

Bola sete na caçapa do fundo



Cansado de uma semana de trabalho bastante puxada, Gaspar resolveu dar uma saidinha e ir até o Bar da Sinuca. Gaspar encontra seus compadres, bebem juntos uma cervejinha e jogam umas partidas de sinuca.

Gaspar encontra Maristela, sua velha amiga, com quem sempre joga, mas de quem nunca ganhou.

Como sempre, Maristela o convida para um joguinho. Começam então a pejeja. “Bola vermelha na caçapa do meio”, anunciou Gaspar, que jurou vencer a amiga dessa vez.

O nervosismo começou a crescer; uma a uma, as bolas iam sendo encaçapadas. Os outros amigos de Gaspar e Maristela, percebendo que dessa vez Gaspar tinha chances de vitória, aproximaram-se para ver aquela disputada partida.

As apostas começaram por todo o bar. Muitos já conheciam a fama de Maristela e, sem dúvida, apostaram na sua vitória. Outros, vendo Gaspar tão animado, não tiveram dúvida e apostaram nele.

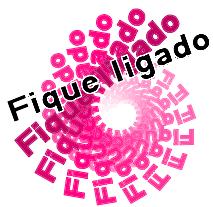
O jogo continuou, descontraído na platéia, mas nervoso, entre os jogadores. Maristela percebeu que Gaspar havia treinado muito, pois estava jogando muito melhor. Gaspar percebeu que, realmente, tinha chances de vencer o jogo e começou a se empenhar ao máximo.

Depois de muitas bolas encaçapadas, o jogo estava chegando ao final. Nesse momento, até a torcida estava nervosa. Restava somente a bola sete, a preta. O jogo estava empatado e era a vez de Gaspar dar a tacada.

“Bola sete na caçapa o fundo”, gritou Gaspar confiante na vitória, diante de uma Maristela assustada com a possibilidade de, pela primeira vez, perder um jogo para Gaspar.

Gaspar se preparou para a tacada final, pensando consigo: “Basta dar uma tacada na direção da caçapa, com muito, muito cuidado, e eu ganho este jogo”.

Será verdade que basta mirar a caçapa e ter muito, muito cuidado na tacada para encaçapar? O que é necessário fazer para que a bola entre na caçapa?



Choques

Toda vez que vemos um acidente de trânsito, dizemos que houve uma **batida**, ou seja, houve um choque entre dois ou mais veículos. Num jogo de tênis, os jogadores batem com suas raquetes na bola, para rebatê-la; num jogo de boliche, a bola se choca com os pinos, derrubando-os; num jogo de golfe, o jogador dá uma tacada na pequena bolinha, arremessando-a para bem longe.

Outro jogo que envolve tacada é o beisebol, onde uma bola muito dura é arremessada pelo lançador e o rebatedor tenta acertá-la com o taco, a fim de arremessá-la o mais longe possível.



Figura 1. Em todos esses exemplos, existe uma coisa em comum: o choque entre pelo menos dois objetos.

Como já vimos, **impulso** é a grandeza que descreve o que ocorre quando uma força é aplicada sobre um objeto num intervalo de tempo Δt . Logo, essa é uma boa grandeza para compreendermos os exemplos acima, inclusive o exemplo do jogo de sinuca.

E qual é a relação entre **impulso** e **choque**? Quando duas bolas se chocam, elas exercem uma força uma sobre a outra. Isso provoca uma variação do estado de movimento, nas duas bolas. Ou seja, quando um impulso é dado a uma bola, uma força é exercida sobre ela, alterando sua velocidade, isto é, alterando sua quantidade de movimento.

No caso do choque de duas bolas, as duas têm seu estado de movimento alterado, pois, pela terceira lei de Newton, quando um objeto exerce força sobre outro, este também exerce uma força sobre o primeiro.

Vamos lembrar da relação entre impulso e quantidade de movimento, vista na aula passada:

$$\vec{I} = \Delta \vec{q} = m \cdot \vec{v}_{\text{final}} - m \cdot \vec{v}_{\text{inicial}}$$

isto é, quando uma bola sofre a ação de uma força, se conhecemos sua massa e sua velocidade, antes e depois do choque, saberemos o valor do impulso dado a essa bola.

Qual será o **impulso total do sistema** se, em vez de nos preocuparmos com o comportamento de uma só bola, considerarmos as duas bolas?

Princípio da conservação da quantidade de movimento

Para comparar alguma coisa ao longo do tempo, é preciso identificar o que mudou e o que não mudou, isto é, o que se transformou e o que se conservou. Quando nos olhamos no espelho e numa fotografia antiga, podemos observar que muita coisa se alterou, mas outras permaneceram constantes, como, por exemplo: nossos cabelos começam a ficar brancos, mas nossos olhos continuam da mesma cor.

Ao estudar a natureza, também buscamos identificar o que se transforma e o que se conserva, para podermos fazer comparações.

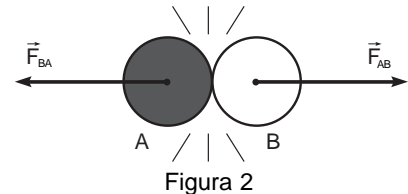
Já vimos um princípio de conservação na Física: o **princípio de conservação da energia mecânica**, ao qual voltaremos, ainda nesta aula.

Outro princípio de conservação é o da **quantidade de movimento**: sob certas condições a quantidade de movimento de um sistema não se altera, ou seja, **conserva-se**.

Podemos verificar isso de modo muito simples e talvez intuitivo: basta lembrarmos da terceira lei de Newton (a lei da ação e reação).

Essa lei descreve como se dá a interação entre os corpos. É justamente isso que se estuda num choque entre dois corpos: como acontece e o que podemos descrever deste choque.

Quando duas bolas se chocam, sabemos que cada uma exerce força sobre a outra, isto é, **ação e reação**. Sabemos, também, que cada uma dessas duas forças, que compõe o par de ação e reação, tem a mesma intensidade, sentidos opostos e que cada uma age em só uma das bolas.



Podemos dizer também que uma dá à outra um impulso, e que o tempo em que uma esteve em contato com a outra foi exatamente o mesmo.

Vamos, então, escrever, de forma matemática, o que está mostrado na Figura 3, começando pelas forças.

Pela terceira lei de Newton, a força que a bola A exerce sobre a bola B (\vec{F}_{AB}) tem a mesma intensidade e o sentido oposto que a força que a bola B faz na bola A (\vec{F}_{BA}), ou seja:

$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$$

Essas forças foram aplicadas durante o mesmo intervalo de tempo, que é o tempo que as bolas ficam em contato, assim podemos multiplicar cada uma delas por esse intervalo Δt :

$$\vec{F}_{AB} \Delta t = -\vec{F}_{BA} \Delta t$$

Essa equação está nos dizendo que o impulso que a bola B recebe é igual e de sentido contrário ao impulso que a bola A recebe:

$$\vec{I}_B = -\vec{I}_A$$

Podemos escrever o impulso como a variação de \vec{q} ($\vec{F} \cdot \Delta t = \vec{I} = \Delta \vec{q}$), isto é, a diferença entre a quantidade de movimento do corpo, antes e depois do choque, isto é:

$$\Delta \vec{q}_B = -\Delta \vec{q}_A$$

ou seja,

$$\vec{q}_{B \text{ depois}} - \vec{q}_{B \text{ antes}} = -(\vec{q}_{A \text{ depois}} - \vec{q}_{A \text{ antes}})$$

$$\vec{q}_{B \text{ depois}} - \vec{q}_{B \text{ antes}} = -\vec{q}_{A \text{ depois}} + \vec{q}_{A \text{ antes}}$$

Passando as quantidades de movimento **antes do choque**, para o lado esquerdo da equação e as quantidades de movimento **depois do choque**, para o lado direito da equação, teremos a seguinte equação:

$$\vec{q}_{A \text{ depois}} + \vec{q}_{B \text{ depois}} = \vec{q}_{A \text{ antes}} + \vec{q}_{B \text{ antes}}$$

Isto é, **a soma da quantidade de movimento da bola A e da bola B, antes do choque é igual à soma da quantidade de movimento da bola A e da bola B, depois do choque**.

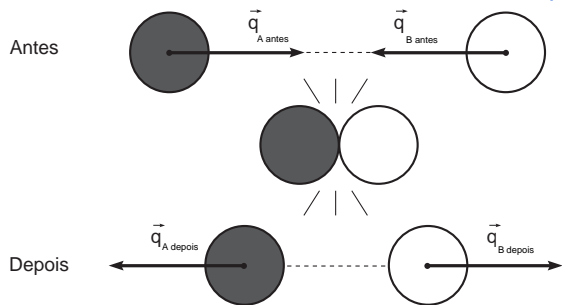


Figura 3. A soma das quantidades de movimento das duas bolas é a mesma antes e depois do choque.

Como $q_{A\text{depois}} + q_{B\text{depois}} = q_{A\text{antes}} + q_{B\text{antes}}$ então $q_{\text{TOTAL antes}} = q_{\text{TOTALdepois}}$
 ou seja, $q_{\text{TOTAL f}} - q_{\text{TOTAL i}} = 0$

$$\Delta q_{\text{TOTAL}} = 0$$

Esta última expressão nos permite afirmar que **a quantidade de movimento do sistema foi conservada.**

Passo-a-passo

Um perito do Departamento de Trânsito está examinando um acidente entre um pequeno caminhão e um Fusca, que bateram de frente. O motorista do Fusca foi hospitalizado, mas o motorista do caminhão, que saiu sem nenhum arranhão, deu um depoimento. Ele disse que estava a uma velocidade de 36 km/h, quando colidiu com o Fusca. O perito soube por outras testemunhas que, imediatamente depois do choque, tanto o Fusca quanto o caminhão pararam. O perito sabe que a massa do Fusca é de aproximadamente 1.200 kg e que a massa do caminhão é de 3.600 kg. Como o perito descobrirá qual era a velocidade do Fusca antes do choque?

Esse é um típico caso de investigação de polícia técnica. O perito em acidentes usa a conservação da quantidade de movimento para resolver o seu problema. A velocidade do caminhão e do Fusca depois da colisão é zero e a velocidade do caminhão antes do choque era de 36 km/h ($v_F = 10 \text{ m/s}$). Como o choque se deu numa reta, podemos usar apenas o módulo das quantidades de movimento, ou seja:

$$\Delta q_{\text{TOTAL}} = 0$$

$$q_{\text{TOTAL depois}} - q_{\text{TOTAL antes}} = 0$$

$$(q_{C\text{ depois}} + q_{F\text{ depois}}) - (q_{C\text{ antes}} + q_{F\text{ depois}}) = 0$$

$$q_{C\text{ depois}} + q_{F\text{ depois}} = q_{C\text{ antes}} + q_{F\text{ depois}}$$

$$m_C \cdot v_{C\text{ depois}} + m_F \cdot v_{F\text{ depois}} = m_C \cdot v_{C\text{ antes}} + m_F \cdot v_{F\text{ antes}}$$

$$3.600 \cdot 0 + 1.200 \cdot 0 = 3.600 \cdot 10 + 1.200(-v_{F\text{ antes}})$$

$$v_{F\text{ antes}} = \frac{36.000}{1.200} \quad v_{F\text{ antes}} = 30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

A velocidade do fusca era de 30 m/s (108 km/h), três vezes a velocidade do caminhão. E por que a velocidade do fusca antes do choque é negativa? É preciso lembrar que, como a velocidade é uma grandeza vetorial, ela tem módulo, direção e sentido. Como escolhemos que a velocidade do caminhão fosse positiva, temos que escolher que a velocidade do Fusca seja negativa, **pois os veículos estavam se movendo em sentidos opostos.**

Tentando prever

Gaspar estava rodando em volta da mesa, tentando recordar as conversas que ele e Maristela tiveram sobre como usar a conservação da quantidade de movimento e o conceito de impulso, para jogar sinuca. Pediu licença, para espanto de todos, e foi até o banheiro. Então, puxou um caderninho e uma caneta do bolso e começou a calcular. Pensou que, se a bola branca, que estava parada, tivesse uma massa de 200 gramas (0,2 kg) e, se ele desse uma tacada com uma força de 1 newton, num tempo de 0,01 segundo, ele daria um impulso de:

$$I = F \cdot \Delta t = 1 \cdot 0,01 = 0,01 \text{ N} \cdot \text{s} \quad \text{o que daria à bola uma velocidade de:}$$

$$I = \Delta q = q_{\text{depois}} - q_{\text{antes}}$$

$$I = m_B \cdot v_{\text{depois}} - m_B \cdot v_{\text{antes}}$$

$$0,01 = 0,2 \cdot v_{\text{depois}} - 0,2 \cdot 0$$

$$0,01 = 0,2 v_{\text{depois}}$$

$$v_{\text{depois}} = 0,05 \text{ m/s} = 50 \text{ cm/s}$$

Gaspar concluiu que era uma boa velocidade para a bola branca se chocar com a bola preta. Pensou, ainda, que, depois do choque, essa também seria uma boa velocidade para que a bola preta chegasse até a caçapa, mas ficou preocupado com que velocidade a bola branca ficaria depois do choque. Voltou aos cálculos:

A bola branca vai bater na bola preta, que está parada e tem a mesma massa e vai adquirir a mesma velocidade da bola branca, isto é 0,05 m/s. Aplicando o princípio de conservação da quantidade de movimento no choque das duas bolas, teremos que:

$$q_{P\text{depois}} + q_{B\text{depois}} = q_{P\text{antes}} + q_{B\text{depois}}$$

$$m_P \cdot v_{P\text{depois}} + m_B \cdot v_{B\text{depois}} = m_P \cdot v_{P\text{antes}} + m_B \cdot v_{B\text{antes}}$$

$$0,2 \cdot 0,05 + 0,2 \cdot v_{B\text{depois}} = 0,2 \cdot 0 + 0,2 \cdot 0,05$$

$$0,01 + 0,2 \cdot v_{B\text{depois}} = 0,01$$

$$0,2 \cdot v_{B\text{depois}} = 0$$

$$v_{B\text{depois}} = 0$$

Gaspar ficou satisfeito: se a bola branca tiver uma velocidade de 0,05 m/s antes do choque, a bola preta, depois do choque, terá uma velocidade de 0,05 m/s e a bola branca vai ficar parada. Isso era suficiente para garantir que a bola branca não fosse para caçapa com a preta.

Tudo calculado. Gaspar volta à mesa de bilhar. Com um ar confiante, pega o taco e novamente se prepara para pôr em prática seus estudos. Todos o olhavam com espanto, tal era sua confiança. Apenas Maristela, com um riso no canto da boca, olhava com tranquilidade para a cena.

Explosão

Quando alguém se distrai na cozinha e esquece a panela de pressão no fogo, corre o risco de vê-la se tornar uma bomba. Todos nós sabemos que, quando uma bomba explode, pedaços voam para todos os lados, atingindo quem estiver por perto. De onde vem o movimento dos pedaços, se a panela estava parada?

Quando um casal de patinadores está realizando manobras sobre os patins, treinam uma manobra clássica, onde os dois estão parados e a moça está de costas para o rapaz que, em determinado momento, empurra a moça, como podemos ver na figura 5. Mas só a moça se movimentou? Não.

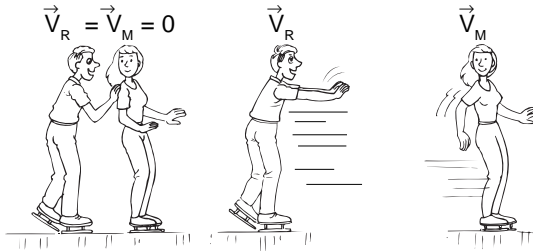


Figura 4. Ao impulsionar a moça, o rapaz também é impulsionado por ela.

Como se movimentaram? De acordo com a terceira lei de Newton, quando o rapaz empurra a moça é, ao mesmo tempo, empurrado por ela.

Analisando essa situação, em termos da quantidade de movimento, veremos que a quantidade de movimento total do sistema (rapaz e moça) no início era zero. Apesar de o rapaz ter uma massa de 90 kg e a moça de apenas 45 kg, a velocidade de ambos era zero.

Pelo princípio de conservação da quantidade de movimento, a quantidade de movimento no início e no fim devem ser iguais; ou seja, a **soma da quantidade de movimento** dos dois patinadores deve ser sempre zero.

$$\vec{q}_{(\text{Rapaz})\text{depois}} + \vec{q}_{(\text{Moça})\text{depois}} = \vec{q}_{(\text{Rapaz})\text{antes}} + \vec{q}_{(\text{Moça})\text{antes}}$$

$$m_R \cdot \vec{v}_{R\text{depois}} + m_M \cdot \vec{v}_{M\text{depois}} = m_R \cdot \vec{v}_{R\text{antes}} + m_M \cdot \vec{v}_{M\text{antes}}$$

Se o rapaz sair com uma velocidade de 1 m/s, qual deverá ser a velocidade da moça? Como o moça saiu num sentido oposto ao do rapaz, a velocidade dos dois tem sinais diferentes. (Nesse caso, é fundamental que você use o mesmo critério para as velocidades antes e depois do choque, ou explosão, isto é, se você decidiu que a velocidade que aponta para a direita é positiva, então todos os objetos que vão para a direita têm velocidade positiva, e os que vão para a esquerda têm velocidade negativa; é só uma **convenção**.)

$$m_R \cdot v_{R\text{depois}} - m_M \cdot v_{M\text{depois}} = m_R \cdot 0 + m_M \cdot 0$$

Substituindo o valor das velocidades e das massas conhecidas:

$$90 \cdot 1 - 45 \cdot v_{M\text{depois}} = 0$$

$$v_{\text{depois}} = \frac{90}{45}$$

$$v_{\text{depois}} = 2 \text{ m/s}$$

Ou seja, a força com que cada um empurrou o outro foi a mesma (terceira lei de Newton), porém, como o rapaz tem mais massa que a moça, ele saiu com uma velocidade menor.

Condições para que a quantidades de movimento seja conservação

Lembre-se de que usamos a terceira lei de Newton para obter o princípio da conservação da quantidade de movimento.

Quando usamos a terceira lei, estamos interessados em descrever a interação entre dois corpos, ou seja, a **força que cada um faz no outro**.

No exemplo do choque entre as duas bolas de bilhar, sabemos que, se não houver nenhuma força externa ao movimento das bolas, como, por exemplo, a força de atrito, só haverá a ação das forças de ação e reação que uma bola faz na outra. Essa é a condição para que **a quantidade de movimento de um sistema se conserve**.

Outro exemplo é o do bate-estaca. Quando o bate-estaca cai de certa altura, tem uma grande quantidade de movimento, sua massa é muito grande, mas a estaca, que se pretende enterrar no solo, também tem uma massa muito grande. Quando o bate-estaca se choca com a estaca, ambos se impulsionam, transmitindo quantidade de movimento. Entretanto, a estaca penetra no solo apenas alguns centímetros.

Por que a quantidade de movimento que o bate-estaca transferiu para a estaca **não se conserva depois do choque?** Porque existe uma força externa, e, nesse caso, é o solo que impede que a estaca continue seu trajeto após o choque.

Então, a quantidade de movimento só se conserva quando os corpos que estão se chocando não sofrem a ação de forças externas.

A tacada final

Gaspar suava de nervoso, estava em total concentração! Esfregava talco nas mãos suadas para que o taco deslizasse sem problemas entre seus dedos. Imaginou o momento de glória quando encaçapasse a bola. Seria carregado pelos seus companheiros para comemorar a grande vitória sobre Maristela.

Maristela, a essa altura do jogo, já havia se recuperado do susto inicial e esperava o momento decisivo: apenas um erro de Gaspar seria suficiente para que ela virasse a situação.

Gaspar, convicto, preparou a tacada. Com medo de bater muito forte na bola, reduziu a força e tocou bem de leve na bola branca, que rolou lentamente em direção à bola preta. Ao se chocar com a bola preta, a bola branca parou, transferindo-lhe toda sua quantidade de movimento, como Gaspar havia previsto. A bola preta, com o choque, adquiriu uma quantidade de movimento e seguiu rumo à caçapa. Mas, para espanto geral, parou exatamente na boca da caçapa.

Gaspar gritava com raiva. Não acreditava que seus cálculos estivessem errados, estava tudo certinho, pensava ele. Maristela dava pulos de alegria, dizendo: “Eu sabia que você tinha esquecido de alguma coisa!”

O que será que Gaspar esqueceu?

Rapidamente, Maristela se preparou para jogar e, não teve dúvida, colocou a bola preta no fundo da caçapa ganhando novamente o jogo. Foi aquela gritaria!

Quando os ânimos se acalmaram, Gaspar perguntou a Maristela do que ele havia se esquecido. A moça, num tom professoral, disse: “Você se esqueceu de que a mesa de bilhar é coberta com feltro (um tipo de tecido), o que gera um pequeno, mas significante, atrito sobre as bolas, enquanto elas estão em movimento. Isso significa que haviam **forças externas** agindo sobre o sistema formado pelas duas bolas.”

E continuou: “Aposto que você usou o **princípio de conservação da quantidade de movimento**, ou seja, calculou a velocidade da bola preta, sabendo que a quantidade de movimento da bola branca deveria ser totalmente transmitida para a bola preta, o que de fato é verdade. Mas você se esqueceu de levar em consideração que o atrito foi tirando uma parte da quantidade de movimento da bola branca antes do choque e, também da bola preta, depois do choque.”

Maristela concluiu dizendo: “É Gaspar, quem sabe você ganha na próxima!”

Conservação da energia e da quantidade de movimento

Num choque, existem sempre forças envolvidas. Essas forças podem ser suficientes para amassar, deformar ou mesmo quebrar os corpos que se chocam. É difícil observar a deformação que uma bola de futebol sofre com o chute do jogador, pois o tempo de contato entre o pé do jogador e a bola é muito pequeno.

Quando dois carros se chocam, podemos ver claramente a deformação sofrida por eles. Existem então dois tipos de choque: num deles, os corpos não ficam deformados depois do choque (bolas de bilhar) e, no outro, ficam deformados depois do choque (colisão dos carros).

A deformação dos corpos está associada à transformação de energia cinética em energia potencial elástica. Se, depois do choque, os corpos recuperam sua forma, dizemos que a energia mecânica é conservada, isto é, a energia cinética se transforma, durante o choque, em energia potencial elástica; e, após o choque, toda energia cinética é restituída. Mas se eles se deformam de forma irreversível, dizemos que a energia mecânica **não se conserva**, pois parte dela foi usada para deformar o corpo!

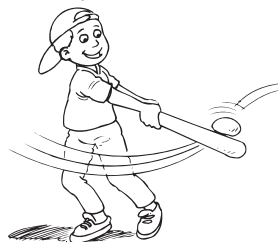


Figura 5. No momento da batida, a bola sofre uma grande deformação.

Separamos então os choques em dois tipos, os **elásticos** e os **inelásticos**.

- Os **choques elásticos** conservam a quantidade de movimento e a energia mecânica.
- Os **choques inelásticos**: conservam a quantidade de movimento e não conservam a energia mecânica.

Observe que a **quantidade de movimento sempre se conserva**, a não ser que exista alguma força externa ao sistema.

Passo-a-passo

Duas bolas de bilhar, uma branca e uma preta estão sobre uma superfície lisa, sem atrito. As duas têm massas iguais a 0,2 kg (ou 200 gramas).

A bola preta está inicialmente parada e a branca tem velocidade de 1,0 m/s. Elas se chocam, e não se deformam. Como podemos calcular a velocidade das duas bolas após o choque?

Como não há atrito, não existem forças externas, de modo que a quantidade de movimento se conserva. Portanto, temos:

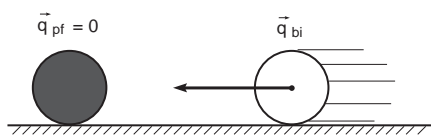


Figura 6

$$m_P \cdot v_{P\text{depois}} + m_B \cdot v_{B\text{depois}} = m_P \cdot v_{P\text{antes}} + m_B \cdot v_{B\text{antes}}$$

Como as bolas não sofrem deformações irreversíveis, ou seja, trata-se de um choque do tipo elástico, podemos afirmar que a energia mecânica também se conserva:

$$\frac{1}{2} m_P \cdot v_{P\text{depois}}^2 + \frac{1}{2} m_B \cdot v_{B\text{depois}}^2 = \frac{1}{2} m_P \cdot v_{P\text{antes}}^2 + \frac{1}{2} m_B \cdot v_{B\text{antes}}^2$$

Podemos ver na expressão da conservação da energia, que só aparecem as energias cinéticas de cada bola antes do choque e depois do choque, pois, como todas estão em cima da mesa de bilhar, a altura das bolas, antes e depois do choque, é a mesma, ou seja, podemos considerar a altura da mesa como zero, desaparecendo assim a energia potencial gravitacional.



Nesta aula você viu:

- o conceito de **choque** entre dois corpos e sua relação com o conceito de **impulso**;
- que introduzimos a **conservação da quantidade de movimento**, usando o conceito de **impulso** e a **terceira lei de Newton**;
- que podemos usar a **conservação da quantidade de movimento** para analisar **explosões**, ou **separações de corpos**;
- quais são os **limites** para o uso da **conservação da quantidade de movimento**;
- que definimos dois tipos de choque, os **elásticos** e os **inelásticos**; e discutimos sobre a **conservação da quantidade de movimento e a conservação da energia mecânica**, em cada um deles.



Exercício 1

Quando um atirador dá um tiro, ele é lançado para trás, devido ao coice da espingarda. Sabendo que a bala da espingarda sai com uma velocidade aproximada de 200 m/s, que sua massa é de 10 g e que a massa da espingarda é de 2 kg, determine a velocidade com que a espingarda é lançada para trás.

Exercício 2

Um homem pescava num lago muito tranqüilo, dentro de uma canoa. Ele estava na extremidade direita da canoa, preparando seu anzol e, quando foi pegar a isca, percebeu que esta tinha ficado na extremidade esquerda da canoa. Ele se levantou e começou a caminhar até lá. Seu filho, que estava na margem do lago, viu o pai com uma velocidade de 0,5 m/s. Supondo que a massa do pescador seja de 60 kg e que a massa da canoa é de 90 kg, calcule a velocidade da canoa enquanto o pescador está se deslocando de um lado para o outro (considere o atrito desprezível).

Exercício 3

Quando um foguete está no espaço, não há nenhuma superfície na qual ele possa se apoiar para dar impulso. A forma de se resolver esse problema é usar o motor do foguete, para queimar combustível e expelir a chama a alta velocidade, de modo que, pela conservação da quantidade de movimento, o foguete adquira uma velocidade e possa se locomover. Supondo que o foguete tem uma massa de 5 toneladas e que ele arremesse 500 kg de combustível a uma velocidade de 360 km/h (100 m/s), calcule a velocidade que o foguete vai adquirir depois dessa explosão.

