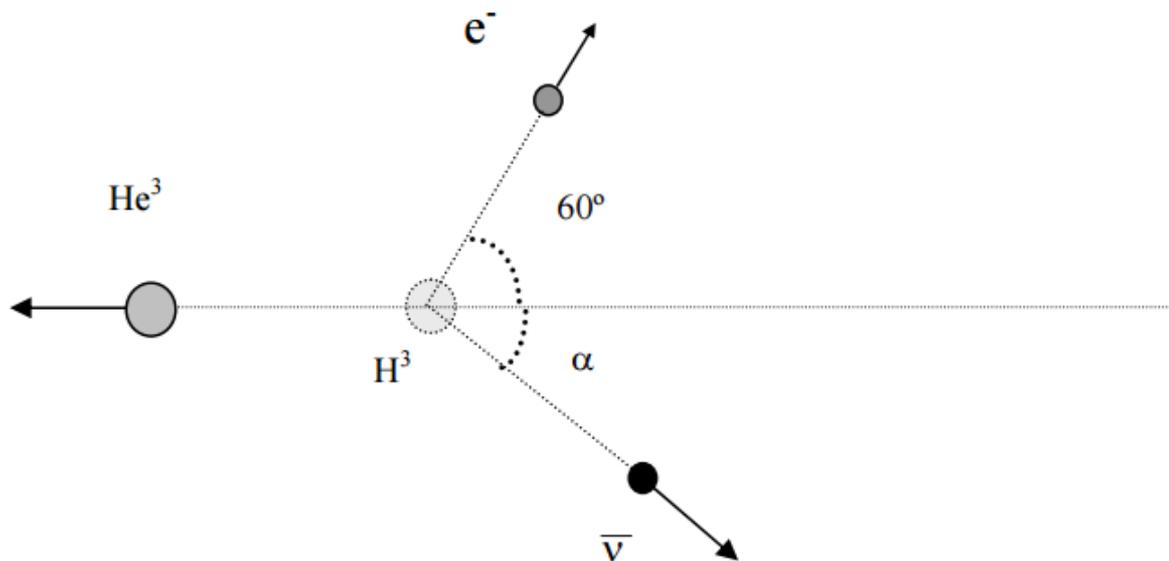
**18)** No episódio II do filme *Guerra nas Estrelas*, um personagem mergulha em queda livre, caindo em uma nave que se deslocava horizontalmente a 100 m/s com os motores desligados. O personagem resgatado chegou à nave com uma velocidade de 6 m/s na vertical. Considere que a massa da nave é de 650 kg, a do personagem resgatado de 80 kg e a do piloto de 70 kg.

**a)** Quais as componentes horizontal e vertical da velocidade da nave imediatamente após o resgate?

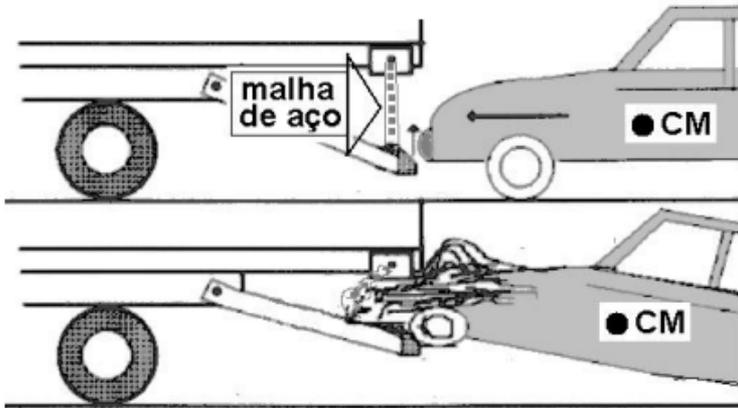
**b)** Qual foi a variação da energia cinética total nesse resgate?

19) A existência do neutrino e do anti-neutrino foi proposta em 1930 por Wolfgang Pauli, que aplicou as leis de conservação de quantidade de movimento e energia ao processo de desintegração  $\beta$ . O esquema abaixo ilustra esse processo para um núcleo de trítio,  $H^3$  (um isótopo do hidrogênio), que se transforma em um núcleo de hélio,  $He^3$ , mais um elétron,  $e^-$ , e um anti-neutrino,  $\bar{\nu}$ . O núcleo de trítio encontra-se inicialmente em repouso. Após a desintegração, o núcleo de hélio possui uma quantidade de movimento com módulo de  $12 \times 10^{-24}$  kg m/s e o elétron sai em uma trajetória fazendo um ângulo de  $60^\circ$  com o eixo horizontal e uma quantidade de movimento de módulo  $6,0 \times 10^{-24}$  kg m/s.

- a) O ângulo  $\alpha$  que a trajetória do anti-neutrino faz com o eixo horizontal é de  $30^\circ$ . Determine o módulo da quantidade de movimento do anti-neutrino.
- b) Qual é a velocidade do núcleo de hélio após a desintegração? A massa do núcleo de hélio é  $5,0 \times 10^{-27}$  kg.



20) O chamado “para-choque alicate” foi projetado e desenvolvido na Unicamp com o objetivo de minimizar alguns problemas com acidentes. No caso de uma colisão de um carro contra a traseira de um caminhão, a malha de aço de um para-choque alicate instalado no caminhão prende o carro e o ergue do chão pela plataforma, evitando, assim, o chamado “efeito guilhotina”. Imagine a seguinte situação: um caminhão de 6000 kg está a 54 km/h e o automóvel que o segue, de massa igual a 2000 kg, está a 72 km/h. O automóvel colide contra a malha, subindo na rampa. Após o impacto, os veículos permanecem engatados um ao outro.



- a) Qual a velocidade dos veículos imediatamente após o impacto?
- b) Qual a fração da energia cinética inicial do automóvel que foi transformada em energia potencial gravitacional, sabendo-se que o centro de massa do mesmo subiu 50 cm?

21) A importância e a obrigatoriedade do uso do cinto de segurança nos bancos dianteiros e traseiros dos veículos têm sido bastante divulgadas pelos meios de comunicação. Há grande negligência especialmente quanto ao uso dos cintos traseiros. No entanto, existem registros de acidentes em que os sobreviventes foram apenas os passageiros da frente, que estavam utilizando o cinto de segurança.

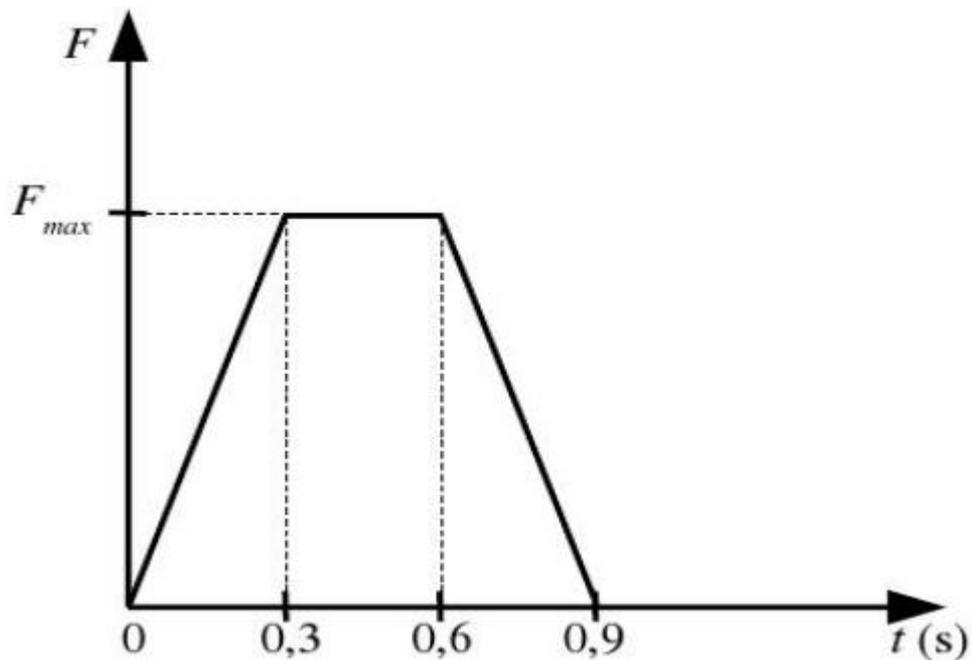
- a) Considere um carro com velocidade  $v = 72 \text{ km/h}$  que, ao colidir com um obstáculo, é freado com desaceleração constante até parar completamente após  $\Delta t = 0,1 \text{ s}$ . Calcule o módulo da força que o cinto de segurança exerce sobre um passageiro com massa  $m = 70 \text{ kg}$  durante a colisão para mantê-lo preso no banco até a parada completa do veículo.
- b) Um passageiro sem o cinto de segurança pode sofrer um impacto equivalente ao causado por uma queda de um edifício de vários andares. Considere que, para uma colisão como a descrita acima, a energia mecânica associada ao impacto vale  $E = 12 \text{ kJ}$ . Calcule a altura de queda de uma pessoa de massa  $m = 60 \text{ kg}$ , inicialmente em repouso, que tem essa mesma quantidade de energia em forma de energia cinética no momento da colisão com o solo.

22) O lixo espacial é composto por partes de naves espaciais e satélites fora de operação abandonados em órbita ao redor da Terra. Esses objetos podem colidir com satélites, além de pôr em risco astronautas em atividades extraveiculares.

Considere que durante um reparo na estação espacial, um astronauta substituiu um painel solar, de massa  $m_p = 80 \text{ kg}$ , cuja estrutura foi danificada. O astronauta estava inicialmente em repouso em relação à estação e ao abandonar o painel no espaço, lança-o com uma velocidade  $v_p = 0,15 \text{ m/s}$ .

a) Sabendo que a massa do astronauta é  $m_a = 60 \text{ kg}$ , calcule sua velocidade de recuo.

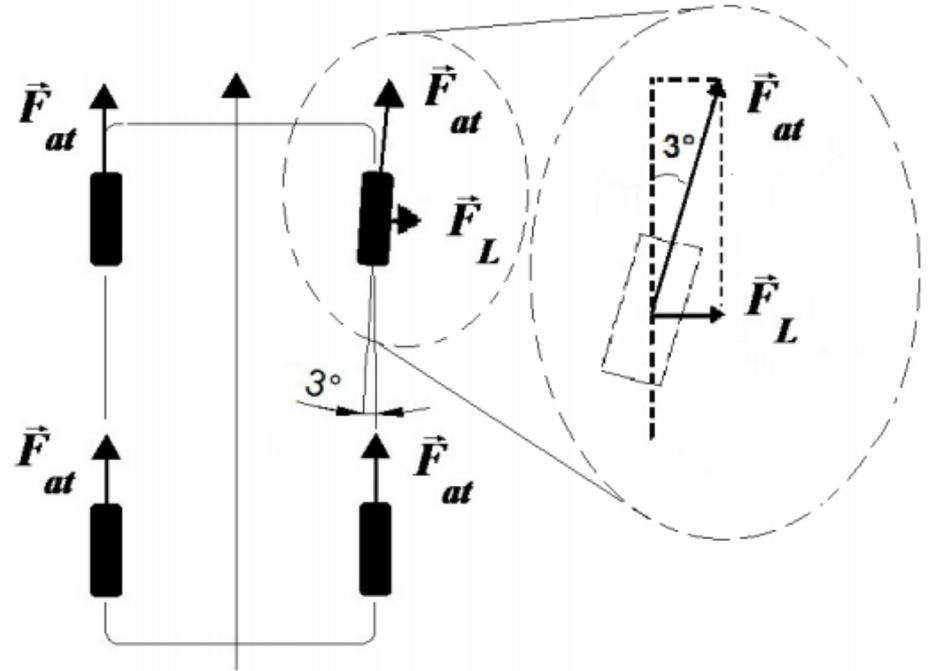
b) O gráfico no espaço de resposta mostra, de forma simplificada, o módulo da força aplicada pelo astronauta sobre o painel em função do tempo durante o lançamento. Sabendo que a variação de momento linear é igual ao impulso, cujo módulo pode ser obtido pela área do gráfico, calcule a força máxima  $F_{max}$ .



23) O tempo de viagem de qualquer entrada da Unicamp até a região central do campus é de apenas alguns minutos. Assim, a economia de tempo obtida, desrespeitando-se o limite de velocidade, é muito pequena, enquanto o risco de acidentes aumenta significativamente.

a) Considere que um ônibus de massa  $M = 9000 \text{ kg}$ , viajando a  $80 \text{ km/h}$ , colide na traseira de um carro de massa  $m_a = 1000 \text{ kg}$  que se encontrava parado. A colisão é inelástica, ou seja, carro e ônibus seguem grudados após a batida. Calcule a velocidade do conjunto logo após a colisão.

b) Além do excesso de velocidade, a falta de manutenção do veículo pode causar acidentes. Por exemplo, o desalinhamento das rodas faz com que o carro sofra a ação de uma força lateral. Considere um carro com um pneu dianteiro desalinhado de  $3^\circ$ , conforme a figura ao lado, gerando uma componente lateral da força de atrito  $\vec{F}_L$  em uma das rodas. Para um carro de massa  $m_b = 1600 \text{ kg}$ , calcule o módulo da aceleração lateral do carro, sabendo que o módulo da força de atrito em cada roda vale  $F_{at} = 8000 \text{ N}$ . Dados:  $\text{sen } 3^\circ = 0,05$  e  $\text{cos } 3^\circ = 0,99$ .

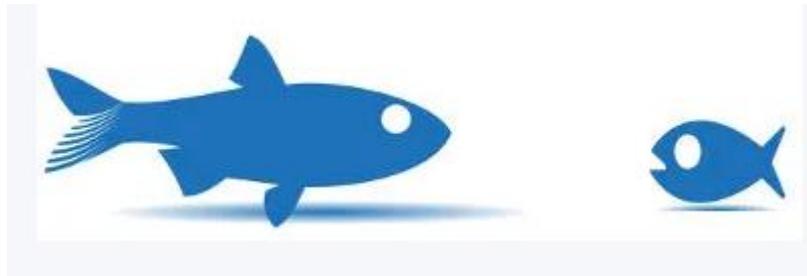


24) As nuvens são formadas por gotículas de água que são facilmente arrastadas pelo vento. Em determinadas situações, várias gotículas se juntam para formar uma gota maior, que cai, produzindo a chuva. De forma simplificada, a queda da gota ocorre quando a força gravitacional que age sobre ela fica maior que a força do vento ascendente. A densidade da água é  $\rho_{\text{água}} = 1,0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ .

- a) O módulo da força, que é vertical e para cima, que certo vento aplica sobre uma gota esférica de raio  $r$  pode ser aproximado por  $F_{\text{vento}} = b r$ , com  $b = 1,6 \times 10^{-3} \text{ N/m}$ . Calcule o raio mínimo da gota para que ela comece a cair.
- b) O volume de chuva e a velocidade com que as gotas atingem o solo são fatores importantes na erosão. O volume é usualmente expresso pelo índice pluviométrico, que corresponde à altura do nível da água da chuva acumulada em um recipiente aberto e disposto horizontalmente. Calcule o impulso transferido pelas gotas da chuva para cada metro quadrado de solo horizontal, se a velocidade média das gotas ao chegar ao solo é de  $2,5 \text{ m/s}$  e o índice pluviométrico é igual a  $20 \text{ mm}$ . Considere a colisão como perfeitamente inelástica.

25) Um peixe de massa  $4 \text{ m}$  nada a  $2 \text{ m/s}$ . Em certo momento, ele vê uma presa de massa  $m$  vindo em sentido oposto a  $0,5 \text{ m/s}$ . Determine a velocidade do conjunto após o momento em que a presa foi devorada.

- a)  $2,0 \text{ m/s}$   
b)  $2,5 \text{ m/s}$   
c)  $1,5 \text{ m/s}$   
d)  $1,0 \text{ m/s}$   
e)  $0,5 \text{ m/s}$



26) Jetlev é um equipamento de diversão movido a água. Consiste em um colete conectado a uma mangueira que, por sua vez, está conectada a uma bomba de água que permanece submersa. O aparelho retira água do mar e a transforma em jatos para a propulsão do piloto, que pode ser elevado a até 10 metros de altura (ver figura ao lado).

- a) Qual é a energia potencial gravitacional, em relação à superfície da água, de um piloto de 60 kg, quando elevado a 10 metros de altura?
- b) Considere que o volume de água por unidade de tempo que entra na mangueira na superfície da água é o mesmo que sai nos jatos do colete, e que a bomba retira água do mar a uma taxa de 30 litros/s. Lembre-se que o Impulso  $\vec{I}$  de uma força constante  $\vec{F}$ , dado pelo produto desta força pelo intervalo de tempo  $\Delta t$  de sua aplicação  $\vec{I} = \vec{F}\Delta t$ , é igual, em módulo, à variação da quantidade de movimento  $\Delta Q$  do objeto submetido a esta força. Calcule a diferença de velocidade entre a água que passa pela mangueira e a que sai nos jatos quando o colete propulsor estiver mantendo o piloto de  $m = 60$  kg em repouso acima da superfície da água. Considere somente a massa do piloto e use a densidade da água como  $\rho = 1$  kg/litro .



27) Enem - 2014

Durante um reparo na estação espacial internacional, um cosmonauta, de massa 90 kg, substitui uma bomba do sistema de refrigeração, de massa 360 kg, que estava danificada. Inicialmente, o cosmonauta e a bomba estão em repouso em relação à estação. Quando ele empurra a bomba para o espaço, ele é empurrado no sentido oposto. Nesse processo, a bomba adquire uma velocidade de 0,2 m/s em relação à estação.

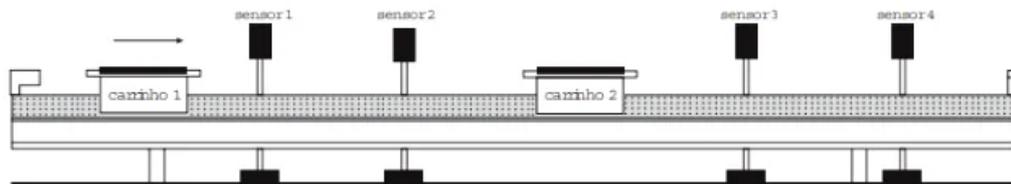
Qual é o valor da velocidade escalar adquirida pelo cosmonauta, em relação à estação, após o empurrão?

- a) 0,05 m/s
- b) 0,20 m/s
- c) 0,40 m/s
- d) 0,50 m/s
- e) 0,80 m/s



28) Enem - 2016

O trilho de ar é um dispositivo utilizado em laboratórios de física para analisar movimentos em que corpos de prova (carrinhos) podem se mover com atrito desprezível. A figura ilustra um trilho horizontal com dois carrinhos (1 e 2) em que se realiza um experimento para obter a massa do carrinho 2. No instante em que o carrinho 1, de massa 150,0 g, passa a se mover com velocidade escalar constante, o carrinho 2 está em repouso. No momento em que o carrinho 1 se choca com o carrinho 2, ambos passam a se movimentar juntos com velocidade escalar constante. Os sensores eletrônicos distribuídos ao longo do trilho determinam as posições e registram os instantes associados à passagem de cada carrinho, gerando os dados do quadro.



Carrinho 1		Carrinho 2	
Posição (cm)	Instante (s)	Posição (cm)	Instante (s)
15,0	0,0	45,0	0,0
30,0	1,0	45,0	1,0
75,0	8,0	75,0	8,0
90,0	11,0	90,0	11,0

Com base nos dados experimentais, o valor da massa do carrinho 2 é igual a

- a) 50,0 g
- b) 250,0 g
- c) 300,0 g
- d) 450,0 g
- e) 600,0 g

29)(Pucpr 2016) Um foguete, de massa  $M$ , encontra-se no espaço e na ausência de gravidade com uma velocidade  $\vec{v}_0$  de  $3.000\text{km/h}$  em relação a um observador na Terra, conforme ilustra a figura a seguir. Num dado momento da viagem, o estágio, cuja massa representa  $75\%$  da massa do foguete, é desacoplado da cápsula. Devido a essa separação, a cápsula do foguete passa a viajar  $800\text{km/h}$  mais rápido que o estágio.

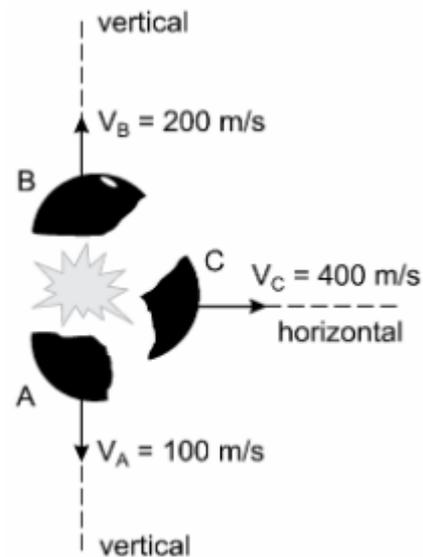


Obs.: as velocidades informadas são em relação a um observador na Terra.

Qual a velocidade da cápsula do foguete, em relação a um observador na Terra, após a separação do estágio?

- a)  $3000\text{ km/h}$ .
- b)  $3200\text{ km/h}$ .
- c)  $3400\text{ km/h}$ .
- d)  $3600\text{ km/h}$ .
- e)  $3800\text{ km/h}$ .

30) (Unesp 2015) Enquanto movia-se por uma trajetória parabólica depois de ter sido lançada obliquamente e livre de resistência do ar, uma bomba de  $400\text{ g}$  explodiu em três partes, A, B e C, de massas  $m_A = 200\text{ g}$  e  $m_B = m_C = 100\text{ g}$ . A figura representa as três partes da bomba e suas respectivas velocidades em relação ao solo, imediatamente depois da explosão.

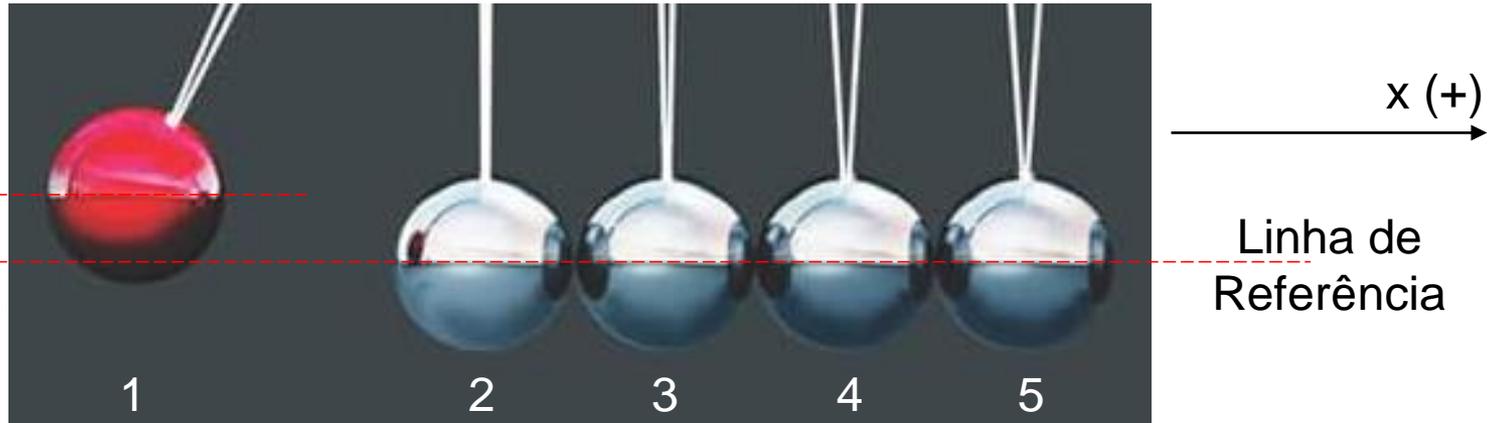


Analisando a figura, é correto afirmar que a bomba, imediatamente antes de explodir, tinha velocidade de módulo igual a

- $100\text{ m/s}$  e explodiu antes de atingir a altura máxima de sua trajetória.
- $100\text{ m/s}$  e explodiu exatamente na altura máxima de sua trajetória.
- $200\text{ m/s}$  e explodiu depois de atingir a altura máxima de sua trajetória.
- $400\text{ m/s}$  e explodiu exatamente na altura máxima de sua trajetória.
- $400\text{ m/s}$  e explodiu depois de atingir a altura máxima de sua trajetória.

# Análise do Berço de Newton

(Newton's Cradle)



$h = 0$  e  $E_{PG} = 0$

Massas iguais  
a  $m$  e indeformáveis

- Puxando a bola **1** até uma altura  **$h$**  e, em seguida, liberando-a até a iminência de impacto na bola **2**, pela **Lei de Conservação da Energia**, tem-se que:

$$E_i = E_f$$

$$\cancel{E_{Cin_i}} + \cancel{E_{PG_i}} = \cancel{E_{Cin_f}} + \cancel{E_{PG_f}}$$

$$\cancel{m} \cdot g \cdot h = \frac{\cancel{m} \cdot v_f^2}{2}$$

$$v_f = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

Velocidade da bola **1** na iminência de colidir com a **2**.

- Pergunta: quantas bolas serão movimentadas após o impacto da bola **1**?
- Considerando um sistema elástico ideal com bolas rígidas, a Lei de Conservação da Energia, especificamente, a da **Energia Mecânica**, estabelece que ela se conserva (cinética + potencial).
- Aplicando-se essa lei, percebe-se que entre 1 e 5 bolas poderiam se mover, pois a Conservação de Energia não impõe restrições à quantidade de bolas. Entretanto, para cada situação, os desníveis atingidos serão diferentes. P. ex.,

- 1 bola:

- 2 bolas:

- 5 bolas:

$$E_{Mec\ inicial} = E_{Mec\ final}$$

$$E_{Mec\ inicial} = E_{Mec\ final}$$

$$E_{Mec\ inicial} = E_{Mec\ final}$$

$$E_{PotGrav\ i} = E_{PotGrav\ f}$$

$$E_{PotGrav\ i} = E_{PotGrav\ f}$$

• • •

$$E_{PotGrav\ i} = E_{PotGrav\ f}$$

$$\cancel{m} \cdot \cancel{g} \cdot h_i = \cancel{m} \cdot \cancel{g} \cdot h_f$$

$$\cancel{m} \cdot \cancel{g} \cdot h_i = 2 \cdot \cancel{m} \cdot \cancel{g} \cdot h_f$$

$$\cancel{m} \cdot \cancel{g} \cdot h_i = 5 \cdot \cancel{m} \cdot \cancel{g} \cdot h_f$$

$$\boxed{h_f = h_i}$$

$$\boxed{h_f = \frac{h_i}{2}}$$

$$\boxed{h_f = \frac{h_i}{5}}$$

- Para um sistema real (bolas deformáveis, emissão de ruído etc), isso não é verdade, pois como parte da energia inicial transformou-se em energia sonora e de deformação (poderia aparecer luminosa, calor etc), após a colisão, os desníveis serão **menores** comparados aos do caso ideal.
- Contudo, como **a quantidade de movimento sempre se conserva para um sistema mecanicamente isolado**, o número de bolas pode ser determinado.

- Então, como é que a natureza determina a quantidade de bolas que se movimentará após o impacto?

$$\sum_{j=1}^n \vec{Q}_{i_j} = \sum_{j=1}^n \vec{Q}_{f_j}$$

- Apliquemos a **Lei de Conservação do Momento Linear** imediatamente antes e imediatamente depois da colisão da bola **1** com a **2**, na direção horizontal (x):

$$\sum_1^5 Q_{i_j} = \sum_1^5 Q_{f_j} \quad \xrightarrow{\text{x (+)}}$$

$$+m \cdot v_{i_1} + m \cdot \cancel{v_{i_2}} + m \cdot \cancel{v_{i_3}} + m \cdot \cancel{v_{i_4}} + m \cdot \cancel{v_{i_5}} = Q_{f_x}$$

$$Q_{f_x} = +m \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

Portanto, apenas 1 bola (**5**) se movimentará após a colisão.

- Usemos o mesmo raciocínio para a liberação de 2 bolas, depois 3 e assim por diante.

# **Referências Sitigráficas**

- <http://physics.stackexchange.com/questions/82099/operator-that-describes-particle-detector>
- <http://apod.nasa.gov/apod/ap130825.html>
- <http://www.cefetsp.br/edu/okamura/>
- <http://www.alunosonline.com.br/fisica/pendulo-balistico.html>
- [https://www.comvest.unicamp.br/vest\\_anteriores/vest\\_ant.html](https://www.comvest.unicamp.br/vest_anteriores/vest_ant.html)
- <https://www.youtube.com/watch?v=wbB2IyOjWmY> – demonstrações interessantes
- <https://www.fisicainterativa.com/conservacao-de-movimento-questoes-resolvidas/>
- <https://www.todamateria.com.br/quantidade-de-movimento/>
- <https://labdemon.ufpa.br/mecanica-dos-solidos/colisoes-de-bolas> - sites e artigos