

3

**MATERIAL DO
PROFESSOR**

• **Física**

**CIÊNCIAS DA NATUREZA
E SUAS TECNOLOGIAS**



**DOM
BOSCO**

by Pearson

PRÉ-VESTIBULAR
EXTENSIVO



**MATERIAL DO
PROFESSOR**

• **Física**

**CIÊNCIAS DA NATUREZA
E SUAS TECNOLOGIAS**

DOM BOSCO - SISTEMA DE ENSINO
PRÉ-VESTIBULAR 3
Ciências da natureza e suas tecnologias.
© 2019 – Pearson Education do Brasil Ltda.

Vice-presidência de Educação	Juliano Melo Costa
Gerência editorial nacional	Alexandre Mattioli
Gerência de produto	Silvana Afonso
Autoria	Franco Giagio, Daniela Fiorini, Clayton Santos
Coordenação editorial	Luiz Molina Luz
Edição de conteúdo	Jaqueline Gomes Cardoso
Leitura crítica	Daniel Leme, Natália Fiorini, Maysa Costa, Júlio Cesar Ruivo, Kathia Schaffer Gimenes
Preparação e revisão	Sérgio Nascimento
Gerência de Design	Cleber Figueira Carvalho
Coordenação de Design	Diogo Mecabo
Edição de arte	Alexandre Silva
Coordenação de pesquisa e licenciamento	Maiti Salla
Pesquisa e licenciamento	Cristiane Gameiro, Heraldo Colon, Andrea Bolanho, Maricy Queiroz, Sandra Sebastião, Shirlei Sebastião
Ilustrações	Carla Viana, Madine Oliveira
Cartografia	Allmaps
Projeto Gráfico	Apis design integrado
Diagramação	Editorial 5
Capa	Apis design integrado
Imagem de capa	mvp64/istock
Produtor multimídia	Cristian Neil Zaramella
PCP	George Baldim, Paulo Campos Silva Junior

Todos os direitos desta publicação reservados à
Pearson Education do Brasil Ltda.

Av. Santa Marina, 1193 - Água Branca
São Paulo, SP – CEP 05036-001
Tel. (11) 3521-3500

www.pearson.com.br

APRESENTAÇÃO

Um bom material didático voltado ao vestibular deve ser maior que um grupo de conteúdos a ser memorizado pelos alunos. A sociedade atual exige que nossos jovens, além de dominar conteúdos aprendidos ao longo da Educação Básica, conheçam a diversidade de contextos sociais, tecnológicos, ambientais e políticos. Desenvolver as habilidades a fim de obterem autonomia e entenderem criticamente a realidade e os acontecimentos que os cercam são critérios básicos para se ter sucesso no Ensino Superior.

O Enem e os principais vestibulares do país esperam que o aluno, ao final do Ensino Médio, seja capaz de dominar linguagens e seus códigos; construir argumentações consistentes; selecionar, organizar e interpretar dados para enfrentar situações-problema em diferentes áreas do conhecimento; e compreender fenômenos naturais, processos histórico-geográficos e de produção tecnológica.

O Pré-Vestibular do Sistema de Ensino Dom Bosco sempre se destacou no mercado editorial brasileiro como um material didático completo dentro de seu segmento educacional. A nova edição traz novidades, a fim de atender às sugestões apresentadas pelas escolas parceiras que participaram do Construindo Juntos – que é o programa realizado pela área de Educação da Pearson Brasil, para promover a troca de experiências, o compartilhamento de conhecimento e a participação dos parceiros no desenvolvimento dos materiais didáticos de suas marcas.

Assim, o Pré-Vestibular Extensivo Dom Bosco by Pearson foi elaborado por uma equipe de excelência, respaldada na qualidade acadêmica dos conhecimentos e na prática de sala de aula, abrangendo as quatro áreas de conhecimento com projeto editorial exclusivo e adequado às recentes mudanças educacionais do país.

O novo material envolve temáticas diversas, por meio do diálogo entre os conteúdos dos diferentes componentes curriculares de uma ou mais áreas do conhecimento, com propostas curriculares que contemplem as dimensões do trabalho, da ciência, da tecnologia e da cultura como eixos integradores entre os conhecimentos de distintas naturezas; o trabalho como princípio educativo; a pesquisa como princípio pedagógico; os direitos humanos como princípio norteador; e a sustentabilidade socioambiental como meta universal.

A coleção contempla todos os conteúdos exigidos no Enem e nos vestibulares de todo o país, organizados e estruturados em módulos, com desenvolvimento teórico associado a exemplos e exercícios resolvidos que facilitam a aprendizagem. Soma-se a isso, uma seleção refinada de questões selecionadas, quadro de respostas e roteiro de aula integrado a cada módulo.

SUMÁRIO



5

FÍSICA 1A



57

FÍSICA 1B



115

FÍSICA 2A



159

FÍSICA 2B



215

FÍSICA 3A



239

FÍSICA 3B



MATERIAL DE ESTUDO
SISTEMA DE ENSINO BOSCO

FÍSICA 1A

CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS

33

TEOREMA DA ENERGIA CINÉTICA

- Demonstração do Teorema da energia cinética
- Relação entre trabalho e energia
- Energia cinética

HABILIDADES

- Reconhecer o Teorema da energia cinética.
- Caracterizar a energia cinética.
- Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.
- Avaliar possibilidades de geração, uso ou transformação de energia em ambientes específicos, considerando implicações éticas, ambientais, sociais e/ou econômicas.
- Identificar etapas em processos de obtenção, transformação, utilização ou reciclagem de recursos naturais, energéticos ou matérias-primas, considerando processos biológicos, químicos ou físicos neles envolvidos.
- Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.



As nações com maior industrialização e Índice de Desenvolvimento Humano apresentam grande demanda por recursos energéticos.

Energia é provavelmente o recurso de maior importância no mundo atual. O entendimento dessa grandeza física é fundamental na compreensão dos fenômenos naturais. Por sua grande capilaridade e possibilidades de aplicação, não há uma única definição para o conceito de energia. De acordo com Hinrichs e Kleinbach, em energia e meio ambiente:

A energia é um dos principais constituintes da sociedade moderna. Ela é necessária para criar bens a partir dos recursos naturais e para fornecer muitos dos serviços dos quais nos temos beneficiado. O desenvolvimento econômico e os altos padrões de vida são processos complexos que compartilham um denominador comum: a disponibilidade de um abastecimento adequado e confiável de energia.

Nas ciências, principalmente na Física, entende-se energia como a capacidade de realizar trabalho, ou seja, um sistema físico é dotado de energia quando capaz de realizar trabalho. Este, por sua vez, ocorre quando corpos são elevados, turbinas são postas em movimento, estruturas são deformadas, ligações químicas são rompidas, entre outras inúmeras situações cotidianas.

Quase a totalidade da energia que mantém a sociedade moderna como a conhecemos tem como origem nossa estrela-mãe: o Sol, um grande reator de fusão nuclear. A energia liberada nas reações em que dois átomos de hidrogênio se combinam formando um átomo de hélio chega à Terra por meio de ondas eletromagnéticas e é responsável pela matriz energética mundial. Além da relação óbvia com as placas fotovoltaicas que convertem energia solar em elétrica, deve-se notar que em usinas hidrelétricas, quando a queda da água represada por uma barragem provoca o movimento de uma turbina que aciona um gerador elétrico, é a energia solar, responsável pelo ciclo da água, que reabastece o reservatório através do regime de chuvas. A diferença insolação entre regiões diferentes do planeta determina o movimento de massas de ar que acionam geradores eólicos. Até mesmo os grandes reservatórios de petróleo, gás ou carvão, por sua origem orgânica, são depósitos de energia solar, que foi sintetizada pelos produtores e encontra-se estocada para o uso social. A energia luminosa é fundamental no processo de fotossíntese dos produtores de alimento para a sociedade.



Geradores eólicos convertem a energia cinética dos ventos em energia elétrica.

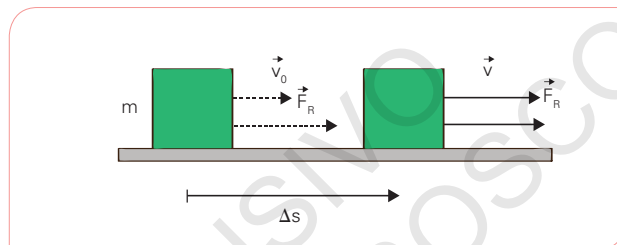
Vale lembrar que energia é um recurso indestrutível, e, da mesma forma, não há geração espontânea de energia. As diversas modalidades de energia (mecânica, elétrica, química, luminosa, sonora etc.) são intercambiáveis, ou seja, podem ser convertidas entre si por processos naturais ou tecnológicos e obedecem sempre ao **princípio de conservação**.

As diversas transformações (ou transferências) de energia se dão por meio da ação de forças. O trabalho realizado pela força responsável por esta transformação quantifica a energia transformada. Desta forma, pode-se entender o trabalho como a energia transformada por um corpo ou sistema. Trabalho e energia são grandezas “irmãs”; duas faces de uma mesma moeda, possuem a mesma unidade de medida e estão intimamente associados.

$$\tau \Leftrightarrow \Delta E$$

Teorema da energia cinética (TEC)

Considere um corpo de massa m que se move com velocidade inicial \mathbf{V}_0 . Imagine agora que em determinado instante uma força resultante constante (\vec{F}_R), de mesma direção e sentido do movimento, passa a agir sobre esse corpo e atua ao longo de um deslocamento ΔS .



Do conceito de trabalho, tem-se:

$$\tau_R = F_R \cdot d \cdot \cos\theta$$

$$\tau_R = m \cdot a \cdot \Delta S \cdot \cos 0^\circ$$

$$\tau_R = m \cdot a \cdot \Delta S \quad (I)$$

A partir da função de Torricelli, tem-se:

$$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta S$$

$$a \cdot \Delta S = \frac{v^2 - v_0^2}{2} \quad (II)$$

Substituindo (II) em (I):

$$\tau_R = m \cdot \left(\frac{v^2 - v_0^2}{2} \right)$$

$$\tau_R = \frac{m \cdot v^2}{2} - \frac{m \cdot v_0^2}{2}$$

Na igualdade anterior, percebe-se a repetição da mesma relação $\left(\frac{m \cdot v^2}{2} \right)$ para dois instantes distintos (final e inicial). Esta relação caracteriza a Energia Cinética do corpo; afinal, está diretamente associada ao movimento (pela sua dependência da velocidade) e sua variação é determinada pela realização de trabalho por meio da força resultante.

Energia Cinética: associada ao movimento

$$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

massa: $[m] = \text{kg}$ (quilograma)
 velocidade: $[v] = \text{m/s}$ (metro/segundo)
 energia cinética: $[E_c] = \text{J}$ (joule)

Dando sequência ao raciocínio anterior:

$$\tau_R = \frac{m \cdot v^2}{2} - \frac{m \cdot v_0^2}{2}$$

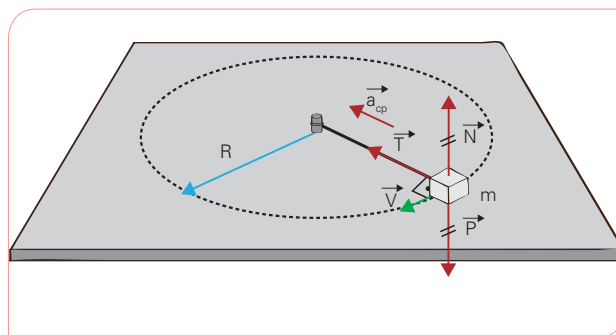
$$\tau_R = E_c^f - E_c^i$$

$$\tau_R = \Delta E_c$$

$$\tau_R = \Delta E_c$$

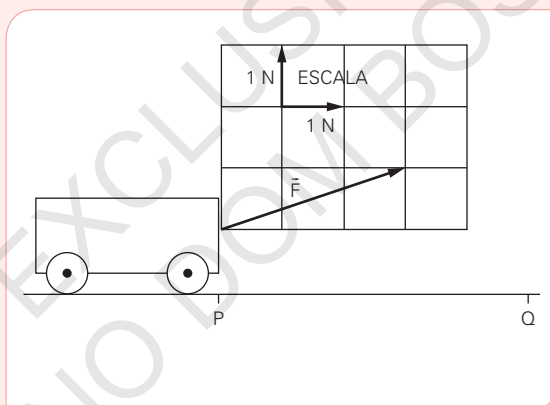
O trabalho realizado pela força resultante é igual à variação da energia cinética sofrida pelo corpo.

A interpretação do teorema indica que o trabalho da força resultante quantifica, representa e é responsável pela variação da energia cinética do móvel. Produzindo aumento em sua velocidade quando motor ($\tau_R > 0$) e redução quando resistente ($\tau_R < 0$).



EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

- 1. Unesp** – Um carrinho desloca-se em linha reta sobre uma superfície plana e horizontal, às custas da força \vec{F} constante, indicada em escala na figura a seguir.



- a) Qual é o trabalho realizado pela força \vec{F} , quando o carrinho se desloca do ponto P ao ponto Q, distante 2,0 m de P?

$$\tau^F = F \cdot d \cdot \cos \theta \Rightarrow \tau^F = F_x \cdot d \Rightarrow \tau^F = 3 \cdot 2 = 6 \text{ J}$$

- b) Se tinha energia cinética de 4,0 J quando passou por P dirigindo-se para Q, que energia cinética terá ao passar por Q? (Desconsidere os possíveis atritos.)

$$\begin{aligned} \tau^R &= E_c^f - E_c^i \Rightarrow \tau^F = E_c^Q - E_c^P \Rightarrow \\ &\Rightarrow 6 = E_c^Q - 4 \Rightarrow E_c^Q = 10 \text{ J} \end{aligned}$$

- 2. Unesp** – Um projétil de 20 g, com velocidade de 240 m/s, atinge o tronco de uma árvore e nele penetra uma certa distância até parar.

- a) Determine a energia cinética E_c do projétil antes de colidir com o tronco e o trabalho T realizado sobre o projétil na sua trajetória no interior do tronco, até parar.

$$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{0,02 \cdot 240^2}{2} = 576 \text{ J}$$

$$\tau^R = E_c^f - E_c^i \Rightarrow T = 0 - 576 = -576 \text{ J}$$

- b) Sabendo que o projétil penetrou 18 cm no tronco da árvore, determine o valor médio F_m da força de resistência que o tronco ofereceu à penetração do projétil.

$$\begin{aligned} \tau^{Fr} &= F_r \cdot d \cdot \cos \theta \Rightarrow -576 = F_r \cdot 0,18 \cdot \cos 180^\circ \Rightarrow \\ &\Rightarrow -576 = F_r \cdot 0,18 \cdot (-1) \Rightarrow F_r = 3200 \text{ N} \end{aligned}$$



O trabalho realizado pelo atleta sobre o arco é convertido posteriormente em energia cinética da flecha.



O trabalho realizado pelas forças dissipativas é responsável pela redução da energia cinética do dragster e representa o quanto se dissipou sob a forma de energia térmica ou sonora.

Vale lembrar que, por simplificação matemática, o teorema da energia cinética (TEC) foi anteriormente demonstrado para o caso particular em que a força resultante possui módulo constante e mesmo sentido do movimento. Ainda assim, o TEC é absolutamente geral e válido para forças constantes ou variáveis, trajetórias retilíneas ou curvilíneas.

No movimento circular uniforme (MCU), por exemplo, a força resultante centrípeta é perpendicular ao movimento. Desta forma, não realiza trabalho, e, conseqüentemente, o móvel não apresenta variação em sua energia cinética. Afinal, por ser uniforme, o movimento não apresenta alteração em sua velocidade escalar.

$$\tau_R = \Delta E_c \Rightarrow \text{No MCU} \Rightarrow \tau_R = \Delta E_c = 0$$

ROTEIRO DE AULA

TEOREMA DA ENERGIA CINÉTICA

Energia cinética

Energia associada ao movimento

$$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Unidade no SI:
J (joule)

O trabalho realizado pela força resultante é igual à variação da energia cinética do corpo

$$\tau_R = \Delta E_c$$

Velocidade aumenta

Energia cinética aumenta

$$\tau_R > 0$$

Velocidade diminui

Energia cinética diminui

$$\tau_R < 0$$

movimentos uniformes

Energia cinética é constante

$$\tau_R = 0$$

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Uerj – Um carro, em um trecho retilíneo da estrada na qual trafegava, colidiu frontalmente com um poste. O motorista informou um determinado valor para a velocidade de seu veículo no momento do acidente. O perito de uma seguradora apurou, no entanto, que a velocidade correspondia a exatamente o dobro do valor informado pelo motorista.

Considere E_{c_1} a energia cinética do veículo calculada com a velocidade informada pelo motorista e E_{c_2} aquela calculada com o valor apurado pelo perito.

Determine a razão $\frac{E_{c_1}}{E_{c_2}}$.

$$\left\{ \begin{array}{l} E_{c_1} = \frac{m \cdot v^2}{2} \\ E_{c_2} = \frac{m \cdot (2 \cdot v)^2}{2} \Rightarrow E_{c_2} = 4 \frac{m \cdot v^2}{2} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{E_{c_1}}{E_{c_2}} = \frac{1}{4}$$

2. Unicamp – Recentemente, a sonda New Horizons tornou-se a primeira espaçonave a sobrevoar Plutão, proporcionando imagens espetaculares desse astro distante.

a) A sonda saiu da Terra em janeiro de 2006 e chegou a Plutão em julho de 2015. Considere que a sonda percorreu uma distância de 4,5 bilhões de quilômetros nesse percurso e que 1 ano é aproximadamente $3 \cdot 10^7$ s. Calcule a velocidade escalar média da sonda nesse percurso.

b) A sonda New Horizons foi lançada da Terra pelo veículo espacial Atlas V 511, a partir do Cabo Canaveral. O veículo, com massa total $m = 6 \cdot 10^5$ kg, foi o objeto mais rápido a ser lançado da Terra para o espaço até o momento. O trabalho realizado pela força resultante para levá-lo do repouso à sua velocidade máxima foi de $\tau = 768 \cdot 10^{11}$ J. Considerando que a massa total do veículo não variou durante o lançamento, calcule sua velocidade máxima.

a) Dados: $\Delta S = 4,5 \cdot 10^9$ km = $4,5 \cdot 10^{12}$ m; $\Delta t = 9,5$ anos = $9,5 \cdot 3 \cdot 10^7$ s = $2,85 \cdot 10^8$ s. Aplicando a definição de velocidade escalar média:

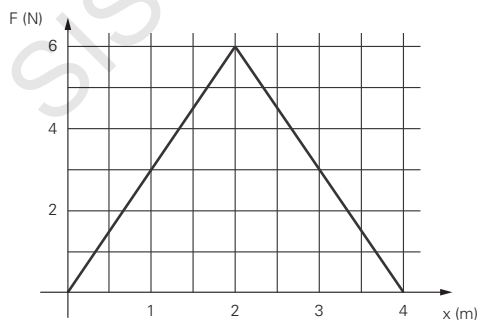
$$v_m = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{4,5 \cdot 10^{12}}{2,85 \cdot 10^8} \Rightarrow \boxed{v_m \cong 1,58 \cdot 10^4 \text{ m/s}}$$

b) Dados: $\tau = 768 \cdot 10^{11}$ J; $m = 6 \cdot 10^5$ kg; $v_0 = 0$.

Aplicando o teorema da energia cinética

$$\tau_R = \Delta E_{cin} \Rightarrow \tau = \frac{mv^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot \tau}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 768 \cdot 10^{11}}{6 \cdot 10^5}} = \sqrt{256 \cdot 10^6} \Rightarrow \boxed{v = 1,6 \cdot 10^4 \text{ m/s}}$$

3. UFRGS – Uma partícula de 2 kg está inicialmente em repouso em $x = 0$ m. Sobre ela atua uma única força F que varia com a posição x , conforme mostra a figura abaixo.



Os valores da energia cinética da partícula, em J, quando ela está em $x = 2$ m e em $x = 4$ m, são, respectivamente,

- a)** 0 e 12. **c)** 6 e 0. **e)** 6 e 12.
b) 0 e 6. **d)** 6 e 6.

Sabendo que o corpo parte do repouso, então a energia cinética inicial é nula. Usando o teorema da energia cinética:

$$\tau = E_{c,final} - \underbrace{E_{c,initial}}_{=0} \Rightarrow \tau = E_{c,final}$$

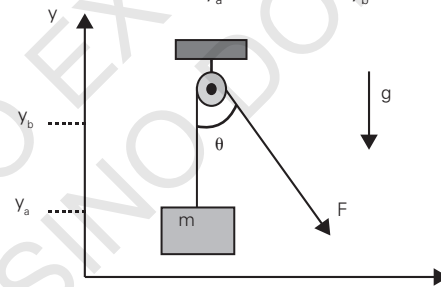
Para $x = 2$:

$$E_{c_2} = \tau = \text{área} \Rightarrow E_{c_2} = \frac{2m \cdot 6N}{2} \therefore E_{c_2} = 6 \text{ J}$$

Para $x = 4$ m:

$$E_{c_4} = \tau = \text{área} \Rightarrow E_{c_4} = \frac{4m \cdot 6N}{2} \therefore E_{c_4} = 12 \text{ J}$$

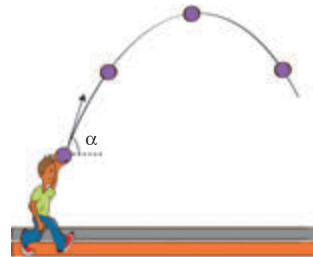
4. Fuvest – Usando um sistema formado por uma corda e uma roldana, um homem levanta uma caixa de massa m , aplicando na corda uma força F que forma um ângulo θ com a direção vertical, como mostra a figura. O trabalho realizado pela resultante das forças que atuam na caixa – peso e força da corda –, quando o centro de massa da caixa é elevado, com velocidade constante v , desde a altura y_a até a altura y_b , é:



- a)** nulo **d)** $F \cos(\theta) (y_b - y_a)$
b) $F (y_b - y_a)$ **e)** $mg (y_b - y_a) + mv^2/2$
c) $mg (y_b - y_a)$

$$\tau^R = \Delta E_c = 0$$

5. Unesp – Um garoto arremessa uma bola com velocidade inicial inclinada de um ângulo α com a horizontal. A bola abandona a mão do garoto com energia cinética E_0 e percorre uma trajetória parabólica contida em um plano vertical, representada parcialmente na figura.



Desprezando-se a resistência do ar, a energia cinética da bola no ponto mais alto de sua trajetória é:

a) $E_0 \cdot \sin \alpha$ A energia cinética ao abandonar a mão do garoto

b) $E_0 \cdot \cos \alpha$ é: $E_0 = \frac{m \cdot v_0^2}{2}$. (I)

c) $E_0 \cdot \cos^2 \alpha$ No ponto mais alto da trajetória a velocidade é: $v_x = v_0 \cdot \cos \alpha$.

d) $E_0 \cdot \sin^2 \alpha$ A energia cinética nesse ponto mais alto é:

e) $\frac{E_0 \cdot \sin^2 \alpha}{2}$ $E = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{m \cdot (v_0 \cdot \cos \alpha)^2}{2} = \frac{m \cdot v_0^2}{2} \cdot \cos^2 \alpha$. (II)

Substituindo (I) em (II): $E = E_0 \cdot \cos^2 \alpha$

6. Enem

C6-H20

Uma análise criteriosa do desempenho de Usain Bolt na quebra do recorde mundial dos 100 metros rasos mostrou que, apesar de ser o último dos corredores a reagir ao tiro e iniciar a corrida, seus primeiros 30 metros foram os mais velozes já feitos em um recorde mundial, cruzando essa marca em 3,78 segundos. Até se colocar com o corpo reto, foram 13 passadas, mostrando sua potência durante a aceleração, o momento mais importante da corrida. Ao final desse percurso, Bolt havia atingido a velocidade máxima de 12 m/s.

Disponível em: <http://esporte.uol.com.br>. Acesso em: 5 ago. 2012. (Adaptado).

Supondo que a massa desse corredor seja igual a 90 kg, o trabalho total realizado nas 13 primeiras passadas é mais próximo de:

- a) $5,4 \cdot 10^2$ J
b) $6,5 \cdot 10^3$ J
 c) $8,6 \cdot 10^3$ J
 d) $1,3 \cdot 10^4$ J
 e) $3,2 \cdot 10^4$ J

Dados: $m = 90$ kg; $v_0 = 0$; $v = 12$ m/s. O trabalho (W) da força resultante realizado sobre o atleta é dado pelo teorema da energia cinética.

$$W = \Delta E_{\text{cin}} = \frac{m(v^2 - v_0^2)}{2} = \frac{90(12^2 - 0)}{2} \Rightarrow \boxed{W = 6,48 \cdot 10^3 \text{ J}}$$

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. **USF** – Uma das atrações circenses de maior sucesso é o homem-bala. Ele é lançado de um canhão como se fosse um projétil e executa um movimento parabólico, como mostra a figura abaixo.



Um canhão que tem diâmetro de 80 cm e comprimento útil igual a 2,5 m lança uma pessoa, comunicando-lhe uma energia cinética de 2 000 000 J. Determine a força resultante que atua sobre a pessoa durante o seu percurso no interior do canhão.

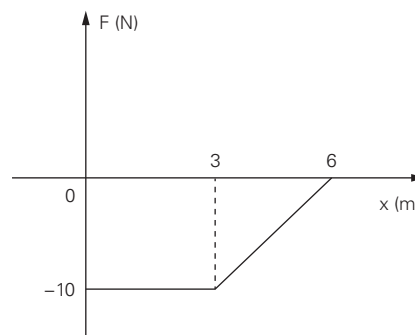
8. **UCB** – Um guindaste mantém um bloco de concreto de 2 t suspenso a 20,0 m do chão. O trabalho recebido pelo bloco em razão de o guindaste mantê-lo parado é de:
- a) $3,92 \cdot 10^5$ J
 b) $4,0 \cdot 10^4$ J
 c) 0 J
 d) 100 J
 e) $-3,92 \cdot 10^5$ J
9. **Unicamp** – Qual o módulo do trabalho executado pela força de atrito entre o pneu e o solo para parar um carro de massa $m = 1000$ kg, inicialmente a $v = -7$ km/h, sabendo que os pneus travam no instante da frenagem, deixando de girar, e o carro desliza durante todo o tempo de frenagem?
- a) $3,6 \cdot 10^4$ J
 b) $2,0 \cdot 10^5$ J
 c) $4,0 \cdot 10^5$ J
 d) $2,6 \cdot 10^6$ J

10. **UFPE** – Um objeto com massa igual a 1,0 kg é lançado para cima na direção vertical com velocidade inicial $v_0 = 10$ m/s. Quando ele retorna ao ponto de partida, a sua velocidade tem módulo $v = 8,0$ m/s. Calcule o módulo do trabalho realizado pela força de resistência do ar, em joules, ao longo de todo o trajeto do objeto.

11. **Unicamp** – O primeiro satélite geoestacionário brasileiro foi lançado ao espaço em 2017 e será utilizado para comunicações estratégicas do governo e na ampliação da oferta de comunicação de banda larga. O foguete que levou o satélite ao espaço foi lançado do Centro Espacial de Kourou, na Guiana Francesa. A massa do satélite é constante desde o lançamento até a entrada em órbita e vale $m = 6,0 \cdot 10^3$ kg. O módulo de sua velocidade orbital é igual a $V_{\text{or}} = 3,0 \cdot 10^3$ m/s. Desprezando a velocidade inicial do satélite em razão do movimento de rotação da Terra, o trabalho da força resultante sobre o satélite para levá-lo até a sua órbita é igual a:

- a) 2 MJ
 b) 18 MJ
 c) 27 GJ
 d) 54 GJ

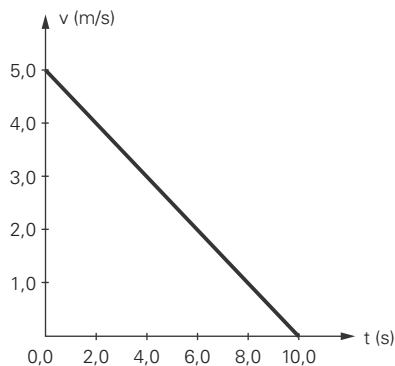
12. **Eear** – O gráfico a seguir relaciona a intensidade da força (F) e a posição (x) durante o deslocamento de um móvel com massa igual a 10 kg da posição $x = 0$ m até o repouso em $x = 6$ m.



O módulo da velocidade do móvel na posição $x = 0$, em m/s, é igual a:

- a) 3
 b) 4
 c) 5
 d) 6

13. Mackenzie



Um corpo de massa 2,0 kg é lançado sobre um plano horizontal rugoso com uma velocidade inicial de 5,0 m/s e sua velocidade varia com o tempo, segundo o gráfico acima.

Considerando a aceleração da gravidade $g = 10,0 \text{ m/s}^2$, o coeficiente de atrito cinético entre o corpo e o plano vale:

- a) $5,0 \cdot 10^{-2}$ c) $1,0 \cdot 10^{-1}$ e) $2,0 \cdot 10^{-2}$
 b) $5,0 \cdot 10^{-1}$ d) $2,0 \cdot 10^{-1}$

14. Fuvest – O sistema de *airbag* de um carro é formado por um sensor que detecta rápidas diminuições de velocidade, uma bolsa inflável e um dispositivo contendo azida de sódio (NaN_3) e outras substâncias secundárias. O sensor, ao detectar uma grande desaceleração, produz uma descarga elétrica que provoca o aquecimento e a decomposição da azida de sódio. O nitrogênio (N_2) liberado na reação infla rapidamente a bolsa, que, então, protege o motorista. Considere a situação em que o carro, inicialmente a 36 km/h (10 m/s), dirigido por um motorista de 60 kg, para devido a uma colisão frontal.

Nessa colisão, qual é a variação ΔE da energia cinética do motorista?

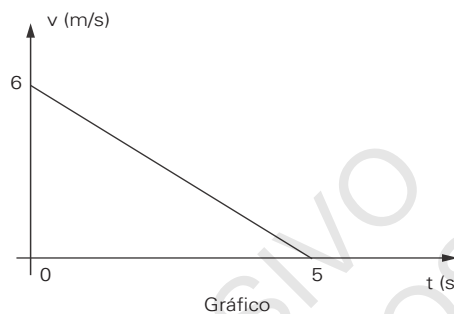
- a) Durante o 0,2 s da interação do motorista com a bolsa, qual é o módulo α da aceleração média desse motorista?
 b) Escreva a reação química de decomposição da azida de sódio formando sódio metálico e nitrogênio gasoso.
 c) Sob pressão atmosférica de 1 atm e temperatura de 27°C , qual é o volume V de gás nitrogênio formado pela decomposição de 65 g de azida de sódio?

Note e adote:

- Desconsidere o intervalo de tempo para a bolsa inflar.
- Ao término da interação com a bolsa do *airbag*, o motorista está em repouso.
- Considere o nitrogênio como um gás ideal.
- Constante universal dos gases:
 $R = 0,08 \text{ atm} \cdot \ell / (\text{mol} \cdot \text{K})$; $0^\circ \text{C} = 273 \text{ K}$.

Elemento	Massa atômica (g/mol)
sódio	23
nitrogênio	14

15. EsPCEX – Um bloco de massa igual a 1,5 kg é lançado sobre uma superfície horizontal plana com atrito com uma velocidade inicial de 6 m/s em $t_1 = 0 \text{ s}$. Ele percorre uma certa distância, numa trajetória retilínea, até parar completamente em $t_2 = 5 \text{ s}$, conforme o gráfico abaixo.



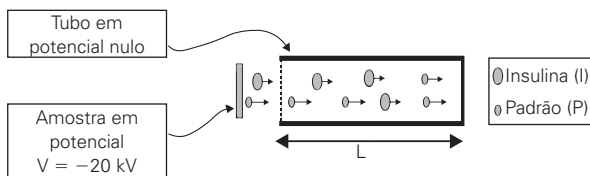
O valor absoluto do trabalho realizado pela força de atrito sobre o bloco é:

- a) 4,5 J c) 15 J e) 30 J
 b) 9,0 J d) 27 J

16. Mackenzie – Um carro, trafegando com velocidade escalar constante v , freia até parar, percorrendo uma distância de frenagem (ΔS), devido à desaceleração do carro, considerada constante. Se o carro estiver trafegando com o dobro da velocidade anterior e nas mesmas condições, a nova distância de frenagem imposta ao carro em relação à anterior será:

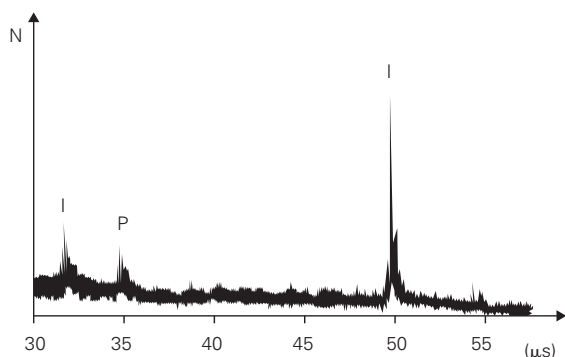
- a) $2 \cdot \Delta S$ d) $4 \cdot \Delta S$
 b) $0,5 \cdot \Delta S$ e) $2 \cdot \Delta S$
 c) $0,25 \cdot \Delta S$

17. Fuvest – A determinação da massa da molécula de insulina é parte do estudo de sua estrutura. Para medir essa massa, as moléculas de insulina são previamente ionizadas, adquirindo, cada molécula, a carga de um elétron. Esses íons (I) são liberados com velocidade inicial nula a partir de uma amostra submetida a um potencial $V = -20 \text{ kV}$. Os íons são acelerados devido à diferença de potencial entre a amostra e um tubo metálico, em potencial nulo, no qual passam a se mover com velocidade constante. Para a calibração da medida, adiciona-se à amostra um material padrão cujas moléculas também são ionizadas, adquirindo, cada uma, a carga de um elétron; esses íons (P) têm massa conhecida igual a 2 846 u. A situação está esquematizada na figura.



- a) Determine a energia cinética E dos íons, quando estão dentro do tubo.

O gráfico a seguir mostra o número N de íons em função do tempo t despendido para percorrermos o comprimento L do tubo.



Determine:

b) A partir dos tempos indicados no gráfico, a razão

$$R_v = \frac{v_I}{v_P}$$

entre os módulos das velocidades v_I , de um

íon de insulina, e v_P , de um íon P, em movimento dentro do tubo.

- c)** A razão $R_m = \frac{m_I}{m_P}$ entre as massas m_I e m_P , respectivamente, de um íon de insulina e de um íon P.
- d)** A massa m_I de um íon de insulina, em unidades de massa atômica (u).

Note e adote:

- A amostra e o tubo estão em vácuo.
- u = unidade de massa atômica.
- Carga do elétron: $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ C
- $1 \mu\text{s} = 10^{-6}$ s

ESTUDO PARA O ENEM

18. Uerj

C3-H8

Em um experimento que recebeu seu nome, James Joule determinou o equivalente mecânico do calor: $1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$. Para isso, ele utilizou um dispositivo em que um conjunto de paletas giram imersas em água no interior de um recipiente.

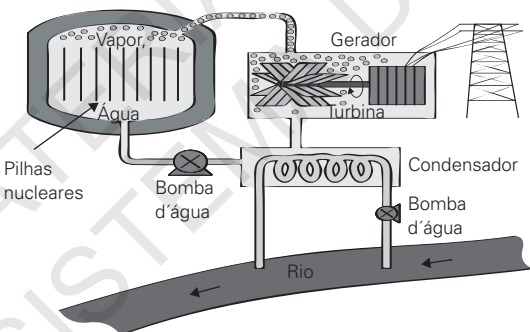
Considere um dispositivo igual a esse, no qual a energia cinética das paletas em movimento, totalmente convertida em calor, provoque uma variação de 2° C em 100 g de água. Essa quantidade de calor corresponde à energia cinética de um corpo de massa igual a 10 kg e velocidade, em m/s , próxima a:

- a)** 5 **b)** 8 **c)** 13 **d)** 17 **e)** 20

19. Enem

C3-H8

A energia térmica liberada em processos de fissão nuclear pode ser utilizada na geração de vapor para produzir energia mecânica que, por sua vez, será convertida em energia elétrica. A seguir está representado um esquema básico de uma usina de energia nuclear.



A partir do esquema são feitas as seguintes afirmações:

- A energia liberada na reação é usada para ferver a água que, como vapor a alta pressão, aciona a turbina.
- A turbina, que adquire uma energia cinética de rotação, é acoplada mecanicamente ao gerador para produção de energia elétrica.
- A água depois de passar pela turbina é pré-aquecida no condensador e bombeada de volta ao reator.

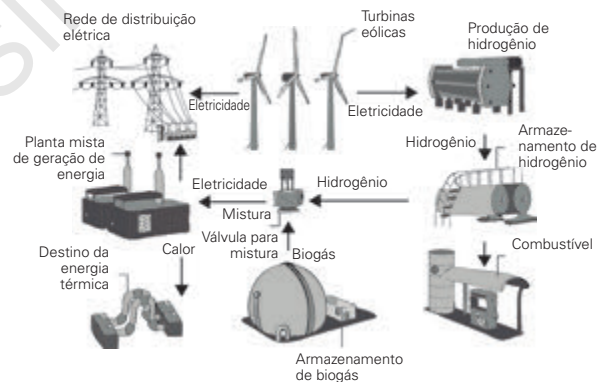
Entre as afirmações anteriores, somente está(ão) correta(s):

- a)** I **c)** III **e)** II e III
b) II **d)** I e II

20. Enem

C6-H21

A figura mostra o funcionamento de uma estação híbrida de geração de eletricidade movida a energia eólica e biogás. Essa estação possibilita que a energia gerada no parque eólico seja armazenada na forma de gás hidrogênio, usado no fornecimento de energia para a rede elétrica comum e para abastecer células a combustível.



Disponível em: <www.enertrag.com>. Acesso em: 24 abr. 2015. (Adaptado)

Mesmo com ausência de ventos por curtos períodos, essa estação continua abastecendo a cidade onde está instalada, pois o(a):

- planta mista de geração de energia realiza eletrólise para enviar energia à rede de distribuição elétrica.
- hidrogênio produzido e armazenado é utilizado na combustão com o biogás para gerar calor e eletricidade.
- conjunto de turbinas continua girando com a mesma velocidade, por inércia, mantendo a eficiência anterior.
- combustão da mistura biogás-hidrogênio gera diretamente energia elétrica adicional para a manutenção da estação.
- planta mista de geração de energia é capaz de utilizar todo o calor fornecido na combustão para a geração de eletricidade.

34

TRABALHO DE FORÇAS CONSERVATIVAS I - FORÇA-PESO

- Definição de força conservativa
- Trabalho da força-peso
- Energia potencial gravitacional
- Relação entre trabalho da força-peso e energia potencial gravitacional

HABILIDADES

- Relacionar trabalho da força-peso com energia potencial gravitacional.
- Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.
- Identificar etapas em processos de obtenção, transformação, utilização ou reciclagem de recursos naturais, energéticos ou matérias-primas, considerando processos biológicos, químicos ou físicos neles envolvidos.
- Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.
- Avaliar possibilidades de geração, uso ou transformação de energia em ambientes específicos, considerando implicações éticas, ambientais, sociais e/ou econômicas.



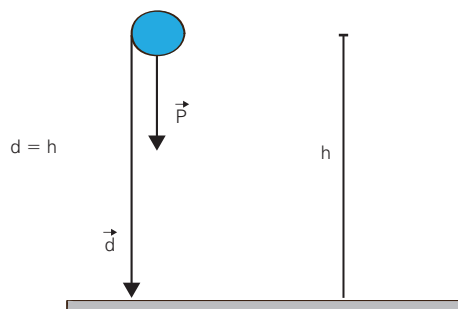
SELFIE SKYDIVING TANDEM

O trabalho realizado pela força-peso do paraquedista justifica o aumento de sua velocidade nos momentos iniciais do salto.

Trabalho da força-peso (τ_p)

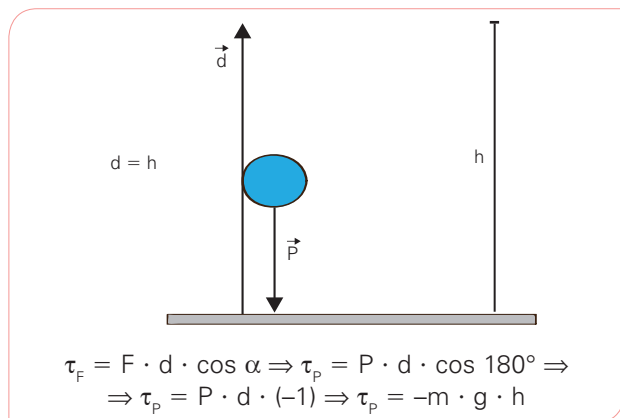
Quando um corpo se desloca no campo gravitacional terrestre de modo que sua altura em relação a um nível de referência varia, a força-peso realiza trabalho.

Considere um objeto, de massa m , que cai verticalmente. O trabalho realizado pela força-peso ao longo da descida é determinado em função do desnível (altura h) da seguinte forma:

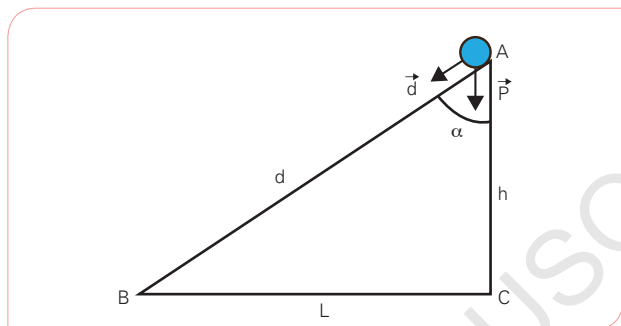


$$\tau_F = F \cdot d \cdot \cos \alpha \Rightarrow \tau_p = P \cdot d \cdot \cos 0^\circ \Rightarrow \tau_p = +m \cdot g \cdot h$$

Caso o mesmo corpo realizasse o movimento no sentido oposto, subindo verticalmente, o trabalho resistente realizado pela força-peso seria:



Considere agora o esquema abaixo onde uma esfera, de massa m , desce o plano inclinado.



Durante sua descida através da rampa, a força-peso realiza o trabalho determinado a seguir:

$$\tau_F = F \cdot d \cdot \cos \alpha \Rightarrow \tau_p = P \cdot d \cdot \cos \alpha \Rightarrow \tau_p = m \cdot g \cdot d \cdot \cos \alpha \quad (I)$$

No triângulo retângulo definido pelo plano é válida a seguinte relação trigonométrica:

$$(II) \cos \alpha = \frac{h}{d}$$

onde d representa o comprimento da rampa (o deslocamento) e h o desnível sofrido.

Substituindo (II) em (I), tem-se:

$$\tau_p = m \cdot g \cdot d \cdot \left(\frac{h}{d}\right) \Rightarrow \tau_p = m \cdot g \cdot h$$

Imagine que a esfera fosse deslocada entre as posições A e B, porém agora através de dois movimentos: um vertical, na linha AC, e outro horizontal, na direção CB.

Trecho AC:

$$\tau_F = F \cdot d \cdot \cos \alpha \Rightarrow \tau_p^{AC} = P \cdot h \cdot \cos 0^\circ \Rightarrow \tau_p^{AC} = m \cdot g \cdot h$$

Trecho CB:

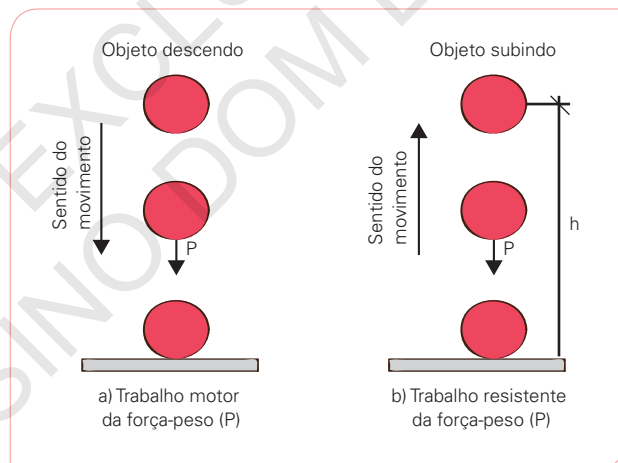
$$\tau_F = F \cdot d \cdot \cos \alpha \Rightarrow \tau_p^{CB} = P \cdot L \cdot \cos 90^\circ \Rightarrow \tau_p^{CB} = P \cdot L \cdot 0 = 0$$

Contabilizando os dois trechos, tem-se:

$$\tau_p^{AB} = \tau_p^{AC} + \tau_p^{CB} \Rightarrow \tau_p^{AB} = m \cdot g \cdot h + 0 = m \cdot g \cdot h$$

É importante notar que o trabalho realizado pela força-peso foi o mesmo para ambas as trajetórias (AB ou ACB). Pode-se extrapolar esse fato para qualquer que seja a trajetória realizada. O trabalho da força-peso, independentemente da trajetória escolhida, é função apenas de suas posições inicial e final. Esta característica faz com que a força-peso seja considerada uma força conservativa. Essa denominação está ligada ao fato de que, em sistemas nos quais somente forças conservativas realizam trabalho (peso, elástica e elétrica), a energia mecânica se conserva. Falaremos mais sobre isso nos módulos seguintes.

Além disso, não se pode esquecer de que o trabalho da força peso é motor ($\tau_p > 0$) quando o corpo desce e resiste ($\tau_p < 0$) nas subidas.

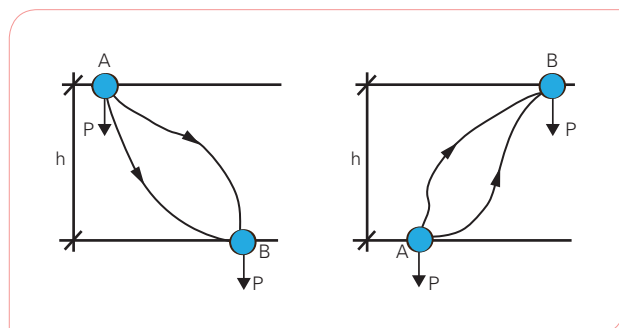


Assim sendo, conclui-se que:

Trabalho da Força-peso

$$\tau_p = \pm m \cdot g \cdot h$$

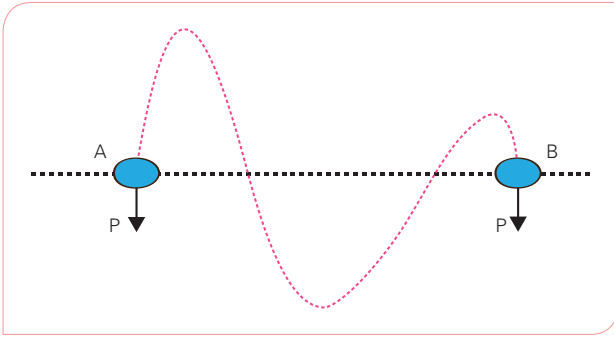
massa: [m] = kg (quilograma)
campo gravitacional: [g] = N/kg (newton/quilograma)
altura: [h] = m (metro)
Trabalho: [τ] = J (joule)



De A para B: $\tau_p^{AB} = +m \cdot g \cdot h$

De A para B: $\tau_p^{BA} = -m \cdot g \cdot h$

Cuidado! Quando não houver desnível ($\Delta h = 0$), a força peso não realiza trabalho ($\tau_p = 0$).



TRABALHO DO OPERADOR (τ^{op}) E ENERGIA POTENCIAL GRAVITACIONAL (E_p)

Aplicando o Teorema da Energia Cinética à situação em que um guindaste (operador) ergue, **com velocidade constante**, um corpo de massa m , tem-se para o movimento da carga:

$$\begin{aligned}\tau_R &= \Delta E_c = 0 \\ \tau_p + \tau^{op} &= 0 \Rightarrow \tau^{op} = -\tau_p \\ \tau^{op} &= \pm m \cdot g \cdot h\end{aligned}$$

Note que o trabalho realizado pela força aplicada pelo guindaste é motor ($\tau^{op} > 0$) na subida e seria resistente ($\tau^{op} < 0$) caso o corpo estivesse descendo, resistente.



A atleta transfere energia potencial gravitacional à barra por meio da realização de trabalho.

Nos exemplos anteriores, note que a energia transferida por meio da realização de trabalho pelo operador não se expressa no aumento da energia cinética de um *container* ou de uma barra ao longo de sua subida com velocidade constante. A energia transferida pelo operador é armazenada sob a forma de energia potencial gravitacional. Assim sendo, representando o desnível sofrido por Δh :

$$\begin{aligned}\tau^{op} &= \Delta E_{pg} = m \cdot g \cdot \Delta h \\ E_{pg} &= m \cdot g \cdot h\end{aligned}$$

Conseqüentemente, segue o **Teorema da Energia Potencial Gravitacional**:

$$\tau_p = -\Delta E_{pg} = E_{pg}^f - E_{pg}^i$$

A energia potencial associada aos diversos sistemas de corpos é dependente da posição relativa entre seus constituintes. Recebe o nome de potencial pelo fato de ser uma modalidade de energia que pode, a qualquer momento, ser empregada na realização de trabalho e, desta forma, converter-se em energia cinética ou tantas outras formas de energia. É armazenada por meio de um campo (gravitacional ou elétrico) ou na deformação de estruturas elásticas (molas, elásticos, varas, arcos etc.).

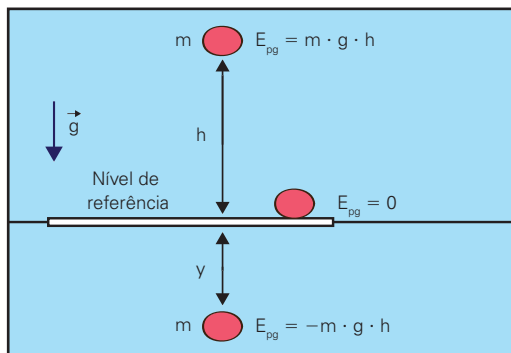
A energia potencial gravitacional é determinada em relação a um nível de referência, em que $h = 0$ e conseqüentemente $E_{pg} = 0$. Deste modo, quanto maior a altura em relação ao nível de referência, maior a energia potencial gravitacional associada ao sistema massa-Terra. De forma análoga, para posições abaixo do nível de referência, a energia potencial gravitacional é considerada negativa.



A energia transferida pelo operador (guindaste) ao *container* é armazenada sob a forma de energia potencial gravitacional do sistema *container-Terra*.

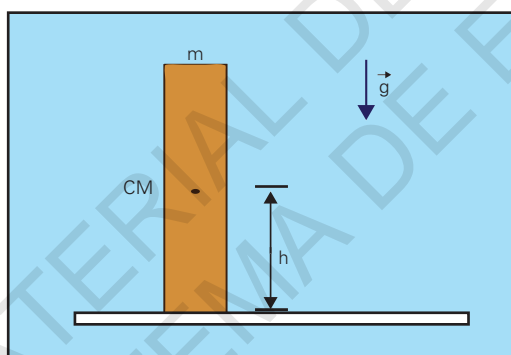
Em uma academia, durante a realização do movimento conhecido por supino-reto, a cada ciclo a atleta realiza trabalho motor durante a subida da barra e resistente durante a descida. Já a força-peso que age durante o mesmo movimento realiza trabalho motor na descida e resistente no trecho de subida. A cada ciclo a variação da energia cinética é nula e, desta forma, conclui-se que os trabalhos realizados pelas forças citadas são opostos.

$$\tau^{op} = -\tau_p$$



A interpretação do sinal negativo na energia potencial gravitacional pode ser feita a partir do seguinte exemplo: uma pedra não sai do fundo de um poço e atinge sua boca espontaneamente. É preciso que um operador realize trabalho e, desta forma, transfira energia para que ela atinja o nível de referência posto no solo, onde sua energia potencial é considerada nula. Ou seja, se é necessária a transferência de energia para que o nível 0 (zero) seja atingido, pode-se afirmar que no fundo do poço sua energia potencial é negativa.

Lembre-se de que quando se tratar de um corpo extenso (como uma ponte, um guindaste, um poste etc.) sua energia potencial gravitacional deve ser determinada em relação ao seu centro de massa (CM) que, em corpos homogêneos, possui mesma posição de seu centro geométrico (baricentro).



EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. As pirâmides do Egito estão entre as construções mais conhecidas em todo o mundo, entre outras coisas pela incrível capacidade de engenharia de um povo com uma tecnologia muito menos desenvolvida do que a que temos hoje. A Grande Pirâmide de Gizé foi a construção humana mais alta por mais de 4 000 anos.

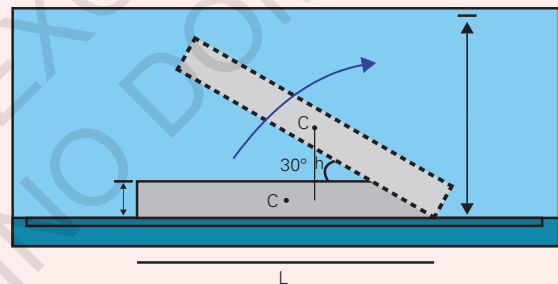
Considere que, em média, cada bloco de pedra tenha 2 toneladas, altura desprezível comparada à da pirâmide e que a altura da pirâmide seja de 140 m. Adotando $g = 10 \text{ m/s}^2$, calcule, em MJ, a energia potencial de um bloco no topo da pirâmide, em relação à sua base.

Resolução:

$$E_{Pg} = m \cdot g \cdot h = 2000 \cdot 10 \cdot 140 = 2,8 \cdot 10^6 \text{ J} = 2,8 \text{ MJ}$$

2. Para a entrada em um castelo há uma ponte levadiça horizontal, de 20 m de extensão, sobre um fosso que cerca a construção. A ponte, uniforme e homogênea, pesa $6,0 \cdot 10^4 \text{ N}$ e é articulada em mancais do lado do castelo. Duas correntes fixas no outro lado da ponte são puxadas por soldados para erguer a ponte.

Determine o trabalho mínimo realizado pelos soldados para erguê-la até ficar num ângulo de 30° com a horizontal.



O trabalho realizado pelos soldados (operadores) é responsável pelo incremento da energia potencial gravitacional do centro de massa da ponte.

Determina-se inicialmente a elevação do centro de massa, localizado no centro geométrico (meio) da ponte.

Resolução:

$$\begin{aligned} \sin \theta &= \frac{h_{CM}}{L/2} \Rightarrow \sin 30^\circ = \frac{h_{CM}}{L/2} \Rightarrow 0,5 = \\ &= \sin 30^\circ = \frac{h_{CM}}{20/2} \Rightarrow h_{CM} = 0,5 \cdot 10 = 5\text{m} \end{aligned}$$

Assim sendo, tem-se:

$$\tau^{Op} = E_{Pg}^f - E_{Pg}^i = m \cdot g \cdot h - 0 = 6 \cdot 10^4 \cdot 5 = 3 \cdot 10^6 \text{ J}$$

ROTEIRO DE AULA

FORÇAS CONSERVATIVAS

O trabalho realizado independe da trajetória

Trabalho da força-peso

Depende apenas

das posições inicial e final

Depende do desnível (h) sofrido

Em descidas

em subidas

Energia potencial gravitacional

São exemplos as forças

peso, elástica e elétrica

$$\tau_p = \pm m \cdot g \cdot h$$

$$\tau_p > 0$$

$$\tau_p < 0$$

$$E_{p_g} = m \cdot g \cdot h$$

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. PUC-RJ – Um homem tem que levantar uma caixa de 20 kg por uma altura de 1,0 m. Ele tem duas opções: (1) levantar a caixa com seus braços, fazendo uma força vertical; (2) usar uma rampa inclinada a 30° , de atrito desprezível com a superfície da caixa e empurrar a caixa com seus braços fazendo uma força paralela à rampa.

Supondo que, em ambos casos, a caixa é levantada com velocidade constante, classifique em verdadeiras (V) ou falsas (F) as seguintes afirmações. Justifique suas opções.

- I. () O trabalho realizado pela força peso da caixa é menor na opção (2).
- II. () A força exercida pelo homem é a mesma para as duas opções.
- III. () Na opção (2), a força normal entre a caixa e a rampa realiza um trabalho positivo.

[I] Falsa. Os dois trabalhos são iguais, pois o trabalho não depende dos caminhos escolhidos.

[II] Falsa. A força exercida pelo homem é menor na rampa.

[III] Falsa. A força normal, sendo perpendicular ao movimento na rampa, não realiza trabalho.

2. UFPR – Uma pessoa de 80 kg, após comer um sanduíche com 600 kcal de valor alimentício numa lanchonete, decide voltar ao seu local de trabalho, que fica a 105 m acima do piso da lanchonete, subindo pelas escadas. Calcule qual porcentagem da energia ganha com o sanduíche será gasta durante essa subida.

Dado: $1 \text{ cal} \approx 4 \text{ J}$

Considerando $1 \text{ kcal} = 4000 \text{ J}$, a energia total (ET) ingerida pela pessoa é:

$$E_T = 600 \cdot 4000 = 24 \cdot 10^5 \text{ J}$$

Calculando a energia consumida pela pessoa na subida das escadas, considerando que toda a energia “queimada” seja transformada em energia potencial:

$$E_p = m \cdot g \cdot h = 80 \cdot 10 \cdot 105 = 84 \cdot 10^3 \text{ J}$$

Fazendo a razão:

$$\frac{E_p}{E_T} = \frac{84 \cdot 10^3}{24 \cdot 10^5} = 0,035 \Rightarrow E_p = 3,5\% E_T$$

3. UECE – Considere um sistema massa-mola oscilando sem atrito em uma trajetória vertical próxima à superfície da Terra. Suponha que a amplitude da oscilação é 20 cm, a massa seja de 1 kg e $g = 10 \text{ m/s}^2$. O trabalho total realizado pela força-peso durante um período de oscilação é, em joules:

- a) 2
- b) 0
- c) 200
- d) 20

Pelo teorema da energia potencial, o trabalho da força-peso entre dois pontos independe da trajetória e é dado pela diferença entre as energias potenciais inicial e final.

$$W_p = E_{\text{pot}} - E_{\text{pot}} = mgh_i - mgh_f = mg(h_i - h_f)$$

Após um período de oscilação vertical, o corpo oscilante encontra-se na mesma altura, ou seja,

$$h_f = h_i \Rightarrow h_i - h_f = 0 \Rightarrow W_p = 0$$

Portanto, o trabalho da força peso na situação pedida é nulo.

4. Mackenzie – Na Olimpíada Rio 2016, nosso medalhista de ouro em salto com vara, Thiago Braz, de 75,0 kg, atingiu a altura de 6,03 m, recorde mundial, caindo a 2,80 m do ponto de apoio da vara. Considerando o módulo da aceleração da gravidade $g = 10,0 \text{ m/s}^2$, o trabalho realizado pela força peso durante a descida foi aproximadamente de:

- a) 2,10 kJ
- b) 2,84 kJ
- c) 4,52 kJ
- d) 4,97 kJ
- e) 5,10 kJ

$$W = m \cdot g \cdot h$$

$$W = 75 \cdot 10 \cdot 6,03$$

$$W = 4522,5$$

$$W \approx 4,52 \text{ kJ}$$

5. FAMECA – Segundo dados fornecidos por importantes fontes de pesquisa no ramo da nutrição, um ser humano adulto necessita ingerir alimentos que lhe ofereçam 2000 kcal por dia. Se essa quantidade de energia pudesse ser integralmente utilizada por uma pessoa de 80 kg para subir uma escada de 4,0 m de altura, considerando $1 \text{ cal} = 4 \text{ J}$ e $g = 10 \text{ m/s}^2$, o número máximo de vezes que essa ascensão poderia ser feita é igual a:

- a) 2000.
- b) 4000.
- c) 1250.
- d) 625.
- e) 2500.

$$E_{\text{nutrição}} = N \cdot E_{\text{pg}}$$

$$2000000 \cdot 4 \text{ J} = N \cdot (80 \cdot 10 \cdot 4 \text{ J})$$

$$N = 2500$$

6. CPS-SP**C1-H2**

Um atrativo da cidade de Santos é subir de bondinho até o topo do Monte Serrat, que se localiza a aproximadamente 150 m do nível do mar.

O funicular é um sistema engenhoso de transporte de pessoas que liga dois bondinhos idênticos por meio de um único cabo, fazendo com que o peso do bonde que desce o monte auxilie a subida do outro bonde.

Nesse sistema, se os atritos forem desprezíveis, o esforço da máquina que movimenta o cabo se resumirá apenas ao esforço de transportar passageiros.



Disponível em: <i1.ytimg.com/vi/E-n0OyfaHW0/maxresdefault.jpg>.

Acesso em: 24 ago. 2013.

11. Fuvest – Uma pessoa faz, diariamente, uma caminhada de 6 km em uma pista horizontal, consumindo 80 cal a cada metro. Num certo dia, ela fez sua caminhada habitual e, além disso, subiu um morro de 300 m de altura. Essa pessoa faz uma alimentação diária de 2000 kcal, com a qual manteria seu peso, se não fizesse exercícios. Com base nessas informações, determine:

- a) a percentagem P da energia química proveniente dos alimentos ingeridos em um dia por essa pessoa, equivalente à energia consumida na caminhada de 6 km.
- b) a quantidade C de calorias equivalente à variação de energia potencial dessa pessoa entre a base e o topo do morro, se sua massa for 80 kg.
- c) o número N de caminhadas de 6 km que essa pessoa precisa fazer para perder 2,4 kg de gordura, se mantiver a dieta diária de 2000 kcal.

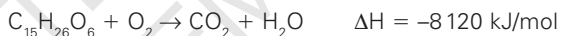
Note e adote:

- A aceleração da gravidade local é igual a 10 m/s².
- 1 cal = 4 J.
- 9 kcal são produzidas com a queima de 1 g de gordura.

12. UFJF – Segundo a Associação Brasileira de Nutrologia (Abran), a taxa metabólica basal (TMB) é o mínimo de energia necessária para manter as funções do organismo em repouso, tais como os batimentos cardíacos, a pressão arterial, a respiração e a manutenção da temperatura corporal. Em uma competição de corrida, um atleta de 70 kg tem de subir uma montanha com uma inclinação de 60° e uma distância total de 1200 m. Desprezando a taxa metabólica basal e as perdas por atrito, calcule o trabalho extra realizado pelas forças musculares do atleta, apenas para compensar os efeitos gravitacionais, para chegar ao final da subida.

- a) 840 000 J
- b) 730 800 J
- c) 420 000 J
- d) 365 400 J
- e) 487 200 J

13. UFG – Na digestão, os alimentos são modificados quimicamente pelo organismo, transformando-se em moléculas que reagem no interior das células para que energia seja liberada. A equação química, não balanceada, a seguir, representa a oxidação completa de um mol da substância tributirina, também conhecida como butirina, presente em certos alimentos.



Considerando-se que toda a energia da reação esteja disponível para a realização de trabalho mecânico, quantos mols de O₂ são necessários para que uma pessoa levante uma caixa de 20,3 kg do chão até uma altura h = 2,0 m?

Dados: g = 10 m/s²

14. UEPB – Ao chegar a um shopping, três amigos (A, B e C), de mesma massa M, têm diante de si três opções para subir do primeiro para o segundo piso: de elevador, de escada rolante ou de escada convencional, já que eles estão no mesmo nível. Cada um deles escolhe uma opção diferente, para verificar quem chega primeiro. Com relação ao trabalho (T) realizado pela força-peso de cada amigo, é correto afirmar:

- a) $T_C > T_B > T_A$
- b) $T_B = T_C = T_A$
- c) $T_C = T_B > T_A$
- d) $T_C > T_B = T_A$
- e) $T_C < T_B > T_A$

15. UCS – O centro de massa (ponto que se comporta como se toda a massa de um corpo estivesse concentrada nele) de uma pessoa de 80 kg se encontra exatamente na altura do umbigo quando ela está em pé sobre o chão, com a postura ereta. Suponha que a pessoa, para comemorar a aprovação no vestibular, usou a energia que adquiriu no almoço para executar um pulo na vertical, utilizando como impulso apenas as pernas. Nesse pulo, durante a subida, seu umbigo, a partir da posição inicial mencionada, variou sua posição para cima em 40 cm. Se em cada 100 g do almoço, ela recebe 100 calorias, quantos gramas de almoço, no mínimo, ela ingeriu para ter energia para dar esse pulo? Considere, para fins de simplificação, 1 cal = 4,2 J, a aceleração da gravidade como g = 10 m/s², que a massa adquirida no almoço já está incluída nos 80 kg e que a energia do almoço é toda convertida em energia potencial gravitacional.

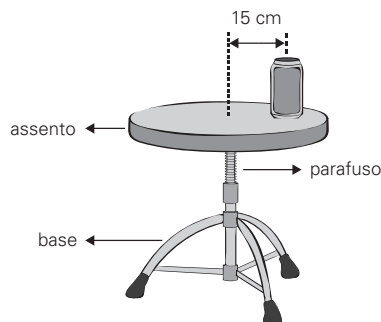
- a) 40,3 g
- b) 55,5 g
- c) 76,2 g
- d) 100 g
- e) 200 g

16. Unicamp – Músculos artificiais feitos de nanotubos de carbono embebidos em cera de parafina podem suportar até duzentas vezes mais peso que um músculo natural do mesmo tamanho. Considere uma fibra de músculo artificial de 1 mm de comprimento, suspensa verticalmente por uma de suas extremidades e com uma massa de 50 gramas pendurada, em repouso, em sua outra extremidade. O trabalho realizado pela fibra sobre a massa, ao se contrair 10%, erguendo a massa até uma nova posição de repouso, é:

Se necessário, utilize g = 10 m/s².

- a) $5 \cdot 10^{-3}$ J
- b) $5 \cdot 10^{-4}$ J
- c) $5 \cdot 10^{-5}$ J
- d) $5 \cdot 10^{-6}$ J

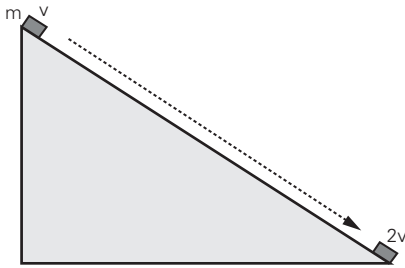
17. Unesp – O assento horizontal de uma banqueta tem sua altura ajustada pelo giro de um parafuso que o liga à base da banqueta. Se girar em determinado sentido, o assento sobe 3 cm na vertical a cada volta completa e, no sentido oposto, desce 3 cm. Uma pessoa apoia sobre o assento uma lata de refrigerante de 360 g a uma distância de 15 cm de seu eixo de rotação e o fará girar com velocidade angular constante de 2 rad/s.



Se a pessoa girar o assento da banqueta por 12 s, sempre no mesmo sentido, e adotando g = 10 m/s² e $\pi = 3$, calcule o módulo da força de atrito, em newtons, que atua sobre a lata enquanto o assento gira com velocidade angular constante, e o módulo da variação de energia potencial gravitacional da lata, em joules.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Um bloco de massa m desce escorregando por uma rampa inclinada, inicialmente com velocidade v , até atingir a base inferior da rampa com velocidade $2 \cdot v$, como mostra a figura.

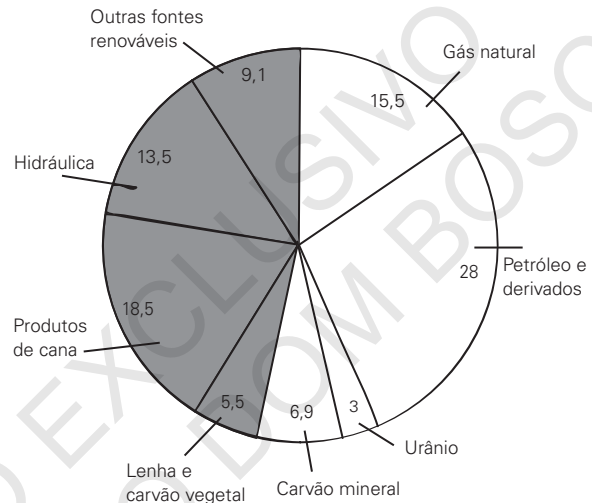


Sabendo que não há força de atrito e nem resistência do ar atuando no bloco durante a descida, o trabalho realizado pela força peso neste movimento, em função de m e v , é:

- a) $\frac{1}{2}m \cdot v^2$
 b) $\frac{3}{2}m \cdot v^2$
 c) $2m \cdot v^2$
 d) $\frac{5}{2}m \cdot v^2$
 e) $3m \cdot v^2$
19. Uma gangorra em um parquinho infantil é ocupada por dois gêmeos idênticos e de mesma massa, Cosmo e Damião. Na brincadeira, enquanto um dos irmãos sobe num dos acentos do brinquedo, o outro desce no outro acento. O brinquedo pode ser descrito como uma haste rígida, com um acento em cada extremidade, e livre para girar em um plano vertical em torno do ponto central. Considere os trabalhos realizados pelos pesos de Cosmo (τ_c) e de Damião (τ_d) durante determinado intervalo de tempo, é correto afirmar que

- a) $|\tau_c| < |\tau_d|$
 b) $\tau_c = \tau_d$
 c) $|\tau_c| > |\tau_d|$
 d) $\tau_c = -\tau_d$
 e) $\tau_c + \tau_d \neq 0$

20. A figura abaixo exhibe, em porcentagem, a previsão da oferta de energia no Brasil em 2030, segundo o Plano Nacional de Energia.



Segundo o plano, em 2030, a oferta total de energia do país irá atingir 557 milhões de tep (toneladas equivalentes de petróleo). Nesse caso, podemos prever que a parcela oriunda de fontes renováveis, indicada em cinza na figura, equivalerá a

- a) 178,240 milhões de tep.
 b) 297,995 milhões de tep.
 c) 353,138 milhões de tep.
 d) 259,562 milhões de tep.
 e) 354,742 milhões de tep.

TRABALHO DE FORÇAS CONSERVATIVAS II - FORÇA ELÁSTICA

35

Trabalho da Força Elástica (τ_{Fel})



No *bungee jumping* a corda armazena energia potencial elástica quando deformada.

Molas, arcos, varas e demais estruturas elásticas têm diversas aplicações tecnológicas na sociedade. A compreensão do comportamento dessas estruturas sob a ação de força, do trabalho realizado por estas forças e da energia armazenada quando deformadas permite melhor entendimento de uma vasta gama de situações, tais como: sistemas de amortecimento, esportes (*bungee jumping*, salto com vara, tiro com arco), funcionamento de balanças e dinamômetros, tratamentos ortodônticos e ortopédicos etc.

Durante a prática do *bungee jumping*, por exemplo, a energia cinética do praticante que cai de grande altura é reduzida devido à ação da corda (elástica) que o prende a alguma estrutura. Da mesma forma, o trabalho realizado pelo praticante (operador) sobre a “mola” justifica a energia potencial armazenada na deformação da corda.

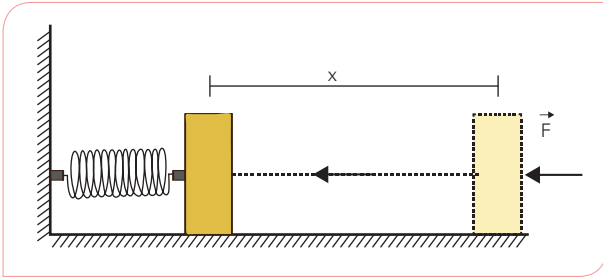
Como calcular o trabalho realizado por uma força elástica? Considere que um bloco, preso a uma das extremidades de uma mola fixa na parede, é empurrado pela

- Trabalho da força elástica
- Energia potencial elástica
- Relação entre trabalho da força elástica e energia potencial elástica

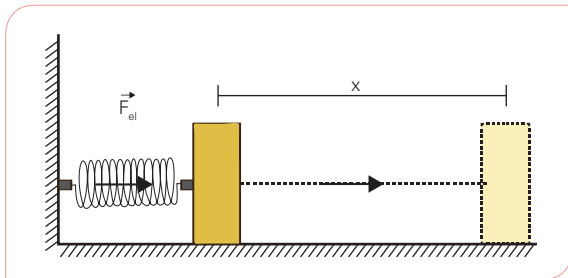
HABILIDADES

- Diferenciar os tipos de energia potencial.
- Relacionar trabalho da força elástica com energia potencial elástica.
- Distinguir os tipos de energia mecânica.
- Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.
- Identificar etapas em processos de obtenção, transformação, utilização ou reciclagem de recursos naturais, energéticos ou matérias-primas, considerando processos biológicos, químicos ou físicos neles envolvidos.
- Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

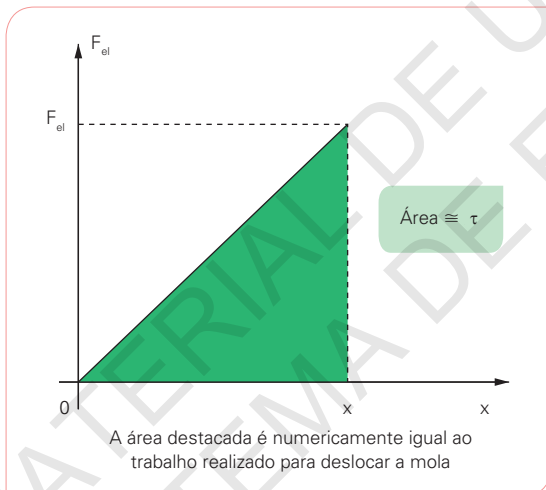
força \vec{F} e comprime a mola. Nessas condições, a mola sofre compressão (deformação) x , conforme a figura.



Ao interromper a ação de \vec{F} , a mola restituirá, ou seja, voltará ao seu estado natural. Nesse caso, o bloco é empurrado pela força elástica \vec{F}_{el} aplicada pela mola ao longo do deslocamento x .



Sabe-se que, pela Lei de Hooke, a força elástica é diretamente proporcional à deformação sofrida pela mola ($F_{el} = k \cdot x$) e, portanto, variável.



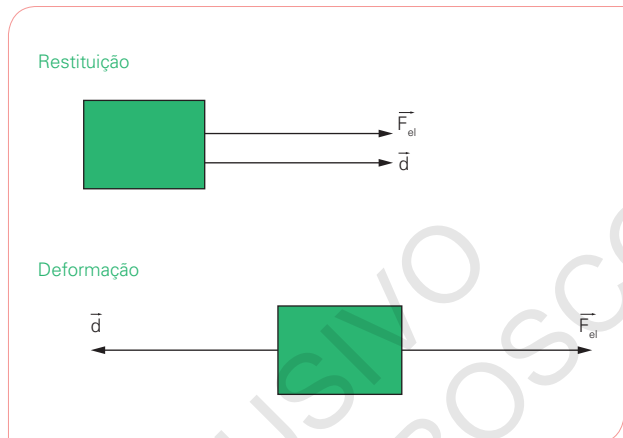
Pelo fato de ser uma força variável, o trabalho da força elástica deve ser obtido a partir do cálculo da área sob o gráfico F_{el} (força elástica) *versus* x (deformação).

$$|\tau^{Fel}|^N = \text{Área}_{(\text{triângulo})}$$

$$|\tau^{Fel}| = \frac{k \cdot x \cdot x}{2} \Rightarrow |\tau^{Fel}| = \frac{k \cdot x^2}{2}$$

É importante perceber que a mola realiza trabalho sobre o bloco preso a ela tanto na compressão como na restituição. Estruturas elásticas, por definição, buscam espontaneamente a restituição, o retorno ao estado

natural, e esta característica faz com que o trabalho realizado por uma mola seja motor ($\tau_{Fel} > 0$) durante a restituição e resistente ($\tau_{Fel} < 0$) durante a deformação. Analise os seguintes diagramas:



Assim sendo:

Trabalho da Força Elástica aplicada pela mola

constante elástica da mola: $[k] = \text{N/m}$ (newton/metro)

deformação da mola: $[x] = \text{m}$ (metro)

Trabalho: $[\tau] = \text{J}$ (joule)

$$\tau^{Fel} = \pm \frac{k \cdot x^2}{2}$$

- $\tau_{Fel} > 0$: na restituição da mola (quando a mola retorna ao seu estado natural).
- $\tau_{Fel} < 0$: na deformação da mola (quando a mola é comprimida ou esticada em relação à posição de equilíbrio).



A mola busca sempre o retorno ao seu estado natural e, desta forma, amortece os impactos sofridos por um veículo.

O trabalho realizado pela força elástica ao longo de um ciclo completo de oscilação é nulo, afinal, para cada trecho AB de compressão da mola tem-se um BA de restituição. Esta é uma característica própria das forças conservativas, cujo trabalho realizado depende exclusivamente das posições inicial e final e nunca da trajetória realizada, tal qual a força elástica.

TRABALHO DO OPERADOR (τ^{op}) E ENERGIA POTENCIAL ELÁSTICA (Ep_{el})

Quando é dada corda em um relógio ou quando um atleta deforma um arco ou vara é realizado trabalho (do operador) sobre uma estrutura elástica. De forma análoga com o discutido no módulo anterior, neste caso, também, o trabalho realizado pelo operador é oposto àquele realizado pela força elástica aplicada pela mola.

$$\tau^{op} = -\tau_{Fel}$$

O trabalho realizado pelo operador para deformar a mola, distendendo ou comprimindo-a, é armazenado pelo sistema massa-mola na forma de energia potencial elástica, já que, caso o sistema seja liberado, essa energia é capaz de produzir o movimento de restituição da mola. Assim, toda mola deformada armazena energia transferível via trabalho da força elástica, denominada energia potencial elástica (Ep_{el}).

$$|\tau^{op}| = Ep_{el} = \frac{k \cdot x^2}{2}$$

Note que, também pela característica da restituição, a Energia Potencial Elástica sempre apresenta valores positivos.

Consequentemente, segue o **Teorema da Energia Potencial Elástica**:

$$\tau_{Fel} = -\Delta Ep_{el} = Ep_{el}^f - Ep_{el}^i$$

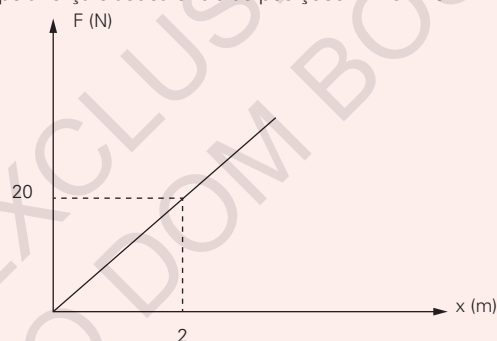
EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. UCS (adaptado) – A calça *legging* é uma peça de roupa elástica que usualmente cobre da cintura até as canelas do usuário. Atualmente, seu uso tornou-se muito popular. Suponha uma calça *legging* cujas propriedades de elasticidade a façam equivalente a uma mola de constante elástica $k = 4 \text{ N/m}$, com deslocamento máximo, a partir do comprimento de relaxamento, de 1 metro, acima do qual a mola rompe. Se uma pessoa, ao vestir a calça, a coloca nesse limite, qual a energia potencial elástica armazenada na calça *legging*?

Resolução:

$$\tau_{el} = \text{Área} = \frac{k \cdot x^2}{2} = \frac{4 \cdot 1^2}{2} = 2 \text{ J}$$

2. Um aluno ensaiou uma mola pelo método estático e montou o gráfico a seguir. Qual o módulo do trabalho realizado pela força elástica entre as posições $x = 3 \text{ m}$ e $x' = 5 \text{ m}$?



Resolução:

Inicialmente determina-se a constante elástica da mola:

$$F_{el} = k \cdot x \Rightarrow 20 \Rightarrow k \cdot 2 \Rightarrow k = 10 \text{ N/m}$$

$$|\tau_{el}| = |E_{Pel}^i - E_{Pel}^f| \Rightarrow |\tau_{el}| = \left| \frac{k \cdot x^2}{2} - \frac{k \cdot x'^2}{2} \right| =$$

$$= \left| \frac{10 \cdot 3^2}{2} - \frac{10 \cdot 5^2}{2} \right| \Rightarrow |\tau_{el}| = |45 - 125| = 80 \text{ J}$$

ROTEIRO DE AULA

FORÇAS CONSERVATIVAS

O trabalho realizado independe da trajetória

Trabalho da força elástica

Depende apenas das posições inicial e final

Depende da deformação da mola

Na restituição

Na deformação

Energia potencial elástica

São exemplos as forças peso, elástica e elétrica

$$\tau_{\text{fel}} = \frac{\pm k \cdot x^2}{2}$$

$$\tau_{\text{fel}} > 0$$

$$\tau_{\text{fel}} < 0$$

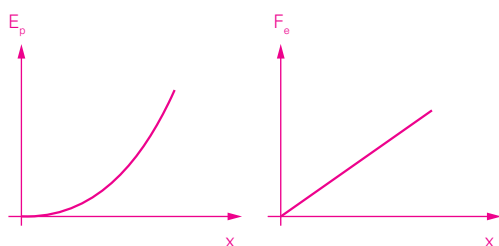
$$E_{p_{\text{el}}} = \frac{k \cdot x^2}{2}$$

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Acafe – Muitas pessoas utilizam o elevador diariamente e, por esse motivo, ele possui alguns dispositivos de segurança contra queda. Todavia, mesmo que esses dispositivos falhem, existe um último recurso. No fundo do poço do elevador há um sistema de para-choques, com molas ou cilindros hidráulicos que impedem a cabina de colidir com o solo. Este amortecimento é brusco e só entrará em ação em casos de emergência ou se o excesso de peso na cabina provocar uma falha no motor.

Disponível em: <<http://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/2015/08/video-mostra-queda-de-elevador-do-7-andar-em-edificio-de-sao-paulo.html>>. Acesso em: 18 abr. 2018. (Adaptado)

Considere a queda de um elevador por causa de problemas nos dispositivos de segurança, e que o sistema de molas entre em ação. Nestas condições, esboce os gráficos da energia armazenada pela mola e da força elástica em função da sua deformação.



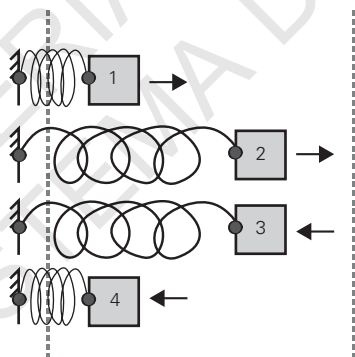
A energia elástica é dada pela equação:

$E_e = \frac{k}{2} \cdot x^2$, analisando a equação, nota-se que a curva representa uma parábola de concavidade para cima e termo independente nulo.

Avaliando agora a força elástica com a lei de Hooke:

$F_e = k \cdot x$, neste caso, temos uma reta crescente cujo coeficiente angular corresponde à constante elástica da mola.

2. Uece – Um sistema massa-mola oscila sem atrito. A figura a seguir ilustra alguns instantâneos desse movimento durante um tempo inferior a um período de oscilação. As duas linhas tracejadas indicam os extremos do deslocamento das massas.

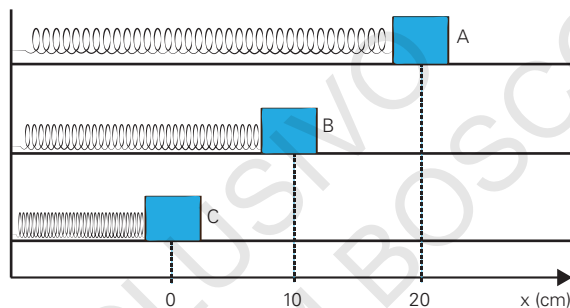


As setas indicam a direção e o sentido do vetor velocidade da massa. Nos instantes 1s e 4s, a mola está parcialmente comprimida; em 2s e 3s, a mola está parcialmente distendida. Classifique em motor ($\tau > 0$), resistente ($\tau < 0$) ou nulo ($\tau = 0$) o trabalho realizado pela força elástica que age sobre o bloco em um intervalo de tempo muito pequeno e em torno de cada um dos instantes qualificados.

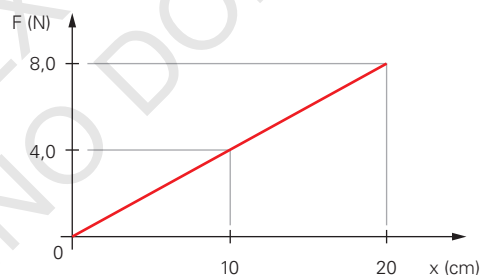
Nas proximidades de $t = 1s$ e $t = 3s$, a força aplicada pela mola tem mesmo sentido do movimento e, portanto, realiza trabalho motor: $\tau_1 > 0$ e $\tau_3 > 0$.

Nas proximidades de $t = 2s$ e $t = 4s$, a força aplicada pela mola tem sentido oposto ao movimento e, portanto, realiza trabalho resistente: $\tau_2 < 0$ e $\tau_4 < 0$.

3. Famerp – A figura mostra o deslocamento horizontal de um bloco preso a uma mola, a partir da posição A e até atingir a posição C.



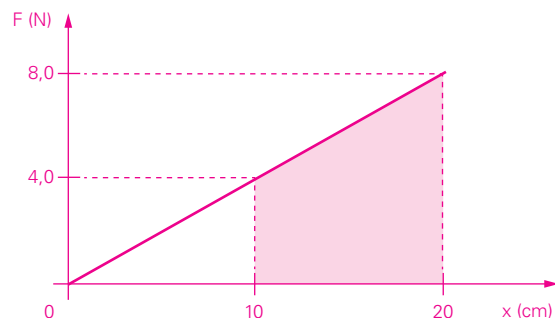
O gráfico representa o módulo da força que a mola exerce sobre o bloco em função da posição deste.



O trabalho realizado pela força elástica aplicada pela mola sobre o bloco, quando este se desloca da posição A até a posição B, é:

- a) 0,60 J
b) 0,60 J
c) -0,30 J
d) 0,80 J
e) 0,30 J

O trabalho realizado pela força elástica será a área entre o deslocamento da posição A até a posição B, de acordo com o gráfico abaixo:



A área hachurada é de:

$$W = \text{Área} = (8 + 4)N \cdot \frac{(0,20 - 0,10) \text{ m}}{2} \therefore W = 0,60 \text{ J}$$

4. **Unesp** – Uma minicama elástica é constituída por uma superfície elástica presa a um aro lateral por 32 molas idênticas, como mostra a figura. Quando uma pessoa salta sobre esta minicama, transfere para ela uma quantidade de energia que é absorvida pela superfície elástica e pelas molas.



Considere que, ao saltar sobre uma dessas minicamas, uma pessoa transfira para ela uma quantidade de energia igual a 160 J, que 45% dessa energia seja distribuída igualmente entre as 32 molas e que cada uma delas se distenda 3,0 mm.

Nessa situação, a constante elástica de cada mola, em N/m, vale:

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

Dados: $N = 32$; $E_T = 160 \text{ J}$; $E_{\text{pot}} = 45\% E_T$; $x = 3 \text{ mm} = 3 \times 10^{-3} \text{ m}$.

A energia potencial elástica armazenada nas molas é, então:

$$E_{\text{pot}} = 0,45 (160) \Rightarrow E_{\text{pot}} = 72 \text{ J}$$

Como as molas estão associadas em paralelo, a constante elástica da mola equivalente é a soma das constantes. Assim:

$$\frac{k_{\text{eq}} \cdot x^2}{2} = E_{\text{pot}} \Rightarrow \frac{32 \cdot k \cdot x^2}{2} = E_{\text{pot}} \Rightarrow k = \frac{E_{\text{pot}}}{16 x^2} = \frac{72}{16(3 \cdot 10^{-3})^2} = \frac{72}{144 \cdot 10^{-6}} \Rightarrow k = 5 \cdot 10^5 \text{ N/m}$$

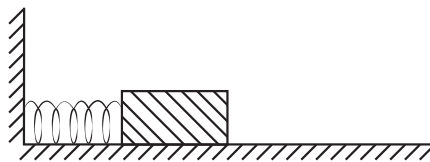
EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. **Acafe** – Após uma cirurgia no ombro, comumente o médico indica exercícios fisioterápicos para o fortalecimento dos músculos. Esses, por sua vez, podem ser realizados com auxílio de alguns equipamentos, como por exemplo: bolas, pesos e elásticos. Considere um exercício realizado com a ajuda do elástico, em que o paciente deve puxá-lo até seu corpo e depois soltá-lo lentamente.

A figura ao lado ilustra a posição do paciente.



5. **Unesp** – Um bloco de madeira, de massa 0,40 kg, mantido em repouso sobre uma superfície plana, horizontal e perfeitamente lisa, está comprimindo uma mola contra uma parede rígida, como mostra a figura a seguir.



Quando o sistema é liberado, a mola se distende e impulsiona o bloco, e este adquire, ao abandoná-la, uma velocidade final de 2,0 m/s. Determine o trabalho da força exercida pela mola, ao se distender completamente:

- a) sobre o bloco;
 b) sobre a parede.

Resolução

a) O trabalho realizado pela mola sobre o bloco justifica o incremento em sua energia cinética, assim sendo:

$$\tau^R = E_c^f - E_c^i \Rightarrow \tau^R = E_c^f - 0 \Rightarrow \tau^R = \frac{mv^2}{2} = \frac{0,4 \cdot 2^2}{2} = 0,8 \text{ J}$$

b) O trabalho da mola sobre a parede é nulo, já que a parede não se desloca.

$$\tau^F = F \cdot d \cdot \cos\theta \Rightarrow \tau^F = F_x \cdot d \Rightarrow \tau^F = F_x \cdot 0 = 0$$

6. Enem

C3-H8

Os carrinhos de brinquedo podem ser de vários tipos. Entre eles, há os movidos a corda, em que uma mola em seu interior é comprimida quando a criança puxa o carrinho para trás. Ao ser solto, o carrinho entra em movimento enquanto a mola volta à sua forma inicial.

O processo de conversão de energia que ocorre no carrinho descrito também é verificado em:

- a) um dínamo.
 b) um freio de automóvel.
 c) um motor a combustão.
 d) uma usina hidroelétrica.
 e) uma atiradeira (estilingue).

O processo de conversão de energia no caso mencionado é o da transformação de energia potencial elástica em energia cinética. O estilingue também usa esse mesmo processo de transformação de energia.

Considerando o exposto, assinale a alternativa correta que completa as lacunas das frases a seguir.

Quando o paciente puxa o elástico, fornece energia para este, que a armazena na forma de _____. A força aplicada pelo elástico na mão do paciente é uma força _____ e _____.

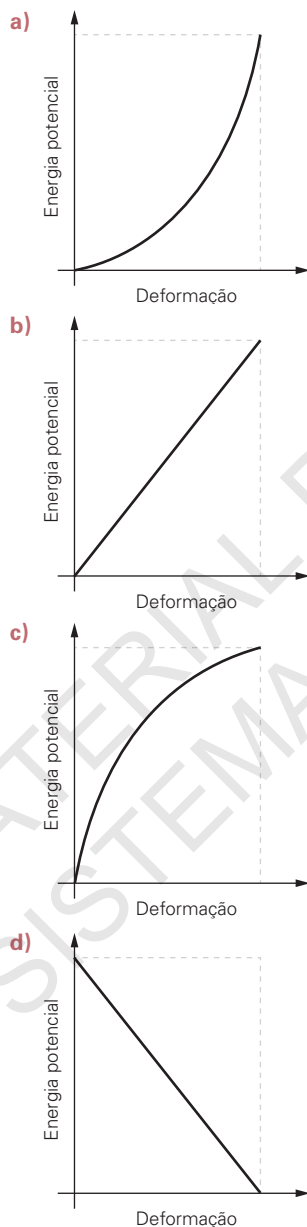
- a) energia potencial elástica – constante – conservativa
 b) energia potencial gravitacional – constante – não conservativa
 c) energia potencial elástica – variável – conservativa
 d) energia potencial gravitacional – variável – não conservativa

- 8. Acafe** – Pequenas argolas de borracha são comumente utilizadas nos tratamentos dentários, ou melhor, nos aparelhos ortodônticos, conforme a figura. Elas precisam ser encaixadas nos ganchos do aparelho e, geralmente, devem ser usadas em tempo integral, sendo retiradas apenas para comer e escovar os dentes.



Elástico dental.

Considerando as argolas de borracha obedecendo a lei de Hooke, assinale a alternativa correta que apresenta o melhor esboço do gráfico energia potencial *versus* a deformação de cada uma das argolas de borracha.



- 9. Udesc** – Um paciente em tratamento fisioterápico realiza um exercício durante o qual distende uma mola 20 centímetros. Sabendo que a constante elástica dessa mola é de 400 N/m, determine, justificando o procedimento adotado para chegar ao resultado:

- a) a força máxima que a mola exerce sobre o paciente, quando distendida 20 centímetros;
- b) o trabalho físico realizado pelo paciente, para distender a mola 20 centímetros.

- 10. Fepar** – Fundamentado em pesquisas científicas, o método Pilates tem se mostrado eficaz no trabalho postural dos pacientes por meio de exercícios fisioterapêuticos. Considere que, durante um exercício, um paciente distende uma mola de 12 cm.



Sabendo que a constante de elasticidade da mola é de 200 N/m, julgue as afirmativas que seguem.

- () Quando distendida, a mola exerce sobre o paciente uma força máxima de 24 N.
- () O trabalho realizado pelo paciente para distender a mola 12 cm é nulo.
- () O trabalho da força elástica corresponde a 1,44 J.
- () Na fase de alongação da mola pelo paciente, o trabalho é classificado como resistente.
- () O trabalho da força elástica será classificado como motor apenas durante a fase de restituição da mola, ou seja, quando a mola retorna a sua posição de equilíbrio.

- 11. Unic** – O método Pilates é uma atividade física praticada por pessoas que procuram a melhora constante na parte física e mental do seu corpo. Nesse método, a mola tem o objetivo de aumentar a força, a resistência à fadiga e a potência muscular.

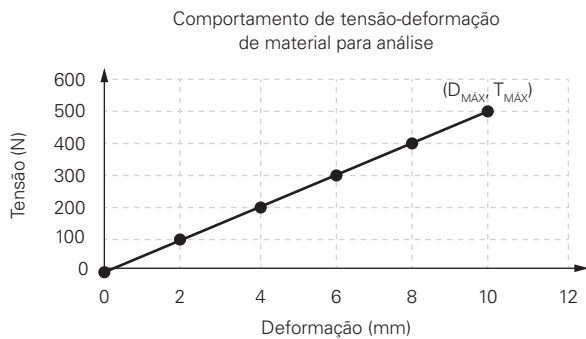
Considerando-se que uma praticante dessa atividade comprima de 30,0 cm uma mola de constante elástica igual a 5,0 N/cm, então o trabalho realizado sobre a mola, em J, é igual a:

- a) 24,3
- b) 22,5
- c) 21,4
- d) 20,0
- e) 19,8

12. Unipax – Uma das extremidades de uma mola horizontal é mantida fixa enquanto uma força externa é aplicada à extremidade livre, esticando-a lentamente de $x_1 = 0$ até $x_2 = 6,0$ cm. Considerando-se que a constante elástica da mola é igual a $5,0$ N/cm, determine, em mJ, o módulo do trabalho realizado sobre a mola.

13. Fatec – Durante o estágio realizado por uma aluna do curso de Mecânica de Precisão da Fatec, ela faz uma análise de um material por meio de um sistema mecânico que tensiona a peça de maneira longitudinal. Esse sistema está interligado a um dispositivo eletrônico que registra a tensão aplicada e a deformação sofrida por essa peça.

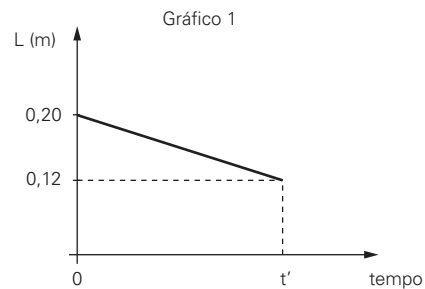
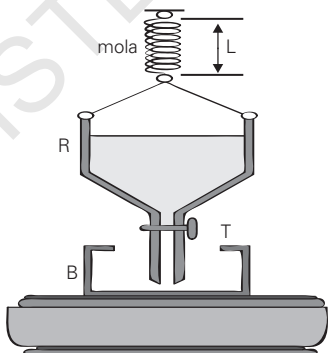
Para saber o módulo de resiliência (energia acumulada durante essa deformação) dessa peça, ela esboça um gráfico com as duas grandezas.



De acordo com a leitura dos dados apresentados pelo gráfico, podemos afirmar que o trabalho realizado pela força tensora até atingir a deformação máxima de 10 mm é, em joules, de:

- a) $5,0 \cdot 10^{-1}$ d) $2,5 \cdot 10^2$
 b) $2,5 \cdot 10^0$ e) $5,0 \cdot 10^3$
 c) $5,0 \cdot 10^1$

14. Unesp – O equipamento representado na figura foi montado com o objetivo de determinar a constante elástica de uma mola ideal. O recipiente R, de massa desprezível, contém água; na sua parte inferior, há uma torneira T que, quando aberta, permite que a água escoe lentamente com vazão constante e caia dentro de outro recipiente B, inicialmente vazio (sem água), que repousa sobre uma balança. A torneira é aberta no instante $t = 0$ e os gráficos representam, em um mesmo intervalo de tempo (t'), como variam o comprimento L da mola (gráfico 1), a partir da configuração inicial de equilíbrio, e a indicação da balança (gráfico 2).



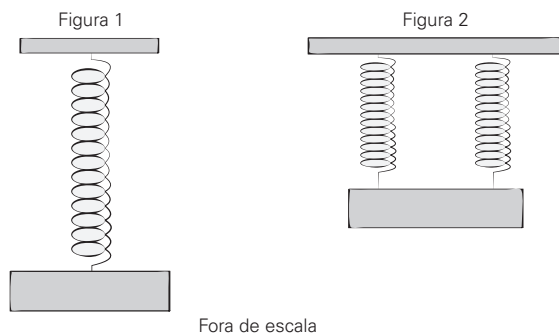
Analisando as informações, desprezando as forças entre a água que cair no recipiente B e o recipiente R e considerando $g = 10$ m/s², é correto concluir que a constante elástica da mola, em N/m, é igual a:

- a) 120 c) 100 e) 60
 b) 80 d) 130

15. Uefs – Com base nos conhecimentos sobre Mecânica e considerando-se que os conceitos de trabalho e energia são importantes tanto na Física quanto na vida cotidiana, é correto afirmar:

- a) Apenas as forças conservativas podem realizar trabalho.
 b) O trabalho é igual à área sob a curva força *versus* tempo.
 c) A força gravitacional não pode realizar trabalho porque ela atua à certa distância.
 d) Uma força que é sempre perpendicular à velocidade de uma partícula nunca realiza trabalho sobre a partícula.
 e) O trabalho realizado por uma força conservativa é igual ao aumento na energia potencial associada àquela força.

16. Cesumar – Um objeto foi pendurado em uma mola cuja outra extremidade estava presa a uma barra horizontal, como mostrado na Figura 1. Posteriormente, este mesmo objeto foi pendurado em duas molas idênticas à anterior, também presas a uma barra horizontal, como mostrado na Figura 2.



Sabendo que na situação da Figura 1 a energia potencial elástica armazenada pela mola é E , a energia

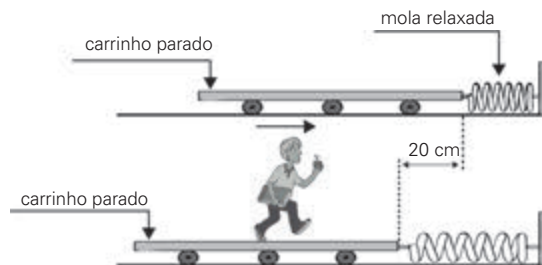
potencial elástica total armazenada nas duas molas na situação da Figura 2 será

- a) $\frac{E}{4}$ c) E e) $\frac{E}{2}$
 b) 4E d) 2E

17. Unesp – Um rapaz de 50 kg está inicialmente parado sobre a extremidade esquerda da plataforma plana de um carrinho em repouso, em relação ao solo plano e horizontal. A extremidade direita da plataforma do carrinho está ligada a uma parede rígida, por meio de uma mola ideal, de massa desprezível e de constante elástica 25 N/m, inicialmente relaxada.

O rapaz começa a caminhar para a direita, no sentido da parede, e o carrinho move-se para a esquerda, distendendo a mola. Para manter a mola distendida de 20 cm e o

carrinho em repouso, sem deslizar sobre o solo, o rapaz mantém-se em movimento uniformemente acelerado.



Disponível em: <www.ebanataw.com.br>. (Adaptado)

Considerando o referencial de energia na situação da mola relaxada, determine o valor da energia potencial elástica armazenada na mola distendida de 20 cm e o módulo da aceleração do rapaz nessa situação.

ESTUDO PARA O ENEM

18. EEAR

C3-H8

Um garoto com um estilingue tenta acertar um alvo a alguns metros de distância.

1. Primeiramente, ele segura o estilingue com a pedra a ser arremessada, esticando o elástico propulsor.
2. Em seguida, ele solta o elástico com a pedra.
3. A pedra voa, subindo a grande altura.
4. Na queda, a pedra acerta o alvo com grande violência.

Assinale os trechos do texto correspondentes às análises físicas das energias, colocando a numeração correspondente.

- () Conversão da energia potencial elástica em energia cinética.
 () Energia cinética se convertendo em energia potencial gravitacional.
 () Energia potencial gravitacional se convertendo em energia cinética.
 () Usando a força para estabelecer a energia potencial elástica.

A sequência que preenche corretamente os parênteses é:

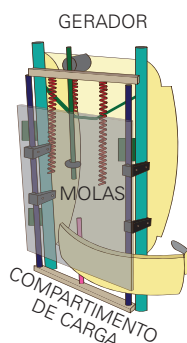
- a) 1 – 2 – 3 – 4 d) 4 – 1 – 2 – 3
 b) 2 – 3 – 4 – 1 e) 2 – 3 – 1 – 4
 c) 3 – 4 – 1 – 2

19. Enem

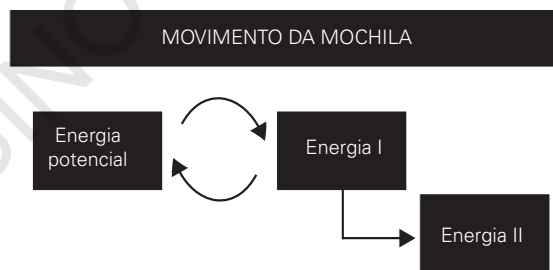
C3-H8

MOCHILA GERADORA DE ENERGIA **O SOBE-E-DESCE DOS QUADRIS FAZ A MOCHILA GERAR ELETRICIDADE**

- ▶ A mochila tem uma estrutura rígida semelhante à usada por alpinistas.
- ▶ O compartimento de carga é suspenso por molas colocadas na vertical.
- ▶ Durante a caminhada, os quadris sobem e descem em média 5 cm. A energia produzida pelo vai-e-vem do compartimento de peso faz girar um motor conectado ao gerador de eletricidade.



Com o projeto de mochila ilustrado anteriormente, pretende-se aproveitar, na geração de energia elétrica para acionar dispositivos eletrônicos portáteis, parte da energia desperdiçada no ato de caminhar. As transformações de energia envolvidas na produção de eletricidade enquanto uma pessoa caminha com essa mochila podem ser assim esquematizadas:



As energias I e II, representadas no esquema acima, podem ser identificadas, respectivamente, como:

- a) cinética e elétrica.
 b) térmica e cinética.
 c) térmica e elétrica.
 d) sonora e térmica.
 e) radiante e elétrica.

20. PUC-RJ

C6-H20

Um sistema mecânico é utilizado para fazer uma força sobre uma mola, comprimindo-a.

Se essa força dobrar, a energia armazenada na mola:

- a) cairá a um quarto.
 b) cairá à metade.
 c) permanecerá constante.
 d) dobrará.
 e) será quadruplicada.

36

ENERGIA MECÂNICA

- Energia mecânica
- Transformações de energia

HABILIDADES

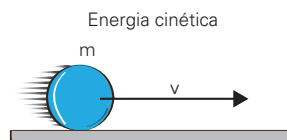
- Distinguir os tipos de energia mecânica.
- Reconhecer a energia mecânica.
- Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.
- Avaliar possibilidades de geração, uso ou transformação de energia em ambientes específicos, considerando implicações éticas, ambientais, sociais e/ou econômicas.
- Identificar etapas em processos de obtenção, transformação, utilização ou reciclagem de recursos naturais, energéticos ou matérias-primas, considerando processos biológicos, químicos ou físicos neles envolvidos.
- Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.



ANDREY ARMYAGOV/SHUTTERSTOCK

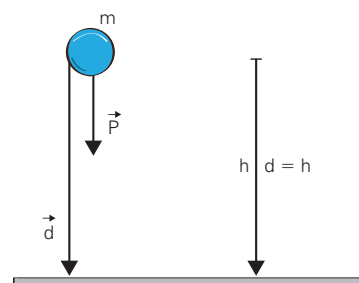
Para colocar um satélite em órbita é preciso transferir a ele, por meio da realização de trabalho das turbinas propulsoras, energia cinética e potencial gravitacional.

Nos últimos três módulos discutimos a ação de forças que produzem alterações no movimento e conversões de energia, quantificadas pelo trabalho realizado. Vimos que o corpo (ou sistema) é dotado de energia devido ao seu movimento (cinética) e à sua posição (potencial).

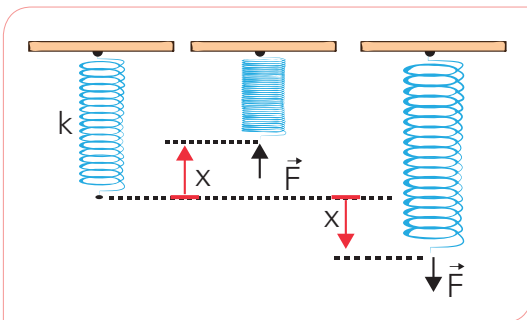


$$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Energia potencial gravitacional



$$E_{pg} = m \cdot g \cdot h$$



$$E_{\text{pel}} = \frac{k \cdot x^2}{2}$$

Vale lembrar que tais modalidades são intercambiáveis e coexistem em muitas situações. Uma aeronave em voo é dotada de energia cinética e potencial gravitacional, enquanto durante alguns momentos da prática do *bungee jumping* as energias cinética, potencial gravitacional e potencial elástica coexistem e convertem-se umas nas outras.

Desta forma, define-se a energia mecânica de um sistema pela soma de suas energias cinética e potencial.

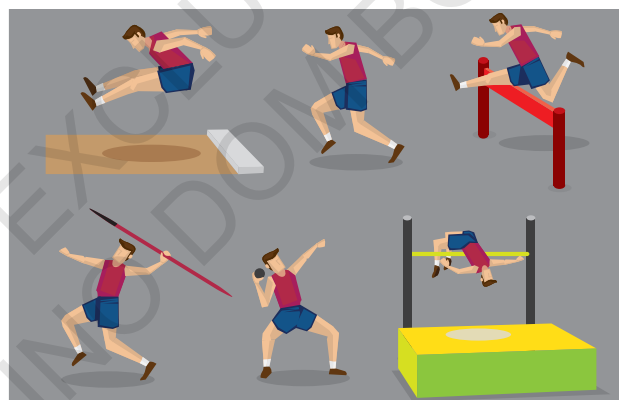
$$E_{\text{mec}} = E_{\text{cinética}} + E_{\text{potencial}}$$

Atenção! Energia mecânica não é uma “nova” energia, e sim a soma da energia cinética e da energia potencial de um corpo ou sistema.

Considerando que a energia potencial pode apresentar-se da forma gravitacional ou elástica, tem-se:



Neste momento do salto, energia cinética e potencial (gravitacional e elástica) coexistem, sua soma corresponde à energia mecânica do sistema atleta-vara-Terra.



Em boa parte dos esportes, é a habilidade do atleta em conduzir as conversões entre as diversas modalidades de energia mecânica que determina seu sucesso em provas.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. Sistema Dom Bosco – Um pedreiro deixa cair um martelo da altura de 30 metros acima do solo. Considerando que a queda seja livre com $g \approx 10 \text{ m/s}^2$, determine a energia mecânica do martelo no início da queda e no instante em que se encontra a 10 m do nível de referência posto no solo.

No início da queda, como parte do repouso, a energia mecânica do martelo é puramente do tipo potencial gravitacional.

$$E_{\text{mec}} = E_c + E_{p_g} = 0 + 1,5 \cdot 10 \cdot 30 = 450 \text{ J}$$

Após 20 m de queda, determina-se a velocidade do martelo pela função de Torricelli:

$$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta S$$

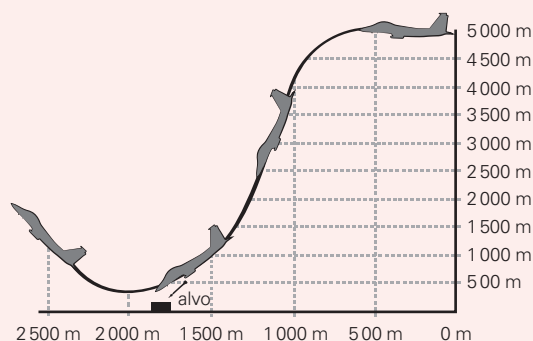
$$v^2 = 0^2 + 2 \cdot 10 \cdot 20 = 400$$

$$v = 20 \text{ m/s}$$

Nesta posição, sua energia mecânica corresponde à soma de suas componentes cinética e potencial gravitacional.

$$E_{\text{mec}}^f = E_c + E_{p_g} = \frac{1,5 \cdot 20^2}{2} + 1,5 \cdot 10 \cdot 10 = 300 + 150 = 450 \text{ J}$$

2. Uerj – Durante a Segunda Guerra Mundial, era comum o ataque com bombardeiros a alvos inimigos por meio de uma técnica denominada mergulho, cujo esquema pode ser observado a seguir.



Coleção 70º aniversário da 2ª Guerra Mundial.
São Paulo: Abril, 2009. (Adaptado)

O mergulho do avião com 2 toneladas, em movimento considerado uniforme, iniciava-se a 5 000 m de altura, e a bomba era lançada sobre o alvo de uma altura de 500 m. Para este mergulho, determine, em MJ (mega-joule), a variação da energia mecânica sofrida por esta aeronave.

$$\Delta E_{\text{mec}} = E_{\text{mec}}^f - E_{\text{mec}}^i$$

$$\Delta E_{\text{mec}} = (E_{p_g}^f + E_c^f) - (E_{p_g}^i + E_c^i) = E_{p_g}^f - E_{p_g}^i$$

$$\Delta E_{\text{mec}} = m \cdot g \cdot (h^f - h^i) = 2000 \cdot 10 \cdot (-4500) = -90000000 \text{ J}$$

$$\Delta E_{\text{mec}} = -90 \text{ MJ}$$

ROTEIRO DE AULA

ENERGIA

Capacidade de
realizar trabalho

Energia
mecânica

Associação ao movimento

Associada à
posição

Energia cinética

Energia potencial
gravitacional

Energia potencial elástica

$$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

$$E_{p_g} = m \cdot g \cdot h$$

$$E_{p_{el}} = \frac{k \cdot x^2}{2}$$

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. IFRS – Salto com vara é um evento do atletismo em que os competidores utilizam uma vara longa e flexível para alcançar a maior altura possível. O saltador começa com energia cinética e potencial iguais a zero. Quando começa a correr, ele aumenta sua energia _____. Então, ele finca a vara e começa o salto, trocando sua energia _____ pela energia potencial gravitacional. Quando a vara se curva, absorve muito da energia cinética do atleta, como se comprimissemos uma mola. Ele usa a energia _____ armazenada na vara para elevar seu corpo sobre a barra. No alto de seu salto, ele converte grande parte de sua energia cinética em energia _____.

Preencha as lacunas com as modalidades de energia estudadas até aqui de forma a tornar correto o texto anterior.

cinética – cinética – potencial elástica – potencial gravitacional

2. Sistema Dom Bosco – Um carrinho de montanha-russa, com massa total de 400 kg, passa pelo ponto situado a 10 m do solo com velocidade de 6,0 m/s. Considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$, determine, para este momento e em relação ao solo, a energia mecânica do carrinho. Expresse sua resposta em kJ.

$$E_{\text{mec}} = E_c + E_p$$

$$E_{\text{mec}} = \frac{m \cdot v^2}{2} + m \cdot g \cdot h$$

$$E_{\text{mec}} = \frac{400 \cdot 6^2}{2} + 400 \cdot 10 \cdot 10 = 7\,200 + 40\,000 = 47\,200 \text{ J} = 47,2 \text{ kJ}$$

3. UFPR – Com relação aos conceitos relativos à energia, identifique as afirmativas a seguir como verdadeiras (V) ou falsas (F). Justifique suas opções.

- I. (___) Se um automóvel tem a sua velocidade dobrada, a sua energia cinética também dobra de valor.
- II. (___) A energia potencial gravitacional de um objeto pode ser positiva, negativa ou zero, dependendo do nível tomado como referência.
- III. (___) A soma das energias cinética e potencial de um sistema mecânico oscilatório é sempre constante.
- IV. (___) A energia cinética de uma partícula pode ser negativa se a velocidade tiver sinal negativo.

I. [F] Se um automóvel tem a sua velocidade dobrada, a sua energia cinética é multiplicada por 4.

$$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2} \Rightarrow E_c = 4E_c$$

II. [V] A energia potencial gravitacional de um objeto pode ser positiva, negativa ou zero, dependendo do nível tomado como referência.

III. [F] A soma das energias cinética e potencial de um sistema mecânico oscilatório pode ser constante se o sistema for conservativo.

IV. [F] A energia cinética de uma partícula não pode ser negativa, pois:

$$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2} \text{ e os valores de } m \text{ e } v^2 \text{ são sempre positivos.}$$

4. FMP – No dia 15 de fevereiro de 2014, em Donetsk, na Ucrânia, o recorde mundial de salto com vara foi quebrado por Renaud Lavillenie com a marca de 6,16 m. Nesse tipo de salto, o atleta realiza uma corrida e utiliza uma vara para conseguir ultrapassar o “sarrafo” – termo

utilizado para se referir à barra horizontal suspensa, que deve ser ultrapassada no salto.

Considerando que ele ultrapassou o sarrafo com uma velocidade horizontal da ordem de 1 cm/s, fruto das transformações de energia ocorridas durante a prova, tem-se que, após perder o contato com a vara, no ponto mais alto de sua trajetória, a energia mecânica associada ao atleta era:

- a) somente cinética
- b) somente potencial elástica
- c) somente potencial gravitacional
- d) somente cinética e potencial gravitacional**
- e) cinética, potencial elástica e potencial gravitacional

No ponto mais alto da trajetória, o atleta tinha velocidade de 1 cm/s e estava a certa altura 6,16 m, ou seja, ele possui energia cinética $E_c = \frac{1}{2}m \cdot v^2$ e energia potencial $E_p = m \cdot g \cdot h$.

5. Unicamp – Denomina-se energia eólica a energia cinética contida no vento. Seu aproveitamento ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação e, com o emprego de turbinas eólicas, também denominadas aerogeradores, é gerada energia elétrica. Existem atualmente, na região que mais produz energia eólica no Brasil, 306 usinas em operação, com o potencial de geração elétrica de aproximadamente 7800 MWh (dados do Banco de Informações de Geração da Aneel, 2016). Se nessa região, por razões naturais, a velocidade do vento fosse reduzida, mantendo-se a densidade do ar constante, teríamos uma redução de produção de energia elétrica.

Indique a região em questão e qual seria a quantidade de energia elétrica produzida, se houvesse a redução da velocidade do vento pela metade.

- a) Região Sul; 3 900 MWh.
- b) Região Nordeste; 1 950 MWh.**
- c) Região Nordeste; 3 900 MWh.
- d) Região Sul; 1 950 MWh.

A região que produz mais energia elétrica a partir de energia eólica é a região Nordeste.

Considerando apenas a energia cinética, têm-se:

$$E_1 = \frac{1}{2}m \cdot v_1^2 = 7800 \text{ MWh}$$

$$E_2 = \frac{1}{2}m \left(\frac{v_1}{2}\right)^2 \Rightarrow E_2 = \frac{1}{2}m \cdot \frac{v_1^2}{4} = \frac{E_1}{4} = \frac{7800}{4} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E_2 = 1950 \text{ MWh}$$

6. Uma menina abandona um objeto do alto de um apartamento de um prédio residencial. Ao chegar ao solo a velocidade do objeto era de 108 Km/h. Admitindo o valor da gravidade como 10 m/s^2 e desprezando as forças de resistência do ar, determine a altura do lançamento do objeto.

A velocidade do objeto ao chegar ao solo não pode ser usada em Km/h, mas sim em m/s.

Como o objeto foi abandonado, podemos dizer que sua velocidade inicial era nula.

Logo, transformando a velocidade e igualando as energias mecânicas inicial e final, temos:

$$108 \text{ Km/h} \div 3,6 = 30 \text{ m/s}$$

$$E_{\text{Mecânica inicial}} = E_{\text{Mecânica final}}$$

$$E_p = E_c$$

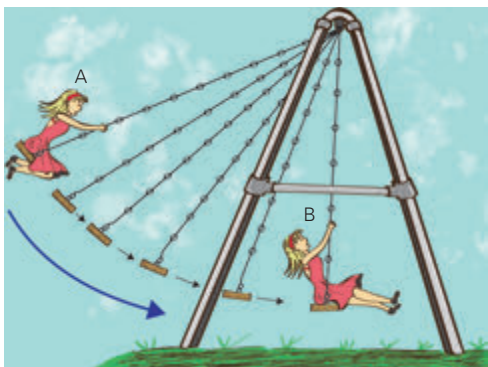
$$m \cdot g \cdot h = \frac{m \cdot v^2}{2} \Rightarrow h = \frac{v^2}{2 \cdot g} = \frac{30^2}{2 \cdot 10} = 45 \text{ m}$$

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

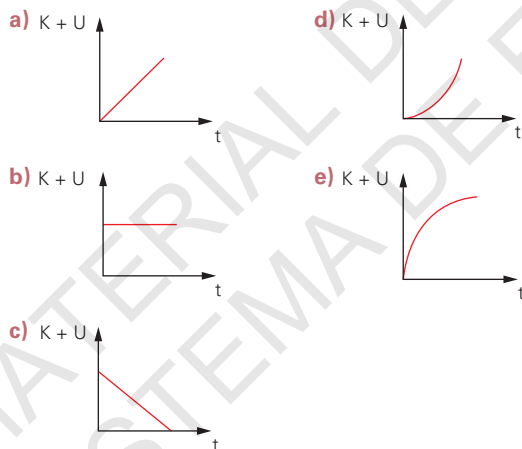
7. UFSM – Um ônibus de massa m anda por uma estrada de montanha e desce uma altura h . O motorista mantém os freios acionados, de modo que a velocidade é mantida constante em módulo durante todo o trajeto. Classifique as afirmativas a seguir em verdadeiras (V) ou falsas (F). Justifique suas opções.

- I. (___) A variação da energia cinética do ônibus é nula.
- II. (___) A energia mecânica do sistema ônibus-Terra se conserva, pois a velocidade do ônibus é constante.
- III. (___) A energia total do sistema ônibus-Terra se conserva, embora parte da energia mecânica se transforme em energia interna.

8. A figura mostra uma menina brincando em uma cadeira de balanço.



Considere o movimento de A para B e suponha que não exista resistência do ar e nem atrito entre a corda e a armação do suporte. O gráfico que representa corretamente a soma da energia cinética K com a energia potencial gravitacional U da menina, em função do tempo, é:



9. UnitaU – Considere os três sistemas físicos descritos a seguir.

- Sistema 1: um bloco de massa m , que se encontra em repouso a uma altura h acima da superfície do solo.
- Sistema 2: um bloco de massa m , em movimento retilíneo uniforme, deslizando sobre a superfície da Terra.
- Sistema 3: um bloco de massa m , que se encontra em repouso, preso à extremidade de uma mola fixa e de constante elástica k , a uma altura h em relação à superfície da Terra, contendo, pressionando essa mola.

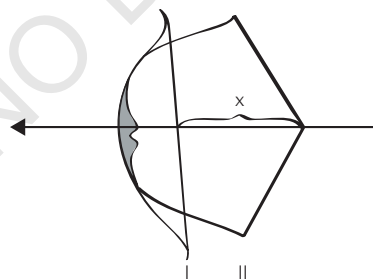
Para esses sistemas, em que o campo gravitacional local é uniforme, é correto afirmar que:

- a) somente o sistema 1 apresenta energia mecânica.
- b) somente o sistema 3 apresenta energia mecânica.
- c) somente os sistemas 1 e 2 apresentam energia mecânica.
- d) todos os três sistemas apresentam energia mecânica.
- e) nenhum dos três sistemas apresenta energia.

10. Fuvest – Em uma competição de salto em distância, um atleta de 70 kg tem, imediatamente antes do salto, uma velocidade na direção horizontal de módulo 10 m/s. Ao saltar, o atleta usa seus músculos para empurrar o chão na direção vertical, produzindo uma energia de 500 J, sendo 70% desse valor na forma de energia cinética. Imediatamente após se separar do chão, o módulo da velocidade do atleta é mais próximo de:

- a) 10,0 m/s
- b) 10,5 m/s
- c) 12,2 m/s
- d) 13,2 m/s
- e) 13,8 m/s

11. UFRGS – O uso de arco e flecha remonta a tempos anteriores à história escrita. Em um arco, a força da corda sobre a flecha é proporcional ao deslocamento x , ilustrado na figura abaixo, a qual representa o arco nas suas formas relaxada I e distendida II.



Uma força horizontal de 200 N, aplicada na corda com uma flecha de massa $m = 40$ g, provoca um deslocamento $x = 0,5$ m.

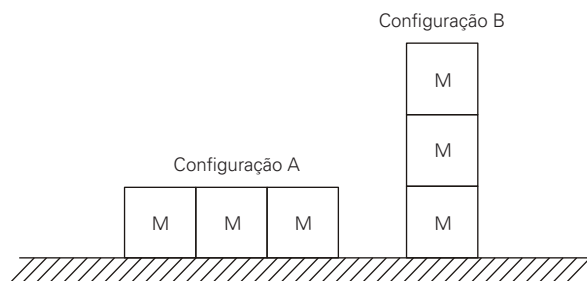
Supondo que toda a energia armazenada no arco seja transferida para a flecha como forma de energia cinética, qual a velocidade que a flecha atingiria, em m/s, ao abandonar a corda?

- a) 5×10^3
- b) 100
- c) 50
- d) 5
- e) $10^{1/2}$

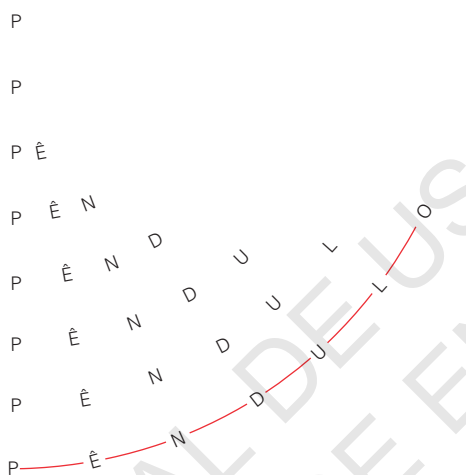
12. UECE – O período atual de estiagem no Ceará tem tornado bastante comum o uso do popularmente conhecido poço profundo. Considere um poço desse tipo com uma profundidade de 80 m abaixo da superfície. Suponha também que o nível do espelho d'água esteja a 10 m do fundo. Assuma que o nível referência para cálculo da energia potencial seja a superfície onde se localiza a parte superior do poço, ou seja, massas localizadas na superfície têm energia potencial gravitacional zero. Durante o bombeamento, a energia potencial gravitacional da água desde o fundo do poço até chegar ao nível do solo:

- a) diminui.
- b) é constante e positiva.
- c) aumenta.
- d) é constante e negativa.

- 13. UFPE** – Uma criança, que está brincando com blocos cúbicos idênticos, constrói as configurações compostas de três blocos mostradas na figura. Cada bloco tem aresta $a = 10 \text{ cm}$ e massa $M = 100 \text{ g}$. A criança pode até perceber intuitivamente que a configuração A é mais estável do que a B, mas não consegue quantificar fisicamente essa estabilidade. Para tal, é necessário determinar a diferença de energia potencial gravitacional $\Delta U = U_B - U_A$ entre as duas configurações. Qual é o valor de ΔU , em unidades de 10^{-2} joules?



- 14. Unesp** – Observe o poema visual de E. M. de Melo e Castro.

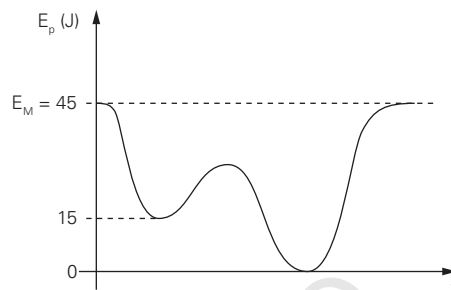


Disponível em: <www.antoniomiranda.com.br>. (Adaptado)

Suponha que o poema representa as posições de um pêndulo simples em movimento, dadas pelas sequências de letras iguais. Na linha em que está escrita a palavra pêndulo, indicada pelo traço vermelho, cada letra corresponde a uma localização da massa do pêndulo durante a oscilação, e a letra P indica a posição mais baixa do movimento, tomada como ponto de referência da energia potencial. Considerando as letras da linha da palavra pêndulo, é correto afirmar que:

- a energia cinética do pêndulo é máxima em P.
 - a energia potencial do pêndulo é maior em Ê que em D.
 - a energia cinética do pêndulo é maior em L que em N.
 - a energia cinética do pêndulo é máxima em O.
 - a energia potencial do pêndulo é máxima em P.
- 15. UFPE** – O gráfico seguinte mostra como a energia potencial de uma partícula varia com a sua posição. A energia mecânica da partícula (E_M) é constante e também aparece no gráfico. A partícula de massa $0,1 \text{ kg}$ se move em linha

reta. Todas as forças que atuam na partícula são conservativas. Obtenha a velocidade máxima da partícula, em m/s.



- 16. IFSP** – Complete o quadro a seguir, que explica as principais transformações de energia que ocorrem em cada tipo de usina.

Tipos de usinas	Energia inicial	Energia final
Hidrelétrica	I	Elétrica
Termoelétrica	II	Elétrica
Termonuclear	III	Elétrica
Eólica	IV	Elétrica
Fotovoltaica	V	Elétrica

A alternativa correta que completa a coluna energia inicial é:

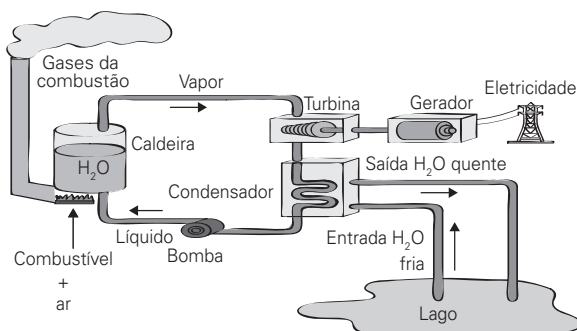
- I – térmica; II – térmica; III – térmica; IV – mecânica; V – luminosa.
 - I – mecânica; II – mecânica; III – luminosa; IV – mecânica; V – mecânica.
 - I – térmica; II – luminosa; III – luminosa; IV – mecânica; V – térmica.
 - I – mecânica; II – térmica; III – térmica; IV – mecânica; V – luminosa.
 - I – luminosa; II – térmica; III – mecânica; IV – mecânica; V – térmica.
- 17. UEPG** – A montanha-russa é um brinquedo no qual é possível explorar conceitos físicos na prática e com muita emoção. Das mais modernas às mais antigas, aventurar-se nos sobressaltos planejados requer encarar os medos e aproveitar a adrenalina. Sobre os conceitos físicos envolvidos no funcionamento da montanha-russa, dê como resposta a soma dos itens corretos.
- No ponto mais alto da trajetória circular do trecho de um trilho que apresenta um *looping*, as forças que atuam nos carrinhos, na ausência de ventos, são a força peso e a reação normal do apoio, ambas verticais e orientadas para baixo.
 - Durante a descida dos carrinhos, na ausência de forças dissipativas, a energia cinética e a velocidade aumentam.
 - A energia potencial dos carrinhos diminui na medida em que estes forem subindo pelos trilhos, devido à baixa velocidade.
 - No ponto de maior altura da montanha-russa, a energia cinética dos carrinhos é maior do que no ponto de menor altura.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C6-H23

O esquema mostra um diagrama de bloco de uma estação geradora de eletricidade abastecida por combustível fóssil.



HINRICHES, R.A.; KLEINBACH, M. *Energia e meio ambiente*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003. (Adaptado)

Se fosse necessário melhorar o rendimento dessa usina, que forneceria eletricidade para abastecer uma cidade, qual das seguintes ações poderia resultar em alguma economia de energia, sem afetar a capacidade de geração da usina?

- Reduzir a quantidade de combustível fornecido à usina para ser queimado.
- Reduzir o volume de água do lago que circula no condensador de vapor.
- Reduzir o tamanho da bomba usada para devolver a água líquida à caldeira.
- Melhorar a capacidade de os dutos com vapor conduzirem calor para o ambiente.
- Usar o calor liberado com os gases pela chaminé para mover um outro gerador.

19. Fatec

C6-H23

O projeto Mars One pretende colonizar o planeta Marte até 2018. Para tanto, já fez uma pré-seleção de 1 058 pessoas, inclusive do Brasil, para uma viagem de aproximadamente sete meses, somente de ida. O desafio consistirá em viver e trabalhar em habitats especiais e devidamente projetados, cultivando o próprio alimento, buscando água

e gelo no solo e fontes de energia alternativas para geração de eletricidade, além da previamente estabelecida.

A escolha da energia a ser utilizada inicialmente foi a que despendesse o menor trabalho no transporte de seu equipamento até o planeta e consequente montagem no local.

Assim sendo, é correto afirmar que a fonte de energia que será inicialmente utilizada é a:

- solar, em virtude da incidência de raios solares na superfície do planeta.
- eólica, em virtude da incidência de ventos solares que atingem o planeta.
- nuclear, pela facilidade de montagem, duração e segurança de manutenção.
- termoelétrica, pela queima dos combustíveis fósseis encontrados nas escavações.
- hídrica, pela extração e canalização das reservas de água e gelo no subsolo marciano.

20. Enem

C6-H23

Deseja-se instalar uma estação de geração de energia elétrica em um município localizado no interior de um pequeno vale cercado de altas montanhas de difícil acesso. A cidade é cruzada por um rio, que é fonte de água para consumo, irrigação das lavouras de subsistência e pesca. Na região, que possui pequena extensão territorial, a incidência solar é alta o ano todo. A estação em questão irá abastecer apenas o município apresentado.

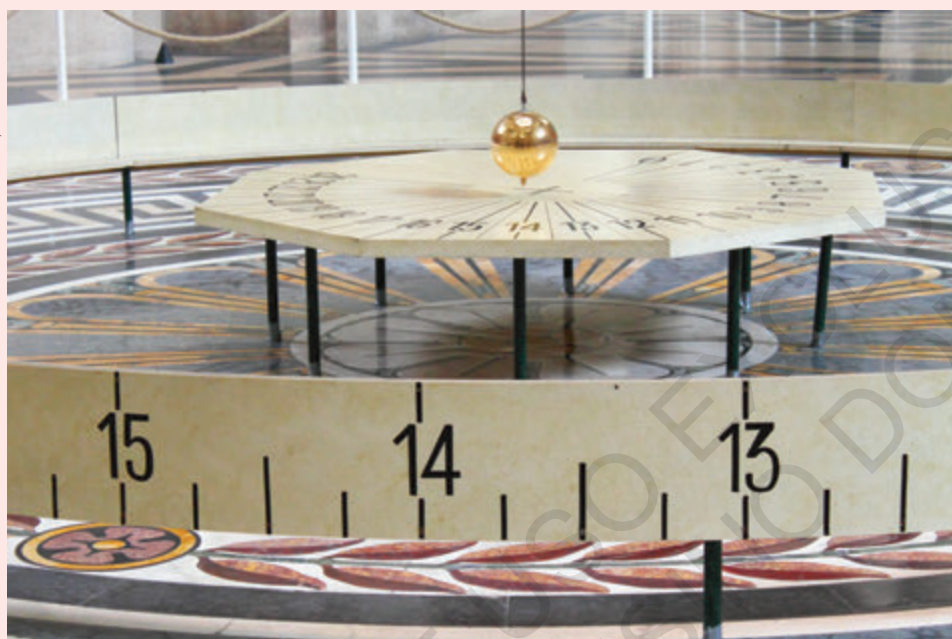
Qual forma de obtenção de energia, entre as apresentadas, é a mais indicada para ser implantada nesse município de modo a causar o menor impacto ambiental?

- Termelétrica, pois é possível utilizar a água do rio no sistema de refrigeração.
- Eólica, pois a geografia do local é própria para a captação desse tipo de energia.
- Nuclear, pois o modo de resfriamento de seus sistemas não afetaria a população.
- Fotovoltaica, pois é possível aproveitar a energia solar que chega à superfície do local.
- Hidrelétrica, pois o rio que corta o município é suficiente para abastecer a usina construída.

SISTEMAS CONSERVATIVOS

37

MARCO CANNIZARO/SHUTTERSTOCK



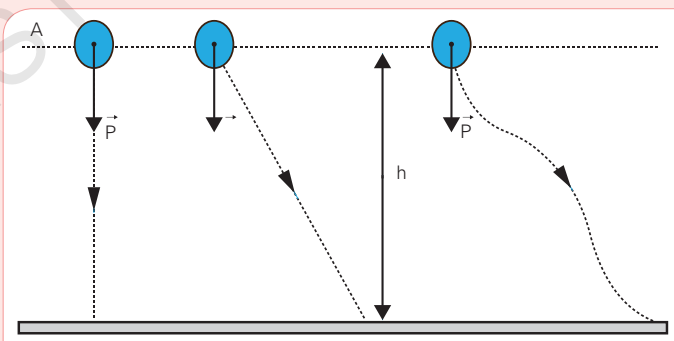
Para curtos intervalos de tempo, desconsideram-se as ações resistivas do ar e, desta forma, o pêndulo de Foucault exemplifica um sistema conservativo.

As forças peso, elástica e elétrica apresentam uma característica comum e particular: o fato de o trabalho realizado por elas não depender da trajetória realizada por um corpo que se movimenta sob a ação de um campo (gravitacional ou elétrico) ou vinculado a uma mola. O módulo do trabalho realizado e o fato de ser qualificado como motor ou resistente dependem exclusivamente das posições de partida e chegada. Em sistemas nos quais somente essas forças realizam trabalho, a energia mecânica é conservada e isso faz com que sejam classificadas como **forças conservativas**.

$$\tau_p = \pm m \cdot g \cdot h$$

$$\tau_{\text{Felástica}} = \pm \frac{k \cdot x^2}{2}$$

$$\tau_{\text{Felástica}} = q \cdot (V_0 - V_f)$$

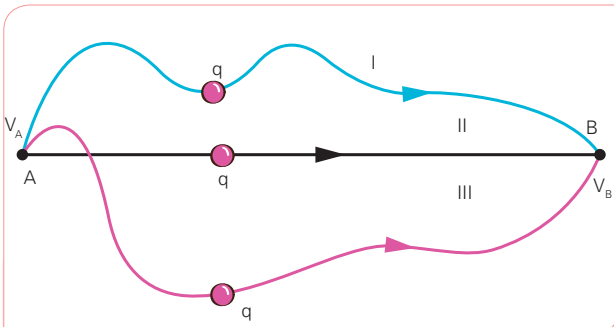


O trabalho da força-peso é função desnível vertical (h) e independe da trajetória.

- Sistemas conservativos
- Transformações de energia

HABILIDADES

- Distinguir os tipos de energia mecânica.
- Reconhecer a energia mecânica.
- Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.
- Avaliar possibilidades de geração, uso ou transformação de energia em ambientes específicos, considerando implicações éticas, ambientais, sociais e/ou econômicas.
- Identificar etapas em processos de obtenção, transformação, utilização ou reciclagem de recursos naturais, energéticos ou matérias-primas, considerando processos biológicos, químicos ou físicos neles envolvidos.
- Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

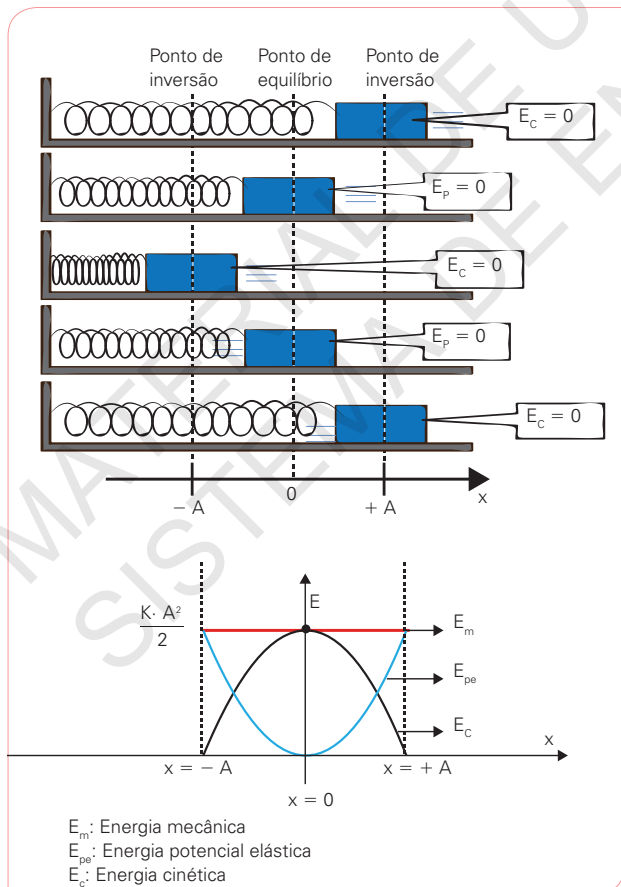


O trabalho da força-elétrica é função da ddp entre as posições inicial e final.

SISTEMAS CONSERVATIVOS

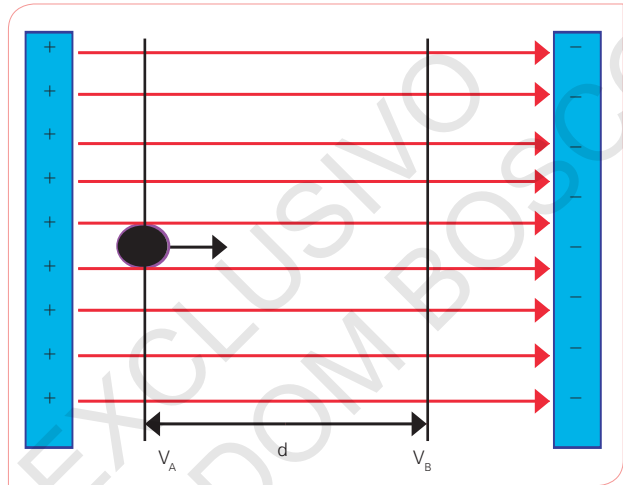
Um **sistema** é dito **conservativo** quando apenas forças conservativas realizam trabalho e, sob estas condições, o incremento da energia cinética de um corpo ocorre devido à redução da energia potencial do sistema. Analogamente, qualquer redução na energia cinética implica em aumento de mesma intensidade na energia potencial armazenada. Deste modo, a **energia mecânica é conservada**.

Em um sistema massa-mola, a energia potencial elástica e a cinética convertem-se uma na outra a cada instante de forma que a soma destas duas componentes, a energia mecânica, seja conservada. No decorrer de cada oscilação realizada sobre um plano sem atrito, apenas a força elástica realiza trabalho.



$$E_{mec}^i = E_{mec}^f = \text{constante} \Leftrightarrow E_C^i + E_{Pe}^i = E_C^f + E_{Pe}^f$$

Uma partícula eletricamente carregada positivamente, quando abandonada no interior de um campo elétrico, buscará, sob a ação da força elétrica, posições de menor potencial elétrico. O movimento é acelerado e o incremento da energia cinética da partícula é justificado pela redução da energia potencial elétrica do sistema.

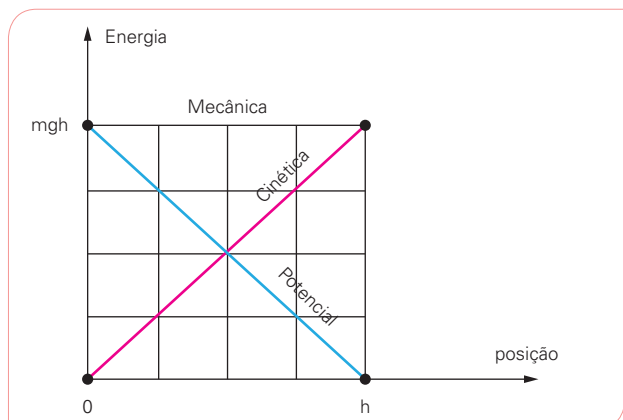


Suponha agora que um corpo seja arremessado para cima. Desconsiderada a resistência do ar, somente a força-peso realiza trabalho durante o movimento, e a energia mecânica conserva-se da seguinte forma: adotando como referência o nível do lançamento, a energia mecânica inicial do corpo lançado é dada exclusivamente por sua energia cinética.

$$E_{mec}^i = E_C^i = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Ao longo da subida, o trabalho resistente realizado pela força-peso implica na conversão integral de energia cinética em energia potencial gravitacional. A energia cinética torna-se cada vez menor (velocidade diminui), enquanto a energia potencial gravitacional (altura aumenta) aumenta.

$$E_{mec}^f = E_{Pg}^f = m \cdot g \cdot h$$



Após atingir a altura máxima, ocorre a inversão do sentido de movimento e o início do movimento de queda. Neste trecho, o trabalho motor realizado pela força-peso indica a conversão de energia potencial gravitacional em energia cinética. Durante todo o movimento, a energia cinética transforma-se em energia potencial gravitacional, e a potencial gravitacional, em cinética; a soma (cinética + potencial) mantém-se constante. Pelo fato de a **energia mecânica manter-se constante** a cada instante, o **sistema** é dito **conservativo**.

$$E_{\text{mec}}^i = E_{\text{mec}}^f = \text{constante} \Leftrightarrow E_C^i + E_{\text{Pel}}^i = E_C^f + E_{\text{Pel}}^f$$

$$E_C^i + 0 = 0 + E_{\text{Pel}}^f$$

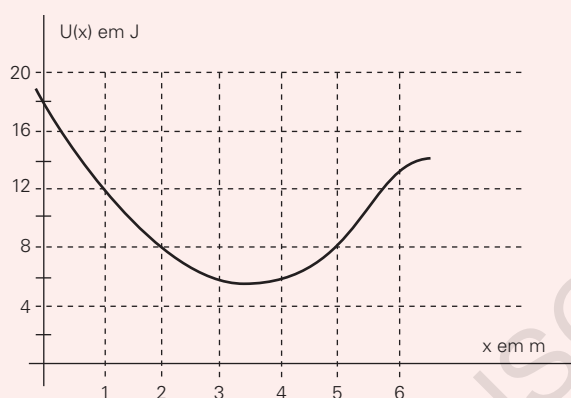
$$\frac{m \cdot v^2}{2} + 0 = 0 + m \cdot g \cdot h$$

$$v^2 = 2 \cdot g \cdot h$$

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

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. Uma partícula está sujeita à ação de uma única força, $F(x)$, onde x é sua posição. A força é conservativa, e a energia potencial, a ela associada, $U(x)$, é mostrada na figura abaixo:



Determine a variação da energia cinética da partícula entre as posições $x = 0$ e $x = 5$ m.

Sendo o sistema conservativo, tem-se:

$$E_{\text{Mec}}^0 = E_{\text{Mec}}^5$$

$$E_C^0 + E_P^0 = E_C^5 + E_P^5$$

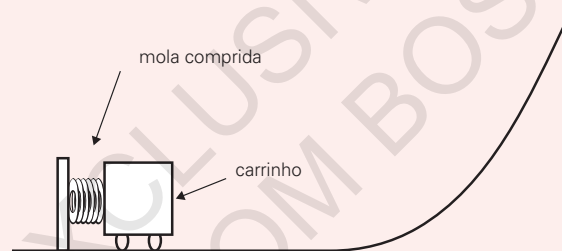
$$E_P^0 - E_P^5 = E_C^5 - E_C^0$$

$$18 - 8 = \Delta E_C$$

$$\Delta E_C = 10 \text{ J}$$

2. **Unicamp** – Um brinquedo que muito agrada às crianças são os lançadores de objetos em uma pista. Considere que a mola da figura a seguir tenha uma constante elástica $k = 8000 \text{ N/m}$ e massa desprezível. Inicialmente, a mola está comprimida de $2,0 \text{ cm}$ e, ao ser liberada, empurra um carrinho de massa igual a $0,20 \text{ kg}$. O carrinho abandona a mola quando esta atinge o seu comprimento relaxado, e percorre uma pista que termina em uma rampa.

Considere que não há perda de energia mecânica por atrito no movimento do carrinho.



- a) Qual é a velocidade do carrinho quando ele abandona a mola?

Pela conservação da energia mecânica, tem-se:

$$E_{\text{Mec}}^A = E_{\text{Mec}}^B$$

$$E_C^A + E_{\text{Pel}}^A + E_{\text{Pg}}^A = E_C^B + E_{\text{Pel}}^B + E_{\text{Pg}}^B$$

$$0 + \frac{k \cdot x^2}{2} + 0 = \frac{m \cdot v^2}{2} + 0 + 0$$

$$0 + \frac{8000 \cdot (2 \cdot 10^{-2})^2}{2} + 0 = \frac{0,2 \cdot v^2}{2} + 0 + 0$$

$$1,6 = 0,1 \cdot v^2$$

$$v = 4 \text{ m/s}$$

- b) Na subida da rampa, a que altura o carrinho tem velocidade de $2,0 \text{ m/s}$?

Pela conservação da energia mecânica, tem-se:

$$E_{\text{Mec}}^B = E_{\text{Mec}}^C$$

$$E_C^B + E_{\text{Pel}}^B + E_{\text{Pg}}^B = E_C^C + E_{\text{Pel}}^C + E_{\text{Pg}}^C$$

$$\frac{m \cdot v^2}{2} + 0 + 0 = \frac{m \cdot v'^2}{2} + m \cdot g \cdot h + 0$$

$$\frac{0,2 \cdot 4^2}{2} + 0 + 0 = \frac{0,2 \cdot 2^2}{2} + 0,2 \cdot 10 \cdot h + 0$$

$$1,6 = 0,4 + 2 \cdot h$$

$$h = 0,6 \text{ m}$$

ROTEIRO DE AULA

SISTEMAS CONSERVATIVOS

Apenas forças conservativas realizam trabalho

Energia mecânica

As forças conservativas são:
peso, elástica e elétrica

Soma das energias cinética e potencial

Conservação

No aumento da energia cinética

Na redução da energia cinética

$$E_{\text{mec}} = E_C + E_P$$

$$E_{\text{mec}}^i = E_{\text{mec}}^f$$

A energia potencial diminui

A energia potencial aumenta

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Uerj – Duas gotas de orvalho caem de uma mesma folha de árvore, estando ambas a uma altura h do solo. As gotas possuem massas m_1 e m_2 , sendo $m_2 = 2 \cdot m_1$. Ao atingirem o solo, suas velocidades e energias cinéticas são, respectivamente, v_1 , E_1 e v_2 , E_2 . Desprezando o atrito e o empuxo, determine as razões $\frac{v_1}{v_2}$ e $\frac{E_1}{E_2}$.

Razão entre as velocidades:

Pela conservação da energia mecânica, podemos mostrar que a velocidade independe da massa:

$$E_{\text{Mec}}^{\text{final}} = E_{\text{Mec}}^{\text{inicial}} \Rightarrow \frac{m \cdot v^2}{2} = m \cdot g \cdot h =$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \Rightarrow v_1 = v_2 \Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = 1.$$

Razão entre as energias cinéticas:

Dado: $m_2 = 2 \cdot m_1$.

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{m_1 \cdot v_1^2}{m_2 \cdot v_2^2} = \frac{m_1}{2 \cdot m_1} \Rightarrow \frac{E_1}{E_2} = \frac{1}{2}$$

2. Sistema Dom Bosco – Suponha que uma flecha seja atirada a partir do solo por um arco, de constante elástica $k = 400 \text{ N/m}$, deformado de 50 cm e calcule, nestas condições, a máxima altura em que um pássaro poderia ser atingido.

Note e adote:

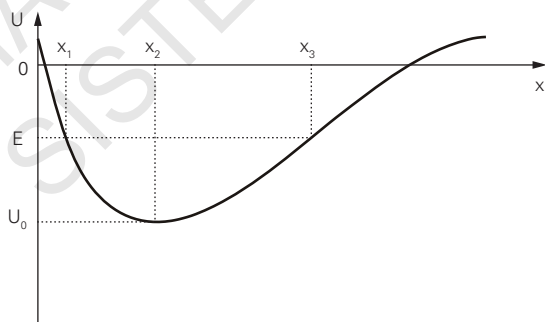
- aceleração gravitacional local: $g \approx 10 \text{ m/s}^2$
- massa da flecha: $m = 250 \text{ g}$
- Desconsidere a ação resistiva do ar.

Considerando o sistema conservativo, tem-se:

$$E_{\text{mec}} = E_{\text{mec}}^i \Rightarrow E_{\text{pot}} = E_{\text{pot}}^i \Rightarrow \frac{k \cdot x^2}{2} = m \cdot g \cdot h_{\text{máx}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{400 \cdot (0,5)^2}{2} = 0,25 \cdot 10 \cdot h_{\text{máx}} \Rightarrow h_{\text{máx}} = 20 \text{ m}$$

3. Fuvest – A figura abaixo mostra o gráfico da energia potencial gravitacional de uma esfera em uma pista, em função da componente horizontal x da posição da esfera na pista.



A esfera é colocada em repouso na pista, na posição de abscissa $x = x_1$, tendo energia mecânica $E < 0$. A partir dessa condição, sua energia cinética tem valor:

Note e adote:

- Desconsidere efeitos dissipativos.

- máximo igual a $|U_0|$
- igual a $|E|$ quando $x = x_3$.
- mínimo quando $x = x_2$.
- máximo quando $x = x_3$.
- máximo quando $x = x_2$.

A energia cinética é máxima no ponto onde a energia potencial é mínima. Isso ocorre no ponto de abscissa $x = x_2$.

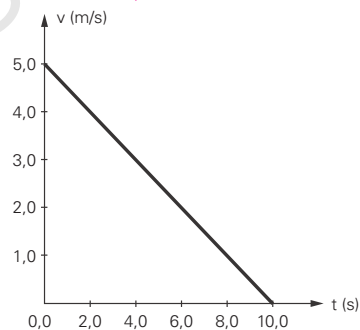
4. Fuvest – Helena, cuja massa é 50 kg, pratica o esporte radical *bungee jumping*. Em um treino, ela se solta da beirada de um viaduto, com velocidade inicial nula, presa a uma faixa elástica de comprimento natural $L_0 = 15 \text{ m}$ e constante elástica $k = 250 \text{ N/m}$. Quando a faixa está esticada 10 m além de seu comprimento natural, o módulo da velocidade de Helena é:

- 0 m/s
- 5 m/s
- 10 m/s
- 15 m/s
- 20 m/s

Note e adote:

- Aceleração da gravidade: 10 m/s^2 .
- A faixa é perfeitamente elástica; sua massa e efeitos dissipativos devem ser ignorados.

O plano de referência para energia potencial será adotado no ponto 25 m abaixo do ponto (A) de onde Helena se solta.



$$L_0 = 15 \text{ m}$$

$$L_0 + h = 25 \text{ m}$$

$$h = 10 \text{ m}$$

Sendo a velocidade inicial nula, pela conservação da energia mecânica, tem-se:

$$E_{\text{mec}}^A = E_{\text{mec}}^B \Rightarrow m \cdot g(L_0 + h) = \frac{m \cdot v^2}{2} + \frac{k \cdot h^2}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 50 \cdot 10 \cdot 25 = \frac{50 \cdot v^2}{2} + \frac{250 \cdot 10^2}{2} \Rightarrow$$

$$12500 = v^2 + 12500 \Rightarrow \boxed{v = 0.}$$

5. Fuvest – O projeto para um balanço de corda única de um parque de diversões exige que a corda do brinquedo tenha um comprimento de 2,0 m. O projetista tem de escolher a corda adequada para o balanço, a partir de cinco ofertas disponíveis no mercado, cada uma delas com distintas tensões de ruptura. A tabela apresenta essas opções.

Corda	I	II	III	IV	V
Tensão de ruptura (N)	4 200	7 500	12 400	20 000	29 000

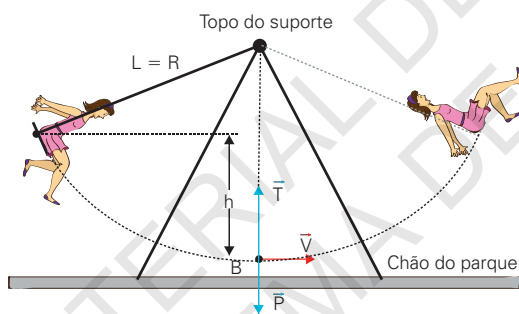
Ele tem também de incluir no projeto uma margem de segurança; esse fator de segurança é tipicamente 7, ou seja, o balanço deverá suportar cargas de sete vezes a tensão no ponto mais baixo da trajetória. Admitindo que uma pessoa de 60 kg, ao se balançar, parta do repouso, de uma altura de 1,2 m em relação à posição de equilíbrio do balanço, as cordas que poderiam ser adequadas para o projeto são:

- I, II, III, IV e V.
- II, III, IV e V, apenas.
- III, IV e V, apenas.
- IV e V, apenas.
- V, apenas.

Note e adote:

- Aceleração gravitacional: 10 m/s^2 .
- Desconsidere qualquer tipo de atrito ou resistência ao movimento e ignore a massa do balanço e as dimensões da pessoa.
- As cordas são inextensíveis.

Dados: $L = R = 2 \text{ m}$; $h = 1,2 \text{ m}$; $n = 7$; $m = 60 \text{ kg}$; $v_0 = 0$; $g = 10 \text{ m/s}^2$



Como as forças resistivas são desconsideradas, o sistema é conservativo. Então, pela conservação da energia mecânica, calcula-se a velocidade no ponto mais baixo (B), tomado como referencial de altura:

$$E_{\text{mec}}^A = E_{\text{mec}}^B \Rightarrow m \cdot g \cdot h = \frac{m \cdot v^2}{2} \Rightarrow v^2 = 2 \cdot g \cdot h = 2 \cdot 10 \cdot 1,2 \Rightarrow v^2 = 24.$$

No ponto mais baixo, a intensidade da resultante centrípeta é a diferença entre as intensidades da tração e do peso.

$$T - P = R_{\text{cp}} \Rightarrow T - m \cdot g = \frac{m \cdot v^2}{R} \Rightarrow T - 600 = \frac{60 \cdot (24)}{2} \Rightarrow T = 1\,320 \text{ N}.$$

Considerando o coeficiente de segurança, $n = 7$ tem-se:

$$T_{\text{máx}} = n \cdot T = 7 \cdot 1\,320 \Rightarrow T_{\text{máx}} = 9\,240 \text{ N}.$$

Portanto, as cordas que poderiam ser adequadas para o projeto são [III], [IV] e [V], apenas.

6. Enem

C3-H8

Um automóvel, em movimento uniforme, anda por uma estrada plana, quando começa a descer uma ladeira, na qual o motorista faz com que o carro se mantenha sempre com velocidade escalar constante.

Durante a descida, o que ocorre com as energias potencial, cinética e mecânica do carro?

- A energia mecânica mantém-se constante, já que a velocidade escalar não varia, e, portanto, a energia cinética é constante.
- A energia cinética aumenta, pois a energia potencial gravitacional diminui, e quando uma se reduz, a outra cresce.
- A energia potencial gravitacional mantém-se constante, já que há apenas forças conservativas agindo sobre o carro.
- A energia mecânica diminui, pois a energia cinética se mantém constante, mas a energia potencial gravitacional diminui.
- A energia cinética mantém-se constante, já que não há trabalho realizado sobre o carro.

- Energia potencial: $E_p = m \cdot g \cdot h$. Sendo uma descida, a altura diminui, a energia potencial diminui.
- Energia cinética: $E_c = \frac{m \cdot v^2}{2}$. Sendo constante a velocidade, a energia cinética também é constante.
- Energia mecânica: $E_M = E_c + E_p$. Se a energia potencial diminui, e a energia cinética é constante, a energia mecânica diminui.

Competência: Associar intervenções que resultam em degradação ou conservação ambiental a processos produtivos e sociais e a instrumentos ou ações científico-tecnológicos.

Habilidade: Identificar etapas em processos de obtenção, transformação, utilização ou reciclagem de recursos naturais, energéticos ou matérias-primas, considerando processos biológicos, químicos ou físicos neles envolvidos.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. UTFPR – Um tipo de bate-estaca usado em construções consiste de um guindaste que eleva um objeto pesado até uma determinada altura e depois o deixa cair praticamente em queda livre. Sobre essa situação, classifique as seguintes sentenças em verdadeira (V) ou falsa (F).

I. (___) na medida em que o objeto cai, aumenta sua energia cinética.

II. (___) na medida em que o objeto cai, aumenta sua energia potencial.

III. (___) na queda, ocorre um aumento de energia mecânica do objeto.

IV. (___) na queda, ocorre a conservação da energia potencial.

- 8. Acafe** – Uma das provas realizadas por mulheres e homens nos campeonatos mundiais de ginástica artística é o salto sobre o cavalo.



ALEX LIVESEY/GETTY IMAGES

Disponível em: <<http://mundogym.blogspot.com.br/2008/01/ginastado-msfei-cheng.html>>.

Acesso em: 5 out. 2013.

Esse salto apresenta algumas etapas para sua perfeita realização. Tais etapas podem ser resumidas em:

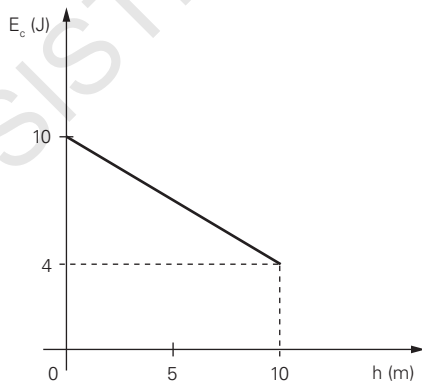
- **Etapa 1:** Corrida de aproximação, procurando máxima velocidade.
- **Etapa 2:** Contato com o trampolim, buscando impulsão.
- **Etapa 3:** Contato com o cavalo, conseguindo apoio e repulsão.
- **Etapa 4:** Salto propriamente dito.
- **Etapa 5:** Aterrissagem.

Considere E_{M1} (Energia mecânica do atleta imediatamente antes da etapa 02), E_{M2} (Energia mecânica do atleta imediatamente antes da etapa 03), E_{M3} (Energia mecânica do atleta imediatamente após a etapa 03) e E_{M4} (Energia mecânica do atleta imediatamente antes da etapa 05).

Desprezando as perdas por atrito e resistência do ar, a alternativa correta que apresenta a relação entre as energias mecânicas do atleta, é:

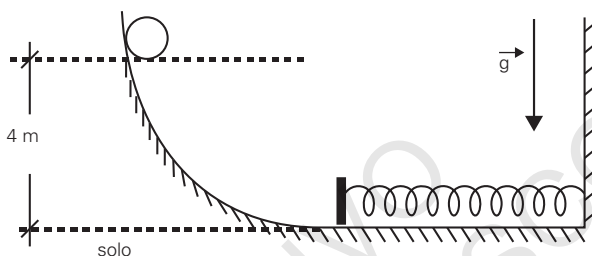
- a) $E_{M1} = E_{M2} < E_{M3} < E_{M4}$
- b) $E_{M1} < E_{M2} < E_{M3} = E_{M4}$
- c) $E_{M2} < E_{M1} < E_{M4} < E_{M3}$
- d) $E_{M1} < E_{M2} = E_{M4} < E_{M3}$

- 9. UFPE** – O gráfico a seguir mostra a energia cinética de um pequeno bloco em função da altura. Na altura $h = 0$ a energia potencial gravitacional do bloco é nula. O bloco se move sobre uma superfície com atrito desprezível. Calcule a energia potencial gravitacional máxima do bloco, em joules.



- 10. EsPCEX** – Uma esfera, sólida, homogênea e de massa $0,8 \text{ kg}$ é abandonada de um ponto a 4 m de altura do solo em uma rampa curva.

Uma mola ideal de constante elástica $k = 400 \text{ N/m}$ é colocada no fim dessa rampa, conforme desenho abaixo. A esfera colide com a mola e provoca uma compressão.

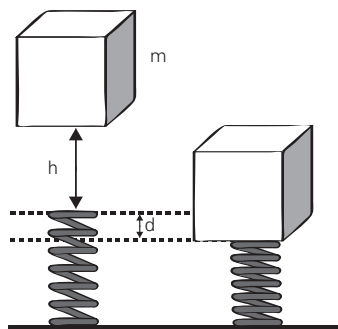


(Desenho ilustrativo fora de escala)

Desprezando as forças dissipativas, considerando a intensidade da aceleração da gravidade $g = 10 \text{ m/s}^2$ e que a esfera apenas desliza e não rola, a máxima deformação sofrida pela mola é de:

- a) 8 cm
- b) 16 cm
- c) 20 cm
- d) 32 cm
- e) 40 cm

- 11. Fuvest** – No desenvolvimento do sistema amortecedor de queda de um elevador de massa m , o engenheiro projetista impõe que a mola deve se contrair de um valor máximo d , quando o elevador cai, a partir do repouso, de uma altura h , como ilustrado na figura abaixo. Para que a exigência do projetista seja satisfeita, a mola a ser empregada deve ter constante elástica dada por

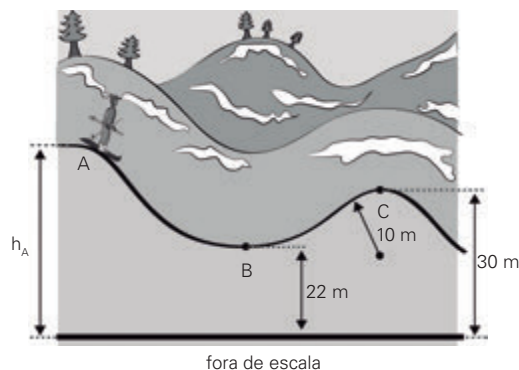


Note e adote:

- Forças dissipativas devem ser ignoradas.
- A aceleração local da gravidade é g .

- a) $2 \cdot m \cdot (h + d) / d^2$
- b) $2 \cdot m \cdot g (h - d) / d^2$
- c) $2 \cdot m \cdot g \cdot h / d^2$
- d) $m \cdot g \cdot h / d$
- e) $m \cdot g / d$

- 17. Unifesp** – Uma pista de esqui para treinamento de principiantes foi projetada de modo que, durante o trajeto, os esquiadores não ficassem sujeitos a grandes acelerações nem perdessem contato com nenhum ponto da pista. A figura representa o perfil de um trecho dessa pista, no qual o ponto **C** é o ponto mais alto de um pequeno trecho circular de raio de curvatura igual a 10 m.



Os esquiadores partem do repouso no ponto **A** e percorrem a pista sem receber nenhum empurrão, nem usam os bastões para alterar sua velocidade. Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$ e despreze o atrito e a resistência do ar.

- a) Se um esquiador passar pelo ponto **B** da pista com velocidade $10\sqrt{2} \text{ m/s}$, com que velocidade ele passará pelo ponto **C**?
- b) Qual a maior altura h_A do ponto **A**, indicada na figura, para que um esquiador não perca contato com a pista em nenhum ponto de seu percurso?

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C3-H8

Uma das modalidades presentes 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.

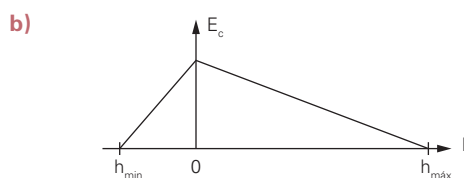
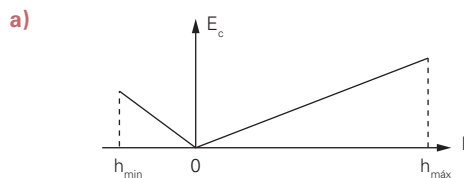
- d) a energia potencial gravitacional, representada na etapa II, seja totalmente convertida em energia potencial elástica, representada na etapa IV.
- e) a energia potencial gravitacional, representada na etapa I, seja totalmente convertida em energia potencial elástica, representada na etapa III.

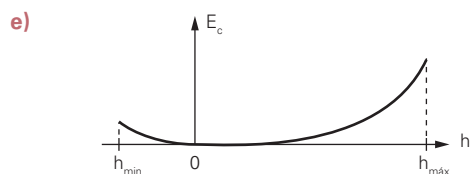
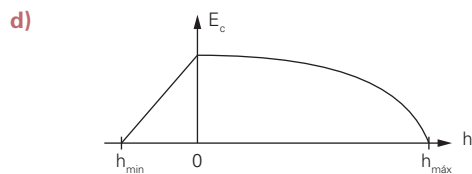
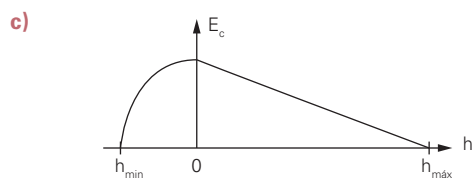
19. Enem

C3-H8

O brinquedo pula-pula (cama elástica) é composto por uma lona circular flexível horizontal presa por molas à sua borda. As crianças brincam pulando sobre ela, alterando e alternando suas formas de energia. Ao pular verticalmente, desprezando o atrito com o ar e os movimentos de rotação do corpo enquanto salta, uma criança realiza um movimento periódico vertical em torno da posição de equilíbrio da lona ($h = 0$), passando pelos pontos de máxima e de mínima alturas, $h_{\text{máx}}$ e $h_{\text{mín}}$, respectivamente.

Esquemáticamente, o esboço do gráfico da energia cinética da criança em função de sua posição vertical na situação descrita é:





20. Enem

C6-H20

Um garoto foi à loja comprar um estilingue e encontrou dois modelos: um com borracha mais “dura” e outro com borracha mais “mole”. O garoto concluiu que o mais adequado seria o que proporcionasse maior alcance horizontal, D , para as mesmas condições de arremesso, quando submetidos à mesma força aplicada. Sabe-se que a constante elástica k_d (do estilingue mais “duro”) é o dobro da constante elástica k_m (do estilingue mais “mole”).

A razão entre os alcances $\frac{D_d}{D_m}$, referentes aos estilingues com borrachas “dura” e “mole”, respectivamente, é igual a:

- a) $\frac{1}{4}$ d) 2
 b) $\frac{1}{2}$ e) 4
 c) 1

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

SISTEMAS DISSIPATIVOS

38

APTYP: СЛОБОДЯН/DREAMSTIME.COM



O atrito do metal com a pedra converte energia mecânica em térmica, sonora e luminosa.

Os mais clássicos sistemas não conservativos são aqueles que apresentam atrito ou resistência do ar. Nestas condições, a energia mecânica final do sistema é inferior à inicial; afinal, através do trabalho resistente realizado por tais forças, a energia mecânica é convertida em alguma outra modalidade, geralmente térmica ou sonora.

Na prática, a maioria dos sistemas mecânicos não é conservativa, ou seja, a energia mecânica, em dois momentos distintos, é diferente. Nestes sistemas há conversão de energia mecânica em alguma outra forma de energia (térmica, sonora etc.) ou transformação de outra modalidade de energia em energia mecânica. Sempre, claro, à custa da realização de trabalho de forças não conservativas.

Teorema da energia mecânica

Em diversos fenômenos cotidianos percebe-se que ocorre incremento ou decréscimo na energia mecânica do sistema. Porém, atento ao fato de que energia é um recurso que não surge espontaneamente, é importante perceber que esse aumento é justificado pela transferência de energia ao sistema por meio da realização de trabalho de um operador ou alguma outra força não conservativa.

R.CLASSEN/SHUTTERSTOCK



O ganho de energia potencial gravitacional (mecânica) dos ocupantes de uma escada rolante é justificado (e quantificado) por meio do trabalho realizado por seus motores.

- Teorema da energia mecânica
- Sistemas dissipativos

HABILIDADES

- Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.
- Avaliar possibilidades de geração, uso ou transformação de energia em ambientes específicos, considerando implicações éticas, ambientais, sociais e/ou econômicas.
- Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.
- Analisar fenômenos ou resultados de experimentos científicos, organizando e sistematizando informações dadas.



O trabalho realizado pela força de resistência do ar reduz a energia mecânica do sistema (paraquedista + equipamentos).



O trabalho realizado pelo atrito é igual à variação da energia mecânica do veículo.

A energia mecânica de um corpo (ou sistema de corpos) pode aumentar ou diminuir caso forças não conservativas realizem trabalho total não nulo. Para sistemas não conservativos, aplica-se o **Teorema da Energia Mecânica**:

$$\tau_{\text{forças não conservativas}} = \Delta E_{\text{mec}}$$

De forma equivalente:

$$E_{\text{dissipada}} = E_{\text{mec}}^i - E_{\text{mec}}^f$$

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. PUC-SP – O coqueiro da figura tem 5 m de altura em relação ao chão e a cabeça do macaco está a 0,5 m do solo. Cada coco, que se desprende do coqueiro, tem massa 200 g e atinge a cabeça do macaco com 7 J de energia cinética. Determine a quantidade de energia mecânica dissipada durante a queda.



Resolução

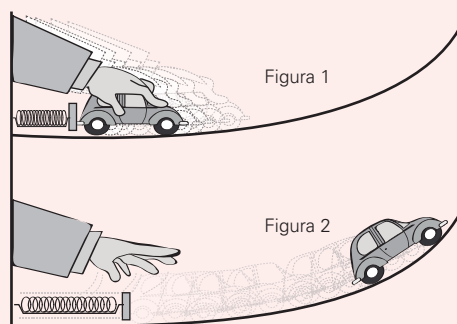
A altura considerada deve ser 4,5 m, que corresponde à distância do coco até a cabeça do macaco.

$$E_p = m \cdot g \cdot h = 0,2 \cdot 10 \cdot 4,5 = 9$$

$$E_{\text{diss}} = E_p - E_c = 9 - 7 = 2 \text{ J}$$

Conclui-se que houve dissipação de 2 J de energia mecânica durante a queda.

2. PUC-SP (adaptado) – O carrinho da figura tem massa 100 g e encontra-se encostado em uma mola de constante elástica 100 N/m comprimida de 10 cm (figura 1). Ao ser libertado, o carrinho sobe a rampa até a altura máxima de 30 cm (figura 2).



Determine a energia mecânica dissipada no processo.

Resolução

$$E_{\text{Mec}}^i = E_{\text{Pel}} = \frac{100 \cdot 0,1^2}{2} = 0,5 \text{ J}$$

$$E_{\text{Mec}}^f = E_{\text{Pg}} = m \cdot g \cdot h = 0,1 \cdot 10 \cdot 0,3 = 0,3 \text{ J}$$

Conclui-se que houve dissipação de 0,2 J de energia mecânica durante o processo qualificado.

ROTEIRO DE AULA

SISTEMAS NÃO
CONSERVATIVOS

Forças não
conservativas
realizam trabalho

$$\tau_{\text{forças não conservativas}}^F = \Delta E_{\text{mec}}$$

Quando motor

Quando

resistente

Ocorre

aumento

da energia
mecânica do
sistema

Há atrito ou
resistência do ar

Energia mecânica
converte-se em
outra forma de
energia

$$\tau_{\text{Fdissipativas}} = \Delta E_{\text{mec}}$$

Sistemas dissipativos

Ocorre redução da

energia mecânica do

sistema

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. UEFS (adaptado) – Um carro de 1 000 kg com o motor desligado é empurrado em uma rua plana e horizontal por um grupo de pessoas que, juntas, exercem uma força constante e horizontal de 600 N sobre o veículo. A partir do repouso, o carro adquire uma velocidade de 2 m/s após percorrer 10 m em linha reta.

Calcule a energia dissipada ao final desses 10 m.

$$\text{Trabalho realizado: } \tau^f = F \cdot d \cdot \cos 0^\circ = 600 \cdot 10 = 6000 \text{ J}$$

$$\text{Energia cinética adquirida: } E_c = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{1000 \cdot 2^2}{2} = 2000 \text{ J}$$

Logo, 4 000 J de energia foi dissipada no decorrer dos referidos 10 m.

2. Unicamp – Em agosto de 2012, a Nasa anunciou o pouso da sonda Curiosity na superfície de Marte. A sonda, de massa $m = 1\,000$ kg, entrou na atmosfera marciana a uma velocidade $v_0 = 6\,000$ m/s.

a) A sonda atingiu o repouso, na superfície de Marte, 7 minutos após a sua entrada na atmosfera. Calcule o módulo da força resultante média de desaceleração da sonda durante sua descida.

b) Considere que, após a entrada na atmosfera a uma altitude $h_0 = 125$ km, a força de atrito reduziu a velocidade da sonda para $v = 4\,000$ m/s quando a altitude atingiu $h = 100$ km. A partir da variação da energia mecânica, calcule o trabalho realizado pela força de atrito neste trecho. Considere a aceleração da gravidade de Marte, neste trecho, constante e igual a $g_{\text{Marte}} = 4$ m/s².

a) Dados: $m = 1\,000$ kg; $v_0 = 6\,000$ m/s; $v = 0$; $\Delta t = 7 \text{ min} = 420$ s.

Da segunda lei de Newton, para a força resultante tangencial:

$$F_{\text{res}} = m \cdot |a| \Rightarrow F_{\text{res}} = m \frac{|\Delta v|}{\Delta t} = 1\,000 \frac{|0 - 6\,000|}{420} = \frac{6 \cdot 10^6}{4,2 \cdot 10^2} \Rightarrow$$

$$F_{\text{res}} = 1,43 \cdot 10^4 \text{ N.}$$

b) Dados: $m = 1\,000$ kg; $h_0 = 125$ km = $125 \cdot 10^3$ m; $h = 100$ km = $100 \cdot 10^3$ m; $v = 4\,000$ m/s; $v_0 = 6\,000$ m/s; $g_{\text{Marte}} = 4$ m/s².

Sendo W_{Fat} o trabalho da força de atrito, aplicando o Teorema da Energia Mecânica:

$$W_{\text{Fat}} = E_{\text{Mec}}^{\text{final}} - E_{\text{Mec}}^{\text{inicial}} \Rightarrow W_{\text{Fat}} = \left(\frac{m \cdot v^2}{2} + m \cdot g_{\text{Marte}} \cdot h \right) - \left(\frac{m \cdot v_0^2}{2} + m \cdot g_{\text{Marte}} \cdot h_0 \right) \Rightarrow$$

$$W_{\text{Fat}} = \frac{m}{2} (v^2 - v_0^2) + m \cdot g_{\text{Marte}} (h - h_0) \Rightarrow$$

$$W_{\text{Fat}} = \frac{1000}{2} (4\,000^2 - 6\,000^2) + 1\,000 \cdot 4 \cdot (100 - 125) \cdot 1\,000 \Rightarrow$$

$$W_{\text{Fat}} = 500 \cdot (-2 \cdot 10^7) + 4 \cdot 10^6 \cdot (-25) = -1 \cdot 10^{10} - 1 \cdot 10^8 \Rightarrow$$

$$W_{\text{Fat}} = -1,01 \cdot 10^{10} \text{ J.}$$

3. Mackenzie – Um corpo de massa 2,00 kg é abandonado de uma altura de 50,0 cm acima do solo. Ao chocar-se com o solo ocorre uma perda de 40% de sua energia. Adotando a aceleração da gravidade local igual a 10 m/s², a energia cinética do corpo logo após o choque parcialmente elástico com o solo é:

a) 2,00 J

b) 4,00 J

c) 6,00 J

d) 8,00 J

e) 10,0 J

Usando o princípio da conservação de energia para o ponto inicial (A) e para o ponto final (B):

$$E_A = E_B \Rightarrow E_{\text{pg}} = E_c + E_d \Rightarrow E_c = E_{\text{pg}} - E_d$$

$$E_c = E_{\text{pg}} - 0,4 \cdot E_{\text{pg}} \Rightarrow E_c = 0,6 \cdot E_{\text{pg}} = 0,6 \cdot m \cdot g \cdot h \Rightarrow$$

$$E_{\text{pg}} = 0,6 \cdot 2 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2 \cdot 0,5 \text{ m}$$

$$\therefore E_{\text{pg}} = 6 \text{ J}$$

4. Puccamp – Ao deslizar por uma pista localizada nos Andes, sem utilizar os bastões para impulsionar seu movimento, a energia cinética de um esquiador aumenta de $1,40 \cdot 10^4$ J quando desce uma altura de 25 m.



Considerando que o peso do esquiador junto com o do equipamento seja 800 N, o trabalho realizado pelas forças de resistência nesse deslocamento é, em módulo, igual a:

a) $5,6 \cdot 10^2$ J

b) $3,4 \cdot 10^4$ J

c) $2,0 \cdot 10^4$ J

d) $6,0 \cdot 10^3$ J

e) $3,5 \cdot 10^5$ J

Pela conservação de energia podemos admitir que a energia potencial gravitacional (E_{pg}) no ponto mais alto da pista se transforma em energia cinética (E_c) e energia dissipada pelo atrito (E_d).

Assim, equacionamos da seguinte maneira:

$$E_{\text{pg}} = E_c + E_d$$

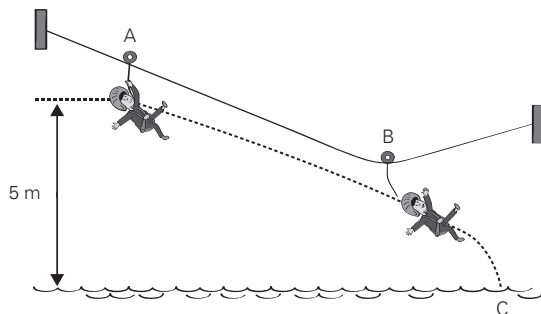
Como a variação da energia significa o trabalho, calculando a energia dissipada pelo atrito, temos o trabalho de resistência do trajeto na pista, então:

$$m \cdot g \cdot h = E_c + E_d \Rightarrow 800 \cdot 25 = 1,4 \cdot 10^4 + E_d \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 800 \cdot 25 - 1,4 \cdot 10^4 = E_d \Rightarrow E_d = 20\,000 - 14\,000$$

$$\therefore E_d = 6\,000 \text{ J} = 6 \cdot 10^3 \text{ J}$$

5. Unesp – A figura ilustra um brinquedo oferecido por alguns parques, conhecido por *tirolesa*, no qual uma pessoa desce de determinada altura segurando-se em uma roldana apoiada numa corda tensionada. Em determinado ponto do percurso, a pessoa se solta e cai na água de um lago.



Considere que uma pessoa de 50 kg parta do repouso no ponto A e desça até o ponto B segurando-se na roldana e que nesse trajeto tenha havido perda de 36% da energia mecânica do sistema, devido ao atrito entre a roldana e a corda. No ponto B ela se solta, atingindo o ponto C na superfície da água. Em seu movimento, o centro de massa da pessoa sofre o desnível vertical de 5 m mostrado na figura.

Desprezando a resistência do ar e a massa da roldana, e adotando $g = 10 \text{ m/s}^2$, pode-se afirmar que a pessoa atinge o ponto C com uma velocidade, em m/s, de módulo igual a:

- a) 8
b) 10
c) 6
d) 12
e) 4

Dados: $m = 50 \text{ kg}$; $h = 5 \text{ m}$; $v_0 = 0$; $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Se houve dissipação de 36% da energia mecânica do sistema, então a energia mecânica final (que é apenas cinética) é igual a 64% da energia mecânica inicial (que é apenas potencial gravitacional).

$$E_{\text{Mec}}^{\text{final}} = 0,64 E_{\text{Mec}}^{\text{inicial}} \Rightarrow \frac{m \cdot v^2}{2} = 0,64 \cdot m \cdot g \cdot h \Rightarrow$$

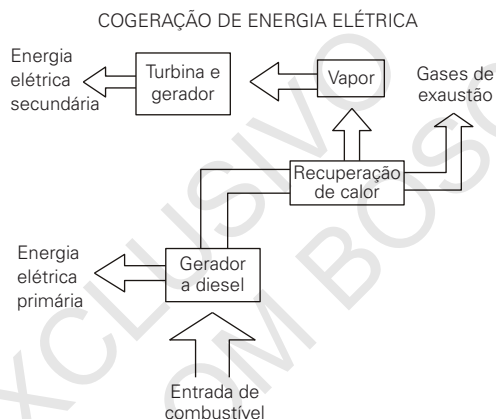
$$\Rightarrow v = \sqrt{1,28 \cdot g \cdot h} = \sqrt{1,28 \cdot 10 \cdot 5} = \sqrt{64} \Rightarrow$$

$$v = 8 \text{ m/s.}$$

6. Enem

C6-H23

No nosso dia a dia, deparamo-nos com muitas tarefas pequenas e problemas que demandam pouca energia para serem resolvidos e, por isso, não consideramos a eficiência energética de nossas ações. No global, isso significa desperdiçar muito calor que poderia ainda ser usado como fonte de energia para outros processos. Em ambientes industriais, esse reaproveitamento é feito por um processo chamado de cogeração. A figura a seguir ilustra um exemplo de cogeração na produção de energia elétrica.



HINRICH, R.A.; KLEINBACH, M. *Energia e meio ambiente*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003. (Adaptado)

Em relação ao processo secundário de aproveitamento de energia ilustrado na figura, a perda global de energia é reduzida por meio da transformação de energia:

- a) térmica em mecânica.
b) mecânica em térmica.
c) química em térmica.
d) química em mecânica.
e) elétrica em luminosa.

Como no processo secundário de aproveitamento de energia, o calor é usado na formação de vapor **aquecido** para **mover** as turbinas, temos, então, transformação de energia **térmica** em energia **mecânica**.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Avaliar possibilidades de geração, uso ou transformação de energia em ambientes específicos, considerando implicações éticas, ambientais, sociais e/ou econômicas.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. UniRV – “Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma” (Antoine Lavoisier). O postulado de Lavoisier é recorrente nas Ciências. Seu postulado para a conservação das massas em uma reação química pode ser interpretado também para a energia mecânica. Sobre os princípios da **Energia Mecânica**, julgue as afirmativas em V para verdadeiras ou F para falsas.

I. () Um estilingue, muito utilizado por crianças, quanto mais esticado, mais energia potencial elástica se armazena; em seguida, essa energia é transferida para a pedra, que adquire energia cinética.

II. () Desprezando-se todas as formas de atrito, podemos afirmar que uma pessoa com massa 70 kg escorregando por um tobogã (brinquedo de parques aquáticos) de 10 m de altura atinge a parte mais baixa do brinquedo com uma velocidade de aproximadamente 14 m/s.

III. () Um automóvel de 1 tonelada a 36 km/h aciona os freios e para 10 m após o acionamento. O módulo da força aplicada pelos freios do automóvel equivale a $5 \cdot 10^3 \text{ N}$.

IV. () A força gravitacional é uma força não conservativa, pois o trabalho realizado por essa força depende da trajetória.

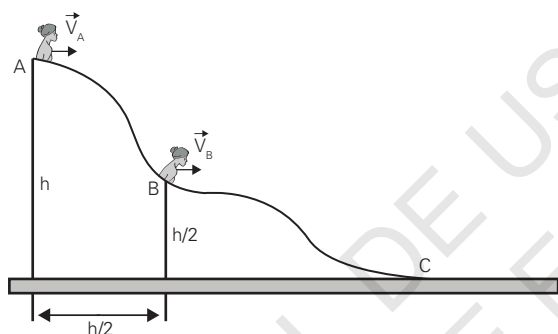
8. Unitau – Um objeto, cujas dimensões são desprezíveis e cuja massa é de 100 g, foi lançado verticalmente para cima a uma velocidade de 20 m/s. Considere o módulo da aceleração gravitacional terrestre como 10 m/s^2 . Sabendo-se que a altura máxima alcançada pelo objeto foi de 18 m, o percentual de energia dissipada pelo atrito no movimento de subida foi de:

- a) 5% d) 20%
 b) 10% e) 25%
 c) 15%

9. UECE – Uma bola é lançada verticalmente para cima, com energia cinética E_c . No ponto mais alto da trajetória, sua energia potencial é E_p . Considere que, do lançamento ao ponto mais alto, o atrito da bola com o ar tenha causado uma dissipação de energia mecânica de $p\%$ em relação ao valor inicial. Assim, p é igual a:

- a) $100 [(E_p/E_c) - 1]$
 b) $100 E_p/E_c$
 c) $100 E_c/E_p$
 d) $100 (1 - E_p/E_c)$

10. IFBA – Num parque aquático uma criança de massa de 20,0 kg é lançada de um tobogã aquático, com velocidade inicial de 2,0 m/s, de uma altura de 10,0 m, onde a gravidade local vale 10 m/s^2 . A água reduz o atrito, de modo que a energia dissipada entre os pontos A e B foi de 40,0 J.



Nestas condições, a velocidade da criança, em m/s, ao passar pelo ponto B será, aproximadamente, igual a:

- a) 25,0 d) 10,0
 b) 20,0 e) 5,0
 c) 15,0

11. Puccamp – Um skatista de massa 60 kg desce, a partir do repouso, uma rampa de 2,0 m de altura e chega ao seu final com velocidade de 6,0 m/s.



Desprezando a massa do skate e considerando a aceleração gravitacional igual a 10 m/s^2 , os trabalhos realizados durante a descida da rampa pela força peso do skatista e pelas forças de resistência ao seu movimento foram, respectivamente:

- a) 120 J e - 800 J.
 b) 1 080 J e - 120 J.
 c) 1 880 J e - 800 J.
 d) 1 200 J e - 1 080 J.
 e) 1 200 J e - 120 J.

12. Unif-se – Helmholtz é um exemplo notável de cientista cujos trabalhos na Física e na Medicina se confundiam. Seu primeiro trabalho científico foi sobre Conservação da Energia, sendo alvo dos seus estudos o metabolismo do músculo.

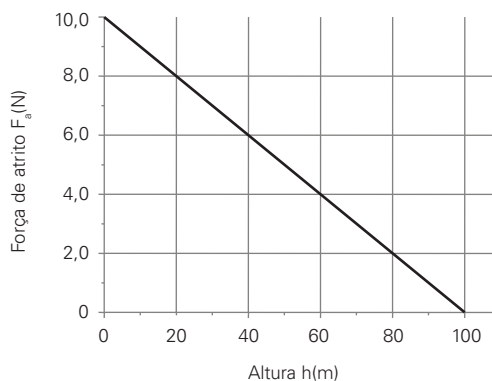
Com base nos conhecimentos sobre a Energia Mecânica, analise as afirmativas e marque com V as verdadeiras e com F as falsas.

- () Embora a energia mecânica seja sempre constante, a quantidade de cada uma de suas componentes pode sofrer variação de tal modo que a energia total possa ser variável.
 () O Princípio da Conservação da Energia implica a conservação da energia mecânica. Esta, por sua vez, é a soma das quantidades de energia cinética e diversas formas de energia potencial (gravitacional e elástica, entre elas).
 () A energia mecânica de um sistema no qual agem somente forças conservativas não se altera com o passar do tempo.
 () A energia cinética é diretamente proporcional à massa e ao módulo da velocidade do objeto.

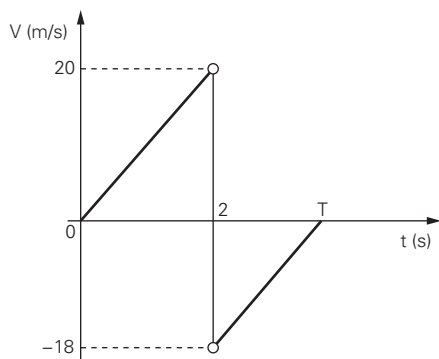
A alternativa que contém a sequência correta, de cima para baixo, é a:

- a) V - F - V - F
 b) V - F - F - V
 c) F - V - F - V
 d) F - F - V - V
 e) F - V - V - F

13. UFPE – Um objeto de 2,0 kg é lançado a partir do solo na direção vertical com uma velocidade inicial tal que ele alcança a altura máxima de 100 m. O gráfico mostra a dependência da força de atrito F_{ar} , entre o objeto e o meio, com a altura. Determine a velocidade inicial do objeto, em m/s.

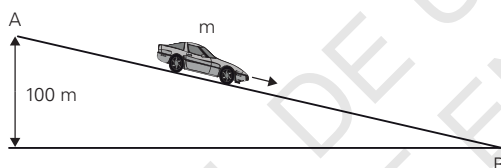


- 14. Unesp** – Uma esfera de borracha de tamanho desprezível é abandonada, de determinada altura, no instante $t = 0$, cai verticalmente e, depois de 2 s, choca-se contra o solo, plano e horizontal. Após a colisão, volta a subir verticalmente, parando novamente, no instante T , em uma posição mais baixa do que aquela de onde partiu. O gráfico representa a velocidade da esfera em função do tempo, considerando desprezível o tempo de contato entre a esfera e o solo.



Desprezando a resistência do ar e adotando $g = 10 \text{ m/s}^2$, calcule a perda percentual de energia mecânica ocorrida nessa colisão e a distância total percorrida pela esfera, em m , desde o instante $t = 0$ até o instante T .

- 15. FGV** – Um carro, de massa 1 000 kg, passa pelo ponto superior A de um trecho retilíneo, mas inclinado, de certa estrada, a uma velocidade de 72 km/h. O carro se desloca no sentido do ponto inferior B, 100 m abaixo de A, e passa por B a uma velocidade de 108 km/h.



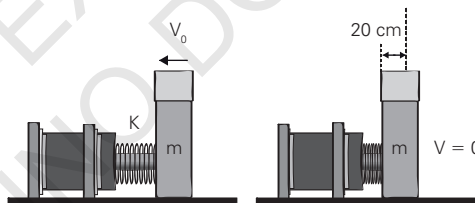
A aceleração da gravidade local é de 10 m/s^2 . O trabalho realizado pelas forças dissipativas sobre o carro em seu deslocamento de A para B vale, em joules:

- a) $1,0 \cdot 10^5$ d) $1,7 \cdot 10^6$
 b) $7,5 \cdot 10^5$ e) $2,5 \cdot 10^6$
 c) $1,0 \cdot 10^6$

- 16. IME** – Um bloco, que se movia à velocidade constante v em uma superfície horizontal sem atrito, sobe em um plano inclinado até atingir uma altura h , permanecendo em seguida em equilíbrio estável. Se a aceleração da gravidade local é g , pode-se afirmar que:

- a) $v^2 = 2 \cdot g \cdot h$
 b) $v^2 > 2 \cdot g \cdot h$
 c) $v^2 < 2 \cdot g \cdot h$
 d) $v^2 = \frac{1}{2} g \cdot h$
 e) $v^2 = 4 \cdot g \cdot h$

- 17. Unifesp** – Em uma bancada horizontal da linha de produção de uma indústria, um amortecedor fixo na bancada tem a função de reduzir a zero a velocidade de uma caixa, para que um trabalhador possa pegá-la. Esse amortecedor contém uma mola horizontal de constante elástica $K = 180 \text{ N/m}$ e um pino acoplado a ela, tendo esse conjunto massa desprezível. A caixa tem massa $m = 3 \text{ kg}$ e escorrega em linha reta sobre a bancada, quando toca o pino do amortecedor com velocidade V_0 .



Sabendo que o coeficiente de atrito entre as superfícies da caixa e da bancada é 0,4, que a compressão máxima sofrida pela mola quando a caixa para é de 20 cm e adotando $g = 10 \text{ m/s}^2$, calcule:

- a) O trabalho, em joules, realizado pela força de atrito que atua sobre a caixa desde o instante em que ela toca o amortecedor até o instante em que ela para.
 b) O módulo da velocidade V_0 da caixa, em m/s, no instante em que ela toca o amortecedor.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C3-H8

A usina termelétrica a carvão é um dos tipos de unidades geradoras de energia elétrica no Brasil. Essas usinas transformam a energia contida no combustível (carvão mineral) em energia elétrica.

Em que sequência ocorrem os processos para realizar essa transformação?

- a) A usina transforma diretamente toda a energia química contida no carvão em energia elétrica, usando reações de fissão em uma célula combustível.
 b) A usina queima o carvão, produzindo energia térmica, que é transformada em energia elétrica por dispositivos denominados transformadores.
 c) A queima do carvão produz energia térmica, que é usada para transformar água em vapor. A energia contida no vapor é transformada em energia

mecânica na turbina e, então, transformada em energia elétrica no gerador.

- d) A queima do carvão produz energia térmica, que é transformada em energia potencial na torre da usina. Essa energia é então transformada em energia elétrica nas células eletrolíticas.
 e) A queima do carvão produz energia térmica, que é usada para aquecer água, transformando-se novamente em energia química, quando a água é decomposta em hidrogênio e oxigênio, gerando energia elétrica.

19. Enem

C6-H20

Bolas de borracha, ao caírem no chão, quicam várias vezes antes que parte da sua energia mecânica seja dissipada. Ao projetar uma bola de futsal, essa dissipação deve ser observada para que a variação na

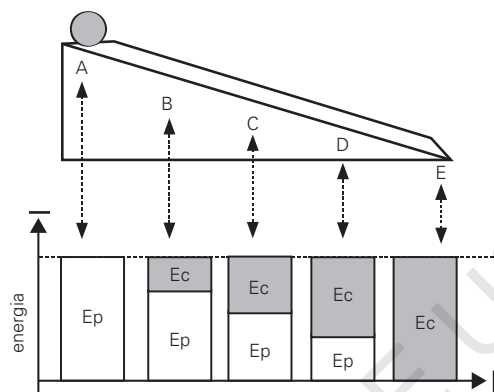
altura máxima atingida após um número de quiques seja adequada às práticas do jogo. Nessa modalidade é importante que ocorra grande variação para um ou dois quiques. Uma bola de massa igual a $0,40\text{ kg}$ é solta verticalmente de uma altura inicial de $1,0\text{ m}$ e perde, a cada choque com o solo, 80% de sua energia mecânica. Considere desprezível a resistência do ar e adote $g = 10\text{ m/s}^2$. O valor da energia mecânica final, em joule, após a bola quicar duas vezes no solo, será igual a:

- 0,16
- 0,80
- 1,60
- 2,56
- 3,20

20. CFTMG

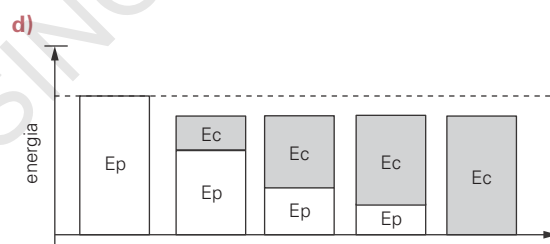
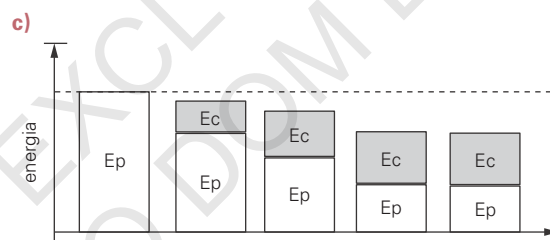
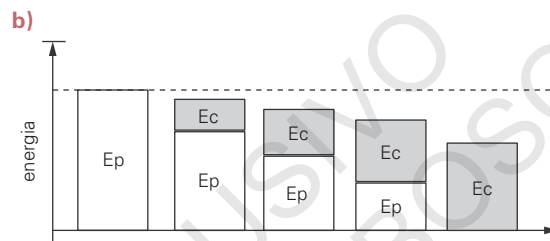
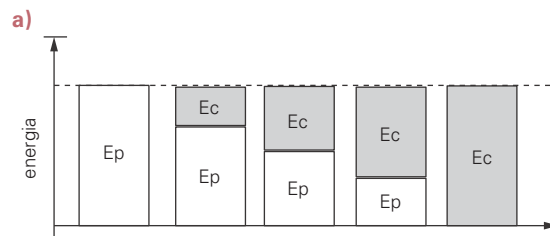
C3-H8

A figura abaixo representa uma esfera liberada do alto de uma rampa sem atrito, que passa pelos pontos A, B, C, D e E na descida. O diagrama abaixo da rampa relaciona os valores das energias cinética (E_c) e potencial (E_p) para os pontos citados.



Se a mesma esfera descer uma outra rampa, com dimensões iguais, na presença de atrito, o diagrama

que melhor representa as energias para os respectivos pontos nessa nova situação é:





© FORPLAYDAY

MATERIAL DE APOIO
SISTEMA DE ENSINO BOSCO

FÍSICA 1B

CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS

39

POTÊNCIA MECÂNICA

- Conceito de potência
- Potência mecânica
- Rendimento

HABILIDADES

- Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.
- Relacionar propriedades físicas, químicas ou biológicas de produtos, sistemas ou procedimentos tecnológicos às finalidades a que se destinam.
- Relacionar informações para compreender manuais de instalação ou utilização de aparelhos, ou sistemas tecnológicos de uso comum.
- Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.
- Comparar sistemas naturais e tecnológicos em termos da potência útil, dissipação e rendimento, identificando as transformações de energia e caracterizando os processos pelos quais elas ocorrem.
- Analisar fenômenos ou resultados de experimentos científicos, organizando e sistematizando informações dadas.



Usina nuclear.

A compreensão da ciência e aplicações tecnológicas da energia nuclear possibilita à humanidade mais uma excelente forma de geração de energia elétrica, recurso indispensável para a vida moderna. Por outro lado, este mesmo conhecimento infelizmente permitiu que duas bombas tenham sido lançadas sobre as cidades de Hiroshima e Nagasaki, durante a Segunda Guerra Mundial. Seja no uso socialmente aceito desta tecnologia ou no caso das bombas atômicas, a transformação de energia se dá de forma semelhante: através da fissão nuclear do Urânio-235 – porém com taxas muito distintas. Enquanto em uma usina termonuclear a reação nuclear ocorre de forma mais lenta e controlada, em uma bomba a energia é liberada quase instantaneamente. Diz-se que esses eventos ocorrem com **potências** distintas.

De forma geral, potência é a grandeza escalar que indica a taxa (velocidade-rapidez) com que uma determinada transformação de energia ocorre.

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

No caso específico da **potência mecânica** (P_{mec}), esta grandeza física indica a taxa com que determinada força realiza trabalho, ou ainda, a taxa com que a energia mecânica de um corpo (ou sistema) é incrementada.

$$P = \frac{\tau}{\Delta t}$$

SI: $[P] = \text{J(joule)} / \text{s(segundo)} = \text{W (watt)}$

Na indústria de motores e compressores são comuns as unidades cv (cavalo-vapor), HP (horsepower) e Btu/h (unidade térmica britânica/hora).

- 1 hp \approx 746 W
- 1 cv \approx 735 W



Nos momentos iniciais de uma corrida, a potência mecânica média, em watt, indica em quantos joules a energia cinética do carro aumenta, em média, a cada segundo.

A obtenção de energia cinética é a função fundamental do motor de um veículo. A expressão abaixo indica sua potência útil média.

$$P_m = \frac{\tau}{\Delta t} = \frac{\Delta E_c}{\Delta t} = \frac{m \cdot v^2}{2 \cdot \Delta t}$$



Ao longo da subida com velocidade constante, o motor elétrico de um elevador transfere energia potencial gravitacional à cabina e ocupantes.

A taxa com que o sistema incrementa sua energia potencial gravitacional define a potência útil média de um elevador, determinada abaixo.

$$P_m = \frac{\tau}{\Delta t} = \frac{\Delta E_{pg}}{\Delta t} = \frac{m \cdot g \cdot h}{\Delta t}$$

A partir da definição de potência mecânica, pode-se realizar o seguinte desenvolvimento:

$$P_m = \frac{\tau}{\Delta t} = \frac{f \cdot d \cdot \cos \theta}{\Delta t} \Rightarrow P_m = F \cdot v_m \cdot \cos \theta$$

$$P_m = F \cdot v_m \cdot \cos \theta$$

Ou, para a potência instantânea:

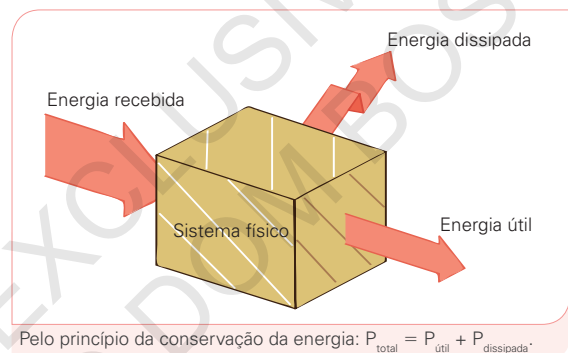
$$P = F \cdot v \cdot \cos \theta$$

Considerando o caso particular (e muito comum) em que a força motriz aplicada pelo operador possua mesmo sentido do movimento, tem-se:

$$\theta = 0^\circ \Rightarrow \cos 0^\circ = 1 \Rightarrow P = F \cdot v$$

Rendimento (η)

Sempre que uma máquina, motor ou organismo converte energia, inevitavelmente uma parcela desta é dissipada para o ambiente, geralmente sob a forma de energia térmica (calor) ou sonora.



O motor de um ventilador converte a energia elétrica (E_T , E_{total}) em energia cinética ($E_{c(útil)}$, $E_{útil}$) de suas pás. Porém, ao colocar a mão sobre o motor é perceptível que uma parcela da energia elétrica, devido ao efeito joule, converteu-se em calor (E_D , $E_{dissipada}$) e dissipou-se para o ambiente.

No motor de um automóvel, nem toda a energia liberada pela combustão do combustível (E_{total}) é convertida em energia cinética ($E_{útil}$) do carro e seus ocupantes, a finalidade desta tecnologia. Uma parcela considerável é perdida para o ambiente ($E_{dissipada}$) sob a forma de energia térmica e sonora.

O rendimento (η), ou eficiência, de uma transformação expressa qual parcela da energia primária (total) é convertida em energia útil, logo:

$$\eta = \frac{E_{útil}}{E_{total}} = \frac{P_{útil}}{P_{total}}$$

Note que por se tratar da razão de duas grandezas com mesma dimensão (e unidade de medida), o rendimento (η) é adimensional e está compreendido no intervalo $0 \leq \eta \leq 1$.

Dizer que um motor elétrico apresenta rendimento mecânico de 70% ($\eta = 0,7$) significa que sua potência útil é 70% de sua potência elétrica de consumo (P_{total}). Ou ainda que, de cada 100 joules de energia consumida da rede elétrica, apenas 70 joules foram convertidos em energia cinética transmitida ao eixo deste motor, os outros 30 joules foram dissipados ao ambiente.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. O coração de um ser humano bombeia sangue para o organismo a uma potência média de 2,25 W. Durante um exercício físico, o coração de um estudante bate à razão de 120 batidas por minuto. Calcule a energia total gasta pelo coração para bombear o sangue durante uma batida.

Sendo de 120 bpm (batimentos por minuto) a frequência cardíaca, tem-se:

$$f = 120 \text{ bpm} = 2 \text{ bps} \rightarrow T = 1/f = 0,5 \text{ s.}$$

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \Rightarrow 2,25 = \frac{\Delta E}{0,5} \Rightarrow \Delta E = 1,125 \text{ J}$$

2. Visando adotar um sistema de reutilização de água, uma indústria testou cinco sistemas com diferentes fluxos de entrada de água suja e fluxos de saída de água purificada.

Sistema	I	II	III	IV	V
Fluxo de entrada (água suja)	45 L/h	40 L/h	40 L/h	20 L/h	20 L/h
Fluxo de saída (água purificada)	15 L/h	10 L/h	5 L/h	10 L/h	5 L/h

Supondo que o custo por litro de água purificada seja o mesmo, indique o sistema que apresenta maior eficiência na purificação de água.

Determina-se inicialmente a eficiência (rendimento) de cada um dos sistemas apresentados:

$$n = \frac{\Phi_{\text{útil}}}{\Phi_{\text{total}}} = \frac{\Phi_{\text{saída}}}{\Phi_{\text{entrada}}}$$

$$n_3 = \frac{5}{40} = \frac{1}{8}$$

$$n_1 = \frac{15}{45} = \frac{1}{3}$$

$$n_4 = \frac{10}{20} = \frac{1}{2}$$

$$n_2 = \frac{10}{40} = \frac{1}{4}$$

$$n_5 = \frac{5}{20} = \frac{1}{4}$$

Desta forma, conclui-se que o sistema 4 é o que apresenta maior eficiência entre os apresentados.

ROTEIRO DE AULA

Potência

Rendimento

Unidade no SI:

$$W = J/s$$

$$\eta = \frac{E_{\text{útil}}}{E_{\text{total}}} = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{total}}}$$

Taxa de transformação de energia.

Taxa com que se realiza

trabalho.

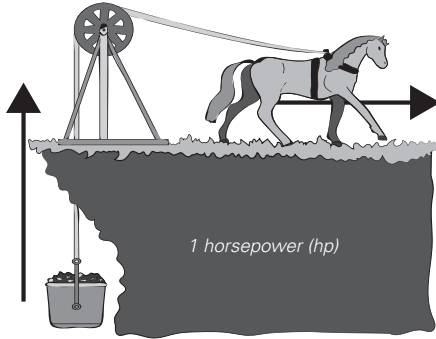
$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

$$P = \frac{\tau}{\Delta t}$$

$$P = F \cdot v \cdot \cos \theta$$

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

- 1. UFRGS** – O termo *horsepower*, abreviado hp, foi inventado por James Watt (1783), durante seu trabalho no desenvolvimento das máquinas a vapor. Ele convencionou que um cavalo, em média, eleva $3,30 \cdot 10^4$ libras de carvão (1 libra $\sim 0,454$ Kg) à altura de um pé ($\sim 0,305$ m) a cada minuto, definindo a potência correspondente como 1 hp (figura abaixo).



Posteriormente, James Watt teve seu nome associado à unidade de potência no Sistema Internacional de Unidades, no qual a potência é expressa em watts (W). Com base nessa associação, determine a relação de conversão entre HP e W.

Da definição de potência:

Dados: $M = 3,3 \cdot 10^4$ lb; $g = 9,8$ m/s²; $h = 1$ pé; $\Delta t = 1$ min = 60 s.

$$P = \frac{\Delta E_p}{\Delta t} = \frac{m \cdot g \cdot h}{\Delta t} = \frac{(3,3 \cdot 10^4 \cdot 0,454 \text{ kg}) \cdot (9,8 \text{ m/s}^2) \cdot (1 \cdot 0,305 \text{ m})}{60 \text{ s}} = \frac{44781,2}{60} \Rightarrow$$

$$P = 746 \text{ W.}$$

$$\therefore 1 \text{ hp} = 746 \text{ W.}$$

- 2. Fuvest** – A potência elétrica instalada no Brasil é 100 GW. Considerando que o equivalente energético do petróleo seja igual a $4 \cdot 10^7$ J/l, que a potência média de radiação solar por unidade de área incidente na superfície terrestre seja igual a 250 W/m² e que a relação de equivalência entre massa m e energia E é expressa por $E = mc^2$, determine

- a área A de superfície terrestre, na qual incide uma potência média de radiação solar equivalente à potência elétrica instalada no Brasil;
- a energia elétrica E_B consumida no Brasil em um ano, supondo que, em média, 80% da potência instalada seja utilizada;
- o volume V de petróleo equivalente à energia elétrica consumida no Brasil em um ano;
- a massa m equivalente à energia elétrica consumida no Brasil em um ano.

Note e adote:

$$1 \text{ GW} = 10^9 \text{ W}; c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}; 1 \text{ ano} = 3 \cdot 10^7 \text{ s}$$

- a) Dados: $P_T = 100 \text{ GW} = 100 \cdot 10^9 \text{ W}$; $I = 250 \text{ W/m}^2$.

$$I = \frac{P_T}{A} \Rightarrow A = \frac{P_T}{I} = \frac{100 \cdot 10^9}{250} \Rightarrow$$

$$A = 4 \cdot 10^8 \text{ m}^2.$$

- b) Dados: $P = 0,8 P_T$; $1 \text{ ano} = 3 \cdot 10^7 \text{ s}$.

$$E_B = P \cdot \Delta t \Rightarrow E_B = 0,8 \cdot P_T \cdot \Delta t = 0,8 \cdot 100 \cdot 10^9 \cdot 3 \cdot 10^7 \Rightarrow$$

$$E_B = 2,4 \cdot 10^{18} \text{ J.}$$

- c) Dado: equivalente energético do petróleo igual a $4 \cdot 10^7$ J/L.

$$\left\{ \begin{array}{l} 4 \cdot 10^7 \text{ J} \rightarrow 1 \text{ L} \\ 2,4 \cdot 10^{18} \text{ J} \rightarrow V \end{array} \right\} \Rightarrow V = \frac{2,4 \cdot 10^{18}}{4 \cdot 10^7} \Rightarrow$$

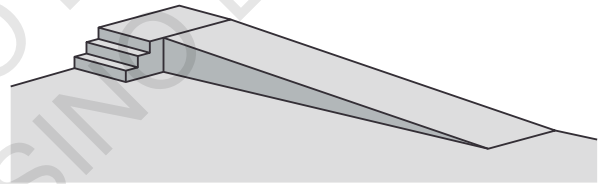
$$V = 6 \cdot 10^{10} \text{ L.}$$

- d) Dado: $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.

$$E_B = m \cdot c^2 \Rightarrow m = \frac{E_B}{c^2} = \frac{2,4 \cdot 10^{18}}{(3 \cdot 10^8)^2} = \frac{2,4 \cdot 10^{18}}{9 \cdot 10^{16}} \Rightarrow$$

$$m = 26,7 \text{ kg.}$$

- 3. CPS** – No mundo de hoje a acessibilidade é um direito e, para garanti-lo, são necessárias algumas adaptações, como as rampas em locais públicos, conforme mostra a figura.



Considere que:

- uma rampa é um exemplo de máquina simples, oferecendo uma vantagem mecânica para quem a utiliza;
- uma pessoa, subindo pela escada ou pela rampa, tem que realizar o mesmo trabalho contra a força-peso;
- essa mesma pessoa suba pela escada em um tempo menor que o necessário para subir pela rampa.

A vantagem do uso da rampa para realizar o trabalho contra a força-peso, em comparação com o uso da escada, se deve ao fato de que, pela rampa,

- a potência empregada é menor.
- b) a potência empregada é maior.**
- a potência empregada é a mesma.
- a energia potencial gravitacional é menor.
- a energia potencial gravitacional é maior.

Sabendo que a potência é dada pelo trabalho sobre o tempo, $P = \frac{T}{t}$,

e sabendo que o trabalho realizado em subir pela rampa ou pela escada é o mesmo e o tempo de quem sobe pela rampa é maior, logo, a potência empregada por quem sobe a rampa é menor.

- 4. Unicamp** – Uma estrela de nêutrons é o objeto astrofísico mais denso que conhecemos, em que uma massa maior que a massa do Sol ocupa uma região do espaço de apenas alguns quilômetros de raio. Essas estrelas realizam um movimento de rotação, emitindo uma grande quantidade de radiação eletromagnética a

uma frequência bem definida. Quando detectamos uma estrela de nêutrons através desse feixe de radiação, damos o nome a esse objeto de Pulsar. Considere que um Pulsar foi detectado e que o total de energia cinética relacionada com seu movimento de rotação equivale a $2 \cdot 10^{42}$ J. Notou-se que, após um ano, o Pulsar perdeu 0,1% de sua energia cinética, principalmente em forma de radiação eletromagnética. A potência irradiada pelo Pulsar vale

(se necessário, utilize a aproximação 1 ano $\sim 3,6 \cdot 10^7$ s.)

- a) $7,2 \cdot 10^{46}$ W.
 b) $2,0 \cdot 10^{39}$ W.
 c) $5,6 \cdot 10^{31}$ W.
 d) $1,8 \cdot 10^{42}$ W.

A energia perdida na forma de radiação (E_r) é:

$$E_r = 0,1\% E = \frac{0,1}{100} \cdot 2 \cdot 10^{42} \Rightarrow E_r = 2 \cdot 10^{39} \text{ J.}$$

Calculando a potência irradiada:

$$P_r = \frac{2 \cdot 10^{39}}{3,6 \cdot 10^7} \Rightarrow P_r = 5,6 \cdot 10^{31} \text{ W.}$$

5. IFCE – Um carro lançado pela indústria brasileira tem, aproximadamente, 1 500 kg e pode acelerar do repouso até uma velocidade de 108 km/h, em 10 s, em um terreno plano. Nesta situação, é correto afirmar-se que a potência deste veículo vale

- a) 135 kW.
 b) 16,875 kW.
 c) 33,75 kW.
 d) 100 kW.
 e) 67,5 kW.

Dados: $m = 1500$ kg; $V_0 = 0$ km/h; $V = 108$ km/h $\Rightarrow V = 30$ m/s; $\Delta t = 10$ s.

$$W = \Delta E_c \Rightarrow W = \frac{1}{2} m \cdot v_f^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_i^2 \Rightarrow W = \frac{1}{2} m \cdot v_f^2 - 0$$

$$P = \frac{W}{\Delta t} \Rightarrow P = \frac{\frac{1}{2} m \cdot v_f^2}{\Delta t} \Rightarrow P = \frac{m \cdot v_f^2}{2 \cdot \Delta t} \Rightarrow P = 67500 \text{ W} \Rightarrow P = 67,5 \text{ kW}$$

6. Enem

C1-H2

Para reciclar um motor de potência elétrica igual a 200 W, um estudante construiu um elevador e verificou que ele foi capaz de erguer uma massa de 80 kg a uma altura de 3 metros durante 1 minuto. Considere a aceleração da gravidade 10,0 m/s².

Qual a eficiência aproximada do sistema para realizar tal tarefa?

- a) 10%
 b) 20%
 c) 40%
 d) 50%
 e) 100%

Trabalho da força-peso realizado pelo motor:

$$\tau = m \cdot g \cdot h = 80 \cdot 10 \cdot 3 \Rightarrow \tau = 2400 \text{ J}$$

Potência necessária para produzir este trabalho por 1 min:

$$P = \frac{\tau}{\Delta t} = \frac{2400}{60} \Rightarrow P = 40 \text{ W}$$

Portanto, a eficiência do sistema é de:

$$\eta = \frac{40}{200} = 0,2$$

$$\therefore \eta = 20\%$$

Competência: Compreender as ciências naturais e as tecnologias a elas associadas como construções humanas, percebendo seus papéis nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social da humanidade.

Habilidade: Associar a solução de problemas de comunicação, transporte, saúde ou outro, com o correspondente desenvolvimento científico e tecnológico.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Unicamp – “Gelo combustível” ou “gelo de fogo” é como são chamados os hidratos de metano que se formam a temperaturas muito baixas, em condições de pressão elevada. São geralmente encontrados em sedimentos do fundo do mar ou sob a camada de solo congelada dos polos. A considerável reserva de gelo combustível no planeta pode se tornar uma promissora fonte de energia alternativa ao petróleo.

Considerando que a combustão completa de certa massa de gelo combustível libera uma quantidade de energia igual a $E = 7,2$ MJ, é correto afirmar que essa energia é capaz de manter aceso um painel de LEDs de potência $P = 2$ kW por um intervalo de tempo igual a

- a) 1 minuto.
 b) 144 s.
 c) 1 hora.
 d) 1 dia.

8. Fuvest – A energia necessária para o funcionamento adequado do corpo humano é obtida a partir de reações químicas de oxidação de substâncias provenientes da alimentação, que produzem aproximadamente 5 kcal por litro de O_2 consumido. Durante uma corrida, um atleta consumiu 3 litros de O_2 por minuto.

Determine

- a) a potência P gerada pelo consumo de oxigênio durante a corrida;
 b) a quantidade de energia E gerada pelo consumo de oxigênio durante 20 minutos da corrida;

c) o volume V de oxigênio consumido por minuto se o atleta estivesse em repouso, considerando que a sua taxa de metabolismo basal é 100 W.

Note e adote:

$$1 \text{ cal} = 4 \text{ J.}$$

9. Enem – Um carro solar é um veículo que utiliza apenas a energia solar para a sua locomoção. Tipicamente, o carro contém um painel fotovoltaico que converte a energia do Sol em energia elétrica que, por sua vez, alimenta um motor elétrico. A imagem mostra o carro solar Tokai Challenger, desenvolvido na Universidade de Tokai, no Japão, e que venceu o World Solar Challenge de 2009, uma corrida internacional de carros solares, tendo atingido uma velocidade média acima de 100 km/h.



Disponível em: <www.physics.hku.hk>. Acesso em: 3 jun. 2015.

Considere uma região plana onde a insolação (energia solar por unidade de tempo e de área que chega à superfície da Terra) seja de $1\,000\text{ W/m}^2$, que o carro solar possua massa de 200 kg e seja construído de forma que o painel fotovoltaico em seu topo tenha uma área de $9,0\text{ m}^2$ e rendimento de 30% .

Desprezando as forças de resistência do ar, o tempo que esse carro solar levaria, a partir do repouso, para atingir a velocidade de 108 km/h é um valor mais próximo de

- a) 1,0 s. d) 33 s.
 b) 4,0 s. e) 300 s.
 c) 10 s.

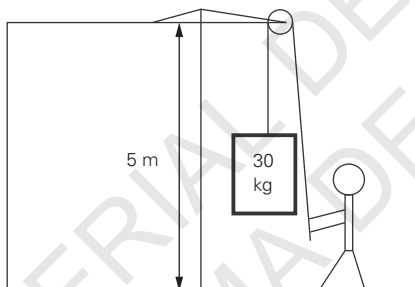
- 10. Fuvest** – No sistema cardiovascular de um ser humano, o coração funciona como uma bomba, com potência média de 10 W , responsável pela circulação sanguínea. Se uma pessoa fizer uma dieta alimentar de $2\,500\text{ kcal}$ diárias, a porcentagem dessa energia utilizada para manter sua circulação sanguínea será, aproximadamente, igual a

Note e adote:

$$1\text{ cal} = 4\text{ J}.$$

- a) 1%
 b) 4%
 c) 9%
 d) 20%
 e) 25%

- 11. Col. Naval** – Em uma construção, um operário utiliza-se de uma roldana e gasta em média 5 segundos para erguer objetos do solo até uma laje, conforme mostra a figura abaixo.

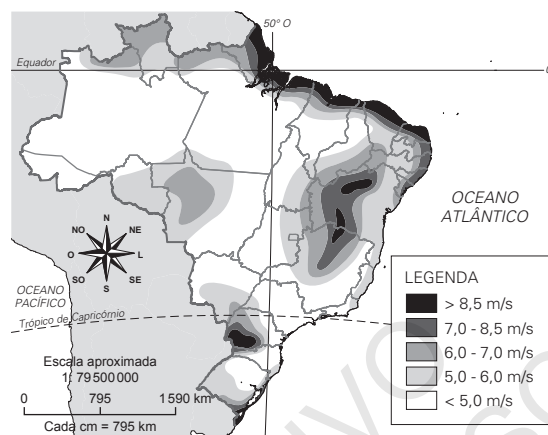


Desprezando os atritos e considerando a gravidade local igual a 10 m/s^2 , pode-se afirmar que a potência média e a força feita pelos braços do operário na execução da tarefa foram, respectivamente, iguais a

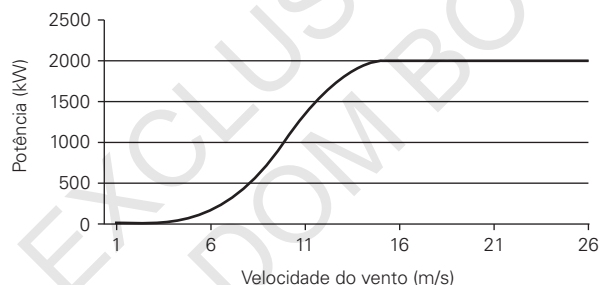
- a) 300 W e 300 N.
 b) 300 W e 150 N.
 c) 300 W e 30 N.
 d) 150 W e 300 N.
 e) 150 W e 150 N.12.

- 12. Fuvest** – A escolha do local para instalação de parques eólicos depende, dentre outros fatores, da velocidade média dos ventos que sopram na região. Examine este mapa das diferentes velocidades médias de ventos no Brasil e, em seguida, o gráfico da potência fornecida por um aerogerador em função da velocidade do vento.

Brasil – velocidade média dos ventos



Centro Brasileiro de Energia Eólica, 1998.



De acordo com as informações fornecidas, esse aerogerador poderia produzir, em um ano, $8,8\text{ GWh}$ de energia, se fosse instalado no

Note e adote:

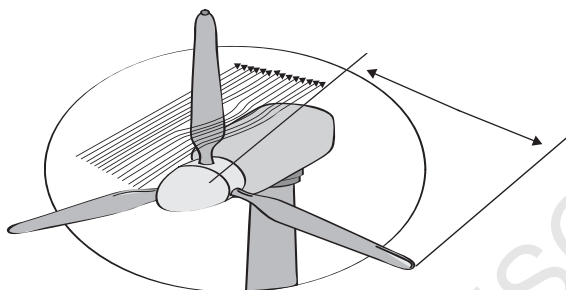
$$\begin{aligned} 1\text{ GW} &= 10^9\text{ W} \\ 1\text{ ano} &= 8800\text{ horas} \end{aligned}$$

- a) noroeste do Pará.
 b) nordeste do Amapá.
 c) sudoeste do Rio Grande do Norte.
 d) sudeste do Tocantins.
 e) leste da Bahia.
- 13. Unesp** – A radiação solar incide sobre o painel coletor de um aquecedor solar de área igual a $2,0\text{ m}^2$ na razão de 600 W/m^2 , em média.
- a) Considerando que em $5,0$ minutos a quantidade da radiação incidente no painel transformada em calor é de $1,8 \cdot 10^5\text{ J}$, calcule o rendimento desse processo.
 b) Considerando que o calor específico da água é igual a $4,0 \cdot 10^3\text{ J/(kg} \cdot ^\circ\text{C)}$ e que 90% do calor transferido para a água são efetivamente utilizados no seu aquecimento, calcule qual deve ser a quantidade de calor transferido para 250 kg de água contida no reservatório do aquecedor para aquecê-la de 20°C até 38°C .
- 14. Cefet** – Um automóvel viaja a uma velocidade constante $v = 90\text{ km/h}$ em uma estrada plana e retilínea. Sabendo-se que a resultante das forças de resistência ao movimento do automóvel tem uma intensidade de $3,0\text{ kN}$, a potência desenvolvida pelo motor é de
- a) 750 W. c) 75 kW.
 b) 270 kW. d) 7,5 kW.

15. Unesp – Um gerador portátil de eletricidade movido a gasolina comum tem um tanque com capacidade de 5,0 L de combustível, o que garante uma autonomia de 8,6 horas de trabalho abastecendo de energia elétrica equipamentos com potência total de 1 kW, ou seja, que consomem, nesse tempo de funcionamento, o total de 8,6 kWh de energia elétrica. Sabendo que a combustão da gasolina comum libera cerca $3,2 \cdot 10^4$ kJ/L e que $1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^3$ kJ a porcentagem da energia liberada na combustão da gasolina que será convertida em energia elétrica é próxima de

- a) 30%.
b) 40%.
c) 20%.
d) 50%.
e) 10%.

16. Unesp – As pás de um gerador eólico de pequeno porte realizam 300 rotações por minuto. A transformação da energia cinética das pás em energia elétrica pelo gerador tem rendimento de 60%, o que resulta na obtenção de 1 500 W de potência elétrica.



Fonte: <<http://ambiente.haw.uol.com.br>>. (Adaptado)

Considerando $\pi = 3$, calcule o módulo da velocidade angular, em rad/s, e da velocidade escalar, em m/s, de um ponto P situado na extremidade de uma das pás, a 1,2 m do centro de rotação. Determine a quantidade de energia cinética, em joules, transferida do vento para as pás do gerador em um minuto. Apresente os cálculos.

17. Unicamp – A energia solar é a única fonte de energia do avião Solar Impulse 2, desenvolvido na École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suíça.

a) Para aproveitar a energia obtida dos raios solares e poder voar tanto à noite quanto de dia, o Solar Impulse 2, de massa aproximada $m = 2000$ kg, voava em alta altitude e velocidade $v_{\text{dia}} = 90$ km/h durante o dia, armazenando energia solar para a noite. Ao anoitecer, o avião descia para altitudes menores e voava a uma velocidade aproximada de $v_{\text{noite}} = 57,6$ km/h. Qual é a variação da energia cinética do avião entre o dia e a noite?

b) As asas e a fuselagem do Solar Impulse 2 são cobertas por 270 m^2 de células solares, cuja eficiência em converter energia solar em energia elétrica é de aproximadamente 25%. O avião tem um conjunto de motores cuja potência total vale $P = 50,0$ kW e baterias que podem armazenar até $E = 164$ kWh de energia total. Suponha que o avião está voando com seus motores a 80% da sua potência máxima e que as baterias estão totalmente descarregadas. Considerando que a intensidade de energia solar que chega até as células solares é de $1,2 \text{ kW/m}^2$, quanto tempo é necessário para carregar totalmente as baterias?

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C5-H17

Os raios X utilizados para diagnósticos médicos são uma radiação ionizante. O efeito das radiações ionizantes em um indivíduo depende basicamente da dose absorvida, do tempo de exposição e da forma da exposição, conforme relacionado no quadro.

Efeitos de uma radioexposição aguda em adulto

Forma	Dose absorvida	Sintomatologia
Infraclínica	menor que 1 J/kg	Ausência de sintomas
Reações gerais leves	de 1 a 2 J/kg	Astenia, náuseas e vômito, de 3h a 6h após a exposição
DL ₅₀	de 4 a 4,5 J/kg	Morte de 50% dos indivíduos irradiados
Pulmonar	de 8 a 9 J/kg	Insuficiência respiratória aguda, coma e morte, de 14h a 36h
Cerebral	maior que 10 J/kg	Morte em poucas horas

Disponível em: <www.cnen.gov.br>. Acesso em: 3 set. 2012. (Adaptado)

Para um técnico radiologista de 90 kg que ficou exposto, por descuido, durante 5 horas a uma fonte de raios X, cuja potência é de 10 mJ/s , a forma do sintoma apresentado, considerando que toda radiação incidente foi absorvida, é

- a) DL₅₀.
b) cerebral.
c) pulmonar.
d) infraclínica.
e) reações gerais leves.

19. Enem

C6-H21

A usina de Itaipu é uma das maiores hidrelétricas do mundo em geração de energia. Com 20 unidades geradoras e 14 000 MW de potência total instalada, apresenta uma queda de 118,4 m e vazão nominal de $690 \text{ m}^3/\text{s}$ por unidade geradora. O cálculo da potência teórica leva em conta a altura da massa de água represada pela barragem, a gravidade local (10 m/s^2) e a densidade da água ($1 000 \text{ kg/m}^3$). A diferença entre a potência teórica e a instalada é a potência não aproveitada.

Disponível em: <www.itaipu.gov.br>. Acesso em: 11 maio 2013. (Adaptado)

Qual é a potência, em MW, não aproveitada em cada unidade geradora de Itaipu?

- a) 0
- b) 1,18
- c) 116,96
- d) 816,96
- e) 13183,04

20. Enem**C5-H18**

Para irrigar sua plantação, um produtor rural construiu um reservatório a 20 metros de altura a partir da barragem de onde será bombeada a água. Para alimentar o motor elétrico das bombas, ele instalou um painel

fotovoltaico. A potência do painel varia de acordo com a incidência solar, chegando a um valor de pico de 80 W ao meio-dia. Porém, entre as 11 horas e 30 minutos e as 12 horas e 30 minutos, disponibiliza uma potência média de 50 W. Considere a aceleração da gravidade igual a 10 m/s^2 e uma eficiência de transferência energética de 100%.

Qual é o volume de água, em litros, bombeado para o reservatório no intervalo de tempo citado?

- a) 150
- b) 250
- c) 450
- d) 900
- e) 1440

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

IMPULSO E QUANTIDADE DE MOVIMENTO

40

BACHTJUB DMITRII/SHUTTERSTOCK



Os efeitos de uma colisão estão diretamente relacionados com as quantidades de movimento dos envolvidos.

Nos módulos anteriores foi visto o quão importantes são as grandezas da dinâmica escalar (energia, trabalho e potência) para a compreensão das alterações do movimento e de diversos fenômenos cotidianos. É importante ressaltar que, por serem escalares, elas não são capazes de descrever todas as qualidades de um sistema. Em uma batida envolvendo dois carros, por exemplo, o fato de os automóveis moverem-se no mesmo sentido (colisão traseira) ou em sentidos opostos (colisão frontal) é determinante nos efeitos deste evento; porém, a energia cinética é uma grandeza incapaz de realizar sozinha esta distinção.

Para isso a Dinâmica impulsiva faz uso de outras duas informações a respeito de um sistema: a **quantidade de movimento** e o **impulso de uma força**.

Quantidade de movimento (\vec{Q})

A quantidade de movimento de um móvel é uma grandeza física vetorial definida pelo produto entre sua massa (m) e velocidade vetorial (\vec{v}).

$$Q = m \cdot v$$

No Sistema Internacional as unidades de medida são: kg, para a massa; m/s, para a velocidade e **k · m/s**, para a quantidade de movimento (também chamada de momento linear ou momentum).

- Quantidade de movimento
- Impulso de uma força

HABILIDADES

- Reconhecer e caracterizar a quantidade de movimento de um móvel.
- Reconhecer e caracterizar o impulso de uma força.
- Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.
- Relacionar propriedades físicas, químicas ou biológicas de produtos, sistemas ou procedimentos tecnológicos às finalidades a que se destinam.
- Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.



É importante perceber que uma bolinha de tênis de mesa pode atingir grandes velocidades, porém apresenta quantidade de movimento de pequena intensidade pela sua pouca massa.

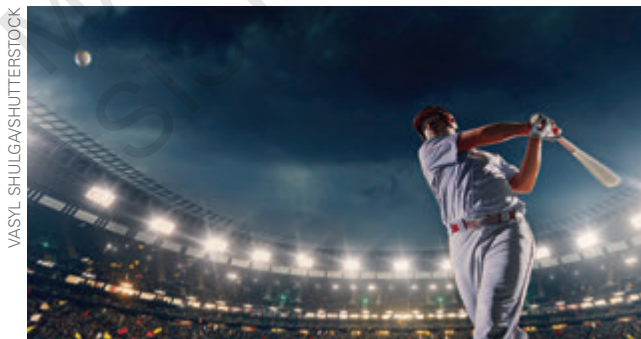
Sendo a massa uma grandeza sempre positiva, a relação apresentada anteriormente indica que os vetores \vec{Q} e \vec{v} possuem, a cada instante, sempre a **mesma direção e sentido**.

IMPULSO DE UMA FORÇA (\vec{I}_F)

O termo cotidiano que melhor se aplica à definição da grandeza **Impulso de uma força** é o “empurrão”. No momento da cortada em uma partida de vôlei, o jogador golpeia a bola com uma força de grande intensidade, porém atua sobre ela por curto intervalo de tempo. Já no arremesso de um jogo de basquete ou boliche, a bola é impulsionada com uma força menos intensa que age por mais tempo. O impulso de uma força (\vec{I}) leva em consideração a duração (Δt) da interação para avaliar suas consequências.



No curling, durante o arremesso, o atleta aplica um impulso sobre a pedra.



No baseball, a quantidade de movimento da bola é alterada através do impulso aplicado pelo taco.



Intensidade, direção e sentido são importantes no momento do chute, quando o jogador aplica um impulso sobre a bola.

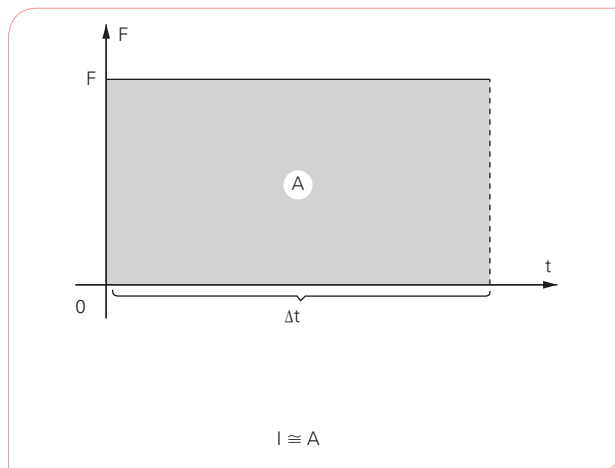
Para **forças de intensidade constante**, o impulso de uma força é a grandeza física vetorial definida pelo produto da força \vec{F} e o intervalo de tempo (Δt) em que se deu a interação.

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

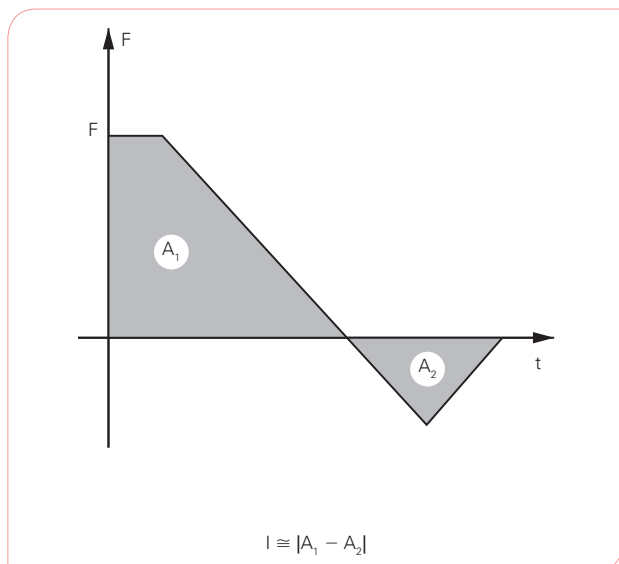
No Sistema Internacional as unidades de medida são: N, para a força; s, para o intervalo de tempo e N·s (newton-segundo), para o Impulso.

Sendo o intervalo de tempo de uma grandeza sempre positiva, a relação apresentada anteriormente indica que os vetores \vec{I}_F e \vec{F} possuem, a cada instante, sempre a **mesma direção e sentido**.

No diagrama força versus tempo, o impulso possui o mesmo valor numérico da área sob o gráfico.



Quando se tratar de uma força com intensidade variável ao longo do tempo, deve-se determinar o impulso pelo método gráfico, a partir da área compreendida entre a curva e o eixo das abscissas (tempo).



É importante notar que os valores negativos associados à força qualificada no gráfico ao lado é um indicador de sentido, ou seja, o impulso aplicado pela força nos trechos (A_1 e A_2) possuem sentidos opostos e, portanto, o impulso total é determinado pela subtração de seus módulos.

As unidades de medida das grandezas quantidade de movimento e impulso são equivalentes e você perceberá, no próximo módulo, que estas grandezas se relacionam de alguma forma.

$$N \cdot s = \left(\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \cdot \text{s} = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

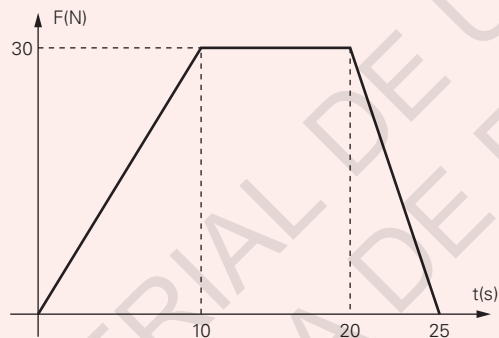
EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. Sistema Dom Bosco – Uma ema pesa aproximadamente 360 N e consegue desenvolver uma velocidade de 60 km/h. Nestas condições, determine, em $\text{kg} \cdot \text{m/s}$, sua quantidade de movimento.

Dado: campo gravitacional: $g \approx 10 \text{ N/kg}$

$$Q = m \cdot v = 36 \text{ kg} \cdot \frac{60}{3,6} \text{ m/s} = 600 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

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



Determine a intensidade da força constante que produz o mesmo impulso que a força representada no gráfico durante o intervalo de tempo de 0 a 25 s.

Inicialmente determina-se o impulso aplicado pela força representada no gráfico:

$$I = A_{\text{TRAPEZIO}}$$

$$I = \frac{(25 + 10) \cdot 30}{2} = 525 \text{ N} \cdot \text{s}$$

Calcula-se agora a força constante que produz o mesmo impulso.

$$I = F \cdot \Delta t$$

$$525 = F \cdot 25$$

$$F = 21 \text{ N}$$

ROTEIRO DE AULA

QUANTIDADE DE MOVIMENTO

Depende _____
da massa e velocidade do móvel

Impulso de uma força

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

Depende da força e
duração da interação

Quantidade de movimento
e velocidade possuem
_____ mesma direção e sentido.

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

O Impulso e a Força a ele
associado possuem
_____ mesma direção e sentido.

No gráfico força versus
tempo, o impulso
_____ é numericamente igual à área sob
_____ a curva.

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. IFSC – Um ciclista está pedalando sua bicicleta em um trecho retilíneo de uma ciclovia, em uma famosa avenida de Florianópolis. No instante $t = 0$, a velocidade do ciclista é 18 km/h no sentido positivo da trajetória, isto é, eixo 0x, e sua posição é 20 m em relação a uma parada de ônibus. A aceleração do ciclista é $a_x = 4,0 \text{ m/s}^2$. Considerando o conjunto ciclista e bicicleta como um ponto material e com massa de 70 kg, indique a soma da(s) proposição(ões) CORRETA(S).

- 01)** O movimento da bicicleta é retilíneo e uniforme.
02) A expressão matemática que define a posição da bicicleta é $x = 20 + 5t + 4t^2$.
04) A força resultante a qual o conjunto está sujeito é 280 N.
08) O trabalho total realizado sobre o conjunto, no intervalo de tempo de 0 a 2s, foi de 3600 J.
16) A quantidade de movimento do conjunto no instante 2 s foi de 910 kg · m/s.
32) O impulso sofrido pelo conjunto no intervalo de tempo de 0 a 2s foi de 910 Ns.

20 (04 + 16).

[01] Falsa. O movimento é retilíneo e uniformemente variado devido à aceleração constante.

[02] Falsa. A expressão matemática que define a posição da bicicleta com o tempo é $x = 20 + 5t + 2t^2$.

[04] Verdadeira. Pela 2ª Lei de Newton, $F_R = m \cdot a$, substituindo a massa e a aceleração resulta: $F_R = 70 \cdot 4 = 280 \text{ N}$.

[08] Falsa. O trabalho total em 2 s é calculado com o deslocamento neste intervalo de tempo multiplicado pela força resultante $x = 20 + 5t + 2t^2$

Em 2 s: $x \cdot (2s) = 20 + 5 \cdot 2 + 2 \cdot 2^2 = 38 \text{ m}$. O deslocamento foi de $d = 38 - 20 = 18 \text{ m}$. O trabalho neste intervalo é: $W = F_R \cdot d = 280 \cdot 18 = 5040 \text{ J}$

[16] Verdadeira. A quantidade de movimento linear é o produto da massa pela velocidade instantânea: $Q = m \cdot v$, mas a velocidade em 2 s é dada por: $v = v_0 + a \cdot t \Rightarrow v = 5 + 4 \cdot t$

$v(2s) = 5 + 4 \cdot 2 = 13 \text{ m/s}$

Logo, $Q = 70 \cdot 13 = 910 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

[32] Falsa. O impulso sofrido em 2 s é dado pela variação da quantidade de movimento.

$I = \Delta Q = Q_f - Q_i$

$Q_i = 70 \cdot 5 = 350 \text{ Ns}$

$I = Q_f - Q_i = 910 - 350 = 560 \text{ Ns}$

2. Uerj – Em uma reportagem sobre as savanas africanas, foram apresentadas informações acerca da massa e da velocidade de elefantes e leões, destacadas na tabela abaixo.

	Massa (kg)	Velocidade (km/h)
elefante	4 860	40,0
leão	200	81,0

Determine a razão entre a quantidade de movimento do elefante e a do leão.

$$Q = m \cdot v$$

$$\frac{Q_e}{Q_l} = \frac{4860 \cdot 40}{200 \cdot 81}$$

$$\frac{Q_e}{Q_l} = 12$$

3. UECE – Considerando-se o módulo do momento linear, p , de um carro de massa m , a energia cinética do carro pode ser corretamente escrita como

a) $\frac{p^2}{2 \cdot m}$ b) $\frac{p}{m}$ c) $\frac{p}{2 \cdot m}$ d) $\frac{m}{2 \cdot p^2}$

A velocidade do carro é dada por:

$$p = m \cdot v \Rightarrow v = \frac{p}{m}$$

Portanto, a energia cinética poderá ser escrita como:

$$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{m}{2} \left(\frac{p}{m} \right)^2$$

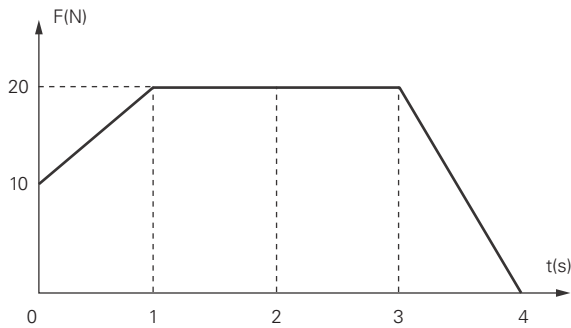
$$\therefore E_c = \frac{p^2}{2 \cdot m}$$

4. UEL – Se os módulos das quantidades de movimento de dois corpos são iguais, necessariamente eles possuem:

- a) mesma energia cinética.
b) velocidade de mesmo módulo.
c) módulos das velocidades proporcionais às suas massas.
d) mesma massa e velocidades de mesmo módulo.
e) módulos das velocidades inversamente proporcionais às suas massas.

Sendo o produto $m \cdot v$ é constante, conclui-se que massa (m) e velocidade (v) são grandezas inversamente proporcionais em corpos com quantidades de movimento de mesma intensidade.

5. Cefet – O gráfico abaixo mostra a intensidade de uma força aplicada a um corpo no intervalo de tempo de 0 a 4s.



O impulso da força, no intervalo especificado, vale

- a) 95 kg · m/s.
- b) 85 kg · m/s.
- c) 65 kg · m/s.
- d) 60 kg · m/s.

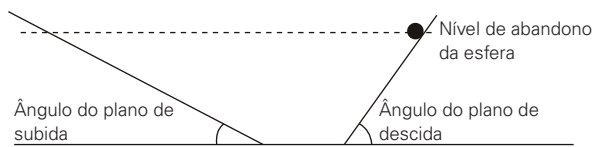
Sabemos que no gráfico da força em função do tempo a intensidade do impulso é numericamente igual à “área” entre a linha do gráfico e o eixo dos tempos. Assim:

$$I_f = \frac{20+10}{2} \cdot 1 + \frac{(4-1)+(3-1)}{2} \cdot 20 = 15 + 50 \Rightarrow I_f = 65 \text{ N} \cdot \text{s}$$

6. Enem

C1-H3

Para entender os movimentos dos corpos, Galileu discutiu o movimento de uma esfera de metal em dois planos inclinados sem atritos e com a possibilidade de se alterarem os ângulos de inclinação, conforme mostra a figura. Na descrição do experimento, quando a esfera de metal é abandonada para descer um plano inclinado de um determinado nível, ela sempre atinge, no plano ascendente, no máximo, um nível igual àquele em que foi abandonada.



Galileu e o plano inclinado. Disponível em: <www.fisica.ufpb.br>. Acesso em: 21 ago. 2012. (Adaptado)

Se o ângulo de inclinação do plano de subida for reduzido a zero, a esfera

- a) manterá sua velocidade constante, pois o impulso resultante sobre ela será nulo.
- b) manterá sua velocidade constante, pois o impulso da descida continuará a empurrá-la.
- c) diminuirá gradativamente a sua velocidade, pois não haverá mais impulso para empurrá-la.
- d) diminuirá gradativamente a sua velocidade, pois o impulso resultante será contrário ao seu movimento.
- e) aumentará gradativamente a sua velocidade, pois não haverá nenhum impulso contrário ao seu movimento.

Se o ângulo de inclinação do plano de subida for reduzido a zero, a esfera

passa a se deslocar num plano horizontal. Sendo desprezíveis as forças

dissipativas, a resultante das forças sobre ela é nula, portanto o impulso

da resultante também é nulo, ocorrendo conservação da quantidade

de movimento. Então, por inércia, a velocidade se mantém constante.

Competência: Compreender as ciências naturais e as tecnologias a

elas associadas como construções humanas, percebendo seus papéis

nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social

da humanidade.

Habilidade: Confrontar interpretações científicas com interpretações

baseadas no senso comum, ao longo do tempo ou em diferentes culturas.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. UECE – Considere uma esfera muito pequena, de massa 1 kg, deslocando-se a uma velocidade de 2 m/s, sem girar, durante 3 s. Nesse intervalo de tempo, o momento linear dessa partícula é

- a) 2 kg · m/s.
- b) 3 s.
- c) 6 kg · m/s.
- d) 6 m.

8. PUC – Um jogador de tênis, durante o saque, lança a bola verticalmente para cima. Ao atingir sua altura máxima, a bola é golpeada pela raquete de tênis, e sai com velocidade de 108 km/h na direção horizontal.

Calcule, em kg m/s, o módulo da variação de momento linear da bola entre os instantes logo após e logo antes de ser golpeada pela raquete.

Dado: Considere a massa da bola de tênis igual a 50 g.

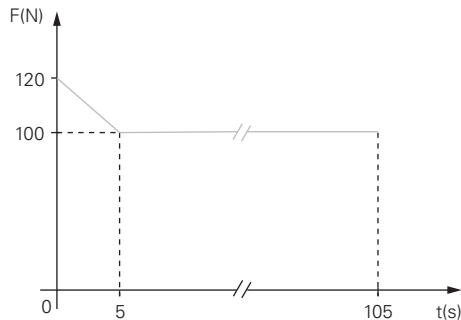
- a) 1,5
- b) 5,4
- c) 54
- d) 1 500
- e) 5 400

9. Considere uma esfera metálica em queda livre e responda:

- a) O módulo da quantidade de movimento da esfera aumenta, diminui ou permanece constante durante a queda?
- b) O impulso aplicado pela força-peso da esfera é diretamente proporcional ao tempo ou à altura da queda?
- c) O trabalho realizado pela força-peso da esfera é diretamente proporcional ao tempo ou à altura da queda?
- d) A energia cinética da esfera é diretamente proporcional à velocidade ou ao deslocamento da esfera?

10. Uerj – Um esquiador, com 70 kg de massa, colide elasticamente contra uma árvore a uma velocidade de 72 km/h. Calcule, em unidades do SI, o momento linear e a energia cinética do esquiador no instante da colisão.

11. Uerj – Observe o gráfico a seguir, que indica a força exercida por uma máquina em função do tempo.



Admitindo que não há perdas no sistema, estime, em $\text{N} \cdot \text{s}$, a impulsão fornecida pela máquina no intervalo entre 5 e 105 segundos.

12. UECE – No instante em que uma bola de 0,5 kg atinge o ponto mais alto, após ter sido lançada verticalmente para cima com velocidade inicial de 10 m/s, seu momento linear tem módulo

- a) 0,5. b) 10. c) 0. d) 5.

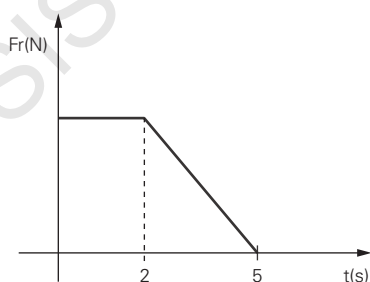
13. Cefet – Uma bola de futebol de massa $m = 0,20 \text{ kg}$ é chutada contra a parede a uma velocidade de 5,0 m/s. Após o choque, ela volta a 4,0 m/s. A variação da quantidade de movimento da bola durante o choque, em $\text{kg} \cdot \text{m/s}$, é igual a

- a) 0,2. b) 1,0 c) 1,8 d) 2,6

14. UECE – Uma esfera de massa m é lançada do solo verticalmente para cima, com velocidade inicial v , em módulo, e atinge o solo 1 s depois. Desprezando todos os atritos, a variação no momento linear entre o instante do lançamento e o instante imediatamente antes do retorno ao solo é, em módulo,

- a) $2 \cdot m \cdot v$ b) $m \cdot v$ c) $m \cdot \frac{v^2}{2}$ d) $\frac{m \cdot v}{2}$

15. Um carro de 1340 kg se locomove sobre uma pista retilínea de testes. O gráfico abaixo, de força resultante (F_r) x tempo (t), analisa o seu desempenho. Utilizando-o, marque a alternativa que apresenta apenas a(s) proposição(ões) CORRETA(S). (Desconsidere a perda de massa de combustível do automóvel durante a análise).

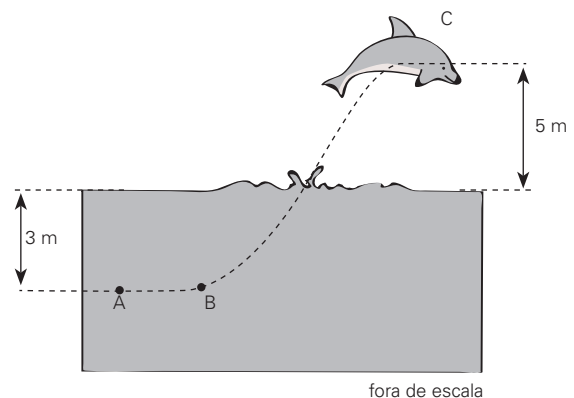


- I. A área deste gráfico nos informa o deslocamento do carro.
 - II. A área nos informa o Impulso, que é uma grandeza física escalar.
 - III. Durante os dois primeiros segundos o carro está em MRU.
 - IV. Durante os cinco segundos, a velocidade do carro aumenta.
- a) Apenas a I.
b) II e III.
c) III e IV.
d) Apenas a IV.
e) Nenhuma das proposições está correta.

16. UFPR – Um adolescente inspirado pelos jogos olímpicos no Brasil está aprendendo a modalidade de arremesso de martelo. O martelo consiste em uma esfera metálica presa a um cabo que possui uma alça na outra extremidade para o atleta segurar. O atleta deve girar o martelo em alta velocidade e soltar a alça permitindo que a esfera possa continuar seu movimento na direção tangente à trajetória circular. Suponha que o atleta aprendiz esteja sobre uma plataforma e gira o martelo num círculo horizontal de raio 2 m e a uma altura de 3,2 m do solo no momento que faz o arremesso. A esfera cai no solo a uma distância horizontal de 32 m do ponto onde foi arremessada. Despreze a resistência do ar. Considere a massa da esfera igual a 4 kg e a aceleração gravitacional igual a 10 m/s^2 . Com base nessas informações, calcule:

- a) a velocidade tangencial da esfera no instante em que ela é arremessada.
- b) a aceleração centrípeta sobre a esfera no momento em que ela é solta.
- c) a quantidade de movimento (momento linear) e a energia cinética da esfera no instante em que ela é lançada.

17. Unesp – Ótimos nadadores, os golfinhos conseguem saltar até 5 m acima do nível da água do mar. Considere que um golfinho de 100 kg, inicialmente em repouso no ponto A, situado 3 m abaixo da linha da água do mar, acione suas nadadeiras e atinja, no ponto B, determinada velocidade, quando inicia o seu movimento ascendente e seu centro de massa descreve a trajetória indicada na figura pela linha tracejada. Ao sair da água, seu centro de massa alcança o ponto C, a uma altura de 5 m acima da linha da água, com módulo da velocidade igual a $4\sqrt{10} \text{ m/s}$, conforme a figura.



fora de escala

Considere que, no trajeto de B para C, o golfinho perdeu 20% da energia cinética que tinha ao chegar ao ponto B, devido à resistência imposta pela água ao seu movimento.

Desprezando a resistência do ar sobre o golfinho fora da água, a velocidade da água do mar e adotando

$g = 10 \text{ m/s}^2$, é correto afirmar que o módulo da quantidade de movimento adquirida pelo golfinho no ponto B, em $\text{kg} \cdot \text{m/s}$, é igual a

- a) 1 800
b) 2 000
c) 1 600
d) 1 000
e) 800

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C6-H20

Uma pessoa necessita da força de atrito em seus pés para se deslocar sobre uma superfície. Logo, uma pessoa que sobe uma rampa em linha reta será auxiliada pela força de atrito exercida pelo chão em seus pés.

Em relação ao movimento dessa pessoa, quais são a direção e o sentido da força de atrito mencionada no texto?

- a) Perpendicular ao plano e no mesmo sentido do movimento.
b) Paralelo ao plano e no sentido contrário ao movimento.
c) Paralelo ao plano e no mesmo sentido do movimento.
d) Horizontal e no mesmo sentido do movimento.
e) Vertical e sentido para cima.

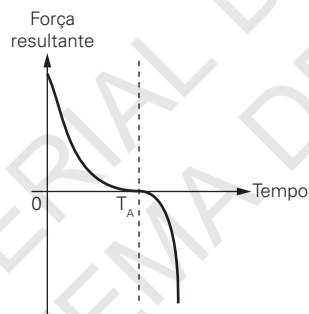
19. Enem

C6-H20

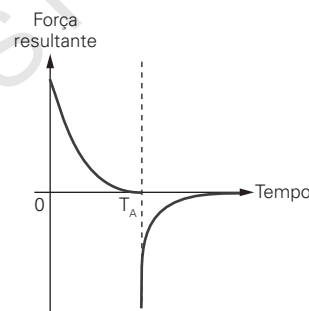
Em um dia sem vento, ao saltar de um avião, um paraquedista cai verticalmente até atingir a velocidade limite. No instante em que o paraquedas é aberto (instante T_A), ocorre a diminuição de sua velocidade de queda. Algum tempo após a abertura do paraquedas, ele passa a ter velocidade de queda constante, que possibilita sua aterrissagem em segurança.

Que gráfico representa a força resultante sobre o paraquedista, durante o seu movimento de queda?

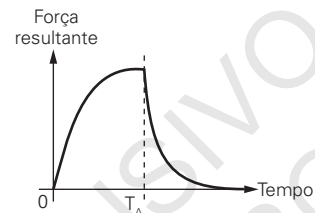
a)



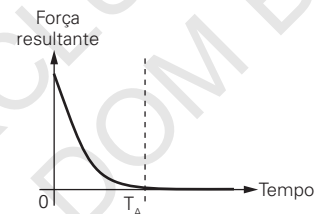
b)



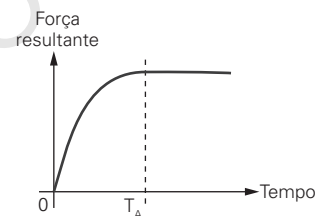
c)



d)



e)



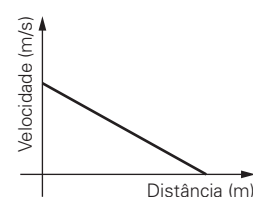
20. Enem

C6-H20

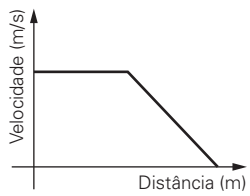
Dois veículos que trafegam com velocidade constante em uma estrada, na mesma direção e sentido, devem manter entre si uma distância mínima. Isso porque o movimento de um veículo, até que ele pare totalmente, ocorre em duas etapas, a partir do momento em que o motorista detecta um problema que exige uma freada brusca. A primeira etapa é associada à distância que o veículo percorre entre o intervalo de tempo da detecção do problema e o acionamento dos freios. Já a segunda se relaciona com a distância que o automóvel percorre enquanto os freios agem com desaceleração constante.

Considerando a situação descrita, qual esboço gráfico representa a velocidade do automóvel em relação à distância percorrida até parar totalmente?

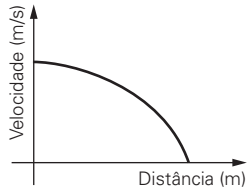
a)



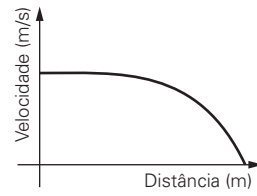
b)



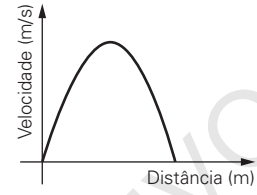
c)



d)



e)



MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

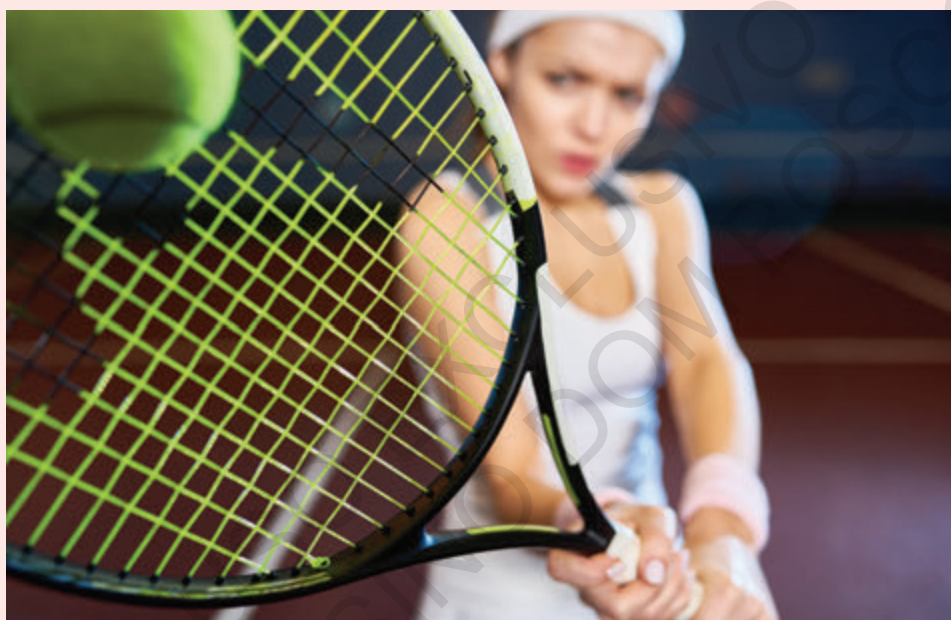
41

TEOREMA DO IMPULSO

- Teorema do impulso

HABILIDADES

- Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.
- Relacionar propriedades físicas, químicas ou biológicas de produtos, sistemas ou procedimentos tecnológicos às finalidades a que se destinam.
- Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.
- Analisar fenômenos ou resultados de experimentos científicos, organizando e sistematizando informações dadas.
- Utilizar leis físicas para interpretar movimentos e analisar procedimentos a fim de alterá-los ou avaliá-los, em situações de interação física entre veículos, corpos celestes e outros objetos.



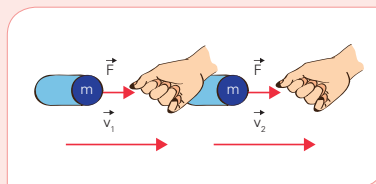
Na colisão com a raquete, a quantidade de movimento da bola de tênis varia em virtude do impulso que ela recebe.

No módulo anterior, foram apresentadas duas grandezas físicas que nos auxiliam na melhor compreensão e descrição dos movimentos e das interações que ocorrem na natureza: quantidade de movimento e impulso.

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

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

Neste momento, a discussão gira em torno da relação entre elas. De que forma a aplicação de impulso produz alteração na quantidade de movimento de um corpo?



Considere um corpo de massa m sob a ação de diversas forças cuja resultante \vec{F}_R é constante e atua durante determinado intervalo de tempo Δt . Por conta do impulso aplicado pela força resultante, sua velocidade varia de \vec{v}_0 para \vec{v}_f e, conseqüentemente, sua quantidade de movimento sofre uma variação $\Delta \vec{Q}$. Aplicando o Princípio Fundamental da Dinâmica, tem-se:

$$\vec{F}_R = m \cdot \vec{a}$$

$$\vec{F}_R = m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

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

$$\vec{F}_R \cdot \Delta t = m \cdot (\vec{v}_f - \vec{v}_0)$$

$$\vec{F}_R \cdot \Delta t = m \cdot \vec{v}_f - m \cdot \vec{v}_0$$

$$\vec{I}_R = \vec{Q}_f - \vec{Q}_0 = \Delta \vec{Q}$$

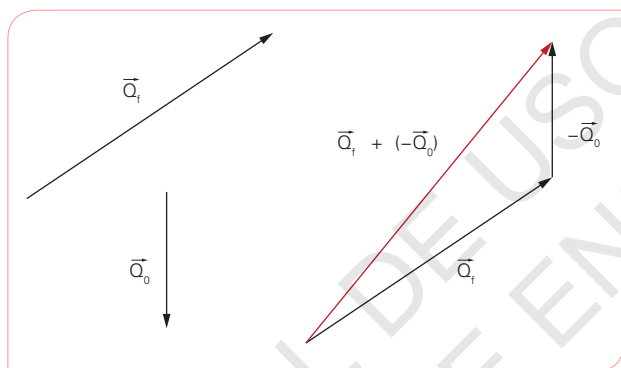
$$\vec{I}_R = \vec{Q}_f - \vec{Q}_0 = \Delta \vec{Q}$$

O impulso da força resultante é igual à variação da quantidade de movimento do corpo.

Importante! Sendo a quantidade de movimento uma grandeza vetorial, deve-se determinar sua variação graficamente por meio de uma operação **vetorial**, conforme indicado a seguir:

$$\Delta \vec{Q} = \vec{Q}_f - \vec{Q}_0 \rightarrow \Delta \vec{Q} = \vec{Q}_f + (-\vec{Q}_0)$$

$$\Delta \vec{Q} = \vec{Q}_f + (-\vec{Q}_0)$$



É importante notar mais uma relação de causa e consequência presente na natureza. O impulso aplicado por uma força resultante é a causa que possui como efeito a alteração da quantidade de movimento de um corpo. A igualdade a seguir indica que os vetores \vec{I}_R e $\Delta \vec{Q}$ possuem mesma direção e mesmo sentido.

$$\vec{I}_R = \Delta \vec{Q}$$

O teorema demonstrado é uma ferramenta importante para a compreensão dos diversos sistemas e processos de amortecimento e de suas aplicações tecnológicas. Tomemos como exemplo o uso de *airbags*: a bolsa de ar atua de forma que os ocupantes de um veículo tenham seus movimentos alterados por forças de menor intensidade que agem durante interações mais prolongadas.

$$\vec{I}_R = \vec{F}_R \cdot \Delta t = \Delta \vec{Q}$$

$$\downarrow \vec{F}_R \cdot \Delta t \uparrow = \Delta \vec{Q}$$



O *airbag* amortece o impacto, aumentando o tempo de interação entre o ocupante e o volante do veículo.

Na tabela a seguir, note que, para o mesmo impulso aplicado, força e tempo são grandezas inversamente proporcionais.

$$\vec{I}_R = \downarrow \vec{F}_R \cdot \Delta t \uparrow = \text{constante}$$

F (N)	Δt (s)	I (N · s)
4	10	40
8	5	40
20	2	40
40	1	40
400	0,1	40
4 000	0,01	40



A corda elástica do *bungee jumping* aumenta o tempo de frenagem e, dessa forma, o praticante fica sujeito a acelerações e forças menos intensas.



Uma sonda espacial que viaja livre da ação de forças não necessita de propulsão para seguir em movimento retilíneo uniforme.

$$\vec{I}_R = \Delta \vec{Q} = \vec{0} \Leftrightarrow \vec{Q} = \text{constante}$$

É possível fazer uma analogia entre alguns conceitos da dinâmica escalar com esses da dinâmica impulsiva. Analise a tabela a seguir:

Dinâmica escalar	Dinâmica impulsiva (vetorial)
Grandeza associada ao movimento	Grandeza associada ao movimento
$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2}$	$\vec{Q} = m \cdot \vec{v}$
Relaciona força com deslocamento	Relaciona força com duração (tempo)
$\tau = F \cdot d \cdot \cos \theta$	$\vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t$
Unidades de medida	Unidades de medida
$[\tau] = [E] = \text{J (joule)}$	$[Q] = [I] = \text{N} \cdot \text{m} = \text{kg} \cdot \text{m/s}$
Teorema da energia cinética	Teorema do impulso
$\tau_R = \Delta E_c$	$\vec{I}_R = \Delta \vec{Q}$

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. Unesp – Uma nave espacial de 1 000 kg se movimenta, livre de quaisquer forças, com velocidade constante de 1 m/s, em relação a um referencial inercial. Necessitando pará-la, o centro de controle decidiu acionar um dos motores auxiliares, que fornecerá uma força constante de 200 N, na mesma direção, mas em sentido contrário ao do movimento. Indique por quanto tempo esse motor deverá ser programado para funcionar.

Resolução

Orientando a trajetória para o mesmo sentido do movimento inicial da nave e aplicando o teorema do impulso, tem-se:

$$I_R = Q_f - Q_i \Rightarrow F_R \cdot \Delta t = Q_f - Q_i$$

$$-200 \cdot \Delta t = 0 - 1000 \cdot 1$$

$$\Delta t = 5 \text{ s}$$

2. UFSCar (adaptado)

O *airbag* tem provado salvar vidas. De acessório opcional, é agora um dispositivo de segurança que deverá estar presente em todos os automóveis. Mas essa inovação tecnológica não é privilégio da humanidade. Há séculos, a natureza emprega os mesmos princípios mecânicos em uma ave, o atobá, mais conhecido como mergulhão.



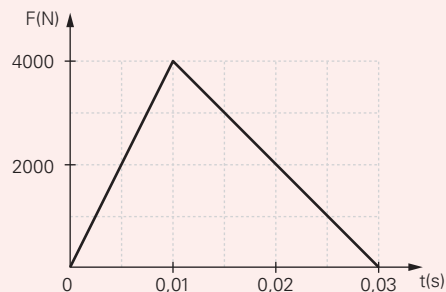
Em voo, após ter avistado um cardume, essa ave fecha suas asas e se atira verticalmente em direção às águas,

atingindo-as com velocidades próximas a 150 km/h. Assim como os carros modernos, o atobá possui um pequeno *airbag* natural.

Trata-se de uma bolsa em seu peito, que é inflada com ar momentos antes do choque violento com a água.

Animal Planet/documentários. (Adaptado)

- a) Em alguns carros uma bolsa de ar é utilizada como *airbag* para que o motorista em uma freada brusca não colida com o volante. Considere um choque sem bolsa de ar e outro com bolsa de ar. Como se comportam qualitativamente o impulso e o tempo de interação em cada um desses choques?
- b) Suponha que, durante o choque do atobá contra a água, a força de interação tenha as intensidades representadas pelo gráfico:



Determine qual seria o impulso sofrido pela ave e a intensidade da força média (se o choque não envolvesse a variação de intensidades de força) no processo de entrada na água.

Resolução

a) Nas duas situações citadas, a massa do corpo e sua variação de velocidade permanecem as mesmas; logo, o impulso será o mesmo nas duas situações. Quando é utilizada a bolsa de ar, a resultante aplicada no corpo será menos intensa e o intervalo de tempo será maior.

$$b) I = A_{\text{Triângulo}}$$

$$I = \frac{4000 \cdot 0,03}{2} = 60 \text{ Ns}$$

ROTEIRO DE AULA

TEOREMA DO IMPULSO

O impulso da força resultante produz

variação da quantidade de movimento.

$$\vec{I}_R = \Delta \vec{Q}$$

A mesma alteração de movimento pode ser produzida por...

uma força de grande intensidade

agindo por pouco tempo.

uma força de baixa intensidade

agindo por muito tempo.

No movimento circular uniforme...

A cada ciclo completo, o impulso aplicado pela força resultante centrípeta é

nulo.

A cada meia-volta, o impulso aplicado pela força resultante centrípeta possui módulo igual a

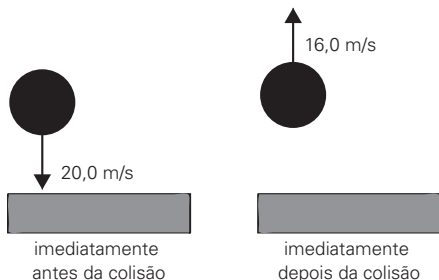
$2 \cdot m \cdot v$, onde m é a

massa e v , a velocidade

escalar do móvel.

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. UPE – Em uma aula de Educação Física, o professor convida os estudantes para observar o movimento de uma bola de basquete de 5 g, arremessada contra o solo. Nesse experimento, as velocidades da bola imediatamente antes e depois da colisão foram determinadas e estão mostradas na figura a seguir.



Três afirmações propostas pelo professor acerca da colisão da bola com o chão devem ser analisadas pelos estudantes como verdadeiras (V) ou falsas (F). São elas:

- () O impulso sobre a bola possui direção vertical e para baixo.
- () O módulo da variação da quantidade de movimento da bola é igual a 18 kg/s.
- () A Terceira Lei de Newton não se aplica nesse caso.

Julgue as afirmações e justifique suas opções.

[I] Falsa. A bola se move para cima depois da colisão, indicando que o impulso teve o mesmo sentido.

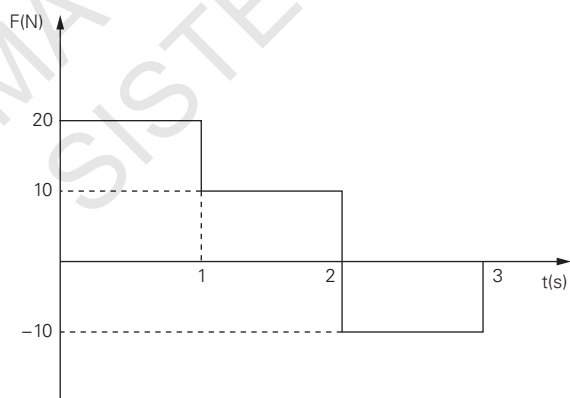
[II] Verdadeira. O módulo da variação da quantidade de movimento é calculado por:

$$\Delta Q! = Q_f - Q_i \Rightarrow \Delta Q = m \cdot (v_f - v_i) \Rightarrow \Delta Q = 0,5 \text{ kg} \cdot (16 - (-20)) \text{ m/s}$$

$$\Delta Q = 18 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

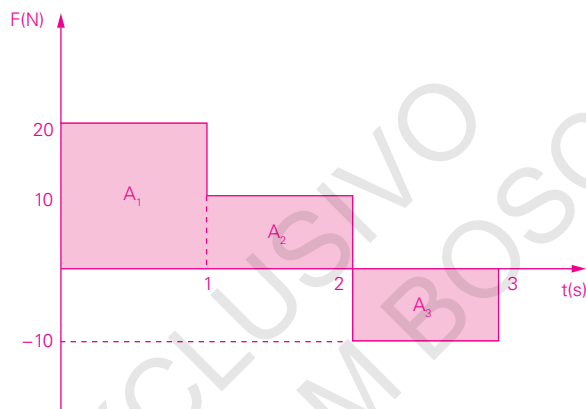
[III] Falsa. A Terceira Lei de Newton (ação e reação) surge na mudança de sentido de deslocamento quando a bola aplica uma força no solo e este aplica a mesma força em sentido contrário na bola.

2. UFPR – Uma força resultante, cujo módulo F varia com o tempo t conforme o gráfico a seguir, atua sobre um objeto de massa 10 kg. Nesse gráfico, valores negativos para F indicam uma inversão de sentido, em relação àquele dos valores positivos. Com base nesses dados e considerando que em $t = 0$ o objeto está em repouso, determine a sua velocidade depois de transcorridos 3 s.



Dados: $m = 10 \text{ kg}$; $v_0 = 0$.

Considerando, então, que a citada força seja a resultante, podemos usar o teorema do impulso, que afirma que o impulso da força resultante (I_R) sobre um corpo é igual à variação de sua quantidade de movimento (ΔQ). Se há apenas mudança de sentido, e não de direção (movimento retilíneo), o impulso pode ser obtido pela área entre a linha do gráfico e o eixo t , como indicado na figura. Como a força F tem módulo constante em cada intervalo de tempo, o impulso também pode ser obtido pela expressão: $I_F = F \cdot \Delta t$.



Aplicando, então, o teorema do impulso:

$$|I_R| = |\Delta Q| = m \cdot |\Delta v| \Rightarrow A_1 + A_2 - A_3 = m \cdot (v - v_0) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 1 \cdot (20) + 1 \cdot (10) - 1 \cdot (10) = 10 \cdot (v - 0) \Rightarrow$$

$$20 = 10 \cdot v \Rightarrow v = 2 \text{ m/s}$$

- 3. Unicamp** – Beisebol é um esporte que envolve o arremesso, com a mão, de uma bola de 140 g de massa na direção de outro jogador que irá rebatê-la com um taco sólido. Considere que, em um arremesso, o módulo da velocidade da bola chegou a 162 km/h, imediatamente após deixar a mão do arremessador. Sabendo que o tempo de contato entre a bola e a mão do jogador foi de 0,07 s, o módulo da força média aplicada na bola foi de
- a) 324,0 N.
 - b) 90,0 N.**
 - c) 6,3 N.
 - d) 11,3 N.

Dados: $m = 140 \text{ g} = 0,14 \text{ kg}$; $V_0 = 0$; $v = 162 \text{ km/h} = 45 \text{ m/s}$.

Como não há variação na direção do movimento durante o processo de aceleração, podemos usar o teorema do impulso na forma modular:

$$|I_F| = |\Delta Q| \Rightarrow F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v \Rightarrow F = \frac{m \cdot \Delta v}{\Delta t} = \frac{0,14 \cdot 45}{0,07} \Rightarrow \boxed{F = 90 \text{ N}}$$

- 4. Unesp** – O gol da conquista do tetracampeonato pela Alemanha na Copa do Mundo de 2014 foi feito pelo jogador Götze. Nessa jogada, ele recebeu um cruzamento, matou a bola no peito, amortecendo-a, e chutou de esquerda para fazer o gol. Considere que, imediatamente antes de tocar o jogador, a bola tinha velocidade de módulo $v_1 = 8 \text{ m/s}$ em uma direção perpendicular a seu peito e que, imediatamente depois de tocar o jogador, sua velocidade manteve-se perpendicular ao peito do jogador, porém com módulo $v_2 = 0,6 \text{ m/s}$ e em sentido contrário.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Unicamp – Muitos carros possuem um sistema de segurança para os passageiros chamado *airbag*. Esse sistema consiste em uma bolsa de plástico que é rapidamente inflada quando o carro sofre uma desaceleração brusca, interpondo-se entre o passageiro e o painel do veículo. Em uma colisão, a função do *airbag* é

- aumentar o intervalo de tempo de colisão entre o passageiro e o carro, reduzindo, assim, a força recebida pelo passageiro.
- aumentar a variação de momento linear do passageiro durante a colisão, reduzindo, assim, a força recebida pelo passageiro.
- diminuir o intervalo de tempo de colisão entre o passageiro e o carro, reduzindo, assim, a força recebida pelo passageiro.
- diminuir o impulso recebido pelo passageiro por conta do choque, reduzindo, assim, a força recebida pelo passageiro.

8. UFRGS – Um objeto de massa igual a 2 kg move-se em linha reta com velocidade constante de 4 m/s. A partir de certo instante, uma força de módulo igual a 2 N é exercida por 6 s sobre o objeto, na mesma direção de seu movimento. Em seguida, o objeto colide frontalmente com um obstáculo e tem seu movimento invertido, afastando-se com velocidade de 3 m/s.

Calcule o módulo do impulso exercido pelo obstáculo e a variação da energia cinética do objeto, durante a colisão.

9. Cefet – Um objeto, deslocando-se com uma quantidade de movimento de $20 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, colide com um obstáculo durante 0,010 s e para. O valor médio da força impulsiva que atua nesse objeto é, em newtons,

- $1,0 \cdot 10^{-1}$.
- $2,0 \cdot 10^{-1}$.
- $1,0 \cdot 10^3$.
- $2,0 \cdot 10^3$.

10. UFPR – Recentemente, foi publicada em um jornal a seguinte ocorrência: um homem pegou uma sacola plástica de supermercado, encheu-a com um litro de água e abandonou-a do oitavo andar de um prédio. A sacola caiu sobre um automóvel que estava estacionado no nível da rua. Admitindo que cada andar do prédio tenha uma altura de 2,5 m e que a sacola de água tenha sido freada pelo capô do carro em aproximadamente 0,01 s, calcule o módulo da força normal média de frenagem exercida pelo capô sobre a sacola. Despreze a resistência do ar, o peso da sacola vazia e correções referentes ao tamanho do carro e ao fato de a sacola não se comportar exatamente como um corpo rígido.

11. Mackenzie – Um móvel de massa 100 kg, inicialmente em repouso, move-se sob a ação de uma força resultante, constante, de intensidade 500 N durante 4,00 s. A energia cinética adquirida pelo móvel, no instante $t = 4,00 \text{ s}$, em joule (J), é

- $2,00 \cdot 10^3$
- $4,00 \cdot 10^3$
- $8,00 \cdot 10^3$
- $2,00 \cdot 10^4$
- $4,00 \cdot 10^4$

12. Fuvest – Num espetáculo de circo, um homem deita-se no chão do picadeiro, e sobre seu peito é colocada uma tábua, de 30 cm x 30 cm, na qual foram cravados 400 pregos, de mesmo tamanho, que atravessam a tábua. No clímax do espetáculo, um saco com 20 kg de areia é solto, a partir do repouso, de 5 m de altura em relação à tábua e cai sobre ela. Suponha que as pontas de todos os pregos estejam igualmente em contato com o peito do homem.

Note e adote:

Aceleração da gravidade no local: $g = 10 \text{ m/s}^2$

Despreze o peso da tábua com os pregos.

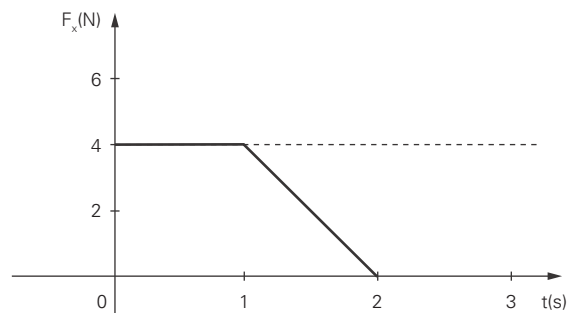
Não tente reproduzir esse número de circo!

Determine:

- A velocidade do saco de areia ao tocar a tábua de pregos.
- A força média total aplicada no peito do homem se o saco de areia parar 0,05 s após seu contato com a tábua.
- A pressão, em N/cm^2 , exercida no peito do homem individualmente pelos pregos, cujas pontas têm 4 mm^2 de área.

13. UFRGS – Um bloco de massa 1 kg move-se retilineamente, com velocidade de módulo constante igual a 3 m/s, sobre uma superfície horizontal sem atrito. A partir de dado instante, o bloco recebe o impulso de sua força externa aplicada na mesma direção e sentido de seu movimento. A intensidade dessa força, em função do tempo, é dada pelo gráfico a seguir.

A partir desse gráfico, pode-se afirmar que o módulo da velocidade do bloco após o impulso recebido é, em m/s, de



- 6.
- 1.
- 5.
- 7.
- 9.

14. UPE – “Ao utilizar o cinto de segurança no banco de trás, o passageiro também está protegendo o motorista e o carona, as pessoas que estão na frente do carro. O uso do cinto de segurança no banco da frente e, principalmente, no banco de trás pode evitar muitas mortes. Milhares de pessoas perdem suas vidas no trânsito, e

o uso dos itens de segurança pode reduzir essa estatística. O Brasil também está buscando, cada vez mais, fortalecer a nossa ação no campo da prevenção e do monitoramento. Essa é uma discussão que o Ministério da Saúde vem fazendo com outros órgãos do governo”, destacou o ministro da Saúde, Arthur Chioro.

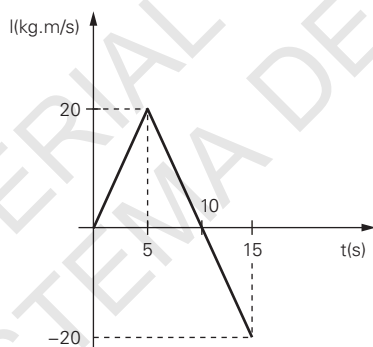
Estudo da Associação Brasileira de Medicina de Tráfego (Abramet) mostra que o cinto de segurança no banco da frente reduz o risco de morte em 45% e, no banco traseiro, em até 75%. Em 2013, um levantamento da Rede Sarah apontou que 80% dos passageiros do banco da frente deixariam de morrer se os cintos do banco de trás fossem usados com regularidade.

Disponível em: <<http://bvsmis.saude.gov.br/ultimas-noticias/1596-metade-dos-brasileiros-nao-usa-cinto-de-seguranca-no-banco-detras>>. Acesso em: 12 jul. 2015.

Em uma colisão frontal, um passageiro sem cinto de segurança é arremessado para a frente. Esse movimento coloca em risco a vida dos ocupantes do veículo. Vamos supor que um carro popular com lotação máxima sofra uma colisão na qual as velocidades inicial e final dele sejam iguais a 72 km/h e zero, respectivamente. Se o passageiro do banco de trás do veículo tem massa igual a 80 kg e é arremessado contra o banco da frente, em uma colisão de 400 ms de duração, a força média sentida por esse passageiro é igual ao peso de

- 360 kg na superfície terrestre.
- 400 kg na superfície terrestre.
- 1 440 kg na superfície terrestre.
- 2 540 kg na superfície terrestre.
- 2 720 kg na superfície terrestre.

- 15. UFPE** – Uma partícula de massa 0,2 kg move-se ao longo do eixo x . No instante $t = 0$, sua velocidade tem módulo 10 m/s ao longo do sentido positivo do eixo. A figura a seguir ilustra o impulso da força resultante na direção x agindo sobre a partícula. Qual o módulo da quantidade de movimento da partícula (em $\text{kg} \cdot \text{m/s}$) no instante $t = 15$ s?

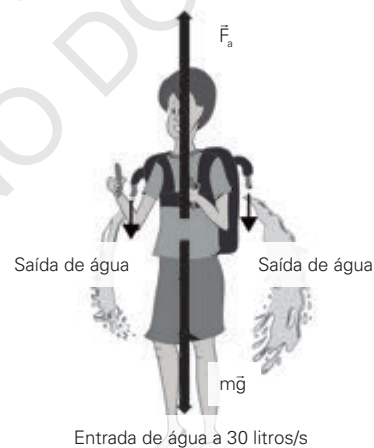


- 16. Unicamp** – As nuvens são formadas por gotículas de água que são facilmente arrastadas pelo vento. Em determinadas situações, várias gotículas se juntam para formar uma gota maior, que cai, produzindo a chuva. De forma simplificada, a queda da gota ocorre quando a força gravitacional que age sobre ela fica maior que

a força do vento ascendente. A densidade da água é $\rho_{\text{água}} = 1,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$.

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

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



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

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C6-H20

Em uma experiência didática, cinco esferas de metal foram presas em um barbante, de forma que a distância entre esferas consecutivas aumentava em progressão aritmética. O barbante foi suspenso e a primeira esfera ficou em contato com o chão. Olhando o barbante de baixo para cima, as distâncias entre as esferas ficavam cada vez maiores. Quando o barbante foi solto, o som das colisões entre duas esferas consecutivas e o solo foi gerado em intervalos de tempo exatamente iguais.

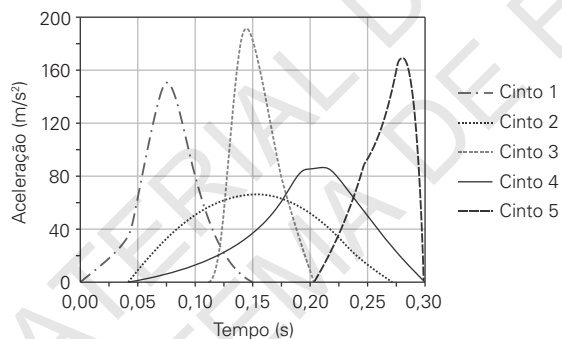
A razão de os intervalos de tempo citados serem iguais é que a

- velocidade de cada esfera é constante.
- força resultante em cada esfera é constante.
- aceleração de cada esfera aumenta com o tempo.
- tensão aplicada em cada esfera aumenta com o tempo.
- energia mecânica de cada esfera aumenta com o tempo.

19. Enem

C5-H18

Em uma colisão frontal entre dois automóveis, a força que o cinto de segurança exerce sobre o tórax e o abdome do motorista pode causar lesões graves nos órgãos internos. Pensando na segurança de seu produto, um fabricante de automóveis realizou testes em cinco modelos diferentes de cinto. Os testes simularam uma colisão de 0,30 segundo de duração, e os bonecos que representavam os ocupantes foram equipados com acelerômetros. Esse equipamento registra o módulo da desaceleração do boneco em função do tempo. Os parâmetros como massa dos bonecos, dimensões dos cintos e velocidade imediatamente antes e após o impacto foram os mesmos para todos os testes. O resultado final obtido está no gráfico de aceleração por tempo.



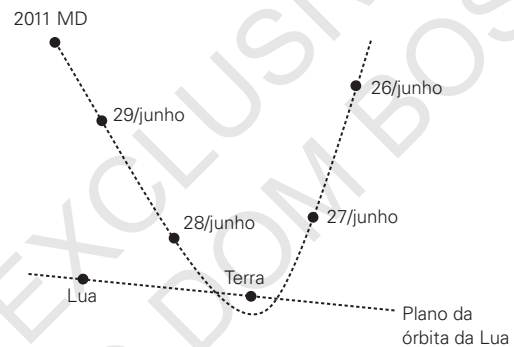
Qual modelo de cinto oferece menor risco de lesão interna ao motorista?

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

20. Enem

C6-H20

No dia 27 de junho de 2011, o asteroide 2011 MD, com cerca de 10 m de diâmetro, passou a 12 mil quilômetros do planeta Terra, uma distância menor do que a órbita de um satélite. A trajetória do asteroide é apresentada.



A explicação física para a trajetória descrita é o fato de o asteroide

- deslocar-se em um local onde a resistência do ar é nula.
- deslocar-se em um ambiente onde não há interação gravitacional.
- sofrer a ação de uma força resultante no mesmo sentido de sua velocidade.
- sofrer a ação de uma força gravitacional resultante no sentido contrário ao de sua velocidade.
- estar sob a ação de uma força resultante cuja direção é diferente da direção de sua velocidade.

SISTEMAS MECANICAMENTE ISOLADOS

42

OLENA F/SHUTTERSTOCK



Em cada colisão, a quantidade de movimento do sistema formado pelas bolas se conserva.

Em Física, chama-se de sistema qualquer conjunto de corpos selecionados no universo para estudo. Em um sistema de corpos, pode ocorrer a ação de forças internas (interações entre dois constituintes do sistema) e externas (aplicadas por corpos que não fazem parte do sistema). Por exemplo, em um sistema formado pelas bolas que são postas inicialmente sobre uma mesa de sinuca, a interação entre duas delas que colidem é uma força interna, enquanto a tacada é caracterizada por uma força externa.

De maneira direta e simplificada, um sistema de corpos é dito **mechanicamente isolado** quando nele **não há a ação de forças externas**. Porém, há situações em que elas existem e, ainda assim, o sistema é considerado isolado por atender a alguma das condições a seguir:

- as forças externas possuem intensidade tendendo a zero ou muito pequena quando comparadas às forças internas;
- a soma vetorial das forças externas que agem no sistema tende a zero;
- o tempo de ação das forças externas tende a zero, ou seja, são eventos extremamente rápidos.

É importante perceber que as condições citadas buscam garantir que o impulso ($\vec{I}_F^{\text{ext}} = \vec{F}_{\text{ext}} \cdot \Delta t$) aplicado pelas forças externas seja tão pequeno que possa ser desprezado, assim como seus efeitos.

Como as **forças internas** constituem um par de ação e reação (mesma intensidade, mesma direção e sentidos contrários), a **soma vetorial** de seus impulsos aplicados ao sistema é **nula**.

- Sistemas mecanicamente isolados

HABILIDADES

- Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.
- Relacionar propriedades físicas, químicas ou biológicas de produtos, sistemas ou procedimentos tecnológicos às finalidades a que se destinam.
- Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.
- Analisar fenômenos ou resultados de experimentos científicos, organizando e sistematizando informações dadas.
- Utilizar leis físicas para interpretar movimentos e analisar procedimentos para alterá-los ou avaliá-los, em situações de interação física entre veículos, corpos celestes e outros objetos.
- Descrever características físicas e parâmetros de movimentos de veículos, corpos celestes e outros objetos em diferentes linguagens e formas de representação.

Conseqüentemente, em **sistemas mecanicamente isolados**, o impulso resultante (fruto da soma de forças internas e externas) é nulo, e, dessa forma, **a quantidade de movimento do sistema se conserva**.

Aplicando o teorema do impulso ao sistema, tem-se:

$$\vec{I}_R = \vec{Q}_f^{\text{sist}} - \vec{Q}_0^{\text{sist}}$$

Se mecanicamente isolado:

$$\vec{I}_R \rightarrow \vec{0}$$

$$\vec{0} = \vec{Q}_f^{\text{sist}} - \vec{Q}_0^{\text{sist}}$$

$$\vec{Q}_0^{\text{sist}} = \vec{Q}_f^{\text{sist}}$$

Eis mais uma dentre as diversas leis de conservação que regem os fenômenos naturais: a lei da conservação da quantidade de movimento do sistema, válida para sistemas isolados. Por atenderem às condições apresentadas, **colisões** (choques mecânicos) e **explosões** são alguns dos exemplos típicos de sistemas isolados.



OSTILL IS FRANK CAMHI/SHUTTERSTOCK

A quantidade de movimento do sistema se conserva durante a colisão entre os jogadores.

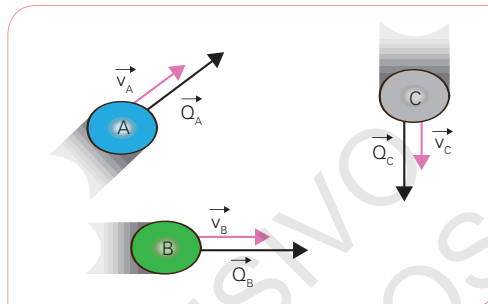


AUDY39/SHUTTERSTOCK

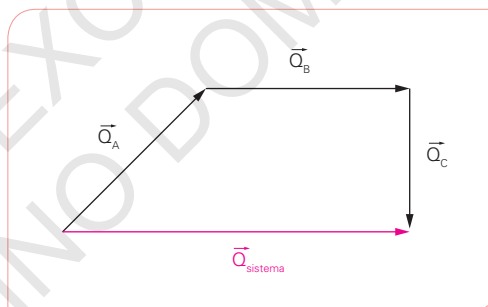
A quantidade de movimento de um rojão imediatamente antes de sua explosão é igual à soma vetorial das quantidades de movimento de suas partes imediatamente após a explosão.

Importante! A quantidade de movimento do sistema é igual à soma vetorial da quantidade de movimento de todos os corpos que o compõem.

Considere um sistema formado por três corpos, A, B e C. No diagrama a seguir, estão indicadas a quantidade de movimento (momento linear) e a velocidade de cada um deles.

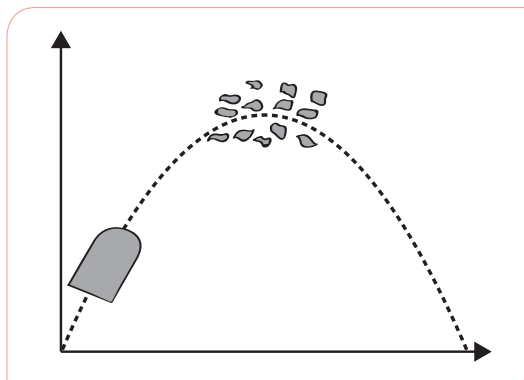


A quantidade de movimento do sistema é determinada pela soma vetorial das quantidades de movimento de cada um de seus constituintes.



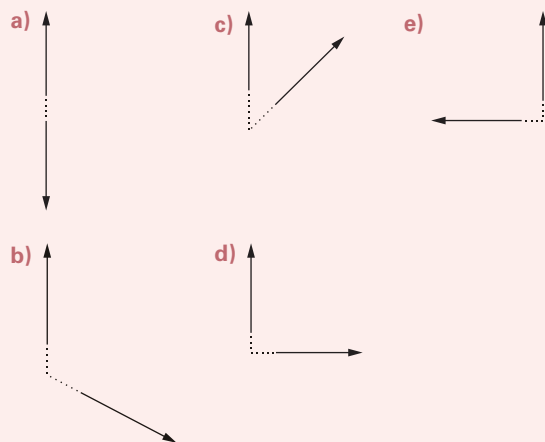
$$\vec{Q}_{\text{sist}} = \vec{Q}_1 + \vec{Q}_2 + \dots + \vec{Q}_n$$

Mesmo em sistemas mais complexos, o movimento pode ser representado pelo movimento do centro de massa. Admite-se que toda a massa do sistema esteja concentrada no centro de massa e nele estejam aplicadas todas as forças externas. A figura exemplifica um projétil que descreve uma trajetória parabólica até explodir. Depois da explosão, cada fragmento tem trajetória diferente, mas o centro de massa do projétil anterior à explosão mantém a trajetória parabólica.



EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. A partícula neutra conhecida como méson K^0 é instável e decai, emitindo duas partículas, com massas iguais, uma positiva e outra negativa, chamadas, respectivamente, méson π^+ e méson π^- . Em um experimento, foi observado o decaimento de um K^0 , em repouso, com emissão do par π^+ e π^- . Das figuras a seguir, qual poderia representar as direções e sentidos das velocidades das partículas π^+ e π^- no sistema de referência em que o K^0 estava em repouso?



Resolução

Esse é um sistema mecanicamente isolado, pois apenas forças internas provocam variações de velocidades. Assim, ocorre conservação da quantidade de movimento do sistema. Como se trata de uma grandeza vetorial, as partículas π^+ e π^- devem ter velocidades e sentidos iguais uma vez que as massas são iguais.

Alternativa: A

2. Um canhão de circo de massa 100 kg atira horizontalmente uma bola de massa 5 kg com uma velocidade de 20 m/s. Calcule, em m/s, a velocidade de recuo do canhão imediatamente após o disparo.

Resolução

Sendo o sistema mecanicamente isolado e com a orientação da trajetória no sentido do disparo da bala, tem-se:

$$\vec{Q}_{\text{Sist}}^i = \vec{Q}_{\text{Sist}}^f \Rightarrow |\vec{Q}_{\text{Sist}}^i| = |\vec{Q}_{\text{Sist}}^f| \Rightarrow 0 = 7,5 \cdot 20 + 150 \cdot V \Rightarrow \\ \Rightarrow V = -1 \text{ m/s}$$

Ou seja, o canhão recua, no sentido oposto ao do movimento da bala, com velocidade de 1 m/s.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO MBOBSCO
SISTEMA DE ENSINO

ROTEIRO DE AULA

SISTEMAS MECANICAMENTE ISOLADOS

Condições

A soma dos impulsos das forças internas

Possuem quantidade de movimento total

Não há ação de forças externas.

Há ação de forças externas, porém...

é nula

não modifica a quantidade de movimento do sistema.

constante

dada pela soma vetorial das quantidades de movimento dos constituintes do sistema.

possuem intensidade de desprezível quando comparadas às forças internas.

sua soma tende a zero.

atuam por curtíssimo tempo.

seus efeitos podem ser desprezados.

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. UFJF – Uma aranha radioativa de massa $m_a = 3,0$ g fugiu do laboratório e foi parar na sala de aula. Ela está parada e pendurada no teto através de um fio fino feito de sua teia, de massa desprezível. Um estudante, mascarando um chiclete com massa $m_c = 10,0$ g, se apavora e atira o chiclete contra a aranha com uma velocidade de $v_c = 20$ m/s. Considere que a colisão entre o chiclete e a aranha é totalmente inelástica e que possa ser tratada como unidimensional. Com base nessas informações, CALCULE:

- Os módulos dos momentos lineares da aranha e do chiclete imediatamente antes da colisão.
- A velocidade final do conjunto aranha-chiclete imediatamente após a colisão.

a) Em unidades do Sistema Internacional:

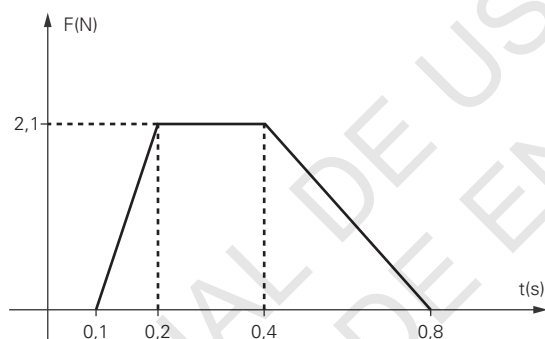
$$Q = m \cdot v \Rightarrow \begin{cases} Q_a = 0 \\ Q_c = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \Rightarrow Q_c = 0,2 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{cases}$$

b) Considerando o sistema mecanicamente isolado, pela conservação da quantidade de movimento, vem:

$$Q_i = Q_f \Rightarrow m_c \cdot v_c = (m_a + m_c) \cdot v_f \Rightarrow 10(20) = 13v_f \Rightarrow v_f = \frac{200}{13} \Rightarrow$$

$$v_f = 15,4 \text{ m/s.}$$

2. UFJF – Uma partícula de massa $m_1 = 25,0$ g e com velocidade inicial $v_1 = 100$ m/s colide, frontalmente, com outra partícula de massa $m_2 = 200$ g, inicialmente em repouso. Durante o processo de colisão, o gráfico da força de interação entre as duas partículas é o mostrado na figura a seguir. Com base nessas informações, calcule:



- O impulso sofrido individualmente pelas partículas.
- A velocidade final de cada partícula imediatamente após a colisão.

a) O impulso é numericamente igual à área do gráfico, logo:

$$A = \frac{(B+b) \cdot h}{2} \Rightarrow A = \frac{(0,7+0,2) \cdot 2,1}{2} \Rightarrow A = 0,945$$

Considerando um eixo ortogonal cartesiano, a partícula 1 está se movendo na direção $+x$, implicando em um impulso negativo, enquanto a partícula 2, que está em repouso, irá ganhar um impulso positivo. O sinal (+ ou -) é um indicador do sentido do impulso, de módulo (intensidade) sempre positiva.

Logo, em $\text{N} \cdot \text{s}$:

$$I_1 = -0,945$$

$$I_2 = 0,945$$

b) Teremos:

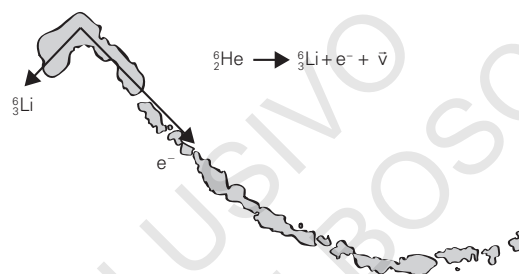
$$I = \Delta p \Rightarrow I = p_f - p_i \Rightarrow I = m \cdot v_f - m \cdot v_i \Rightarrow$$

$$v_f = \frac{I + m \cdot v_i}{m}$$

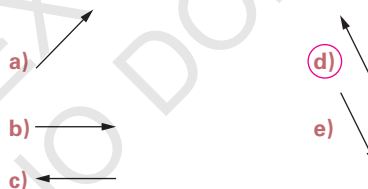
$$v_{1f} = \frac{I_1 + m_1 \cdot v_{1i}}{m_1} \Rightarrow v_{1f} = \frac{25 \cdot 10^{-3} \cdot 100 + (-0,945)}{25 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow v_{1f} = 62,2 \text{ m/s}$$

$$v_{2f} = \frac{I_2 + m_2 \cdot v_{2i}}{m_2} \Rightarrow v_{2f} = \frac{0 + 0,945}{200 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow v_{2f} = 4,725 \text{ m/s}$$

3. Fuvest – Uma figura foi obtida em uma câmara de nuvens, equipamento que registra trajetórias deixadas por partículas eletricamente carregadas. Na figura, são mostradas as trajetórias dos produtos do decaimento de um isótopo do hélio (${}^4_2\text{He}$) em repouso: um elétron (e^-) e um isótopo de lítio (${}^6_3\text{Li}$), bem como suas respectivas quantidades de movimento linear, no instante do decaimento, representadas, em escala, pelas setas. Uma terceira partícula, denominada antineutrino ($\bar{\nu}$ carga zero), é também produzida nesse processo.



O vetor que melhor representa a direção e o sentido da quantidade de movimento do antineutrino é



A figura 1 mostra os vetores quantidade de movimento do elétron e do isótopo de lítio, bem como a soma desses vetores.

$$\vec{Q}_e + \vec{Q}_{\text{Li}} = \vec{Q}_v$$

Como o isótopo de hélio estava inicialmente em repouso, a quantidade de movimento do sistema era inicialmente nula. Como as forças trocadas entre as partículas emitidas no decaimento são internas, trata-se de um sistema mecanicamente isolado, ocorrendo, então, conservação da quantidade de movimento do sistema, que deve ser nula também no final. Para satisfazer a essa condição, o vetor quantidade de movimento do antineutrino \vec{Q}_v deve ter mesma intensidade e sentido oposto ao do vetor \vec{Q}_v , como também mostra a figura 1.

A figura 2 mostra a resolução usando a regra da poligonal, sendo:

$$\vec{Q}_e + \vec{Q}_{\text{Li}} + \vec{Q}_v = \vec{0}$$

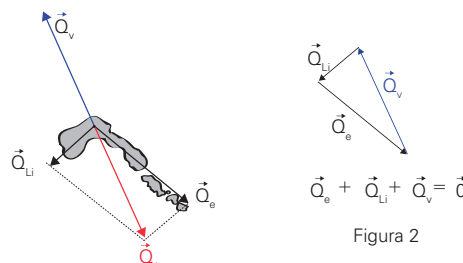
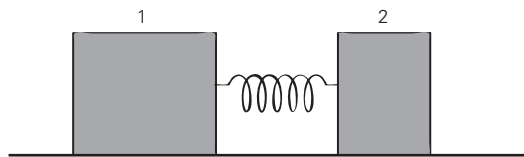


Figura 1

Figura 2

4. Ibmec – Dois blocos maciços estão separados um do outro por uma mola comprimida e são mantidos presos comprimindo essa mola. Em certo instante, os dois blocos são soltos da mola e passam a se movimentar

em direções opostas. Sabendo-se que a massa do bloco 1 é o triplo da massa do bloco 2, isto é, $m_1 = 3m_2$, qual a relação entre as velocidades v_1 e v_2 dos blocos 1 e 2, respectivamente, logo após perderem contato com a mola?



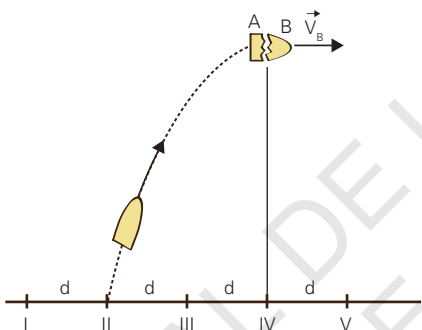
- a) $v_1 = -v_2/4$
b) $v_1 = -v_2/3$
 c) $v_1 = v_2$
 d) $v_1 = 3v_2$
 e) $v_1 = 4v_2$

Como o sistema é isolado de forças, o momento linear total se conserva.

$$\vec{Q} = \vec{Q}_0 \rightarrow m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 = 0$$

$$3 \cdot m_2 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 = 0 \rightarrow 3 \cdot \vec{v}_1 = -\vec{v}_2 \rightarrow \vec{v}_1 = -\frac{\vec{v}_2}{3}$$

5. Unesp – A figura mostra a trajetória de um projétil lançado obliquamente e cinco pontos equidistantes entre si e localizados sobre o solo, horizontal. Os pontos e a trajetória do projétil estão em um mesmo plano vertical.

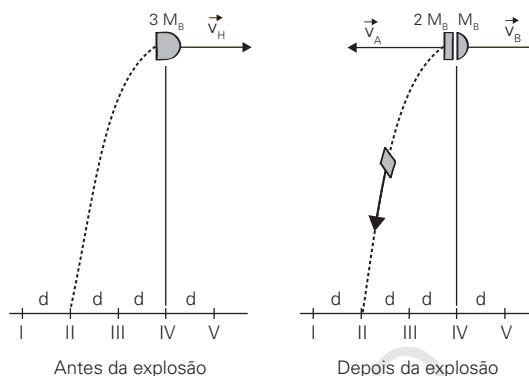


No instante em que atingiu o ponto mais alto da trajetória, o projétil explodiu, dividindo-se em dois fragmentos, A e B, de massas M_A e M_B , respectivamente, tal que $M_A = 2M_B$. Desprezando a resistência do ar e considerando que a velocidade do projétil imediatamente antes da explosão era V_H e que, imediatamente após a explosão, o fragmento B adquiriu velocidade $V_B = 5V_H$, com mesma direção e sentido de V_H , o fragmento A atingiu o solo no ponto

- a) I.
 b) II.
 c) III.
 d) IV.
e) V.

Desconsiderando a influência do peso durante a explosão, o sistema é mecanicamente isolado, podendo, então, ser usada a conservação da quantidade de movimento do sistema formado pelos dois fragmentos.

A figura ilustra os dois momentos, o imediatamente antes e o imediatamente depois da explosão.



Assim:

$$Q_{\text{sist}}^{\text{antes}} = Q_{\text{sist}}^{\text{depois}} \Rightarrow 3 \cdot M_B \cdot V_H = M_B \cdot V_B + M_A \cdot V_A \Rightarrow$$

$$3 \cdot M_B \cdot V_H = 2 \cdot M_B \cdot V_A + M_B \cdot (5V_H) \Rightarrow -2V_H = 2V_A \Rightarrow \boxed{V_A = -V_H}$$

Como o fragmento A sofreu apenas inversão no sentido de seu movimento, saindo com velocidade de mesmo módulo, ele atingiu o solo no mesmo ponto de onde o projétil foi lançado, ou seja, no ponto II.

6. IFSC

C6-H20

A força agressiva da bomba atômica que literalmente implodiu a sociedade foi lembrada na poesia de Vinícius de Moraes que, combinada com a melodia de Gerson Conrad, se transformou no grande sucesso “Rosa de Hiroshima”, gravada pelo grupo musical Secos & Molhados em 1973.

MOREIRA, Ildeu de Castro; MASSARANI, Luisa. Ciência na música popular brasileira Revista pré-Univesp, n. 25. Aprendizagem Lúdica. out. 2012.

Considere que um artefato está em repouso sobre uma mesa e explode em dois pedaços. Um dos pedaços, que possui um terço do total da massa do artefato, foi lançado para o norte com velocidade de 300 m/s. Dessa maneira, é CORRETO afirmar que o segundo pedaço, com 2/3 da massa total do artefato, foi lançado para:

- a) o sul, com velocidade de 150 m/s.
 b) o sul, com velocidade de 600 m/s.
 c) o sudeste, com velocidade de 150 m/s.
 d) o sudeste, com velocidade de 600 m/s.
 e) uma direção desconhecida, com velocidade de 600 m/s.

Como se trata de sistema mecanicamente isolado, temos:

$$Q_{\text{antes}} = Q_{\text{depois}} \Rightarrow Q_1 + Q_2 = 0 \Rightarrow m_1 v_1 + m_2 v_2 = 0 \Rightarrow \frac{1}{3} \cdot 300 = -\frac{2}{3} v_2 \Rightarrow$$

$$\boxed{v_2 = -150 \text{ m/s.}}$$

O segundo pedaço é lançado com velocidade de 150 m/s, em sentido oposto ao do primeiro, ou seja, para o sul.

Alternativa: A

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. UPE – “Curiosity pouso com sucesso em Marte”: essa foi a manchete em vários meios de comunicação na madrugada do dia 6 de agosto de 2012. O robô da Nasa chamado Curiosity foi destinado a estudar propriedades do planeta Marte. Após uma viagem de aproximadamente 9 meses, o Curiosity chegou a Marte. Ao entrar na atmosfera do planeta, o robô continuava ligado a pequenos foguetes que foram usados para desacelerá-lo. Segundos antes da chegada ao solo, os foguetes foram desconectados e se afastaram para bem longe. A figura ilustra o sistema Curiosity + foguetes.

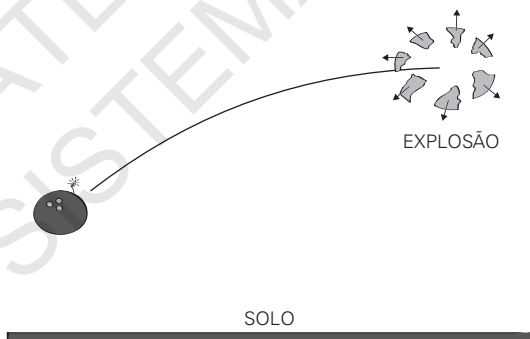


Fonte: Nasa.

A massa dos foguetes varia continuamente, enquanto eles queimam combustível e realizam a exaustão dos gases. A propulsão dos foguetes que fizeram desacelerar o Curiosity é um exemplo notável da

- Lei da inércia.
- Lei de Kepler.
- Conservação da energia.
- Conservação da quantidade de movimento.
- Lei da gravitação universal.

8. UFRGS – Uma bomba é arremessada, seguindo uma trajetória parabólica, conforme representado na figura a seguir. Na posição mais alta da trajetória, a bomba explode.



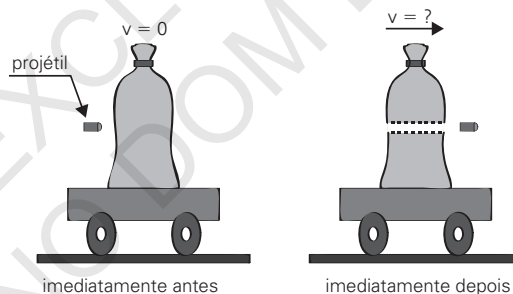
Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas do enunciado, na ordem em que aparecem.

A explosão da bomba é um evento que _____ a energia cinética do sistema. A trajetória do centro

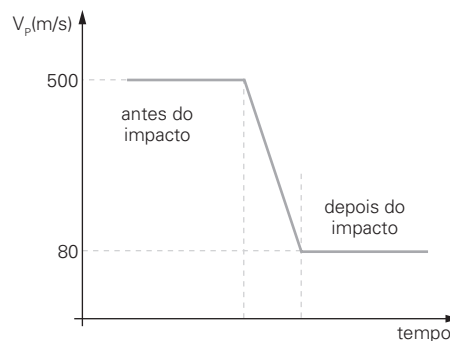
de massa do sistema constituído pelos fragmentos da bomba segue _____.

- não conserva – verticalmente para o solo
- não conserva – a trajetória do fragmento mais massivo da bomba
- não conserva – a mesma parábola anterior à explosão
- conserva – a mesma parábola anterior à explosão
- conserva – verticalmente para o solo

9. Unifesp – Em um teste realizado na investigação de um crime, um projétil de massa 20 g é disparado horizontalmente contra um saco de areia apoiado, em repouso, sobre um carrinho que, também em repouso, está apoiado sobre uma superfície horizontal na qual pode mover-se livre de atrito. O projétil atravessa o saco perpendicularmente aos eixos das rodas do carrinho e sai com velocidade menor que a inicial, enquanto o sistema formado pelo saco de areia e pelo carrinho, que totaliza 100 kg, sai do repouso com velocidade de módulo v .



O gráfico representa a variação da velocidade escalar do projétil, v_p , em função do tempo nesse teste.

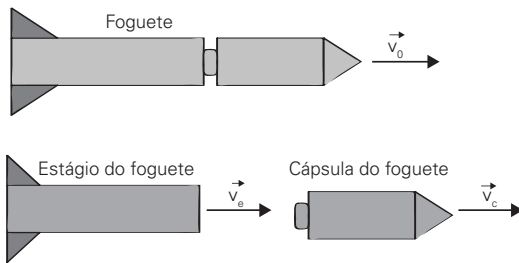


Calcule:

- o módulo da velocidade v , em m/s, adquirida pelo sistema formado pelo saco de areia e pelo carrinho imediatamente após o saco ter sido atravessado pelo projétil.
- o trabalho, em joules, realizado pela resultante das forças que atuaram sobre o projétil no intervalo de tempo em que ele atravessou o saco de areia.

10. PUC – Um foguete, de massa M , encontra-se no espaço e na ausência de gravidade com uma velocidade (\vec{v}_0) de 3000 km/h em relação a um observador na Terra, conforme ilustra a figura a seguir. Em um dado momento da viagem, o estágio, cuja massa representa 75% da massa do foguete, é desacoplado da cápsula. Por conta dessa separação, a cápsula do foguete passa a viajar 800 km/h mais rápido que o estágio.

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



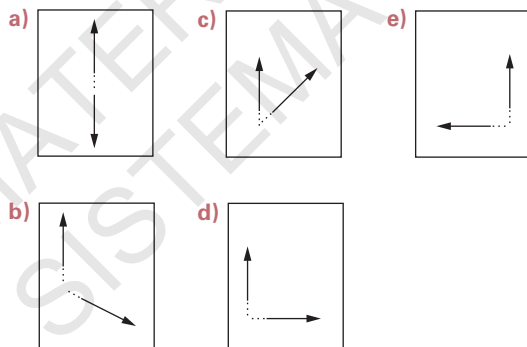
Obs.: as velocidades informadas são em relação a um observador na Terra.

- a) 3000 km/h.
- b) 3200 km/h.
- c) 3400 km/h.
- d) 3600 km/h.
- e) 3800 km/h.

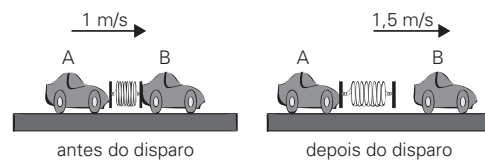
11. FGV – Na loja de um supermercado, uma cliente lança seu carrinho com compras, de massa total 30 kg, em outro carrinho vazio, parado e de massa 20 kg. Ocorre o engate entre ambos e, como consequência do engate, o conjunto dos carrinhos percorre 6,0 m em 4,0 s, perdendo velocidade de modo uniforme até parar. O sistema de carrinhos é considerado isolado durante o engate. A velocidade do carrinho com compras imediatamente antes do engate era, em m/s, de

- a) 5,0.
- b) 5,5.
- c) 6,0.
- d) 6,5.
- e) 7,0.

12. Fuvest – A partícula neutra conhecida como méson K^0 é instável e decai, emitindo duas partículas, com massas iguais, uma positiva e outra negativa, chamadas, respectivamente, méson π^+ e méson π^- . Em um experimento, foi observado o decaimento de um K^0 , em repouso, com emissão do par π^+ e π^- . Das figuras a seguir, qual poderia representar as direções e sentidos das velocidades das partículas π^+ e π^- no sistema de referência em que o K^0 estava em repouso?



13. Unesp – Um brinquedo é constituído por dois carrinhos idênticos, A e B, de massas iguais a 3 kg e por uma mola de massa desprezível, comprimida entre eles e presa apenas ao carrinho A. Um pequeno dispositivo, também de massa desprezível, controla um gatilho que, quando acionado, permite que a mola se distenda.



Antes de o gatilho ser acionado, os carrinhos e a mola moviam-se juntos, sobre uma superfície plana horizontal sem atrito, com energia mecânica de 3,75 J e velocidade de 1 m/s, em relação à superfície. Após o disparo do gatilho, e no instante em que a mola está totalmente distendida, o carrinho B perde contato com ela e sua velocidade passa a ser de 1,5 m/s, também em relação a essa mesma superfície.

Nas condições descritas, calcule a energia potencial elástica inicialmente armazenada na mola antes de o gatilho ser disparado e a velocidade do carrinho A, em relação à superfície, assim que B perde contato com a mola, depois de o gatilho ser disparado.

14. Fuvest – Um trabalhador de massa m está em pé, em repouso, sobre uma plataforma de massa M . O conjunto se move, sem atrito, sobre trilhos horizontais e retilíneos, com velocidade de módulo constante v . Em um certo instante, o trabalhador começa a caminhar sobre a plataforma e permanece com velocidade de módulo v , em relação a ela, e com sentido oposto ao do movimento dela em relação aos trilhos. Nessa situação, o módulo da velocidade da plataforma em relação aos trilhos é

- a) $(2m + M)v/(m + M)$
- b) $(2m + M)v/M$
- c) $(2m + M)v/m$
- d) $(M - m)v/M$
- e) $(m + M)v/(M - m)$

15. Fuvest – Um núcleo de polônio-204 (^{204}Po), em repouso, transmuta-se em um núcleo de chumbo-200 (^{200}Pb), emitindo uma partícula alfa (α) com energia cinética E_α . Nessa reação, a energia cinética do núcleo de chumbo é igual a

Note e adote:

Núcleo	Massa (u)
^{204}Po	204
^{200}Pb	200
α	4

1 u = 1 unidade de massa atômica.

- a) E_α .
- b) $E_\alpha/4$.
- c) $E_\alpha/50$.
- d) $E_\alpha/200$.
- e) $E_\alpha/204$.

16. IME – Um veículo de combate tem, como armamento principal, um canhão automático eletromagnético, o qual está municiado com 50 projéteis. Esse veículo se desloca em linha reta, inicialmente, em velocidade constante sobre um plano horizontal. Como o veículo está sem freio e descontrolado, um engenheiro sugeriu executar disparos a fim de reduzir a

velocidade dele. Após realizar 10 disparos na mesma direção e no mesmo sentido da velocidade inicial do veículo, este passou a se deslocar com metade da velocidade inicial. Diante do exposto, a massa do veículo, em kg, é:

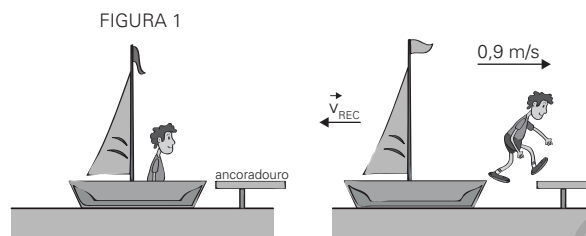
Dados:

- velocidade inicial do veículo: 20 m/s;
- velocidade do projétil ao sair do canhão: 800 m/s; e
- massa do projétil: 2 kg.

- 1 420
- 1 480
- 1 500
- 1 580
- 1 680

- 17. Unesp** – Um garoto de 50 kg está parado dentro de um barco de 150 kg nas proximidades da plataforma de um ancoradouro. Nessa situação, o barco flutua em repouso, conforme a figura 1. Em um determinado instante, o garoto salta para o ancoradouro, de modo que,

quando abandona o barco, a componente horizontal de sua velocidade tem módulo igual a 0,9 m/s em relação às águas paradas, de acordo com a figura 2.



Sabendo que a densidade da água é igual a 10^3 kg/m^3 , adotando $g = 10 \text{ m/s}^2$ e desprezando a resistência da água ao movimento do barco, calcule o volume de água, em m^3 , que a parte submersa do barco desloca quando o garoto está em repouso dentro dele, antes de saltar para o ancoradouro, e o módulo da velocidade horizontal de recuo (V_{REC}) do barco em relação às águas, em m/s, imediatamente depois que o garoto salta para sair dele.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C6-H20

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

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

- 0,05 m/s
- 0,20 m/s
- 0,40 m/s
- 0,50 m/s
- 0,80 m/s

19. Enem

C1-H3

Na Antiguidade, algumas pessoas acreditavam que, no lançamento oblíquo de um objeto, a resultante das forças que atuavam sobre ele tinha o mesmo sentido da velocidade em todos os instantes do movimento. Isso não está de acordo com as interpretações científicas atualmente utilizadas para explicar esse fenômeno.

Desprezando a resistência do ar, qual é a direção e o sentido do vetor força resultante que atua sobre o objeto no ponto mais alto da trajetória?

- Indefinido, pois ele é nulo, assim como a velocidade vertical nesse ponto.
- Vertical para baixo, pois somente o peso está presente durante o movimento.
- Horizontal no sentido do movimento, pois, por conta da inércia, o objeto mantém seu movimento.
- Inclinado na direção do lançamento, pois a força inicial que atua sobre o objeto é constante.
- Inclinado para baixo e no sentido do movimento, pois aponta para o ponto onde o objeto cairá.

20. Enem

C6-H20

Um navio petroleiro é capaz de transportar milhares de toneladas de carga. Nesse caso, uma grande quantidade de massa consegue flutuar.

Nessa situação, o empuxo é

- maior que a força-peso do petroleiro.
- igual à força-peso do petroleiro.
- maior que a força-peso da água deslocada.
- igual à força-peso do volume submerso do navio.
- igual à massa da água deslocada.

43

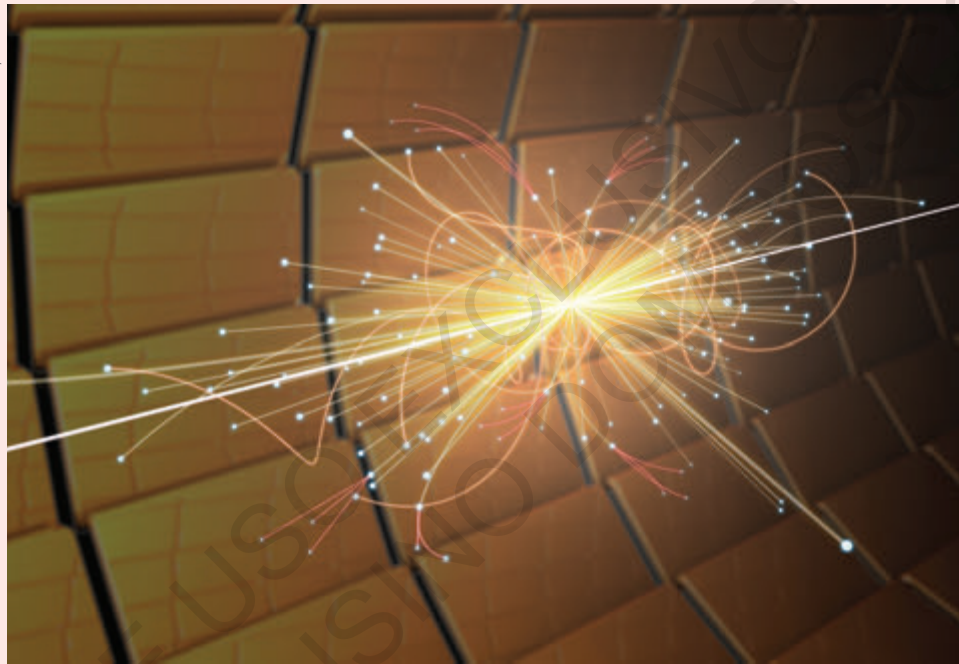
COLISÕES UNIDIMENSIONAIS

- Choques mecânicos unidimensionais

HABILIDADES

- Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.
- Relacionar propriedades físicas, químicas ou biológicas de produtos, sistemas ou procedimentos tecnológicos às finalidades a que se destinam.
- Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.
- Analisar fenômenos ou resultados de experimentos científicos, organizando e sistematizando informações dadas.
- Utilizar leis físicas para interpretar movimentos e analisar procedimentos para alterá-los ou avaliá-los, em situações de interação física entre veículos, corpos celestes e outros objetos.
- Descrever características físicas e parâmetros de movimentos de veículos, corpos celestes e outros objetos em diferentes linguagens e formas de representação.

GENERALFMV/ISTOCK



Colisão microscópica.

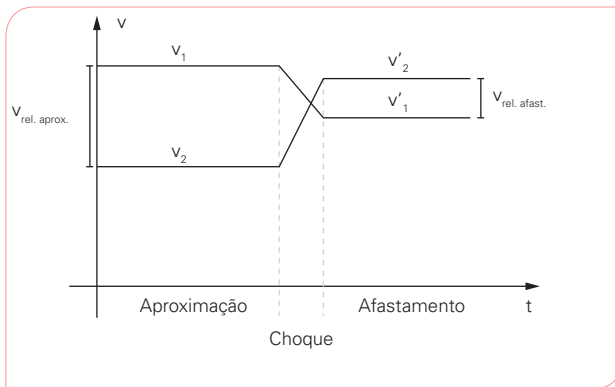
Em escala microscópica ou macroscópica, os eventos de colisão possuem significativa importância e presença em nosso cotidiano. Tacadas, cabeceios, acidentes de trânsito, reações nucleares ou colisões entre galáxias são exemplos de choques. Engenheiros e peritos de trânsito analisam as marcas no asfalto para caracterizar o movimento dos veículos envolvidos em um acidente. Cientistas utilizam-se de aceleradores de partículas para que a análise da trajetória de partículas detectadas após a colisão entre feixes de prótons possa nos trazer informações sobre os constituintes fundamentais da matéria.

Em uma colisão, os corpos interagem entre si com forças internas muito intensas em intervalos de tempo muito curtos. Logo, os efeitos das possíveis forças externas podem ser desconsiderados e o fenômeno enquadra-se nas condições dos sistemas mecanicamente isolados.

Classificação quanto à dimensão

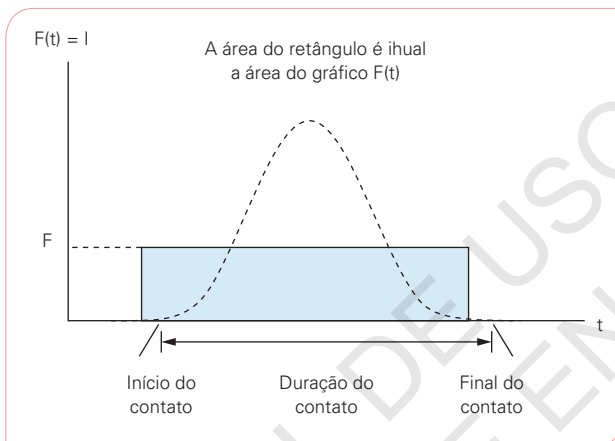
- **Colisão unidimensional:** o movimento dos corpos, antes e após a colisão, está contido em uma mesma direção (linha reta);
- **Colisão bidimensional:** o movimento dos corpos, antes e após a colisão, está contido em um mesmo plano.

Para que seja feita a análise de um choque mecânico, é necessário que três momentos sejam observados: a aproximação, imediatamente antes do choque; o choque propriamente dito, quando há o intervalo de contato e os corpos deformam-se e restituem-se; e o afastamento após o choque, desde que os corpos não permaneçam grudados (juntos) após a colisão.



As forças internas, responsáveis pela deformação dos corpos (quando a energia cinética converte-se em potencial elástica) e pela posterior restituição (em que a energia potencial elástica retorna à condição de cinética), aplicam impulsos nos constituintes do sistema cuja resultante é nula.

Durante o momento do contato entre os corpos, a força interna trocada é variável e apresenta o comportamento típico a seguir.



A força média (F_m) que caracteriza essa interação expressa qual seria a intensidade da força constante que, agindo durante o contato, provocaria o mesmo efeito, ou seja, empregaria o mesmo impulso. Assim sendo, aplicando o teorema do impulso para qualquer um dos envolvidos, tem-se:

$$F_m \cdot \Delta t = |\Delta \vec{Q}_A| = |\Delta \vec{Q}_B|$$

Apesar de a quantidade de movimento de cada uma das partes do sistema sofrer variação, pelos motivos listados, **a quantidade de movimento do sistema**, imediatamente antes e após, qualquer que seja a colisão, **conserva-se**.

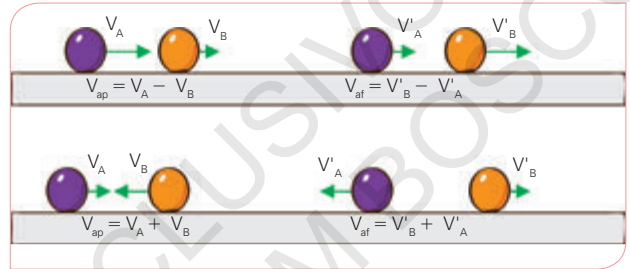
$$\vec{I}_R \rightarrow \vec{0} \rightarrow \vec{Q}_0^{\text{sist}} = \vec{Q}_f^{\text{sist}}$$

No caso particular das colisões unidimensionais, pode-se realizar as operações escalarmente. Assim, a indicação de sentido das grandezas vetoriais deve ser feita de acordo com a orientação arbitrária do eixo ao longo do qual ocorre o choque.

$$\begin{aligned} \vec{Q}_0^{\text{sist}} = \vec{Q}_f^{\text{sist}} &\Rightarrow Q_0^{\text{sist}} = Q_f^{\text{sist}} \Rightarrow \\ &\Rightarrow m_A \cdot v_A + m_B \cdot v_B = m_A \cdot v'_A + m_B \cdot v'_B \end{aligned}$$

COEFICIENTE DE RESTITUIÇÃO (E)

Em colisões unidimensionais, o coeficiente de restituição é definido pela razão entre as velocidades relativas dos envolvidos nos instantes anteriores e posteriores ao contato. Da seguinte forma:



$$e = \frac{v_{\text{afastamento rel}}}{v_{\text{aproximação rel}}} = \frac{v_{\text{af}}}{v_{\text{ap}}}$$

$$0 \leq e \leq 1$$

Na leitura complementar deste módulo, é discutido, ainda, o caso particular dos choques superelásticos (ou colisões exoérgicas), nos quais $e > 1$.

Classificação quanto ao coeficiente de restituição

- Choques elásticos (perfeitamente elásticos): $e = 1$

Nesse tipo de choque, o coeficiente de restituição apresenta valor igual a 1, o que indica que a velocidade relativa de aproximação é igual à do afastamento. Apenas nesse caso a energia cinética total do sistema se conserva.

- Choques inelásticos: $e = 0$

Nesse tipo de choque, o coeficiente de restituição apresenta valor igual a 0, o que indica que a velocidade relativa de afastamento é nula, ou seja, os corpos permaneceram grudados após a colisão. Não há afastamento relativo. Esse é o caso em que a energia cinética do sistema sofre maior dissipação.

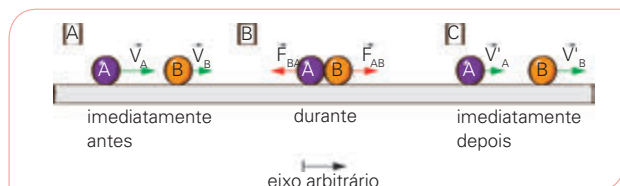
- Choques parcialmente elásticos: $0 < e < 1$.

Nesse tipo de choque, a velocidade relativa de aproximação é maior que a de afastamento, e tal fato indica redução na energia cinética do sistema.

Observe o quadro a seguir:

Tipo de choque	\vec{Q}_{sist}	coeficiente de restituição (e)	$E_{\text{C}}^{\text{sist}}$
perfeitamente elástico	conserva-se	$e = 1$ $(V_{\text{af}} = V_{\text{ap}})$	conserva-se
parcialmente elástico	conserva-se	$0 < e < 1$ $(V_{\text{af}} < V_{\text{ap}})$	há dissipação
inelástico	conserva-se	$e = 0$ $(V_{\text{af}} = 0)$	dissipação máxima

Há um caso bastante particular que vale a pena ser estudado: aquele em que uma colisão perfeitamente elástica e frontal (unidimensional) ocorre entre corpos idênticos (de mesma massa).



Aplicando a conservação da quantidade de movimento do sistema, tem-se:

$$\begin{aligned}\vec{Q}_0^{\text{sist}} = \vec{Q}_f^{\text{sist}} &\Rightarrow Q_0^{\text{sist}} = Q_f^{\text{sist}} \Rightarrow \\ \Rightarrow m_A \cdot v_A + m_B \cdot v_B &= m_A \cdot v'_A + m_B \cdot v'_B \\ m \cdot v_A + m \cdot v_B &= m \cdot v'_A + m \cdot v'_B \\ v_A + v_B &= v'_A + v'_B \\ v'_B - v_A &= v_B - v'_A \quad (\text{I})\end{aligned}$$

Do coeficiente de restituição ($e = 1$):

$$\begin{aligned}e = \frac{v_A - v_B}{v'_B - v'_A} = 1 &\Rightarrow v_A - v_B = v'_B - v'_A \Rightarrow v'_B - v_A = \\ v'_A - v_B \quad (\text{II})\end{aligned}$$

Igualando (I) e (II):

$$v'_A - v_B = v_B - v'_A \Rightarrow 2v'_A = 2v_B \Rightarrow v'_A = v_B$$

Substituindo em (I):

$$v'_B - v_A = v_B - v'_A \Rightarrow v'_B - v_A = v'_A - v'_A \Rightarrow v'_B - v_A = 0 \Rightarrow v'_B = v_A$$

O raciocínio anterior permite concluir que, em **colisões unidimensionais perfeitamente elásticas** entre **corpos idênticos**, ocorrerá a **permuta (troca) de velocidades**.

$$v'_A = v_B \text{ e } v'_B = v_A$$

LEITURA COMPLEMENTAR

Colisões exoérgicas

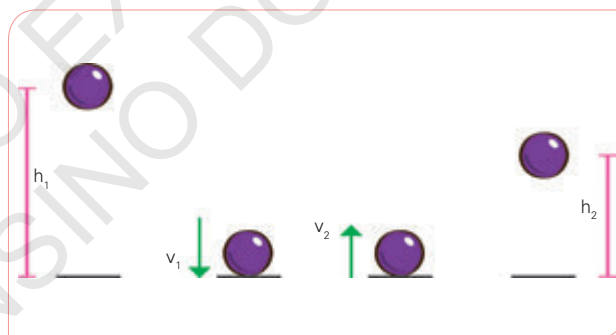
As colisões exoérgicas são caracterizadas pelo aumento da energia cinética do sistema em virtude da diminuição da energia potencial dele. Convém mencionar que é nesse contexto que ocorrem as colisões superelásticas ($e > 1$), cuja maioria de exemplos figura essencialmente

O caso discutido anteriormente permite a compreensão do pêndulo de Newton.



No pêndulo de Newton, tanto a energia mecânica quanto a quantidade de movimento são conservadas.

Outra situação interessante de ser discutida é a das colisões unidimensionais contra um obstáculo fixo. Considere um objeto que cai em queda livre de uma altura h_1 e, após a primeira colisão inelástica com o solo, alcança a altura máxima de h_2 .



Determina-se inicialmente, através da função de Torricelli, a velocidade de aproximação V_1 e de afastamento V_2 .

Descida:

$$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta S \Rightarrow v_1^2 = 0 + 2 \cdot g \cdot h_1 \Rightarrow v_1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_1}$$

$$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta S \Rightarrow 0 = v_2^2 + 2 \cdot (-g) \cdot h_2 \Rightarrow v_2 = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_2}$$

Para o coeficiente de restituição, serão válidas as seguintes relações:

$$e = \frac{v_{\text{afast.}}}{v_{\text{aprox.}}} = \frac{v_2}{v_1} \Rightarrow e = \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot h_2}}{\sqrt{2 \cdot g \cdot h_1}} = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$$

$$e = \frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$$

na escala atômica, como é o caso da fissão nuclear.

Um exemplo típico de colisões superelásticas é aquelas que ocorrem entre elétrons com átomos ou moléculas excitadas. Em detalhe, quando o elétron colide com uma molécula excitada, esta molécula pode ser desexcitada, transmitindo sua energia de excitação ao elétron que, por sua vez, passa

a experimentar um incremento na sua energia cinética. A compreensão dessas colisões permite investigar parâmetros do silício amorfo (a-Si), por exemplo, que é utilizado como camada emissora em células fotovoltaicas.

Nas pesquisas de descargas elétricas em nitrogênio, muitos estudos buscam avaliar os aspectos físico-químicos das colisões eletrônicas superelásticas de desexcitação vibracional das espécies químicas. O interesse pelos fenômenos associados a essas descargas deve-se ao fato de esse gás desempenhar importante papel no tratamento de superfícies em reatores a plasma, em laser a gás e na físico-química da alta atmosfera.

O estudo das colisões superelásticas também é importante no desenvolvimento de tecnologias de microplasmas.

Nesse caso, pesquisa-se, por exemplo, as frações de potências transmitidas para elétrons do plasma por conta das colisões superelásticas. Os microplasmas têm importantes aplicações na biomedicina, em sistemas de propulsão, no controle de fluxo aerodinâmico, no processamento de materiais, dentre outros.

Embora boa parte dos exemplos referentes às colisões exoérgicas ocorra no âmbito microscópico, há casos macroscópicos em que se pode observar tal evento, como é o do recuo de uma arma de fogo após o disparo ou a explosão de uma granada.

Divulgado pela *Revista Brasileira de Ensino de Física*. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172017000400402>. Acesso em: jan. 2019.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. Cada esquema, a seguir, revela as situações observadas imediatamente antes e depois da colisão entre dois objetos. Nesses esquemas, a massa de cada objeto é dada em quilogramas e a velocidade, em metros por segundo.

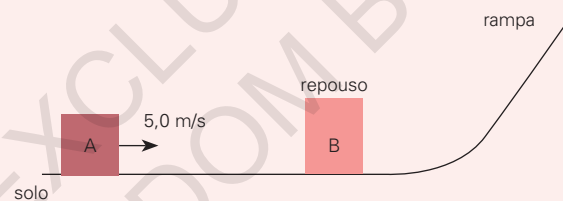
	ANTES	DEPOIS
(I)		
(II)		
(III)		
(IV)		

Indique, justificando sua opção, o esquema que representa uma colisão perfeitamente elástica.

Resolução

Somente a opção III representa uma colisão perfeitamente elástica; afinal, a velocidade relativa de aproximação dos móveis é igual à velocidade relativa de afastamento, após o choque. Logo, o coeficiente de restituição é 1.

2. Na figura a seguir, observa-se que o bloco A, de massa $m_A = 2,0 \text{ kg}$ e velocidade de $5,0 \text{ m/s}$, colide com um segundo bloco B, de massa $m_B = 8,0 \text{ kg}$ e inicialmente em repouso. Após a colisão, os blocos A e B ficam grudados e sobem juntos em uma rampa até uma altura h em relação ao solo. Despreze os atritos.



Com relação à situação anterior, analise as proposições a seguir e classifique-as em V (verdadeira) ou F (falsa). Justifique sua resposta.

- I. A velocidade dos blocos, imediatamente após a colisão, é igual a $1,0 \text{ m/s}$.
- II. A colisão entre os blocos A e B é perfeitamente elástica.
- III. A energia mecânica do sistema formado pelos blocos A e B é conservada durante a colisão.

Resolução

I) Verdadeira

A partir da conservação da quantidade de movimento do sistema, calcula-se a velocidade dos blocos após o choque.

$$\vec{Q}_{\text{Sist}}^i = \vec{Q}_{\text{Sist}}^f \Rightarrow |\vec{Q}_{\text{Sist}}^i| = |\vec{Q}_{\text{Sist}}^f| \Rightarrow 2.5 = (2 + 8) \cdot v \Rightarrow v = 1 \text{ m/s}$$

II) Falsa

Como os blocos permaneceram grudados após o choque, a colisão é dita perfeitamente inelástica.

III) Falsa

Em colisões perfeitamente inelásticas, a quantidade de movimento do sistema é conservada, porém é a colisão na qual ocorre a máxima dissipação de energia mecânica.

ROTEIRO DE AULA

COLISÕES

São sistemas
mecanicamente
isolados

Quantidade de
movimento
do sistema

Sempre se con-
serva.

$$\vec{Q}_{\text{sist}} = \sum \vec{Q}$$

$$\vec{Q}_{\text{sist}}^{\text{antes}} = \vec{Q}_{\text{sist}}^{\text{após}}$$

Coefficiente
de restituição (e)

$$e = \frac{|V_{\text{afastamento}}_{\text{rel}}|}{|V_{\text{aproximação}}_{\text{rel}}|}$$

$$e = 1$$

$$0 < e < 1$$

$$e = 0$$

$$|V_{\text{afastamento}}_{\text{rel}}| = |V_{\text{aproximação}}_{\text{rel}}|$$

$$|V_{\text{afastamento}}_{\text{rel}}| < |V_{\text{aproximação}}_{\text{rel}}|$$

$$|V_{\text{afastamento}}_{\text{rel}}| = 0$$

Choque perfeitamente
elástico

Choque parcial-
mente elástico

Choque inelástico

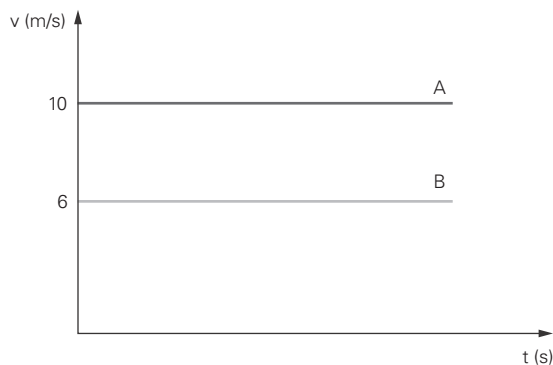
A energia cinética
do sistema é con-
servada.

Há dissipação de
energia.

Máxima dissipação
de energia.

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

- 1. Uerj** – Em uma mesa de sinuca, as bolas A e B, ambas com massa igual a 140 g, deslocam-se com velocidades v_A e v_B , na mesma direção e no mesmo sentido. O gráfico a seguir representa essas velocidades ao longo do tempo.



Determine, em $\text{kg} \cdot \text{m/s}$, a quantidade de movimento do sistema após uma colisão entre as bolas.

$$Q_{\text{início}} = m_A \cdot v_A + m_B \cdot v_B = 0,14(10 + 6)$$

$$Q_{\text{início}} = 2,24 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

Com a conservação da quantidade de movimento, temos que:

$$Q_{\text{fim}} = Q_{\text{início}} = 2,24 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

- 2. Uerj** – A lei de conservação do momento linear está associada às relações de simetrias espaciais.

Nesse contexto, considere uma colisão inelástica entre uma partícula de massa M e velocidade v e um corpo, inicialmente em repouso, de massa igual a $10 M$.

Logo após a colisão, qual a velocidade do sistema composto pela partícula e pelo corpo?

Como se trata de sistema mecanicamente isolado, pela conservação do momento linear, tem-se:

$$Q_{\text{antes}} = Q_{\text{depois}} \Rightarrow M \cdot v = (10 M + M)v' \Rightarrow v' = \frac{v}{11}$$

- 3. UFU** – Uma pessoa arremessa um corpo de material deformável de massa m_1 , com velocidade v_1 , em sentido oposto a outro corpo, também de mesmo material, porém com massa m_2 , que possuía velocidade v_2 diferente de zero. Considere que $m_2 = m_1/4$. Os dois corpos se chocam frontalmente em uma colisão perfeitamente inelástica, parando imediatamente após o choque.

Na situação descrita, a relação entre os módulos das velocidades iniciais dos dois corpos, antes do choque, é:

a) $v_1 = 4 \cdot v_2$

b) $v_1 = v_2/4$

c) $v_1 = 5 \cdot v_2$

d) $v_1 = v_2$

Na colisão, temos que as quantidades de movimento linear inicial e final são iguais:

$$Q_i = Q_f$$

$$\text{Como } Q_i = 0 \text{ e } Q_f = m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot (-v_2)$$

$$\text{Ficamos com } m_1 \cdot v_1 = m_2 \cdot v_2$$

Usando a informação $m_2 = \frac{m_1}{4}$ e substituindo na equação anterior, resulta:

$$v_1 = \frac{v_2}{4}$$

- 4. Fuvest** – Uma caminhonete, de massa 2000 kg, bateu na traseira de um sedã, de massa 1000 kg, que estava parado no semáforo, em uma rua horizontal. Após o impacto, os dois veículos deslizaram como um único bloco. Para a perícia, o motorista da caminhonete alegou que estava a menos de 20 km/h quando o acidente ocorreu. A perícia constatou, analisando as marcas de frenagem, que a caminhonete arrastou o sedã, em linha reta, por uma distância de 10 m. Com esse dado e estimando que o coeficiente de atrito cinético entre os pneus dos veículos e o asfalto, no local do acidente, era 0,5, a perícia concluiu que a velocidade real da caminhonete, em km/h, no momento da colisão era, aproximadamente,

Note e adote:

Aceleração da gravidade: 10 m/s^2 .

- Desconsidere a massa dos motoristas e a resistência do ar.

- a) 10. Dados: $m_c = 2000 \text{ kg}$; $m_s = 1000 \text{ kg}$; $g = 10 \text{ m/s}^2$; $\mu = 0,5$; $d = 10 \text{ m}$.
- b) 15. Após a colisão, a força de atrito é a resultante das forças agindo sobre o conjunto (caminhonete + sedã) e a energia cinética final desse conjunto é nula.
- c) 36.
- d) 48. Pelo teorema da energia cinética (TEC), calcula-se a velocidade inicial do conjunto imediatamente após a colisão.
- e) 54. Assim, sendo $M = m_c + m_s$ a massa do conjunto, tem-se:

$$\text{TEC: } W_R = \Delta E_{\text{cin}} \Rightarrow W_{\text{fr}} = E_{\text{cin}}^{\text{final}} - E_{\text{cin}}^{\text{inicial}} \Rightarrow W_{\text{fr}} = 0 - E_{\text{cin}}^{\text{inicial}} \Rightarrow$$

$$-F_{\text{at}} \cdot d = -\frac{M \cdot v_0^2}{2} \Rightarrow -\mu \cdot M \cdot g \cdot d = \frac{-M \cdot v_0^2}{2} \Rightarrow$$

$$v_0 = \sqrt{2 \cdot \mu \cdot g \cdot d} = \sqrt{2 \cdot 0,5 \cdot 10 \cdot 10} \Rightarrow v_0 = 10 \text{ m/s.}$$

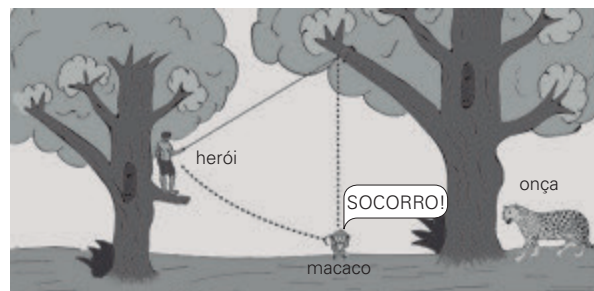
Considerando o sistema mecanicamente isolado na colisão, pelo teorema da conservação da quantidade de movimento, vem:

$$Q_{\text{antes}} = Q_{\text{depois}} \Rightarrow m_c \cdot v_c = (m_c + m_s) v_0 \Rightarrow 2000 v_c = 3000(10) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_c = 15 \text{ m/s} \Rightarrow$$

$$v_c = 54 \text{ km/h.}$$

- 5. IFSC** – Frederico (massa igual a 70 kg), um herói brasileiro, está de pé sobre o galho de uma árvore a 5 m acima do chão, como pode ser visto na figura a seguir. Ele segura um cipó que está preso em outro galho, que lhe permite oscilar, passando rente ao solo sem tocá-lo. Frederico observa um pequeno macaco (massa igual a 10 kg) no chão, que está prestes a ser devorado por uma onça, o maior felino da fauna brasileira. Desprezando a resistência do ar para essa operação de salvamento, assinale a soma da(s) proposição(ões) **CORRETA(S)**. (Considere Frederico e o macaco como partículas.)



- 01) Há conservação de energia mecânica do nosso herói, quando ele oscila do galho da árvore até o chão.
- 02) A velocidade do nosso herói, quando chega ao chão, antes de pegar o macaco, é 10 m/s.
- 04) O choque entre o nosso herói e o macaco é elástico.
- 08) O choque entre o nosso herói e o macaco é perfeitamente inelástico.
- 16) Imediatamente após pegar o macaco, a velocidade do conjunto (nosso herói e o macaco) é 10 m/s.
- 32) Para essa operação de salvamento, houve conservação da quantidade de movimento.

Soma: 01 + 02 + 08 + 32 = 43

[01] **Correta.**

[02] **Correta.** Dados: $h = 5 \text{ m}$; $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Pela conservação da energia mecânica:

$$\frac{mv^2}{2} = m \cdot g \cdot h \Rightarrow v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 5} = \sqrt{100} \Rightarrow$$

$$v = 10 \text{ m/s.}$$

[04] **Incorreta.** O enunciado não esclarece se Frederico teve sucesso na operação de salvamento. Se teve, o choque deve ter sido inelástico.

[08] **Correta.**

[16] **Incorreta.** Dados: $M = 70 \text{ kg}$; $m = 10 \text{ kg}$; $v = 10 \text{ m/s}$.

Usando a conservação da quantidade de movimento (Q) no choque inelástico:

$$Q_{\text{antes}} = Q_{\text{depois}} \Rightarrow M \cdot v = (M+m)v' \Rightarrow 70 \cdot 10 = 80v' \Rightarrow$$

$$v' = 8,75 \text{ m/s.}$$

[32] **Correta.**

6. Uerj

C5-H17

Considere um patinador X que colide elasticamente com a parede P de uma sala. Os diagramas a seguir mostram segmentos orientados indicando as possíveis forças que agem no patinador e na parede, durante e após a colisão. Note que segmento nulo indica força nula.

Diagrama	Forças			
	durante a colisão		após a colisão	
I	X • ←	→ • P	X •	• P •
II	X • ←	→ • P	X • ←	→ • P
III	X • ←	• P	X • ←	• P
IV	X •	• P	X • ←	→ • P

Supondo desprezível qualquer atrito, o diagrama que melhor representa essas forças é designado por:

- a) I b) II c) III d) IV

Conforme descrito no enunciado, o patinador colide elasticamente com a parede. Disto, podemos dizer que o patinador estará exercendo uma força na parede durante certo intervalo de tempo (ou um impulso). Por conta disso, pelo princípio da ação e reação, a parede irá exercer uma força sobre o patinador de mesma intensidade, mesma direção e com sentido contrário.

Vale salientar que as duas forças só estarão atuando no patinador e na parede durante a colisão.

Dessa forma, analisando as alternativas,

[I] CORRETA.

[III] INCORRETA. As intensidades das forças são iguais durante a colisão, e após ela não existem forças atuando nos corpos.

[III] INCORRETA. Vai contra o princípio da ação e reação.

[IV] INCORRETA. Alternativa contrária à situação que de fato ocorre. Ver explicação.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. UFRGS – Considere as três afirmações a seguir e classifique-as como verdadeiras (V) ou falsas (F). Justifique suas opções.

- I. () Em qualquer processo de colisão entre dois objetos, a energia cinética total e a quantidade de movimento linear total do sistema são quantidades conservadas.
- II. () Se um objeto tem quantidade de movimento linear, então terá energia mecânica.
- III. () Entre dois objetos de massas diferentes, o de menor massa jamais terá quantidade de movimento linear maior do que o outro.

8. Udesc – Com relação às colisões elástica e inelástica, analise as proposições.

- I. Na colisão elástica, o momento linear e a energia cinética não se conservam.
- II. Na colisão inelástica, o momento linear e a energia cinética não se conservam.
- III. O momento linear se conserva tanto na colisão elástica quanto na colisão inelástica.
- IV. A energia cinética se conserva tanto na colisão elástica quanto na colisão inelástica.

Assinale a alternativa **correta**.

- a) Somente a afirmativa III é verdadeira.
- b) Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.
- c) Somente a afirmativa IV é verdadeira.
- d) Somente as afirmativas III e IV são verdadeiras.
- e) Todas as afirmativas são verdadeiras.

9. Unicamp – Tempestades solares são causadas por um fluxo intenso de partículas de altas energias ejetadas pelo Sol durante erupções solares. Esses jatos de partículas podem transportar bilhões de toneladas de gás eletrizado em altas velocidades, que podem trazer riscos de danos aos satélites em torno da Terra.

Considere que, em uma erupção solar em particular, um conjunto de partículas de massa total $m_p = 5 \text{ kg}$, deslocando-se com velocidade de módulo $v_p = 2 \cdot 10^5 \text{ m/s}$, choca-se com um satélite de massa $M_s = 95 \text{ kg}$ que se desloca com velocidade de módulo igual a $v_s = 4 \cdot 10^3 \text{ m/s}$ na mesma direção e em sentido contrário ao das partículas. Se a massa de partículas adere ao satélite após a colisão, o módulo da velocidade final do conjunto será de

- a) 102 000 m/s.
b) 14 000 m/s.
c) 6 200 m/s.
d) 3 900 m/s.

10. UEG – Na Olimpíada, o remador Isaquias Queiroz, ao se aproximar da linha de chegada com seu barco, lançou seu corpo para trás. Os analistas do esporte a remo disseram que esse ato é comum nessas competições, ao se cruzar a linha de chegada.

Em Física, o tema que explica a ação do remador é

- a) o lançamento oblíquo na superfície terrestre.
b) a conservação da quantidade de movimento.
c) o processo de colisão elástica unidimensional.
d) o princípio fundamental da dinâmica de Newton.
e) a grandeza viscosidade no princípio de Arquimedes.

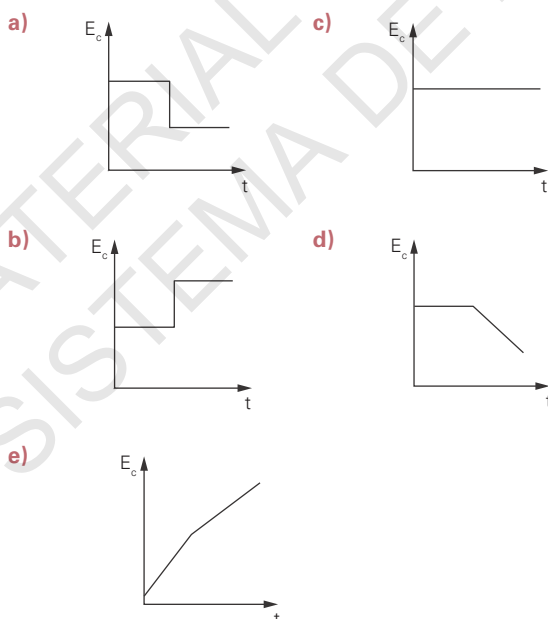
11. PUC – Um objeto de massa m escorrega com velocidade v sobre uma superfície horizontal sem atrito e colide com um objeto de massa M que estava em repouso. Após a colisão, os dois objetos saem grudados com uma velocidade horizontal igual a $v/4$.

Calcule a razão M/m .

- a) 1/3 c) 1 e) 3
b) 1/2 d) 2

12. PUC – Uma bola feita com massa de modelar, realizando movimento retilíneo uniforme, colide frontalmente com outra bola de mesmo material que estava em repouso. Após a colisão, as duas bolas permanecem unidas enquanto se movem. Considere que as bolas formam um sistema de corpos isolados e o movimento ocorre todo em uma única direção. As alternativas a seguir mostram o comportamento da energia cinética (E_c) do sistema de corpos antes e depois da colisão.

Assinale a alternativa que corresponde à colisão descrita.



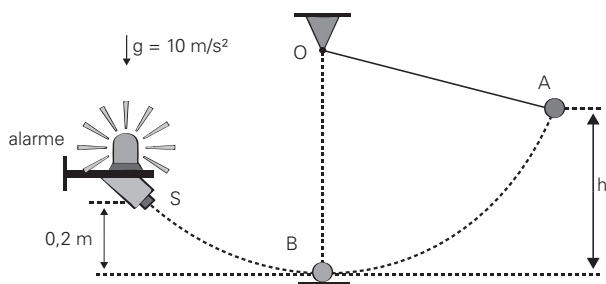
13. UPF – Em uma mesa de sinuca, uma bola é lançada frontalmente contra outra bola em repouso. Após a colisão, a bola incidente para e a bola-alvo (bola atingida) passa a se mover na mesma direção do movimento da bola incidente. Supondo que as bolas tenham massas idênticas, que o choque seja elástico e que a velocidade da bola incidente seja de 2 m/s, qual será, em m/s, a velocidade inicial da bola-alvo após a colisão?

- a) 0,5
b) 1
c) 2
d) 4
e) 8

14. Unicamp – Um gigantesco *iceberg* despreendeu-se recentemente da Antártida, no extremo sul do planeta. O despreendimento desse *iceberg*, batizado de A68, foi considerado um dos maiores eventos do gênero já registrados pela ciência moderna. Segundo a Nasa, é difícil prever se o *iceberg* permanecerá como um único bloco, mas é mais provável que ele se fragmente.

- a) Considere que o *iceberg* tem o formato aproximado de uma placa de 6 000 km² de área e 500 m de espessura. Sendo a densidade do gelo $\rho_g = 900 \text{ kg/m}^3$, calcule o empuxo sobre o *iceberg* que o mantém flutuando.
b) Suponha um *iceberg* com velocidade de deriva constante. Em um dado momento, tensões internas fazem que dois blocos de gelo menores, A e B, se desprendam e sejam lançados em sentidos opostos e perpendicularmente à direção da velocidade de deriva do *iceberg*. As massas dos blocos são $m_A = 2,0 \cdot 10^5 \text{ kg}$ e $m_B = 5,0 \cdot 10^4 \text{ kg}$. Sabendo que imediatamente após a fragmentação a direção da velocidade de deriva do *iceberg* se mantém e que o módulo da velocidade do bloco A é $v_A = 0,5 \text{ m/s}$, calcule o módulo da velocidade do bloco B imediatamente após a ruptura.

15. Unesp – Duas esferas, A e B, de mesma massa e de dimensões desprezíveis, estão inicialmente em repouso nas posições indicadas na figura. Após ser abandonada de uma altura h , a esfera A, presa por um fio ideal a um ponto fixo O, desce em movimento circular acelerado e colide frontalmente com a esfera B, que está apoiada sobre um suporte fixo no ponto mais baixo da trajetória da esfera A. Após a colisão, as esferas permanecem unidas e, juntas, se aproximam de um sensor S, situado à altura 0,2 m, que, se for tocado, fará disparar um alarme sonoro e luminoso ligado a ele.



Compare as situações imediatamente antes e imediatamente depois da colisão entre as duas esferas, indicando se a energia mecânica e a quantidade de movimento do sistema formado pelas duas esferas se conservam ou não nessa colisão. Justifique sua

resposta. Desprezando os atritos e a resistência do ar, calcule o menor valor da altura h , em metros, capaz de fazer o conjunto formado por ambas as esferas tocar o sensor S.

- 16. Uerj** – Admita uma colisão frontal totalmente inelástica entre um objeto que se move com velocidade inicial v_0 e outro objeto inicialmente em repouso, ambos com mesma massa.

Nessa situação, a velocidade com a qual os dois objetos se movem após a colisão equivale a:

- a) $\frac{v_0}{2}$
 b) $\frac{v_0}{4}$
 c) $2v_0$
 d) $4v_0$

- 17. UEM** – Suponha que um meteorito de massa m consiga penetrar no solo até atingir uma profundidade d e parar. Considerando que a força resistiva F , em módulo, que o solo exerce sobre o meteorito seja constante durante o tempo de desaceleração, assinale o que for **correto**.

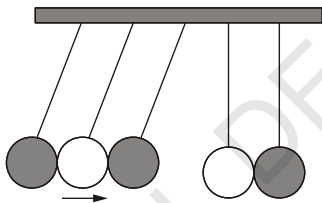
- 01)** O módulo da velocidade do meteorito ao atingir o solo é $v = \sqrt{\frac{2 \cdot F \cdot d}{m}}$.
02) O intervalo de tempo para o meteorito parar depois de atingir o solo é $\Delta t = \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot d}{F}}$.
04) Toda a energia cinética do meteorito no momento do impacto transforma-se em calor.
08) A colisão do meteorito com o solo é um exemplo de colisão elástica.
16) O módulo da força que o meteorito exerce sobre o solo é maior do que o módulo da força que o solo exerce sobre o meteorito, porque o solo se deforma mais do que o meteorito.

ESTUDO PARA O ENEM

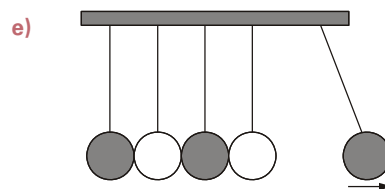
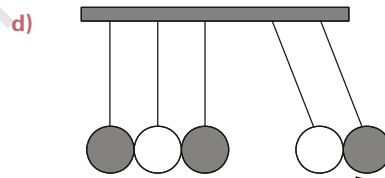
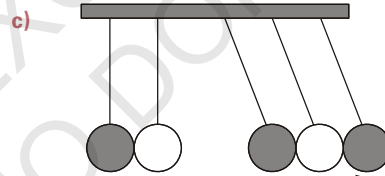
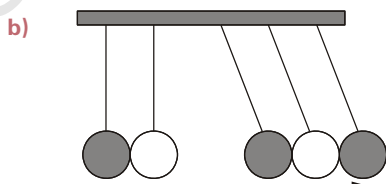
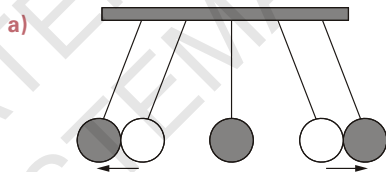
18. Enem

C6-H20

O pêndulo de Newton pode ser constituído por cinco pêndulos idênticos suspensos em um mesmo suporte. Em um dado instante, as esferas de três pêndulos são deslocadas para a esquerda e liberadas, deslocando-se para a direita e colidindo elasticamente com as outras duas esferas, que inicialmente estavam paradas.



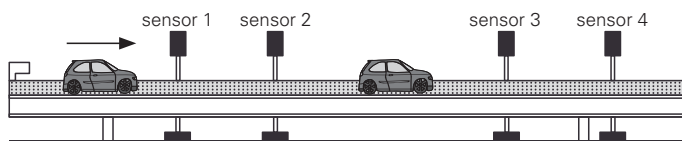
O movimento dos pêndulos após a primeira colisão está representado em:



19. Enem

C5-H17

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



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

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

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

20. PUC

C6-H20



Colisão entre carro e trem.

A figura mostra uma colisão envolvendo um trem de carga e uma caminhonete. Segundo testemunhas, o condutor da caminhonete teria ignorado o sinal sonoro e avançado a cancela da passagem de nível.

Após a colisão contra a lateral do veículo, o carro foi arrastado pelo trem por cerca de 300 metros. Supondo a massa total do trem de 120 toneladas e a da caminhonete de 3 toneladas, podemos afirmar que, no momento da colisão, a intensidade da força que

- a) o trem aplicou na caminhonete foi 40 vezes maior do que a intensidade da força que a caminhonete aplicou no trem e a colisão foi parcialmente elástica.
 b) o trem aplicou na caminhonete foi 40 vezes maior do que a intensidade da força que a caminhonete aplicou no trem e a colisão foi inelástica.
 c) a caminhonete aplicou no trem foi igual à intensidade da força que o trem aplicou na caminhonete e a colisão foi parcialmente elástica.
 d) a caminhonete aplicou no trem foi igual à intensidade da força que o trem aplicou na caminhonete e a colisão foi inelástica.

44

COLISÕES BIDIMENSIONAIS

- Choques mecânicos bidimensionais

HABILIDADES

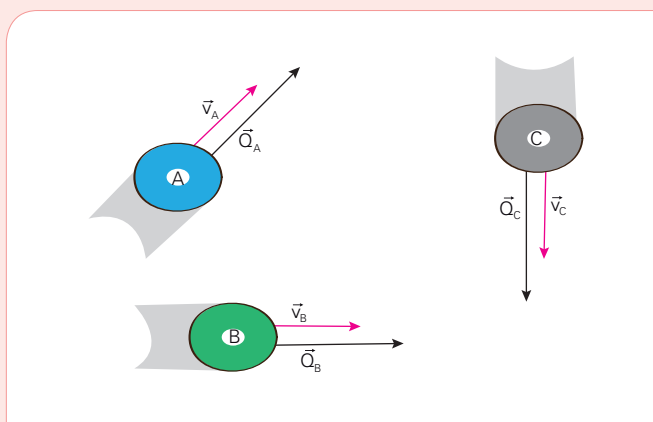
- Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.
- Relacionar propriedades físicas, químicas ou biológicas de produtos, sistemas ou procedimentos tecnológicos às finalidades a que se destinam.
- Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.
- Analisar fenômenos ou resultados de experimentos científicos, organizando e sistematizando informações dadas.
- Utilizar leis físicas para interpretar movimentos e analisar procedimentos para alterá-los ou avaliá-los, em situações de interação física entre veículos, corpos celestes e outros objetos.
- Descrever características físicas e parâmetros de movimentos de veículos, corpos celestes e outros objetos em diferentes linguagens e formas de representação.



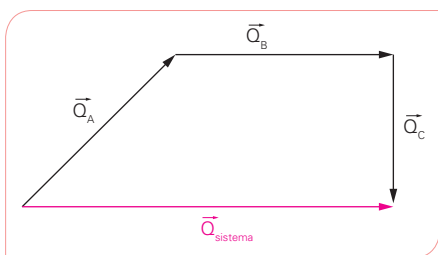
Jogo de bilhar.

Além dos diversos casos discutidos no módulo anterior, também são muito presentes na natureza colisões oblíquas (ou bidimensionais). Nesse contexto, as relações anteriores permanecem válidas, porém agora o tratamento matemático deve ser realizado todo vetorialmente. Vale lembrar que as grandezas quantidade de movimento, velocidade, força e impulso são vetoriais. No jogo de bilhar, por exemplo, observamos várias colisões oblíquas em uma única tacada.

Considere um sistema formado por três corpos, A, B e C. No diagrama a seguir estão indicadas a quantidade de movimento (momento linear) e a velocidade de cada um deles.



A quantidade de movimento do sistema é determinada pela soma vetorial das quantidades de movimento de cada um de seus constituintes.



$$\vec{Q}_{sist} = \vec{Q}_A + \vec{Q}_B + \vec{Q}_C$$

Em colisões, os corpos interagem entre si com forças internas muito intensas em intervalos de tempo muito curtos. Logo, os efeitos das possíveis forças externas podem ser desconsiderados e o fenômeno enquadra-se nas condições dos sistemas mecanicamente isolados. Assim sendo:

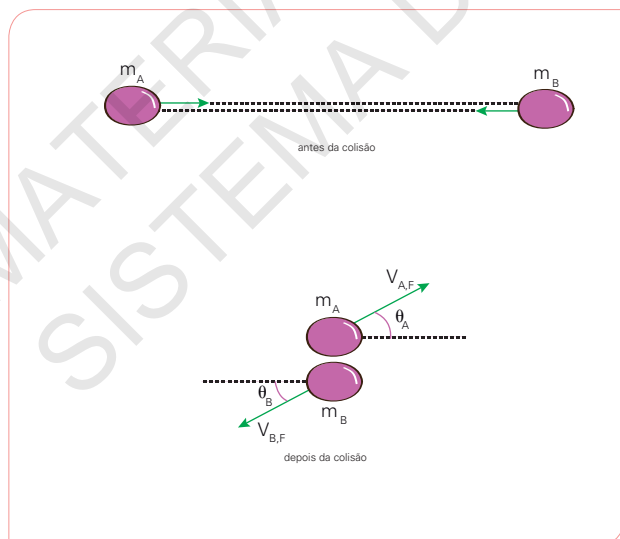
$$\vec{Q}_0^{sist} = \vec{Q}_f^{sist}$$

A conservação do momento linear ocorre em ambas as direções do plano:

$$\vec{Q}_0^{sist}(x) = \vec{Q}_f^{sist}(x)$$

$$\vec{Q}_0^{sist}(y) = \vec{Q}_f^{sist}(y)$$

Colisão bidimensional elástica



Aplicando as leis de conservação (momento linear e energia), são válidas as seguintes relações:

- Pela conservação do momento linear na direção x, tem-se:

$$\vec{Q}_0^{sist}(x) = \vec{Q}_f^{sist}(x) \Rightarrow Q_0^{sist}(x) = Q_f^{sist}(x)$$

$$m_A \cdot v_A - m_B \cdot v_B = m_A \cdot v'_A \cdot \cos\theta_A - m_B \cdot v'_B \cdot \cos\theta_B$$

- Pela conservação do momento linear na direção y, tem-se:

$$\vec{Q}_0^{sist}(y) = \vec{Q}_f^{sist}(y) = 0 \Rightarrow Q_0^{sist}(y) = Q_f^{sist}(y) = 0 \Rightarrow Q_f^A(y) = Q_f^B(y)$$

$$m_A \cdot v'_A \cdot \text{sen}\theta_A = m_B \cdot v'_B \cdot \text{sen}\theta_B$$

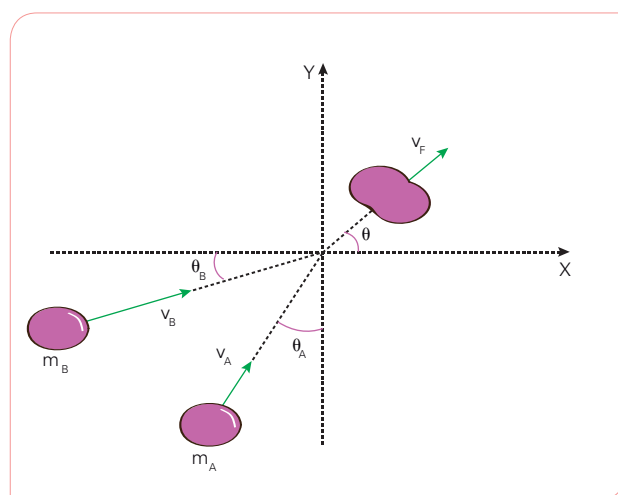
- Em **colisões perfeitamente elásticas**, ocorre, ainda, a **conservação da energia cinética do sistema**:

$$Ec_0^{sist} = Ec_f^{sist}$$

$$\frac{m_A \cdot v_A^2}{2} + \frac{m_B \cdot v_B^2}{2} = \frac{m_A \cdot v_A'^2}{2} + \frac{m_B \cdot v_B'^2}{2}$$

$$m_A \cdot v_A^2 + m_B \cdot v_B^2 = m_A \cdot v_A'^2 + m_B \cdot v_B'^2$$

Colisão bidimensional inelástica



Aplicando a conservação da quantidade de movimento do sistema em cada uma das direções do plano, determina-se as relações a seguir.

- para a direção x

$$\vec{Q}_0^{\text{sist}}(x) = \vec{Q}_f^{\text{sist}}(x) \Rightarrow Q_0^{\text{sist}}(x) = Q_f^{\text{sist}}(x)$$

$$(m_A + m_B) \cdot v' \cdot \cos\theta = m_A \cdot v_A \cdot \sin\theta_A + m_B \cdot v_B \cdot \cos\theta_B$$

- para a direção y:

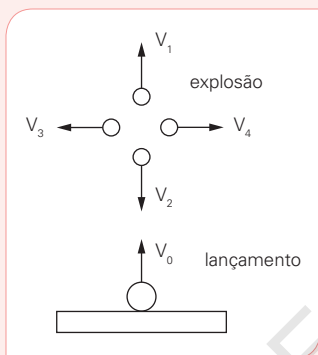
$$\vec{Q}_0^{\text{sist}}(y) = \vec{Q}_f^{\text{sist}}(y) \Rightarrow Q_0^{\text{sist}}(y) = Q_f^{\text{sist}}(y)$$

$$(m_A + m_B) \cdot v' \cdot \sin\theta = m_A \cdot v_A \cdot \cos\theta_A + m_B \cdot v_B \cdot \sin\theta_B$$

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. PUC – Uma granada é lançada verticalmente com uma velocidade V_0 . Decorrido um tempo, sua velocidade é $V_0/2$ para cima, quando ocorre a explosão. A granada fragmenta-se em quatro pedaços, de mesma massa, cujas velocidades imediatamente após a explosão são apresentadas na figura.

Considerando a conservação da quantidade de movimento, dentre as alternativas possíveis que relacionam o módulo da velocidade, assinale a única correta:



- a) $|V_1| > |V_2|$ e $|V_3| = |V_4|$
 b) $|V_1| > |V_2|$ e $|V_3| > |V_4|$
 c) $|V_1| = |V_2|$ e $|V_3| = |V_4|$
 d) $|V_1| > |V_2|$ e $|V_3| < |V_4|$
 e) $|V_1| < |V_2|$ e $|V_3| = |V_4|$

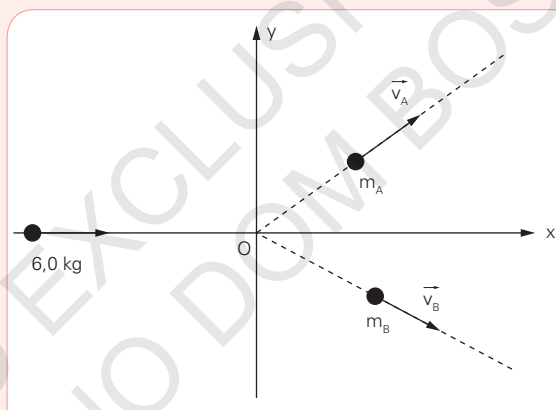
Resolução

Imediatamente antes da explosão, a quantidade de movimento do sistema é vertical e para cima. Sabendo que durante a explosão a quantidade de movimento do sistema se conserva (em módulo, direção e sentido), pode-se afirmar que a quantidade de movimento (e velocidade) do fragmento 1 imediatamente após a explosão será de maior intensidade que aquela apresentada pelo fragmento 2. Na horizontal, a quantidade de movimento do sistema é nula. Logo, pode-se afirmar que os fragmentos 3 e 4 terão quantidade de movimento (e velocidade) com mesma intensidade e mesma direção, porém com sentidos opostos.

Alternativa: A

2. Unesp – Um corpo de 6,0 kg, deslocando-se com velocidade \vec{v} na direção e no sentido de um eixo x e livre de forças externas, explode, separando-se em dois pedaços, A e B, de massas m_A e m_B , respectivamente. Após a explosão, A e B passam a se deslocar no plano xOy, afastando-se do ponto O com velocidades \vec{v}_A e \vec{v}_B , respectivamente,

segundo as direções representadas esquematicamente por linhas pontilhadas na figura.



- a) Sendo v o módulo de \vec{v} e sabendo que os módulos das componentes vetoriais de \vec{v}_A e \vec{v}_B na direção de x valem, respectivamente, $v/2$ e $2v$, determine as massas m_A e m_B .
 b) Sendo v_{Ay} e v_{By} , respectivamente, os módulos das componentes de \vec{v}_A e \vec{v}_B na direção de y, determine a razão v_{Ay}/v_{By} .

Resolução

a) Considerando a conservação da quantidade de movimento do sistema na direção x, tem-se:

$$Q_{\text{Sist}}^i(x) = Q_{\text{Sist}}^f(x)$$

$$6v = m_A \cdot \frac{v}{2} + (6 - m_A) \cdot 2v$$

$$6 = 0,5 \cdot m_A + 12 - 2m_A$$

$$1,5 \cdot m_A = 6$$

$$m_A = 4\text{kg} \Rightarrow m_B = 6 - m_A = 2\text{kg}$$

b) Considerando a conservação da quantidade de movimento do sistema na direção y, tem-se:

$$Q_{\text{Sist}}^i(y) = Q_{\text{Sist}}^f(y) = 0$$

$$|Q_A^f(y)| = |Q_B^f(y)|$$

$$m_A \cdot v_y^A = m_B \cdot v_y^B$$

$$4 \cdot v_y^A = 2 \cdot v_y^B$$

$$\frac{v_y^A}{v_y^B} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2}$$

ROTEIRO DE AULA

COLISÕES

são sistemas
mecanicamente
isolados, afinal:

são eventos extremamente
rápidos.

as forças externas são geral-
mente muito menores que
as internas.

A quantidade
de movimento
do sistema:

é determinada

pela soma vetorial das quan-
tidades de movimento dos
constituintes do sistema.

se conserva,
ou seja,

imediatamente
antes e imedia-
tamente após a
colisão

possui módulo, direção e
sentido iguais.

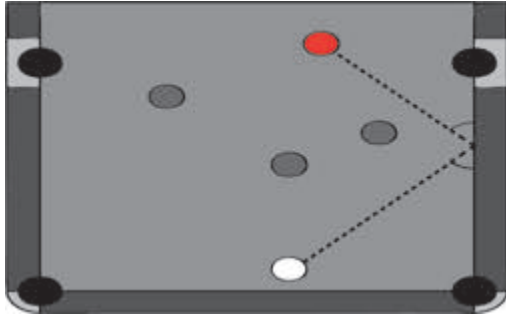
Se perfeita-
mente elástica:

a energia cinética do siste-
ma será conservada.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

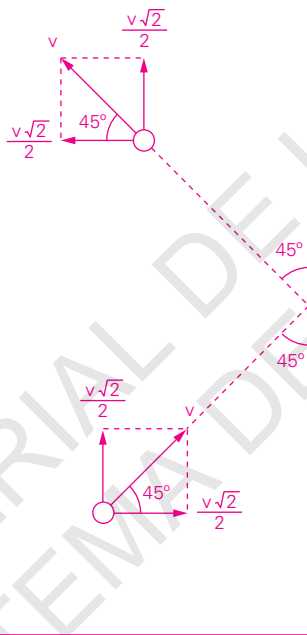
EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Famerp – Durante uma partida de sinuca, um jogador, impossibilitado de atingir diretamente a bola vermelha com a bola branca, decide utilizar a tabela da mesa. Ele dá uma tacada na bola branca, que, seguindo a trajetória tracejada indicada na figura, com velocidade escalar constante de módulo v_1 , acerta a bola vermelha.



Seja m a massa da bola branca, determine o módulo da variação da quantidade de movimento sofrida por essa bola na colisão contra a tabela da mesa.

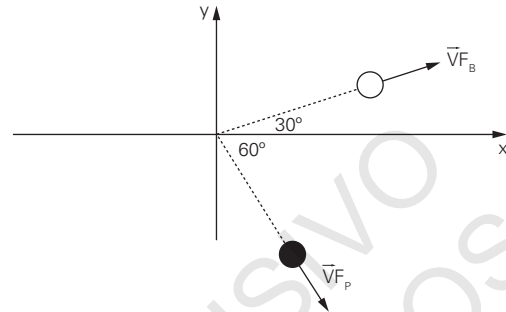
Supondo a colisão contra a tabela da mesa elástica, temos que:



Observamos que a variação em y é nula e que a variação total será igual à variação em x , dada por:

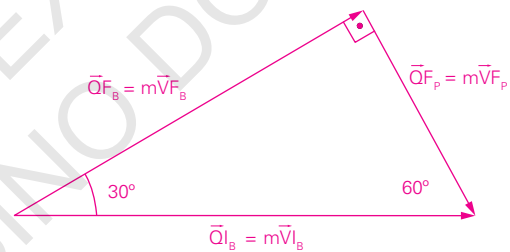
$$\frac{m \cdot v \cdot \sqrt{2}}{2} - \left(-\frac{m \cdot v \cdot \sqrt{2}}{2} \right) = m \cdot v \cdot \sqrt{2}$$

2. Cefet – Uma bola branca de sinuca, com velocidade de 10 m/s na direção X e em sentido positivo, colide elasticamente, na origem do sistema de coordenadas XY , com uma bola preta de mesma massa, inicialmente em repouso.



Determine as velocidades finais das bolas preta, V_F , e branca, V_B , após a colisão.

Pela conservação da quantidade de movimento, o somatório vetorial das quantidades de movimento iniciais das bolas branca e preta é igual à quantidade de movimento inicial da bola branca, como mostrado na figura a seguir.



Como se trata de um triângulo retângulo:

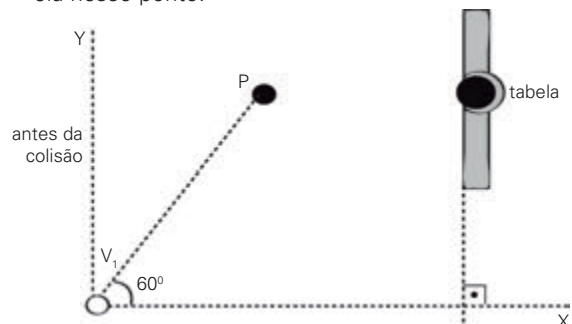
$$\sin 30^\circ = \frac{QF_A}{QI_A} \Rightarrow \frac{1}{2} = \frac{m \cdot VF_A}{m \cdot VI_A} \Rightarrow \frac{1}{2} = \frac{VF_A}{10} \Rightarrow VF_A = \frac{10}{2}$$

$$VF_A = 5 \text{ m/s.}$$

$$\cos 30^\circ = \frac{QF_B}{QI_A} \Rightarrow 0,87 = \frac{m \cdot VF_B}{10} \Rightarrow VF_B = 10 \cdot (0,87) \Rightarrow$$

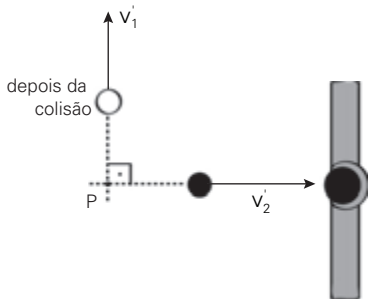
$$VF_B = 8,7 \text{ m/s.}$$

3. UFTM – Em um jogo de sinuca, a bola branca é lançada com velocidade V_1 , de módulo igual a 2 m/s contra a bola preta, que está em repouso no ponto P , colidindo com ela nesse ponto.



Imediatamente após a colisão, as bolas movem-se perpendicularmente uma a outra, a bola branca com

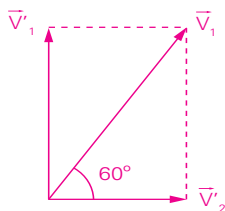
velocidade V'_1 de módulo igual a $\sqrt{3}$ m/s e a bola preta com velocidade V'_2 , dirigindo-se para a caçapa, em uma direção perpendicular à tabela, conforme indica a figura.



Considerando que as bolas tenham massas iguais, o módulo de V'_2 , em m/s, é

- a) $\sqrt{3}$.
- b) $\sqrt{2}$.
- c) 1.**
- d) $\frac{\sqrt{3}}{2}$.
- e) 0,5.

Pela conservação da quantidade de movimento:



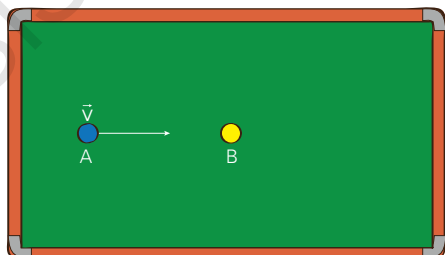
$$m \cdot \vec{v}_1 = m \cdot \vec{v}'_1 + m \cdot \vec{v}'_2 \Rightarrow \vec{v}_1 = \vec{v}'_1 + \vec{v}'_2 \Rightarrow$$

Da figura:

$$v_2 = v_1 \cdot \cos 60^\circ = 2 \left(\frac{1}{2} \right) \Rightarrow v_2 = 1 \text{ m/s.}$$

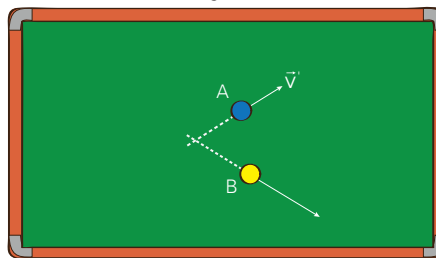
4. Unesp – Em um jogo de sinuca, a bola A é lançada com velocidade \vec{V} de módulo constante e igual a 2 m/s em uma direção paralela às tabelas (laterais) maiores da mesa, conforme representado na figura 1. Ela choca-se de maneira perfeitamente elástica com a bola B, a princípio em repouso, e, após a colisão, elas se movem em direções distintas, conforme a figura 2.

Figura 1



fora de escala

Figura 2



fora de escala

Sabe-se que as duas bolas são de mesmo material e idênticas em massa e volume. A bola A tem, imediatamente depois da colisão, velocidade \vec{V}' de módulo igual a 1 m/s. Desprezando os atritos e sendo E'_B a energia cinética da bola B imediatamente depois da colisão e E_A a energia cinética da bola A antes da colisão, a razão

$\frac{E'_B}{E_A}$ é igual a

- a) $\frac{2}{3}$
- b) $\frac{1}{2}$
- c) $\frac{4}{5}$
- d) $\frac{1}{5}$
- e) $\frac{3}{4}$**

Como o choque é perfeitamente elástico, a energia cinética se conserva.

Então:

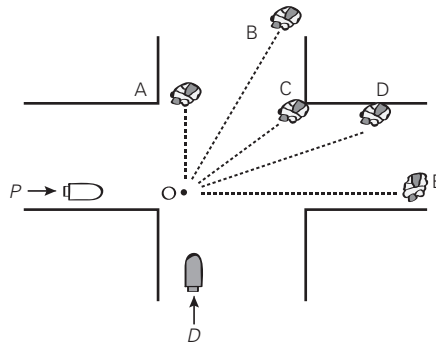
$$E_{\text{Cin}}^{\text{antes}} = E_{\text{Cin}}^{\text{depois}} \Rightarrow E_A = E'_A + E'_B \Rightarrow \frac{m \cdot 2^2}{2} = \frac{m \cdot 1^2}{2} + E'_B \Rightarrow E'_B = \frac{3 \cdot m}{2}.$$

$$\text{Como: } E_A = \frac{m \cdot 2^2}{2} \Rightarrow E_A = \frac{4 \cdot m}{2}.$$

Então:

$$\frac{E'_B}{E_A} = \frac{3m/2}{4m/2} \Rightarrow \frac{E'_B}{E_A} = \frac{3}{4}.$$

5. Fuvest – Perto de uma esquina, um pipoqueiro, P, e um “dogueiro”, D, empurram distraidamente seus carrinhos, com a mesma velocidade (em módulo). O carrinho do “dogueiro” tem o triplo da massa do carrinho do pipoqueiro. Na esquina, eles colidem (em O) e os carrinhos se engancham, em um choque totalmente inelástico.



Uma trajetória possível dos dois carrinhos, após a colisão, é compatível com a indicada por

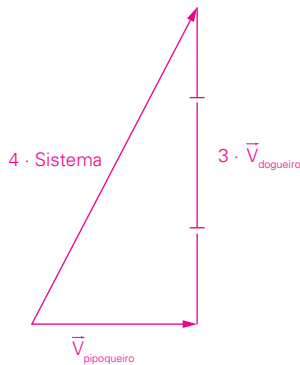
- a) A
- b) B**
- c) C
- d) D
- e) E

Sendo a colisão inelástica, com os corpos permanecendo juntos após a interação, temos:

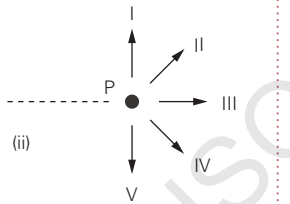
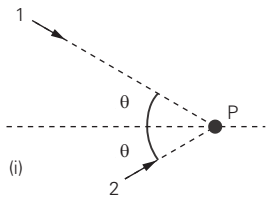
$$\vec{Q}_{(\text{sist})} = \vec{Q}_{(\text{sist})}$$

$$m \cdot \vec{v}_p + 3 \cdot m \cdot \vec{v}_d = 4 \cdot m \cdot \vec{v}_{\text{sist}}$$

$$\vec{v}_p + 3 \cdot \vec{v}_d = 4 \cdot \vec{v}_{\text{sist}}$$



6. UFRGS – A figura (i) esquematiza a trajetória de duas partículas, 1 e 2, em rota de colisão inelástica, a ocorrer no ponto P; a figura (ii) representa cinco possibilidades de trajetória do centro de massa do sistema após a colisão.



EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. UFSM – A hipótese mais aceita nos meios científicos atribui a grande extinção da fauna terrestre, ocorrida há aproximadamente 65 milhões de anos, à colisão de um corpo celeste de grandes dimensões, possivelmente um cometa, com a superfície da Terra. Esse bólido foi absorvido pela Terra, e o que se seguiu foi um súbito desequilíbrio ambiental, que incluiu obstrução da passagem da luz solar, maremotos e violentas erupções vulcânicas.

A respeito das propriedades desse tipo de colisão, complete as lacunas na afirmação a seguir.

Trata-se de um exemplo de choque perfeitamente _____, em que o momento linear do sistema cometa-Terra _____ conservado. Nesse evento, ocorre _____ da energia mecânica.

Assinale a sequência correta.

- a) inelástico – é – conservação
- b) elástico – não é – conservação
- c) elástico – não é – dissipação
- d) inelástico – não é – conservação
- e) inelástico – é – dissipação

8. UFTM – Duas crianças brincam com massas de modelar sobre uma mesa horizontal e fazem duas esferas, A e B, de massas iguais. Em seguida, lançam as esferas, que passam a rolar sobre a mesa, em direções perpen-

As massas e os módulos das velocidades das partículas 1 e 2 são, respectivamente, m e $2V_0$; e $2 \cdot m$ e V_0 .

Na figura (ii), a trajetória que melhor descreve o movimento final é a

- a) I.
- b) II.
- c) III.
- d) IV.
- e) V.

A análise das componentes verticais e horizontais da quantidade de movimento de ambas as partículas nos permite concluir a direção final de seus movimentos após a colisão, pois temos a conservação da quantidade de movimento:

$$\sum Q_{y,\text{inicial}} = \sum Q_{y,\text{final}} \text{ e } \sum Q_{x,\text{inicial}} = \sum Q_{x,\text{final}}$$

Se algum desses somatórios for nulo, significa que, após o choque, as partículas não se deslocam por esse eixo.

Começando pelo eixo vertical y:

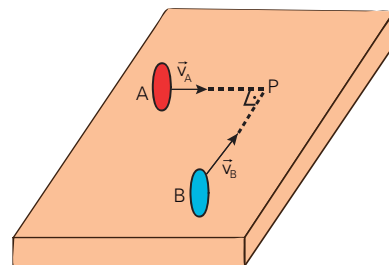
$$\sum Q_{y,\text{inicial}} = \sum Q_{y,\text{final}}$$

$$\sum Q_{y,\text{final}} = Q_{1y,j} + Q_{2y,j} \Rightarrow \sum Q_{y,\text{final}} = -m \cdot 2v_0 \cdot \text{sen } \theta +$$

$$+ 2m \cdot v_0 \cdot \text{sen } \theta \therefore \sum Q_{y,\text{final}} = 0$$

Logo, se não há movimento final no eixo vertical, então as partículas se movem no eixo horizontal após a colisão inelástica.

diculares entre si, conforme representado na figura. Após a colisão no ponto P, as esferas permanecem grudadas uma na outra, movendo-se juntas.



Sabendo que imediatamente antes da colisão as esferas têm velocidades $V_A = V_B = 2 \text{ m/s}$, o módulo da velocidade do conjunto formado pelas duas esferas juntas, em m/s, imediatamente depois da colisão é igual a

- a) $\sqrt{2}$.
- b) 2.
- c) 3.
- d) 4.
- e) 8.

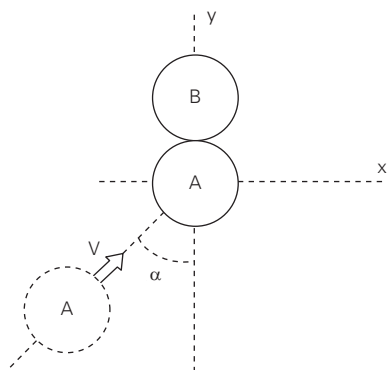
9. Unicamp – Jogadores de sinuca e bilhar sabem que, em uma colisão não frontal de duas bolas, A e B, de mesma massa, estando a bola B inicialmente parada, as duas bolas saem em direções que formam um ângulo de 90° . Considere a colisão de duas bolas de 200 g, representada na figura a seguir. A se dirige a B com velocidade $V = 2,0 \text{ m/s}$, formando um ângulo α com a

direção y , tal que $\sin \alpha = 0,80$. Após a colisão, B sai na direção y .

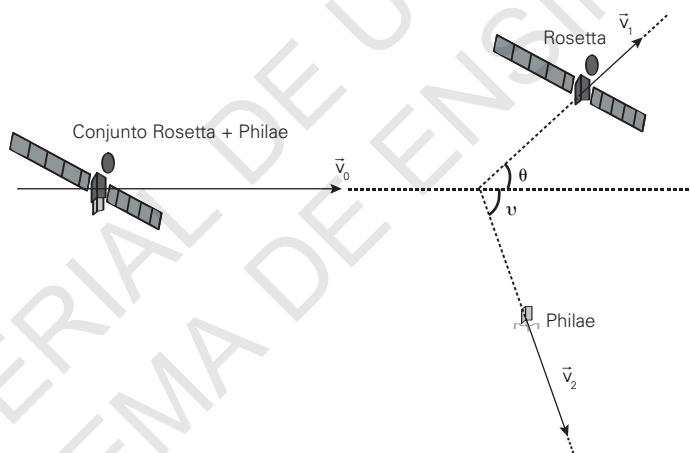
a) Calcule as componentes x e y das velocidades de A e B logo após a colisão.

b) Calcule a variação da energia (cinética de translação) na colisão.

Obs.: Despreze a rotação e o rolamento das bolas.

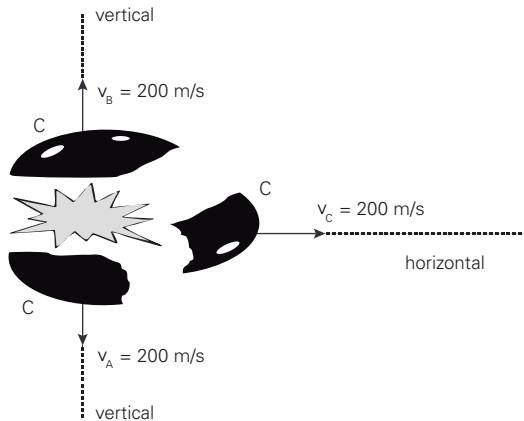


10. PUC – A sonda espacial Rosetta realizou um feito sem precedentes na história da exploração espacial. Em 2014, quando viajava com velocidade inicial v_0 de 64 800 km/h (18 000 m/s), lançou o robô Philae, de 100 kg, na direção da superfície de um cometa. A figura a seguir ilustra a situação.



Com o efeito do lançamento do robô, as trajetórias foram alteradas de tal forma que $\sin \alpha = 0,8$ e $\sin \theta = 0,6$. Sendo a massa da sonda Rosetta de 3 000 kg, determine a razão entre a velocidade com que o robô foi lançado em direção ao cometa (v_2) e a velocidade final da sonda Rosetta (v_1).

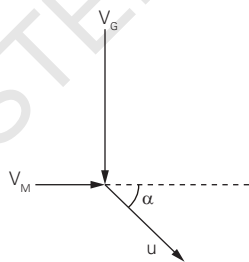
- 11. Unesp** – Enquanto movia-se por uma trajetória parabólica depois de ter sido lançada obliquamente e livre de resistência do ar, uma bomba de 400 g explodiu em três partes, A, B e C, de massas $m_A = 200$ g e $m_B = m_C = 100$ g. A figura representa as três partes da bomba e suas respectivas velocidades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



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

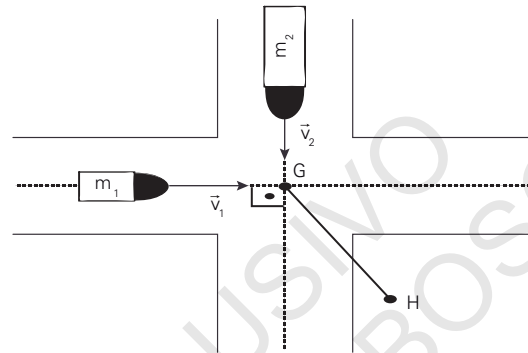
- 100 m/s e explodiu antes de atingir a altura máxima de sua trajetória.
- 100 m/s e explodiu exatamente na altura máxima de sua trajetória.
- 200 m/s e explodiu depois de atingir a altura máxima de sua trajetória.
- 400 m/s e explodiu exatamente na altura máxima de sua trajetória.
- 400 m/s e explodiu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

- 12. Fuvest** – Um gavião avista, abaixo dele, um melro e, para apanhá-lo, passa a voar verticalmente, conseguindo agarrá-lo. Logo antes do instante em que o gavião, de massa $M_G = 300$ g, agarra o melro, de massa $M_M = 100$ g, as velocidades do gavião e do melro são, respectivamente, $V_G = 80$ km/h na direção vertical, para baixo, e $V_M = 24$ km/h na direção horizontal, para a direita, como ilustra a figura. No instante após a caça, o vetor velocidade u do gavião, que voa segurando o melro, forma um ângulo α com o plano horizontal, tal que $\text{tg } \alpha$ é aproximadamente igual a



- 20.
- 10.
- 3.
- 0,3.
- 0,1.

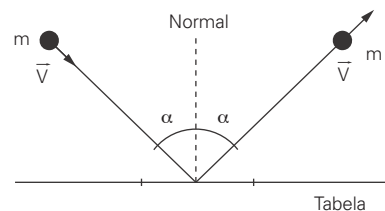
- 13. EsPCEX** – Dois caminhões de massa $m_1 = 2,0$ ton e $m_2 = 4,0$ ton, com velocidades $v_1 = 30$ m/s e $v_2 = 20$ m/s, respectivamente, e trajetórias perpendiculares entre si, colidem em um cruzamento no ponto G e passam a se movimentar unidos até o ponto H, conforme a figura. Considerando o choque perfeitamente inelástico, o módulo da velocidade dos veículos logo após a colisão é:



desenho ilustrativo – fora de escala

- 30 km/h
- 40 km/h
- 60 km/h
- 70 km/h
- 75 km/h

- 14. PUC-PR** – A figura a seguir ilustra a visão superior de uma mesa de sinuca, onde uma bola de massa 400 g atinge a tabela com um ângulo de 60° com a normal e ricocheteia formando o mesmo ângulo com a normal. A velocidade da bola, de 9 m/s, altera apenas a direção do movimento durante o choque, que tem uma duração de 10 ms.



Fonte: <http://dc599.4shared.com/doc/60RRNU8T/preview_html_macas212.png>. (Adaptado)

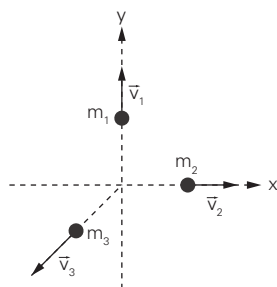
A partir da situação descrita, a bola exerce uma força média na tabela da mesa de:

- 360 N
- 5400 N
- 3600 N
- 4000 N
- 600 N

- 15. EsPCEX** – Uma granada de mão, inicialmente em repouso, explode sobre uma mesa indestrutível, de superfície horizontal e sem atrito, e fragmenta-se em três pedaços de massas m_1 , m_2 e m_3 , que adquirem velocidades coplanares entre si e paralelas ao plano da mesa.

Os valores das massas são $m_1 = m_2 = m$ e $m_3 = \frac{m}{2}$.

Imediatamente após a explosão, as massas m_1 e m_2 adquirem as velocidades \vec{v}_1 e \vec{v}_2 , respectivamente, cujos módulos são iguais a v , conforme o desenho.

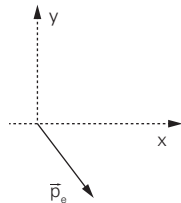


MESA VISTA DE CIMA
Desenho ilustrativo fora de escala

Desprezando todas as forças externas, o módulo da velocidade \bar{v}_3 , imediatamente após a explosão, é

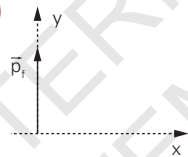
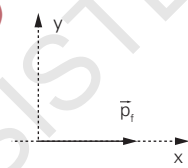
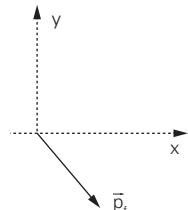
- a) $\frac{\sqrt{2}}{4}v$
- b) $\frac{\sqrt{2}}{2}v$
- c) $\sqrt{2}v$
- d) $\frac{3}{2} \cdot \sqrt{2}v$
- e) $2 \cdot \sqrt{2}v$

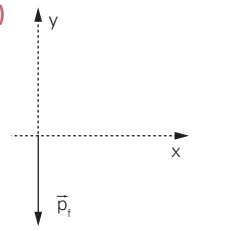
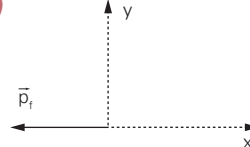
16. Fuvest – Um fóton, com quantidade de movimento na direção e no sentido do eixo x, colide com um elétron em repouso. Depois da colisão, o elétron passa a se mover com quantidade de movimento \bar{p}_e , no plano xy, como ilustra a figura.



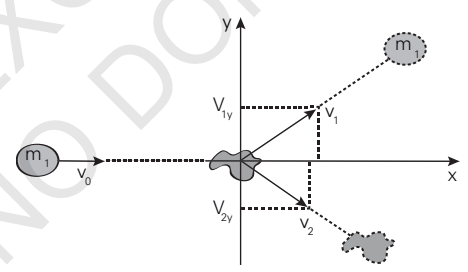
Dos vetores \bar{p}_f a seguir, o único que poderia representar a direção e o sentido da quantidade de movimento do fóton, após a colisão, é

Note e adote: O princípio da conservação da quantidade de movimento é válido também para a interação entre fótons e elétrons.)

- a) 
- b) 
- c) 

- d) 
- e) 

17. UFG – Uma experiência comum utilizando um acelerador de partículas consiste em incidir uma partícula conhecida sobre um alvo desconhecido e, a partir da análise dos resultados do processo de colisão, obter informações acerca do alvo. Um professor, para ilustrar de maneira simplificada como esse processo ocorre, propôs a seguinte situação, em que uma partícula de massa $m_1 = 0,2$ kg colide com um alvo que inicialmente estava em repouso, conforme a figura.



Após a colisão, obteve-se como resultado que as componentes y das velocidades são, respectivamente, $v_{1y} = 5$ m/s e $v_{2y} = -2$ m/s. Nesse caso, calcule a massa do alvo.

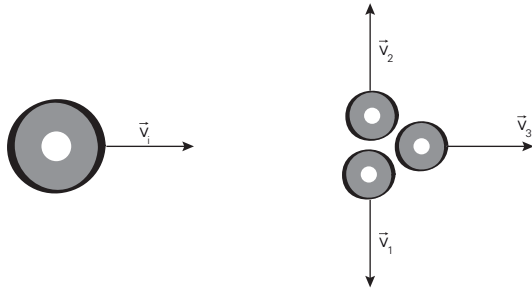
ESTUDO PARA O ENEM

18. UFPB

C6-H20

Há 60 anos, lamentavelmente, foi lançada, sobre Hiroshima, uma bomba atômica cujo princípio físico é o da fissão nuclear. Nesse processo, um núcleo atômico pesado divide-se em núcleos menores, liberando grande quantidade de energia em todas as direções. Suponha que o núcleo de um determinado átomo parta-se em três pedaços de mesma massa, movendo-se com velocidades iguais em módulo ($v_1 = v_2 = v_3 = v$), nas direções indicadas na figura.

Considere a massa total, após a divisão, igual à massa inicial.



A velocidade v_i do núcleo, antes da divisão, é:

- a) $3v$
- b) $2v$
- c) v
- d) $\left(\frac{1}{2}\right)v$
- e) $\left(\frac{1}{3}\right)v$

19. Esc. Naval

C6-H20

Uma granada, que estava inicialmente com velocidade nula, explode, partindo-se em três pedaços. O primeiro pedaço, de massa $M_1 = 0,20$ kg, é projetado com uma velocidade de módulo igual a 10 m/s. O segundo pedaço, de massa $M_2 = 0,10$ kg, é projetado em uma direção perpendicular à direção do primeiro pedaço, com uma velocidade de módulo igual a 15 m/s. Sabendo-se que o módulo da velocidade do terceiro pedaço é igual a $5,0$ m/s, a massa da granada, em kg, vale

- a) 0,30
- b) 0,60
- c) 0,80
- d) 1,0
- e) 1,2

20. IME-RJ

C3-H8

Dois corpos iguais deslizam na mesma direção e em sentidos opostos em um movimento retilíneo uniforme, ambos na mesma velocidade em módulo e à mesma temperatura. Em seguida, os corpos colidem. A colisão é perfeitamente inelástica, toda energia liberada no choque sendo utilizada para aumentar a temperatura dos corpos em 2 K. Diante do exposto, o módulo da velocidade inicial do corpo, em m/s, é

Dado: Calor específico dos corpos: $c = 2 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$.

- a) $\sqrt{2}$
- b) 2
- c) $2\sqrt{2}$
- d) 4
- e) 6

SHUTTERSTOCK / ABC7



FÍSICA 2A

CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

33

INTRODUÇÃO À TERMOLOGIA

- Temperatura
- Termômetro
- Escalas de temperatura

HABILIDADES

- Conceituar calor, temperatura e sensação térmica.
- Relacionar substâncias e grandezas termodinâmicas com a medida de temperatura.
- Converter temperatura entre as três escalas utilizadas atualmente.



MVP64/ISTOCKPHOTO

Sorvete derretendo, mudança de estado físico.

Calor é energia, mais especificamente energia em trânsito. Isso significa que o conceito de calor só existe quando há uma diferença de temperatura em um meio ou em meios diferentes, e ele é responsável por aquecimento, resfriamento ou mudanças no estado físico dos corpos.

Os gregos antigos já utilizavam noções de quente e frio. O médico alemão Georg Stahl (1660-1734) lançou o conceito de flogístico como sendo uma substância que os corpos ganham ao ser aquecidos e perdem ao ser resfriados. Esse conceito foi substituído mais tarde pelo de calórico, lançado por Antoine Lavoisier (1743-1794), como sendo uma substância fluida e invisível presente em grande quantidade nos corpos quentes. Foi no século XIX que surgiu o conceito de calor como forma de energia, graças aos trabalhos de Benjamin Thompson (1753-1814). Já James P. Joule (1818-1889), ao determinar o equivalente mecânico de calor, estabeleceu definitivamente o calor como forma de energia.

Termologia é o ramo da Física que estuda o calor e fenômenos térmicos, como: temperatura, dilatação, energia térmica, estudo térmico dos gases, entre outros. Estuda também a relação do calor com a mecânica por meio de máquinas térmicas e refrigeradores. É possível encontrar os princípios fundamentais da termologia nas máquinas de alta tecnologia, na geladeira de sua casa, em uma garrafa térmica, na panela de pressão, no funcionamento do motor de um carro, em planejamentos de construções, na meteorologia, entre outros exemplos.

Temperatura

É importante ressaltar que temperatura é diferente de calor. Enquanto calor é energia em trânsito, temperatura é uma grandeza física escalar definida como a medida do grau de agitação das moléculas que constituem um sistema.

É comum também relacionarmos o conceito de temperatura com a sensação de frio ou quente. A sensação térmica não serve como uma medida precisa de temperatura, pois depende de outros fatores. Em resumo, a sensação térmica é como os nossos sentidos percebem a temperatura de um sistema, que pode ser diferente da temperatura real. Por exemplo, dias em que foi registrada a mesma temperatura podem apresentar uma sensação térmica diferente, pois fatores como umidade relativa do ar, densidade atmosférica e velocidade de propagação do vento interferem na troca de calor entre o meio ambiente e seu corpo.



MEMOANGEL/ISTOCKPHOTO

Sensação térmica é como os nossos sentidos percebem a temperatura do ambiente.

Mede-se temperatura de maneira indireta, por meio de grandezas físicas mensuráveis (denominadas de grandezas termométricas) que variam proporcionalmente com a temperatura do sistema. Por exemplo, o volume de uma substância, o comprimento de uma barra, a resistência elétrica de um fio, a pressão de um gás a volume constante, entre outros.

O termômetro de mercúrio, por exemplo, consiste em um tubo de vidro contendo esse metal no estado líquido. O mercúrio, como qualquer metal, dilata à medida que aumenta de temperatura; assim, o volume do mercúrio se expande no tubo de vidro até entrar em equilíbrio térmico com o sistema no qual permanece em contato por determinado período de tempo. A temperatura é obtida pela relação com a variação de volume do mercúrio.



AUT/ISTOCKPHOTO

Termômetro clínico de mercúrio.

Escalas de temperatura

Após escolher a substância e a grandeza termométrica do termômetro, o ponto-chave é estabelecer sua escala termométrica. A escala termométrica é feita de maneira arbitrária, normalmente, a partir dos chamados pontos fixos (pontos de fusão e ebulição da água). Hoje as escalas utilizadas são: Celsius, Fahrenheit e Kelvin.

A escala Celsius foi estabelecida pelo físico sueco Anders Celsius, que considerou a temperatura de congelamento da água igual a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, e a temperatura de ebulição dela, $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. A escala é dividida em 100 partes, sendo cada unidade de escala denominada grau Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

Daniel Gabriel Fahrenheit propôs a escala de mesmo nome pensando em manter valores positivos na temperatura. Ele estipulou $100\text{ }^{\circ}\text{F}$ como a temperatura febril do corpo humano ($37,7\text{ }^{\circ}\text{C}$). Nessa escala, o ponto de congelamento da água ocorre a $32\text{ }^{\circ}\text{F}$, e a temperatura de ebulição dela é $212\text{ }^{\circ}\text{F}$. A escala é dividida em 180 partes, sendo cada unidade denominada grau Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$).

Por fim, a escala Kelvin, ou também denominada escala absoluta, foi estabelecida pelo físico irlandês William Thomson (Lorde Kelvin). Ele verificou experimentalmente que, quando um gás é resfriado de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$, a pressão dele diminui $1/273$ do valor inicial. William propôs que, quando a pressão de um gás fosse nula, a agitação térmica também seria nula. Isso aconteceria a uma temperatura de $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$, o que foi estipulado como sendo zero Kelvin. Desse modo, o ponto de fusão do gelo corresponde a 273 K , e o ponto de ebulição da água, a 373 K . A escala é dividida em 100 partes, e cada unidade é denominada Kelvin (sem o símbolo de grau).

$$\frac{^{\circ}\text{C}}{5} = \frac{^{\circ}\text{F} - 32}{9} = \frac{\text{K} - 273}{5}$$

Observação: Descobriu-se que as moléculas possuem uma energia mínima denominada energia do ponto zero. O zero absoluto é obtido por extrapolação.

A relação entre as escalas de temperatura é dada por:

Sendo:

$^{\circ}\text{C}$ = Temperatura em Celsius

$^{\circ}\text{F}$ = Temperatura em Fahrenheit

K = Temperatura em Kelvin

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. Sistema Dom Bosco – A tabela a seguir indica o nome de alguns metais e seus supostos pontos de fusão nas escalas de temperatura Celsius e Fahrenheit. Baseando-se nos valores preenchidos, calcule os valores em aberto na tabela:

Metal	Ponto de fusão (°C)	Ponto de fusão (°F)
Platina	1770	
Plutônio		1180
Potássio		146
Ródio	1965	
Selênio	217	

Resolução

Aplicando-se a equação de conversão de escala de temperatura entre graus Celsius e Fahrenheit:

$$\frac{\theta_c}{5} = \frac{(\theta_f - 32)}{9}$$

Onde θ_c simboliza a temperatura em graus Celsius e θ_f simboliza a temperatura em graus Fahrenheit, temos:

Para PLATINA:

$$\frac{1770}{5} = \frac{(\theta_f - 32)}{9}$$

$$\theta_f = 3218 \text{ }^\circ\text{F}$$

Para PLUTÔNIO:

$$\frac{\theta_c}{5} = \frac{(1180 - 32)}{9}$$

$$\theta_c \cong 638 \text{ }^\circ\text{C}$$

Para POTÁSSIO:

$$\frac{\theta_c}{5} = \frac{(146 - 32)}{9}$$

$$\theta_c \cong 63 \text{ }^\circ\text{C}$$

Para RÓDIO:

$$\frac{1965}{5} = \frac{(\theta_f - 32)}{9}$$

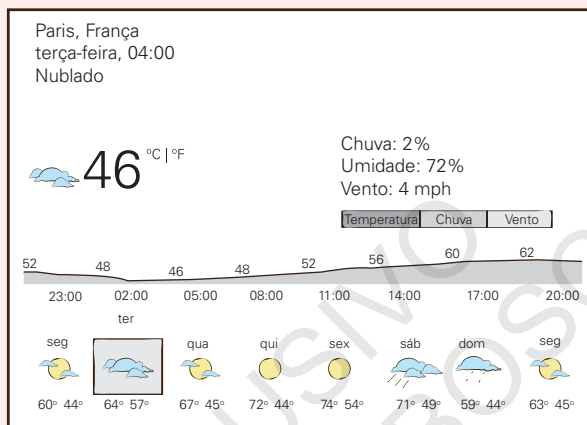
$$\theta_f = 3569 \text{ }^\circ\text{F}$$

Para SELÊNIO:

$$\frac{217}{5} = \frac{(\theta_f - 32)}{9}$$

$$\theta_f \cong 422,5 \text{ }^\circ\text{F}$$

2. Sistema Dom Bosco – Ao consultar o site weather.com, José obteve o seguinte resultado para a busca sobre a temperatura na França naquele momento:



Fonte: <<https://www.google.com.br/search?q=TEMPERATURA+NA+FRANCA&oq=TEMPERATURA+NA+FRANCA&aqs=chrome..69i57j0l5.12569j0j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8>>.

Os símbolos $^\circ\text{C}$ e $^\circ\text{F}$ eram clicáveis e exibiam a temperatura nas escalas Celsius e Fahrenheit, conforme José os acessava. Nesse caso, José visualizou a temperatura de $46 \text{ }^\circ\text{F}$. Quais as correspondentes temperaturas em Kelvin e graus Celsius?

- a) 281 e 8
- b) 8 e 281
- c) 285 e 46
- d) 46 e 285
- e) 46 e 0

Resolução

$$\frac{\theta_c}{5} = \frac{(46 - 32)}{9}$$

$$\theta_c \cong 8 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\theta_c + 273 = T$$

$$8 + 273 = 281 \text{ K}$$

ROTEIRO DE AULA

Calor é energia em trânsito _____.

Temperatura é uma escala _____
 numérica que ilustra o nível de agitação _____
 das moléculas de um sistema.

A comparação dos pontos fixos nas três escalas _____
 _____ de temperatura utilizadas atualmente está
 relacionada pela equação:

$$\frac{\theta_c}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9} = \frac{T - 273}{5}$$

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
 SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Sistema Dom Bosco – No discurso cotidiano, empregamos as palavras “calor”, “temperatura”, “quente” e “frio” com significados diferentes dos aceitos pela comunidade científica. Por exemplo, na fala “esta blusa irá me esquentar”, damos a entender que a blusa pode ser fonte de calor, o que de fato não é. A blusa somente trabalha como isolante térmico, impedindo que o calor produzido por nosso corpo seja propagado pelo ambiente. Com base nesse tipo de interpretação, responda:

- a) Qual é a diferença entre calor e temperatura?
 b) O que é o frio?

a) Calor é a quantidade de energia térmica em trânsito entre corpos com diferentes temperaturas. Temperatura é apenas uma escala numérica cujos valores correspondem a diferentes graus de agitação das moléculas de um corpo, revelando níveis de energia térmica.

b) O frio é a ausência de calor. É quando há pouca ou nenhuma agitação das moléculas de um corpo.

2. Sistema Dom Bosco – Os termômetros de mercúrio, muito comuns até surgirem os termômetros digitais, revelam o exato conceito físico que envolve a diferença entre calor e temperatura. Faça uma pesquisa e explique como funciona um termômetro de mercúrio.

O termômetro de mercúrio trata-se de um cilindro fino e oco de vidro, e em seu interior encontra-se uma pequena quantidade desse metal. Essa substância apresenta dilatação quando submetida a pequenas variações de temperatura. Esse termômetro, ao ser colocado em contato com o calor do corpo humano, tem sua coluna de mercúrio dilatada, sempre com uma dilatação correspondente a uma variação de grau de agitação de suas moléculas, que, por sua vez, corresponde a uma escala numérica construída em torno dessa dilatação.

Isso significa que essa dilatação é medida e relacionada a variações de temperatura que revelam variações no grau de agitação das moléculas do mercúrio. Assim, as dilatações são lidas em termos de escala de temperatura utilizada.

Texto para a próxima questão:

A ARTE DE ENVELHECER

O envelhecimento é sombra que nos acompanha desde a concepção: o feto de 6 meses é muito mais velho do que o embrião de 5 dias.

Lidar com a inexorabilidade desse processo exige uma habilidade na qual nós somos inigualáveis: a adaptação. Não há animal capaz de criar soluções diante da adversidade como nós, de sobreviver em nichos ecológicos que vão do calor tropical às geleiras do Ártico.

Da mesma forma que ensaiamos os primeiros passos por imitação, temos que aprender a ser adolescentes, adultos e a ficar cada vez mais velhos.

A adolescência é um fenômeno moderno. Nossos ancestrais passavam da infância à vida adulta sem estágios intermediários. Nas comunidades agrárias o menino de sete anos trabalhava na roça e as meninas cuidavam dos afazeres domésticos antes de chegar a essa idade.

A figura do adolescente que mora com os pais até os 30 anos, sem abrir mão do direito de reclamar da comida à mesa e da camisa mal passada, surgiu nas sociedades industrializadas depois da Segunda Guerra Mundial. Bem mais cedo, nossos avós tinham filhos para criar.

A exaltação da juventude como o período áureo da existência humana é um mito das sociedades ocidentais. Confinar aos jovens a publicidade dos bens de consumo, exaltar a estética, os costumes e os padrões de comportamento

característicos dessa faixa etária têm o efeito perverso de insinuar que o declínio começa assim que essa fase se aproxima do fim.

A ideia de envelhecer aflige mulheres e homens modernos, muito mais do que afligia nossos antepassados. Sócrates tomou cicuta aos 70 anos, Cícero foi assassinado aos 63, Matusalém sabe-se lá quantos anos teve, mas seus contemporâneos gregos, romanos ou judeus viviam em média 30 anos. No início do século 20, a expectativa de vida ao nascer nos países da Europa mais desenvolvida não passava dos 40 anos.

A mortalidade infantil era altíssima; epidemias de peste negra, varíola, malária, febre amarela, gripe e tuberculose dizimavam populações inteiras. Nossos ancestrais viveram num mundo devastado por guerras, enfermidades infecciosas, escravidão, dores sem analgesia e a onipresença da mais temível das criaturas. Que sentido haveria em pensar na velhice quando a probabilidade de morrer jovem era tão alta? Seria como hoje preocupar-nos com a vida aos 100 anos de idade, que pouquíssimos conhecerão.

Os que estão vivos agora têm boa chance de passar dos 80. Se assim for, é preciso sabedoria para aceitar que nossos atributos se modificam com o passar dos anos. Que nenhuma cirurgia devolverá aos 60 o rosto que tínhamos aos 18, mas que envelhecer não é sinônimo de decadência física para aqueles que se movimentam, não fumam, comem com parcimônia, exercitam a cognição e continuam atentos às transformações do mundo.

Considerar a vida um vale de lágrimas no qual submergimos de corpo e alma ao deixar a juventude é torná-la experiência medíocre. Julgar, aos 80 anos, que os melhores foram aqueles dos 15 aos 25 é não levar em conta que a memória é editora autoritária, capaz de suprimir por conta própria as experiências traumáticas e relegar ao esquecimento inseguranças, medos, desilusões afetivas, riscos desnecessários e as burradas que fizemos nessa época.

Nada mais ofensivo para o velho do que dizer que ele tem “cabeça de jovem”. É considerá-lo mais inadequado do que o rapaz de 20 anos que se comporta como criança de 10.

Ainda que maldigamos o envelhecimento, é ele que nos traz a aceitação das ambiguidades, das diferenças, do contraditório e abre espaço para uma diversidade de experiências com as quais nem sonhávamos anteriormente.

DRÁUZIO VARELLA

Folha de São Paulo, 23 jan. 2016.

3. Uerj – O processo de adaptação consiste na capacidade do ser humano de criar soluções diante das adversidades, permitindo sua sobrevivência desde os trópicos, cuja temperatura média é de 20 °C, às regiões polares, onde termômetros atingem temperaturas próximas a -40 °C.

Considerando os valores mencionados, a variação em módulo das temperaturas na escala Kelvin corresponde a:

- a) 20 **c) 60**
 b) 40 d) 80

Observando-se que a variação na temperatura dentro das escalas Celsius e Kelvin é a mesma, a variação indicada no texto de Dráuzio Varella, na escala Celsius, corresponde à variação na escala Kelvin:

Isso significa que: $\Delta T = 20 - (-40) \therefore \Delta T = 60 \text{ °C} = 60 \text{ K}$

4. UFPR – Vários turistas frequentemente têm tido a oportunidade de viajar para países que utilizam a escala Fahrenheit como referência a medidas da temperatura. Quando um termômetro graduado na escala Fahrenheit assinala 32 °F, essa temperatura corresponde ao ponto de gelo, e, quando assinala 212 °F, trata-se do ponto de vapor. Em um desses países, um turista observou que um termômetro assinalava a temperatura de 74,3 °F. Indique a alternativa que apresenta a temperatura, na escala Celsius, correspondente à temperatura observada pelo turista.

- a) 12,2 °C
- b) 18,7 °C
- c) 23,5 °C**
- d) 30 °C
- e) 33,5 °C

Utilizando-se a equação:

$$\frac{\theta_c - 0}{100 - 0} = \frac{\theta_f - 32}{212 - 32}$$

$$\theta_c = 23,5 \text{ °C}$$

5. Mackenzie

C6-H21

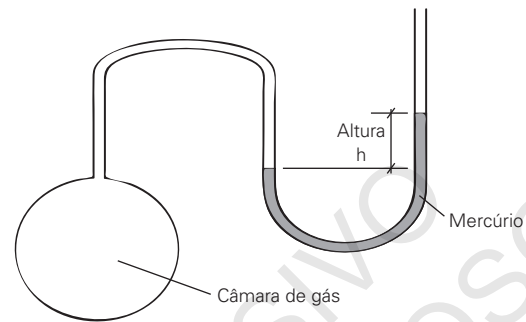
Uma escala termométrica A adota para a temperatura da água em ebulição à pressão normal o valor de 70 °A, e, para a temperatura de fusão do gelo à pressão normal, o de 20 °A. Outra escala termométrica B adota para a temperatura da água em ebulição à pressão normal o valor de 90 °B e, para a temperatura de fusão do gelo à pressão normal, o de 10 °B. A expressão que relaciona a temperatura das escalas A(θ_A) e B(θ_B) é

- a) $\theta_B = 2,6 \cdot \theta_A - 42$
- b) $\theta_B = 2,6 \cdot \theta_A - 22$
- c) $\theta_B = 1,6 \cdot \theta_A - 22$**
- d) $\theta_B = 1,6 \cdot \theta_B + 22$
- e) $\theta_B = 1,6 \cdot \theta_B + 42$

$$\frac{\theta_B - 10}{90 - 10} = \frac{\theta_A - 20}{70 - 20}$$

$$\theta_B = 1,6 \theta_A - 22$$

6. UFU – Um estudante monta um dispositivo termométrico utilizando uma câmara, contendo um gás, e um tubo capilar, em formato de “U”, cheio de mercúrio, conforme mostra a figura. O tubo é aberto em uma das suas extremidades, que está em contato com a atmosfera.



Inicialmente, a câmara é imersa em um recipiente contendo água e gelo em fusão, sendo a medida da altura h da coluna de mercúrio (figura) de 2 cm. Em um segundo momento, a câmara é imersa em água em ebulição, e a medida da altura h da coluna de mercúrio passa a ser de 27 cm. O estudante, a partir dos dados obtidos, monta uma equação que permite determinar a temperatura do gás no interior da câmara (θ), em graus Celsius, a partir da altura h em centímetros. (Considere a temperatura de fusão do gelo como 0 °C e a de ebulição da água como 100 °C.)

Assinale a alternativa que apresenta a equação criada pelo estudante.

- a) $\theta = 2h$
- b) $\theta = \frac{27h}{2}$
- c) $\theta = 4h - 8$**
- d) $\theta = 5h^2 - 20$

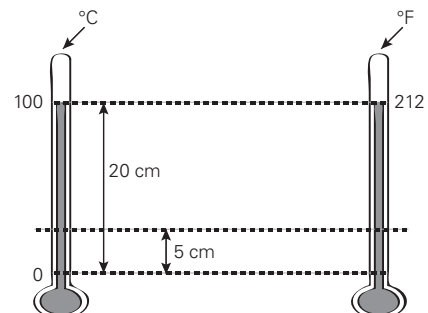
Observando a ilustração e extraindo-se os dados do contexto do enunciado, pode-se exprimir relações entre as temperaturas 0 °C e 100 °C e as alturas 2 cm e 27 cm, respectivamente. Assim:

$$\frac{\theta - 0}{100 - 0} = \frac{h - 2}{27 - 2}$$

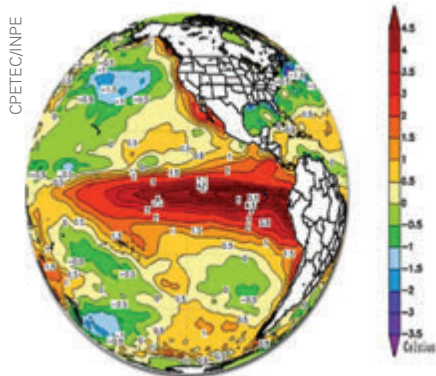
$$\theta = 4h - 8$$

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. UFJF-PISM (adaptado) – Um professor de Física encontrou dois termômetros em um antigo laboratório de ensino. Os termômetros tinham somente indicações para o ponto de fusão do gelo e o de ebulição da água. Além disso, na parte superior de um dos termômetros, estava escrito o símbolo °C e, no outro, o símbolo °F. Com a ajuda de uma régua, o professor verificou que a separação entre o ponto de fusão do gelo e o de ebulição da água dos dois termômetros era de 20,0 cm, conforme a figura. Com base nessas informações e na figura apresentada, podemos afirmar que, a 5,0 cm, do ponto de fusão do gelo, os termômetros registram temperaturas iguais a quais valores?



8. **Uerj** – No mapa a seguir, está representada a variação média da temperatura dos oceanos em determinado mês do ano. Ao lado, encontra-se a escala, em graus Celsius, utilizada para a elaboração do mapa.



Adaptado de enos.cptec.inpe.br

Determine, em Kelvins, o módulo da variação entre a maior e a menor temperatura da escala apresentada.

9. **EBMSP** – Sabe-se que as mudanças significativas referentes à família brasileira estão relacionadas ao impacto do desenvolvimento tecnológico da sociedade como um todo. Uma dessas mudanças é o uso da tecnologia para a reprodução humana, a inseminação artificial, uma técnica de reprodução clinicamente assistida que consiste na deposição mecânica do sêmen de um doador, que fica preservado em azoto líquido, contido em um criotubo a $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$, e que, após ser processado, é colocado dentro do colo do útero, próximo ao momento da ovulação.

Com base nessa informação, determine a temperatura, referida no texto, em que o sêmen fica preservado, na escala Fahrenheit.

10. **PUCSP (adaptado)** – O Slide, nome dado ao skate futurista, usa levitação magnética para se manter longe do chão e ainda ser capaz de carregar o peso de uma pessoa. É o mesmo princípio utilizado, por exemplo, pelos trens ultrarrápidos japoneses.

Para operar, o Slide deve ter a sua estrutura metálica interna resfriada a temperaturas baixíssimas, alcançadas com nitrogênio líquido. Daí a “fumaça” que se vê nas imagens, que, na verdade, é o nitrogênio vaporizando novamente pela temperatura ambiente e que, para permanecer no estado líquido, deve ser mantido a cerca de $-200\text{ graus Celsius}$. Então, quando o nitrogênio acaba, o skate para de “voar”.

DIVULGAÇÃO/LEXUS



Fumaça que aparenta sair do skate, na verdade, é nitrogênio em gaseificação (Foto: Divulgação/Lexus)

Fonte: www.techtudo.com.br/noticia/2015/07/como-funciona-o-skate-voador-inspirado-no-filme-de-volta-para-o-futuro-2.html.
Consulta em: 03/07/2015

Com relação ao texto, a temperatura do nitrogênio líquido, $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$, que resfria a estrutura metálica interna do Slide, quando convertida para as escalas Fahrenheit e Kelvin, seria, respectivamente, de quais valores?

11. **Fatec** – Durante uma corrida de Fórmula Indy ou de Fórmula 1, os pilotos ficam sujeitos a um microambiente quente no cockpit que chega a atingir $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, gerado por diversas fontes de calor (do Sol, do motor, do terreno, do metabolismo cerebral, da atividade muscular etc.). Essa temperatura está muito acima da temperatura corporal média tolerável, por isso eles devem se manter sempre com bom condicionamento físico.

As corridas de Fórmula Indy são mais tradicionais nos EUA, onde se adota a leitura da temperatura na escala Fahrenheit.

Com base nas informações apresentadas no texto, é correto afirmar que a temperatura no cockpit que um carro de Fórmula Indy chega a atingir durante a corrida, em graus Fahrenheit, é

Dados:

Temperatura de fusão do gelo = $32\text{ }^{\circ}\text{F}$;

Temperatura de ebulição da água = $212\text{ }^{\circ}\text{F}$.

- a) 32.
b) 50.
c) 82.
d) 122.
e) 212.
12. **Uern** – A temperatura interna de um forno elétrico foi registrada em dois instantes consecutivos por termômetros distintos – o primeiro graduado na escala *Celsius* e o segundo, na escala *Kelvin*. Os valores obtidos foram, respectivamente, iguais a $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ e 438 K . Essa variação de temperatura expressa em *Fahrenheit* corresponde a
- a) $65\text{ }^{\circ}\text{F}$
b) $72\text{ }^{\circ}\text{F}$
c) $81\text{ }^{\circ}\text{F}$
d) $94\text{ }^{\circ}\text{F}$
13. **Uerj** – Observe na tabela os valores das temperaturas dos pontos críticos de fusão e de ebulição, respectivamente, do gelo e da água, à pressão de 1 atm, nas escalas Celsius e Kelvin.

Pontos críticos	Temperatura	
	$^{\circ}\text{C}$	K
Fusão	0	273
Ebulição	100	373

Considere que, no intervalo de temperatura entre os pontos críticos do gelo e da água, o mercúrio em um termômetro apresenta uma dilatação linear.

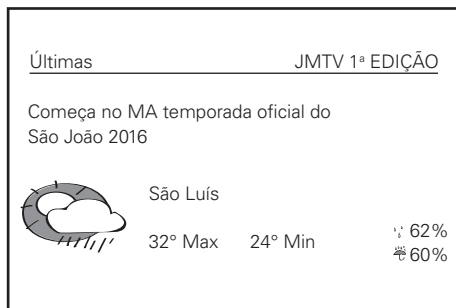
Nesse termômetro, o valor na escala Celsius correspondente à temperatura de 313 K é igual a

- a) 20
b) 30
c) 40
d) 60

14. Mackenzie – Um internauta, comunicando-se em uma rede social, tem conhecimento de que naquele instante a temperatura em Nova York é $\theta_{NI} = 68^\circ\text{F}$, em Roma é $\theta_{RO} = 291\text{ K}$ e em São Paulo, $\theta_{SP} = 25^\circ\text{C}$. Comparando essas temperaturas, estabelece-se que

- a) $\theta_{NI} < \theta_{RO} < \theta_{SP}$ d) $\theta_{RO} < \theta_{SP} < \theta_{NI}$
 b) $\theta_{SP} < \theta_{RO} < \theta_{NI}$ e) $\theta_{NI} < \theta_{SP} < \theta_{RO}$
 c) $\theta_{RO} < \theta_{NI} < \theta_{SP}$

15. Uema – Veja o que foi publicado recentemente em um jornal sobre o estado do Maranhão. Considerando a referência ao local, São Luís-MA, a representação correta das temperaturas máxima e mínima é a seguinte:



- a) 32°C e 24°F d) 32 K e 24 K
 b) 32°F e 24 K e) 32°F e 24°C
 c) 32°C e 24°C

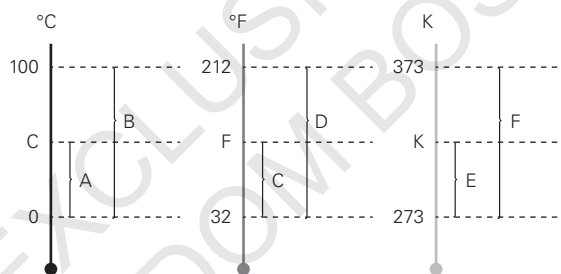
16. UTF-PR – Sobre escalas termométricas, considere as seguintes afirmações:

- I. A temperatura normal do corpo humano é $36,5^\circ\text{C}$. Na escala Fahrenheit, essa temperatura corresponde a um valor maior do que 100°F .
 II. Na escala Kelvin, todas as temperaturas são representadas por valores positivos.
 III. A temperatura de 0°C na escala Kelvin corresponde a 300 K .

Está(ão) correta(s) apenas:

- a) I d) II e III
 b) I e II e) III
 c) II

17. IFPE – Para medirmos a temperatura de um objeto, utilizamos principalmente três escalas termométricas: Celsius ($^\circ\text{C}$), Fahrenheit ($^\circ\text{F}$) e Kelvin (K). A relação entre elas pode ser vista no quadro a seguir.



Utilizando a escala como referência, podemos dizer que 0°C e 50°C equivalem, em Kelvin, a

- a) 212 e 273. d) 273 e 37.
 b) 273 e 373. e) 273 e 323.
 c) 212 e 32.

ESTUDO PARA O ENEM

18. UCS

C6-H21

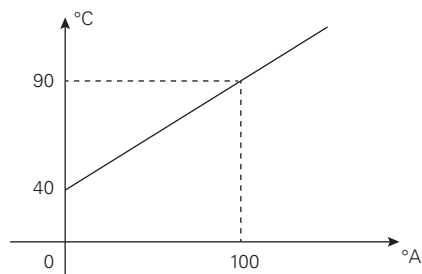
Uma sonda espacial está se aproximando do Sol para efetuar pesquisas. A exatos $6\,000\,000\text{ km}$ do centro do Sol, a temperatura média da sonda é de $1\,000^\circ\text{C}$. Suponha que tal temperatura média aumente 1°C a cada $1\,500\text{ km}$ aproximados na direção do centro do Sol. A qual distância máxima a sonda, cujo ponto de fusão (para a pressão nas condições em que ela se encontra) é $1\,773\text{ K}$, poderia se aproximar do Sol, sem derreter? Considere $0^\circ\text{C} = 273\text{ K}$ e, para fins de simplificação, que o material no ponto de fusão não derrete.

- a) $5\,600\,000\text{ km}$
 b) $5\,250\,000\text{ km}$
 c) $4\,873\,000\text{ km}$
 d) $4\,357\,000\text{ km}$
 e) $4\,000\,000\text{ km}$

19. Ulbra

C6-H21

Antônio, um estudante de Física, deseja relacionar a escala Celsius ($^\circ\text{C}$) com a escala de seu nome ($^\circ\text{A}$). Para isso, ele faz leituras de duas temperaturas com termômetros graduados em $^\circ\text{C}$ e em $^\circ\text{A}$. Assim, ele monta o gráfico a seguir. Qual a relação termométrica entre a temperatura da escala Antônio e a da escala Celsius?



- a) $A = C + 40$ d) $A = \frac{C}{4} + 90$
 b) $A = \frac{C}{2} - 100$ e) $A = \frac{10C}{9} - 40$
 c) $A = 2C - 80$

20. Imed

C6-H21

Uma temperatura é tal que 18 (dezoito) vezes seu valor na escala Celsius é igual a -10 (menos dez) vezes seu valor na escala Fahrenheit. Determine essa temperatura.

- a) 8°F . d) 64°F .
 b) 16°F . e) 128°F .
 c) 32°F .

34

DILATAÇÃO LINEAR DE SÓLIDOS

- Dilatação linear de sólidos

HABILIDADES

- Compreender o conceito de dilatação linear de sólidos.
- Entender a expressão que representa matematicamente a dilatação linear de sólidos.
- Conhecer o coeficiente linear de alguns sólidos.



Pontes de concreto são construídas por blocos um do lado do outro, deixando-se espaço entre eles. O motivo disso é que a maioria dos materiais se dilata com o aumento de temperatura.

Quando um material é aquecido, a energia de agitação das partículas que o compõem aumenta, provocando uma maior distância entre elas. Nessa condição, ele tem suas dimensões alteradas.

Um material sólido tem suas dimensões definidas, pois as moléculas de que ele é constituído estão fortemente ligadas.

Há três dimensões que caracterizam um sólido: comprimento, largura e altura. A dilatação linear ocorre quando há variação somente em uma de suas dimensões.

Uma barra metálica, ao ser aquecida, apresenta uma variação em seu comprimento, que é proporcional ao aumento de temperatura. Além disso, quanto maior o comprimento inicial da barra, maior a variação. Isso porque, quanto maior o número de partículas, maior a distância acumulada entre elas.

A expressão que descreve matematicamente a dilatação linear de um sólido é:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta$$

onde ΔL é a variação do comprimento, L_0 é o comprimento inicial do sólido, $\Delta \theta$ é a variação da temperatura e α é o coeficiente de dilatação linear.

O coeficiente de dilatação linear é um coeficiente de proporcionalidade característico de cada material, e a unidade usual de α é $\frac{1}{^\circ\text{C}}$.

A dilatação linear é uma função linear, ou seja, acompanha o gráfico de $L \times \theta$. É importante destacar que a reta do gráfico da dilatação linear não passa pela origem, pois o comprimento jamais será igual a zero.

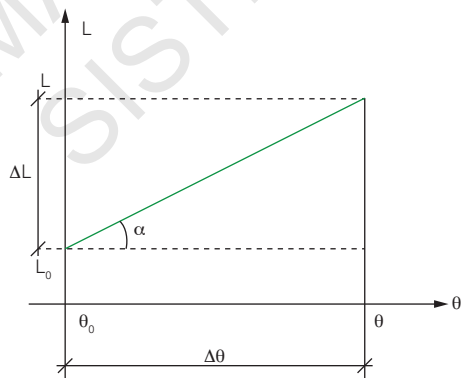
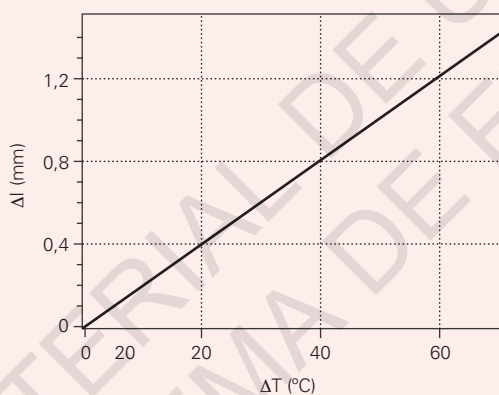


Tabela de valores para os coeficientes de dilatação linear

Substância	Coefficiente de dilatação linear (α) em $^{\circ}\text{C}^{-1}$
Aço	$1,1 \cdot 10^{-5}$
Alumínio	$2,4 \cdot 10^{-5}$
Chumbo	$2,9 \cdot 10^{-5}$
Cobre	$1,7 \cdot 10^{-5}$
Ferro	$1,2 \cdot 10^{-5}$
Latão	$2,0 \cdot 10^{-5}$
Ouro	$1,4 \cdot 10^{-5}$
Prata	$1,9 \cdot 10^{-5}$
Vidro comum	$0,9 \cdot 10^{-5}$
Vidro pirex	$0,3 \cdot 10^{-5}$
Zinco	$6,4 \cdot 10^{-5}$

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. UFRGS – Uma barra metálica de 1 m de comprimento é submetida a um processo de aquecimento e sofre uma variação de temperatura. O gráfico a seguir representa a variação Δl , em mm, no comprimento da barra, em função da variação de temperatura ΔT , em $^{\circ}\text{C}$.



Qual é o valor do coeficiente de dilatação térmica linear do material de que é feita a barra, em unidades $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$?

- a) 0,2. c) 5,0. e) 50.
 b) 2,0. d) 20.

Resolução

Observando-se a equação:

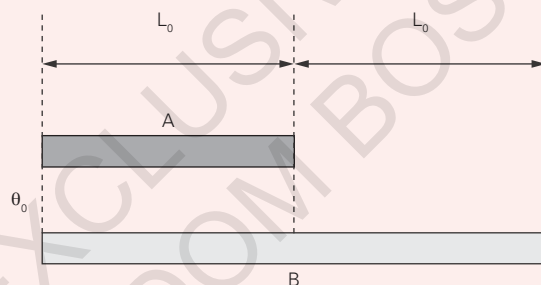
$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

E retirando-se do gráfico um par ordenado, (60; 1,2, por exemplo), é necessário converter a unidade de medida de comprimento para metros. Assim:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T \Rightarrow \alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T} \Rightarrow \alpha = \frac{1,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{1 \text{ m} \cdot 60 \text{ }^{\circ}\text{C}}$$

$$\therefore \alpha = 20 \cdot 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$$

2. UEFS – A figura representa duas barras metálicas, A e B, de espessura e largura desprezíveis, que apresentam, à temperatura inicial θ_0 , comprimentos iniciais L_0 e $2 \cdot L_0$, respectivamente.



Quando essas barras sofrerem uma mesma variação de temperatura $\Delta\theta$, por conta da dilatação térmica, elas passarão a medir L_A e L_B . Sendo α_A e α_B os coeficientes de dilatação térmica linear de A e B, se $\alpha_A = 2 \cdot \alpha_B$, então

- a) $L_B - L_A < 0$
 b) $L_B - L_A = L_A$
 c) $L_B - L_A = L_0$
 d) $L_B - L_A > L_0$
 e) $L_B - L_A < L_0$

Resolução

Considerando a dilatação linear, o comprimento final de cada barra é:

$$L_A = L_0 \cdot (1 + \alpha_A \cdot \Delta\theta) = L_0 \cdot (1 + 2 \cdot \alpha_B \cdot \Delta\theta)$$

$$L_B = 2 \cdot L_0 \cdot (1 + \alpha_B \cdot \Delta\theta)$$

No contexto deste enunciado, escreve-se:

$$L_B - L_A = 2 \cdot L_0 \cdot (1 + \alpha_B \cdot \Delta\theta) - L_0 \cdot (1 + 2 \cdot \alpha_B \cdot \Delta\theta)$$

$$L_B - L_A = 2 \cdot L_0 + 2 \cdot L_0 \cdot \alpha_B \cdot \Delta\theta - L_0 - 2 \cdot L_0 \cdot \alpha_B \cdot \Delta\theta$$

$$L_B - L_A = L_0$$

ROTEIRO DE AULA

Materiais sólidos são formados por moléculas fortemente ligadas.

Quando _____ aquecidos _____, a agitação e o espaço entre as moléculas _____ aumentam _____, gerando uma dilatação nas dimensões do material. Quando o sólido se dilata preponderantemente em uma _____ única dimensão _____, esse processo será denominado dilatação _____ linear _____.

$$\Delta L = \text{_____} L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta \text{_____}$$

L_0 é o _____ comprimento inicial _____ do sólido

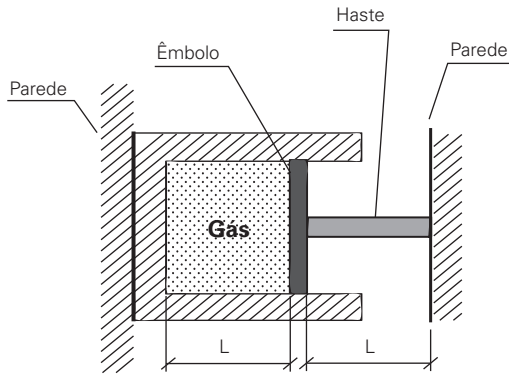
$\Delta \theta$ é a variação da _____ temperatura _____

α é o _____ coeficiente de dilatação linear _____ característico

de cada material.

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. IME (adaptado) – Um êmbolo está conectado a uma haste, a qual está fixada a uma parede. A haste é aquecida, recebendo uma energia de 400 J. A haste se dilata, movimentando o êmbolo que comprime um gás ideal, confinado no reservatório, representado na figura. O gás é comprimido isotermicamente.



Diante do exposto, qual o valor da expressão: $\frac{P_f - P_i}{P_f}$?

Dados:

- pressão final do gás: P_f ;
- pressão inicial do gás: P_i ;
- capacidade térmica da haste: 4 J/K;
- coeficiente de dilatação térmica linear da haste: $0,000001 \text{ K}^{-1}$.

Para calcular a variação de temperatura da barra, utiliza-se:

$$Q = C \cdot \Delta\theta \Rightarrow \Delta\theta = 100 \text{ K}$$

Agora, aplicando-se a equação de dilatação linear, temos que:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta\theta = L_0 \cdot 10^{-6} \cdot 100 = L_0 \cdot 10^{-4}$$

Como o gás é comprimido isotermicamente, devemos ter:

$$\frac{P_0}{V_0} = \frac{P_f}{V_f}$$

O volume pode ser escrito como área (A), multiplicada pela largura (ΔL).

Assim, temos que:

$$\frac{P_i - P_f}{P_i} = 1 - \frac{P_f}{P_i} = 1 - \frac{V_i}{V_f} = 1 - \frac{(A \cdot L - A \cdot L \cdot 10^{-4})}{A \cdot L} = 1 - (1 - 10^{-4})$$

$$\therefore \frac{P_i - P_f}{P_i} = 0,0001$$

2. Uerj

Fenda na Ponte Rio-Niterói é uma junta de dilatação, diz CCR

De acordo com a CCR, no trecho sobre a Baía de Guanabara, as fendas existem a cada 400 metros, com cerca de 13 cm de abertura.

Disponível em: <globo.com>. Acesso em: 10 abr. 2014.

Admita que o material dos blocos que constituem a Ponte Rio-Niterói seja o concreto, cujo coeficiente de dilatação linear é igual a $1 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Determine a variação necessária de temperatura para que as duas bordas de uma das fendas citadas na reportagem se unam.

Para a dilatação linear, utiliza-se:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta\theta$$

$$\Delta\theta = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \alpha}$$

Substituindo-se os dados contidos no contexto do problema:

$$\Delta\theta = \frac{0,13}{(400) \cdot (1 \cdot 10^{-5})}$$

$$\Delta\theta = 32,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

3. Unisc – Duas barras metálicas representadas por (A) e (B) possuem comprimentos iniciais L_{0A} e L_{0B} , coeficientes de dilatação lineares α_A e α_B e sofreram variações de temperatura ΔT_A e ΔT_B , respectivamente. Sabendo que $L_{0A} = 5 \cdot L_{0B}$, $\alpha_B = 8 \cdot \alpha_A$ e $\Delta T_A = 2 \cdot \Delta T_B$, podemos escrever que a razão entre as variações de comprimento ΔL_A e ΔL_B , ou seja, $\Delta L_A / \Delta L_B$, vale

- a) 0,25
- b) 0,50
- c) 0,80
- d) 1,25
- e) 1,50

Utilizando-se as equações para dilatação linear, nos termos do problema, temos:

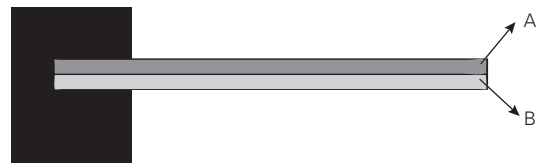
$$\Delta L_A = L_{0A} \cdot \alpha_A \cdot \Delta T_A$$

$$\Delta L_B = L_{0B} \cdot \alpha_B \cdot \Delta T_B$$

Para obter-se a razão que o contexto do problema propõe, faz-se:

$$\frac{\Delta L_A}{\Delta L_B} = \frac{L_{0A} \cdot \alpha_A \cdot \Delta T_A}{L_{0B} \cdot \alpha_B \cdot \Delta T_B} = \frac{10}{8} = 1,25$$

4. Fatec – Numa aula de laboratório do curso de Soldagem da Fatec, um dos exercícios era construir um dispositivo eletromecânico utilizando duas lâminas retilíneas de metais distintos, de mesmo comprimento e soldadas entre si, formando o que é chamado de "lâmina bimetálica". Para isso, os alunos fixaram de maneira firme uma das extremidades, enquanto deixaram a outra livre, conforme a figura.



Considere que ambas as lâminas estão inicialmente sujeitas à mesma temperatura T_0 e que a relação entre os coeficientes de dilatação linear seja $\alpha_A > \alpha_B$.

Ao aumentar a temperatura da lâmina bimetálica, é correto afirmar que

- a) a lâmina A e a lâmina B continuam se dilatando de forma retilínea conjuntamente.
- b) a lâmina A se curva para baixo, enquanto a lâmina B se curva para cima.

- c) a **lâmina A** se curva para cima, enquanto a **lâmina B** se curva para baixo.
- d) tanto a **lâmina A** como a **lâmina B** se curvam para baixo.
- e) tanto a **lâmina A** como a **lâmina B** se curvam para cima.

Como a dilatação linear é diretamente proporcional ao coeficiente de dilatação linear, entende-se que, quanto maior o coeficiente de dilatação, maior será a dilatação. Nesse caso, a lâmina A se dilatará mais e, com isso, se sobrepõe à lâmina B, fazendo que ambas se curvem para baixo.

5. Uece

C5-H17

Considere a dilatação térmica de duas barras longas e finas, feitas de mesmo material. Uma delas tem o dobro do comprimento da outra: $L_1 = L_2$. Nos dois casos, as barras sofrem uma mesma mudança de temperatura, ΔT , e dilatam ΔL_1 e ΔL_2 . Assim,

a) $\frac{\Delta L_2}{L_2} = 2 \frac{\Delta L_1}{L_1}$.

b) $\frac{\Delta L_2}{L_2} = \frac{\Delta L_1}{L_1}$.

c) $2 \frac{\Delta L_2}{L_2} = \frac{\Delta L_1}{L_1}$.

d) $\frac{\Delta L_2}{L_2} = 3 \frac{\Delta L_1}{L_1}$.

Utilizando-se as equações de dilatação linear:

$$L_1 = L_{01} \cdot \infty \cdot \Delta\theta$$

$$\Delta L_2 = L_{02} \cdot \infty \cdot \Delta\theta$$

Sendo $\infty \cdot \Delta\theta$ comum às duas equações e igualando-se os termos restantes:

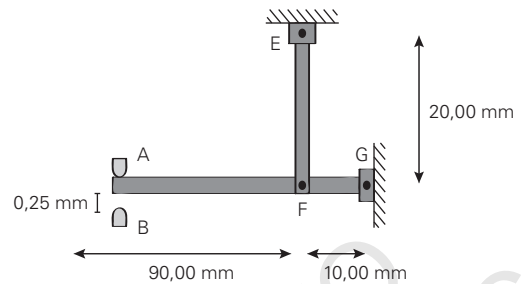
$$\frac{\Delta L_1}{L_1} = \frac{\Delta L_2}{L_2}$$

6. UPE-SSA

O relé térmico é um dispositivo responsável por proteger os motores elétricos de possíveis anomalias. A mais comum é o sobreaquecimento do motor elétrico.

Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-um-rele-termico/>>. Acesso em: 11 jul. 2017.

Uma proposta de relé térmico consiste em duas barras de latão, uma vertical e outra horizontal, acopladas, conforme ilustra a figura a seguir.

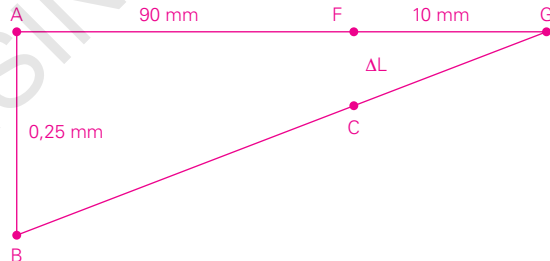


A montagem está inicialmente à temperatura de 25°C ; a barra horizontal toca o contato A, e o sistema é articulado nos pontos E, F e G. A separação entre os contatos elétricos A e B é de $0,25\text{ mm}$. Determine a temperatura da barra vertical para que a barra horizontal encoste no contato B.

- a) $37,5^\circ\text{C}$
 b) $62,5^\circ\text{C}$
 c) $87,5^\circ\text{C}$
 d) $125,0^\circ\text{C}$
 e) $175,0^\circ\text{C}$

Dados: $T_0 = 25^\circ\text{C}$; $\alpha = 20 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

Para compreender-se melhor a ilustração, é possível compará-la ao formato de triângulos, de modo que, por semelhança de triângulos, seja possível estabelecer relações como: o triângulo formado pelos pontos FGC é semelhante ao triângulo AGB. Assim:



$$\triangle FGC \approx \triangle AGB$$

$$\frac{\Delta L}{10} = \frac{0,25}{90} = 0,025 \text{ mm}$$

Assim, com a equação de dilatação linear de sólidos e as informações dadas no contexto do problema, temos que:

$$\Delta L - L_0 \cdot \infty \cdot (\theta - \theta_0) = 0,025 = 20 \cdot 20 \cdot 10^{-6} (\theta - 25)$$

$$\theta = 87,5^\circ\text{C}$$

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Uefs (adaptado) – Quase todas as substâncias, sólidas, líquidas ou gasosas, se dilatam com o aumento da temperatura e se contraem quando ela é diminuída, e esse efeito tem muitas implicações na vida diária. Uma tubulação de cobre, cujo coeficiente de dilatação linear é $1,7 \cdot 10^{-5}/^\circ\text{C}$, de comprimento igual a $20,5\text{ m}$, é usada para se obter água quente.

Considerando-se que a temperatura varia de 20°C a 40°C , conclui-se que a dilatação sofrida pelo tubo, em mm, é igual a qual valor?

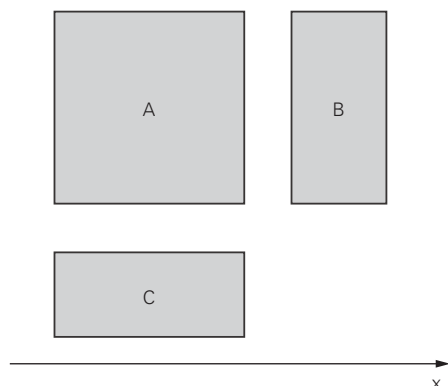
8. Eear (adaptado) – Um portão de chapa de ferro de 4 m de largura possui um vão de 48 mm entre si e o batente a uma temperatura de 25°C . Qual a temperatura máxima, em $^\circ\text{C}$, que o portão pode atingir sem que fique enroscado no batente?

Dado: coeficiente de dilatação linear do ferro igual a $12 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

9. Uece (adaptado) – Considerando a unidade de medida de temperatura o grau Celsius, deduza, a partir de uma análise dimensional, qual será a unidade de medida do

coeficiente de dilatação térmica no Sistema Internacional de Unidades.

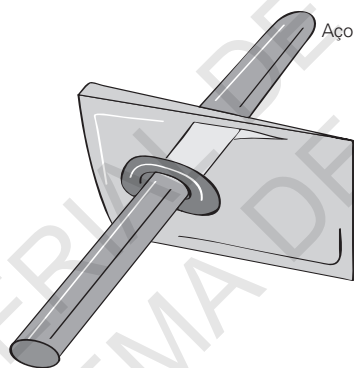
- 10. PUC-RS** – As três placas de um mesmo material metálico, A, B e C, representadas na figura a seguir, são submetidas a um mesmo aumento na temperatura.



Supondo que todas as placas inicialmente estejam em equilíbrio térmico entre si, o maior aumento na dimensão paralela ao eixo x e o maior aumento na área ocorrem, respectivamente, nas placas

- a) A e B. d) C e B.
b) A e C. e) C e A.
c) B e A.

- 11. Udesc** – Uma placa de alumínio com um furo circular no centro foi utilizada para testes de dilatação térmica. Em um dos testes realizados, inseriu-se no furo da placa um cilindro maciço de aço. À temperatura ambiente, o cilindro ficou preso à placa, ajustando-se perfeitamente ao furo, conforme ilustra a figura a seguir.



O valor do coeficiente de dilatação do alumínio é, aproximadamente, duas vezes o valor do coeficiente de dilatação térmica do aço. Aquecendo-se o conjunto a $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, é **correto** afirmar que:

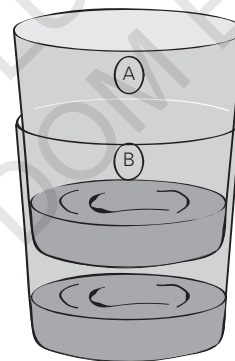
- a) o cilindro de aço ficará ainda mais fixado à placa de alumínio, pois o diâmetro do furo da placa diminuirá e o diâmetro do cilindro aumentará.
b) o cilindro de aço se soltará da placa de alumínio, pois, em decorrência do aumento de temperatura, o diâmetro do furo aumentará mais que o diâmetro do cilindro.
c) não ocorrerá nenhuma mudança, pois o conjunto foi submetido à mesma variação de temperatura.
d) o cilindro se soltará da placa porque sofrerá uma dilatação linear e, em função da conservação de massa, ocorrerá uma diminuição no diâmetro do cilindro.

- e) não é possível afirmar o que acontecerá, pois as dimensões iniciais da placa e do cilindro são desconhecidas.

- 12. Epcar-AFA (adaptado)** – Consultando uma tabela da dilatação térmica dos sólidos, verifica-se que o coeficiente de dilatação linear do ferro é $13 \cdot 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Avalie se alguma das afirmativas é verdadeira ou falsa:

- I. em um dia de verão em que a temperatura variar $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, o comprimento de uma barra de ferro de $10,0\text{ m}$ sofrerá uma variação de $2,6\text{ cm}$.
II. para cada $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ de variação de temperatura, o comprimento de uma barra de $1,0\text{ m}$ desse material varia $13 \cdot 10^{-6}\text{ m}$.

- 13. Unesp** – Dois copos de vidro iguais, em equilíbrio térmico com o ambiente, foram guardados, um dentro do outro, conforme mostra a figura. Uma pessoa, ao tentar desencaixá-los, não obteve sucesso. Para separá-los, resolveu colocar em prática seus conhecimentos da física térmica.



<http://dicas-para-poupar.blogspot.pt>.

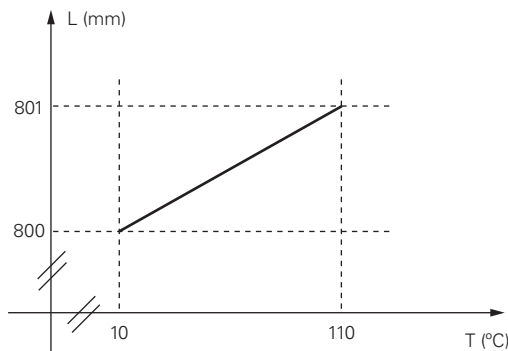
De acordo com a física térmica, o único procedimento capaz de separá-los é:

- a) mergulhar o copo B em água em equilíbrio térmico com cubos de gelo e encher o copo A com água à temperatura ambiente.
b) colocar água quente (superior à temperatura ambiente) no copo A.
c) mergulhar o copo B em água gelada (inferior à temperatura ambiente) e deixar o copo A sem líquido.
d) encher o copo A com água quente (superior à temperatura ambiente) e mergulhar o copo B em água gelada (inferior à temperatura ambiente).
e) encher o copo A com água gelada (inferior à temperatura ambiente) e mergulhar o copo B em água quente (superior à temperatura ambiente).

- 14. Epcar-AFA (adaptado)** – Com relação à dilatação dos sólidos, analise as proposições a seguir e classifique-as como verdadeiras ou falsas:

- I. Quando se aquece uma placa metálica que apresenta um orifício, verifica-se que, com a dilatação da placa, a área do orifício aumenta.
II. O vidro pirex apresenta maior resistência ao choque térmico do que o vidro comum porque tem menor coeficiente de dilatação térmica do que o vidro comum.
III. Ao se elevar a temperatura de um sistema constituído por três barras retas e idênticas de ferro interligadas de modo a formarem um triângulo isósceles, os ângulos internos desse triângulo não se alteram.

- 15. PUC-RS** – Num laboratório, um grupo de alunos registrou o comprimento L de uma barra metálica, à medida que sua temperatura T aumentava, obtendo o gráfico a seguir:



Pela análise do gráfico, o valor do coeficiente de dilatação do metal é

- a) $1,05 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
 b) $1,14 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
 c) $1,18 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
 d) $1,22 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
 e) $1,25 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

TEXTO PARA A PRÓXIMA QUESTÃO:

Considere os dados a seguir para resolver a(s) questão(ões), quando for necessário.

Constantes físicas

Aceleração da gravidade próximo à superfície da Terra:
 $g = 10 \text{ m/s}^2$

Aceleração da gravidade próximo à superfície da Lua:
 $g = 1,6 \text{ m/s}^2$

Densidade da água: $\rho = 1,0 \text{ g/cm}^3$

Velocidade da luz no vácuo:

$$C = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Constante da lei de Coulomb:

$$K_0 = 9,0 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$$

- 16. Cefet** – A Fig. 1(a) mostra como duas barras de materiais diferentes estão fixas entre si e a um suporte, e a Fig. 1(b) mostra essas mesmas barras após terem sofrido uma variação de temperatura ΔT .

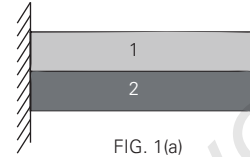


FIG. 1(a)

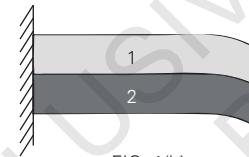


FIG. 1(b)

Sabendo-se que os coeficientes médios de expansão linear dessas barras são α_1 e α_2 , é correto afirmar que

- a) Se $\alpha_1 < \alpha_2$, então $\Delta T > 0$.
 b) Se $\alpha_1 > \alpha_2$, então $\Delta T < 0$.
 c) Se $\alpha_1 > \alpha_2$, então $\Delta T > 0$.
 d) $\Delta T < 0$, independentemente de α_1 e α_2 .
 e) $\Delta T > 0$, independentemente de α_1 e α_2 .
- 17. Uece** – Seja um anel metálico construído com um fio muito fino. O material tem coeficiente de dilatação linear α e sofre uma variação de temperatura ΔT . A razão entre o comprimento da circunferência após o aquecimento e o comprimento inicial é
- a) $\alpha \Delta T$.
 b) $1/(1 + \alpha \Delta T)$.
 c) $1/\alpha \Delta T$.
 d) $1 + \alpha \Delta T$.

ESTUDO PARA O ENEM

18. IFSC

C5-H17

Quando a temperatura de uma substância se eleva, suas moléculas ou seus átomos passam, em média, a oscilar mais rapidamente e tendem a se afastar uns dos outros, resultando em uma dilatação da substância. Com poucas exceções, todas as formas de matéria normalmente se dilatam quando são aquecidas e contraem-se quando resfriadas. A variação das dimensões das substâncias depende da variação da temperatura, da sua dimensão inicial e do coeficiente de dilatação do material do qual são feitas. A tabela a seguir mostra alguns exemplos de materiais, com seus respectivos coeficientes de dilatação linear. Além disso, o gráfico representa a variação no comprimento de três barras metálicas (A, B e C) em função do aumento da temperatura.

Coeficiente de dilatação linear de alguns materiais.

Substância	Coeficiente de dilatação linear ($10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)
Chumbo	27
Alumínio	22
Ouro	15
Concreto	12
Platina	9
Vidro pìrex	3,2
Quartzo	0,6

Fonte: TORRES, C. M. A. et al. *Física: Ciência e Tecnologia*. Volume único. São Paulo: Moderna, 2001 (Adaptado).

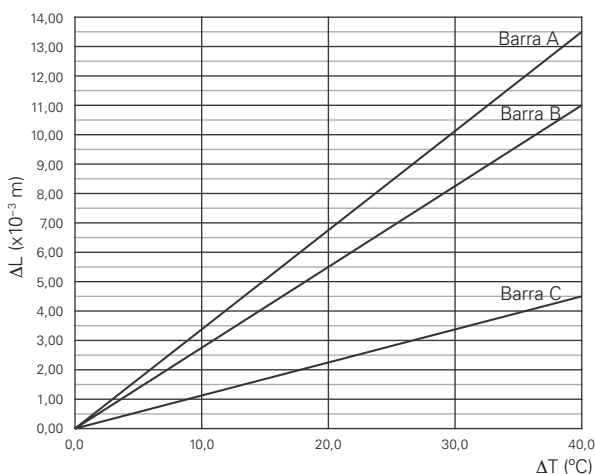


Gráfico da dilatação linear em função da temperatura de três barras **A, B e C**, com comprimentos iniciais iguais

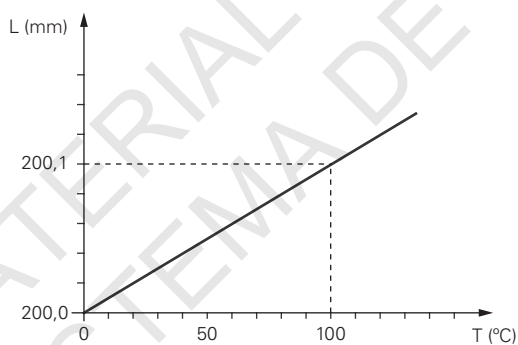
Com base na tabela e no gráfico sobre a dilatação linear apresentados, analise as afirmativas a seguir e assinale a soma da(s) proposição(ões) CORRETA(S), considerando que o aquecimento das barras é uniforme em todo o seu comprimento e que o comprimento inicial de cada barra é igual a 12,5 m.

- 01)** O coeficiente de dilatação linear da barra C é maior que o coeficiente de dilatação linear da barra B.
- 02)** O coeficiente de dilatação linear da barra A é maior que o coeficiente de dilatação linear da barra B.
- 04)** A barra B é de alumínio e a barra C é de platina.
- 08)** A barra B é de alumínio e a barra C é de chumbo.
- 16)** A barra A é de alumínio e a barra B é de platina.

19. UFJF-Pism

C5-H17

O gráfico a seguir mostra o comprimento de um bastão feito de um material desconhecido em função da temperatura. A 0 °C, o comprimento inicial do bastão é 200 mm. Já a tabela mostra os coeficientes de dilatação linear de alguns materiais.



Material	Coefficiente de dilatação linear (em °C ⁻¹)
Latão	$20 \cdot 10^{-6}$
Vidro comum	$8 \cdot 10^{-6}$
Vidro pirex	$5 \cdot 10^{-6}$
Porcelana	$3 \cdot 10^{-6}$
Concreto	$12 \cdot 10^{-6}$

Com base nesses dados, responda ao que se pede.

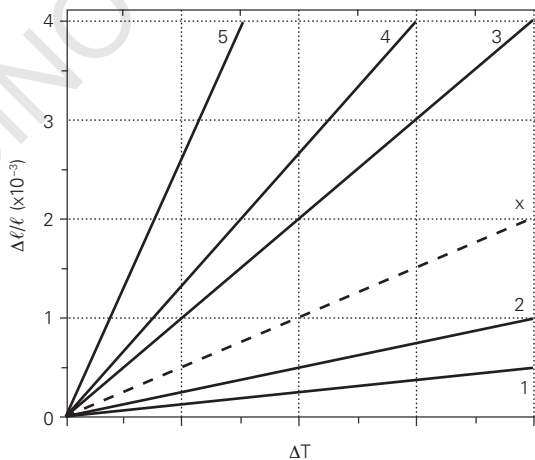
- a)** De que material o bastão é feito? Justifique sua resposta com cálculos.
- b)** Qual é o comprimento do bastão a uma temperatura de 210 °C?

20. UFRGS

C5-H17

Duas barras metálicas, X e Y, de mesmo comprimento (l) em temperatura ambiente T_0 , são aquecidas uniformemente até uma temperatura T. Os materiais das barras têm coeficientes de dilatação linear, respectivamente α_X e α_Y , que são positivos e podem ser considerados constantes no intervalo de temperatura $\Delta T = T - T_0$.

Na figura a seguir, a reta tracejada X representa o acréscimo relativo $\Delta l/l$ no comprimento da barra X, em função da variação da temperatura.



Sabendo que $\alpha_Y = 2\alpha_X$, assinale a alternativa que indica a reta que melhor representa o acréscimo $\Delta l/l$ no comprimento da barra Y, em função da variação da temperatura.

- a)** 1
- b)** 2
- c)** 3
- d)** 4
- e)** 5

35

DILATAÇÃO SUPERFICIAL DE SÓLIDOS

- Dilatação superficial de sólidos

HABILIDADES

- Reconhecer e caracterizar uma dilatação superficial.
- Compreender o conceito de dilatação superficial de sólidos.
- Entender a expressão que representa matematicamente a dilatação superficial de sólidos.
- Conhecer o coeficiente de dilatação superficial de alguns sólidos.



Dilatação do asfalto.

Para tratarmos de dilatação superficial, é necessário compreender antes o conceito de dilatação térmica, que é quando os corpos sofrem uma variação em sua temperatura e na energia de agitação das moléculas que os constituem, levando a uma alteração em suas dimensões. No caso da dilatação superficial, a variação ocorre na área do objeto, sendo assim em duas dimensões.

Se considerarmos duas placas metálicas, A_0 e A , com temperaturas θ_0 e θ , supondo que a placa A é a placa A_0 ao sofrer uma dilatação superficial, podemos afirmar que a variação de temperatura é diretamente proporcional à variação da área. Não podemos nos esquecer da existência do coeficiente de dilatação superficial dado por beta (β). Então, obtemos a seguinte expressão para a dilatação superficial:

$$\Delta A = A_0 \cdot \beta \cdot \Delta\theta$$

Sabendo que $\Delta A = A - A_0 \rightarrow A = A_0 \cdot (1 + \beta \cdot \Delta\theta)$, a unidade utilizada é $^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Para o caso de a temperatura durante o processo de dilatação superficial não ser muito elevada, considera-se que o coeficiente de dilatação é o dobro do coeficiente de dilatação linear.

$$\beta = 2 \cdot \alpha$$

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. Sistema Dom Bosco – Um orifício de 50,0 mm de diâmetro existente em uma placa metálica deve ser alargado a fim de receber um parafuso cujo diâmetro é de 50,3 mm. Se a placa se encontra a 15 °C, a que temperatura deve-se aquecê-la para que o parafuso possa ser colocado? Considere o coeficiente de dilatação linear do material como sendo de $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Resolução

Neste caso, é necessário calcular:

$$\Delta A = A_0 \cdot \beta \cdot \Delta\theta = A_0 \cdot 2 \cdot \alpha \cdot \Delta\theta. \text{ Sendo a área dada por:}$$

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

em que D é o diâmetro, a área inicial é:

$$A_0 = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4}$$

e a área final é:

$$A_1 = \frac{\pi \cdot D_1^2}{4}$$

Da primeira equação, temos:

$$\Delta A = A_0 \cdot \beta \cdot \Delta\theta \Rightarrow \frac{D_1^2 - D_0^2}{2 \cdot \alpha \cdot D_0^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta\theta = \frac{1}{2 \cdot 1,2 \cdot 10^{-5}} \left(\frac{50,3^2}{50,0^2} - 1 \right) = 501,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Portanto,

$$\theta = 517 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2. Sistema Dom Bosco – Foi retirada uma placa com área de 1,0 m² de dentro de um refrigerador a 0 °C. Para que esta tenha sua área aumentada em 1,0 cm², é aquecida a 50 °C. Qual é o valor do coeficiente de dilatação superficial do material que constitui a placa?

Resolução

Calculando-se o coeficiente de dilatação superficial, faz-se:

$$\Delta A = A_0 \cdot \beta \cdot \Delta\theta$$

$$\beta = \frac{10^{-4}}{1,0 \cdot 50} = 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

ROTEIRO DE AULA

DILATAÇÃO TÉRMICA

Dilatação linear

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta$$

Dilatação volumétrica
(Próximo Capítulo)

Dilatação superficial

Ocorre preponderantemente em

duas dimensões

na

área

de chapas metálicas, por exemplo.

$$\Delta A = A_0 \cdot \beta \cdot \Delta \theta$$

ΔA é a variação da área

A_0 é a área inicial do material

β é o coeficiente de dilatação superficial característico

de cada material

$\Delta \theta$ é a variação da temperatura.

$$\beta = 2 \cdot \alpha$$

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Sistema Dom Bosco – Um operário necessita inserir uma placa de cobre onde se encontra um orifício circular de área 200 mm^2 em um forno especial a $220 \text{ }^\circ\text{C}$ para que essa área tenha um aumento. Se a placa estava em um ambiente a $20 \text{ }^\circ\text{C}$, qual a área de aumento do orifício? Suponha $\beta = 34 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

Para o cálculo do aumento da área:

$$\Delta A = A_0 \cdot \beta \cdot \Delta \theta$$

$$\Delta A = 200 \cdot 34 \cdot 10^{-6} \cdot 200$$

$$\Delta A = 1,36 \text{ mm}^2$$

2. Sistema Dom Bosco – Uma haste que apoia a grelha de um forno caseiro se alonga $0,0002 \text{ cm}$ dos seus 50 cm iniciais ao se aquecer a $50 \text{ }^\circ\text{C}$. Em quanto se dilataria a área de 250 cm^2 de uma chapa metálica do mesmo material se fosse submetida a uma variação de temperatura de $70 \text{ }^\circ\text{C}$, em m^2 ?

Calculando-se o coeficiente de dilatação linear do material:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta = 0,2 \cdot 10^{-2} = 50 \cdot 10^{-2} \cdot \alpha \cdot 50$$

$$\alpha = \frac{0,0002 \cdot 10^{-2}}{0,50 \cdot 10^{-2} \cdot 0,50} = \frac{0,0002 \cdot 10^{-2}}{0,25 \cdot 10^{-2}} = 8 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

Calculando-se a variação na área da chapa:

$$\Delta A = 250 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 8 \cdot 10^{-4} \cdot 70 = 280000 \cdot 10^{-8} = 2,8 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 = 0,28 \text{ cm}^2$$

3. Sistema Dom Bosco – Sobre o processo térmico de dilatação de materiais, indique a alternativa que expressa a afirmativa correta:

- a) A dilatação de uma chapa de ferro se dá significativamente em sua espessura.
- b) Na dilatação de uma barra de ferro, sua área é o que mais varia.
- c) Os materiais se contraem em altas temperaturas e se dilatam em baixas temperaturas.
- d) A dilatação de um cubo se dá preponderantemente em sua profundidade.
- e) A dimensão que se dilata depende da dimensão significativa da peça.

A dilatação ocorre preponderantemente na dimensão significativa das peças. Assim, uma barra sofre dilatação em seu comprimento, uma chapa, em sua área e um cubo, em seu volume.

4. Sistema Dom Bosco – A tabela a seguir apresenta os valores de coeficientes de dilatação linear de metais.

Coeficientes de dilatação linear	
Material	A [K^{-1} ou $(^\circ\text{C})^{-1}$]
Alumínio	$2,4 \cdot 10^{-5}$
Latão	$2,0 \cdot 10^{-5}$
Cobre	$1,7 \cdot 10^{-5}$
Vidro	$0,4-0,9 \cdot 10^{-5}$
Invar (liga de ferro-níquel)	$0,09 \cdot 10^{-5}$
Quartzo (fundido)	$0,04 \cdot 10^{-5}$
Aço	$1,2 \cdot 10^{-5}$

Sobre essa temática, é correto afirmar que:

- a) A dilatação do alumínio independe da quantidade de calor que é cedida a ele.
- b) A dilatação do aço é a maior para os metais da tabela, dada uma mesma variação de temperatura.
- c) A dilatação de uma chapa de latão se calcularia a partir de um coeficiente de dilatação superficial de $4 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.
- d) A dilatação de um cubo de alumínio se calcularia a partir de um coeficiente de dilatação volumétrico de $4,8 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.
- e) A dilatação de uma chapa de aço se calcularia a partir de um coeficiente de dilatação volumétrico de $2,4 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

A única alternativa que atende às definições de $\beta = 2\alpha$; $\gamma = 3\alpha$ é a C. Além disso, o aço é o metal que menos se dilata dentre os materiais da tabela, dada uma mesma temperatura, já que seu coeficiente é o menor dentre eles. A quantidade de calor é diretamente proporcional à variação de temperatura; por isso, a alternativa A é incorreta.

5. Sistema Dom Bosco – Uma chapa metálica possui um orifício circular que, à temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$, recebe um pino que se ajusta adequadamente a esse orifício. Se o pino for retirado, e a chapa, aquecida, o que ocorrerá no momento em que o pino for recolocado na chapa?

- a) Nada, pois o pino não teve sua temperatura alterada.
- b) O pino não mais caberá no orifício, dada a contração deste.
- c) O pino ficará mais solto, dada a dilatação do orifício.
- d) O pino continuará ajustado adequadamente
- e) Tanto a) quanto b) provavelmente ocorrerão.

Ao aquecer-se, o orifício da chapa circular também terá suas dimensões dilatadas.

6. CPS

C5-H19

A caminho da erradicação da pobreza, para poder contemplar a todos com o direito à habitação, as novas edificações devem ser construídas com o menor custo e demandar cuidados mínimos de manutenção. Um acontecimento sempre presente em edificações, e que torna necessária a manutenção, é o surgimento de rachaduras. Há muitas formas de surgirem rachaduras, por exemplo, pela acomodação do terreno ou pela ocorrência de terremotos. Algumas rachaduras, ainda, ocorrem por dilatação térmica. A dilatação térmica é um fenômeno que depende diretamente do material do qual o objeto é feito, de suas dimensões originais e da variação de temperatura a que ele é submetido.

Para um objeto como um muro, o acréscimo ou o decréscimo da área da superfície dele é calculado pela expressão: $\Delta S = S_0 \cdot \beta \cdot \Delta \theta$

Em que:

$\Delta S \rightarrow$ representa a variação (acréscimo ou diminuição) da área da superfície que o muro apresentará;

$S_0 \rightarrow$ é a área original da superfície do muro, antes de ocorrer a dilatação térmica;

$\beta \rightarrow$ é uma constante que está relacionada com o material que foi utilizado em sua construção;

$\Delta \theta \rightarrow$ é a variação de temperatura à qual o muro é submetido.

Considere dois muros feitos com o mesmo material: o menor deles possui uma área de superfície igual a 100 m^2 , enquanto o maior tem 200 m^2 .

Se o muro menor sofrer uma variação de temperatura de $+20\text{ }^\circ\text{C}$ e o maior sofrer uma variação de $+40\text{ }^\circ\text{C}$, a variação da área da superfície do muro maior em relação à variação da área da superfície do muro menor é

- quatro vezes menor.
- duas vezes menor.
- a mesma.
- duas vezes maior.
- quatro vezes maior.

Analisando-se quanto aos termos do problema:

Para o muro maior:

$$\Delta S_1 = S_0 \cdot \beta \cdot \Delta \theta_1 \Rightarrow \Delta S_1 = 200 \text{ m}^2 \cdot \beta \cdot 40\text{ }^\circ\text{C} \therefore \Delta S_1 = 8000 \text{ m}^2 \cdot \beta \cdot ^\circ\text{C}$$

Para o muro menor:

$$\Delta S_2 = S_0 \cdot \beta \cdot \Delta \theta_2 \Rightarrow \Delta S_2 = 100 \text{ m}^2 \cdot \beta \cdot 20\text{ }^\circ\text{C} \therefore \Delta S_2 = 2000 \text{ m}^2 \cdot \beta \cdot ^\circ\text{C}$$

Equacionando-se a razão entre as dilatações dos muros:

$$\frac{\Delta S_1}{\Delta S_2} = \frac{8000 \text{ m}^2 \cdot \beta \cdot ^\circ\text{C}}{2000 \text{ m}^2 \cdot \beta \cdot ^\circ\text{C}} \therefore \frac{\Delta S_1}{\Delta S_2} = 4$$

Competência – Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade – Avaliar métodos, processos ou procedimentos das ciências naturais que contribuam para diagnosticar ou solucionar problemas de ordem social, econômica ou ambiental.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Sistema Dom Bosco – Um cilindro de 40 cm de altura e 20 cm de diâmetro, de material cujo coeficiente de dilatação volumétrica é $\gamma = 2,4 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, é submetido a uma variação de temperatura de $120\text{ }^\circ\text{C}$. Qual é o aumento da área da superfície lateral desse cilindro em m^2 ?

Informação adicional: $\beta = 2\alpha$; $\gamma = 3\alpha$, sendo α e β os coeficientes de dilatação linear e superficial, respectivamente.

8. Sistema Dom Bosco – Explique por que é possível abrir mais facilmente um vidro de conservas esquentando sua tampa metálica.

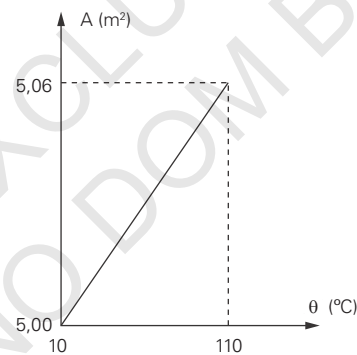
9. Sistema Dom Bosco – Um fio metálico de 1 m sofre uma dilatação de 10^{-3} m ao ser submetido a uma variação de temperatura de $100\text{ }^\circ\text{C}$. Uma chapa de mesmo material e $40\text{ cm} \times 40\text{ cm}$ de dimensões, submetida à mesma variação de temperatura, se dilatará em quantos cm^2 ?

10. Sistema Dom Bosco – José deseja encaixar uma placa com o símbolo de seu time do coração em uma abertura retangular que fez na parede em cima da porta de entrada de sua casa. Essa placa é metálica e tem dimensões $60\text{ cm} \times 50\text{ cm}$. A abertura tem as mesmas dimensões. No entanto, José percebe que, nos dias mais frios, a placa cai, pois provavelmente se contrai. Para que a placa não caia nos dias mais frios e somente fique mais firmemente encaixada nos dias mais quentes, José deve estreitar a abertura vedando quanto de área, se as máximas e mínimas temperaturas do ambiente variam entre $15\text{ }^\circ\text{C}$? Dado: coeficiente de dilatação linear do metal da placa: $1,2 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

11. Mackenzie – Um cubo regular homogêneo de aresta $20,0\text{ cm}$ está inicialmente a $20,0\text{ }^\circ\text{C}$. O coeficiente de dilatação linear médio do material com que foi fabricado é $2,00 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Aquecendo-se uniformemente o cubo com uma fonte de calor constante durante $50,0\text{ s}$, a temperatura se eleva para $120,0\text{ }^\circ\text{C}$. A dilatação ocorrida em uma das superfícies do cubo é

- $4,00 \cdot 10^{-1} \text{ cm}^2$
- $8,00 \cdot 10^{-1} \text{ cm}^2$
- $12,00 \cdot 10^{-1} \text{ cm}^2$
- $16,0 \cdot 10^{-1} \text{ cm}^2$
- $20,0 \cdot 10^{-1} \text{ cm}^2$

12. Mackenzie



O gráfico mostra a variação da área lateral de um cilindro metálico em função da temperatura, quando submetido a uma fonte de calor constante. O coeficiente de dilatação volumétrica média do material que constitui o cilindro é

- $60,0 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
- $120 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
- $180 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
- $240 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
- $300 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

13. Sistema Dom Bosco – As bandejas de um grande refeitório são feitas de alumínio, cujo coeficiente de dilatação linear vale $2,4 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Foi preciso construir um armário para essas bandejas que ocupasse o menor espaço possível. Este deveria ser de prateleiras onde as bandejas de $60\text{ cm} \times 40\text{ cm}$ pudessem ficar empilhadas. Qual deve ser a área mínima das prateleiras, em cm^2 , para caber as bandejas de forma que mesmo nos dias mais quentes (mínima de $15\text{ }^\circ\text{C}$ e máxima de $32\text{ }^\circ\text{C}$) o armário as contenha de portas fechadas?

- $2400,0019584 \text{ cm}^2$
- $19584,00000 \text{ cm}^2$
- $2400,000012 \text{ cm}^2$
- $2400,0017534 \text{ cm}^2$
- $19584,0000584 \text{ cm}^2$

14. Sistema Dom Bosco – Com base no problema anterior e consultando a tabela a seguir, indique a alternativa que possui uma afirmativa correta:

Coeficientes de dilatação linear

Material	A [K ⁻¹ ou (°C) ⁻¹]
Alumínio	$2,4 \cdot 10^{-5}$
Latão	$2,0 \cdot 10^{-5}$
Cobre	$1,7 \cdot 10^{-5}$
Vidro	$0,4-0,9 \cdot 10^{-5}$
Invar (liga de ferro-níquel)	$0,09 \cdot 10^{-5}$
Quartzo (fundido)	$0,04 \cdot 10^{-5}$
Aço	$1,2 \cdot 10^{-5}$

- a) Se as bandejas fossem de aço, se dilatariam mais nos dias quentes e seria necessário um armário com prateleiras de área maior para suportá-las de portas fechadas.
- b) Se as bandejas fossem de aço, se dilatariam mais nos dias quentes e seria necessário um armário com prateleiras de área menor para suportá-las de portas fechadas.
- c) Se as bandejas fossem de latão, se dilatariam mais nos dias quentes e seria necessário um armário com prateleiras de área maior para suportá-las de portas fechadas.
- d) Se as bandejas fossem de latão, se dilatariam menos nos dias quentes e seria necessário um armário com prateleiras de área menor para suportá-las de portas fechadas.
- e) Se as bandejas fossem de invar, se dilatariam mais nos dias quentes e seria necessário um armário com prateleiras de área menor para suportá-las de portas fechadas.

15. Sistema Dom Bosco – João separou pedaços de materiais da tabela anterior com área de 1 m^2 e, nessa situação, os materiais estavam à temperatura de 15 °C . Todos os pedaços foram etiquetados com o mesmo preço. Indique o material com o qual João teria maior perda de lucro, se todos estivessem à venda em uma temperatura de 35 °C .

- a) Alumínio
b) Latão
c) Cobre
d) Invar
e) Aço

16. Sistema Dom Bosco – Uma chapa de alumínio tem um furo central de 100 cm de raio, estando a uma temperatura de 12 °C . Sabendo-se que o coeficiente de dilatação linear do alumínio equivale a $33 \cdot 10^{-6} \text{ °C}^{-1}$, a nova área do furo, quando a chapa for aquecida até 112 °C , será equivalente a qual valor em metros?

- a) $316,07 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$
b) $31,607 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$
c) $3,16,07 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$
d) $31607,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$

17. Sistema Dom Bosco – Um quadrado de lado com 3 m é feito de um material cujo coeficiente de dilatação superficial é igual a $1,6 \cdot 10^{-4} \text{ °C}^{-1}$.

Determine a variação de área desse quadrado quando aquecido a 80 °C .

- a) $0,038 \text{ m}^2$
b) $0,076 \text{ m}^2$
c) $0,230 \text{ m}^2$
d) $0,115 \text{ m}^2$

ESTUDO PARA O ENEM

18. Uern

C5-H17

Duas chapas circulares A e B, de áreas iguais, a uma temperatura inicial de 20 °C , foram colocadas no interior de um forno cuja temperatura era de 170 °C . Sendo a chapa A de alumínio e a chapa B de ferro, e a diferença entre suas áreas no instante em que atingiram o equilíbrio térmico com o forno igual a $2,7\pi \text{ cm}^2$, então o raio inicial das chapas no instante em que foram colocadas no forno era de

(Considere: $\alpha_A = 22 \cdot 10^{-6} \text{ °C}^{-1}$; $\alpha_{Fe} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ °C}^{-1}$)

- a) 25 cm .
b) 30 cm .
c) 35 cm .
d) 40 cm .

19. Ifsul

C5-H17

Uma chapa retangular, de lados 20 cm e 10 cm , feita de um material cujo coeficiente de dilatação linear é igual a $22 \times 10^{-6} \text{ °C}^{-1}$, tem um furo circular em seu centro,

cujo diâmetro é 5 cm , a 25 °C . Se a chapa for aquecida até 125 °C , afirma-se que a área do furo

- a) diminui e que o diâmetro passa a ser $4,985 \text{ cm}$.
b) não se altera e que o diâmetro continua sendo $5,000 \text{ cm}$.
c) aumenta e que o diâmetro passa a ser $5,011 \text{ cm}$.
d) diminui e que o diâmetro passa a ser $4,890 \text{ cm}$.

20. Ifsul

C5-H17

Uma chapa de alumínio retangular tem massa de 200 g e uma temperatura inicial de 15 °C . Sendo o coeficiente de dilatação linear do alumínio igual a $22 \cdot 10^{-6} \text{ °C}^{-1}$, o calor específico do alumínio igual a $0,217 \text{ cal/g°C}$, a largura da chapa igual a 50 cm e a altura igual a 20 cm , se essa barra for aquecida até a temperatura de 60 °C , a sua superfície final será:

- a) $1001,980 \text{ cm}^2$
b) $1002,640 \text{ cm}^2$
c) $1001,980 \text{ cm}^2$
d) $1002,040 \text{ cm}^2$

36

DILATAÇÃO VOLUMÉTRICA DE SÓLIDOS

- Dilatação volumétrica de sólidos

HABILIDADES

- Compreender o conceito de dilatação volumétrica de sólidos.
- Entender a expressão que representa matematicamente a dilatação volumétrica de sólidos.
- Conhecer o coeficiente de dilatação volumétrica de alguns sólidos.
- Reconhecer e caracterizar uma dilatação volumétrica.



Posto de gasolina em cujos tanques subterrâneos ocorre dilatação volumétrica.

A dilatação volumétrica ocorre no volume do objeto; sendo assim, ela se dá em três dimensões. Um exemplo em nosso cotidiano se encontra nos postos de gasolina, pois o combustível sofre uma dilatação volumétrica e deve ser armazenado em um tanque muito grande. Portanto, os tanques de combustível devem ser subterrâneos; caso contrário, a substância sofreria uma dilatação maior e você acabaria por pagar o mesmo valor em uma quantidade menor de massa de gasolina.

Se considerarmos dois blocos metálicos com volume V_0 e V e em uma temperatura θ_0 e θ , e o bloco com volume V é resultado da dilatação do bloco V_0 por conta da mudança da temperatura, sendo que θ é maior que θ_0 , podemos afirmar que a variação volumétrica é diretamente proporcional à mudança de temperatura.

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta\theta$$

onde γ é o coeficiente de dilatação volumétrica e sua unidade usual é dada por $^{\circ}\text{C}^{-1}$. Então podemos reescrever a expressão acima como:

$$V = V_0 \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta\theta)$$

Para o caso de temperaturas não muito elevadas podemos considerar que o coeficiente de dilatação volumétrica é o triplo do coeficiente de dilatação linear.

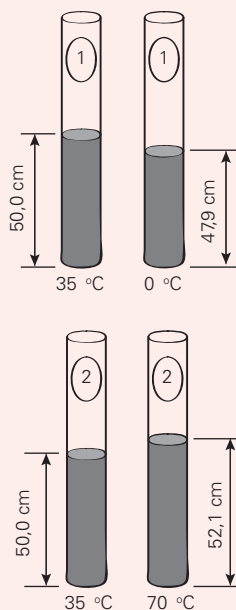
$$\gamma = 3 \cdot \alpha$$

A dilatação superficial ocorre em três dimensões e pode ser calculada por:

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta\theta$$

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. Epcar – AFA – Considere dois tubos cilíndricos (1 e 2), verticais, idênticos e feitos do mesmo material, contendo um mesmo líquido em equilíbrio até a altura de 50,0 cm, conforme figura a seguir.



As temperaturas nos dois tubos são inicialmente iguais e de valor 35 °C. O tubo 1 é resfriado até 0 °C, enquanto o tubo 2 é aquecido até 70 °C, e a altura do líquido em cada tubo passa a ser os valores indicados na figura. Sabendo que o coeficiente de dilatação térmica dos tubos é desprezível quando comparado à do líquido, o coeficiente de dilatação volumétrica do líquido, considerado constante, é, em °C⁻¹,

- a) $1,2 \cdot 10^{-3}$
 b) $1,6 \cdot 10^{-3}$
 c) $2,4 \cdot 10^{-3}$
 d) $3,6 \cdot 10^{-3}$

Resolução

Como esse líquido não extravasa, é possível tratar o problema como de dilatação de sólidos. Assim, calcule-se a variação no volume dos cilindros. Aconselha-se a não considerar o sinal negativo, tendo o resultado em módulo:

$$\Delta V_1 = 47,9 \cdot A - 50 \cdot A = 2,1 \cdot A \text{ cm}^3$$

$$\Delta V_1 = 52,1 \cdot A - 50 \cdot A = 2,1 \cdot A \text{ cm}^3$$

$$\Delta \theta_1 = 0 - 35 = 35 \text{ °C}$$

$$\Delta \theta_1 = 70 - 35 = 35 \text{ °C}$$

Assim, para qualquer dos dois cilindros:

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta \theta \Rightarrow \gamma = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ °C}^{-1}$$

2. Sistema Dom Bosco – Uma ourives aquece uma esfera de ouro, a fim de produzir joias desse material. Sabe-se que a mulher produziu um aquecimento de amplitude de 50 °C e observou um aumento de cerca de 2,1 cm³ no volume da esfera dourada. Consultando uma tabela, a ourives identificou que seria de $14 \cdot 10^{-6} \text{ °C}^{-1}$ o coeficiente de dilatação linear do ouro. Quais cálculos ela executou para definir o volume inicial da esfera?

Resolução

Para estimar o volume inicial, lembrando que $3 \cdot \alpha = \gamma$, utiliza-se:

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta \theta$$

$$2,1 = V_0 \cdot 3 \cdot 14 \cdot 10^{-6} \cdot 50$$

$$V_0 = 10^3 \text{ cm}^3$$

ROTEIRO DE AULA

Dilatação térmica

Dilatação linear

$$\underline{\Delta L} = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta\theta$$

Dilatação superficial

$$\underline{\Delta A} = A_0 \cdot \beta \cdot \Delta\theta$$

Dilatação superficial

$$\underline{\Delta V} = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta\theta$$

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta\theta$$

ΔV é a variação do volume _____ do sólido _____

V_0 é o volume inicial do material

γ é o _____ coeficiente de dilatação volumétrica _____ característico de cada material

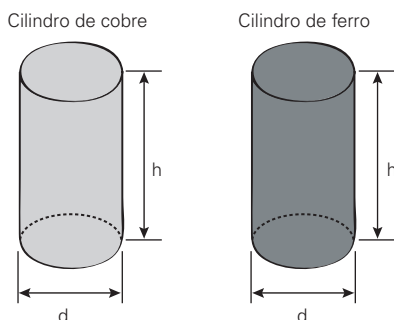
$\Delta\theta$ é a variação da _____ temperatura _____

$$\gamma = 3 \cdot \alpha$$

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Famerp (adaptado) – Dois cilindros retos idênticos, um de cobre (coeficiente de dilatação linear igual a $1,7 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$) e outro de ferro (coeficiente de dilatação linear igual a $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$), têm, a $0 \text{ }^\circ\text{C}$, volumes iguais a $8,0 \cdot 10^2 \text{ cm}^3$ e diâmetros das bases iguais a 10 cm.



Determine o aumento do volume do cilindro de ferro, em cm^3 , quando a temperatura varia de $0 \text{ }^\circ\text{C}$ para $100 \text{ }^\circ\text{C}$.

A dilatação volumétrica será dada pela equação:

$$\gamma = 3 \cdot \alpha$$

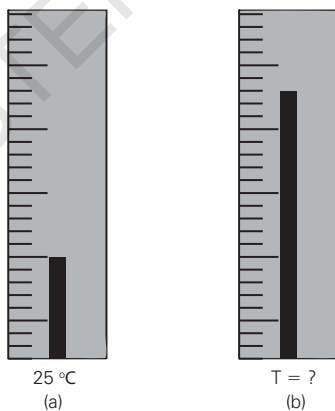
$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta\theta = 8 \cdot 10^2 \cdot 3 \cdot 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot (100 - 0) = 2,88 \text{ cm}^3$$

2. Unicamp (adaptado) – Termômetros clínicos convencionais, de uso doméstico, normalmente baseiam-se na expansão térmica de uma coluna de mercúrio ou de álcool, ao qual se adiciona um corante. Com a expansão, o líquido ocupa uma parte maior de uma coluna graduada, na qual se lê a temperatura.

O volume de álcool em um termômetro é $V_0 = 20 \text{ mm}^3$ a $25 \text{ }^\circ\text{C}$, e corresponde à figura (a). Quando colocado em contato com água aquecida, o termômetro apresenta a leitura mostrada na figura (b). A escala está em milímetros, a área da seção reta da coluna é $A = 5,0 \cdot 10^{-2} \text{ mm}^2$. O aumento do volume, Δ , produzido

pelo acréscimo de temperatura ΔT , é dado por $\frac{\Delta V}{V_0} = \gamma \Delta T$.

Se para o álcool $\gamma = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, qual é a temperatura T da água aquecida?



Pela figura, observa-se a variação da coluna no termômetro sendo de 13 mm. Pelos dados do contexto do problema, temos que:

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \gamma \cdot \Delta\theta$$

$$\Delta V = A \cdot \Delta h$$

Então,

$$\frac{A \cdot \Delta h}{V_0} = \gamma \cdot \Delta\theta \Rightarrow \frac{5 \cdot 10^{-2} \cdot 13}{1,25 \cdot 10^{-3} \cdot 20} = \Delta\theta = (\theta - \theta_0)$$

$$\theta = \frac{5 \cdot 10^{-2} \cdot 13}{1,25 \cdot 10^{-3} \cdot 20} + \theta_0 = 25 + 26 = 51 \text{ }^\circ\text{C}$$

3. Sistema Dom Bosco – Um recipiente de cobre será usado a altas temperaturas, e para isso é necessário prever qual a dilatação esperada desse recipiente. Neste caso, tendo 1000 cm^3 de capacidade a $0 \text{ }^\circ\text{C}$, qual será sua capacidade a $100 \text{ }^\circ\text{C}$?

a) 1017 cm^3

b) 1005 cm^3

c) 1003 cm^3

d) 1002 cm^3

e) 1001 cm^3

Dado: coeficiente de dilatação linear do cobre = $= 16 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

Utilizando-se a equação para dilatação de volumes, temos:

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta\theta = 1000 \cdot 3 \cdot 16 \cdot 10^{-6} \cdot 100 = 4,8 \text{ cm}^3$$

$$\text{Então, } V = V_0 + \Delta V = 1005 \text{ cm}^3.$$

4. Sistema Dom Bosco – Qual o coeficiente de dilatação volumétrica de uma barra metálica que experimenta um aumento de 0,1% em seu comprimento para uma variação de temperatura de $100 \text{ }^\circ\text{C}$?

a) $3 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

b) $1 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

c) $0,1 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

d) $0,3 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

É necessário descobrir o valor do coeficiente de dilatação linear do material para então multiplicá-lo por 3, como segue:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta\theta = \frac{0,1}{100} \cdot L_0 = L_0 \cdot \alpha \cdot 100$$

$$\alpha = \frac{0,1}{100 \cdot 100} = 0,1 \cdot 10^{-4}$$

$$\gamma = 3 \cdot 0,1 \cdot 10^{-4} = 3 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

5. Sistema Dom Bosco – Uma placa de 1 m^2 de um metal é aquecida e se dilata com um aumento de $0,36 \text{ mm}^2$ em sua área. Se um cubo do mesmo metal sofrer a mesma variação de temperatura, contudo, partindo de um volume de 10^6 mm^3 , este terá qual acréscimo de volume?

a) $0,72 \text{ mm}^3$

b) $0,54 \text{ mm}^3$

c) $0,36 \text{ mm}^3$

d) $0,27 \text{ mm}^3$

e) $0,18 \text{ mm}^3$

Calculando-se a variação de temperatura e o coeficiente de dilatação superficial/linear do metal:

$$\Delta A = A_0 \cdot \beta \cdot \Delta\theta = 0,36 = 10^6 \cdot 2 \cdot \alpha \cdot \Delta\theta$$

$$\alpha \cdot \Delta\theta = \frac{0,18}{10^6}$$

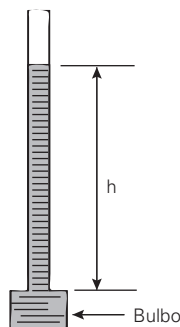
$$\Delta V = V_0 \cdot 3 \cdot \alpha \cdot \Delta\theta$$

$$10^6 \cdot 3 \cdot \frac{0,18}{10^6} = 0,54 \text{ mm}^3$$

6. Epcar – AFA

C6-H21

Em um laboratório de Física, é proposta uma experiência na qual os alunos deverão construir um termômetro, que deverá ser constituído de um bulbo, um tubo muito fino e uniforme, ambos de vidro, além de álcool colorido, conforme a figura a seguir. O bulbo tem capacidade de $2,0 \text{ cm}^3$, o tubo tem área de seção transversal de $1,0 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2$ e comprimento de 25 cm.



No momento da experiência, a temperatura no laboratório é $30 \text{ }^\circ\text{C}$, e o bulbo está totalmente preenchido com álcool até a base do tubo. Sabendo-se que o coeficiente de dilatação do álcool é $11 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e que o coeficiente de dilatação do vidro utilizado é desprezível comparado ao do álcool, a altura h , em cm, atingida pelo líquido no tubo, quando o termômetro for utilizado em um experimento a $80 \text{ }^\circ\text{C}$, é

- a) 5,50
- b) 11,0**
- c) 16,5
- d) 22,0

Para a dilatação volumétrica, utiliza-se como volume a multiplicação entre área (A) e altura (h):

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta \theta$$

$$A \cdot h = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta \theta$$

$$h = \frac{2 \cdot 11 \cdot 10^{-4} (80 - 30)}{10^{-2}} = 11 \text{ cm}$$

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. PUCMG (adaptado) – Deseja-se passar uma esfera metálica através de um orifício localizado no centro de uma chapa metálica quadrada. O diâmetro da esfera é levemente maior que o diâmetro do furo. Para cumprir esse objetivo, sugira um procedimento adequado e coerente com os conceitos que regem a forma de dilatação de sólidos.

8. UFRGS – Para duas esferas não ocas no mesmo ambiente, com mesmo volume, mas de materiais diferentes, é definido um processo de elevação de temperatura, e, nesse processo, a primeira dilata-se em 1%, já a segunda dilata-se em 5% de seu volume. Determine a razão entre os coeficientes de dilatação linear desses dois materiais.

9. Uern (adaptado) – A tabela a seguir apresenta os coeficientes de dilatação linear de alguns metais:

Metais	Coefficiente de dilatação linear ($^\circ\text{C}^{-1}$)
ferro	$12 \cdot 10^{-6}$
cobre	$17 \cdot 10^{-6}$
alumínio	$22 \cdot 10^{-6}$
zínco	$26 \cdot 10^{-6}$

Um cubo de metal de volume $0,54 \text{ m}^3$ a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ é aquecido até atingir $100 \text{ }^\circ\text{C}$, apresentando uma variação de $0,36 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$ na área de uma de suas faces. Qual é o metal que constitui esse cubo?

10. Udesc (adaptado) – Certo metal possui um coeficiente de dilatação linear α . Uma barra fina desse metal, de comprimento L_0 , sofre uma dilatação para uma dada variação de temperatura ΔT . Para uma chapa quadrada fina de lado L_0 e para um cubo também de lado L_0 desse mesmo metal, se a variação de temperatura for $2\Delta T$, o número de vezes que aumentou a variação da área e do volume, da chapa e do cubo, respectivamente, é de qual valor?

11. UPE-SSA 2 – Com base nos conhecimentos acerca da expansão térmica dos sólidos, sabe-se que, ao aquecer uma esfera feita de alumínio, a $100 \text{ }^\circ\text{C}$, o maior aumento percentual vai ocorrer na (no)

- a) sua área de superfície.
- b) seu volume.
- c) seu diâmetro.
- d) sua densidade.
- e) sua massa.

12. Epcar – AFA – Consultando uma tabela da dilatação térmica dos sólidos, verifica-se que o coeficiente de dilatação linear do ferro é $13 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Portanto, pode-se concluir que

- num dia de verão em que a temperatura variar $20 \text{ }^\circ\text{C}$, o comprimento de uma barra de ferro de $10,0 \text{ m}$ sofrerá uma variação de $2,6 \text{ cm}$.
- o coeficiente de dilatação superficial do ferro é $169 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.
- para cada $1 \text{ }^\circ\text{C}$ de variação de temperatura, o comprimento de uma barra de $1,0 \text{ m}$ desse material varia $13 \cdot 10^{-6} \text{ m}$.
- o coeficiente de dilatação volumétrica do ferro é $39 \cdot 10^{-18} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

13. UPE – Ao lavar pratos e copos, um cozinheiro verifica que dois copos estão encaixados firmemente, um dentro do outro. Sendo o copo externo feito de alumínio e o interno de vidro, utilizando os princípios básicos de dilatação térmica, é possível separá-los:

- Aquecendo apenas o copo de vidro.
- Esfriando apenas o copo de alumínio.
- Aquecendo ambos.
- Esfriando ambos.

Dados: os coeficientes de dilatação térmica do alumínio e do vidro são iguais a $\alpha_{\text{Al}} = 24 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e $\alpha_{\text{vidro}} = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, respectivamente.

Está(ão) CORRETO(S) apenas

- I e II.
- I.
- II.
- III.
- IV.

14. FGV – Um bloco metálico, maciço, homogêneo, de capacidade térmica C , é feito de um material de coeficiente de dilatação linear α e ocupa um volume V_0 à temperatura ambiente. Ele é colocado no interior de um forno quente e recebe uma quantidade de calor Q até entrar em equilíbrio térmico com o forno, sem sofrer mudança de estado físico.

Como consequência, seu volume sofre uma dilatação ΔV . Tal dilatação é diretamente proporcional a V_0 , mas também a quais outras grandezas físicas?

- α , C e $1/Q$.
- α , Q e $1/C$.
- C , Q e $1/\alpha$.
- α , $1/Q$ e $1/C$.
- Q , $1/\alpha$ e $1/C$.

15. Sistema Dom Bosco – Uma esfera de alumínio cujo coeficiente de dilatação volumétrica é de $6 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ possui volume de 6000 cm^3 a $0 \text{ }^\circ\text{C}$. Qual será seu volume final a $100 \text{ }^\circ\text{C}$?

- 6036 cm^3
- 36 cm^3
- 6000 cm^3
- 636 cm^3

16. Sistema Dom Bosco – Para uma dilatação de $0,60\%$ do valor do volume inicial, uma peça metálica deve ser aquecida a $200 \text{ }^\circ\text{C}$. Assim, o coeficiente de dilatação linear médio do metal do qual é feita essa peça deve ser de qual valor, em $^\circ\text{C}^{-1}$?

- $1,0 \cdot 10^{-5}$
- $3,0 \cdot 10^{-5}$
- $1,0 \cdot 10^{-4}$
- $3,0 \cdot 10^{-4}$
- $3,0 \cdot 10^{-3}$

17. PUC-RJ – Uma placa de vidro possui as dimensões de $1,0 \text{ m} \times 1,0 \text{ m} \times 1,0 \text{ cm}$ quando está à temperatura ambiente. Seu coeficiente de dilatação linear é $9 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Se a placa sofrer uma variação de temperatura de $10 \text{ }^\circ\text{C}$, de quanto será a variação de volume da placa, em cm^3 ?

- $7,3 \cdot 10^{-11}$
- $7,3 \cdot 10^{-7}$
- $9,0 \cdot 10^{-3}$
- $9,0 \cdot 10^{-1}$
- $2,7$

ESTUDO PARA O ENEM

18. Sistema Dom Bosco

C6-H21

Dois paralelepípedos metálicos, 1 e 2, têm a $10 \text{ }^\circ\text{C}$ volumes iguais a $250,75 \text{ cm}^3$ e $250,00 \text{ cm}^3$, respectivamente. Qual seria a temperatura em graus Celsius em que os blocos teriam o mesmo volume?

Dados: os coeficientes de dilatação linear das peças valem, respectivamente, $2 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e $3 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

- | | | |
|----------|----------|--------|
| a) 100 | c) 100,4 | e) 110 |
| b) 100,2 | d) 100,6 | |

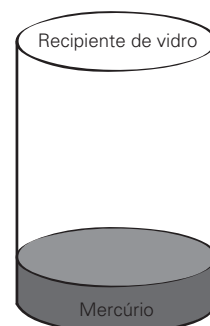
19. PUC-PR

C6-H21

Considere um recipiente de vidro com certo volume de mercúrio, ambos em equilíbrio térmico em uma dada temperatura θ_0 , conforme mostra a figura a seguir.

O conjunto, recipiente de vidro e mercúrio, é colocado em um forno à temperatura θ , com $\theta > \theta_0$.

Sejam os coeficientes de dilatação volumétrica do vidro e do mercúrio iguais, respectivamente, a $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e $1,8 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.



Quantas vezes o volume do recipiente deve ser maior que o volume inicial de mercúrio, para que o volume

vazio do recipiente permaneça constante a qualquer temperatura?

- a) 11. d) 14.
 b) 12. e) 15.
 c) 13.

20. UPE-SSA 2

C6-H21

Neste sábado, começa a maior, mais famosa e mais esperada competição do ciclismo mundial, o Tour de France. [...] Do dia 2 ao dia 24 de julho, os ciclistas vão encarar as grandes montanhas francesas e as mais belas paisagens em busca da tão sonhada camisa amarela. [...] Serão vinte e duas etapas – nove planas, uma de alta montanha, nove de montanha e duas de relógio individual – e 3 519 km percorridos ao longo de todo o território francês, uma média de 167,5 km pedalados por dia.

Disponível em: <http://espn.uol.com.br/noticia/610082_equipes-favoritos-camisas-e-curiosidades-saiba-tudo-sobre-o-tour-de-france-2016>.

Acesso em: 15 jul. 2016. (Adaptado.)

Ao longo dessa competição, um ciclista viaja por diversos locais, onde ele e sua bicicleta experimentam as mais diferentes temperaturas. Desejando um melhor desempenho aerodinâmico na prova, um atleta analisa o comportamento geométrico dos raios (barras cilíndricas maciças) disponíveis para instalar nas rodas de sua bicicleta, com a variação de temperatura. Em seu experimento, dois raios de alumínio, A e B, de comprimentos L e 2L e diâmetros 4r e 2r, respectivamente, são aquecidos até a mesma temperatura, a partir de uma mesma temperatura inicial.

A razão entre o aumento de volume do raio A com respeito ao raio do tipo B é

- a) 1:1
 b) 1:2
 c) 2:1
 d) 1:4
 e) 4:1

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
 SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

DILATAÇÃO DE LÍQUIDOS COM DILATAÇÃO DE RECIPIENTE

37



GETTY IMAGES/ISTOCKPHOTO

Água em um recipiente de vidro sendo aquecida: ocorre a dilatação térmica do líquido e do recipiente.

Os materiais sólidos, ao serem aquecidos, sofrem uma dilatação térmica que pode ser linear, superficial ou volumétrica, dependendo da geometria do objeto. Nos líquidos, a dilatação térmica também ocorre, porém, como estes não possuem um formato próprio, só faz sentido falar em dilatação volumétrica nesse caso. Além disso, como os líquidos adquirem a forma do recipiente em que estão armazenados, é preciso considerar também a dilatação desse recipiente.

Outra característica importante é que, em geral, os líquidos possuem coeficientes de dilatação térmica maiores que os dos sólidos. Assim, para uma mesma variação de temperatura, os líquidos costumam sofrer uma maior dilatação volumétrica.

Observando a imagem da abertura, vemos que o recipiente que contém o líquido é aquecido com o líquido, de modo que tanto o líquido quanto seu recipiente sofrem uma dilatação térmica. A dilatação dos líquidos segue o mesmo conceito da dilatação dos sólidos. Então, podemos escrever

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta \theta$$

Porém, essa dilatação representa a soma da dilatação do recipiente, denotada por $\Delta V_{\text{recipiente}}$, e da dilatação aparente do líquido, $\Delta V_{\text{aparente}}$. Essa soma é chamada dilatação real. Ou seja, temos

$$\Delta V_{\text{real}} = \Delta V_{\text{recipiente}} + \Delta V_{\text{aparente}}$$

A dilatação aparente do líquido pode ser entendida da seguinte forma. Consideremos um recipiente aberto e completamente cheio de um líquido. Então,

- Dilatação de líquidos com dilatação de recipiente

HABILIDADES

- Diferenciar as características da dilatação térmica dos líquidos e dos sólidos.
- Definir os conceitos de dilatação real e aparente dos líquidos.
- Relacionar os coeficientes de dilatação real, aparente e do recipiente.

aquecemos o conjunto recipiente + líquido, fazendo que ambos sofram dilatação. Por conta do maior coeficiente de dilatação, o líquido se dilata mais que o recipiente, de modo que certa quantidade acaba transbordando. Esse volume corresponde à dilatação aparente do líquido.

Ainda nesse caso, podemos supor que os volumes iniciais do recipiente e do líquido são iguais, uma vez que o recipiente está totalmente cheio. Então, utilizando as duas expressões anteriores, podemos escrever

$$\begin{aligned}\Delta V_{\text{real}} &= \Delta V_{\text{recipiente}} + \Delta V_{\text{aparente}} \\ V_0 \gamma_{\text{real}} \Delta \theta &= V_0 \gamma_{\text{recipiente}} \Delta \theta + V_0 \gamma_{\text{aparente}} \Delta \theta \\ \gamma_{\text{real}} (V_0 \Delta \theta) &= (\gamma_{\text{recipiente}} + \gamma_{\text{aparente}}) (V_0 \Delta \theta) \\ \gamma_{\text{real}} &= \gamma_{\text{recipiente}} + \gamma_{\text{aparente}}\end{aligned}$$

Isso mostra que o coeficiente de dilatação real do líquido é igual à soma do coeficiente de dilatação do recipiente e do coeficiente de dilatação aparente, que pode ser medido a partir do volume derramado, como descrito.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. PUC-MG – Um recipiente de vidro está completamente cheio de um determinado líquido. O conjunto é aquecido fazendo com que transborde um pouco desse líquido. A quantidade de líquido transbordado representa a dilatação:

- a) do líquido, apenas.
- b) do líquido menos a dilatação do recipiente.**
- c) do recipiente, apenas.
- d) do recipiente mais a dilatação do líquido.

Resolução

A quantidade de líquido transbordado corresponde à dilatação aparente, ou seja,

$$\Delta V_{\text{real}} = \Delta V_{\text{recipiente}} + \Delta V_{\text{aparente}} \Rightarrow \Delta V_{\text{aparente}} = \Delta V_{\text{real}} - \Delta V_{\text{recipiente}}$$

2. UFU – Um frasco de capacidade para 10 litros está completamente cheio de glicerina e encontra-se à temperatura de 10 °C. Aquecendo-se o frasco com a glicerina até atingir 90 °C, observa-se que 352 mL de glicerina transbordam do frasco. Sabendo-se que o coeficiente de dilatação volumé-

trica da glicerina é $5,0 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, o coeficiente de dilatação linear do frasco é, em $^\circ\text{C}^{-1}$,

- a) $6,0 \cdot 10^{-5}$.**
- b) $2,0 \cdot 10^{-5}$.
- c) $4,4 \cdot 10^{-4}$.
- d) $1,5 \cdot 10^{-4}$.

Resolução

$$V_0 = 10 \text{ L}$$

$$\Delta \theta = 90 - 10 = 80 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta V_{\text{aparente}} = 0,352 \text{ L}$$

$$\Delta V_{\text{aparente}} = V_0 \gamma_{\text{aparente}} \Delta \theta = 10 \cdot 80 \cdot \gamma_{\text{aparente}}$$

$$0,352 = 800 \gamma_{\text{aparente}} \Rightarrow \gamma_{\text{aparente}} = 4,4 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\begin{aligned}\gamma_{\text{real}} &= \gamma_{\text{recipiente}} + \gamma_{\text{aparente}} \Rightarrow \gamma_{\text{recipiente}} = \gamma_{\text{real}} - \gamma_{\text{aparente}} \Rightarrow \\ \Rightarrow \gamma_{\text{recipiente}} &= 5,0 \cdot 10^{-4} - 4,4 \cdot 10^{-4} = 6,0 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}\end{aligned}$$

DILATAÇÃO VOLUMÉTRICA DO LÍQUIDO

Dilatação do recipiente implica uma dilatação aparente

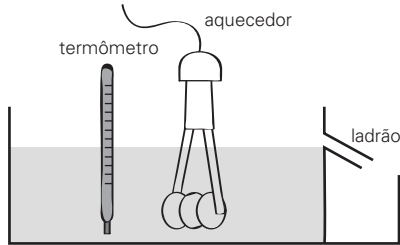
Dilatação do recipiente + dilatação aparente =
dilatação real

Coefficientes de dilatação aparente + do recipiente = coeficiente de dilatação

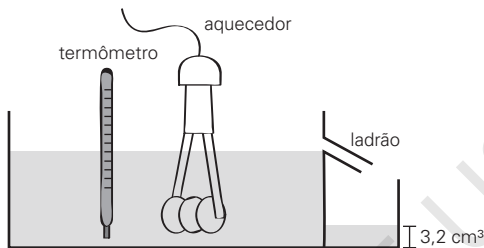
MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Uerj – Para uma análise física, um laboratório utiliza um sistema composto por um termômetro, um aquecedor, um recipiente com ladrão e outro recipiente menor acoplado a este. O primeiro recipiente é preenchido até a altura do ladrão com 400 cm³ de um determinado líquido, conforme ilustrado a seguir.



O sistema, mantido em temperatura ambiente de 25 °C, é então aquecido até 65 °C. Como em geral os líquidos se dilatam mais que os sólidos, verifica-se o extravasamento de parte do líquido, que fica armazenado no recipiente menor. Após o sistema voltar à temperatura inicial, o volume de líquido extravasado corresponde a 3,2 cm³. Observe a ilustração:



Sabendo que o coeficiente de dilatação volumétrica do material que constitui o recipiente é igual $3,6 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, calcule o coeficiente de dilatação do líquido.

O sistema descrito foi aquecido até 65 °C e, ao retornar à temperatura ambiente, observa-se que houve o extravasamento de 3,2 cm³ do líquido. Com esses dados, é possível determinar o coeficiente de dilatação aparente do líquido por meio da seguinte relação:

$$\Delta V_{\text{ap}} = V_0 \cdot \gamma_{\text{ap}} \cdot \Delta \theta$$

$$3,2 = 400 \cdot \gamma_{\text{ap}} \cdot 40 \rightarrow \gamma_{\text{ap}} = \frac{3,2}{400 \cdot 40} = 200 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

Sabendo que o coeficiente de dilatação real do líquido corresponde à soma do coeficiente de dilatação aparente do líquido e do coeficiente do recipiente, tem-se:

$$\gamma_{\text{liq}} = \gamma_{\text{ap}} + \gamma_{\text{rec}} \rightarrow \gamma_{\text{liq}} = 200 \cdot 10^{-6} + 36 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\gamma_{\text{liq}} = 236 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

2. Ufal – Um recipiente cúbico de zinco, cujo coeficiente de dilatação térmica linear é $25 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, tem lado de 20 cm à temperatura de 20 °C. Nessa temperatura ele é preenchido completamente com mercúrio, de coeficiente de dilatação volumétrica $180 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. O sistema é levado, então, à temperatura final de 120 °C. Analise as afirmações.

- () O coeficiente de dilatação da superfície lateral do cubo é $50 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.
- () A dilatação apresentada pelo lado do cubo é 20 cm.
- () A dilatação apresentada pelo recipiente é 20 cm³.
- () A dilatação do mercúrio é 144 cm³.
- () Certamente ocorreu transbordamento maior que 100 cm³ de mercúrio.

V – F – F – V – F

Afirmação 1: O coeficiente de dilatação superficial é o dobro do linear.

Afirmação 2: $\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta = 20 \cdot 25 \cdot 10^{-6} \cdot (120 - 20) = 0,05 \text{ cm}$.

Afirmação 3: $\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta \theta = 8000 \cdot 3 \cdot 25 \cdot 10^{-6} \cdot 100 = 60 \text{ cm}^3$.

O coeficiente de dilatação volumétrica é o triplo do linear.

Afirmação 4: $\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta \theta = 8000 \cdot 180 \cdot 10^{-6} \cdot 100 = 144 \text{ cm}^3$.

Afirmação 5: $\Delta V_{\text{aparente}} = 144 - 60 = 85 \text{ cm}^3$ de transbordamento; portanto, menor que os 100 cm³.

3. UFPR – Uma taça de alumínio de 120 cm³ contém 119 cm³ de glicerina a 21 °C. Considere o coeficiente de dilatação linear do alumínio como sendo de $2,3 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ e o coeficiente de dilatação volumétrica da glicerina de $5,1 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$. Se a temperatura do sistema taça-glicerina for aumentada para 39 °C, a glicerina transbordará ou não? Em caso afirmativo, determine o volume transbordado; em caso negativo, determine o volume de glicerina que ainda caberia no interior da taça.

$$\Delta V_{\text{taça}} = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta T = 120 \cdot 2,3 \cdot 10^{-4} \cdot 18 = 0,49 \text{ cm}^3$$

$$V_{\text{al}} = 120,49 \text{ cm}^3$$

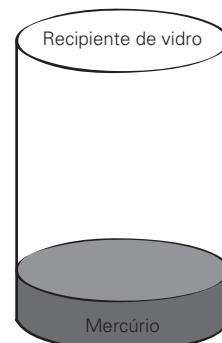
$$\Delta V_{\text{glic}} = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta T = 5,1$$

$$10^{-4} \cdot 119 \cdot 18 = 1,092 \text{ cm}^3$$

$$V_{\text{glic}} = 120,092 \text{ cm}^3$$

A glicerina não transbordará, pois a taça passará a ter um volume de 120,49 cm³, enquanto o volume total da glicerina passará a ser de 120,092 cm³. Essa diferença, $120,49 - 120,092 = 0,398 \text{ cm}^3$, é o quanto ainda se poderia preencher de glicerina na temperatura final.

4. PUC-PR – Considere um recipiente de vidro com certo volume de mercúrio, ambos em equilíbrio térmico em uma dada temperatura θ_0 , conforme mostra a figura a seguir. O conjunto, recipiente de vidro e mercúrio, é colocado em um forno à temperatura θ , com $\theta > \theta_0$. Sejam os coeficientes de dilatação volumétrica do vidro e do mercúrio iguais, respectivamente, a $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e $1,8 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.



Em quantas vezes o volume do recipiente deve ser maior que o volume inicial de mercúrio, para que o volume vazio do recipiente permaneça constante a qualquer temperatura?

- a) 11
b) 12
c) 13
d) 14
e) 15

Temos:

$$\Delta V_{\text{recipiente}} = V_{\text{Orec}} \gamma_{\text{rec}} \Delta \theta$$

$$\Delta V_{\text{Hg}} = V_{\text{OHg}} \gamma_{\text{Hg}} \Delta \theta$$

Para que o volume vazio do recipiente permaneça constante a qualquer temperatura, as dilatações volumétricas tanto do vidro como do mercúrio devem ser iguais:

$$\Delta V_{\text{rec}} = \Delta V_{\text{Hg}}$$

$$V_{\text{Orec}} \gamma_{\text{rec}} \Delta \theta = V_{\text{OHg}} \gamma_{\text{Hg}} \Delta \theta$$

$$\frac{V_{\text{O rec}}}{V_{\text{O Hg}}} = \frac{\gamma_{\text{Hg}}}{\gamma_{\text{rec}}} = \frac{1,8 \cdot 10^{-4}}{1,2 \cdot 10^{-5}} = 15$$

5. Ear – Um cidadão parou às 22 h em um posto de combustível para encher o tanque de seu caminhão com óleo diesel. Nesse horário, as condições climáticas eram tais que um termômetro, bem calibrado fixado em uma das paredes do posto, marcava uma temperatura de 10 °C. Assim que acabou de encher o tanque de seu veículo, percebeu o marcador de combustível no nível máximo. Descansou no mesmo posto até às 10 h do dia seguinte, quando o termômetro do posto registrava a temperatura de 30 °C. Observou, no momento da saída, que o marcador de combustível já não estava indicando nível máximo.

Qual afirmação justifica melhor, do ponto de vista da física, o que aconteceu? Desconsidere a possibilidade de vazamento do combustível.

- a) O calor faz que o diesel sofra contração.
b) O aumento da temperatura afeta apenas o tanque de combustível.
c) O tanque de combustível tem coeficiente de dilatação maior que o próprio combustível.
d) O tanque metálico de combustível é um isolante térmico, não permitindo o aquecimento e a dilatação do diesel.

O tanque de combustível tem coeficiente de dilatação maior que o próprio combustível. Assim, com o aumento da temperatura, o tanque se dilata mais que o combustível, fazendo que o volume deste seja menor que o do tanque dilatado.

As demais alternativas estão incorretas:

- a) O calor faz que o diesel sofra dilatação.
b) O aumento da temperatura afeta tanto o tanque de combustível quanto o combustível.
d) O tanque metálico de combustível é um condutor térmico e permite o aquecimento e a dilatação do diesel.

6. UFRGS

C6-H21

Em certo instante, um termômetro de mercúrio com paredes de vidro, que se encontra à temperatura ambiente, é imerso em um vaso que contém água a 100 °C. Observa-se que, no início, o nível da coluna de mercúrio cai um pouco e, depois, se eleva muito acima do nível inicial. Qual das alternativas apresenta uma explicação correta para esse fato?

- a) A dilatação do vidro das paredes do termômetro se inicia antes da dilatação do mercúrio.
b) O coeficiente de dilatação volumétrica do vidro das paredes do termômetro é maior que o do mercúrio.
c) A tensão superficial do mercúrio aumenta em razão do aumento da temperatura.
d) À temperatura ambiente, o mercúrio apresenta um coeficiente de dilatação volumétrica negativo, tal como a água, entre 0 °C e 4 °C.
e) O calor específico do vidro das paredes do termômetro é menor que o do mercúrio.

b) O coeficiente de dilatação volumétrica do vidro das paredes do termômetro é menor que o do mercúrio. Do contrário, o volume aparente de mercúrio teria diminuído.

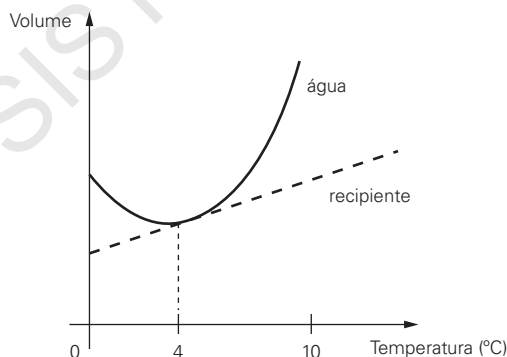
c) A tensão superficial do mercúrio não varia com a temperatura.

d) O mercúrio não apresenta dilatação anômala, como a água.

e) O calor específico do vidro das paredes do termômetro é maior que o do mercúrio.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. PUC-RS – As variações de volume de certa quantidade de água e do volume interno de um recipiente em função da temperatura foram medidas separadamente e estão representadas no gráfico a seguir, respectivamente, pela linha contínua (água) e pela linha tracejada (recipiente).



Estudantes, analisando os dados apresentados no gráfico, e supondo que a água seja colocada dentro do recipiente, fizeram as seguintes previsões:

- I. O recipiente estará completamente cheio de água, sem haver derramamento, apenas quando a temperatura for 4 °C.
II. A água transbordará apenas se sua temperatura e a do recipiente assumirem simultaneamente valores acima de 4 °C.
III. A água transbordará se sua temperatura e a do recipiente assumirem simultaneamente valores acima de 4 °C ou se assumirem simultaneamente valores abaixo de 4 °C.

A(s) afirmativa(s) correta(s) é(são):

- a) I, apenas.
b) I e II, apenas.
c) I e III, apenas.
d) II e III, apenas.
e) I, II e III.

- 8. UEL** – Um recipiente de vidro de capacidade $2,0 \cdot 10^2 \text{ cm}^3$ está completamente cheio de mercúrio, a 0°C . Os coeficientes de dilatação volumétrica do vidro e do mercúrio são, respectivamente, $4,0 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e $1,8 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Aquecendo o conjunto a 100°C , o volume de mercúrio que extravasa, em cm^3 , vale
- $2,8 \cdot 10^{-4}$
 - $2,8 \cdot 10^{-3}$
 - $2,8 \cdot 10^{-2}$
 - $2,8 \cdot 10^{-1}$
 - 2,8
- 9. Sistema Dom Bosco** – Uma esfera de aço, oca, foi construída de tal forma que, quando completamente mergulhada em óleo diesel à temperatura de 25°C , permanece em equilíbrio, sem afundar nem emergir. Suponha agora que a temperatura do sistema, formada pela bola e pelo óleo diesel, seja lentamente alterada, de forma que seja sempre mantido o equilíbrio térmico. Sabe-se que o coeficiente de dilatação linear do aço é $\gamma_{\text{aço}} = 11 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e que o coeficiente de dilatação volumétrica do óleo diesel é $\gamma_{\text{óleo}} = 9,5 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Sobre essa situação, é INCORRETO afirmar que:
- antes da variação da temperatura, a razão entre a massa e o volume da esfera é igual à densidade do óleo diesel.
 - se houver elevação da temperatura, a esfera tenderá a flutuar.
 - se houver elevação da temperatura, tanto o óleo diesel quanto a esfera sofrerão dilatação.
 - caso haja diminuição da temperatura do sistema, a razão entre a massa e o volume da esfera se tornará menor do que a densidade do óleo diesel.
 - se houver diminuição da temperatura do sistema, tanto o óleo diesel quanto a esfera diminuirão de volume.
- 10. Sistema Dom Bosco** – Um recipiente de vidro de capacidade 500 cm^3 contém 200 cm^3 de mercúrio, a 0°C . Verifica-se que, em qualquer temperatura, o volume da parte vazia é sempre o mesmo. Nessas condições, sendo γ o coeficiente de dilatação volumétrica do mercúrio, o coeficiente de dilatação volumétrica do vidro vale:
- $5\gamma/6$
 - $5\gamma/3$
 - $\gamma/5$
 - $2\gamma/5$
 - 15γ
- 11. Sistema Dom Bosco** – Um recipiente de vidro possui $1\,000 \text{ cm}^3$ a 0°C . Após ser totalmente preenchido com mercúrio, o conjunto é aquecido até 200°C , de modo que 34 cm^3 de mercúrio transbordam. Sendo $1,8 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ o coeficiente de dilatação do mercúrio e $10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ o coeficiente de dilatação volumétrica do vidro, o aumento de volume sofrido pelo mercúrio foi de
- 32 cm^3
 - 34 cm^3
 - 36 cm^3
 - 38 cm^3
- 12. Sistema Dom Bosco** – Um recipiente de vidro contém glicerina a 20°C . O coeficiente de dilatação linear do vidro é $27 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e o coeficiente de dilatação volumétrica da glicerina é $5,0 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Elevando a temperatura do conjunto para 60°C , o nível da glicerina
- baixa, pois a dilatação do recipiente é maior que a do líquido.
 - sobe, pois o recipiente se contrai.
 - sobe, pois apenas a glicerina sofre dilatação.
 - sobe, apesar de ambos se dilatarem.
- 13. Sistema Dom Bosco** – A medição da temperatura ambiente, entre 0 e 40°C , através de um termômetro de vidro e água não seria confiável, pois
- o calor específico da água é muito grande.
 - o coeficiente de dilatação da água é negativo entre 0 e 4°C .
 - o coeficiente de dilatação do vidro é muito maior que o da água.
 - o coeficiente de dilatação do vidro é igual ao da água.
- 14. UEPG** – Dilatação térmica é o fenômeno pelo qual variam as dimensões geométricas de um corpo quando este experimenta uma variação de temperatura. Sobre esse fenômeno físico, assinale o que for correto.
- Em geral, as dimensões de um corpo aumentam quando a temperatura aumenta.
 - Um corpo oco se dilata como se fosse maciço.
 - A tensão térmica explica por que um recipiente de vidro grosso comum quebra quando é colocada água em ebulição em seu interior.
 - A dilatação térmica de um corpo é inversamente proporcional ao coeficiente de dilatação térmica do material que o constitui.
 - Dilatação aparente corresponde à dilatação observada em um líquido contido em um recipiente.
- 15. Sistema Dom Bosco** – Dois recipientes de mesmo volume, A e B, possuem coeficientes de dilatação γ_A e γ_B , tal que $\gamma_A > \gamma_B$. Ambos contêm a mesma quantidade de um mesmo líquido.
- Se o nível do líquido é o mesmo nos dois recipientes, para uma mesma elevação de temperatura, em qual deles o nível final será maior?
 - O que aconteceria com o nível do líquido nos dois recipientes se o coeficiente de dilatação dos dois fosse o mesmo?
- 16. Sistema Dom Bosco** – Um líquido é aquecido de 0°C a 50°C , verificando-se na escala do frasco que o volume passa de 500 cm^3 a 525 cm^3 . Sendo o coeficiente de dilatação volumétrica do vidro $\gamma_v = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, determine o coeficiente de dilatação do líquido.
- 17. Sistema Dom Bosco** – Em um recipiente de vidro, foram colocados 800 mL de álcool, cujo coeficiente de dilatação volumétrica é $1,8 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, preenchendo-o totalmente. Em seguida, o conjunto foi aquecido e sofreu uma variação de temperatura correspondente a 50°C . Calcule a dilatação aparente do álcool, sabendo que o coeficiente de dilatação volumétrica do vidro é $24 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Sistema Dom Bosco

C6-H21

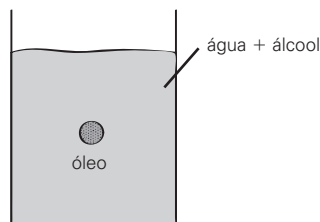
Se deixarmos uma garrafa de vidro com água no congelador por muito tempo, a garrafa acaba quebrando. Por que isso acontece?

- O material da garrafa estava danificado.
- O material da garrafa dilatou.
- A água dentro da garrafa expandiu e o vidro se contraiu.
- A água dentro da garrafa diminuiu de volume e o vidro se contraiu.

19. Cesgranrio

C6-H21

Misturando-se convenientemente água e álcool, é possível fazer que uma gota de óleo fique imersa, em repouso, no interior dessa mistura, como exemplifica o desenho a seguir. Os coeficientes de dilatação térmica da mistura e do óleo valem, respectivamente, $2,0 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e $5,0 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.



Esfriando-se o conjunto e supondo-se que o álcool não evapore, o volume da gota:

- diminuirá e ela tenderá a descer.
- diminuirá e ela tenderá a subir.
- diminuirá e ela permanecerá em repouso.
- aumentará e ela tenderá a subir.
- aumentará e ela tenderá a descer.

20. Enem

C6-H21

A gasolina é vendida por litro, mas, em sua utilização como combustível, a massa é o que importa. Um aumento da temperatura do ambiente leva a um aumento no volume da gasolina. Para diminuir os efeitos práticos dessa variação, os tanques dos postos de gasolina são subterrâneos. Se os tanques NÃO fossem subterrâneos:

- Você levaria vantagem ao abastecer o carro na hora mais quente do dia, pois estaria comprando mais massa por litro de combustível.
- Abastecendo com a temperatura mais baixa, você estaria comprando mais massa de combustível para cada litro.
- Se a gasolina fosse vendida por kg em vez de por litro, o problema comercial decorrente da dilatação da gasolina estaria resolvido.

Destas considerações, somente

- I é correta.
- II é correta.
- III é correta.
- I e II são corretas.
- II e III são corretas.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO
SISTEMA DE ENSINO

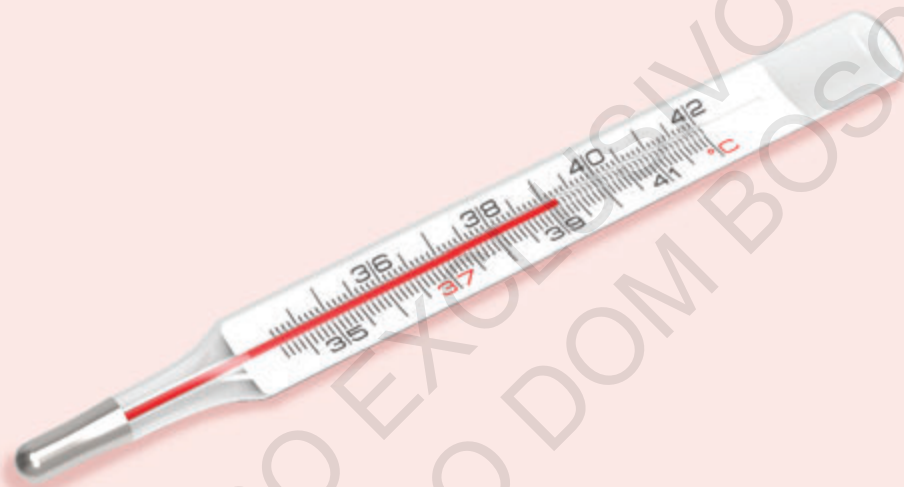
38

DILATAÇÃO DE LÍQUIDOS SEM DILATAÇÃO DE RECIPIENTE

- Dilatação de líquidos sem dilatação de recipientes

HABILIDADES

- Cálculo da dilatação volumétrica dos líquidos sem dilatação do recipiente.



GETTY IMAGES/STOCKPHOTO

Termômetro de mercúrio.

Como vimos anteriormente, os líquidos, assim como os sólidos, também sofrem dilatação térmica quando sujeitos à variação de temperatura. No entanto, apenas se pode conceituar a dilatação volumétrica para os líquidos, uma vez que estes não possuem uma forma própria como os sólidos, adquirindo o formato de seu recipiente. Nesse caso, vimos também que é preciso considerar a dilatação do recipiente em que se encontra o líquido, uma vez que todo material, a princípio, sofre dilatação térmica.

Assim, a dilatação real do líquido, quando se considera a dilatação de seu recipiente, é definida como sua dilatação aparente somada à dilatação do recipiente. Então, o coeficiente de dilatação real do líquido é dado pela soma de seu coeficiente de dilatação aparente com o coeficiente de dilatação do recipiente.

Entretanto, sabe-se que, em geral, o coeficiente de dilatação dos líquidos é muito maior que aquele dos sólidos. Com isso, consideremos agora o caso em que o coeficiente de dilatação do material do recipiente é desprezível quando comparado ao coeficiente de dilatação do líquido. Isso significa que, para uma dada variação de temperatura, a dilatação do recipiente pode ser desconsiderada, enquanto o líquido sofre dilatação dentro do recipiente.

Assim, considerando a dilatação do líquido sem a dilatação do recipiente, podemos escrever

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta\theta$$

a mesma equação aplicada à dilatação térmica dos sólidos.

Para ilustrar essa condição de dilatação térmica, podemos pensar no funcionamento de um termômetro de mercúrio. Nesse instrumento tão comum, o mercúrio, um metal que se encontra na fase líquida à temperatura ambiente, é colocado em um pequeno tubo de vidro.

O coeficiente de dilatação volumétrica do mercúrio é $\gamma_{\text{Hg}} = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, enquanto o coeficiente para o vidro é aproximadamente $\gamma_{\text{vidro}} = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Para um

mesmo volume inicial, V_0 , e uma mesma variação de temperatura, $\Delta\theta$, temos

$$\Delta V_{\text{Hg}} = V_0 \cdot \gamma_{\text{Hg}} \cdot \Delta\theta$$

$$\Delta V_{\text{vidro}} = V_0 \cdot \gamma_{\text{vidro}} \cdot \Delta\theta$$

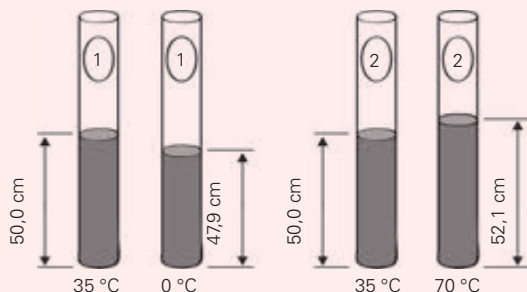
De onde obtemos

$$\frac{\Delta V_{\text{Hg}}}{\Delta V_{\text{vidro}}} = \frac{V_0 \cdot \gamma_{\text{Hg}} \cdot \Delta\theta}{V_0 \cdot \gamma_{\text{vidro}} \cdot \Delta\theta} = \frac{\gamma_{\text{Hg}}}{\gamma_{\text{vidro}}} = \frac{1,8 \cdot 10^{-4}}{1,2 \cdot 10^{-5}} = 15$$

Ou seja, a variação do volume do mercúrio é 15 vezes maior que a variação de seu recipiente de vidro.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. Epcar – AFA – Considere dois tubos cilíndricos (1 e 2), verticais, idênticos e feitos do mesmo material, contendo um mesmo líquido em equilíbrio até a altura de 50 cm, conforme a figura a seguir.



As temperaturas nos dois tubos são inicialmente iguais e de valor 35 °C. O tubo 1 é resfriado até 0 °C, enquanto o tubo 2 é aquecido até 70 °C, e a altura do líquido em cada um passa a ser o valor indicado na figura. Sabendo-se que o coeficiente de dilatação térmica dos tubos é desprezível quando comparado ao do líquido, o coeficiente de dilatação volumétrica do líquido, considerado constante, é, em °C⁻¹,

- a) $1,2 \cdot 10^{-3}$
- b) $1,6 \cdot 10^{-3}$
- c) $2,4 \cdot 10^{-3}$
- d) $3,6 \cdot 10^{-3}$

Resolução

Para calcular os volumes, vamos supor que a área da base dos tubos seja A_b . Os volumes iniciais são $50 \cdot A_b$ e a variação do volume em cada caso é

$$\Delta V_1 = 50 A_b - 47,9 A_b = 2,1 A_b \text{ cm}^3$$

$$\Delta V_2 = 52,1 A_b - 50 A_b = -2,1 A_b \text{ cm}^3$$

As variações das temperaturas são

$$\Delta\theta_1 = 35 - 0 = 35 \text{ °C}$$

$$\Delta\theta_2 = 70 - 35 = 35 \text{ °C}$$

Como as variações de volume e de temperatura são iguais no dois casos, podemos escolher qualquer um deles para calcular o coeficiente de dilatação:

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta\theta$$

$$2,1 A_b = 50 \cdot A_b \cdot \gamma \cdot 35$$

$$\Rightarrow \gamma = \frac{2,1 \cdot A_b}{50 \cdot A_b \cdot 35} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ °C}$$

2. Unesp – Nos últimos anos, temos sido alertados sobre o aquecimento global. Estima-se que, mantendo-se as atuais taxas de aquecimento do planeta, haverá uma elevação do nível do mar causada, inclusive, pela expansão térmica, desencadeando inundações em algumas regiões costeiras. Supondo, hipoteticamente, os oceanos como sistemas fechados, considerando que o coeficiente de dilatação volumétrica da água é cerca de $2 \cdot 10^{-4} \text{ °C}^{-1}$ e que a profundidade média dos oceanos é de 4 km, um aquecimento global de 1 °C elevaria o nível do mar, por conta da expansão térmica, em, aproximadamente,

- a) 0,3 m.
- b) 0,5 m.
- c) 0,8 m.
- d) 1,1 m.
- e) 1,7 m.

Resolução

Considerando os oceanos como sistemas fechados, a área da base do “recipiente” se mantém constante. O volume inicial e a variação do volume de água, em função da área da base A_b , são dados por

$$V_0 = A_b h$$

$$\Delta V = A_b \Delta h$$

Onde h e Δh são a altura inicial e a variação da altura dos oceanos, respectivamente.

Com isso, obtém-se

$$\Delta V = V_0 \gamma \Delta\theta$$

$$A_b \cdot \Delta h = A_b \cdot h \cdot \gamma \cdot \Delta\theta \Rightarrow \Delta h = 4 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{-4} \cdot 1 = 0,8 \text{ m}$$

ROTEIRO DE AULA

DILATAÇÃO VOLUMÉTRICA DO LÍQUIDO

Coeficiente de dilatação de líquidos é muito maior que o de sólidos.

Em casos específicos, é possível considerar apenas a dilatação do líquido, sem a dilatação do seu recipiente.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Fuvest – Um termômetro especial, de líquido dentro de um recipiente de vidro, é constituído de um bulbo de 1 cm^3 e um tubo com seção transversal de 1 mm^2 . À temperatura de $20 \text{ }^\circ\text{C}$, o líquido preenche completamente o bulbo até a base do tubo. À temperatura de $50 \text{ }^\circ\text{C}$, o líquido preenche o tubo até uma altura de 12 mm . Considere desprezíveis os efeitos da dilatação do vidro e da pressão do gás acima da coluna do líquido. Podemos afirmar que o coeficiente de dilatação volumétrica médio do líquido vale:

- a) $3 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ d) $20 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
b) $4 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e) $36 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
 c) $12 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

Inicialmente, todo o líquido está contido no bulbo de 1 cm^3 , de modo que o volume inicial no tubo é zero, ou seja,

$$V_0 = 1 \text{ cm}^3 \text{ e } V_f = 1 \text{ cm}^3 + 1 \text{ mm}^2 \cdot 12 \text{ mm. Assim,}$$

$$\Delta V = 1 \text{ cm}^3 + 1 \text{ mm}^2 \cdot 12 \text{ mm} - 1 \text{ cm}^3 = 12 \text{ mm}^3$$

$$\Delta \theta = 50 - 20 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

Portanto,

$$\Delta V = V_0 \gamma \Delta \theta$$

$$12 \text{ mm}^3 = 1 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \gamma 30 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow \gamma = \frac{12}{30 \cdot 10^3} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

2. UFG – Num dia quente em Goiânia, a $32 \text{ }^\circ\text{C}$, uma dona de casa coloca álcool em um recipiente de vidro graduado e lacra-o bem para evitar evaporação. De madrugada, com o termômetro acusando $12 \text{ }^\circ\text{C}$, ela nota, surpresa, que, apesar de o vidro estar bem fechado, o volume de álcool reduziu. Sabe-se que seu espanto não se justifica, pois trata-se do fenômeno da dilatação térmica. A diminuição do volume foi de

Considere o coeficiente de dilatação térmica volumétrica do álcool:

$$\gamma_{\text{álcool}} = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \gg \gamma_{\text{vidro}}$$

- a) 1,1% d) 4,4%
b) 2,2% e) 6,6%
 c) 3,3%

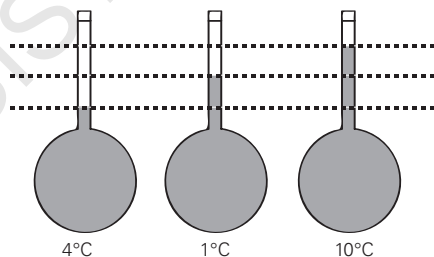
$$\Delta V = V_0 \gamma \Delta \theta = V_f - V_0$$

$$V_f = V_0 \gamma \Delta \theta + V_0 = (\gamma \Delta \theta + 1) V_0$$

$$V_f = (1,1 \cdot 10^{-3} \cdot (32 - 12) + 1) V_0 = (1,1 \cdot 10^{-3} \cdot 20 + 1) V_0 = 1,022 V_0$$

Portanto, a variação foi de 2,2%.

3. Ufla – Um bulbo de vidro conectado a um tubo fino, com coeficiente de dilatação desprezível, contendo certa massa de água na fase líquida, é mostrado a seguir em três situações de temperatura. Na primeira, o sistema está a $4 \text{ }^\circ\text{C}$; na segunda, a $1 \text{ }^\circ\text{C}$ e, na terceira, a $10 \text{ }^\circ\text{C}$. Conforme a temperatura varia, a água ocupa certa porção do tubo. Tal fenômeno é explicado



- a) pelo aumento de volume da água de $0 \text{ }^\circ\text{C}$ a $4 \text{ }^\circ\text{C}$, seguido da diminuição do volume a partir de $4 \text{ }^\circ\text{C}$.

- b) pela diminuição da densidade da água de $0 \text{ }^\circ\text{C}$ a $4 \text{ }^\circ\text{C}$, seguido do aumento da densidade a partir de $4 \text{ }^\circ\text{C}$.
 c) pelo aumento do volume da água a partir de $0 \text{ }^\circ\text{C}$.
d) pelo aumento da densidade da água de $0 \text{ }^\circ\text{C}$ a $4 \text{ }^\circ\text{C}$, seguido da diminuição da densidade a partir de $4 \text{ }^\circ\text{C}$.
 e) pela diminuição do volume da água a partir de $0 \text{ }^\circ\text{C}$.

O fenômeno de dilatação anômala da água faz que ela se contraia na primeira figura, com sua densidade aumentando.

4. Unesp – É largamente difundida a ideia de que a possível elevação do nível dos oceanos ocorreria pelo derretimento das grandes geleiras, como consequência do aquecimento global. No entanto, deveríamos considerar outra hipótese, que poderia também contribuir para a elevação do nível dos oceanos. Trata-se da expansão térmica da água pelo aumento da temperatura. Para se obter uma estimativa desse efeito, considere que o coeficiente de expansão volumétrica da água salgada a temperatura de $20 \text{ }^\circ\text{C}$ seja $2,0 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Colocando água do mar em um tanque cilíndrico, com a parte superior aberta, e considerando que a variação de temperatura seja de $4 \text{ }^\circ\text{C}$, qual será a elevação do nível da água se o nível inicial no tanque era de 20 m ? Considere que o tanque não tenha sofrido qualquer tipo de expansão.

Seja A a área da base do tanque e Δh a variação da altura da água no tanque.

$$\Delta V = V_0 \gamma \Delta \theta$$

$$A \cdot \Delta h = A \cdot 20 \text{ m} \cdot 2 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \cdot 4 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta h = 20 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 10^{-4} = 0,016 \text{ m} = 1,6 \text{ cm}$$

5. Fuvest – A $10 \text{ }^\circ\text{C}$, 100 gotas idênticas de um líquido ocupam um volume de $1,0 \text{ cm}^3$. A $60 \text{ }^\circ\text{C}$, o volume ocupado pelo líquido é de $1,01 \text{ cm}^3$. Calcule:

Adote: calor específico da água: $1 \text{ cal/g} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$

- a) A massa de 1 gota de líquido a $10 \text{ }^\circ\text{C}$, sabendo-se que sua densidade, a essa temperatura, é de $0,90 \text{ g/cm}^3$.
 b) O coeficiente de dilatação volumétrica do líquido.

$$\text{a) } \rho = \frac{M}{V} \rightarrow M = \rho \cdot V \rightarrow 100 \cdot m = \rho \cdot V \rightarrow$$

$$\rightarrow m = \frac{\rho \cdot V}{100} = \frac{0,9 \cdot 1}{100} = \frac{9}{1000} = 9 \cdot 10^{-3} \text{ g}$$

$$\text{b) } \Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \theta \rightarrow \gamma = \frac{V - V_0}{V_0 (\theta - \theta_0)} = \frac{1,01 - 1}{1 \cdot (60 - 10)} =$$

$$= \frac{0,01}{50} = \frac{1}{5000} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

6. CFTMG

C6-H21

Para verificar se uma pessoa está febril, pode-se usar um termômetro clínico de uso doméstico, que consiste em um líquido como o mercúrio colocado dentro de um tubo de vidro graduado, fechado em uma das extremidades e com uma escala indicando os valores de temperatura. Em seguida, coloca-se o termômetro debaixo da axila e aguardam-se alguns minutos para fazer a leitura.

As afirmativas a seguir referem-se ao funcionamento do termômetro.

- I. A temperatura marcada no termômetro coincidirá com a temperatura de ebulição do mercúrio do dispositivo.
- II. A temperatura marcada na escala do termômetro está relacionada com a dilatação térmica do mercúrio.
- III. O tempo de espera citado refere-se ao tempo necessário para que se atinja o equilíbrio térmico entre o paciente e o termômetro.
- IV. Se a substância do mesmo termômetro for trocada por álcool, a temperatura indicada será a mesma.

As afirmativas corretas são

- a) I e II.
- b) I e IV.
- c) II e III.**
- d) III e IV.

Na afirmativa I, a temperatura indicada é a do paciente.

Na afirmativa IV, como o álcool e o mercúrio têm diferentes coeficientes de dilatação térmica, seriam medidos diferentes comprimentos para a coluna de líquido.

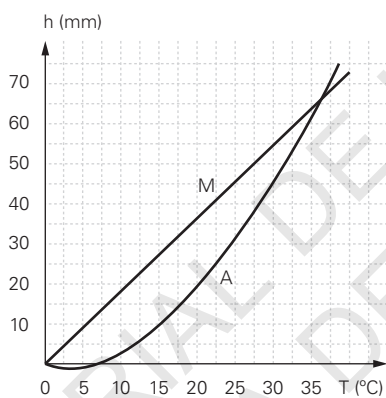
Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e (ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e (ou) do eletromagnetismo.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Fuvest – Dois termômetros de vidro idênticos, um contendo mercúrio (M) e outro água (A), foram calibrados em $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $37\text{ }^{\circ}\text{C}$, obtendo-se as curvas M e A, da altura da coluna do líquido em função da temperatura. A dilatação do vidro pode ser desprezada. Considere as seguintes afirmações:

- I. O coeficiente de dilatação do mercúrio é aproximadamente constante entre $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $37\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- II. Se as alturas das duas colunas forem iguais a 10 mm, o valor da temperatura indicada pelo termômetro de água vale o dobro da indicada pelo de mercúrio.
- III. No entorno de $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ o coeficiente de dilatação do mercúrio e o da água são praticamente iguais.



Podemos afirmar que só são corretas as afirmações

- a) I, II e III
- b) I e II
- c) I e III
- d) II e III
- e) I

8. Ufpel – Os postos de gasolina são normalmente abastecidos por um caminhão-tanque. Nessa ação cotidiana, muitas situações interessantes podem ser observadas.

Um caminhão-tanque, cuja capacidade é de 40 000 litros de gasolina, foi carregado completamente em um dia em que a temperatura ambiente era de $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. No instante em que chegou para abastecer o posto de gasolina, a temperatura ambiente era de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, por conta de uma frente fria, e o motorista observou que o tanque não estava completamente cheio.

Sabendo que o coeficiente de dilatação da gasolina é $1,1 \cdot 10^{-3}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ e considerando desprezível a dilatação do tanque, é correto afirmar que o volume do ar, em litros, que o motorista encontrou no tanque do caminhão foi de

- a) 40 880.
- b) 8 800.
- c) 31 200.
- d) 4 088.
- e) 880.

9. FGV – O dono de um posto de gasolina recebeu 4 000 ℓ de combustível por volta das 12 horas, quando a temperatura era de $35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ao cair da tarde, uma massa polar vinda do Sul baixou a temperatura para $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ e permaneceu até que toda a gasolina fosse totalmente vendida. Qual foi o prejuízo, em litros de combustível, que o dono do posto sofreu?

(Dados: coeficiente de dilatação do combustível é de $1,0 \cdot 10^{-3}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)

- a) 4 ℓ
- b) 80 ℓ
- c) 40 ℓ
- d) 140 ℓ
- e) 60 ℓ

10. PU-CMG – O tanque de gasolina de um automóvel, com capacidade de 60 litros, possui um reservatório auxiliar de retorno com volume de 0,48 litro, que permanece vazio quando o tanque está completamente cheio. Um motorista encheu o tanque quando a temperatura era de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ e deixou o automóvel exposto ao sol. A temperatura máxima que o combustível pode alcançar, desprezando-se a dilatação do tanque, que o reservatório auxiliar é capaz de comportar, é igual a:

$$\gamma_{\text{gasolina}} = 2,0 \cdot 10^{-4}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

- a) $60\text{ }^{\circ}\text{C}$
- b) $70\text{ }^{\circ}\text{C}$
- c) $80\text{ }^{\circ}\text{C}$
- d) $90\text{ }^{\circ}\text{C}$
- e) $100\text{ }^{\circ}\text{C}$

11. Sistema Dom Bosco – Um recipiente com capacidade de 120 L está cheio de um líquido cujo coeficiente de dilatação é $1,2 \cdot 10^{-3}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ e a temperatura, $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Elevando a temperatura do conjunto para $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ e desprezando a dilatação do recipiente, qual será a quantidade de líquido derramado, em litros?

- a) 5,76
- b) 2,88
- c) 0,24
- d) 0,024

12. Sistema Dom Bosco – Um comerciante comprou 10 000 L de um líquido cujo coeficiente de dilatação é $10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. No dia da compra, a temperatura era de $30 \text{ } ^\circ\text{C}$. No entanto, quando o comerciante vendeu o produto, a temperatura era de $10 \text{ } ^\circ\text{C}$. De quantos litros foi o prejuízo do comerciante?

- a) 200
b) 300
c) 400
d) 800

13. Sistema Dom Bosco – Um caminhão tanque transportou 12 000 litros de álcool de Minas Gerais, onde a temperatura era $35 \text{ } ^\circ\text{C}$, para São Paulo, onde a temperatura era $25 \text{ } ^\circ\text{C}$. Ao descarregar o combustível no posto de destino, quantos litros a menos do que deveria o caminhoneiro entregou?

Dado: coeficiente de dilatação volumétrica do álcool: $1,2 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

- a) 122
b) 222
c) 144
d) 244

14. UFG – Por medida de economia e conservação da qualidade de alguns alimentos, um supermercado instalou um sistema de refrigeração que funciona da seguinte forma: ao atingir uma temperatura superior, T_s , ele é ligado e, quando há redução para uma temperatura inferior T_i , é desligado. Esse sistema, composto por um tubo cilíndrico fechado de área A_0 acoplado a um bulbo em sua parte inferior, é preenchido com mercúrio e

tem dois contatos metálicos separados por uma distância h , conforme a figura.

Desprezando a dilatação térmica do recipiente, calcule a temperatura T_s quando o sistema é ligado.

Dados:

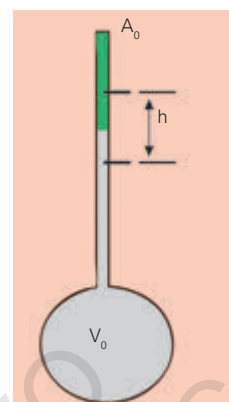
$$T_i = 12 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$A_0 = 1 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2$$

$$V_0 = 1 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$h = 6 \text{ m}$$

$$\alpha_{\text{Hg}} = 40 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$



15. Sistema Dom Bosco – Considere uma mistura de volumes iguais de água e álcool. A soma dos volumes é V_0 e a mistura se encontra inicialmente a $25 \text{ } ^\circ\text{C}$. Qual será a dilatação do volume se a mistura for aquecida até $45 \text{ } ^\circ\text{C}$?

$$\text{Dados: } \gamma_{\text{água}} = 2,1 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ e } \gamma_{\text{álcool}} = 7,5 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

16. Sistema Dom Bosco – Observa-se que 1 litro de azeite sofre um aumento de 40 cm^3 em seu volume quando aquecido a $50 \text{ } ^\circ\text{C}$. Qual é o valor de seu coeficiente de dilatação volumétrica?

17. Sistema Dom Bosco – Para um líquido com coeficiente de dilatação igual a $1,0 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, qual deveria ser a variação de temperatura para dobrar seu volume?

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C2-H7

Durante uma ação de fiscalização em postos de combustíveis, foi encontrado um mecanismo inusitado para enganar o consumidor. Durante o inverno, o responsável por um posto de combustível compra álcool por R\$ 0,50/litro, a uma temperatura de $5 \text{ } ^\circ\text{C}$. Para revender o líquido aos motoristas, instalou um mecanismo na bomba de combustível a fim de aquecê-lo, atingindo a temperatura de $35 \text{ } ^\circ\text{C}$ e sendo o litro de álcool revendido a R\$ 1,60. Diariamente o posto compra 20 mil litros de álcool a $5 \text{ } ^\circ\text{C}$ e os revende.

Com relação à situação hipotética descrita no texto e dado que o coeficiente de dilatação volumétrica do álcool é de $1 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, desprezando-se o custo da energia gasta no aquecimento do combustível, o ganho financeiro que o dono do posto teria obtido pelo aquecimento do álcool após uma semana de vendas estaria entre

- a) R\$ 500,00 e R\$ 1.000,00.
b) R\$ 1.050,00 e R\$ 1.250,00.
c) R\$ 4.000,00 e R\$ 5.000,00.
d) R\$ 6.000,00 e R\$ 6.900,00.
e) R\$ 7.000,00 e R\$ 7.950,00.

19. Sistema Dom Bosco

C2-H7

Sabendo que o coeficiente de dilatação do álcool é igual a $10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, um posto de combustível que compra 14 000 litros de álcool em um dia com temperatura $20 \text{ } ^\circ\text{C}$ e os revende quando a temperatura sobe para $30 \text{ } ^\circ\text{C}$ poderá vender quantos litros a mais?

- a) 140
b) 1 400
c) 1 540
d) 5 200

20. Sistema Dom Bosco

C2-H7

Uma pessoa abastece seu carro com álcool, completando o tanque de 40 litros ao meio-dia, quando a temperatura é $32 \text{ } ^\circ\text{C}$. À noite, quando a temperatura cai para $17 \text{ } ^\circ\text{C}$, essa pessoa observa que o indicador de combustível marca uma quantidade menor, mesmo ela não tendo usado o carro. Isso se deve à dilatação térmica dos líquidos. Considerando desprezível a dilatação do tanque e sabendo que o coeficiente de dilatação do álcool é igual a $10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, quantos litros de combustível o marcador apresentará a menos?

- a) 0,4 b) 0,6 c) 0,8 d) 1,0

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

SHUTTERSTOCK / ABC7



MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

FÍSICA 2B

CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS

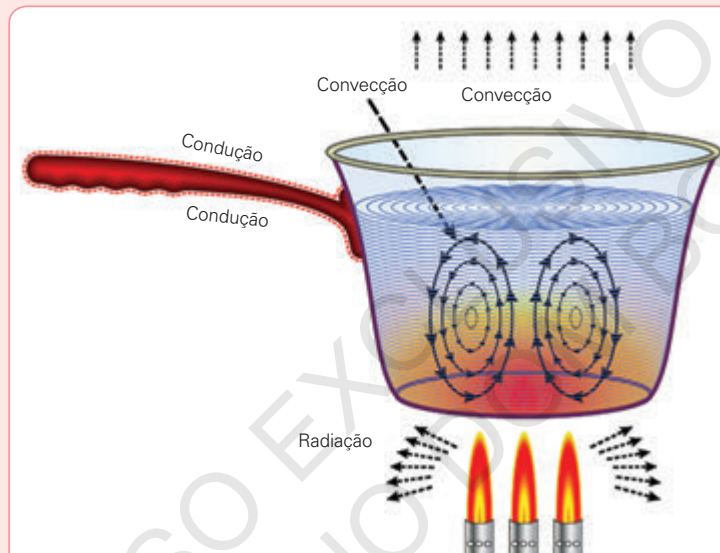
39

PROPAGAÇÃO TÉRMICA

- Condução térmica
- Convecção térmica
- Radiação
- Fluxo de calor

HABILIDADES

- Diferenciar os três processos de propagação de calor.
- Relacionar os fenômenos de propagação de calor com o cotidiano.
- Calcular fluxo de calor.
- Discernir situações em que o calor se propaga e inferir as formas de propagação.
- Relacionar as formas de propagação de calor com as tecnologias atuais.



FOUAD A. SAAD/SHUTTERSTOCK

Fenômenos de propagação de calor ocorrendo simultaneamente.

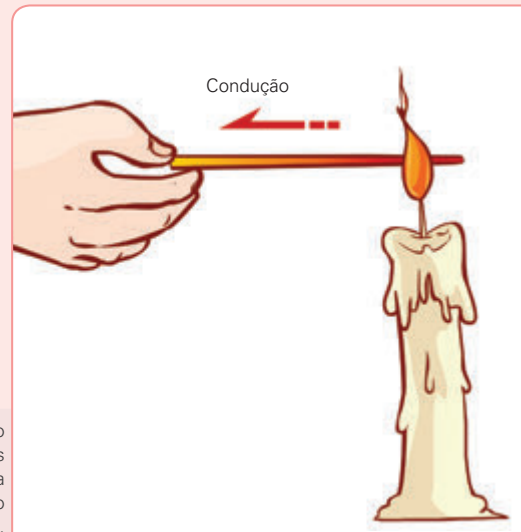
A propagação de calor nada mais é do que a ocorrência de transferência de calor entre corpos que apresentam diferentes temperaturas. Esse processo só se encerra quando ambos os corpos sinalizam a mesma temperatura, ou seja, quando se encontram em equilíbrio térmico. A propagação do calor se dá por três maneiras, sendo elas: condução, convecção e irradiação.

Pela imagem anterior, é possível observar a panela sendo atingida pelas chamas por meio do fenômeno da irradiação, enquanto as partículas de água se movimentam por convecção e o cabo da panela é aquecido pelo processo de condução.

Condução térmica

No processo de condução térmica, o calor se propaga pelo material através da energia (calor). Esta atinge uma molécula que, conseqüentemente, sofre um aumento em sua amplitude de vibração, fazendo que as moléculas vizinhas sejam atingidas e seus átomos comecem a se movimentar de maneira mais rápida. Esse processo continua até que todo o material se encontre aquecido.

Processo de condução térmica representado pela chama da vela ao aquecer as moléculas próximas a ela. Estas vibram, aumentando a energia das moléculas vizinhas, até que todo o material fique aquecido.



SERDAR CORBACI/DREAMSTIME

Como explicado anteriormente, a condução térmica não se dá pelo transporte de matéria, e sim de energia. Esse fenômeno ocorre em especial com sólidos, e esses materiais podem ser classificados em dois grupos: condutores e isolantes.

Os materiais condutores são aqueles que oferecem uma maior facilidade na propagação de calor pelo processo de condução. Um metal é um exemplo de bom condutor.

Alguns materiais que fazem parte da nossa rotina e que podem ser considerados bons condutores são as panelas e chaleiras; é possível observar, por exemplo, que seus cabos são de madeira (isolante), de modo que quem as usa não fica com as mãos queimadas.



O ferro de passar roupa apresenta uma superfície metálica, portanto, é um bom condutor de calor.

Os materiais isolantes são aqueles que dificultam a transferência de calor entre os meios, ou seja, são maus condutores. A água é considerada um isolante térmico, pois a condução do calor acontece de maneira muito lenta por meio dela. Outros exemplos de isolantes são: vidro, isopor, plástico e madeira.



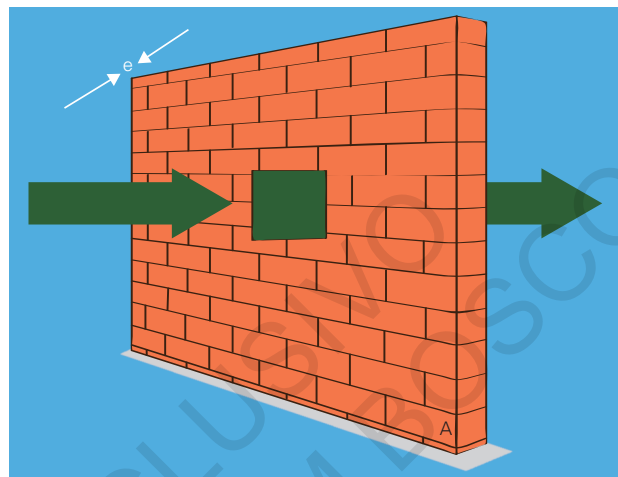
As roupas de neoprene utilizadas pelos surfistas garantem que eles se protejam da água fria.

Fluxo de calor

Quando um material condutor apresenta uma diferença de temperatura entre suas extremidades, temos uma variação ao longo deste, ou seja, temos um fluxo de calor. Sendo assim, o fluxo de calor é obtido pela

quantidade de calor que atravessa esse material condutor por um período de tempo.

$$\phi = \frac{Q}{\Delta t}$$



Fluxo de calor que atravessa a parede de área A e espessura e.

O fluxo de calor pode ser diretamente proporcional à diferença de temperatura e à área de secção, e inversamente proporcional à espessura do meio. Veja a equação a seguir:

$$\phi = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{k \cdot A \cdot \Delta\theta}{e}$$

sendo k uma constante característica do material, conhecida como condutividade térmica. Suas unidades usuais são: J/(s · m · K) e cal/s · cm · °C).

$$k = \frac{Q \cdot e}{A \cdot \Delta t \cdot \Delta\theta}$$

Convecção térmica

O processo de convecção térmica é a propagação de calor com o deslocamento de fluidos, e ocorre com líquidos e gases. Isso se dá pela diferença de densidade entre as partes frias e quentes da substância.

Dessa forma, quando um fluido é aquecido, ele fica menos denso pelo fato de haver um aumento do volume – e sobe em um meio, enquanto um fluido mais denso desce.



Esquema da diferença de densidade da água aquecida e da água fria.

Aquecimento e resfriamento

O aquecimento de fluidos, materiais e ambientes deve ser realizado de baixo para cima, por conta da diferença de densidade que é gerada no processo de convecção. Um bom exemplo dessa prática é o posicionamento de lareiras e aquecedores.



Aquecedores domésticos.

O resfriamento é um processo contrário ao aquecimento, mas também está relacionado ao fenômeno da convecção. Por isso, podemos observar que ar-condicionados costumam ficar próximos ao teto.



Ar condicionado.

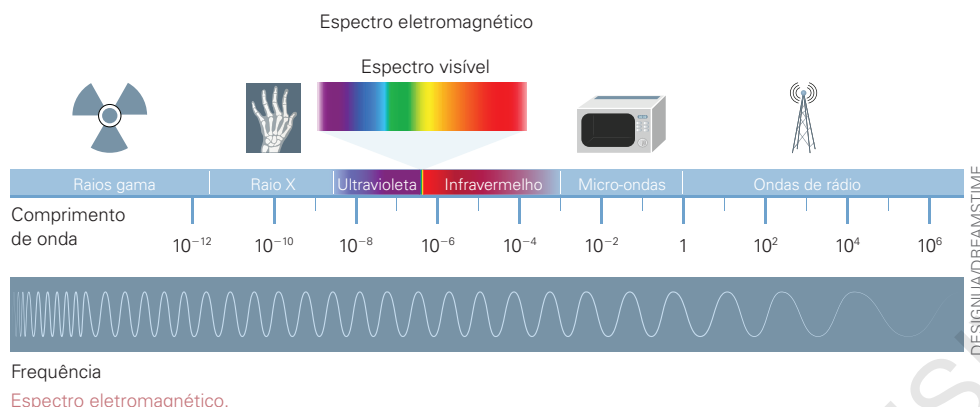
Radiação

A radiação é um processo que se dá através das ondas eletromagnéticas. O maior exemplo dela é a energia do Sol.



A Terra sendo irradiada pelo Sol.

Quando a radiação é comparada aos demais processos (condução e convecção), podemos afirmar que ela não necessita de um meio para ocorrer, ou seja, ela pode ocorrer no vácuo (como já foi exemplificado pelo fato de o Sol irradiar a Terra). Esse processo acontece principalmente na faixa do infravermelho, próximo à luz visível.



Outro fator que está relacionado à radiação é o poder emissivo de um corpo. Este se dá por meio da potência irradiada pela superfície do corpo que está irradiando (emissor das ondas de calor). A unidade de poder emissivo é dada em watts por metro quadrado (W/m^2).

$$E = \frac{P}{A}$$

Quando as ondas de calor atingem um corpo pelo processo de radiação, elas podem se distinguir em: absorção, transmissão e reflexão. A absorção se dá quando essas ondas são absorvidas pelo corpo, aumentando a sua temperatura, enquanto a transmissão só se difere pelo fato de o corpo ser totalmente aquecido. Já a reflexão ocorre quando as ondas de calor se chocam com a superfície e são refletidas de volta para o espaço.

Efeito estufa

O efeito estufa é um fenômeno que ocorre nas imediações da Terra. A radiação emitida pelo Sol atinge o planeta, e uma parte dela é refletida para o espaço, enquanto a outra é absorvida pela atmosfera terrestre. Porém, alguns raios que são refletidos não conseguem escapar para a atmosfera, ficando presos nas camadas de gases que envolvem a Terra. Isso ocorre devido à grande liberação de gases nocivos no ambiente, o que causa buracos nas camadas mais próximas da atmosfera do planeta; temos, como consequência, o aumento da temperatura da superfície terrestre.



Efeito estufa.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS**1. Enem – Libras**

C6-H21

É muito comum encostarmos a mão na maçaneta de uma porta e termos a sensação de que ela está mais fria que o ambiente. Um fato semelhante pode ser observado se colocarmos uma faca metálica com cabo de madeira dentro de um refrigerador. Após longo tempo, ao encostarmos uma das mãos na parte metálica e a outra na parte de madeira, sentimos a parte metálica mais fria.

Fisicamente, a sensação térmica mencionada é explicada da seguinte forma:

- a) A madeira é um bom fornecedor de calor, e o metal, um bom absorvedor.
- b) O metal absorve mais temperatura que a madeira.
- c) O fluxo de calor é maior no metal que na madeira.**
- d) A madeira retém mais calor que o metal.
- e) O metal retém mais frio que a madeira.

Resolução

O fluxo de calor é mais facilitado no metal, e por isso ocorre mais rapidamente nele do que na madeira.

Na alternativa a), tem-se uma incorreção na afirmativa de que a madeira é bom fornecedor de calor, mas ela não é fonte térmica.

Na alternativa b), há uma incorreção que se refere à absorção de temperatura. Trata-se apenas de uma escala numérica. O correto seria falar em absorção de calor.

Na alternativa d), existe uma incorreção que se refere a reter uma quantidade de calor. No caso, essa retenção não responde satisfatoriamente à questão colocada, como a alternativa c) responde.

Na alternativa e), observa-se uma incorreção que se relaciona à retenção de frio. Não existe retenção de frio, pois o frio é a ausência de calor.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

1. Uece-CE – Considere o enunciado de uma lei da termodinâmica, que diz: “se dois corpos estiverem em equilíbrio térmico com um terceiro, estarão em equilíbrio térmico entre si”. Assim, é correto afirmar que, no equilíbrio térmico,

- a) os três corpos devem estar em temperaturas distintas.
- b) não há fluxo de calor entre os três corpos.**
- c) os três corpos necessariamente têm a mesma energia interna.
- d) há sempre fluxo de calor entre os três corpos.

Resolução

Quando ocorre o equilíbrio térmico, o fluxo de calor entre os corpos deve parar, já que eles atingiram a mesma temperatura.

Nas demais alternativas, existem indicações de processos que terminam no equilíbrio térmico ou comparações sobre energia interna, que não se relacionam com a questão do equilíbrio térmico.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

ROTEIRO DE AULA

PROPAGAÇÃO
TÉRMICACondução
térmica

Processo de propagação de calor que se dá por meio do contato entre dois ou mais corpos com diferença de temperatura. O calor se propaga do corpo mais quente para o corpo menos quente, até que se estabeleça o equilíbrio térmico.

Convecção

Processo de propagação de calor através de massas de gases ou líquidos, em que as massas de maior temperatura, e, portanto, menos densas, migram para as partes superiores do meio em que se localizam, e as massas menos quentes, e, portanto, mais densas, migram para as partes mais baixas do ambiente.

O fluxo de calor é dado por: $\Phi = \frac{k \cdot A \cdot \Delta\theta}{e}$

O poder emissivo é dado por: $E = \frac{P}{A}$

Radiação

Processo de propagação de calor por meio de ondas eletromagnéticas como a radiação solar ou as ondas refletidas dentro do micro-ondas.

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Feevale-RS (adaptado) – Enquanto você está fazendo esta prova do vestibular, está transferindo energia do seu corpo para o ambiente por meio da dissipação de calor. Essa dissipação poderá ocorrer por quais mecanismos de transporte?

Refletindo sobre as formas de propagação de calor, tem-se a condução,

que se deve ao contato do corpo com os móveis como cadeiras e me-

sas. Além disso, há a convecção, que é a propagação de calor através

do ar que circunda o corpo, e a radiação infravermelha, que é inerente

ao calor e é emitida pelo corpo humano.

2. IME – Deseja-se minimizar a taxa de transferência de calor em uma parede feita de um determinado material, de espessura conhecida, submetendo-a a um diferencial de temperatura. Isso é feito adicionando-se uma camada isolante refratária de 15% da espessura da parede, de modo que cuidadosas medidas experimentais indicam que a taxa de transferência de calor passa a ser 40% em relação à situação original.

Supondo que o diferencial de temperatura entre as extremidades livres da parede original e da parede composta seja o mesmo, pode-se afirmar que a condutividade térmica do material refratário é numericamente igual a

- a) 10% da condutividade térmica do material da parede.
 b) 15% da condutividade térmica do material da parede.
 c) 4,5% da condutividade térmica do material da parede.
 d) 22,22% da condutividade térmica do material da parede.
 e) 33,33% da condutividade térmica do material da parede.

Analisando-se as espessuras, tem-se que:

$$e_2 = \frac{15}{100}e$$

$$e = e_1 + e_2 + e_3$$

$$e = e_1 + \frac{15}{100}e + e_3$$

$$e - \frac{15}{100}e = e_1 + e_3$$

$$e - 0,15e = 0,85e = e_1 + e_3$$

Para o cálculo do fluxo, tem-se que:

$$\varnothing = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{k \cdot A \cdot \Delta\theta}{e}$$

Para a diferença de temperatura entre as camadas, tem-se que:

$$\Delta\theta = \Delta\theta_1 + \Delta\theta_2 + \Delta\theta_3$$

Então:

$$\varnothing = \frac{k \cdot A \cdot \Delta\theta}{e}$$

$$\Delta\theta = \frac{e \cdot \varnothing}{k \cdot A} = \Delta\theta = \Delta\theta_1 + \Delta\theta_2 + \Delta\theta_3$$

Pelo enunciado, para cada camada, tem-se:

$$\Delta\theta_1 = \frac{e_1}{k \cdot A} \varnothing$$

$$\Delta\theta_2 = \frac{e_2}{k \cdot A} \varnothing$$

$$\Delta\theta_3 = \frac{e_3}{k \cdot A} \varnothing$$

Somando os fluxos pelas camadas:

$$\frac{e \cdot \varnothing}{k \cdot A} = \frac{e_1}{k \cdot A} \varnothing + \frac{e_2}{k \cdot A} \varnothing + \frac{e_3}{k \cdot A} \varnothing$$

$$\frac{e \cdot \varnothing}{k \cdot A} = \frac{40}{100} \varnothing \cdot (e_1 + e_3) + \frac{e_2}{k \cdot A} \varnothing$$

$$\frac{e \cdot \varnothing}{k \cdot A} = \frac{40}{100} \varnothing \cdot (0,85e) + \frac{40}{100} \varnothing \cdot (0,15e)$$

Isolam-se as grandezas físicas comuns que, na razão entre as igualdades, resultam em 1.

$$\frac{1}{k} = \frac{0,4 \cdot 0,85}{k} + \frac{0,4 \cdot 0,15}{k_1}$$

$$k_1 = \frac{0,4 \cdot 0,15}{1 - (0,85 \cdot 0,4)} \cong 0,1k = 10\%$$

3. Ifsul-RS – A cidade de São Paulo, como muitas outras do nosso país, é bastante castigada pela poluição do ar no inverno, pois os poluentes ficam com temperaturas mais baixas que o ar puro das camadas superiores, o que faz que não ocorra a dispersão desses poluentes.

Esse fenômeno físico é conhecido por

- a) convecção
 b) radiação
 c) inversão térmica
 d) condução

Esse fenômeno térmico, conhecido como inversão térmica, se deve ao fato de que o ar cheio de impurezas comum nos centros das cidades não é capaz de atingir alturas maiores, pois camadas de ar mais quentes já ocupam essas alturas, impedindo a dispersão do ar poluído.

4. UPF-RS – Com as elevadas temperaturas sendo uma constante no verão dos últimos anos, a instalação de exaustores eólicos como os da figura tem aumentado consideravelmente. Mais viáveis financeiramente do que os aparelhos de ar-condicionado, eles proporcionam a renovação do ar no interior de um ambiente sem a necessidade de energia elétrica. Isso ocorre em virtude do movimento das hélices desses exaustores.

CHARTGRAPHIC/SHUTTERSTOCK



Um dos fatores físicos necessários para ocorrer esse movimento e provocar a exaustão do ar é

- a) a irradiação térmica, em virtude de o exaustor ser construído de metal.
- b) a entrada do ar frio da parte externa para a interna através do exaustor.
- c) a condutibilidade térmica do ar, que diminui.
- d) a pressão do ar quente na parte superior do ambiente.
- e) o aumento da umidade do ar provocado pela presença de uma abertura na parte superior do ambiente.

Neste caso, o processo que ocorre é a convecção térmica. O ar quente, por conta da corrente de convecção, sai pelo exaustor, e, então, o ar frio entra no ambiente para ocupar o lugar do ar quente. Assim, o ambiente fica arejado e sem ar viciado.

5. Ifsul-RS – Um atiçador é uma barra rija e não inflamável usada para empurrar lenha ardente em uma lareira.

Para segurança e conforto durante o uso, o atiçador deveria ser feito de um material com

- a) alto calor específico e alta condutividade térmica.
- b) baixo calor específico e baixa condutividade térmica.
- c) baixo calor específico e alta condutividade térmica.
- d) alto calor específico e baixa condutividade térmica.

Para que o atiçador não queime a mão da pessoa que o utiliza e também para que seja um material com o menor risco possível de se incendiar, é recomendável que se recorra a um material muito pouco condutor, ou seja, um material isolante térmico e, ainda, com um calor específico de valor baixo.

6. Enem

C6-H21

Para a instalação de um aparelho de ar-condicionado, é sugerido que ele seja colocado na parte superior da parede do cômodo, pois a maioria dos fluidos (líquidos e gases), quando aquecidos, sofrem expansão, tendo sua densidade diminuída e um deslocamento ascendente. Por sua vez, quando são resfriados, tornam-se mais densos e sofrem um deslocamento descendente.

A sugestão apresentada no texto minimiza o consumo de energia, porque

- a) diminui a umidade do ar dentro do cômodo.
- b) aumenta a taxa de condução térmica para fora do cômodo.
- c) torna mais fácil o escoamento da água para fora do cômodo.
- d) facilita a circulação das correntes de ar frio e quente dentro do cômodo.
- e) diminui a taxa de emissão de calor por parte do aparelho para dentro do cômodo.

O aparelho aproveita uma tendência de propagação natural do calor por meio da convecção, não sendo necessário que se gaste energia para movimentar o ar quente/frio, já que essas massas de ar se deslocam espontaneamente. Assim, o aparelho trabalha apenas para esfriar o ar.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. IME-(adaptado) – Um pesquisador recebeu a incumbência de projetar um sistema alternativo para o fornecimento de energia elétrica visando ao acionamento de compressores de geladeiras a serem empregadas no estoque de vacinas. De acordo com os dados de projeto, a temperatura ideal de funcionamento da geladeira deve ser $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 10 horas de operação contínua, e ela possui as seguintes dimensões: 40 cm de altura, 30 cm de largura e 80 cm de profundidade. Após estudo, o pesquisador recomendou que, inicialmente, todas as faces da geladeira fossem recobertas por uma camada de 1,36 cm de espessura de um material isolante, de modo a se ter um melhor funcionamento do dispositivo. Considerando que esse projeto visa atender comunidades remotas localizadas em regiões com alto índice de radiação solar, o pesquisador sugeriu empregar um painel fotovoltaico que converta a energia solar em energia elétrica. Estudos de viabilidade técnica apontam que a eficiência térmica da geladeira deve ser, no mínimo, igual a 50% do máximo teoricamente

admissível. Calcule o fluxo térmico na geladeira a partir do projeto desse pesquisador.

8. Col. Naval-RJ (adaptado) – Com relação à termologia, coloque V (verdadeira) ou F (falsa). Em seguida, justifique através de argumentos a classificação que você atribuiu às afirmativas:

- () Temperatura – grandeza física que representa a medida do estado de agitação médio das moléculas de um corpo.
- () Calor – energia térmica que passa, de maneira espontânea, do corpo de menor temperatura para o de maior temperatura.
- () Fusão – mudança de estado físico sofrida por um líquido ao doar certa quantidade de calor.
- () Evaporação – passagem do estado líquido para o estado gasoso que ocorre de maneira lenta.

- () Equilíbrio térmico – condição física na qual as trocas de calor entre dois ou mais corpos deixam de existir.
- () Convecção – processo de transmissão de calor que ocorre pela movimentação de massas, em especial, nos líquidos e nos gases.
- () Caloria – quantidade de calor necessária para que 1 g de qualquer substância tenha sua temperatura alterada em 1 °C.

9. Ifce (adaptado) – O congelador de uma geladeira é localizado em sua parte superior porque a transmissão de calor em seu interior se faz, predominantemente, por qual meio de propagação?

10. UEPG-PR (adaptado) – Sobre as afirmativas a seguir, classifique-as entre verdadeiras ou falsas e justifique, através de argumentação, sua escolha:

- 01)** O calor pode ser considerado como a transferência de energia entre dois corpos que apresentam uma diferença de temperatura.
- 02)** A energia que um sistema absorve sob a forma de calor ou trabalho sempre faz que sua energia interna aumente.
- 03)** Para que haja a transferência de calor entre dois corpos que possuem temperaturas diferentes, é necessário que os corpos estejam em contato físico.
- 04)** Temperatura é uma propriedade que determina se um sistema estará ou não em equilíbrio térmico com outro, representando, pois, uma medida do estado de agitação das partículas desse corpo.
- 05)** O trabalho é também um modo de transferir energia.

11. UFJF-Pism-MG – Uma garrafa térmica de determinada marca foi fabricada de modo a diminuir as trocas de calor com o ambiente, que podem ocorrer por três processos: condução, convecção e radiação. Dentre suas várias características, podemos citar:

- I.** a ampola interna da garrafa é feita de plástico.
- II.** a ampola possui paredes duplas, e, entre essas paredes, há efeito de vácuo.
- III.** a superfície interna da ampola é espelhada.

Assinale a alternativa que corresponde ao processo que se quer evitar com a adoção das características citadas.

- a)** I – radiação; II – condução e convecção; III – convecção.
- b)** I – condução e radiação; II – convecção; III – condução.
- c)** I – convecção; II – condução; III – radiação.
- d)** I – condução; II – condução e convecção; III – radiação.
- e)** I – radiação; II – condução e convecção; III – radiação.

12. Ifce-CE – Na tragédia ocorrida na Boate Kiss, localizada no Rio Grande do Sul, em janeiro de 2013, algumas orientações de segurança contra incêndios poderiam ter evitado a morte de tantas pessoas. Dentre as diversas orientações dadas pelos bombeiros, uma delas é considerada bem simples: fugir do local o mais abaixo possível. Essa orientação se deve ao fato de que

- a)** a fumaça esfria rapidamente e, tendo maior densidade que o ar, tende a subir.
- b)** a fumaça, por ser negra, impede a visualização da porta de emergência.

- c)** a pessoa, mantendo-se inclinada, permanece mais calma. Esse procedimento também é adotado em pousos de emergência na aviação civil.
- d)** os gases oriundos da combustão, por estarem aquecidos, tendem a subir, ocupando a parte superior do local.
- e)** os incêndios ocorrem geralmente na parte superior dos recintos.

13. Ifsul-RS – As formas de propagação do calor ocorrem em diversas situações, tanto na natureza quanto nas atividades humanas. Fenômenos aparentemente muito diferentes são semelhantes quando analisados com mais detalhes. Assim, a energia emitida pelo Sol, que aquece o nosso planeta, e a energia emitida pelo magnétron do forno de micro-ondas, que aquece os alimentos colocados em seu interior, são fenômenos que envolvem as formas de propagação do calor.

Portanto, afirma-se que as formas de propagação de energia entre o Sol e a Terra e entre o magnétron e os alimentos são, respectivamente:

- a)** convecção e condução.
- b)** radiação e radiação.
- c)** condução e irradiação.
- d)** convecção e convecção.

14. IFSP-SP – Observando um refrigerador, a geladeira comum de sua casa, um aluno escreveu as seguintes afirmações:

- I.** A energia na forma de calor que sai dos alimentos chega ao congelador por processo de convecção, em maior proporção, e muito pouco por radiação.
- II.** O congelador está situado na parte superior para receber o ar aquecido pelo calor dos alimentos.
- III.** As camadas que formam as paredes da geladeira são intercaladas por material isolante para evitar a entrada de calor por condução.
- IV.** Os espaços internos são divididos por grades vazadas que facilitam o movimento por convecção das massas do ar quente e do frio.

As afirmativas corretas são:

- a)** I, II, III e IV.
- b)** I, II e III, apenas.
- c)** II e IV, apenas.
- d)** II, III e IV, apenas.
- e)** III e IV, apenas.

15. Ifsul-RS – Em certos dias de inverno, é comum acontecer o fenômeno físico chamado inversão térmica, que faz aumentar a concentração de poluentes no ar que a população respira, causando doenças respiratórias, principalmente, em crianças e idosos.

Isso ocorre porque a

- a)** densidade das camadas superiores do ar atmosférico é maior que a densidade das camadas inferiores.
- b)** temperatura das camadas inferiores do ar atmosférico é igual à temperatura das camadas superiores.
- c)** temperatura das camadas superiores do ar atmosférico é maior que a temperatura das camadas inferiores.
- d)** a temperatura das camadas superiores do ar atmosférico é menor que a temperatura das camadas inferiores.

16. Unicamp-SP – Um isolamento térmico eficiente é um constante desafio a ser superado para que o homem possa viver em condições extremas de temperatura. Para isso, o entendimento completo dos mecanismos de troca de calor é imprescindível.

Em cada uma das situações descritas a seguir, você deve reconhecer o processo de troca de calor envolvido.

- I. As prateleiras de uma geladeira doméstica são grades vazadas, para facilitar o fluxo de energia térmica até o congelador por _____.
- II. O único processo de troca de calor que pode ocorrer no vácuo é por _____.
- III. Em uma garrafa térmica, é mantido vácuo entre as paredes duplas de vidro para evitar que o calor saia ou entre por _____.

Na ordem, os processos de troca de calor que preenchem as lacunas corretamente são:

- a) condução, convecção e radiação.
- b) condução, radiação e convecção.
- c) convecção, condução e radiação.
- d) convecção, radiação e condução.

17. UEM-PR – Sobre os processos de propagação do calor, assinale a(s) alternativa(s) correta(s).

- 01) A condução de calor em materiais sólidos ocorre por meio da transferência de energia pela vibração dos átomos. Em geral, materiais que são bons condutores de corrente elétrica também são bons condutores de calor.
- 02) Em uma câmara fria mantida a $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, a propagação de calor por condução através de suas paredes, quando a temperatura externa for de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, será maior do que quando a temperatura externa for de $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- 04) Para tornar uma geladeira mais eficiente, diminuindo as perdas térmicas, deve-se distribuir os alimentos nas prateleiras deixando espaços vazios entre eles. Isso facilita o trânsito do ar frio para baixo e do ar quente para cima, em um processo de convecção.
- 08) O processo de propagação de calor por irradiação ocorre por meio do movimento de massas de ar frio para menores altitudes e de massas de ar quente para maiores altitudes.
- 16) Uma garrafa térmica é um recipiente de vidro constituído de paredes duplas de vidro, e com vácuo entre essas paredes. As faces internas e externas das paredes são espelhadas. O vácuo entre as paredes de vidro evita a propagação de calor por condução, e as paredes espelhadas evitam a propagação de calor por convecção.

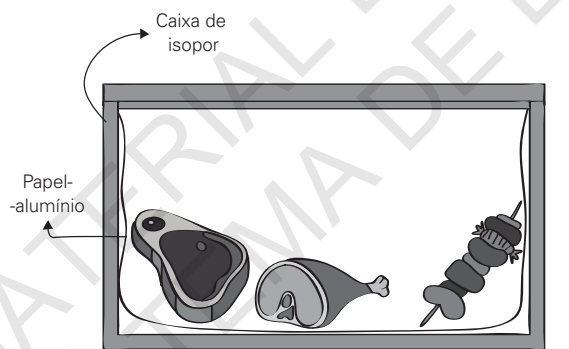
ESTUDO PARA O ENEM

18. Acafe-SC

C7-H24

Preparar um bom churrasco é uma arte e, em todas as famílias, sempre existe aquele que se diz bom no preparo. Em algumas casas, a quantidade de carne assada é grande e é comida no almoço e no jantar. Para manter as carnes aquecidas o dia todo, alguns utilizam uma caixa de isopor revestida de papel-alumínio.

A figura a seguir mostra, em corte lateral, uma caixa de isopor revestida de alumínio com carnes em seu interior.



Considerando o exposto, assinale a alternativa correta que completa as lacunas das frases a seguir.

A caixa de isopor funciona como recipiente adiabático. O isopor tenta _____ a troca de calor com o meio por _____ e o alumínio tenta impedir _____.

- a) impedir – convecção – irradiação do calor
- b) facilitar – condução – convecção

- c) impedir – condução – irradiação do calor
- d) facilitar – convecção – condução

19. Uece-CE

C7-H24

– A humanidade acaba de chegar ao meio de um caminho considerado sem volta rumo a mudanças climáticas de grande impacto. Um estudo divulgado pelo Serviço Britânico de Meteorologia mostrou que a temperatura média da Terra teve um aumento de $1,02\text{ }^{\circ}\text{C}$ no período correspondente ao início da Revolução Industrial até os dias atuais. É a primeira vez que se registra um aumento dessa magnitude e se rompe o patamar de $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, um flagrante desequilíbrio no planeta. A fonte predominante e a forma de transmissão dessa energia térmica que chega à Terra são, respectivamente,

- a) o Sol e a convecção.
- b) o efeito estufa e a irradiação.
- c) o efeito estufa e a circulação atmosférica.
- d) o Sol e a irradiação.

20. CPS-SP (adaptado)

C7-H24

Leia o texto para responder à(s) questão(ões) a seguir.

O uso do chuveiro elétrico representa uma parcela significativa do gasto com energia elétrica em uma casa. Nos dias de maior insolação, esse gasto pode ser diminuído com o uso de aquecedores solares de água.

Um modelo simples e de baixo custo, construído com garrafas plásticas de refrigerante e caixas de leite, substitui com bastante eficiência painéis solares produzidos industrialmente.

Observe a fotografia de um desses painéis, cuja capacidade de aquecimento está sendo testada.



Nessa construção, dezesseis canos de PVC, dispostos um ao lado do outro, estão conectados em seus extremos por dois canos horizontais. Cada um dos dezesseis canos é envolvido por garrafas com o fundo cortado. Dentro de cada garrafa há uma peça obtida do corte de embalagens de leite, pintada na cor preta fosca. Desempenhando a função de reservatório de água, foi usado um galão de plástico pintado de preto.

Os dois canos horizontais estão em alturas diferentes e ambos se conectam ao reservatório de água. O cano horizontal superior se conecta ao reservatório em um ponto mais acima do ponto de conexão do cano horizontal inferior.

A água preenche todo o sistema, que funciona automaticamente sem o auxílio de bombas hidráulicas, uma vez que a água na tubulação do painel, aquecida pelo Sol, torna-se menos densa e sobe. Ao procurar uma posição mais elevada, ela flui para o reservatório.

Na descrição desse painel solar, constata-se que o fluxo natural da água obedece ao fenômeno físico denominado

- a) condução.
- b) convecção.
- c) irradiação.
- d) liquefação.
- e) sublimação.

CALOR SENSÍVEL

40



Para falar em calor sensível, é necessária uma introdução sobre o que é o calor. A ciência responsável pelo estudo do calor é a calorimetria, e o calor nada mais é do que energia em movimento, ou seja, é a transferência da energia de um corpo que apresenta maior temperatura para um de menor temperatura. O calor sensível, mais especificamente, se relaciona ao caso em que a mudança de temperatura do corpo não afeta seu estado físico.

Equilíbrio térmico

O equilíbrio térmico é atingido quando dois corpos que apresentam temperaturas diferentes são colocados em contato e depois de um tempo ambos passam a ter a mesma temperatura. Sendo assim, quando as temperaturas forem idênticas, podemos afirmar que o equilíbrio térmico foi obtido.

Mais detalhadamente, antes de atingir esse equilíbrio, temos uma fase transitória em que o corpo que apresenta maior temperatura é, em consequência, o que possui uma maior agitação das moléculas. Ao entrar em contato com o segundo corpo, o primeiro tem essa agitação de partículas reduzida, assim como sua temperatura, enquanto o segundo corpo sofre um aumento na vibração de suas partículas, com o aumento de sua temperatura. Esse é o mecanismo que faz que ambos tenham a mesma temperatura após um período de tempo.

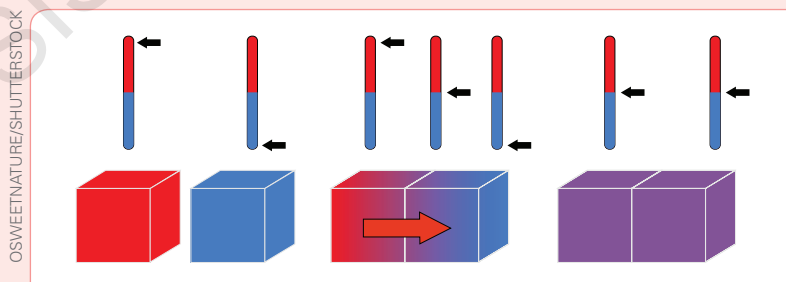


Diagrama da transferência de calor até o momento em que o equilíbrio térmico é atingido.

- Equilíbrio térmico
- Calor sensível
- Calor específico
- Capacidade térmica

HABILIDADES

- Conceituar equilíbrio térmico.
- Calcular calor sensível.
- Diferenciar calor específico de calor latente.
- Calcular calor específico.
- Obter capacidade térmica.

Como podemos observar no diagrama de transferência de calor, o bloco vermelho cede energia para o bloco azul, e a seta vermelha representa o calor que é trocado entre eles. O calor é a energia térmica em movimento de um corpo para outro por conta da diferença de temperatura entre eles.

O calor pode ser classificado de duas formas: calor latente e calor sensível. O calor latente se associa a quando um corpo cede ou recebe uma quantidade de calor e tem seu estado físico alterado. Já com o calor sensível não há alteração de estado físico, ou seja, não há mudança na maneira na qual as moléculas se encontram ligadas.

Calor sensível

Quando falamos em calor sensível (Q), consideramos um corpo com uma massa (m) que tenha sofrido uma alteração de sua temperatura ($\Delta\theta$). Então o calor sensível pode ser obtido pela seguinte equação:

$$\Delta\theta = \frac{Q}{m \cdot c} \rightarrow Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$$

Para uma quantidade de calor maior que zero, podemos afirmar que o corpo recebeu calor e que sua temperatura aumentou, conseqüentemente. Já para uma quantidade de calor inferior a zero, o corpo teve sua temperatura reduzida, pois cedeu calor.

A expressão para o calor nos permite fazer as seguintes afirmações:

- A variação da temperatura é diretamente proporcional à quantidade de calor.
- A massa do corpo é indiretamente proporcional à variação da temperatura, ou seja, quanto maior o corpo, menor a variação da temperatura.
- Quando dois materiais diferentes com a mesma massa têm uma quantidade de calor recebida, eles se comportam de maneiras diferentes, pois cada um sofre variações distintas em sua temperatura. Sendo assim, cada um irá apresentar um calor específico (c). E, quando a massa e a quantidade de calor forem mantidas constantes, o material que apresentar uma menor variação do calor específico terá variação de temperatura maior.

Calor específico

O calor específico de uma substância é representado por:

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta\theta}$$

A unidade de medida no Sistema Internacional (SI) para calor específico é joule por quilograma por kelvin

[J/ (kg · K)] ou [cal/ (g · °C)]. A tabela a seguir apresenta o calor específico de alguns materiais.

Calor específico de algumas substâncias

Substância	c [cal/(g · °C)]
Água	1,00
Alumínio	0,22
Areia	0,20
Carbono	0,12
Cobre	0,093
Chumbo	0,031
Estanho	0,055
Ferro	0,11
Gelo	0,55
Latão	0,094
Mercúrio	0,033
Prata	0,056
Vapor (água)	0,48
Vidro	0,20

Algumas considerações importantes a serem feitas sobre o calor específico são: ele não depende da massa da substância, porém depende do estado físico dela e de suas condições de temperatura e pressão (na maioria dos casos é considerado uma constante).

Capacidade térmica

A capacidade térmica é fornecida pela razão entre a quantidade de calor de um corpo e a variação de temperatura que ele sofre. Sua unidade no SI é dada por joule/kelvin (J/K).

$$C = \frac{Q}{\Delta\theta}$$

Estabelecendo uma relação entre a capacidade térmica e o calor específico, é possível obter:

$$C = m \cdot c$$

A diferença entre a capacidade térmica e o calor específico é que um é propriedade do corpo (capacidade térmica) e o outro, do material (calor específico). A potência de um material é dada pela quantidade de calor em determinado tempo, e sua unidade usual é watt ($W = 1 \text{ J/s}$).

$$P = \frac{Q}{\Delta t}$$

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. Unioeste-PR – Uma jarra térmica com aquecimento elétrico e paredes adiabáticas pode ser utilizada para aquecer líquidos com um elemento resistivo que aquece por conta do efeito Joule. Considere uma jarra térmica com aquecimento elétrico, projetada para operar a uma tensão de 100,0 V e a uma corrente elétrica de 4,0 A através de seu elemento resistivo a fim de produzir aquecimento. Deseja-se aquecer 0,50 litro de água da temperatura inicial de 15,0 °C até a temperatura final de 95,0 °C. Considere que não há troca de calor através das paredes da jarra e que o calor gerado pelo elemento resistivo é integralmente transferido para o líquido.

Assinale a alternativa que mostra CORRETAMENTE o tempo necessário para causar essa variação de temperatura na água.

Dados: calor específico da água, $c = 1,00 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} = 4,20 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$;

densidade da água, $\rho = 1,00 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 1.000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

- a) 100 segundos.
- b) 4 minutos e 20 segundos.
- c) 7,0 minutos.**
- d) 0,42 minutos.
- e) 4,20 minutos.

Resolução

Com a equação de cálculo de quantidade de calor sensível e extraindo-se os dados do problema:

$$m = 0,5 \cdot \frac{1000 \text{ g}}{\text{L}} = 500 \text{ g}$$

Então:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$$

$$Q = 500 \cdot 1 \cdot (95 - 15) = 40\,000 \text{ cal}$$

É necessário transformar a quantidade de calor para a unidade de medida Joules:

$$Q = 40\,000 \text{ cal} \cdot \frac{4,20 \text{ J}}{1 \text{ cal}} \therefore Q = 168\,000 \text{ J}$$

Para calcular o tempo, temos que:

$$P = \frac{Q}{\Delta t}$$

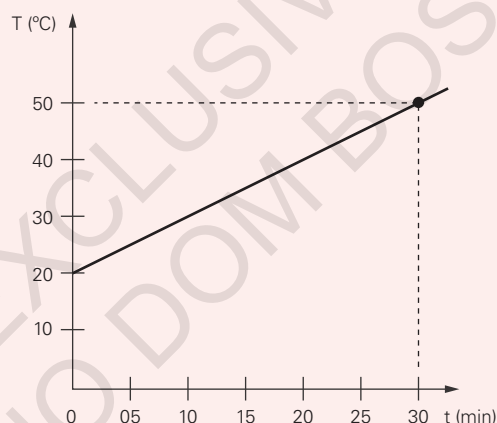
Na eletricidade, relaciona-se potência com diferença de potencial e corrente elétrica da seguinte forma: $P = i \cdot U$

$$\frac{Q}{\Delta t} = i \cdot U$$

$$\frac{168\,000}{\Delta t} = 4 \cdot 100$$

$$\Delta t = 420 \text{ s} = 7 \text{ minutos}$$

2. FEAR-SP – Um corpo absorve calor de uma fonte a uma taxa constante de 30 cal/min e sua temperatura (T) muda em função do tempo (t), de acordo com o gráfico a seguir.



A capacidade térmica (ou calorífica), em cal/°C, desse corpo, no intervalo descrito pelo gráfico, é igual a

- a) 1
- b) 3
- c) 10
- d) 30**

Resolução

Pelo gráfico, tem-se que a variação do tempo é de $\Delta t = 30 \text{ min}$, e a variação da temperatura será de $30 \text{ }^\circ\text{C}$. Assim, para uma fonte que libera 30 cal/min, no total obtém-se 900 cal.

Então:

$$C = \frac{Q}{\Delta\theta} = \frac{900}{30}$$

$$C = 30 \text{ cal/}^\circ\text{C}$$

ROTEIRO DE AULA

QUANTIDADE DE CALOR SENSÍVEL

Quantidade de calor que eleva a temperatura das substâncias, sem mudança de fase.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$$

$$\Delta\theta = \frac{Q}{m \cdot c}$$

Onde

$$Q = \text{Quantidade de calor sensível}$$

$$m = \text{massa da substância}$$

$$c = \text{calor sensível específico}$$

$$\Delta\theta = \text{variação de temperatura}$$

A capacidade térmica é fornecida pela razão entre a quantidade de calor de um corpo e a variação de temperatura que ele sofre.

$$C = \frac{Q}{\Delta\theta}$$

A potência de um material é dada pela quantidade de calor em um determinado tempo.

$$P = \frac{Q}{\Delta t}$$

Estabelecendo uma relação entre a capacidade térmica e o calor específico é possível obter:

$$C = m \cdot c$$

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. UEL-PR (adaptado) – Messias está preparando um almoço e deseja gelar 10 latas de sua bebida preferida. Ele então as coloca dentro de uma caixa com isolamento térmico perfeito e, sobre elas, despeja gelo, que está a uma temperatura de 0 °C. Considerando que as trocas de calor se dão, única e exclusivamente, entre o gelo e as latas, pode-se afirmar que o módulo do calor perdido pelas latas é igual ao módulo do calor recebido pelo gelo.

Sabendo que a temperatura inicial das latas é de 20 °C, que a capacidade térmica de cada lata é de 400 cal/°C e que o calor latente de fusão do gelo é de 80 cal/g, determine a quantidade de calor extraída das latas até elas atingirem a temperatura de 0 °C. Justifique sua resposta, apresentando os cálculos envolvidos na resolução.

Para a quantidade de calor trocada entre as latas:

$$C = \frac{Q}{\Delta\theta}$$

$$Q = C \cdot \Delta\theta = 400 \cdot 10 \cdot (0 - 20) = -80000 \text{ cal}$$

2. Famerp-SP (adaptado) – Em um recipiente de capacidade térmica desprezível, 300 g de água, inicialmente a 20 °C, foram aquecidos. Após 2,0 minutos, quando a temperatura da água era 40 °C, mais 300 g de água a 20 °C foram adicionados ao recipiente. Considerando que não ocorreu perda de calor da água para o meio e que a fonte fornece calor a uma potência constante durante o processo, após a adição da água, para que a temperatura dela atingisse 80 °C, houve quanto tempo decorrido?

Pela equação da potência e extraindo-se os dados do problema, temos que:

$$P = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{300 \cdot (40 - 20)}{2} = 3000 \text{ cal/min}$$

No equilíbrio térmico, a soma dos calores dados e recebidos deve ser igual a 0. Assim:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta + m \cdot c \cdot \Delta\theta = 0$$

$$300 \cdot 1 \cdot (\theta_e - 40) + 300 \cdot 1 \cdot (\theta_e - 20) = 0$$

Onde θ_e é a temperatura final, que é a de equilíbrio.

Assim:

$$\theta_e = 30 \text{ °C}$$

Agora, para aquecer a mistura até 80 °C, temos que:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$$

$$Q = 600 \cdot 1 \cdot (80 - 30) = 30000 \text{ cal}$$

Então, para esse aquecimento, temos:

$$P = \frac{Q}{\Delta t}$$

$$\frac{Q}{P} = \Delta t = \frac{30000}{3000} = 10 \text{ min}$$

3. Udesc-SC (adaptado) – Um recipiente com paredes adiabáticas contém 100 g de água a 20 °C. Um resistor com resistência elétrica de 2,0 Ω é ligado a uma fonte de tensão de 12 V e é imerso na água. Desconsidere a capacidade térmica do recipiente e calcule o tempo necessário para a água atingir 30 °C.

A potência elétrica será dada por:

$$P = \frac{U^2}{R} \Rightarrow P = \frac{12^2}{2} \therefore P = 72 \text{ W}$$

Onde U representa a tensão e R indica o valor da resistência elétrica.

Para encontrar a quantidade de calor sensível no aquecimento da água, tem-se que:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 100 \cdot 1 \cdot (30 - 20) = 1000 \text{ cal}$$

Convertendo-se esse valor para Joules:

$$1000 \cdot 4,2 = 4200 \text{ J}$$

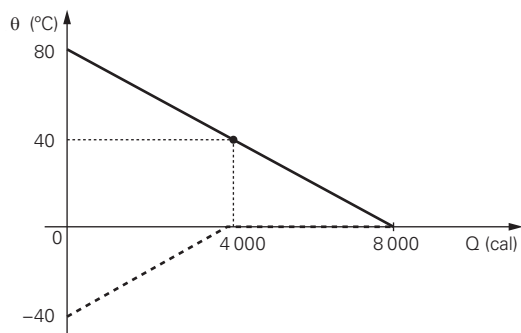
Agora, calcula-se o tempo procurado:

$$P = \frac{Q}{\Delta t} = 72 = \frac{4200}{\Delta t}$$

$$\Delta t = 58,3 \text{ s}$$

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO BOSCO

4. Uncisal – O gráfico a seguir representa tanto a variação de temperatura sofrida por certa quantidade de água quanto a variação de temperatura sofrida por certa quantidade de gelo ao serem misturados dentro de um calorímetro ideal, até atingirem o equilíbrio térmico. Sabendo que o calor específico da água é $1,0 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$, que o calor específico do gelo é $0,5 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ e que o calor latente de fusão do gelo é 80 cal/g , é correto afirmar que a massa de gelo remanescente foi de



- a) 0 g.
b) 50 g.
c) 100 g.
d) 150 g.
e) 200 g.

Analisando no gráfico apenas a situação do gelo (linha pontilhada), vemos que uma quantidade de massa m continua no estado sólido, enquanto sua temperatura varia de -40°C até 0°C , recebendo $Q = 4000 \text{ cal}$, e com calor específico $c_{\text{gelo}} = 0,5 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$.

Calculando a massa total de gelo nessa situação, temos:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$$

$$4000 = m \cdot 0,5 \cdot (0 - (-40)) \rightarrow 4000 = m \cdot 20$$

$$m = \frac{4000}{20} \rightarrow m = 200 \text{ g.}$$

Do gráfico, podemos verificar que parte m' dessa massa de 200 g de gelo se transformou em água (fusão do gelo, à temperatura constante de 0°C), para isso, vemos que ele recebeu $Q = (8000 - 4000) = 4000 \text{ cal}$, com $L_{\text{fusão}} = 80 \text{ cal/g}$.

Assim, calculando m' temos:

$$Q = m' \cdot L$$

$$4000 = m' \cdot 80 \rightarrow m' = \frac{4000}{80}$$

$$m' = 50 \text{ g.}$$

Dessa forma, como havia $m = 200 \text{ g}$ de gelo e foram transformados em água $m' = 50 \text{ g}$, sobraram $M = 200 - 50 = 150 \text{ g}$ de gelo, portanto, alternativa D.

5. Uerj-RJ (simulado) – Em um estudo sobre fenômenos térmicos, foram avaliados quatro objetos distintos, cujos valores de massa m , de quantidade de calor Q e de variação de temperatura $\Delta\theta$ estão apresentados na tabela a seguir.

Objeto	m (g)	Q (cal)	$\Delta\theta$ ($^\circ\text{C}$)
I	20	100	10
II	30	120	20
III	60	150	10
IV	40	180	15

Com base nesses dados, o objeto com o maior calor específico está identificado pelo seguinte número:

- a) I**
b) II
c) III
d) IV

Vamos calcular o calor específico $c = \frac{Q}{m \cdot \Delta\theta}$ para cada objeto:

$$\text{I) } c = \frac{100}{20 \cdot 10} = 0,5$$

$$\text{II) } c = \frac{120}{30 \cdot 20} = 0,2$$

$$\text{III) } c = \frac{150}{60 \cdot 10} = 0,25$$

$$\text{IV) } c = \frac{180}{40 \cdot 15} = 0,3$$

Então, o objeto com maior calor específico é o primeiro.

6. EsPCEx – Aman-SP

C6-H21

Um painel coletor de energia solar é utilizado para aquecer a água de uma residência, e todo o sistema tem um rendimento de 60%. Para aumentar a temperatura em $12,0^\circ\text{C}$ de uma massa de água de 1000 kg , a energia solar total coletada no painel deve ser de:

Dado: considere o calor específico da água igual a

$$4,0 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$$

- a) $2,8 \cdot 10^4 \text{ J}$
b) $4,8 \cdot 10^4 \text{ J}$
c) $8,0 \cdot 10^4 \text{ J}$
d) $4,8 \cdot 10^7 \text{ J}$
e) $8,0 \cdot 10^7 \text{ J}$

O calor necessário para aquecer tal quantidade de água é

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 1,0 \cdot 10^6 \cdot 4,0 \cdot 12 = 4,8 \cdot 10^8 \text{ cal}$$

Como o sistema de aquecimento tem rendimento de 60%, a quantidade de calor é relacionada com a energia solar total coletada da seguinte maneira:

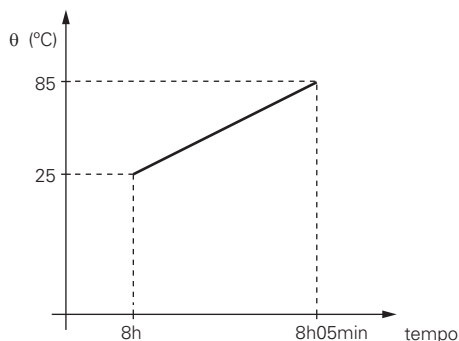
$$Q = \frac{60}{100} d \Rightarrow E = \frac{4 \cdot 8}{6} \cdot 10^8 = 8,0 \cdot 10^7 \text{ J}$$

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidades: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Unifesp-SP – Para a preparação de um café, 1 L de água é aquecido de 25 °C até 85 °C em uma panela sobre a chama de um fogão que fornece calor a uma taxa constante. O gráfico representa a temperatura (θ) da água em função do tempo, considerando que todo o calor fornecido pela chama tenha sido absorvido pela água.



Após certo período de tempo, foram misturados 200 mL de leite, a 20 °C, a 100 mL do café preparado, agora a 80 °C, em uma caneca de porcelana de capacidade térmica 100 cal/°C, inicialmente a 20 °C. Considerando os calores específicos da água, do café e do leite iguais a 1 cal/(g · °C), as densidades da água, do café e do leite iguais a 1 kg/L, que 1 cal/s = 4 W, e desprezando todas as perdas de calor para o ambiente, calcule:

- a) a potência, em W, da chama utilizada para aquecer a água a fim de fazer o café.
- b) a temperatura, em °C, em que o café com leite foi ingerido, supondo que o consumidor tenha aguardado que a caneca e seu conteúdo entrassem em equilíbrio térmico.

8. Unicamp-SP (adaptado) – Um conjunto de placas de aquecimento solar eleva a temperatura da água de um reservatório de 500 litros de 20 °C para 47 °C em algumas horas. Se no lugar das placas solares fosse usada uma resistência elétrica, quanta energia elétrica seria consumida para produzir o mesmo aquecimento?

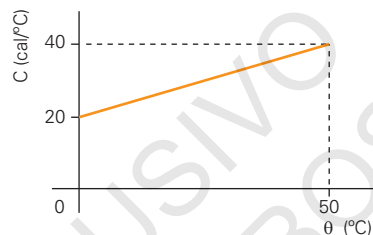
Adote 1,0 kg/litro para a densidade e 4,0 kJ/(kg · °C) para o calor específico da água. Além disso, use 1 kWh = 10³ W · 3600 s = 3,6 · 10⁶ J.

9. UPF-RS – Um professor de Física, ao final de seu dia de trabalho, resolve preparar um banho de banheira e deseja que sua água esteja exatamente a 38 °C. Entretanto, ele se descuida e verifica que a temperatura da água atingiu 42 °C. Para solucionar o problema, o professor resolve adicionar água da torneira, que está a 18 °C. Considerando que há, na banheira, 60 litros de água e que ocorra trocas de calor apenas entre a água quente e a água fria, qual será o volume de água, em litros, que ele deverá acrescentar na banheira para atingir a temperatura desejada?

- a) 12
- b) 20
- c) 18
- d) 16
- e) 6

10. Sistema Dom Bosco – Uma fonte térmica cuja potência é de 40 cal/min está sendo usada para aquecer em 40 °C uma massa de 100 g de uma substância. Sabe-se que para isso foram necessários 20 minutos. Determine o calor específico do líquido e a capacidade térmica dessa quantidade de líquido.

11. Uerj-RJ – Analise o gráfico a seguir, que indica a variação da capacidade térmica de um material (C) em função da temperatura.



A quantidade de calor absorvida pelo material até a temperatura de 50 °C, em calorías, é igual a:

- a) 500
- b) 1500
- c) 2000
- d) 2200

12. Mackenzie-SP – No dia 23 de janeiro de 2018, a cidade de São Paulo ganhou a sua 72ª estação de metrô, a estação **Higienópolis-Mackenzie**, que faz parte da Linha 4 – Amarela. A estação é totalmente acessível aos usuários com deficiência e mobilidade reduzida. Os pavimentos contam com cinco elevadores, que fazem a interligação da rua com o mezanino e com as plataformas, além de 26 escadas rolantes e 13 fixas. Suponha-se que uma pessoa com massa 80 kg rejeite os elevadores e as escadas rolantes e, disposta a emagrecer dissipando sua energia, suba diariamente os 25 metros de profundidade da estação.

Considerando-se a massa específica da água como 1,0 g/cm³, seu calor específico sensível como 1,0 cal/g · °C, a aceleração gravitacional igual a $g = 0$ m/s² e 1,0 cal equivalente a aproximadamente 4,0 joules, em cinco dias, a energia dissipada por essa pessoa aquece um litro de água em um intervalo de temperatura, em °C, igual a

- a) 50
- b) 25
- c) 20
- d) 10
- e) 5,0

13. Unicamp-SP – Recentemente, uma equipe de astrônomos afirmou ter identificado uma estrela com dimensões comparáveis às da Terra, composta de modo predominante de diamante. Por ser muito frio, o astro, talvez uma estrela anã branca, teria tido o carbono de sua composição cristalizado em forma de um diamante praticamente do tamanho da Terra.

Os cálculos dos pesquisadores sugerem que a temperatura média dessa estrela é de $T = 2700$ °C. Considere uma estrela como um corpo homogêneo de massa

$M = 6 \cdot 10^{24}$ kg constituído de um material com calor específico $c = 0,5$ kJ/(kg °C). A quantidade de calor que deve ser perdida pela estrela para que ela atinja uma temperatura final de $T = 700$ °C é igual a

- a) $24,0 \cdot 10^{27}$ kJ.
- b) $6,0 \cdot 10^{27}$ kJ.
- c) $8,1 \cdot 10^{27}$ kJ.
- d) $2,1 \cdot 10^{27}$ kJ.

14. PUC-RJ – Dois blocos metálicos idênticos de 1 kg estão colocados em um recipiente e isolados do meio ambiente. Se um dos blocos tem temperatura inicial de 50 °C, e o segundo, temperatura de 100 °C, qual será a temperatura de equilíbrio, em °C, dos dois blocos?

- a) 75
- b) 70
- c) 65
- d) 60
- e) 55

15. Fuvest-SP – No início do século XX, Pierre Curie e colaboradores, em uma experiência para determinar características do recém-descoberto elemento químico rádio, colocaram uma pequena quantidade desse material em um calorímetro e verificaram que 1,30 grama de água líquida ia do ponto de congelamento ao ponto de ebulição em uma hora.

A potência média liberada pelo rádio nesse período de tempo foi, aproximadamente, de

Note e adote:

- Calor específico da água: 1 cal/(g · °C)
- 1 cal = 4 J
- Temperatura de congelamento da água: 0 °C
- Temperatura de ebulição da água: 100 °C

Considere que toda a energia emitida pelo rádio foi absorvida pela água e empregada exclusivamente para elevar sua temperatura.

- a) 0,06 W
- b) 0,10 W
- c) 0,14 W
- d) 0,18 W
- e) 0,22 W

16. Unigranrio – Medicina-RJ – Duas amostras de massas iguais, uma de ferro e uma de alumínio, recebem a mesma quantidade de calor Q . Sabendo que o calor específico do ferro vale 0,11 cal/g°C, que o calor específico do alumínio vale 0,22 cal/g°C e que a temperatura da amostra do ferro se elevou em 200 °C após receber a quantidade de calor Q , qual foi a variação da temperatura da amostra de alumínio após receber a mesma quantidade de calor Q ?

- a) 50 °C
- b) 100 °C
- c) 150 °C
- d) 200 °C
- e) 250 °C

17. Uerj-RJ – Para explicar o princípio das trocas de calor, um professor realiza uma experiência, misturando em um recipiente térmico 300 g de água a 80 °C com 200 g de água a 10 °C. Desprezadas as perdas de calor para o recipiente e para o meio externo, a temperatura de equilíbrio térmico da mistura, em °C, é igual a:

- a) 52
- b) 45
- c) 35
- d) 28

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C6-H21

Em um experimento, um professor deixa duas bandejas de mesma massa, uma de plástico e outra de alumínio, sobre a mesa do laboratório. Após algumas horas, ele pede aos alunos que avaliem a temperatura das duas bandejas, usando para isso o tato. Seus alunos afirmaram, categoricamente, que a bandeja de alumínio encontra-se em uma temperatura mais baixa. Intrigado, ele propõe uma segunda atividade, em que coloca um cubo de gelo sobre cada uma das bandejas, que estão em equilíbrio térmico com o ambiente, e os questiona em qual delas a taxa de derretimento do gelo será maior.

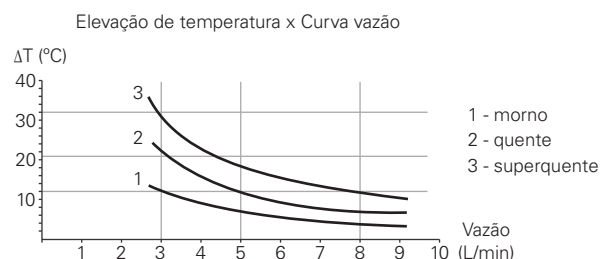
O aluno que responder corretamente ao questionamento do professor dirá que o derretimento ocorrerá

- a) mais rapidamente na bandeja de alumínio, pois ela tem uma maior condutividade térmica que a de plástico.
- b) mais rapidamente na bandeja de plástico, pois ela tem inicialmente uma temperatura mais alta que a de alumínio.
- c) mais rapidamente na bandeja de plástico, pois ela tem uma maior capacidade térmica que a de alumínio.
- d) mais rapidamente na bandeja de alumínio, pois ela tem um calor específico menor que a de plástico.
- e) com a mesma rapidez nas duas bandejas, pois apresentarão a mesma variação de temperatura.

19. Enem

C6-H17

No manual fornecido pelo fabricante de uma ducha elétrica de 220 V é apresentado um gráfico com a variação da temperatura da água em função da vazão para três condições (morno, quente e superquente). Na condição superquente, a potência dissipada é de 6500 W. Considere o calor específico da água igual a 4200 J/(kg°C) e a densidade da água igual a 1 kg/L.



Com base nas informações dadas, a potência na condição morno corresponde a que fração da potência na condição superquente?

- a) $\frac{1}{3}$
- b) $\frac{1}{5}$
- c) $\frac{3}{5}$
- d) $\frac{3}{8}$
- e) $\frac{5}{8}$

20. Unesp-SP (adaptado)**C6-H21**

A radiação solar incide sobre o painel coletor de um aquecedor solar de área igual a $2,0 \text{ m}^2$ na razão de 600 W/m^2 , em média.

Considerando que o calor específico da água é igual a $4,0 \cdot 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$ e que 90% do calor transferido para a água são efetivamente utilizados em seu aquecimento, calcule qual deve ser a quantidade de calor transferida para 250 kg de água contida no reservatório do aquecedor para aquecê-la de $20 \text{ }^\circ\text{C}$ até $38 \text{ }^\circ\text{C}$.

- a) $Q = 2 \cdot 10^4 \text{ J}$
- b) $Q = 2 \cdot 10^6 \text{ J}$
- c) $Q = 18 \cdot 10^6 \text{ J}$
- d) $Q = 2 \cdot 10^7 \text{ J}$
- e) $Q = 18 \cdot 10^7 \text{ J}$

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

41

CALOR LATENTE

- Trocas de calor

HABILIDADES

- Conceituar calor latente.
- Discernir quantidade de calor sensível de quantidade de calor latente.
- Diferenciar as interações e a disposição das moléculas em cada estado físico.
- Conceituar troca de calor e saber como calculá-la.



Estados da matéria.

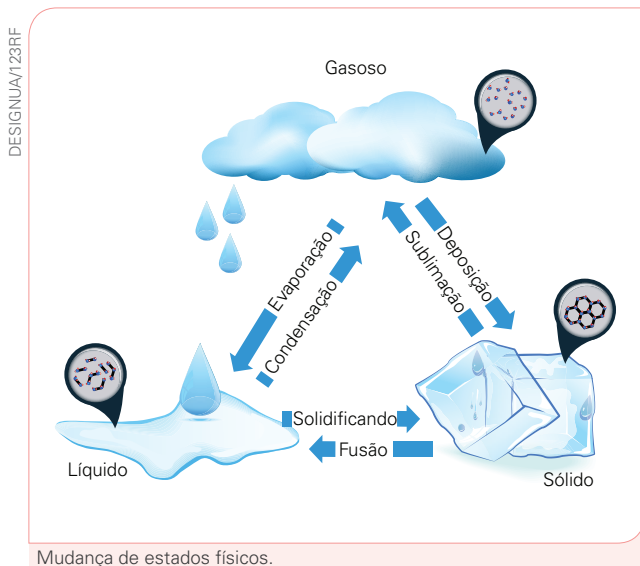
O calor latente é a transferência de energia (calor) quando há mudança do estado físico. Assim, as substâncias podem apresentar três estados físicos distintos (sólido, líquido e gasoso), e o que diferencia uns dos outros é a distância entre as moléculas.

No estado sólido, as moléculas se encontram mais próximas e com uma intensa força de interação. Esta faz que as posições das moléculas sejam bem determinadas, por isso os sólidos apresentam uma estrutura bem definida.

Na fase líquida, as interações são mais fracas quando comparadas às da fase sólida, ou seja, as moléculas encontram-se mais afastadas umas das outras. Isso faz que o líquido tenha uma maior movimentação e, conseqüentemente, consiga se adequar à forma do recipiente em que está contido, e até mesmo se espalhar por superfícies planas.

No estado gasoso, as interações são mais fracas ainda, e a distância entre cada molécula é maior, em comparação aos demais casos. As interações nesse estado são praticamente desprezíveis; os gases podem se adequar ao volume do recipiente que os contém, e ainda sofrer ações (compressões) de forças externas.

A mudança de um estado para o outro carrega nomes diferentes, sendo eles: fusão (mudança de sólido para líquido), vaporização (mudança de líquido para gasoso), condensação (mudança de vapor para líquido), solidificação (mudança de líquido para sólido) e, finalmente, sublimação (mudança de vapor para sólido e vice-versa).



Quando ocorre a mudança de estado físico de uma substância pura, o calor pode tanto ser cedido como absorvido, porém a temperatura se mantém constante.

E, como dito anteriormente, cada substância apresenta um calor latente (L) específico para cada mudança de fase. Ele é dado pela razão entre a quantidade de calor (Q) envolvida na fase e a massa (m) da substância.

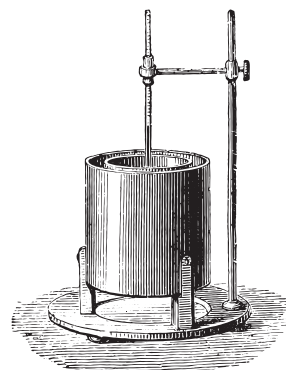
$$L = \frac{Q}{m} \rightarrow Q = L \cdot m$$

Sua unidade no Sistema Internacional é dada por joule por quilograma (J/kg), enquanto a unidade usual é caloria por grama (cal/g).

Trocas de calor

A troca de calor pode acontecer em dois tipos de recipientes: nos termicamente isolados, que são aqueles em que não ocorrem trocas de calor com o meio ambiente; e nos que não são isolados, havendo trocas de calor com o meio ambiente em condições reais.

Os recipientes em geral utilizados para a troca de calor são os chamados calorímetros. Eles podem ser ideais (termicamente isolados) ou reais (participam da troca de calor).



Calorímetro com termômetro utilizado para troca de calor.

Para os calorímetros ideais, quando dois corpos apresentam temperaturas diferentes, um deles cede e o outro absorve energia. Na representação matemática, o que cede energia acaba ficando com sinal negativo, e o que absorve energia, com sinal positivo. Sendo assim, para esse caso a soma algébrica sempre será zero para as quantidades de calor que foram trocadas.

$$-Q_1 = Q_2 \rightarrow Q_1 + Q_2 = 0$$

A equação generalizada para esse tipo de calorímetro é dada por:

$$\Sigma Q = 0$$

Para um calorímetro real, é necessário que a soma da quantidade de calor tanto trocada como absorvida e cedida seja igual a zero. Caso haja troca com o ambiente, essa também será adicionada ao cálculo.

$$Q_1 + Q_2 + \dots + Q_{\text{calorímetro}} + Q_{\text{ambiente}} = 0$$

Para as trocas de calor que ocorrem sem mudança de estado físico, como visto anteriormente (calor específico), a fórmula é dada por:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$$

Por fim, no caso das trocas de calor entre substâncias com estado físico alterado, é possível utilizar a seguinte expressão:

$$Q = m \cdot L$$

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. UFRGS-RS – Uma quantidade de calor $Q = 56 \cdot 100,00$ J é fornecida a 100 g de gelo que se encontra inicialmente a -10°C .

Sendo

- o calor específico do gelo $c_g = 2,1$ J/(g $^\circ\text{C}$),
- o calor específico da água $c_a = 4,2$ J/(g $^\circ\text{C}$) e
- o calor latente de fusão $C_L = 330,0$ J/g,
- a temperatura final da água, em $^\circ\text{C}$, é, aproximadamente,

- a) 83,8.
 b) 60,0.
 c) 54,8.
 d) 50,0.
 e) 37,7.

Resolução

Para melhor discernimento, divide-se a resolução por etapas:

Aquecimento do gelo:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 100 \cdot 2,1 \cdot [0 - (-10)] = 2\,100 \text{ J}$$

Derretimento total do gelo:

$$Q = m \cdot L = 100 \cdot 330 = 33\,000 \text{ J}$$

Ainda sobre a quantidade de calor ($56\,100 \text{ J} - 2\,100 \text{ J} - 33\,000 \text{ J} = 21\,000 \text{ J}$), para aquecer a água:

$$21\,000 = 100 \cdot 4,2 \cdot (\theta_f - 0)$$

$$\theta_f = 50^\circ\text{C}$$

2. UFU-MG – Um copo de vidro, contendo em seu interior 100 g de água e 100 g de gelo, encontra-se sobre uma fonte

de calor, inicialmente desligada. Em dado instante, a fonte de calor é ligada e fornece calor ao sistema água-gelo-copo a uma taxa constante de 20 cal/s.

Considere que a pressão atmosférica é equivalente a 1 atm, que o sistema água-gelo-copo encontra-se inicialmente em equilíbrio térmico, e despreze as demais interações do sistema com o ambiente.

Dados:

Calor específico da água = 1 cal/g $^\circ\text{C}$

Calor latente de fusão do gelo = 80 cal/g

Capacidade térmica do copo de vidro = 5 cal/ $^\circ\text{C}$

Com base nos dados e nas informações, responda:

- a) É possível saber em qual temperatura o sistema água-gelo-copo se encontrava antes de a fonte de calor ser ligada? Justifique sua resposta.
 b) Qual o tempo gasto para que o sistema água-gelo-copo atinja a temperatura de 40°C ?

Resolução

A temperatura é 0°C , na qual água e gelo coexistem à pressão de 1 atm.

Para que o sistema atinja 40°C , calcula-se:

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{gelo}} + Q_{\text{água}} + Q_{\text{água}} + Q_{\text{copo}}$$

$$Q_{\text{total}} = 100 \cdot 80 + 100 \cdot 1 \cdot (40 - 0) + 100 \cdot 1 \cdot (40 - 0) + 5 \cdot (40 - 0)$$

$$Q_{\text{total}} = 16\,200 \text{ cal}$$

Logo, o intervalo de tempo necessário será de:

$$\text{Pot} = \frac{Q_{\text{total}}}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{Q_{\text{total}}}{\text{Pot}} = \frac{16\,200}{20}$$

$$\therefore \Delta t = 810 \text{ s}$$

ROTEIRO DE AULA

QUANTIDADE DE CALOR LATENTE

Quantidade de calor latente

$$Q = m \cdot L$$

Quantidade de calor _____ *necessária* _____ para promover a
 _____ *mudança de estado físico* _____ de uma substância ou
 material em determinada temperatura.

Onde

$$Q = \text{_____} \text{ *quantidade de calor* _____}$$

$$m = \text{_____} \text{ *massa da substância ou material* _____}$$

$$L = \text{_____} \text{ *calor latente* _____}$$

O calor latente L varia em função da _____ *substância* _____ e
 do processo de _____ *mudança de fase* _____ que o
 material irá sofrer.

No _____ *equilíbrio térmico* _____, a soma dos calores
 _____ *cedidos* _____ e _____ *recebidos* _____
 pelos elementos do sistema deve ser igual a _____ *zero* _____.

$$\sum Q = \text{_____} \text{ *0* _____}$$

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Efomm-RJ (adaptado) – Em um dia muito quente, em que a temperatura ambiente era de $30\text{ }^\circ\text{C}$, sr. Aldemir pegou um copo com volume de 194 cm^3 de suco à temperatura ambiente e mergulhou nele dois cubos de gelo de massa 15 g cada um. O gelo estava a $-4\text{ }^\circ\text{C}$ e fundiu-se por completo. Supondo que o suco tem o mesmo calor específico e a mesma densidade que a água e que a troca de calor ocorre somente entre o gelo e suco, qual a temperatura final do suco do sr. Aldemir?

Dados: $c_{\text{água}} = 1,0\text{ cal/g}^\circ\text{C}$; $c_{\text{gelo}} = 0,5\text{ cal/g}^\circ\text{C}$; e $L_{\text{gelo}} = 80\text{ cal/g}$.

Considerando-se que o suco tenha a densidade da água, assim, $1\text{ cm}^3 = 1\text{ g}$.

Então, para o equilíbrio térmico, a soma das quantidades de calor deve

ser igual a zero:

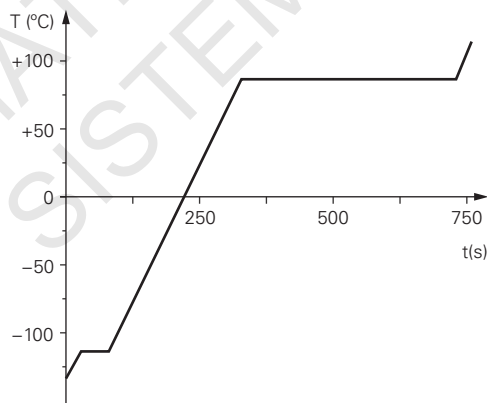
$$Q_{\text{SUCO}} + Q_{\text{GELO}} + Q_{\text{DERRET GELO}} + Q_{\text{GELO/ÁGUA}} = 0$$

$$194 \cdot 1 \cdot (\theta_e - 30) + (15 + 15) \cdot (0,5) \cdot [0 - (-4)] + (15 + 15) \cdot 80 +$$

$$+ (15 + 15) \cdot 1 \cdot (\theta_e - 30) = 0$$

$$\theta_e = 15\text{ }^\circ\text{C}$$

2. Fuvest-SP – Um cilindro termicamente isolado tem uma de suas extremidades fechadas por um pistão móvel, também isolado, que mantém a pressão constante no interior desse cilindro. O cilindro contém certa quantidade de um material sólido à temperatura $T_i = -134\text{ }^\circ\text{C}$. Um aquecedor transfere continuamente 3000 W de potência para o sistema, levando-o à temperatura final $T_f = 114\text{ }^\circ\text{C}$. O gráfico e a tabela apresentam os diversos processos pelos quais o sistema passa em função do tempo.



Processo	Intervalo de tempo (s)	ΔT ($^\circ\text{C}$)
I	0-24	20
II	24-78	0
III	78-328	200
IV	328-730	0
V	730-760	28

- Determine a energia total, E , fornecida pelo aquecedor desde $T_i = -134\text{ }^\circ\text{C}$ até $T_f = 114\text{ }^\circ\text{C}$.
- Identifique, para esse material, qual dos processos (I, II, III, IV ou V) corresponde à mudança do estado sólido para o estado líquido.
- Sabendo que a quantidade de energia fornecida pelo aquecedor durante a vaporização é $1,2 \cdot 10^6\text{ J}$, determine a massa, M , do material.
- Determine o calor específico à pressão constante, c_p , desse material no estado líquido.

Note e adote:

Calor latente de vaporização do material = 800 J/g .

Desconsidere as capacidades térmicas do cilindro e do pistão.

- a) Pela tabela, observa-se que o tempo total dos processos soma 760 s .

Assim, calcula-se a energia total do processo por meio de:

$$P = \frac{Q}{\Delta t}$$

$$Q = P \cdot \Delta t = 3000 \cdot 760 = 2,28 \cdot 10^6\text{ J}$$

- b) O processo corresponderá ao intervalo de tempo em que, no gráfico, não há variação de temperatura, como prevê a conceituação da mudança de estado físico. Portanto, esse corresponde ao processo II.

- c) Calculando-se a massa a partir do processo de fusão:

$$Q = m \cdot L = 1,2 \cdot 10^6 = m \cdot 800$$

$$m = 1,5\text{ kg}$$

- d) O aquecimento do material no estado líquido corresponde ao processo III. Dessa forma, a variação de temperatura nesse processo é de $200\text{ }^\circ\text{C}$, e o tempo que ele leva é de $\Delta t = 328 - 78 = 250\text{ s}$.

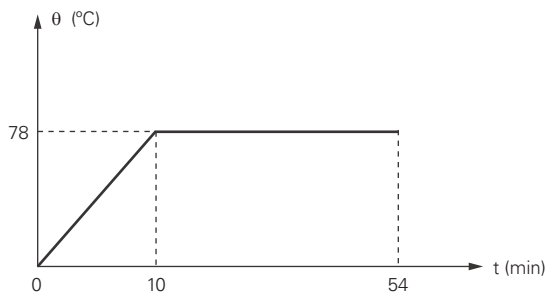
Assim:

$$P = \frac{m \cdot c \cdot \Delta\theta}{\Delta t}$$

$$c = \frac{P \cdot \Delta t}{m \cdot \Delta\theta} = \frac{3000 \cdot 250}{1,5 \cdot 200} = 2500 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

3. Fac. Albert Einstein – Medicina-SP C5-H17

Sabe-se que um líquido possui calor específico igual a $0,58 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$. Com o intuito de descobrir o valor de seu calor latente de vaporização, foi realizado um experimento em que o líquido foi aquecido por meio de uma fonte de potência uniforme, até sua total vaporização, obtendo-se o gráfico a seguir. O valor conseguido para o calor latente de vaporização do líquido, em cal/g , está mais próximo de:



- a) 100
b) 200
 c) 540
 d) 780

Observando-se o gráfico, nota-se que o intervalo de tempo de 0 a 10 minutos corresponde a um processo de aquecimento, enquanto o intervalo de tempo entre 10 minutos e 54 minutos equivale a um processo de mudança de estado físico.

Assim, pensando nos dois processos, temos:

$$P_1 = \frac{Q}{\Delta t} \Rightarrow P_1 = \frac{m \cdot c \cdot \Delta\theta}{\Delta t_1}$$

$$P_2 = \frac{Q}{\Delta t} \Rightarrow P_2 = \frac{m \cdot L}{\Delta t_2}$$

$$P_1 = P_2$$

$$\frac{m \cdot c \cdot \Delta\theta}{\Delta t_1} = \frac{m \cdot L}{\Delta t_2} \Rightarrow L = \frac{c \cdot \Delta\theta \cdot \Delta t_2}{\Delta t_1}$$

$$L = \frac{0,58 \cdot (78 - 0) \cdot (54 - 10)}{10} \Rightarrow L \cong 200 \text{ cal/g}$$

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidades: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

4. PUC-RJ – Em uma experiência de física, um aluno verifica que o calor de fusão de um dado objeto é 50 J/kg . Para outro objeto com o dobro da massa, mas feito do mesmo material, o calor de fusão, em J/kg , deve ser

- a) 200 **c) 50** e) 12,5
 b) 100 d) 25

A questão apresenta o valor do calor latente de fusão do material, e este não se calcula baseando-se na quantidade de massa do material. Assim, o calor latente de fusão do material corresponde à alternativa C.

5. UFRGS-RS – Quando se fornece calor a uma substância, podem ocorrer diversas modificações decorrentes de propriedades térmicas da matéria e de processos que envolvem a energia térmica.

Considere as afirmações a seguir, sobre processos que envolvem fornecimento de calor.

- I. Todos os materiais, quando aquecidos, expandem-se.

II. A temperatura de ebulição da água depende da pressão.

III. A quantidade de calor a ser fornecida, por unidade de massa, para manter o processo de ebulição de um líquido, é denominada calor latente de vaporização.

Quais estão corretas?

- a) Apenas I.
 b) Apenas II.
 c) Apenas III.
d) Apenas II e III.
 e) I, II e III.

Analisam-se as afirmativas para classificá-las:

[I] FALSA, pois, algumas substâncias, como a água, possuem uma dilatação anômala, ou seja, na faixa de 0°C a 4°C , a água se contrai, em vez de se expandir, sendo exceção à regra da maioria dos materiais que se expandem quando aquecidos.

[II] VERDADEIRA, já que a temperatura de ebulição de uma substância é diretamente proporcional à pressão.

[III] VERDADEIRA, já que o calor latente de vaporização da água é exatamente a quantidade de calor necessária para vaporizar 1 g de sua massa, que é 540 cal/g .

6. Unicamp-SP (adaptado) – O controle da temperatura da água e de ambientes tem oferecido à sociedade uma grande gama de confortos muito bem-vindos. Como exemplo, podemos citar o controle da temperatura de ambientes fechados e o aquecimento da água usada para o banho.

O sistema de refrigeração usado em grandes instalações, como centros comerciais, retira o calor do ambiente por meio da evaporação da água. Os instrumentos que executam esse processo são usualmente grandes torres de refrigeração vazadas, por onde circula água, e que têm um grande ventilador no topo. A água é pulverizada na frente do fluxo de ar gerado pelo ventilador. Nesse processo, parte da água é evaporada, sem alterar a sua temperatura, absorvendo calor da parcela da água que permaneceu líquida. Considere que 110 litros de água a 30°C circulem por uma torre de refrigeração e que, desse volume, 2 litros sejam evaporados. Sabendo que o calor latente de vaporização da água é $L = 540 \text{ cal/g}$ e que seu calor específico é $c = 1,0 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$, qual é a temperatura final da parcela da água que não evaporou?

A água, ao evaporar, retira calor do restante da massa de água. Assim:

$$Q_1 + Q_2 = 0$$

$$m_1 \cdot L + m_2 \cdot c \cdot \Delta\theta = 2 \cdot 10^3 \cdot 540 + 108 \cdot 10^3 \cdot (\theta_i - 30) = 0$$

$$\theta_i = -10 + 30 = 20^\circ\text{C}$$

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Eear-SP – Um buffet foi contratado para servir 100 convidados em um evento. Dentre os itens do cardápio constava água a $10\text{ }^\circ\text{C}$. Sabendo que o buffet tinha em seu estoque 30 litros de água a $25\text{ }^\circ\text{C}$, determine a quantidade de gelo, em quilogramas, a $0\text{ }^\circ\text{C}$, necessária para obter água à temperatura de $10\text{ }^\circ\text{C}$. Considere que a água e o gelo estão em um sistema isolado.

Dados:

- densidade da água = 1 g/cm^3 ;

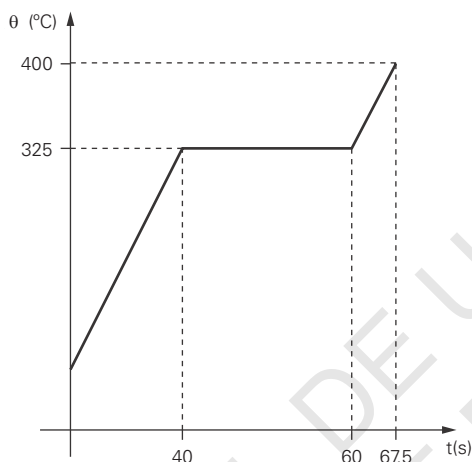
- calor específico da água = $1\text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$;

- calor de fusão do gelo = $80\text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$; e

- calor específico do gelo = $0,5\text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$;

- a) 2
b) 3
c) 4
d) 5

8. Esc. Naval-RJ (adaptado) – Analise o gráfico a seguir.



O gráfico descreve o processo de aquecimento de certa substância que se encontra inicialmente na fase sólida. O calor latente de fusão dessa substância é $6,0\text{ cal/g}$. Em um processo à pressão constante de $1,0\text{ atm}$, ela é levada à fase líquida, com temperatura final de $400\text{ }^\circ\text{C}$. A potência fornecida nessa transformação foi de 360 cal/s . O gráfico mostra a temperatura da substância em função do tempo, durante o processo.

Qual o calor específico dessa substância, em $\text{cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$, no seu estado líquido?

9. UPF-RS (adaptado) – Qual a quantidade de calor que devemos fornecer a 200 g de gelo a $-20\text{ }^\circ\text{C}$ para transformá-lo em água a $50\text{ }^\circ\text{C}$?

(Considere: $C_{\text{gelo}} = 0,5\text{ cal/(g} \cdot ^\circ\text{C)}$; $C_{\text{água}} = 1\text{ cal/(g} \cdot ^\circ\text{C)}$; $L_{\text{fusão}} = 80\text{ cal/g}$);

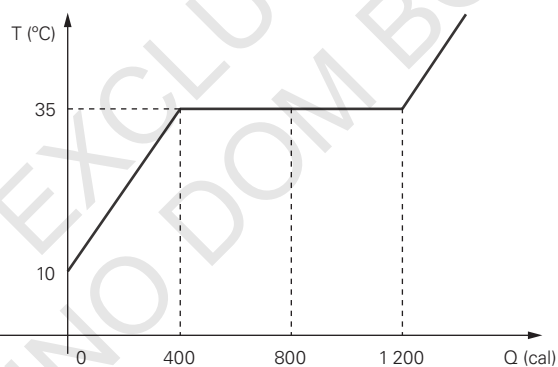
10. Eear-SP (adaptado) – Em uma panela foi adicionada uma massa de água de 200 g à temperatura de $25\text{ }^\circ\text{C}$. Para transformar essa massa de água totalmente em vapor a $100\text{ }^\circ\text{C}$, qual deve ser a quantidade total de calor fornecida, em calorias?

(Considere: $L_{\text{vapor}} = 540\text{ cal/g}$; $C_{\text{gelo}} = 0,5\text{ cal/(g} \cdot ^\circ\text{C)}$;

$C_{\text{água}} = 1\text{ cal/(g} \cdot ^\circ\text{C)}$; $L_{\text{fusão}} = 80\text{ cal/g}$

- a) 1 500
b) 20 000
c) 100 000
d) 123 000

11. Ifsul-RS (adaptado) – Um estudante de Física, a fim de analisar o comportamento térmico de uma substância, realizou um experimento em que forneceu calor a uma quantidade m de massa dessa substância, inicialmente na fase sólida. Após analisar os dados experimentais obtidos, ele traçou um gráfico, na figura a seguir, que mostra o comportamento da temperatura dessa substância em função da quantidade de calor que ela recebeu.

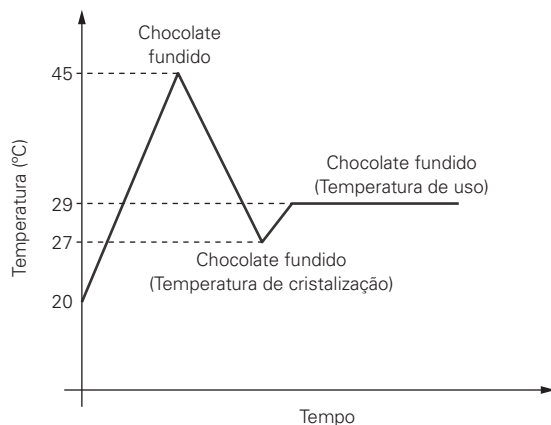


Sabendo que o calor latente de fusão da substância analisada é igual a 20 cal/g , calcule os valores da massa m e do calor específico na fase sólida.

12. Eear-SP (adaptado) – Um estudante irá realizar um experimento de física e precisará de 500 g de água a $0\text{ }^\circ\text{C}$. Acontece que ele tem disponível somente um bloco de gelo de massa igual a 500 g e terá que transformá-lo em água. Considerando o sistema isolado, a quantidade de calor, em cal, necessária para que o gelo derreta será:

Dados: calor de fusão do gelo = $80\text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$

13. UFSC-SC – O chocolate é um dos alimentos mais apreciados da culinária mundial. Além da contribuição ao paladar, deixando qualquer receita mais saborosa, creditam-se a ele, ainda, vantagens psicológicas, como a melhora do estado de humor. Para que o chocolate obtenha características de qualidade – como dureza e quebra à temperatura ambiente, rápida e completa fusão na boca, brilho e rápido desprendimento de aroma e sabor quando consumido –, necessita passar por um processo denominado temperagem. O processo de temperagem do chocolate é basicamente uma cristalização controlada em que, por meio de tratamentos térmicos e mecânicos, se produz no chocolate uma parcela específica de cristais na forma mais estável. Na figura a seguir, é apresentada a curva de cristalização de uma massa m de chocolate ao leite, com três níveis bem definidos, nas temperaturas $45\text{ }^\circ\text{C}$, $27\text{ }^\circ\text{C}$ e $29\text{ }^\circ\text{C}$. Desconsidere o calor latente do chocolate.



Com base no gráfico e nos dados, é correto afirmar que:

- 01) no terceiro nível, pode-se interpretar que o chocolate não cede nem recebe calor do meio.
- 02) no intervalo de temperatura de 45 °C até 27 °C, o chocolate cede calor para o meio.
- 04) esse tipo de gráfico permite obter uma expressão para os valores da razão entre a potência de transmissão de calor e o calor específico de uma substância.
- 08) o gráfico mostra que o chocolate é aquecido até a temperatura de 45 °C, depois resfriado até a temperatura de 27 °C, e novamente aquecido até alcançar a temperatura de 29 °C.

14. FCMMG-MG – Um médico residente em Vitória, no Espírito Santo, quer aplicar em um paciente compressas de um gel que funciona à temperatura de 15 °C. O médico possui um recipiente com meio litro de água à temperatura ambiente (25 °C) e necessita baixar essa temperatura para 15 °C. O médico pensa em misturar certa massa de gelo na água para alcançar seu objetivo e possui esferas de gelo de 5 g cada uma. Sabe-se que o calor específico do gelo vale 0,5 cal/g · °C, da água vale 1 cal/g · °C, e que o calor de fusão do gelo é de 80 cal/g. Considere a densidade da água igual a 1 kg/L.

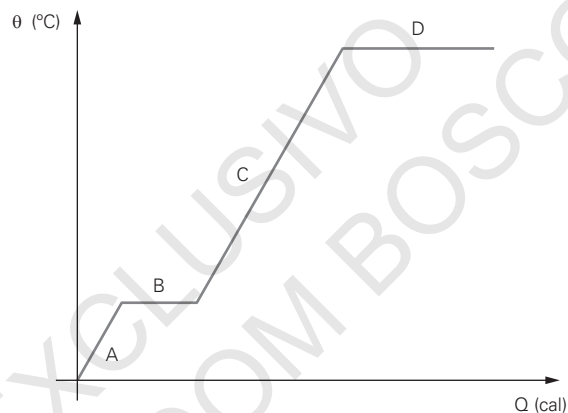
Se o gelo está inicialmente a -10 °C, o número de esferas de gelo de que ele necessitará para atingir seu objetivo será de, aproximadamente:

- a) 10.
- b) 13.
- c) 26.
- d) 50.

15. Ifsul-RS – Em um recipiente adiabático, onde não ocorrem trocas de calor com o ambiente, coloca-se 80 g de gelo a 0 °C com 120 g de água. Depois de certo tempo, observa-se que há 50 g de gelo boiando na água em equilíbrio térmico. Sendo o calor específico da água igual a 1,0 cal/g°C e o calor latente de fusão do gelo igual 80 cal/g, a temperatura final da mistura e a temperatura inicial da água serão, respectivamente, iguais a

- a) 0,5 °C e 16,0 °C.
- b) 0,0 °C e 20,0 °C.
- c) 0,0 °C e 16,0 °C.
- d) 0,5 °C e 20,0 °C.

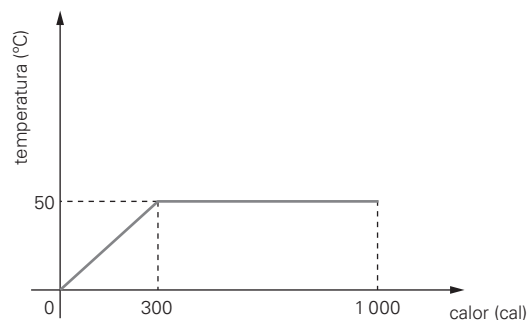
16. Uerj-RJ – Observe no diagrama as etapas de variação da temperatura e de mudanças de estado físico de uma esfera sólida, em função do calor por ela recebido. Admita que a esfera é constituída por um metal puro.



Durante a etapa D, ocorre a seguinte mudança de estado físico:

- a) fusão
- b) sublimação
- c) condensação
- d) vaporização

17. Uerj-RJ – O gráfico a seguir indica o comportamento térmico de 10 g de uma substância que, ao receber calor de uma fonte, passa integralmente da fase sólida para a fase líquida.



O calor latente de fusão dessa substância, em cal/g, é igual a:

- a) 70
- b) 80
- c) 90
- d) 100

ESTUDO PARA O ENEM

18. UPE-SSA-PE

C6-H21

Um aprendiz de cozinheiro colocou 1,0 litro de água em temperatura ambiente ($25\text{ }^{\circ}\text{C}$) em uma panela sem tampa e a deixou aquecendo em um fogão elétrico, sobre uma boca de potência de 2000 W .

Considerando-se que toda a energia fornecida pela boca é absorvida pela água, qual o tempo mínimo aproximado em que toda a água evaporou?

Dados:

– calor latente de vaporização da água = 2256 kJ/kg

– calor específico da água = $4,2\text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$

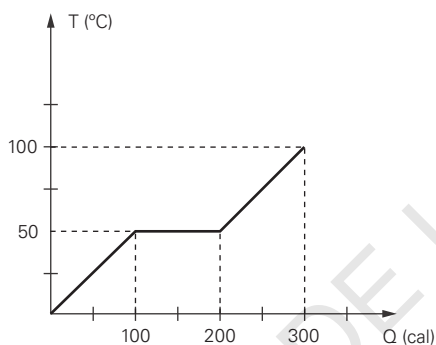
– densidade da água = 1000 kg/m^3

- a) 18,2 min c) 36,0 min e) 53,8 min
b) 21,4 min d) 42,7 min

19. UFJF-PISM-MG

C5-H17

O gráfico a seguir mostra a variação da temperatura de um corpo de 20 g em função da quantidade de calor a ele fornecida. Durante o processo, o corpo sofre uma transição de fase, passando do estado sólido para o estado líquido.



Assinale a alternativa CORRETA:

- a) a fusão do corpo ocorrerá a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ se sua massa for de 40 g .
b) o calor latente de fusão do corpo é de 10 cal/g .
c) a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, será iniciada, necessariamente, uma nova transição de fase.
d) o calor latente de fusão do corpo é de 5 cal/g .
e) a fusão do corpo ocorrerá a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ somente se sua massa for de 40 g .

20. Puccamp-SP

C6-H21

Um chef de cuisine precisa transformar 10 g de gelo a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ em água a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ em 10 minutos. Para isso, utiliza uma resistência elétrica percorrida por uma corrente elétrica que fornecerá calor para o gelo. Supondo-se que todo o calor fornecido pela resistência seja absorvido pelo gelo e desprezando-se perdas de calor para o meio ambiente e para o frasco que contém o gelo, a potência dessa resistência deve ser, em watts, no mínimo, igual a:

Dados da água:

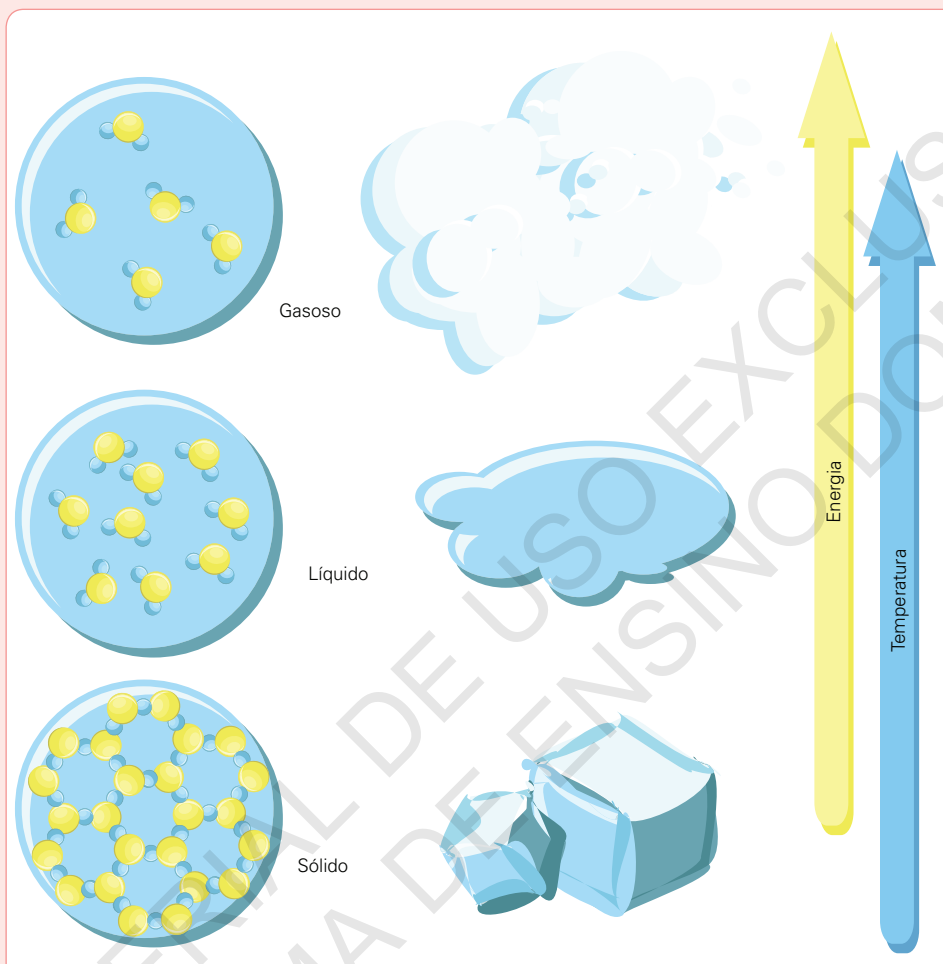
- Calor específico no estado sólido: $0,50\text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$
– Calor específico no estado líquido: $1,0\text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$
– Calor latente de fusão do gelo: 80 cal/g

Adote $1\text{ cal} = 4\text{ J}$

- a) 4.
b) 8.
c) 10.
d) 80.
e) 120.

MUDANÇA DE FASE

INKOLY/DREAMSTIME



Mudança de fase da água.

As fases da matéria são divididas em três, sendo elas: sólida, líquida e gasosa. Para que ocorra a mudança de fase, é necessário que haja alteração da temperatura, e esta se encontra intimamente ligada à pressão a que a substância está submetida.

Uma mudança de fase que ocorre frequentemente em nosso cotidiano é a da água, uma vez que ela pode evaporar quando aquecida e solidificar quando resfriada.

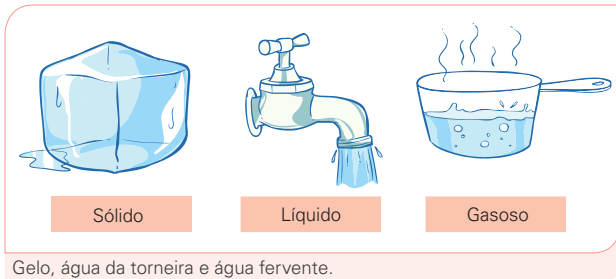
FASES DA MATÉRIA

O que diferencia as três fases da matéria entre si é a forma como as moléculas estão dispostas e a força de interação entre elas. No caso do sólido, sua força de interação é maior que a das demais fases, portanto, as moléculas dele se encontram bem próximas. No estado gasoso, as moléculas revelam-se dispersas umas em relação às outras, e sua força de interação é bem pequena. Por fim, a fase líquida é caracterizada por apresentar moderado espaçamento molecular e força de interação média, ou seja, referenciais menores que os dos sólidos e maiores que os da fase gasosa.

- Fases da matéria
- Transformações endotérmicas e exotérmicas
- Influência da pressão na mudança de fase
- Curva de fusão: sólido-líquido
- Curva de vaporização: líquido-vapor
- Curva de sublimação: sólido-vapor

HABILIDADES

- Diferenciar e caracterizar as fases da matéria.
- Conceituar transformações endotérmicas e exotérmicas.
- Compreender a importância da pressão na mudança de fase.
- Diferenciar as curvas de fusão, vaporização e sublimação e conceituar os processos possíveis para cada uma delas.



Gelo, água da torneira e água fervente.

TRANSFORMAÇÕES ENDOTÉRMICAS E EXOTÉRMICAS

As transformações endotérmicas e exotérmicas estão ligadas à liberação e à absorção de calor de um dado sistema.

Para as transformações endotérmicas, ocorre a absorção de calor e, conseqüentemente, um aumento do volume, exceto para alguns casos em que o volume é reduzido (água, bismuto, prata, ferro e antimônio).

Nas transformações exotérmicas ocorre o contrário; é liberado calor e o volume é reduzido, exceto para as mesmas exceções das transformações endotérmicas. Um exemplo para essa transformação é quando uma garrafa de água é colocada no congelador e ela estoura com o aumento do volume – lembrando que a água é uma substância de exceção.

INFLUÊNCIA DA PRESSÃO NA MUDANÇA DE FASE

Como visto, a mudança de fase e a alteração da pressão estão intimamente ligadas. Assim, quando a pressão é aumentada, há certa dificuldade de aumento do volume, fazendo que as moléculas da substância encontrem resistência para se afastar e vice-versa.

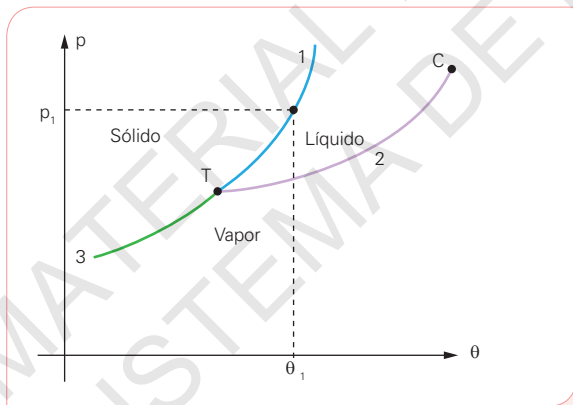


Diagrama de fase.

Quando analisamos uma curva de pressão e temperatura (diagrama de fase) em situação de equilíbrio, conseguimos determinar as áreas correspondentes aos sólidos, aos líquidos e ao vapor. E as curvas responsáveis por essa separação são chamadas de: curva de fusão (1), curva de vaporização (2) e curva de sublimação (3). Os pontos no gráfico representam o equilíbrio de temperatura e pressão em ambas as fases.

Ainda, o ponto no gráfico em que todas as curvas se encontram revela que, a dadas temperatura e pressão, as três fases da substância estão em equilíbrio.

CURVA DE FUSÃO: SÓLIDO-LÍQUIDO

Para a curva de fusão, temos que o aumento da pressão leva ao aumento da temperatura de fusão, pois sabemos que, na fase sólida, as moléculas se encontram mais perto umas das outras de maneira regular, e, quando ocorre a fusão, as moléculas tendem a se afastar umas das outras, conseqüentemente, levando a um aumento de volume.

Como já mencionado, nas transformações endotérmicas e exotérmicas algumas substâncias são exceções (água, bismuto, prata, ferro e antimônio), e para esses casos o aumento da pressão leva à redução da temperatura de fusão. Portanto, essas substâncias são capazes de mudar de fase a uma temperatura de fusão menor.

Pode-se observar dois fenômenos ligados à curva de fusão: o regelo e a superfusão. O regelo nada mais é do que o aumento da pressão com a mudança de fase para líquida; após determinado tempo, há o retorno da pressão anterior e a constituição do regelo (ex.: pistas de patinação).



Pista de patinação.

Na superfusão, também conhecida como sobre-fusão, o líquido resfriado atinge uma temperatura inferior à sua temperatura de solidificação sem que haja mudança de fase, ou seja, sua temperatura é menor que a temperatura de fusão. Esse processo pode ser instável, uma vez que é possível ocorrer solidificação parcial ou total. Um exemplo de superfusão é quando colocamos a água no congelador e ela não congela mesmo atingindo temperaturas inferiores a 0 °C.

CURVA DE VAPORIZAÇÃO: LÍQUIDO-VAPOR

Para a curva de vaporização, as substâncias puras obedecem ao equilíbrio líquido-vapor. Então, quando temos o aumento da pressão, conseqüentemente, haverá o aumento da temperatura de vaporização da substância.

Para a fase gasosa, existem duas classificações: vapor e gás. A diferenciação delas se dá por meio de um ponto crítico de temperatura. Se a temperatura for menor ou igual à do ponto crítico, a substância é considerada vapor; caso seja maior que a temperatura do ponto crítico, trata-se de um gás.

Um ponto importante a se observar é que, no caso do vapor em uma temperatura constante, pode ocorrer a mudança para líquido com uma variação adequada de temperatura. Em compensação, o gás, independente da variação da pressão e com temperatura constante, não muda para a fase líquida.

Algumas transformações recebem nomes específicos: liquefação, para transformação de gás em líquido; condensação, de vapor em líquido; e vaporização, de líquido para gás.

Ainda, a vaporização pode ocorrer de três maneiras: evaporação, cujo processo é lento, pois ocorre de

maneira natural em temperatura ambiente (ex.: secar roupa no varal); ebulição, que se dá através de uma temperatura constante e decorre mais rapidamente (ex.: ferver água); e calefação, que acontece quando a temperatura à qual o líquido está submetido é maior que a temperatura de ebulição (ex.: despejar água em uma chapa superaquecida).

CURVA DE SUBLIMAÇÃO: SÓLIDO-VAPOR

A curva de sublimação se caracteriza pela transição do estado sólido diretamente para o de vapor, sem passar pela fase líquida, a uma temperatura constante. E, com a mesma temperatura e a mesma pressão, ocorre o processo inverso, que é a cristalização (passagem de vapor para sólido).

Quando estabelecemos uma relação da pressão com a sublimação e a cristalização, temos um aumento desta com um aumento da temperatura. O processo de sublimação é mais raro de acontecer em temperatura ambiente, portanto, são poucas as substâncias capazes de sublimar nessa condição (ex.: hélio). Porém, quando as condições físicas de temperatura e pressão são alteradas, o processo de sublimação pode ocorrer com facilidade (ex.: funcionamento da panela de pressão).

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. Sistema Dom Bosco – Um bloco de uma substância está em processo de fusão. Nesse caso, à pressão constante, é correto afirmar que:

- a) ele recebe calor e sua temperatura aumenta.
- b) ele cede calor e sua temperatura aumenta.
- c) ele recebe calor e sua temperatura permanece constante.
- d) o calor evidenciado é sensível, pois há mudança de temperatura.
- e) ele cede calor e sua temperatura diminui.

Resolução

Tendo iniciado o processo de fusão, é correto afirmar que a temperatura permanecerá constante até que toda a massa mude de fase.

No caso de todas as outras alternativas, há a indicação de alteração de temperatura, o que não ocorre durante o processo de mudança de fase. No mais, o processo de fusão consiste em receber calor para a mudança do estado sólido para o líquido.

2. Sistema Dom Bosco – No caso do vapor que se enxerga quando as pessoas falam em climas extremamente frios, assinale a alternativa que melhor explica esse fenômeno, indicando que ele ocorre quando as pessoas expõem:

- a) ar quente, que condensa o vapor d'água existente na atmosfera.
- b) ar quente e úmido, que se esfria, ocorrendo a condensação dos vapores expelidos.
- c) frio, que provoca a condensação do vapor d'água na atmosfera.
- d) ar quente e úmido, que provoca a evaporação da água existente no ar.
- e) ar quente e úmido, que provoca a liquefação do ar com seu calor.

Resolução

Ao falar, as pessoas exalam ar proveniente de dentro dos pulmões, que estão mais quentes que o ambiente externo. Esse ar úmido se condensa no ambiente frio ao sair da boca das pessoas.

ROTEIRO DE AULA

ESTADOS DA MATÉRIA

SÓLIDO

LÍQUIDO

GASOSO

São fases distintas pelas distâncias e interações das moléculas
_____ que as constituem.

Mudanças de fase

A mudança de _____ fase encontra-se intimamente ligada à variação da pressão.

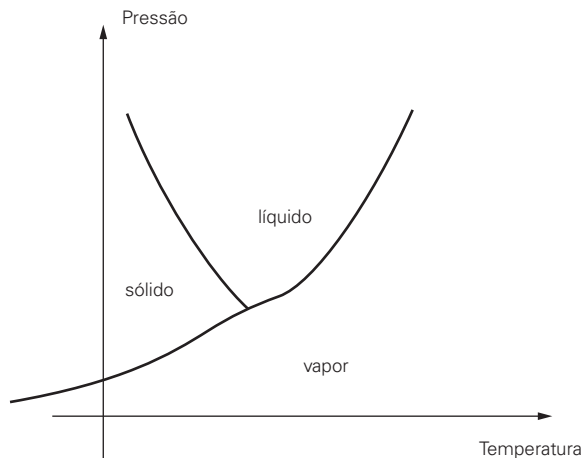
Na curva de _____ fusão
existe um aumento da pressão e da temperatura para a transformação de _____ sólido em líquido ,
exceto para algumas substâncias.

A curva de _____ sublimação
se caracteriza pela passagem de _____ sólido para vapor ; no caso inverso o processo é conhecido por cristalização.

Na curva de vaporização há a mudança da _____ fase líquida para o vapor ,
com diferenciação entre vapor e gás.

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. UFU-MG – A água, substância comum e indispensável à nossa sobrevivência, em condições cotidianas normais, pode se apresentar em três estados físicos diferentes: sólido, líquido e vapor. A figura representa de maneira simplificada, e fora de escala, o diagrama de fases da água, com os eixos indicando temperatura e pressão. As linhas do diagrama sinalizam a pressão de mudança de fase em função da temperatura.

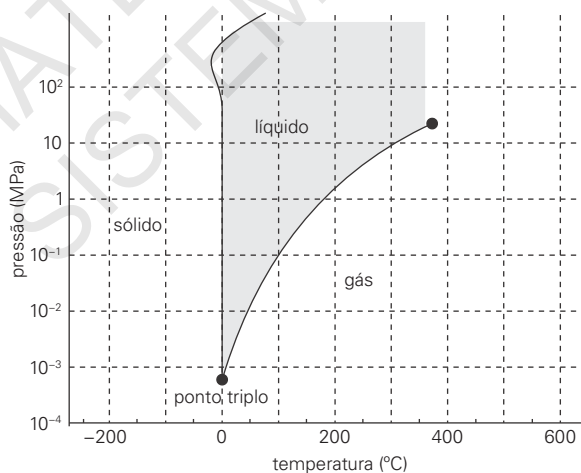


- a) Com base no diagrama de fases, explique, do ponto de vista da Física, como a panela de pressão consegue cozinhar alimentos mais rapidamente quando comparada a uma panela comum.
- b) Os patins de gelo possuem uma lâmina em sua parte inferior que, em contato com o gelo, faz que ele derreta, criando um sulco onde ocorre o deslizamento. Após os patins passarem pelo sulco, dependendo da temperatura local, a água do sulco pode se solidificar novamente. Com base no diagrama de fases, explique o fenômeno descrito.

a) A panela de pressão trabalha em maiores temperaturas, já que lida com pressões maiores que a atmosférica. Isso acelera o processo de cocção dos alimentos.

b) Ao impor uma força em uma pequena área, como é o caso do trilho dos patins no gelo, estamos, na verdade, impondo uma maior pressão. Sendo a pressão a dependência de uma força aplicada em determinada área, quanto menor a área de contato, maior é a pressão. No caso dos patins, o gelo se submete a um aumento de pressão repentino que o faz derreter nessa área de contato. Ao cessar a pressão, o gelo retorna a seu estado sólido, pois a temperatura se mantém.

2. Esc. Naval-RJ – Observe o gráfico a seguir.



Uma máquina de café expresso possui duas pequenas caldeiras mantidas sob uma pressão de 1,0 MPa. Duas resistências elétricas aquecem separadamente a água no interior das caldeiras até as temperaturas T_A °C, na caldeira com água para o café, e T_B °C, na caldeira destinada a produzir vapor d'água para aquecer leite. Assuma que a temperatura do café na xícara, T_C °C, não deve ultrapassar o ponto de ebulição da água e que não há perdas térmicas, ou seja, $T_C = T_A$. Considerando o diagrama de fases no gráfico, quanto vale, aproximadamente, o menor valor, em kelvins, da diferença $T_B - T_A$? Dado: 1,0 atm = 0,1 MPa.

- a) 180
b) 130
c) 80
d) 30
e) zero

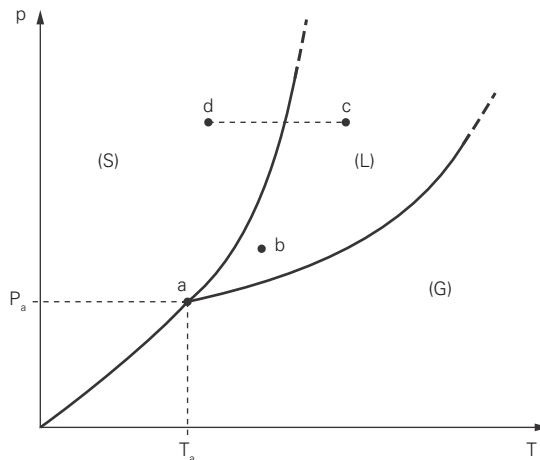
Na pressão de 1 MPa, a menor temperatura antes da vaporização é de 100 e a maior, para o vapor, é de 180 – observada no gráfico na linha entre gás e líquido, na altura de 1 MPa. Assim, a diferença entre as duas temperaturas será de 80.

3. IFSC-SC – Pedrinho estava com muita sede e encheu um copo com água bem gelada. Antes de beber, observou que o copo ficou todo “suado” por fora, ou seja, cheio de pequenas gotículas de água na superfície externa. É CORRETO afirmar que tal fenômeno é explicado:

- a) pela sublimação da água existente no copo.
b) pela porosidade do copo, que permitiu que parte da água gelada passasse para o lado de fora.
c) pela vaporização da água do copo para fora do recipiente.
d) pelas correntes de convecção formadas em função do aquecimento da água gelada pelo meio ambiente.
e) pela condensação dos vapores de água da atmosfera em contato com o copo gelado.

A parte externa do copo se esfria, assim, o ar no entorno do copo também se esfria. Assim, o vapor d'água no ar no entorno do copo, atingindo a pressão do ambiente, se condensa.

4. UFRGS-RS – Qualquer substância pode ser encontrada nos estados (ou fases) sólido (S), líquido (L) ou gasoso (G), dependendo das condições de pressão (p) e temperatura (T) a que está sujeita. Esses estados podem ser representados em um gráfico $p \times T$, conhecido como diagrama de fases, como o mostrado na figura a seguir, para uma substância qualquer.



As regiões de manifestação de cada fase estão identificadas por (S), (L) e (G), e os pontos a, b, c e d indicam quatro estados distintos de (p, T).

Considere as seguintes afirmações.

- I. A substância não pode sublimar, se submetida a pressões constantes maiores do que p_a .
- II. A substância, se estiver no estado b, pode ser vaporizada por transformações isotérmicas ou isobáricas.
- III. A mudança de estado c \rightarrow d é isobárica e conhecida como solidificação.

Quais estão corretas?

- a) Apenas I.
- b) Apenas II.
- c) Apenas III.
- d) Apenas I e II.
- e) I, II e III.

e) I, II e III.

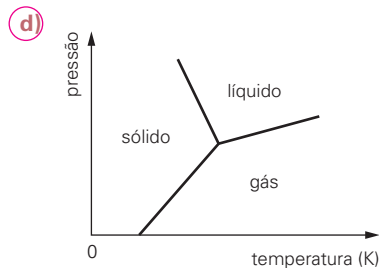
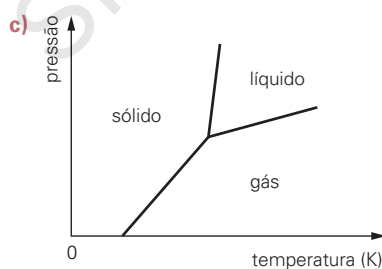
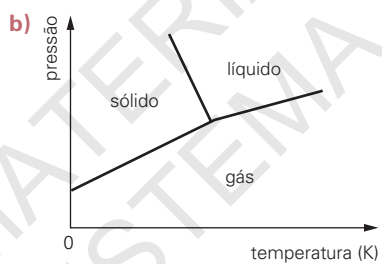
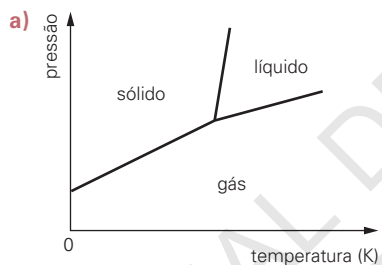
Análise das afirmativas:

[I] Verdadeira. A sublimação ocorre quando uma substância sai do estado sólido para o estado gasoso, o que só é possível se ela atingir uma pressão menor que a correspondente do ponto triplo, como é indicado no gráfico na área delimitada pelo pontilhado.

[II] Verdadeira. Os processos isotérmicos ou isobáricos são possibilitantes do processo de vaporização. Esta é indicada no gráfico pelo ponto b.

[III] Verdadeira. Tal processo se identifica no gráfico como isobárica na reta que pode ser traçada entre os pontos c e d.

- 5. UFMG-MG (adaptado)** – Identifique o gráfico, dentre as alternativas, que ilustra o fato de que a água se encontra em estado sólido em temperaturas baixas e que, diminuindo-se a pressão, ela pode se fundir em uma temperatura menor do que zero graus.



Nos gráficos identificados nas alternativas A e B, verifica-se água em estado gasoso em baixas temperaturas. Na alternativa C, nota-se uma não correspondência da proporcionalidade inversa entre pressão e temperatura de fusão do gelo.

Assim, observa-se que o gráfico da alternativa D corresponde ao enunciado.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidades: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

- 6. Unesp-SP (adaptado)** – A liofilização é um processo de desidratação de alimentos que, além de evitar que seus nutrientes saiam com a água, diminui bastante sua massa e seu volume, facilitando o armazenamento e o transporte. Alimentos liofilizados também têm seus prazos de validade aumentados, sem perder características como aroma e sabor.

Cenoura liofilizada



SHUTTERSTOCK / LOUELLA938

Kiwi liofilizada



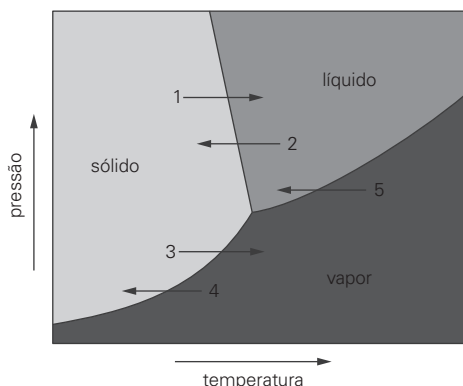
SHUTTERSTOCK / NEW AFRICA

O processo de liofilização segue as seguintes etapas:

- I. O alimento é resfriado até temperaturas abaixo de 0°C , para que a água contida nele seja solidificada.
- II. Em câmaras especiais, sob baixíssima pressão (menores do que $0,006\text{ atm}$), a temperatura do alimento é elevada, fazendo que a água sólida seja sublimada.

Dessa forma, a água sai do alimento sem romper suas estruturas moleculares, evitando perdas de proteínas e vitaminas.

O gráfico mostra parte do diagrama de fases da água e cinco processos de mudança de fase, representados pelas setas numeradas de 1 a 5.



Observando o gráfico, entende-se que há duas setas que podem representar bem as etapas do processo de liofilização. Quais são elas? Justifique.

As setas 2 e 3 representam bem o processo, pois ilustram a primeira etapa, que é a de solidificação da água líquida, e a segunda etapa, que corresponde à passagem da água do estado sólido para o de vapor, de maneira brusca.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. UPF-RS (adaptado) – A mudança de fase de uma substância é um fenômeno natural que ocorre, por exemplo, quando a água líquida vaporiza ao ferver. Sobre esse conteúdo, um professor de Física propôs a seguinte questão a seus alunos:

Medir a temperatura da água fervente em dois recipientes idênticos de metal – ambos com o mesmo volume de água e a mesma temperatura inicial – que se encontram sobre fogões de cozinha a fornecer a mesma quantidade de calor por unidade de tempo. Um deles está no nível do mar e o outro, no alto do Pico da Neblina.



Como resultado do exercício proposto, responda:

- A temperatura da água fervente é maior ou menor no Pico da Neblina?
- Indique a relação entre a temperatura, a altura e a pressão no que tange à temperatura de ebulição de substâncias.

8. Ifsul-RS (adaptado) – Analise cada uma das afirmativas a seguir, argumentando se são verdadeiras ou falsas de acordo com o estudo da calorimetria.

- () A temperatura de 104 °F corresponde a 40 °C.

() A dilatação real de um líquido, quando aquecido, representa a dilatação do frasco mais a dilatação aparente do líquido.

() A transmissão de calor por convecção promove o movimento das camadas de um líquido ou de ar; as camadas frias sobem e as camadas quentes descem, por conta da diferença de densidade entre elas.

() A mudança de fase ocorre sempre que, sob pressão constante, uma substância pura recebe ou cede calor, sem que ocorra variação de temperatura.

() A dilatação de certa massa de gás perfeito, que sofre uma transformação isobárica, possibilita que um aumento de temperatura sobre esse gás provoque um aumento em seu volume.

9. IFSC-SC (adaptado) – O calor pode ser definido como uma forma de energia em trânsito, motivada por uma diferença de temperatura. Um corpo pode receber ou ceder energia na forma de calor, mas nunca armazená-la. O ato de fornecer ou ceder calor para uma substância pode acarretar consequências, como mudança de fase ou variação da temperatura.

Com base nesses conhecimentos, o que acontecerá se fornecermos calor continuamente a um bloco de gelo que se encontra a 0 °C, na pressão de 1 atmosfera?

10. PUC-PR (adaptado) – Uma forma de gelo com água a 25 °C é colocada no freezer de uma geladeira para formar gelo. O freezer está no nível de congelamento mínimo, cuja temperatura corresponde a -18 °C. As etapas do processo de trocas de calor e de mudança de estado da substância água podem ser identificadas em um gráfico da temperatura \times quantidade de calor cedida. Esboce um gráfico que ilustre corretamente (sem considerar a escala) as etapas de mudança de fase da água e de seu resfriamento para uma atmosfera.

11. UFSC-SC

Epagri confirma registro de neve em Palhoça.

Houve registro do fenômeno também em Rancho Queimado, Alfredo Wagner e Angelina, na Grande Florianópolis.

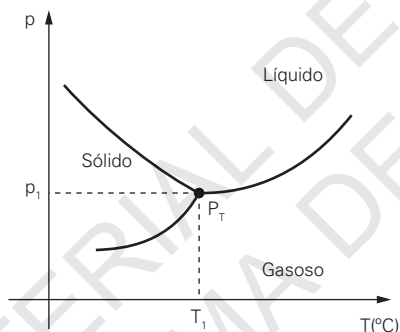
Os morros na região do Cambirela, em Palhoça, amanheceram com paisagem europeia nesta terça-feira. A neve que caiu na cidade pintou o topo de branco e chamou a atenção de moradores [...].

Essa notícia, publicada no *ClicRBS – Diário Catarinense*, em 23 jul. 2013, registra um evento que não ocorria há mais de 29 anos na região e que transformou a paisagem do Cambirela em um belíssimo cartão-postal.

Neve é um fenômeno meteorológico em que ocorre a precipitação de flocos formados por pequenos cristais de gelo, ou seja, água na fase sólida.



ALVARELIO KUROSSU / AGENCIA RBS



Com base no diagrama de fase da água apresentado e nas mudanças de fase dessa substância, assinale a(s) proposição(ões) **CORRETA(S)**.

- 01) É fato que na pressão de 1,0 atm a água atinge a densidade máxima a 4 °C e, à medida que sua temperatura se aproxima de 0 °C, sua densidade diminui. Esse fato é consequência das ligações de ponte de hidrogênio que surgem entre as moléculas de água, causando um aumento dos espaços entre as moléculas.
- 02) No ponto P_T que no diagrama de fase representa o ponto triplo, é possível encontrar a substância em uma das três fases da matéria de cada vez.
- 04) Quando uma substância no estado gasoso é liquefeita somente com o aumento da pressão, ela é classificada como vapor.

08) O processo de vaporização da água, a passagem da fase líquida para a fase sólida, pode ocorrer de três maneiras: evaporação – lento; ebulição – muito rápido; calefação – rápido.

16) A sensação de frio é maior quando a neve derrete do que quando ela se forma. Isso é explicado pelo fato de que a fusão é uma reação exotérmica, enquanto a solidificação é uma reação endotérmica.

32) Sublimação é a mudança da fase sólida para a fase gasosa, sem passar pela fase líquida, somente com o aumento da pressão.

64) A curva de fusão/solidificação indica que, à medida que aumentamos a pressão sobre a substância água durante a mudança de fase, a temperatura de fusão/solidificação diminui.

12. Ifsul-RS – Uma das substâncias mais importantes para os seres vivos, a água, está oferecendo preocupação, pois está ameaçada de diminuição na natureza, onde pode ser encontrada nos estados sólido, líquido e de vapor.

Tendo como referência a água, analise as afirmativas a seguir, indicando, nos parênteses, se são verdadeiras ou falsas.

() Para que ocorra a mudança de estado físico da água, à pressão constante, sua temperatura permanecerá constante, e haverá troca de calor com o ambiente.

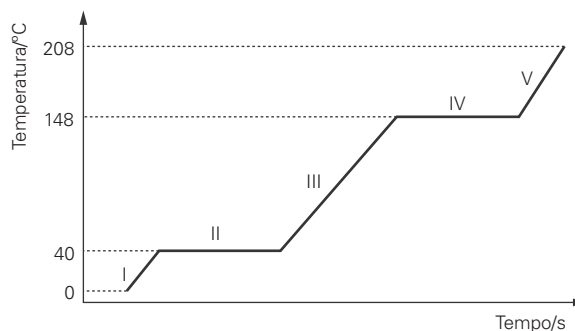
() Para que ocorra a evaporação da água do suor de nossa pele, deve haver absorção de energia pelo nosso corpo.

() Para que certa quantidade de água entre em ebulição, à temperatura ambiente, é necessário que seja diminuída a pressão sobre ela.

A sequência correta, de cima para baixo, é

- a) F – V – V.
b) V – V – F.
c) V – F – V.
d) F – F – V.

13. UEG-GO – A mudança do estado físico de determinada substância pode ser avaliada em função da variação da temperatura em relação ao tempo, conforme o gráfico a seguir. Considere que a 0 °C o composto encontra-se no estado sólido.



No gráfico, encontra-se a substância no estado líquido nos pontos

- a) I, II e IV
b) III, IV e V
c) II, III e IV
d) I, III e V

14. UEA-AM – É possível passar a matéria do estado sólido diretamente para o gasoso, evitando a fase líquida. Tal fenômeno físico se verifica comumente no gelo seco e na naftalina, mas também pode ocorrer com a água, dependendo das condições de temperatura e pressão. A essa passagem dá-se o nome de

- condensação.
- sublimação.
- fusão.
- vaporização.
- calefação.

15. CPS-SP

Uma atração turística da Áustria é Salzburgo, cidade natal de Mozart, construída na Antiguidade graças às minas de sal.

Salzburgo significa castelo do sal, pois nessa cidade está localizada a mina de sal mais antiga do mundo, em atividade desde a Idade do Ferro (1 000 a.C.).

No passado, o sal era um importante e quase insubstituível conservante alimentar e, além de cair bem ao nosso paladar, ele é uma necessidade vital, pois, sem o sódio presente no sal, o organismo seria incapaz de transmitir impulsos nervosos ou mover músculos, entre eles o coração.

Disponível em: <terra.com.br/turismo/roteiros/2000/11/10/009.htm>. Acesso em: 16 ago. 2013. (Adaptado.)

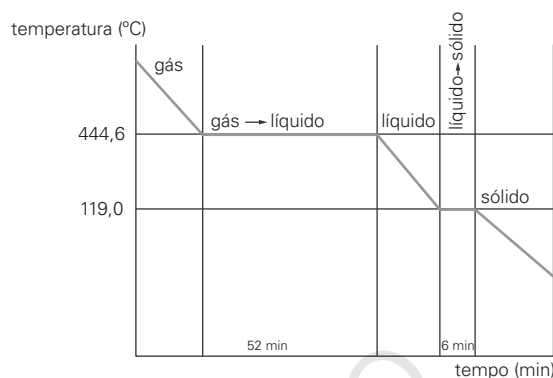
O sal também pode ser obtido da água do mar, processo que ocorre em salinas.



Durante a obtenção de sal em uma salina,

- a água sofre evaporação.
- a água sofre sublimação.
- o sal sofre fusão.
- a água e o sal sofrem sublimação.
- a água e o sal sofrem solidificação.

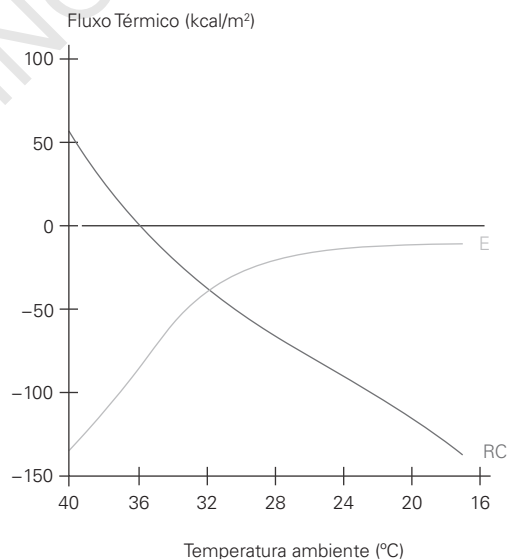
16. Ifsul-RS – O gráfico (fora de escala) representa o que está acontecendo com uma massa de 200 g de certa substância em um processo térmico e, na tabela, são apresentadas as temperaturas de fusão e vaporização de algumas substâncias à pressão de 1 atm (pressão ao nível do mar).



Uma análise do gráfico fornecido nos permite concluir que as temperaturas de

- condensação e de vaporização são, respectivamente, 444,6 °C e 119,0 °C.
- solidificação e de vaporização são, respectivamente, 444,6 °C e 119,0 °C.
- condensação e de solidificação são, respectivamente, 119,0 °C e 444,6 °C.
- condensação e de solidificação são, respectivamente, 444,6 °C e 119,0 °C.

17. Unesp-SP – O gráfico mostra o fluxo térmico do ser humano em função da temperatura ambiente em um experimento no qual o metabolismo basal foi mantido constante. A linha azul representa o calor trocado com o meio por evaporação (E) e a linha vermelha, o calor trocado com o meio por radiação e convecção (RC).



(Eduardo A. C. Garcia. *Biofísica*, 1997. Adaptado.)

Sabendo que os valores positivos indicam o calor recebido pelo corpo e os valores negativos indicam o calor perdido pelo corpo, conclui-se que:

- em temperaturas entre 36 °C e 40 °C, o corpo recebe mais calor do ambiente do que perde.
- à temperatura de 20 °C, a perda de calor por evaporação é maior que por radiação e convecção.
- a maior perda de calor ocorre à temperatura de 32 °C.
- a perda de calor por evaporação se aproxima de zero para temperaturas inferiores a 20 °C.
- à temperatura de 36 °C, não há fluxo de calor entre o corpo e o meio.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C6-H21

A elevação da temperatura das águas de rios, lagos e mares diminui a solubilidade do oxigênio, pondo em risco as diversas formas de vida aquática que dependem desse gás. Se essa elevação de temperatura acontece por meios artificiais, dizemos que existe poluição térmica. As usinas nucleares, pela própria natureza do processo de geração de energia, podem causar esse tipo de poluição.

Que parte do ciclo de geração de energia das usinas nucleares está associada a esse tipo de poluição?

- a) Fissão do material radioativo.
- b) Condensação do vapor-d'água no final do processo.
- c) Conversão de energia das turbinas pelos geradores.
- d) Aquecimento da água líquida para gerar vapor d'água.
- e) Lançamento do vapor-d'água sobre as pás das turbinas.

19. UFU-MG

C6-H21

Atualmente, tem-se discutido sobre o aquecimento global, sendo uma de suas consequências, a médio prazo, a elevação do nível dos oceanos e a inundação de áreas costeiras. Para que ocorra a efetiva elevação do nível dos oceanos, é necessário que

- a) os imensos icebergs que flutuam nos oceanos se fundam.
- b) intensas chuvas nas áreas costeiras caiam.
- c) o gelo das calotas polares que estão sobre os continentes se funda.
- d) o nível de evaporação dos oceanos aumente.

20. Enem-MEC (adaptado)

C6-H21

A Constelação Vulpécua (Raposa) encontra-se a 63 anos-luz da Terra, fora do sistema solar. Ali, o planeta gigante HD 189733b, 15% maior que Júpiter, concentra vapor de água na atmosfera. A temperatura do vapor atinge 900 graus Celsius. "A água sempre está lá, de alguma forma, mas às vezes é possível que seja escondida por outros tipos de nuvens", afirmaram os astrônomos do Spitzer Science Center (SSC), com sede em Pasadena, Califórnia, responsável pela descoberta. A água foi detectada pelo espectrógrafo infravermelho, um aparelho do telescópio espacial Spitzer.

Fonte: *Correio Braziliense*, 11 dez. 2008. (Adaptado.)

De acordo com o texto, o planeta concentra vapor d'água em sua atmosfera a 900 graus Celsius. Sobre a vaporização, infere-se que

- a) se há vapor d'água no planeta, é certo que existe água no estado líquido também.
- b) a temperatura de ebulição da água independe da pressão; em um local elevado ou ao nível do mar, ela ferve sempre a 100 graus Celsius.
- c) o calor de vaporização da água é o calor necessário para fazer 1 kg de água líquida se transformar em 1 kg de vapor d'água a 100 graus Celsius.
- d) um líquido pode ser superaquecido acima de sua temperatura de ebulição normal, mas de forma nenhuma nesse líquido haverá formação de bolhas.
- e) a água em uma panela pode atingir a temperatura de ebulição em alguns minutos, e é necessário muito menos tempo para fazer a água vaporizar completamente.

MATERIAL DE USO
SISTEMA DE ENSINO

MUDANÇA DE FASE COM CÁLCULO DE MASSA



GETTY IMAGES/ISTOCKPHOTO

Gelo derretendo.

Na natureza, é possível encontrar uma mesma substância em três diferentes estados físicos: sólido, líquido ou gasoso. Esses são chamados estados físicos, ou fases da matéria. Os diferentes estados ocorrem por mudanças na estrutura molecular da matéria quando submetida a diferentes valores de temperatura e pressão. Isso significa que, para cada substância, há um *range* de temperatura e pressão em que se pode observar determinada fase da matéria.

Para entender como os estados físicos da matéria se diferenciam em nível molecular, deve-se imaginar que as moléculas que compõem a matéria possuem energias cinéticas que variam de acordo com a temperatura e a pressão a que estão submetidas. Ou seja, existe uma *agitação térmica* das moléculas, fazendo que elas se afastem ou se aproximem conforme maior ou menor for sua energia.

Assim, quando a temperatura é relativamente baixa, as moléculas possuem pouca energia, permanecendo em uma estrutura regular. Isso faz que a substância se mantenha no estado sólido.

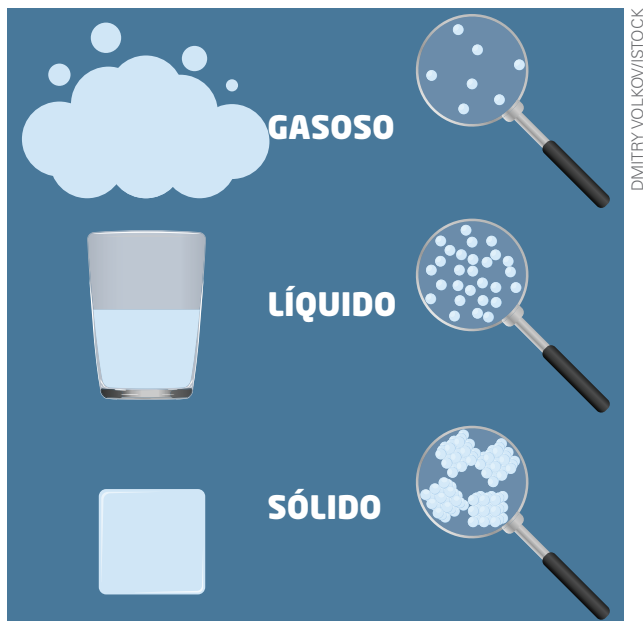
Ao aquecer a substância, estamos transferindo calor para ela, ou seja, aumentando a energia cinética de suas moléculas. Dessa forma, elas passam a se movimentar mais livremente, desfazendo a estrutura regular. Isso configura o estado líquido da matéria e explica por que os líquidos podem escoar e assumir o formato do recipiente que ocupam, diferentemente dos sólidos.

Finalmente, ao se fornecer ainda mais calor para a substância, suas moléculas adquirem energia suficiente para se manterem bastante afastadas umas das outras. Desse modo, a substância assume o estado gasoso. Nos gases, as moléculas ficam muito mais separadas quando comparadas às dos sólidos e líquidos. Por isso os gases podem ser facilmente comprimidos, além de assumirem a forma de seu recipiente.

- Mudança de fase com cálculo de massa
- Cálculo de calor trocado durante uma mudança de fase

HABILIDADES

- Ser capaz de calcular a massa de uma substância que passa por uma mudança de estado.
- Ser capaz de calcular a quantidade de calor trocada durante a mudança de fase.



DMITRY VOLKOV/ISTOCK

Características das moléculas de uma substância em diferentes estados físicos.

Por exemplo, sob pressão de 1 atm, a água pode ser encontrada no estado sólido (gelo) em temperaturas abaixo de 0 °C, no estado líquido em temperaturas entre 0 °C e 100 °C ou no estado gasoso (vapor) em temperaturas acima de 100 °C.

Dizemos, portanto, que as substâncias sofrem transições ou mudanças de fase de acordo com as variações de temperatura e pressão. As diversas transições recebem os seguintes nomes:

 fusão 	sólido → líquido
 evaporação 	líquido → gasoso
 condensação 	gasoso → líquido
 solidificação 	líquido → sólido
 sublimação 	sólido → gasoso
 sublimação inversa 	gasoso → sólido

Um aspecto importante das mudanças de fase em substâncias puras é o fato de que sua temperatura permanece constante, embora ainda ocorra a troca de calor com o meio. No caso da água sob pressão de 1 atm, por exemplo, observa-se o estado sólido (gelo) para temperaturas abaixo de 0 °C. Ao fornecer calor para o gelo, sua temperatura começa a aumentar até atingir 0 °C, quando ele sofre fusão e começa a transitar para o estado líquido. Durante a transição, a temperatura do gelo permanece constante.

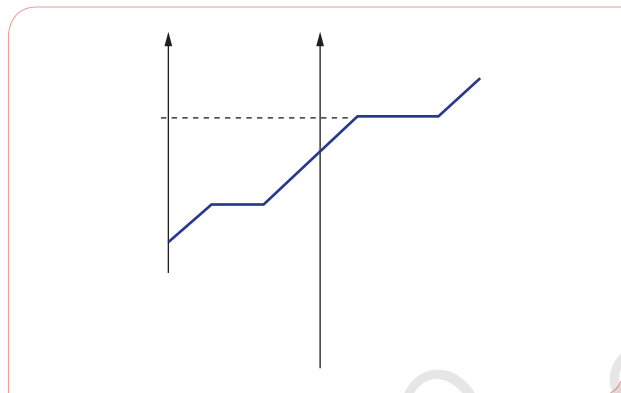


Diagrama de variação de temperatura e mudanças de fase da água.

Posteriormente, quando todo o gelo sofre fusão, a água no estado líquido começa a aumentar de temperatura. Quando ela atinge 100 °C, inicia-se o processo de vaporização, enquanto a temperatura permanece constante. Já no estado gasoso, o vapor d'água pode continuar a aumentar de temperatura.

Durante as transições de fase, a substância pode continuar recebendo ou cedendo calor, embora sua temperatura permaneça constante. Nesse caso, o calor trocado é chamado de calor latente. Por outro lado, entre as transições de fase, a temperatura varia e o calor trocado é chamado de calor sensível.

Para cada substância, o calor latente, denotado por L , é específico de cada mudança de fase. Ele é definido por

$$L = \frac{Q}{m}$$

onde Q é a quantidade de calor envolvida na mudança de fase e m é a massa da substância que passa pela mudança de estado. Assim, o calor latente possui unidade de energia por massa. No Sistema Internacional (SI), tem-se J/kg (Joule por quilograma), no entanto, é comum utilizar unidades de cal/g (caloria por grama). A quantidade de calor trocada durante a mudança de fase, para uma massa m , é então expressa por

$$Q = m \cdot L$$

O calor sensível é dado pela expressão

$$Q = m \cdot c_s \cdot \Delta\theta$$

Onde c_s é o calor específico da substância, em cal/(g °C). O calor específico é uma propriedade da matéria que diz quanta energia é necessária para elevar em 1 °C a temperatura de uma unidade de massa da substância. Com isso, nos casos em que toda a massa da matéria muda de estado, o calor trocado total é a soma do calor sensível com o calor latente.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. Sabendo que toda substância apresenta uma propriedade física que determina qual deve ser a quantidade de calor necessária para que sua temperatura varie em 1°C ou 1 K , no Sistema Internacional de Unidades, qual é o nome dessa propriedade e sua respectiva unidade?

- a) capacidade térmica e J/K.
- b) calor latente e J/kg.
- c) calor específico e J/kg · K.**
- d) calor específico e J/g · °C.
- e) coeficiente de dilatação volumétrica e °C⁻¹.

Resolução

A quantidade de calor em Joules necessária para variar 1 g de massa em até 1°C ou em 1 K é chamada de calor específico, portanto, sua unidade, segundo o SI, é o J/kg · K.

2. UFRGS-RS – Uma quantidade de calor $Q = 56\,100\text{ J}$ é fornecida a 100 g de gelo que se encontra inicialmente a -10°C .

Sendo

– o calor específico do gelo $c_g = 2,1\text{ J}/(\text{g }^\circ\text{C})$

– o calor específico da água $c_a = 4,2\text{ J}/(\text{g }^\circ\text{C})$ e
 – o calor latente de fusão $C_L = 330\text{ J/g}$,
 – a temperatura final da água, em °C, é, aproximadamente,

- a) 83,8
- b) 60,0
- c) 54,8
- d) 50,0**
- e) 37,7

Resolução

1ª Aquecimento do gelo:

$$Q_1 = m \cdot c_g \cdot \Delta\theta = 100 \cdot 2,1 \cdot (0 - (-10)) = 2\,100\text{ J}$$

2ª Derretimento total do gelo:

$$Q_2 = m \cdot C_L = 100 \cdot 330 = 33\,000\text{ J}$$

3ª Aquecimento da água:

$$Q_3 = Q_t - Q_1 - Q_2 = 56\,100 - 2\,100 - 33\,000 = 21\,000\text{ J}$$

$$Q_3 = m \cdot c_a \cdot \Delta\theta \Rightarrow 21\,000 = 100 \cdot 4,2(\theta_f - 0) \Rightarrow \theta_f = 50^\circ\text{C}$$

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO MBOSCO
 SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

ROTEIRO DE AULA

Estados físicos ou fases da matéria

Sólido

Líquido

Gasoso

Mudança de fase da matéria

fusão

evaporação

condensação

solidificação

sublimação

sublimação

inversa

Temperatura varia:

calor sensível

Temperatura constante:

calor latente

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. UFPR-PR – Em uma experiência para demonstrar princípios de calorimetria, um estudante fez o seguinte procedimento: colocou 100 g de água na forma de gelo, a 0 °C, em um recipiente vazio e o aqueceu até obter água a 10 °C. Na sequência, ele removeu aquela quantidade de água do recipiente e colocou mais 100 g de água, só que agora líquida, a 0 °C, no recipiente vazio e forneceu a mesma quantidade de calor utilizada na etapa anterior. Sabe-se que, no local, água congela a 0 °C, o calor latente de fusão da água vale $L = 80 \text{ cal/g}$ e o calor específico da água (tomado como constante em toda a faixa de temperatura da experiência) vale $c = 1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$. Além disso, desprezam-se todas as perdas de calor para o ambiente, e a capacidade térmica do recipiente também deve ser desprezada.

Considerando esses dados, determine a temperatura final da massa de água após a segunda etapa.

Na primeira etapa, o calor total é a soma do calor latente para fusão do gelo e do calor sensível para aquecimento da água:

$$Q_1 = m \cdot L = 100 \cdot 80 = 8000 \text{ cal}$$

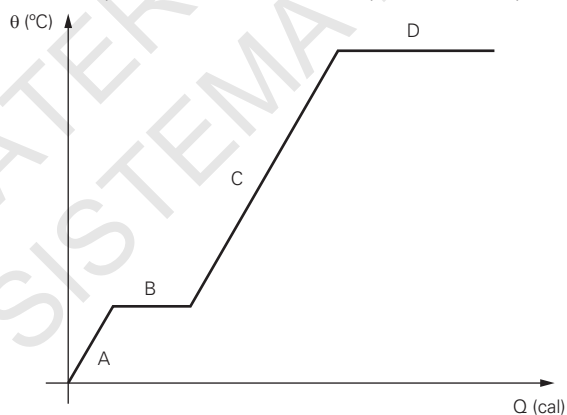
$$Q_2 = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 100 \cdot 1 \cdot (10 - 0) = 1000 \text{ cal}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = 8000 + 1000 = 9000 \text{ cal}$$

Na segunda etapa, o calor é usado apenas para aquecer a água, portanto, aplicamos a equação do calor sensível:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 100 \cdot 1 \cdot (\theta - 0) \Rightarrow \theta = 90^\circ\text{C}$$

2. Uerj-RJ – Observe no diagrama as etapas de variação da temperatura e de mudanças de estado físico de uma esfera sólida, em função do calor por ela recebido. Admita que a esfera é constituída por um metal puro.



Durante a etapa D, ocorre a seguinte mudança de estado físico:

- a) fusão
- b) sublimação

c) condensação

d) vaporização

Inicialmente, a esfera encontra-se na fase sólida. Portanto, a etapa A indica o aquecimento do sólido, enquanto a parte B indica a fusão. Na etapa C, já na fase líquida, o material é aquecido.

3. UFRGS-RS – Quando se fornece calor a uma substância, podem ocorrer diversas modificações decorrentes de propriedades térmicas da matéria e de processos que envolvem a energia térmica.

Considere as afirmações a seguir, sobre processos que envolvem fornecimento de calor.

III. Todos os materiais, quando aquecidos, expandem-se.

IV. A temperatura de ebulição da água depende da pressão.

V. A quantidade de calor a ser fornecida, por unidade de massa, para manter o processo de ebulição de um líquido é denominada calor latente de vaporização.

Quais estão corretas?

a) Apenas I.

b) Apenas II.

c) Apenas III.

d) Apenas II e III.

e) I, II e III.

[I] Falsa. A água apresenta uma dilatação anômala, na qual a água líquida se contrai quando aquecida na faixa de temperaturas de 0 a 4°C.

[II] Verdadeira. Quanto maior a pressão, maior a temperatura de ebulição.

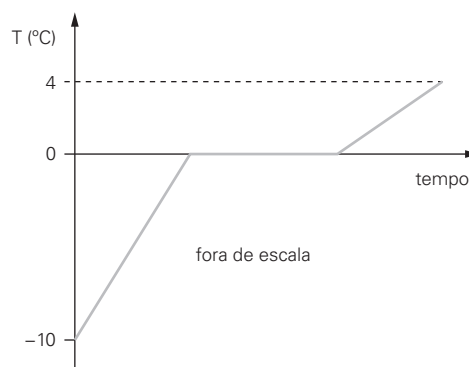
[III] Verdadeira. No processo de ebulição, o calor latente de vaporização é a energia necessária para vaporizar uma unidade de massa de água.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidades: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

4. Unesp-SP – Um bloco de gelo de massa 200 g inicialmente à temperatura de -10°C foi mergulhado em um recipiente de capacidade térmica $200 \text{ cal/}^\circ\text{C}$ contendo água líquida a 24°C . Após determinado intervalo de tempo, esse sistema entrou em equilíbrio térmico à temperatura de 410°C .

O gráfico mostra como variou a temperatura apenas do gelo, desde sua imersão no recipiente até ser atingido o equilíbrio térmico.



calor específico da água líquida	1 cal/g · °C
calor específico do gelo	0,5 cal/g · °C
calor latente de fusão do gelo	80 cal/g

Considerando as informações contidas no gráfico e na tabela, que o experimento foi realizado ao nível do mar e desprezando as perdas de calor para o ambiente, calcule a quantidade de calor absorvido pelo bloco de gelo, em calorias, desde que foi imerso na água até ser atingido o equilíbrio térmico. Calcule também a massa de água líquida contida no recipiente, em gramas, antes da imersão do bloco de gelo.

Quantidade de calor recebida pela massa correspondente ao bloco de gelo:

$$Q_1 = m c_{\text{gelo}} \Delta\theta = 200 \cdot 0,5 \cdot 10 = 1\,000 \text{ cal}$$

$$Q_2 = m c_{\text{água}} \Delta\theta = 200 \cdot 1 \cdot 4 = 800 \text{ cal}$$

$$Q_3 = m L = 200 \cdot 80 = 16\,000 \text{ cal}$$

$$Q_{\text{gelo}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 17\,800 \text{ cal}$$

A massa de água é obtida da conservação do calor trocado:

$$Q_{\text{água}} + Q_{\text{rec}} + Q_{\text{gelo}} = 0 \Rightarrow M c_{\text{água}} \Delta\theta + C \Delta\theta + 17\,800$$

$$M \cdot 1 \cdot (4 - 24) + 200 \cdot (4 - 24) + 17\,800 \Rightarrow M = \frac{17\,800 - 4\,000}{20} = 690 \text{ g}$$

5. **Ifsul-RS** – Em um recipiente adiabático, onde não ocorrem trocas de calor com o ambiente, coloca-se 80 g de gelo a 0 °C com 120 g de água. Depois de certo tempo, observa-se que há 50 g de gelo boiando na água em equilíbrio térmico. Sendo o calor específico

da água igual a 1,0 cal/g °C e o calor latente de fusão do gelo igual 80 cal/g, a temperatura final da mistura e a temperatura inicial da água serão, respectivamente, iguais a

- a) 0,5 °C e 16 °C
b) 0,0 °C e 20,0 °C
 c) 0,0 °C e 16,0 °C
 d) 0,5 °C e 20,0 °C

Calor latente recebido pelo gelo que derrete:

$$Q_1 = m \cdot L = 30 \cdot 80 = 2\,400 \text{ cal}$$

Calor sensível cedido pela água ao gelo:

$$Q_2 = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 120 \cdot 1 \cdot (0 - \theta) = -120 T_i \text{ cal}$$

Logo,

$$Q_1 + Q_2 = 0 = 2\,400 - 120 T_i \Rightarrow T_i = 20 \text{ °C}$$

6. **UPF-RS** – Qual a quantidade de calor que devemos fornecer a 200 g de gelo a 20 °C para transformá-lo em água a 50 °C?

$$\left(\text{Considere: } c_{\text{gelo}} = 0,5 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{°C}}; C_{\text{água}} = 1 \left(\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{°C}} \right) \right)$$

$$L_{\text{fusão}} = 80 \text{ cal/g}$$

- a) 28 kcal**
 b) 26 kcal
 c) 16 kcal
 d) 12 kcal
 e) 18 kcal

$$Q = Q_{\text{gelo}} + Q_{\text{fusão}} + Q_{\text{água}} = m c_g \Delta\theta_{\text{gelo}} + m L_{\text{fusão}} + m c_{\text{água}} \Delta\theta_{\text{água}}$$

$$Q = 200 \cdot 0,5 \cdot (0 - (-20)) + 200 \cdot 80 + 200 \cdot 1 \cdot (50 - 0) = 29\,000 \text{ cal}$$

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. **Efomm-RJ** – Em um dia muito quente, em que a temperatura ambiente era de 30 °C, sr. Aldemir pegou um copo com volume de 194 cm³ de suco à temperatura ambiente e mergulhou nele dois cubos de gelo de massa 15 g cada um. O gelo estava a -4 °C e fundiu-se por completo. Supondo que o suco tem o mesmo calor específico e a mesma densidade que a água e que a troca de calor ocorre somente entre o gelo e suco, qual a temperatura final do suco do sr. Aldemir?

Assinale a alternativa CORRETA.

$$\text{Dados: (Considere: } c_{\text{gelo}} = 0,5 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{°C}}; C_{\text{água}} = 1 \left(\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{°C}} \right)$$

$$L_{\text{gelo}} = 80 \text{ cal/g}$$

- a) 0 °C c) 12 °C e) 26 °C
 b) 2 °C d) 15 °C

8. **Eear-SP** – Um estudante irá realizar um experimento de física e precisará de 500 g de água a 0 °C. Acontece que ele tem disponível somente um bloco de gelo de massa igual a 500 g e terá que transformá-lo em água. Considerando o sistema isolado, a quantidade de calor, em cal necessária para que o gelo derreta será:

$$\text{Dados: calor de fusão do gelo} = 80 \text{ cal/g} \cdot \text{°C}$$

- a) 40
 b) 400
 c) 4 000
 d) 40 000

9. **Ifsul-RS** – Um copo com 300 g de água foi colocado sobre uma mesa de cozinha no início da manhã e ali permaneceu até meio-dia, horário em que a temperatura estava 30 °C. Para tomar essa água gelada, um estudante colocou-a com dois cubos de gelo em um recipiente termicamente isolado e aguardou o sistema entrar em equilíbrio térmico. Sabe-se que: esse conjunto estava submetido à pressão de 1 atm; o calor

latente de fusão do gelo é $L_f = 80 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$; o calor especí-

fico do gelo é $c_{\text{gelo}} = 0,5 \frac{\text{cal}}{\text{g}} \cdot \text{°C}$; o calor específico da

água é $c_{\text{água}} = 1 \frac{\text{cal}}{\text{g}} \cdot \text{°C}$; os dois cubos de gelo estavam

inicialmente a 0 °C e cada um possuía massa de 50 g.

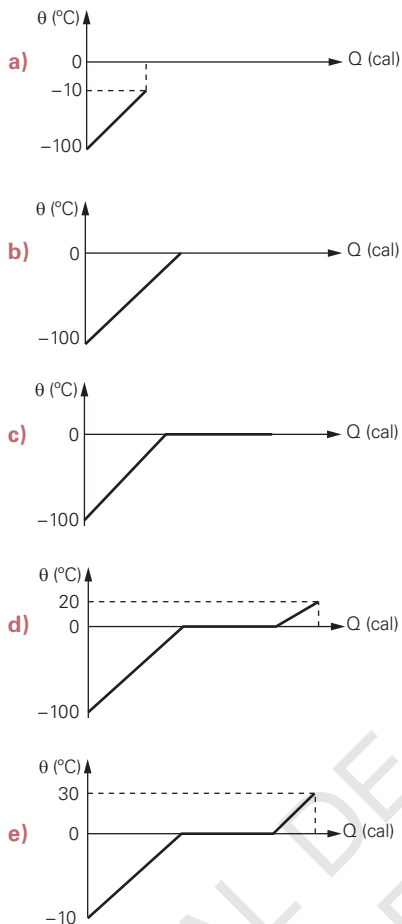
No final do processo, a temperatura resultante do equilíbrio térmico foi igual a

- a) 0,00 °C
 b) 2,50 °C
 c) 20,5 °C
 d) 22,5 °C

10. **PUC-RJ** – Em uma experiência de física, um aluno verifica que o calor de fusão de um dado objeto é 50 J/kg. Para outro objeto com o dobro da massa, mas feito do mesmo material, o calor de fusão, em J/kg deve ser

- a) 200 c) 50 e) 12,5
 b) 100 d) 25

- 11. FGV** – Uma pedra de gelo, de 1,0 kg de massa, é retirada de um ambiente em que se encontrava em equilíbrio térmico a $-100\text{ }^\circ\text{C}$ e recebe 150 kcal de uma fonte de calor. Considerando o calor específico do gelo igual a $0,5\text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$, o da água igual a $1,5\text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$ e o calor latente de fusão do gelo igual a 80 cal/g , o gráfico que representa corretamente a curva de aquecimento dessa amostra é:



- 12. Mackenzie-SP** – Para a prática de esportes olímpicos, é adequada a piscina olímpica. As dimensões dela, segundo a Federação Internacional de Natação, devem ser de 50 m, para o comprimento; 25 m, para a largura; e 2,0 m, para a profundidade. A temperatura média ideal da água deve ser igual a $25\text{ }^\circ\text{C}$.

A quantidade de energia necessária, em joules, a ser fornecida para deixar a água da piscina na temperatura ideal – sendo essa a única troca de energia a se considerar –, observando que inicialmente a água, que preenche todo o volume da piscina, estava a $20\text{ }^\circ\text{C}$, é igual a

Dados:

$$- c_{\text{água}} = 1,0\text{ cal/g}^\circ\text{C} \text{ (calor específico sensível da água)}$$

$$- \rho_{\text{água}} = 1,0\text{ g/cm}^3 \text{ (massa específica da água)}$$

$$1,0\text{ cal} = 4,0\text{ J}$$

- a) $2,0 \cdot 10^{10}\text{ J}$
 b) $3,0 \cdot 10^{10}\text{ J}$
 c) $4,0 \cdot 10^{10}\text{ J}$
 d) $5,0 \cdot 10^{10}\text{ J}$
 e) $6,0 \cdot 10^{10}\text{ J}$

- 13. PUC-RJ** – Uma quantidade de 750 ml de água a $90\text{ }^\circ\text{C}$ é paulatinamente resfriada até chegar ao equilíbrio térmico com o reservatório que a contém, cedendo um total de 130 kcal para esse reservatório. Sobre a água ao fim do processo, é correto afirmar que

Considere: calor específico da água líquida

$$- C_{\text{água}} = 1,0\text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$- \text{calor específico do gelo } C_{\text{gelo}} = 0,55\text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}.$$

$$- \text{calor latente de solidificação da água } C_L = 80\text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}.$$

$$- \text{densidade da água líquida } \rho_{\text{água}} = 1,0\text{ g/mL}$$

- a) a água se encontra inteiramente em forma de gelo.
 b) a água se encontra a uma temperatura de $0\text{ }^\circ\text{C}$.
 c) a água se encontra inteiramente em estado líquido.
 d) a temperatura final da água é de $4\text{ }^\circ\text{C}$.
 e) há uma mistura de gelo e água líquida.

- 14. Unifesp-SP** – Considere um copo de vidro de 100 g contendo 200 g de água líquida, ambos inicialmente em equilíbrio térmico a $20\text{ }^\circ\text{C}$. O copo e a água líquida foram aquecidos até o equilíbrio térmico a $50\text{ }^\circ\text{C}$, em um ambiente fechado por paredes adiabáticas, com vapor d'água inicialmente a $120\text{ }^\circ\text{C}$. A tabela apresenta valores de calores específicos e latentes das substâncias envolvidas nesse processo.

calor específico da água líquida	$1\text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$
calor específico do vapor de água	$0,5\text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$
calor específico do vidro	$0,2\text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$
calor latente de liquefação do vapor de água	-540 cal/g

Considerando os dados da tabela, que todo o calor perdido pelo vapor tenha sido absorvido pelo copo com água líquida e que o processo tenha ocorrido ao nível do mar, calcule:

- a) a quantidade de calor, em cal, necessária para elevar a temperatura do copo com água líquida de $20\text{ }^\circ\text{C}$ para $50\text{ }^\circ\text{C}$.
 b) a massa de vapor d'água, em gramas, necessária para elevar a temperatura do copo com água líquida até atingir o equilíbrio térmico a $50\text{ }^\circ\text{C}$.

- 15. Uerj-SP** – Um trem com massa de 100 toneladas e velocidade de 72 km/h é freado até parar. O trabalho realizado pelo trem, até atingir o repouso, produz energia suficiente para evaporar completamente uma massa x de água.

Sendo a temperatura inicial da água igual a $20\text{ }^\circ\text{C}$, calcule, em kg, o valor de x .

- 16. PUC-RJ** – Um recipiente isolado contém uma massa de gelo, $m = 5\text{ kg}$, à temperatura $T = 0\text{ }^\circ\text{C}$. Por dentro desse recipiente, passa uma serpentina pela qual circula um líquido que se quer resfriar. Suponha que o líquido entre na serpentina a $28\text{ }^\circ\text{C}$ e saia dela a $8\text{ }^\circ\text{C}$. O calor específico do líquido é $c_L = 1,0\text{ cal/g}^\circ\text{C}$, o calor latente de fusão do gelo é $L_F = 80\text{ cal/g}$ e o calor específico da água é $C_A = 1,0\text{ cal/g}^\circ\text{C}$.

- a) Qual é a quantidade total de líquido (em kg) que deve passar pela serpentina de modo a derreter todo o gelo?
- b) Quanto de calor (em kcal) a água (formada pelo gelo derretido) ainda pode retirar – do líquido que passa pela serpentina – até que a temperatura de saída se iguale à de entrada?

17. UFPR-PR – Recentemente houve incidentes com meteoritos na Rússia e na Argentina, mas os danos foram os menores possíveis, pois, em geral, os meteoritos, ao sofrerem atrito com o ar, se incineram e se desintegram antes de tocar o solo. Suponha que um meteorito de 20 kg, formado basicamente por gelo, entra na atmosfera,

sofre atrito com o ar e é vaporizado por completo antes de tocar o solo. Considere o calor latente de fusão e de vaporização da água iguais a 300 kJ/kg e 2 200 kJ/kg, respectivamente. O calor específico do gelo é 0,5 cal/(g · °C) e da água líquida é 1,0 cal/(g · °C). Admita que 1 cal é igual a 4,2 J. Supondo que o bloco de gelo estava à temperatura de -10 °C antes de entrar na atmosfera, calcule qual é a quantidade de energia fornecida pelo atrito, em joules, para:

- a) aumentar a temperatura do bloco de gelo de -10 °C até 0 °C, mantendo o estado físico.
- b) transformar o gelo que está na temperatura de 0 °C em água líquida a 20 °C.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C6-H21

A elevação da temperatura das águas de rios, lagos e mares diminui a solubilidade do oxigênio, pondo em risco as diversas formas de vida aquática que dependem desse gás. Se essa elevação de temperatura acontece por meios artificiais, dizemos que existe poluição térmica. As usinas nucleares, pela própria natureza do processo de geração de energia, podem causar esse tipo de poluição.

Que parte do ciclo de geração de energia das usinas nucleares está associada a esse tipo de poluição?

- a) Fissão do material radioativo.
- b) Condensação do vapor-d'água no final do processo.
- c) Conversão de energia das turbinas pelos geradores.
- d) Aquecimento da água líquida para gerar vapor d'água.
- e) Lançamento do vapor-d'água sobre as pás das turbinas.

19. Enem

C6-H21

A energia geotérmica tem sua origem no núcleo derretido da Terra, onde as temperaturas atingem 4 000 °C. Essa energia é primeiramente produzida pela decomposição de materiais radioativos dentro do planeta. Em fontes geotérmicas, a água, aprisionada em um reservatório subterrâneo, é aquecida pelas rochas ao redor e fica submetida a altas pressões, podendo atingir temperaturas de até 370 °C sem entrar em ebulição. Ao ser liberada na superfície, à pressão ambiente, ela se vaporiza e se resfria, formando fontes ou gêiseres. O vapor de poços geotérmicos é separado da água e é utilizado no funcionamento de turbinas para gerar eletricidade. A água quente pode ser utilizada para aquecimento direto ou em usinas de dessalinização.

Roger A. Hinrichs e Merlin Kleinbach. *Energia e meio ambiente*. Ed. ABDR. (Adaptado.)

Depreende-se das informações do texto que as usinas geotérmicas

- a) utilizam a mesma fonte primária de energia que as usinas nucleares, sendo, portanto, semelhantes os riscos decorrentes de ambas.
- b) funcionam com base na conversão de energia potencial gravitacional em energia térmica.
- c) podem aproveitar a energia química transformada em térmica no processo de dessalinização.
- d) assemelham-se às usinas nucleares no que diz respeito à conversão de energia térmica em cinética e, depois, em elétrica.
- e) transformam inicialmente a energia solar em energia cinética e, depois, em energia térmica.

20. Enem

C6-H21

A Terra é cercada pelo vácuo espacial e, assim, ela só perde energia ao irradiá-la para o espaço. O aquecimento global que se verifica hoje decorre de pequeno desequilíbrio energético, de cerca de 0,3%, entre a energia que a Terra recebe do Sol e a energia irradiada a cada segundo, algo em torno de 1 W/m². Isso significa que a Terra acumula, anualmente, cerca de 1,6 · 10²² J. Considere que a energia necessária para transformar 1 kg de gelo a 0 °C em água líquida seja igual a 3,2 · 10⁵ J. Se toda a energia acumulada anualmente fosse usada para derreter o gelo nos polos (a 0 °C), a quantidade de gelo derretida nesse mesmo período, em trilhões de toneladas, estaria entre

- a) 20 e 40.
- b) 40 e 60.
- c) 60 e 80.
- d) 80 e 100.
- e) 100 e 120.

DIAGRAMA DE FASE

ALAIN LACROIX | DREAMSTIME.COM

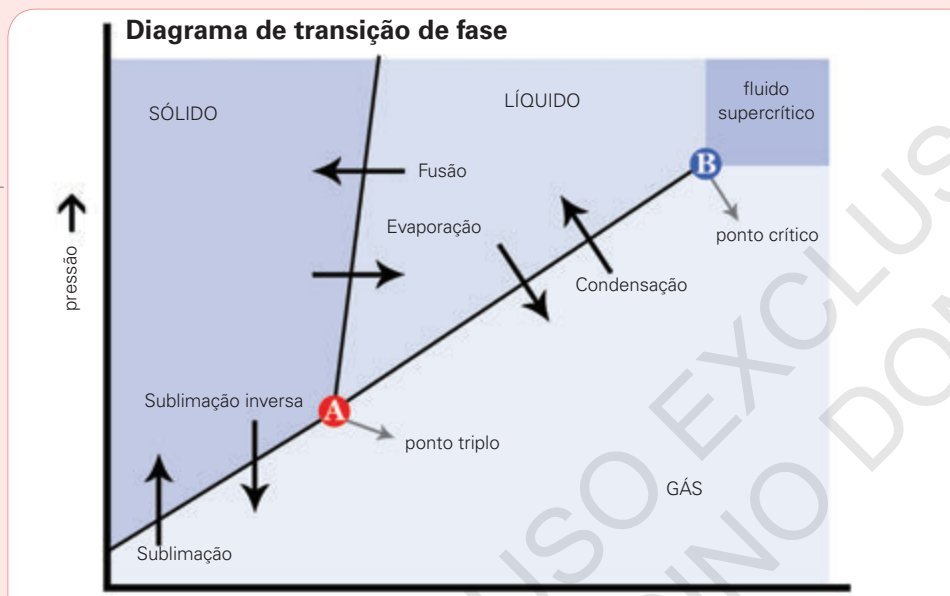


Diagrama de fase válido para substâncias diversas.

Como vimos anteriormente, a matéria pode ser observada em três estados físicos, ou fases: sólido, líquido ou gasoso. A mudança de fase ocorre em função da temperatura e da pressão a que a matéria está submetida. Por exemplo, a água sob pressão de 1 atm passa do estado líquido para o estado sólido à temperatura 0 °C, e do estado líquido para o estado gasoso à temperatura de 100 °C. Diminuir a pressão faria que a temperatura de ebulição fosse menor que 100 °C. No monte Everest, por exemplo, a uma altitude de 8850 metros, a pressão atmosférica cai para aproximadamente 0,32 atm; nesse caso, água entra em ebulição à temperatura de 72 °C.

Para melhor visualizar a variação das fases da matéria com a pressão e a temperatura, podemos traçar um gráfico cujas abscissas correspondem à temperatura, θ , e as ordenadas, à pressão, p . Então, para um volume fixo de dada substância, um par de coordenadas (θ, p) define o estado físico dela, que pode ser facilmente localizado no gráfico. Dessa forma, o gráfico fica dividido em três regiões, que correspondem às fases da matéria, e ele é chamado **diagrama de fase** ($p \times \theta$).

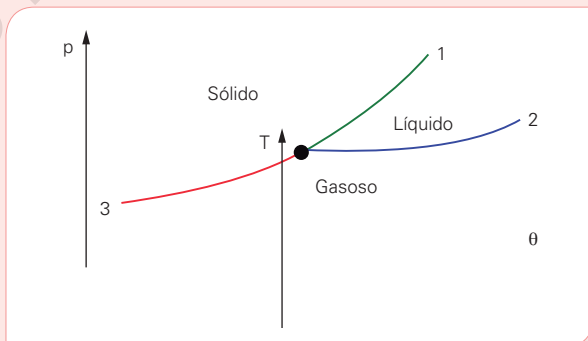


Diagrama de fase com as curvas de fusão, vaporização e sublimação.

- Diagrama de fase
- Curvas de fusão, vaporização e sublimação

HABILIDADES

- Interpretação de um diagrama de fase.
- Elementos e características de um diagrama de fase.
- Compreensão dos efeitos da temperatura e da pressão sobre o estado físico da matéria.

No diagrama de fase ilustrado, as linhas que separam as três regiões definem os valores de (θ, p) , nos quais ocorrem as mudanças de fase. Elas são:

1. curva de fusão: pontos entre as regiões das fases sólida e líquida
2. curva de vaporização: pontos entre as regiões das fases líquida e gasosa
3. curva de sublimação: pontos entre as regiões das fases sólida e gasosa

Cada uma dessas curvas abrange as condições de temperatura e pressão em que duas fases de uma mesma substância ocorrem em equilíbrio. Por exemplo, qualquer ponto sobre a curva 1 indica os valores de (θ, p) para os quais observa-se a substância nas fases líquida e sólida coexistindo em equilíbrio.

No ponto onde as três curvas se encontram, denotado pela letra T no diagrama, a matéria pode ser vista nas três fases, coexistindo em equilíbrio no recipiente. Por essa razão, esse ponto é chamado de ponto triplo. Por exemplo, o ponto triplo para a água ocorre a aproximadamente $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $0,006\text{ atm}$ ($4,58\text{ mmHg}$).

Observando o diagrama de fase, no caso da curva de fusão, vemos que o aumento da pressão faz que a temperatura de fusão da substância também aumente. Esse fenômeno pode ser compreendido do ponto de vista do comportamento das moléculas da matéria. Nesse sentido, a fusão ocorre quando as moléculas tendem a se afastar umas das outras, forçando a ma-

téria a passar do estado sólido para o líquido. Porém, o aumento da pressão torna esse afastamento mais difícil, de modo que é preciso mais energia, ou seja, maior temperatura, para que ocorra a fusão.



As lâminas dos patins exercem pressão sobre o gelo, fazendo que ele derreta momentaneamente.

Um exemplo curioso da relação entre a pressão e a fusão ocorre nas pistas de patinação sobre o gelo. Os patins dessa prática esportiva possuem lâminas finas que ficam em contato com a superfície congelada. Todo o peso do patinador fica distribuído sobre essas lâminas, de modo que a pressão que elas exercem sobre o gelo é bastante alta. Assim, o gelo imediatamente abaixo das lâminas derrete, permitindo que o patinador deslize. Depois de retirada a pressão dos patins, a água derretida volta a congelar.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. Ifsul-RS – Quando um patinador desliza sobre o gelo, o seu deslizamento é facilitado, sendo o atrito diminuído, porque parte do gelo se transforma em água. Se o gelo se encontra a uma temperatura inferior a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, isso ocorre porque

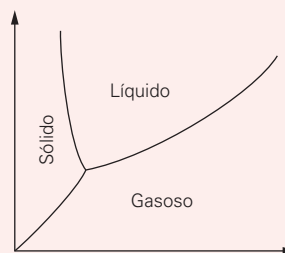
- a) o aumento da pressão sobre o gelo diminui a temperatura de fusão.
- b) a pressão sobre o gelo e a temperatura de fusão não se alteram.
- c) a diminuição da pressão sobre o gelo diminui a temperatura de fusão.
- d) o aumento da pressão sobre o gelo aumenta a temperatura de fusão.

Resolução

Esse fenômeno pode ser compreendido através do diagrama de fase da água. Nesse diagrama, é possível observar que a temperatura de fusão da água diminui com o aumento da pressão. Por isso, o gelo se funde.

2. UFPR-PR – Entre as grandezas físicas que influenciam os estados físicos das substâncias, estão o volume, a temperatura e a pressão. O gráfico a seguir representa o comportamento da água com relação aos estados físicos que ela

pode ter. Nesse gráfico é possível representar os estados físicos sólido, líquido e gasoso. Assinale a alternativa que apresenta as grandezas físicas correspondentes aos eixos das abscissas e das ordenadas, respectivamente.



- a) Pressão e volume.
- b) Volume e temperatura.
- c) Volume e pressão.
- d) Temperatura e pressão.
- e) Temperatura e volume.

Resolução

Trata-se do diagrama de fase, que relaciona a temperatura e a pressão com as fases de dada substância.

ROTEIRO DE AULA

Estados físicos ou fases da matéria

Diagrama de fase: representação gráfica das

curvas de mudança de fase

curva de fusão

curva de vaporização

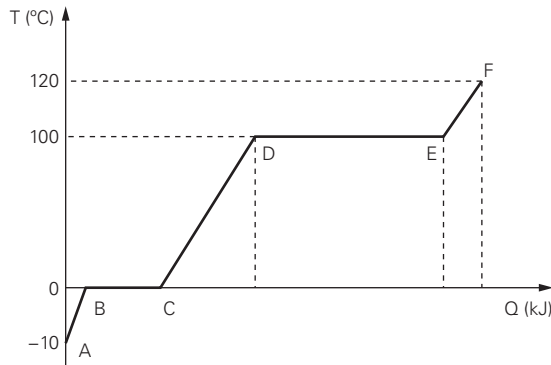
curva de sublimação

Características do diagrama de fase

Variação das condições de temperatura e pressão para mudanças de fase.

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. **UFPR-PR** – O gráfico a seguir, obtido experimentalmente, mostra a curva de aquecimento que relaciona a temperatura de uma certa massa de um líquido em função da quantidade de calor a ele fornecido.

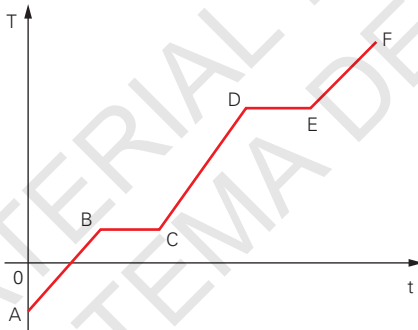


Sabemos que, por meio de gráficos desse tipo, é possível obter os valores do calor específico e do calor latente das substâncias estudadas. Assinale a alternativa que fornece corretamente o intervalo em que se pode obter o valor do calor latente de vaporização desse líquido.

- a) AB. c) DE. e) EF.
b) BD. d) CD.

Segmento AB – a substância se encontra em seu estado sólido;
Segmento BC – encontramos uma fusão, que seria a mudança do estado sólido para o líquido;
Segmento CD – a substância se encontra em seu estado líquido;
Segmento DE – encontramos uma vaporização, que se dá quando esquentamos um líquido até ele evaporar;
Segmento EF – a substância se encontra em seu estado gasoso.
Dessa forma, do gráfico podemos concluir que o calor latente de vaporização se encontra no segmento DE.

2. **UFSCar-SP** – O gráfico apresenta a chamada curva de aquecimento de uma substância pura, isto é, mostra como a temperatura T de uma substância de massa m varia em função do tempo de seu aquecimento t .



Analisando as diferentes partes do gráfico, é correto afirmar que, na transformação

- a) BC, toda a substância se encontra em estado sólido e sua temperatura está aumentando.
b) BC e na DE, a substância não está sendo aquecida, ocorrendo mudança de estado físico.
c) CD, está ocorrendo mudança de estado físico e sua temperatura permanece constante.
d) EF, toda a substância se encontra em estado gasoso e sua temperatura está aumentando.
e) AF, toda a substância recebe calor do meio sem que haja mudança de estado físico.

De acordo com o gráfico e analisando as alternativas, temos:

- a) Incorreta, pois a temperatura é constante.
b) Incorreta, pois a substância está sendo aquecida, não havendo aumento da temperatura, ou seja, ela está constante.
c) Incorreta, a temperatura não permanece constante.
d) Correta, toda a substância se encontra em estado gasoso e sua temperatura está aumentando.
e) Incorreta, há mudança de estado físico.

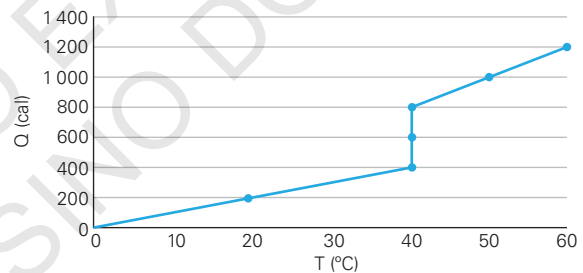
3. **Acafe-SC** – Em Criciúma (SC), uma mina de carvão tem 500 m de profundidade. Coloca-se no fundo da mina um recipiente aberto com água a ferver.

O que acontece com a água nessa situação?

- a) Entra em ebulição a uma temperatura superior a 100 °C.
b) Entra em ebulição a uma temperatura inferior a 100 °C.
c) Entra em ebulição a 100 °C.
d) Não consegue entrar em ebulição.

Por causa da altitude, a pressão atmosférica na mina será maior que a pressão atmosférica ao nível do mar. Isso faz que a temperatura de ebulição da água aumente. Ao nível do mar, a água entra em ebulição a 100 °C; portanto, dentro da mina, a temperatura de ebulição é superior a 100 °C.

4. **Unifesp-SP** – O gráfico representa o processo de aquecimento e mudança de fase de um corpo inicialmente na fase sólida, de massa igual a 100 g.



Sendo Q a quantidade de calor absorvida pelo corpo, em calorias, e T a temperatura do corpo, em graus Celsius, determine:

- a) o calor específico do corpo, em $\text{cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$, na fase sólida e na fase líquida.
b) a temperatura de fusão, em $^\circ\text{C}$, e o calor latente de fusão, em calorias, do corpo.

$$\text{a) Fase sólida: } Q_1 = m \cdot c_s \cdot \Delta\theta_1$$

$$400 = 100 \cdot c_s \cdot 40 \rightarrow c_s = 0,10 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$$

$$\text{Fase líquida: } Q_2 = m \cdot c_L \cdot \Delta\theta_2$$

$$400 = 100 \cdot c_L \cdot (60 - 40) \rightarrow c_L = 0,20 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$$

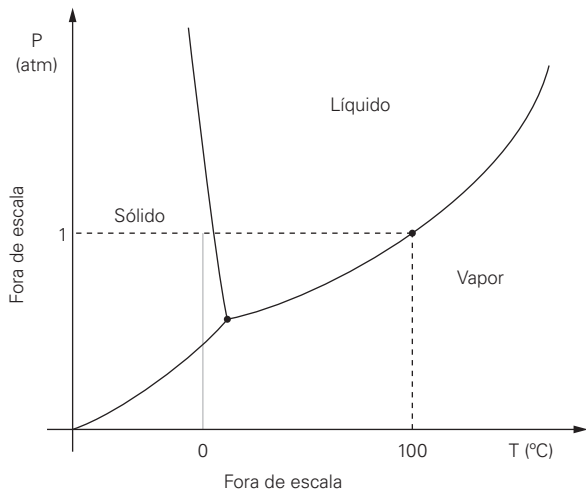
b) Conforme o gráfico, a fusão ocorre na temperatura $\theta_F = 40^\circ\text{C}$. A quantidade de calor latente, em calorias, associada ao processo de fusão do material é $Q = 400 \text{ cal}$.

Assim sendo, o calor específico latente de fusão do material LF, em cal/g , será dado por:

$$Q = m \text{ LF} \rightarrow 400 = 100 \text{ LF}$$

$$\text{LF} = 4,0 \text{ cal/g}$$

5. UCS-RS – O diagrama de fases da água, representado a seguir, permite avaliar o estado físico de uma amostra de água em função da pressão e da temperatura às quais está submetida.



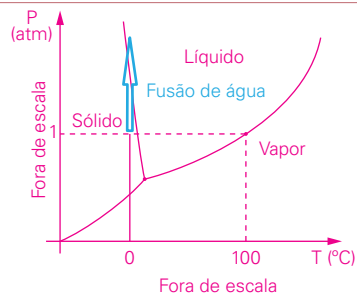
Com base no diagrama de fases da água, considere as afirmativas.

- I. A patinação no gelo ocorre porque a pressão que a lâmina dos patins exerce sobre o gelo provoca a fusão da água, permitindo o deslizamento.
- II. A utilização da panela de pressão acelera o cozimento dos alimentos, pois possibilita o aumento da temperatura de ebulição da água.
- III. A água apresenta menor temperatura de ebulição em Caxias do Sul-RS, se comparada a uma cidade localizada no nível do mar, onde a pressão atmosférica é maior.

Das afirmativas, pode-se dizer que

- a) apenas I está correta.
- b) apenas II está correta.
- c) apenas I e III estão corretas.
- d) apenas II e III estão corretas.
- e) I, II e III estão corretas.**

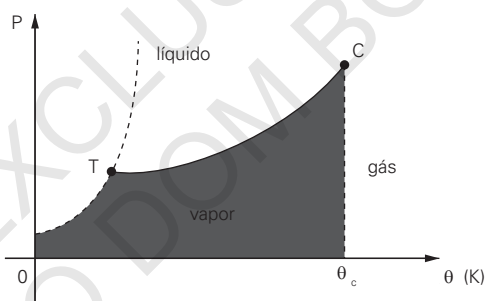
II) Correta. A patinação no gelo ocorre porque a pressão que a lâmina dos patins exerce sobre o gelo provoca a fusão da água, permitindo o deslizamento.



III) Correta. A utilização da panela de pressão acelera o cozimento dos alimentos, pois possibilita o aumento da temperatura pela elevação do número de colisões entre as moléculas de água e, consequentemente, da temperatura de ebulição dela.

III) Correta. A água apresenta menor temperatura de ebulição em Caxias do Sul-RS, se comparada a uma cidade localizada no nível do mar, pois nessa cidade a pressão atmosférica é menor. Quanto menor a pressão, menor a "resistência" à mudança de estado.

6. Fatec-SP – Considere o diagrama de fases a seguir, em que p representa a pressão e θ , a temperatura absoluta da substância.



É correto afirmar que

- a) a curva TC representa a solidificação da substância.
- b) acima de θ_c o sistema é tetrafásico.
- c) gás é um estado da substância que se consegue liquefazer por compressão isotérmica.
- d) gás é um estado da substância que não pode se tornar líquido por compressão isotérmica.**
- e) no diagrama está representada uma isoterma.

No gráfico, observa-se que, para qualquer ponto no estado gasoso, a variação de pressão com temperatura constante não atravessa uma curva de transição, de modo que o gás não pode se tornar líquido nesse processo.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidades: Utilizar leis físicas e (ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e (ou) do eletromagnetismo.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Col. Naval-RJ – Com relação à terminologia, coloque V (verdadeiro) ou F (falso).

- () Temperatura – grandeza física que representa a medida do estado de agitação médio das moléculas de um corpo.
- () Calor – energia térmica que passa, de forma espontânea, do corpo de menor temperatura para o de maior temperatura.
- () Fusão – mudança de estado físico sofrida por um líquido ao doar uma certa quantidade de calor.
- () Evaporação – passagem do estado líquido para o estado gasoso que ocorre de forma lenta.
- () Equilíbrio térmico – condição física na qual as trocas de calor entre dois ou mais corpos deixam de existir.

() Convecção – processo de transmissão de calor que ocorre pela movimentação de massas, em especial, nos líquidos e nos gases.

() Caloria – quantidade de calor necessária para que 1 g de qualquer substância tenha sua temperatura alterada em 1°C .

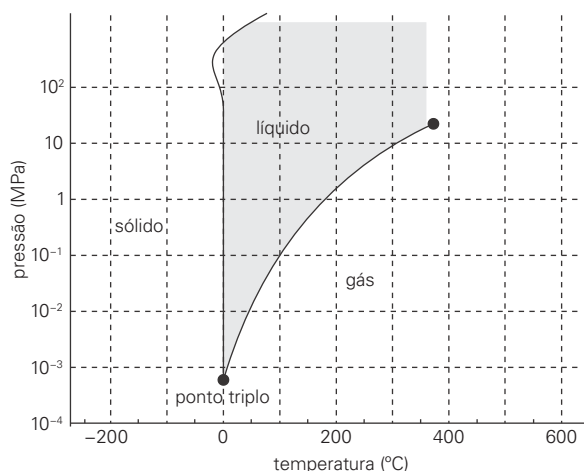
Assinale a opção correta.

- a) V – V – V – F – F – V – F
- b) F – F – V – V – F – F – V
- c) F – F – F – V – F – V – V
- d) V – F – F – V – V – V – F
- e) V – V – F – F – V – F – F

8. IF-SP – A mudança de fase denominada sublimação ocorre quando

- o gelo seco é exposto ao ar ambiente.
- o gelo comum é retirado do congelador.
- um prego se enferruja com a exposição ao ar úmido.
- uma porção de açúcar comum é aquecida até carbonizar-se.
- uma estátua de mármore é corroída pela chuva ácida.

9. Esc. Naval-RJ – Observe o gráfico a seguir.



Uma máquina de café expresso possui duas pequenas caldeiras mantidas sob uma pressão de 1 MPa. Duas resistências elétricas aquecem separadamente a água no interior das caldeiras até as temperaturas T_A °C, na caldeira com água para o café, e T_B °C, na caldeira destinada a produzir vapor d'água para aquecer leite. Assuma que a temperatura do café na xícara, T_C °C, não deve ultrapassar o ponto de ebulição da água e que não há perdas térmicas, ou seja, $T_C = T_A$. Considerando o diagrama de fases no gráfico, quanto vale, aproximadamente, o menor valor, em kelvins, da diferença $T_B - T_A$?

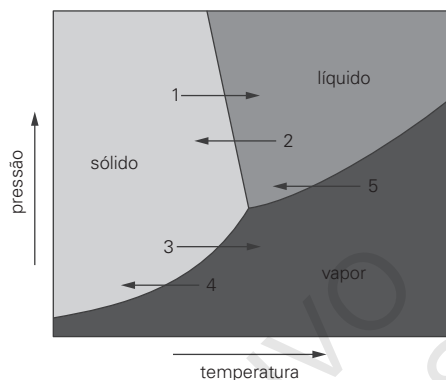
- 180
- 130
- 80
- 30
- zero

10. Unesp-SP – A liofilização é um processo de desidratação de alimentos que, além de evitar que seus nutrientes saiam com a água, diminui bastante sua massa e seu volume, facilitando o armazenamento e o transporte. Alimentos liofilizados também têm seus prazos de validade aumentados, sem perder características como aroma e sabor.

O processo de liofilização segue as seguintes etapas:

- O alimento é resfriado até temperaturas abaixo de 0 °C, para que a água contida nele seja solidificada.
- Em câmaras especiais, sob baixíssima pressão (menores do que 0,006 atm), a temperatura do alimento é elevada, fazendo que a água sólida seja sublimada. Dessa forma, a água sai do alimento sem romper suas estruturas moleculares, evitando perdas de proteínas e vitaminas.

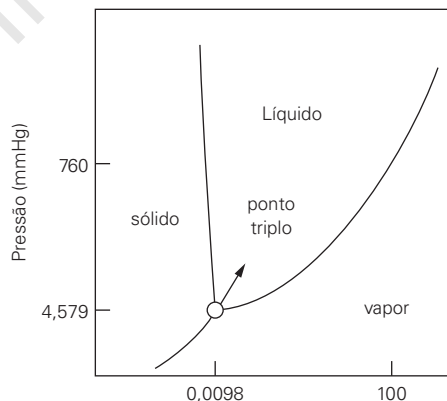
O gráfico mostra parte do diagrama de fases da água e cinco processos de mudança de fase, representados pelas setas numeradas de 1 a 5.



A alternativa que melhor representa as etapas do processo de liofilização, na ordem descrita, é

- 4 e 1.
- 2 e 1.
- 2 e 3.
- 1 e 3.
- 5 e 3.

11. Unifesp-SP – A sonda Phoenix, lançada pela Nasa, detectou em 2008 uma camada de gelo no fundo de uma cratera na superfície de Marte. Nesse planeta, o gelo desaparece nas estações quentes e reaparece nas estações frias, mas a água nunca foi observada na fase líquida. Com o auxílio do diagrama de fase da água, analise as três afirmações seguintes.

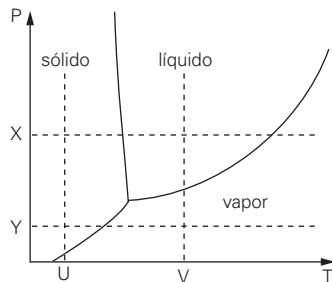


- O desaparecimento e o reaparecimento do gelo, sem a presença da fase líquida, sugerem a ocorrência de sublimação.
- Se o gelo sofre sublimação, a pressão atmosférica local deve ser muito pequena, inferior à pressão do ponto triplo da água.
- O gelo não sofre fusão porque a temperatura no interior da cratera não ultrapassa a temperatura do ponto triplo da água.

De acordo com o texto e com o diagrama de fases, pode-se afirmar que está correto o contido em:

- I, II e III.
- II e III, apenas.
- I e III, apenas.
- I e II, apenas.
- I, apenas.

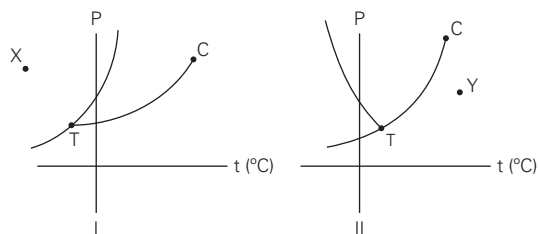
12. Uece-CE – Observe o diagrama de fase PT mostrado a seguir.



Pode-se concluir, corretamente, que uma substância que passou pelo processo de sublimação segue a trajetória

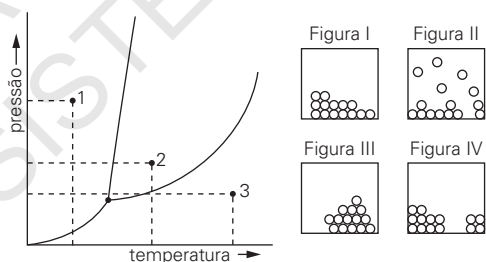
- a) X ou Y.
- b) Y ou U.
- c) U ou V.
- d) V ou X.

13. Ufla-MG – Adiante são apresentados os diagramas de fase I e II de duas substâncias. Responda aos itens a seguir.



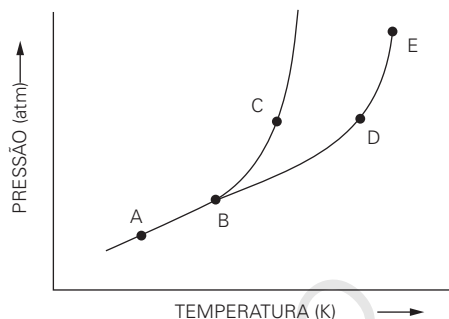
- a) Com base na diferença de comportamento entre as duas substâncias mostradas nos diagramas, no que se refere ao volume ocupado nas fases sólida e líquida, pode-se afirmar que
 - a₁) o diagrama I é representativo das substâncias que
 - a₂) o diagrama II é representativo das substâncias que
- b) O que os pontos T e C dos diagramas representam?
- c) O que acontece se
 - c₁) uma substância no ponto X do diagrama I sofrer um processo de abaixamento da pressão à temperatura constante?
 - c₂) uma substância do ponto Y do diagrama II sofrer um processo de abaixamento de temperatura à pressão constante?

14. Unifimes - Medicina-GO – Analise o diagrama de fases registrado para uma substância obtida de determinado extrato vegetal e as figuras de I a IV, que representam diferentes comportamentos das moléculas dessa substância.



- a) Qual o estado físico da substância nas condições de pressão e temperatura indicadas no diagrama pelos números 1, 2 e 3, respectivamente?
- b) Qual das figuras (I a IV) representa a substância em processo de fusão? Justifique sua escolha.

15. ITA-SP – Considere o diagrama de fase hipotético representado esquematicamente na figura a seguir:



O que representam os pontos A, B, C, D e E?

16. UFG-GO (adaptado) – Quando a água solidifica, a uma pressão constante e igual à 1 atm, sua densidade diminui. Já com o dióxido de carbono verifica-se que a 73 atm, a solidificação resulta em um sólido de densidade maior que o líquido original. Considerando essas informações, esboce o diagrama de fases do dióxido de carbono, indicando o ponto triplo (217 K e 5 atm) e as constantes críticas (304 K e 74 atm).

17. UFMG-MG – Considere estas informações:

- a temperaturas muito baixas, a água está sempre na fase sólida;
- aumentando-se a pressão, a temperatura de fusão da água diminui.

Assinale a alternativa em que o diagrama de fases pressão *versus* temperatura para a água está de acordo com essas informações.

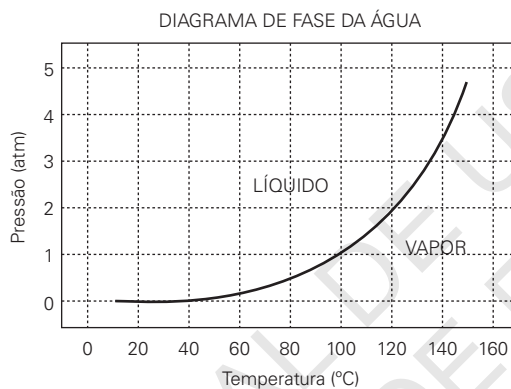
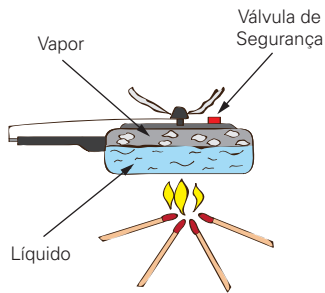
- a)
- b)
- c)
- d)

ESTUDO PARA O ENEM

Texto para as próximas 2 questões:

A panela de pressão permite que os alimentos sejam cozidos em água muito mais rapidamente do que em panelas convencionais. Sua tampa possui uma borracha de vedação que não deixa o vapor escapar, a não ser através de um orifício central sobre o qual assenta um peso que controla a pressão. Quando em uso, desenvolve-se uma pressão elevada no seu interior. Para a sua operação segura, é necessário observar a limpeza do orifício central e a existência de uma válvula de segurança, normalmente situada na tampa.

O esquema da panela de pressão e um diagrama de fase da água são apresentados a seguir.



18. Enem

C6-H21

Se, por economia, abaixarmos o fogo sob uma panela de pressão logo que se inicia a saída de vapor pela válvula, de forma simplesmente a manter a fervura, o tempo de cozimento

- será maior porque a panela "esfria".
- será menor, pois diminui a perda de água.
- será maior, pois a pressão diminui.

- será maior, pois a evaporação diminui.
- não será alterado, pois a temperatura não varia.

19. Enem

C6-H21

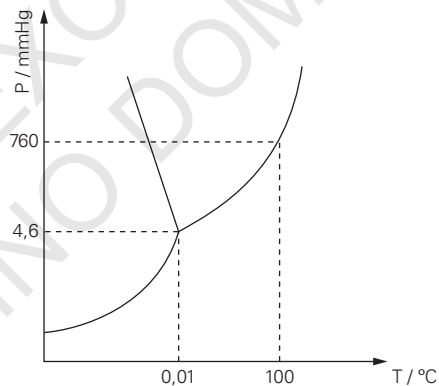
A vantagem do uso de panela de pressão é a rapidez para o cozimento de alimentos, e isso se deve

- à pressão no seu interior, que é igual à pressão externa.
- à temperatura de seu interior, que está acima da temperatura de ebulição da água no local.
- à quantidade de calor adicional que é transferida à panela.
- à quantidade de vapor que está sendo liberada pela válvula.
- à espessura da sua parede, que é maior que a das panelas comuns.

20. UFG-GO

C6-H21

O diagrama de fases da água é representado a seguir.



As diferentes condições ambientais de temperatura e pressão de duas cidades, A e B, influenciam nas propriedades físicas da água. Essas cidades estão situadas ao nível do mar e a 2 400 m de altitude, respectivamente. Sabe-se, também, que a cada aumento de 12 m na altitude há uma mudança média de 1 mmHg na pressão atmosférica. Sendo a temperatura em A de $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ e em B de $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$, responda:

- Em qual das duas cidades é mais fácil liquefazer a água por compressão? Justifique.
- Quais são as mudanças esperadas nos pontos de fusão e ebulição da água na cidade B com relação à A?

SHUTTERSTOCK / SURANGASL



MATERIAL EXCLUSIVO
SISTEMA DE LICENCIAMENTO DOM BOSCO

FÍSICA 3A

CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS

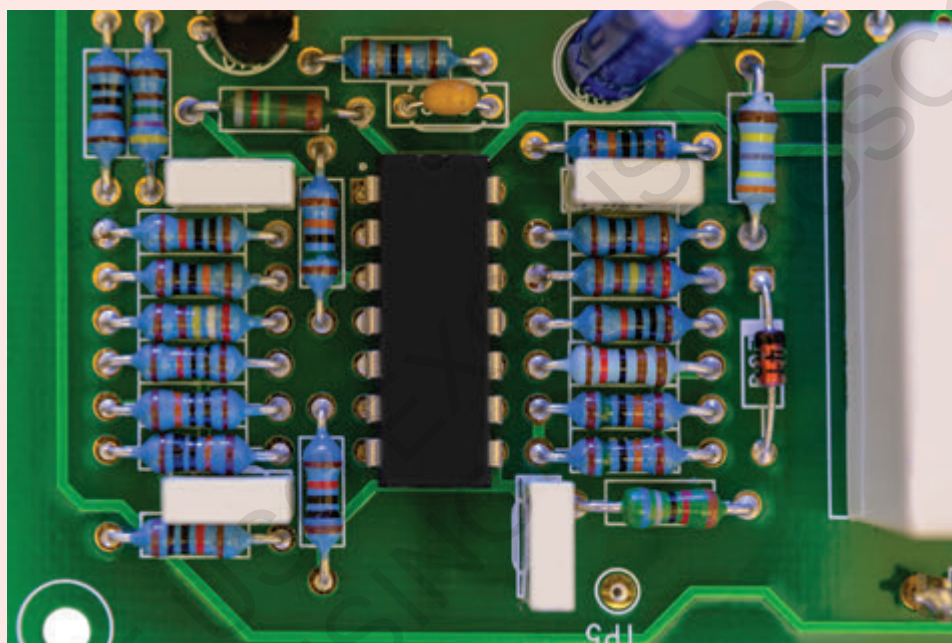
17

ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES EM SÉRIE E EM PARALELO

- Associação de resistores em série
- Associação de resistores em paralelo

HABILIDADES

- Identificar circuitos elétricos de uso cotidiano.
- Diferenciar circuitos em série de circuitos em paralelo.
- Encontrar o resistor equivalente em diferentes circuitos.
- Analisar o comportamento de grandezas físicas envolvidas em diferentes circuitos, como potência, corrente elétrica e tensão.



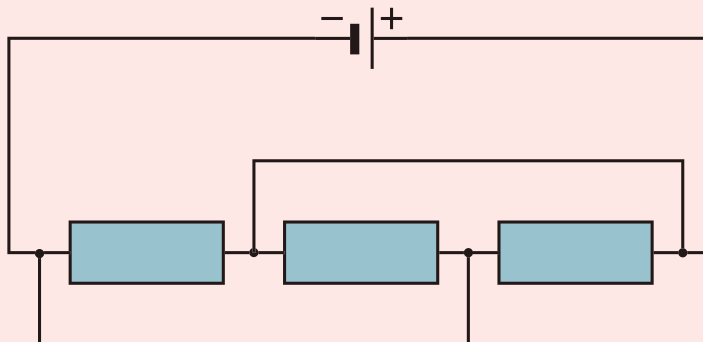
Associação de resistores em circuito elétrico.

Em um circuito elétrico como visto na figura anterior ou mesmo em uma residência – formada pelos aparelhos elétricos e pelas lâmpadas –, a disposição dos resistores compõe uma associação de resistores. Pode-se associar os resistores basicamente de duas maneiras: **em série** ou **em paralelo**.

Em qualquer uma dessas associações, é possível substituir o conjunto de resistores por apenas um único resistor que estará submetido à mesma tensão U e será percorrido pelo mesmo total de intensidade da corrente i . Nesse caso, esse único resistor que substituirá todo o conjunto de resistores anterior é chamado de **resistor equivalente (R_{eq})**.

Na associação de resistores, é importante notar que podem haver pontos em que há a união de três ou mais fios. Esses pontos são chamados de *nós* e são representados pelo símbolo (\bullet).

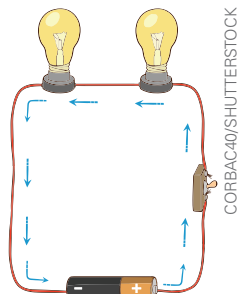
Na figura a seguir, é possível verificar os nós em uma associação de resistores.



Nós em associação de resistores.

Associação de resistores em série

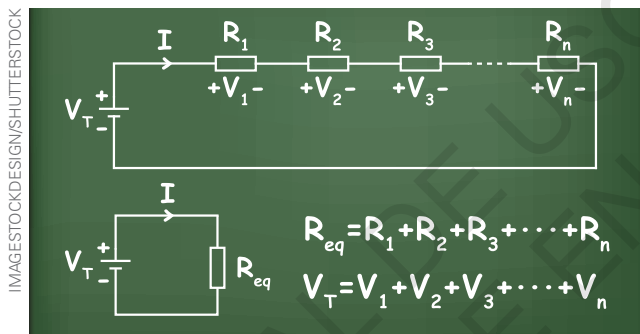
Na associação em série, os resistores são ligados de modo que a corrente elétrica que percorre cada um deles é a mesma, pois é oferecido apenas um único caminho para essa corrente percorrer, conforme observado na figura a seguir.



Associação em série.

Embora a intensidade da corrente elétrica seja a mesma para cada resistor, a tensão será diferente para cada um dos resistores e vai variar conforme o valor de sua resistência.

A figura que segue representa a relação para resistor equivalente e a tensão total em uma associação de resistores em série.



Resistor equivalente e tensão total em associação em série de resistores.

Assim, tem-se que o resistor equivalente (R_{eq}) é dado pela soma das resistências elétricas de cada resistor do circuito, e a tensão total (V_T) é dada pela soma da tensão em cada um dos resistores:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

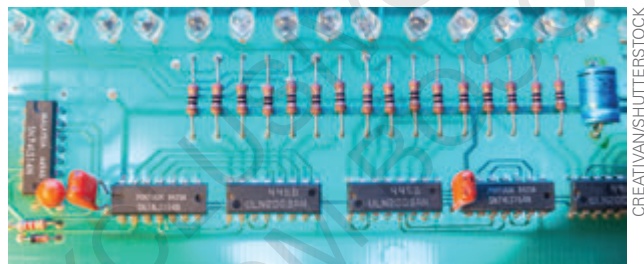
Analisando a associação de resistores em série, além das relações estabelecidas, pode-se concluir que:

- I. A intensidade da corrente que passa por resistor é igual à intensidade da corrente total, ou seja, $i_T = i_1 = i_2 = i_3 = i_n$.
- II. Sendo a intensidade da corrente elétrica (i) igual em todos os resistores, a potência dissipada, dada pela relação $P = R \cdot i^2$, será maior para o resistor de maior resistência e menor para o resistor de menor resistência.
- III. A potência total consumida (P_T) será igual à soma das potências consumidas em cada resistor, ou seja, $P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n$.

IV. Considerando a relação $U = i \cdot R$ e a intensidade da corrente (i) como a mesma em todos os resistores, a maior diferença de potencial (U) será no resistor de maior valor, bem como a menor diferença de potencial (U) será no resistor de menor valor.

V. Se em um dos resistores não houver corrente elétrica, então não haverá corrente elétrica para o circuito elétrico e, conseqüentemente, para nenhum outro resistor.

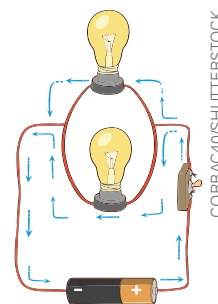
Associação de resistores em paralelo



Placa de circuito com resistores em paralelo e outros componentes.

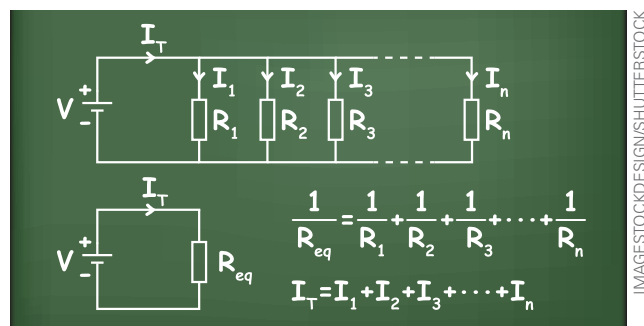
Dizemos que os resistores estão associados em paralelo quando estão submetidos à mesma diferença de potencial (ddp). Nessa situação, a corrente elétrica pode percorrer diferentes caminhos.

Na figura a seguir, é possível verificar que o caminho percorrido pela corrente elétrica se divide para a lâmpada superior e a inferior.



Associação em paralelo.

Como a intensidade da corrente elétrica é dividida, pois apresenta mais de uma possibilidade de caminho, pode-se verificar, na figura que segue, a relação para encontrar o resistor equivalente e a intensidade da corrente total no circuito.



Resistor equivalente e corrente total em circuitos em paralelo.

Assim, tem-se que a corrente total é a soma das correntes que percorrem cada resistor do circuito, enquanto a tensão (U) em cada resistor é a mesma.

Como

$$i = \frac{U}{R}$$

e

$$i_T = i_1 + i_2 + i_3 + \dots + i_n$$

Então:

$$i_T = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} + \dots + \frac{U}{R_n}$$

$$i_T = U \cdot \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad i_T = U \cdot \frac{1}{R_{eq}}$$

Dessa forma, vale ressaltar que o resistor equivalente (R_{eq}) obedece à relação matemática:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Algumas observações sobre os resistores equivalentes de um circuito em série podem ser feitas:

- I. Sendo $P = \frac{U^2}{R}$ e $i = \frac{U}{R}$ e, ainda, considerando que a diferença de potencial (U) é a mesma em cada resistor, pode-se afirmar que o resistor de menor resistência terá a maior potência e será percorrido pela corrente de maior intensidade;
- II. A potência total consumida é igual à soma da potência consumida de cada resistor;

III. Caso não haja corrente em um dos resistores, os demais funcionarão de modo independente;

IV. A diferença de potencial elétrico no gerador é igual à diferença de potencial elétrico em cada resistor, ou seja, $U_T = U_1 = U_2 = U_3 = U_n$;

V. A intensidade da corrente elétrica total é igual à soma da intensidade da corrente elétrica em cada resistor, ou seja, $i_T = i_1 + i_2 + i_3 + \dots + i_n$.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. Sistema Dom Bosco – Qual é a principal desvantagem de usar uma associação de lâmpadas em série? Justifique sua resposta.

Resolução

Em uma associação de lâmpadas em série, a corrente elétrica que vai percorrê-la será a mesma. Assim, se uma das lâmpadas queimar, todas as demais se apagarão. Desse modo, para descobrir qual delas queimou, deverão ser testadas todas as lâmpadas.

2. Sistema Dom Bosco – Por que nas residências são usados circuitos em paralelo, e não em série?

Resolução

Se os equipamentos elétricos de uma residência fossem ligados em circuitos em série, um equipamento só funcionaria se tivesse outros equipamentos ligados em todos os pontos desse circuito em série. Em circuitos em paralelo isso não ocorre, pois cada equipamento ligado pode ser controlado separadamente.

ROTEIRO DE AULA

ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES

Série

Corrente percorre um mesmo caminho

$$R_{\text{eq}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + U_n$$

$$i_T = i_1 = i_2 = i_3 = i_n$$

Paralelo

Corrente se divide ao longo do circuito

$$R_{\text{eq}} = \frac{1}{1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots + 1/R_n}$$

$$U = U_1 = U_2 = U_3 = U_n$$

$$i_T = i_1 + i_2 + i_3 + \dots + i_n$$

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

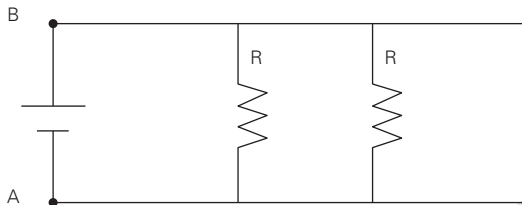
EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Uece (adaptado) – Considere um dispositivo elétrico formado por uma bateria com um dos terminais ligado a um dos terminais do resistor. Caso esse dispositivo seja conectado em paralelo a um segundo resistor, de mesma resistência que o anterior, pode-se afirmar corretamente que:

- a) A corrente fornecida na bateria é diferente nos resistores.
 b) A corrente nos resistores tem o mesmo valor.
 c) A tensão nos dois resistores é sempre a mesma na bateria.
 d) A soma das tensões nos resistores é o dobro da tensão na bateria.
 e) A soma das tensões nos resistores é a metade da tensão na bateria.

Quando ligamos dois resistores de mesma resistência em paralelo, as correntes que passam por ambos têm a mesma intensidade.

2. Uespi (adaptado) – A resistência equivalente entre os terminais A e B da bateria ideal no circuito elétrico a seguir é igual a:



- a) R c) $\frac{R}{3}$ e) $\frac{R}{5}$
 b) $\frac{R}{2}$ d) $\frac{R}{4}$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} = \frac{R+R}{R^2} = \frac{2R}{R^2}$$

$$R_{eq} = \frac{R^2}{2R} = \frac{R}{2}$$

3. CFT-RJ – Você é um marinheiro a bordo de um navio em uma missão em alto-mar. Um circuito eletrônico importante de sistema de navegação parou de funcionar e você foi designado para consertá-lo. Ao examinar o circuito, você percebeu que um resistor de 200Ω está queimado e precisa ser substituído. Ao procurar no estoque do navio, você percebe que existem diversos valores, exceto o de 200Ω .

O envio de um resistor novo levaria meses, o que torna essa iniciativa inviável. Analisando os resistores que você tem disponíveis no navio, uma solução possível para esse problema seria substituir o resistor queimado:

- a) por dois de 400Ω associados em série.
 b) por quatro de 100Ω associados em série.
 c) por dois de 400Ω associados em paralelo.
 d) por quatro de 50Ω associados em paralelo.

Como não há o resistor de 200Ω , então pode-se utilizar outros dois resistores iguais R . Com isso, podemos escrever para uma associação em paralelo:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} = \frac{R+R}{R \cdot R} = \frac{2R}{R^2} = \frac{2}{R}$$

$$\therefore R_{eq} = \frac{R}{2}$$

Dessa forma, como o resistor equivalente deve ser de 200Ω , então é preciso utilizar dois resistores de 400Ω .

$$R_{eq} = \frac{400}{2} = 200 \Omega$$

4. UEA-AM – Um circuito elétrico é formado por três resistores de valores 10Ω , 20Ω e 30Ω , associados em paralelo. Os terminais da associação são ligados a uma tomada de 120 V . A intensidade de corrente elétrica que flui da tomada para a associação é:

- a) 42 A c) 30 A e) 16 A
 b) 36 A d) 22 A

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{10} + \frac{1}{20} + \frac{1}{30} \quad \frac{1}{R_{eq}} = \frac{60}{11}$$

$$i = \frac{U}{R_{eq}} = U \cdot \frac{1}{R_{eq}} \Rightarrow i = 120 \cdot \frac{11}{60} = 22 \text{ A.}$$

5. UFU-MG – Um enfeite de árvore de Natal contém 30 lâmpadas, cada uma com uma resistência elétrica de 5Ω . Ligam-se os terminais do conjunto em uma tomada que fornece uma tensão total de 120 V . Nesse caso, a corrente elétrica que atravessa cada lâmpada vale:

- a) $0,8 \text{ A}$ c) $1,8 \text{ A}$ e) 40 A
 b) $1,2 \text{ A}$ d) 24 A

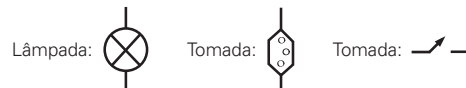
$$R_{eq} = 30 \cdot 5 = 150 \Omega$$

$$i = \frac{U}{R} = \frac{120}{150} = 0,8 \text{ A}$$

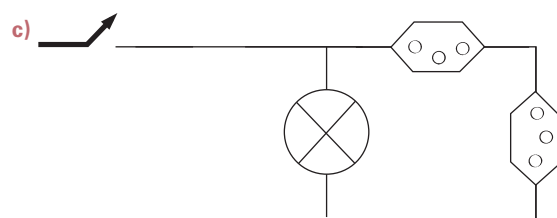
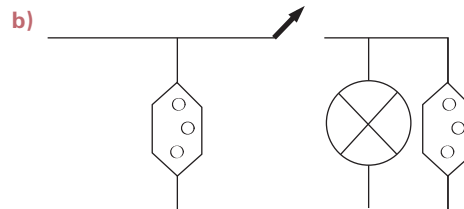
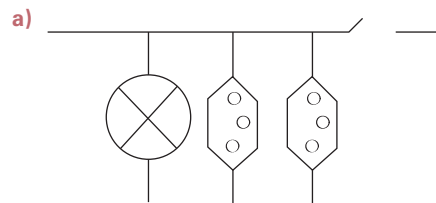
6. Enem

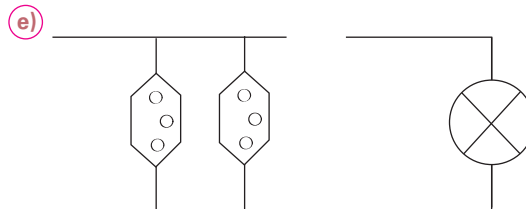
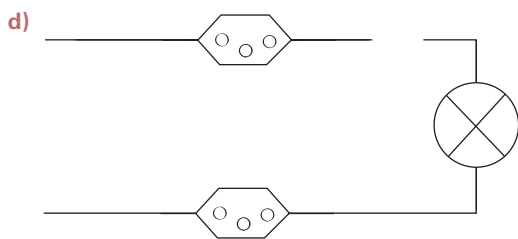
C2-H5

Um estudante, precisando instalar um computador, um monitor e uma lâmpada em seu quarto, verificou que precisaria fazer a instalação de duas tomadas e um interruptor na rede elétrica. Decidiu esboçar com antecedência o esquema elétrico. “O circuito deve ser tal que as tomadas e a lâmpada precisam estar submetidas à tensão nominal da rede elétrica, e a lâmpada tem de poder ser ligada ou desligada por um interruptor sem afetar os outros dispositivos”, pensou. Símbolos adotados:



Qual dos circuitos esboçados atende às exigências?





Para atender às exigências, o circuito deve ser instalado com uma associação em paralelo, e, para que somente a lâmpada possa ser acionada pelo interruptor, este deve ser ligado em série com a lâmpada. Portanto, a alternativa correta é a letra E.

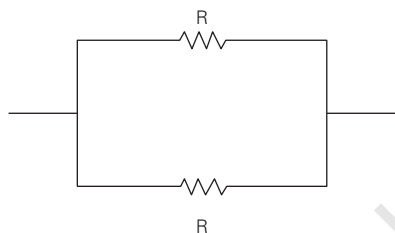
Competência: Identificar a presença e aplicar as tecnologias associadas às ciências naturais em diferentes contextos.

Habilidade: Dimensionar circuitos ou dispositivos elétricos de uso cotidiano.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Sistema Dom Bosco – Duas lâmpadas incandescentes L_A e L_B , com resistências elétricas, respectivamente, de R_A e $R_B > R_A$, são colocadas em série. Qual das lâmpadas brilha mais intensamente? Explique sua resposta.

8. FEI-SP (adaptado) – No circuito a seguir, quanto deve valer a resistência R para que a resistência equivalente do circuito seja 5Ω ?



9. UPE – Ligando quatro lâmpadas de características idênticas em série, com uma fonte de força eletromotriz de 220 V , é correto afirmar que a diferença de potencial elétrico em cada lâmpada, em volts, vale:

- a) 55 c) 220 e) 880
b) 110 d) 330

10. Puccamp – O mostrador digital de um amperímetro fornece indicação de $0,40 \text{ A}$ em um circuito elétrico simples contendo uma fonte de força eletromotriz ideal e um resistor ôhmico de resistência elétrica 10Ω . Se for colocado no circuito um outro resistor, de mesmas características, em série com o primeiro, a nova potência elétrica dissipada no circuito será, em watts,

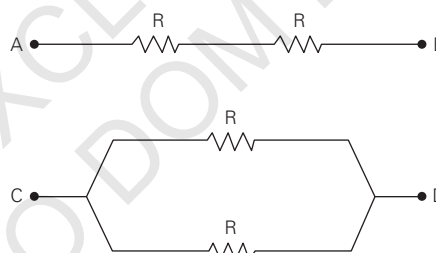
- a) 0,64 c) 0,50 e) 0,80
b) 0,32 d) 0,20

11. FEI – O choque elétrico é por conta da passagem de corrente elétrica pelo nosso corpo, provocando contrações musculares. Correntes elétricas de intensidades maiores que 10 mA podem ocasionar paradas cardíacas com risco de morte. Se uma pessoa levar um choque de 220 V , qual deve ser a resistência elétrica mínima de seu corpo para que ela não corra risco de morte?

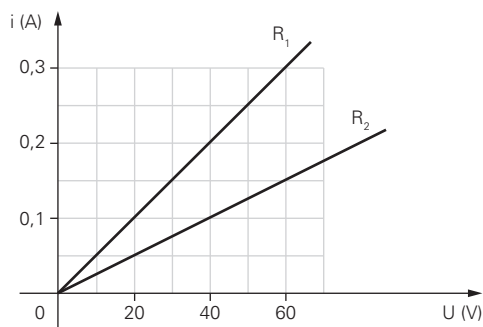
12. FEI-SP – Um resistor de resistência R foi associado em paralelo a outra resistência $4 R$. A resistência equivalente da associação é:

- a) $1,25 \cdot R$ c) $0,8 \cdot R$ e) $2 \cdot R$
b) $5 \cdot R$ d) $3 \cdot R$

13. Uern (adaptado) – Na figura estão representadas duas associações de resistores. Considere que, aplicando-se uma tensão de 60 V em seus terminais, a diferença entre as correntes totais que as percorrem seja igual a 9 A . Sendo assim, determine o valor de R .



14. UFRS – O gráfico representa a corrente elétrica i em função da diferença de potencial U aplicada aos extremos de dois resistores, R_1 e R_2 .



Quando R_1 e R_2 forem ligados em paralelo a uma diferença de potencial de 40 V , qual a potência dissipada nessa associação?

- a) $2,7 \text{ W}$ c) 12 W e) 24000 W
b) $4,0 \text{ W}$ d) 53 W

15. FAMECA-SP – Ao mudar seu consultório de endereço, um médico cardiologista verificou que seu cardiógrafo, de características $220 \text{ W}-110 \text{ V}$, necessitaria de adaptações para funcionar na rede de 240 V do novo local. O médico associou corretamente, em série com o cardiógrafo, um resistor ôhmico de resistência R e potência de consumo P , cujos valores são, em ohm e em watt, respectivamente:

- a) 65 e 240 d) 32,5 e 240
b) 110 e 260 e) 130 e 260
c) 65 e 260

16. ITA-SP – Morando em quartos separados e visando economizar energia, dois estudantes combinam de interligar em série cada uma de suas lâmpadas de 100 W. Porém, verificando a redução da claridade em cada quarto, um estudante troca a sua lâmpada de 100 W para uma de 200 W, enquanto o outro troca a sua de 100 W para uma de 50 W. Em termos de claridade, houve vantagem para algum deles? Por quê? Justifique quantitativamente.

17. Uerj – Dois resistores, A e B, sendo $R_A = 30 \Omega$ e $R_B = 60 \Omega$, estão ligados a uma fonte de tensão de 12 V, de modo que ambos ficam sob a mesma tensão. Nessas condições:

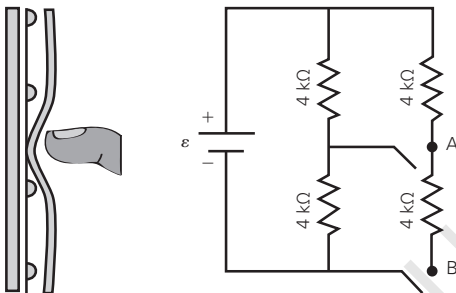
- Os resistores estão associados em série ou em paralelo? Justifique.
- Determine a potência total dissipada pelos resistores.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C2-H5

Muitos smartphones e tablets não precisam mais de telas, uma vez que todos os comandos podem ser dados ao se pressionar a própria tela. Inicialmente essa tecnologia foi proporcionada por meio das telas resistivas, formadas basicamente por duas camadas de material condutor transparente que não se encostam até que alguém as pressione, modificando a resistência total do circuito de acordo com o ponto onde ocorre o toque. A imagem é uma simplificação do circuito formado pelas placas, em que A e B representam pontos onde o circuito pode ser fechado por meio do toque



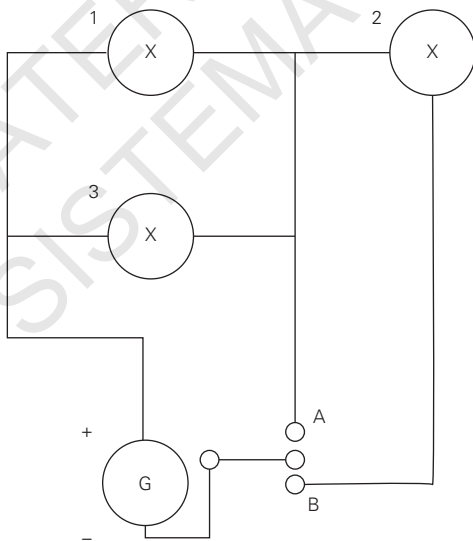
Qual é a resistência equivalente no circuito provocada por um toque que o fecha no ponto A?

- 1,3 kΩ
- 4,0 kΩ
- 6,0 kΩ
- 6,7 kΩ
- 12,0 kΩ

19. Enem

C2-H5

Um sistema de iluminação foi construído com um circuito de três lâmpadas iguais conectadas a um gerador (G) de tensão constante. Esse gerador possui uma chave que pode ser ligada nas posições A ou B.



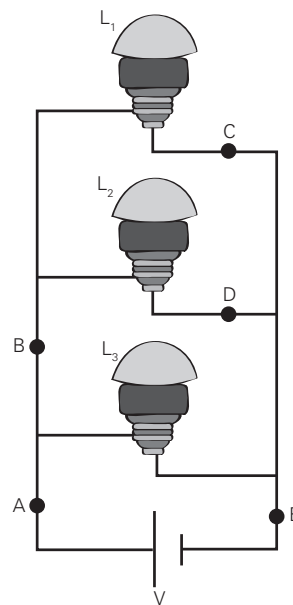
Considerando o funcionamento do circuito dado, a lâmpada 1 brilhará mais quando a chave estiver na posição:

- B, pois a corrente será maior nesse caso.
- B, pois a potência total será maior nesse caso.
- A, pois a resistência equivalente será menor nesse caso.
- B, pois o gerador fornecerá uma maior tensão nesse caso.
- A, pois a potência dissipada pelo gerador será menor nesse caso.

20. Enem

C2-H5

Três lâmpadas idênticas foram ligadas no circuito esquematizado. A bateria apresenta resistência interna desprezível, e os fios possuem resistência nula. Um técnico fez uma análise do circuito para prever a corrente elétrica nos pontos: A, B, C, D e E; e rotulou essas correntes de I_A , I_B , I_C , I_D e I_E , respectivamente.



O técnico concluiu que as correntes que apresentam o mesmo valor são:

- $I_A = I_E$, $I_C = I_D$
- $I_A = I_E = I_B$ e $I_C = I_D$
- $I_A = I_B$, apenas
- $I_A = I_B = I_E$, apenas
- $I_C = I_B$, apenas

ASSOCIAÇÃO MISTA DE RESISTORES E LEIS DE KIRCHHOFF

18

RONSTIK/SHUTTERSTOCK



Engenheiro elétrico desenhando um diagrama de um circuito.

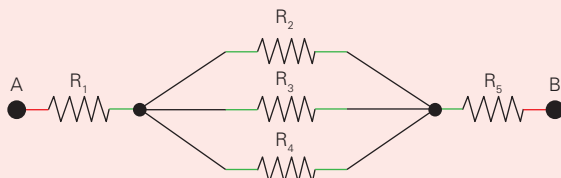
Na prática, os circuitos elétricos nem sempre apresentam somente uma associação de resistores em série ou em paralelo, ou seja, ambas as associações podem aparecer em um circuito simultaneamente.

Determinados circuitos contêm características bem definidas e, por isso, estão sujeitos a algumas leis. Serão abordadas neste módulo as leis de Kirchhoff, que são bastante utilizadas na resolução de circuitos elétricos complexos.

Associação mista de resistores

Como vimos, os tipos de associações de resistores existentes são: associação em série e associação em paralelo. Entretanto, essas associações podem aparecer misturadas dentro de um circuito elétrico, e isso nos leva a analisar as associações de resistores por partes. Em geral, analisamos os resistores que estão associados em série e em paralelo separadamente.

Para tanto, vamos analisar uma associação mista de resistores, conforme mostra a figura a seguir:



- Associação de resistores mista
- Leis de Kirchhoff

HABILIDADES

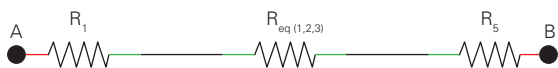
- Identificar ligações de resistores em equipamentos.
- Realizar operações matemáticas de associação de resistores.
- Relacionar informações de grandezas físicas para compreender o funcionamento de equipamentos elétricos.
- Analisar e utilizar de maneira qualitativa e quantitativa a aplicação das leis de Kirchhoff em diferentes situações no contexto da eletricidade.

Na figura, é possível perceber que os resistores R_2 , R_3 e R_4 estão em paralelo. Adotando que todos os resistores têm 3Ω de resistência, temos que o resistor equivalente para R_2 , R_3 e R_4 é dado por:

$$\frac{1}{R_{\text{eq}1,2,3}} = \frac{1}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3} = \frac{3}{3}$$

$$R_{\text{eq}1,2,3} = 1$$

Então, podemos reescrever o esquema da seguinte forma:

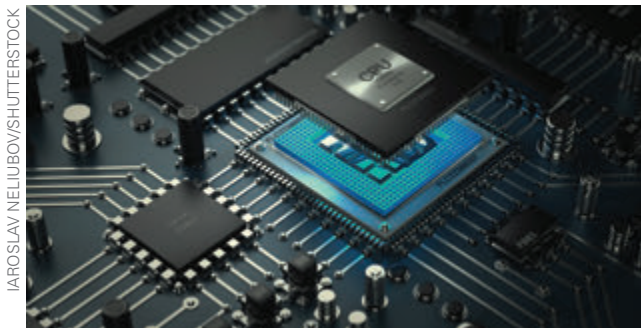


Assim, temos os resistores em série e, portanto:

$$R_{\text{eq}} = 3 + 1 + 3 = 7 \Omega$$

Logo, uma associação mista de resistores é o resultado de associações em série e em paralelo existentes em um circuito elétrico.

Leis de Kirchhoff

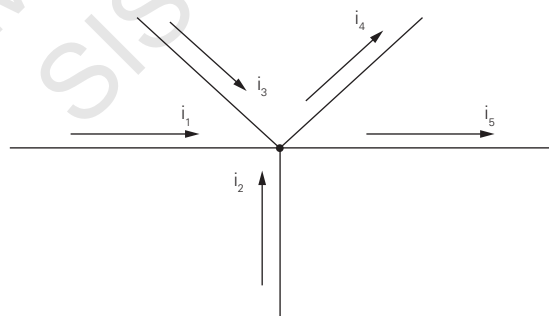


Malha de circuitos integrados dos processadores de computador.

O físico alemão Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) estabeleceu experimentalmente duas regras práticas e muito úteis para a resolução de circuitos elétricos mais complexos, denominadas leis de Kirchhoff, em sua homenagem.

LEI DAS CORRENTES

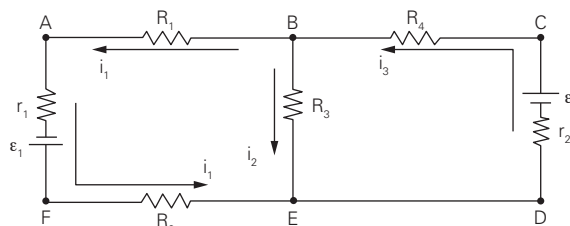
Kirchhoff estabeleceu que o somatório das correntes que incidem em qualquer nó de um circuito elétrico é nulo, ou seja, a soma das correntes que chegam a um determinado nó é igual à soma das correntes que saem desse mesmo nó, em decorrência da conservação das cargas elétricas. Veja um exemplo no esquema a seguir.



$$i_1 + i_2 + i_3 = i_4 + i_5$$

LEI DAS TENSÕES

Em um circuito elétrico, ao longo de um caminho fechado, Kirchhoff estabeleceu que o somatório das quedas e elevações das tensões é nulo.



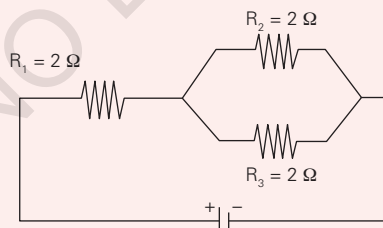
Malha ABEF / Malha BCDE / Malha ACDF

No esquema apresentado, tem-se um circuito fechado com as malhas ABEF, BCDE e ACDF. Entende-se como malha um caminho fechado que a corrente vai percorrer.

Assim, o somatório da tensão em cada uma das malhas sempre será nulo, e a quantidade total de energia no sistema isolado será constante. Isso significa que o gerador fornecerá igual energia para os resistores e para os receptores do circuito.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. Sistema Dom Bosco – Determine a resistência equivalente do circuito a seguir, ligado a uma bateria de 9 V. Encontre o valor da corrente elétrica que atravessa cada um dos resistores.



Resolução

Como R_2 e R_3 estão associados em paralelo, temos:

$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \rightarrow R_{\text{eq}} = 1 \Omega$$

Assim, R_{eq} ficará associado em série com R_1 . Portanto, $R_{\text{eq}} = 1 + 2 = 3 \Omega$

A corrente total do circuito é:

$$U = R \cdot i \rightarrow i = \frac{9}{3} = 3 \text{ A}$$

Diferença de potencial no resistor R_1 :

$$U = R \cdot i = 2 \cdot 3 = 6 \text{ V}$$

Assim, restam $9 \text{ V} - 6 \text{ V} = 3 \text{ V}$ para os resistores R_2 e R_3 .

Como esses resistores estão associados em paralelo, logo a ddp será a mesma, ou seja, 3 V. Portanto, a corrente será:

$$i_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{3}{2} = 1,5 \text{ V} \quad i_3 = \frac{U}{R_3} = \frac{3}{2} = 1,5 \text{ V}$$

2. Sistema Dom Bosco – Explique a lei das correntes e a lei das tensões.

Resolução

De acordo com a lei das correntes, o somatório das correntes que chegam a um nó e saem dele é nulo.

Já na lei das tensões, o somatório das tensões em uma malha é nulo.

ROTEIRO DE AULA

ASSOCIAÇÃO MISTA DE RESISTORES
E LEIS DE KIRCHHOFF

Associação mista

Leis de Kirchhoff

É uma mistura de:

Desenvolvidas pelo físico
Kirchhoff, apresentam as leis:

Associação de resistores

Associação de resistores em série

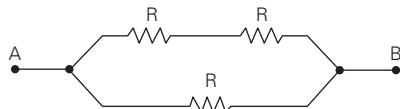
Lei das correntes

Lei das tensões

em paralelo

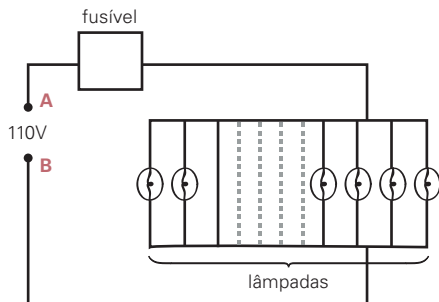
O somatório das correntes
que chegam e saem em
um nó é nuloO somatório das
tensões em uma malha
é nulo

- 8. IFMG** – Ao estudar o circuito, Fernanda se depara com resistores de mesmo valor de resistência R .



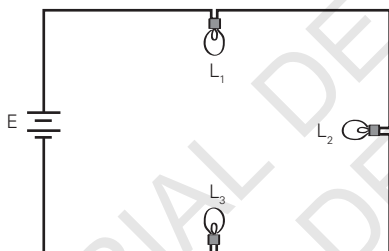
Nessas condições, é correto afirmar que o valor do módulo da resistência equivalente será:

- a) $1/2 \cdot R$ c) $2/3 \cdot R$
b) $1/3 \cdot R$ d) $3 \cdot R$
- 9. UFSC** – Em uma rede elétrica, submetida a uma tensão de 110 V, foi instalado um fusível de 30 A.

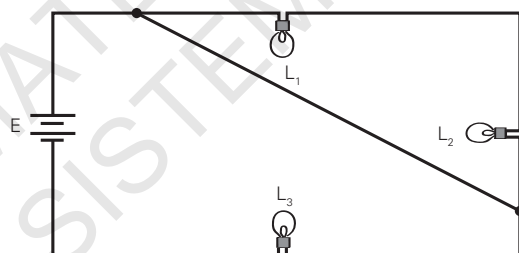


Quantas lâmpadas de 100 W poderão ser ligadas simultaneamente nessa rede, sem risco de queimar o fusível?

- 10. Uerj** – Em uma experiência, três lâmpadas idênticas $\{L_1, L_2, L_3\}$ foram inicialmente associadas em série e conectadas a uma bateria E de resistência interna nula. Cada uma dessas lâmpadas pode ser individualmente ligada à bateria E sem se queimar. Observe o esquema desse circuito, quando as três lâmpadas se encontram acesas:



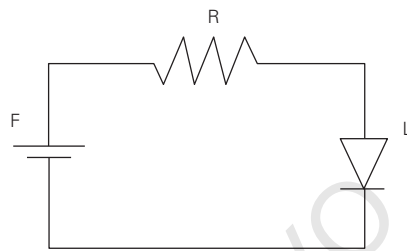
Em seguida, os extremos não comuns de L_1 e L_2 foram conectados por um fio metálico, conforme ilustrado a seguir:



A afirmativa que descreve o estado de funcionamento das lâmpadas nessa nova condição é:

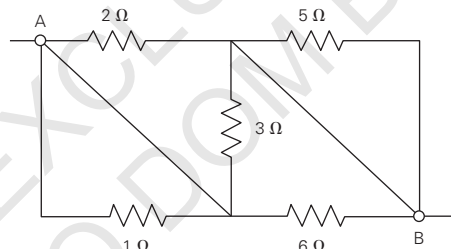
- a) As três lâmpadas se apagam.
b) As três lâmpadas permanecem acesas.
c) L_1 e L_2 se apagam, e L_3 permanece acesa.
d) L_3 se apaga, e L_1 e L_2 permanecem acesas.

- 11. Fuvest (adaptado)** – Atualmente são usados LEDs (*light emitting diode*) na iluminação doméstica. LEDs são dispositivos semicondutores que conduzem a corrente elétrica apenas em um sentido. Na figura, há um circuito de alimentação de um LED (L) de 8 W, que opera com 4 V, sendo alimentado por uma fonte (F) de 6 V.



Qual é o valor aproximado da resistência do resistor (R), em Ω , necessário para que o LED opere com seus valores nominais?

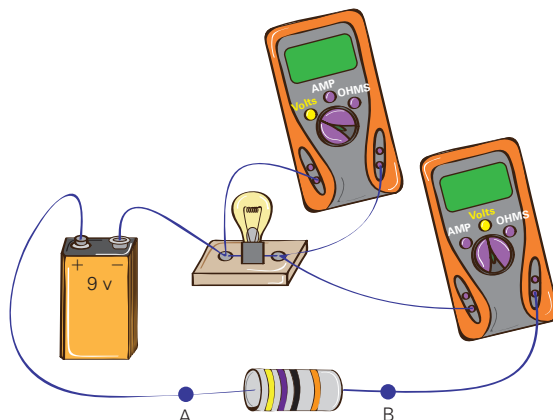
- 12. COC** – A figura representa uma associação mista de resistores, cujas resistências elétricas estão indicadas.



Determine a resistência equivalente entre os pontos A e B .

- 13. Fatec (adaptado)** – Duas lâmpadas L_1 e L_2 são ligadas em série a uma fonte de 220 V. Sabendo que as resistências das lâmpadas são $R_1 = 1000 \Omega$ e $R_2 = 100 \Omega$, respectivamente, e que ambas possuem tensão nominal de 110 V, explique se as lâmpadas acenderão ou não.

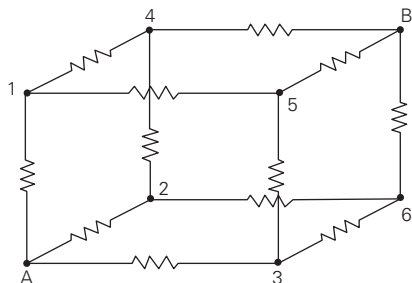
- 14. Unesp** – Para obter experimentalmente a curva da diferença de potencial U em função da intensidade da corrente elétrica i para uma lâmpada, um aluno montou o circuito a seguir. Colocando entre os pontos A e B resistores com diversos valores de resistência, ele obteve diferentes valores de U e de i para a lâmpada.



Considerando que a bateria de 9,0 V, os aparelhos de medida e os fios de ligação sejam ideais, quando o aluno obteve as medidas $U = 5,70$ V e $i = 0,15$ A, a resistência do resistor colocado entre os pontos A e B era de:

- a) 100 Ω c) 56 Ω e) 22 Ω
b) 33 Ω d) 68 Ω

15. Acafe-SC – Um forno elétrico é construído de modo a aquecer um corpo colocado em seu centro de maneira mais uniforme. É composto de 12 resistores iguais de 60Ω dispostos em forma de cubo, como na figura:

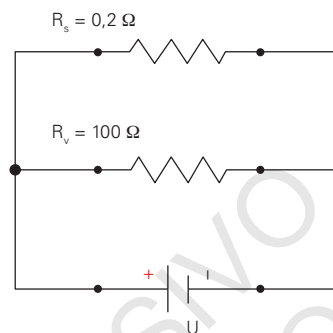


A intensidade de corrente elétrica, em ampères, que passa pelo circuito, quando aplicada uma ddp de 220 V entre os pontos A e B, é:

- a) 2,2 c) 4,4
- b) 18,33 d) 12,0

16. Nos últimos anos, materiais exóticos conhecidos como isolantes topológicos se tornaram objeto de intensa investigação científica em todo o mundo. De maneira simplificada, esses materiais se caracterizam por serem isolantes elétricos em seu interior, mas condutores em sua superfície. Dessa forma, se um isolante topológico for submetido a uma diferença de potencial U , teremos uma resistência efetiva na superfície diferente da resistência

de seu volume, como mostra o circuito equivalente da figura a seguir. Nessa situação, a razão $F = \frac{i_s}{i_v}$ entre a corrente i_s que atravessa a porção condutora na superfície e a corrente i_v que atravessa a porção isolante no interior do material vale:



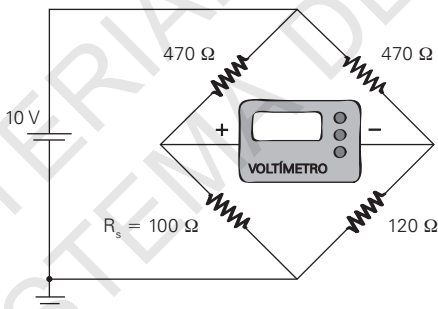
- a) 0,002 b) 0,2 c) 100,2 d) 500

17. UnP (adaptado) – De acordo com a figura, quais são os valores das intensidades das correntes i_1 e i_2 ?



ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem C2-H5
Medir temperatura é fundamental em muitas aplicações, e apresentar a leitura em mostradores digitais é bastante prático. O seu funcionamento é baseado na correspondência entre valores de temperatura e de diferença de potencial elétrico. Por exemplo, podemos usar o circuito elétrico apresentado, no qual o elemento sensor de temperatura ocupa um dos braços do circuito (R_s) e a dependência da resistência com a temperatura é conhecida.



Para um valor de temperatura em que $R = 100 \Omega$, a leitura apresentada pelo voltímetro será de:

- a) +6,2 V c) +0,3 V e) -6,2 V
- b) +1,7 V d) -0,3 V

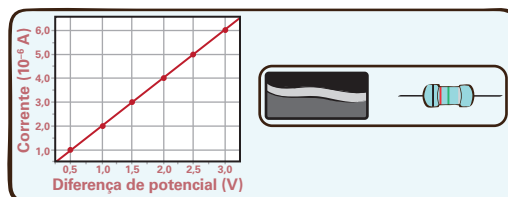
19. Enem C2-H5
Uma lâmpada é conectada a duas pilhas de tensão nominal 1,5 V, ligadas em série. Um voltímetro, utilizado para medir a diferença de potencial na lâmpada, fornece uma leitura de 2,78 V, e um amperímetro indica que a corrente no circuito é de 94,2 mA.

O valor da resistência interna das pilhas é mais próximo de:

- a) 0,021 Ω c) 0,26 Ω e) 29 Ω
- b) 0,22 Ω d) 2,3 Ω

20. Enem C2-H5
Dispositivos eletrônicos que utilizam materiais de baixo custo, como polímeros semicondutores, têm sido desenvolvidos para monitorar a concentração de amônia (gás tóxico e incolor) em granjas avícolas.

A polianilina é um polímero semicondutor que tem o valor de sua resistência elétrica nominal quadruplicado quando exposta a altas concentrações de amônia. Na ausência de amônia, a polianilina se comporta como um resistor ôhmico, e sua resposta elétrica é mostrada no gráfico.



O valor da resistência elétrica da polianilina na presença de altas concentrações de amônia, em ohm, é igual a:

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

19

CIRCUITOS SIMPLES E MEDIDORES ELÉTRICOS

- Circuitos simples
- Medidores elétricos

HABILIDADES

- Utilizar-se de diferentes métodos para medir a intensidade da corrente elétrica em um circuito.
- Identificar os instrumentos de medidas de circuitos elétricos.
- Identificar, em um circuito, a ocorrência de pontes de Wheatstone.

ANDREY_POPOV/DREAMSTIME



Multímetro digital.

Na prática, é importante utilizar equipamentos capazes de medir a intensidade da corrente elétrica, a diferença de potencial elétrico (ddp) e a resistência elétrica, sendo estes chamados, respectivamente, de amperímetro, voltímetro e ohmímetro. O aparelho que apresenta todas essas possibilidades de aferição é chamado de multímetro. Dessa forma, vamos utilizar circuitos simples para estudar esses medidores elétricos.

STEFAN ROTTER/SHUTTERSTOCK

Amperímetro

O instrumento utilizado para medir corrente elétrica chama-se amperímetro. Para que a medida da corrente elétrica seja feita de maneira correta, o amperímetro deve ser ligado em série com o dispositivo que se quer medir.

No entanto, ligar esse aparelho a um circuito provocaria uma alteração da intensidade da corrente. Sendo assim, para que essa alteração seja mínima possível, é importante que o amperímetro tenha uma resistência interna desprezível em relação às demais resistências elétricas do circuito. Para o caso ideal, deve-se considerar nula a resistência do amperímetro.

Em algumas situações são utilizados amperímetros com grande sensibilidade, conhecidos como galvanômetros.

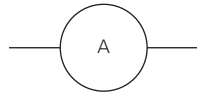
Um amperímetro ideal apresenta as seguintes características:

- tem resistência interna desprezível;
- deve ser ligado em série com um circuito que se quer medir;
- serve para medir corrente elétrica.



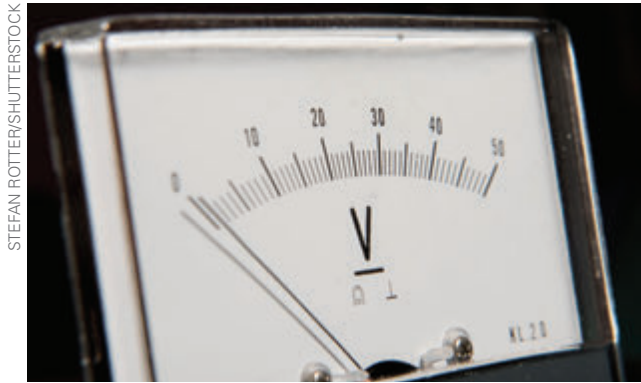
Amperímetro analógico.

É importante ressaltar que o amperímetro deve ser ligado em série, e não em paralelo, pois, caso a ligação seja em paralelo, o circuito entrará em curto-circuito.



Símbolo do amperímetro.

Voltímetro



Voltímetro analógico.

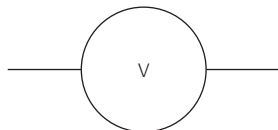
O instrumento utilizado para medir diferença de potencial elétrico (ddp) é chamado de voltímetro. A forma adequada de medir a diferença de potencial elétrico é ligando o voltímetro em paralelo com o elemento do circuito do qual se quer fazer a medição. No entanto, essa associação poderia alterar a ddp nos terminais dos elementos a serem medidos, por alterar a intensidade da corrente elétrica. Para tentar evitar esse efeito, a resistência interna do voltímetro deve ser muito elevada, de modo que a corrente que percorre o voltímetro seja praticamente nula. O voltímetro ideal deve ter uma resistência considerada infinita.

Em algumas situações são utilizados voltímetros com grande sensibilidade, conhecidos como galvanômetros.

Um voltímetro ideal apresenta as seguintes características:

- tem resistência interna infinita;
- deve ser ligado em paralelo com o elemento do circuito a que se quer medir;
- serve para medir a diferença de potencial.

É importante ressaltar que o voltímetro deve ser ligado em paralelo com o elemento do circuito a que se quer medir, pois, caso a ligação seja em série, a corrente elétrica não poderá passar pelo elemento do circuito elétrico, dada a grande intensidade da corrente interna do voltímetro.



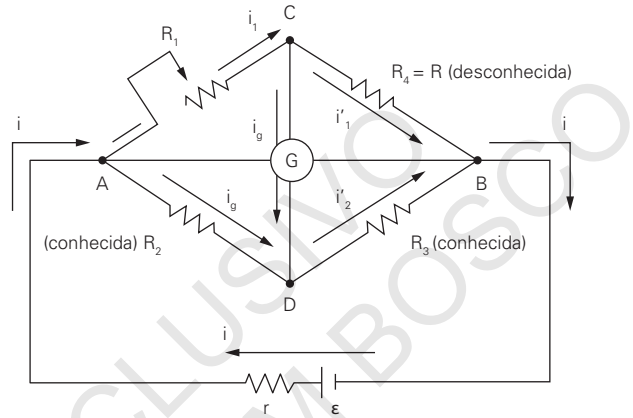
Símbolo do voltímetro.

Pontes de Wheatstone

Uma forma de medir a resistência elétrica de um resistor é ligá-lo aos terminais de um gerador e, com a

leitura feita por um voltímetro e por um amperímetro, obter as informações de corrente e a diferença de potencial. Assim, usando a lei de Ohm ($U = R \cdot i$), obtém-se a resistência do resistor.

Entretanto, há outra forma de encontrar o valor da resistência de um resistor, utilizando um circuito desenvolvido pelo físico inglês Charles Wheatstone (1802-1875). Veja esse circuito a seguir.



Nesse circuito, temos:

- R_1 : resistor com resistência variável, chamado de reostato.
- R_2 e R_3 : resistores de resistência elétrica conhecida.
- R_4 : resistor com o qual se deseja determinar a resistência.
- G : galvanômetro.
- ϵ, r : gerador.

Como o resistor R_1 é um reostato, é possível fazer sua resistência variar e, com isso, a corrente que passa pelo galvanômetro também varia. Ao fazer que a corrente elétrica no galvanômetro se anule, isto é, a corrente elétrica que passa pelo galvanômetro seja zero, tem-se a ponte em equilíbrio, e, assim, $U_{CD} = 0$. Logo, $R_2 \cdot R_4 = R_1 \cdot R_3$, ou seja, o produto das resistências opostas será igual. Como R_4 é a resistência desconhecida, então, $R_4 = R$, e, portanto: $R = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_2}$.

Circuitos elétricos simples

Qualquer equipamento elétrico que esteja conectado de modo que seja possível estabelecer uma corrente elétrica é denominado circuito elétrico. Assim, estabelecem-se as mesmas relações de corrente elétrica, diferença de potencial e resistores já estudadas. Entretanto, dependendo do tipo de ligação feita nos circuitos (em série, em paralelo ou mista), os equipamentos estarão submetidos a correntes elétricas e diferenças de potencial distintas. Como cada equipamento deve funcionar sob valores adequados, é importante proteger o circuito contra a queima dos equipamentos ou acidentes elétricos, causados pelo efeito Joule (energia elétrica que se transforma em calor).

Para evitar esses problemas, é necessário instalar no circuito elétrico dispositivos de segurança. Entre os mais conhecidos, temos os fusíveis e os disjuntores.

FUSÍVEIS

Estes são dispositivos que costumam estar ligados em série com o circuito que protegem. Assim, interrompem a corrente elétrica quando sua intensidade é superior a um valor preestabelecido. Essa interrupção ocorre porque o fusível é feito por um material de baixo ponto de fusão (em geral chumbo ou estanho), e ele se funde por conta do aquecimento pelo efeito Joule.

O valor do fusível é verificado por meio da corrente máxima que ele pode suportar sem interromper o trecho do circuito a que está conectado, sendo este indicado pelo fabricante no próprio fusível. Portanto, quando um fusível atua interrompendo a corrente elétrica do circuito, dizemos que ele queimou, pois o filamento (fio de chumbo ou estanho, em geral) se rompeu pelo efeito Joule. Por isso, é necessário trocá-lo, adquirindo um novo fusível.

DISJUNTORES

Nas residências é muito comum fazer uso do disjuntor como dispositivo de segurança. Ao contrário dos fusíveis, o disjuntor não queima, pois tem uma chave seletora que liga e desliga o circuito ao qual está instalado. Ele desliga automaticamente caso esteja sob ação de uma corrente superior ao que pode suportar. Popularmente as pessoas dizem que o disjuntor “desarmou”. Nesse caso, basta corrigir o problema que fez a corrente elétrica exceder o valor adequado e ligar novamente o disjuntor. Em geral, o disjuntor atua prevenindo o aquecimento na rede elétrica e uma intensidade de corrente superior à esperada.

EXERCÍCIO RESOLVIDO

Unicamp – Um disjuntor é um interruptor elétrico de proteção que desliga, interrompendo o circuito, quando a corrente ultrapassa certo valor. A rede elétrica de 110 V de uma casa é protegida por um disjuntor de 15 A.

Dispõe-se dos seguintes equipamentos:

Um aquecedor de água de 2 200 W, um ferro de passar de 770 W e lâmpadas de 100 W.

- Quais desses equipamentos podem ser ligados na rede elétrica, um de cada vez, sem desligar o disjuntor?
- Se apenas lâmpadas de 100 W são ligadas na rede elétrica, qual o número máximo dessas lâmpadas que podem ser ligadas simultaneamente sem desligar o disjuntor de 15 A?

Resolução

- a) Os aparelhos estão associados em paralelo e submetidos à mesma ddp de $U = 110$ V.

$$i = \frac{P}{U}$$

Aquecedor:

$$i = \frac{2 \cdot 200}{110} = 20 \text{ A}$$

Ferro:

$$i = \frac{770}{110} = 7 \text{ A}$$

Lâmpada:

$$i = \frac{100}{110} = 0,91 \text{ A}$$

Portanto, podem ser ligados na mesma rede elétrica o ferro e a lâmpada.

- b) Como a corrente da lâmpada de 100 W é 0,91 A, temos que quantidade (n) será dada por:

$$n = \frac{15}{0,91} = 16,5 \Rightarrow 16 \text{ lâmpadas}$$

ROTEIRO DE AULA

CIRCUITOS SIMPLES
E MEDIDORES
ELÉTRICOS

Amperímetro

resistência interna desprezível

deve ser ligado em
série com um circuito
que se quer medir

medir corrente elétrica

Voltímetro

possui resistência
interna infinitadeve ser ligado em paralelo com o ele-
mento do circuito que se quer medirmedir diferença
de potencialPonte de
Wheatstone

$$R = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_2}$$

Circuitos elétricos
simplesDispositivos de
segurança

Fusível

Disjuntor

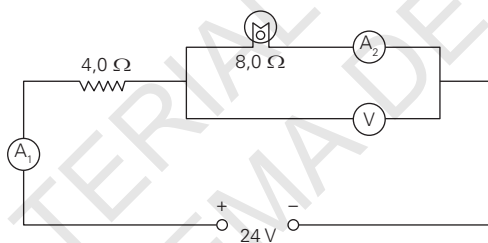
EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. PUC-PR – O fusível é um componente projetado com o intuito de proteger circuitos elétricos, seja em um carro, em uma residência ou até mesmo em grandes indústrias. Porém, ele vem sendo substituído por outro componente, o disjuntor, já que este raramente precisa ser trocado, bastando apenas ser religado em caso de problemas. Com base nessas informações e em seus conhecimentos a respeito desses acessórios dos circuitos elétricos, é correto afirmar:

- O fusível não conduz corrente elétrica, ao contrário do disjuntor.
- Somente o disjuntor é condutor, por isso vem substituindo os fusíveis.
- Os fusíveis atuam como elementos de proteção ao circuito elétrico, porém não podem evitar possíveis incêndios.
- Tanto o fusível quanto o disjuntor são condutores que têm como função evitar as correntes elétricas excessivas.
- Em condições normais de funcionamento, isto é, quando a corrente ultrapassa o valor máximo admitido, a temperatura atingida pelo fusível é inferior a seu ponto de fusão.

- a) Errada. Tanto o fusível quanto o disjuntor permitem a passagem de corrente elétrica.
 b) Errada. Vide alternativa A.
 c) Errada. Como o efeito Joule está ligado à intensidade da corrente elétrica, pode-se afirmar que o fusível também ajuda a evitar incêndios, uma vez que ele interrompe a passagem da corrente elétrica ao atingir a corrente limite do circuito ao qual foi instalado.
 d) Correta. A função dos fusíveis e dos disjuntores é evitar correntes elétricas excessivas.
 e) Errada. A afirmativa contrária o efeito Joule.

2. PUC-RS – No circuito elétrico mostrado na figura a seguir, um resistor de $4,0 \Omega$ e uma lâmpada, cuja resistência elétrica é $8,0 \Omega$, estão ligados a uma fonte de 24 V . Nesse circuito são conectados dispositivos de medida de corrente elétrica, os amperímetros A_1 e A_2 , e de diferença de potencial elétrico, o voltímetro V . Assuma-se que os amperímetros e o voltímetro podem ser considerados ideais, ou seja, que seu efeito no circuito pode ser desprezado pela forma como estão ligados.



A partir da análise do circuito, afirma-se que:

- As leituras dos amperímetros A_1 e A_2 são, respectivamente, $2,0 \text{ A}$ e $2,0 \text{ A}$.
- A leitura do voltímetro V é 24 V .
- As potências dissipadas no resistor e na lâmpada são, respectivamente, 16 W e 32 W .

Está(ão) correta(s) a(s) afirmativa(s):

- I, apenas.
- I e II, apenas.
- I e III, apenas.
- II e III, apenas.
- I, II e III.

Afirmativa I

$$i = \frac{U}{R_{\text{eq}}} = \frac{24}{12} = 2 \text{ A}$$

Como se trata de uma ligação em série, a corrente é a mesma. Portanto, afirmativa verdadeira.

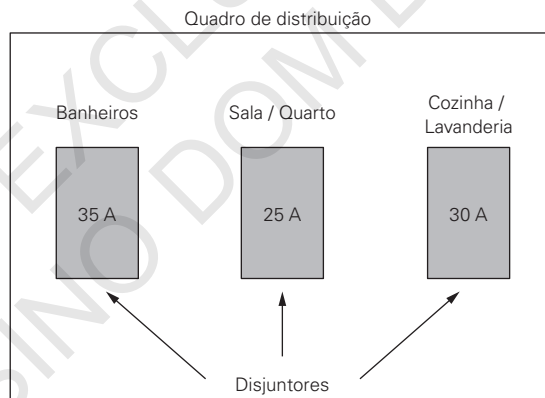
Afirmativa II

Como $R = 8 \Omega$

$$R = \frac{U}{i} \quad 8 = \frac{U}{2} \quad U = 16 \text{ V}$$

Portanto, afirmativa falsa.

3. COC – Um estudante herdou de seus avós uma residência antiga que possuía: dois banheiros, cada um com um chuveiro ($2200 \text{ W}/4460 \text{ W}-220 \text{ V}$), uma sala com uma televisão ($90 \text{ W}-110 \text{ V}$), uma cozinha com uma geladeira ($130 \text{ W}-110 \text{ V}$), uma lavanderia com uma lavadora de roupas ($500 \text{ W}-110 \text{ V}$) e dois quartos. Cada cômodo possuía uma lâmpada incandescente ($60 \text{ W}-110 \text{ V}$), com exceção dos banheiros, nos quais as lâmpadas eram de $60 \text{ W}-220 \text{ V}$. Ao abrir o quadro de distribuição da residência, ele se deparou com a situação da figura a seguir:



O estudante, que tinha conhecimento básico de circuitos elétricos, resolveu analisar se a forma como estava organizado o quadro de distribuição era correta. Logo, ele percebeu um problema localizado:

- nos banheiros, pois, quando os dois chuveiros estiverem ligados simultaneamente na posição inverno, o disjuntor desarmará.
- na sala/quarto, pois, se existem 5 lâmpadas, quando elas estiverem ligadas simultaneamente, o disjuntor desarmará.
- na cozinha/lavanderia, pois, enquanto a geladeira funcionar e for usada, ao mesmo tempo, a lavadora de roupas, o disjuntor desarmará.
- nos banheiros, pois, quando os dois chuveiros estiverem ligados simultaneamente na posição verão, o disjuntor desarmará.
- em todos os cômodos, pois sempre o disjuntor desarmará, independentemente da quantidade de aparelhos ligados.

Considerando os dois chuveiros ligados, temos que a potência máxima de cada um é 4460 W ; como estão ligados a uma ddp de 220 V , logo:

$$P = i \cdot U$$

$$i = \frac{4460}{220} = 20,3 \text{ A}$$

Assim, ao serem ligados os dois chuveiros na potência de 4460 W , teremos aproximadamente $40,6 \text{ A}$. Como o disjuntor suporta somente até 35 A , este desarmará.

4. Enem

C2-H6

Um eletricista analisa o diagrama de uma instalação elétrica residencial para planejar medições de tensão e corrente em uma cozinha. Nesse ambiente existem uma geladeira (G), uma tomada (T) e uma lâmpada (L), conforme a figura.

O eletricista deseja medir a tensão elétrica aplicada à geladeira, a corrente total e a corrente na lâmpada. Para isso, ele dispõe de um voltímetro (V) e dois amperímetros (A).

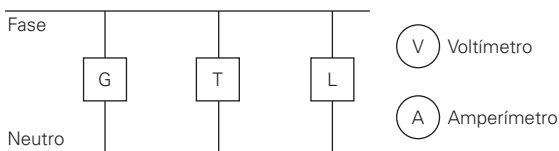
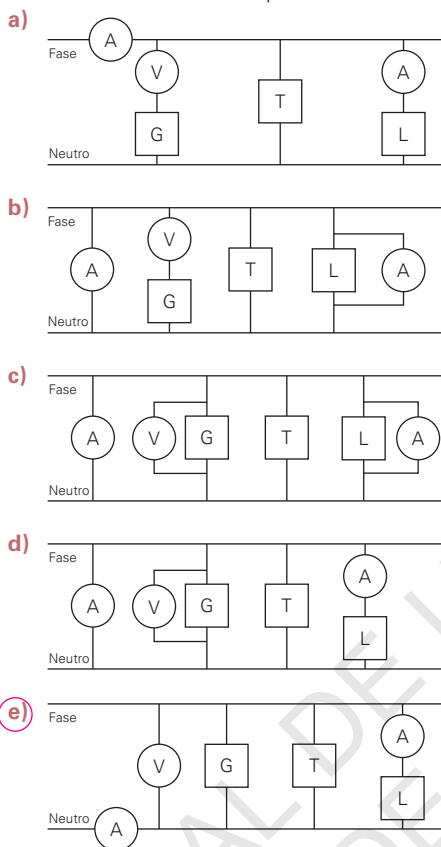


Diagrama representando o esquema de ligação de uma geladeira e de uma lâmpada

Para realizar essas medidas, o esquema da ligação desses instrumentos está representado em:

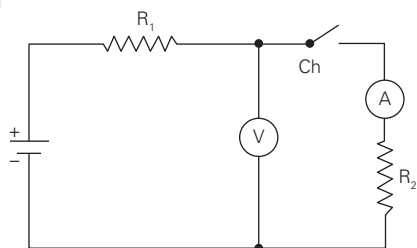


Para medir a diferença de potencial na geladeira, o voltímetro deve ser conectado em paralelo a ela. Já o amperímetro deve ser colocado em série com a lâmpada para possibilitar a leitura correta da corrente elétrica que passa por ela. Para medir a corrente elétrica total do circuito, outro amperímetro deve ser conectado em série com todo o circuito.

Competência: Identificar a presença e aplicar as tecnologias associadas às ciências naturais em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações para compreender manuais de instalação ou utilização de aparelhos, ou sistemas tecnológicos de uso comum.

5. UFPE – No circuito apresentado na figura, a bateria é ideal, assim como o voltímetro e o amperímetro. Quando a chave está aberta, o voltímetro indica $V_A = 12\text{ V}$, e o amperímetro indica $i_A = 0$. Quando a chave está fechada, o voltímetro indica $V_F = 10\text{ V}$, e o amperímetro indica $i_F = 0,05\text{ A}$. Calcule o valor da resistência elétrica R_1 , em ohms.



O resistor equivalente R_{eq} vale $R_{eq} = 200 + R_1$ (estão em série); é percorrido por $i = 0,05\text{ A}$ e está submetido a uma ddp de $U = 12\text{ V}$.

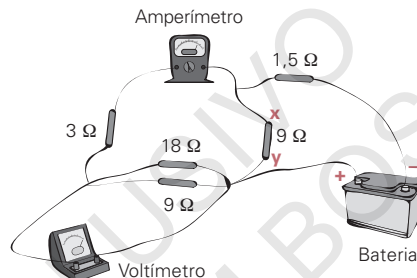
$$R_{eq} = U/i$$

$$(200 + R_1) = 12/0,05$$

$$200 + R_1 = 240$$

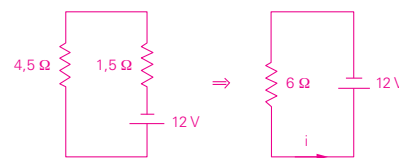
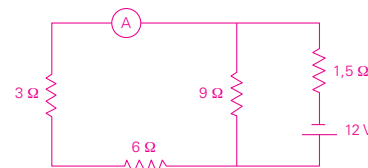
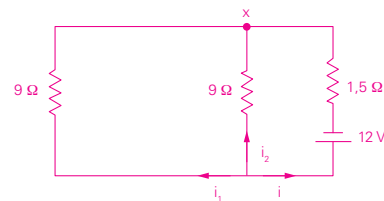
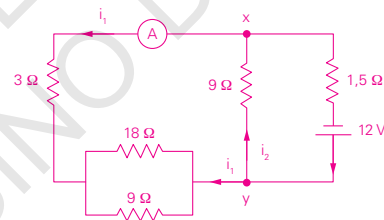
$$R_1 = 40\ \Omega$$

6. UFBA – A figura a seguir representa um circuito elétrico constituído de um voltímetro (V) e um amperímetro (A) ideais, cinco resistores e uma bateria. A bateria fornece tensão de $12,0\text{ V}$ e o voltímetro registra $6,0\text{ V}$.



- a) Qual a resistência equivalente do circuito?
- b) Qual a leitura feita no amperímetro?
- c) Qual a potência dissipada pelo resistor localizado entre X e Y?

a) Simplificando o circuito, temos:



$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{18} + \frac{1}{9} \quad \frac{1}{R_p} = \frac{1+2}{18} \quad \frac{1}{R_p} = \frac{1+1}{9} + \frac{2}{9} \quad R_p = 4,5\ \Omega$$

$$R_p = 6\ \Omega \quad R_{eq} = 6\ \Omega$$

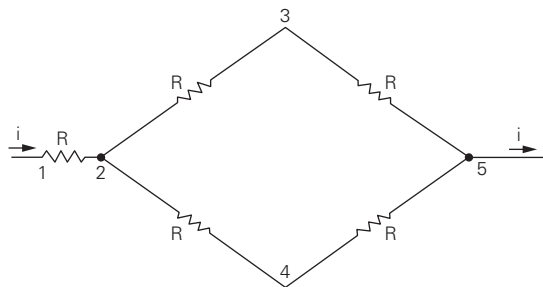
$$b) U = R \cdot i \Rightarrow 6i \Rightarrow i = 2\text{ A}$$

$$\text{Mas: } i = i_2 = \frac{1}{2} \quad i_1 = 1\text{ A}$$

$$c) P_{xy} = R_{xy} i_2^2 \Rightarrow P_{xy} = 9 \cdot 1^2 \Rightarrow P_{xy} = 9\text{ W}$$

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

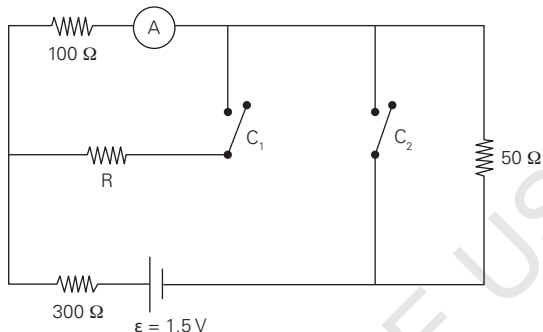
7. Fuvest-SP – Em uma instalação elétrica, os cinco resistores representados na figura são idênticos.



Qual é o par de terminais que você pode segurar, simultaneamente, com as duas mãos sem que haja perigo de sofrer choque?

- a) 1 e 2 d) 2 e 5
b) 1 e 3 e) 3 e 4
c) 1 e 5

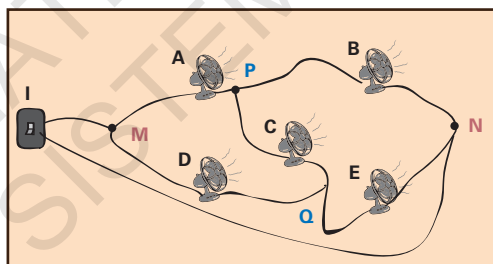
8. Epcar – No circuito elétrico esquematizado a seguir, a leitura no amperímetro A não se altera quando as chaves C_1 e C_2 são simultaneamente fechadas.



Considerando que a fonte de tensão ϵ , o amperímetro e os fios de ligação são ideais e os resistores, ôhmicos, o valor de R é igual a:

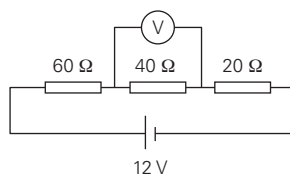
- a) 50 Ω c) 150 Ω
b) 100 Ω d) 600 Ω

9. UFB – Na parede de uma loja de produtos elétricos estão expostos cinco ventiladores idênticos (A, B, C, D e E) e desligados. Os pontos M e N estão ligados a uma rede de tensão elétrica constante de 117 V, conforme o esquema da figura.

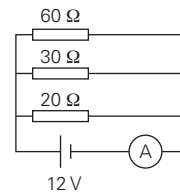


Ligando-se o interruptor I, qual dos ventiladores não funcionará? Justifique.

10. Col. Naval – Considere que determinado estudante, utilizando resistores disponíveis no laboratório de sua escola, montou os circuitos apresentados a seguir:



Situação 1

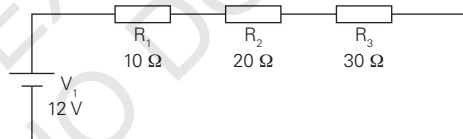


Situação 2

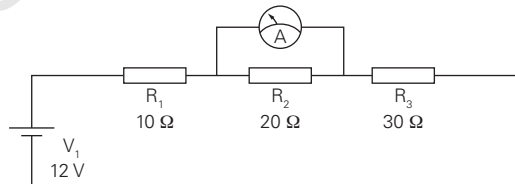
Querendo fazer algumas medidas elétricas, ele usou um voltímetro (V) para medir a tensão e um amperímetro (A) para medir a intensidade da corrente elétrica. Considerando todos os elementos envolvidos como sendo ideais, os valores medidos pelo voltímetro (situação 1) e pelo amperímetro (situação 2) foram, respectivamente:

- a) 2 V e 1,2 A d) 4 V e 2,4 A
b) 4 V e 1,2 A e) 6 V e 1,2 A
c) 2 V e 2,4 A

11. EEAR – Em uma aula de laboratório o professor montou um circuito com três resistores ôhmicos, R_1 , R_2 e R_3 , associados a uma fonte de alimentação ideal (V_1), conforme o circuito a seguir. Ele solicitou a um aluno que, usando um amperímetro ideal, medisse o valor da intensidade de corrente elétrica que flui através de R_2 .



O aluno, porém, fez a ligação do amperímetro (A) da maneira indicada na figura a seguir. Com base nisso, assinale a alternativa que representa o valor indicado, em ampères, no amperímetro.

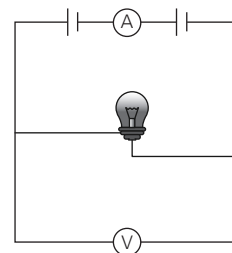


- a) 0,0 V b) 0,2 V c) 0,3 V d) 0,4 V

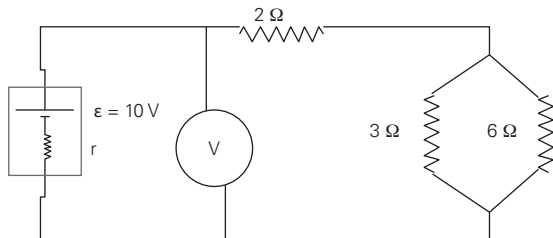
12. Mackenzie-SP – Duas pilhas elétricas de resistências internas nulas, associadas em série, “alimentam” a lâmpada incandescente ilustrada na figura a seguir.

O amperímetro ideal A indica a intensidade de corrente elétrica 0,50 A, quando o voltímetro V, também ideal, indica a ddp de 3,00 V. Sabendo-se que a potência dissipada por efeito Joule no filamento da lâmpada corresponde a 1/4 do valor nominal, indicado pelo fabricante, pode-se afirmar que os valores máximos nominais, de potência e tensão elétrica especificados na lâmpada (potência – ddp), são:

- a) 1,50 W – 3,00 V
b) 3,00 W – 3,00 V
c) 3,00 W – 6,00 V
d) 6,00 W – 6,00 V
e) 6,00 W – 3,00 V

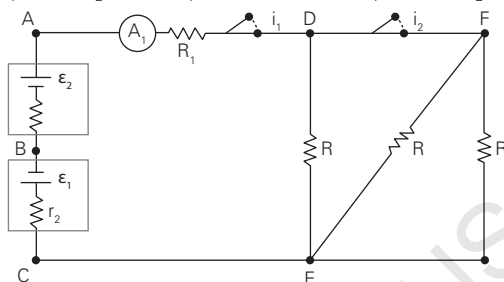


13. No circuito a seguir, a leitura do voltímetro indica 8 V. Calcule a resistência interna do gerador:



14. Unesp-SP – A corrente que corresponde à deflexão máxima do ponteiro de um galvanômetro é de 1,0 mA e sua resistência é de 0,5 Ω. Qual deve ser o valor da resistência de um resistor que precisa ser colocado nesse aparelho para que ele se transforme em um voltímetro apto a medir até 10 V? Como deve ser colocado esse resistor, em série ou em paralelo com o galvanômetro?

15. UFSC – No circuito mostrado na figura a seguir, A_1 é um amperímetro, e I_1 e I_2 são interruptores do circuito. Suponha que os interruptores estejam fechados e que $\epsilon_1 = 2\text{ V}$, $\epsilon_2 = 5\text{ V}$, $R_1 = 3\ \Omega$, $R = 9\ \Omega$, $r_1 = 2\ \Omega$ e $r_2 = 1\ \Omega$.



Assinale a(s) proposição(ões) correta(s). Dê a soma dos números dos itens corretos.

- 01) A diferença de potencial entre A e B é maior que o valor da força eletromotriz ϵ_2 .
 02) A diferença de potencial entre C e B é maior que o valor da força eletromotriz ϵ_1 .
 04) A diferença de potencial entre D e E é igual à diferença de potencial entre F e E.
 08) O amperímetro A_1 registra a mesma corrente, esteja com o interruptor I_2 aberto ou fechado.
 16) Abrindo-se o interruptor I_1 , a diferença de potencial entre A e B é igual ao valor da força eletromotriz ϵ_2 .

16. UEL/PR – O instrumento destinado a medir a intensidade de corrente elétrica é chamado de amperímetro. Para medir a intensidade da corrente que passa por um fio, é preciso primeiro cortá-lo para depois, então, conectar o amperímetro no circuito, de modo que a corrente atravesse o instrumento de medida. Com essa informação, conclui-se que é essencial que a resistência do amperímetro seja:

- a) grande, quando comparada com qualquer uma das resistências presentes no circuito.
 b) aproximadamente igual à maioria das resistências presentes no circuito.
 c) aproximadamente igual à maior das resistências presentes no circuito.
 d) aproximadamente igual à menor das resistências presentes no circuito.
 e) pequena, quando comparada com qualquer uma das resistências presentes no circuito.

17. UFG-GO – Um laboratório possui um galvanômetro de resistência interna 100 Ω e corrente de fundo de escala 2,0 mA. Calcule a resistência necessária para utilizá-lo como:

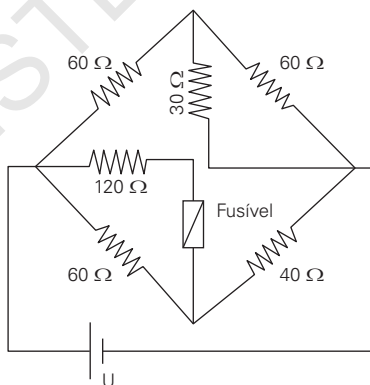
- a) Um amperímetro para medir uma corrente máxima de 50 mA.
 b) Um voltímetro para medir uma tensão máxima de 20 V.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C2-H6

Fusível é um dispositivo de proteção contra sobrecorrente em circuitos. Quando a corrente que passa por esse componente elétrico é maior que sua máxima corrente nominal, o fusível queima. Dessa forma, ele evita que a corrente elevada danifique os aparelhos do circuito. Suponha que o circuito elétrico mostrado seja alimentado por uma fonte de tensão U e que o fusível suporte uma corrente nominal de 500 mA.



Qual é o máximo valor da tensão U para que o fusível não queime?

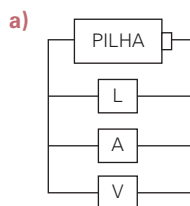
- a) 20 V
 b) 40 V
 c) 60 V
 d) 120 V
 e) 185 V

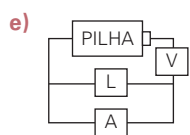
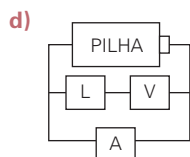
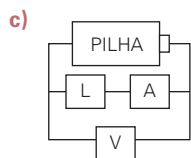
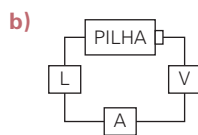
19. Enem

C2-H6

Um eletricista precisa medir a resistência elétrica de uma lâmpada. Ele dispõe de uma pilha, de uma lâmpada (L), de alguns fios e de dois aparelhos: um voltímetro (V), para medir a diferença de potencial entre dois pontos, e um amperímetro (A), para medir a corrente elétrica.

O circuito elétrico montado pelo eletricista para medir essa resistência é:

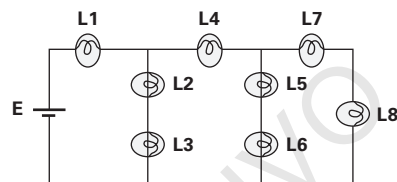




20. Enem

C2-H6

Considere a seguinte situação hipotética: ao preparar o palco para a apresentação de uma peça de teatro, o iluminador deveria colocar três atores sob luzes que tinham igual brilho, e os demais sob luzes de menor brilho. O iluminador determinou, então, aos técnicos, que instalassem no palco oito lâmpadas incandescentes com a mesma especificação (L_1 a L_8), interligadas em um circuito com uma bateria, conforme mostra a figura.



Nessa situação, quais são as três lâmpadas que acendem com o mesmo brilho por apresentarem igual valor de corrente fluindo nelas, sob as quais devem se posicionar os três atores?

- a) L_1 , L_2 e L_3 . c) L_2 , L_5 e L_7 . e) L_4 , L_7 e L_8 .
 b) L_2 , L_3 e L_4 . d) L_4 , L_5 e L_6 .

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO
 SISTEMA DE ENSINO DOMINUS

SHUTTERSTOCK / SURANGASL



FÍSICA 3B

CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS

20

GERADORES E RECEPTORES

- Geradores
- Receptores

HABILIDADES

- Reconhecer geradores e receptores como elementos de um circuito elétrico.
- Reconhecer as finalidades dos geradores e receptores.
- Reconhecer as equações características dos receptores e geradores.
- Resolver circuitos elétricos montados com geradores e receptores.



ADAM NOWAK / DREAMSTIME

Gerador a diesel.

Equipamentos elétricos, por exemplo, máquinas de lavar roupas, telefones celulares, computadores, televisores etc. dependem de geradores elétricos para funcionar, sendo estes responsáveis pelo fornecimento de energia.

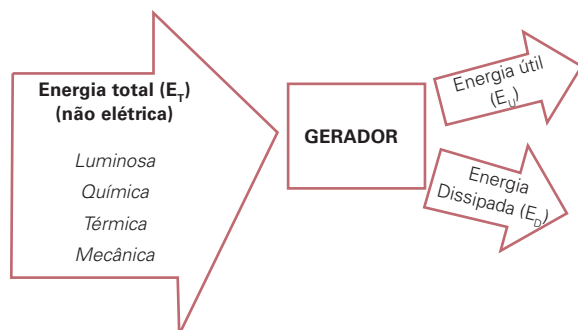
Dessa forma, a energia elétrica transformada pelo gerador é disponibilizada a um circuito elétrico por meio da diferença de potencial (U) aplicada entre dois pontos desse circuito. Essa diferença indica a quantidade de energia elétrica disponibilizada por unidade de carga elétrica que atravessa o gerador.

Já os receptores são equipamentos que transformam energia elétrica em outra modalidade de energia (não elétrica), por exemplo, energia cinética. O motor elétrico é um exemplo de receptor elétrico, sendo utilizado, por exemplo, no funcionamento do ventilador, do liquidificador e da batedeira. Assim, é possível afirmar que gerador e receptor formam um circuito elétrico.

Gerador real

Geradores são projetados para transformar algum tipo de energia em energia elétrica. Dessa forma, existem diversos tipos de geradores elétricos. Para ilustrá-los, observe a tabela a seguir.

Tipo de gerador	Tipo de energia de entrada no gerador	Tipo de energia de saída do gerador
Luminoso	Luminosa	Elétrica
Químico	Química	
Térmico	Térmica	
Mecânico	Mecânica	



Analisando o esquema, pode-se escrever a seguinte relação: $E_T = E_U + E_D$.

Se dividirmos cada termo da igualdade pelo intervalo de tempo em que ocorrem as transformações de energia, temos:

$$\frac{E_T}{t} = \frac{E_U + E_D}{t}$$

$$P_T = P_U + P_D$$

A partir das relações, pode-se obter diferentes formas de calcular as potências indicadas. Portanto, é possível descrevê-las como segue.

POTÊNCIA TOTAL (NÃO ELÉTRICA)

Em um gerador, a quantidade de energia de entrada (não elétrica) por unidade de carga elétrica, com potencial para ser transformada em energia elétrica, é expressa por uma grandeza conhecida como força eletromotriz (f_{em} ou e). Essa grandeza física pode ser determinada por meio de um ensaio em um circuito aberto.

Nesse tipo de experimento é utilizado o voltímetro para medir a diferença de potencial nos polos do gerador, quando não existe corrente elétrica. A diferença de potencial medida é definida como força eletromotriz do gerador (e) e indica o quanto de energia não elétrica pode ser convertida em energia elétrica, para cada coulomb de carga elétrica que atravessa o gerador. Essa força eletromotriz pode ser definida pela equação: $e = \frac{E_T}{Q}$.

Como força eletromotriz possui a mesma dimensão física que a diferença de potencial, a potência total pode ser calculada por meio da seguinte expressão:

$$P_t = e \cdot i$$

POTÊNCIA ÚTIL

A quantidade de energia elétrica por unidade de carga elétrica fornecida pelo gerador para um circuito é indicada pela diferença de potencial que o gerador aplica em dois pontos do circuito. Isso corresponde à diferença de potencial em seus terminais, logo: $P_U = U \cdot i$.

POTÊNCIA DISSIPADA

A resistência interna de um gerador é responsável por dissipar potência. Entretanto, é importante salientar que essa resistência interna não se deve a um resistor inserido pelo fabricante no gerador, mas sim é o resultado da resistência elétrica dos diversos materiais que são utilizados para fabricar o gerador.

A resistência interna do gerador pode ser definida a partir da 1ª Lei de Ohm:

$$U = R \cdot i$$

$$e = r_{int} \cdot i$$

Assim sendo, a potência dissipada pode ser calculada por meio da expressão: $P_D = r_{int} \cdot i^2$.

EQUAÇÃO DE UM GERADOR

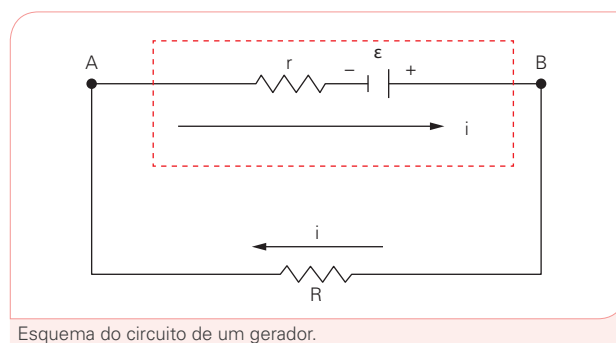
Considerando a potência total, a soma das potências útil e dissipada, pode-se obter as seguintes relações:

$$P_T = P_U + P_D$$

$$e \cdot i = U \cdot i + r_{int} \cdot i^2$$

$$U = e - r_{int} \cdot i$$

Dessa forma, a relação $U = e - r_{int} \cdot i$ é conhecida como a **equação de um gerador**.



Esquema do circuito de um gerador.

A figura representa o circuito de um gerador percorrido por uma corrente i , no qual (e) é a força eletromotriz e r é a resistência interna.

GERADOR IDEAL

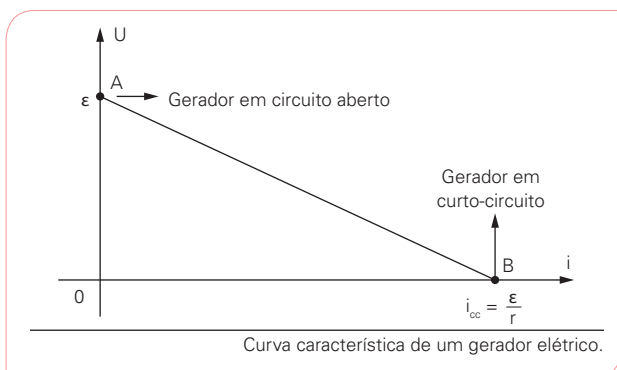
Considera-se um gerador ideal quando a sua energia dissipada for desprezível. Portanto, a sua resistência interna deve ser nula. Assim temos:

$$U = e - r_{int} \cdot i$$

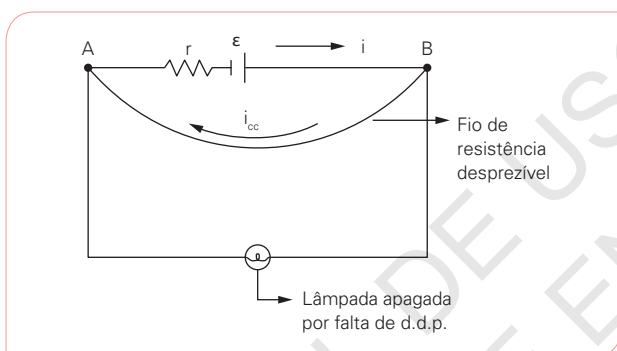
$$U = e - 0 \cdot i$$

$$U = e$$

Com base na equação do gerador ($U = (e) - r \cdot i$), pode-se traçar um gráfico em coordenadas cartesianas, com valores da ddp. U no eixo vertical e valores da intensidade de corrente elétrica i no eixo horizontal. Como a função $U = f(i)$ é linear, o gráfico correspondente é uma reta, conforme mostrado a seguir:



Observe no gráfico que o ponto A, no qual $U = (e)$, corresponde ao gerador em circuito aberto, ou seja, $i = 0$. O ponto B, no qual $U = 0$, corresponde ao gerador em curto-circuito, ou seja, os polos do gerador são ligados externamente por um fio sem resistência, conforme mostrado.



A intensidade de corrente elétrica de curto-circuito é dada por:

$$U = e - r \cdot i$$

$$0 = e - r \cdot i$$

$$i = \frac{e}{r}$$

RENDIMENTO DE UM GERADOR

O rendimento elétrico (h) de um gerador é dado pela razão entre a potência útil (P_U) e a potência total (P_T).

$$h = \frac{P_U}{P_T}$$

Como $P_U = U \cdot i$ e $P_T = e \cdot i$, temos que:

$$h = \frac{U \cdot i}{e \cdot i} = \frac{U}{e}$$

Dessa forma, temos que: $0 < h < 1$

Em percentual, temos $(h)\% = (h) \cdot 100$.

Receptor



Liquidificador - exemplo de receptor elétrico.

Existem elementos em um circuito elétrico que transformam a energia elétrica em outra forma de energia que não a térmica, exclusivamente. Esse elemento recebe o nome de receptor. A transformação de energia pode ser da elétrica para a mecânica, por exemplo, como no caso dos motores elétricos. Nesse contexto, há uma queda no potencial elétrico, sendo ela denominada de **força contraeletromotriz** (e') ou f_{cem} do receptor, cuja unidade no SI é o volt. Exemplos de receptores são o motor elétrico, o liquidificador, a batedeira, a furadeira etc.

A partir do esquema, baseado no princípio de conservação de energia, temos que: $P_T = P_U + P_D$ e:

- P_T (potência total) é a quantidade de energia elétrica fornecida ao receptor por unidade de tempo.
- P_U (potência útil) é quantidade de energia não elétrica obtida do receptor por unidade de tempo.
- P_D (potência dissipada) é quantidade de energia elétrica dissipada na forma de calor, por efeito Joule, por unidade de tempo.

POTÊNCIA ÚTIL

A potência útil é uma parte da potência total que é utilizada pelo receptor para operar de modo correto, sendo diretamente proporcional à intensidade da corrente elétrica. Portanto: $P_U = e' \cdot i$.

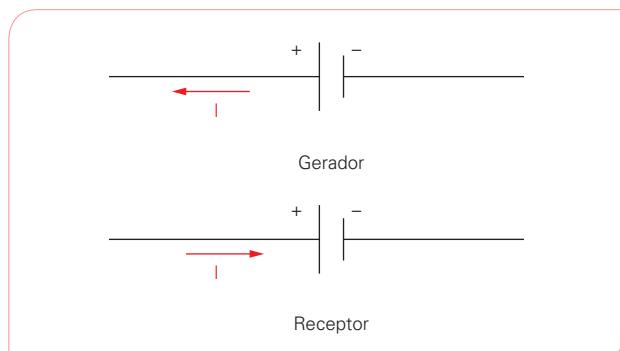
POTÊNCIA DISSIPADA

No receptor, parte da energia é dissipada na forma de calor (efeito Joule), já que os fios internos representam a resistência elétrica. Com isso, tem-se a **resistência interna r'** do receptor. Essa potência dissipada é dada pela expressão: $P_D = r' \cdot i^2$.

POTÊNCIA TOTAL

O receptor tem dois polos, sendo um de entrada de cargas (polo positivo) e um de saída de cargas (polo

negativo). Dessa forma, a representação do receptor é a mesma do gerador, no entanto, com sentido de corrente elétrica contrária ao do gerador, ou seja, sentido do positivo para o negativo, como ilustrado na figura a seguir.



Representação de um gerador e de um receptor.

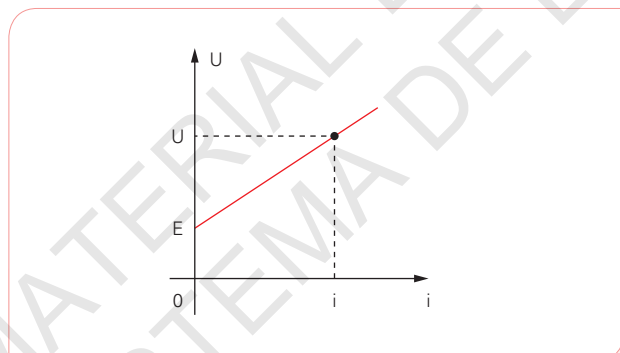
Tendo em vista que se trata de um bipolo, a potência elétrica total pode ser obtida por meio da expressão: $P_T = U \cdot i$.

EQUAÇÃO DE UM RECEPTOR

Considerando a potência total a soma das potências útil e dissipada, pode-se obter as seguintes relações:

$$\begin{aligned} P_T &= P_U + P_D \\ U \cdot i &= e' \cdot i + r' \cdot i^2 \\ U &= e' + r' \cdot i \end{aligned}$$

Tendo em vista essa equação, é possível traçar o gráfico do receptor:



Curva característica do receptor.

Considerando os pontos $(0, (e)')$ e (i, U) , tem-se que r' é dado por:

$$r' = \frac{U - e'}{i}$$

RENDIMENTO DE UM RECEPTOR

Como o rendimento (h) é dado pela razão entre a potência útil (P_U) e a potência total (P_T), temos que:

$$h = \frac{P_U}{P_T}$$

Como $P_U = e' \cdot i$ e $P_T = U \cdot i$, temos que:

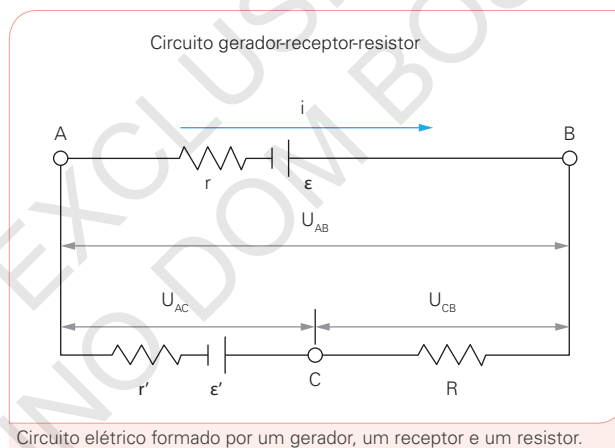
$$h = \frac{e' \cdot i}{U \cdot i} = \frac{e'}{U}$$

Dessa forma, temos que: $0 < h < 1$

Em percentual, temos $(h)\% = (h) \cdot 100$.

Lei de Poulliet

Seja um circuito elétrico em que estão ligados em série um gerador, um receptor e um resistor R , conforme mostra a figura a seguir.



Circuito elétrico formado por um gerador, um receptor e um resistor.

No circuito representado, a potência elétrica que está sendo fornecida pelo gerador será consumida pelo receptor e pelo resistor. Por tratar-se de uma ligação em série, tem-se que a corrente i é a mesma que atravessa cada um deles.

Dessa forma, podemos escrever:

$$\begin{aligned} U_{\text{GERADOR}} &= U_{\text{RECEPTOR}} + U_{\text{RESISTOR}} \\ e - r \cdot i &= e' + r'_{\text{int}} \cdot i + R \cdot i \\ e - e' &= (R + r + r') \cdot i \\ i &= \frac{e - e'}{R + r + r'} \end{aligned}$$

Às vezes, o circuito possui vários geradores, receptores e resistores associados em série. Nesse caso, podemos generalizar da seguinte forma:

$$i = \frac{\sum e - \sum e'}{\sum R + \sum r}$$

É importante destacar algumas observações sobre os geradores e receptores:

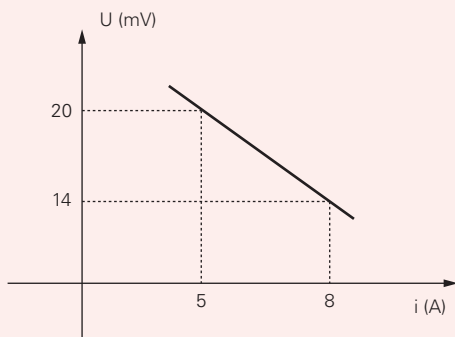
- Em um circuito elétrico pode haver geradores e receptores sem uma indicação explícita de qual equipamento se trata. Nesse caso, um critério para reconhecimento é que a força eletromotriz

(f_{em}) dos geradores será maior do que a força contraeletromotriz (cf_{em}) dos receptores. Outra forma de identificar geradores e receptores se dá pelo sentido da corrente elétrica. Nos geradores, a corrente sempre entra pelo polo negativo, enquanto, nos receptores, a corrente entra pelo polo positivo.

- Uma bateria, em um processo de carga, funciona como um receptor. Nesse caso, ocorre a transformação de energia elétrica em energia química. É o que acontece, por exemplo, quando se coloca a bateria do telefone celular para recarregar.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. Ufal-AL – Comumente denomina-se gerador qualquer aparelho no qual a energia química, mecânica ou de outra natureza é transformada em energia elétrica. A curva característica é o gráfico que relaciona a intensidade de corrente i no gerador com a diferença de potencial (ddp) U entre seus terminais. Considerando que o gráfico a seguir representa a curva característica de um gerador hipotético, qual a intensidade da corrente de curto-circuito desse gerador?



- a) 0,15 A. d) 30 A.
b) 1,5 A. e) 32 A.
c) 15 A.

Resolução

Considerando a equação do gerador $U = e - r \cdot i$ e as informações do gráfico,

$$\begin{aligned} 20 &= e - 5 \cdot r \\ 14 &= e - 8 \cdot r \end{aligned}$$

Por meio da resolução do sistema composto pelas equações, podemos definir (e) e r . Para resolver o sistema iremos multiplicar a segunda equação por -1 .

$$\begin{aligned} 20 &= e - 5 \cdot r \\ -14 &= e + 8 \cdot r \end{aligned}$$

Somando as equações termo a termo, teremos:

$$\begin{aligned} 6 &= 3 \cdot r \\ r &= 2 \end{aligned}$$

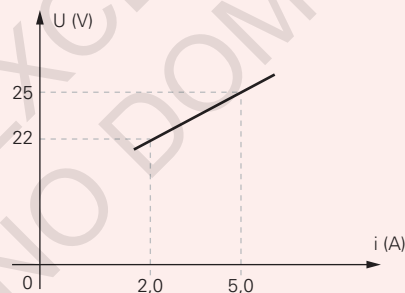
Substituindo o valor da resistência interna em qualquer das equações, teremos:

$$\begin{aligned} 20 &= e - 5 \cdot r \\ 20 &= e - 5 \cdot 2 \\ 20 + 10 &= e \\ e &= 30V \end{aligned}$$

A corrente de curto-circuito (i_{cc}) é a corrente elétrica referente à ddp nula, portanto, com $U = 0$, teremos:

$$\begin{aligned} U &= e - r \cdot i \\ 0 &= 30 - 2 \cdot i_{cc} \\ 2 \cdot i_{cc} &= 30 \\ i_{cc} &= 15A \end{aligned}$$

2. Mackenzie-SP – A tensão nos terminais de um receptor varia com a corrente, conforme o gráfico:



A f_{cem} e a resistência interna desse receptor são, respectivamente:

- a) 11 V e 1,0 Ω
b) 12,5 V e 2,5 Ω
c) 20 V e 1,0 Ω
d) 22 V e 2,0 Ω
e) 25 V e 5,0 Ω

Resolução

Sendo a equação característica do receptor:

$U = e' + r' \cdot i$, do gráfico extraímos os valores de U e i e montamos o sistema:

$$\begin{aligned} 25 &= e' + r' \cdot 5,0 \\ 22 &= e' + r' \cdot 2,0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 25 &= e' + r' \cdot 5,0 \\ -22 &= -e' - r' \cdot 2,0 \quad + \\ \hline 3 &= r' \cdot 3,0 \quad r' = 1,0 \end{aligned}$$

Escolhemos uma equação, por exemplo

$22 = (e)' + r' \cdot 2,0$, e substituímos os valores encontrados:

$$22 = (e)' + 1,0 \cdot 2,0 \rightarrow (e)' = 20V.$$

ROTEIRO DE AULA

GERADORES E RECEPTORES

**Gerador (e) (Força
eletromotriz - f_{em})**

Receptor (e),

(Força contraeletromotriz - c_{em})

Lei de Pouillet

Real

Ideal

Rendimento:

$$(h) = U/(e)$$

Equação:

$$U = (e)' + r \cdot i$$

Para um gerador,
um receptor e um
resistor

Generalizando

$$i = (\Sigma(e) - \Sigma(e)') / (\Sigma R + \Sigma r)$$

$$i = ((e) - (e)') / (R + r + r')$$

Equação:

$$U = U(e) - r \cdot i$$

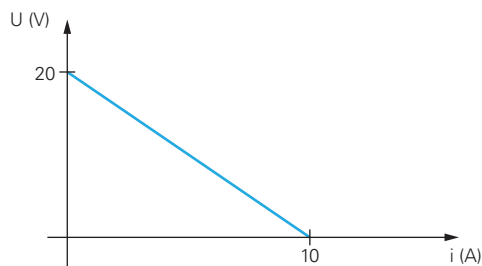
Equação:

$$U = (e)$$

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO SISTEMA DE ENSINO COM BOSCO

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. UEM-PR – A curva característica de um gerador elétrico está mostrada na figura seguinte.



A equação do gerador é:

- a) $U = 20 - 2 \cdot i$ d) $U = 20 - 10 \cdot i$
 b) $U = 10 - 5 \cdot i$ e) $U = 10 - 2 \cdot i$
 c) $U = 10 - 20 \cdot i$

$$e = 20 \text{ V e } i_{cc} = 10 \text{ A}$$

$$i = \frac{e}{r} \quad 10 = \frac{20}{r} \quad r = 2$$

Como a equação do gerador é dada por $U = e - r \cdot i$, temos que:
 $U = 20 - 2 \cdot i$

2. UFU-MG – O circuito elétrico (fig. 1) é utilizado para a determinação da resistência interna r e da força eletromotriz ϵ do gerador. Um resistor variável R (também conhecido como reostato) pode assumir diferentes valores, fazendo que a corrente elétrica no circuito também assuma valores diferentes para cada valor escolhido de R . Ao variar os valores de R , foram obtidas leituras no voltímetro V e no amperímetro A , ambos ideais, resultando no gráfico (fig. 2).

Figura 1

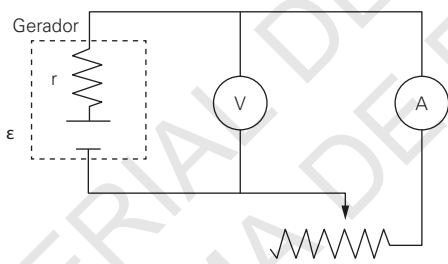
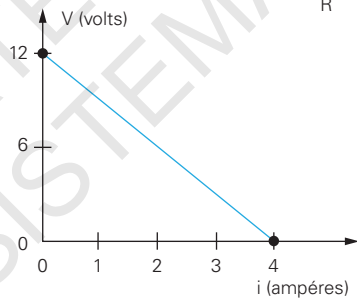


Figura 2



Com base nessas informações, assinale a alternativa que corresponde aos valores corretos, respectivamente, da resistência interna e da força eletromotriz do gerador.

- a) 2Ω e 7 V d) 4Ω e 8 V
 b) 1Ω e 4 V e) 6Ω e 18 V
 c) 3Ω e 12 V

De acordo com o gráfico da figura 2, quando a corrente elétrica é nula, a ddp fornecida ao circuito é de 12 V . Então, temos:

$$U = e - r \cdot i$$

$$12 = e - r \cdot 0$$

$$12 = e - 0$$

$$12 = e$$

Quando $i = 4$, então $U = 0$.

$$U = e - r \cdot i$$

$$0 = 12 - r \cdot 4$$

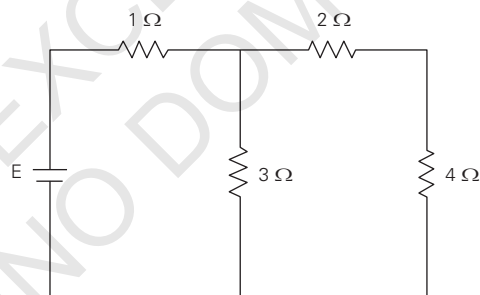
$$12 = r \cdot 4$$

$$\frac{12}{4} = r$$

$$3 = r$$

$$3 = r$$

3. Mackenzie-SP – No circuito elétrico representado a seguir, o resistor de 4Ω é percorrido pela corrente elétrica de intensidade 2 A .



A força eletromotriz do gerador ideal é:

- a) 24 V d) 12 V
 b) 18 V e) 6 V
 c) 15 V

Em série os resistores:

$$2 \Omega + 4 \Omega = 6 \Omega$$

Como os resistores $R_1 = 6 \Omega$ e $R_2 = 3 \Omega$ estão em paralelo, temos: $U_1 = U_2$ e como a corrente que passa por 6Ω é a mesma que passa por 4Ω , temos:

$$6 \cdot i_1 = 3 \cdot i_2 \quad i_1 = 2 \text{ A}$$

$$6 \cdot 2 = 3 \cdot i_2$$

$$\frac{12}{3} = i_2$$

$$i_2 = 4 \text{ A}$$

Logo, corrente total é dada por:

$$i_T = i_1 + i_2 \quad i_1 = 2 \text{ A e } i_2 = 4 \text{ A}$$

$$i_T = 2 + 4$$

$$i_T = 6 \text{ A}$$

$$\frac{(R_1 \cdot R_2)}{(R_1 + R_2)} = \frac{(6 \cdot 3)}{(6 + 3)} = \frac{18}{9} = 2$$

$$R_{eq} = 2 + 1$$

$$R_{eq} = 3$$

$$U = 3 \cdot 6 \text{ A}$$

$$U = 18 \text{ V}$$

4. Ufal-AL (adaptado) – Um determinado gerador, que possui f_{em} 2,0 V e resistência interna $0,5 \Omega$, está associado em série a uma pequena lâmpada de resistência 2Ω . Determine a tensão elétrica existente entre os terminais do gerador.

$$U = e - r \cdot i$$

$$R \cdot i = e - r \cdot i$$

$$2 \cdot i = 2 - 0,5 \cdot i$$

$$i = 0,8 \text{ A}$$

$$U = R \cdot i$$

$$U = 2 \cdot 0,8$$

$$U = 1,6 \text{ V}$$

5. COC – Um brinquedo eletrônico utiliza 5 pilhas de 1,5 V e $0,5 \Omega$, cada uma, em série. Quando em funcionamento, a intensidade de corrente elétrica através das pilhas é 0,5 A. Nessas condições, determine:

a) a força eletromotriz (e_E) e a resistência interna r_E do gerador equivalente;

b) o rendimento do conjunto de pilhas.

$$\text{a) } e_E = 5 \cdot e \quad e_E = 5 \cdot 1,5 \quad e_E = 7,5 \text{ V}$$

$$R_E = 5 \cdot r \quad R_E = 5 \cdot 0,5 \quad R_E = 2,5$$

$$U = e - r \cdot i \quad U = 7,5 - 2,5 \cdot 0,5 \quad U = 6,25 \text{ V}$$

$$\text{b) } h = \frac{U}{e} \quad h = \frac{6,25}{7,5} = 0,83 \quad h = 83\%$$

6. Enem

C2-H6

Em algumas residências, cercas eletrificadas são utilizadas com o objetivo de afastar possíveis invasores. Uma cerca eletrificada funciona com uma diferença de potencial elétrico de aproximadamente 10 000 V. Para que não seja letal, a corrente que pode ser transmitida através de uma pessoa não deve ser maior do que 0,01 A. Já a resistência elétrica corporal entre as mãos e os pés de uma pessoa é da ordem de $1\,000 \Omega$. Para que a corrente não seja letal a uma pessoa que toca a cerca eletrificada, o gerador de tensão deve possuir uma resistência interna que, em relação à do corpo humano, é:

- praticamente nula.
- aproximadamente igual.
- milhares de vezes maior.
- da ordem de 10 vezes maior.
- da ordem de 10 vezes menor.

Quando a pessoa entra em contato com a cerca, forma um circuito em que a resistência do corpo R está em série com a resistência interna r do gerador. Assim $U = R_{eq} \cdot i$

Como $U = 10\,000 \text{ V} = 1 \cdot 10^4 \text{ V}$, $i = 0,01 \text{ A} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ A}$ e $R = 1\,000 \Omega = 1 \cdot 10^3 \Omega$, temos:

$$1 \cdot 10^4 = (r + 1 \cdot 10^3) \cdot 1 \cdot 10^{-2}$$

$$r + 1 \cdot 10^3 = 1 \cdot 10^6$$

$$r = 1 \cdot 10^6 - 1 \cdot 10^3 = (1 \cdot 10^3 - 1) \cdot 1 \cdot 10^3$$

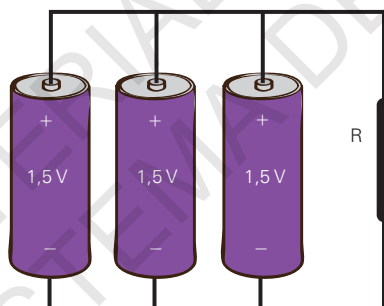
$$r = (1 \cdot 10^3 - 1) \cdot R = 999 R \rightarrow r \cong 1\,000 R$$

Competência: Identificar a presença e aplicar as tecnologias associadas às ciências naturais em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações para compreender manuais de instalação ou utilização de aparelhos, ou sistemas tecnológicos de uso comum.

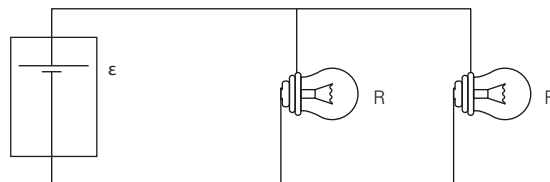
EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Fuvest-SP (adaptado) – O esquema a seguir mostra três pilhas ideais de 1,5 V, ligadas a um resistor de 30Ω . Os valores da tensão e da corrente elétrica no resistor, são, respectivamente:

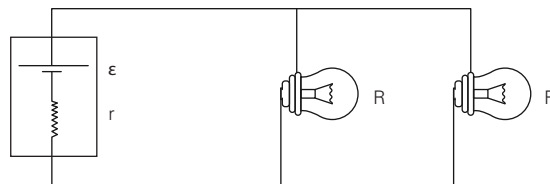


- 1,5 V e 0,05 A.
- 3 V e 0,10 A.
- 4,5 V e 0,15 A.
- 1,5 V e 20 A.
- 3,0 V e 10 A.

8. Considere um gerador ideal, de força eletromotriz ϵ , ligado a um circuito simples, com todas as conexões elétricas corretas, constituído de duas lâmpadas idênticas de resistência elétrica R , conforme a figura.



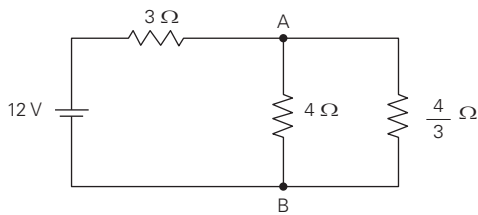
Ao considerarmos sua resistência interna r , o circuito sofre a seguinte alteração:



Comparando as duas situações e considerando a resistência interna do gerador, podemos afirmar corretamente que a potência dissipada pelas lâmpadas no segundo caso:

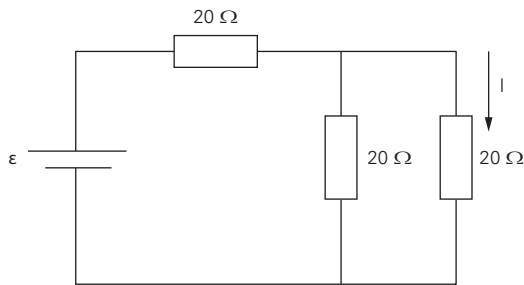
- aumenta.
- diminui.
- não se altera.
- irá aumentar ou diminuir, dependendo do valor de r .

9. UEG-GO – Um gerador ideal de 12 V é ligado a um conjunto de três resistores, conforme mostra a figura.



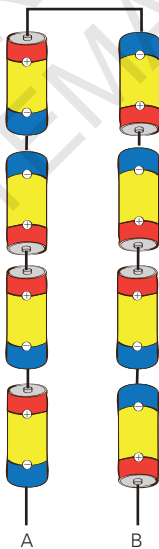
- a) Determine a potência elétrica dissipada no resistor de 4 Ω.
b) Que porcentagem da potência total fornecida pelo gerador é dissipada no resistor de 3 Ω?

10. Cefet-MG – Analise o circuito a seguir:



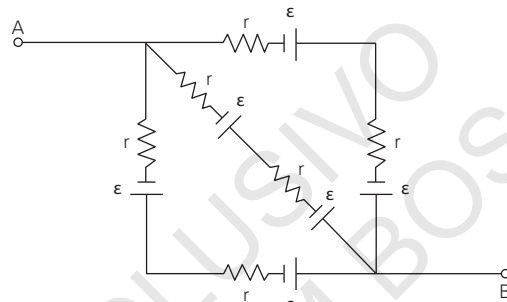
Sabendo-se que a corrente I é igual a 500 mA, o valor da tensão fornecida pela bateria, em volts, é

- a) 10. c) 30. e) 50.
b) 20. d) 40.
11. Em um aparelho de som portátil a energia necessária para o seu funcionamento vem de oito pilhas grandes, de força eletromotriz igual a 1,5 V e resistência interna igual a 0,1 Ω cada uma. O usuário do aparelho colocou as pilhas no compartimento adequado, conforme ilustrado na figura a seguir. Tentando ligar o aparelho, ele verificou que não funcionava. De acordo com seus conhecimentos de Física, nesse caso, o valor da força eletromotriz resultante entre os pontos B e A e a resistência total da associação de geradores seriam, respectivamente, iguais a:



- a) 12 V e $\frac{0,1}{8}$ Ω.
b) 6 V e 0,8 Ω.
c) 9 V e $\frac{0,1}{8}$ Ω.
d) 9 V e 0,8 Ω.

12. Todos os geradores mostrados na figura a seguir são idênticos, possuem f_{em} de 1,5 V e resistência interna de 0,3 Ω. Determine o gerador equivalente da associação.

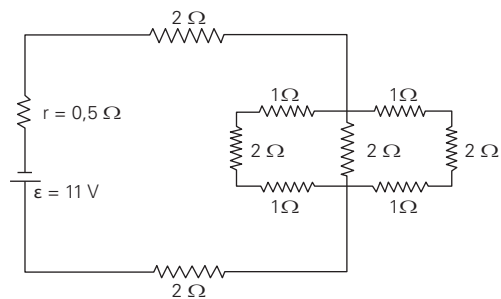


13. Fuvest-SP – Um circuito elétrico contém 3 resistores (R_1 , R_2 e R_3) e uma bateria de 12 V cuja resistência interna é desprezível. As correntes que percorrem os resistores R_1 , R_2 e R_3 são, respectivamente, 20 mA, 80 mA e 100 mA.

Sabendo-se que o resistor R_2 tem resistência igual a 25 ohms:

- a) Esquematize o circuito elétrico.
b) Calcule os valores das outras duas resistências.

14. Ufit-MG – Calcular a intensidade da corrente, em ampêres, que atravessa o gerador no circuito a seguir:



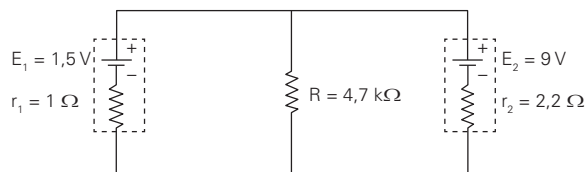
- a) 2 d) 1,75
b) 3 e) 0,28
c) 5

15. Uma bateria composta por 50 células voltaicas em série é carregada por uma fonte de corrente contínua ideal de 220 V. Cada célula tem uma força eletromotriz de 2,30 V e resistência interna de 0,100 Ω. Sendo a corrente de carregamento 6,00 A, indique o valor da resistência extra que deve ser inserida em série com a fonte.

- a) 23,0 Ω d) 5,00 Ω
b) 36,6 Ω e) 19,20 Ω
c) 12,5 Ω

16. Duas pilhas cujas f_{em} e resistências internas são, respectivamente, $E_1 = 1,5$ V, $E_2 = 9$ V e $r_1 = 1$ Ω, $r_2 = 2,2$ Ω são

ligadas por fios de resistência desprezível a um resistor $R = 4,7 \text{ k}\Omega$, segundo o esquema indicado na figura. Determine as intensidades das correntes nos diferentes trechos do circuito.



17. Qual será a resistência interna para um gerador que possui f_{em} igual a 50 V e rendimento de 60% quando percorrido por uma corrente de 2,5 A?

- 8 Ω
- 4 Ω
- 2 Ω
- 16 Ω
- 20 Ω

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C2-H6

Em museus de ciências, é comum serem encontradas máquinas que eletrizam materiais e geram intensas descargas elétricas. O gerador de Van de Graaff (Figura 1) é um exemplo, como atestam as faíscas que ele produz (Figura 2). O experimento fica mais interessante quando se aproxima do gerador em funcionamento, com a mão, uma lâmpada fluorescente (Figura 3). Quando a descarga atinge a lâmpada, mesmo desconectada da rede elétrica, ela brilha por breves instantes. Muitas pessoas pensam que é o fato de a descarga atingir a lâmpada que a faz brilhar. Contudo, se a lâmpada for aproximada dos corpos da situação (Figura 2), no momento em que a descarga ocorrer entre eles, ela também brilhará, apesar de não receber nenhuma descarga elétrica.

Figura 1



Gerador de Van de Graaff.

Figura 2



Descarga elétrica no gerador.

Figura 3



Lâmpada fluorescente.

A grandeza física associada ao brilho instantâneo da lâmpada fluorescente, por estar próxima a uma descarga elétrica, é o(a)

- carga elétrica.
- campo elétrico.
- corrente elétrica.
- capacitância elétrica.
- condutividade elétrica.

19. Enem

C2-H6

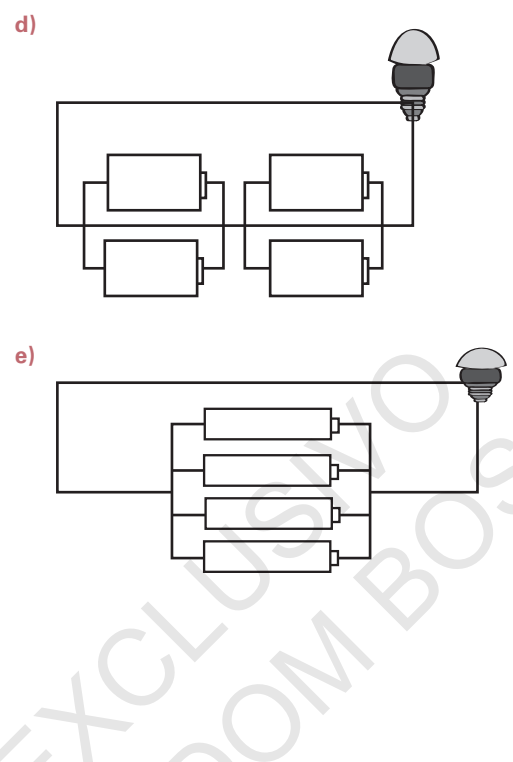
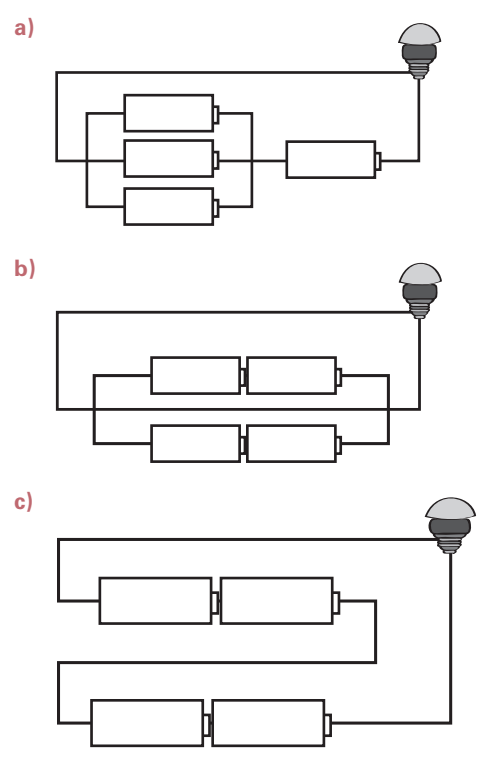
Ao sintonizarmos uma estação de rádio ou um canal de TV em um aparelho, estamos alterando algumas características elétricas de seu circuito receptor. Das inúmeras ondas eletromagnéticas que chegam simultaneamente ao receptor, somente aquelas que oscilam com determinada frequência resultarão em máxima absorção de energia. O fenômeno descrito é a

- difração.
- refração.
- polarização.
- interferência.
- ressonância.

20. Enem

C2-H6

Em um laboratório, são apresentados aos alunos uma lâmpada, com especificações técnicas de 6 V e 12 W, e um conjunto de 4 pilhas de 1,5 V cada um. Qual associação de geradores faz que a lâmpada produza maior brilho?

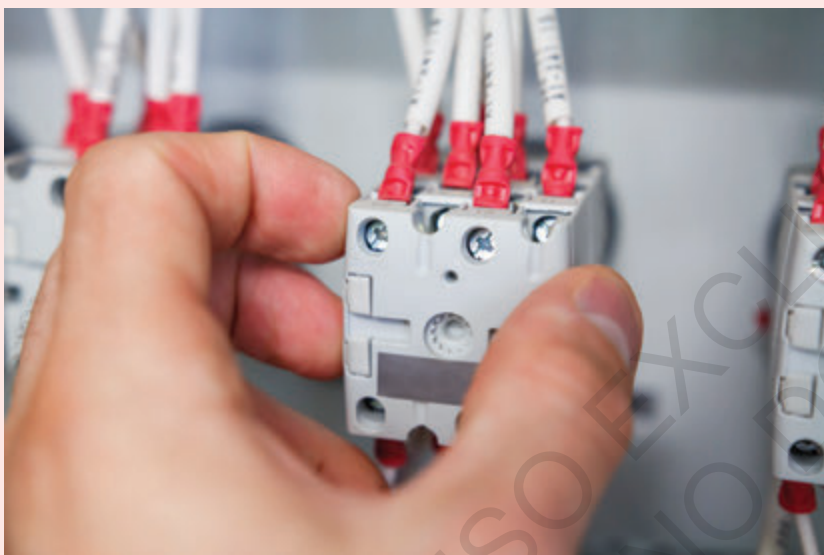


MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

ASSOCIAÇÃO DE DISPOSITIVOS ELÉTRICOS EM CIRCUITOS RESIDENCIAIS

21

SIARHEI DZMITRYENKA/DREAMSTIME

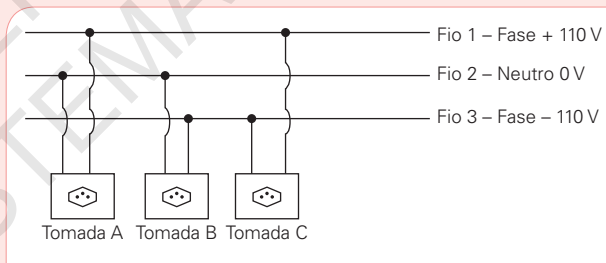


Instalação de disjuntores em quadro de energia elétrica.

Em instalações elétricas residenciais, há diversos equipamentos como lâmpadas, geladeiras, televisores, micro-ondas etc. Esses equipamentos devem ser ligados de maneira adequada a fim de prevenir acidentes e evitar incêndios.

Associação de dispositivos elétricos em circuitos residenciais

No esquema a seguir, as tomadas A, B e C estão conectadas aos fios fornecidos por uma concessionária de energia elétrica que chegam até uma residência.



A concessionária de energia elétrica leva os fios até uma “caixa de força” que fica na entrada das residências. Esses fios são chamados de fases (+110 V e –110 V) e neutro (0 V). As ligações a serem feitas entre esses fios e os equipamentos podem ser de acordo com o ilustrado na figura. Portanto, temos que:

- Tomada A: está conectada ao fio 1 (+110 V) e ao fio 2 (0 V). A diferença de potencial da tomada A (U_A) é dada por $U_A = 110 - 0 = 110$ V.
- Tomada B: está conectada ao fio 2 (0 V) e ao fio 3 (–110 V). A diferença de potencial da tomada B (U_B) é dada por $U_B = 0 - (-110) = 110$ V.

- Associação de dispositivos elétricos em circuitos residenciais

HABILIDADES

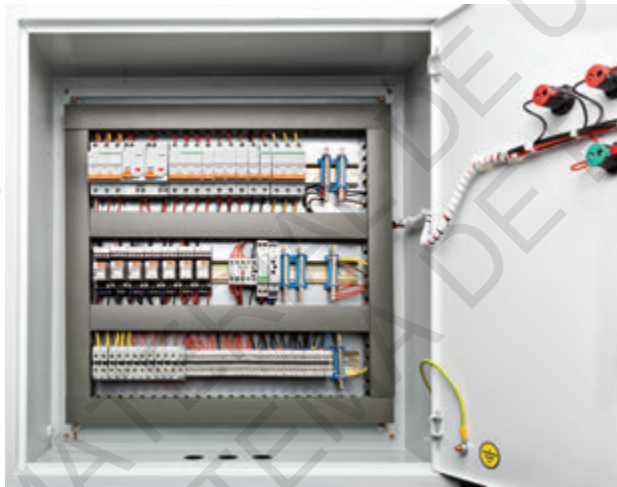
- Identificar dispositivos elétricos utilizados em circuitos residenciais.
- Identificar dispositivos de segurança para uso adequado de equipamentos elétricos e em instalações elétricas.
- Relacionar a grandeza física potência com a corrente elétrica e como essa corrente pode estar ligada à segurança elétrica.

- Tomada C: está conectada ao fio 1 (+110 V) e ao fio 3 (-110 V). A diferença de potencial da tomada C (U_C) é dada por $U_C = 110 - (-110) = 220$ V.

Dessa forma, essas possibilidades de ligações permitem que os equipamentos sejam ligados em diferença de potencial de 110 V ou 220 V, de acordo com a especificação de cada eletrodoméstico.

Na figura, as tomadas estão ligadas de modo a formar um circuito em paralelo quando forem conectados a elas equipamentos elétricos. A vantagem nesse tipo de ligação se deve ao fato de que os equipamentos funcionam de modo independente. No entanto, vale ressaltar que a corrente total do circuito é a soma das correntes em cada equipamento. Assim, se a essas tomadas (A, B e C) estiverem conectados três equipamentos, a corrente total será dada por: $i_{TOTAL} = i_A + i_B + i_C$. Por esse motivo, faz-se necessária a presença de um fusível ou disjuntor no circuito em que estão conectados.

A imagem a seguir apresenta disjuntores conectados em um quadro de distribuição de energia. Esses dispositivos atuam como equipamentos de proteção, caso a corrente nos fios exceda um limite de segurança. Exemplificando, caso em um circuito esteja um disjuntor de 30 A, isso significa que só poderá passar por esse circuito uma corrente de, no máximo, 30 A. Caso os equipamentos conectados façam que a corrente elétrica seja maior do que 30 A, o disjuntor desligará, ou seja, deixará o circuito aberto e interromperá a passagem da corrente elétrica.



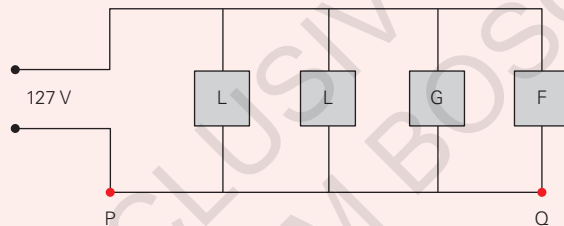
Quadro de distribuição de energia elétrica.

Vale ressaltar que a corrente elétrica do circuito está diretamente relacionada à potência elétrica de

cada equipamento conectado ao sistema por meio da relação $P = i \cdot U$. Assim, de acordo com a potência exigida por equipamento, e sendo a diferença de potencial constante, temos uma relação diretamente proporcional entre a potência e a corrente elétrica, ou seja, quanto maior for a potência exigida de um equipamento elétrico, maior deverá ser a corrente elétrica que o percorrerá.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. UFMG-MG – O circuito da rede elétrica de uma cozinha está representado, esquematicamente, nesta figura:



2. Nessa cozinha, há duas lâmpadas, L, uma geladeira, G, e um forno elétrico, F. Considere que a diferença de potencial na rede elétrica é constante. Inicialmente, apenas as lâmpadas e o forno estão em funcionamento. Nessa situação, as correntes elétricas nos pontos P e Q, indicados na figura, são, respectivamente, i_p e i_Q . Em certo instante, a geladeira entra em funcionamento.

3. Considerando-se essa nova situação, é CORRETO afirmar que:

- a) i_p e i_Q se alteram.
- b) Apenas i_p se altera.
- c) i_p e i_Q não se alteram.
- d) Apenas i_Q se altera.

Resolução

Como os aparelhos estão ligados em paralelo, a ddp será a mesma para todos eles e a resistência de cada aparelho não muda. Portanto, a corrente será a mesma no ponto Q. Mesmo que os outros equipamentos sejam ligados ao mesmo tempo que o forno, a intensidade da corrente elétrica no ponto Q continua inalterada, uma vez que a ddp e a resistência do forno permanecem a mesma.

Entretanto, a corrente que passa pelo ponto P poderá ser diferente, dependendo da quantidade de equipamentos ligados ao mesmo tempo, pois a corrente total será a soma da corrente que passa por equipamento.

ROTEIRO DE AULA

ASSOCIAÇÃO DE
DISPOSITIVOS ELÉTRICOS EM
CIRCUITOS RESIDENCIAISAssociação em
paraleloDiferença de
potencial deve ser:a mesma para cada dispositivo
conectado.Corrente total
do circuito é:a soma das correntes em cada
equipamento.Disjuntores e
fusíveis são:Equipamentos de segurança necessários em
instalações elétricas.

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. ITE-SP – Um cordão de lâmpadas de Natal é formado com a ligação em série de lâmpadas iguais, na qual cada uma tem resistência de 8Ω e potência de $0,5 \text{ W}$. Quantas lâmpadas formam esse cordão, se ele é ligado em 110 V ?

- a) 20 lâmpadas d) 14 lâmpadas
b) 55 lâmpadas e) 60 lâmpadas
 c) 22 lâmpadas

$$P = \frac{U^2}{R}$$

$$U = \sqrt{P \cdot R}$$

$$U' = \sqrt{8 \cdot 0,5}$$

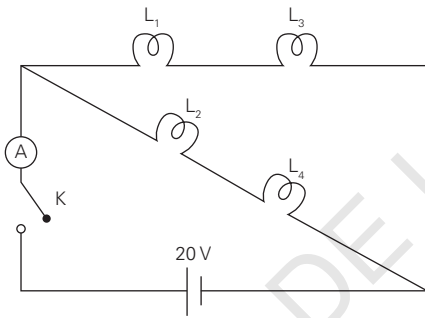
$$U' = 2 \text{ V}$$

$$U = n \cdot U'$$

$$n = \frac{U}{U'} = \frac{110}{2} = 55$$

2. Mackenzie-SP – Quatro lâmpadas, associadas de acordo com o esquema, apresentam as seguintes inscrições nominais:

L_1 : (10 W, 20 V), L_2 : (20 W, 20 V), L_3 : (5 W, 10 V) e L_4 : (10 W, 10 V)



Ao ligarmos a chave K, observaremos que:

- a) nenhuma lâmpada se "queimará" e o amperímetro ideal acusará a passagem de corrente de intensidade 1 A .
 b) nenhuma lâmpada se "queimará" e o amperímetro ideal acusará a passagem de corrente de intensidade $4,5 \text{ A}$.
 c) nenhuma lâmpada irá acender, pois foram ligadas fora da especificação do fabricante.
 d) as lâmpadas L_1 e L_3 se "queimarão".
 e) as lâmpadas L_2 e L_4 se "queimarão".

$$L_1: R_1 = \frac{(20)^2}{10} = 40$$

$$L_2: R_2 = \frac{(20)^2}{20} = 20$$

$$L_3: R_3 = \frac{(10)^2}{5} = 20$$

$$L_4: R_4 = \frac{(10)^2}{10} = 10$$

$$i_1 = \frac{20}{30} = \frac{2}{3} \text{ A}$$

$$i_2 = \frac{20}{60} = \frac{2}{3} \text{ A}$$

$$i = i_1 + i_2 = 1 \text{ A (indicação do amperímetro)}$$

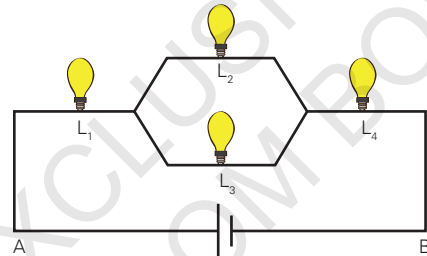
$$P_1 = R_1 \cdot i^2 \Rightarrow 40 \cdot \frac{1}{9} = 4,4 \text{ W} < 10 \text{ W (não queima)}$$

$$P_2 = R_2 \cdot i^2 \Rightarrow 20 \cdot \frac{4}{9} = 8,9 \text{ W} < 20 \text{ W (não queima)}$$

$$P_3 = R_3 \cdot i^2 \Rightarrow 20 \cdot \frac{1}{9} = 2,2 \text{ W} < 5 \text{ W (não queima)}$$

$$P_4 = R_4 \cdot i^2 \Rightarrow 10 \cdot \frac{4}{9} = 4,4 \text{ W} < 10 \text{ W (não queima)}$$

3. UFPel-RS – No circuito esquematizado, as lâmpadas são idênticas e a resistência de cada uma vale 120Ω . A diferença de potencial mantida entre os pontos A e B é igual a 270 V .



Analisando o circuito, responda às seguintes questões:

- a) Qual a resistência equivalente à associação de resistores formada pelas quatro lâmpadas?
 b) Qual a corrente elétrica que passa na lâmpada L_3 ?
 c) Se a lâmpada L_3 for retirada da associação, o brilho de L_4 aumenta, diminui ou não se altera? Justifique sua resposta.

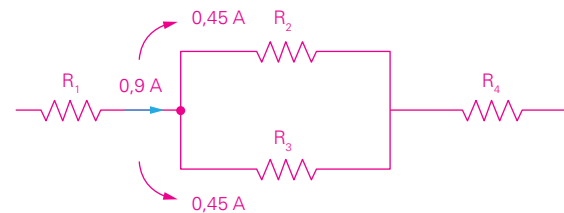
a) Determinando a resistência do resistor equivalente:



$$R_{2,3} = \frac{120 \cdot 120}{120 + 120} = 60$$

$$R_{\text{eq}} = 120 + 60 + 120 = 300$$

b) Determinando a corrente em L_3 :



$$U_{\text{eq}} = R_{\text{eq}} \cdot i \quad 270 = 300 \cdot i \quad 0,9 \text{ A}$$

Portanto, a corrente em L_3 será $0,45 \text{ A}$

c) Tirando L_3 , temos:

Esse é o ERRADO, portanto, a lâmpada L_4 passa a ser percorrida por uma corrente ($0,75 \text{ A}$) menor que a anterior ($0,9 \text{ A}$), logo, brilhará menos.

4. Enem

C2-H6

Em algumas residências, cercas eletrificadas são utilizadas com o objetivo de afastar possíveis invasores. Uma cerca eletrificada funciona com uma diferença de potencial elétrico de aproximadamente $10\,000 \text{ V}$.

Para que não seja letal, a corrente que pode ser transmitida através de uma pessoa não deve ser maior do que 0,01 A. Já a resistência elétrica corporal entre as mãos e os pés de uma pessoa é da ordem de 1 000 Ω .

Para que a corrente não seja letal a uma pessoa que toca a cerca eletrificada, o gerador de tensão deve possuir uma resistência interna que, em relação à do corpo humano, é:

- Praticamente nula
- Aproximadamente igual
- Milhares de vezes maior
- De ordem de 10 vezes maior
- Da ordem de 10 vezes menor

A resistência interna (r) da pessoa estará em série com a resistência (R) do circuito, e ambas as resistências estão ligadas em série a uma ddp de 10 000 V. Portanto:

$$U = R_{eq} \cdot i$$

$$10^4 = (r + 10^3) \cdot 10^{-2}$$

$$r + 10^3 = 10^6 \Rightarrow r + 10^3 = 10^3 \cdot 10^3$$

$$r = (10^3 - 1) \cdot 10^3 = (1 \cdot 10^3 - 1)R$$

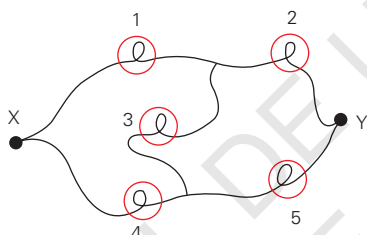
$$r = 999 R \Rightarrow r \cong 1000 R$$

O gerador deve possuir resistência interna na ordem de milhares de vezes maior em relação à do corpo humano.

Competência: Identificar a presença e aplicar as tecnologias associadas às ciências naturais em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações para compreender manuais de instalação ou utilização de aparelhos, ou sistemas tecnológicos de uso comum.

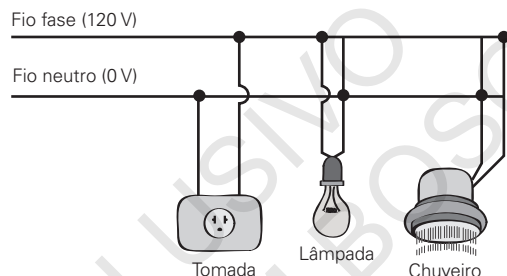
5. Na figura a seguir, estão representadas cinco lâmpadas iguais (1, 2, 3, 4 e 5). Os terminais X e Y do circuito elétrico estão submetidos a uma diferença de potencial elétrico constante. Qual dessas lâmpadas pode ser retirada do circuito sem alterar a luminosidade das outras?



- 1.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.

Trata-se de uma ponte de Wheatstone em equilíbrio. A lâmpada 3 não é percorrida por corrente e pode ser retirada do circuito sem alterar a luminosidade das outras lâmpadas.

6. **COC** – A figura seguinte ilustra parte de uma rede elétrica residencial constituída por dois fios: fio fase (120 V) e fio neutro (0 V).



Considere que o chuveiro seja de 2 300 W, a lâmpada de 100 W e que na tomada seja ligado um ferro de passar roupa de 1 200 W. Supondo todos em funcionamento simultâneo, determine:

- a potência total consumida pelos três equipamentos;
- a intensidade de corrente elétrica em cada um deles.

a) A potência total consumida é a soma das potências consumidas em cada equipamento. Assim:

$$P_T = P_F + P_L + P_C \Rightarrow 1200 + 100 + 2300$$

$$P_T = 3600 \text{ W}$$

b) Como os três equipamentos estão ligados em paralelo à rede elétrica, a ddp em cada um deles é de 120 V. Portanto, a intensidade de corrente elétrica em cada um é:

$$P_F = U \cdot i_F \Rightarrow 1200 = 120 \cdot i_F \Rightarrow i_F \cong 10 \text{ A}$$

$$P_L = U \cdot i_L \Rightarrow 100 = 120 \cdot i_L \Rightarrow i_L \cong 0,83 \text{ A}$$

$$P_C = U \cdot i_C \Rightarrow 2300 = 120 \cdot i_C \Rightarrow i_C \cong 19,2 \text{ A}$$

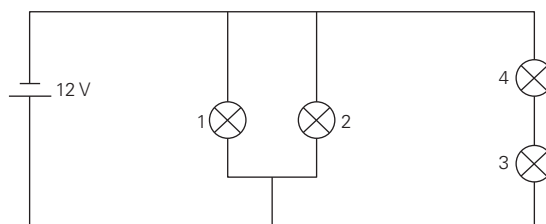
EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. **Enem (adaptado)** – Alguns peixes, como o poraquê, a enguia-elétrica da Amazônia, podem produzir uma corrente elétrica quando se encontram em perigo. Um poraquê de 1 metro de comprimento, em perigo, produz uma corrente em torno de 2 ampéres e uma voltagem de 600 volts. O quadro apresenta a potência aproximada de equipamentos elétricos.

Equipamento elétrico	Potência aproximada (watt)
Exaustor	150
Computador	300
Aspirador de pó	600
Churrasqueira elétrica	1 200
Secadora de roupas	3 600

Qual é o equipamento elétrico que tem potência similar àquela produzida por esse peixe quando em perigo?

8. **PUC-RS** – O circuito alimentado com uma diferença de potencial de 12 V, representado na figura a seguir, mostra quatro lâmpadas associadas, cada uma com a inscrição 12 V/15 W.



Considerando essa associação entre as lâmpadas, é correto afirmar que:

- a intensidade da corrente elétrica é diferente nas lâmpadas 1 e 2.

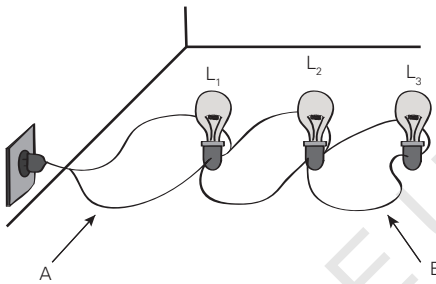
- b) a diferença de potencial é diferente nas lâmpadas 1 e 2.
 c) a intensidade de corrente elétrica na lâmpada 2 é maior do que na 3.
 d) cada uma das lâmpadas 1 e 2 está sujeita à diferença de potencial de 6,0 V.
 e) cada uma das lâmpadas 3 e 4 está sujeita à diferença de potencial de 12 V.

9. UFJF-MG – Uma lâmpada é fabricada para dissipar a potência de 100 W quando alimentada com a ddp de 120 V. Se a lâmpada for ligada em uma ddp de 127 V, então:

- a) a potência dissipada aumentará cerca de 12%;
 b) a corrente que a percorre não mudará;
 c) a sua resistência elétrica diminuirá cerca de 18%;
 d) a corrente que a percorre diminuirá, mantendo a potência inalterada.

10. UFMG-MG (adaptado) – A figura ilustra a forma como três lâmpadas estão ligadas a uma tomada. A corrente elétrica no ponto A do fio é i_A e no ponto B é i_B .

Em um determinado instante, a lâmpada L_2 se queima. Pode-se afirmar que a corrente i_A se altera e i_B não se altera? Justifique.



11. Uerj-RJ – Para a iluminação de um navio são utilizadas 4000 lâmpadas de 60 W e 600 lâmpadas de 200 W, todas submetidas a uma tensão eficaz de 120 V, e acesas, em média, 12 horas por dia.

Considerando esses dados, determine:

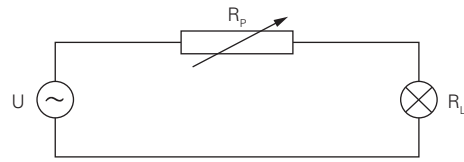
- a) a corrente elétrica total necessária para mantê-las acesas;
 b) o custo aproximado, em reais, da energia por elas consumida em uma viagem de 10 dias, sabendo-se que o custo do kWh é R\$ 0,40.

12. Univag-MT – Um aquecedor elétrico tem potência de 600 W e funciona sob uma diferença de potencial de 120 V. Em condições normais de funcionamento, a intensidade da corrente elétrica que percorre o aquecedor, em ampères, e sua resistência elétrica, em ohms, são, respectivamente:

- a) 24,0 e 5,0
 b) 0,2 e 600,00
 c) 5,0 e 24,0
 d) 0,2 e 5,0
 e) 0,2 e 24,0

13. Anhembi Morumbi-SP – A figura mostra um circuito formado por um resistor de resistência variável, cha-

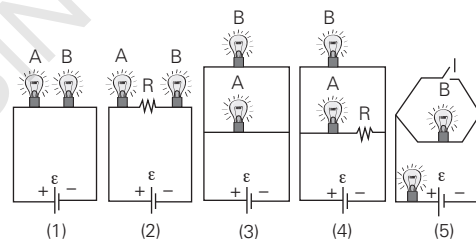
mado potenciômetro, associado em série com uma lâmpada. Alterando-se o valor da resistência do potenciômetro, controla-se o brilho da lâmpada.



Quando a lâmpada dissipa uma potência igual a P , a resistência do potenciômetro tem valor R_1 . Supondo que a resistência R_L da lâmpada não dependa da diferença de potencial entre seus terminais, o valor da resistência R_p do potenciômetro para que a lâmpada dissipe a potência $\frac{P}{4}$ é igual a:

- a) $2 R_L$
 b) $4 R_L$
 c) $2 R_1 + R_L$
 d) $R_1 + R_L$
 e) $4 R_1 + 2 R_L$

14. UFSC-SC – Nos circuitos a seguir, A e B são duas lâmpadas cujos filamentos têm resistências iguais; R é a resistência de outro dispositivo elétrico; ϵ é uma bateria de resistência elétrica desprezível; e I é um interruptor aberto.



Sabendo-se que o brilho das lâmpadas cresce quando a intensidade da corrente elétrica aumenta, são corretas:

- I. no circuito 1, a lâmpada A brilha mais do que a B.
 II. no circuito 2, as lâmpadas A e B têm o mesmo brilho.
 III. no circuito 3, uma das lâmpadas brilha mais do que a outra.
 IV. no circuito 4, a lâmpada B brilha mais do que a A.
 V. no circuito 5, se o interruptor I for fechado, aumenta o brilho da lâmpada B.

- a) I, II e III
 b) III e IV
 c) I e IV
 d) I e V
 e) II e IV

15. Unesp-SP (adaptado) – Dentre as medidas de emergência para contenção do consumo de energia elétrica, o governo cogitou reduzir 5% do valor atual da tensão da rede. Considerando que, para uma alteração dessa ordem, a resistência de uma lâmpada de filamento pode ser considerada constante, determine a porcentagem de redução que essa providência traria no valor da corrente que passa pela lâmpada.

16. Fatec-SP – Leia o texto para responder à questão.

No anúncio promocional de um ferro de passar roupas a vapor, é explicado que, em funcionamento, o aparelho borriфа constantemente 20 g de vapor d'água a cada minuto, o que torna mais fácil o ato de passar roupas. Além dessa explicação, o anúncio informa que a potência do aparelho é 1 440 W e que sua tensão de funcionamento é de 110 V.

Jorge comprou um desses ferros e, para utilizá-lo, precisa comprar também uma extensão de fio que conecte o aparelho a uma única tomada de 110 V disponível no cômodo em que passa roupas. As cinco extensões que encontra à venda suportam as intensidades de correntes máximas de 5 A, 10 A, 15 A, 20 A e 25 A, e seus preços aumentam proporcionalmente às respectivas intensidades. Sendo assim, a opção que permite o funcionamento

adequado de seu ferro de passar, em potência máxima, sem danificar a extensão de fio e que seja a de menor custo para Jorge será a que suporta o máximo de:

- a) 5 A
- b) 10 A
- c) 15 A
- d) 20 A
- e) 25 A

17. UFRR-RR (adaptado) – Considere o sistema de um circuito contendo quatro resistores organizados (configurados) em série, com valores respectivos 10 ohms, 10 ohms, 10 ohms e 10 ohms, sendo ligados em uma única fonte (bateria) com f_{em} de 10 volts. Qual será a resistência equivalente do circuito?**ESTUDO PARA O ENEM****18. Enem**

C2-H5

Uma lâmpada LED (diodo emissor de luz), que funciona com 12 V e corrente contínua de 0,45 A, produz a mesma quantidade de luz que uma lâmpada incandescente de 60 W de potência.

Qual é o valor da redução da potência consumida ao se substituir a lâmpada incandescente pela de LED?

- a) 54,6 W
- b) 27,0 W
- c) 26,6 W
- d) 5,4 W
- e) 5,0 W

19. Enem

C2-H6

Para demonstrar o processo de transformação de energia mecânica em elétrica, um estudante constrói um pequeno gerador utilizando:

- um fio de cobre de diâmetro D enrolado em N espiras circulares de área A ;
- dois ímãs que criam no espaço entre eles um campo magnético uniforme de intensidade B ; e
- um sistema de engrenagens que lhe permite girar as espiras em torno de um eixo com uma frequência f .

Ao fazer o gerador funcionar, o estudante obteve uma tensão máxima V e uma corrente de curto-circuito i .

Para dobrar o valor da tensão máxima V do gerador mantendo constante o valor da corrente de curto i , o estudante deve dobrar o(a):

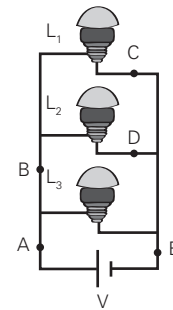
- a) Número de espiras
- b) Frequência de giro

- c) Intensidade do campo magnético
- d) Área das espiras
- e) Diâmetro do fio

20. Enem

C2-H6

Três lâmpadas idênticas foram ligadas no circuito esquematizado. A bateria apresenta resistência interna desprezível, e os fios possuem resistência nula. Um técnico fez uma análise do circuito para prever a corrente elétrica nos pontos: A, B, C, D e E, e rotulou essas correntes de I_A , I_B , I_C , I_D e I_E , respectivamente.



O técnico concluiu que as correntes que apresentam o mesmo valor são

- a) $I_A = I_E$ e $I_C = I_D$.
- b) $I_A = I_B = I_E$ e $I_C = I_D$.
- c) $I_A = I_B$, apenas.
- d) $I_A = I_B = I_E$, apenas.
- e) $I_C = I_B$, apenas.

22

CAPACITORES E ASSOCIAÇÃO DE CAPACITORES

- Capacitores
- Associação de capacitores

HABILIDADES

- Compreender a função dos capacitores para o bom funcionamento de diversos aparelhos eletrônicos.
- Identificar os tipos de associação de capacitores, bem como compreender suas vantagens e desvantagens.
- Ser capaz de determinar a capacitância equivalente em circuitos de capacitores.

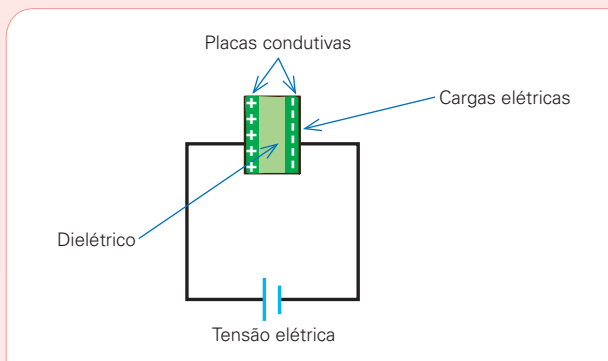


Capacitores e outros componentes eletrônicos conectados em uma placa eletrônica.

Uma vez que a carga elétrica já havia sido definida, um dos desafios era conseguir armazená-la. Assim, em 1746, na cidade de Leyden (Holanda), o físico Petrus van Musschenbroek (1692-1761) conseguiu criar um dispositivo capaz de armazenar cargas elétricas. O experimento de Petrus ficou conhecido como garrafa de Leyden. Dessa forma, utilizando-se o mesmo princípio surgiram os capacitores. Esses dispositivos são encontrados, atualmente, em diversos equipamentos eletrônicos, como o mostrado na foto.

Capacitores

Os capacitores são dispositivos capazes de armazenar cargas elétricas. Eles também são conhecidos como armaduras por sua estrutura.



Representação da estrutura básica de um capacitor.

A figura anterior mostra um par de placas condutivas, ligadas de modo que, entre elas, existe um material isolante (dielétrico). Assim, quando as placas do capacitor estão submetidas a uma diferença de potencial (U), cada uma delas eletriza com cargas de mesmo valor Q , porém opostas. Nesse caso, dizemos que o capacitor está carregado com carga Q .

CAPACIDADE OU CAPACITÂNCIA ELETROSTÁTICA (C)

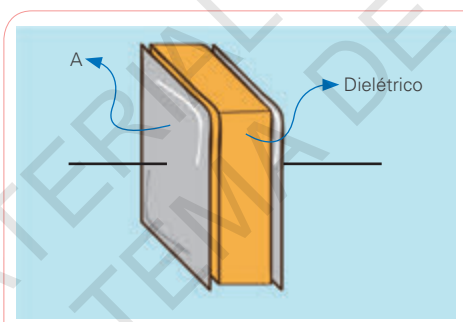
A razão entre a quantidade de carga armazenada (Q) e a diferença de potencial entre as placas do capacitor é conhecida como capacitância. Portanto, temos que: $C = \frac{Q}{U}$.

No Sistema Internacional (SI), a carga elétrica é dada em coulomb (C) e a ddp, em volt (V). Dessa forma, a capacitância é medida em C/V. Essa unidade de medida recebeu o nome de farad (F). Com isso, $1F = 1\frac{C}{V}$.

Na prática, o farad é uma unidade de medida muito grande, por isso, os capacitores fabricados para serem utilizados em circuitos elétricos têm capacidade na ordem de seus submúltiplos: μF (microfarad = 10^{-6} F), nF (nanofarad = 10^{-9} F) e pF (picofarad = 10^{-12} F).

Quando o capacitor está eletrizado, ele passa a armazenar energia potencial elétrica $E_p = \frac{Q \cdot U}{2}$. No SI, E_p é dado em joule (J).

A capacitância é uma característica específica de cada capacitor relacionada à sua geometria e ao dielétrico. Na figura seguinte, temos uma representação de um capacitor plano com área A e distância d entre as placas. O tipo de material dielétrico apresenta sua permissividade dielétrica.



Representação da estrutura básica de um capacitor.

Na figura temos:

Área (A) das placas: quanto maior a área das placas, maior será a quantidade de cargas que podem ser armazenadas.

Distância (d) entre as placas: quanto maior a distância entre as placas, menor será a quantidade de cargas armazenadas.

Permissividade elétrica do meio (ϵ): é característica do material entre as placas do capacitor. Caso o

meio entre as placas seja o vácuo, sua permissividade será $\epsilon_0 = 8,8 \cdot 10^{-12}$ F/m. Vale ressaltar que a menor permissividade elétrica é a do vácuo.

A capacitância de um capacitor plano pode ser dada pela relação:

$$C = \epsilon \cdot \frac{A}{d}$$

Outra forma possível de análise do meio dielétrico no capacitor é o conceito de permissividade relativa (ϵ_r), também denominada constante dielétrica. Assim, a permissividade relativa (ϵ_r) é a razão entre a permissividade do meio (ϵ) e a permissividade do vácuo (ϵ_0). Logo, temos que:

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

A tabela a seguir apresenta alguns valores de constantes dielétricas de alguns meios.

Constante dielétrica de alguns meios	
Meio	Constante dielétrica (ϵ)
Vácuo	1
Ar	1,0006
Papel parafinado	2,5
Papel	3,7
Mica	5,4
Vidro (pirex)	5,6
Porcelana	6

Dessa forma, pode-se verificar que, na presença de um dielétrico, a capacitância de um capacitor aumenta de acordo com a expressão a seguir.

Seja $\epsilon = \epsilon_r \cdot \epsilon_0$ e $C = \epsilon \cdot \frac{A}{d}$, então:

$$C = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$$

ASSOCIAÇÃO DE CAPACITORES

Nos projetos de eletrônica, algumas vezes, é necessário associar capacitores a fim de que eles apresentem o valor adequado para determinada ligação eletrônica. Assim, a associação de capacitores, a exemplo das associações estudadas em resistores, fornece como resultado um valor único de capacitor denominado capacitor equivalente.

CAPACITORES EM PARALELO

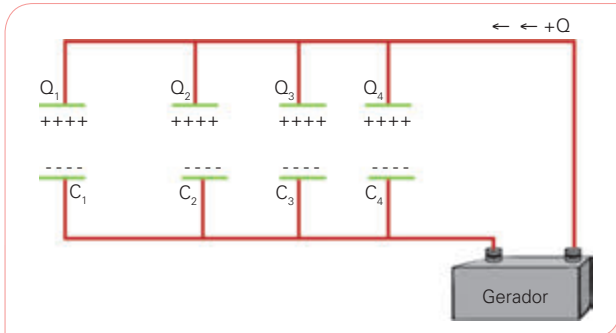
Quando os capacitores estão associados em paralelo, estão sob a mesma diferença de potencial. Como

$C = \frac{Q}{U}$, podemos afirmar que $C_{\text{equivalente}} = \frac{Q_{\text{total}}}{U}$.

Nessa relação, temos:

- $C_{\text{equivalente}}$: capacitor equivalente;
- Q_{total} : carga total dos capacitores associados;
- U : diferença de potencial à qual a associação está submetida.

Tomemos como exemplo a ligação de capacitores a seguir:



Esquema de associação em paralelo de capacitores. Neste caso, a carga total (Q) se divide entre os capacitores envolvidos.

Assim, temos que:

$$Q_{\text{total}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

Como $Q = C \cdot U$ e ddp (U) é a mesma, então:

$$Q_{\text{total}} = C_1 \cdot U + C_2 \cdot U + C_3 \cdot U + C_4 \cdot U$$

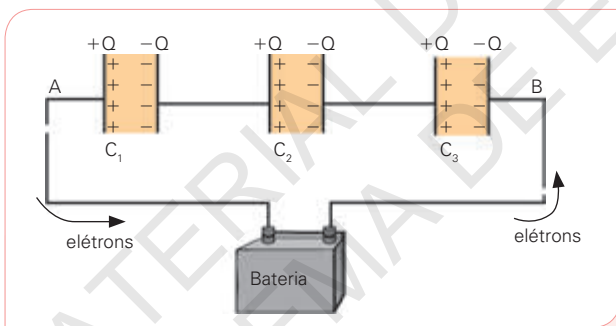
Portanto:

$$C_{\text{equivalente}} = \frac{Q_{\text{total}}}{U} = \frac{C_1 \cdot U + C_2 \cdot U + C_3 \cdot U + C_4 \cdot U}{U}$$

$$\text{Logo: } C_{\text{equivalente}} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4.$$

Capacitores em série

Tomemos como exemplo a ligação em série de capacitores a seguir.



Ligação em série de capacitores.

Quando os capacitores são ligados em série, o terminal negativo de um é conectado ao terminal positivo do seguinte. Dessa forma, quando conectados a uma diferença de potencial (U), alguns elétrons da placa conectada se deslocam da armadura para a bateria e, com isso, induzem nas demais placas cargas opostas, como mostrado na figura.

Dessa forma, é possível verificar algumas condições:

- A carga total da associação coincide com a mesma carga de cada capacitor, pois, por um processo de

indução, todos armazenam a mesma quantidade de carga. Logo, em uma associação em série, temos que:

$$Q_{\text{total}} = Q_1 = Q_2 = Q_3$$

- A soma da diferença de potencial (U) aplicada a cada capacitor é igual à diferença de potencial total (U_{total}) aplicada aos terminais da associação. Portanto:

$$U_{\text{total}} = U_1 + U_2 + U_3.$$

Assim, temos que:

$$C_{\text{equivalente}} = \frac{Q}{U_{\text{Total}}} \quad U_{\text{Total}} = \frac{Q}{C_{\text{equivalente}}}$$

$$\text{Como } \frac{1}{C_{\text{equivalente}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \text{ e } Q_{\text{total}} = Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q, \text{ temos que:}$$

$$U_{\text{total}} = U_1 + U_2 + U_3$$

$$\therefore \frac{Q}{C_{\text{equivalente}}} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. PUC-MG Se dobrarmos a carga acumulada nas placas de um capacitor, a diferença de potencial entre suas placas ficará:

- inalterada.
- multiplicada por quatro.
- multiplicada por dois.
- dividida por quatro.
- dividida por dois.

Resolução

Sendo $Q = C \cdot U$ e a capacitância C constante para cada capacitor, logo a relação Q e U são grandezas diretamente proporcionais, ou seja, dobrando o valor da carga Q também será dobrado o valor da diferença de potencial U entre as placas.

2. PUC-SP A carga de um capacitor sofre um aumento de $6 \cdot 10^{-5} \text{ C}$ quando a diferença de potencial entre seus terminais aumenta de 50 V para 60 V. Esse capacitor tem capacidade:

- $12 \cdot 10^{-6} \text{ F}$
- $10 \cdot 10^{-6} \text{ F}$
- $6 \cdot 10^{-6} \text{ F}$
- $2 \cdot 10^{-6} \text{ F}$
- $1 \cdot 10^{-6} \text{ F}$

Resolução

$$C = \frac{Q}{U}$$

$$C = \frac{6 \cdot 10^{-5}}{(60 - 50)}$$

$$C = 6 \cdot 10^{-6} \text{ F}$$

ROTEIRO DE AULA

CAPACITORES E ASSOCIAÇÃO DE CAPACITORES

Capacitores

Capacidade ou capacitância é dada por:

$$C = Q/U$$

Permissividade elétrica relativa (ϵ_r)

$$\epsilon_r = \epsilon/\epsilon_0$$

Capacitância de um capacitor plano considerando a permissividade elétrica é dada por:

$$C = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot A/d$$

Associação de capacitores

Associação em paralelo

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

Associação em série

$$1/C_{eq} = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + \dots$$

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Sistema Dom Bosco – Explique o que são capacitores e como eles são constituídos.

Capacitores são dispositivos capazes de armazenar cargas elétricas e são constituídos por um circuito no qual uma fonte de energia (ddp) é conectada a placas condutivas, e entre essas placas condutivas há um material dielétrico (isolante).

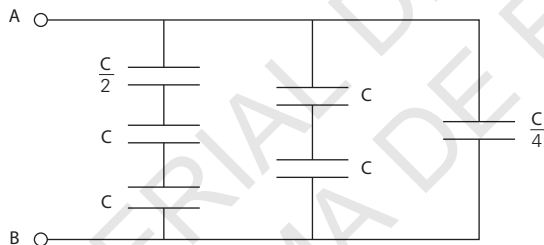
2. URJF-MG – Um capacitor pode ser formado por duas placas condutoras (eletrodos) separadas por um meio isolante. Quando se aplica uma tensão elétrica entre os eletrodos, cargas elétricas de sinais opostos irão se acumular nas superfícies das placas. Caso venha a ser aplicada uma tensão elétrica elevada, pode-se romper a rigidez dielétrica do meio isolante e este passa a conduzir cargas elétricas.

Em relação a capacitores e dielétricos, avalie as seguintes sentenças e assinale a CORRETA:

- O cobre é um excelente condutor. Por isso, é muito utilizado como meio dielétrico em capacitores.
- O acúmulo de cargas na superfície do dielétrico não depende da permissividade do meio. Apenas a tensão aplicada nos terminais irá determinar a densidade de carga acumulada.
- A capacitância de um capacitor é diretamente proporcional à razão entre a tensão aplicada e a permissividade do meio.
- Em um capacitor ideal, toda carga flui pelo dielétrico sem que a corrente sofra alterações.
- As densidades de cargas em ambas as placas do capacitor são iguais, em módulo, mas de sinais contrários.

A única alternativa que não apresenta inconsistências é a alternativa E, pois as densidades de carga em um capacitor possuem sinais contrários.

3. Mackenzie-SP – Na associação de capacitores esquematizada a seguir, a capacitância está indicada na figura para cada um dos capacitores. Assim, a capacitância equivalente entre os pontos A e B no circuito é:



- C.
- 2C.
- 3C.
- 4C.
- 8C.

Para a 1ª associação em série:

$$\frac{1}{C_1} = \frac{2}{C} + \frac{1}{C} + \frac{1}{C} = \frac{4}{C}$$

$$C_1 = \frac{C}{4}$$

Para a 2ª associação em série:

$$C_2 = \frac{C}{2}$$

Para a associação em paralelo: $C_e = C_1 + C_2 + C_3$

$$C_e = \frac{C}{4} + \frac{C}{2} + \frac{C}{4}$$

$$C_e = C$$

4. Enem

C2-H5

Um cosmonauta russo estava a bordo da estação espacial MIR quando um de seus rádios de comunicação quebrou. Ele constatou que dois capacitores do rádio de $3 \mu\text{F}$ e $7 \mu\text{F}$ ligados em série estavam queimados. Em função da disponibilidade, foi preciso substituir os capacitores defeituosos por um único capacitor que cumpria a mesma função. Qual foi a capacitância, medida em μF , do capacitor utilizado pelo cosmonauta?

- 0,10
- 0,50
- 2,1
- 10
- 21

$$\frac{1}{C_{\text{eq}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

$$C_{\text{eq}} = 2,1 \text{ F}$$

Competência: Identificar a presença e aplicar as tecnologias associadas às ciências naturais em diferentes contextos.

Habilidade: Dimensionar circuitos ou dispositivos elétricos de uso cotidiano.

5. Estácio – Dois capacitores, $C_1 = 30 \mu\text{F}$ e $C_2 = 20 \mu\text{F}$, inicialmente descarregados, são associados em série e ligados a um gerador ideal de 12 V. Determine a carga elétrica e a ddp em cada capacitor se eles estão associados em série.

$$C_1 = 30 \text{ F}$$

$$C_2 = 20 \text{ F}$$

$$U = 12 \text{ V}$$

$$U_1 + U_2 = 12 \text{ V}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{30} + \frac{1}{20} \quad \frac{1}{C} = \frac{2+3}{60} \quad 5C = 60 \quad C = 12 \text{ F}$$

$$U = \frac{Q}{C} \quad 12 = \frac{Q}{12 \cdot 10^{-3}} \quad Q = 144 \text{ C}$$

$$Q_1 = Q_2 = Q = 144 \text{ C}$$

$$Q_1 = C_1 \cdot U_1 \quad U_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{144 \text{ C}}{30 \text{ F}} = 4,8 \text{ V}$$

$$Q_2 = C_2 \cdot U_2 \quad U_2 = \frac{Q_2}{C_2} = \frac{144 \text{ C}}{20 \text{ F}} = 7,2 \text{ V}$$

6. Uece-CE – Considere dois capacitores, $C_1 = 2 \mu\text{F}$ e $C_2 = 3 \mu\text{F}$, ligados em série e inicialmente descarregados.

Supondo que os terminais livres da associação foram conectados aos polos de uma bateria, é correto afirmar que, após cessar a corrente elétrica,

- as cargas nos dois capacitores são iguais e a tensão elétrica é maior em C_2 .
- carga é maior em C_2 e a tensão elétrica é igual nos dois.
- as cargas nos dois capacitores são iguais e a tensão elétrica é maior em C_1 .
- a carga é maior em C_1 e a tensão elétrica é igual nos dois.

Dois capacitores de diferentes capacitâncias, quando ligados em paralelo, ficam submetidos à mesma ddp, porém com cargas diferentes.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. UFPE-PE – Três capacitores, A, B e C, são associados em série, e suas capacitâncias respectivas são de $1 \mu\text{F}$, $2 \mu\text{F}$ e $3 \mu\text{F}$. Calcule a capacitância equivalente aproximada desse conjunto.

- $5,4 \text{ pF}$
- $6,0 \mu\text{F}$
- 54 nF
- $5,4 \mu\text{F}$
- 540 nF

8. Uninter – Considere um capacitor composto de duas placas condutoras, paralelas, de mesma área A e separadas por uma distância d . Entre as placas não há material algum (vácuo). Com relação à capacitância desse capacitor, podemos afirmar que:

- Depende dos fatores geométricos (distância e área) das placas;
- Depende da tensão aplicada no capacitor;
- Depende das características do material isolante entre as placas;
- Aumentará se um material isolante for adicionado entre as placas.

Assinale a alternativa que envolve todas as afirmações verdadeiras.

- I, apenas
- I e II, apenas
- I, III e IV, apenas
- I, II e III, apenas
- III, apenas

9. IFSC-SC – Um capacitor de placas paralelas possui placas circulares de raio $8,2 \text{ cm}$ e separação $1,3 \text{ mm}$. Calcule sua capacitância e qual carga aparecerá sobre as placas se a diferença de potencial aplicada for de 120 V .

10. Uepa-PA – Um componente elétrico utilizado tanto na produção como na detecção de ondas de rádio, o capacitor, pode também ser útil na determinação de uma grandeza muito importante do eletromagnetismo: a permissividade elétrica de um meio. Para isso, um estudante, dispondo de um capacitor de placas paralelas, construído com muita precisão, preenche a região entre as placas com uma folha de mica de $1,0 \text{ mm}$ de espessura e registra, com um medidor de capacitância, um valor de $0,6 \text{ nF}$. Sabendo-se que as placas são circulares, com diâmetro igual a 20 cm , afirma-se que a permissividade elétrica da mica, em unidades do SI, é igual a:

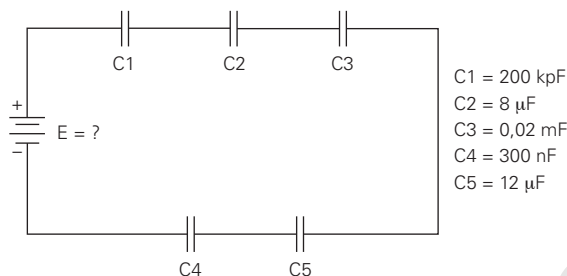
Dados:

$$\pi = 3$$

$$1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F}$$

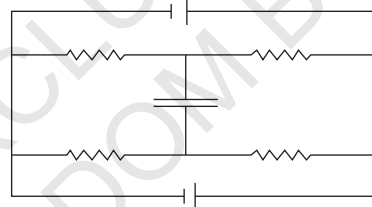
- $2 \cdot 10^{-12}$
- $4 \cdot 10^{-12}$
- $10 \cdot 10^{-10}$
- $25 \cdot 10^{-11}$
- $20 \cdot 10^{-12}$

11. UFRGS-RS – Dado o circuito a seguir, e sabendo-se que a carga adquirida por C_5 é $12 \mu\text{C}$, determine o valor da tensão de entrada E .



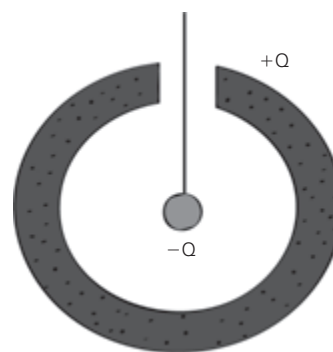
$$\begin{aligned} C_1 &= 200 \text{ kpF} \\ C_2 &= 8 \mu\text{F} \\ C_3 &= 0,02 \text{ mF} \\ C_4 &= 300 \text{ nF} \\ C_5 &= 12 \mu\text{F} \end{aligned}$$

12. Mackenzie-SP – Considere o circuito a seguir, alimentado por duas baterias que fornecem 10 V cada uma. Ele contém quatro resistores de 1Ω cada um. O capacitor de capacitância $1 \mu\text{F}$ foi conectado ao circuito estando inicialmente neutro. Nessas condições, o capacitor fica eletrizado com carga, em μC , igual a:



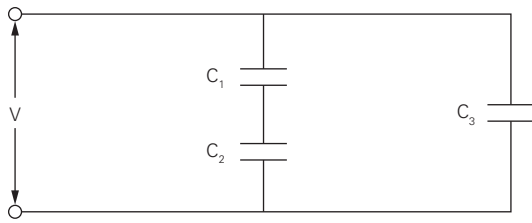
- 0
- 10
- 20
- 30
- 40

13. UFPE-PE – Uma grande esfera condutora, oca e isolada, está carregada com uma carga $Q = 60 \text{ mC}$. Através de uma pequena abertura no topo da esfera, é introduzida uma pequena esfera metálica, de carga $q = 6 \text{ mC}$, suspensa por um fio. Se a pequena esfera tocar a superfície interna do primeiro condutor, qual será a carga final na superfície externa da esfera maior, em mC ?

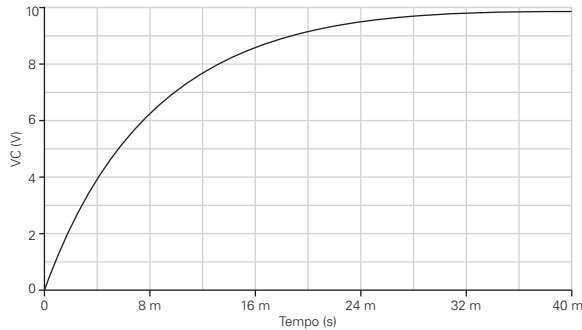


14. Uece-CE – Sejam duas placas metálicas planas, cada uma de área $1,00 \text{ m}^2$, com as quais desejamos construir um capacitor de placas paralelas. Para obtermos uma capacitância de $1,00 \text{ F}$, qual deverá ser a separação entre as placas? Será possível construirmos tal capacitor?

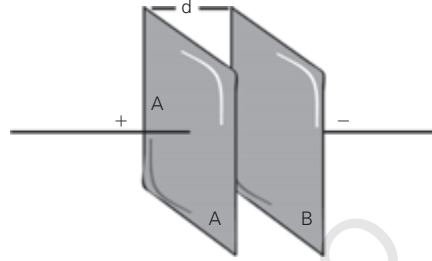
15. PUC-GO – Para a associação representada na figura a seguir, considerando $C_1 = 10,0 \mu\text{F}$, $C_2 = 5,00 \mu\text{F}$, $C_3 = 4,00 \mu\text{F}$ e $V = 100 \text{ V}$, determine a capacitância equivalente, a carga, a diferença de potencial e a energia armazenada para cada capacitor.



16. Para um circuito RC é dada a curva de $VC \times T$. Sabendo-se que a fonte vale 10 V e que $R = 2 \text{ K}$, qual o valor de C ?



17. UFPR-PR – Considere um capacitor composto por duas placas condutoras paralelas que está sujeito a uma diferença de potencial de 100 V, representado na figura a seguir:



Preencha os campos com V (verdadeiro) ou F (falso):

- o potencial elétrico na placa A é maior que na placa B.
- entre as placas há um campo elétrico cujo sentido vai da placa B para a placa A.
- se a capacitância desse capacitor for igual a $1,00 \mu\text{F}$, a carga elétrica em cada placa terá módulo igual a $10,0 \mu\text{C}$.
- um elétron que estiver localizado entre as placas será acelerado em direção à placa A.
- se a distância entre as placas for reduzida à metade, a capacitância do capacitor irá duplicar.
- esse capacitor pode ser usado como um elemento para armazenar energia.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Uema-MA

C2-H6

Uma das aplicações dos capacitores é no circuito eletrônico de um flash de máquina fotográfica. O capacitor acumula carga elétrica por um determinado tempo (alguns segundos) e, quando o botão para tirar a foto é acionado, toda a carga acumulada é “despejada” sobre a lâmpada do flash, daí seu brilho intenso, porém de curta duração.

Se nesse circuito houver um capacitor de dados nominais 315 V e $100 \mu\text{F}$, ele corresponderá a uma carga, em coulomb, máxima, acumulada de

- 3,1500
- 0,3175
- 0,3150
- 0,0315
- 3,1750

19. Acafe-SC

C5-H18

Tasers são armas de eletrochoque que usam uma corrente elétrica para imobilizar pessoas que estejam representando alguma ameaça a alguém ou à ordem pública. O sistema interno da arma cria e trata a corrente elétrica que será descarregada por meio dos fios de cobre. Capacitores, transformadores e baterias são peças fundamentais nesse processo.

Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/infografico/12216-a-tecnologia-das-armas-taser-infografico-htm>>. Acesso em: 3 set. 2017. (Adaptado.)

Nesse sentido, assinale a alternativa correta que completa as lacunas das frases a seguir.

O transformador é um equipamento elétrico que tem seu princípio de funcionamento baseado na _____. A bateria é uma fonte de energia que transforma energia _____ em energia elétrica. O capacitor é um dispositivo que armazena _____.

- Lei de Coulomb _ térmica _ campo magnético
- Lei de Lenz _ luminosa _ corrente elétrica
- Lei de Faraday _ química _ cargas elétricas
- Lei de Newton _ magnética _ resistência elétrica

20. Enem

C2-H6

Um cosmonauta russo estava a bordo da estação espacial MIR quando um de seus rádios de comunicação quebrou. Ele constatou que dois capacitores do rádio de $3 \mu\text{F}$ e $7 \mu\text{F}$, ligados em série, estavam queimados. Em função da disponibilidade, foi preciso substituir os capacitores defeituosos por um único capacitor que cumpria a mesma função.

Qual foi a capacitância, medida em μF , do capacitor utilizado pelo cosmonauta?

- 0,10
- 0,5
- 2,1
- 10
- 21

EXERCÍCIOS INTERDISCIPLINARES

21. UEM-PR – Sabemos que os exercícios físicos promovem o aumento da musculatura estriada esquelética. Iniciando um exercício, com o braço na posição vertical junto a seu corpo, um atleta segura em sua mão uma massa de 5 kg. Mantendo seu antebraço na vertical, ele eleva essa massa em velocidade constante até seu braço atingir a posição horizontal e parar.

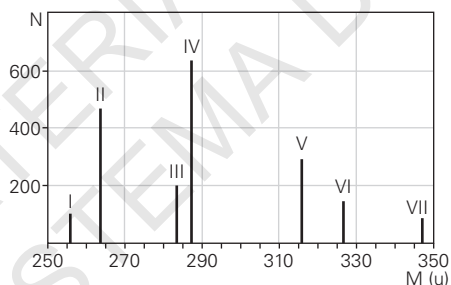
Assinale o que for **correto**.

- 01)** Na posição inicial, a força que o atleta exerce sobre a massa é de 50 N.
- 02)** Enquanto o atleta ergue a massa ocorre o deslizamento das fibras da proteína actina sobre as moléculas de miosina.
- 04)** A contração muscular ao levantar a massa ocorre devido ao encurtamento das fibras musculares estriadas esqueléticas.
- 08)** No indivíduo adulto, as células da musculatura estriada esquelética estão em constante divisão celular, favorecida pela intensidade da atividade física.
- 16)** Se o braço do atleta mede 0,35 m o trabalho realizado por ele sobre a massa foi de 17,5 J.

22. Fuvest-SP – Um grupo de pesquisadores da área de nutrição realizou um experimento para verificar se o peptídeo de fórmula $C_9H_{16}O_5N_2S$, que pode ser tóxico, estava presente em uma amostra de feijão. Para esse estudo, o grupo utilizou um espectrômetro de massa cujo funcionamento se baseia na medida do tempo que moléculas de diferentes massas, extraídas da amostra, levam para percorrer, com velocidade constante, um tubo de comprimento L , em vácuo.

Supondo que todas as moléculas penetrem no tubo com a mesma energia cinética E , escreva a expressão da massa m de uma molécula em função do comprimento L , da energia E e do tempo Δt que ela leva para percorrer o tubo.

- a)** Determine a massa molecular M_p do peptídeo $C_9H_{16}O_5N_2S$.
- b)** Com os dados obtidos, foi construído o gráfico abaixo, que mostra o número N de moléculas detectadas em função da massa molecular M .



c) Qual das linhas do gráfico corresponde ao peptídeo $C_9H_{16}O_5N_2S$? E qual corresponde a moléculas formadas pela ligação desse peptídeo com um átomo de sódio (Na)?

Note e adote:

Elemento	Massa atômica (u)
H	1
C	12
N	14
O	16
Na	23
S	32

u = unidade de massa atômica

23. UEM-PR – O Brasil é um país privilegiado em relação à energia solar, a qual, além da importância na síntese de biomassa, é considerada uma alternativa energética viável para a geração de energia elétrica e produção de combustíveis.

Com relação a esse tema, assinale o que for **correto**.

- 01)** A energia luminosa captada por organismos fotossintetizantes é usada na síntese de substâncias orgânicas e armazenada na forma de energia potencial química.
- 02)** A transferência de energia nos ecossistemas segue o princípio da conservação da energia, passando integralmente dos produtores para os consumidores e decompositores e retornando para as cadeias alimentares.
- 04)** No âmbito residencial, a energia solar absorvida por placas de silício (placas voltaicas) faz com que elétrons fracamente ligados possam fluir livremente, gerando corrente elétrica que pode ser armazenada em uma bateria.
- 08)** A energia solar transformada em energia elétrica pelos geradores pode ser transformada em energia térmica por resistores, como os usados nos chuveiros.
- 16)** A biomassa vegetal produzida por espécies cultivadas, como a cana-de-açúcar, pode ser transformada em combustível, como o etanol utilizado para geração de energia.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

FÍSICA 1

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO



APRESENTAÇÃO

FÍSICA

As mudanças nos principais processos de seleção e no Enem têm mostrado que a preparação para ingresso na universidade exige muito mais que um bom material didático. Além de dominar conteúdos de ensino médio, os alunos precisam conhecer a diversidade de contextos sociais, tecnológicos, ambientais e políticos. Desenvolver habilidades para obter autonomia e entender criticamente a realidade e os acontecimentos que os cercam são critérios básicos para prosseguir estudo em nível superior.

Os exames seletivos das melhores universidades do país avaliam habilidades como a de saber selecionar, organizar e interpretar dados para enfrentar situações-problema em diferentes áreas do conhecimento; compreender fenômenos naturais, processos histórico-geográficos e de produção tecnológica.

O aluno que conclui ou em vias de concluir o ensino médio deve ser capaz de dominar linguagens e seus códigos, construir argumentações e elaborar respostas aos diversos questionamentos.

De acordo com as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (DCNEM), orientadoras das avaliações do Enem, o encaminhamento pedagógico e metodológico para esse segmento deve envolver temáticas diversas, por meio do diálogo entre os conteúdos dos diferentes componentes curriculares de uma ou mais áreas do conhecimento, com propostas curriculares que contemplem as dimensões do trabalho, da ciência, da tecnologia e da cultura como eixos integradores entre os conhecimentos de distintas naturezas; o trabalho como princípio educativo; a pesquisa como princípio pedagógico; os direitos humanos como princípio norteador; a sustentabilidade socioambiental como meta universal.

Pensando nisso, uma equipe de excelência, respaldada na qualidade acadêmica dos conhecimentos e na prática de sala de aula, elaborou esta coleção de livros didáticos integrados para pré-vestibular extensivo e terceiro ano, abrangendo as áreas de conhecimento com projeto editorial exclusivo e adequado às recentes mudanças. O material contempla assim todos os conteúdos exigidos nos concursos vestibulares de todo o país e no Enem, enriquecidos com variada coletânea de questões selecionadas, quadro de respostas e roteiro de aula integrado a cada módulo, com indicação das respectivas competências e habilidades da Matriz de Referência do Enem. Aliando inovações tecnológicas com propostas metodológicas de ensino voltadas à preparação dos alunos para ingressar em grau superior, a coleção abrange todos os conteúdos do ensino médio, organizados e estruturados em módulos, com desenvolvimento teórico associado a exemplos e exercícios resolvidos que facilitam a aprendizagem.

Os alunos deparam-se com organização e sistematização teóricas seguidas de exercícios em níveis gradativos de dificuldade, o que lhes facilita fixar conceitos e desenvolver habilidades específicas associadas ao conteúdo trabalhado. Como apoio ao professor, em cada módulo as questões do material estão resolvidas e há orientações metodológicas, sugestões de leitura e uso de tecnologias para aprofundamento.

CONTEÚDO

FÍSICA 1

Volume	Módulo	Conteúdo
1A	33	Teorema da energia cinética
	34	Trabalho de forças conservativas I – força peso
	35	Trabalho de forças conservativas II – força elástica
	36	Energia mecânica
	37	Sistemas conservativos
	38	Sistemas dissipativos

Volume	Módulo	Conteúdo
1B	39	Potência e rendimento
	40	Impulso e quantidade de movimento
	41	Teorema do impulso
	42	Sistemas mecanicamente isolados
	43	Colisões (unidimensionais)
	44	Colisões (bidimensionais)

FÍSICA 2

Volume	Módulo	Conteúdo
2A	33	Introdução à Termologia
	34	Dilatação Linear de Sólidos
	35	Dilatação Superficial de Sólidos
	36	Dilatação Volumétrica de Sólidos
	37	Dilatação de Líquidos com Dilatação de Recipiente
	38	Dilatação de Líquidos sem Dilatação de Recipiente
2B	39	Propagação Térmica
	40	Calor Sensível
	41	Calor Latente
	42	Mudança de Fase
	43	Mudança de Fase com Cálculo de Massa
	44	Diagrama de Fases

FÍSICA 3

Volume	Módulo	Conteúdo
3A	17	Associação de resistores em série e paralelo
	18	Associação mista de resistores e lei de Kirchhoff
	19	Circuitos simples e medidores elétricos
3B	20	Geradores e receptores
	21	Associação de dispositivos elétricos em circuitos residenciais
	22	Capacitores e associação de capacitores

33 TEOREMA DA ENERGIA CINÉTICA

Comentário sobre o módulo

Neste módulo é demonstrado o Teorema da Energia Cinética. É importante ressaltar que este teorema explicita a íntima relação entre as grandezas físicas Trabalho e Energia. A resultante realizando trabalho motor sobre o sistema transfere energia cinética para o sistema, por outro lado, a energia cinética se reduz na realização de trabalho resistente pela resultante.

Para ir além

- TED-Ed: Toda a energia do universo é...
<<https://www.youtube.com/watch?v5dmcevC55K3s>>
Acesso em: out. 2018.
- TED-Ed: Como funcionam os painéis solares?
<<https://www.youtube.com/watch?v5xKxrkt7CpY>>
Acesso em: out. 2018.
- Como funciona o motor a combustão interna.
<<http://energiainteligenteufff.com/como-funciona/como-funciona-motores-a-combustao-interna/>>
Acesso em: out. 2018.

Exercícios propostos

7.

Teorema da Energia Cinética:

$$F \Delta S = \Delta E_{\text{cin}} \Rightarrow F = \frac{200\,000}{2,5} \Rightarrow \boxed{F = 8 \cdot 10^4 \text{ N}}$$

8. C

$$\tau^R = \Delta E_c = 0$$

9. B

$$\tau^R = \Delta E_c \Rightarrow \tau^A = 0 - \frac{1000 \cdot (20)^2}{2} = -200\,000 \text{ J} \Rightarrow |\tau^A| = 2 \cdot 10^5 \text{ J}$$

10. O trabalho da força peso é nulo, pois realiza trabalho motor na subida e resistente na descida com mesmo módulo ao retornar à posição de lançamento. Como somente agem no corpo a força peso (\vec{P}) e a força de resistência do ar (\vec{F}_{ar}), somente a última realiza trabalho, provocando variação da energia cinética. Aplicando, então, o teorema da energia cinética:

$$W_p + W_{\text{Far}} = \Delta E_{\text{cin}} \Rightarrow 0 + |W_{\text{Far}}| = \frac{m}{2} |v^2 - v_0^2| \Rightarrow$$

$$|W_{\text{Far}}| = \frac{1}{2} |8^2 - 10^2| = \frac{1}{2} \cdot 36 \Rightarrow$$

$$|W_{\text{Far}}| = 18 \text{ J}$$

11. C

Pelo teorema da energia cinética:

$$W_R = \Delta E_{\text{cin}} = \frac{m \cdot v^2}{2} - \frac{m \cdot v_0^2}{2} = \frac{6 \cdot 10^3 (3 \cdot 10^3)^2}{2} - 0 = 3 \cdot 10^3 \cdot 9 \cdot 10^6 = 27 \cdot 10^9 \Rightarrow$$

$$\boxed{W_R = 27 \text{ GJ}}$$

12. A

Como o trabalho realizado é numericamente igual à área, temos que:

$$\tau = -\frac{(6+3) \cdot 10}{2} \Rightarrow \tau = -45 \text{ J}$$

($\tau < 0$), pois o trabalho realizado é contra o movimento.

Pelo teorema da energia cinética, chegamos a:

$$\tau = \frac{m \cdot v_f^2}{2} - \frac{m \cdot v_0^2}{2} = \frac{m}{2} (v_f^2 - v_0^2)$$

$$-45 = \frac{10}{2} (0^2 - v_0^2) \Rightarrow 9 = v_0^2$$

$$\therefore v_0 = 3 \text{ m/s}$$

13. A

Do gráfico, calculamos o deslocamento:

$$\Delta S = \text{"área"} = \frac{5 \cdot 10}{2} = 25 \text{ m}$$

A resultante das forças sobre o corpo é a força de atrito. Pelo teorema da energia cinética:

$$W_{\text{Fat}} = W_R \Rightarrow -F_{\text{at}} \Delta S = \frac{m \cdot v^2}{2} - \frac{m \cdot v_0^2}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow -\mu \cdot m \cdot g \cdot \Delta S = 0 - \frac{m \cdot v_0^2}{2} \Rightarrow$$

$$\mu = \frac{v_0^2}{2 \cdot g \cdot \Delta S} = \frac{5^2}{2 \cdot 10 \cdot 25} = \frac{1}{20} \Rightarrow \boxed{\mu = 5 \cdot 10^{-2}}$$

14.

Dados: $m = 60 \text{ kg}$; $v = 0$; $v_0 = 10 \text{ m/s}$; $\Delta t = 0,2 \text{ s}$.

a) A variação da energia cinética (ΔE) é:

$$\Delta E = E - E_0 = \frac{m}{2} (v^2 - v_0^2) = \frac{60}{2} (0^2 - 10^2) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta E = -3\,000 \text{ J}$$

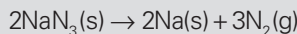
b) Calculando o módulo da aceleração:

$$|a| = \frac{|\Delta v|}{\Delta t} = \frac{|0 - 10|}{0,2} \Rightarrow |a| = 50 \text{ m/s}^2$$

c) Reação química de decomposição da azida de sódio formando sódio metálico e nitrogênio gasoso:
 $2\text{NaN}_3(\text{s}) \rightarrow 2\text{Na}(\text{s}) + 3\text{N}_2(\text{g})$

d) Cálculo do volume V de gás nitrogênio formado pela decomposição de 65 g de azida de sódio sob pressão atmosférica de 1 atm e temperatura de 27° C:

$$\text{NaN}_3 = 65$$



$$2 \cdot 65 \text{ g} \text{ ————— } 3 \text{ mols}$$

$$65 \text{ g} \text{ ————— } 1,5 \text{ mol}$$

$$T = 27 + 273 = 300 \text{ K}$$

$$R = 0,08 \text{ atm} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$1 \cdot V = 1,5 \cdot 0,08 \cdot 300$$

$$V_{\text{N}_2} = 36 \text{ L}$$

15. D

$$\tau = \Delta E_c$$

$$\tau = \frac{1,5 \cdot 0^2}{2} - \frac{1,5 \cdot 6^2}{2} \Rightarrow \tau = -27 \text{ J}$$

$$\therefore |\tau| = 27 \text{ J}$$

16. D

Essa questão pode ser resolvida mentalmente, basta você lembrar o teorema trabalho-conservação de

energia (2) e da definição de trabalho (1); com isso,

$$\text{obtem-se a seguinte equação: } F \cdot d \cdot (-1) = -\frac{m \cdot v^2}{2}$$

e fica fácil visualizar que se a velocidade for dobrada (que está elevada ao quadrado), a distância terá de quadruplicar.

17. a) Se as trajetórias das partículas são retilíneas, a única força responsável pela aceleração é a força elétrica, que é então a força resultante.

Como os dois tipos de íons têm mesma carga e são acelerados na mesma tensão, eles adquirem a mesma energia cinética que pode ser calculada pelo Teorema da Energia Cinética:

$$W_{\text{res}} = \Delta E_{\text{cin}} \Rightarrow qU = E - E_0 \Rightarrow -1,6 \cdot 10^{-19} \cdot$$

$$\cdot (-20 \cdot 10^3 - 0) = E \Rightarrow$$

$$E = 3,2 \cdot 10^{-15} \text{ J}$$

b) No gráfico lê-se que os tempos gastos pelos íons (P) e pelos íons (I) na travessia do tubo de comprimento L são $\Delta t_p = 35 \mu\text{s}$ e $\Delta t_l = 50 \mu\text{s}$, respectivamente.

Como no interior do tubo as velocidades são constantes, então:

$$\left\{ \begin{array}{l} v_l = \frac{L}{\Delta t_l} \\ v_p = \frac{L}{\Delta t_p} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{v_l}{v_p} = \frac{\Delta t_p}{\Delta t_l} = \frac{35}{50} = \frac{7}{10} \Rightarrow \boxed{\frac{v_l}{v_p} = 0,7}$$

c) Como as energias cinéticas são iguais, têm-se:

$$E_l = E_p \Rightarrow \frac{m_l v_l^2}{2} = \frac{m_p v_p^2}{2} \Rightarrow \frac{m_l}{m_p} = \left(\frac{v_p}{v_l} \right)^2 = \left(\frac{10}{7} \right)^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{m_l}{m_p} = \frac{100}{49}}$$

d) É dada a massa do íon (P): $m_p = 2849 \text{ u}$

Do item anterior:

$$\frac{m_l}{m_p} = \frac{100}{49} \Rightarrow m_l = \frac{100}{49} m_p = \frac{100}{49} \times 2849 \text{ u} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{m_l \approx 5808 \text{ u}}$$

Estudo para o Enem

18. C

De acordo com o enunciado, temos que o calor fornecido à água é igual à variação de energia cinética de um corpo de 10 kg ao cair em queda livre. Utilizando os dados fornecidos no enunciado, para calcular o calor fornecido à água:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$Q = 100 \cdot 1 \cdot 2$$

$$Q = 200 \text{ cal}$$

Como a energia potencial é dada em joules e sabendo que 1 cal = 4,2J:

$$Q = 200 \cdot 4,2$$

$$Q = 840 \text{ J}$$

Por fim, temos que:

$$Q = E_c$$

$$840 = \frac{10 \cdot v^2}{2} \Rightarrow v^2 = 168 \Rightarrow v \approx 13 \text{ m/s}$$

Competência: Associar intervenções que resultam em degradação ou conservação ambiental a processos produtivos e sociais e a instrumentos ou ações científico-tecnológicos.

Habilidade: Identificar etapas em processos de obtenção, transformação, utilização ou reciclagem de recursos naturais, energéticos ou matérias-primas,

considerando processos biológicos, químicos ou físicos neles envolvidos.

19. D

[I] Correto. A energia liberada na reação é usada para ferver a água que, como vapor a alta pressão, aciona a turbina.

[II] Correto. A turbina, que adquire uma energia cinética de rotação, é acoplada mecanicamente ao gerador para produção de energia elétrica.

[III] Errado. No condensador a água é esfriada ao trocar calor com a água fria que vem bombeada do rio.

Competência: Associar intervenções que resultam em degradação ou conservação ambiental a processos produtivos e sociais e a instrumentos ou ações científico-tecnológicos.

Habilidade: Identificar etapas em processos de obtenção, transformação, utilização ou reciclagem de recursos naturais, energéticos ou matérias-primas, considerando processos biológicos, químicos ou físicos neles envolvidos.

20. B

Com o armazenamento do hidrogênio previamente produzido, é possível utilizá-lo mesmo que as turbinas eólicas deixem de produzir eletricidade por um curto período.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e/ou químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e/ou do eletromagnetismo.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

34 TRABALHO DE FORÇAS CONSERVATIVAS I - FORÇA-PESO

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, é definido o conceito de força conservativa e discutido o caso particular da força-peso. O trabalho da força-peso e aquele realizado pelo operador foram relacionados, e este com a energia potencial gravitacional de um sistema. Também discute a questão dos sinais (+ ou -) aplicados às grandezas e seu significado.

Para ir além

- Artigo interessante da *Revista Brasileira de Ensino de Física*: Uma definição natural de energia cinética e potencial em termodinâmica.

<<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v29n1/a08v29n1.pdf>>

Acesso em: out. 2018.

- Animação que demonstra o funcionamento de uma eclusa.

<<https://www.youtube.com/watch?v=qzluRdMzvoA>>

Acesso em: out. 2018.

- Como funciona seu elevador.

<<http://www.thyssenkruppelevadores.com.br/blog/voce-sabe-como-funciona-o-elevador/>>

Acesso em: out. 2018.

Exercícios propostos

7. a) $\tau_{\text{pilão}} = m \cdot g \cdot h = 5 \cdot 10 \cdot 0,6 = 30 \text{ J}$
 b) $\tau_{\text{monjolo}} = m \cdot g \cdot h = 30 \cdot 10 \cdot 2 = 600 \text{ J}$

Logo, para cada ciclo de 4 s, tem-se:

$$N = \frac{\tau_{\text{monjolo}}}{2\tau_{\text{pilão}}} = \frac{600}{2 \cdot 30} = 10 \text{ pessoas}$$

8. C

Para haver trabalho mecânico de uma força sobre um corpo é necessário que haja deslocamento desse corpo; portanto, a alternativa [A] está errada.

O trabalho é o produto entre a intensidade de força (F) projetada sobre a direção do deslocamento e a distância (d) que o objeto percorreu sob a ação da força aplicada, com isso a alternativa [B] está equivocada.

Por intermédio do teorema do trabalho, temos que o trabalho corresponde a uma variação de energia, implicando em transferência de energia, sendo assim, a alternativa [C] está correta.

No movimento circular e uniforme, a força resultante centrípeta é perpendicular ao movimento e, portanto, não realiza trabalho.

A unidade do trabalho no SI é $[\text{N} \cdot \text{m}] = [\text{J}]$, portanto, a alternativa [E] está incorreta.

9. B

$$W_{\text{grav}} = m \cdot g \cdot h = 0,1 \cdot 10 \cdot 0,2 \Rightarrow W_{\text{grav}} = 0,2 \text{ J}$$

10. E

Em relação ao solo: o drone deve sobrevoar 60 m (50 m do edifício e mais 10 m que ele precisa ficar acima).

$$E_{g_1} = m \cdot g \cdot h$$

$$E_{g_1} = m \cdot g \cdot 60$$

$$E_{g_1} = 60 \cdot m \cdot g$$

Em relação ao topo do edifício: o drone está 10 m acima, logo sua energia potencial será:

$$E_{g_2} = m \cdot g \cdot h$$

$$E_{g_2} = m \cdot g \cdot 10$$

$$E_{g_2} = 10 \cdot m \cdot g$$

A razão entre eles será:

$$\frac{E_{g_1}}{E_{g_2}} = \frac{60 \cdot m \cdot g}{10 \cdot m \cdot g}$$

$$\frac{E_{g_1}}{E_{g_2}} = \frac{60}{10}$$

$$\frac{E_{g_1}}{E_{g_2}} = 6$$

11. a) Dados: $D = 60 \text{ km} = 6000 \text{ m}$; $C = 80 \text{ cal/m}$; $ET = 2000 \text{ kcal}$.

Calculando a energia consumida (E_1) em uma caminhada:

$$\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ m} \rightarrow 80 \text{ cal} \\ 6000 \text{ m} \rightarrow E_1 \end{array} \right\} \Rightarrow E_1 = 6000 \cdot 80 =$$

$$= 480000 \text{ cal} \Rightarrow E_1 = 480 \text{ kcal.}$$

Para a percentagem P, temos:

$$\left\{ \begin{array}{l} 100\% \rightarrow 2000 \text{ kcal} \\ P\% \rightarrow 480 \text{ kcal} \end{array} \right\} \Rightarrow P = \frac{100 \cdot 480}{2000} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{P = 24\%}$$

b) Dados: $M = 80 \text{ kg}$; $g = 10 \text{ m/s}^2$; $h = 300 \text{ m}$.

Da expressão da energia potencial:

$$C = m \cdot g \cdot h = 80 \cdot 10 \cdot 300 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow C = 2,4 \cdot 10^4 \text{ J} = \frac{24 \cdot 10^4 \text{ J}}{4 \text{ J/cal}} \Rightarrow$$

$$\boxed{C = 6 \cdot 10^4 \text{ cal.}}$$

c) Dados: $m = 2,4 \text{ kg} = 2400 \text{ g}$.

Do Note e adote, para perder 2400 g de gordura terá que queimar a quantidade de energia:

$$E = 2400 \cdot 9 = 21600 \text{ kcal.}$$

Estabelecendo proporção direta:

$$\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ caminhada} \rightarrow 480 \text{ kcal} \\ N \text{ caminhadas} \rightarrow 21600 \text{ kcal} \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow N = \frac{21600}{480} \Rightarrow$$

$$\boxed{N = 45.}$$

12. B

A resposta esperada pela banca examinadora, baseando-se no gabarito oficial, é:

$$E = m \cdot g \cdot h = m \cdot g (\Delta S \cdot \sin 60^\circ) =$$

$$= 70 \cdot 10 \cdot 1200 \cdot 0,87 \Rightarrow \boxed{E = 730800 \text{ J}}$$

13. A energia potencial envolvida no ato de uma pessoa levantar uma caixa de 20,3 kg do chão até uma altura de 2,0 m pode ser calculada da seguinte maneira:

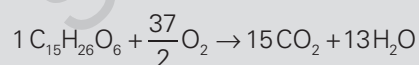
$$E = m \cdot g \cdot h$$

$$E = 20,3 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 2,0 \text{ m}$$

$$E = 406 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$1 \text{ J} = 1 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}, \text{ então:}$$

$$E = 406 \text{ J} = 406 \cdot 10^{-3} \text{ kJ}$$



$$\Delta H = -8120 \text{ kJ/mol}$$

$$\frac{37}{2} \text{ mol} \text{ ————— } 8120 \text{ kJ liberados}$$

$$n_{\text{O}_2} \text{ ————— } 406 \cdot 10^{-3} \text{ kJ liberados}$$

$$n_{\text{O}_2} = 9,25 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

14. B

$$W = m \cdot g \cdot \Delta h$$

Como todos os amigos possuem a mesma massa, logo irão realizar o mesmo trabalho, pois eles se deslocaram pela mesma variação de altura.

15. C

A solução baseia-se apenas no processo matemático da questão.

A energia consumida corresponde à energia potencial adquirida no salto.

$$E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h = 80 \cdot 10 \cdot 0,4 \Rightarrow 320 \text{ J} = 76,2 \text{ cal.}$$

Como 100 g liberam 100 cal, a pessoa deve ter ingerido 76,2 g de alimento para esse salto.

16. C

Dados:

$$L = 1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}; m = 50 \text{ g} = 50 \cdot 10^{-3} \text{ kg}; h = 10\% L = 0,1(10^{-3}) \text{ m} = 10^{-4} \text{ m}; g = 10 \text{ m/s}^2.$$

O trabalho realizado pela força tensora exercida pela fibra é igual ao ganho de energia potencial.

$$W_F = m \cdot g \cdot h = 50 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^{-4} \Rightarrow \boxed{W_F = 5 \cdot 10^{-5} \text{ J}}$$

17. Dados:

$$m = 360 \text{ g} = 0,36 \text{ kg}; \omega = 2 \text{ rad/s}; r = 15 \text{ cm} = 0,15 \text{ m}; g = 10 \text{ m/s}^2; \pi = 3.$$

a) Na situação descrita, a força de atrito age como resultante centrípeta:

$$F_{\text{at}} = R_{\text{cent}} = m \cdot \omega^2 \cdot r = 0,36 \cdot 4 \cdot 0,15 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{F_{\text{at}} = 0,216 \text{ N}}$$

b) O ângulo descrito em 12 s é:

$$\Delta\theta = \omega \cdot \Delta t = 2 \cdot 12 = 24 \text{ rad}$$

Por proporção direta:

$$\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ volta} \rightarrow 2\pi \text{ rad} \\ n \text{ voltas} \rightarrow 24 \text{ rad} \end{array} \right\} \Rightarrow n = \frac{24}{2\pi} = \frac{12}{3} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow n = 4 \text{ voltas}$$

Calculando a variação da altura:

$$\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ volta} \rightarrow 3 \text{ cm} \\ 4 \text{ voltas} \rightarrow \Delta h \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta h = 12 \text{ cm} = 0,12 \text{ m.}$$

A variação da energia potencial é:

$$\Delta E_p = m \cdot g \cdot \Delta h = 0,36 \cdot 10 \cdot 0,12 \Rightarrow \boxed{\Delta E_p = 0,432 \text{ J}}$$

Estudo para o Enem

18. B

$$\tau^R = \Delta E_c \Rightarrow \tau^P = \frac{m \cdot (2 \cdot v)^2}{2} - \frac{m \cdot (2 \cdot v)^2}{2} = \frac{3 \cdot m \cdot v^2}{2}$$

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.

19. D

Enquanto a força peso de um dos personagens realiza trabalho motor, a do outro realiza trabalho resistente. Afinal, enquanto um sobe o outro desce. Porém, por possuírem mesma massa e sofrerem mesmo desnível, o módulo dos referidos trabalhos são iguais.

Competência: Associar intervenções que resultam em degradação ou conservação ambiental a processos produtivos e sociais e a instrumentos ou ações científico-tecnológicos.

Habilidade: Identificar etapas em processos de obtenção, transformação, utilização ou reciclagem de recursos naturais, energéticos ou matérias-primas, considerando processos biológicos, químicos ou físicos neles envolvidos.

20. D

Somando os percentuais indicados em cinza:

$$9,1\% + 13,5\% + 18,5\% + 5,5\% = 46,6\%.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 557 \text{ milhões} \rightarrow 100\% \\ x \text{ milhões} \rightarrow 46,6\% \end{array} \right\} \Rightarrow x = \frac{557 \cdot 46,6}{100} \Rightarrow$$

$$x = 259,562 \text{ milhões.}$$

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO
SISTEMA DE ENSINO BOSCO

35 TRABALHO DE FORÇAS CONSERVATIVAS II - FORÇA ELÁSTICA

MATERIAL DO PROFESSOR

Este módulo revisa o conceito de força conservativa e discute o caso particular da força elástica. O trabalho da força elástica e aquele realizado pelo operador foram relacionados, e este com a energia potencial elástica de um sistema. Também discute os sinais (+ ou -) aplicados às grandezas e seu significado.

Para ir além

- Excelente aplicativo para observar a Lei de Hooke e a energia potencial elástica.

<https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/hookes-law>

Acesso em: out. 2018.

- Na simulação abaixo, na opção movimento harmônico simples, perceba o comportamento da força elástica em um sistema-massa mola.

<https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/motion-2d>

Acesso em: out. 2018.

- A física no *bungee jumping*:

<http://www.feiradeciencias.com.br/sala05/05_Q6.asp>

Acesso em: out. 2018.

Exercícios propostos

7. C

A energia armazenada no elástico é a energia potencial elástica, sendo uma força variável, de acordo com a lei de Hooke e, ainda, conservativa.

8. A

Tem-se o gráfico da energia potencial elástica *versus* a deformação, com a curva parabólica como resposta correta, representada pela alternativa [A] em conformidade com a equação da energia potencial elástica abaixo representada:

$$E_{pe} = \frac{k \cdot x^2}{2}$$

9.

a) $F_{el} = k \cdot x \Rightarrow F_{el} = 400 \cdot 0,2 = 80 \text{ N}$

b) $\tau_{el} = \frac{k \cdot x^2}{2} = \frac{400 \cdot (0,2)^2}{2} = 8 \text{ J}$

10. V – F – V – V – V.

[V] A força exercida pela mola é:

$$F_{el} = k \cdot x \Rightarrow F_{el} = 200 \text{ N/m} \cdot 0,12 \text{ m} \therefore F_{el} = 24 \text{ N}$$

[F] O trabalho realizado pelo paciente sobre a mola é não nulo, pois foi aplicada uma força para distender a mola em 12 cm.

[V] Resistente.

[V] Ao retornar para a posição de equilíbrio, a mola realiza um trabalho motor.

11. B

$$\tau_{el} = \frac{k \cdot x^2}{2} = \frac{5 \cdot 10^2 \cdot (30 \cdot 10^{-2})^2}{2} = 22,5 \text{ J}$$

12. $\tau_{el} = \frac{k \cdot x^2}{2} = \frac{500 \cdot (0,06)^2}{2} = 0,9 \text{ J} = 900 \text{ mJ}$

13. B

Sabendo que 10 mm = 0,01 m, tem-se:

$$\tau_{el} = \text{Área} = \frac{k \cdot x^2}{2} = \frac{500 \cdot 0,01}{2} = 2,5 \text{ J}$$

14. A

De $t = 0$ até $t = t'$:

$$\begin{cases} x = 0,20 - 0,12 \Rightarrow x = 0,08 \text{ m.} \\ \Delta m = 1,16 - 0,20 \Rightarrow \Delta m = 0,96 \text{ kg.} \end{cases}$$

Aplicando a expressão da força elástica (lei de Hooke):

$$\Delta m \cdot g = k \cdot x = k \Rightarrow \frac{0,96 \cdot 10}{0,08} \Rightarrow \boxed{k = 120 \text{ N/m}}$$

15. D

$$\tau = F \cdot d \cdot \cos\theta \Rightarrow \tau = F \cdot d \cdot \cos 90^\circ \Rightarrow \tau = F \cdot d \cdot 0 = 0$$

Forças perpendiculares ao movimento (deslocamento) não realizam trabalho.

16. Na figura B teremos a metade da energia armazenada, pois o peso do objeto está dividido entre duas molas, logo $E/2$.

17. Elástica (E_p)

$$E_p = \frac{k \cdot x^2}{2} = \frac{25 \cdot (2 \cdot 10^{-1})^2}{2} = \frac{25 \cdot 4 \cdot 10^{-2}}{2} \Rightarrow \boxed{E_p = 0,5 \text{ J}}$$

Aceleração (a)

A intensidade da força elástica que a mola exerce no carrinho é dada pela lei de Hooke.

$$F_{el} = k \cdot x = 25 \cdot 2 \cdot 10^{-1} \Rightarrow F_{el} = 5 \text{ N}$$

Como o carrinho está em repouso, a força elástica exercida pela mola para a direita tem a mesma intensidade da força aplicada pelos pés do rapaz para a esquerda.

Assim:

$$F_{rap} = F_{el} = 5 \text{ N}$$

Pelo Princípio da Ação-Reação, o rapaz recebe do carrinho uma força de mesma intensidade para a direita, possibilitando que ele acelere.

Pelo Princípio Fundamental da Dinâmica

$$F_{\text{rap}} = m \cdot a \Rightarrow 5 = 50a \Rightarrow a = 0,1 \text{ m/s}^2$$

Estudo para o Enem

18. B

Ao esticar a pedra no estilingue, ele está usando sua energia (que ganhou através do consumo de alimentos), realizando um trabalho (lembre-se de que força é trabalho *versus* deslocamento); 1) e transforma essa energia em energia elástica, em seguida, ele solta, e a pedra começa a ganhar velocidade, ou seja, 2) a energia elástica foi transformada em energia cinética, conforme ele vai ganhando altura, 3) a energia cinética se transforma em energia potencial gravitacional, e por último a pedra cai, 4) tendo sua energia potencial gravitacional transformada em energia cinética.

Competência: Associar intervenções que resultam em degradação ou conservação ambiental a processos produtivos e sociais e a instrumentos ou ações científico-tecnológicos.

Habilidade: Identificar etapas em processos de obtenção, transformação, utilização ou reciclagem de recursos naturais, energéticos ou matérias-primas, considerando processos biológicos, químicos ou físicos neles envolvidos.

19. A

[I] Energia cinética associada ao movimento da mochila.

[II] Energia elétrica obtida pela transformação da energia cinética.

Competência: Associar intervenções que resultam em degradação ou conservação ambiental a

processos produtivos e sociais e a instrumentos ou ações científico-tecnológicos.

Habilidade: Identificar etapas em processos de obtenção, transformação, utilização ou reciclagem de recursos naturais, energéticos ou matérias-primas, considerando processos biológicos, químicos ou físicos neles envolvidos.

20. E

Relacionando a forças:

$$\left\{ \begin{array}{l} F_1 = k \cdot x_1 \Rightarrow x_1 = \frac{F_1}{k} \\ 2 \cdot F_1 = k \cdot x_2 \Rightarrow x_2 = \frac{2 \cdot F_1}{k} \end{array} \right.$$

Relacionando as energias:

$$\left\{ \begin{array}{l} E_1 = \frac{1}{2} k \cdot (x_1)^2 \Rightarrow E_1 = \frac{1}{2} k \cdot \left(\frac{F_1}{k} \right)^2 \Rightarrow E_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{F_1^2}{k} \\ E_2 = \frac{1}{2} k \cdot (x_2)^2 \Rightarrow E_2 = \frac{1}{2} k \cdot \left(\frac{2 \cdot F_1}{k} \right)^2 \Rightarrow \\ \Rightarrow E_2 = \frac{1}{2} \cdot k \cdot 4 \cdot \left(\frac{F_1}{k} \right)^2 \Rightarrow \\ \Rightarrow E_2 = 4 \cdot \underbrace{\left(\frac{1}{2} \cdot \frac{F_1^2}{k} \right)}_{E_1} \\ E_2 = 4 \cdot E_1 \end{array} \right.$$

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO SISTEMA DE ENSINO

36 ENERGIA MECÂNICA

Comentário sobre o módulo

As modalidades de energia apresentada nos três módulos anteriores são revistas e relacionadas por meio da energia mecânica do sistema. Diversas aplicações são apresentadas. O conceito de conservação aparece, neste módulo, ainda de forma implícita.

Para ir além

- Excelente simulador para visualizar as componentes da energia mecânica.

<https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/the-ramp>

Acesso em: out. 2018.

- Interessante vídeo (TED-Ed) sobre os desafios no uso de energia renovável.

<<https://www.youtube.com/watch?v=RnvCbquYeIM>>

Acesso em: out. 2018.

- Interessante vídeo (TED-Ed) sobre os desafios no uso da energia nuclear.

<<https://www.youtube.com/watch?v=R7WPEYGr1Vs>>

Acesso: em out. 2018.

Exercícios propostos

7.

- (V) Para um dado corpo, a energia cinética só depende da velocidade. Como a velocidade tem módulo constante, a energia cinética também é constante, e, conseqüentemente, sua variação é nula.
- (F) A energia mecânica do sistema diminui, pois a energia potencial está diminuindo e a energia cinética é constante.
- (V) A energia mecânica dissipada é transformada em energia térmica provocando aquecimento dos equipamentos de frenagem, sendo armazenada como energia interna do sistema.

8. B

Ao longo da descida, a energia potencial gravitacional converte-se em cinética, de forma que a soma (energia mecânica) permaneça constante.

9. D

$$I) E_{mec} = E_{p_g} \neq 0$$

$$II) E_{mec} = E_c \neq 0$$

$$III) E_{mec} = E_{p_g} + E_{p_{el}} \neq 0$$

10. B

Dados: $m = 70 \text{ kg}$; $v_0 = 10 \text{ m/s}$;

$$\Delta E_c = 0,7 (500) = 350 \text{ J.}$$

A energia cinética depois do salto é igual à energia cinética inicial somada à variação adquirida no salto.

$$E_c^f = E_c^i + \Delta E_c \Rightarrow \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{m \cdot v_0^2}{2} + \Delta E_c \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{70 \cdot v^2}{2} = \frac{70 \cdot (10)^2}{2} + 350 \Rightarrow$$

$$35 \cdot v^2 = 35 \cdot (100) + 350 \Rightarrow v^2 = 100 + 10 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{110} \Rightarrow v = 10,5 \text{ m/s}$$

11. C

Para calcular a energia elástica do arco, necessitamos da sua constante elástica k determinada pela lei de Hooke:

$$F_e = k \cdot x$$

Onde:

F_e = Força elástica em newtons;

k = Constante elástica do arco;

x = Deslocamento do arco em metros.

$$F_e = k \cdot x \Rightarrow 200 = k \cdot 0,5 \Rightarrow k = \frac{200}{0,5} \therefore k = 400 \text{ N/m}$$

Assim, com a conservação da energia, igualamos a energia elástica E_e à energia cinética E_c para obter a velocidade máxima disparada pelo arco.

$$E_c = E_e \Rightarrow \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{k \cdot x^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{k \cdot x^2}{m}} \therefore v = x \cdot \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Substituindo os valores dados e usando a massa da flecha em quilogramas, temos:

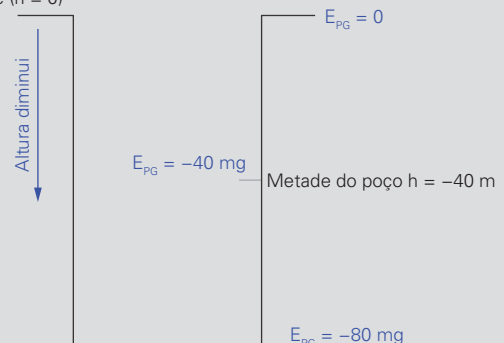
$$v = x \cdot \sqrt{\frac{k}{m}} \Rightarrow v = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{400}{0,040}} \therefore v = 50 \text{ m/s}$$

12. C

A energia potencial gravitacional é uma forma de energia armazenada que está relacionada com a massa de um objeto, com a sua altura em relação a um referencial e também com a aceleração da gravidade do local onde se encontra.

$$E_{p_g} = m \cdot g \cdot h$$

Superfície ($h = 0$)



Tendo como base a figura anterior, quando a água se encontra no fundo do poço, tem-se uma energia potencial igual a $-80 \cdot m \cdot g$. Conforme esta vai subindo na tubulação, o módulo desta energia vai diminuindo, porém estará se tornando cada vez maior.

13. Na configuração A o CG de cada bloco está a 5,0 cm do chão. Portanto, a energia potencial do conjunto vale:

$$E_A = 3 \cdot m \cdot g \cdot h = 3 \cdot 0,1 \cdot 10 \cdot 5 \cdot 10^{-2} = 15 \cdot 10^{-2} \text{ J}$$

Na configuração B o CG do conjunto está a 15,0 cm do chão. Portanto, a energia potencial do conjunto vale:

$$E_B = 3 \cdot m \cdot g \cdot h = 3 \cdot 0,1 \cdot 10 \cdot 15 \cdot 10^{-2} = 45 \cdot 10^{-2} \text{ J}$$

$$\Delta E = E_B - E_A = (45 - 15) \cdot 10^{-2} = 30 \cdot 10^{-2} \text{ J}$$

Portanto, o valor de ΔU , em unidades de 10^{-2} J , é igual a 30.

14. A

Como a letra P se encontra na posição mais baixa do movimento, a energia potencial nesta posição é mínima e a energia cinética é máxima.

15. Dados: $m = 0,1 \text{ kg}$; $E_M = 45 \text{ J}$.

Como o sistema é conservativo, a velocidade é máxima no ponto onde a energia cinética máxima, ou seja, onde a energia potencial é mínima.

Analisando o gráfico, o mínimo valor da energia potencial é zero quando a energia cinética é máxima, igual a 45 J.

Assim:

$$\frac{mv_{\text{máx}}^2}{2} = E_{\text{cin máx}} \Rightarrow \frac{0,1 v_{\text{máx}}^2}{2} = 45 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_{\text{máx}} = \sqrt{\frac{45(2)}{0,1}} = \sqrt{900} \Rightarrow$$

$$v_{\text{máx}} = 30 \text{ m/s}$$

16. D

As transformações estão descritas na tabela.

Tipos de usinas	Energia inicial	Energia final
Hidrelétrica	I – Mecânica	Elétrica
Termoelétrica	II – Térmica	Elétrica
Termonuclear	III – Térmica	Elétrica
Eólica	IV – Mecânica	Elétrica
Fotovoltaica	V – Luminosa	Elétrica

17. 03 (01 + 02)

01. V

02. V

03. F. A energia potencial gravitacional dos carrinhos aumenta à medida que estes forem subindo pelos trilhos, pois esta é proporcional à altura em relação ao nível de referência.

08. F. No ponto de maior altura da montanha-russa, a energia cinética dos carrinhos é menor do que no ponto de menor altura, pois a energia potencial gravitacional vai se convertendo em cinética ao longo da descida.

Estudo para o Enem

18. E

Além de a opção correta estar evidente, as demais se mostram prontamente exclusivas.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Avaliar possibilidades de geração, uso ou transformação de energia em ambientes específicos, considerando implicações éticas, ambientais, sociais e/ou econômicas.

19. A

A escolha menos trabalhosa é o emprego da energia solar, pois necessitará apenas do transporte dos equipamentos para que sejam montadas as células de captação.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Avaliar possibilidades de geração, uso ou transformação de energia em ambientes específicos, considerando implicações éticas, ambientais, sociais e/ou econômicas.

20. D

O enunciado exige menor impacto ambiental. Já que a incidência solar na região é alta, a melhor forma para obtenção de energia é a fotovoltaica.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Avaliar possibilidades de geração, uso ou transformação de energia em ambientes específicos, considerando implicações éticas, ambientais, sociais e/ou econômicas.

37 TEOREMA DA ENERGIA CINÉTICA

Comentário sobre o módulo

As modalidades de energia apresentadas nos módulos anteriores são revistas e relacionadas por meio da energia mecânica do sistema. O conceito de força conservativa novamente aparece. Diversas aplicações são apresentadas. Neste módulo, discute-se também o fato de que, em sistemas nos quais apenas forças conservativas realizam trabalho, a energia mecânica se conserva.

Para ir além

- Excelente simulador para visualizar a conservação da energia mecânica.

<https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/energy-skate-park>

- No link abaixo, note a conversão de energia potencial em cinética. Duas bolas de metal idênticas são largadas da mesma altura usando uma liberação eletromagnética. Uma bola é largada livremente, enquanto a outra fica pendurada em uma corda, atuando como um simples pêndulo. Verifica-se que a velocidade vertical da bola abandonada é idêntica à velocidade horizontal do pêndulo, medida na mesma altura. A energia potencial foi convertida em energia cinética igualmente em ambos os casos.

<<https://www.youtube.com/watch?v5L2mdAvdPhT4>>

- Interessante vídeo (TED-Ed) sobre o fluxo de energia na Terra.

<<https://www.youtube.com/watch?v5fHztd6k5ZXY>>

Acesso: em out. 2018.

Exercícios propostos

7. [I] Verdadeira.

[II] Falsa. Na medida em que o objeto cai, diminui sua energia potencial.

[III] Falsa. Na queda, a energia mecânica do objeto permanece a mesma.

[IV] Falsa. Na queda, ocorre a conservação da energia mecânica.

8. B

Na etapa 2, o atleta recebe impulsão do trampolim, aumentando sua energia mecânica $\Rightarrow E_{M2} > E_{M1}$.

Na etapa 3, o atleta recebe repulsão do cavalo, aumentando sua energia mecânica $\Rightarrow E_{M3} > E_{M2}$.

Durante o salto, etapa 4, a energia mecânica pode ser considerada constante $\Rightarrow E_{M3} = E_{M4}$.

Conclusão: $E_{M1} < E_{M2} < E_{M3} = E_{M4}$.

9. Pela conservação da energia mecânica, a energia potencial é máxima no ponto em que a energia cinética é mínima, ou seja, no ponto de altura $h = 10$ m.

Da leitura do gráfico e do enunciado, temos:

$$\begin{cases} h_i = 0 \text{ m} \Rightarrow E_i^{\text{cin}} = 10 \text{ J}; E_i^{\text{pot}} = 0 \\ h_f = 10 \text{ m} \Rightarrow E_f^{\text{cin}} = 4 \text{ J}; E_f^{\text{pot}} = ? \end{cases}$$

$$E_{\text{mec}} = E_f^{\text{mec}} \Rightarrow E_i^{\text{cin}} + E_i^{\text{pot}} = E_f^{\text{cin}} + E_f^{\text{pot}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 10 + 0 = 4 + E_f^{\text{pot}} \Rightarrow$$

$$E_{\text{máx}}^{\text{pot}} = 6 \text{ J}$$

10. E

Seja t_1 o instante em que a esfera é abandonada, a uma altura de 4 m sobre a rampa, e t_2 o instante em que ocorre a máxima compressão da mola pela esfera.

Como as forças dissipativas foram desprezadas, então:

$$E_{M_1} = E_{M_2} \quad (1)$$

sendo E_{M_1} a energia mecânica do sistema no instante t_1 e E_{M_2} a energia mecânica do sistema no instante t_2 . Em t_1 , $E_{M_1} = E_{P_1} = m \cdot g \cdot h$, pois a velocidade da esfera $v_1 = 0$ (a energia mecânica é apenas a potencial gravitacional).

Em t_2 , $E_{M_2} = \frac{k \cdot x^2}{2}$, ou seja, a energia mecânica do

sistema constitui-se apenas da energia potencial elástica acumulada na mola deformada.

Substituindo as expressões de E_{M_1} e E_{M_2} na equação (1), tem-se que:

$$m \cdot g \cdot h = \frac{k \cdot x^2}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow x^2 = \frac{2 \cdot m \cdot g \cdot h}{k} = \frac{2 \cdot 0,8 \cdot 10 \cdot 4}{400} = 0,16$$

$$\Rightarrow x = \sqrt{0,16} = 0,4 \text{ m} = 40 \text{ cm}$$

11. A

No ponto de compressão máxima, a velocidade é nula. Adotando esse ponto como referencial de altura, nele, a energia potencial gravitacional também é nula. Assim, aplicando a conservação da energia mecânica.

$$E_{\text{Mec}}^i = E_{\text{Mec}}^f \Rightarrow m \cdot g \cdot (h+d) = \frac{k \cdot d^2}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{k = \frac{2 \cdot m \cdot g \cdot (h+d)}{d^2}}$$

12. A

Em relação ao nível de referência adotado, a energia mecânica é igual à energia cinética no ponto A, pois nesse ponto a energia potencial gravitacional é nula.

$$E_{\text{mec}} = E_{\text{cin}}^A = \frac{m \cdot v_A^2}{2}$$

Usando a conservação da energia mecânica, para o ponto onde a energia cinética do corpo é o triplo da sua energia potencial, tem-se:

$$E_{\text{cin}} + E_{\text{pot}} = E_{\text{mec}} \Rightarrow 3 \cdot E_{\text{pot}} + E_{\text{pot}} = \frac{m \cdot v_A^2}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 4 \cdot m \cdot g \cdot h = \frac{m \cdot v_A^2}{2} \Rightarrow h = \frac{v_A^2}{8 \cdot g} = \frac{10^2}{80} \Rightarrow$$

$$h = 1,25 \text{ m}$$

13. D

Altura máxima ($v_{\text{inicial}} = v_0 \sin 45^\circ$ e $v_{\text{final}} = 0$):

$$0^2 = \left(\frac{v_0 \cdot \sqrt{2}}{2} \right)^2 - 2 \cdot g \cdot H_{\text{máx}} \Rightarrow H_{\text{máx}} = \frac{v_0^2}{4 \cdot g}$$

Energia potencial gravitacional no ponto de altura máxima:

$$E_p = m \cdot g \cdot H_{\text{máx}} = m \cdot g \cdot \frac{v_0^2}{4 \cdot g} \Rightarrow E_p = \frac{m \cdot v_0^2}{4}$$

Energia cinética no ponto de altura máxima ($v = v_0 \cos 45^\circ$):

$$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{m}{2} \left(\frac{v_0 \cdot \sqrt{2}}{2} \right)^2 \Rightarrow E_c = \frac{m \cdot v_0^2}{4}$$

Portanto, a relação pedida é:

$$\frac{E_p}{E_c} = \frac{\frac{m \cdot v_0^2}{4}}{\frac{m \cdot v_0^2}{4}} = 1$$

$$\therefore E_p = E_c$$

14. $E_{\text{co}} + E_{\text{po}} = E_{\text{cf}} + E_{\text{pf}}$

$$\frac{m \cdot v_0^2}{2} + m \cdot g \cdot h_0 = \frac{m \cdot v_f^2}{2} + m \cdot g \cdot h_f \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{m \cdot v_0^2}{2} + m \cdot g \cdot h_0 = \frac{m \cdot v_f^2}{2} + m \cdot g \cdot h_f$$

No solo h_f é nulo logo:

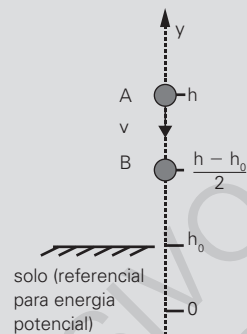
$$\frac{3^2}{2} + 10 \cdot 0,8 = \frac{v_f^2}{2}$$

$$V_f^2 = 25$$

$$\therefore V_f = 5 \text{ m/s}$$

15. E

A figura mostra a bola nas duas posições citadas, A e B.



Em relação ao solo, adotado como referencial para energia potencial, no ponto A:

$$\left. \begin{aligned} E_{\text{pot}}^A &= m \cdot g \cdot h_A = m \cdot g \cdot (h - h_0) \\ E_{\text{cin}}^A &= \frac{1}{2} m \cdot v^2 \end{aligned} \right\}$$

$$E_{\text{mec}}^A = E_{\text{pot}}^A + E_{\text{cin}}^A = m \cdot g \cdot (h - h_0) + \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Como o sistema é conservativo:

$$E_{\text{mec}}^B = E_{\text{mec}}^A = m \cdot g \cdot (h - h_0) + \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

16. E

Por conservação de energia, podemos determinar a velocidade no ponto mais baixo da trajetória:

$$m \cdot g \cdot h = \frac{m \cdot v^2}{2} \Rightarrow 10 \cdot 1,2 = \frac{v^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{24} \text{ m/s}$$

No ponto mais baixo, temos que:

$$T - P = \frac{m \cdot v^2}{R} \Rightarrow T = 500 + \frac{50 \cdot 24}{3}$$

$$\therefore T = 900 \text{ N}$$

17. a) Usando a conservação da energia mecânica entre os pontos B e C, com referencial em B, vem:

$$E_{\text{mec}}^B = E_{\text{mec}}^C \Rightarrow \frac{m \cdot v_B^2}{2} = m \cdot g \cdot h_{BC} + \frac{m \cdot v_C^2}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_C^2 = v_B^2 - 2 \cdot g \cdot h_{BC} \Rightarrow$$

$$v_C = \sqrt{(10 \cdot \sqrt{2})^2 - 2 \cdot 10 \cdot (30 - 22)} = \sqrt{200 - 160} =$$

$$= \sqrt{40} \Rightarrow$$

$$v_C = 2\sqrt{10} \text{ m/s}$$

b) Se o esquiador passar pelo ponto C na iminência de perder o contato com a pista, na iminência

de voar, a normal nesse ponto deve ser nula. Então, a resultante centrípeta é seu próprio peso.

$$R_{\text{cent}} = P \Rightarrow \frac{m \cdot v_c^2}{r} = m \cdot g \Rightarrow v_c = \sqrt{r \cdot g} = \\ = \sqrt{10 \cdot 10} \Rightarrow v_c = 10 \text{ m/s}$$

Usando a conservação da energia mecânica entre A e C, com referencial em C, vem:

$$E_{\text{mec}}^A = E_{\text{mec}}^C \Rightarrow m \cdot g \cdot (h_A - h_C) = \frac{m \cdot v_c^2}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow h_A - h_C = \frac{v_c^2}{2g} \Rightarrow h_A = \frac{10^2}{20} + 30$$

$$h_A = 35 \text{ m}$$

Estudo para o Enem

18. C

Pela conservação da energia mecânica, toda energia cinética que o atleta adquire na etapa I, é transformada em energia potencial na etapa III, quando ele praticamente para no ar.

Obs.: Cabe ressaltar que o sistema é **não conservativo (incrementativo)**, pois no esforço para saltar o atleta consome energia química do seu organismo, transformando parte em energia mecânica, portanto, aumentando a energia mecânica do sistema.

Competência: Associar intervenções que resultam em degradação ou conservação ambiental a processos produtivos e sociais e a instrumentos ou ações científico-tecnológicas.

Habilidade: Identificar etapas em processos de obtenção, transformação, utilização ou reciclagem de recursos naturais, energéticos ou matérias-primas, considerando processos biológicos, químicos ou físicos neles envolvidos.

19. C

A energia cinética da criança deve se anular nos pontos de altura mínima e máxima, onde está convertida em energia potencial (elástica ou gravitacional), e máxima no ponto de altura zero.

Na região $0 < h < h_{\text{máx}}$ atua a $E_p = m \cdot g \cdot h$ e na região $h_{\text{mín}} < h < 0$, atua também a $E_{\text{el}} = \frac{k \cdot h^2}{2}$.

Logo, devido às relações das energias com as alturas, segue que E_c deve variar linearmente apenas para $0 < h < h_{\text{máx}}$.

Competência: Associar intervenções que resultam em degradação ou conservação ambiental a processos produtivos e sociais e a instrumentos ou ações científico-tecnológicas.

Habilidade: Identificar etapas em processos de obtenção, transformação, utilização ou reciclagem de recursos naturais, energéticos ou matérias-primas, considerando processos biológicos, químicos ou físicos neles envolvidos.

20. B

Dados: $k_d = 2k_m$; $F_d = F_m$.

Calculando a razão entre as deformações:

$$F_d = F_m \Rightarrow k_d \cdot x_d = k_m \cdot x_m \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 2k_m \cdot x_d = k_m \cdot x_m \Rightarrow x_m = 2 \cdot x_d$$

Comparando as energias potenciais elásticas armazenadas nos dois estilingues:

$$\left. \begin{aligned} E_d^{\text{pot}} &= \frac{k_d \cdot x_d^2}{2} = \frac{2 \cdot k_m \cdot x_d^2}{2} = k_m \cdot x_d^2 \\ E_m^{\text{pot}} &= \frac{k_m \cdot x_m^2}{2} = \frac{k_m \cdot (2x_d)^2}{2} = \frac{4 \cdot k_m \cdot x_d^2}{2} = 2 \cdot k_m \cdot x_d^2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \\ \Rightarrow E_m^{\text{pot}} = 2 \cdot E_d^{\text{pot}}$$

Considerando o sistema conservativo, toda essa energia potencial é transformada em cinética para o objeto lançado. Assim:

$$E_m^{\text{cin}} = 2 \cdot E_d^{\text{cin}} \Rightarrow \frac{m \cdot v_m^2}{2} = 2 \cdot \frac{m \cdot v_d^2}{2} \Rightarrow v_m^2 = 2 \cdot v_d^2$$

Supondo lançamentos oblíquos, sendo θ o ângulo com a direção horizontal, o alcance horizontal (D) é dado pela expressão:

$$D = \frac{v_0^2}{g} \sin(2\theta) \Rightarrow \left. \begin{aligned} D_d &= \frac{v_d^2}{g} \sin(2\theta) \\ D_m &= \frac{2v_d^2}{g} \sin(2\theta) \end{aligned} \right\} \Rightarrow \\ \Rightarrow \frac{D_d}{D_m} = \frac{1}{2}$$

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.

38 SISTEMAS DISSIPATIVOS

Comentário sobre o módulo

A relação entre trabalho e energia novamente se expressa como tema central deste módulo através do teorema da energia mecânica. Os sistemas dissipativos são apresentados, assim como aqueles em que há incremento na energia mecânica do sistema.

Para ir além

- TED-ED: Por que as máquinas de movimento perpétuo nunca funcionam?

<<https://www.youtube.com/watch?v=A-QgGXbDyR0>>

Acesso em: out. 2018.

- TED-ED: O que é Entropia?

<https://www.youtube.com/watch?v=YM-uykVfq_E>

Acesso em: out. 2018.

- Aplicativo para visualizar a transferência de energia sob a forma de calor:

<https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/energy-forms-and-changes>

Acesso em: out. 2018.

- Excelente simulador para visualizar a dissipação da energia mecânica.

<https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/energy-skate-park>

Acesso em: out. 2018.

- Excelente simulador para visualizar a forma como o trabalho realizado pelas forças de atrito converte energia mecânica em térmica.

<https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/friction>

Acesso em: out. 2018.

Exercícios propostos

7. I) V

II) V

$$E_{\text{mec}}^i = E_{\text{mec}}^f \Rightarrow E_{\text{pg}} = E_c^i \Rightarrow m \cdot g \cdot h = \frac{m \cdot v^2}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 10} \approx 14 \text{ m/s}$$

III) V

$$\tau^R = E_c^f - E_c^i \Rightarrow \tau^R = 0 - \frac{1000 \cdot 10^2}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R \cdot d \cdot \cos 180^\circ = -50000 \Rightarrow R \cdot 10 = 50000 \Rightarrow R$$

$$\Rightarrow R = 5000 \text{ N}$$

IV) F – A força gravitacional é uma força conser-

vativa e o trabalho realizado por essa força não depende da trajetória.

8. B

$$E_{\text{mec}}^i = E_c^i = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{0,1 \cdot 20^2}{2} = 20 \text{ J}$$

$$E_{\text{mec}}^f = E_{\text{pg}}^f = m \cdot g \cdot h = 0,1 \cdot 10 \cdot 18 = 18 \text{ J}$$

$$E_{\text{mec}}^{\text{dissipada}} = 20 - 18 = 2 \text{ J}$$

$$\frac{E_{\text{mec}}^{\text{dissipada}}}{E_{\text{mec}}^i} = \frac{2}{20} = 0,1 = 10\%$$

9. D

A energia mecânica é igual à soma das energias cinética e potencial. Em relação ao ponto de lançamento, no início a bola somente possui energia cinética e no ponto mais alto, somente potencial. Então:

$$\left\{ \begin{array}{l} E_{\text{mec}}^{\text{inicial}} = E_c \\ E_{\text{mec}}^{\text{final}} = E_p \end{array} \right\} E_{\text{mec}}^{\text{final}} = E_{\text{mec}}^{\text{inicial}} - \frac{p}{100} E_{\text{mec}}^{\text{inicial}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E_p = E_c - \frac{p}{100} E_c \Rightarrow \frac{p}{100} E_c = E_c - E_p \Rightarrow$$

$$\Rightarrow p = 100 \left(\frac{E_c - E_p}{E_c} \right) \Rightarrow \boxed{p = 100 \left(1 - \frac{E_p}{E_c} \right)}$$

10. D

$$E_{\text{mec}}^B = E_{\text{mec}}^A - 40 \Rightarrow \frac{20 \cdot v_B^2}{2} + 20 \cdot 10 \cdot 5 =$$

$$= \frac{20 \cdot 2^2}{2} + 20 \cdot 10 \cdot 10 - 40 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 10 \cdot v_B^2 = 1000$$

$$\Rightarrow v_B = 10 \text{ m/s}$$

11. E

$$\tau^P = m \cdot g \cdot h = 60 \cdot 10 \cdot 2 = 1200 \text{ J}$$

$$\tau_{\text{dissipativas}}^F = \Delta E_{\text{mec}} = \frac{m \cdot v^2}{2} - m \cdot g \cdot h =$$

$$= \frac{60 \cdot 6^2}{2} - 1200 = -120 \text{ J}$$

12. E

I. Falsa: A energia mecânica sempre se conserva.

II. V

III. V

IV. Falsa: Diretamente proporcional à velocidade ao quadrado.

13. Como há atuação da força de atrito, haverá energia dissipada no sistema. Devido a isso, podemos concluir que a energia mecânica inicial será igual à energia mecânica final somada ao módulo do trabalho da força de atrito, que representa a energia dissipada.

$$Em_{\text{inicial}} = Em_{\text{final}} + |\tau_{\text{atrito}}|$$

- No momento inicial:

$$Em_{\text{inicial}} = Ep + Ec \rightarrow Em_{\text{inicial}} = m \cdot g \cdot h + \frac{m \cdot v_0^2}{2}$$

$$h = 0 \rightarrow Em_{\text{inicial}} = \frac{m \cdot v_0^2}{2}$$

- No momento final:

$$Em_{\text{final}} = Ep + Ec \rightarrow Em_{\text{final}} = m \cdot g \cdot h + \frac{m \cdot v^2}{2}$$

$$V = 0 \rightarrow Em_{\text{final}} = m \cdot g \cdot h$$

- Trabalho da força de atrito:

$$\tau_{\text{atrito}} = \text{área sob a curva do gráfico.}$$

A figura sob a curva do gráfico é um triângulo e sua área será:

$$\text{área} = \frac{b \cdot a}{2} = \frac{100 \cdot 10}{2} = 500$$

$$|\tau_{\text{atrito}}| = 500 \text{ J}$$

$$Em_{\text{inicial}} = Em_{\text{final}} + |\tau_{\text{atrito}}| \rightarrow \frac{m \cdot v_0^2}{2} = m \cdot g \cdot h + 500$$

Substituindo os valores:

$$\frac{m \cdot v_0^2}{2} = m \cdot g \cdot h + 500 \rightarrow \frac{2 \cdot v_0^2}{2} = 2 \cdot 10 \cdot 100 + 500$$

$$v_0 = 50 \text{ m/s}$$

14. Como a resistência do ar é desprezível, só há perda de energia mecânica na colisão com o solo. Do gráfico, vemos que os módulos das velocidades antes e depois da colisão são, respectivamente, $v_1 = 20 \text{ m/s}$ e $v_2 = 18 \text{ m/s}$.

A perda percentual de energia mecânica ($\Delta E_{\%}$) é:

$$\Delta E_{\%} = \frac{E_{\text{mec}}^{\text{antes}} - E_{\text{mec}}^{\text{depois}}}{E_{\text{mec}}^{\text{antes}}} \cdot 100 = \frac{\frac{m}{2}(v_1^2 - v_2^2)}{\frac{m}{2} \cdot v_1^2} \cdot 100 \Rightarrow$$

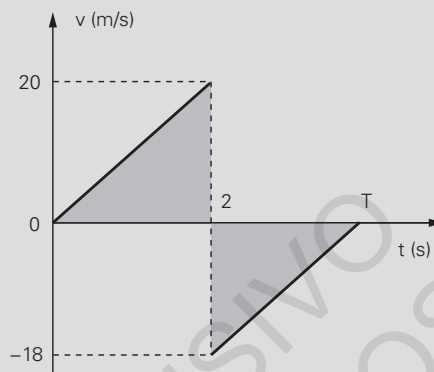
$$\Delta E_{\%} = \frac{v_1^2 - v_2^2}{v_1^2} \cdot 100 = \frac{20^2 - 18^2}{20^2} \cdot 100 =$$

$$= \frac{400 - 324}{400} \cdot 100 \Rightarrow$$

$$\Delta E_{\%} = 19\%$$

Distância total percorrida.

Os triângulos destacados na figura são semelhantes.



Então:

$$\frac{T-2}{18} = \frac{2}{20} \Rightarrow T-2 = 1,8.$$

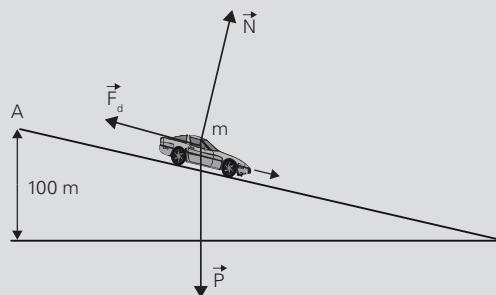
A distância total percorrida (D) é numericamente igual à soma das áreas dos triângulos destacados.

$$D = \frac{2 \cdot 20}{2} + \frac{(T-2) \cdot 18}{2} = 20 + 1,8 \cdot 9 \Rightarrow$$

$$D = 36,2 \text{ m}$$

15. Dados: $v_A = 72 \text{ km/h} = 20 \text{ m/s}$; $v_B = 108 \text{ km/h} = 30 \text{ m/s}$; $h = 100 \text{ m}$; $m = 1000 \text{ kg}$.

A figura mostra as forças que agem no carro, supondo que o motor esteja em "ponto morto" ou que o carro esteja na "banguela".



Aplicando o Teorema da Energia cinética, temos:

$$W_R = W_p + W_N + W_{F_d} \Rightarrow \frac{m \cdot v_B^2}{2} - \frac{m \cdot v_A^2}{2} =$$

$$= m \cdot g \cdot h + 0 + W_{F_d} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow W_{F_d} = \frac{m \cdot v_B^2}{2} - \frac{m \cdot v_A^2}{2} - m \cdot g \cdot h =$$

$$= \frac{10^3}{2} (30^2 - 20^2) - 10^3 \cdot (10) \cdot (100) \Rightarrow$$

$$W_{Fd} = 2,5 \cdot 10^5 - 10 \cdot 10^5 \Rightarrow$$

$$W_{Fd} = -7,5 \cdot 10^5 \text{ J}$$

16. B

Como o bloco fica em equilíbrio estático sobre o plano inclinado, significa que há atrito entre o bloco e o plano. Logo, alguma energia foi dissipada durante a subida, sendo, então, a energia mecânica final menor que a energia mecânica inicial. Assim:

$$E_{Mec}^f < E_{Mec}^i \Rightarrow m \cdot g \cdot h < \frac{m \cdot v^2}{2} \Rightarrow 2 \cdot g \cdot h < v^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{v^2 > 2 \cdot g \cdot h}$$

17. a) Dados: $m = 3 \text{ kg}$; $\mu = 0,4$; $x = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$; $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Como o deslocamento é retilíneo e horizontal, a intensidade da componente normal é igual à do peso ($N = P = mg$). Então:

$$W_{Fat} = F_{at} \cdot x \cdot \cos 180^\circ \Rightarrow W_{Fat} = -\mu \cdot N \cdot x \Rightarrow$$

$$\Rightarrow W_{Fat} = -\mu \cdot m \cdot g \cdot x = -0,4 \cdot 3 \cdot 10 \cdot 0,2 \Rightarrow$$

$$\boxed{W_{Fat} = -2,4 \text{ J}}$$

- b) Dados: $K = 180 \text{ N/m}$; $m = 3 \text{ kg}$; $x = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$.

Aplicando o teorema da energia cinética:

$$W_R = \Delta E_{cin} \Rightarrow W_{Fat} + W_{Fel} + W_P + W_N =$$

$$= \frac{m \cdot v^2}{2} - \frac{m \cdot v_0^2}{2} \Rightarrow$$

$$-2,4 - \frac{K \cdot x^2}{2} + 0 + 0 = 0 - \frac{m \cdot v_0^2}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{3 \cdot v_0^2}{2} = 2,4 + \frac{180(0,2)^2}{2} \Rightarrow$$

$$\frac{3 \cdot v_0^2}{2} = 2,4 + 3,6 \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot 6}{3}} = \sqrt{4} \Rightarrow$$

$$\boxed{v_0 = 2 \text{ m/s}}$$

Estudo para o Enem

18. C

Nas usinas termelétricas (a diesel ou a carvão) é usada a energia térmica produzida na queima do combustível para aquecer água, gerando vapor a alta pressão, movimentando as turbinas acopladas aos geradores de energia elétrica.

Competência: Associar intervenções que resultam em degradação ou conservação ambiental a

processos produtivos e sociais e a instrumentos ou ações científico-tecnológicos.

Habilidade: Identificar etapas em processos de obtenção, transformação, utilização ou reciclagem de recursos naturais, energéticos ou matérias-primas, considerando processos biológicos, químicos ou físicos neles envolvidos.

19. A

A energia mecânica inicial é:

$$E = m \cdot g \cdot h$$

Se são dissipados 80% da energia mecânica a cada quique após o primeiro quique, a energia mecânica da bola é:

$$E_1 = 20\% E \Rightarrow E_1 = 0,2 E$$

E após o segundo quique:

$$E_2 = 20\% E_1 \Rightarrow E_2 = 0,2(0,2 E) = 0,04 E =$$

$$= 0,04 m \cdot g \cdot h = 0,04 \cdot 0,4 \cdot 10 \cdot 1$$

$$\boxed{E_2 = 0,16 \text{ J}}$$

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.

20. B

Para o caso da rampa com atrito, a cada ponto que a esfera passe na descida há perda da energia mecânica na forma de energia dissipativa (atrito), sendo que a energia potencial gravitacional vai se convertendo em energia cinética. Assim, a energia mecânica em cada ponto, que representa a soma das energias potencial e cinética, deve ficar cada vez menor enquanto a esfera desce. Quando a esfera chega ao fim da rampa, a energia potencial deve ser nula, restando somente a energia cinética. Logo, a resposta correta é letra [B].

Competência: Associar intervenções que resultam em degradação ou conservação ambiental a processos produtivos e sociais e a instrumentos ou ações científico-tecnológicos.

Habilidade: Identificar etapas em processos de obtenção, transformação, utilização ou reciclagem de recursos naturais, energéticos ou matérias-primas, considerando processos biológicos, químicos ou físicos neles envolvidos.

39 POTÊNCIA MECÂNICA

Comentário sobre o módulo

O conceito de potência é aplicado a diversas transformações no decorrer deste módulo. No caso da potência mecânica, foram deduzidas algumas das expressões que permitem determinar sua intensidade. O conceito de rendimento foi apresentado e aplicado.

Para ir além

- TED-Ed: Como é que o trabalho... trabalha?

<https://www.youtube.com/watch?v5u6y2RPQw7E0>

Acesso em: out. 2018.

- Fonte de energia (potência e rendimento).

https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/fontes?_adf.ctrl-state51d22vf4oym_31&_afLoop572783891306887#!

Acesso em: out. 2018.

- James Watt e a máquina a vapor.

<https://sapiencia.pucsp.br/bitstream/handle/13407/1/Luiz%20Alberto%20Tavares.pdf>

Acesso em: out. 2018.

Exercícios propostos

7. C

Dados: $E = 7,2 \text{ MJ} = 7,2 \cdot 10^6 \text{ J}$; $P = 2 \text{ kW} = 2 \cdot 10^3 \text{ W}$.

Da definição de Potência:

$$P = \frac{E}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{E}{P} = \frac{7,2 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^3} = 3600 \text{ s} \Rightarrow \Delta t = 1 \text{ hora.}$$

8.

a) Dados: $\frac{E}{V} = \frac{5 \text{ kcal}}{L}$; $\frac{V}{\Delta t} = \frac{3 \text{ L}}{\text{min}}$; $1 \text{ cal} = 4 \text{ J}$.

$$P = \frac{E}{V} \cdot \frac{V}{\Delta t} = \frac{5 \text{ kcal}}{L} \cdot \frac{3 \text{ L}}{\text{min}} = 15 \frac{\text{kcal}}{\text{min}} = \frac{(15 \cdot 4) \text{ kJ}}{60 \text{ s}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow P = 1 \text{ kW} = 1000 \text{ W.}$$

b) Dados: $\Delta t = 20 \text{ min} = 1200 \text{ s}$.

$$E = P \cdot \Delta t = 1000 \cdot 1200 \Rightarrow E = 1,2 \cdot 10^6 \text{ J.}$$

c) Dados: $P_b = 100 \text{ W}$; $\frac{E}{V} = \frac{5 \text{ kcal}}{L}$; $\Delta t = 1 \text{ min} = 60 \text{ s}$; $1 \text{ cal} = 4 \text{ J}$.

A energia basal consumida em 1 min é:

$$E_b = P_b \cdot \Delta t = 100 \cdot 60 = 6000 \text{ J} = 1500 \text{ cal} = 1,5 \text{ kcal.}$$

O volume consumido de O_2 pode ser obtido por proporção direta:

$$\left\{ \begin{array}{l} 5 \text{ kcal} \rightarrow 1 \text{ L} \\ 1,5 \text{ kcal} \rightarrow V \end{array} \right\} \Rightarrow V = \frac{1,5}{5} \Rightarrow V = 0,3 \text{ L.}$$

9. D

A intensidade de uma radiação é dada pela razão entre a potência total (P_T) captada e a área de captação (A), como sugerem as unidades.

Dados: $I = 1000 \text{ W/m}^2$; $A = 9 \text{ m}^2$; $m = 200 \text{ kg}$; $v_0 = 0$; $v = 108 \text{ km/h} = 30 \text{ m/s}$; $\eta = 30\%$

$$I = \frac{P_T}{A} \Rightarrow P_T = I \cdot A = 1000 \cdot 9 \Rightarrow P_T = 9000 \text{ W.}$$

Calculando a potência útil (P_U):

$$\eta = \frac{P_U}{P_T} \Rightarrow P_U = 30\% \cdot P_T = 0,3 \cdot 9000 \Rightarrow P_U = 2700 \text{ W.}$$

A potência útil transfere energia cinética ao veículo.

$$P_U = \frac{m \cdot (v^2 - v_0^2)}{2 \Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{200 \cdot (30^2 - 0)}{2 \cdot 2700} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta t = 33,3 \text{ s.}$$

10. C

Dados: $P_{co} = 10 \text{ W}$; $E_T = 2500 \text{ kcal} = 2,5 \cdot 10^6 \text{ cal}$; $1 \text{ cal} = 4 \text{ J}$.

Calculando a potência total:

$$P_T = \frac{E_T}{\Delta t} = \frac{2,5 \cdot 10^6 \cdot 4}{24 \cdot 3600} = 115,74 \text{ W} \approx 116 \text{ W.}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 116 \text{ W} \rightarrow 100\% \\ 10 \text{ W} \rightarrow x\% \end{array} \right\} \Rightarrow x = 8,62\% \Rightarrow$$

$$x = 9\%.$$

11. A

Aplicando a definição de potência média:

$$P_{ot} = \frac{E_{pot}}{\Delta t} = \frac{m \cdot g \cdot h}{\Delta t} = \frac{30 \cdot 10 \cdot 5}{5} \Rightarrow P_{ot} = 300 \text{ W.}$$

Supondo que a subida tenha sido à velocidade constante:

$$F = P = m \cdot g = 30 \cdot 10 \Rightarrow F = 300 \text{ N.}$$

12. B

Calculando a potência média:

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{8,8 \cdot 10^9}{8,8 \cdot 10^3} = 10^6 \text{ W} = 1000 \text{ kW.}$$

Analisando o gráfico Potência \times Velocidade do vento, vê-se que $v > 8,5 \text{ m/s}$. Analisando o mapa dado, das alternativas apresentadas, a única possível é nordeste do Amapá.

13.

a) Potência total da radiação incidente:

$$P_i = 2 \text{ m}^2 \cdot 600 \text{ W/m}^2 = 1200 \text{ W}$$

Potência útil (transformada em calor):

$$P_u = \frac{1,8 \cdot 10^5 \text{ J}}{5 \cdot 60 \text{ s}} = 600 \text{ W}$$

Sendo assim, o rendimento é de:

$$\eta = \frac{600 \text{ W}}{1200 \text{ W}} = 0,5$$

$$\therefore \eta = 50\%$$

b) Pela equação da calorimetria, temos:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$$

$$0,9 \cdot Q_t = 250 \cdot 4 \cdot 10^3 \cdot (38 - 20)$$

$$0,9 \cdot Q_t = 18 \cdot 10^6$$

$$\therefore Q_t = 2 \cdot 10^7$$

14. C

Se a velocidade é constante, a resultante das forças paralelas ao movimento é nula. Logo, intensidade da força motriz (F_m) é igual à intensidade da resultante das forças resistivas (F_r). $F_m = F_r = 3 \text{ kN}$. A velocidade é constante, $v = 90 \text{ km/h} = 25 \text{ m/s}$. Aplicando a expressão de potência mecânica associada a uma força:

$$P = F \cdot v = 3 \cdot 25 \Rightarrow \boxed{P = 75 \text{ kW}}$$

15. C

Energia liberada na combustão de 5 L de gasolina comum:

$$E = 3,2 \cdot 10^4 \frac{\text{kJ}}{\text{L}} \cdot 5 \text{ L} = 16 \cdot 10^4 \text{ kJ}$$

Equivalente em kJ de 8,6 kWh:

$$1 \text{ kWh} \text{ ——— } 3,6 \cdot 10^3 \text{ kJ}$$

$$8 \text{ kWh} \text{ ——— } x$$

$$x \cong 3,1 \cdot 10^4 \text{ kJ}$$

Portanto, a porcentagem pedida é:

$$p = \frac{3,1 \cdot 10^4}{16 \cdot 10^4} \cdot 100\% = 19,375\%$$

$$\therefore p \cong 20\%$$

16. Dados: $f = 300 \text{ rpm} = 5 \text{ Hz}$; $\pi = 3$; $R = 1,2 \text{ m}$;

$$P_u = 1500 \text{ W}; \eta = 60\% = 0,6.$$

Velocidade (escalar) angular:

$$\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3 \cdot 5 \Rightarrow \boxed{\omega = 30 \text{ rad/s}}$$

Velocidade (escalar) linear:

$$v = \omega \cdot R = 30 \cdot 1,2 \Rightarrow \boxed{v = 36 \text{ m/s}}$$

Energia cinética transmitida:

$$\left\{ \begin{array}{l} E_{\text{cin}} = P_T \cdot \Delta t \\ \eta = \frac{P_u}{P_T} \Rightarrow P_T = \frac{P_u}{\eta} \end{array} \right\} E_{\text{cin}} = \frac{P_u}{\eta} \cdot \Delta t = \frac{1500}{0,6} \cdot 60 \Rightarrow \boxed{E_{\text{cin}} = 1,5 \cdot 10^5 \text{ J}}$$

17.

$$\begin{aligned} \text{a) } \Delta K &= \frac{1}{2} m \cdot v_n^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_d^2 = 1000 \cdot (57,6^2 - 90^2) \\ &= -4782240 \text{ Kg} \frac{\text{km}^2}{\text{h}^2} \text{ ou } -369000 \text{ J} \end{aligned}$$

b) Potência útil

$$1,2 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \cdot 0,25 \cdot 270 \text{ m}^2 = 81 \text{ kW}$$

Energia destinada às baterias:

$$(81 - 0,8 \cdot 50) \text{ kWt} = 164 \text{ kWh} \Rightarrow t = 4 \text{ h}$$

Estudo para o Enem

18. E

Energia absorvida em 5h

$$P = \frac{E}{\Delta t} \Rightarrow 10 \cdot 10^{-3} = \frac{E}{5 \cdot 60 \cdot 60} \Rightarrow E = 180 \text{ J}$$

Dose absorvida por kg:

$$D = \frac{180 \text{ J}}{90 \text{ kg}} = 2 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Portanto, o resultado obtido se encontra na faixa de valores das reações gerais leves.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

19. C

A potência teórica (P_T) em cada unidade corresponde à energia potencial da água represada, que tem vazão $z = \frac{V}{\Delta t} = 690 \text{ m}^3/\text{s}$.

Sendo ρ a densidade da água, g a aceleração da gravidade e h a altura de queda, tem-se:

$$\begin{aligned} P_T &= \frac{m \cdot g \cdot h}{\Delta t} = \frac{\rho \cdot V \cdot g \cdot h}{\Delta t} = \rho \frac{V}{\Delta t} g \cdot h \Rightarrow P_T = \rho \cdot z \cdot g \cdot h = \\ &= 10^3 \cdot 690 \cdot 10 \cdot 118,4 = 816,96 \cdot 10^6 \text{ W} \Rightarrow \\ &\Rightarrow P_T = 816,96 \text{ MW}. \end{aligned}$$

A potência gerada em cada unidade é:

$$P_G = \frac{14000}{20} \Rightarrow P_G = 700 \text{ MW.}$$

A potência não aproveitada (dissipada) corresponde à diferença entre a potência teórica e a potência gerada.

$$P_d = P_T - P_G = 816,96 - 700 \Rightarrow \boxed{P_d = 116,96 \text{ MW.}}$$

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

20. D

A potência da bomba é usada na transferência de energia potencial gravitacional para água.

$$P_m = \frac{E_{\text{pot}}}{\Delta t} \Rightarrow E_{\text{pot}} = P_m \cdot \Delta t \Rightarrow m \cdot g \cdot h = P_m \cdot \Delta t \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m = \frac{P_m \cdot \Delta t}{g \cdot h} = \frac{50 \cdot 3600}{10 \cdot 20} = \frac{1800}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m = 900 \text{ kg} \Rightarrow \boxed{V = 900 \text{ L.}}$$

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar propriedades físicas, químicas ou biológicas de produtos, sistemas ou procedimentos tecnológicos às finalidades a que se destinam.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

40 IMPULSO E QUANTIDADE DE MOVIMENTO

Comentário sobre o módulo

Vista a necessidade de informações vetoriais para a compreensão de uma vasta gama de fenômenos, neste módulo as grandezas físicas impulso de uma força (constante ou variável) e quantidade de movimento são apresentadas e qualificadas. São feitas as bases da Dinâmica Impulsiva.

Para ir além

- Os efeitos do impulso em um jogo de bilhar (sinuca).

<https://www.youtube.com/watch?v=Y8kIR2uZ0Wk>

<https://www.youtube.com/watch?v=xkQCVqnC05Q>

<https://www.youtube.com/watch?v=xI7NrDMrBFA>

Acesso em: out. 2018.

- Sistemas de propulsão de foguetes:

<http://www.fis.unb.br/observatorio/notasdeaula/aula07.pdf>

Acesso em: out. 2018.

Exercícios propostos

7. A

O momento linear ou quantidade de movimento é dado pela expressão:

$$Q = m \cdot v = 1 \cdot 2 \Rightarrow Q = 2 \text{ kg} \cdot \text{m/s.}$$

8. A

$$\Delta p = m \cdot \Delta v \Rightarrow \Delta p = 50 \cdot 10^3 \cdot \frac{108}{3,6} \Rightarrow \Delta p = 1,5 \text{ kg m/s}$$

9. a) Aumenta na mesma proporção da velocidade da esfera.

b) Diretamente proporcional ao tempo de queda.

c) Diretamente proporcional à altura da queda.

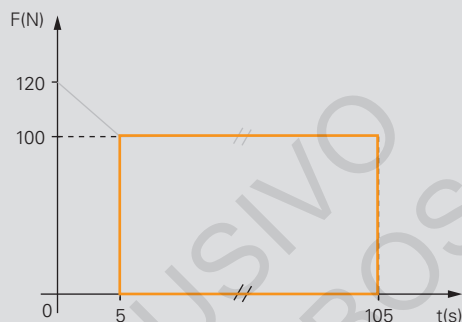
d) Diretamente proporcional à velocidade.

10. Dados: $m = 70 \text{ kg}$; $v = 72 \text{ km/h} = 20 \text{ m/s}$.

$$\begin{cases} p = m \cdot v = 70 \cdot 20 \Rightarrow p = 1400 \text{ kg} \cdot \text{m/s.} \\ E_c = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{70 \cdot (20)^2}{2} \Rightarrow E_c = 14000 \text{ J.} \end{cases}$$

11. No gráfico da força pelo tempo dado no enunciado, sabe-se que a área sob a curva é numericamente igual ao impulso (I) gerado pela força (F) durante

o tempo t. Como é pedido o impulso no intervalo de tempo compreendido entre 5 e 105 segundos, pode-se concluir que a área do retângulo da figura abaixo é numericamente igual ao impulso no mesmo intervalo de tempo.



Assim, pode-se escrever:

$$I = \text{Área} = 100 \cdot 100$$

$$I = 10000 \text{ N} \cdot \text{s}$$

12. C

No instante em que a bola atinge o ponto mais alto, sua velocidade é nula, pois é o exato ponto onde ela para e muda de direção (começa a cair).

Tendo que o momento linear é dado por:

$$Q = m \cdot v$$

$$Q = 0,5 \cdot 0$$

$$Q = 0$$

Se a velocidade da bola é nula, seu momento linear também é nulo.

13. C

Considerando que ela volte em sentido oposto, temos:

$$v_1 = 5 \text{ m/s}; v_2 = -4 \text{ m/s.}$$

O módulo da variação da quantidade de movimento (ΔQ) é:

$$\Delta Q = m |\Delta v| = 0,2 | -4 - 5 | = 0,2 (9) \Rightarrow \Delta Q = 1,8 \text{ kg} \cdot \text{m/s.}$$

14. A

Adotando o sentido positivo para baixo e trabalhando algebricamente, temos:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Lançamento: } Q_L = -m \cdot v \\ \text{Retorno: } Q_R = m \cdot v \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow |\Delta Q| = |Q_R - Q_L| = |m \cdot v - (-m \cdot v)| \Rightarrow$$

$$\boxed{|\Delta Q| = 2 \cdot m \cdot v.}$$

15. D

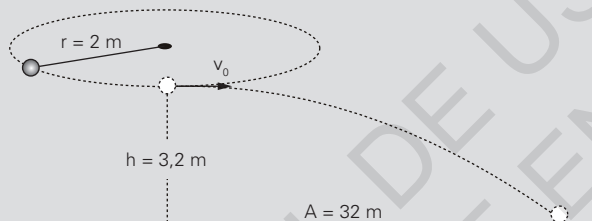
[I] **Incorreta.** O deslocamento escalar é determinado no gráfico da velocidade escalar em função do tempo.

[II] **Incorreta.** A área nos informa a intensidade do Impulso, que é uma grandeza física vetorial.

[III] **Incorreta.** Durante os dois primeiros segundos o carro está em **MRUV**, se a trajetória é retilínea, ou pode estar em **MCU**, se a trajetória é circular.

[IV] **Correta.** Se a trajetória é *retilínea*, a resultante é tangencial, aplicada na mesma direção da velocidade. Se é no mesmo sentido (F considerada positiva), o módulo da velocidade sempre aumenta.

16. a) Trata-se de um lançamento horizontal, com altura de queda $h = 3,2$ m e alcance $A = 32$ m.



Assim, relacionando o tempo de queda e o alcance horizontal:

$$h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t_q^2 \Rightarrow t_q = \sqrt{\frac{2 \cdot h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,2}{10}} = \sqrt{0,64} = 0,8 \text{ s.}$$

$$A = v_0 \cdot t_q \Rightarrow v_0 = \frac{A}{t_q} = \frac{32}{0,8} \Rightarrow v_0 = 40 \text{ m/s.}$$

b) Entendendo que o enunciado esteja querendo a aceleração centrípeta imediatamente antes de a esfera ser solta, temos:

$$a_c = \frac{v_0^2}{r} = \frac{40^2}{2} \Rightarrow a_c = 800 \text{ m/s}^2.$$

c) Temos:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q = m \cdot v_0 = 4 \cdot 40 \Rightarrow Q = 160 \text{ kg} \cdot \text{m/s.} \\ E_c = \frac{m \cdot v_0^2}{2} = \frac{4 \cdot 40^2}{2} \Rightarrow E_c = 3200 \text{ J.} \end{array} \right.$$

17. B

Dados: $h_{BC} = 8$ m; $v_C = 4\sqrt{10}$ m/s; $g = 10$ m/s².

A energia mecânica no ponto C é 80% da energia mecânica no ponto B. Então, adotando referencial de energia potencial no plano horizontal que contém o ponto B, vem:

$$E_{\text{mec}}^C = 0,8 E_{\text{mec}}^B \Rightarrow \frac{m \cdot v_C^2}{2} + m \cdot g \cdot h_{BC} =$$

$$= 0,8 \frac{m \cdot v_B^2}{2} \Rightarrow v_B^2 = \frac{v_C^2 + 2 \cdot g \cdot h_{BC}}{0,8} \Rightarrow$$

$$v_B^2 = \frac{(4\sqrt{10})^2 + 2 \cdot 10 \cdot 0,8}{0,8} = \frac{320}{0,8} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_B = \sqrt{400} \Rightarrow v_B = 20 \text{ m/s.}$$

A quantidade de movimento no ponto B é, então:

$$Q_B = m \cdot v_B = 100 \cdot 20 \Rightarrow Q_B = 2000 \text{ kg} \cdot \text{m/s.}$$

Estudo para o Enem

18. C

Quando a pessoa anda, ela aplica no solo uma força de atrito horizontal para trás. Pelo Princípio da Ação-Reação, o solo aplica nos pés da pessoa uma reação, para a frente (no sentido do movimento), paralela ao solo.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.

19. B

No início da queda, a única força atuante sobre o paraquedista (homem + paraquedas) é apenas o peso [para baixo (+)]. À medida que acelera, aumenta a força de resistência do ar, até que a resultante se anula, quando é atingida a velocidade limite. No instante (T_A) em que o paraquedas é aberto, a força de resistência do ar aumenta abruptamente, ficando mais intensa que o peso, invertendo o sentido da resultante [para cima (-)]. O movimento passa a ser retardado até ser atingida a nova velocidade limite, quando a resultante volta a ser nula.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.

20.D

Durante o tempo de reação do condutor, a velocidade escalar é constante. Portanto, durante esse intervalo de tempo, o gráfico da velocidade escalar em função da distância é um segmento de reta horizontal.

A partir da aplicação dos freios, se a desaceleração tem intensidade constante, o movimento é uniformemente variado (MUV). Então o módulo

da velocidade escalar varia com a distância percorrida (D) de acordo com a equação de Torricelli:

$$v^2 = v_0^2 - 2 \cdot a \cdot D \Rightarrow v = \sqrt{v_0^2 - 2 \cdot a \cdot D}.$$

O gráfico dessa expressão é um arco de parábola de concavidade para baixo.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

41 TEOREMA DO IMPULSO

Comentário sobre o módulo

A partir do Princípio Fundamental da Dinâmica (Segunda Lei de Newton), demonstra-se o teorema do impulso, e, dessa forma, os conceitos de impulso e quantidade de movimento são relacionados. O teorema do impulso foi aplicado em diversas situações unidimensionais e bidimensionais ao longo deste módulo. Algumas propriedades das operações vetoriais foram revistas.

Para ir além

- Excelente simulador para aplicar o teorema do impulso. Um “joguinho” interessante:

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/lunar-lander
Acesso em: out. 2018.

- TED-Ed: As três leis de Newton com uma bicicleta.
https://www.youtube.com/watch?v=JGO_zDWmkyk
Acesso em: out. 20z 18.
- A física do *airbag*. Vídeo com o prof. Douglas Gomes.
<https://www.youtube.com/watch?v=NwDweAsW3QQ>
Acesso em: out. 2018.

Exercícios propostos

7. A

Utilizando o teorema do impulso, temos:

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

De forma escalar, temos:

$$I = F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$$

$$F = \frac{m \cdot \Delta v}{\Delta t}$$

Analisando essa última expressão, podemos concluir que, para a frenagem do veículo, a força é inversamente proporcional ao tempo da colisão. A colisão direta da cabeça do motorista no volante ocorre em um intervalo de tempo muito pequeno, o que resulta em uma grande força de impacto. Entretanto, o *airbag* aumenta o tempo de colisão (frenagem da cabeça do motorista), o que diminui a força do impacto.

8. Dados: $v_0 = 4 \text{ m/s}$; $F = 2 \text{ N}$; $m = 2 \text{ kg}$; $v' = -3 \text{ m/s}$.
Aplicando o teorema do impulso ao processo de aceleração:

$$m \cdot |\Delta v| = F \cdot \Delta t \Rightarrow |\Delta v| = \frac{F \cdot \Delta t}{m} \Rightarrow v - 4 = \frac{2 \cdot 6}{2} \Rightarrow v = 10 \text{ m/s.}$$

Aplicando o teorema do impulso à colisão:

$$I = m \cdot |\Delta v| \Rightarrow I = m \cdot |v' - v| \Rightarrow I = 2 \cdot |-3 - 10| \Rightarrow I = 26 \text{ N} \cdot \text{s.}$$

Calculando a variação da energia cinética na colisão:

$$\Delta E_c = \frac{m \cdot v'^2}{2} - \frac{m \cdot v^2}{2} \Rightarrow \frac{m}{2} \cdot (v'^2 - v^2) = \frac{2}{2} \cdot (3^2 - 10^2) = 9 - 100 \Rightarrow \Delta E_c = -91 \text{ J.}$$

9. D

Supondo que a mencionada força seja a resultante, aplicando o teorema do impulso, vem:

$$I_F = \Delta Q \Rightarrow F \cdot \Delta t = \Delta Q \Rightarrow F = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{20}{0,01} \Rightarrow F = 2 \cdot 10^3 \text{ N.}$$

10. Considerações:

- a densidade da água é 1 kg/L . Então, a massa de água que cai é 1 kg .
- $g = 10 \text{ m/s}^2$.
- o ponto em que a sacola atingiu o carro estava no nível da janela do térreo.

A altura de queda (h) é:

$$h = 8 \cdot (2,5) = 20 \text{ m}$$

Pela equação de Torricelli, calculamos a velocidade de impacto:

$$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot g \cdot h \Rightarrow v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} = \sqrt{2 \cdot (10) \cdot (20)} = \sqrt{400} = 20 \text{ m/s.}$$

Pelo teorema do impulso:

$$I_R = m \cdot |\Delta \vec{v}| \Rightarrow (N - P) \cdot \Delta t = m \cdot (v - v_0) \Rightarrow (N - 10) \cdot 0,01 = 1 \cdot (20 - 0) \Rightarrow N = \frac{20}{0,01} + 10 \Rightarrow N = 2010 \text{ N.}$$

11. D

Aplicando o teorema do impulso de uma força:

$$I = \Delta Q$$

$$F \cdot \Delta t = m \cdot v$$

Assim, temos a velocidade ao final de 4 segundos:

$$v = \frac{F \cdot \Delta t}{m} \Rightarrow v = \frac{500 \text{ N} \cdot 4 \text{ s}}{100 \text{ kg}} \therefore v = 20 \text{ m/s}$$

A energia cinética será,

$$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2} \Rightarrow E_c = \frac{100 \text{ kg} \cdot (20 \text{ m/s})^2}{2}$$

$$\therefore E_c = 2,00 \cdot 10^4 \text{ J}$$

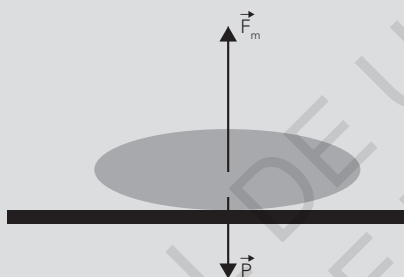
12. a) Dados: $h = 5 \text{ m}$; $v_0 = 0$; $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Pela conservação da energia mecânica:

$$E_{\text{Mec}}^{\text{final}} = E_{\text{Mec}}^{\text{inicial}} \Rightarrow \frac{m \cdot v^2}{2} = m \cdot g \cdot h \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} = \sqrt{2 \cdot (10) \cdot (5)} \Rightarrow$$

$$v = 10 \text{ m/s.}$$

b) Dados: $m = 20 \text{ kg}$; $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Pelo princípio da ação-reação, a força média (\vec{F}_m) que a tábua aplica no saco tem a mesma intensidade da força que o saco aplica na tábua.

Pelo princípio da inércia, como a tábua não sofre aceleração, a intensidade (F_m) da força que o saco aplica na tábua tem a mesma intensidade da força que o peito do homem aplica na tábua. E, novamente, pelo princípio da ação-reação, a força que o peito do homem aplica na tábua (através dos pregos) tem a mesma intensidade da força média que a tábua aplica no peito do homem.

De acordo com o teorema do impulso: o impulso da força resultante (\vec{I}_R) é igual à variação da quantidade de movimento ($\Delta \vec{Q}$).

$$|\vec{I}_R| = |\Delta \vec{Q}| \Rightarrow (F_m - P) \cdot \Delta t = m \cdot |\Delta \vec{v}| \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_m = \frac{m \cdot |\Delta \vec{v}|}{\Delta t} + m \cdot g \Rightarrow$$

$$F_m = \frac{20 \cdot (10)}{0,05} + 200 \Rightarrow F_m = 4200 \text{ N.}$$

c) Dados: $A = 4 \text{ mm}^2 = 0,04 \text{ cm}^2$; $N = 400$ pregos.

A intensidade da força média aplicada por cada prego no peito do homem é:

$$F_1 = \frac{F_m}{N} = \frac{4200}{400} \Rightarrow F_1 = 10,5 \text{ N.}$$

Calculando a pressão exercida por cada prego:

$$p = \frac{F_1}{A} = \frac{10,5}{0,04} \Rightarrow p = 262,5 \text{ N/cm}^2.$$

13. E

O Impulso recebido é numericamente igual à "área" entre a linha do gráfico e o eixo t .

$$I_F = \frac{2+1}{2} \cdot 4 \Rightarrow I_F = 6 \text{ N} \cdot \text{s.}$$

Se a referida força é a resultante, podemos aplicar o teorema do impulso.

$$I_R = \Delta Q \Rightarrow I_R = m \cdot (v - v_0) \Rightarrow 6 = 1 \cdot (v - 3) \Rightarrow$$

$$v = 9 \text{ m/s.}$$

14. B

Transformando a velocidade e o tempo para o Sistema Internacional de Unidades:

$$v_i = 72 \text{ km/h} \cdot \frac{1 \text{ m/s}}{3,6 \text{ km/h}} = 20 \text{ m/s}$$

$$\Delta t = 400 \text{ ms} \cdot \frac{1 \text{ s}}{1000 \text{ ms}} = 0,4 \text{ s}$$

Utilizando a definição de impulso e o teorema do impulso, têm-se a relação entre a força média e a variação da quantidade de movimento:

$$I = \Delta Q = F_m \cdot \Delta t \Rightarrow F_m = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{m \cdot (v_f - v_i)}{\Delta t}$$

$$F_m = \frac{80 \text{ kg} \cdot (0 - 20 \text{ m/s})}{0,4 \text{ s}} \therefore F_m = 4000 \text{ N}$$

E essa força média equivale a uma massa no campo gravitacional terrestre de:

$$m = \frac{F_m}{g} \Rightarrow m = \frac{4000 \text{ N}}{10 \text{ m/s}^2} \therefore m = 400 \text{ kg}$$

15. Do gráfico, concluímos que o impulso exercido pela força resultante de 0 a 15 s é $-20 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$.

Do teorema do impulso:

$$I_R = Q_f - Q_i \Rightarrow I_R = Q_f - m \cdot v_0 \Rightarrow \\ \Rightarrow -20 = Q_f - 0,2 \cdot 10 \Rightarrow Q_f - 20 + 2 = -18 \Rightarrow \\ |Q_f| = 18 \text{ kg} \cdot \text{m/s}.$$

16. a) Dados: $\pi = 3$; $g = 10 \text{ m/s}^2$; $\rho_{\text{água}} = 1,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$; $b = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}$.

Na iminência de começar a cair, a força exercida pelo vento ascendente tem mesma intensidade que o peso. Lembrando que o volume de uma esfera de raio r é

$$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3, \text{ vem:}$$

$$P = F_{\text{vento}} \Rightarrow m \cdot g = b \cdot r \Rightarrow \rho_{\text{água}} \cdot V \cdot g = b \cdot r \Rightarrow$$

$$\rho_{\text{água}} \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 = b \cdot r \Rightarrow$$

$$r = \sqrt{\frac{b}{\rho_{\text{água}} \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot g}} = \sqrt{\frac{1,6 \cdot 10^{-3}}{10^3 \cdot \frac{4}{3} \cdot 3 \cdot 10}} = \sqrt{4 \cdot 10^{-8}} \Rightarrow$$

$$r = 2 \cdot 10^{-4} \text{ m}.$$

- b) Dados: $A = 1 \text{ m}^2$; $h = 20 \text{ mm} = 20 \cdot 10^{-3} \text{ m}$; $\rho_{\text{água}} = 1,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$; $v_0 = 2,5 \text{ m/s}$; $v = 0$.

O volume de água despejado nessa área é:

$$V = A \cdot h = 1 \cdot 20 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3.$$

Calculando a massa correspondente:

$$m = \rho_{\text{água}} \cdot V = 10^3 \cdot 20 \cdot 10^{-3} \Rightarrow m = 20 \text{ kg}.$$

Pelo teorema do impulso:

$$I = \Delta Q \Rightarrow I = m \cdot |v - v_0| = 20 \cdot |0 - 2,5| \Rightarrow$$

$$I = 50 \text{ N} \cdot \text{s}.$$

17. a) Dados: $m = 60 \text{ kg}$; $g = 10 \text{ m/s}^2$; $h = 10 \text{ m}$.

$$E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h = 60 \cdot 10 \cdot 10 \Rightarrow \boxed{E_{\text{pot}} = 6000 \text{ J}}.$$

- b) $\frac{v}{\Delta t} = 30 \frac{\text{L}}{\text{s}} \Rightarrow \frac{m_a}{\Delta t} = 30 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$; $m = 60 \text{ kg}$;
 $g = 10 \text{ m/s}^2$.

O piloto está em equilíbrio:

$$|\vec{F}_a| = P = m \cdot g = 60 \cdot 10 \Rightarrow |\vec{F}_a| = 600 \text{ N}.$$

$$\Delta Q = |\vec{F}_a| \cdot \Delta t \Rightarrow m_a \cdot \Delta v = |\vec{F}_a| \cdot \Delta t \Rightarrow$$

$$\frac{m_a}{\Delta t} \cdot \Delta v = |\vec{F}_a| \Rightarrow 30 \cdot \Delta v = 600 \Rightarrow$$

$$\boxed{\Delta v = 20 \text{ m/s}}.$$

Estudo para o Enem

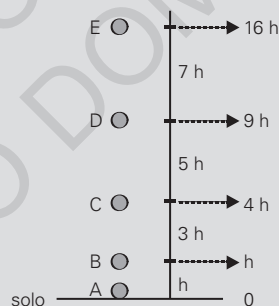
18. B

A questão está mal formulada.

Tratando-se de uma queda livre, independentemente do que diz o restante do enunciado, a única alternativa correta é a assinalada, a B.

Além disso, o enunciado pode levar a entender que, para qualquer razão da referida PA entre as distâncias consecutivas, os intervalos de tempo serão iguais, o que não é verdade.

Os intervalos de tempo somente serão iguais se a razão da PA entre essas distâncias for 2 h, sendo h a altura em que se encontra a segunda esfera (B), uma vez que a primeira (A) está em contato com o solo, conforme ilustra a figura, fora de escala.



Da equação da queda livre, calculamos o tempo de queda de cada uma das esferas, B, C, D e E.

$$t_{\text{queda}} = \sqrt{\frac{2 \cdot H}{g}} \Rightarrow \begin{cases} t_B = \sqrt{\frac{2 \cdot h}{g}} \\ t_C = \sqrt{\frac{8 \cdot h}{g}} = 2 \sqrt{\frac{2 \cdot h}{g}} \\ t_D = \sqrt{\frac{18 \cdot h}{g}} = 3 \sqrt{\frac{2 \cdot h}{g}} \\ t_E = \sqrt{\frac{32 \cdot h}{g}} = 4 \sqrt{\frac{2 \cdot h}{g}} \end{cases}$$

O intervalo de tempo entre dois sons consecutivos de uma esfera batendo sobre a outra é igual ao tempo de queda da esfera B:

$$\Delta t = \sqrt{\frac{2 \cdot h}{g}}$$

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.

19. B

Pelo gráfico, o cinto que apresenta o menor valor de amplitude para a aceleração é o 2, sendo, portanto, o mais seguro.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar propriedades físicas, químicas ou biológicas de produtos, sistemas ou procedimentos tecnológicos às finalidades a que se destinam.

20. E

Quando a força resultante tem a mesma direção da velocidade, o movimento é retilíneo, podendo ser acelerado ou retardado, de acordo com os sentidos de ambas as grandezas.

No trecho em que o movimento é curvilíneo, há a componente centrípeta, **não** tendo a força resultante a mesma direção da velocidade.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

42 SISTEMAS MECANICAMENTE ISOLADOS

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, foram apresentadas as condições que devem ser obedecidas para que um sistema de corpos seja considerado mecanicamente isolado. Colisões e explosões obedecem a essas condições. A partir do teorema do impulso, foi demonstrado que a quantidade de movimento de um sistema é conservada no caso de sistemas isolados. Foi discutido também que a quantidade de movimento do sistema é igual à soma vetorial da quantidade de movimento de todos os corpos que o compõem.

Para ir além

- Excelente demonstração da conservação da quantidade de movimento de um sistema.

https://www.youtube.com/watch?v53k_TagfAJFY
Acesso em: out. 2018.

- Observe no vídeo a trajetória do centro de massa de corpos extensos.

<https://www.youtube.com/watch?v5DY3LYQv22qY>
Acesso em: out. 2018.

- TED-Ed: A Física do “passo mais difícil” do balé. A conservação do momento angular.

<https://www.youtube.com/watch?v5I5VgOdgptRg>
Acesso em: out. 2018.

- Artigo interessante da *Revista Brasileira de Ensino de Física*: Os princípios fundamentais ao longo da história da Física.

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=5S1806-11172006000400017
Acesso em: out. 2018.

Exercícios propostos

7. D

Para pequenos intervalos de tempo, o sistema formado pelo robô e pelos gases pode ser considerado isolado de forças externas e, portanto, há conservação da quantidade de movimento.

8. C

A energia **não se conserva**, pois, durante a explosão, a queima da pólvora transforma energia química em energia térmica e cinética, aumentando, então, a energia cinética do sistema.

Como as forças originadas na explosão são internas, não há alteração na trajetória do centro de massa, que segue **a mesma trajetória parabólica anterior à explosão**.

9.

a) Como o atrito com o solo é desprezado, o sistema formado pelo projétil, pelo saco de areia e pelo carrinho não sofre ação de força resultante externa. Logo, a quantidade de movimento total do sistema se conserva. Em termos de equação, tem-se que:

$$\begin{aligned} Q_{\text{inicial}} &= Q_{\text{total}} \\ m_p \cdot v_{p_0} &= m_p \cdot v_{p_f} + M \cdot v \\ v &= \frac{m_p \cdot (v_{p_0} - v_{p_f})}{M} \end{aligned}$$

Sendo m_p a massa do projétil, v_p a velocidade do projétil, M a massa do carrinho e do saco de areia e v a velocidade do conjunto carrinho + saco de areia após a passagem do projétil, substituindo os valores dos parâmetros conhecidos, tem-se que:

$$v = \frac{-20 \cdot 10^{-3} (80 - 500)}{100} = \frac{20 \cdot 10^{-3} (500 - 80)}{100}$$

$$v = 0,084 \text{ m/s}$$

b) O trabalho da força resultante sobre o projétil é igual à variação da energia cinética desse elemento:

$$\tau_R = \Delta E_C = E_{C_f} - E_{C_i}$$

Sendo τ_R o trabalho da força resultante, E_{C_f} a energia cinética final do projétil e E_{C_i} a energia cinética inicial:

$$\tau_R = \frac{m_p \cdot v_{p_f}^2}{2} - \frac{m_p \cdot v_{p_0}^2}{2}$$

$$\tau_R = \frac{1}{2} m_p \cdot (v_{p_f}^2 - v_{p_0}^2)$$

Substituindo os valores dos parâmetros conhecidos, tem-se que:

$$\tau_R = \frac{1}{2} \cdot 20 \cdot 10^{-3} \cdot (80^2 - 500^2) = \boxed{-2436 \text{ J}}$$

10. D

Pela conservação do momento linear, temos que:

$$Q_{\text{fog.}} = Q_{\text{est.}} + Q_{\text{cap.}}$$

$$M \cdot v_{\text{fog.}} = m_{\text{est.}} \cdot v_{\text{est.}} + m_{\text{cap.}} \cdot v_{\text{cap.}}$$

Onde,

$$\begin{cases} v_{\text{fog.}} = 3000 \text{ km/h} \\ m_{\text{est.}} = 0,75 \cdot M \\ v_{\text{est.}} = v - 800 \\ m_{\text{cap.}} = 0,25 \cdot M \\ v_{\text{cap.}} = v \end{cases}$$

Assim,

$$\begin{aligned} 3000 \cdot M &= (0,75 \cdot M) \cdot (v - 800) + (0,25 \cdot M) \cdot v \\ 3000 &= 0,75 \cdot v - 600 + 0,25 \cdot v \\ v &= 3600 \text{ km/h} \end{aligned}$$

11. A

Como o conjunto de carrinhos percorre 6 m em 4 s, parando no final, através da velocidade média podemos determinar a velocidade do conjunto imediatamente após a colisão:

$$v_m = \frac{v_c + v_f}{2} \Rightarrow \frac{6}{4} = \frac{v_c + 0}{2} \Rightarrow v_c = 3 \text{ m/s}$$

Sendo v a velocidade do carrinho de 30 kg, por conservação da quantidade de movimento:

$$\begin{aligned} 30 \cdot v + 20 \cdot 0 &= (30 + 20) \cdot 3 \Rightarrow 30v = 150 \\ \therefore v &= 5 \text{ m/s} \end{aligned}$$

12. A

Esse é um sistema mecanicamente isolado, pois apenas forças internas provocam variações de velocidades. Assim, ocorre conservação da quantidade de movimento do sistema. Como se trata de uma grandeza vetorial, as partículas π^+ e π^- devem ter velocidades e sentidos iguais, uma vez que as massas são iguais.

13.

Dados: $m_A = m_B = 3 \text{ kg}$; $E_{\text{Mec}} = 3,75 \text{ J}$; $v_0 = 1 \text{ m/s}$; $v_B = 1,5 \text{ m/s}$.

A energia mecânica do sistema é igual à energia potencial elástica da mola, mais a energia cinética dos dois carrinhos.

$$E_{\text{Mec}} = E_{\text{pot}}^{\text{mola}} + E_{\text{Cin}}^{\text{carrinhos}} \Rightarrow E_{\text{Mec}} = E_{\text{pot}}^{\text{mola}} + \frac{2 \cdot m \cdot v_0^2}{2} \Rightarrow$$

$$E_{\text{pot}}^{\text{mola}} = E_{\text{Mec}} - m \cdot v_0^2 \Rightarrow E_{\text{pot}}^{\text{mola}} = 3,75 - 3 \cdot 1^2 \Rightarrow$$

$$E_{\text{pot}}^{\text{mola}} = 3,75 - 3 \Rightarrow E_{\text{pot}}^{\text{mola}} = 0,75 \text{ J.}$$

O sistema é mecanicamente isolado, logo ocorre conservação da quantidade de movimento durante o disparo.

$$Q_{\text{sist}}^{\text{antes}} = Q_{\text{sist}}^{\text{depois}} \Rightarrow 2 \cdot m \cdot v_0 = m \cdot v_A + m \cdot v_B \Rightarrow$$

$$2 \cdot 1 = v_A + 1,5 \Rightarrow v_A = 0,5 \text{ m/s.}$$

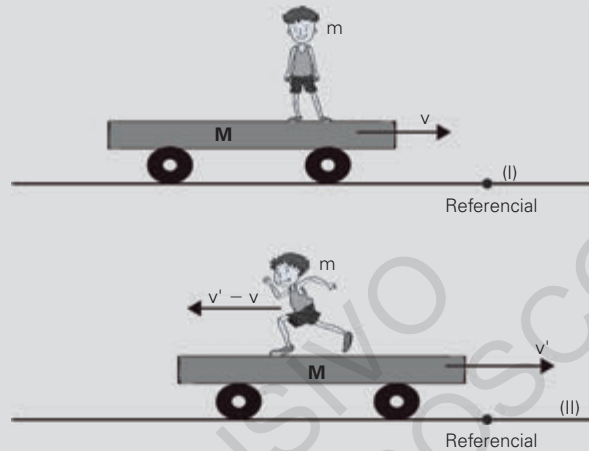
Obs.: como o sistema é também conservativo, a velocidade final do carrinho A pode ser calculada pela conservação da energia mecânica.

14. A

Na figura, a situação (I) mostra o trabalhador em repouso em relação à plataforma, que se desloca com velocidade de módulo v em relação aos trilhos.

Na situação (II), o trabalhador move-se em sentido oposto ao do movimento da plataforma, com

velocidade de módulo v em relação a ela, passando a ser v' a velocidade da plataforma em relação aos trilhos.



Sejam, então, v_t e $v_p = v'$ as velocidades finais do trabalhador e da plataforma, respectivamente, em relação aos trilhos.

A velocidade do trabalhador em relação à plataforma tem módulo v . Orientando a trajetória no sentido da velocidade inicial da plataforma, ou seja, para a direita na figura, tem-se:

$$v_{t/p} = -v \Rightarrow v_t - v_p = -v \Rightarrow v_t = v_p - v \Rightarrow v_t = v' - v.$$

Pela conservação da quantidade de movimento:

$$Q_{(I)} = Q_{(II)} \Rightarrow (m+M)v = mv_t + Mv_p \Rightarrow$$

$$(m+M)v = M \cdot v' + m(v' - v) \Rightarrow$$

$$m \cdot v + M \cdot v = M \cdot v' + m \cdot v' - m \cdot v \Rightarrow$$

$$2m \cdot v + M \cdot v = (M+m)v' \Rightarrow$$

$$(2m+M)v = (M+m)v' \Rightarrow$$

$$v' = \frac{(2m+M)v}{(M+m)}.$$

15. C

A energia cinética da partícula α vale E_α .

Então:

$$\frac{m_\alpha \cdot v_\alpha^2}{2} = E_\alpha \Rightarrow \frac{4 \cdot v_\alpha^2}{2} = E_\alpha \Rightarrow v_\alpha = \sqrt{\frac{E_\alpha}{2}}.$$

Como o sistema é mecanicamente isolado, temos:

$$m_\alpha \cdot v_\alpha = m_{\text{Pb}} \cdot v_{\text{Pb}} \Rightarrow 4 \cdot \sqrt{\frac{E_\alpha}{2}} = 200 \cdot v_{\text{Pb}} \Rightarrow$$

$$v_{\text{Pb}} = \frac{1}{50} \cdot \sqrt{\frac{E_\alpha}{2}} \Rightarrow v_{\text{Pb}}^2 = \frac{E_\alpha}{5000}.$$

Assim:

$$E_{\text{Pb}} = \frac{m_{\text{Pb}} \cdot v_{\text{Pb}}^2}{2} \Rightarrow E_{\text{Pb}} = \frac{200}{2} \cdot \frac{E_\alpha}{5000} \Rightarrow E_{\text{Pb}} = \frac{E_\alpha}{50}.$$

16. B

Por conservação da quantidade de movimento:

$$(M+50 \cdot m) \cdot v_0 = (M+40 \cdot m) \cdot \frac{v_0}{2} + 10 \cdot m \cdot v_p$$

$$(M+100) \cdot 20 = (M+80) \cdot 10 + 20 \cdot 800$$

$$\therefore M = 1\,480 \text{ kg}$$

17.

Dados: $m_g = 50 \text{ kg}$; $m_b = 150 \text{ kg}$; $d_a = 10^3 \text{ kg/m}^3$; $V_g = 0,9 \text{ m}^3$; $g = 10 \text{ m/s}^2$.

– Volume de água deslocado (V_{desloc}).

Para a situação de equilíbrio, a intensidade do empuxo é igual à do peso.

$$E = P \Rightarrow d_a \cdot V_{\text{desloc}} \cdot g = (m_g + m_b) \cdot g \Rightarrow$$

$$V_{\text{desloc}} = \frac{m_g + m_b}{d_a} = \frac{200}{10^3} = 200 \cdot 10^{-3} \Rightarrow$$

$$V_{\text{desloc}} = 0,2 \text{ m}^3.$$

– Módulo da velocidade de recuo do barco ($|\vec{V}_{\text{Rec}}|$).

Desprezando o atrito do barco com a água, pela conservação da quantidade de movimento, temos:

$$|\vec{Q}|_{\text{barco}} = |\vec{Q}|_{\text{garoto}} \Rightarrow m_b \cdot |\vec{V}_{\text{rec}}| = m_g \cdot |\vec{V}_g| \Rightarrow$$

$$|\vec{V}| = \frac{m_g \cdot |\vec{V}_g|}{m_b} = \frac{50 \cdot 0,9}{150} = 200 \cdot 10^{-3} \Rightarrow$$

$$|\vec{V}_{\text{Rec}}| = 0,3 \text{ m/s}.$$

Estudo para o Enem

18. E

Tratando-se de um sistema mecanicamente isolado, ocorre a conservação da quantidade de movimento.

Assim:

$$|Q|_c = |Q|_b \Rightarrow m_c \cdot v_c = m_b \cdot v_b \Rightarrow$$

$$90 \cdot v_c = 360(0,2) \Rightarrow v_c = 0,8 \text{ m/s}.$$

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.

19. B

No ponto mais alto da trajetória, a força resultante sobre o objeto é seu próprio peso, de direção vertical e sentido para baixo.

Competência: Compreender as ciências naturais e as tecnologias a elas associadas como construções humanas, percebendo seus papéis nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social da humanidade.

Habilidade: Confrontar interpretações científicas com interpretações baseadas no senso comum, ao longo do tempo ou em diferentes culturas.

20. B

Para o navio flutuar, é necessário que a força-peso e empuxo se equiparem (resultante vertical nula).

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.

43 COLISÕES UNIDIMENSIONAIS

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, foi abordada a conservação da quantidade de movimento em colisões unidimensionais. Nesse caso, orientar a trajetória e utilizar sinais (+ ou -) nas operações evita que o tratamento seja feito graficamente, por meio de vetores. Foi discutido também o comportamento do coeficiente de restituição e a energia cinética do sistema em cada um dos tipos de choque.

Para ir além

Artigo interessante da *Revista Brasileira de Ensino de Física*: uma discussão sobre o coeficiente de restituição.

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=5S1806-11172017000400402

Acesso em: out. 2018.

Excelente demonstração da conservação da quantidade de movimento e de energia do sistema.

<https://www.youtube.com/watch?v=5amfw2nABke4>

Acesso em: out. 2018.

TED-Ed: Como funciona um acelerador de partículas.

https://www.youtube.com/watch?v=5G6mmlzRz_f8

Acesso em: out. 2018.

TED-Ed: Fundamentos da animação: sincronia e espaçamento.

<https://www.youtube.com/watch?v=5KRVhtMxQWRs>

Acesso em: out. 2018.

Exercícios propostos

7. F, V, F.

[I] Falsa. Em qualquer colisão, somente a quantidade de movimento é sempre conservada. A energia cinética total é conservada somente no caso de colisão elástica.

[II] Verdadeira. Havendo quantidade de movimento, há velocidade e, portanto, há energia cinética que faz parte da energia chamada mecânica.

[III] Falsa. A quantidade de movimento depende não somente da massa, mas também da velocidade. Portanto, há possibilidade de o objeto de menor massa ter maior velocidade e, com isso, ter maior quantidade de movimento.

8. A

Sabe-se que o momento linear em uma colisão sempre é conservado, independentemente do tipo de colisão. Quanto à conservação de energia cinética, sabe-se que ela depende do tipo de colisão.

- Colisão parcialmente elástica: ocorre dissipação parcial de energia durante a colisão. Portanto, não há conservação de energia cinética.
- Colisão perfeitamente elástica: há conservação de energia cinética.
- Colisão inelástica: ocorre dissipação máxima de energia durante a colisão. Portanto, não há conservação de energia cinética.

Analisando as afirmativas, observa-se que somente a [III] é correta.

9. C

Adotando como positivo o sentido do movimento do conjunto de partículas, temos os seguintes dados:

$$m_p = 5 \text{ kg}; v_p = 2 \cdot 10^5 \text{ m/s}; M_s = 95 \text{ kg}; v_s = -4 \cdot 10^3 \text{ m/s}.$$

Como se trata de um sistema mecanicamente isolado, ocorre conservação da quantidade de movimento do sistema. Então:

$$\begin{aligned} Q_{\text{sist}}^{\text{antes}} &= Q_{\text{sist}}^{\text{depois}} \quad m_p \cdot v_p + M_s \cdot v_s = (m_p + M_s) v' \Rightarrow \\ &\Rightarrow 5 \cdot 2 \cdot 10^5 + 95 \cdot (-4 \cdot 10^3) = (100) v' \Rightarrow \\ &\Rightarrow v' = \frac{100 \cdot 10^4 - 38 \cdot 10^4}{100} = 62 \cdot 10^2 \Rightarrow \end{aligned}$$

$$v' = 6200 \text{ m/s}.$$

10. B

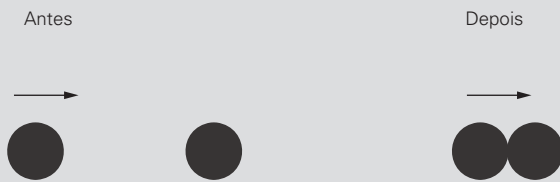
Como a quantidade de movimento antes tem que ser igual à quantidade de movimento depois, $Q_{\text{antes}} = Q_{\text{depois}}$, o remador, ao lançar seu corpo para trás, ganha uma vantagem para cruzar a linha de chegada.

Para entendermos melhor esse caso, podemos pensar em um vagão de trem no qual se encontra uma pessoa. Digamos que o atrito entre o trilho e o vagão seja desprezível; se uma pessoa lançar uma pedra para trás, por conservação da quantidade de movimento, o vagão irá se movimentar para a frente. A mesma coisa acontece com o remador.

11. E

$$\begin{aligned} Q_a &= Q_d \\ m \cdot v &= (m + M) \cdot \frac{v}{4} \Rightarrow 4 \cdot m = m + M \Rightarrow M = 3 \cdot m \Rightarrow \\ &\Rightarrow \frac{M}{m} = 3 \end{aligned}$$

12. A



Como o movimento é retilíneo uniforme, a aceleração é nula. Logo, a velocidade é constante.

Analisando a equação da energia cinética,

$E_c = \frac{1}{2}m \cdot v^2$, percebemos que a massa é diretamente

proporcional a E_c , enquanto esta é proporcional ao quadrado da velocidade. Assim sendo, a influência da velocidade supera aquela imposta pela massa.

Pela lei de conservação de movimento,

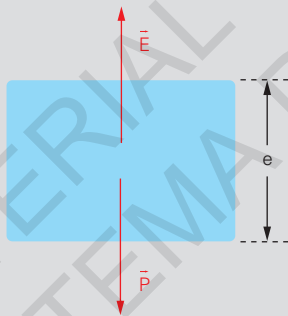
$$v_{\text{antes}} > v_{\text{depois}}; \text{ logo, } E_{c_{\text{antes}}} > E_{c_{\text{depois}}}$$

13. C

Em choque frontal e perfeitamente elástico de dois corpos de mesma massa, eles trocam de velocidades. Portanto, após o choque, se a bola incidente para, a velocidade da bola-alvo é 2 m/s.

14. a) Dados: $\rho_g = 900 \text{ kg/m}^3$; $A = 6000 \text{ km}^2 = 6 \cdot 10^9 \text{ m}^2$; $e = 500 \text{ m}$; $g = 10 \text{ m/s}^2$.

A figura mostra a força peso e empuxo agindo no iceberg.



Como ele se mantém flutuando, essas duas forças têm mesma intensidade.

$$E = P = m \cdot g = \rho_g \cdot v \cdot g = \rho_g \cdot Aeg = 900 \cdot 6 \cdot 10^9 \cdot 500 \cdot 10 \Rightarrow \boxed{E = 2,7 \cdot 10^{16} \text{ N}}$$

b) Dados: $m_A = 2 \cdot 10^5 \text{ kg}$; $m_B = 5 \cdot 10^4 \text{ kg}$; $v_A = 0,5 \text{ m/s}$.

Pela conservação da quantidade de movimento na direção do movimento dos blocos:

$$\vec{Q}_{\text{antes}} = \vec{Q}_{\text{depois}} \Rightarrow \vec{0} = \vec{Q}_A + \vec{Q}_B \Rightarrow \vec{Q}_B = -\vec{Q}_A \Rightarrow$$

$$\Rightarrow |\vec{Q}_B| = |\vec{Q}_A| \Rightarrow m_B \cdot v_B = m_A \cdot v_A \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_B = \frac{m_A \cdot v_A}{m_B} = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 0,5}{5 \cdot 10^4} \Rightarrow \boxed{v_B = 2 \text{ m/s}}$$

15. A energia mecânica não é conservada, pois o choque é inelástico. A parcela de energia mecânica dissipada é transformada em energia térmica, em energia sonora e em trabalho mecânico nas deformações. Somente ocorre conservação da energia mecânica em uma colisão quando ela é perfeitamente elástica.

Desprezando variações infinitesimais ocorridas nas direções das velocidades, a quantidade de movimento (ou momento linear) é conservada, pois o sistema formado pelas duas esferas é mecanicamente isolado.

Após a colisão, o sistema é conservativo. Adotando como referência o plano horizontal que passa pelo ponto de colisão e utilizando a conservação da energia mecânica, tem-se:

$$\frac{2 \cdot m \cdot v_{AB}^2}{2} = 2 \cdot m \cdot g \cdot h_s \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_{AB} = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_s} = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 0,2} \Rightarrow v_{AB} = 4 \text{ m/s}$$

Aplicando a conservação da quantidade de movimento à colisão, calcula-se a velocidade da esfera A, imediatamente antes da colisão:

$$Q_{\text{sist}}^{\text{antes}} = Q_{\text{sist}}^{\text{depois}} \Rightarrow m \cdot v_A = 2 \cdot m \cdot v_{AB} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_A = 2 \cdot v_{AB} = 2(2) \Rightarrow v_A = 4 \text{ m/s}$$

Aplicando mais uma vez a conservação da energia mecânica durante a descida da esfera A, até imediatamente antes da colisão com referencial no ponto de colisão:

$$m \cdot g \cdot h = \frac{m \cdot v_A^2}{2} \Rightarrow h = \frac{v_A^2}{2 \cdot g} = \frac{4^2}{20} \Rightarrow \boxed{h = 0,8 \text{ m}}$$

16. A

Pela conservação da quantidade de movimento:

$$m \cdot v_0 = 2 \cdot m \cdot v \Rightarrow \boxed{v = \frac{v_0}{2}}$$

17. Soma: 01 + 02 = 03.

[01] Verdadeiro. Pelo teorema da energia cinética, temos:

$$\tau = \Delta E_c \Rightarrow -F \cdot d = 0 - \frac{m \cdot v^2}{2} \Rightarrow 2 \cdot F \cdot d = m \cdot v^2$$

$$\therefore v = \sqrt{\frac{2 \cdot F \cdot d}{m}}$$

[02] Verdadeiro. Desaceleração do meteoro ao penetrar no solo:

$$-F = m \cdot a \Rightarrow a = -\frac{F}{m}$$

Pela equação horária da velocidade, obtemos:

$$v_f = v_0 + a \cdot \Delta t \Rightarrow 0 = \sqrt{\frac{2 \cdot F \cdot d}{m}} - \frac{F}{m} \cdot \Delta t \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta t = \frac{m}{F} \sqrt{\frac{2 \cdot F \cdot d}{m}} \therefore \Delta t = \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot d}{F}}$$

[04] Falso. A energia cinética pode se transformar em energia sonora, por exemplo.

[08] Falso. A colisão é inelástica, dado que o meteoro se acopla ao solo.

[16] Falso. Pela lei da ação e reação, o módulo de ambas as forças deve ser o mesmo.

Estudo para o Enem

18. C

Como se trata de sistema mecanicamente isolado, ocorre conservação da quantidade de movimento.

$$Q_{\text{final}} = Q_{\text{inicial}} \Rightarrow Q_{\text{final}} = 3 \cdot m \cdot v$$

Portanto, após as colisões, devemos ter três esferas com velocidade v , como mostra a alternativa C.

Podemos também pensar da seguinte maneira: as esferas têm massas iguais e os choques são frontais e praticamente elásticos. Assim, a cada choque, uma esfera para, passando sua velocidade para a seguinte. Enumerando as esferas da esquerda para a direita, de 1 a 5, temos:

- A esfera 3 choca-se com a 4, que se choca com a 5. As esferas 3 e 4 param e a 5 sai com velocidade v ;
- A esfera 2 choca-se com a 3, que se choca com a 4. As esferas 2 e 3 param e a 4 sai com velocidade v ;
- A esfera 1 choca-se com a 2, que se choca com a 3. As esferas 1 e 2 param e a 3 sai com velocidade v .

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.

19. C

A velocidade do carrinho 1 antes do choque é:

$$v_1 = \frac{\Delta s_1}{\Delta t_1} = \frac{30,0 - 15,0}{1,0 - 0,0} \Rightarrow v_1 = 15,0 \text{ cm/s.}$$

O carrinho 2 está em repouso: $v_2 = 0$.

Após a colisão, os carrinhos seguem juntos com velocidade v_{12} , dada por:

$$v_{12} = \frac{\Delta s_{12}}{\Delta t_{12}} = \frac{90,0 - 75,0}{11,0 - 8,0} \Rightarrow v_{12} = 5,0 \text{ cm/s.}$$

Como o sistema é mecanicamente isolado, ocorre conservação da quantidade de movimento.

$$Q_{\text{sist}}^{\text{antes}} = Q_{\text{sist}}^{\text{depois}} \Rightarrow Q_1 + Q_2 = Q_{12} \quad m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = (m_1 + m_2) v_{12} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 150,0 \cdot 15,0 = (150,0 + m_2) 5,0 \Rightarrow$$

$$m_2 = \frac{150,0 \cdot 15,0}{5,0} - 150,0 \Rightarrow \boxed{m_2 = 300,0 \text{ g.}}$$

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

20. D

De acordo com a Terceira Lei de Newton, à toda ação corresponde uma reação de igual intensidade, mesma direção e sentido contrário. Com isso, a força aplicada na caminhonete pelo trem tem a mesma intensidade que a força aplicada pela caminhonete sobre o trem. Além disso, tendo em vista que os dois móveis após a colisão andam juntos, se trata de uma colisão inelástica, confirmando a alternativa D como a correta.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.

44 COLISÕES BIDIMENSIONAIS

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, aplicou-se a conservação da quantidade de movimento em colisões bidimensionais. A decomposição de vetores, entre outras propriedades das operações vetoriais, foi revista e aplicada.

Para ir além

- Excelente aplicativo para discutir as características de colisões bidimensionais.

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/collision-lab

Acesso em: out. 2018.

- No simulador do *link*, é demonstrado como as colisões bidimensionais podem ser aplicadas na compreensão das diversas reações químicas.

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/reactions-and-rates

Acesso em: out. 2018.

- Artigo interessante da *Revista Brasileira de Ensino de Física*: "Bola, taco, sinuca e Física"

<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v29n2/a07v29n2.pdf>

Acesso em: out. 2018.

- Aula sobre colisões, com imagens e exemplos interessantes.

<http://www.unicamp.br/~204553/disciplinas/F128/Aulas%20Te%C3%B3ricas/Aula%2008.pdf>

Acesso em: out. 2018.

Exercícios propostos

7. E

Trata-se de um exemplo de choque perfeitamente **inelástico**, pois o bólido ficou incrustado na Terra. Sendo um sistema mecanicamente isolado, o momento linear (quantidade de movimento) é conservado. Nesse evento, ocorre **dissipação** da energia mecânica.

8. A

$$Q_{\text{sist}}^i = Q_{\text{sist}}^f \Rightarrow m \cdot 2 \cdot \sqrt{2} = 2 \cdot m \cdot v_f \Rightarrow v_f = \sqrt{2} \text{ m/s}$$

9.

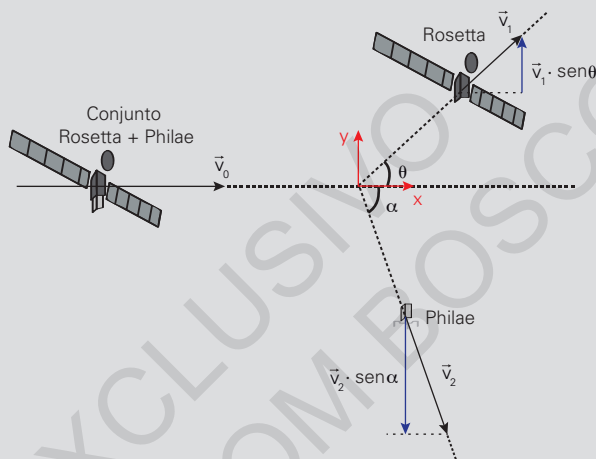
a) $V_{Ax} = 1,6 \text{ m/s}$ e $V_{Ay} = 0$

$V_{Bx} = 0$; $V_{By} = 1,2 \text{ m/s}$

b) $\Delta E_c = 0$

10.

Considerando a conservação da quantidade de movimento no eixo vertical y e as componentes das velocidades nesse eixo, temos:



$$\vec{Q}_{\text{inicial}} = \vec{Q}_{\text{final}}$$

Como a velocidade inicial na vertical é igual a zero:

$$0 = M \cdot \vec{v}_1 \cdot \text{sen } \theta - m \cdot \vec{v}_2 \cdot \text{sen } \alpha$$

Sendo M a massa de Rosetta e m a massa de Philae.

Substituindo os valores dos senos e das massas:

$$0 = 3000 \cdot v_1 \cdot 0,6 - 100 \cdot v_2 \cdot 0,8$$

E fazendo a razão solicitada:

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{3000 \cdot 0,6}{100 \cdot 0,8} \therefore \frac{v_2}{v_1} = 22,5$$

11. B

Dados: $M = 400 \text{ g}$; $m_A = 200 \text{ g}$; $m_B = m_C = 100 \text{ g}$;
 $V_A = 100 \text{ m/s}$; $V_B = 200 \text{ m/s}$; e $V_C = 400 \text{ m/s}$.

Empregando a conservação da quantidade de movimento nas duas direções, para antes e depois da explosão:

Na vertical (y):

$$Q_y^{\text{antes}} = Q_y^{\text{depois}} \Rightarrow Q_y^{\text{antes}} = m_B \cdot v_B - m_A \cdot v_A = \\ = 100 \cdot 200 - 200 \cdot 100 \Rightarrow Q_y^{\text{antes}} = 0 \Rightarrow \text{a bomba} \\ \text{explodiu no ponto mais alto de sua trajetória.}$$

Na horizontal (x):

$$Q_x^{\text{antes}} = Q_x^{\text{depois}} \Rightarrow M \cdot v_0 = m_C \cdot v_C \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 400 \cdot v_0 = 100 \cdot 400 \Rightarrow$$

$$v_0 = 100 \text{ m/s.}$$

12. B

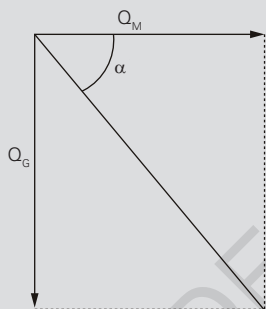
Dados: $M_G = 300 \text{ g}$; $M_M = 100 \text{ g}$; $V_G = 80 \text{ km/h}$;
 $V_M = 24 \text{ km/h}$.

Antes da caça, os módulos das quantidades de movimento do gavião e do melro são, respectivamente:

$$Q_G = 300(80) \text{ g} \cdot \text{km/h e}$$

$$Q_M = 100(24) \text{ g} \cdot \text{km/h}.$$

Como ocorre conservação da quantidade de movimento no momento da caça, o vetor velocidade \mathbf{u} tem a mesma direção da quantidade de movimento do sistema gavião-melro.

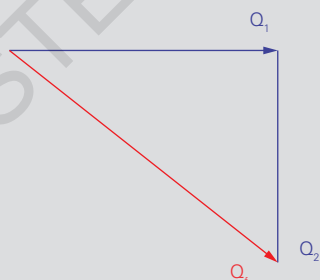


Da figura:

$$\text{tg} \alpha = \frac{Q_G}{Q_M} = \frac{300(80)}{100(24)} \Rightarrow \text{tg} \alpha = 10.$$

13. C

Para esta análise, é necessário verificar as quantidades de movimento dos dois caminhões vetorialmente, conforme figura.



Assim, temos que,

$$Q_f = \sqrt{Q_1^2 + Q_2^2}$$

$$Q_f = \sqrt{(m_1 \cdot v_1)^2 + (m_2 \cdot v_2)^2}$$

$$Q_f = \sqrt{(2000 \cdot 30)^2 + (4000 \cdot 20)^2}$$

$$Q_f = \sqrt{(60000)^2 + (80000)^2}$$

$$Q_f = 100 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

Dessa forma, é possível encontrar a velocidade dos dois caminhões após a colisão.

$$Q_f = m \cdot v_f$$

$$v_f = \frac{Q_f}{(m_1 + m_2)}$$

$$v_f = \frac{100 \cdot 10^3}{6 \cdot 10^3}$$

$$v_f = \frac{100}{6} \text{ m/s}$$

ou

$$v_f = 60 \text{ km/h}$$

14. A

Para a resolução da questão, usaremos o teorema do impulso

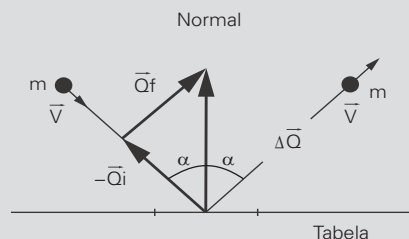
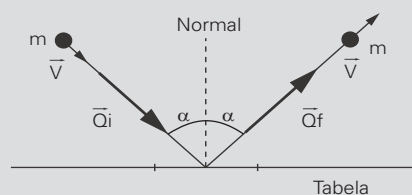
$$\vec{I} = \Delta \vec{Q} \quad (1)$$

Onde,

\vec{I} = impulso da força média em N/s;

$\Delta \vec{Q}$ = variação da quantidade de movimento em $\text{kg} \cdot \text{m/s}$ que é calculada vetorialmente, como vemos nas figuras:

$$\Delta \vec{Q} = \vec{Q}_f - \vec{Q}_i \quad (2)$$



Nota-se que o triângulo formado é equilátero, pois todos os ângulos internos são iguais entre si; sendo assim, a variação da quantidade de movimento

$\Delta\vec{Q}$ é exatamente igual à quantidade de movimento inicial \vec{Q}_i e final \vec{Q}_f , isto é, em módulo

$$\Delta Q = Q_i = m \cdot v = 0,4 \text{ kg} \cdot 9 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 3,6 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Sabendo que o módulo do impulso é dado por:

$$I = F_m \cdot t \quad (3)$$

Juntando as equações (3) e (1), temos:

$$F_m \cdot t = \Delta\vec{Q} \quad (4)$$

Donde sai a força média da colisão da bola com a tabela, em módulo:

$$F_m = \frac{\Delta Q}{t} = \frac{3,6 \text{ Ns}}{10 \cdot 10^{-3} \text{ s}} = 360 \text{ N}$$

15. E

Para a conservação da quantidade de movimento, devemos ter:

$$Q_3 = \sqrt{Q_1^2 + Q_2^2} \Rightarrow Q_3^2 = Q_1^2 + Q_2^2$$

Logo:

$$\left(\frac{m}{2} \cdot v_3\right)^2 = (m \cdot v)^2 + (m \cdot v)^2 \Rightarrow \frac{v_3^2}{4} = v^2 + v^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_3 = \sqrt{8 \cdot v^2}$$

$$\therefore v_3 = 2\sqrt{2}v$$

16. A

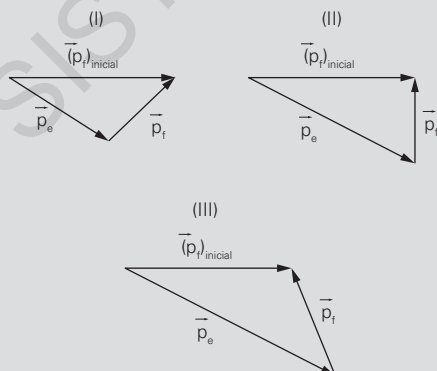
Pela conservação da quantidade de movimento:

$$(\vec{p}_e + \vec{p}_f)_{\text{final}} = (\vec{p}_e + \vec{p}_f)_{\text{inicial}}$$

Mas, antes da colisão, apenas o fóton apresenta quantidade de movimento, que tem direção e sentido do eixo x. Então:

$$(\vec{p}_e + \vec{p}_f)_{\text{final}} = (\vec{p}_f)_{\text{inicial}}$$

A figura mostra três possibilidades.



Nota-se que a figura (III) está de acordo com a opção [A].

17.

Como o movimento antes da colisão era estritamente sobre o eixo x, a componente da quantidade de movimento no eixo y é nula. Pela conservação da quantidade de movimento, tem-se, então:

$$Q_y^{\text{final}} = Q_y^{\text{inicial}} \Rightarrow m_1 \cdot v_{1y} + m_2 \cdot v_{2y} = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 0,2 \cdot 5 + m_2(-2) = 0 \Rightarrow \boxed{m_2 = 0,5 \text{ kg}}$$

Estudo para o Enem

18. E

Na horizontal:

$$\vec{Q}_0^{\text{sist}}(x) = \vec{Q}_f^{\text{sist}}(x) \Rightarrow 3m \cdot v_i = m \cdot v \Rightarrow v_i = \frac{v}{3}$$

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.

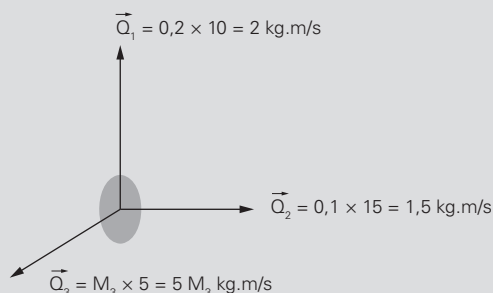
19. C

A quantidade de movimento de cada pedaço deve ser somada vetorialmente para obtermos $\Delta\vec{Q} = \vec{0}$.

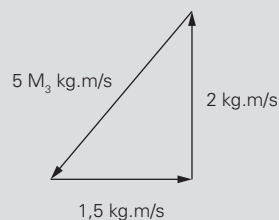
Então para cada pedaço:

$$\vec{Q}_1 + \vec{Q}_2 + \vec{Q}_3 = \vec{0}$$

$$M_1 \cdot \vec{v}_1 + M_2 \cdot \vec{v}_2 + M_3 \cdot \vec{v}_3 = \vec{0}$$



Somando os vetores:



$$(5 \cdot M_3)^2 = 2^2 + 1,5^2 \Rightarrow M_3 = \sqrt{\frac{6,25}{25}} = 0,5 \text{ kg}$$

Como a massa total da granada é a soma das massas parciais:

$$M = 0,2 + 0,1 + 0,5 = 0,8 \text{ kg}$$

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.

20. C

Aplicando a conservação da quantidade de movimento ao sistema formado pelos dois corpos:

$$Q_{\text{sist}}^{\text{antes}} = Q_{\text{sist}}^{\text{depois}} \Rightarrow m \cdot v - m \cdot v = 2 \cdot m \cdot v' \Rightarrow \\ \Rightarrow 2 \cdot v' = 0 \Rightarrow v' = 0.$$

Como os dois corpos param após a colisão, toda a energia cinética é dissipada na forma de calor para aquecê-los.

Pela conservação da energia:

$$E_{\text{cin}} = Q \Rightarrow \frac{\sum m \cdot v^2}{2} = 2 \cdot m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow \\ \Rightarrow v = \sqrt{2 \cdot c \cdot \Delta\theta} = \sqrt{2 \cdot 2 \cdot 2} \Rightarrow \boxed{v = 2\sqrt{2} \text{ m/s.}}$$

Competência: Associar intervenções que resultam em degradação ou conservação ambiental a processos produtivos e sociais e a instrumentos ou ações científico-tecnológicas.

Habilidade: Identificar etapas em processos de obtenção, transformação, utilização ou reciclagem de recursos naturais, energéticos ou matérias-primas, considerando processos biológicos, químicos ou físicos neles envolvidos.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

FÍSICA 2

SHUTTERSTOCK/ABCZ

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO



33 INTRODUÇÃO À TERMOLOGIA

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, introduzimos conceitos básicos da termologia: calor, temperatura e sensação térmica. Foram apresentadas as três escalas de temperatura utilizadas atualmente, e o aluno deve ser capaz de, a partir disso, converter as temperaturas entre essas escalas.

Para ir além

- Para trabalhar com o conceito de substâncias e grandezas termométricas, é possível ler com os alunos o artigo "Nova metodologia para aferição da temperatura final de hastes metálicas em um experimento de dilatação térmica linear", de GONÇALVES, B. et al., encontrado no *link* a seguir.

<<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v35n2/09.pdf>>.

Acesso em: out. 2018.

Exercícios propostos

7. Em Celsius:

$$\frac{\theta_C - 0}{5 - 0} = \frac{100 - 0}{20 - 0}$$

$$\theta_C = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

Em Fahrenheit:

$$\frac{\theta_F - 32}{5 - 0} = \frac{212 - 32}{20 - 0}$$

$$\theta_F = 77 \text{ }^\circ\text{F}$$

8. Nas variações de temperatura, quando comparadas em Celsius e Kelvin, estas são iguais, então:

$$\Delta\theta = 4,5 - (-3,5) = 8 \text{ }^\circ\text{C} = 8 \text{ K}$$

$$9. \frac{-196}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9}$$

$$\theta_F = -320,8 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$10. \frac{\theta_F - 32}{9} = \frac{-200}{5} = \frac{T - 273}{5}$$

$$\theta_F = -328 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$T = 73 \text{ K}$$

11. D

De acordo com a equação de conversão de escalas de temperatura:

$$\frac{\theta_C}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9}$$

$$\frac{50}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9}$$

$$\theta_F = 122 \text{ }^\circ\text{F}$$

12. C

$$T = \theta_{C1} + 273 = 393 \text{ K}$$

$$\Delta T = 438 - 393 = 45 \text{ K}$$

Assim:

$$\frac{\Delta T}{5} = \frac{\Delta\theta_F}{9}$$

$$\frac{45}{5} = \frac{\Delta\theta_F}{9}$$

$$\Delta\theta_F = 81 \text{ }^\circ\text{F}$$

13. C

$$T = \theta_C + 273$$

$$\theta_C = 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

14. C

$$\frac{\theta_F - 32}{9} = \frac{\theta_C}{5} = \frac{T - 273}{5}$$

$$\theta_{NI} = \frac{5 \cdot (68 \text{ }^\circ\text{F} - 32)}{9} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\theta_{RO} = 291 \text{ K} - 272 \text{ K} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$$

Assim:

$$\theta_{RO} < \theta_{NI} < \theta_{SP}$$

15. C

Observa-se que São Luís está localizado no Brasil, onde oficialmente se utiliza a escala de temperatura em graus Celsius.

16. C

[I] Incorreta. Verifica-se por meio dos cálculos:

$$\frac{\theta_C}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9} = \frac{36,5}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9} = 97,7 \text{ }^\circ\text{F}$$

[II] Correta. A conceituação define que o zero absoluto é a menor temperatura possível.

[III] Incorreta. Verifica-se por meio de cálculos:

$$T = \theta_C + 273 = 273 \text{ K}$$

17. E

$$T = \theta_C + 273$$

Assim:

$$\text{Para } \theta_C = 0 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T = 0 + 273 = 273 \text{ K}$$

$$\text{Para } \theta_c = 50 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T = 50 + 273 = 323 \text{ K}$$

Exercícios para o Enem

18. B

Calculando a temperatura na escala Celsius:

$$\theta_c = T - 273 = 1\,500 \text{ }^\circ\text{C}$$

Sendo assim, se $1 \text{ }^\circ\text{C}$ equivale a $1\,500 \text{ km}$, então $500 \text{ }^\circ\text{C}$ equivalem a $750\,000 \text{ km}$. De maneira que:

$$6\,000\,000 - 750\,000 = 5\,250\,000 \text{ km}$$

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e (ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e (ou) do eletromagnetismo.

19. C

Observando-se o gráfico, obtém-se:

$$\frac{\theta_A - 0}{100 - 0} = \frac{\theta_C - 40}{90 - 40}$$

$$\theta_A = 2\theta_C - 80$$

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e (ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e (ou) do eletromagnetismo.

20. B

Do contexto do enunciado, compreende-se que:
 $\theta_c \cdot 18 = \theta_F \cdot (-10)$

Aplicando-se a equação de conversão de escala termométrica:

$$\frac{\theta_c}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9}$$

$$\frac{-10 \cdot \theta_F}{18} = \frac{5 \cdot \theta_F - 160}{9}$$

$$\theta_F = 16 \text{ }^\circ\text{F}$$

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e (ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e (ou) do eletromagnetismo.

34 DILATAÇÃO LINEAR DE SÓLIDOS

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, trabalhamos o conceito de dilatação linear dos sólidos, frisando a conceituação de que a dilatação preponderantemente no sentido do comprimento de materiais é que a define como uma dilatação linear, e não de outros tipos, como veremos adiante. A definição de dilatação e as formas de calculá-la foram os objetivos deste módulo.

Para ir além

- Para trabalhar com o conceito de substâncias e grandezas termométricas, é possível ler com os alunos o artigo "Nova metodologia para aferição da temperatura final de hastes metálicas em um experimento de dilatação térmica linear", de GONÇALVES, B. et al., encontrado no *link* a seguir.

<<http://www.scielo.br/pdf/rbep/v35n2/09.pdf>>.

Acesso em: out. 2018.

Exercícios propostos

7. Para este cálculo, utiliza-se o comprimento inicial da tubulação em milímetros:

$$\begin{aligned}\Delta L &= L_0 \cdot \alpha \cdot (\theta - \theta_0) = \\ &= 20,5 \cdot 10^3 \cdot 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot (40 - 20) = 6,97 \text{ mm}\end{aligned}$$

8. $\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta\theta$

$$48 \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 12 \cdot 10^{-6} (\theta_f - 25)$$

$$\frac{48 \cdot 10^{-3}}{48 \cdot 10^{-6}} = \theta_f - 25$$

$$10^3 = \theta_f - 25 \Rightarrow \theta_f = 1000 + 25 \Rightarrow \theta_f = 1025 \text{ }^\circ\text{C}$$

- 9.

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta\theta$$

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta\theta}$$

Substituindo-se as unidades de medida:

$$\alpha = \frac{\text{m}}{\text{m} \cdot \text{ }^\circ\text{C}} = \frac{1}{\text{ }^\circ\text{C}} = \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

10. E

Analisando-se a equação

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta\theta$$

observa-se que as placas com maior comprimento inicial em x e maior área inicial são as que se dilatarão mais; portanto, trata-se das placas A e C.

11. B

Comparando-se os coeficientes de dilatação, compreende-se que o alumínio irá se dilatar mais do que o aço.

- 12.

Analisando-se as afirmativas com base em:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta\theta$$

Para a afirmativa I:

$$\Delta L = 10 \text{ m} \cdot 13 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \cdot 20 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta L = 0,0026 \text{ m} = 0,26 \text{ cm}$$

FALSA

Para a afirmativa II:

O valor apresentado corresponde ao coeficiente de dilatação linear do material, ou seja, $13 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

VERDADEIRA

13. E

Preenchendo-se o copo A com água gelada, este sofreria contração; no caso do copo B, inserindo-o em água quente, haveria dilatação dele.

- 14.

[I] (Verdadeira) O orifício da placa será como uma área não oca e do mesmo material da placa, também se dilatando, aumentando sua área.

[II] (Verdadeira) Para um dado material com baixo coeficiente de dilatação térmica, sua dilatação também será pequena; no entanto, isso o torna mais resistente ao choque térmico.

[III] (Verdadeira) Para prever uma dilatação, é necessário analisar-se a natureza do material, seu comprimento inicial e a variação da temperatura que se deseja efetuar. Assim, para este caso, as dimensões dilatadas serão proporcionais e os ângulos internos do triângulo isósceles, iguais.

15. E

Para $\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta\theta$, temos que

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta\theta} = \frac{801 - 800}{800 (110 - 100)} = \frac{1}{80000} =$$

$$= 0,125 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

16. C

Observa-se que há maior dilatação no material 1 e, como houve essa dilatação, houve alteração na temperatura.

17. D

Observando-se a equação:

$$L = L_0 (1 + \alpha\Delta\theta)$$

$$L/L_0 = (1 + \alpha\Delta\theta)$$

Estudo para o Enem

18. Soma: $02 + 04 = 06$.

Avaliando-se as afirmativas:

[01] Falsa, já que o coeficiente de dilatação linear das barras representa o coeficiente angular das retas nos gráficos. Sendo assim, a reta mais inclinada tem o maior coeficiente de dilatação, no caso, a barra A.

[02] Verdadeira, já que o coeficiente de dilatação da barra corresponde ao coeficiente angular da reta no gráfico.

[04] Verdadeira, já que:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta$$

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta \theta}$$

PARA A BARRA A:

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta \theta} = \frac{13,5 \cdot 10^{-3}}{12,5 \cdot 40} = \alpha_A = 27 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Corresponde ao chumbo.

PARA A BARRA B:

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta \theta} = \frac{11,0 \cdot 10^{-3}}{12,5 \cdot 40} = \alpha_B = 22 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Corresponde ao alumínio.

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta \theta} = \frac{4,5 \cdot 10^{-3}}{12,5 \cdot 40} = \alpha_C = 9 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

PARA A BARRA C:

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta \theta} = \frac{4,5 \cdot 10^{-3}}{12,5 \cdot 40} = \alpha_C = 9 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Corresponde à platina.

[08] Falsa, vide cálculos anteriores.

[16] Falsa, vide cálculos anteriores.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas,

como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

19. a) Pelos dados do gráfico:

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta \theta} = \frac{200,1 - 200,0}{200(100 - 0)} = \frac{0,1}{2 \cdot 10^4} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Corresponde ao vidro pirex.

b) Aplicando-se a equação:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta = L - 200 = 200 \cdot 5 \cdot 10^{-6} (210 - 0) = 200,21 \text{ mm}$$

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

20. C

Para a dilatação linear, temos:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta$$

Assim:

$$\frac{\Delta L}{L} = \alpha \cdot \Delta \theta$$

Sabe-se que o coeficiente de dilatação linear representa o coeficiente angular da reta, e que este é possível de ser calculado a partir da tangente do ângulo de inclinação dessa reta. Portanto, $\alpha_y = 2\alpha_x$, $\text{tg } \theta_y = 2\text{tg } \theta_x$. Nesse caso, a reta que melhor representa o acréscimo da razão $\frac{\Delta L}{L}$ em função de $\Delta \theta$ é a reta 3.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

35 DILATAÇÃO SUPERFICIAL DE SÓLIDOS

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, introduzimos as equações para cálculo de dilatação superficial de sólidos, discutindo em quais situações elas devem ser utilizadas. Abordamos também as relações entre os tipos de dilatação linear e volumétrica com essa natureza.

Para ir além

- Com a análise dos conceitos sobre dilatação superficial, além dos conceitos já trabalhados até aqui, é possível sugerir atividades de observação e discussão, em combinação com outros professores, como os de Química e Geografia, para a reflexão dos fenômenos de dilatação e contração térmica dependentes da composição dos materiais e do clima da região.

Além disso, pode-se produzir simuladores virtuais como o localizado em:

<http://www.labvirtq.fe.usp.br/simulacoes/fisica/sim_termo_metalurgica.htm>

Acesso out/2018

Exercícios propostos

7. A área da superfície lateral do cilindro será dada pela altura (h) multiplicada pelo comprimento da circunferência que forma suas bases. Assim,
- $$A_0 = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h$$

O coeficiente de dilatação superficial será dado por:

$$\beta = \frac{\gamma}{3} \cdot 2$$

$$\begin{aligned} \Delta A &= 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h \cdot \left(\frac{\gamma}{3} \cdot 2 \right) \cdot 120 = \\ &= 2 \cdot \pi \cdot 0,2 \cdot 0,4 \cdot \left(\frac{2,4 \cdot 10^{-6}}{3} \cdot 2 \right) \cdot 120 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta A &= 0,16 \cdot \pi \cdot 1,6 \cdot 10^{-6} \cdot 120 = \\ &= 30,72 \cdot \pi \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

8. A superfície da tampa metálica se dilata mais facilmente do que o volume do vidro que ela se propõe a vedar. Isso não só por se tratar de uma dilatação superficial, mas, também, pelo fato de o coeficiente de dilatação dos dois materiais serem diferentes – maior, no caso do metal. Quanto maior o coeficiente de dilatação, mais dilatação esse material sofrerá para uma mesma variação de temperatura.

9. Para o fio:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta = 10^{-1} = 100 \cdot \alpha \cdot 100$$

$$\alpha = \frac{10^{-1}}{10000} = \frac{10^{-1}}{10^4} = 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Para a chapa:

$$\Delta A = A_0 \cdot 2\alpha \cdot \Delta \theta$$

$$\Delta A = 200 \cdot 2 \cdot 10^{-5} \cdot 100$$

$$\Delta A = 0,4 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} \Delta A &= A_0 \cdot 2\alpha \cdot \Delta \theta = \Delta A = 3000 \cdot 2 \cdot 1,2 \cdot 10^{-6} \cdot 15 = \\ &= 108 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2 = 0,108 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

10. José deve vedar uma quantidade de área correspondente à área contraída da placa em uma variação de $\Delta \theta = -15 \text{ } ^\circ\text{C}$. Sendo assim:

$$\begin{aligned} \Delta A &= A_0 \cdot 2\alpha \cdot \Delta \theta = 50 \cdot 60 \cdot 2 \cdot 1,2 \cdot 10^{-6} \cdot 15 = \\ &= 0,11 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

11. D

Para o cálculo da dilatação, faz-se:

$$\Delta A = A_0 \cdot \beta \cdot \Delta \theta$$

$$\beta = 2\alpha$$

$$\Delta A = A_0 \cdot 2\alpha \cdot \Delta \theta$$

$$\Delta A = 20^2 \cdot 2 \cdot (2,00 \cdot 10^{-5}) \cdot (120 - 20)$$

$$\Delta A = 16,0 \cdot 10^{-1} \text{ cm}^2$$

12. C

Calculando-se primeiro o coeficiente de dilatação linear:

$$\Delta A = A_0 \cdot 2\alpha \cdot \Delta \theta$$

$$\alpha = \frac{A}{A_0 \cdot \theta \cdot 2} = \frac{(5,06 - 5,00)}{2 \cdot 5,00 \cdot (110 - 10)} = 6 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Para obter-se γ

$$\gamma = 3 \cdot \alpha = 180 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

13. A

Com o nível de precisão que as alternativas exigem, calcula-se:

As prateleiras devem ter uma área igual à área das bandejas dilatadas nos dias mais quentes.

Assim:

$$\begin{aligned} \Delta A &= A_0 \cdot 2\alpha \cdot \Delta \theta = 2400 \cdot 2 \cdot 2,4 \cdot 10^{-5} \cdot 17 = \\ &= 195,84 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A &= A_0 + \Delta A = 2400 + 0,0019584 = \\ &= 2400,0019584 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

14. D

Se as bandejas forem de um material abaixo do nível do alumínio na tabela, se dilatam menos por possuírem menor coeficiente de dilatação e necessitarão de prateleiras com menor área.

15. A

O alumínio será vendido ao mesmo preço que os demais; contudo, estará com área maior, já que possui coeficiente de dilatação maior. Se o valor for imposto sobre a área fixa, então a venda do alumínio será a com menor lucro.

16. A

$$\begin{aligned} A &= A_0 \cdot (1 + \beta \cdot \Delta\theta) = \pi \cdot R^2 \cdot (1 + 66 \cdot 10^{-6} \cdot 100) = \\ &= 3,14 \cdot 1^2 \cdot (1 + 6600 \cdot 10^{-6}) = 3 \cdot 14 + 0,66 \cdot 10^{-2} \cdot 3,14 = \\ &= 314 \cdot 10^{-2} + 2,07 \cdot 10^{-2} \cong 316,07 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

17. D

$$\begin{aligned} \Delta A &= A_0 \cdot \beta \cdot \Delta\theta \\ \Delta A &= 9 \cdot 1,6 \cdot 10^{-4} \cdot 80 \\ \Delta A &= 0,115 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Estudo para o Enem

18. B

$$\begin{aligned} \text{Dados: } \Delta\theta &= 170 - 20 = 150^\circ\text{C}; \\ \alpha_{\text{Al}} &= 22 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}; \alpha_{\text{Fe}} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta A_1 - \Delta A_2 &= 2,7 \cdot \pi = \\ &= A_0 \cdot 2 \cdot \alpha_1 \cdot \Delta\theta - A_0 \cdot 2 \cdot \alpha_2 \cdot \Delta\theta \end{aligned}$$

$$2 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \Delta\theta (\alpha_1 - \alpha_2) = 2,7 \cdot \pi$$

$$r^2 = \frac{2,7}{2 \cdot 150 \cdot (22 - 12) \cdot 10^{-6}} = 900$$

$$r = 30 \text{ cm}$$

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

19. C

Para o cálculo do aumento da área do furo:

$$\Delta A = A_0 \cdot 2\alpha \cdot \Delta\theta$$

$$\Delta A = \frac{\pi}{4} \cdot 25 \cdot 44 \cdot 10^{-6} (125 - 25) = 2,75\pi \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2$$

Para o cálculo da área final, tem-se:

$$A = \frac{25 \cdot \pi}{4} + 2,75 \cdot \pi \cdot 10^{-2} = \frac{25,11 \cdot \pi}{4} \text{ cm}^2$$

$$D = 5,011 \text{ cm}$$

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

20. C

Calculando-se a área final

$$\begin{aligned} A &= A_0 (1 + \beta \cdot \Delta\theta) = 10^3 (1 + 44 \cdot 10^{-6} \cdot 45) = \\ &= 1001,98 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

36 DILATAÇÃO VOLUMÉTRICA DE SÓLIDOS

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, introduzimos as equações referentes à dilatação volumétrica de sólidos, com as situações em que é adequado utilizá-las e as relações desse tipo de dilatação com outros tipos de problemas e temas na Física.

Para ir além

- Com a análise das situações em que é necessário avaliar o volume como dimensão significativa de sólidos geométricos, é possível sugerir a leitura e a discussão em sala do artigo "Situações cotidianas de dilatação térmica como motivação ao estudo deste tema no 9º ano do Ensino Fundamental", publicação da *Experiências em Ensino de Ciências*, v. 5, n. 3, p. 47-53, 2010.

Esta pode ser uma atividade para analisar o que poderia ser incrementado a fim de adequar o assunto ao nível médio de ensino, até com os alunos, refletindo sobre as particularidades do tema e desenvolvendo uma metacognição sobre como se aprende Física.

<http://www.if.ufrgs.br/eenci/artigos/Artigo_ID121/v5_n3_a2010.pdf>

Acesso em: out/2018

Exercícios propostos

7.

Neste caso, uma possibilidade que atenda aos parâmetros do problema seria a de esfriar a esfera, para que ela tenha suas dimensões contraídas, e dilatar o furo, esquentando a chapa.

8.

Equacionando-se a dilatação de cada uma das esferas, temos:

$$\Delta V = V_0 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta$$

$$0,01 \cdot V_0 = V_0 \cdot 3 \cdot \alpha_1 \cdot \Delta \theta$$

$$0,05 \cdot V_0 = V_0 \cdot 3 \cdot \alpha_2 \cdot \Delta \theta$$

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{0,01}{0,05} = \frac{1}{5}$$

9.

Para este problema, utiliza-se a equação da dilatação volumétrica do cubo, então:

$$\Delta V = V_0 \cdot 3 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta$$

$$\alpha = \frac{\Delta V}{V_0 \cdot 3 \cdot \Delta \theta}$$

$$\alpha = \frac{0,36 \cdot 10^{-2}}{0,54 \cdot 3 \cdot 80} = 0,00225 \cdot 10^{-2} \cong 22 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

A placa é feita de alumínio.

10.

Equacionando-se as situações para a chapa e o cubo:

Para a chapa:

$$\Delta A_1 = A_0 \cdot 2 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta$$

$$\Delta A_2 = A_0 \cdot 2 \cdot \alpha \cdot 2 \cdot \Delta \theta$$

$$\frac{\Delta A_2}{\Delta A_1} = 2$$

Para o cubo:

$$\Delta V_1 = V_0 \cdot 3 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta$$

$$\Delta V_2 = V_0 \cdot 3 \cdot \alpha \cdot 2 \cdot \Delta \theta$$

$$\frac{\Delta V_2}{\Delta V_1} = 2$$

11. B

Uma esfera tem como dimensão significativa seu volume, o que significa que a dilatação ocorrerá preponderantemente em seu volume.

12. C

Analisando-se as alternativas, temos:

a) É falsa, pois,

$$\Delta L = 10 \text{ m} \cdot 13 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \cdot 20 \text{ } ^\circ\text{C} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta L = 0,0026 \text{ m} = 0,26 \text{ cm.}$$

b) É falsa, pois

$$\beta = 2\alpha \Rightarrow \beta = 2 \cdot 13 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} = 26 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}.$$

c) É verdadeira, pois esse valor corresponde ao coeficiente de dilatação linear do material, ou seja, $13 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

d) É falsa, pois,

$$\gamma = 3 \cdot \alpha \Rightarrow \gamma = 3 \cdot 13 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \Rightarrow \gamma = 39 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}.$$

13. D

Pela análise dos coeficientes de dilatação dos materiais, observa-se que o alumínio é capaz de dilatar-se muito mais do que o vidro, assim, esquentando ambos, teremos a possibilidade de que se soltem.

14. B

Nos parâmetros que as alternativas propõem, temos que a dilatação do bloco será proporcional ao coeficiente de dilatação linear; à quantidade de calor recebida, que influencia na variação de tem-

peratura e também na capacidade térmica, que é inversamente proporcional à variação de temperatura.

15. A

Calculando-se o aumento do volume:

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta\theta$$

$$\Delta V = 6\,000 \cdot 6 \cdot 10^{-5} \cdot 100 = 36 \text{ cm}^3$$

$$V = V_0 + \Delta V = 6\,036 \text{ cm}^3$$

16. A

Para

$$\Delta V = V_0 \cdot 3 \cdot \alpha \cdot \Delta\theta = 0,006 \cdot V_0 \cdot 3\alpha \cdot 200$$

$$\alpha = 0,00001 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

17. E

Para essa variação de temperatura, temos:

$$\Delta V = V_0 \cdot 3 \cdot \alpha \cdot \Delta\theta = 10^4 \cdot 3 \cdot 9 \cdot 10^{-6} \cdot 10 = 2,7 \text{ cm}^3$$

Estudo para o Enem

18. D

No final, ambos devem ter o mesmo volume. Para isso, escrevemos:

$$V_1 = V_2$$

$$V_{0A} + \Delta V = V_{0B} + \Delta V$$

$$250,75 (1 + 3 \cdot 2 \cdot 10^{-5} \cdot \Delta\theta) = 250 (1 + 3 \cdot 3 \cdot 10^{-5} \cdot \Delta\theta)$$

$$\Delta\theta = 100,6 \text{ } ^\circ\text{C} \Rightarrow \theta = 10 \text{ } ^\circ\text{C} + 100,6 \text{ } ^\circ\text{C} = 110,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e (ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e (ou) do eletromagnetismo.

19. E

Para o vidro:

$$\Delta V_V = V_{0V} \cdot \gamma_V \cdot \Delta\theta$$

Para o mercúrio:

$$\Delta V_{Hg} = V_{0Hg} \cdot \gamma_{Hg} \cdot \Delta\theta$$

$$\Delta V_V = \Delta V_{Hg}$$

$$V_{0V} \cdot \gamma_V \cdot \Delta\theta = V_{0Hg} \cdot \gamma_{Hg} \cdot \Delta\theta$$

$$\frac{V_{0V}}{V_{0Hg}} = \frac{1,8 \cdot 10^{-4}}{1,2 \cdot 10^{-5}} = 15$$

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e (ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e (ou) do eletromagnetismo.

20. C

Para a razão entre as dilatações, faz-se:

$$\frac{\Delta V_A}{\Delta V_B} = \frac{V_{0A} \cdot \gamma \cdot \Delta\theta}{V_{0B} \cdot \gamma \cdot \Delta\theta}$$

$$\frac{\Delta V_A}{\Delta V_B} = \frac{V_{0A}}{V_{0B}}$$

Para o cálculo de volume de um cilindro, faz-se

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot h$$

Com os dados do contexto do problema, temos:

$$\frac{\Delta V_A}{\Delta V_B} = \frac{V_{0A}}{V_{0B}} = \frac{\frac{\pi}{4} \cdot (4R)^2 \cdot L}{\frac{\pi}{4} \cdot (2R)^2 \cdot 2L} = \frac{2}{1}$$

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e (ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e (ou) do eletromagnetismo.

37 DILATAÇÃO DE LÍQUIDOS COM DILATAÇÃO DE RECIPIENTE

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, trabalharemos as situações em que há dilatação de líquido com dilatação de recipientes, mostrando quais as equações envolvidas no processo e como utilizar as constantes vinculadas.

Para ir além

- Simuladores de dilatação superficial.

<<http://www.if.ufrgs.br/~leila/simu.htm>>.

Acesso em: out/2018

Exercícios propostos

7. C

Analisando o gráfico, notamos que o volume da água e o volume do recipiente são iguais apenas a 4 °C. Portanto, se a água é colocada no recipiente a 4 °C, ela não transbordará. Em qualquer outra temperatura, acima ou abaixo desse valor, o volume da água é maior que o volume interno do recipiente, e, então, a água transbordará. A palavra apenas elimina a afirmativa [II].

8. E

O volume que extravasa (V') é a diferença entre a dilatação do mercúrio e a dilatação do recipiente de vidro.

Dados: $V_0 = 2,0 \cdot 10^2 \text{ cm}^3$; $\gamma_{\text{Hg}} = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$,
 $\gamma_{\text{vidro}} = \gamma_{\text{Hg}} = 4,0 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} = 0,4 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $\Delta\theta =$
 $= 100 \text{ }^\circ\text{C}$, $\Delta\theta = 100 \text{ }^\circ\text{C}$

$$V' = \Delta V_{\text{Hg}} - \Delta V_{\text{vidro}} = V_0 \cdot \gamma_{\text{Hg}} \cdot \Delta\theta - V_0 \cdot \gamma_{\text{vidro}} \cdot \Delta\theta =$$

$$V_0 \cdot \Delta\theta (\gamma_{\text{Hg}} - \gamma_{\text{vidro}}) \rightarrow V' = 2 \cdot 10^2 \cdot 100 (1,8 \cdot 10^{-4} -$$

$$- 0,4 \cdot 10^{-4}) = 2,8 \text{ cm}^3$$

9. B

a) antes da variação da temperatura, a razão entre a massa e o volume da esfera é igual à densidade do óleo diesel.

Correto, pois estão em equilíbrio.

b) se houver elevação da temperatura, a esfera tenderá a flutuar.

Incorreto. A força que impede a esfera de descer é o empuxo: $E = \text{dens}_{\text{liq}} \cdot V_{\text{liq_desl}} \cdot g$.

Se a temperatura aumenta, o volume da esfera aumenta; logo, o volume do líquido deslocado aumenta da mesma maneira. Porém, a densidade do óleo também se modifica, porque o volume do líquido aumenta, muito mais que o da esfera.

Assim, a densidade diminui muito mais do que o volume do líquido aumenta, diminuindo o empuxo. Como a força-peso da esfera é constante, a esfera tenderá a descer, e não a flutuar.

c) se houver elevação da temperatura, tanto o óleo diesel quanto a esfera sofrerão dilatação.

Correto.

d) caso haja diminuição da temperatura do sistema, a razão entre a massa e o volume da esfera se tornará menor do que a densidade do óleo diesel.

Correto. O volume de ambos diminui, mas o do óleo diesel diminui, proporcionalmente, muito mais. Assim, a densidade da esfera se tornará menor do que a do óleo.

e) se houver diminuição da temperatura do sistema, tanto o óleo diesel quanto a esfera diminuirão de volume.

Correto.

10. D

Para que o volume da parte vazia permaneça inalterado, a dilatação do recipiente deve ser igual à do mercúrio, ou seja

$$\Delta V_{\text{rec}} = \Delta V_{\text{real}} \Rightarrow V_{0 \text{ rec}} \cdot \gamma_{\text{rec}} \cdot \Delta\theta = V_{0 \text{ real}} \cdot \gamma_{\text{real}} \cdot \Delta\theta \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{0 \text{ rec}} \cdot \gamma_{\text{rec}} = V_{0 \text{ real}} \cdot \gamma_{\text{real}}$$

$$500 \cdot \gamma_{\text{rec}} = 200 \gamma_{\text{real}}$$

$$\gamma_{\text{rec}} = 2\gamma/5$$

11. C

$$\Delta V_{\text{rec}} = V_0 \cdot \gamma_{\text{rec}} \cdot \Delta\theta$$

$$\Delta V_{\text{rec}} = 1000 \cdot 10^{-5} \cdot 200 = 2 \text{ cm}^3$$

$$\Delta V_{\text{real}} = \Delta V_{\text{ap}} + \Delta V_{\text{rec}} = 34 + 2 = 36 \text{ cm}^3$$

12. D

Ambos dilatam, porém o coeficiente de dilatação da glicerina é maior que o do recipiente. Portanto, a variação no volume da glicerina é maior do que aquela do recipiente.

13. B

Um termômetro utilizando água não seria útil, pois a água sofre contração no intervalo de 0 a 4 °C, efeito chamado dilatação anômala da água.

14. Soma: $01 + 02 + 04 + 16 = 23$.

Afirmação incorreta: 08. A expressão da dilatação é $\Delta V = V_0 \gamma \Delta T$. A dilatação é diretamente proporcional ao coeficiente de dilatação térmica do material.

15. a) O recipiente B, porque se dilata menos.

b) O nível do líquido continuaria sendo o mesmo nos dois recipientes.

$$16. \Delta V_{\text{vap}} = V_{0\text{vap}} \Delta \theta$$

$$25 = 500 \cdot \gamma_{\text{ap}} \cdot 50 \Rightarrow \gamma_{\text{ap}} = 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\gamma_{\text{liq}} = \gamma_{\text{ap}} + \gamma_{\text{rec}} = 10^{-3} + 10^{-5} = 0,00101 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$17. \Delta V_{\text{real}} = \Delta V_{\text{ap}} + \Delta V_{\text{rec}}$$

$$\Delta V_{\text{real}} = V_0 \cdot \gamma_{\text{álcool}} \cdot \Delta \theta$$

$$\Delta V_{\text{real}} = 800 \cdot 1,8 \cdot 10^{-4} \cdot 50 = 7,2 \text{ mL}$$

$$\Delta V_{\text{rec}} = V_0 \cdot \gamma_{\text{rec}} \cdot \Delta \theta$$

$$\Delta V_{\text{rec}} = 800 \cdot 24 \cdot 10^{-5} \cdot 50 = 9,6 \text{ mL}$$

$$\Delta V_{\text{ap}} = \Delta V_{\text{real}} - \Delta V_{\text{rec}}$$

$$\Delta V_{\text{ap}} = 7,2 - 9,6 = -2,4 \text{ mL}$$

Estudo para o Enem

18. E

A garrafa quebra por conta da expansão que a água sofre sob temperaturas entre $1 \text{ } ^\circ\text{C}$ e $4 \text{ } ^\circ\text{C}$, enquanto o vidro da garrafa se contrai.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar,

avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e (ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e (ou) do eletromagnetismo.

19. A

O resfriamento do conjunto faz que a gota de óleo se contraia, de modo que sua densidade aumenta, levando-a a afundar.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e (ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e (ou) do eletromagnetismo.

20. E

Apesar do aumento do volume do combustível pela expansão térmica, a massa permanece a mesma.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e (ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e (ou) do eletromagnetismo.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO
SISTEMA DE ENSINO

38 DILATAÇÃO DE LÍQUIDOS SEM DILATAÇÃO DE RECIPIENTE

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, trabalharemos as situações em que há dilatação de líquido sem dilatação de recipientes, diferenciando do módulo anterior mostrando quais as equações envolvidas no processo e como utilizar as constantes vinculadas.

Para ir além

- Simuladores de dilatação superficial.
<<http://www.if.ufrgs.br/~leila/simu.htm>>.
Acesso out/2018

Exercícios propostos

7. C

A afirmação I é verdadeira, uma vez que a dilatação do mercúrio apresenta-se constante no gráfico.

Na afirmação II, para 10 mm de altura das colunas dos dois líquidos, o mercúrio marca 5 °C, enquanto a água marca 15 °C.

A afirmação III é verdadeira, já que se observa uma variação de dilatação aproximadamente constante na região de 18 °C e de proporção similar à do mercúrio.

8. E

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta\theta = 40\,000 \cdot 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot (10 - 30) = -880 \text{ L}$$

Portanto, 880 L de ar.

9. B

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta\theta = 4\,000 \cdot 1,0 \cdot 10^{-3} \cdot (15 - 35) = -80 \text{ L}$$

10. A

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta\theta = V_0 \cdot \gamma \cdot (\theta_f - \theta_i) = V_0 \cdot \gamma \cdot \theta_f - V_0 \cdot \gamma \cdot \theta_i$$

$$\Delta V + V_0 \cdot \gamma \cdot \theta_i = V_0 \cdot \gamma \cdot \theta_f$$

$$\theta_f = \frac{\Delta V + V_0 \cdot \gamma \cdot \theta_i}{V_0 \cdot \gamma}$$

$$\theta_f = \frac{0,48 + 60 \cdot 2,0 \cdot 10^{-4} \cdot 20}{60 \cdot 2,0 \cdot 10^{-4}} = 60 \text{ °C}$$

11. B

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta\theta = 120 \cdot 1,2 \cdot 10^{-3} (30 - 10) = 2,88 \text{ L}$$

12. A

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta\theta = 10\,000 \cdot 1,0 \cdot 10^{-3} (30 - 10) = 200 \text{ L}$$

13. C

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta\theta = 12\,000 \cdot 1,2 \cdot 10^{-3} (35 - 25) = 144 \text{ L}$$

14. $\gamma = 3\alpha$

$$\Delta V = A_0 \cdot h$$

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta\theta = V_0 \cdot 3\alpha (\theta_f - \theta_i)$$

$$\theta_f - \theta_i = \frac{A_0 \cdot h}{3 \cdot \alpha \cdot V_0}$$

$$\theta_f = 12 + \frac{1 \cdot 10^{-7} \cdot 6 \cdot 10^{-2}}{3 \cdot 40 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-5}} = 17 \text{ °C}$$

15.

Água:

$$\Delta V_{\text{água}} = V_0 \text{ água} \cdot \gamma_{\text{água}} \cdot \Delta\theta =$$

$$= \frac{V_0}{2} \cdot 2,1 \cdot 10^{-4} \cdot 20 = 2,1 \cdot 10^{-3} V_0$$

Álcool:

$$\Delta V_{\text{álcool}} = V_0 \text{ álcool} \cdot \gamma_{\text{álcool}} \cdot \Delta\theta =$$

$$= \frac{V_0}{2} \cdot 7,5 \cdot 10^{-4} \cdot 20 = 7,5 \cdot 10^{-3} V_0$$

$$\Delta V = \Delta V_{\text{álcool}} + \Delta V_{\text{água}} = (7,5 + 2,1) V_0 \cdot 10^{-3} = 9,6 \cdot 10^{-3} V_0$$

$$16. \Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta\theta \Rightarrow \gamma = \frac{\Delta V}{V_0 \cdot \Delta\theta} = \frac{40}{1000 \cdot 50} = 8 \cdot 10^{-4} \text{ °C}^{-1}$$

17.

Queremos $\Delta V = V_0$ para que o volume final seja $2V_0$. Assim,

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta\theta \Rightarrow \Delta\theta = \frac{\Delta V}{V_0 \gamma} = \frac{2V_0}{V_0 \cdot 10^{-3}} = 2000 \text{ °C}$$

Estudo para o Enem

18. D

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta\theta = 20\,000 \cdot 10^{-3} \cdot 30 = 600 \text{ L}$$

$$600 \cdot 1,60 \cdot 7 = 6\,720 \text{ reais}$$

Competência: Identificar a presença e aplicar as tecnologias associadas às ciências naturais em diferentes contextos.

Habilidade: Selecionar testes de controle, parâmetros ou critérios para a comparação de materiais e produtos, tendo em vista a defesa do consumidor, a saúde do trabalhador ou a qualidade de vida.

19. A

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta\theta = 14\,000 \cdot 10^{-3} \cdot 10 = 140 \text{ L}$$

Competência: Identificar a presença e aplicar as tecnologias associadas às ciências naturais em diferentes contextos.

Habilidade: Selecionar testes de controle, parâmetros ou critérios para a comparação de materiais e produtos, tendo em vista a defesa do consumidor, a saúde do trabalhador ou a qualidade de vida.

20. B

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta \theta = 40 \cdot 10^{-3} \cdot (32 - 17) = 0,6 \text{ L}$$

Competência: Identificar a presença e aplicar as tecnologias associadas às ciências naturais em diferentes contextos.

Habilidade: Selecionar testes de controle, parâmetros ou critérios para a comparação de materiais e produtos, tendo em vista a defesa do consumidor, a saúde do trabalhador ou a qualidade de vida.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

39 PROPAGAÇÃO TÉRMICA

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, introduzimos as formas de propagação de calor e suas consequências bem como as tecnologias que delas se utilizam.

Para ir além

Com a análise das formas de propagação de calor, e também com os conceitos já trabalhados até aqui, é possível sugerir a leitura e a discussão em sala de um artigo relacionado a essa temática.

Essa atividade pode ser trabalhada de modo a debater com os alunos as formas de se conceber calor no ensino de Ciências e o desenvolvimento do conhecimento científico.

- AXT, Rolando; BRÜCKMANN, Magale Elisa. *O conceito de calor nos livros de Ciências*. Porto Alegre, Instituto de Física-UFRGS.

<<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/download/9805/9041>>.

Acesso em: out. 2018.

Exercícios propostos

7. Calculando-se a área da geladeira para então calcular o fluxo térmico:

$$A = 2(0,4 \cdot 0,3 + 0,4 \cdot 0,8 + 0,3 \cdot 0,8) \Rightarrow A = 1,36 \text{ m}^2$$

Assim, para calcular o fluxo térmico, temos:

$$\phi = \frac{k \cdot A \cdot \Delta\theta}{e}$$

$$\phi = \frac{0,05 \cdot 1,36 \cdot (34 - 4)}{1,36 \cdot 10^{-2}} = 150 \text{ W/m}^2$$

8. Verdadeira. A temperatura é uma medida que ilustra a agitação das partículas.

Falsa. O calor é uma forma de energia que, de modo espontâneo, passa do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura.

Falsa. O processo de fusão ocorre de sólidos para líquidos.

Verdadeira. O processo de evaporação ocorre de líquidos para vapores e leva tempo para ser concluído.

Verdadeira. No equilíbrio térmico a temperatura dos corpos se unifica e, assim, deixa de haver fluxo de calor internamente ao sistema.

Verdadeira. A convecção ocorre com massas de ar (gases) e de líquidos.

Falsa. A caloria corresponde à quantidade de calor que altera a temperatura de 1 g de água em 1 °C.

9. A geladeira funciona a partir da convecção, fenômeno este em que o ar quente (menos denso) ocupa as partes mais altas do ambiente, e o ar frio (mais denso) ocupa as partes mais baixas.

10. 10 (01 + 04 + 05)

01) Verdadeira. O calor é energia térmica que flui do corpo com maior temperatura para o corpo com menor temperatura, até o equilíbrio térmico.

02) Falsa. A energia pode ser dissipada, nem sempre sendo mantida pelo corpo.

03) Falsa. Existem outras formas de propagação de calor, não apenas a condução.

04) Verdadeira. A temperatura é uma medida que ilustra o nível de agitação das partículas de um corpo.

05) Verdadeira. O trabalho realizado sobre ou por um sistema é um modo de transferir energia de dentro dele para fora, e vice-versa.

11. D

I. O plástico deve evitar a propagação do calor por condução.

II. O vácuo justamente impede que o calor se propague pelo ar, evitando, assim, a convecção e também a condução.

III. O revestimento espelhado evita a radiação do calor, pois mantém as ondas térmicas ao refleti-las dentro do recipiente.

12. D

Os gases de maior temperatura, por convecção, se concentrarão na maior altitude possível dentro de um recinto. Esses gases, com menor densidade por conta de sua dilatação, irão, portanto, subir.

13. B

O problema cita ondas eletromagnéticas, e sua forma de propagação é por radiação.

14. A

I. Correta. A convecção opera à medida que as massas de ar mais quentes se elevam.

II. Correta. A convecção opera justamente da forma indicada.

III. Correta. Essas camadas são de materiais pouco condutores de calor, isolando o meio interno da geladeira do meio externo.

IV. Correta. Se a geladeira não tivesse grades, as massas de ar mais quentes seriam impedidas de subir e possibilitar que os alimentos ali guardados tivessem seu calor roubado.

15. C

As temperaturas das camadas superiores de ar são mais quentes e menos densas. As camadas inferiores de ar são mais densas, por serem mais poluídas, e mais frias.

16. D

I. Convecção. Nas geladeiras mais modernas, não há a necessidade das grades como prateleiras, pois a circulação do ar frio é garantida pela injeção sistemática de ar frio que acontece na parte interna delas.

II. Radiação. A radiação é um fenômeno de propagação de ondas, que, portanto, não carregam massa, somente energia. Essas ondas podem se propagar no vácuo por não serem mecânicas.

III. Condução. A garrafa térmica lança mão de materiais que são maus condutores térmicos.

17. 05 (01 + 04)

Argumenta-se em torno dos itens falsos:

[02] Falso. Em uma temperatura externa de $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, haverá maior condução de calor pelas paredes da câmara fria.

[08] Falso. Na verdade, o processo descrito é chamado convecção.

[16] Falso. Na verdade, o processo descrito como aquele que é evitado pelas paredes espelhadas é o de radiação.

Estudo para o Enem

18. C

Sendo isolante térmico, o isopor evita a propagação de calor por condução. O papel-alumínio, sendo espelhado, evita a propagação de calor por radiação.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e (ou) do eletromagnetismo.

19. D

A propagação das ondas térmicas se dá por meio de radiação, e sua fonte é o Sol.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

20. B

O fenômeno descrito é chamado de convecção.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

40 CALOR SENSÍVEL

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, foram introduzidas as equações referentes ao cálculo da quantidade de calor sensível e apresentadas as situações adequadas ao uso delas. Além disso, o conceito e as matematizações referentes ao equilíbrio térmico também foram trabalhados e discutidos.

Para ir além

Com a análise das situações de equilíbrio térmico em situações em que não haja mudança de estado físico das substâncias, o professor pode sugerir a realização de experimentos como aquele em que se coloca um copo de papel com água acima da chama de uma vela e pergunta-se aos alunos o motivo pelo qual o copo não queima, e o que aconteceria se o copo estivesse vazio. Esse tipo de experimentação ajuda a compreender os calores específicos dos materiais, bem como a capacidade térmica deles.

O professor também pode explorar as possibilidades de indicar aos alunos vídeos sobre o tema, que se encontram, hoje, em grande número na internet, no YouTube, e, em seguida, requisitar que eles desenvolvam vídeos ou sequências de fotos dos experimentos que fizerem.

- SANTOS, Denise Ribeiro dos. Caderno de roteiros dos experimentos. *Laboratório de Física Geral II*. Campos dos Goytacazes, RJ: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2013.

<http://uenf.br/Uenf/Downloads/LCFIS_8991_1380660236.pdf>.

Acesso em: out. 2018.

- BALDEZ, Xambim. Balão que não estoura! In: *Ponto Ciência*, 17 jan. 2014.

<<http://pontociencia.org.br/experimentos/visualizar/balao-que-nao-estoura/1210>>.

Acesso em: out. 2018.

Exercícios propostos

7. a) Para a quantidade de calor, temos que:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow 1\,000 \text{ g} \cdot 1 \text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C}) \cdot (85 - 25) ^\circ\text{C} \therefore Q = 60\,000 \text{ cal}$$

Para a potência, temos que:

$$P = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{60\,000 \text{ cal}}{5 \text{ min} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}} \Rightarrow P = 200 \frac{\text{cal}}{\text{s}} \cdot \frac{4 \text{ W}}{1 \text{ cal/s}}$$

$$\therefore P = 800 \text{ W}$$

- b) Para o equilíbrio térmico, temos que:

$$Q_{\text{café}} = 100 \text{ g} \cdot 1 \text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C}) \cdot (\theta - 80) ^\circ\text{C} \therefore Q_{\text{café}} = 100 \theta - 8\,000 \text{ cal}$$

$$Q_{\text{leite}} = 200 \text{ g} \cdot 1 \text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C}) \cdot (\theta - 20) ^\circ\text{C} \therefore Q_{\text{leite}} = 200 \theta - 4\,000 \text{ cal}$$

$$Q_{\text{caneca}} = 100 \text{ cal}/^\circ\text{C} \cdot (\theta - 20) ^\circ\text{C} \therefore Q_{\text{caneca}} = 100 \theta - 2\,000 \text{ cal}$$

Somando-se as quantidades de calor e igualando-se essa somatória a zero:

$$\theta = \frac{14\,000}{400} \therefore \theta = 35 ^\circ\text{C}$$

8. Calculando-se a energia elétrica com base nos dados apresentados no contexto do problema:

$$E_{\text{el}} = Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta = \rho \cdot V \cdot c \cdot \Delta\theta$$

$$E_{\text{el}} = \frac{1\,500 \cdot 4 \cdot 10^3 \cdot 27}{3,6 \cdot 10^6} = 15 \text{ kWh}$$

9. A

Calculando-se os volumes:

$$d = \frac{m}{V} \therefore m = d \cdot V, \text{ então: } Q = d \cdot V \cdot c \cdot \Delta\theta$$

Assim, para a água quente:

$$Q_1 = 1 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \cdot 60 \text{ L} \cdot 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (38 - 42) ^\circ\text{C} \therefore Q_1 = -240 \text{ kcal}$$

E para a água fria:

$$Q_2 = 1 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \cdot V \cdot 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (38 - 18) ^\circ\text{C} \therefore Q_2 = 20 \cdot V \text{ kcal}$$

Dessa forma:

$$Q_1 + Q_2 = 0$$

$$-240 + 20V = 0 \Rightarrow V = \frac{240}{20} \therefore V = 12 \text{ L}$$

10. Calcula-se a quantidade de calor absorvida nesses 20 minutos:

$$P = \frac{Q}{\Delta t} = 40 = \frac{Q}{20}$$

$$Q = 800 \text{ cal}$$

Para o calor específico:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$$

$$800 = 100 \cdot c \cdot 40$$

$$C = 0,2 \text{ cal}/\text{g}^\circ\text{C}$$

Para a capacidade térmica:

$$C = m \cdot c = 100 \cdot 0,2 = 20 \text{ cal/}^\circ\text{C}$$

11. B

A área abaixo da reta no gráfico indica a quantidade de calor, por isso:

$$Q = (20 \cdot 50) + \frac{(50 \cdot 20)}{2} = 1500 \text{ cal}$$

12. B

Para o cálculo da energia gasta pela pessoa no intervalo de tempo de 5 dias, faz-se:

$$E = m \cdot g \cdot h = 80 \cdot 10 \cdot 25 = 20\,000 \text{ J.}$$

Por 5 dias, tem-se 100 000 J, que, em calorias, equivale a 25 000 cal.

Calculando-se a variação de temperatura capaz de ocasionar tal aumento na quantidade de calor:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$$

$$25\,000 = 1\,000 \cdot 1 \cdot \Delta\theta$$

$$\Delta\theta = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

13. B

Para o cálculo da quantidade de calor envolvida, faz-se:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 6 \cdot 10^{24} \cdot 0,5 \cdot (700 - 2700) = \\ = 6,0 \cdot 10^{27} \text{ kJ}$$

14. A

Para que ocorra o equilíbrio térmico, a soma dos calores doados e cedidos entre os dois blocos deve ser igual a zero. Assim, temos que:

$$Q_1 + Q_2 = 0$$

$$m \cdot c \cdot \Delta\theta_1 + m \cdot c \cdot \Delta\theta_2 = 0$$

E a temperatura de equilíbrio será a temperatura final para ambos os blocos. Portanto, para blocos de mesmo material e mesma massa:

$$(\theta_2 - 50) + (\theta_e - 100) = 0$$

$$\theta_e = 75 \text{ }^\circ\text{C}$$

15. C

Calcula-se a quantidade de energia térmica para tal mudança na temperatura dessa quantidade de água:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 1,3 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 100 = 520 \text{ J}$$

$$P = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{520}{3600} = 0,1444 \text{ W}$$

16. B

Se ambas as amostras receberam a mesma quantidade de calor, calcula-se essa quantidade pela amostra de ferro que teve sua temperatura elevada em $200 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta = m \cdot 0,11 \cdot 200 = 22 \text{ m}$$

Para a amostra de alumínio:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 22 \text{ m} = m \cdot 0,22 \cdot \Delta\theta$$

$$\Delta\theta = \frac{22}{0,22} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$$

17. A

Para que ocorra o equilíbrio térmico, a soma dos calores doados e cedidos entre os dois blocos deve ser igual a zero. Assim, temos que:

$$Q_1 + Q_2 = 0$$

$$m_1 \cdot c \cdot (\theta_e - \theta_{o1}) + m_2 \cdot c \cdot (\theta_e - \theta_{o2}) = 0$$

$$300 \cdot (\theta_e - 80) + 200 \cdot (\theta_e - 10) = 0$$

$$\theta_e = 52 \text{ }^\circ\text{C}$$

Estudo para o Enem

18. A

As bandejas possuíam a mesma temperatura, pois estavam em equilíbrio térmico com o laboratório. Como o alumínio tem calor específico maior que o plástico, a bandeja de alumínio recebe mais calor quando é tocada por um aluno e aparenta ser mais fria. Do mesmo modo, quando ela entra em contato com o gelo, ela fornece mais calor, portanto, o gelo derrete mais rápido nela. Por isso, dizemos que o alumínio possui maior condutividade térmica que o plástico.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidades: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

19. D

Indica-se a razão entre as quantidades de calor para as duas situações:

$$\frac{Q_{sq}}{Q_m} = \frac{m \cdot c \cdot \Delta\theta_{sq}}{m \cdot c \cdot \Delta\theta_m} = \frac{\Delta\theta_{sq}}{\Delta\theta_m}$$

Relacionando-se esse resultado com o cálculo da potência, temos:

$$P = \frac{Q}{\Delta t}$$

$$Q = P \cdot \Delta t$$

$$\frac{Q_{sq}}{Q_m} = \frac{\Delta\theta_{sq}}{\Delta\theta_m} = \frac{P_{sq} \cdot \Delta t_{sq}}{P_m \cdot \Delta t_m}$$

Pelo gráfico, observa-se que:

$$\frac{\Delta\theta_{sq}}{\Delta\theta_m} = \frac{P_{sq}}{P_m} = \frac{32}{12}$$

$$\frac{P_m}{P_{sq}} = \frac{3}{8}$$

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidades: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

20. D

Para calcular a quantidade de calor, temos que:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$$

$$0,9Q_t = 250 \cdot 4 \cdot 10^3 \cdot (38 - 20)$$

$$0,9Q_t = 18 \cdot 10^6$$

$$\therefore Q_t = 2 \cdot 10^7 \text{ J}$$

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidades: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

41 CALOR LATENTE

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, introduzimos as equações do cálculo da quantidade de calor latente e de temperatura de equilíbrio térmico.

Para ir além

Com a análise das quantidades de calor sensível e latente, além dos conceitos já trabalhados até aqui, o professor poderá sugerir a leitura conjunta de um artigo acadêmico que associa os calores específicos e latentes a climas regionais ou fenômenos naturais, como se encontra em:

PIVA, Everson dal; MOSCATI, Marley Cavalcante de Lima; GAN, Manoel Alonso. Papel dos fluxos de calor latente e sensível em superfície associado a um caso de ciclogênese na Costa Leste da América do Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 23, n. 4, p. 450-476, 2008.

<<http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v23n4/06.pdf>>.

Acesso em: out. 2018.

Exercícios propostos

7. D

Para obter-se água a 10°C é necessário que haja um equilíbrio térmico:

$$Q_{\text{ÁGUA}} + Q_{\text{FUSÃO GELO}} + Q_{\text{GELO/ÁGUA}} = 0$$

$$30000 \cdot 1 \cdot (10 - 25) + m_g \cdot 80 + m_g \cdot 1 \cdot (10 - 0) = 0$$

$$m_g = 5,0 \text{ kg}$$

8. Calculando-se a massa da substância através da descrição matemática do processo de fusão:

$$P = \frac{Q}{\Delta t}$$

$$Q = P \cdot \Delta t = 360 \cdot 20 = 7200 \text{ cal}$$

$$Q = m \cdot L = 7200 = m \cdot 6$$

$$m = \frac{7200}{6} = 1200 \text{ g}$$

Utilizando-se essa massa para os cálculos do estado líquido, observando-se o gráfico:

$$Q = P \cdot \Delta \cdot t = 360 (67,5 - 60) = 2700 \text{ cal}$$

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$$

$$2700 = 1200 \cdot c (400 - 325)$$

$$c = 0,03 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$$

9. A quantidade de calor total que se deve fornecer ao gelo é uma soma de quantidade de calor destinado a processos específicos, como segue:

$$Q_T = Q_{\text{GELO}} + Q_{\text{DERRET GELO}} + Q_{\text{GELO/ÁGUA}}$$

$$Q_T = 200 \cdot 0,5 \cdot [0 - (-20)] + 200 \cdot 80 + 200 \cdot 1 \cdot (50 - 0) = 28000 \text{ cal}$$

10. D

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta + m \cdot L = 200 \cdot 1 \cdot 75 + 200 \cdot 540 = 123000 \text{ cal}$$

11. Pelo gráfico, observa-se que a quantidade de calor envolvida na fusão é de 800 cal. A quantidade de calor envolvida no aquecimento da substância na fase sólida é de 400 cal, e o aquecimento da substância na fase líquida se inicia a partir de 1200 cal. Assim, pode-se calcular a massa envolvida no processo a partir do calor latente de fusão:

$$Q_L = m \cdot L = 800 = m \cdot 20$$

$$m = 40\text{g}$$

Para o calor específico sensível:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 400 = 40 \cdot c \cdot (35 - 10)$$

$$c = 0,4 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$$

12. $Q = m \cdot L \Rightarrow Q = 500 \cdot 80 \Rightarrow Q = 40000 \text{ cal}$

13. Soma: 02 + 04 + 08 = 14

Analisando-se as afirmativas, tem-se:

01) FALSA. O chocolate estará recebendo calor.

02) VERDADEIRA. O chocolate estará cedendo calor para o meio.

04) VERDADEIRA. Sendo:

$$P = \frac{m \cdot c \cdot \Delta\theta}{\Delta t}; \quad \frac{c}{P} = \frac{\Delta t}{m \cdot \Delta\theta}$$

Portanto, para uma massa fixa da substância, pode-se obter tal razão do gráfico.

08) VERDADEIRA. Observa-se no gráfico essa sequência.

14. A

Para que haja um equilíbrio térmico, temos que a soma dos calores cedidos e recebidos deve ser igual a zero. Assim:

$$Q_{\text{GELO}} + Q_{\text{FUSÃO}} + Q_{\text{GELO/ÁGUA}} + Q_{\text{ÁGUA}} = 0$$

A massa da água será de 500 g, pois para a água $0,5 \text{ L} = 0,5 \text{ kg}$.

Assim:

$$n \cdot 5 \cdot 0,5 \cdot [0 - (-10)] + n \cdot 5 \cdot 80 + n \cdot 5 \cdot (15 - 0) + 500 \cdot 1 \cdot (15 - 25) = 0$$

$$25n + 400n + 75n = 5000$$

$$n = 10$$

15. B

Para o equilíbrio térmico, a soma dos calores cedidos e recebidos deverá ser igual a zero. Assim:

$$Q_{\text{FUSÃO GELO}} + Q_{\text{ESFRIA ÁGUA}} = 0$$

$$30 \cdot 80 + 120 \cdot 1 \cdot (0 - \theta) = 0$$

$$2400 + (-120\theta) = 0$$

$$\theta = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

16. D

Se na etapa A a substância estava na fase sólida, isso significa que na fase D estará na fase de vapor.

17. A

$$Q = m \cdot L \Rightarrow L = \frac{Q}{m} \Rightarrow L = \frac{1000 - 300}{10} \Rightarrow L = 70 \text{ cal/g}$$

Estudo para o Enem

18. B

A potência será dada pela soma dos calores dividida pelo tempo.

$$E = P \cdot \Delta t = Q_1 + Q_2$$

Para o aquecimento da água até $100 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$Q_1 = m \cdot c \cdot \Delta T \Rightarrow Q_1 = 1 \text{ kg} \cdot 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (100 - 25) \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\therefore Q_1 = 315 \text{ kJ}$$

Para a mudança de fase do estado líquido para a vaporização, temos:

$$Q_2 = m \cdot L \Rightarrow Q_2 = 1 \text{ kg} \cdot 2256 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \therefore Q_2 = 2256 \text{ kJ}$$

Assim, no total a quantidade de calor será:

$$E = Q_1 + Q_2 \Rightarrow E = 315 + 2256 \therefore E = 2571 \text{ kJ}$$

Para o cálculo do tempo total:

$$E = P \cdot \Delta t \Rightarrow \Delta t = \frac{E}{P} \Rightarrow \Delta t = \frac{2571 \text{ kJ}}{2000 \text{ W}} = \frac{2571 \text{ kJ}}{2 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta t = 1285,5 \text{ s} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \therefore$$

$$\therefore \Delta t = 21,425 \text{ min}$$

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidades: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

19. D

[A] Falsa. O gráfico nos mostra que a fusão acontece a $50 \text{ }^\circ\text{C}$, e essa temperatura independe da massa do material.

[B] Falsa. O calor latente de fusão L é dado por:

$L = \frac{Q}{m}$, em que Q é a quantidade de calor usada na fusão e m é a massa do material.

$$L = \frac{Q}{m} \Rightarrow L = \frac{(200 - 100) \text{ cal}}{20 \text{ g}} \therefore L = 5 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$$

[C] Falsa. A $100 \text{ }^\circ\text{C}$ não é possível definir se há mais uma mudança de fase, pois deveria, para tanto, haver uma variação da inclinação da curva.

[D] Verdadeira. Rever o cálculo da alternativa b).

[E] Falsa. Conforme a alternativa a), a temperatura de fusão não depende da massa.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidades: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

20. B

$$Q_1 = m \cdot L \Rightarrow Q_1 = 10 \cdot 80 \Rightarrow Q_1 = 800 \text{ cal}$$

$$Q_2 = m \cdot c \cdot \Delta \theta \Rightarrow Q_2 = 10 \cdot 1 \cdot (40 - 0) \Rightarrow Q_2 = 400 \text{ cal}$$

$$Q_t = Q_1 + Q_2 \Rightarrow Q_t = 1200 \text{ cal} \Rightarrow Q_t = 4800 \text{ J}$$

$$P = \frac{Q}{\Delta t} \Rightarrow P = \frac{4800}{10 \cdot 60} \Rightarrow P = 8 \text{ J/s} \Rightarrow P = 8 \text{ W}$$

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidades: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

42 MUDANÇA DE FASE

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, introduzimos as conceituações sobre as fases da matéria, a grande influência da pressão na mudança de fase e as curvas de fusão: sólido-líquido; de vaporização: líquido-vapor; de sublimação: sólido-vapor, indicando as formas de se interpretar os diagramas de fase e os raciocínios pertinentes a ele.

Para ir além

Com a análise dos diagramas de fase e de suas formas de interpretação, além dos conceitos já trabalhados até aqui, é possível sugerir a leitura e a discussão em sala de artigo acadêmico relacionado. Ainda que de teor complexo, pode demonstrar aos alunos a importância do entendimento das bases conceituais desse tema. Esse tipo de atividade permite ao aluno vislumbrar o universo científico de conhecimentos relacionados ao tema, situação, contudo, o estudo no nível desenvolvido até aqui.

Uma sugestão de artigo acadêmico é o que segue:

<<http://www.fem.unicamp.br/~caram/capitulo9.pdf>>

Exercícios propostos

7. a) A temperatura da água fervente será menor no Pico da Neblina.

b) No caso da maior altitude, há menor pressão e, conseqüentemente, a temperatura de ebulição diminui. Quanto maior a pressão, maior a temperatura de ebulição.

8.

VERDADEIRA. Calculando-se a temperatura na escala Celsius:

$$\frac{\theta_C}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9} \Rightarrow \frac{\theta_C}{5} = \frac{104 - 32}{9} \Rightarrow \frac{\theta_C}{5} = \frac{72}{9} \Rightarrow \theta_C = 40 \text{ }^\circ\text{C}.$$

VERDADEIRA. O recipiente que contém o líquido também se dilata; contudo, o líquido pode se dilatar mais do que o frasco. Assim, a dilatação real do líquido corresponde à soma das dilatações aparente e do recipiente.

FALSA. As camadas quentes, menos densas, sobem, e as frias, mais densas, descem.

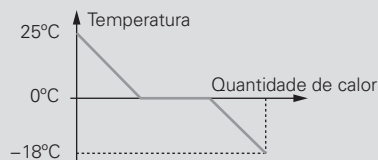
VERDADEIRA. A mudança de fase ocorre em temperatura constante e corresponde a pressões específicas.

VERDADEIRA. Com o aumento da temperatura, aumenta-se a pressão, já que as moléculas, mais agitadas, incidem mais vezes e com mais força nas paredes de um recipiente.

9. Para a água, essa temperatura e essa pressão correspondem à condição para fusão. Assim, o calor

recebido será dedicado à fusão, para somente então ser dedicado ao aumento de temperatura.

10.



11. 69 (01 + 04 + 64).

[01] Correta.

[02] Incorreta. Nesse ponto P, a água coexiste em suas três fases.

[04] Correta.

[08] Incorreta. As velocidades de mudança de fase para a ebulição e para a calefação estão trocadas. Na verdade, o processo de calefação corresponde a uma velocidade maior do que o processo de ebulição.

[16] Incorreta. Na fusão há absorção de calor, o que justifica uma maior velocidade nas moléculas; na solidificação, há liberação de calor, o que justifica uma menor agitação das moléculas.

[32] Incorreta. A sublimação corresponde ao processo em que a substância passa da fase sólida para a gasosa, bruscamente.

[64] Correta.

12. C

[V] A mudança de estado físico impõe troca de calor com o ambiente.

[F] A água proveniente do suor simboliza a troca de calor entre nosso corpo e o ambiente, absorvendo calor do nosso corpo para evaporar.

[V] Pressão e temperatura são diretamente proporcionais.

13. C

II, III e IV representam os processos em que há temperatura constante e os dois momentos (um antes e um depois de III) que indicam o limiar dos processos de mudança de estado físico.

14. B

A sublimação corresponde ao processo em que a substância muda do estado físico sólido para o gasoso bruscamente.

15. A

Nesse caso, o processo envolve apenas a evaporação da água.

16. D

Observando-se os gráficos, indica-se que as temperaturas de condensação a e de solidificação correspondem a 444,6 °C e 119 °C, respectivamente.

17. D

[A] Errada. Para temperaturas no intervalo apontado, o corpo recebe 50 kcal/m²; no entanto, perderia de 90 a 130 kcal/m².

[B] Errada. Nessa temperatura, a perda de calor por evaporação é cerca de 10 kcal/m² e a perda de calor por radiação e convecção é cerca de 110 kcal/m².

[C] Errada. Observa-se no gráfico que a maior perda de calor ocorre próximo a 16 °C, sendo cerca de 130 kcal/m² por radiação e convecção e 10 kcal/m² por evaporação.

[D] Certa.

[E] Errada. Nessa temperatura quase não há perda de calor por radiação ou convecção, mas há evaporação.

Estudo para o Enem

18. B

O funcionamento das usinas nucleares depende da água do rio, que condensa os vapores a acionar os geradores. Assim, depois disso, a água, como em um ciclo, retorna ao rio, com o que chamamos de poluição térmica.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidades: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos

inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

19. C

O aquecimento global acarretará o derretimento (fusão) do gelo que se encontra fora do oceano, principalmente sobre o continente antártico.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidades: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

20. C

Analisando-se as alternativas, observa-se que, na alternativa A, tem-se uma afirmativa que não pode ser generalizada da forma como foi colocada. Pode haver uma pressão diferenciada que torne essa afirmativa mentirosa. A alternativa B não corresponde aos conhecimentos científicos sobre o tema, pois há dependência, sim, da pressão. A alternativa C expressa o conceito de calor latente de vaporização da água na temperatura correta.

No caso da alternativa D, não é possível estabelecer-se uma relação da afirmativa com a conceitualização estudada. Por fim, na alternativa E, observa-se que o tempo de vaporização dependerá da massa de água que se deseja vaporizar.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidades: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

43 MUDANÇA DE FASE COM CÁLCULO DE MASSA

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, estudamos as trocas de calor durante uma mudança de fase, sendo possível calcular a massa de uma substância que passa por tal mudança. Foram apresentados também os nomes dados às diversas transições, como fusão, evaporação, condensação, solidificação, sublimação e sublimação inversa.

Para ir além

Já estudamos as trocas de calor durante uma mudança de fase e já vimos que o estado que possui maior grau de agitação das moléculas é o gasoso. Mas o que será que acontece se fornecermos ainda mais energia para um gás?

No vídeo a seguir, é possível aprender um pouco sobre o quarto estado da matéria, o plasma.

<<http://g1.globo.com/pernambuco/videos/v/o-plasma-e-o-quarto-estado-fisico-da-materia/2919976/>>.

Acesso em: out. 2018.

Exercícios propostos

7. D

$$Q_{\text{sucro}} + Q_{\text{gelo}} + Q_{\text{fusão}} + Q_{\text{água}} = 0$$

$$(m \cdot c \cdot \Delta\theta)_{\text{sucro}} + (m \cdot c \cdot \Delta\theta)_{\text{gelo}} + (m \cdot L)_{\text{gelo}} +$$

$$+ (m \cdot c \cdot \Delta\theta)_{\text{água}} = 0$$

$$194(T - 30) + 30 \cdot 0,5(0 - (-4)) + 30 \cdot 80 + 30(T - 0) = 0$$

$$194T - 5\,820 + 60 + 2\,400 + 30T = 0$$

$$224T = 3\,360$$

$$T = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

8. D

$$Q = m \cdot L \rightarrow Q = 500 \cdot 80 = 40\,000 \text{ cal}$$

9. B

$$Q_{\text{água}} = Q_{1\text{gelo}} + Q_{2\text{gelo}} = 0$$

$$m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot \theta + m_{\text{gelo}} \cdot L + m_{\text{gelo}} \cdot c_{\text{gelo}} \cdot \Delta\theta = 0$$

$$300 \cdot (\theta_e - 30) + 100 \cdot 80 + 100 \cdot 1 \cdot (\theta_e - 0) = 0$$

$$400 \cdot \theta_e - 1000 = 0$$

$$\theta_e = \frac{1000}{400} = 2,5^\circ$$

10. C

Para um mesmo material, o calor de fusão é o mesmo, pois este independe do volume ou da massa do objeto.

11. D

Para o gelo derreter, é necessária a seguinte quantidade de calor:

$$Q = m \cdot c_{\text{gelo}} \cdot \Delta\theta = 1 \cdot 10^3 \cdot 0,5 \cdot 100 = 50 \text{ kcal}$$

O calor fornecido foi de 150 kcal; logo, há um excedente de 100 kcal para converter o gelo em água e, talvez, aquecê-la. A quantidade de calor necessária para fundir todo o gelo é:

$$Q = m \cdot L = 1 \cdot 10^3 \cdot 80 = 80 \text{ kcal}$$

Assim, ainda há um excedente de 30 kcal para aquecer o gelo convertido em água. O gráfico que corresponde aos três processos é o da alternativa D.

12. D

Sabemos que a quantidade de calor sensível pode ser calculada por $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$.

Assim, será preciso calcular a massa de água presente na piscina:

$$V = \text{comprimento} \times \text{largura} \times \text{altura}$$

$$V = 50 \cdot 25 \cdot 2 = 2\,500 \text{ m}^3 \text{ ou } 2,5 \cdot 10^9 \text{ cm}^3$$

Dado $\rho_{\text{água}} = 1 \text{ g/cm}^3$, a massa de água será:

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho \cdot V$$

$$m = 1 \cdot 2,5 \cdot 10^9 \rightarrow m = 2,5 \cdot 10^9 \text{ g.}$$

$$\text{Portanto, } Q = 2,5 \cdot 10^9 \cdot 1 \cdot (25 - 20)$$

$$Q = 1,25 \cdot 10^{10} \text{ cal.}$$

Sabendo que $1 \text{ cal} = 4 \text{ J}$,

$$Q = 5 \cdot 10^{10} \text{ J.}$$

13. A

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$$

$$Q_1 = 750 \cdot 1 \cdot (90 - 0) \rightarrow Q_1 = 65,5 \cdot 10^3 = 65,5 \text{ kcal}$$

$$Q_2 = m \cdot L = 750 \cdot 80 = 60 \text{ kcal}$$

Como a água cedeu 130 kcal, a temperatura é menor que $0 \text{ } ^\circ\text{C}$. Desse modo, ela se encontra na forma de gelo.

14.

$$\text{a) } Q_T = (m c \Delta\theta)_c + (m c \Delta\theta)_{\text{água}}$$

$$Q_T = 100 \cdot 0,2 \cdot 30 + 200 \cdot 1 \cdot 30 = 6600 \text{ cal}$$

b)

$$Q_V = m c_v (-20) + m L + m c (-50)$$

$$Q_V = m \cdot 0,5(-20) + m(-540) + m \cdot 1(-50)$$

$$Q_V = -600 \text{ m}$$

$$\sum Q = 0$$

$$Q_T + Q_v = 0 \rightarrow 6600 - 600 m = 0 \rightarrow m = 11 \text{ g}$$

15.

A energia dissipada (E_d) pelo trem na frenagem é igual ao valor da energia cinética inicial (E_c). Ou seja:

$$E_d = E_c = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

$$E_d = \frac{(100 \cdot 10^3) \cdot \left(\frac{72}{3,6}\right)^2}{2} = 200 \cdot 10^5 \text{ J}$$

Igualando a equação do calor a ser fornecido à água com o valor da energia dissipada, pode-se encontrar a quantidade de massa de água existente:

$$(200 \cdot 10^5) \cdot (0,24 \text{ cal}) = m \cdot (c \cdot \Delta\theta + L) \rightarrow$$

$$\rightarrow m = \frac{4,8 \cdot 10^6}{1 \cdot 80 + 540} = 7,74 \text{ kg}$$

16.

a) Neste caso, o calor latente é igual ao calor sensível do líquido.

$$M_g \cdot L_f = M_{liq} \cdot C_{liq} \cdot \Delta T$$

Isolando a massa do líquido e substituindo os valores:

$$M_{liq} = \frac{M_g \cdot L_f}{C_{liq} \cdot \Delta T} = \frac{5 \cdot 80}{1 \cdot (28 - 8)} = 20 \text{ kg}$$

b) O calor trocado pela água resultante do derretimento do gelo é dado pelo calor sensível.

$$Q_s = m \cdot c \cdot \Delta T = 5 \cdot 1 \cdot (28 - 0) = 5 \cdot 28 = 140 \text{ kcal}$$

17.

$$a) Q_{\text{gelo}} = m \cdot c_g \cdot \Delta\theta = 20 \cdot 2 \cdot 100 \cdot 10 = 4,2 \cdot 10^5 \text{ J}$$

$$b) Q = Q_{\text{fusão}} + Q_{\text{água}} = m \cdot L_f + m \cdot c_a \cdot \Delta\theta =$$

$$= 20 \cdot 300 + 20 \cdot 4 \cdot 200 \cdot 20 = 7,68 \cdot 10^6 \text{ J}$$

Exercícios para o Enem

18. B

A água utilizada para condensar o vapor que aciona os geradores é despejada de volta ao rio, porém aquecida pela troca de calor, provocando a poluição térmica.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidades: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

19. D

A água contida nos reatores é aquecida através da energia térmica gerada pelo processo de fissão atômica. O aquecimento da água faz que ela vaporize, o que aumenta a pressão dentro do reator, de forma que tal vapor pode ser utilizado para acionar uma bobina.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidades: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

20. B

$$Q = m \cdot L$$

$$1,6 \cdot 10^{22} = m \cdot 320000 \Rightarrow m = 50 \cdot 10^{15} \text{ kg} = 50$$

trilhões de toneladas

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidades: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

44 DIAGRAMA DE FASE

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, estudamos os elementos e as características do diagrama de fase, vimos as curvas de fusão, vaporização e sublimação e compreendemos os efeitos da temperatura e da pressão sobre o estado físico da matéria.

Para ir além

- Para conhecer um pouco mais sobre o diagrama de fases e compreender suas características, pode-se utilizar um simulador de estados da matéria.

<<https://phet.colorado.edu/pt/simulation/legacy/states-of-matter>>.

Acesso em: out. 2018.

- No vídeo a seguir, há uma demonstração do uso do simulador, sendo explicados alguns pontos importantes estudados nesta aula.

<<https://www.youtube.com/watch?v5chM7vw6RwPI>>.

Acesso em: out. 2018.

Exercícios propostos

7. D

Afirmção 1: verdadeira

Afirmção 2: falsa

Calor: energia térmica que passa, de maneira espontânea, do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura.

Afirmção 3: falsa

Fusão: mudança de estado físico sofrida por um sólido ao absorver certa quantidade de calor.

Afirmção 4: verdadeira

Afirmção 5: verdadeira

Afirmção 6: verdadeira

Afirmção 7: falsa

Caloria: quantidade de calor necessária para que 1 g de água tenha sua temperatura alterada em 1 °C.

8. A

A sublimação é o processo de mudança do estado sólido para o estado gasoso. Em condições ambientes de temperatura e pressão, o CO₂ em estado sólido (gelo seco) sofre sublimação.

Alternativa [B]: fusão

As demais alternativas referem-se a processos químicos.

9. C

Para que a água na xícara não seja vaporizada na produção do café, a temperatura T_A deve ser de 100 °C, pois, após a redução de pressão, ela estaria no limite da vaporização na pressão de 1 atm.

2. Para que o líquido já saia da caldeira B como um gás, T_B ≅ 180 °C, ou seja, a caldeira B terá seu ponto de operação de 1 MPa e 180 °C em cima da curva de vaporização do líquido.

Dessa forma, pode-se concluir que a diferença de temperatura entre T_A e T_B é de 80 °C.

10. C

Primeiro, a água sofre solidificação, passando da fase líquida para a sólida, processo indicado pela seta 2. Em seguida, o gelo sofre sublimação, passando da fase sólida para vapor, processo indicado pela seta 3.

11. D

Ocorre sublimação, o que valida a afirmação I.

A sublimação só pode ocorrer em pressão inferior à pressão do ponto triplo, o que valida a afirmação II.

A afirmação III estabelece uma relação direta entre fusão e ponto triplo, o que é incorreto.

12. B

A sublimação é a passagem direta do estado sólido para o estado de vapor. Pelo gráfico, isso pode ocorrer pela trajetória Y, com aumento da temperatura sob pressão constante, abaixo da pressão do ponto triplo. Também é possível acontecer pela trajetória U, com redução de pressão à temperatura constante, abaixo da temperatura do ponto triplo.

13.

a1) possuem fase sólida mais densa que a fase líquida.

a2) possuem fase sólida menos densa que a fase líquida.

b) T é o ponto triplo e C é o ponto crítico.

c1) a substância irá sublimar do estado sólido para o gasoso.

c2) a substância irá condensar para o estado líquido, podendo vir até a solidificar-se.

14. a) Sólido, líquido, gasoso.

b) A figura II representa a substância em processo de fusão, pois, com a elevação da temperatura, as ligações entre as partículas no estado sólido são superadas pela energia cinética delas, de maneira que elas passam a se movimentar mais livremente.

15. A: Equilíbrio entre as fases sólida e gasosa.

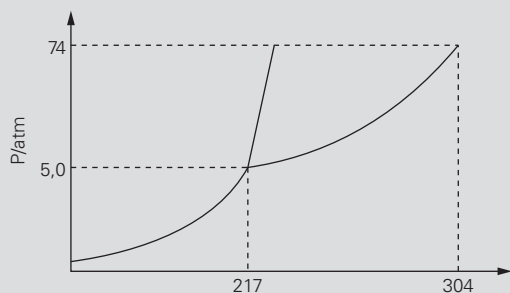
B: Ponto triplo: equilíbrio entre as fases sólida, líquida e gasosa.

C: Equilíbrio entre as fases sólida e líquida.

D: Equilíbrio entre as fases líquida e gasosa.

E: Ponto crítico, no qual a temperatura é muito elevada e a pressão também. Nesse ponto, não se distingue mais gás líquido de gás.

16.



17. D

As opções a) e b) são incorretas, pois a água estaria no estado gasoso a baixas temperaturas. A opção c) apresenta aumento de temperatura de fusão com o aumento de pressão, o que não ocorre na água.

Estudo para o Enem

18. E

A temperatura mantém-se constante durante a mudança de fase. O fogo alto só fará que a água seque mais rapidamente.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidades: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos.

cos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

19. B

A temperatura de ebulição da água aumenta com o aumento da pressão. Como a pressão do vapor dentro da panela aumenta, a temperatura de ebulição aumenta e o cozimento é mais rápido.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidades: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

20.

a) Na cidade A, onde a pressão a ser exercida na água para que ocorra a liquefação é menor.

b) Como B está a aproximadamente 2400 m de altitude, a pressão atmosférica é menor, de modo que a temperatura de fusão da água será maior que em A, e a temperatura de ebulição será menor.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidades: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

MATERIAL DE ENSINO
SISTEMA DE ENSINO

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

FÍSICA 3

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

17 ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES EM SÉRIE E EM PARALELO

Comentário sobre o módulo

Professor, neste módulo foi estudada a associação de resistores em série e em paralelo. Encontrar os resistores equivalentes em aplicações requer relações matemáticas, como as leis de Ohm. Busque relacionar esse estudo com o cotidiano do aluno, trazendo exemplos reais, como o de um pisca-pisca de Natal.

Para ir além

- É possível montar o próprio circuito em um simulador.

<https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab>

Acesso em: 4 out. 2018.

- Vídeo que mostra ligações de lâmpadas em série e em paralelo.

<<https://www.youtube.com/watch?v56c4PTdrZNsg>>

Acesso em: 4 out. 2018.

- Sugestão de montagem de experimento para associação de resistores em série e em paralelo.

<<http://www2.fc.unesp.br/experimentosdefisica/ele03.htm>>

Acesso em: 4 out. 2018.

Exercícios propostos

7. Como a corrente é a mesma para as duas lâmpadas, a que tiver maior resistência elétrica brilhará mais, pois $P = R \cdot i^2$. Assim, como a lâmpada L_B terá maior resistência, ela brilhará mais.

8.

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R}$$

$$\frac{1}{5} = \frac{2R}{R^2}$$

$$R = 10 \Omega$$

9. A

$$U_T = U_1 + U_2 + U_3 + U_4$$

Como as lâmpadas têm as mesmas características, a tensão será a mesma em cada resistor. Portanto:

$$U_1 + U_2 + U_3 + U_4 = U$$

$$U_T = 4U$$

$$220 = 4U$$

$$U = \frac{220}{4}$$

$$U = 55 \text{ V}$$

10. E

$$R_{eq} = 10 + 10 = 20 \Omega$$

Encontrando a ddp do circuito:

$$U = R \cdot i$$

$$U = 10 \cdot 0,4$$

$$U = 4 \text{ V}$$

Encontrando a potência:

$$P = \frac{U^2}{R_{eq}} = \frac{4^2}{10} = 0,8 \text{ W}$$

11. $U = R \cdot i \Rightarrow 220 = R \cdot 10 \cdot 10^{-3} \Rightarrow R = 2,2 \cdot 10^4 \Omega$

12. C

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{4R}$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{4R + R}{R \cdot 4R} = \frac{5R}{4R^2} = \frac{5}{4R}$$

$$R_{eq} = \frac{4R}{5} = 0,8R$$

13. No circuito AB, a associação é em série; portanto, $R_{eq} = 2R$.

No circuito CD, a associação é em paralelo; portanto, $R_{eq} = R/2$.

Circuito AB

$$U = R \cdot i$$

$$60 = 2R \cdot i_{AB}$$

$$i_{AB} = \frac{30}{R}$$

Circuito CD

$$U = R \cdot i$$

$$60 = \frac{R}{2} i_{CD}$$

$$i_{CD} = \frac{120}{R}$$

Como a diferença entre as correntes totais é igual a 9 A, temos:

$$i_{CD} - i_{AB} = 9$$

$$\frac{120}{R} - \frac{30}{R} = 9$$

$$\frac{90}{R} = 9$$

$$R = 10 \Omega$$

14. C

$$U = R \cdot i \Rightarrow R = \frac{U}{i}$$

Adotando os pontos (40 V; 0,2 A), temos:

$$R_1 = \frac{U}{i_1} = \frac{40}{0,2} = 200 \Omega$$

$$P_1 = R_1 \cdot i_1^2 = 200 \cdot 0,04 \Rightarrow P_1 = 8 \text{ W}$$

Adotando os pontos (40 V; 0,1 A), temos:

$$R_2 = \frac{U}{i_2} = \frac{40}{0,1} = 400 \Omega$$

$$P_2 = R_2 \cdot i_2^2 = 400 \cdot 0,01 \Rightarrow P_2 = 4 \text{ W}$$

Logo, P_{total} é 12 W

15. C

Na situação anterior à mudança, temos:

$$i = \frac{P}{U} = \frac{220}{110} = 2 \text{ A}$$

Na nova instalação, o resistor a ser ligado ao cardiógrafo deve consumir a ddp adicional para que o equipamento esteja sujeito à mesma ddp de 110 V anterior, portanto:

$$U = 240 - 110 = 130 \text{ V}$$

Dessa forma, o resistor deve ser:

$$R = \frac{U}{i} = \frac{130}{2} = 65 \Omega$$

A potência consumida é $P = R \cdot i^2$:

$$P = R \cdot i^2 = 65 \cdot 2^2 = 65 \cdot 4 = 260 \text{ W}$$

16. Quando ligados em paralelo, a tensão é a mesma, então:

$$P_1 = 100 \text{ W}$$

$$P_2 = 200 \text{ W}$$

$$P_3 = 50 \text{ W}$$

$$P = \frac{U^2}{R} \quad U^2 = P \cdot R = P_1 \cdot R_1 = P_2 \cdot R_2 = P_3 \cdot R_3$$

$$P_1 \cdot R_1 = P_2 \cdot R_2$$

$$100 \cdot R_1 = 200 \cdot R_2$$

$$R_2 = \frac{R_1}{2}$$

$$P_1 \cdot R_1 = P_3 \cdot R_3$$

$$100 \cdot R_1 = 50 \cdot R_3$$

$$R_3 = 2R_1$$

Quando ligados em série, tem-se que a corrente é constante, então:

$$P = R \cdot i^2 \quad i^2 = \frac{P}{R} \quad \frac{P_2}{R_2} = \frac{P_3}{R_3} \quad \frac{P_2}{R_1/2} = \frac{P_3}{2R_1} \quad P_2 = \frac{P_3}{4}$$

Assim, a lâmpada com maior resistência terá maior potência; logo, haverá vantagem para o estudante que utilizar a lâmpada de 50 W.

17. a) De acordo com o enunciado, R_A e R_B são diferentes.

Dessa forma, para que tenham a mesma tensão, devem estar associados em paralelo.

$$\text{b) } \frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{30} + \frac{1}{60} = \frac{30+60}{30 \cdot 60} = \frac{90}{30 \cdot 60} = \frac{1}{20}$$

$$R_{\text{eq}} = 20 \Omega$$

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{12^2}{20} = \frac{144}{20} = 7,2 \text{ W}$$

Estudo para o Enem

18. C

Com a chave fechada no ponto A, a resistência equivalente dos resistores em paralelo vale 2 k Ω . Por sua vez, quando associado em série com o resistor de 4 k Ω , forma uma resistência equivalente de 6 k Ω .

Competência: Identificar a presença e aplicar as tecnologias associadas às ciências naturais em diferentes contextos.

Habilidade: Dimensionar circuitos ou dispositivos elétricos de uso cotidiano.

19. C

Como as lâmpadas são iguais, podemos considerar R a resistência de cada lâmpada. Ligando a chave na posição A, não passará corrente pela lâmpada 2, e as lâmpadas 1 e 3 estarão em paralelo, de forma que a R_{eq} será $\frac{R}{2}$. Se ligarmos a chave

na posição B, as lâmpadas 1 e 3 continuam em paralelo, mas estarão em série com a lâmpada 2. Nesse caso, verifica-se que o resistor equivalente

será $\frac{3R}{2}$ ($\frac{R}{2} + R$). A lâmpada ligada com a chave na

posição A terá menor resistência equivalente em relação à chave na posição B. Assim, a lâmpada 1 terá maior corrente quando a chave estiver ligada na posição A, e, portanto, a lâmpada 1 brilhará mais na posição A, já que $P = R \cdot i^2$.

Competência: Identificar a presença e aplicar as tecnologias associadas às ciências naturais em diferentes contextos.

Habilidade: Dimensionar circuitos ou dispositivos elétricos de uso cotidiano.

20. A

Como as correntes I_A e I_E correspondem às correntes totais do circuito, então $I_A = I_C$. Como as lâmpadas possuem a mesma resistência, então $I_C = I_D$.

Competência: Identificar a presença e aplicar as tecnologias associadas às ciências naturais em diferentes contextos.

Habilidade: Dimensionar circuitos ou dispositivos elétricos de uso cotidiano.

18 ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES EM SÉRIE E EM PARALELO

Comentário sobre o módulo

Professor, neste módulo foram estudadas associações mistas de resistores, incluindo as leis da corrente e da tensão de Kirchhoff. Auxilie os alunos a identificar malhas e nós, fundamentais para a aplicação dessas leis.

Para ir além

- Simulador de um circuito elétrico
<https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab>
Acesso em: out. 2018.

FUJITAKI, Kazuhiro. *Guia Mangá de eletricidade*. São Paulo: Novatec, 2010.

GRAF (Grupo de Reelaboração do Ensino de Física). *Física 3: eletromagnetismo*. São Paulo: Edusp, 1998.

Exercícios propostos

7. A

$$R_1 = R_2 = R_3 = R$$

R_1 e R_2 estão em paralelo, logo:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} = \frac{R+R}{R^2} = \frac{2R}{R^2} \quad R_{eq} = \frac{R}{2}$$

Logo, $\frac{R}{2}$ está em série com R

$$R_{eq} = \frac{R}{2} + R = 1,5R$$

8. C

Temos R e R em série. Logo,

$$R_{eq} = R + R = 2R$$

$2R$ está em paralelo com R , logo:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{2R} + \frac{1}{R} = \frac{R+2R}{2R \cdot R} = \frac{3R}{2R^2} \quad \frac{2R}{3}$$

9. Como a corrente total pode ser até 30 A e a diferença de potencial é 110 V, temos que a potência total do circuito é dada por: $P = i \cdot U$.

$$P = 30 \cdot 110 \Rightarrow P = 3300 \text{ W}$$

Assim, como cada lâmpada tem 100 W, temos que:

$$\frac{3300}{100} = 33 \text{ lâmpadas}$$

10. C

Como é feita a ligação do fio metálico, então, as lâmpadas L_1 e L_2 entram em curto-circuito e se apagam, enquanto a lâmpada L_3 continua acesa.

11. Calculando a corrente da lâmpada LED:

$$P = i \cdot U$$

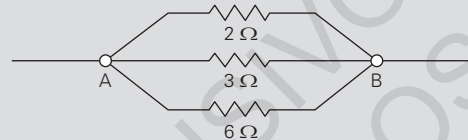
$$8 = i \cdot 4$$

$$i = 2 \text{ A}$$

Considerando a ddp de 6 V e que o LED opera com 4 V, a resistência deve reduzir a ddp em 2 V. Portanto:

$$U = R \cdot i \Rightarrow R = \frac{2}{2} = 1 \Omega$$

12. Os resistores de 2Ω , 3Ω e 6Ω têm seus terminais ligados aos mesmos nós (A e B); logo, estão em paralelo e podemos representá-los assim:



A resistência equivalente é dada por:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{6} \quad R_{eq} = 1 \Omega$$

13. Como estão ligadas em série, a resistência total imposta pelas lâmpadas ao circuito é obtida pela soma das resistências. A corrente que passa por elas é a mesma, pois só há um caminho a seguir. Portanto:

Como as lâmpadas estão ligadas em série, então:

$$R_{eq} = 1000 + 100 = 1100 \Omega$$

$$i = \frac{220}{1100} = 0,2 \text{ A}$$

Para cada lâmpada, temos:

Lâmpada 1:

$$U_1 = 1000 \cdot 0,2 = 200 \text{ V}$$

Lâmpada 2:

$$U_2 = 100 \cdot 0,2 = 20 \text{ V}$$

Como a tensão nominal de cada lâmpada é de 110 V, temos que:

I) A lâmpada 1 terá uma diferença de potencial superior à tensão nominal; portanto, queimará.

II) A lâmpada 2 terá uma diferença de potencial inferior à necessária, por isso funcionará com baixo brilho.

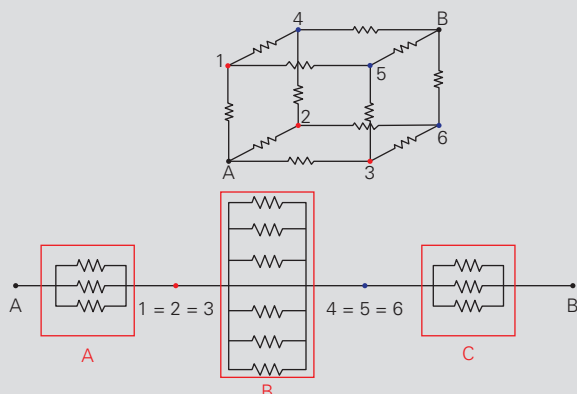
14. E

Da definição de resistência elétrica, a resistência do resistor colocado entre os pontos A e B é dada por:

$$R = \frac{9 - 5,7}{0,15} = 22 \Omega$$

15. C

Pode-se redesenhar o cubo da seguinte forma:



Com isso:

$$\frac{1}{R_{eqA}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} = \frac{3}{R} \quad R_{eqA} = \frac{R}{3}$$

$$\frac{1}{R_{eqB}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} = \frac{6}{R} \quad R_{eqB} = \frac{R}{6}$$

$$\frac{1}{R_{eqC}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} = \frac{3}{R} \quad R_{eqC} = \frac{R}{3}$$

$$R_{eq} = \frac{R}{3} + \frac{R}{6} + \frac{R}{3} \quad R_{eq} = \frac{5R}{6} \therefore R_{eq} = \frac{5R}{6}$$

Como $R = 60 \Omega$, então:

$$R_{eq} = \frac{5 \cdot 60}{6} = 50 \Omega$$

$$U = R \cdot i \quad i = \frac{220 \text{ V}}{50 \Omega} \therefore i = 4,4 \text{ A}$$

16. D

A resistência do volume e a da superfície estão em paralelo. Portanto, têm a mesma ddp. Logo:

$$U = R_s \cdot i_s = 0,2 \cdot i_s$$

$$U = R_v \cdot i_v = 100 \cdot i_v$$

$$0,2 \cdot i_s = 100 \cdot i_v \quad \frac{i_s}{i_v} = \frac{100}{0,2} = 500$$

17. Em i_2 : $10 - 3 = 7 \text{ A}$

Em i_1 : $12 + 3 = 15 \text{ A}$

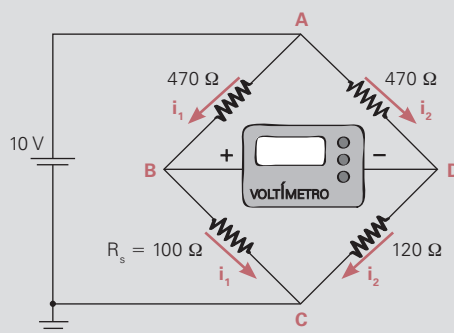
Estudo para o Enem

18. D

Reformulando a figura, acrescentamos os pontos A, B, C e D, bem como as correntes em cada um dos trechos do circuito.

Competência: Identificar a presença e aplicar as tecnologias associadas às ciências naturais em diferentes contextos.

Habilidade: Dimensionar circuitos ou dispositivos elétricos de uso cotidiano.



Assim, temos que:

$$U_{ABC} = R_{ABC} \cdot i_1 \quad 10 = 570 \cdot i_1 \quad i_1 = \frac{1}{57} \text{ A}$$

$$U_{ADC} = R_{ADC} \cdot i_2 \quad 10 = 590 \cdot i_2 \quad i_2 = \frac{1}{59} \text{ A}$$

No segmento BC:

$$V_B - V_C = R_{BC} \cdot i_1$$

Como V_C está ligada à terra, então: $V_C = 0$

$$V_B = 100 \cdot \frac{1}{57} \approx 1,75 \text{ V}$$

No segmento DC:

$$V_D - V_C = R_{DC} \cdot i_2$$

$$V_D = 120 \cdot \frac{1}{59} \approx 2,03$$

A indicação no voltímetro é a diferença de potencial entre B e D.

Portanto: $V_B - V_D = 1,75 - 2,03 \approx -0,3 \text{ V}$

19. D

Tensão equivalente: $1,5 + 1,5 = 3,0 \text{ V}$

Com a queda de diferença de potencial, temos:

$$3 - 2,78 = 0,22 \text{ V}$$

$$U = R \cdot i$$

$$i = \frac{0,22}{94,2 \cdot 10^{-3}} \approx 2,3$$

Competência: Identificar a presença e aplicar as tecnologias associadas às ciências naturais em diferentes contextos.

Habilidade: Dimensionar circuitos ou dispositivos elétricos de uso cotidiano.

20. E

Como $U = R \cdot i$ e adotando o ponto gráfico ($0,5 \text{ V}$; $1,0 \cdot 10^{-6} \text{ A}$), temos que:

$$R = \frac{0,5}{1,0 \cdot 10^{-6}} = 0,5 \cdot 10^6 \Omega$$

Como a polianilina tem o valor de sua resistência quadruplicado na presença de amônio, então temos:

$$R = 4 \cdot 0,5 \cdot 10^6 = 2,0 \cdot 10^6 \Omega$$

Competência: Identificar a presença e aplicar as tecnologias associadas às ciências naturais em diferentes contextos.

Habilidade: Dimensionar circuitos ou dispositivos elétricos de uso cotidiano.

19 CIRCUITOS SIMPLES E MEDIDORES ELÉTRICOS

Comentário sobre o módulo

Professor, neste módulo foram estudados medidores elétricos em circuitos simples. Também foram abordados fusíveis e disjuntores como dispositivos de segurança do circuito. Dessa forma, traga exemplos do uso desses equipamentos e de sua importância. Se possível, mostre alguns deles para que os alunos tenham contato real, por exemplo, com o multímetro ou o fusível, indicando, inclusive, como utilizá-los na prática.

Para ir além

- Leitura: “Campainhas e medidores elétricos”
<<http://www.sbfisica.org.br/v1/novopion/index.php/publicacoes/materiais-didaticos/209-leituras-de-fisica-v-3-16-campainhas-e-medidores-eletricos>>
Acesso em: 6 out. 2018.
- Link para simulador virtual
<https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab>
Acesso em: 6 out. 2018.
- Leitura do artigo: “Corrente elétrica e circuito elétrico: algumas concepções do senso comum”
<http://www.cienciaemao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=cbef&cod=_correnteelétricaecircuit>
Acesso em: 6 out. 2018.

Exercícios propostos

7. E

Como $R \cdot R = R \cdot R$, o circuito possui uma ponte de Wheatstone e, portanto, a ddp entre os pontos 3 e 4 é nula.

8. D

$$\varepsilon = R \cdot i \quad 1,5 = (300 + 100 + 50)i \quad i = \frac{1,5}{450}$$

$$i = \frac{1}{300} \text{ A}$$

$$U = 100 \cdot i \quad U = 100 \cdot \frac{1}{300}$$

$$U = \frac{1}{3} \text{ V}$$

Quando as chaves são fechadas, a resistência de 50Ω fica em curto-circuito, podendo ser descartada. Como a leitura do amperímetro não se altera, a corrente no resistor de 100Ω continua sendo i_1 , e a tensão entre os pontos B e C também não se altera:

$$U = \frac{1}{3} \text{ V}$$

O somatório das tensões entre os pontos A e C é igual à força eletromotriz da bateria, possibilitando calcular a corrente.

$$\varepsilon = U + U \quad 1,5 = 300i + \frac{1}{3} \quad 1,5 - \frac{1}{3} = 300i \quad \frac{4,5-1}{3}$$

$$i_2 : \frac{35}{900}$$

$$i = \frac{3,5}{900} \text{ A}$$

Mas, pela lei dos nós:

$$i_2 = i_1 + i \rightarrow i_1 + \frac{1}{300} = \frac{3,5}{900} \rightarrow i_1 = \frac{3,5-3}{900} \rightarrow i_1 = \frac{0,5}{900}$$

$$U = R \cdot i = 1/3 = R \cdot \frac{0,5}{900} \rightarrow R = \frac{900}{1,5} \therefore R = 600 \Omega$$

9. O ventilador C, pois se trata de uma ponte de Wheatstone, não passando corrente elétrica entre os pontos P e Q, que estão sob mesma diferença de potencial, ou seja, $V_P = V_Q$.

10. B

Situação I

$$U = R_{eq} \cdot i \quad 12 = (60 + 40 + 20)i \quad i = \frac{12}{120} \quad i = 0,1 \text{ A}$$

$$U = R \cdot i = 40 \cdot 0,1 \quad U = 4 \text{ V}$$

Situação II

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{60} + \frac{1}{30} + \frac{1}{20} = \frac{1+2+3}{60} = \frac{1}{10}$$

$$R_{eq} = 10$$

$$U = R_{eq} \cdot i \rightarrow i = \frac{U}{R_{eq}} = \frac{12}{10} = 1,2 \text{ A}$$

11. C

$$U_{ABC} = R_{ABC} \cdot i_1 \quad 10 = 470 + 100i_1 \quad i_1 = \frac{10}{570} = \frac{1}{57} \text{ A}$$

$$U_{ADC} = R_{ADC} \cdot i_2 \quad 10 = 470 + 120i_2 \quad i_2 = \frac{10}{590} = \frac{1}{59} \text{ A}$$

$$V_c = 0 \quad V_B = 100 \cdot \frac{1}{57} \approx 1,75 \quad V_D - V_C = R_{DC} \cdot i_2$$

$$V_D = 120 \cdot \frac{1}{59} \approx 2,03 \quad V_B - V_D = 1,75 \text{ V}$$

$$1,75 \text{ V} - 2,03 \text{ V} = -0,28 \text{ V} (\approx -0,30 \text{ V})$$

12. D

$$U = 3,00 \text{ V}$$

$$i = 0,50 \text{ A}$$

$$P = i \cdot U = 0,50 \cdot 3,00 \quad P = 1,50 \text{ W}$$

$$P = \frac{P_n}{4} \quad P_n = 4P = 4 \cdot 1,50 \quad P_n = 6,0 \text{ W}$$

$$P_n = \frac{U_n^2}{R} \quad U_n = 6,0 \text{ V}$$

13. $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} \quad R_{eq} = 2 \Omega \quad R_{eq} = 2 + 2 = 4 \Omega$

Como o multímetro mede 8 V, então restam 2 V em relação à ddp fornecida pelo gerador e, ainda, a corrente total:

$$U = R \cdot i \Rightarrow 8 = 4 \cdot i \Rightarrow i = 2 \text{ A}$$

Neste caso, temos:

$$U = r \cdot i \Rightarrow 2 = r \cdot 2 \Rightarrow r = 1 \ \Omega$$

14. $U = R_G \cdot i + R_M \cdot i \Rightarrow 10 = 0,5 \cdot 10^{-3} + R_M \cdot 10^{-3}$

$$10 = (0,5 + R_M) \cdot 10^{-3} \Rightarrow R_M \cong 10^4 \ \Omega$$

O resistor deve ser colocado em série com o galvanômetro.

15. Soma: $02 + 04 + 16 = 22$.

02. A diferença de potencial entre C e B é maior que o valor da força eletromotriz ε_1 . $\varepsilon_2 > \varepsilon_1$ e estão montados com polaridade oposta. ε_1 atua como receptor. A queda de tensão entre C e B é igual à queda de tensão em ε_1 mais a queda de tensão em r_1 .

04. A diferença de potencial entre D e E é igual à diferença de potencial entre F e E. Com a chave I_2 fechada, os três resistores R estão em paralelo; logo, têm mesma ddp.

16. Abrindo-se o interruptor I_1 , a diferença de potencial entre A e B é igual ao valor da força eletromotriz ε_2 . Com I_1 aberta não há corrente. A medida é o valor de ε_2 .

16. E

A resistência elétrica do amperímetro deve ser pequena, quando comparada com qualquer uma das resistências presentes no circuito, para não alterar o valor da corrente a ser medida.

17.

a)

$$i = i_G \left(1 + \frac{R_G}{R_S}\right) \quad 50 \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 10^{-3} \left(1 + \frac{100}{R_S}\right)$$

$$24 = \frac{100}{R_S} \rightarrow R_S = 4,2$$

(associado em paralelo com o galvanômetro)

b)

$$U = U_G + U_M \quad 20 = R_G \cdot i_G + R_M \cdot i_M$$

$$20 = 100 \cdot 0,002 + R_M \cdot 0,002$$

$$20 = 0,2 + 0,002R_M$$

$$R_M = 9 \cdot 900 \ \Omega$$

(associado em série com o galvanômetro)

Estudo para o Enem

18. D

Ramo inferior composto pelo fio que contém o fusível: O fusível está no fio com um resistor de resistência

120 ohm e em paralelo com o fio de 60 ohms. Assim, o fio que contém o fusível tem metade da corrente circulando por ele em relação à corrente que circula pelo de 60 ohms.

A corrente que se divide por esse ramo inferior será a soma da corrente que circula pelo resistor de 120 ohms e da corrente que circula pelo resistor de 60 ohms, totalizando uma corrente de 1 500 mA (1,5 A).

Calculando a R_{eq} do ramo inferior:

$$R_{eq} = \frac{120 \cdot 60}{120 + 60} + 40 = 80 \ \Omega$$

$$U = 80 \cdot 1,5 = 120 \text{ V}$$

Competência: Identificar a presença e aplicar as tecnologias associadas às ciências naturais em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações para compreender manuais de instalação ou utilização de aparelhos, ou sistemas tecnológicos de uso comum.

19. C

O voltímetro precisa estar em paralelo com a pilha e o amperímetro precisa estar em série, pelas ligações apresentadas.

Competência: Identificar a presença e aplicar as tecnologias associadas às ciências naturais em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações para compreender manuais de instalação ou utilização de aparelhos, ou sistemas tecnológicos de uso comum.

20. B

Considerando i_1 a corrente que sai do polo positivo da bateria, temos que L_1 recebe a corrente total. Portanto, é a lâmpada que terá o maior brilho.

No primeiro nó, temos a corrente se dividindo em duas. Consideramos que i_2 atravessará L_2 e L_3 , pois ambas as lâmpadas estão em série, e i_3 atravessará L_4 . Nesse caso, $i_2 = i_3$, já que todas possuem a mesma resistência R. Portanto, as lâmpadas L_2 , L_3 e L_4 terão mesmo valor de corrente.

No próximo nó, a corrente será novamente reduzida e teremos L_5 , L_6 , L_7 e L_8 iguais, uma vez que as lâmpadas têm as mesmas especificações; todas elas terão brilho menor que o das lâmpadas L_2 , L_3 e L_4 . Portanto, as três lâmpadas que terão brilho igual e maior serão as do conjunto L_2 , L_3 e L_4 .

Competência: Identificar a presença e aplicar as tecnologias associadas às ciências naturais em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações para compreender manuais de instalação ou utilização de aparelhos, ou sistemas tecnológicos de uso comum.

20 GERADORES E RECEPTORES

Comentário sobre o módulo

Professor, neste módulo foram estudados geradores, receptores e a lei de Pouillet. As equações para gerador ideal e real e o rendimento foram tópicos principais de estudo. A lei de Pouillet foi apresentada para um circuito com gerador, receptor e resistor, bem como sua generalização.

Para ir além

- Leitura dos capítulos 20 e 21:

<<http://www.if.usp.br/gref/eletro/eletro4.pdf>>.

- Link para simulador virtual:

<https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab>.

Acesso: out 2018.

Exercícios propostos

7. A

$$E_{\text{eq}} = U = 1,5V$$

$$R = \frac{U}{i}$$

$$30 = \frac{1,5}{i}$$

$$i = 0,05A$$

8. B

A resistência interna SEMPRE dissipa energia sob a forma de calor (efeito Joule), e assim a potência diminui.

9. a) Calculando a R_{eq} do circuito, temos o resistor de 3Ω em série com o R_{eq} entre 4Ω e $4/3 \Omega$. Logo, temos:

$$R \ R \ R$$

$$E \ E \ E$$

$$R_{\text{eq}} = 3 + \frac{4 \cdot \frac{4}{3}}{4 + \frac{4}{3}} \quad R_{\text{eq}} = 3 + \frac{16}{16} \quad R_{\text{eq}} = 4\Omega$$

A corrente total do circuito é:

$$i = \frac{e}{R_{\text{eq}}} \quad i = \frac{12}{4} \quad i = 3A$$

A ddp entre os pontos A e B vale:

$$U_{AB} = R_{AB} \cdot i \quad U_{AB} = 4 \cdot 3 \quad U_{AB} = 12V$$

Portanto, a potência dissipada no resistor de 4Ω é:

$$P = \frac{U^2}{R} \quad P = \frac{(3^2)}{4} \quad P = 2,25W$$

b) Potência fornecida pelo gerador.

$$P_t = E \cdot i \Rightarrow P_t = 12 \cdot 3 \Rightarrow P_t = 36 W$$

Potência dissipada pelo resistor de 3Ω .

$$P_D = R \cdot i^2 \Rightarrow P_D = 3 \cdot 3^2 = 27W$$

Assim, a porcentagem da potência dissipada pelo resistor de 3Ω é:

$$\frac{27}{36} = 0,75 \text{ ou } 75\%$$

10. C

Os dois resistores de 20Ω estão em paralelo, sendo, portanto, percorridos por correntes de mesma intensidade, 500 mA . Então a corrente total é $i = 1000 \text{ mA} = 1 \text{ A}$. A resistência equivalente do circuito é:

$$R_{\text{eq}} = 20 + \frac{20}{2} = 30\Omega$$

$$e = R_{\text{eq}} \cdot i = 30 \cdot 1$$

$$e = 30V$$

11. B

Pela figura, vemos que o circuito é em série: a partir de A (o polo negativo), cada pilha se associa à próxima até B. Porém, duas delas estão ligadas com a polaridade invertida, e por isso o aparelho não funciona: são a 3^{a} e a 7^{a} , contadas a partir de A. Assim, temos:

$$(e) = 6 \cdot 1,5 - 2 \cdot 1,5 = 6V.$$

$$r_{\text{Total}} = 8 \cdot 0,1 = 0,8 \Omega.$$

12. $e' = 2 \cdot e = 2 \cdot 1,5V$

$$e' = 3,0V$$

$$r' = 2 \cdot r = 2 \cdot 0,3\Omega$$

$$r' = 0,6 \Omega$$

$$e' = e$$

$$e' = 3,0V$$

$$r' = \frac{R}{n} \quad r' = \frac{0,6}{3}$$

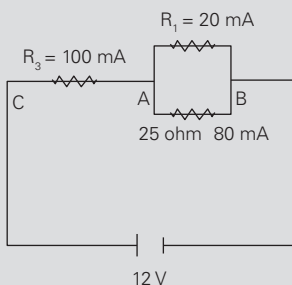
$$r' = 0,2 \Omega$$

Logo:

$$fem = 3,0V$$

$$Re = 0,2 \Omega$$

13. a)



b) Observando os valores das correntes, nota-se que uma delas (100 mA) é a soma das outras (80 mA + 20 mA = 100 mA). Na associação em paralelo, a corrente que passa pela associação é a soma das correntes que atravessam os resistores.

Daí, pode-se concluir que são dois resistores em paralelo e em série com um terceiro resistor.

$$U_{ab} = 25 \cdot 0,08 = 2V$$

$$U_{ca} = 12 - 2 = 10V$$

$$U_{ca} = 10 = R_3 \cdot 0,1 \quad R_3 = \frac{10}{0,1} = 100\Omega$$

Em R_1 a corrente é 0,02A

$$ddp = 2V$$

$$R_2 = 0,02 \cdot R_1 \quad R_1 = \frac{2}{0,02} = 100\Omega$$

$$R_1 = R_2 = 100$$

14. A

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{1}$$

$$R = 1$$

$$R_t = 2 + 2 + 1 + 0,5$$

$$R_t = 5,5$$

$$U = R \cdot i$$

$$11 = 5,5i$$

$$i = 2A$$

15. C

A f_{em} das células fotovoltaicas é dada por:
 $e = 50 \cdot 2,3 = 115 V$

$$R_{equi} = 50 \cdot 0,1 = 5 \Omega$$

Aplicando a lei de Pouillet, encontramos a resistência R:

$$i = \frac{E - E_{equi}}{R + R_{equi}} \quad i = \frac{220 - 115}{R + 5} \quad 6R + 30 = 105 \therefore R = 12,5$$

16. $i_3 = i_1 + i_2$

$$R \cdot i_3 + r_1 \cdot i_1 - E_1 = 0 \Rightarrow 4700 \cdot i_3 + 1i_1 - 1,5 = 0$$

$$\Rightarrow 4700 \cdot i_3 + i_1 = 1,5$$

$$E_2 - r_2 \cdot i_2 - R \cdot i_3 = 0 \Rightarrow 9 - 2,2i_2 - 4700 \cdot i_3 = 0$$

$$\Rightarrow 2,2i_2 + 4700 \cdot i_3 = 9$$

$$i_3 = i_1 + i_2$$

$$4700 \cdot i_3 + i_1 = 1,5$$

$$2,2i_2 + 4700 \cdot i_3 = 9$$

Resolvendo os sistemas, temos:

$$i_3 = 1,5 - 4700 \cdot i_3 + \frac{9 - 4700 \cdot i_3}{2,2}$$

$$2,2 \cdot i_3 = 2,2 \cdot 1,5 - 4700 \cdot i_3 + \frac{9 - 4700 \cdot i_3}{2,2}$$

$$2,2 \cdot i_3 = 2,2 \cdot 1,5 - 2,2 \cdot 4700 \cdot i_3 + 9 - 4700 \cdot i_3$$

$$2,2 \cdot i_3 = 3,3 - 10340 \cdot i_3 + 9 - 4700 \cdot i_3$$

$$2,2 \cdot i_3 = 12,3 - 15040 \cdot i_3 \quad 2,2 \cdot i_3 + 15040 \cdot i_3 = 12,3$$

$$15042,2 \cdot i_3 = 12,3$$

$$i_3 = \frac{12,3}{15042,2} \quad i_3 = 8,1770 \cdot 10^{-4} = 0,81770 \cdot 10^{-3} \approx 0,82mA$$

$$i_1 = 1,5 - 4700 \cdot 0,00081770$$

$$i_1 = 1,5 - 3,8432 \quad i_1 = -2,3432A$$

$$i_2 = \frac{9 - 4700 \cdot 0,00081770}{2,2}$$

$$i_2 = \frac{9 - 3,8432}{2,2} \quad i_2 = \frac{5,1568}{2,2} \quad i_2 = 2,3440A$$

17. $r = \frac{U}{\epsilon}$

$$U = R \cdot \epsilon \quad U = 0,6 \cdot 50 \quad U = 30V$$

$$U = \epsilon - r \cdot i$$

$$30 = 50 - R \cdot 2,5 \quad 2,5 \cdot R = 50 - 30$$

$$2,5 \cdot R = 20 \quad R = 8 \Omega$$

Estudo para o Enem

18. B

Corpos eletrizados geram campos elétricos, e estes fazem que as partículas existentes no interior das lâmpadas se movam, colidindo umas com as outras, emitindo luz.

Competência: Identificar a presença e aplicar as tecnologias associadas às ciências naturais em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações para compreender manuais de instalação ou utilização de aparelhos, ou sistemas tecnológicos de uso comum.

19. E

A condição máxima de absorção de energia é a igualdade de frequências entre o aparelho receptor e a onda eletromagnética incidente. Esse fenômeno é chamado de ressonância.

Competência: Identificar a presença e aplicar as tecnologias associadas às ciências naturais em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações para compreender manuais de instalação ou utilização de aparelhos, ou sistemas tecnológicos de uso comum.

20. C

Considerando que em uma ligação em série há a soma dos valores dos geradores, logo teremos uma ddp de 6 V ($4 \cdot 1,5 = 6\text{ V}$). Assim, a única alternativa em que todos os geradores estão em série é a C.

Competência: Identificar a presença e aplicar as tecnologias associadas às ciências naturais em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações para compreender manuais de instalação ou utilização de aparelhos, ou sistemas tecnológicos de uso comum.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

21 ASSOCIAÇÃO DE DISPOSITIVOS ELÉTRICOS EM CIRCUITOS RESIDENCIAIS

Comentário sobre o módulo

Professor, neste módulo foram estudadas associações de dispositivos em instalações residenciais e a importância de dispositivos de segurança como fusíveis e disjuntores para prevenir acidentes e não deixar que equipamentos elétricos sejam danificados. Dessa forma, enfatize a importância das ligações feitas de maneira correta e traga também discussões, por exemplo, do porquê as ligações ilegais, popularmente chamadas de “gato”, serem extremamente perigosas não apenas aos moradores que as utilizam, mas para todos à sua volta.

Para ir além

- Sequência de três vídeos que abordam a eletricidade no cotidiano.

<http://ambiente.educacao.ba.gov.br/fisicaecotidiano/conteudos/view/Eletricidade_view.html>.

- Leitura recomendada:

<<http://www.if.usp.br/gref/eletromagnetismo.html>>.

- Leitura dos capítulos 7 a 12 do livro do GREF:

<<http://www.if.usp.br/gref/eletro/eletro2.pdf>>.

Acessos em: out. 2018.

Exercícios propostos

7. $P = U \cdot i = 600 \cdot 2 = 1200 \text{ W}$

Equivale à potência consumida por uma churrasqueira elétrica.

8. C

Do enunciado, como os valores nominais de cada lâmpada são os mesmos, então todas possuirão a mesma resistência:

$$P = \frac{U^2}{R} \rightarrow R = \frac{144}{15} \rightarrow R = 9,6 \, \Omega$$

$$E U_1 = U_2$$

Como a intensidade da corrente é a mesma nas lâmpadas 1 e 2, temos:

$$P = U \cdot i_1 \rightarrow i_1 = \frac{15}{12} \rightarrow i_1 = 1,25 \text{ A.}$$

Logo, na lâmpada 3 ou na 4 a corrente será:

$$R = \frac{U}{i_2} \rightarrow i_2 = \frac{6}{9,6} \rightarrow i_2 = 0,625 \text{ A.}$$

9. A

$$P = U \cdot i \quad i = \frac{100}{120} \quad i \cong 0,83 \text{ A}$$

$$P = \frac{U^2}{R} \quad R = \frac{U^2}{P} \quad R = \frac{120^2}{100} \quad R = 144 \, \Omega$$

$$U' = 127$$

$$i' = \frac{U'}{R} \quad i' = \frac{127^2}{144} \quad i' \cong 0,85 \text{ A}$$

$$P' = \frac{U'^2}{R} \quad P' = \frac{127^2}{144} \quad P' \cong 112 \text{ W}$$

$$\frac{(P' - P)}{P} = \frac{(112 - 100)}{100} = 0,12 \quad 12\%$$

10. $R_{\text{eq}} = \frac{R}{3} \quad i \cdot A = \frac{U}{\frac{R}{3}} \quad i \cdot A = \frac{3 \cdot U}{R}$

$$i_B = \frac{U}{R}$$

Após haver a queima da lâmpada 2, ficamos apenas com duas resistências, logo:

$$R_{\text{eq}} = \frac{R}{2} \quad i_A = \frac{U}{\frac{R}{2}} \quad i_A = \frac{2 \cdot U}{R}$$

E a ddp continua sendo a mesma, portanto: $i_B = \frac{U}{R}$

Assim, houve redução da corrente i_A , e i_B continuou a mesma.

11. a) $P_{\text{ot}} = 4000 \cdot 60 + 600 \cdot 200 \rightarrow P_{\text{ot}} = 240000 + 120000 \rightarrow$

$$P_{\text{ot}} = 360000 \text{ W} \rightarrow P_{\text{ot}} = i \cdot U \rightarrow 360000 = 120 \cdot i$$

$$\therefore i = 3000 \text{ A}$$

b) $E = P_{\text{ot}} \cdot \Delta t = 360000 \cdot 120 = 43200000 \text{ Wh} =$
 $= 43200 \text{ kWh} \rightarrow R\$ = 43200 \cdot 0,40$

$$\therefore R\$ 17280,00$$

12. C

$$P = U \cdot i$$

$$600 \text{ W} = 120 \text{ V} \cdot i$$

$$\frac{600}{120} = i = 5 \text{ A}$$

$$R = \frac{U}{i} = \frac{120}{5} = 24 \, \Omega$$

13. No circuito, $i = \frac{U}{R_p + R_L}$.

A potência dissipada na lâmpada é:

$$P_L = R_L \cdot i^2 \rightarrow P_L = R_L \cdot \frac{U}{R_p + R_L}^2$$

Para $R_p = R_1 \rightarrow P_L = P$

$$P = R_L \cdot \frac{U}{R_1 + R_L}^2$$

Para $P_L = \frac{P}{4}$, temos:

$$\frac{P}{4} = R_L \cdot \frac{U}{R_p + R_L}^2 \rightarrow P = 4 \cdot R_L \cdot \frac{U}{R_p + R_L}^2$$

Logo,

$$R_L \cdot \frac{U}{R_1 + R_L}^2 = 4 \cdot R_L \cdot \frac{U}{R_p + R_L}^2$$

$$\frac{1}{(R_1 + R_L)^2} = \frac{4}{(R_p + R_L)^2} \rightarrow \frac{1}{R_1 + R_L} = \frac{2}{R_p + R_L}$$

$$R_p + R_L = 2 \cdot (R_1 + R_L) \rightarrow R_p + R_L = 2 \cdot R_1 + 2 \cdot R_L \rightarrow R_p = 2 \cdot R_1 + R_L$$

14. E

I. Falsa. Lâmpadas idênticas em série — percorridas pela mesma corrente — brilham por igual.

II. Correta. Veja o primeiro item.

III. Falsa. Brilham por igual — mesma ddp e mesma corrente.

IV. Correta. É percorrida por maior corrente, pois tem menor resistência.

V. Falsa. A lâmpada B apaga, entrando em curto-circuito.

15. $U = Ri$

Se houver um decréscimo de 5% na tensão, a nova tensão será $U' = U - 5\%U = U - 0,05U = 0,95U$. Logo:

$$U' = R \cdot i'$$

$$0,95U = R \cdot i'$$

$$0,95 \cdot R \cdot i = R \cdot i'$$

$$0,95i = i'$$

$$i' = 95\%$$

16. C

Dados: $P = 1,440 \text{ W}$; $U = 110 \text{ V}$

Da expressão da potência elétrica:

$$P = Ui \quad i = \frac{P}{U} = \frac{1440}{110} \cong 13,1 \text{ A}$$

17. Como os resistores estão em série, basta apenas somar todas as resistências para encontrar a equivalente. Portanto, 40 W.

Estudo para o Enem

18. A

$$P_t = V \cdot i$$

$$P_t = 12 \cdot 0,45$$

$$P_t = 5,4 \text{ W}$$

Redução da potência é dada por:

$$60 - 5,4 = 54,6 \text{ W}$$

Competência: Identificar a presença e aplicar as tecnologias associadas às ciências naturais em diferentes contextos.

Habilidade: Dimensionar circuitos ou dispositivos elétricos de uso cotidiano.

19. A

Para variar o fluxo magnético no interior da associação de espiras, podemos mudar o valor do campo magnético (B), da área (A), do ângulo de giro (teta) ou o número de espiras (N). Como a questão pedia o dobro da ddp induzida, sem mudar a corrente de curto-circuito, além de dobrarmos o fluxo, devemos dobrar também a resistência do material. Isso pode acontecer através da mudança do material, do comprimento ou da área de seção do fio. A única opção que satisfaz às duas condições ao mesmo tempo é dobrar o número de espiras, o que dobra a ddp e a resistência do material ao mesmo tempo, além de manter a corrente inalterada.

Competência: Identificar a presença e aplicar as tecnologias associadas às ciências naturais em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações para compreender manuais de instalação ou utilização de aparelhos, ou sistemas tecnológicos de uso comum.

20. E

As correntes I_A e I_E correspondem à corrente total do circuito, portanto, $I_A = I_E$. Como as lâmpadas são idênticas, a corrente que passa por elas tem o mesmo valor, logo $I_C = I_D$.

Competência: Identificar a presença e aplicar as tecnologias associadas às ciências naturais em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações para compreender manuais de instalação ou utilização de aparelhos, ou sistemas tecnológicos de uso comum.

22 CAPACITORES E ASSOCIAÇÃO DE CAPACITORES

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, foram estudados capacitores e associações de capacitores, além de conceitos de capacitância e permissividade e as associações de capacitores em paralelo e em série.

Para ir além

- Leitura do capítulo 26, "Pilhas e baterias":
<<http://www.if.usp.br/gref/eletro/eletro4.pdf>>.
- Leitura do texto "Linhas de transmissão e choques elétricos em um passarinho":
<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v20_339.pdf>.
- Sugestão de atividade prática:

<<https://edisciplinas.usp.br/mod/resource/view.php?id=20157>>.

Acessos em: out. 2018.

Exercícios propostos

7. E

$$\frac{1}{C_{\text{eq}}} = \frac{1}{C_A} + \frac{1}{C_B} + \frac{1}{C_C} \quad \frac{1}{C_{\text{eq}}} = \frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{3}$$

$$\frac{1}{C_{\text{eq}}} = \frac{6+3+2}{6}$$

$$\frac{1}{C_{\text{eq}}} = \frac{11}{6}$$

$$11C_{\text{eq}} = 6$$

$$C_{\text{eq}} = \frac{6}{11}$$

$$C = \frac{6}{11} \text{ F}$$

Dessa forma, a capacitância equivalente tem valor aproximado de $0,5 \mu\text{F}$ ou $(0,5 \cdot 10^{-6} \text{ F})$ ou 540 nF .

8. C

A capacitância só depende da constante dielétrica no vácuo e das dimensões do capacitor.

$$C = \frac{Q}{V} = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d} \quad (\epsilon_0 \text{ é a constante dielétrica no vácuo})$$

Como chegar a essa conclusão:

- sabemos que o campo elétrico formado entre as placas depende da densidade superficial de carga (s), dada por $\frac{Q}{A}$. Temos:

$$E = \frac{s}{\epsilon_0} = \frac{Q}{A \cdot \epsilon_0} \quad Q = E \cdot A \cdot \epsilon_0$$

$$Q = C \cdot V$$

$$V = E \cdot d \quad E \cdot A \cdot \epsilon_0 = C \cdot E \cdot d \quad C = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$$

Portanto, a capacitância, dada por $C = \epsilon_0 \cdot A/d$, depende do material (ϵ_0 ou ϵR) e da geometria das placas (área e distância entre elas). Portanto, o item I é verdadeiro.

II – Falso. Trata-se de um capacitor plano.

III – Verdadeiro. Cada material isolante possui uma permissividade elétrica.

IV – Verdadeiro. Se inserirmos um material isolante entre as placas, a capacitância irá aumentar, já que o vácuo possui a menor permissividade elétrica.

Logo são corretas as afirmativas I, III e IV.

$$9. C = \epsilon_0 \frac{A}{d} = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\pi(8,2 \cdot 10^{-2})^2}{1,3 \cdot 10^{-3}} = 143,73 \cdot 10^{-12} \text{ F}$$

$$Q = CV = 143,73 \cdot 10^{-12} \cdot 120 = 17,25 \cdot 10^{-9} \text{ C}$$

10. E

A partir da definição da capacitância de um capacitor de placas paralelas, temos:

$$C = \frac{\epsilon \cdot A}{d}$$

A distância entre as placas corresponde à espessura da folha de mica:

$$d = 1 \text{ mm} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

A área das placas circulares é determinada pela área de um sistema circular:

$$A = \pi \cdot R^2 \Rightarrow A = 3 \cdot (10^{-1})^2 \Rightarrow A = 3 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

Assim, a permissividade elétrica é igual a:

$$\epsilon = C \frac{d}{A} = \frac{0,6 \cdot 10^{-9} \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 10^{-2}} = 20 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$$

11. Em uma associação em série de capacitores, a carga adquirida em um capacitor equivale à carga total. Assim:

$$Q_5 = Q_T = 12 \mu\text{C}$$

Portanto, todos os capacitores estarão com carga de $12 \mu\text{C}$.

Convertendo os valores para μF a fim de facilitar os cálculos:

$$C_1 = 200 \text{ k}\mu\text{F} = 0,2 \mu\text{F}$$

$$C_2 = 8 \mu\text{F}$$

$$C_3 = 0,02 \text{ mF} = 20 \mu\text{F}$$

$$C_4 = 300 \text{ nF} = 0,3 \mu\text{F}$$

$$C_5 = 12 \mu\text{F}$$

Calculando as tensões nos capacitores:

$$VC1 = \frac{QT}{C1} = \frac{12}{0,2} = 60V$$

$$VC2 = \frac{12}{8} = 1,5V$$

$$VC3 = \frac{12}{20} = 0,6V$$

$$VC4 = \frac{12}{0,3} = 40V$$

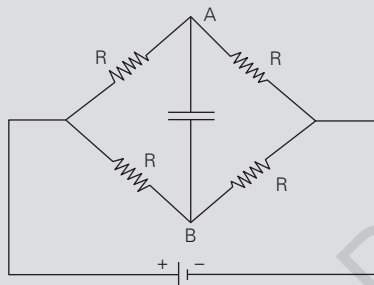
$$VC5 = \frac{12}{12} = 1V$$

Somando as ddps de cada capacitor, temos a tensão total E, logo:

$$E = 103,1 V$$

12. A

Refazendo o circuito:



Observe que se trata de uma ponte de Wheatstone em equilíbrio, pois o produto das resistências opostas é nulo e, nessas condições, o potencial em A é igual ao potencial.

$$B \rightarrow U_{AB} = 0 \rightarrow R - A$$

Como a tensão é nula e $Q = C \cdot U$, então a carga também será nula.

13. $Q_F = Q + q = 60 - 6$

$$Q_F = 54 \text{ mC}$$

14. $A = 1 \text{ m}^2$

$$C = 1 \text{ F}$$

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad d = \frac{\epsilon_0 A}{C} = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 1}{1} = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ m}$$

Sendo assim, não é possível construir o capacitor, já que a distância entre as placas estaria no limite da ruptura de seu dielétrico.

15. 1 – Calculando a capacitância equivalente:

C_1 e C_2 estão em série, portanto:

$$\frac{1}{C_{12}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{10 \cdot 10^{-6}} + \frac{1}{5 \cdot 10^{-6}} \quad C_{12} = \frac{10}{3} \cdot 10^{-6} \text{ F}$$

C_{12} está em paralelo com C_3 , portanto:

$$C_{\text{eq}} = C_{12} + C_3 = \frac{10}{3} \cdot 10^{-6} + 4 \cdot 10^{-6} \quad C_{\text{eq}} = 7,33 \cdot 10^{-6} \text{ F} \\ = 7,33 \mu\text{F}$$

2 – Calculando a carga:

Sabemos que a ddp em C_{12} e C_3 é a mesma, pois eles estão ligados em paralelo. Logo:

$$U = U_{12} = U_3 = 100 \text{ V}$$

Assim, $Q = C \cdot U$, logo:

$$Q_3 = C_3 \cdot U_3 \rightarrow Q_3 = 4 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \rightarrow Q_3 = 4 \cdot 10^{-4} \text{ C}$$

$$Q_{12} = C_{12} \cdot U_{12} \rightarrow Q_{12} = \frac{10}{3} \cdot 10^{-6} \cdot 100 \rightarrow Q_{12} = \\ = \frac{10}{3} \cdot 10^{-4} \text{ C} = 3,33 \cdot 10^{-4} \text{ C}$$

$$\text{Como } Q_1 \text{ e } Q_2 \text{ estão em série, } Q_{12} = Q_1 = Q_2 = \\ = 3,33 \cdot 10^{-4} \text{ C}$$

3 – Calculando a diferença de potencial:

Sabemos que $U_3 = 100 \text{ V}$ pelo item 2.

$$U_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{3,33 \cdot 10^{-4}}{10 \cdot 10^{-6}} \rightarrow U_1 = 33,3 \text{ V}$$

$$U_2 = \frac{Q_2}{C_2} = \frac{3,33 \cdot 10^{-4}}{5 \cdot 10^{-6}} \rightarrow U_2 = 66,6 \text{ V}$$

4 – Calculando a energia armazenada:

Para o cálculo da energia armazenada no capacitor, temos que $E_p = \frac{C \cdot U^2}{2}$

$$E_1 = \frac{C_1 \cdot U_1^2}{2} = \frac{10 \cdot 10^{-6} \cdot 3,33^2}{2} = 5,54 \cdot 10^{-5} \text{ J}$$

$$E_2 = \frac{C_2 \cdot U_2^2}{2} = \frac{5 \cdot 10^{-6} \cdot 6,66^2}{2} = 1,11 \cdot 10^{-4} \text{ J}$$

$$E_3 = \frac{C_3 \cdot U_3^2}{2} = \frac{4 \cdot 10^{-6} \cdot 100^2}{2} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ J}$$

16. Como a constante de tempo pode ser determinada a partir da curva (é o tempo necessário para que a tensão no capacitor atinja 6,3V), então, tendo R, poderemos determinar C. Do gráfico, obtemos que:

$$t = R \cdot C = 8 \text{ ms} \Rightarrow C = \frac{8 \text{ ms}}{2 \text{ k}} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ F} = 4 \mu\text{F}$$

17. 1- Verdadeira.

2- Falsa. O sentido do campo elétrico no interior das placas é das cargas positivas para as negativas.

$$3\text{- Falsa. } C = \frac{Q}{U} \quad 10^{-6} = \frac{Q}{100} \quad 10^{-4}C = 100 \text{ C}$$

4- Verdadeira.

5- Verdadeira. $C = (\epsilon) \cdot \frac{A}{d}$, assim, se d diminui, C

aumenta, já que são inversamente proporcionais.

6- Verdadeira.

Estudo para o Enem

18. D

$$Q = C \cdot U \Rightarrow Q = 100 \cdot 10^{-6} \cdot 315 \therefore Q = 0,0315 \text{ C}$$

Competência: Identificar a presença e aplicar as tecnologias associadas às ciências naturais em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações para compreender manuais de instalação ou utilização de aparelhos, ou sistemas tecnológicos de uso comum.

19. C

Os transformadores são instrumentos construídos com base nas leis de Faraday e de Lenz. O capacitor é capaz de armazenar cargas elétricas.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar propriedades físicas, químicas ou biológicas de produtos, sistemas ou procedimentos tecnológicos às finalidades a que se destinam.

20. C

Como os capacitores estavam ligados em série, sua capacitância equivalente é dada por:

$$C_{\text{equi}} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \frac{3 \cdot 7}{3 + 7} = 2,1 \mu \text{ F}$$

Competência: Identificar a presença e aplicar as tecnologias associadas às ciências naturais em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações para compreender manuais de instalação ou utilização de aparelhos, ou sistemas tecnológicos de uso comum.

Exercícios interdisciplinares

21. 23 (01 + 02 + 04 + 16)

Durante um movimento ocorrem contrações musculares do músculo esquelético, através de filamentos proteicos contráteis, que encurtam as fibras musculares, onde a actina (filamento fino) desliza sobre a miosina (filamento grosso). A musculatura de um adulto não sofre divisão, apenas a formação de novas células para reparação.

[01] Correta.

$$F = P$$

$$F = m \cdot g$$

$$F = 5 \cdot 10$$

$$F = 50 \text{ N}$$

[16] Correta.

$$W = F \cdot d$$

$$W = 50 \cdot 0,35$$

$$W = 17,5 \text{ J}$$

22. a) (I) Sendo constante a velocidade escalar, temos:

$$V = \frac{s}{t} \rightarrow V = \frac{L}{t}$$

(II) A energia cinética é dada por:

$$E = \frac{m \cdot V^2}{2} \rightarrow m = \frac{2 \cdot E}{V^2}$$

$$m = \frac{2 \cdot E}{\left(\frac{L}{t}\right)^2} \quad m = \frac{2 \cdot E \cdot (t)^2}{L^2}$$

b) Cálculo da massa molecular do peptídeo $C_9H_{16}O_5N_2S$:

$$M_p = 12u \cdot 9 + 1u \cdot 16 + 16u \cdot 5 + 14u \cdot 2 + 32u \cdot 1 \rightarrow$$

$$\rightarrow M_p = 264u$$

c) A linha do gráfico que corresponde ao peptídeo $C_9H_{16}O_5N_2S$ é a de massa 264 u. Portanto, linha II.

Para a ligação do átomo de sódio, outro átomo monovalente (hidrogênio) deve ser substituído na molécula do peptídeo. Dessa forma, há a substituição de um hidrogênio (massa 1 u) por um sódio (massa 23 u). Assim, a molécula formada apresenta massa igual a 286 u, correspondente à linha IV.

23. 29 (01 + 04 + 08 + 16)

[01] Correta. Na fotossíntese, os organismos captam a energia solar e a transformam em energia química, através de várias reações químicas.

[02] Incorreta. A quantidade de energia vai diminuindo ao longo dos níveis tróficos, pois cada organismo necessita de energia para manutenção de ciclos vitais.

[16] Correta. A biomassa ou massa de matéria viva produzida por vegetais em uma determinada área, como a cana-de-açúcar, pode ser transformada em combustível, como o etanol.

[04] Correta. Uma característica das placas voltaias é que os elétrons fracamente ligados podem fluir livremente, gerando corrente elétrica que pode ser armazenada em uma bateria.

[08] Correta. A energia armazenada pode ser convertida em diversos tipos de energia elétrica, inclusive em energia térmica.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO



Pearson

PRÉ-VESTIBULAR
EXTENSIVO

3

