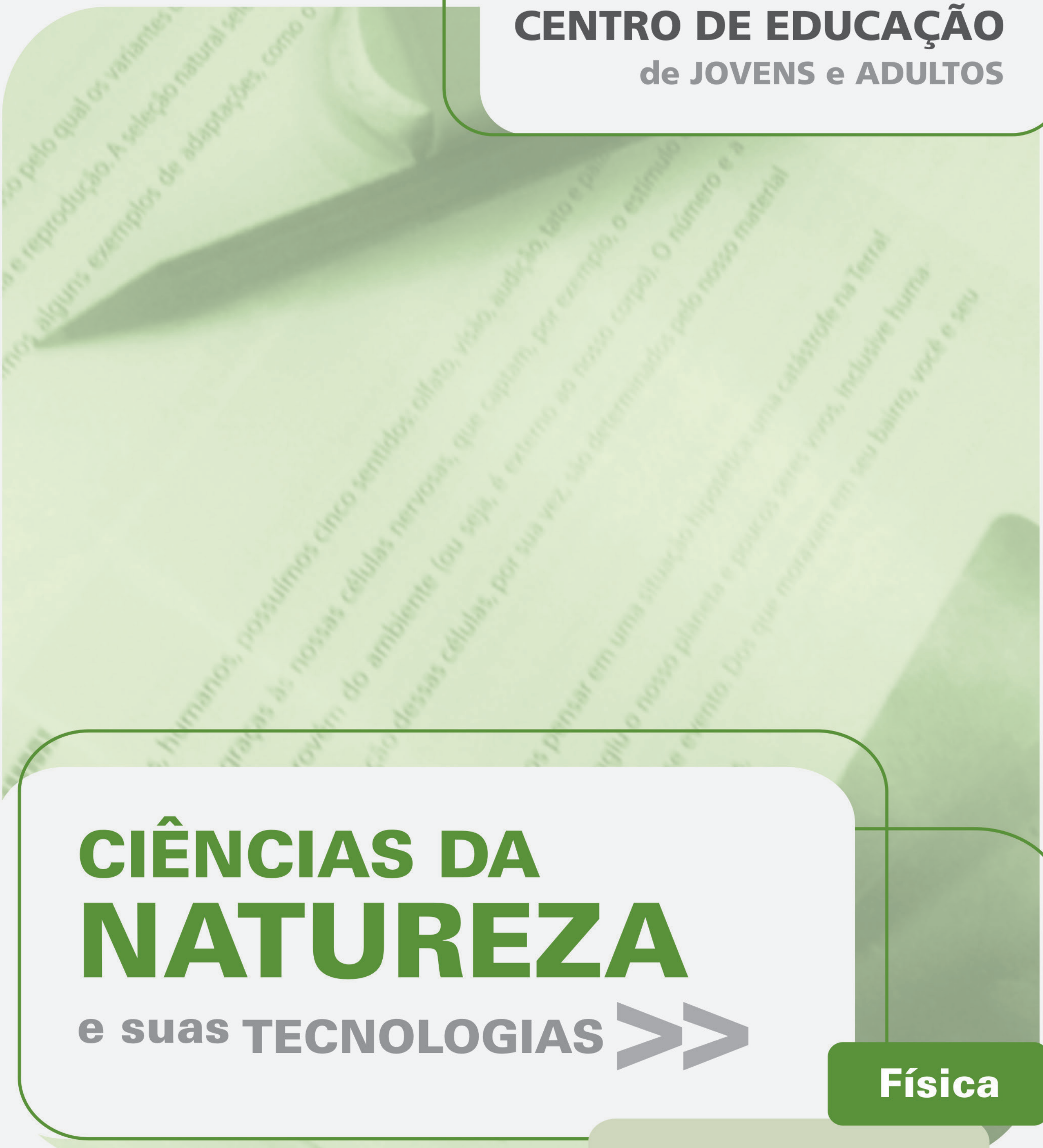
CEJA >>

CENTRO DE EDUCAÇÃO
de JOVENS e ADULTOS



CIÊNCIAS DA NATUREZA
e suas TECNOLOGIAS >>

Física

Fascículo 3
Unidades 6, 7 e 8

GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Governador
Wilson Witzel

Vice-Governador
Claudio Castro

SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Secretário de Estado
Leonardo Rodrigues

SECRETARIA DE ESTADO DE EDUCAÇÃO

Secretário de Estado
Pedro Fernandes

FUNDAÇÃO CECIERJ

Presidente
Gilson Rodrigues

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.

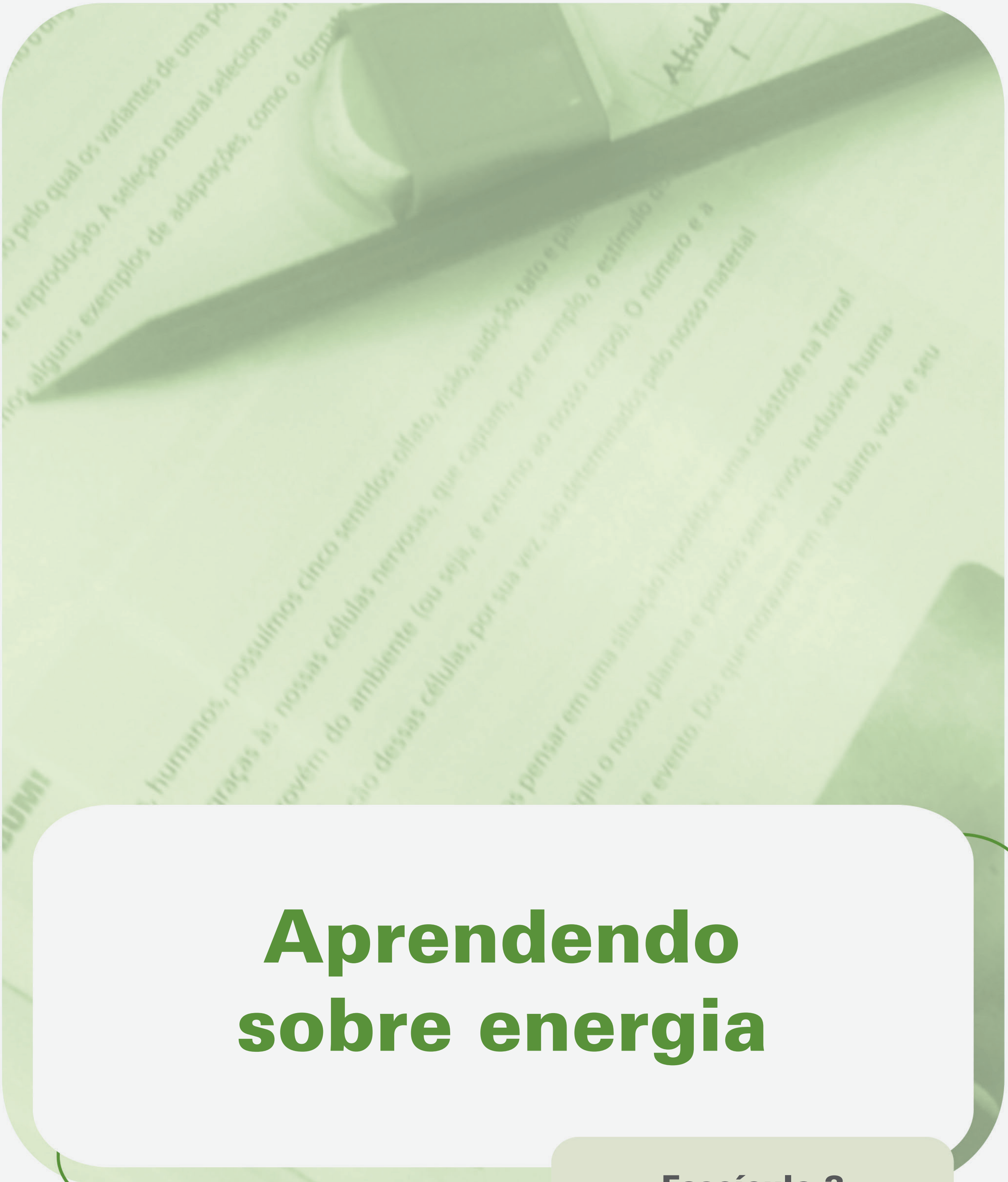
Você também pode postar as suas dúvidas nos fóruns de dúvida. Lembre-se que o fórum não é uma ferramenta síncrona, ou seja, seu professor pode não estar online no momento em que você postar seu questionamento, mas assim que possível irá retornar com uma resposta para você.

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!

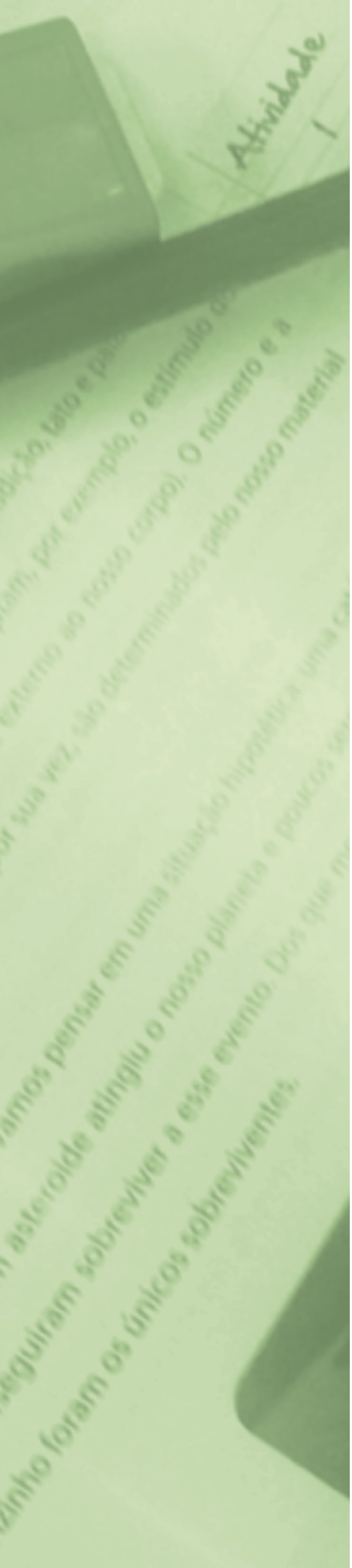


Aprendendo sobre energia

Fascículo 3

Unidade 6

Fundação CECIERJ

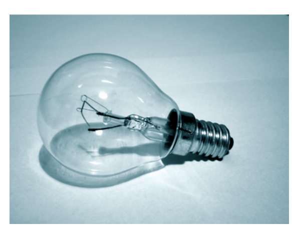


Aprendendo sobre energia

Para início de conversa...

Quando percebemos que estamos acima do peso, ou abaixo, costumamos ir ao médico para que ele nos oriente em relação à nossa dieta. Em geral, essa dieta é definida em função da quantidade de energia (calorias) contida em tudo que ingerimos. A conta de luz que pagamos no final do mês também é definida em função da quantidade de energia elétrica que consumimos naquele período para iluminar nossas casas, conservar alimentos em geladeiras e freezers, preparar refeições em fornos elétricos ou de micro ondas, para aquecer água, aclimatizar ambientes por meio de aparelhos de ar condicionados, etc. Também no caso dos automóveis, a energia obtida a partir da queima do combustível, é a responsável pela movimentação dessas máquinas, assim como a energia proveniente do processo de queima do gás de cozinha possibilita o cozimento dos alimentos.

Logo, se fizermos uma reflexão sobre a importância da energia na sociedade contemporânea vamos verificar que, na maior parte dos casos, os processos que



envolvem transformações de energia estão associados a melhoria da qualidade de vida e a promoção do bem-estar. Entretanto, não podemos dizer que isso seja sempre verdade, se levarmos em conta, por exemplo, os efeitos nefastos do uso da energia nuclear na indústria bélica e os inúmeros problemas socioambientais que os diferentes processos de transformação de energia podem causar.

Você deve ter percebido que nem sempre o termo energia aparece aplicado somente ao contexto científico. É comum a sua utilização em diferentes situações no dia a dia. Nessa unidade vamos estudar o conceito de energia, pois ele é um dos conceitos centrais, não só para a física como para outras ciências da natureza.

Objetivos de aprendizagem

- Reconhecer o conceito de energia e o seu caráter universal nas ciências da natureza.
- Descrever o teorema do trabalho – energia.
- Conceituar energia cinética.
- Conceituar trabalho.
- Diferenciar os conceitos de energia potencial elástica e gravitacional.
- Reconhecer o princípio da conservação da energia.
- Identificar sistemas conservativos e não conservativos.
- Avaliar os processos de transformação de energia envolvidos em diferentes tipos de usina para a produção de energia elétrica.

Seção 1
Energia, um conceito universal

Apesar do homem e da sociedade como um todo dependerem tanto da energia, sobretudo daquela que chega à Terra proveniente do Sol, não existe uma definição exata para este conceito segundo **FEYNMAN.** Assim, estamos lidando com uma entidade física que manipulamos, processamos, transformamos, e até pagamos por ela, sem que seja possível atribuir-lhe uma definição muito exata. A forma mais utilizada para definir a energia de um sistema é associá-la à *propriedade que o sistema possui de realizar trabalho*.

Muitos processos naturais envolvem transformações de energia. Por isso, é comum a utilização de complementos associados ao termo com o objetivo de identificar ou especificar esses processos. Termos como energia elétrica, energia nuclear e energia solar, exemplificam alguma dessas situações onde se especifica um contexto para um conceito que, na verdade, é universal.

No sistema internacional de unidades (SI), a unidade atribuída à grandeza energia é o Joule, cujo símbolo é J, em homenagem a James **PRESCOTT JOULE (1818 – 1889)** , físico britânico que muito contribuiu para este campo do conhecimento com seus estudos sobre o calor, considerado uma das formas de energia.

Saiba Mais

Conversão das unidades de medida

A diversidade de contextos onde a energia se encontra presente possibilita diferentes formas de expressar esta grandeza. Na termodinâmica, por exemplo, é comum o uso da caloria (cal), na física de partículas o elétron-volt (eV), na área da engenharia elétrica o quilowatt-hora (kWh), e na indústria do petróleo a tonelada equivalente de petróleo (tep). Tomando como referência o Joule (J), essas unidades guardam as seguintes relações de equivalência:

$$1 \text{ cal} = 4{,}1868 \text{ J}$$

$$1 \text{ eV} = 1{,}602.10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ kWh} = 3{,}6.10^{6} \text{ J}$$

$$1 \text{ tep} = 4{,}2.10^{10} \text{ J}$$

A partir daqui serão introduzidas três atividades (1, 2 e 3) ao longo do texto, cujo objetivo é auxiliá-lo no processo de construção dos conceitos de energia cinética, trabalho de uma força, e no reconhecimento da relação que existe entre estes dois conceitos por meio do teorema do trabalho-energia.

A introdução das atividades obedece a uma sequência planejada para que esta construção ocorra de forma gradativa. Logo, não se preocupe em extrair todas as conclusões das atividades antes de concluída a atividade 3.

Atividade 1

De olho na queda dos corpos

Procure obter o seguinte material:

- Uma caixa quadrada de papelão sem tampa, de aproximadamente 2 cm de profundidade e 15 cm de lado;
- Massa de modelar em quantidade suficiente para encher toda a caixa;
- Duas esferas de aço dessas que se encontra em lojas de ferro velho, com diâmetros de aproximadamente 0,5 cm e 1,5 cm;
- Uma régua.

Siga os sete passos a seguir e depois relate o que ocorreu:

1. Inicialmente, encha a caixa com a massa e cuide para que a superfície fique bem regular (lisa).
2. Posicione a esfera menor a uma altura de 15 cm da superfície da massa e solte fazendo com que a esfera caia em algum lugar da caixa.
3. Remova a esfera com cuidado para não mudar as características da deformação provocada.
4. Repita o procedimento com a mesma esfera, a partir de uma altura de 25 cm, tomando o cuidado para que a esfera não caia no mesmo local onde foi feita a marcação da primeira queda.
5. Retire a esfera e registre as marcas deixadas em fotografia digital.
6. Agora, repita os cinco passos anteriores com as esferas diferentes (menor e maior) partindo da mesma altura de 15 cm nos dois casos.
7. Cuidado ao remover as esferas e registre as novas marcas em fotografia digital.

Faça um pequeno relato (em seu caderno) por escrito sobre a deformação causada na massa em cada caso.

Anote suas respostas em seu caderno

Como já havia sido discutido anteriormente, a energia pode receber diferentes complementos em sua denominação em função do contexto ou da forma segundo a qual ela se manifesta, embora seja este um conceito universal. Vamos agora introduzir alguns desses casos começando por analisar a chamada energia cinética.

Seção 2
Energia cinética

A energia cinética de um corpo é definida como aquela que está associada ao seu estado de movimento. Sendo assim, é possível fazermos estimativas sobre a quantidade de energia cinética do móvel a partir da sua velocidade. Esta definição pode ser melhor compreendida promovendo-se aplicações em situações que nos são familiares.

Por exemplo, se um automóvel que se encontra parado é atingido por outro de mesma massa que se encontra em movimento, o dano provocado irá depender da velocidade do segundo automóvel antes da colisão. Nesse caso, dizemos que o automóvel em movimento possuía a energia cinética suficiente para realizar trabalho (amassar o carro que estava parado). Se a velocidade do segundo automóvel fosse maior as deformações provocadas após a colisão seriam ainda maiores, já que a quantidade de energia cinética seria maior. Logo, podemos dizer que, **DOIS CORPOS DE MESMA MASSA, DESLOCANDO-SE COM VELOCIDADES DIFERENTES POSSUEM ENERGIAS CINÉTICAS DIFERENTES**, sendo maior a energia daquele com maior velocidade. Fonte: http://www.sxc.hu/photo/748825, jason conlon.

3

Agora, suponhamos que um automóvel de massa equivalente a 1 tonelada esteja parado e seja atingido por dois veículos em duas situações diferentes.

- No primeiro caso, um automóvel de massa também equivalente a 1 tonelada, deslocando-se com uma velocidade de 80 Km/h é quem colide com o primeiro.
- No segundo caso, a colisão é provocada por uma carreta carregada que também se desloca com 80 Km/h, mas que possui massa equivalente a 60 toneladas.

Não é difícil imaginar que o dano provocado na segunda situação será maior. Portanto, o trabalho realizado (amassar o primeiro automóvel) será maior no segundo caso. Isso nos leva a concluir que a energia cinética também é função da massa, e que por esse motivo a energia cinética da carreta é maior devido a sua massa ser maior, já que nas duas situações as velocidades são iguais.

De acordo os exemplos apresentados, foi possível observar que a energia cinética de um corpo depende tanto da sua velocidade quanto da sua massa, e essa dependência pode ser confirmada experimentalmente. No entanto, no caso da velocidade, não se trata de uma dependência linear, e sim quadrática.

O modelo matemático que descreve a relação entre a energia cinética do corpo, a sua massa e a sua velocidade, é traduzido pela expressão:

$$E_c = \frac{mv^2}{2}$$

onde E_c é a energia cinética, v a velocidade e m a massa do corpo.

A atividade 2 dá segmento à sequência previamente citada e tem como ponto de partida os resultados da atividade 1.

Atividade 2

Analisado a energia cinética

A partir das suas observações realizadas nos ensaios da atividade 1, e utilizando como apoio a expressão matemática da energia cinética que você aprendeu, faça uma análise qualitativa e apresente suas considerações por escrito sobre os valores da energia cinética para cada caso isoladamente.

Lembre-se: faça em uma folha à parte

Seção 3
Trabalho de uma força

No dia a dia o termo trabalho pode estar associado a uma série de significados. Aqui vamos nos ater ao significado que o termo adquire no contexto da física.

Trabalho pode também ser definido em termos da força aplicada a um corpo e do deslocamento a ele transmitido, pois quando um corpo em movimento se encontra sob a ação de uma força resultante ele experimenta o efeito de uma aceleração que provoca uma variação na sua velocidade. A esta variação na velocidade está associada uma variação na energia cinética, como vimos na seção anterior.

O chamado Teorema do Trabalho – Energia apresenta a definição de trabalho de uma força em função da variação de energia cinética que o corpo sofre devido à ação desta força ao longo do trecho em que ocorre o deslocamento. Segundo este teorema, o trabalho que a força realiza equivale à variação da energia cinética sofrida pelo corpo.

Utilizando a letra W para representar o trabalho realizado pela força e ΔE_c para representar a variação da energia cinética, teremos:

$$W = \Delta E_c$$

Importante

Sendo o trabalho de uma força definido a partir de uma variação de energia pelo Teorema do Trabalho – Energia, a sua unidade no sistema internacional de unidades (SI) também será o Joule (J).

Na atividade 1 você observou as distintas deformações que as esferas causaram na massa. A partir da atividade 2 você analisou qualitativamente a energia cinética associada ao movimento de cada uma delas. Na próxima atividade, sugerimos que você avance mais um pouco elaborando conclusões acerca do trabalho realizado pela força peso sobre as esferas. Mãos à obra!

Atividade 3

O trabalho realizado sobre as esferas

A partir das conclusões obtidas nas atividades 1 e 2, e dos seus conhecimentos sobre o Teorema do Trabalho – Energia, faça uma análise qualitativa por escrito sobre os valores do trabalho realizado pela força peso em cada caso.

Lembre-se: faça em uma folha à parte

Agora que já sabemos associar o trabalho com a variação da energia cinética, vamos analisar o trabalho realizado por uma força constante que atua horizontalmente sobre um bloco em movimento horizontal.

Considere a ilustração apresentada na figura a seguir, onde um móvel, representado pelo bloco de massa m, encontra-se na posição inicial S_i em relação ao sistema de referência, com uma velocidade inicial v_i, sofrendo a ação de uma força horizontal e constante F. Aqui estamos desconsiderando a ação de forças de atrito.

Depois de certo intervalo de tempo Δt, o móvel alcança a posição S_f com velocidade final vf, após ter percorrido uma distância total ΔS, sofrendo uma aceleração igual a *a*.

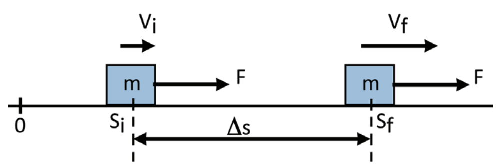


Figura 1: Móvel se deslocando sob a ação de uma força horizontal.

Segundo o Teorema do Trabalho – Energia:

$W = \Delta E_c$

Podemos escrever a variação da energia cinética como a diferença entre a energia cinética alcançada no instante final (E_{c_f}) e aquela que o corpo possuía no instante inicial (E_{c_i}).

$\Delta E_c = E_{c_f} - E_{c_i}$

onde as energias cinéticas final e inicial são escritas respectivamente da seguinte maneira: $E_{c_f} = \dfrac{mv_f^2}{2}$ e $E_{c_i} = \dfrac{mv_i^2}{2}$

Logo, substituindo essa relação na primeira expressão ($\Delta E_c = E_{c_f} - E_{c_i}$) temos:

$$\Delta E_c = \frac{mv_f^2}{2} - \frac{mv_i^2}{2}$$

ou, isolando $\dfrac{m}{2}$ da expressão anterior temos:

$$\Delta E_c = \frac{m}{2}\left(v_f^2 - v_i^2\right)$$

Utilizando a expressão de Torricelli já conhecida:

$$v^2_f = v^2_i - 2a\Delta S$$

E substituindo na expressão anterior:

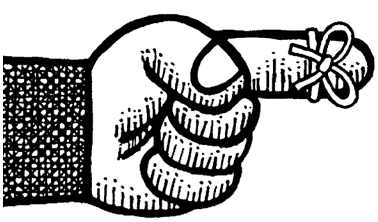
$$\Delta E_c = \frac{m}{2}\left(v_i^2 + 2a\Delta S - v_i^2\right)$$

$$\Delta E_c = \frac{m}{2}\left(2a\Delta S\right)$$

$$\Delta E_c = \frac{m}{2}\left(2a\Delta S\right)$$

Como o produto m × a representa a força F (2ª Lei de Newton), e o trabalho é igual a variação de energia cinética ($W = \Delta E_c$), teremos:

$$W = F\Delta S$$



A expressão obtida possibilita calcular o trabalho diretamente a partir dos valores da força constante que é aplicada e das posições final e inicial (deslocamento) $W = F\,(S_f - S_i)$.

A notação vetorial das grandezas físicas envolvidas foi omitida porque o problema ocorre em apenas uma dimensão, situação onde esta simplificação é permitida. Entretanto, cabe ressaltar o caráter vetorial de grandezas como: posição, deslocamento, velocidade, aceleração e força. Por outro lado, as grandezas energia e trabalho são de natureza escalar – não vetorial, embora estejam relacionados com grandezas de natureza vetorial.

Atividade 4

Calculando o trabalho

Um bloco encontra-se apoiado sobre uma superfície perfeitamente lisa (sem atrito). Sobre ele atua uma força horizontal de 5 N, que provoca um deslocamento horizontal de 3 m no bloco. Determine o trabalho realizado pela força.

Anote suas respostas em seu caderno

E quando há mais forças envolvidas no movimento de um corpo? Como calculamos o trabalho?

O teorema do trabalho-energia aplicado ao caso do corpo que se move sob ação de uma força horizontal constante, que acabamos de estudar, possibilitou a definição do conceito de trabalho, mas representa uma simplificação de um problema mais complexo onde poderíamos ter considerado outras forças também presentes, como o peso do bloco e o atrito.

4

Em alguns casos, e dependendo da complexidade do problema, o **CARÁTER VETORIAL DE GRANDEZAS COMO A FORÇA**, a velocidade e o deslocamento, precisa ser levado em conta. Entretanto, embora a introdução do peso e do atrito aumente a complexidade, ainda é possível tratar o problema sem precisar lançar mão do cálculo vetorial, analisando separadamente cada caso.

Considerando isoladamente o caso da força peso que atua no bloco, verificamos que esta age perpendicularmente à direção do deslocamento e não provoca mudanças na velocidade nesta direção. Sendo assim, não há variações na energia cinética provocadas pelo peso e, portanto, não há trabalho realizado.

No caso de isolarmos a força de atrito com o solo, que atua em sentido contrário ao do movimento, observamos que ela provoca uma diminuição na velocidade do bloco e, portanto, uma variação negativa na energia cinética, já que $v_f < v_i$, o que significa a realização de trabalho negativo.

Como podemos ver, é sempre possível realizar uma série de considerações baseadas em argumentos qualitativos. Por outro lado, é necessário lançar mão de recursos matemáticos que nos permitam obter uma expressão para o cálculo do trabalho que seja geral e possa prever as diferentes situações que se apresentam como problemas.

A figura a seguir mostra mais um exemplo onde um bloco de massa m é puxado por uma força constante F, que atua em uma direção inclinada de um ângulo θ em relação à direção horizontal do deslocamento.

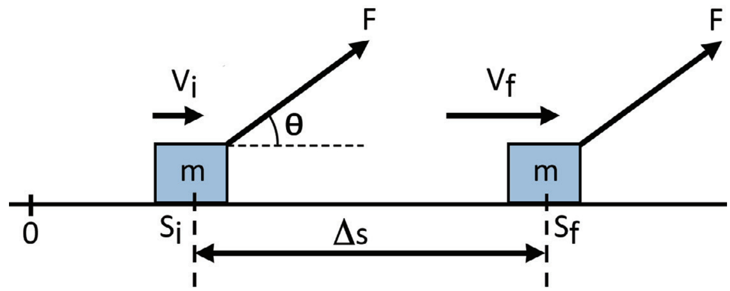


Figura 2: Móvel se deslocando sob a ação de uma força inclinada.

É possível demonstrar que o trabalho realizado pela força F sobre o bloco é dado pela expressão geral:

$$W = F\Delta S \cos \theta$$

A partir da expressão geral apresentada, os três casos anteriormente analisados podem ser verificados quantitativamente.

No primeiro caso, o sentido e a direção da força F coincidem com os do deslocamento. Logo:

$$\theta = 0°$$
$$\cos\theta = \cos 0° = 1$$
$$W = F\Delta S\,(1)$$
$$W = F\Delta S$$

O trabalho realizado pela força que uma locomotiva exerce sobre um vagão de trem quando o sistema (locomotiva + vagão) encontra-se acelerado exemplifica esta situação.

No segundo caso, a força presente é o peso (F = P), que atua perpendicularmente ao movimento. Assim:

$$\theta = 270°$$
$$\cos\theta = \cos 270° = 0$$
$$W = P\,(0)$$
$$W = 0$$

Se considerarmos a mesma situação cotidiana da locomotiva que exerce força sobre o vagão provocando neste uma aceleração, o trabalho realizado pelo peso do vagão ao longo do deslocamento será nulo, e exemplifica o presente caso.

No terceiro caso, a força presente é o atrito ($F = f_{at}$), que atua em sentido contrário ao do movimento e na mesma direção. Logo:

$$\theta = 180°$$

$$cos\theta = cos180° = -1$$

$$W = f_{at}\,\Delta S\,(-1)$$

$$W = -f_{at}\,\Delta S$$

Quando um caixote é arrastado sobre uma superfície não lisa em um supermercado, por exemplo, o trabalho realizado sobre o caixote pela força de atrito entre o caixote a superfície do solo ao longo do deslocamento, exemplifica este caso.

Como calcular o trabalho de uma força quando ela não é constante?

As expressões matemáticas apresentadas anteriormente não preveem o cálculo do trabalho quando a força F não é constante. Problemas que envolvem forças que variam ao longo do deslocamento demandam cálculos mais avançados. Então, que tal avançarmos um pouco mais em nossa analise?

Na situação representada na figura a seguir, o gráfico que mostra o comportamento da força (F) em função da posição do móvel (S) é conhecido.

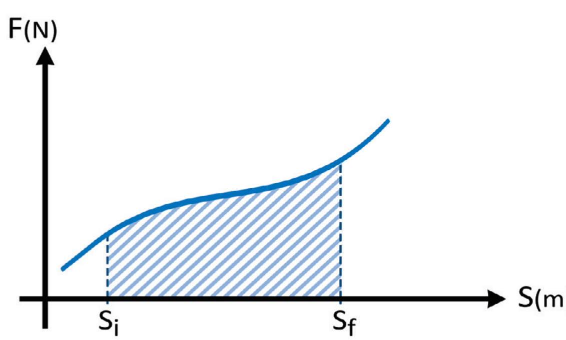


Figura 3: Comportamento da força em função da posição ao longo do deslocamento.

A partir de cálculos matemáticos sofisticados é possível mostrar que a área hachurada, compreendida entre a curva que representa o comportamento da força e o eixo horizontal, no intervalo entre S_i e S_f, possui valor numérico igual ao trabalho realizado pela força.

$$W = ÁREA$$

Apesar da dificuldade de se calcular áreas como aquela que está representada na figura, o resultado obtido é geral, e pode ser aplicado em qualquer situação. Logo, esse cálculo pode ser simples, dependendo do gráfico que representa o comportamento da força e, consequentemente, da figura geométrica que ele proporciona.

A figura a seguir ilustra o caso particular estudado anteriormente, onde a força F se mantém constante ao longo de todo o deslocamento. Seu comportamento é representado graficamente por uma reta paralela ao eixo horizontal.

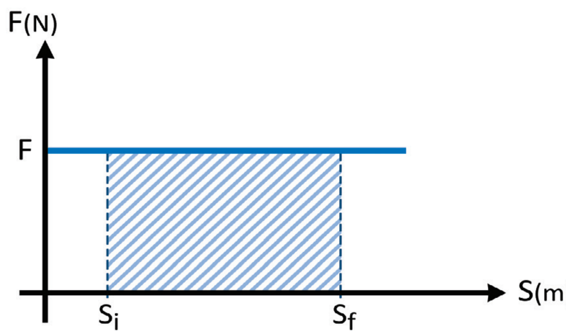


Figura 4: Comportamento de uma força de módulo igual a F, que se mantém constante ao longo do deslocamento.

Nesse caso, a expressão apresentada anteriormente pode ser obtida diretamente a partir do calculo da área do retângulo hachurado.

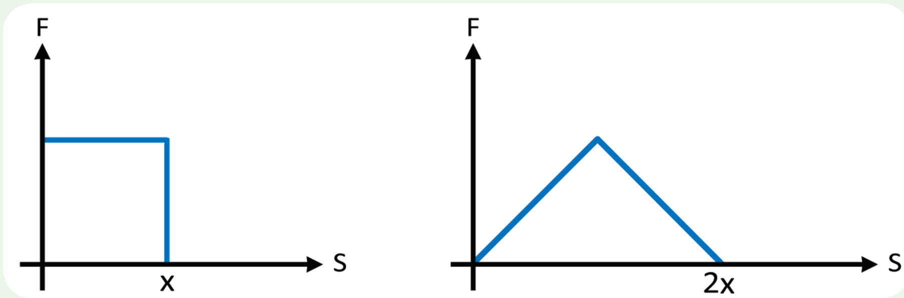
$$W = ÁREA$$
$$ÁREA = F\,(S_f - S_i)$$
$$ÁREA = F\Delta S$$
$$W = F\Delta S$$

A atividade 5 a seguir apresenta um interessante desafio cuja solução pode ser obtida partindo-se da ideia de que a área sob o gráfico traduz numericamente o valor do trabalho realizado pela força.

Atividade 5

Constante e inconstante

A figura a seguir mostra o comportamento de uma força F que, no primeiro caso, se mantém constante enquanto atua sobre um móvel que percorre uma distância = x. No segundo caso, a força varia enquanto o móvel percorre uma distância = 2 x.



Faça uma fotocópia dos gráficos e, com o auxílio de uma tesoura, descubra em qual dos casos o trabalho realizado foi maior.

Anote suas respostas em seu caderno

Seção 4
Energia potencial

Diz-se que um sistema possui energia potencial quando ele está potencializado para realizar trabalho. Em geral, a percepção imediata da presença de energia potencial em um sistema não é tão fácil como no caso da energia cinética, que pode ser verificada pela simples observação do corpo em movimento. A seguir, vamos lançar mão de dois sistemas bem simples com o objetivo de auxiliar na compreensão do conceito de energia potencial. O primeiro deles é o sistema massa – mola, onde atua apenas a força elástica da mola, e o segundo é uma massa que realiza movimento vertical, onde atua somente o peso.

Energia potencial elástica

A figura a seguir mostra um sistema massa – mola livre de atrito. No primeiro caso observamos a mola relaxada, no segundo caso temos a mola totalmente comprimida exercendo uma força F_{el} no bloco, e no terceiro caso, a mola está totalmente distendida, exercendo a mesma força F_{el} no bloco, agindo em sentido contrário.

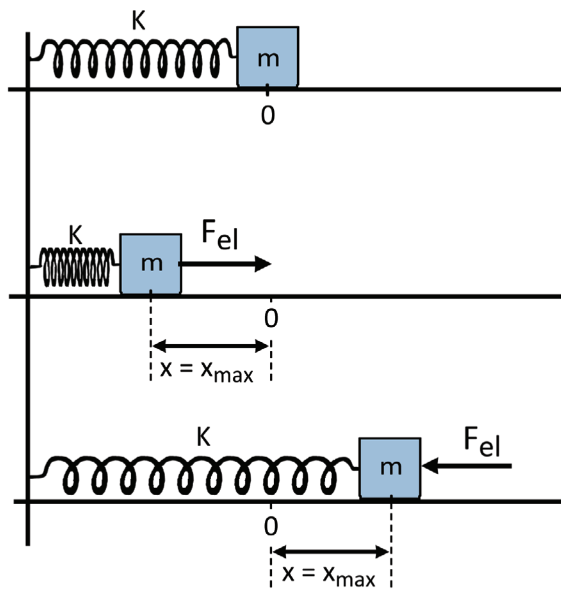


Figura 5: Sistema massa – mola.

Mesmo estando em repouso – totalmente comprimida ou distendida – a mola possui as condições para movimentar a massa m e, com isso, realizar trabalho. Essa parcela de energia acumulada no sistema e que o potencializa para a realização do trabalho é denominada **ENERGIA POTENCIAL ELÁSTICA** do sistema.

Para pequenas deformações, que não comprometam as propriedades elásticas da mola, a relação entre a força elástica que a mola exerce no bloco (F_{el}) e a deformação da mola (x) pode ser considerada linear e representada pela expressão:

$$F_{el} = Kx$$

onde K é uma constante denominada constante elástica da mola.

Saiba Mais

Ao estudar as relações entre as deformações provocadas em uma mola pela ação de forças aplicadas, Robert Hooke (1635-1703), verificou que a deformação aumenta proporcionalmente à força. Daí estabeleceu-se a chamada Lei de Hooke que acabamos de conhecer, traduzida pela seguinte expressão matemática: $F_{el} = Kx$

Hooke foi um cientista inglês, essencialmente mecânico e meteorologista nascido em em Freshwater, na Isle of Wight, que formulou a *teoria do movimento planetário* e a primeira teoria sobre as propriedades elásticas da matéria.

Fonte: http://www.dec.ufcg.edu.br/biografias/RoberHoo.html

Graficamente, a relação entre F_{el} e x é mostrada na figura a seguir:

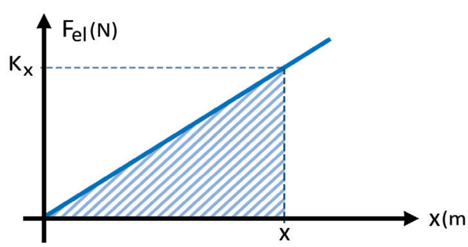


Figura 6: Comportamento linear da força elástica.

A partir do gráfico, é possível determinar a quantidade de energia potencial elástica mínima que o sistema precisa para que a força realize o trabalho de deslocar o bloco da origem (0), até um ponto distante x da origem. Essa energia tem valor igual ao trabalho que a força realiza.

$$W = E_p$$

O cálculo do trabalho pode ser feito a partir da área do triângulo hachurado. Logo:

$$W = ÁREA$$

$$ÁREA = \frac{Kx.x}{2}$$
$$ÁREA = \frac{Kx^2}{2}$$
$$W = \frac{Kx^2}{2}$$
$$Ep = \frac{Kx^2}{2}.$$

Energia potencial gravitacional

A figura a seguir ilustra uma situação onde uma esfera de massa m se encontra posicionada em duas situações. Na primeira, ela está apoiada sobre a superfície de uma mesa e na segunda ela encontra-se elevada até uma altura h em relação ao nível de referência (0) que coincide com a superfície. Sobre ela está representada a ação da força peso (P).

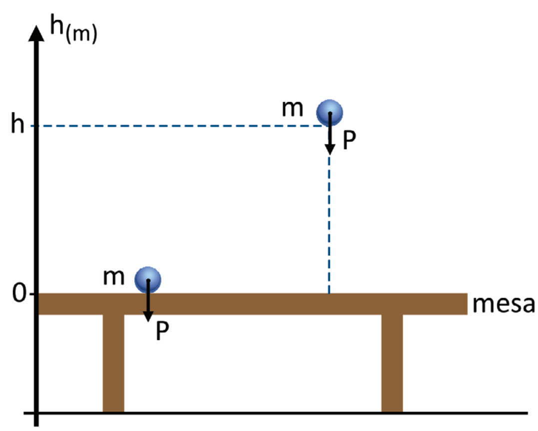


Figura 7: Esfera de massa m elevada em relação à superfície de uma mesa.

Mesmo estando em repouso, no ponto mais alto o sistema se encontra em condições de realizar trabalho. Nesse caso, diz-se que a energia acumulada potencializa o sistema, ou que o sistema está carregado de energia potencial gravitacional. Uma vez liberada, a esfera irá se deslocar para baixo, percorrendo uma distância h sob a ação da força peso (P).

Esta quantidade de energia potencial gravitacional tem valor igual ao trabalho que o peso realiza quando a esfera percorre o trajeto do ponto mais alto até a superfície da mesa. Logo:

$$W = E_p$$

O cálculo do trabalho pode ser feito a partir da expressão geral anteriormente apresentada, uma vez que estamos aqui considerando o peso uma força constante, para pontos próximos à superfície da Terra. Assim:

$$W = F\Delta S \cos\theta$$

onde

$$\theta = 0°$$
$$\cos\theta = 1$$
$$\Delta S = h$$
$$F = P = mg$$

Substituindo todos esses valores na expressão geral, teremos:

$$W = mgh \ (1)$$
$$W = mgh$$
$$E_p = mgh$$

De onde se conclui que, para pontos próximos à superfície da Terra, a energia potencial gravitacional que a massa acumula é definida pela altura em que ela se encontra em relação ao nível de referência.

Forças conservativas e dissipativas

Você deve estar familiarizado com forças de diferentes naturezas. A força de tração, por exemplo, é um tipo de força que se propaga ao longo de cordas e cabos, enquanto a força gravitacional é um tipo de ação à distância que não necessita de qualquer tipo de contato entre os corpos envolvidos.

Podemos realizar uma classificação para as forças que se define em função do trabalho que elas realizam sobre o corpo. Quando uma força atua sobre um sistema sem provocar qualquer tipo de dissipação da energia do sistema, ela é chamada de conservativa. Os exemplos mais comuns de forças conservativas são a força gravitacional (peso) e a força elástica exercida por uma mola ou por um sistema elástico.

Uma força é chamada de dissipativa quando, ao contrário, provoca a dissipação da energia do sistema. O exemplo mais comum é a força de atrito, cujo trabalho realizado sobre o sistema é transformado em calor e se perde.

Na palma das mãos

Encoste as palmas de suas duas mãos e esfregue bem uma na outra. Você irá perceber um aumento na temperatura em ambas as mãos. Baseado no conceito de força dissipativa, explique por que ocorre o aumento da temperatura.

Atividade 6

Anote suas respostas em seu caderno

Seção 5
Princípio da conservação da energia

Considerado como um dos princípios mais importantes da física, o princípio da conservação da energia encontra aplicação em muitas situações do cotidiano onde ocorrem processos que envolvem transformações de energia

No dia a dia é comum a ocorrência de processos de transformação de energia. No motor do automóvel, por exemplo, a energia química acumulada no combustível é transformada em energia de movimento (cinética); a energia contida nos alimentos que ingerimos sofre transformações, sendo utilizadas nas diversas tarefas que desempenhamos; a energia elétrica que recebemos da concessionária é transformada em nossas casas em calor, trabalho, energia de movimento (cinética), e etc., dependendo do eletrodoméstico que estamos utilizando.

Para auxiliar na compreensão deste importante princípio vamos utilizar o exemplo do sistema massa – mola apresentado na figura 5, considerando que não há forças de atrito presentes no sistema.

Iniciamos nossas reflexões a partir da situação onde a mola encontra-se totalmente comprimida. Nesse instante, a **ENERGIA POTENCIAL DO SISTEMA É MÁXIMA**, já que a deformação da mola é máxima ($x = x_{max}$) e o corpo está em repouso. Portanto, não há energia cinética e a energia total do sistema (E) encontra-se acumulada na forma de energia potencial elástica, dada pela expressão:

$$E = E_p$$

onde

$$E_p = K\frac{x_{max}^2}{2}$$

ou

$$E = K\frac{x_{max}^2}{2}$$

Uma vez liberada, a mola passa a exercer uma força decrescente F_{el} sobre o corpo com sentido voltado para a direita e este inicia um deslocamento também para a direita. Durante este percurso a velocidade vai aumentando até que o corpo chegue ao ponto x = 0 (ponto de referência), onde não haverá mais força elástica atuando (F_{el} = 0) e nem energia potencial acumulada (E_p = 0). Nesse instante, a velocidade do corpo será máxima ($v = v_{max}$) e toda energia do sistema será cinética:

$$E = E_p$$

onde

$$E_c = \frac{mv_{max}^2}{2}$$

ou

$$E = \frac{mv_{max}^2}{2}.$$

Depois que o corpo ultrapassa a origem, o movimento continua ocorrendo para a direita e, a partir deste instante, a força F_{el} começa a crescer e age sobre o corpo em sentido contrário ao do movimento, provocando uma diminuição na velocidade até que o corpo chegue à outra extremidade com a mola totalmente distendida ($x = x_{max}$). Nesse instante, toda a energia está acumulada pelo sistema na forma de energia potencial. Logo:

$$E = E_p = K\frac{x_{max}^2}{2}$$

Na ausência de forças dissipativas como o atrito, este ciclo será periodicamente repetido, indefinidamente, e a energia total conservada.

Quando não estão submetidos a forças de natureza dissipativa, esses sistemas são chamados de conservativos, porque preservam (conservam) a sua energia total.

O princípio da conservação da energia afirma que, na ausência de forças dissipativas, a energia total do sistema se conserva.

Produção da energia elétrica

Desde que foi possível a produção de energia elétrica em larga escala a partir do século XIX, houve uma mudança radical, não só na forma de vida das sociedades – sobretudo naquelas mais desenvolvidas –, mas também nos meios de produção.

Isso foi possível graças ao desenvolvimento do eletromagnetismo e das usinas geradoras de energia. De maneira geral, essas usinas funcionam baseadas em sucessivos processos de transformação da energia que é obtida de uma fonte natural em energia elétrica. A transformação final se dá no interior de geradores elétricos.

Para que o gerador elétrico funcione (gere energia elétrica), é necessário que ele esteja acoplado a um mecanismo que deve provocar o movimento de rotação do conjunto. Nas usinas hidrelétricas, termelétricas e termonucleares, esses mecanismos são chamados de turbinas e podem se movimentar a partir da queda d'água no caso das hidrelétricas, ou a partir do vapor d'água em alta pressão, produzido nas termelétricas e termonucleares. No caso dos geradores eólicos, o mecanismo é um conjunto de pás mecânicas que giram acopladas às unidades geradoras propriamente ditas, impulsionadas pelo movimento do vento.

Independentemente da fonte ou da tecnologia utilizadas, o processo envolve uma série de transformações e culmina com a transformação de energia cinética de rotação em energia elétrica.

As reflexões anteriormente apresentadas se referem a situações limite. Você deve estar se perguntando: o que ocorre nos pontos intermediários da trajetória do corpo?

Nesses casos, parte da energia presente no sistema será potencial e parte será cinética, já que teremos a presença da força elástica e da velocidade concomitantemente, e o valor da energia total será partilhado entre as duas parcelas – potencial e cinética – e representado pela expressão matemática a seguir, que traduz o princípio da conservação da energia:

$$E = E_p + E_c$$

ou ainda

$$E = K\frac{x^2}{2} + \frac{mv^2}{2}$$

Podemos ainda, refletir sobre o exemplo anteriormente apresentado, que trata do momento vertical da massa que desce sob a **AÇÃO DO PESO** e sem atrito. A energia total do sistema se conserva, já que o peso é uma força conservativa. Também neste caso, a expressão matemática que traduz o princípio da conservação da energia para pontos intermediários da trajetória será:

$$E = E_p + E_c$$

ou ainda

$$E = mgh + \frac{mv^2}{2}$$

A atividade 7 a seguir permite que você reflita sobre a aplicação do princípio da conservação da energia em um problema hipotético inspirado na atividade 1 anteriormente analisada.

Exercitando o princípio da conservação da energia

Atividade 7

Vamos imaginar, que no lugar da massa de modelar da atividade 1, tivéssemos uma mola vertical, onde cada esfera poderia se chocar no final da queda.

A partir das suas observações realizadas nos ensaios da atividade 1, utilizando seus conhecimentos sobre o princípio da conservação da energia, e a expressão matemática da energia potencial elástica, faça uma análise qualitativa e apresente suas considerações sobre os valores da energia potencial elástica acumulada no sistema para cada caso isoladamente.

Anote suas respostas em seu caderno

O princípio da conservação da energia que acabamos de estudar nos afirma que um corpo pode exibir somente energia do tipo cinética, somente energia potencial, ou os dois tipos concomitantemente, desde que o balanço energético previsto pelo princípio seja obedecido.

Quando o corpo encontra-se acelerado, a variação da energia cinética deste corpo corresponde ao trabalho que a força realiza sobre ele durante o intervalo de tempo que este gasta para realizar o deslocamento.

Recursos Complementares

1 Guia rápido

Assunto: Resumo de quem foi Richard Philips Feynman

Link: http://www.dec.ufcg.edu.br/biografias/RichaPhi.html

2 A vida e o trabalho de James Prescott Joule

O físico inglês James Prescott Joule tornou-se famoso por suas experiências envolvendo a “transformação trabalho em calor”. Seu nome está associado à possibilidades de conversão de trabalho mecânico e de eletricidade em calor.Quer saber mais sobre a vida e os experimentos de Joule? Então, acesse o site da Unicamp e mergulhe em sua biografia: http://www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/person/joule.htm

Link: http://www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/person/joule.htm

Descrição: Site da Unicamp descrevendo a biografia do físico James Prescott Joule

3 Energia cinética

Link: http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnica.html?id=22174

Descrição: experimento que ilustra como a energia cinética de um corpo, que está em movimento é transferida a outro.

4 Força

Link: http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/bitstream/handle/mec/17577/index.html?sequence=115

Descrição: A animação tem o objetivo de mostrar que forças são grandezas físicas que dependem, além da intensidade, da direção e do sentido da aplicação. Ou seja, forças são grandezas vetoriais.

5 Energia elástica

Link: http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnica.html?id=36886

Descrição: Neste experimento, é possível verificar o armazenamento de energia potencial elástica em uma mola através de um sistema lançador de projéteis.

6 Conservação de energia

Link: http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/bitstream/handle/mec/2242/index.html?sequence=8

Descrição: A animação apresenta, através da atividade salto da ponte, os conceitos de energia potencial elástica, potencial gravitacional, energia cinética e conservação.

7 Assunto: Conservação de energia potencial em cinética.

Link: http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnica.html?id=13625

Descrição: O experimento pretende mostrar que quanto maior a energia potencial gravitacional no início do movimento de queda de um objeto, maior será sua energia cinética ao final da queda: a transformação da energia, através do movimento de uma bolinha que escorrega numa rampa.

Resumo

Na unidade que acabamos de estudar você teve a oportunidade de discutir o caráter universal do conceito de energia, grandeza física muito importante que é expressa em Joule (J) no sistema internacional de unidades. Além disso, foram discutidos os conceitos de energia cinética, trabalho de uma força, energia potencial gravitacional e energia potencial elástica. A partir do Teorema do Trabalho – Energia, que relaciona o trabalho realizado por uma força com a variação da energia cinética do móvel, foi possível a introdução de discussões e fórmulas matemáticas que possibilitam o cálculo do trabalho realizado por uma força constante que atua sobre um móvel. Além disso, foram estudados métodos gráficos que permitem o cálculo do trabalho em algumas situações particulares onde a força varia em função da posição do móvel. Foram estudados ainda, a chamada Lei de Hooke, os conceitos de força conservativa e força dissipativa, além do princípio da conservação da energia para sistemas conservativos.

Veja ainda

Se você tem interesse em se atualizar e ampliar seus conhecimentos acerca da temática que envolve questões energéticas, poderá ler os seguintes títulos:

Energia: uma abordagem multidisciplinar. Autores: de Maria Paula de castro Burattini e Claudio Zaki Dib. Editora Livraria da Física, 2008.

Energia e meio ambiente. Autor: Samuel Murgel Branco. Editora Moderna, 2004.

Respostas das Atividades

Atividade 1

No primeiro caso, a esfera que partiu do ponto mais alto vai provocar maior deformação na massa e no segundo caso, a esfera maior é que vai causar a maior deformação.

Atividade 2

No primeiro caso a segunda esfera chega ao ponto mais baixo da trajetória (superfície da massa de modelar) com maior energia cinética. No segundo caso, a segunda esfera possui maior massa e, consequentemente chega ao ponto mais baixo da trajetória com maior energia cinética.

Atividade 3

No primeiro caso a variação da energia cinética sofrida pela segunda esfera até que ela entre em repouso é maior. Por isso, o peso realiza mais trabalho provocando uma maior deformação da superfície.

No segundo caso a segunda esfera passa pelo mesmo processo e o peso realiza mais trabalho.

Atividade 4

Podemos resolver o problema utilizando a expressão que possibilita o cálculo do trabalho a partir da força e do deslocamento que ela provoca.

$$W = F\Delta S$$

Substituindo os valores fornecidos pelo problema, teremos:

$$W = 5 \times 3$$

$$W = 15\ J$$

Respostas das Atividades

Atividade 5

Recortando o retângulo do primeiro gráfico e o triângulo do segundo com o auxílio da tesoura, é possível, a partir de um segundo corte no triângulo seguido de uma simples montagem, verificar que as áreas se equivalem. Logo, os trabalhos são iguais.

Atividade 6

A temperatura aumenta devido à dissipação de calor que a força de atrito (dissipativa) provoca durante o processo de fricção entre as mãos.

Atividade 7

Em ambos os casos, desconsiderando-se as forças dissipativas, a energia potencial elástica acumulada na mola, será igual a que estava acumulada na massa no alto da trajetória na forma de energia potencial gravitacional, já que o sistema é conservativo. Logo, no primeiro caso, a deformação da mola provocada pela segunda esfera será maior e, consequentemente, será maior a energia potencial elástica acumulada na mola quando ela estiver totalmente comprimida. Da mesma forma, no segundo caso, a deformação provocada pela segunda esfera será maior e, consequentemente, será maior a energia potencial elástica acumulada na mola no instante de compressão máxima.

Bibliografia

- FEYNMAN, Richard; LEIGHTON, Robert; SANDS, Matthew. **The Feynman Lectures on Physics**, v.1, London: Ed. Addison-Wesley, 1977.
- GUIMARÃES, Luiz Alberto; FONTE BOA, Marcelo. **Física Ensino Médio**, v. 1, São Paulo: Ed. Futura, 2004.

Imagens

- http://www.sxc.hu/photo/1161645, Zsuzsanna Kilian.

- http://www.sxc.hu/photo/1382253.

- http://www.sxc.hu/photo/805175.

- http://www.sxc.hu/photo/1095723. Autor: Kriss Szkurlatowski.

- http://www.sxc.hu/photo/748825. Autor: jason conlon.

- http://www.sxc.hu/photo/965820. Autor: Billy Alexander.

- http://www.sxc.hu/photo/1084630. Autor: Svilen Milev.

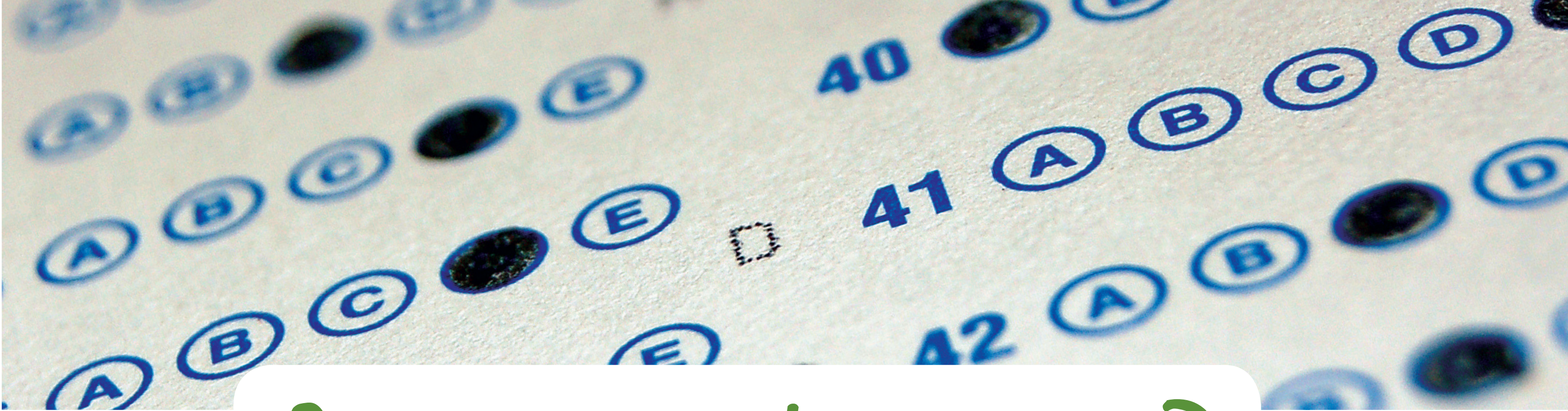
- http://www.sxc.hu/photo/1145532. Autor: Svilen Milev.

- http://www.sxc.hu/photo/131304.

- http://www.dec.ufcg.edu.br/biografias/RoberHoo.html.

- http://www.sxc.hu/photo/1178035.

- http://www.sxc.hu/photo/1147438.



O que perguntam por aí?

Questão 1 (ENEM 2005)

Um problema ainda não resolvido da geração nuclear de eletricidade é a destinação dos rejeitos radioativos, o chamado “lixo atômico”. Os rejeitos mais ativos ficam por um período em piscinas de aço inoxidável nas próprias usinas antes de ser, como os demais rejeitos, acondicionados em tambores que são dispostos em áreas cercadas, ou encerrados em depósitos subterrâneos secos, como antigas minas de sal. A complexidade do problema do lixo atômico, comparativamente a outros lixos com substâncias tóxicas, se deve ao fato de

a. emitir radiações nocivas, por milhares de anos, em um processo que não tem como ser interrompido artificialmente.

b. acumular-se em quantidades bem maiores do que o lixo industrial convencional, faltando assim locais para reunir tanto material.

c. ser constituído de materiais orgânicos que podem contaminar muitas espécies vivas, incluindo os próprios seres humanos.

d. exalar continuamente gases venenosos, que tornariam o ar irrespirável por milhares de anos.

e. emitir radiações e gases que podem destruir a camada de ozônio e agravar o efeito estufa.

Gabarito: Letra A

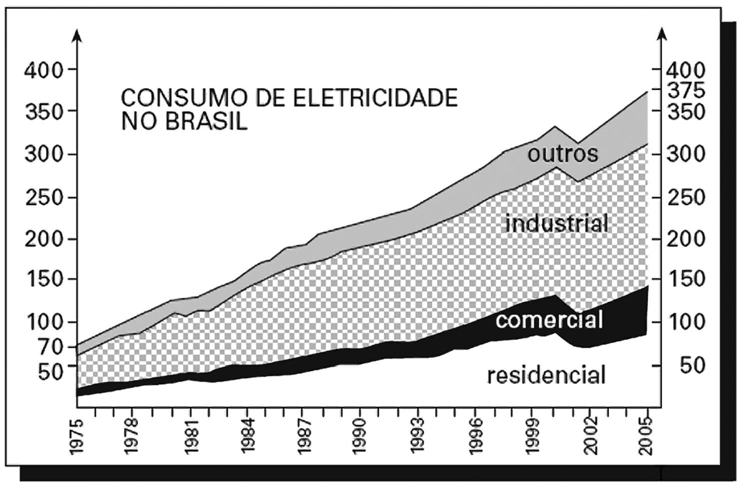
Comentário

Os rejeitos radiativos não são orgânicos e nem emitem gases. Entretanto, permanecem emitindo radiação perigosa para a saúde durante muitos anos. Logo, a resposta correta é o item A.

(ENEM 2008)

Texto para as questões 2 e 3

O gráfico a seguir ilustra a evolução do consumo de eletricidade no Brasil, em GWh, em quatro setores de consumo, no período de 1975 a 2005.



Balanço Energético Nacional. Brasília: MME, 2003 (com adaptações)

Questão 2

A racionalização do uso da eletricidade faz parte dos programas oficiais do governo brasileiro desde 1980. No entanto, houve um período crítico, conhecido como “apagão”, que exigiu mudanças de hábitos da população brasileira e resultou na maior, mais rápida e significativa economia de energia. De acordo com o gráfico, conclui-se que o “apagão” ocorreu no biênio

a. 1998 – 1999.

b. 1999 – 2000.

c. 2000 – 2001.

d. 2001 – 2002.

e. 2002 – 2003.

Resposta: Letra C.

Comentário:

Observando o gráfico, é possível verificar a queda acentuada no período entre os anos de 2000 e 2001. Logo, a resposta correta é o item C.

Questão 3

Observa-se que, de 1975 a 2005, houve aumento quase linear do consumo de energia elétrica. Se essa mesma tendência se mantiver até 2035, o setor energético brasileiro deverá preparar-se para suprir uma demanda total aproximada de

a. 405 GWh.

b. 445 GWh.

c. 680 GWh.

d. 750 GWh.

e. 775 GWh.

Gabarito: Letra C

Comentário:

Para resolver essa questão é necessário construir uma equação matemática que represente o comportamento aproximadamente linear que o gráfico exibe.

Seja E = E_0 + a.Δt a expressão que representa o crescimento da energia (E) em função do tempo (Δt), onde E_0 é a energia inicial e a o coeficiente angular da reta que mais se aproxima da rampa característica.

Do gráfico podemos obter, com razoável aproximação,

$$E_0 = 70GWh$$

e

$$a = \frac{400 - 100}{2005 - 1975}$$

$$a = \frac{300}{30}$$

$$a = 10$$

Logo:

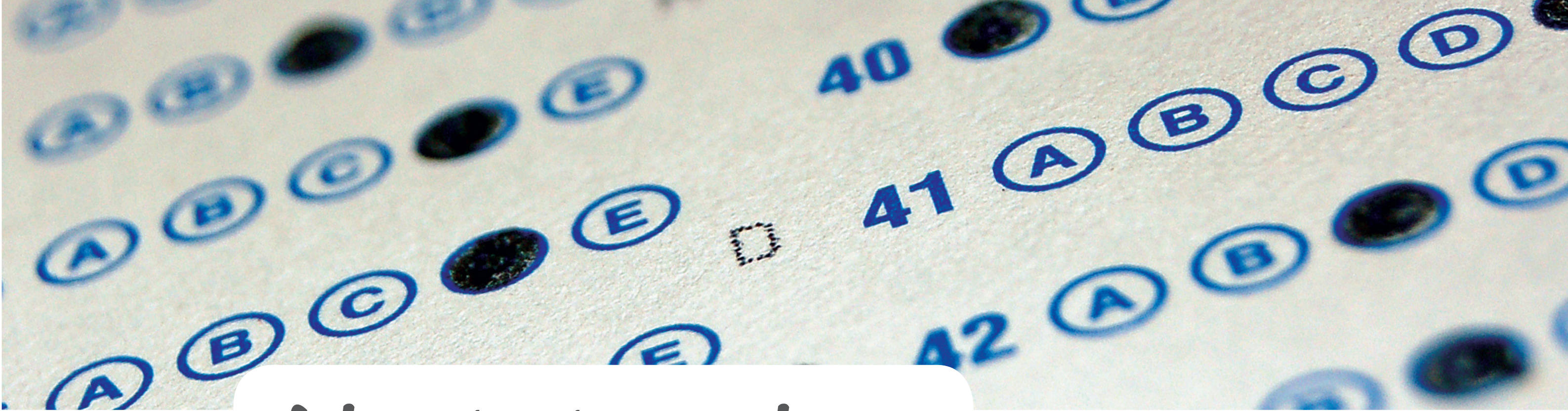
$$E = 70 + 10.\Delta t$$

Entre 1975 e 2035 teremos 60 anos. Logo:

$E = 70 + 10 \cdot 60$

$E = 670\ GWh$

A resposta que mais se aproxima está no item C.



Atividade extra

Questão 1

Do ponto mais alto de uma rampa, um garoto solta sua bola de gude.

Durante a descida, sua energia:

a. cinética diminui;

b. cinética aumenta;

c. cinética conserva-se;

d. potencial conserva-se.

Questão 2

Observe a situação descrita na tirinha:

(Francisco Caruso & Luisa Daou, Tirinhas de Física, vol. 2, CBPF, Rio de Janeiro, 2000.)

Assim que o menino lança a flecha, há transformação de um tipo de energia em outra. A transformação, nesse caso, é de energia:

a. gravitacional em energia potencial;

b. potencial elástica em energia cinética;

c. cinética em energia potencial elástica;

d. potencial elástica em energia gravitacional.

Questão 3

Uma das modalidades presente nas olimpíadas é o salto com vara. As etapas de um dos saltos de um atleta estão representadas na figura:

Desprezando-se as forças dissipativas (resistência do ar e atrito), para que o salto atinja a maior altura possível, ou seja, o máximo de energia seja conservada, é necessário que:

a. a energia cinética, representada na etapa I, seja totalmente convertida em energia potencial elástica, representada na etapa IV;

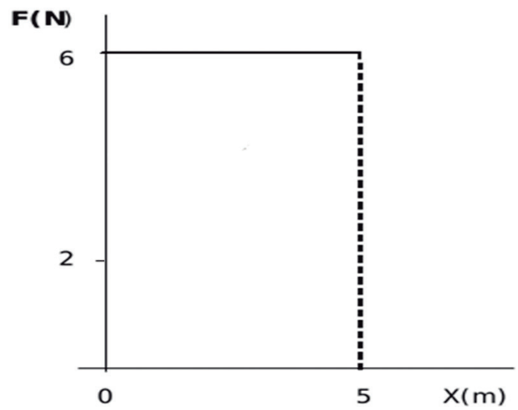
b. a energia cinética, representada na etapa II, seja totalmente convertida em energia potencial gravitacional, representada na etapa IV;

c. a energia cinética, representada na etapa I, seja totalmente convertida em energia potencial gravitacional, representada na etapa III;

d. a energia potencial gravitacional, representada na etapa II, seja totalmente convertida em energia potencial elástica, representada na etapa IV.

Questão 4

Observe o gráfico a seguir, representando o módulo da força resultante que atua sobre um corpo de massa 5 kg.



Ao longo do deslocamento de 0 a 5 m, a variação da energia cinética do corpo foi, em joules, de:

a. 20;

b. 30;

c. 40;

d. 50.

Questão 5

Para Davi medir a energia potencial de uma bola de borracha, com massa de 100 g, ele subiu em uma árvore, com altura de 2 m em relação ao solo, e soltou essa bola.

Considerando a aceleração da gravidade igual a 10 m/s^2, determine o valor encontrado por Davi, no exato momento de abandono da bola.

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

No momento de abandono da bola:

$h = 2m$

$g = 10\ m/s^2$

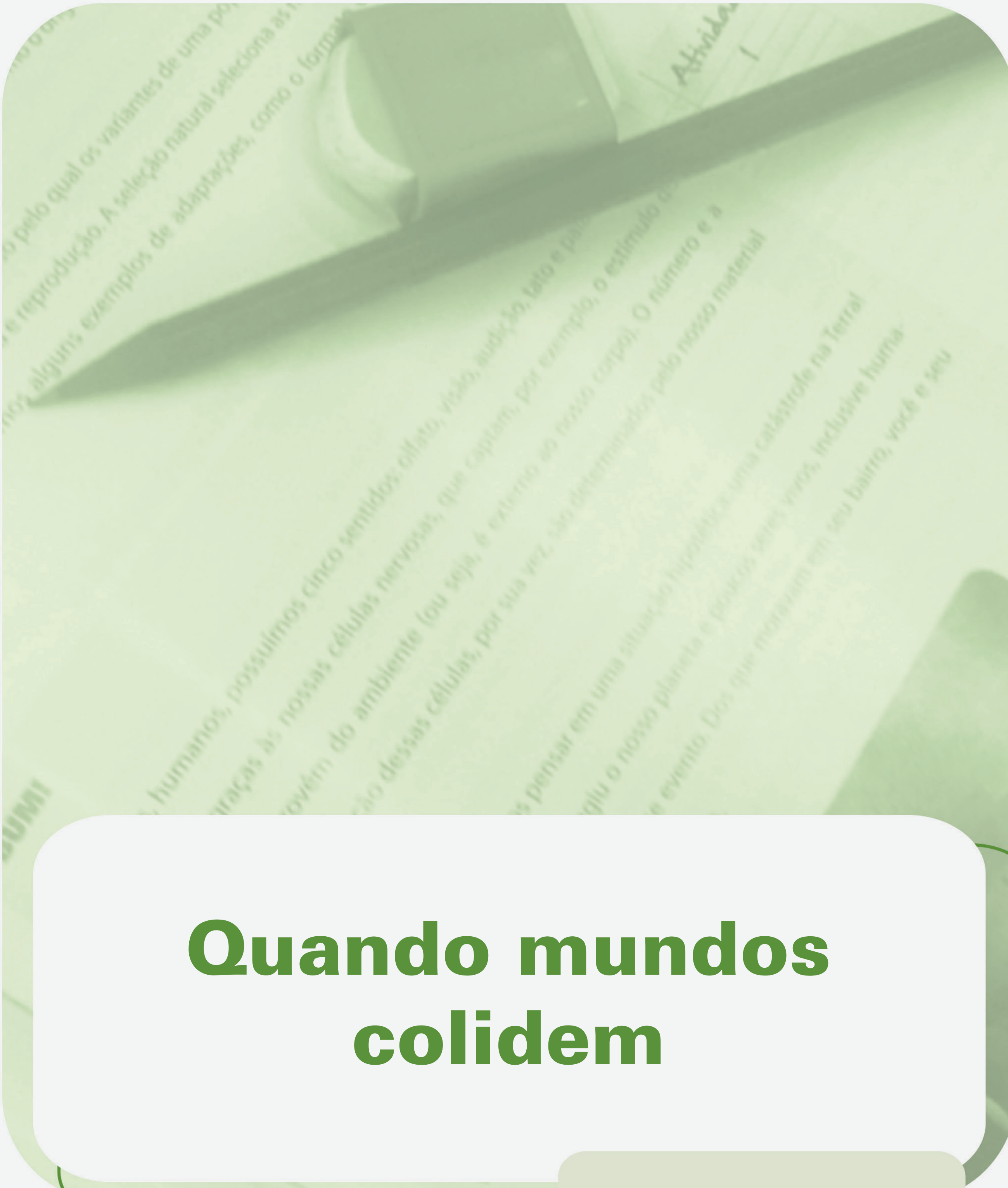
$m = 100g = 0{,}1kg$

A energia potencial é dada por:

$Ep = mgh$

$Ep = 0{,}1x10 \times 2J$

$Ep = 2J.$



Quando mundos colidem

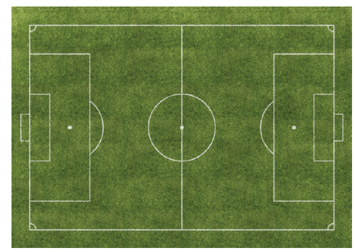
Fascículo 3

Unidade 7

Fundação CECIERJ

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.

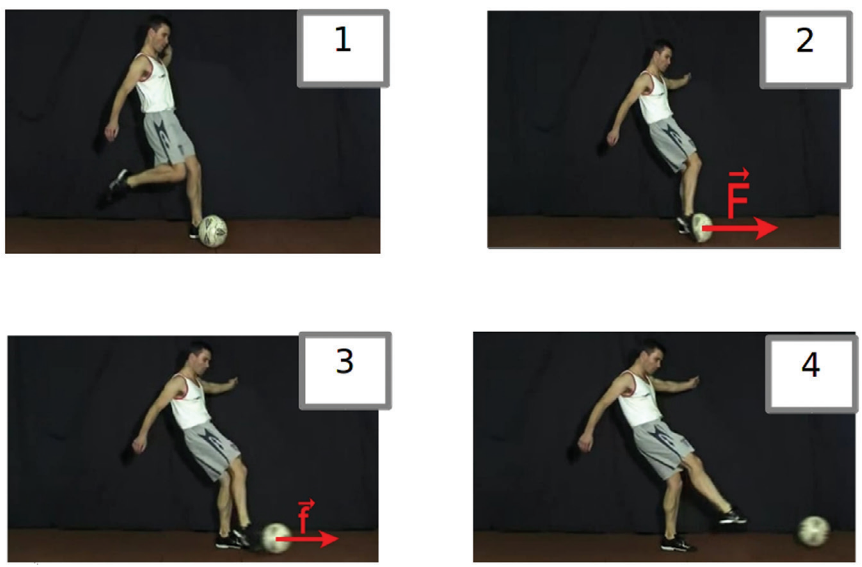


Figura 1: Imagem estroboscópica, com a representação de 4 instantes diferentes.

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:

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

e em seguida substituir na equação do impulso:

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

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

$$I = m \times \Delta v \qquad (5)$$

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:

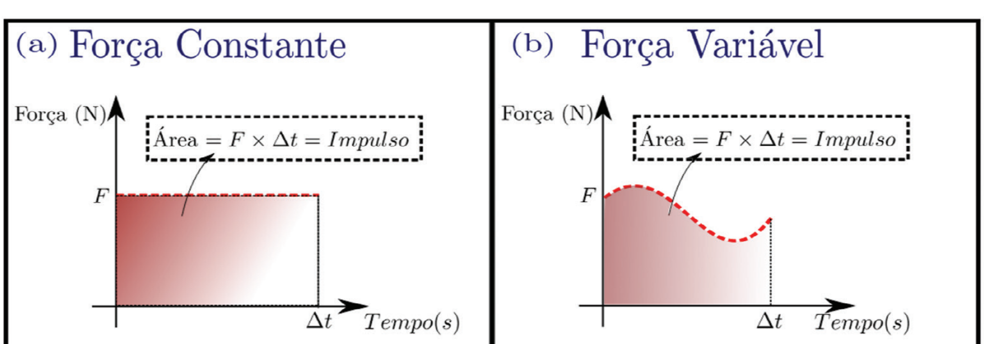


Figura 2: Em ambos os gráficos, temos o gráfico de força versus tempo. Em (a), a força aplicada é constante. Em (b), a força aplicada é variável.

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.

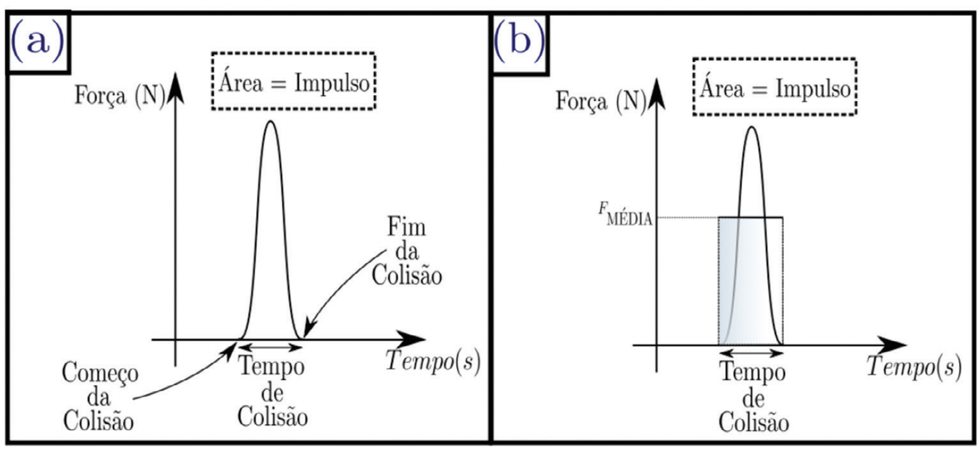


Figura 4: Em (a), temos um gráfico que representa como é a força entre as duas bolas de sinuca durante a colisão. Em (b) temos o mesmo, com o acréscimo da força média.

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.

Importante

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:

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

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).

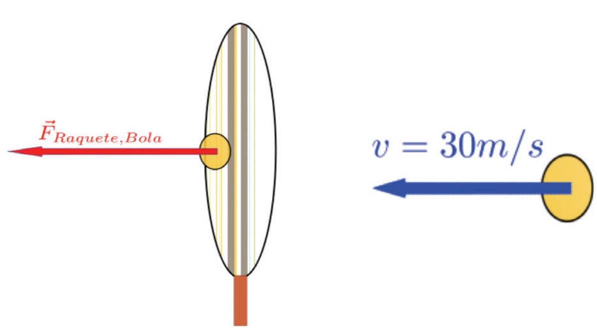


Figura 5: À esquerda, imagem da bola de Tênis, num instante da colisão da mesma com a raquete de Tênis. À direita, temos a bolinha, que adquire uma velocidade horizontal de 30 m/s após a colisão.

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):

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

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).

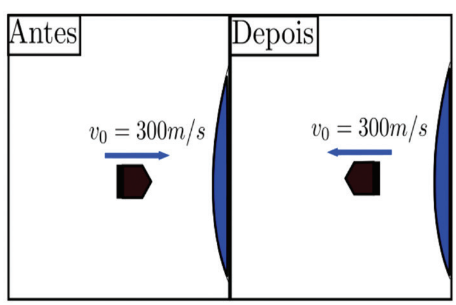


Figura 6: À esquerda, temos uma bala que atinge a pele do Superman, de tal modo que ela ricocheteia, e sua velocidade passa a apontar no sentido oposto, com o mesmo módulo que tinha antes da colisão (v = 300 m/s).

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:

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

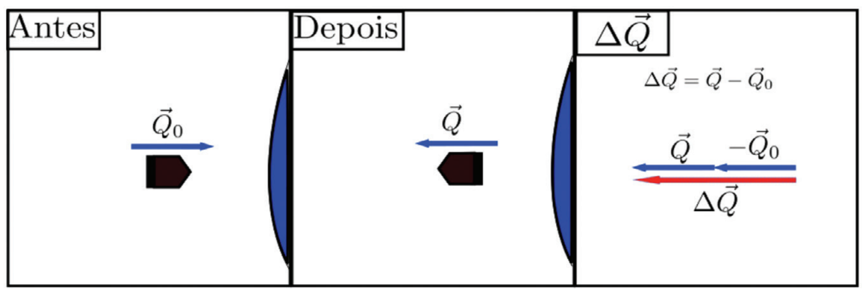


Figura 7: Representação da quantidade de movimento da bala, antes e depois da colisão. Temos também a representação da variação da quantidade de movimento da bala.

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...

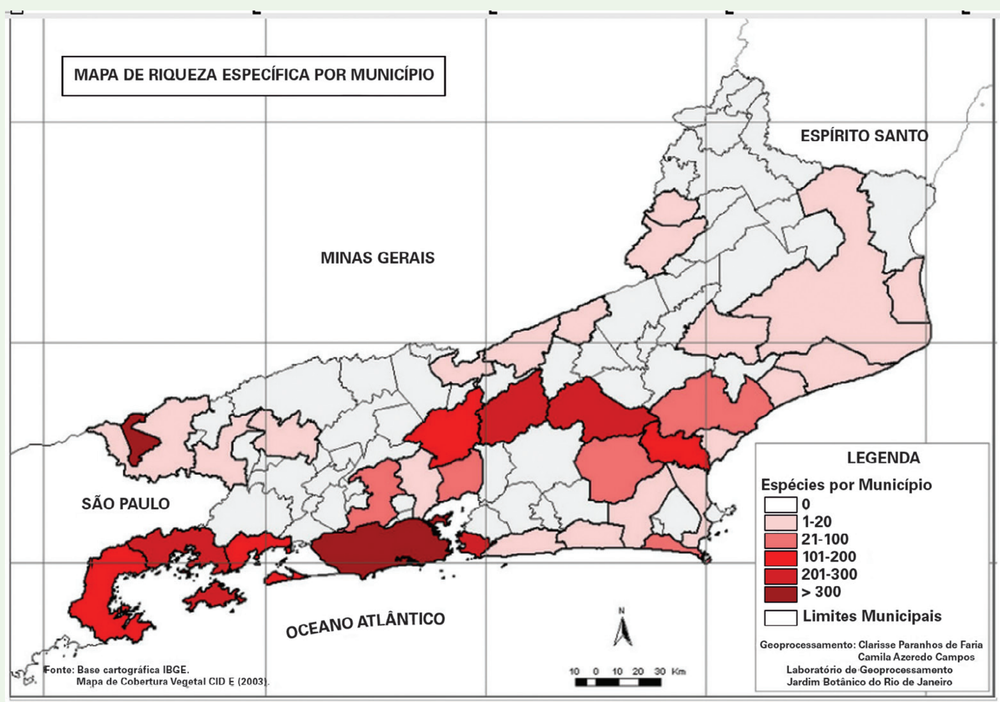
Em nosso dia a dia, frequentemente ouvimos alguma pessoa que entoa frases nostálgicas, que remetem a tempos antigos, onde as coisas eram melhores. Frases como, "Ah, não se fazem mais cervejas como antigamente!", ou "Os produtos de hoje em dia são muito vagabundos! A qualidade caiu muito!", são exemplos 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 km², 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.

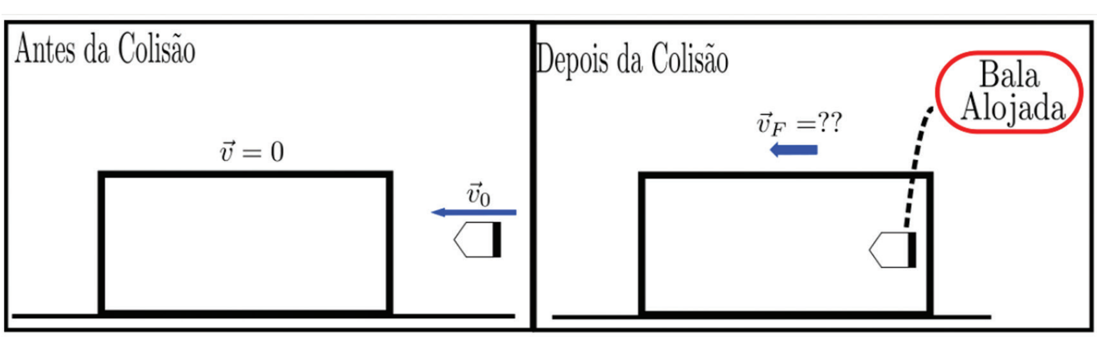


Figura 8: À esquerda, temos a bala, num instante um pouco anterior ao instante da colisão. Já na imagem da direita, temos a situação final, onde a bala fica alojada sobre o bloco.

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

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

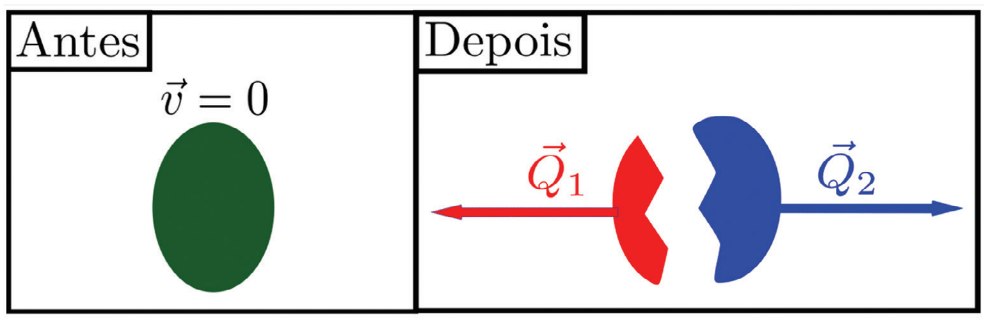


Figura 9: À esquerda, temos uma granada, que estava em repouso alguns instantes antes da sua explosão. À direita, temos os dois fragmentos da granada, logo após a explosão.

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

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

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:

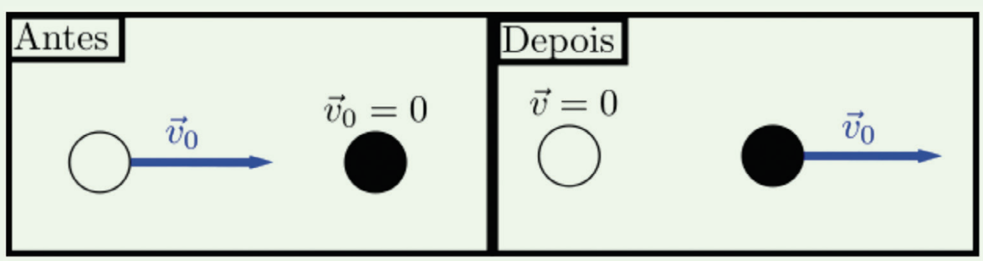
$$Q_{DEPOIS} = Q_1 + Q_2 = m_1 \times v_1 - m_2 \times v_2 = +(150\text{ g}) \times 1500\text{ m/s} - (250\text{ g}) \times v_2 \qquad (18)$$

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

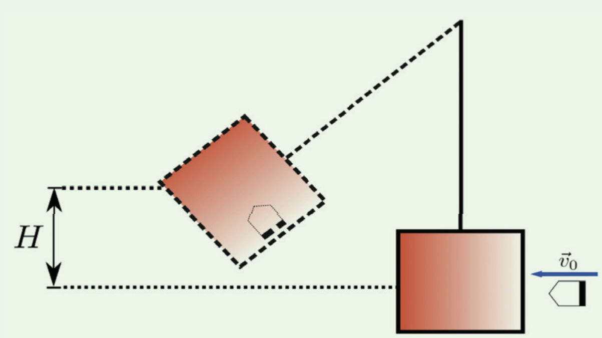
Atividade 8

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.

Anote suas respostas em seu caderno

Atividade 9

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.



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.

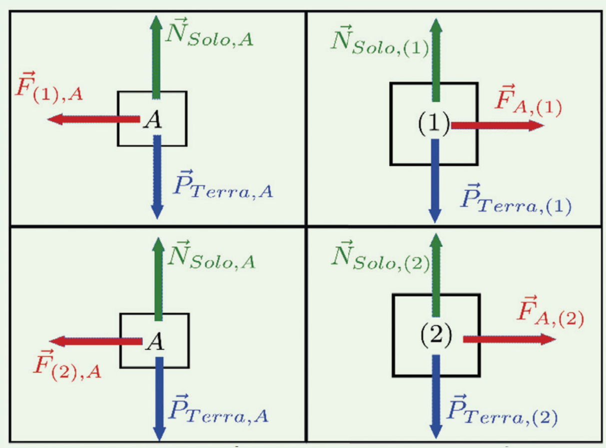
Atividade 6

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.

Respostas das Atividades

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).

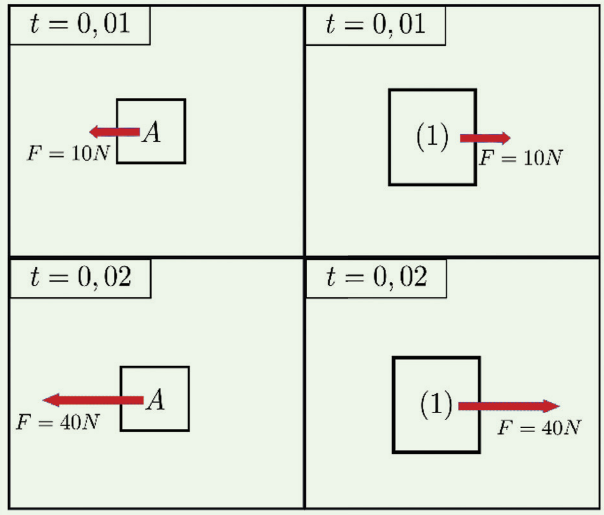
d. Conforme vimos no item c, o módulo do impulso resultante sobre A é sempre igual ao módulo do impulso resultante em 1 (e 2). Lembre-se da equação 9:

$$I_R = \Delta Q$$

   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:

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

$$m_{BRANCA}\ x\ v_0 + m_{PRETA}\ x\ _0 = m_{BRANCA}\ x_0 + m_{PRETA}\ x\ v$$

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

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

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

Atividade 8

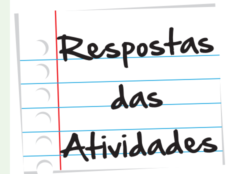
Esta atividade é bastante similar à atividade anterior. Utilizaremos novamente a equação 11:

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

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

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

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



Atividade 9

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

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

$$m_{BLOCO} \text{ x } 0 + m_{PROJÉTIL} \text{ x } v_0 = (m_{BLOCO} + m_{PROJÉTIL}) \text{ x } v$$

$$10 \text{ g x } 500 \text{ m/s} = (5010 \text{ g}) \text{ x } v$$

$$v = 0{,}998 \sim 1{,}0 \text{ m/s.}$$

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:

$$E_{MECÂNICA\ INICIAL} = E_{MECÂNICA\ FINAL}$$

$$E_{CINÉTICA\ INICIAL\ DO\ SISTEMA} = E_{POTENCIAL\ FINAL\ DO\ SISTEMA}$$

$$(1/2) \text{ x } (m_{BLOCO} + m_{PROJÉTIL}) \text{ x } v_2 = (m_{BLOCO} + m_{PROJÉTIL}) \text{ x } g \text{ x } h$$

$$(1/2) = 10 \text{ x } h$$

$$h = 0{,}05 \text{ m} = 5 \text{ cm}$$

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

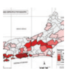
• http://www.sxc.hu/photo/1326077 - Alfredo Camacho

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

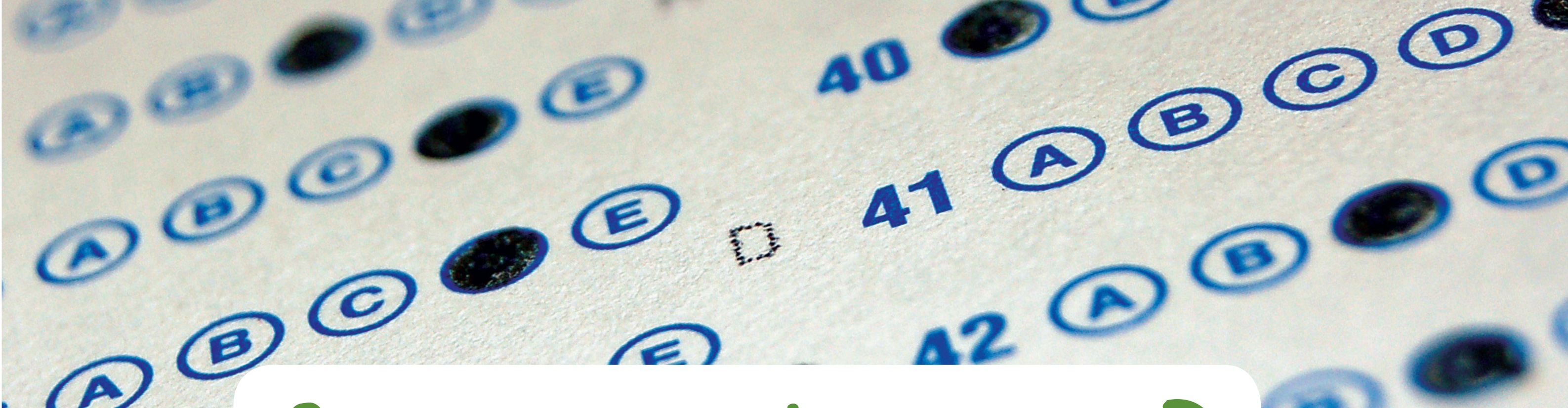
- http://www.sxc.hu/photo/1013903

- 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. $5{,}0 \cdot 10^2$

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

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

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

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

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

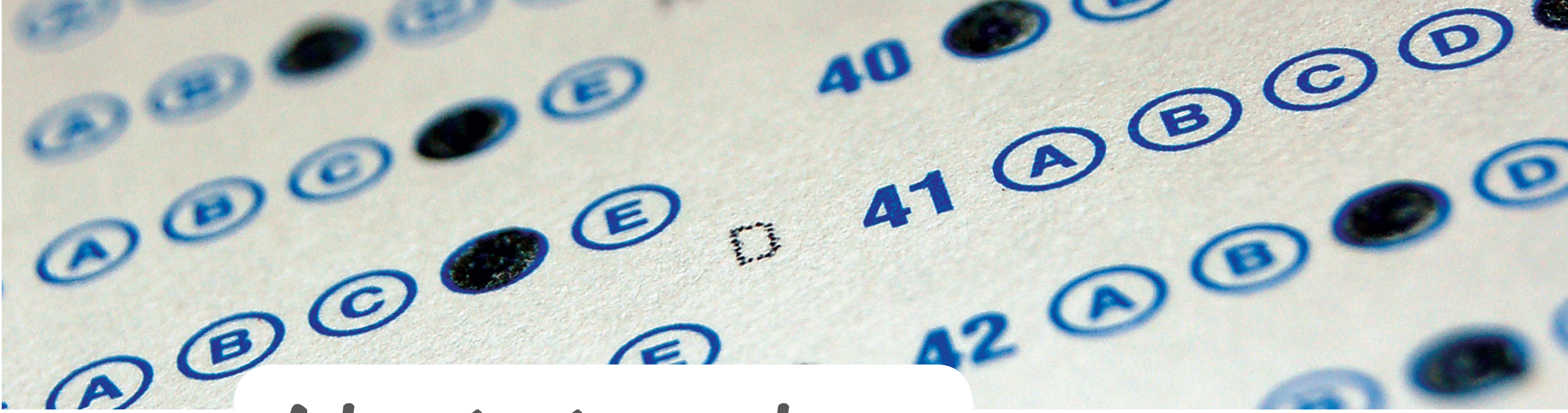
d. 800J

e. 1 600J

Gabarito

1. C

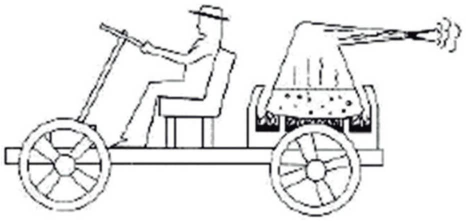
2. C



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.

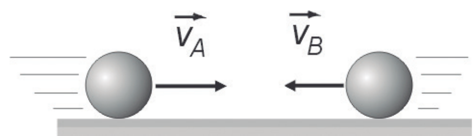
b. Conservação da Energia Potencial.

c. Princípio Fundamental da Hidrostática.

d. Conservação da Quantidade de Movimento.

Questão 2

Duas esferas A e B, de massas $m_A = 4$ kg e $m_B = 5$ 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;

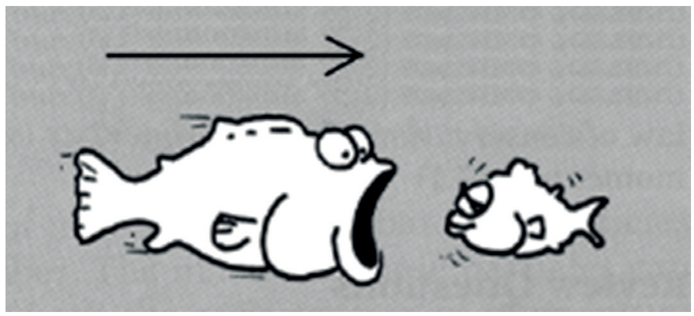
b. menor que a do gordo;

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
●	○	○	○

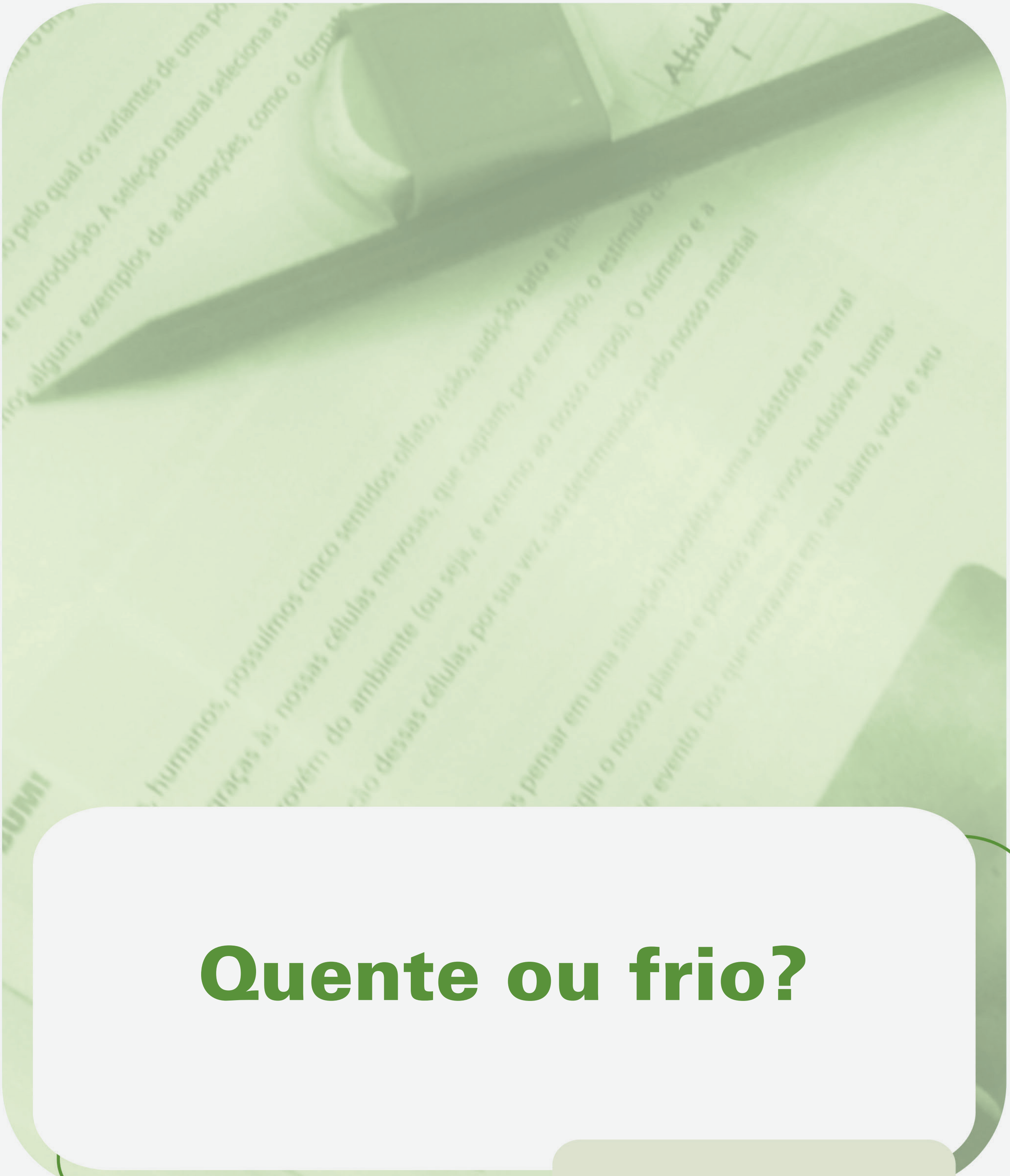
Questão 4

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.

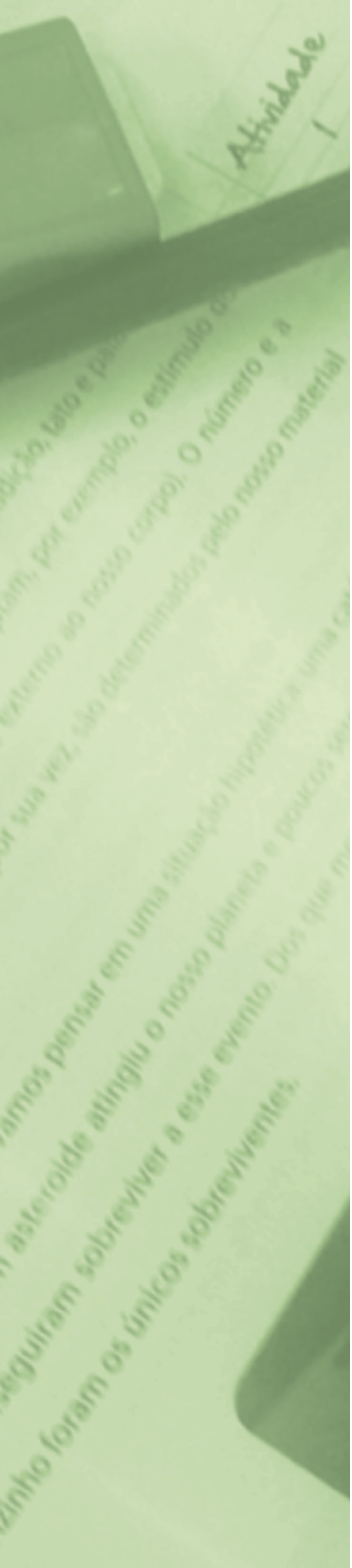


Quente ou frio?

Fascículo 3

Unidade 8

Fundação CECIERJ



Quente ou frio?

Para início de conversa...

Todos nós vivemos reclamando: no verão, que está muito calor; no inverno, que está muito frio. Quando adoecemos é comum ficarmos com febre, quando nosso corpo torna-se mais quente do que o normal. As sensações de quente e frio estão presentes em todos os momentos de nossas vidas. Temperatura é a propriedade física da matéria que se manifesta pelas sensações de quente ou frio.

Para ser útil cientificamente, a noção de temperatura precisa ser quantificada. Nossas sensações individuais de quente ou frio são apenas qualitativas e, ainda por cima, altamente subjetivas, variam muito de pessoa para pessoa. Há gente calorenta e gente friorenta.

Pessoas friorentas experimentam uma sensação de frio muito mais intensa do que as outras pessoas nas mesmas condições atmosféricas; já as calorentas sentem muito mais calor. Uma mesma pessoa pode ter sensações contraditórias de calor ou frio, dependendo da situação.

Faça a seguinte experiência: encha três panelas, uma com água fria, uma com água morna e outra com água quente. Se você primeiro mergulhar uma das mãos na panela de água fria e, em seguida, mergulhar essa mão na panela de água morna, esta parecerá quente. Se, agora, você mergulhar uma das mãos na panela de água quente e em seguida a introduzir na panela de água morna, esta parecerá fria. Portanto, nossas sensações corporais ou táteis não são confiáveis para medir temperatura. Para atribuir um único valor numérico à temperatura precisamos de um termômetro.

Estudaremos de que maneira são construídas escalas termométricas que permitem associar um único número à temperatura de um corpo por meio de um termômetro. Já que existem diversas escalas termométricas, veremos como se faz para converter a temperatura medida numa escala em temperatura medida em outra escala. Por fim, veremos de que maneira a temperatura de um corpo está relacionada com o movimento incessante dos átomos ou das moléculas do referido corpo.

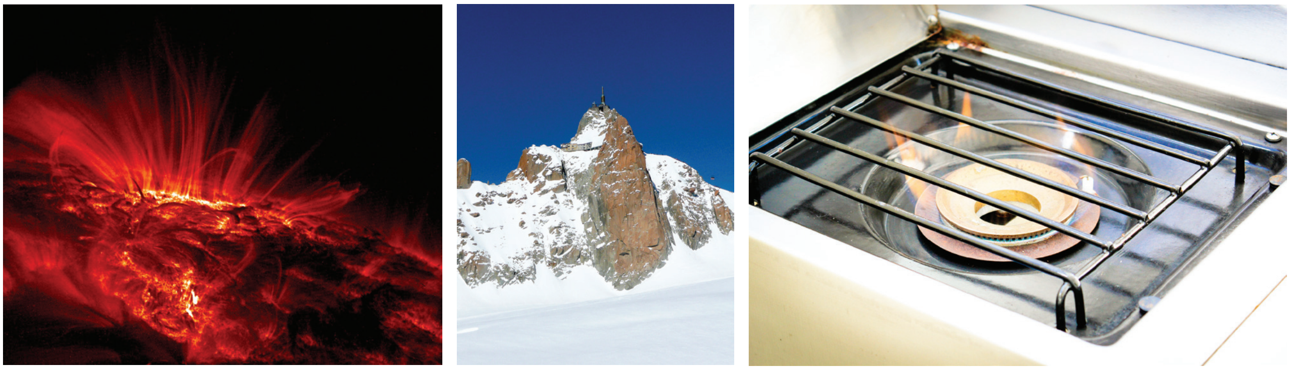


Figura 1: Exemplos de situações e objetos que nos remetem a algo quente e frio. Da esquerda para a direita, temos: uma mancha solar, neve e um fogão a gás.

Objetivos de aprendizagem

- Aplicar a noção física de temperatura;
- Reconhecer a construção e o funcionamento de termômetros;
- Reconhecer as escalas termométricas mais importantes;
- Converter temperaturas entre diferentes escalas termométricas;
- Associar temperatura aos movimentos microscópicos dos átomos ou das moléculas dos corpos materiais;
- Conceituar equilíbrio térmico;
- Relacionar temperatura e equilíbrio térmico.

Seção 1
A Escala celsius

Em 1742, o astrônomo sueco Anders Celsius propôs à Academia Real de Ciências da Suécia uma escala termométrica que se tornaria conhecida como escala Celsius. Essa escala, que é usada em quase todos os países, é baseada na fixação de 0ºC para a temperatura de fusão do gelo e de 100ºC para a temperatura da água em ebulição, ambas as situações sob a pressão atmosférica normal (1 atmosfera, no nível do mar), e na subdivisão desse intervalo em 100 partes iguais, cada uma dessa partes representando a variação de temperatura de 1ºC.

Saiba Mais

Anders Celsius (1701-1744) foi um astrônomo sueco. Ele organizou uma coleção de centenas de observações da aurora boreal, feitas por ele próprio e por outros estudiosos. Também fez parte de uma expedição à Lapônia, dirigida por Pierre-Louis de Maupertuis, que realizou medições de um arco de meridiano correspondente a um grau e confirmou o achatamento da Terra nos polos. Celsius foi um dos fundadores do Observatório Astronômico de Uppsala e tornou-se universalmente conhecido pela escala de temperatura que leva o seu nome.

Os termômetros mais simples, para medição da temperatura ambiente, exploram a dilatação térmica de mercúrio ou de álcool (etanol) colorido num tubo fino de vidro preso a uma escala graduada, como o termômetro mostrado na Figura 2.

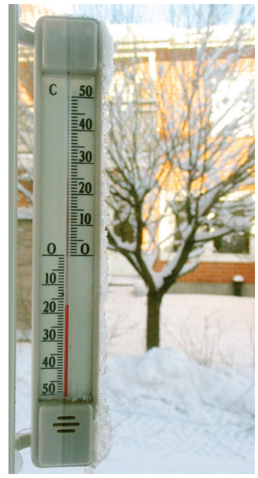


Figura 2: Termômetro na escala Celsius marca –17 ºC num dia de inverno no hemisfério norte.

Para construir um termômetro, precisa-se de: (a) uma substância termométrica, tal como mercúrio ou álcool colorido; (b) uma propriedade da substância termométrica que varie fortemente com a temperatura - por exemplo, dilatação térmica; (c) dois valores fixos da temperatura para duas situações facilmente reprodutíveis; (d) uma escala obtida pela subdivisão num certo número de partes iguais do intervalo entre os dois pontos fixos escolhidos.

Saiba Mais

Termômetro Clínico de Mercúrio

Um termômetro clínico convencional, usado para medir a temperatura do nosso corpo, usa mercúrio como substância termométrica. Quando o bulbo do termômetro, cheio de mercúrio, é posto em contato durante alguns minutos com o corpo de uma pessoa com febre, o mercúrio no bulbo se expande e avança no tubo fino graduado. Na posição ocupada pela extremidade do filete de mercúrio, pode-se ler a temperatura.

A temperatura normal do corpo humano situa-se entre 36,5ºC e 37,0ºC. Por causa de um estreitamento proposital no tubo de saída de mercúrio do reservatório, o mercúrio não retorna à sua posição original depois de desfeito o contato com o corpo, continua marcando a temperatura do corpo. Por isso, antes de ser usado, deve-se sacudir o termômetro para forçar o recuo do filete de mercúrio para o reservatório, para marcações inferiores a 36,0ºC. Os termômetros clínicos de mercúrio têm sido cada vez mais substituídos por termômetros clínicos digitais porque o mercúrio é um metal tóxico.

A Importância da Pressão

Os pontos de fusão e de ebulição da água dependem da pressão. Por exemplo, sob pressão mais alta que a normal (1 atmosfera) a água ferve a uma temperatura maior que 100ºC; o contrário também acontece, sob uma pressão mais baixa que a normal a água ferve a uma temperatura menor que 100ºC. Como a pressão diminui com a altitude, em lugares acima do nível do mar a água ferve numa temperatura inferior a 100ºC. Numa mina muito profunda, o ponto de ebulição da água é bem maior que 100ºC. Eis aqui uma pequena tabela com o ponto de ebulição da água em diversas altitudes (temperaturas calculadas em http://www.csgnetwork.com/h2oboilcalc.html):

Altitude (m)	*Ponto de Ebulição da Água (ºC)*	*Pressão (atm)*
-4000	***112,4***	***1,8***
-2000	***106,3***	***1,3***
-1000	***103,2***	***1,2***
0	***100,0***	***1,0***
1000	***96,7***	***0,9***
2000	***93,4***	***0.8***
5000	***82,8***	***0,5***
10000	***63,3***	***0,2***

Para sua referência: a mina mais profunda, na África do Sul, tem 3.700 m de profundidade; La Paz, a capital da Bolívia, está a 3.600 metros de altitude; o pico da montanha mais alta (Monte Everest) está 8.848 metros acima do nível do mar.

Termômetro de Lâmina Bimetálica

Este tipo de termômetro, assim como os de mercúrio ou álcool, também explora a dilatação dos materiais, porém de um modo bastante especial. A "substância termométrica" não é uma substância no sentido estrito do termo, mas uma lâmina bimetálica, isto é, uma lâmina formada por duas fitas muito finas de dois metais diferentes, soldadas uma na outra, como na Figura 3 (a espessura das fitas está muito exagerada para facilitar a explicação do funcionamento). O metal da camada superior se dilata mais do que o da camada inferior. Se as fitas metálicas não estivessem soldadas uma na outra, um aumento da temperatura provocaria a mudança ilustrada na parte superior da figura 3. Com as fitas soldadas uma na outra, o conjunto encurva-se, como na parte inferior da figura, por um motivo geométrico simples: a lâmina é obrigada a se encurvar de tal modo que a parte externa da curva seja mais longa do que a parte interna. Se a temperatura diminuir, a lâmina bimetálica encurva-se no sentido oposto ao representado na figura. O grau de encurvamento depende da variação da temperatura.

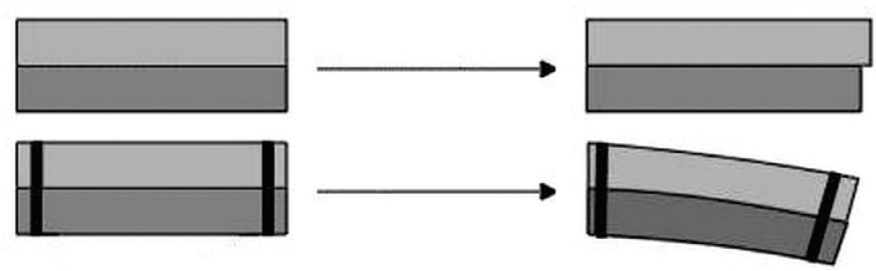


Figura3: Lâmina bimetálica.

A lâmina bimetálica costuma ser enrolada, formando uma espiral, como uma serpentina de carnaval. A espiral desenrola-se ou enrola-se mais compactamente, dependendo do sentido de variação da temperatura. A extremidade livre da espiral bimetálica gira de um certo ângulo que depende da variação da temperatura. Conectando-se essa extremidade a um ponteiro, a temperatura é indicada numa escala graduada, como no termômetro na **Figura 4**.

Figura 4: Termômetro de lâmina bimetálica.

Multimídia

Veja um pequeno filme que mostra o fenômeno de uma lâmina bimetálica em espiral se expandindo com o calor em:

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/26/Bimetal_coil_reacts_to_lighter.gif

No link

http://www.youtube.com/watch?v=ABL93J2pOGg

é mostrada uma experiência muito simples que simula uma lâmina bimetálica e que você pode fazer na sua casa.

Termômetro Digital de Rua

Figura 5: Termômetro digital no centro de Niterói, marcando uma temperatura típica de verão.

Termômetros digitais utilizam-se de outras propriedades termométricas, como, por exemplo, a variação da resistência elétrica com a temperatura. Termômetros digitais de rua, tais como o representado na Figura 5, funcionam da seguinte maneira: dentro do termômetro, há um resistor cuja resistência elétrica varia significativamente com a temperatura, provocando variação na corrente elétrica num circuito contendo esse resistor; um sensor de corrente conectado a um microcomputador registra a temperatura e mostra o seu valor no painel digital.

Definição Prática de Temperatura

Agora que já vimos como termômetros de vários tipos podem ser construídos, podemos adotar uma definição operacional de temperatura: temperatura é aquilo que é medido por um termômetro.

Seção 2
A Escala Kelvin

Temperaturas negativas na escala Celsius são comuns: no inverno ocorrem no sul do Brasil e em muitas outras partes do mundo (veja a Figura 2). Tudo indica que são possíveis temperaturas arbitrariamente altas. No entanto, estudos realizados durante os últimos três séculos, em laboratórios de alta precisão, mostraram que existe uma temperatura mínima, conhecida como zero absoluto. O zero absoluto corresponde à temperatura de –273,15ºC, que aproximaremos por –273 ºC. Lord Kelvin introduziu uma escala em que o zero absoluto vale 0 K (zero kelvin) e uma variação de temperatura de uma unidade nessa escala coincide com um grau na escala Celsius. Assim, se denotarmos por C a temperatura indicada na escala Celsius e por K a temperatura indicada na escala Kelvin, temos:

$$\boxed{K = C + 273}$$

Portanto, a temperatura de fusão do gelo é 273 K e a da água em ebulição é 373 K. A escala Kelvin é usada principalmente em trabalhos científicos. A temperatura na escala Kelvin é também conhecida como temperatura absoluta. O kelvin é a unidade de temperatura no Sistema Internacional de Unidades (SI) e lê-se sem a palavra "grau": por exemplo, 1 K lê-se "um kelvin". É comum tomar-se 300 K para representar, em números redondos, a temperatura ambiente. Você pode justificar essa escolha?

Na verdade, o zero absoluto é uma temperatura limite, que não pode ser atingida, nem, é claro, qualquer temperatura inferior. A tabela abaixo ilustra a enorme variedade de temperaturas que a natureza admite, muitas delas muito além do que somos capazes de perceber e até mesmo de imaginar.

EVENTO OU SISTEMA FÍSICO	*TEMPERATURA (K)*
Universo logo após o ***Big Bang***	***1032***
Maior temperatura obtida em laboratório	***7,2x1012***
Centro do Sol	***1,6x107***
Superfície do Sol	***6.000***
Temperatura média da superfície da Terra hoje	***288***
Temperatura da **radiação cósmica de fundo** hoje	***2,7***
Menor temperatura obtida em laboratório	***0,000 000 000 1***

Big Bang

Explosão primordial que teria ocorrido há 13,7 bilhões de anos, dando origem ao Universo.

Radiação cósmica de fundo

Radiação eletromagnética predominantemente na frequência de micro-ondas que preenche uniformemente o espaço. É uma das mais fortes evidências a favor da teoria do Big Bang e estima-se que sua formação ocorreu, quando o Universo tinha cerca de 350 mil anos de idade.

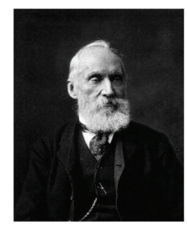
Atividade 1

Esboce um gráfico da temperatura na escala Kelvin em função da temperatura na escala Celsius, com a temperatura Kelvin no eixo das ordenadas e a temperatura Celsius no eixo das abscissas. Refaça o gráfico, representando a temperatura Celsius no eixo das ordenadas e a temperatura Kelvin no eixo das abscissas.

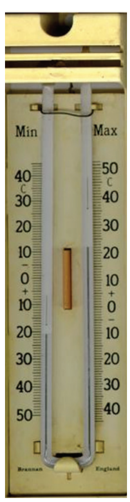
Anote suas respostas em seu caderno

Saiba Mais

William Thomson, mais conhecido pelo título de Lord Kelvin, foi um engenheiro e físico-matemático irlandês que deu importantes contribuições ao eletromagnetismo e à termodinâmica. Ele teve uma participação decisiva no empreendimento que lançou o primeiro cabo submarino de um lado a outro do Oceano Atlântico, que estabeleceu a comunicação telegráfica entre Europa e América do Norte. Quando percebeu que há um limite inferior para a temperatura, Kelvin introduziu uma escala termométrica absoluta que se tornou conhecida pelo seu nome.



Saiba Mais



Como saber quais foram as temperaturas máxima e mínima num dia sem precisar ficar olhando o termômetro o tempo todo? Com a ajuda de um termômetro de máxima e mínima. O tipo de termômetro de máxima e mínima, representado na figura, utiliza um tubo em formato de U. Ambos os lados medem a mesma temperatura. Entretanto, a escala do lado esquerdo está invertida: as temperaturas acima do zero são negativas. A substância termométrica não é o mercúrio, mas um líquido transparente (tipicamente álcool) no tubo esquerdo. Há, também, agulhas dentro dos tubos. À medida que a temperatura diminui, o líquido transparente contrai-se e puxa o mercúrio, que empurra a agulha da esquerda para cima. Assim é medida a temperatura mínima, pois um ímã na parte de trás mantém a agulha na sua posição mais alta. À medida que a temperatura aumenta, o líquido transparente expande-se empurrando a coluna de mercúrio da esquerda para baixo. Isto eleva a coluna de mercúrio da direita, fazendo com que a agulha da direita seja empurrada para cima até registrar a temperatura máxima, quando atinge a posição mais alta e fica lá. Para reiniciar o termômetro, aperta-se o botão laranja central e as agulhas caem.

http://www.australiasevereweather.com/techniques/simple/thermom.htm

Seção 3

A Escala Fahrenheit

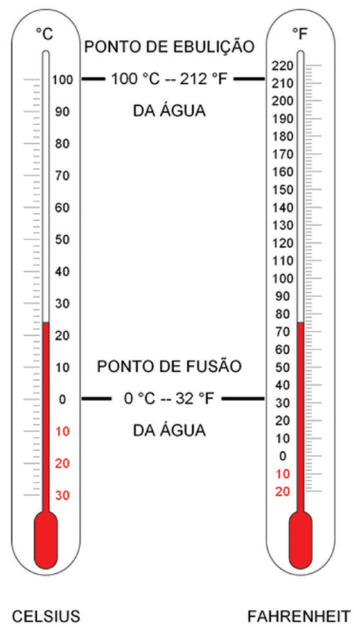


Figura 6: Termômetros nas escalas Celsius e Fahrenheit. O ponto de fusão da água corresponde e 0ºC e 32ºF. O ponto de ebulição da água corresponde a 100ºC e 212ºF. Entre o ponto de ebulição e o ponto de fusão da água, há 100 graus Celsius e 180 graus Fahrenheit. Temperaturas negativas em cada escala aparecem em vermelho.

A escala Fahrenheit de temperatura foi proposta em 1724 pelo físico Daniel Fahrenheit e permaneceu em uso nos países de língua inglesa até os anos 1960. No fim dos anos 1960 e início dos anos 1970, a escala Fahrenheit foi substituída pela Celsius em quase todos os países. Atualmente, a escala Fahrenheit é usada nos Estados Unidos, em Belize, nas Ilhas Caimã e, parcialmente, no Canadá.

A Figura 6 ilustra de que maneira Fahrenheit definiu sua escala termométrica: a temperatura do gelo em fusão vale 32oF; a temperatura da água em ebulição vale 212ºF; esse intervalo de temperatura é dividido em 180 partes iguais, cada uma dessas partes representando uma variação de temperatura de 1ºF. Infelizmente, as razões que levaram às escolhas dos números 32 e 212 ainda não são totalmente conhecidas, mas acredita-se que estão relacionadas às temperaturas medidas em Copenhague (Dinamarca) durante os experimentos elaborados por Daniel Fahrenheit para estipular uma escala termométrica para uso meteorológico que evitasse muitos números fracionários.

Como converter uma temperatura Fahrenheit em Celsius ou vice-versa? Suponha que a temperatura de um corpo seja medida e encontremos o valor C na escala Celsius e o valor F na escala Fahrenheit. Veja que o número de divisões que o termômetro Celsius marca acima da temperatura 0ºC é C. O termômetro Fahrenheit marca F-32 divisões porque a temperatura de fusão do gelo na escala Fahrenheit é 32ºF. Mas 100 graus na escala Celsius correspondem a 180 graus na escala Fahrenheit, de modo que o número de divisões na escala Fahrenheit é maior do que na escala Celsius na proporção 180/100. Logo, F-32=180C/100, que se costuma escrever na forma simplificada equivalente

$$\boxed{\frac{C}{5}=\frac{F-32}{9}}$$

Por meio desta fórmula, é possível converter para a escala Celsius qualquer temperatura dada na escala Fahrenheit e vice-versa. Por exemplo, a temperatura de 40ºC ocorre no verão no Rio de Janeiro. A temperatura correspondente na escala Fahrenheit é calculada da seguinte maneira:

$$\frac{F-32}{9}=\frac{C}{5}\rightarrow F-32=\frac{9C}{5}$$
$$F=\frac{9C}{5}+32\rightarrow F=\frac{9\times 40}{5}+32$$
$$F=9\times 8+32=72+32=104$$
$$F=104$$

Portanto, dias de muito calor caracterizam-se por temperaturas em torno de 100 ºF.

Atividade 2

Muito frio na escala Fahrenheit.

Na situação da Figura 2, que está marcando -17°C, qual seria a temperatura indicada por um termômetro, graduado na escala Fahrenheit?

Anote suas respostas em seu caderno

Uma escala extinta como os dinossauros.

Atividade 3

Uma escala termométrica que não se usa mais foi introduzida, em 1731, pelo físico francês René-Antoine de Réaumur. Na escala Réaumur, é atribuída a temperatura de 0ºR ao gelo em fusão e de 80ºR à água em ebulição, e esse intervalo é dividido em 80 partes iguais. Encontre a fórmula que permite converter graus Réaumur em graus Celsius. Qual é a temperatura em graus Celsius correspondente a 40ºR?

Anote suas respostas em seu caderno

Cinco vezes maior sem ser mais quente.

Atividade 4

Um corpo está numa temperatura tal que um termômetro na escala Fahrenheit marca um valor cinco vezes maior do que o valor indicado num termômetro na escala Celsius. Inspecionando a Figura 6, você espera que essa temperatura na escala Celsius seja positiva ou negativa? Determine exatamente o valor da temperatura na escala Celsius. O valor obtido confirma a sua expectativa?

Anote suas respostas em seu caderno

Atividade 5

Mais frio é impossível.

Descubra qual é a menor temperatura possível na escala Fahrenheit.

Anote suas respostas em seu caderno

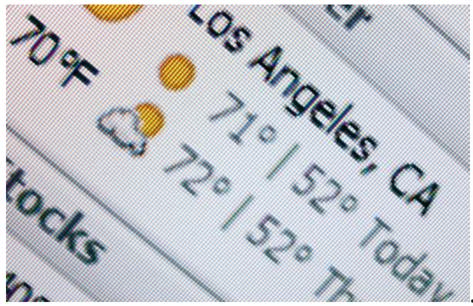
Atividade 6

Turista leva um susto.

Uma turista brasileira é levada a um hospital em Nova Iorque com suspeita de infecção. Uma enfermeira examina-a e diz-lhe que não há motivo para alarme porque sua temperatura é apenas 98°. Após um susto, a turista dá-se conta de que sua temperatura foi medida num termômetro na escala Fahrenheit. A turista deve ficar mesmo tranquila?

Anote suas respostas em seu caderno

Por que tanto apego à escala Fahrenheit?



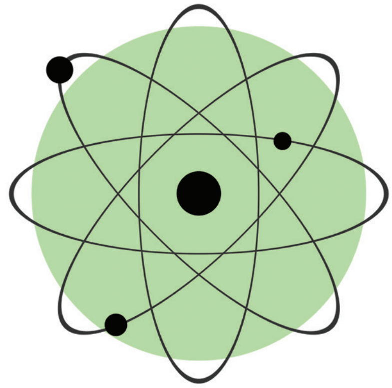
Diversos motivos têm sido apontados para a resistência à adoção da escala Celsius nos Estados Unidos. Uma razão plausível é que o intervalo de 0 a 100 graus na escala Fahrenheit encaixa-se mais naturalmente na faixa de temperatura que ocorre na maior parte do território americano: 0°F = dia muito frio de inverno; 50°F = dia típico de primavera/outono; 100°F = dia muito quente de verão. Em comparação: 0°C = frio bastante comum; 50°C = calor extremo raramente registrado na superfície da Terra; 100°C = água em ebulição, não ocorre como temperatura ambiente.

Saiba Mais

Seção 4

Temperatura, Agitação Molecular e Equilíbrio Térmico

Na primeira década do século XX, a teoria atômica da matéria convenceu os últimos céticos e tornou-se universalmente aceita. Os avanços ocorridos desde então estabeleceram que, na escala microscópica, toda a matéria é composta por átomos e moléculas que, por sua vez, são formados por partículas ainda menores, tais como prótons, nêutrons e elétrons. Os átomos e moléculas não são imóveis, mas estão em estado permanente de agitação. A temperatura é compreendida, hoje, como uma medida do grau de agitação dos átomos e moléculas. As moléculas não têm todas a mesma velocidade: a temperatura é determinada pela energia cinética média das moléculas.



Vejamos como esta ideia de temperatura permite explicar um fenômeno simples como a dilatação térmica. Numa dada temperatura, a agitação das moléculas de um corpo sólido ou líquido tem uma certa amplitude, isto é, as moléculas mantêm uma certa distância média entre si. Se a temperatura é aumentada, a agitação molecular torna-se mais intensa e a distância média entre as moléculas cresce, fazendo com que o corpo aumente de tamanho. Se a temperatura for suficientemente aumentada, a amplitude da agitação pode crescer tanto que moléculas começam a escapar do corpo, e um líquido, por exemplo, passa ao estado gasoso. No processo de evaporação, moléculas de água logo abaixo da superfície com velocidade acima da média conseguem escapar formando vapor e deixando a água um pouco mais fria. A noção moderna de temperatura também explica por que existe uma temperatura mínima. À medida que a temperatura é reduzida, chega-se cada vez mais perto do estado de agitação térmica nula (isto não significa a cessação de todo tipo de movimento) que corresponde ao zero absoluto. Por outro lado, não existe um estado de agitação térmica máxima, de modo que temperaturas arbitrariamente altas são possíveis.

Quando dois corpos em temperaturas diferentes são postos em contato, a temperatura do corpo mais quente diminui e a do corpo mais frio aumenta, até que as temperaturas se igualam. A partir desse momento as temperaturas dos corpos não variam mais e o sistema atingiu o **equilíbrio térmico**. As colisões entre as moléculas do corpo mais quente (que são mais energéticas) e as do corpo mais frio (que são menos energéticas) fazem com que energia cinética seja transferida das moléculas mais energéticas para as menos energéticas. Assim, a energia cinética média das moléculas do corpo mais frio vai aumentando ao mesmo tempo que a energia cinética média das moléculas do corpo mais quente vai diminuindo. Quando essas energias médias se igualam, o equilíbrio térmico é atingido. Assim, para medir a temperatura de um corpo é preciso pôr o termômetro em contato com o corpo e esperar um certo tempo a fim de que o termômetro entre em equilíbrio térmico com o corpo. A **lei zero da termodinâmica** exprime um fato experimental: se dois corpos estão em equilíbrio térmico com um terceiro, eles estão em equilíbrio térmico entre si. Historicamente, a lei do equilíbrio térmico, que é a mais básica de todas, só foi enunciada depois de descobertas as três leis da termodinâmica. A fim de preservar a nomenclatura tradicional, em vez de enumerar as três leis preferiu-se batizar a lei do equilíbrio térmico de lei zero da termodinâmica.

Pode contrariar o manual de etiqueta, mas funciona.

Por que, para esfriar uma sopa escaldante, é uma boa ideia soprar a superfície da sopa?

Anote suas respostas em seu caderno

Atividade 7

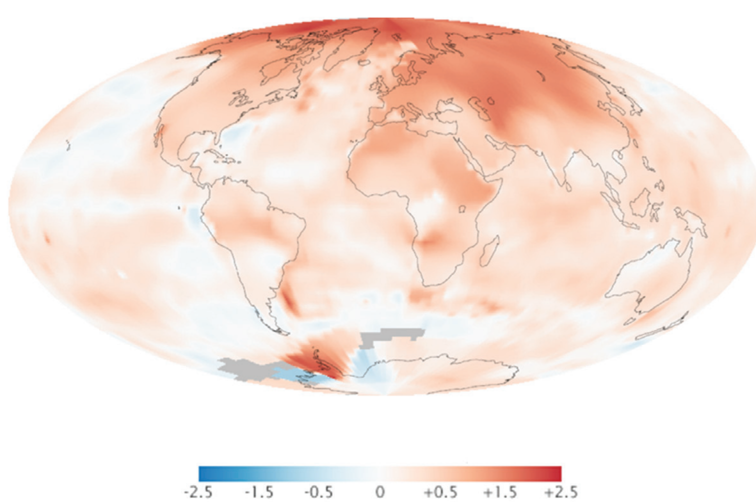
Resumo

Nesta unidade, discutimos:

- A noção física de temperatura, que se manifesta pelas sensações de quente e frio.
- Como funcionam os termômetros e algumas propriedades termométricas usadas na sua construção, tais como dilatação e resistência elétrica.
- As escalas termométricas mais importantes (Celsius, Kelvin e Fahrenheit) e como converter a temperatura de uma escala para outra. Vimos que a fórmula K=C+273 permite converter temperatura Celsius em Kelvin e vice-versa, e que a fórmula $\boxed{\frac{C}{5} = \frac{F-32}{9}}$ permite transformar temperatura Fahrenheit em Celsius e vice-versa.
- A temperatura como uma medida do grau de agitação molecular.
- O equilíbrio térmico de dois corpos, que só é atingido, quando os corpos ficam com a mesma temperatura.
- A lei zero da termodinâmica: se dois corpos estão em equilíbrio térmico com um terceiro, eles estão em equilíbrio térmico entre si.

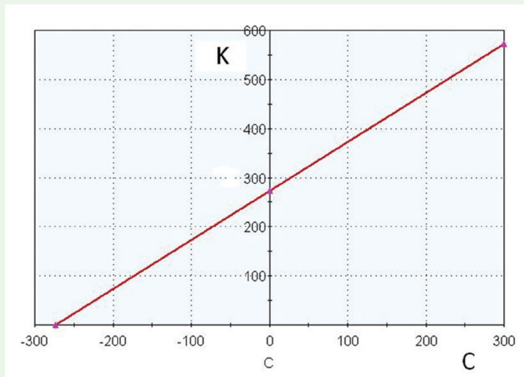
Veja Ainda

Você certamente já ouviu falar no aquecimento global e suas possíveis consequências, assunto sempre presente nos noticiários e que provavelmente faz parte de suas preocupações como cidadão. A temperatura média da superfície da Terra tem aumentado nas últimas décadas. O mapa abaixo ilustra o quanto as temperaturas médias das várias regiões da Terra estavam mais altas (em graus Celsius) na década 2000-2009 em comparação com as temperaturas médias registradas entre 1951 e 1980, de acordo com a agência espacial americana NASA. A grande maioria dos cientistas considera que há fortes indícios de que esse aquecimento deve-se à ação do homem, principalmente por causa do efeito estufa, causado pela emissão contínua de grande quantidade de gás carbônico na atmosfera. No link http://www1.folha.uol.com.br/folha/ciencia/2001-efeito_estufa-o_efeito_estufa.shtml você poderá entender o que é o efeito estufa. Para alguns cientistas, conhecidos como “céticos do clima”, o aquecimento global não é causado pela ação humana, mas é parte dos ciclos naturais do nosso planeta. Em http://veja.abril.com.br/noticia/ciencia/ex-cetico-do-clima-afirma-que-aquecimento-global-e-causado-pelo-homem e, mais detalhadamente, em http://www.nytimes.com/2012/07/30/opinion/the-conversion-of-a-climate-change-skeptic.html?pagewanted=all&_r=0 um físico explica por que moderou o seu ceticismo, quanto à responsabilidade humana pelo aquecimento global.

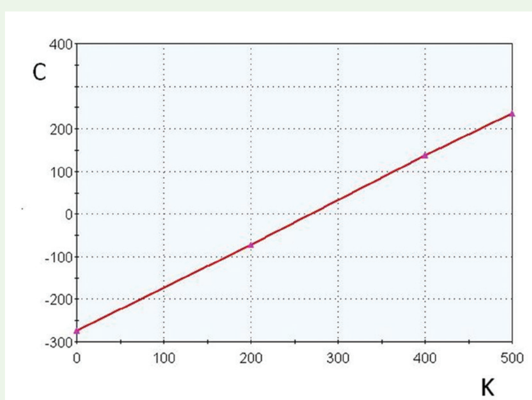


Atividade 1

Eis um gráfico da temperatura Kelvin em função da temperatura Celsius. A linha reta corta o eixo horizontal em –273º C e o eixo vertical em 273 K.



No gráfico abaixo, da temperatura Celsius como função da temperatura Kelvin, a reta corta o eixo vertical em –273º C



Atividade 2

Como a temperatura é –17º C, seu valor na escala Fahrenheit é

F = 32 + 9C/5 = 32 – 9x17/5 = 32 – 30,6 = 1,4.

Portanto, um termômetro Fahrenheit marcaria 1,4º F.

Respostas das Atividades

Atividade 3

Seja C a temperatura na escala Celsius e R a temperatura na escala Réaumur. Como ambas as escalas atribuem a temperatura zero ao gelo em fusão, há C divisões a contar do zero na escala Celsius e R divisões na escala Réaumur. Como 100 graus Celsius equivalem a 80 graus Réaumur, o número de divisões na escala Celsius é maior do que na escala Réaumur na proporção 100/80, isto é, $C=100R/80$. Numa forma simplificada, temos

$C=5R/4$, que é a fórmula desejada. Se $R=40$ resulta imediatamente $C=50$.

Atividade 4

A Figura 6 sugere que só para temperatura positiva pode acontecer de a escala Fahreinheit marcar um valor cinco vezes maior do que o valor indicado na escala Celsius. Examinando a figura com atenção, parece que a temperatura de 50^{o} F corresponde a 10^{o} C. Para verificar se isto é verdade, devemos substituir $F=5C$ na fórmula que relaciona as temperaturas nas duas escalas e resolver a equação resultante para C:

$C/5=(F-32)/9 \rightarrow C/5=(5C-32)/9 \rightarrow 9C=25C-160 \rightarrow 16C=160 \rightarrow C=10.$

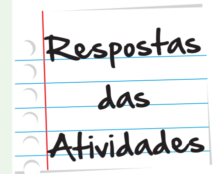
De fato, é para a temperatura de 10^{o} C que um termômetro Fahrenheit marca um valor 5 vezes maior.

Atividade 5

A menor temperatura possível é $-273{,}15^{o}$ C. O valor desta temperatura na escala Fahrenheit é

$F = 32 + 9C/5 = 32 - 9x273{,}15/5 = 32 - 491{,}67 = -459{,}67.$

Portanto, a temperatura correspondente ao zero absoluto é $-459{,}67^{o}$ F, que é a menor temperatura possível na escala Fahrenheit.



Atividade 6

A partir da fórmula de conversão C/5=(F – 32)/9, deduz-se que a temperatura na escala Celsius correspondente a 98ºF é C=5x(98 – 32)/9 =5x66/9 = 36,7.

Como sua temperatura é normal (36,7º C), a turista pode ficar tranquila: a ausência de febre indica que ela não deve estar com nenhuma infecção.

Atividade 7

As moléculas de água mais rápidas escapam da sopa, deixando-a ligeiramente mais fria, e acabam formando uma camada de vapor sobre sua superfície. Essa camada de vapor tem uma temperatura apenas ligeiramente maior que a camada superficial da sopa e o ritmo de evaporação diminui: o número de moléculas que escapa do líquido para o vapor é só um pouco maior do que número de moléculas que retorna do vapor para o líquido. Quando sopramos a sopa, essa camada de vapor é afastada e substituída por uma camada de ar mais frio vindo das proximidades. Assim, as moléculas mais rápidas da sopa voltam a escapar em maior quantidade e a sopa se resfria mais rapidamente.

Bibliografia

- LUZ, Antônio Máximo Ribeiro da e ÁLVARES, Beatriz Alvarenga. Curso de Física Vol. 2. São Paulo: Scipione, 2008.
- BOA, Marcelo Fonte e GUIMARÃES, Luiz Alberto. Física: Termologia e Óptica. Niterói: Futura, 2004

Imagens

• André Guimarães

• http://www.sxc.hu/photo/1396777

• http://www.sxc.hu/photo/1294264

• http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sunspot_TRACE.jpeg


• http://www.sxc.hu/browse.phtml?f=view&id=1154068


• http://www.sxc.hu/browse.phtml?f=view&id=1337264


• http://www.sxc.hu/photo/646898


• http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Kochendes_wasser02.jpg


• http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Anders-Celsius-Head.jpg

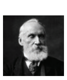

• http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pakkanen.jpg

• http://www.sxc.hu/photo/432233

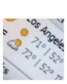

• http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bimetaal.jpg

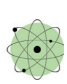

• http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Backofenthermometer.jpg

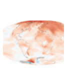

• http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Celsius.jpg


• http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lord_Kelvin_photograph.jpg

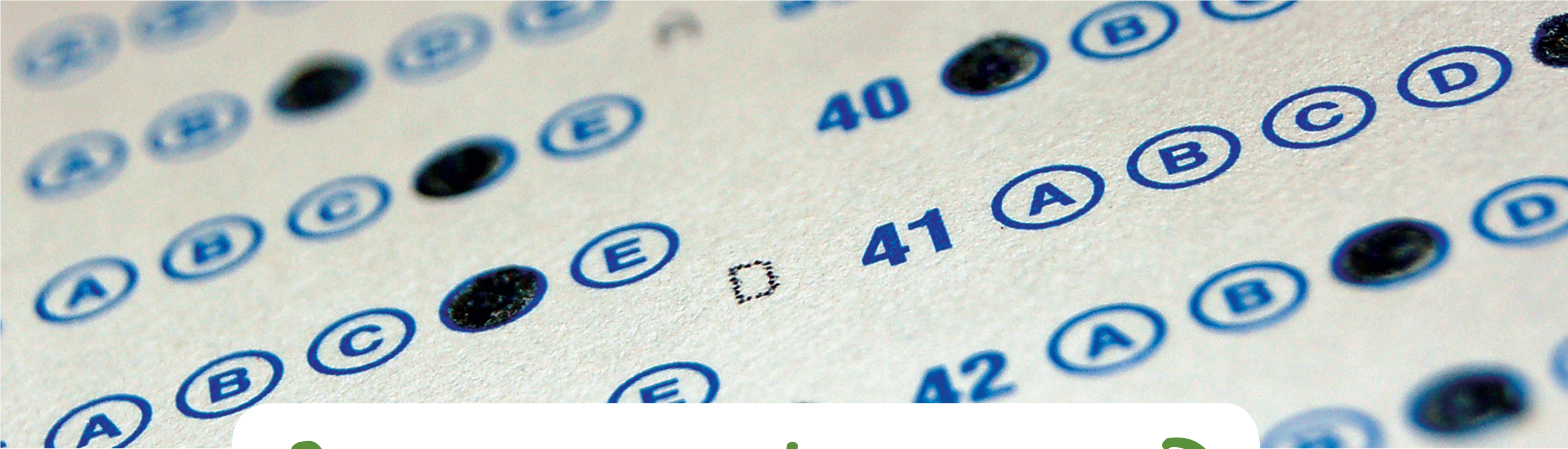

• http://www.australiasevereweather.com/techniques/simple/thermom.htm


• http://www.sxc.hu/photo/506699


• http://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Atom_symbol.svg&page=1&uselang=pt-br


• http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=42392.


• http://www.sxc.hu/photo/517386 • David Hartman.



O que perguntam por aí?

Questão 1 (ENEM – 2010)

Sob a pressão normal (ao nível do mar), a água entra em ebulição à temperatura de 100ºC. Tendo por base esta informação, um garoto residente em uma cidade litorânea fez a seguinte experiência:

- Colocou uma caneca metálica, contendo água no fogareiro do fogão de sua casa.
- Quando a água começou a ferver, encostou cuidadosamente a extremidade mais estreita de uma seringa de injeção, desprovida de agulha, na superfície do líquido e, erguendo o êmbolo da seringa, aspirou certa quantidade de água para o seu interior, tapando-a em seguida.
- Verificando após alguns instantes que a água da seringa havia parado de ferver, ele ergueu o êmbolo da seringa, constatando, intrigado, que a água voltou a ferver após um pequeno deslocamento do êmbolo.

Considerando o procedimento anterior, a água volta a ferver porque esse deslocamento:

a. permite a entrada de calor do ambiente externo para o interior da seringa.

b. provoca, por atrito, um aquecimento da água contida na seringa.

c. produz um aumento de volume que aumenta o ponto de ebulição da água.

d. proporciona uma queda de pressão no interior da seringa que diminui o ponto de ebulição da água

e. possibilita uma diminuição da densidade da água que facilita sua ebulição

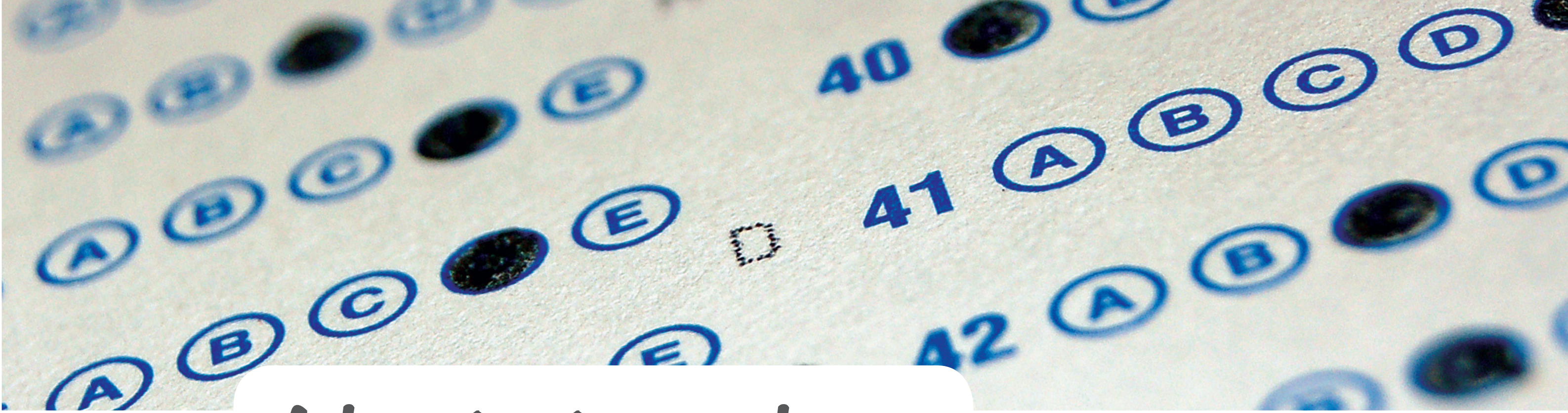
Questão 2 (UFF – RJ)

No Grande Rio, observa-se que em Bangu, um dos bairros mais quentes no verão, os termômetros chegam a marcar 40° C, enquanto que no Alto da Boa Vista essa marca chega, quando muito, a 26° C. Tal variação, na escala Kelvin, será de:

(A) 14 (B) 287 (C) 213 (D) 299 (E) 277

Gabarito

1. A água dentro da seringa parou de ferver porque sua temperatura caiu um pouco abaixo de 100° C, o ponto de ebulição da água sob a pressão atmosférica normal. Quando o êmbolo foi puxado, o ar com vapor no interior da seringa passou a ocupar um volume maior, reduzindo a pressão no interior da seringa. Sob uma pressão menor que a pressão atmosférica normal água ferve a uma temperatura inferior a 100° C. Por isso, a água no interior da seringa voltou a ferver. A resposta correta é D.
2. As variações de temperatura são iguais nas escalas Kelvin e Celsius: um aumento de temperatura de 1 grau Celsius é igual a 1 Kelvin. Portanto a variação de temperatura na escala Kelvin é 40-26=14. A resposta correta é A.



Atividade extra

Questão 1

Comumente temos a necessidade de informar quanto quente ou frio um objeto se encontra em relação a algum padrão.

A temperatura de um corpo pode ser compreendida como:

a. a medida do fluxo de energia entre dois objetos;

b. a medida do grau de agitação dos átomos e moléculas;

c. a resistência que o objeto oferece à mudança de pressão;

d. a resistência que o objeto oferece à mudança em seu estado físico.

Questão 2

Todo corpo é constituído de partículas que vibram em todas as direções e sentidos. Existem situações em que essas partículas estão mais agitadas ou menos agitadas.

A medida do estado de agitação das partículas do corpo está associada ao conceito físico de:

a. calor;

b. força;

c. energia;

d. temperatura.

Questão 3

Um líquido está à temperatura de 59° F. Em Kelvin, a temperatura é de:

a. 28;

b. 112;

c. 192;

d. 288.

Questão 4

A temperatura média para o sul do Estado do Rio de Janeiro, informada pelo telejornal local em um dia de outono, foi de 30º C.

A temperatura correspondente, em °F, é:

a. 302;

b. 238;

c. 86;

d. 38.

Questão 5

Um líquido está à temperatura de 59º F. Em ºC, a temperatura é de:

a. 5;

b. 9;

c. 15;

d. 27.

Questão 6

A temperatura média da superfície da Terra hoje é de 288 K. Na escala Celsius, corresponde a:

a. 40º;

b. 30º;

c. 20º;

d. 15º.

Questão 7

Um corpo de massa m tem temperatura t = 15º C. Neste caso, determine a temperatura correspondente na escala Kelvin.

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 B C D

○ ○ ● ○

Questão 6

A B C D

○ ○ ○ ●

Questão 7

$TK = TC + 273$

$TK = 15 + 273$

$TK = 288K$