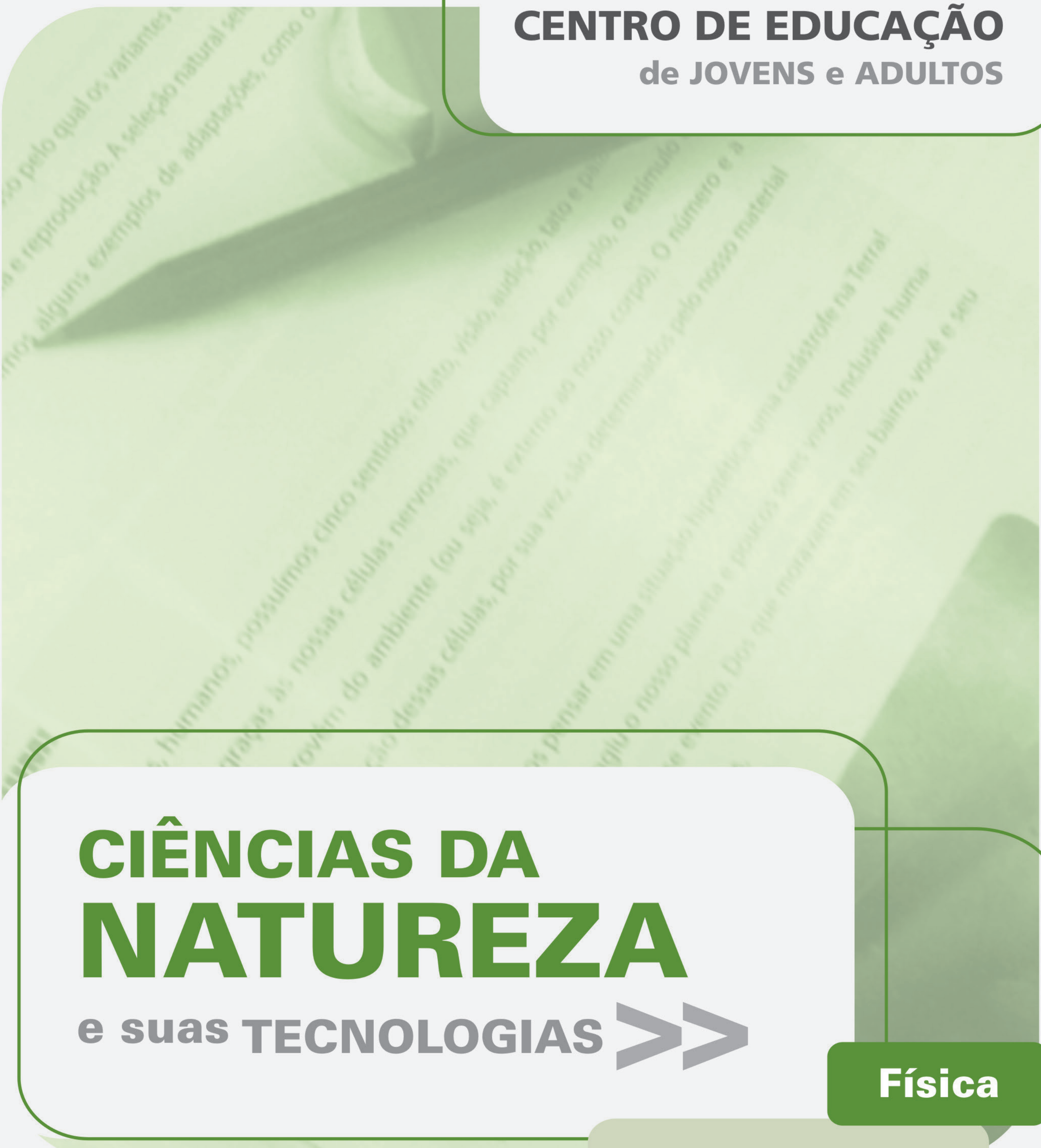


CEJA

CENTRO DE EDUCAÇÃO
de JOVENS e ADULTOS

CIÊNCIAS DA NATUREZA
e suas TECNOLOGIAS

Física

Fascículo 3
Unidades 6, 7 e 8

Edição revisada 2016

GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Governador
Luiz Fernando de Souza Pezão

Vice-Governador
Francisco Oswaldo Neves Dornelles

SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Secretário de Estado
Gustavo Reis Ferreira

SECRETARIA DE ESTADO DE EDUCAÇÃO

Secretário de Estado
Antônio José Vieira de Paiva Neto

FUNDAÇÃO CECIERJ

Presidente
Carlos Eduardo Bielschowsky

PRODUÇÃO DO MATERIAL CEJA (CECIERJ)

Coordenação Geral de Design Instrucional
Cristine Costa Barreto

Elaboração
Claudia Augusta de Moraes Russo
Ricardo Campos da Paz

Revisão de Língua Portuguesa
Ana Cristina Andrade dos Santos

Coordenação de Design Instrucional
Flávia Busnardo
Paulo Miranda

Design Instrucional
Aline Beatriz Alves

Coordenação de Produção
Fábio Rapello Alencar

Capa
André Guimarães de Souza

Projeto Gráfico
Andreia Villar

Imagem da Capa e da Abertura das Unidades
http://www.sxc.hu/browse.phtml?f=download&id=1381517

Diagramação
Equipe Cederj

Ilustração
Bianca Giacomelli
Clara Gomes
Fernado Romeiro
Jefferson Caçador
Sami Souza

Produção Gráfica
Verônica Paranhos

Sumário

Prezado(a) Aluno(a),

Seja bem-vindo a uma nova etapa da sua formação. Estamos aqui para auxiliá-lo numa jornada rumo ao aprendizado e conhecimento.

Você está recebendo o material didático impresso para acompanhamento de seus estudos, contendo as informações necessárias para seu aprendizado e avaliação, exercício de desenvolvimento e fixação dos conteúdos.

Além dele, disponibilizamos também, na sala de disciplina do CEJA Virtual, outros materiais que podem auxiliar na sua aprendizagem.

O CEJA Virtual é o Ambiente virtual de aprendizagem (AVA) do CEJA. É um espaço disponibilizado em um site da internet onde é possível encontrar diversos tipos de materiais como vídeos, animações, textos, listas de exercício, exercícios interativos, simuladores, etc. Além disso, também existem algumas ferramentas de comunicação como chats, fóruns.

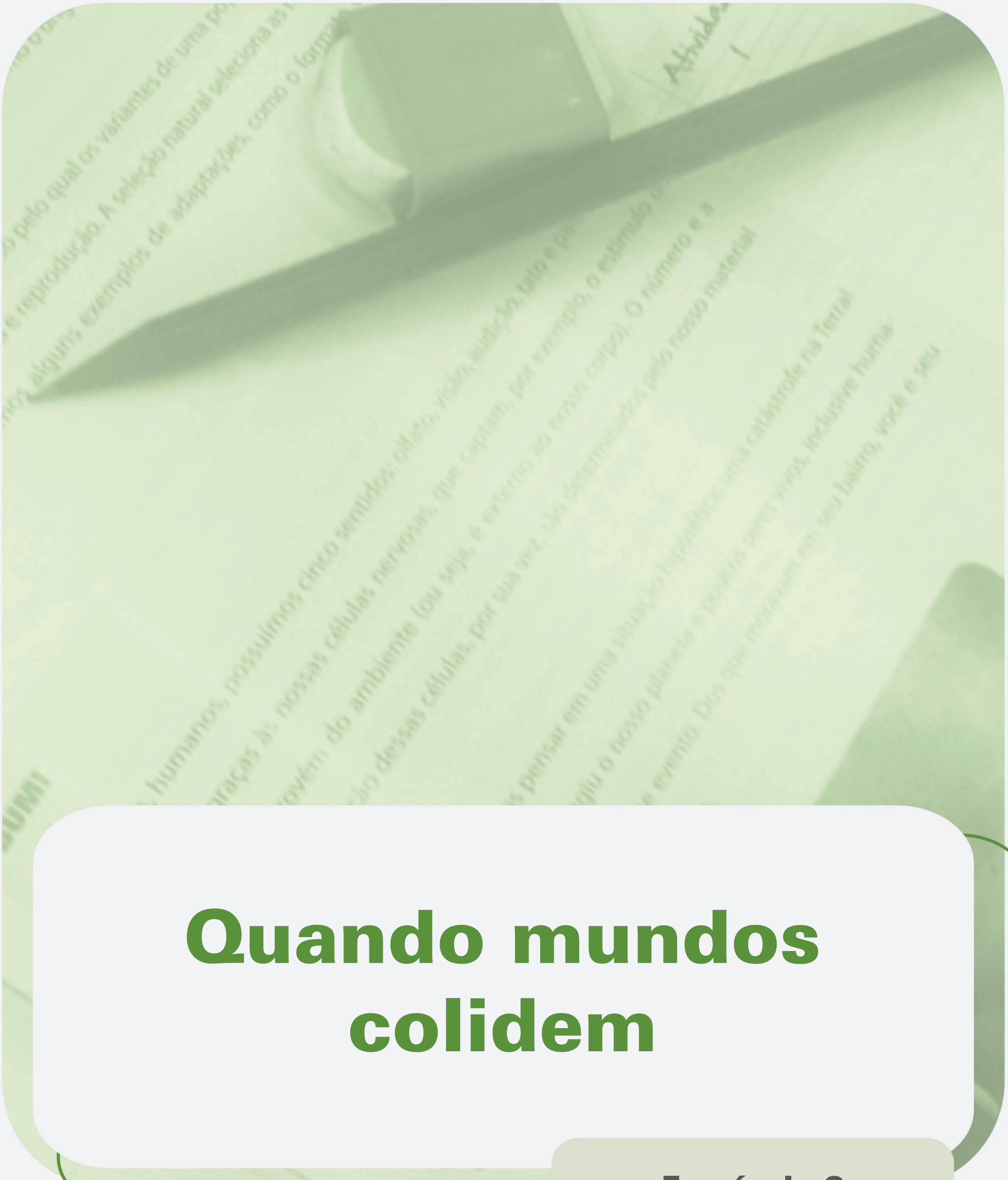
Você também pode postar as suas dúvidas nos fóruns de dúvida. Lembre-se que o fórum não é uma ferramenta síncrona, ou seja, seu professor pode não estar online no momento em que você postar seu questionamento, mas assim que possível irá retornar com uma resposta para você.

Para acessar o CEJA Virtual da sua unidade, basta digitar no seu navegador de internet o seguinte endereço: http://cejarj.cecierj.edu.br/ava

Utilize o seu número de matrícula da carteirinha do sistema de controle acadêmico para entrar no ambiente. Basta digitá-lo nos campos “nome de usuário” e “senha”.

Feito isso, clique no botão “Acesso”. Então, escolha a sala da disciplina que você está estudando. Atenção! Para algumas disciplinas, você precisará verificar o número do fascículo que tem em mãos e acessar a sala correspondente a ele.

Bons estudos!



Quando mundos colidem

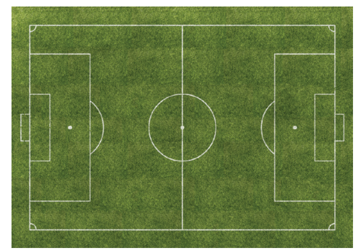
Fascículo 3

Unidade 7

Fundação CECIERJ
Consórcio cederj

Quando mundos colidem

Para início de conversa...



Certamente você já vivenciou ou presenciou um jogo de futebol. Esse é sem dúvida um ótimo esporte coletivo e uma verdadeira paixão nacional. Qual é o indivíduo com mais de 60 anos que não se gaba em dizer que viu Pelé ou garrincha nos gramados? E quem não conta com entusiasmo as crônicas esportivas escritas por Nelson Rodrigues todos os domingos? Com certeza esse esporte não é como antes, mas a física envolvida nessa bela e complexa atividade é a mesma! Podemos utilizar a física para entender inúmeras situações vividas dentro das quatro linhas. Mas, convido-os a tentarmos entender fisicamente o momento mais tenso de uma partida: a cobrança de pênalti!

Por motivo de falta sofrida nos limites da grande área o time atacante tem o direito de posicionar a bola em local específico e chutá-la diretamente para o gol, com apenas o goleiro para impedir a entrada da bola. Nessa situação o jogador tem que bater na bola a fim de lhe dar grande velocidade e em uma direção específica. De preferência uma trajetória que o goleiro não será capaz de alcança-la! Mas, pensando especificamente na bola e no pé do jogador, o que tem que acontecer é que a bola que está parada tem que entrar em movimento rapidamente. E isso ocorre porque o batedor impulsiona o seu pé com muita intensidade em direção a bola. Esse choque faz com que a bola atinja grande aceleração, uma vez que há um grande aumento em sua velocidade em um intervalo de tempo muito curto.

Objetivos de aprendizagem

- Construir o conceito de velocidade média e instantânea;
- Escrever as equações que fornecem o Impulso e a Quantidade de Movimento;
- Relacionar estas quantidades ao fenômenos de colisões;
- Relacionar o Impulso e a Quantidade de movimento às Leis de Newton;
- Determinar a Força Média exercida por um objeto sobre o outro, quando ambos colidem;
- Descrever de maneira simplificada as condições necessárias para aplicação da conservação da Quantidade de Movimento;
- Resolver problemas simples que envolvam a conservação da Quantidade de Movimento em colisões unidimensionais.

Seção 1
Pegando Impulso

Pensando no que foi explicado no texto inicial dessa aula e lembrando do que foi estudado na aula anterior, podemos concluir que um objeto (no exemplo inicial, a bola) só muda de velocidade quando uma força é aplicada sobre ele. Veja a figura 1: ela mostra uma imagem estroboscópica, onde podemos acompanhar quatro momentos distintos de um chute.

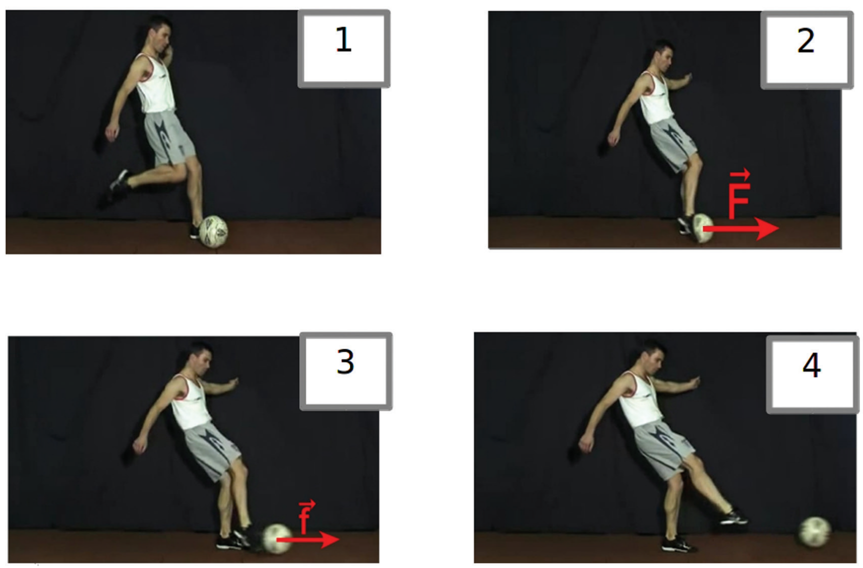


Figura 1: Imagem estroboscópica, com a representação de 4 instantes diferentes.

No primeiro momento, o jogador acelera a sua perna em direção a bola. No segundo momento, o jogador atinge. Note que a bola até se deforma com a pressão causada pelo pé do jogador. No terceiro momento, a bola perde contato com o pé do atleta. Por fim, a bola segue na direção escolhida pelo jogador.

Observando a **Figura 1**, devemos ter total clareza de que a bola só tem a sua velocidade alterada enquanto está em contato com o pé do jogador. Tente pensar no tempo que o pé do jogador fica em contato com a bola... é muito pequeno, não é? Isso mesmo! Esse intervalo de tempo não passa de poucos décimos de segundo. Então, vemos que a bola ganha alta velocidade em pouquíssimo tempo. A esse tipo de fenômeno damos o nome de *colisão*.

Para estudar este tipo de fenômeno, podemos definir uma grandeza física muito importante chamada *impulso*. O impulso é definido como a multiplicação entre a força aplicada (f) e o intervalo de tempo em que esse força foi aplicada (t), portanto podemos escrever:

$$I = F \times \Delta t \qquad (1)$$

Importante

Note que a unidade dessa grandeza é N x s, pois pelo Sistema Internacional (SI) a unidade de força é Newton (N) e de tempo é segundos (s) (veja a equação 1). Vamos pensar um pouco. Se queremos fazer com que um corpo atinja grandes velocidades rapidamente, ou seja, num curto intervalo de tempo, precisamos aplicar uma grande força. Caso contrário, o impulso gerado será pequeno, porque o impulso é definido como a multiplicação da força pelo intervalo de tempo.

Vamos aplicar agora um pouco do que discutimos até aqui. Nas atividades a seguir, você precisará aplicar a equação 1, e discutir um pouco o seu significado físico.

Atividade 1

Considere que um objeto é sujeito a uma força constante que vale 10 N. Se esta força for aplicada durante 5 segundos, determine o Impulso adquirido por este objeto. Se desejamos aumentar o impulso aplicado por esta força, o que devemos fazer?

Anote suas respostas em seu caderno

Atividade 2

Considerando a expressão do Impulso (equação 1), temos que o Impulso é igual ao produto da força aplicada pelo intervalo de tempo durante o qual a força atuou. Quando algum jogador de futebol aplica uma força em uma bola, a força aplicada atua num curto intervalo de tempo. Assim, a equação que nos fornece o Impulso determina que o Impulso adquirido pela bola será pequeno. O que você acha desta afirmação? Ela está correta? Justifique.

Anote suas respostas em seu caderno

Tente lembrar da aula que discutimos a Segunda Lei de Newton. Lá, mostramos à você que FR = m x a, ou seja, que a soma de todas as forças aplicadas sobre um corpo é igual ao produto da massa desse corpo pela aceleração adquirida por ele. Nós podemos utilizar a fórmula do impulso, que aplicamos nas duas atividades anteriores, para qualquer força. Se desejamos determinar o impulso realizado pela força resultante, basta substituir a expressão da força resultante (F_R = m x a) na equação que nos fornece o impulso:

$$F = m \times a \quad \text{e} \quad I = F \times \Delta t \qquad (2)$$

Lembre que a aceleração é igual a Δv/Δt, o que nos permite escrever a equação da força resultante da seguinte forma:

$$F = m \times (\Delta v / \Delta t), \qquad (3)$$

e em seguida substituir na equação do impulso:

$$\begin{aligned} I &= F \times \Delta t \\ I &= m \times a \times \Delta t \\ I &= m \times (\Delta v / \Delta t) \times \Delta t \qquad (4) \end{aligned}$$

Deste modo, podemos cortar Δt com Δt nesta nova expressão, e teremos:

Žℜ (5)

Você deve se lembrar que o prefixo Δ indica variação, logo temos que o impulso é igual a massa multiplicada pela variação de velocidade sofrida pelo corpo:

$$I = m \times (v_F - v_I), \qquad (6)$$

ou seja, temos dentro do parênteses a velocidade final menos a velocidade inicial. Continuando o desenvolvimento dessa expressão matemática e multiplicando a massa (m) pela velocidade final (v_F) e inicial (v_I), podemos dizer que:

$$I = mv_F - mv_I. \qquad (7)$$

Desta forma, vemos que o impulso pode ser expresso como a variação de uma certa quantidade, o produto da massa por velocidade. Chamamos esse produto de *momento linear* ou *quantidade de movimento*.

Esta também é uma grandeza física muito importante. Além disso, deve-se destacar que a quantidade de movimento é uma grandeza vetorial, e portanto que tem módulo direção e sentido. A quantidade de movimento (RC1) **Q = m × v** possui muita importância, pois, conforme veremos, ela se conserva (isto é, ela não se altera) quando corpos colidem. E quando a força não é constante? Como calcular o impulso?

Seção 2
Quando Mundos Colidem

Bom, a equação (1) desta aula nos permite calcular o impulso gerado por uma força constante. Entretanto, essa fórmula tem uma grande limitação: ela só é válida para o caso em que a força F é constante.

O que podemos fazer no caso em que a força aplicada não é constante? Para responder esse questionamento, observe os gráficos da figura 2:

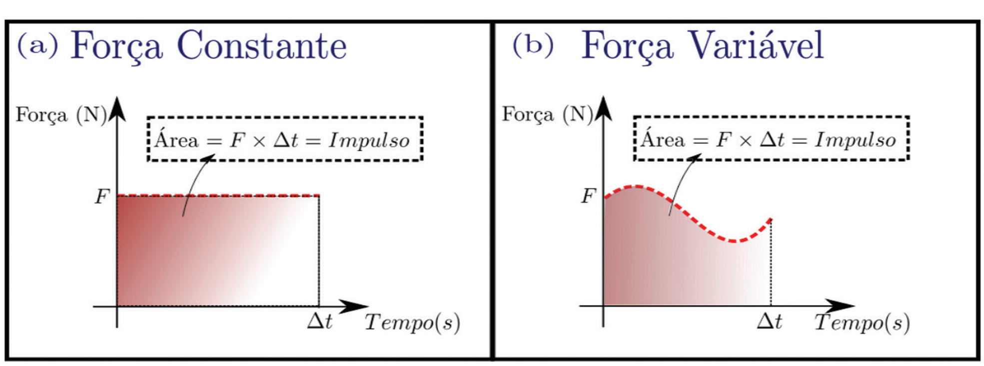


Figura 2: Em ambos os gráficos, temos o gráfico de força versus tempo. Em (a), a força aplicada é constante. Em (b), a força aplicada é variável.

Na figura 2 (a), temos o caso que já começamos a discutir. Se a força aplicada é F, e se a mesma atua durante um intervalo de tempo (Δt), temos que o Impulso gerado é dado pela equação (1). Veja que se calcularmos a área do gráfico da curva da figura 2 (a) (Área = base x altura), teremos exatamente o mesmo resultado dado pela equação.

Se a força não for constante, ainda podemos calcular o Impulso através da área, mesmo que a equação (1) não se aplique. Da mesma maneira que calculamos o deslocamento (ΔS) através do gráfico v x t.

Caso você sinta a necessidade de recordar como calculamos a variação do deslocamento através do gráfico v x t, recomendamos a releitura da aula de cinemática.

Vamos analisar agora um caso bastante interessante em que podemos aplicar a área do gráfico F x t para obter o Impulso.

Força média

Imagine que temos uma mesa de sinuca. Para facilitar seu entendimento veja a ilustração da figura a seguir.

Figura 3: Imagem vista de cima de uma mesa de sinuca.

Se você acertar a bola branca, quando a mesma colidir com alguma outra bola, certamente esta outra bola entrará em movimento. Quem é responsável por colocar esta bola em movimento? A resposta desta pergunta é bastante simples. Durante a colisão, a bola branca exerce uma força de contato sobre a bola vermelha (e vice-versa). É exatamente esta força que põe a bola vermelha em movimento. Mas, veja que o tempo em que as bolas ficam em contato é muito curto, sem dúvida é bem menor que um segundo. Na verdade, o tempo de contato entre colisões deste tipo é da ordem de 0,01 - 0,001 s. Já a força de contato deve ser grande, por que quanto menor o intervalo de tempo em que a força atua, menor será o Impulso. Deste modo, para compensar, a força deve ser grande.

Como seria um gráfico de força contra tempo neste caso? Bom, seria algo parecido com o que se pode ver na figura 4.

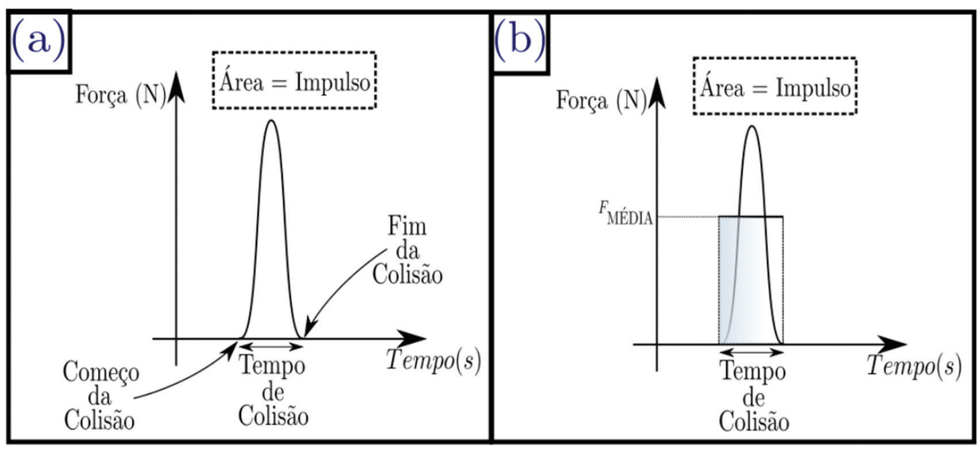


Figura 4: Em (a), temos um gráfico que representa como é a força entre as duas bolas de sinuca durante a colisão. Em (b) temos o mesmo, com o acréscimo da força média.

Analisando os gráficos na Figura 4, podemos chegar a três conclusões importantes:

1. Antes da colisão, as bolas não estão em contato, e por isto, uma não exerce força alguma na outra.
2. Durante a colisão, que ocorre num curto intervalo de tempo, a força exercida por uma bola sobre a outra deve aumentar, atinge um valor máximo, e volta a cair.
3. Depois da colisão, as bolas não estão mais encostadas uma na outra, novamente não há força de contato entre as duas bolas.

Lembre-se do que diz a *Terceira Lei de Newton*: sempre que um objeto exerce uma força sobre um outro corpo, este corpo reage, exercendo sobre o primeiro uma força de mesmo módulo e direção, mas de sentidos contrários. Assim, temos que a força que a bola branca faz na bola vermelha tem o mesmo módulo e direção que a que a bola vermelha faz na branca. Por isto, não especificamos qual bola sofre a força.

Conforme vimos anteriormente, a área do gráfico F x t nos fornece o Impulso de uma força. Só que não é tão simples determinar a área de uma curva como a que temos na figura 4. Como podemos contornar este problema?

Você já deve ter visto em algum lugar o valor da extensão territorial (área) de diversos países. O formato das fronteiras da maioria dos países, cidades e estados do mundo não é o de uma figura geométrica simples, como um quadrado ou triângulo. Ao contrário, as fronteiras são cheias de curvas e pontas. Entretanto, podemos utilizar uma figura geométrica simples, tal como um retângulo, que tenha a mesma área que a de um país. Por exemplo, a área do território brasileiro vale 8.514.876 km^2. Assim, um retângulo cujos lados valem respectivamente 1000 km x 8.514,876 km terá a mesma área que a do território nacional (lembre-se que a área de um quadrado é calculado multiplicando o valor de sua base pela sua altura, ou seja, A = b x h).

O mesmo raciocínio pode ser aplicado no caso da figura 4. Podemos representar um retângulo, cuja base é igual à variação do tempo (Δt). Existe um valor para a altura deste retângulo que fará com que ele tenha a mesma área que a da curva da figura 4. É exatamente isto que temos representado na figura 4 (b). Esta altura corresponde à uma determinada força, que chamaremos de força média. A interpretação desta força é bastante simples. Embora a força varie, o impulso gerado por esta força é o mesmo que o impulso gerado pela força média, por que as áreas, tanto da curva quando do retângulo, são iguais. Assim, se no lugar da força variável, aplicássemos a força média, teríamos ao fim o mesmo impulso!

Deste modo, temos que a força média respeitará a seguinte equação:

$$I_M = F_M \times \Delta t = Q - Q_0, \qquad (8)$$

ou seja, o impulso é igual a variação da quantidade de movimento. Logo, isolando a força média temos:

$$F_M = (Q - Q_0)/\Delta t. \qquad (9)$$

Vejamos alguns exemplos que nos ajudarão a entender um pouco mais a fundo o que acontece no momento de uma colisão (RC2).

Considere que duas pessoas estão jogando Tênis. Um dos jogadores prepara-se para fazer seu saque. Para tanto, ele arremessa a bolinha para cima, e no exato instante em que a bolinha atinge seu ponto mais alto, o jogador acerta a bolinha com a raquete (veja a figura 5).

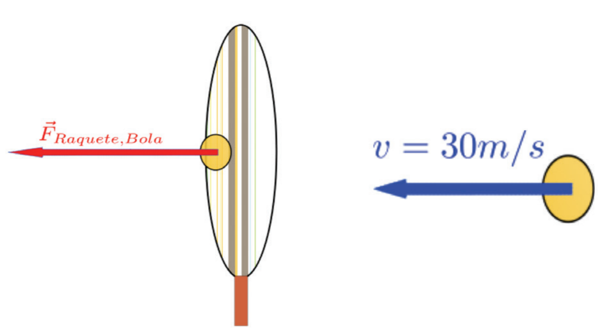


Figura 5: À esquerda, imagem da bola de Tênis, num instante da colisão da mesma com a raquete de Tênis. À direita, temos a bolinha, que adquire uma velocidade horizontal de 30 m/s após a colisão.

Como a bola de Tênis estava em repouso, sua quantidade de movimento antes da colisão é nula, ou seja, vale $Q_0 = m \times v = 0$.

Agora, imagine que após a colisão, a bola de Tênis tenha adquirido uma velocidade horizontal de módulo v = 50 m/s. Vamos considerar que a bolinha de Tênis tem uma massa de aproximadamente 60 g (0,06 kg). Se o tempo de contato entre a raquete e a bolinha vale Δs = 0,005 s, como faremos para determinar a força média aplicada pela raquete sobre a bolinha?

Bem, para fazer isto, vamos utilizar a equação (9):

$$F_M = (Q - Q_0)/\Delta t = m \times v/\Delta t, \qquad (10)$$

Como a bolinha estava em repouso antes da colisão, a quantidade de movimento inicial é nula, ou seja, $Q_0 = 0$. Assim, substituindo os valores na expressão acima, temos que

$$F_M = (0{,}06 \times 50)/0{,}005 = 600 \text{ N}.$$

A fim de comparações, a força média aplicada pela raquete sobre a bola de Tênis, neste caso, é 1000 vezes maior que a força Peso exercida pelo planeta Terra sobre a bolinha (P = m x g = 0,06 x 10 = 0,6 N)!

Outro exemplo interessante é o seguinte: considere a existência de um super-herói, desses de histórias em quadrinhos e filmes, tal como o Superman. Como todos sabemos, a pele do Superman é impenetrável, e as balas de revólver ricocheteiam sobre o corpo do homem de aço (veja a figura 6).

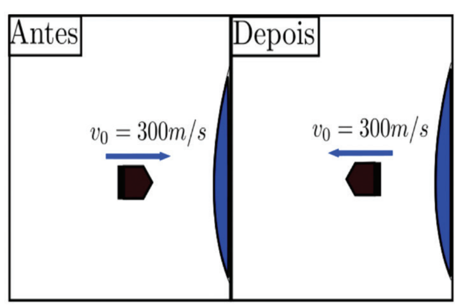


Figura 6: À esquerda, temos uma bala que atinge a pele do Superman, de tal modo que ela ricocheteia, e sua velocidade passa a apontar no sentido oposto, com o mesmo módulo que tinha antes da colisão (v = 300 m/s).

Se a massa da bala vale m = 8 g (0,008 kg) e o tempo de colisão da mesma com a pele do Homem de Aço vale Δt = 0,001 s, quanto valerá a força média que o projétil exerce sobre o corpo do Superman?

Utilizaremos novamente a equação 9. Desta vez, entretanto, a quantidade de movimento da bala antes da colisão não é nula. Como sabemos, a quantidade de movimento é uma grandeza vetorial. Assim, teremos (veja a figura 7):

$$\Delta Q = Q - Q_0 = m \times v - (-m \times v_o) = 2 \times m \times v = 2 \times 0{,}008 \times 300 = 4{,}8 \text{ kg} \times \text{m/s}$$

Como o tempo de colisão é de 0,001 s, temos então que a força exercida pelo projétil sobre a pele do Homem de Aço vale:

$$F_M = \Delta Q/\Delta t = 4{,}8/0{,}001 = 4.800 \text{ N}$$

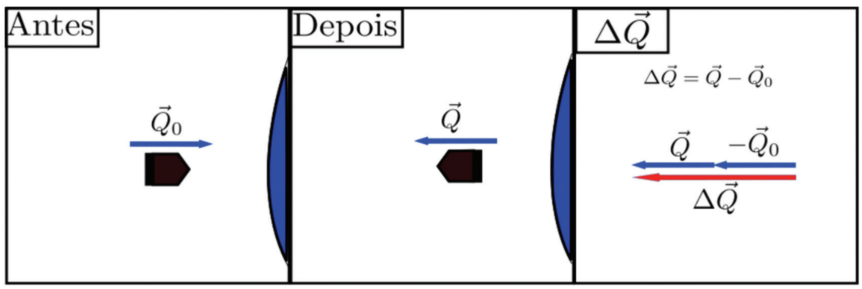


Figura 7: Representação da quantidade de movimento da bala, antes e depois da colisão. Temos também a representação da variação da quantidade de movimento da bala.

A força exercida equivale ao Peso de um objeto de 480 kg! Isto se torna ainda mais incrível se levarmos em conta que a área de contato entre a bala e a pele do Homem de Aço é muito pequena, o que levaria a uma enorme pressão exercida (lembre-se que p = F/A)!

Saiba Mais

Antigamente é que era bom...

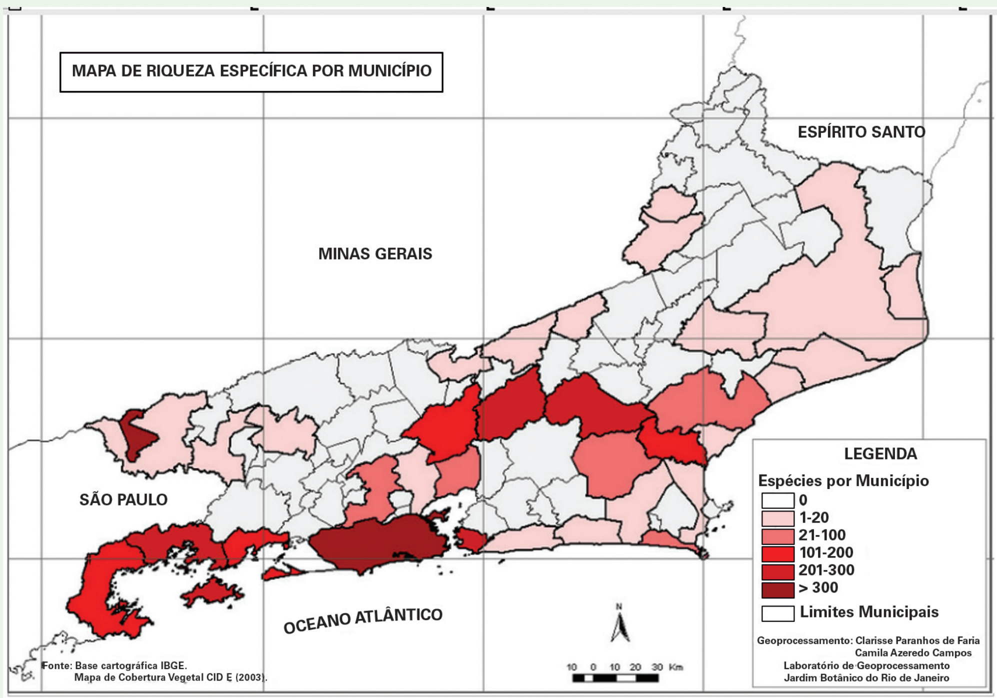
Em nosso dia a dia, frequentemente ouvimos alguma pessoa que entoa frases nostálgicas, que remetem a tempos antigos, onde as coisas eram melhores. Frases como, "Ah, não se fazem mais cervejas como antigamente!", ou "Os produtos de hoje em dia são muito vagabundos! A qualidade caiu muito!", são exemplos típicos.

Uma das situações onde se costuma empregar alguma frase deste tipo é aquela onde se comparam os carros atuais com os carros de antigamente. Os mais velhos dizem que os carros de antigamente eram muito mais resistentes, enquanto que os de hoje em dia, são feitos de um material mais frágil.

Isto é bem verdade, mas em parte, deve-se a questões de segurança. Quanto mais rígida for a lataria de um carro, menos ele se deformará numa colisão. Isto faz com que o tempo em que ocorre a colisão seja muito pequeno, e portanto, a força média deverá aumentar (lembre-se da área do retângulo na figura 4). Entretanto, caso o material seja mais maleável, ele se deformará mais, aumentando o tempo de colisão, e deixando-a um pouco mais suave para as vítimas de um acidente, uma vez que a força média diminuirá.

Agora vamos exercitar um pouco o que acabamos de discutir. Nestas atividades, você aplicará um pouco do que vimos com relação à Força Média e fará novamente Isolamento de Corpos (lembre-se das aulas de Leis de Newton). A partir daí, relacionaremos as Leis de Newton à Quantidade de Movimento e ao Impulso. Caso você sinta muita dificuldade em algumas das atividades, dê uma olhada na resolução. Entretanto, recomendamos fortemente que você só faça isso depois de pensar nos problemas e tentar resolvê-los.

Atividade 3



Sabendo que a área do Estado do Rio de Janeiro vale 43.696.054 km^2, obtenha as dimensões de um retângulo que tenha a mesma área do que a do nosso Estado.

Anote suas respostas em seu caderno

Atividade 4

Refaça o exemplo resolvido da bola de Tênis, considerando que a quantidade de movimento da bola não é nula. Suponha que a velocidade da bolinha antes da colisão é de 30 m/s, apontando no sentido da raquete.

Anote suas respostas em seu caderno

Atividade 5

Suponha que a bola de futebol da figura 1 estava em repouso antes do chute. Se a bola adquire uma velocidade de 20 m/s numa colisão que dura 0,01 s, determine a força média exercida pelo pé do jogador sobre a bola (a massa da bola vale 500 g). Como esta força se compara à força exercida pela bola sobre o pé do jogador?

Anote suas respostas em seu caderno

Atividade 6

Considere que um bloco A é arremessado sobre uma mesa sem atrito, de modo a obter uma certa velocidade inicial v_{0_A}. No primeiro caso, o bloco A colide com um bloco que chamamos de (1). O bloco (1) tem uma massa de 10 kg. Após a colisão entre A e 1, sabemos que o bloco A bate e recua, como podemos ver na figura a seguir.

O mesmo experimento é repetido, mas desta vez, colocamos no lugar do bloco (1) o bloco (2), que também tem massa igual a 10 kg. Entretanto, desta vez o bloco A fica parado após a colisão.

Atividade 6

a. Embora a massa dos blocos (1) e (2) sejam iguais (ambas valem 10 kg), a velocidade obtida pelo bloco A depois da colisão foi diferente para cada um deles. O que poderia explicar essa diferença?

b. Represente os diagramas de força para ambas as colisões, entre A e 1 e entre A e 2, em um instante qualquer da colisão.

c. Sabemos que o tempo de colisão entre os corpos em geral é bem pequeno (veja o link http://www.youtube.com/watch?v=Qhn3zvlJjyo). Suponha que neste caso, o tempo de colisão foi de "dt". Durante a colisão, o bloco A faz uma força de contato em (1) [ou em (2)], e pela Terceira Lei de Newton, o bloco (1) [ou o (2)] também fará uma força de contato no bloco A. Considere agora a resultante das forças que atuam em A ($F_{R,A}$) e a resultante das forças que atuam em (1) [(2)] [$F_{R,(1)}$ ($F_{R,(2)}$)] durante a colisão. Compare o Impulso $I_{R,A} = F_{R,A}dt$ e o Impulso $I_{R,(1)} = F_{R,(1)}dt$ ($I_{R,(2)} = F_{R,(2)}dt$) [lembrando que o Impulso é uma grandeza vetorial, você deverá comparar o módulo, a direção e o sentido destes dois vetores].

d. Utilize a relação entre impulso resultante e variação da quantidade de movimento (equação 8) para comparar a variação da quantidade de movimento dos blocos que colidem em ambos os casos. Quanto vale a variação da quantidade de movimento do sistema A e 1 (e do sistema A e 2)?

Anote suas respostas em seu caderno

Seção 3

Atenção! Quantidade de movimento conservada a frente!

O resultado mais importante da atividade 6 é o seguinte:

"Quando dois (ou mais) corpos colidem, a quantidade de movimento do sistema composto pelos 2 (ou mais) corpos se conservará se a resultante das forças que atuam sobre o sistema for nulo."

Podemos sintetizar essa frase através da seguinte relação:

$$Q_{Antes} = Q_{depois}, \qquad (11)$$

onde Q_{antes} representa a quantidade de movimento do sistema antes da colisão (RC3), e Q_{depois} representa a quantidade de movimento do sistema depois da colisão.

Vejamos novamente o caso da Atividade 6. Cada um dos blocos que compõem o sistema sofre a ação da força Peso, da força Normal e da força que um exerce no outro (e vice-versa). A força Peso cancela-se com a força Normal para cada um dos blocos; já a força que A exerce em (1) [ou (2)] é igual à força que (1)[ou (2)] exerce em A. Quando consideramos o sistema formado por ambos os blocos que colidiram, este par ação-reação se anulará, da mesma maneira que ocorreu com o Barão de Munchausen, na unidade 3 do Fascículo 1. Assim, podemos dizer que em uma colisão, a quantidade de movimento de um sistema se conserva.

Agora que sabemos quando que a quantidade de movimento de um sistema não se altera quando ocorrem colisões, podemos aplicar este conhecimento para analisar o que ocorrem em diversos tipos de colisões. Por exemplo, considere que um projétil é arremessado sobre um bloco de madeira, de tal maneira que ambos os corpos fiquem juntos após a colisão (veja a figura 8). Os dados do exemplo são: $m_{BALA} = 10$ g, $m_{BLOCO} = 500$ g e $v_0 = 500$ m/s.

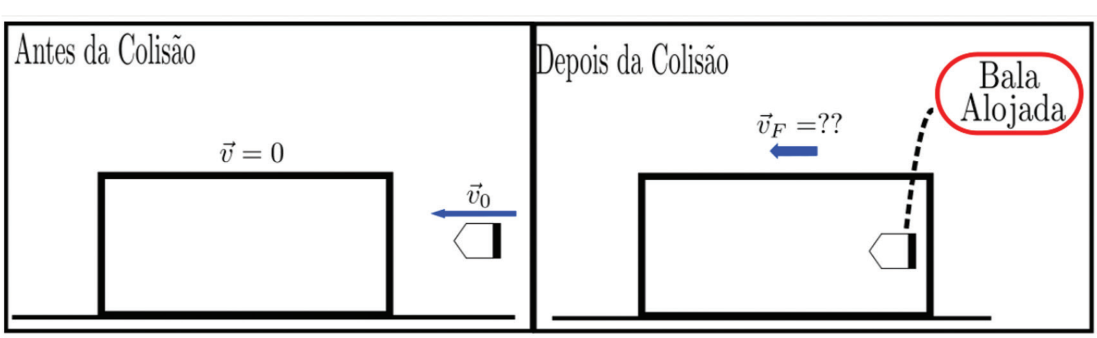


Figura 8: À esquerda, temos a bala, num instante um pouco anterior ao instante da colisão. Já na imagem da direita, temos a situação final, onde a bala fica alojada sobre o bloco.

Se considerarmos o que acontece um pouco antes da colisão, temos que a velocidade do projétil vale 500 m/s, e portanto, para o sistema bala e caixa, temos que a quantidade de movimento antes da colisão é de

$$Q_{ANTES} = m_{BLOCO} \times 0 + m_{BALA} \times v_0 = 10 \times 500 = 5.000 \text{ g} \times \text{m/s}, \qquad (12)$$

uma vez que o bloco estava em repouso. Repare que deixamos ambas as unidades de massa em gramas ao invés de quilogramas. Neste caso podemos fazer isto. Veremos o motivo a seguir.

Durante a colisão, a bala exerce uma força sobre a caixa. Pela Terceira Lei de Newton, esta força deve ser igual à força que a caixa exerce na bala. Isto significa que a quantidade de movimento total deve ser a mesma, tanto antes da colisão, quanto depois. Logo após a colisão, a bala fica encrustada na caixa. Deste modo, podemos imaginar que agora temos apenas um único corpo, cuja massa é a soma da massa da caixa mais a massa da bala. Assim, a quantidade de movimento ao final da colisão é

$$Q_{DEPOIS} = (m_{BLOCO} + m_{BALA}) \times v_F = (510 \text{ g}) \times v_F, \qquad (13)$$

Igualando a equação (12) à (13), temos:

$$5.000 \text{ g} \times \text{m/s} = 510 \text{ g} \times v_F \longrightarrow v_F = 5.000/510 \text{ m/s} = 9{,}80 \text{ m/s}, \qquad (14)$$

(deixamos as massas em gramas por que, conforme pode-se ver na equação 14, as unidades se cancelam). Repare que a velocidade do sistema bloco + projétil é consideravelmente alta! Imagine agora que esse bloco tivesse uma massa de um ser humano. Para facilitar as contas, vamos considerar uma massa de 80 kg (80.000 g). Basta substituir este número no lugar de 500 g (como fizemos na equação 5) e refazer as contas. Você descobrirá que a velocidade final é de fato bem pequena quando comparada ao resultado da equação 14. Por este motivo, armas de baixo calibre não projetam alvos para trás, conforme comumente se retrata em filmes de ação (e as balas tem uma massa e velocidade um pouco menores do que os das estimativas que fizemos).

Outro exemplo bastante interessante e simples, que nos permite entender um pouco como se dá o processo de fragmentação de explosivos e similares é o seguinte. Considere que uma granada explode em apenas dois pedaços, onde um dos pedaços tem massa $m_1 = 150$ g, e o outro, $m_2 = 250$ g (veja a figura 9). Conhecemos a velocidade final adquirida pela massa m_1 ($v_1 = 1500$ m/s) , mas desconhecemos v_2.

Antes de explodir, a velocidade da granada é nula, e portanto temos:

$$Q_{ANTES} = (m_{GRANADA}) \times 0 = 0 \text{ g} \times \text{m/s} \qquad (15)$$

Como a quantidade de movimento também se conserva neste caso (uma vez que o movimento da granada se deve apenas a forças internas, que se anulam por causa da Terceira Lei de Newton), temos que

$$Q_{DEPOIS} = Q_1 + Q_2 = - m_1 \times v_1 + m_2 \times v_2 = - (150\ g) \times 1500\ m/s + (250\ g) \times v_2\ . \qquad (16)$$

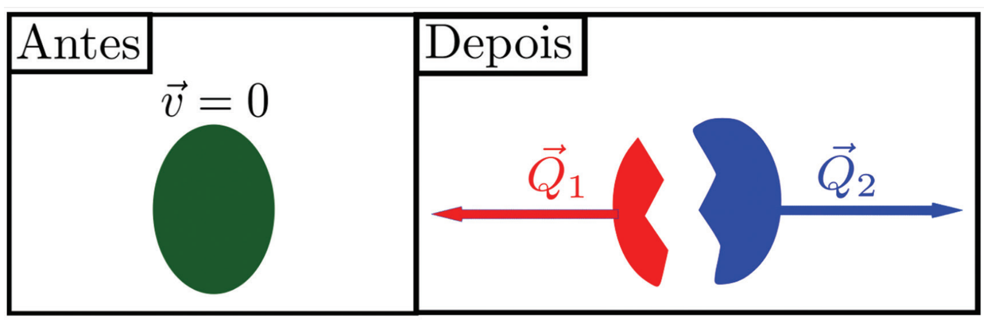


Figura 9: À esquerda, temos uma granada, que estava em repouso alguns instantes antes da sua explosão. À direita, temos os dois fragmentos da granada, logo após a explosão.

Repare que Q_1 foi escrito como sendo negativo na equação 16. Fizemos isto por que a quantidade de movimento é uma grandeza vetorial. Deste modo, escolhemos como positivo o sentido da esquerda para a direita (para esta escolha, temos que Q_2 é positivo e Q_1 é negativo).

Como temos que a quantidade de movimento é a mesma tanto antes quanto depois de uma colisão (lembre-se da equação 11), igualaremos 15 e 16, de modo que

$$- 2{,}25 \times 10^5\ g \times m/s + 250\ g \times v_2 \longrightarrow v_2 = 900\ m/s \qquad (17)$$

Devemos nos lembrar, entretanto, que a quantidade de movimento é uma grandeza vetorial, e, portanto, tem módulo, direção e sentido.

Neste caso, assim como no exemplo anterior, o movimento dos corpos ocorre em apenas uma dimensão: os corpos só podem se movimentar para a esquerda ou para a direita. Deste modo, precisamos escolher uma orientação para resolver o exemplo. Se escolhermos que o sentido positivo é o que aponta para a direita, a quantidade de movimento Q_2 será positiva, enquanto que a quantidade de movimento Q_1 será negativa. Escolhendo como positivo o sentido que aponta para a esquerda, teremos o inverso: Q_2 será negativo e Q_1, positivo.

Escolhendo como positivo o sentido que aponta da direita para a esquerda, teríamos:

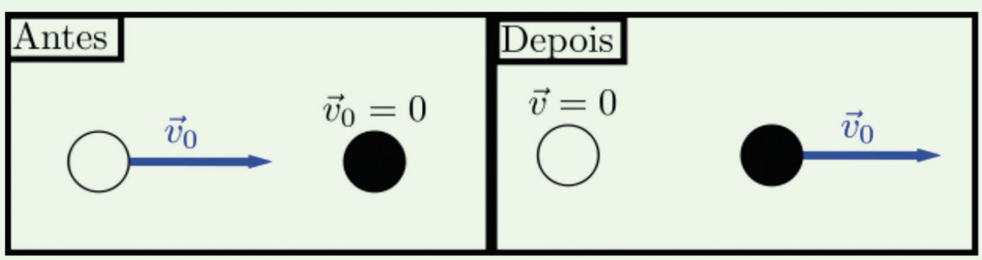
$$Q_{DEPOIS} = Q_1 + Q_2 = m_1 \times v_1 - m_2 \times v_2 = +(150\ g) \times 1500\ m/s - (250\ g) \times v_2 \qquad (18)$$

Agora, refaça as contas deste exemplo utilizando a equação 18 ao invés da equação 16. O resultado é diferente? Como você interpreta este resultado?

Feita essa discussão, propomos à você algumas atividades, onde aplicaremos os conceitos físicos que estamos estudando a mais alguns exemplos de colisões aos quais o leitor também possa estar familiarizado.

Atividade 7

Imagine que estamos jogando sinuca. Um dos jogadores faz uma tacada, arremessando a bola branca na direção da bola preta. Veja a seguir a representação esquemática das bolas de bilhar, antes e depois da colisão entre ambas.



Considerando que a colisão é unidimensional (as bolinhas só se movimentam em uma linha reta), sabendo que a velocidade inicial da bola branca é de 50 cm/s e que após a colisão a bola branca fica em repouso, utilize a conservação da quantidade de movimento para determinar qual será a velocidade final da bola preta.

Considere dois casos:

a. A massa das bolas são iguais e ambas valem 150 g.

b. A massa da bola branca vale 200 g e a da preta vale 150 g.

Anote suas respostas em seu caderno

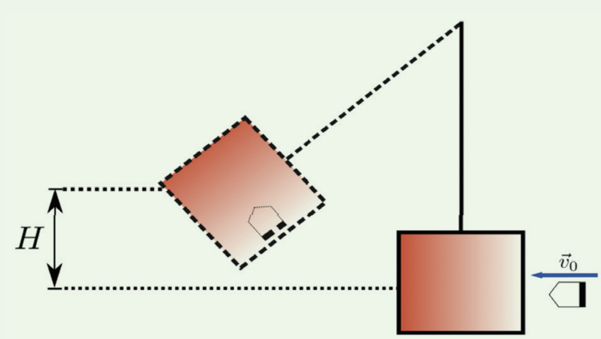
Algumas crianças estão jogando bola de gude. Suponha que as massas das bolas de gude são iguais e valem 10 g. A colisão entre as bolas é unidimensional. Antes da colisão a velocidade inicial da bola verde vale 1 m/s e a bola azul inicialmente está parada. Sabendo que a velocidade final da bola verde vale 0,4 m/s, determine a velocidade que a bola azul adquire após a colisão.

Atividade 8

Anote suas respostas em seu caderno

Considere que uma empresa armamentícia deseja fazer alguns testes balísticos. Para isto, ela amarrou um bloco de madeira de 5 kg a uma corda, e a prendeu no teto do laboratório onde serão feitos os testes. Em seguida, um projétil é disparado em direção ao bloco. Sabendo que antes de penetrar no bloco a velocidade da bala é de 500 m/s, e que a massa do projétil é de 10 g, determine a altura que o sistema projétil + bloco atingirá após a colisão (veja a figura a seguir). Dica: Para resolver essa atividade você pode considerar útil estudar novamente a aula de conservação de energia mecânica.

Atividade 9



Anote suas respostas em seu caderno

Recursos Complementares

1

Impulso e quantidade de movimento

Link: http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/bitstream/handle/mec/19192/index.htm?sequence=105

Descrição: Esta plataforma de aprendizagem contempla o estudo relacionado ao conceito de impulso e quantidade de movimento. O conceito do impulso foi analisado na ótica da 2ª Lei de Newton, com uma pequena discussão do que acontece no processo de interação do ponto de vista microscópico. Logo a seguir, relembramos o conceito sobre quantidade de movimento. Mostramos que na ausência de forças externas que atuam num determinado sistema, existe a conservação da quantidade de movimento. No nosso dia a dia existem inúmeras aplicações que envolvem os conceitos relacionados a impulso e quantidade de movimento.

Informações adicionais: O recurso apresentado se trata de uma mídia complexa que contém um simulador (interativo), elementos de vídeo (que também servem de canal de acessibilidade aos usuários que tenham deficiência visual ou auditiva) e referenciais teóricos que são apresentados como forma de possibilitar o avanço no entendimento dos problemas que são propostos e na própria avaliação, como elementos de aprendizagem

2

Colisões e quantidade de movimento.

Link: http://www.labvirt.fe.usp.br/simulacoes/fisica/sim_energia_trombadas.htm

Descrição: Esse recurso trabalha o conceito de quantidade de movimento antes e depois de um choque ocorrido entre carros/caminhões de diferentes massas e velocidades.

3

Conservação da quantidade de movimento

Link: http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnica.html?id=30414

Descrição: Esse software tem por objetivo desenvolver habilidades para relacionar aspectos do entorno social à fenomenologia da Física, vencendo expectativas meramente propedêuticas; desenvolver capacidade para delinear o contorno de problemas e buscar, por via investigativa, suas possíveis soluções; elaborar intelectualmente a modelagem do conhecimento, ou sua produção, à medida que ao serem apresentados problemas, de forma contextualizada, o usuário é convidado/desafiado a resolvê-los; oportunizar uma maior abrangência dos aspectos tecnológicos relacionados ao desenvolvimento da Física, sem perder de vista sua historicidade. Complementar lacuna tecnológica e técnica devida à inexistência de equipamentos dedicados à experimentação em Física, com vistas a uma Educação Científica e Tecnológica de qualidade.

Resumo

Neste módulo, introduzimos duas grandezas físicas, o Impulso e a Quantidade de movimento, que são bastante importantes no estudo das colisões. Vimos também o conceito de Força Média, que nos permite fazer algumas estimativas a respeito da força que os objetos exercem entre si conforme colidem.

Além disto, realizamos uma análise a respeito do que acontece com a quantidade de movimento dos objetos quando eles colidem. Vimos que a Terceira Lei de Newton e o curto intervalo de tempo de grande parte das colisões nos permite dizer que a Quantidade de Movimento de todo o Sistema se conserva, isto é, a Quantidade de Movimento total inicial (antes da colisão) deve ser igual à final (após a colisão).

Veja ainda...

Caso o leitor deseje aprofundar-se ainda mais no tema, dispomos à seguir alguns links com vídeos e discussões interessantes.

- **Pato Donald no país da Matemágica** – *http://www.youtube.com/watch?v=TphWfs_OXkU*: Uma animação muito divertida, que discute de maneira lúdica a importância da matemática, bem como a existência de padrões matemáticos em fenômenos naturais e humanos. Ela discute o caso da sinuca, que discutimos aqui do ponto de vista físico.
- **Vídeo aula de colisões unidimensionais** – *http://www.geograficamentecorreto.com/2011/09/geograficamente-vestibulando-video-aula_1314.html*: Vídeo aula que discute um pouco do que vimos nesta unidade, bem como alguns tópicos que não exploramos. Discute-se o motivo de as colisões conservarem a Quantidade de Movimento do Sistema, dentre outros detalhes. Pode servir para que você reveja alguns dos conceitos que discutimos.

Respostas das Atividades

Atividade 1

Utilizando a equação (1), temos:

$I = F \times \Delta t = 10\ N \times 5\ s = 50\ N \times s.$

Se desejamos aumentar o Impulso, das duas uma (ou ambas): ou aumentamos a força, ou o intervalo de tempo durante o qual aplicamos esta força.

Atividade 2

Justificativa: embora pareça razoável à primeira vista, esta afirmação não está correta. De fato, o intervalo de aplicação da força é pequeno. Entretanto, a Força Média é grande, e a variação da Quantidade de Movimento (e por consequência, o Impulso) da bola também é.

Atividade 3

Há diversas possibilidades de resposta, uma vez que a área de um retângulo vale $A = b \times h$. A seguir, dispomos algumas delas.

b = 10.000 km	h = 4.369,6054 km	(A = 43.696.054 km^2)
b = 1.000 km	h = 43.696,054 km	(A = 43.696.054 km^2)
b = 100 km	h = 436.960,54 km	(A = 43.696.054 km^2)

...

Na verdade, há uma infinidade de combinações. Não perca muito tempo tentando enumerar todas elas.

Atividade 4

A resolução desta atividade é muito similar à do exemplo do Superman. Em ambos os casos, os objetos que colidem invertem os sentidos de suas velocidades, porém mantendo o mesmo módulo. Aplicando a equação 10 (lembrando-se novamente do caráter vetorial da Quantidade de Movimento, escolhemos como positivo o sentido da direita para a esquerda - veja a figura 5), temos que:

$$F_{MÉDIA} = (Q - Q_0)/\Delta t = (2 \times m \times v)/\Delta t = (2 \times 0{,}06 \times 50)/0{,}005 = 1200\ N$$

Atividade 5

Aplicaremos a equação 10 para os dados deste problema. Para a bola, temos que

$$F_{MÉDIA} = \Delta Q/\Delta t = (\ m_{BOLA} \times v - m_{BOLA} \times 0)/0{,}01\ s = 0{,}5 \times 2000 = 1000\ N$$

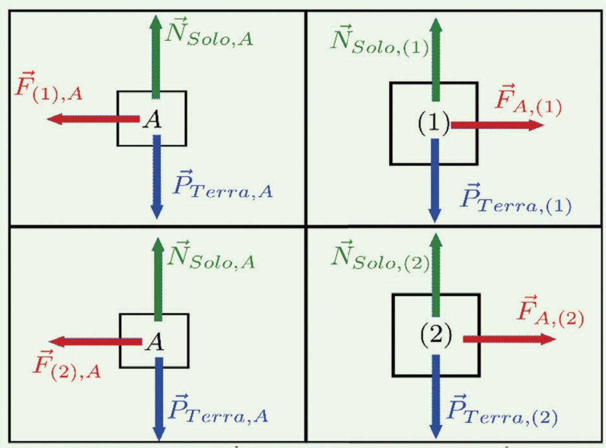
Esta força equivale ao Peso de um objeto de 100 kg! Finalmente, devido à Terceira Lei de Newton, a força que o pé do jogador exerce na bola é igual à força que a bola exerce sobre o pé do jogador.

Atividade 6

a. Bem, podemos fazer um experimento muito simples que elucidará essa questão. Pegue um dessas bolinhas pula-pula (também conhecidas como bolinha perereca). Faça uma bolinha de papel alumínio, amassando uma folha, acrescentando mais alumínio, até que as massas de ambas as bolinhas sejam muito próximas (você pode inclusive utilizar uma balança para determinar se as massas estão mesmo parecidas). Eleve-as de uma mesma altura e deixe-as cair simultaneamente sobre uma mesma superfície. Embora ambas cheguem juntas, você notará que uma delas quica muito mais alto que a outra. Isso ocorre por que a bolinha de alumínio se deforma ao entrar em contato com o chão.

Entretanto, após deformar-se, a bolinha de alumínio não retoma a sua forma original, absorvendo grande parte da energia associada à colisão. Pelo material da perereca ser diferente (ela é feita de um polímero) o efeito é diferente. A bolinha perereca também se deforma, porém, ela volta a seu estado original, mantendo a sua energia cinética quase intacta.

Deste modo, podemos dizer que os materiais dos blocos 1 e 2 devem ser diferentes, embora ambos tenham a mesma massa. Um deles absorve uma pequena parte de energia e o outro grande parte dela.



Se numa colisão, os corpos não absorvem nenhuma parcela da energia cinética para si mesmos, dizemos que esta colisão é elástica (a energia mecânica se conserva). Quando os corpos absorvem parte da energia, dizemos que a colisão é inelástica (a energia mecânica não se conserva).

b. Na parte de cima da figura a seguir, temos o isolamento de forças dos corpos A e (1), durante a colisão de ambos. Na parte de baixo, na mesma figura, temos o mesmo, só que para os corpos A e (2).

No item c, discutiremos a relação entre as forças que os corpos exercem um no outro durante a colisão.

c. Podemos aplicar a Terceira Lei de Newton para analisar a figura do item anterior. Em ambas as colisões, a força que A faz em 1 (e 2) é igual à força que 1 (e 2) exerce em A. Como podemos ver na figura 5, a força varia com o tempo. Entretanto pela Terceira Lei podemos dizer que em qualquer instante da colisão, as duas forças citadas acima são sempre iguais [por exemplo, se em t = 0,01 a força que A exerce em (1) vale 10 N, a força que (1) exerce em A também valerá 10 N. Se em t = 0,02 a força que A exerce em (1) vale 40 N, a força que (1) exerce em A também valerá 40 N. O mesmo se aplica à colisão entre A e (2). Desse modo, podemos comparar o impulso resultante sobre cada uma delas (veja a figura abaixo).

   Vemos que os impulsos são iguais em módulo e direção, porém os sentidos desses impulsos são contrários (tem o mesmo sentido das forças resultantes em cada bloco). As forças que cada um dos corpos exerce sobre o outro devem ser sempre iguais em módulo e direção. Só representamos o caso da colisão entre A e (1), mas algo similar ocorre com a colisão entre A e (2). Vemos que os impulsos são iguais em módulo e direção, porém os sentidos desses impulsos são contrários (tem o mesmo sentido das forças resultantes em cada bloco).

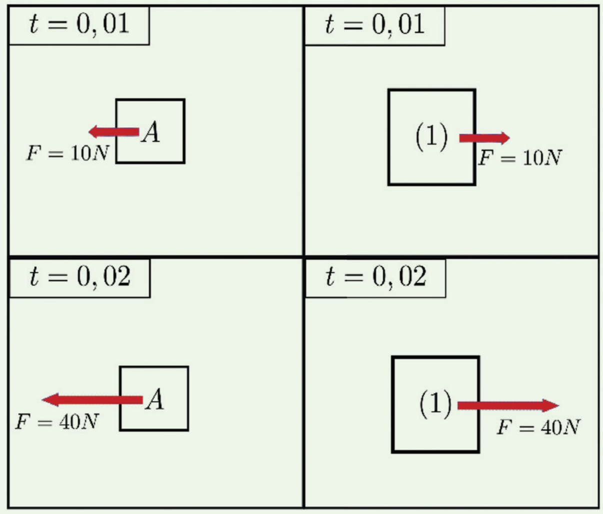
d. Conforme vimos no item c, o módulo do impulso resultante sobre A é sempre igual ao módulo do impulso resultante em 1 (e 2). Lembre-se da equação 9:

$$I_R = \Delta Q$$

   Já que os impulsos resultantes são iguais, para ambas as partículas que colidem [tanto A e (1) quanto A e (2)], temos que a variação da quantidade de movimento de ambos os blocos que colidem se comportará da mesma maneira que o impulso: para os blocos que colidem, as variações de quantidade de movimento de ambos serão iguais em módulo e direção, mas seus sentidos serão contrários.

   Por fim, se desejamos saber a variação da quantidade de movimento do sistema, devemos somar dQ para cada um dos elementos que compõem esse sistema. Assim, temos:

$$\Delta Q_{SISTEMA} = \Delta Q_A + \Delta Q_1 = 0,$$



Atividade 7

Aplicando a equação 11 (e escolhendo como positivo o sentido da esquerda para a direita) temos:

$$Q_{ANTES} = Q_{DEPOIS}$$

$$m_{BRANCA} \times v_0 + m_{PRETA} \times_0 = m_{BRANCA} \times_0 + m_{PRETA} \times v$$

$$m_{BRANCA} \times v_0 = m_{PRETA} \times v$$

$$m_{BRANCA} \times 50 \text{ cm/s} = 150 \text{ g} \times v$$

Agora, basta substituir de m_{BRANCA} como sendo 150 g em (a) e 200 g em (b).

Atividade 8

Esta atividade é bastante similar à atividade anterior. Utilizaremos novamente a equação 11:

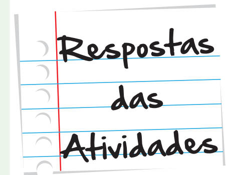
$$Q_{ANTES} = Q_{DEPOIS}$$

$$m_{VERDE} \times v_0 + m_{AZUL} \times 0 = m_{VERDE} \times v_1 + m_{AZUL} \times v_2$$

$$10 \text{ g} \times 1 \text{ m/s} = 10 \text{ g} \times 0{,}4 \text{ m/s} + 10 \text{ g} \times v_2$$

$$v_2 = 0{,}6 \text{ m/s}.$$

Atividade 9



Primeiramente, podemos determinar a velocidade do sistema projétil + bloco utilizando a equação 11:

$$Q_{ANTES} = Q_{DEPOIS}$$
$$m_{BLOCO} \times 0 + m_{PROJÉTIL} \times v_0 = (m_{BLOCO} + m_{PROJÉTIL}) \times v$$
$$10 \text{ g} \times 500 \text{ m/s} = (5010 \text{ g}) \times v$$
$$v = 0{,}998 \sim 1{,}0 \text{ m/s.}$$

Agora, para determinar a altura máxima que o sistema atingirá, utilizaremos a Conservação da Energia Mecânica (veja a unidade 4), que diz que na ausência de forças dissipativas, a Energia Mecânica de um sistema se conserva. Escolhendo o ponto mais baixo da trajetória do Sistema projétil + bloco como sendo o ponto em que a Energia Potencial Gravitacional é nula, temos, escolhendo como ponto final o ponto mais alto da trajetória, que:

$$E_{MECÂNICA\ INICIAL} = E_{MECÂNICA\ FINAL}$$
$$E_{CINÉTICA\ INICIAL\ DO\ SISTEMA} = E_{POTENCIAL\ FINAL\ DO\ SISTEMA}$$
$$(1/2) \times (m_{BLOCO} + m_{PROJÉTIL}) \times v_2 = (m_{BLOCO} + m_{PROJÉTIL}) \times g \times h$$
$$(1/2) = 10 \times h$$
$$h = 0{,}05 \text{ m} = 5 \text{ cm}$$

Utilizamos também o fato de que no ponto mais alto de sua trajetória, a velocidade do sistema projétil + bloco vale 0 (e portanto, sua energia cinética também é nula).

Bibliografia

- HEWITTT, P. G. **Física Conceitual**. Ed. Bookman, 2008.
- GUIMARAES, L. A. M., FONTE BOA, M. C. **Física Mecânica**, Ed. Futura, 2004.

Imagens

- André Guimarães

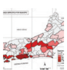
- http://www.sxc.hu/photo/1326077 - Alfredo Camacho

- http://www.sxc.hu/photo/1115083 - Andrzej Skwarczyński

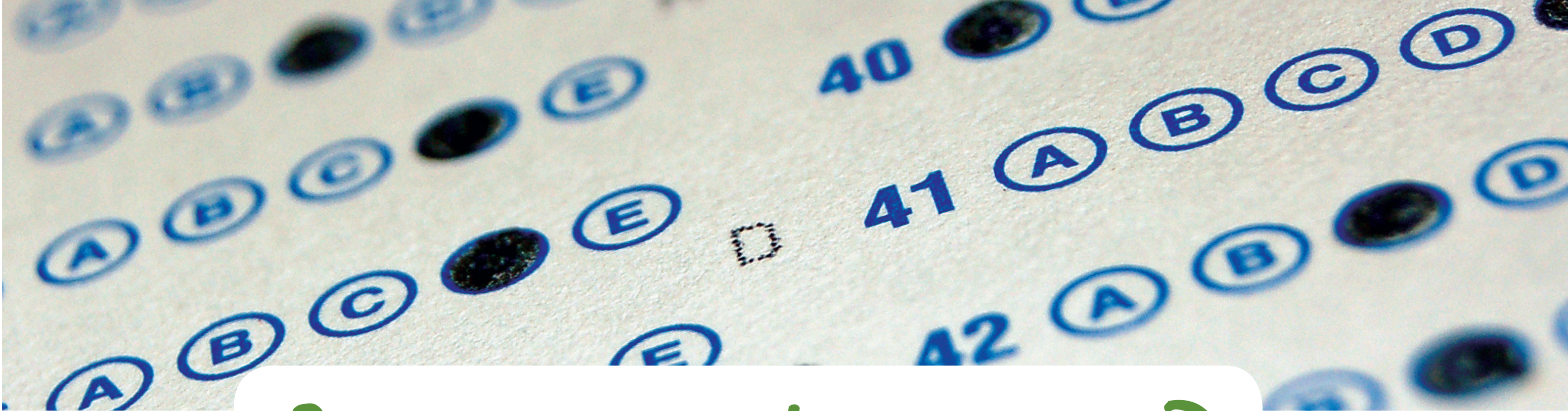
- http://www.sxc.hu/photo/1013903

- http://www.sxc.hu/photo/1166518 - Michal Zacharzewski

- http://www.sxc.hu/photo/1104313



- http://www.jbrj.gov.br/pesquisa/div_tax/briofitas/mapas.htm



O que perguntam por aí?

Questão 1 (VUNESP)

Um bloco de madeira de 6,0kg, dotado de pequenas rodas com massa desprezível, repousa sobre trilhos retilíneos. Quando uma bala de 12g disparada horizontalmente e na mesma direção dos trilhos se aloja no bloco, o conjunto (bloco + bala) desloca-se 0,70m em 0,50s, com velocidade praticamente constante. A partir destes dados, pode-se concluir que a velocidade escalar da bala é, em m/s, aproximadamente igual a:

a. $5{,}0 . 10^2$

b. $6{,}0 . 10^2$

c. $7{,}0 . 10^2$

d. $8{,}0 . 10^2$

e. $9{,}0 . 10^2$

Questão 2 (FUVEST)

Um vagão A, de massa 10t, move-se com velocidade escalar igual a 0,40m/s sobre trilhos horizontal sem atrito até colidir com um outro vagão B, de massa 20t, inicialmente em repouso. Após a colisão, o vagão A fica parado. A energia cinética final do vagão B vale:

a. 100J

b. 200J

c. 400J

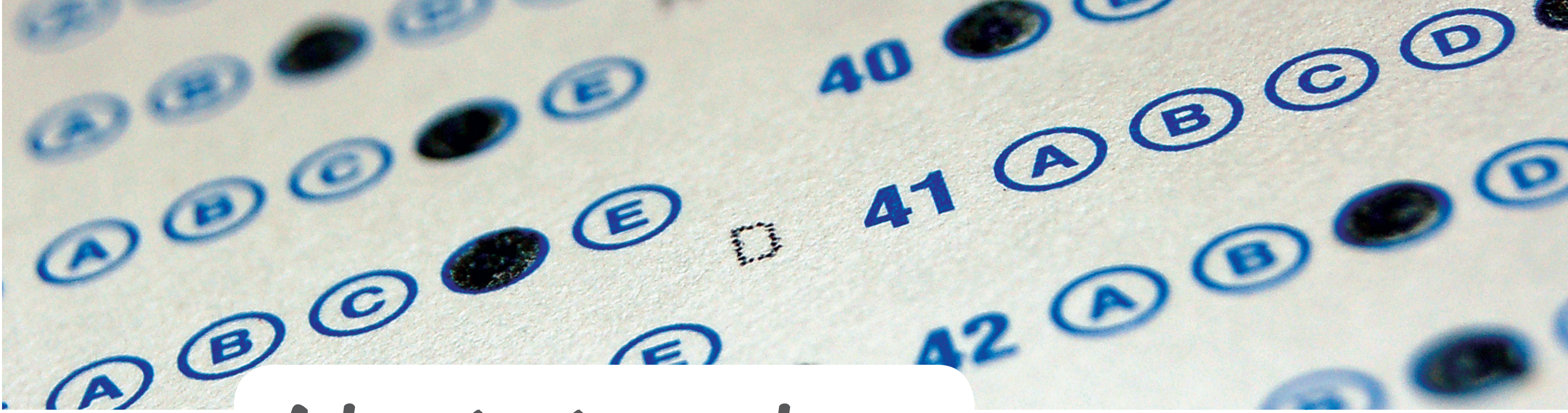
d. 800J

e. 1 600J

Gabarito

1. C

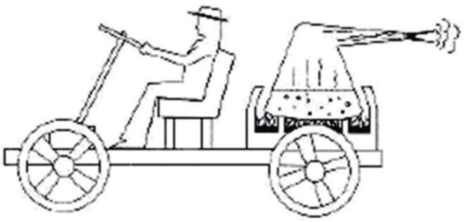
2. C



Atividade extra

Questão 1

A figura a seguir ilustra a concepção de um antigo carro a vapor.



A explicação para o movimento do veículo é fundamentada na(o):

a. Lei da Inércia.

b. Conservação da Energia Potencial.

c. Princípio Fundamental da Hidrostática.

d. Conservação da Quantidade de Movimento.

Questão 2

Duas esferas A e B, de massas mA = 4 kg e mB = 5 kg, colidem de forma perfeitamente elástica, como indica a figura. Suas velocidades, em módulo, antes do choque são respectivamente iguais a 8 m/s e 6 m/s (despreze os atritos).

O módulo da quantidade de movimento do sistema constituído pelas duas esferas imediatamente após o choque, em N.s, é igual a

a. 62;

b. 32;

c. 8;

d. 2.

Questão 3

O gordo e o magro estão patinando sobre o gelo. Em um dado instante, em que ambos estão parados, o gordo empurra o magro.

Desprezando o atrito entre os patins e o gelo, o magro adquire velocidade:

a. maior que a do gordo;

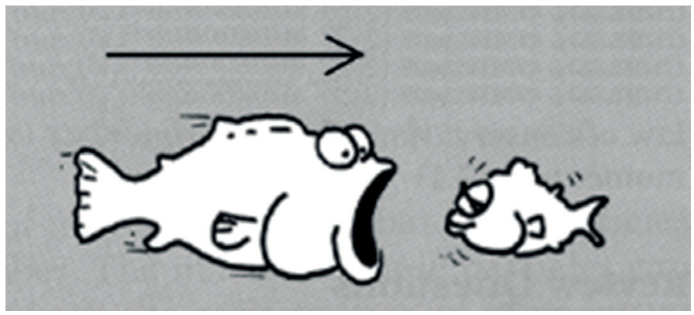
b. menor que a do gordo;

c. igual à do gordo e de mesmo sentido;

d. igual à do gordo, mas em sentido oposto.

Questão 4

Um peixe de 4 kg, nadando com velocidade de 1,0 m/s, no sentido indicado pela figura, engole um peixe de 1 kg, que estava em repouso, e continua nadando no mesmo sentido.



A velocidade, em m/s, do peixe maior, imediatamente após a ingestão, é igual a:

a. 1,0;

b. 0,8;

c. 0,6;

d. 0,4.

Questão 5

Para bater uma falta, durante uma partida de futebol, um jogador chuta a bola, exercendo uma força média de 200 N, em um intervalo de tempo de 0,01 s.

Responda as questões a seguir:

a. Determine o impulso fornecido à bola.

b. O que o jogador deve fazer para aumentar o impulso aplicado por esta força?

Gabarito

Questão 1

A	B	C	D
○	○	○	●

Questão 2

A	B	C	D
○	○	○	●

Questão 3

A	B	C	D
●	○	○	○

Questão 4

A	B	C	D
○	●	○	○

Questão 5

a. Utilizando a equação $I = F \times \Delta t$ $I = 200\ N \times 0{,}01\ s = 2{,}0\ N \times s$.

b. Para aumentar o impulso aplicado por esta força, das duas uma (ou ambas): o jogador pode aumentar a força, ou o intervalo de tempo,durante o qual ele aplica esta força.