Fundação Cecierj

Pré-Vestibular Social

Física

Carlos Alberto Faria Leite

Eden Vieira Costa

2ª edição

revisada

Módulo 2

2015

Governo do Rio de Janeiro

Secretaria de Ciência e Tecnologia

Fundação Cecierj

Consórcio cederj

Nova CEDAE

L533p

Leite,Carlos Alberto Faria.
Pré-vestibular social: física. v. 2. / Carlos Alberto Faria Leite, Eden Vieira Costa – 2. ed. rev. – Rio de Janeiro: Fundação Cecierj, 2015.
128 p. ; 20,0 x 27,5 cm.

ISBN: 978-85-458-0045-3

1. Física. I. Costa, Eden Vieira. 1. Título.

CDD: 530

Sumário

Apresentação

Caro Aluno,

Este conjunto de apostilas foi elaborado de acordo com as necessidades e a lógica do projeto do Pré-Vestibular Social. Os conteúdos aqui apresentados foram desenvolvidos para embasar as aulas semanais presenciais que ocorrem nos polos. O material impresso por si só não causará o efeito desejado, portanto é imprescindível que você compareça regularmente às aulas e sessões de orientação acadêmica para obter o melhor resultado possível. Procure, também, a ajuda do atendimento 0800 colocado à sua disposição. A leitura antecipada dos capítulos permitirá que você participe mais ativamente das aulas expondo suas dúvidas o que aumentará as chances de entendimento dos conteúdos. Lembre-se que o aprendizado só acontece como via de mão dupla.

Aproveite este material da maneira adequada e terá mais chances de alcançar seus objetivos.

Bons estudos!

Equipe de Direção do PVS

1

Eletrostática e Lei de Coulomb

:: Meta ::
Introduzir os conceitos físicos envolvidos nos fenômenos elétricos, a lei de Coulomb, e preparar os alunos para o estudo da eletrodinâmica e dos circuitos elétricos elementares.

:: Objetivos ::
- *Identificar as espécies de cargas elétricas;*
- *Resolver problemas envolvidos no fenômeno da eletrização;*
- *Resolver problemas de aplicação da lei de Coulomb.*

Introdução

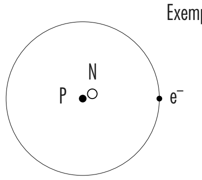
A eletricidade está presente em nosso dia a dia, na luz que nos ilumina após o pôr do Sol, na televisão que ligamos para assistir novela ou futebol, na água gelada que gostamos de tomar nos dias de calor. Tudo isso seria muito difícil de se fazer, não fosse a energia elétrica. Produzida muitas vezes a quilômetros de distância nas usinas hidrelétricas ou termoelétricas, chega até nós, rapidamente, transportada por grossos fios, normalmente de cobre. Nosso estudo tratará dos fenômenos da eletricidade, desde seus princípios, até chegar aos circuitos elétricos que utilizamos em nossas casas. Vamos iniciá-lo introduzindo a noção de carga elétrica.

A carga elétrica

Como sabemos, todas as substâncias existentes na natureza são constituídas de átomos e moléculas, sendo as moléculas constituídas por conjuntos de átomos. Mesmo os átomos, que constituem a menor porção possível de uma determinada substância, são constituídos por muitas outras partículas, chamadas partículas elementares. As mais importantes dessas partículas, para o nosso estudo, são os elétrons, os prótons e os nêutrons.

O átomo é de tal maneira pequeno, que é praticamente impossível visualizarmos um único átomo. O raio atômico é da ordem de $5{,}29x = 10^{-11}$ m, isto é, 0,000.000.000.052.9 m (chamado raio de Bohr). Uma maneira bastante interessante e útil de visualização de um átomo, que nos dá uma boa ideia sobre sua forma, é o modelo proposto pelo físico dinamarquês, Niels Bohr, no ano de 1913. A figura a seguir mostra um esquema do modelo atômico proposto por Bohr.

Exemplo do átomo de Hidrogênio



No centro dos átomos, que chamamos de núcleo, estão localizados os prótons e os nêutrons, ambos com massas praticamente iguais. Ao redor do núcleo, a uma distância muito grande se comparada com o tamanho do núcleo, encontram-se os elétrons. Sendo cerca de 1840 vezes mais leves que os prótons e os nêutrons, os elétrons formam o que chamamos de uma nuvem eletrônica, envolvendo completamente o núcleo. Entre os prótons, no interior do núcleo atômico, e os elétrons à sua volta, existe uma força de atração. Já entre dois prótons ou entre dois elétrons, existe uma força de repulsão. Esse comportamento dos prótons e dos elétrons nos leva a introduzir o conceito de carga elétrica. Como elétrons e prótons produzem efeitos opostos, dizemos que eles têm cargas opostas e, convencionou-se chamá-las de negativas e positivas. Desse modo:

Prótons $\rightarrow$ Carga Positiva

Elétrons $\rightarrow$ Carga Negativa

Já os nêutrons (seu próprio nome já indica) são eletricamente neutros, não sendo atraídos ou repelidos nem entre si nem por elétrons ou prótons, da forma que esses últimos o são.

Processos de eletrização

Existem três processos principais de eletrização: eletrização por atrito, eletrização por contato e por indução. Vamos estudar cada um desses casos a seguir.

Eletrização por atrito

Desde a antiguidade se tem observado que algumas substâncias da natureza quando atritadas (esfregadas) em outras substâncias ficam com a propriedade de atrair pequenos pedacinhos de papel, de palha, de algodão ou penas de pássaros. A história da eletricidade se iniciou no século VI a.C., com a descoberta feita pelo matemático e filósofo grego Tales de Mileto (640? – 546 a.C.), um dos "sete sábios" da Grécia antiga. Tales observou que o atritamento de uma resina fóssil (o âmbar) com tecido ou com pele animal, produzia na resina ou na pele a propriedade de atrair pequenos pedaços de palha e pequenas penas de aves. Como em grego a palavra usada para designar o âmbar é elektron, dela derivam as palavras elétron e eletricidade que utilizamos normalmente na nossa vida diária.

Como fazer experiências de eletrização

Você pode facilmente experimentar a eletrização. Passe várias vezes um pente no cabelo e depois aproxime o pente de pedacinhos bem pequenos de papel. Você poderá observar uma força "mágica" atrair rapidamente os pedacinhos de papel, numa espécie de "dança maluca". Você já havia feito essa experiência alguma vez? Caso não a tenha feito essa é a hora! Essa experiência é realmente bastante interessante, mas para que funcione bem, o dia deverá estar de preferência bem seco. A umidade do ar atrapalha bastante esse tipo de experimento.

Vamos ver como funciona a eletrização

Se atritarmos, por exemplo, um bastão de vidro com um pedaço de seda, o resultado é que a seda arranca alguns elétrons da superfície do vidro de modo que esse fica eletrizado, positivamente, e a seda fica com carga negativa. O mesmo ocorre quando passamos o pente no cabelo.

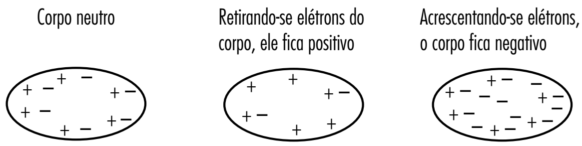
Condutores e isolantes

O vidro e o plástico, de que são feitos os pentes, são isolantes elétricos. Os elétrons não podem se movimentar livremente tanto na superfície quanto no interior dos isolantes. Dessa forma as cargas adquiridas ao serem atritados se distribuem de forma não uniforme em suas superfícies.

Caso atritemos uma barra metálica, por exemplo, de ferro, as cargas irão se espalhar igualmente em toda sua superfície, pois os metais são bons condutores de eletricidade. Para realizar a experiência de eletrização por atrito com metais, temos que segurar a barra metálica com um isolante, caso contrário os elétrons poderão passar por nossas mãos e a barra não ficará eletrizada.

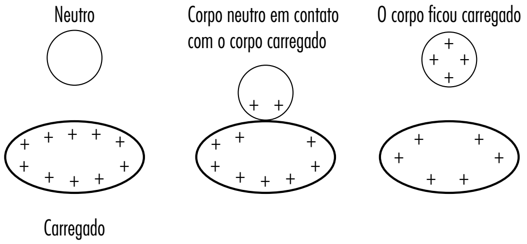
Corpos neutros e corpos carregados

Nos sólidos, os núcleos atômicos com suas cargas positivas devido aos prótons estão fortemente ligados aos átomos e não podem se movimentar. A eletrização se dá ao retirarmos ou colocarmos alguns elétrons nesses corpos. A figura a seguir ilustra um corpo neutro, um corpo carregado positivamente, de onde se retirou alguns elétrons, e um outro corpo, carregado negativamente, onde foram acrescentados alguns elétrons.



Eletrização por contato

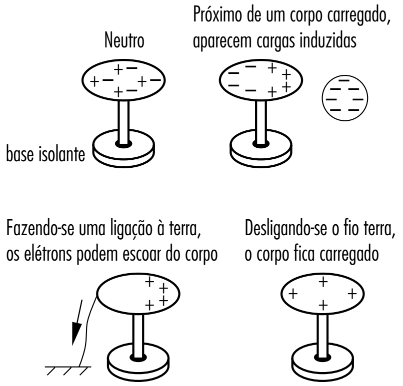
Colocando-se um corpo condutor eletrizado, em contato com um outro corpo condutor, neutro, as cargas irão se distribuir pelos dois corpos. As figuras abaixo nos mostram como proceder para obter a eletrização por contato.



Na eletrização por contato, o corpo neutro adquire o mesmo tipo de carga que o corpo eletrizado e a carga total permanece a mesma inicial. Se os corpos forem idênticos, a carga final em cada corpo será metade da carga inicial, caso contrário, se os corpos forem diferentes, as cargas poderão ser diferentes em cada um.

Eletrização por indução

Com um corpo condutor carregado podemos carregar um outro corpo condutor mesmo sem o contato entre os dois. Ao aproximar um condutor carregado de um outro neutro, aparecem cargas induzidas no corpo neutro. As figuras abaixo ilustram o procedimento para uma eletrização por indução.



E na eletrização por indução o corpo neutro fica com carga contrária à do corpo eletrizado (carregado).

A carga elementar

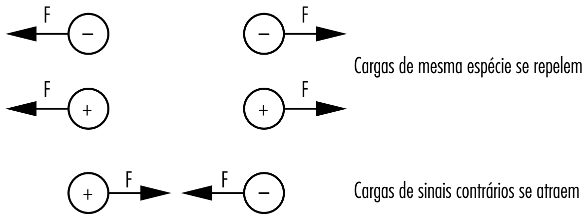
A menor carga possível, chamada carga elementar, é a carga do elétron, que designaremos por e. Seu valor no Sistema Internacional é:

carga do elétron = e = $-1{,}6 \times 10^{-19}$ Coulomb (C).

A carga do próton é em módulo a mesma do elétron.

A lei de Coulomb

Ao aproximarmos dois corpos carregados aparece entre eles uma força, chamada força de Coulomb. Como corpos de mesma carga se repelem e corpos com cargas diferentes se atraem, as forças têm direções conforme ilustrado na figura a seguir:



A força de Coulomb é chamada de força de interação, pois se uma carga q faz força sobre uma carga Q, a carga Q também faz uma força sobre a carga q, de mesmo módulo e sentido contrário à primeira. São forças de ação e reação. A força de Coulomb é diretamente proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas. Assim escrevemos:

$$\boxed{F = K \cdot \frac{Q \cdot q}{d^2}}$$

onde:

F é o módulo da força;

Q e q são as cargas;

d é a distância entre as cargas;

K é um coeficiente de proporcionalidade que depende do meio material onde se encontram as cargas e das unidades de F, q e d. Temos que K é chamada de constante eletrostática.

No Sistema Internacional de Unidades temos:

A força F é medida em newtons (N);

As cargas Q e q são medidas em coulombs (C);

A distância entre as cargas é medida em metros (m).

Assim, no SI, temos: $K = 9 \cdot 10^9\ N \cdot m^2/C^2$. Chamada de constante eletrostática do vácuo.

Esse valor de K é o medido para o vácuo, mas pode também ser utilizado para o ar com boa aproximação.

Exemplo

1) Consideremos duas cargas elétricas de módulos + 4 C e + 2 C, respectivamente, situadas a uma distância de 2 m uma da outra, no vácuo, onde $K = 9 \cdot 10^9$ N • m²/C². Vamos calcular a força elétrica entre as cargas.

Solução

Temos q = 2C; Q = 4C e d = 2 m. Aplicando-se a lei de Coulomb:

$$F = K \cdot \frac{Q \cdot q}{d^2} \Rightarrow F = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{4 \cdot 2}{2^2} = 18 \cdot 10^9 \Rightarrow F = 1{,}8 \cdot 10^{10}\,N$$

Veja que essa força é muitíssimo grande. Ela corresponde ao peso de um corpo cuja massa é de aproximadamente 2.000.000 (dois milhões de toneladas). Isso aconteceu porque supusemos que as cargas eram de 2 e 4 coulombs, respectivamente. Se nos lembrarmos que a carga do elétron é de apenas $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C, vemos que teríamos que ter uma quantidade de elétrons fabulosa para obter apenas 1 C de carga. Na prática trabalhamos com cargas muito menores que 1 C e é muito útil utilizarmos os submúltiplos do coulomb: C; nC e pC, onde:

1 μC = 10^{-6} C = 0,000.001 C (lê-se um microcoulomb);
1 nC = 10^{-9} C = 0,000.000.001 C (lê-se um nanocoulomb);
1 pC = 10^{-12} C = 0,000.000.000.001 C (lê-se um picocoulomb).

2) Lembrando-se que a carga de um único elétron é $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C, calcular quantos elétrons temos em 1 coulomb.

Solução

1 elétron $\rightarrow 1{,}6 \times 10^{-19}$ C
x elétrons $\rightarrow$ 1 C
Então:

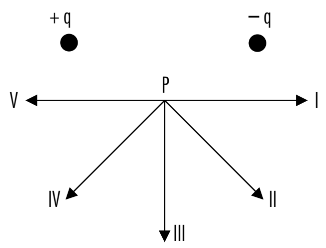
$$\frac{x}{1} = \frac{1}{1{,}6 \cdot 10^{-19}} = \frac{1}{1{,}6} \cdot 10^{19} = 0{,}625 \cdot 10^{19} \Rightarrow x = 6{,}25 \cdot 10^{18}$$

Logo, 1 C = carga de $6{,}25 \cdot 10^{18}$

EXERCÍCIOS

1) Uma carga elétrica q_1 exerce uma força de módulo $F_{1/2}$ sobre uma carga q_2. Sobre a força $F_{2/1}$, que q_2 exerce sobre q_1, podemos afirmar corretamente que:
(A) $F_{2/1}$ tem módulo igual a $2xF_{1/2}$, mesma direção e sentido de $F_{1/2}$
(B) $F_{2/1}$ tem módulo igual a $2xF_{1/2}$, mesma direção e sentido contrário ao de $F_{1/2}$
(C) $F_{2/1}$ tem módulo igual a $F_{1/2}$, mesma direção e sentido de $F_{1/2}$
(D) $F_{2/1}$ tem módulo igual a $F_{1/2}$, mesma direção e sentido contrário ao de $F_{1/2}$
(E) $F_{2/1}$ tem módulo, direção e sentido, diferentes de $F_{1/2}$

2) Duas cargas fixas q e –q produzem uma força sobre uma carga positiva situada em um ponto P, conforme ilustra a figura a seguir.



A força está mais bem representada pelo vetor:
(A) I
(B) II
(C) III
(D) IV
(E) V

3) Uma esfera carregada possui excesso de elétrons com uma carga líquida igual a – 3,2 x 10^{-9} C. Determine o número de elétrons em excesso sobre a esfera.
Dado: carga do elétron e =1,6 x 10^{-19} C

4) Duas esferas de plástico possuem cargas elétricas positivas e iguais. Quando elas estão no vácuo e separadas por uma distância igual a 15 cm, a força de repulsão entre elas tem módulo igual a 0,22 N. Determine o valor da carga elétrica em cada esfera sabendo que a constante eletrostática do vácuo é k = 9,0 x 10^9 (N • m²) / C².

5) Determine a distância entre o próton e o elétron do átomo de hidrogênio para que a força de atração elétrica entre eles seja igual ao peso do elétron na superfície terrestre.
Dados:
Massa do elétron, m_e = 9,1 x 10^{-31} kg
Constante eletrostática do vácuo, k = 9,0 x 10^9 (N • m²) / C²
Aceleração da gravidade g = 10 m/s²

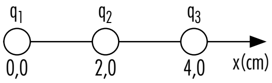
6) Duas cargas q_1 e q_2 se atraem com uma força de módulo F. A seguir, duplicamos a carga q_1, triplicamos a carga q_2 e reduzimos à metade a distância entre as cargas. Determine a nova força entre as cargas em função de F.

7) Uma pequena esfera eletrizada entra em contato com outra esfera idêntica, porém neutra. A seguir, as duas esferas são separadas por uma distância 30 cm.

Observa-se, então, que elas se repelem com uma força igual a 0,10 N. Determine a carga inicial da esfera eletrizada. Considere as cargas no vácuo.

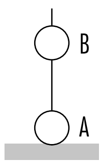
8) Duas pequenas esferas idênticas de cargas q e 3q atraem-se com uma força F quando estão separadas por uma distância r. Estabelecemos o contato entre as esferas e, a seguir, tornamos a separá-las pela mesma distância r. Determine o valor da nova força F' entre as esferas. Considere as esferas no vácuo.

9) Três pequenas esferas com cargas $q_1 = 5,0$ nC, $q_2 = 1,0$ nC e $q_3 = -3,0$ nC estão localizadas sobre o eixo x como mostra a figura a seguir. Determine a força elétrica resultante (módulo, direção e sentido) aplicada sobre a carga q_1. Considere as esferas no vácuo. Dado: 1 nC = 10^{-9} C.



10) Na rede cristalina do cloreto de sódio, a menor distância entre o íon Na^+ e o íon Cl^- é 3,0 A (ângstron). Determine a força elétrica de atração entre os íons.
Dado: 1 A = 10^{-10} m.

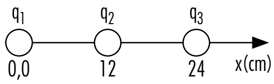
11) A figura a seguir mostra duas pequenas esferas A e B com cargas iguais. A esfera A e a haste isolante vertical estão presas ao plano horizontal também isolante. A esfera B pode deslizar sem atrito ao longo da haste e se mantém em equilíbrio quando a distância entre as duas esferas é 1,0 m. A massa da esfera B é igual a 10 g. Determine a carga elétrica de cada esfera. Considere as esferas no vácuo e a aceleração da gravidade igual a 10 m/s^2.



12) Três cargas elétricas positivas de 5,0 μC cada uma ocupam os vértices de um triângulo retângulo cujos catetos medem 5,0 cm. Calcule a força elétrica resultante que atua sobre a carga elétrica posicionada no vértice do ângulo reto. Considere as cargas no vácuo. Dado: 1 μC = 10^{-6}C.

13) Duas cargas elétricas fixas $q_1 = +27$ μC e $q_2 = -3,0$ μC distam 20 cm uma da outra. Determine a posição, sobre a reta que passa por q_1 e q_2, onde devemos colocar uma terceira carga para que ela fique em equilíbrio. Considere as cargas no vácuo. Dado: 1 μC = 10^{-6} C.

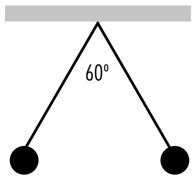
14) Três pequenas esferas têm cargas q_1, q_2 e q_3. Elas estão sobre um plano horizontal sem atrito, e, em equilíbrio. Veja a figura. A carga $q_2 = +2,7 \times 10^2$ μC. Determine:



a) os sinais das cargas q_1 e q_3

b) os valores das cargas q_1 e q_3. Considere as esferas no vácuo.
Dado: 1 μC = 10^{-6} C

15) Os dois pêndulos da figura estão em equilíbrio. A carga elétrica de cada esfera é de 1,0 μC. O comprimento de cada fio isolante é 9,0 cm. Determine a massa de cada esfera. Considere as esferas no vácuo e g = 10 m/s^2.
Dado: 1 μC = 10^{-6} C.



16) Calcular o módulo, a direção e o sentido da força de interação entre duas cargas com – 6μC e 3μC, posicionadas a 30 cm uma da outra, no vácuo.

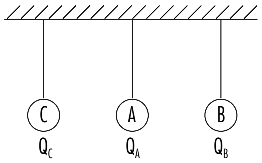
17) Calcular a que distância devemos colocar duas cargas positivas de $4,0 \cdot 10^{-4}$ C para que a força entre elas seja de módulo igual a 160 N, no vácuo.

18) (FAFI–MG) Dizer que a carga elétrica é quantizada significa que ela:
(A) só pode ser positiva
(B) não pode ser criada nem destruída
(C) pode ser isolada em qualquer quantidade
(D) só pode existir como múltipla de uma quantidade mínima definida
(E) pode ser positiva ou negativa

19) (UNITAU–SP) Uma esfera metálica tem carga elétrica negativa de valor igual a $3,2 \cdot 10^{-4}$ C. Sendo a carga do elétron igual a $1,6 \cdot 10^{-19}$ C, pode-se concluir que a esfera contém:
(A) $2 \cdot 10^{15}$ elétrons

(B) 200 elétrons
(C) um excesso de $2 \cdot 10^{15}$ elétrons
(D) $2 \cdot 10^{10}$ elétrons
(E) um excesso de $2 \cdot 10^{10}$ elétrons

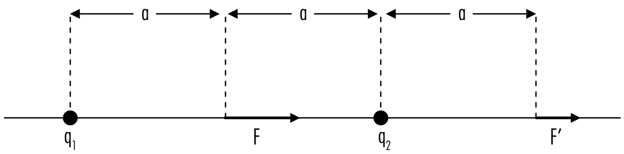
20) (UNIRIO) Três esferas idênticas, muito leves, estão penduradas por fios perfeitamente isolantes, num ambiente seco, conforme mostra a figura. Num determinado instante, a esfera A ($Q_A = 20\ \mu C$) toca a esfera B ($Q_B = -2\ \mu C$); após alguns instantes, afasta-se e toca na esfera C ($Q_C = -6\ \mu C$), retornando à posição inicial. Após os contatos descritos, as cargas das esferas A, B e C são, respectivamente, iguais a (em μC):



(A) $Q_A = 1,5$ $\quad Q_B = 9,0$ $\quad Q_C = 1,5$
(B) $Q_A = 1,5$ $\quad Q_B = 11$ $\quad Q_C = 9,0$
(C) $Q_A = 2,0$ $\quad Q_B = -2,0$ $\quad Q_C = -6,0$
(D) $Q_A = 9,0$ $\quad Q_B = 9,0$ $\quad Q_C = 9,0$
(E) $Q_A = 9,0$ $\quad Q_B = 9,0$ $\quad Q_C = 1,5$

21) (UFF) Três esferas condutoras idênticas I, II e III têm, respectivamente, as seguintes cargas elétricas: 4q, – 2q e 3q. A esfera I é colocada em contato com a esfera II e, logo em seguida, é encostada à esfera III. Pode-se afirmar que a carga final da esfera I será:
(A) q
(B) 2q
(C) 3q
(D) 4q
(E) 5q

22) (CEDERJ/2005) Duas cargas q_1 e q_2 estão separadas por um distância 2a. Uma carga de prova é colocada no ponto médio do segmento que une as duas cargas q_1 e q_2 e depois no prolongamento desse segmento, a uma distância a da carga q_2. Vamos representar por F o módulo da força na carga de prova quando ela está no ponto médio, e por F' o módulo da força sobre ela quando está no outro ponto, conforme ilustra a figura.

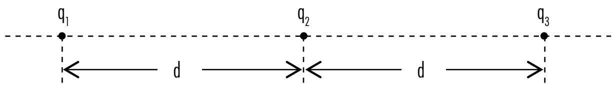


Embora esses dois módulos sejam desconhecidos, sabe-se que a razão entre eles é dada por F/F`= 3/2. Calcule a razão q_1/q_2.
Dica: chame a carga de prova de q_0 e aplique a lei de Coulomb para calcular F e F' nas respectivas posições. Em seguida encontre F/F`, cujo valor é dado, para obter q_1/q_2.

23) (CEDERJ/2003) Duas pequenas esferas condutoras idênticas, uma eletrizada com carga q e a outra com carga 3q, estão afastadas a uma distância d. Nessa situação a intensidade da força elétrica entre elas é F. A seguir, as esferas são postas em contato uma com a outra e afastadas até uma distância 2d, onde a intensidade da força entre elas passa a ser F´. Determine:
a. as cargas nas esferas na situação final;

b. a razão entre F e F´.

24) (CEDERJ / 2001) Três partículas com cargas elétricas, respectivamente, q_1, q_2 e q_3 estão dispostas ao longo de uma reta, separadas por uma distância d, conforme a figura:



As cargas q_1 e q_2 são mantidas fixas. A carga q_3 está livre, mas, apesar disto, mantém-se em repouso. A razão entre os módulos das cargas q_1 e q_2 é:
(a) 1
(b) 2
(c) 8
(d) 4
(e) 6

25) (UFMS/2002) Duas cargas positivas separadas por uma certa distância sofrem uma força de repulsão. Se o valor de uma das cargas for dobrada e a distância entre elas duplicada, então, em relação ao valor antigo de repulsão, a nova força será:
(A) o dobro.
(B) o quádruplo.
(C) a quarta parte.
(D) a metade.

2

O campo e o potencial elétrico

:: Meta ::
Introduzir os conceitos de campo e de potencial elétricos.

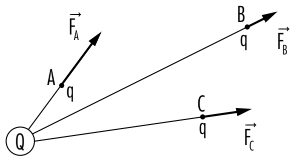
:: Objetivos ::
- *Resolver exercícios envolvendo as noções de campo e potencial elétricos produzidos por uma carga;*
- *Calcular a força sobre uma carga na presença de um campo elétrico;*
- *Calcular a diferença de potencial elétrico entre dois pontos de um campo uniforme;*
- *Identificar possíveis trajetórias de partículas carregadas movendo-se no interior de campos elétricos uniformes.*

Introdução

No capítulo anterior vimos que sempre que colocamos uma carga na proximidade de uma outra, aparece uma força de interação entre elas, proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre as mesmas. Neste capítulo vamos interpretar o fenômeno da ação entre as cargas, como uma propriedade do espaço em torno da carga. Leia com atenção o que se segue.

O campo elétrico

Sempre que tivermos uma carga (Q) em algum lugar do espaço, qualquer outra carga (q), colocada na região próxima da primeira, experimentará a ação desta. Veja na figura a seguir, onde colocamos uma carga (q) em várias posições ao redor de uma carga (Q) e indicamos a força exercida sobre (q) em vários pontos do espaço.



Veja que em cada ponto, A, B e C, a carga q sente uma força elétrica que, no caso, são diferentes em cada ponto.

A noção de campo elétrico pode ser dada pelo conjunto de valores da força elétrica que uma carga (q) irá sentir ao ser colocada num ponto do espaço. O valor dessa força é:

$\vec{F} = q\vec{E}$, sendo que $\vec{E}$ é o que chamamos de vetor intensidade de campo elétrico, e q a carga de prova.

De acordo com o que vimos acima, a intensidade do campo elétrico em uma região do espaço é dada por:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad \text{ou} \quad \vec{F} = q\vec{E}$$

onde:

$\vec{F}$ = força exercida sobre a carga q (força de Coulomb)

q = carga de prova que colocamos na região onde se encontra o campo elétrico $\vec{E}$

Exemplo

Numa região do espaço existe um campo elétrico, sendo sua intensidade em um determinado ponto P igual a $6{,}0 \cdot 10^4$ N/C. Calcular a força exercida sobre uma carga q = 30 nC, colocada nesse ponto do campo.

Solução

Temos: $q = 30\ \text{nC} = 30 \cdot 10^{-9}\ \text{C}$

$E = 6{,}0 \cdot 10^4$

Com: $\vec{F} = q\vec{E}$

$F = 30 \cdot 10^{-19} \cdot 6{,}0 \cdot 10^4 = 180 \cdot 10^{-5}$

$F = 1{,}8 \cdot 10^{-3}$ N

O Módulo, a Direção e o Sentido do Vetor Campo Elétrico

Módulo de E

Temos que $\vec{F} = q\vec{E}$ (da definição de campo elétrico)

Como $F = K \cdot \frac{Q \cdot q}{d^2}$ (pela Lei de Coulomb), igualando as duas expressões $qE = K \cdot \frac{Q \cdot q}{d^2}$ obtemos $\boxed{E = \frac{KQ}{d^2}}$

Observação

Note que nessa expressão do campo não aparece a carga q. Isso significa que o campo elétrico existe na região do espaço que estamos considerando, mesmo na ausência de q. <u>O campo é uma propriedade do espaço</u>.

Unidade SI de campo elétrico

Podemos ver diretamente que:

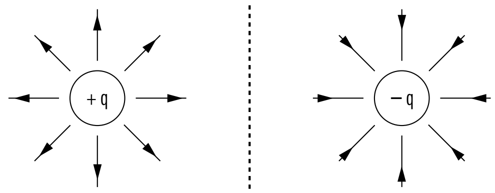
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \Rightarrow [\text{unidade de E}] = \frac{N}{C}\left(\frac{\text{Newton}}{\text{Coulomb}}\right)$$

A direção do vetor $\vec{E}$

Como $\vec{F} = q\vec{E}$ a direção de $\vec{E}$ será a mesma do vetor $\vec{F}$, que é a mesma da direção da reta que une a carga que gera o campo (Q, no caso) e o ponto onde se colocou a outra carga q.

O sentido do vetor $\vec{E}$

O sentido do vetor campo elétrico $\vec{E}$, em um ponto do campo, é sempre o sentido do movimento que teria uma carga de prova, positiva, q , quando colocada no ponto considerado. Veja nas figuras a seguir os sentidos do campo elétrico nas proximidades de uma carga positiva, e de uma carga negativa.



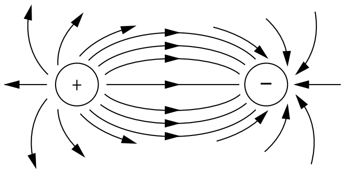
As linhas desenhadas indicam a direção do campo. Elas são chamadas linhas de força.

Se você colocasse uma carga de prova, positiva, q_0, num ponto próximo de cada carga mostrada na figura anterior, para onde ela se moveria?

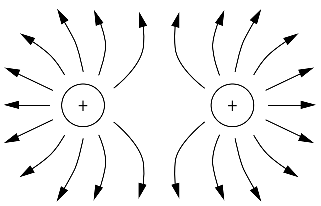
A carga de prova, positiva, seria repelida pela carga positiva (de mesmo sinal que ela) e seria atraída pela carga negativa. Ela se moveria no sentido indicado pelas setas desenhadas em cada figura anterior.

Campo de um dipolo

Duas cargas de sinais contrários, colocadas próximas uma da outra, formam um dipolo elétrico. A forma das linhas de força em um dipolo está ilustrada na figura a seguir. O campo é mais intenso onde as linhas estão mais próximas, isto é, onde temos uma maior densidade de linhas de campo.



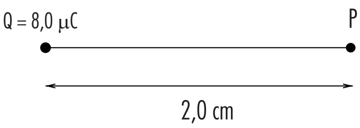
Para duas cargas de mesmo sinal, por exemplo duas cargas positivas, as linhas de força têm a forma ilustrada na figura a seguir. No ponto médio da linha imaginária que une as cargas, o campo é nulo. Veja que não há linhas de força nessa região.



Exemplo

Calcular o módulo, a direção e o sentido do campo elétrico criado por uma carga Q = 8,0 μC, numa posição P, situado a 2,0 cm da carga, conforme ilustra a figura a seguir.

Dado: constante eletrostática do meio $K = 9 \cdot 10^9\ N \cdot m^2/C^2$



Solução

Temos:

$Q = 8{,}0\ \mu C = 8{,}0 \cdot 10^{-6}\ C$

$d = 2{,}0\ cm = 2{,}0 \cdot 10^{-2}\ m$

Assim:

$$E = K\frac{Q}{d^2} \Rightarrow E = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{8{,}0 \cdot 10^{-6}}{\left(2{,}0 \cdot 10^{-2}\right)^2} = \frac{72 \cdot 10^3}{4{,}0 \cdot 10^{-4}}$$

$$\Rightarrow E = 18 \cdot 10^3 \cdot 10^4 = 18 \cdot 10^7$$

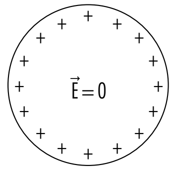
Módulo: $E = 1{,}8 \times 10^8\ N/C$

A direção: a direção de $\vec{E}$ é a mesma da reta que une Q a P.

O sentido: $\vec{E}$ tem o sentido do movimento de uma carga de prova positiva se colocada em P para a direita.

Campo no interior dos condutores

As cargas de mesma espécie se repelem, assim, em um condutor, elas tendem a se separar o máximo possível de modo a ficarem em sua superfície. Este fato faz com que no interior do condutor o campo elétrico seja nulo.

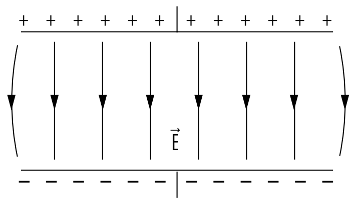


O condutor funciona como uma blindagem para campos elétricos externos. Por esse motivo algumas peças de rádio e televisão são envoltas por caixas metálicas, ligadas a um fio terra. Do mesmo modo estaremos mais protegidos dos raios, em uma tempestade, se ficarmos no interior de um automóvel. A lataria metálica blinda seu interior.

Campo elétrico uniforme

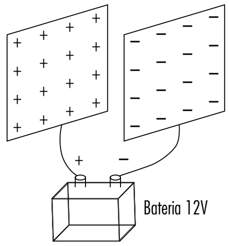
O campo elétrico produzido por uma carga, como nos exemplos anteriores, não é uniforme, pois tem valores diferentes em diferentes pontos do espaço. Podemos produzir um campo razoavelmente uniforme, se colocarmos duas placas carregadas com cargas opostas. A figura a seguir ilustra como é o campo no interior das placas carregadas.

Devemos tomar cuidado com o chamado efeito de bordas pois próximo a elas o campo se distorce e não é mais uniforme.



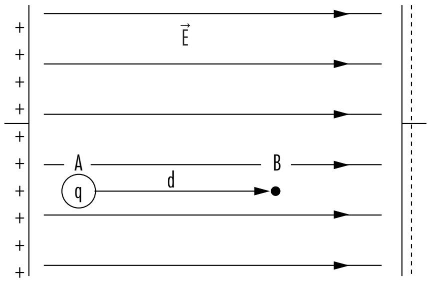
Como fazer para carregar as placas condutoras

Podemos carregar duas placas, simplesmente ligando cada uma delas aos terminais de uma pilha ou de uma bateria de automóvel por meio de fios condutores. As cargas irão fluir para as placas e, depois de um tempo razoavelmente curto, elas ficarão carregadas, conforme ilustrado a seguir:



A diferença de potencial (ddp)

Vamos considerar um campo elétrico uniforme, E, com intensidade de 20 N/C, e dois pontos A e B separados pela distância d = 2 metros, no interior de duas placas carregadas.



Se colocarmos uma carga de 4,0 C no ponto A, ela ficará sob a ação de uma força elétrica dada por: $F = qE = 4{,}0 \cdot 20 = 80$ N.

Dessa forma a carga irá se movimentar no sentido de B. O trabalho realizado pela força elétrica para deslocar a carga nos dois metros que separam A e B será dado por: $\tau_{AB} = F \cdot d = 80 \cdot 2 = 160$ J

Imagine agora que queremos mover a carga de volta para o ponto A. Nós teremos que realizar também um trabalho igual a 160 J sobre a carga. Podemos então dizer que a carga possui 160 J de energia potencial elétrica, a mais, em A do que em B.

Chamando de E_{PA} a energia potencial em A e de E_{PB} a energia potencial em B, podemos então dizer que $E_{PB} - E_{PA} = \tau_{AB}$

Note também que, sendo $F = qE$ e $\tau_{AB} = F \cdot d$, podemos escrever $\tau_{AB} = q \cdot E \cdot d$ onde:

$$\frac{\tau_{AB}}{q} = E \cdot d$$

E vemos que o trabalho realizado sobre a carga é proporcional à carga, pois E e d são constantes. Podemos ver também que entre os pontos A e B, a razão entre o trabalho e a carga é uma constante. <u>A essa razão chamamos de diferença de potencial (ddp)</u>:

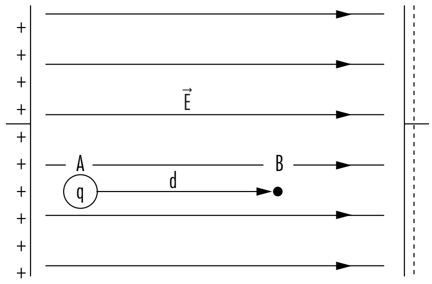
$$ddp = V_A - V_B = V_{AB} = \frac{\tau_{AB}}{q} \Rightarrow ddp = \frac{\text{Trabalho realizado sobre a carga}}{\text{carga}}$$

Dizemos também que V_A é o potencial em A e V_B é o potencial em B.

A unidade de medida de ddp no SI é o J/C que chamamos de VOLT (V). Isso significa que o VOLT é <u>a diferença de potencial capaz de fornecer 1 joule de energia a uma carga de 1 coulomb</u>.

Mais detalhes sobre a ddp entre os pontos de um campo uniforme e

Consideremos novamente a região entre duas placas carregadas, onde existe um campo elétrico uniforme.



Se colocarmos uma carga de prova q no ponto A, ela irá se deslocar até B, pela ação da força elétrica produzida pelo campo. Teremos então:

trabalho realizado sobre a carga q $\quad \tau_{AB} = F \cdot d$

força exercida sobre a carga $\quad F = qE$

Assim podemos escrever:

$$\tau_{AB} = q \cdot E \cdot d \text{ onde } \frac{\tau_{AB}}{q} = E \cdot d \quad \text{logo } \boxed{V_{AB} = E \cdot d}$$

Veja que E = V/d e também E = F/q logo, no Sistema Internacional de Unidades, o campo pode ser medido tanto em volt/metro quanto em newton/coulomb.

Exemplo

1) Duas placas planas e paralelas são ligadas aos polos (+) e (–) de uma bateria de automóvel, de modo que fica estabelecida uma ddp de 12 V entre as placas. Dessa forma as cargas fluem da bateria para as placas até que elas fiquem carregadas. Sendo de 10 cm a distância entre as placas, calcular a intensidade do campo elétrico entre elas.

Solução

Temos:

$ddp = V_{AB} = 12$ V e d = 10 cm = 0,1 m.

Como $V_{AB} = E \cdot d$, $E = \frac{V_{AB}}{d} = \frac{12}{0{,}1} = 120 \text{ V/m}$

2) Suponha que duas placas planas paralelas, separadas pela distância de 40 cm, são carregadas de modo que em seu interior existe um campo uniforme. Pede-se calcular qual ddp devemos estabelecer entre as placas para que a intensidade do campo seja E = 200 N/C.

Solução

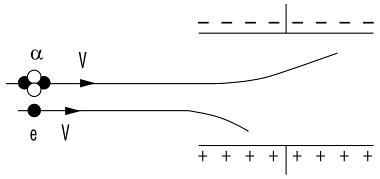
Temos: d = 40 cm = 0, 4m e E = 200 N/C

Logo $ddp = V_{AB} = E \cdot d = 200 \cdot 0{,}4 = 80$ volts

Movimento de partículas que penetram numa região onde existe um campo elétrico uniforme

Quando uma partícula carregada penetra numa região onde existe um campo elétrico, ela sente uma força elétrica $F = q \cdot E$, de modo que é acelerada na direção da força. Vamos imaginar que um elétron e uma partícula α penetrem num campo elétrico uniforme, ambos com velocidade V.

O elétron tem carga negativa e a partícula α que nada mais é que o núcleo do Hélio tem dois prótons e dois nêutrons, portanto sua carga é positiva. Assim, o elétron tende a se movimentar na direção contrária à do campo, enquanto que a α tende a se movimentar na mesma direção do campo. Suas trajetórias aproximadas estão representadas na figura a seguir.



Vamos fazer um exemplo numérico.

Exemplo

Suponha que a distância entre as placas da figura anterior seja de 5,0 cm e a ddp 100 V. Qual será a força elétrica sobre o elétron e sobre a partícula alfa ao penetrarem no campo?

Solução

Temos os seguintes dados:

A força elétrica é $F = q \cdot E$

O elétron tem carga $e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C

E partícula α tem carga $q = +\,2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ C = +\,3{,}2 \cdot 10^{-19}$ C (só os prótons têm carga).

Precisamos calcular o campo.

Como a distância entre as placas é d = 5,0 cm = 0,05m, ddp = 100 V e $V_{AB} = E \cdot d$ teremos:

$E = 2000 = 2 \cdot 10^3$ V/m.

Logo, para o elétron:

$F = q \cdot E = -\,1{,}6 \cdot 10^{-19}\ (C) \cdot 2 \cdot 10^3\ (V/m) = -\,3{,}2 \cdot 10^{-16}$ N.

E para α:

$F = q \cdot E = 3{,}2 \cdot 10^{-19}\ (C) \cdot 2 \cdot 10^3\ (V/m) = 6{,}4 \cdot 10^{-16}$ N.

Note que a força sobre a alfa é o dobro da força sobre o elétron. Porque então a trajetória da alfa é muito mais suave que a trajetória do elétron? (repare na figura anterior). Ela não é puxada com uma força bem maior?

Embora a força sobre a alfa seja 100% maior que sobre o elétron (o dobro), sua massa é quase 8.000 vezes maior que a do elétron e por isso sua inércia é muito maior, sendo mais difícil fazê-la mudar a trajetória.

EXERCÍCIOS

1) (UEL–PR) Um próton tem massa m e carga elétrica e. Uma partícula α tem massa 4 m e carga 2e. Colocando sucessivamente um próton e uma partícula α numa região em que há um campo elétrico constante e uniforme, estas partículas ficarão sujeitas a forças elétricas F_p e F_α, respectivamente. A razão F_p / F_α vale:

(A) $\frac{1}{4}$

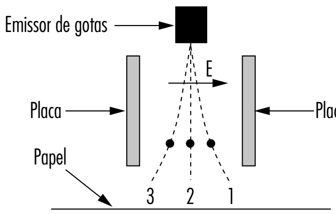
(B) $\frac{1}{2}$

(C) 1

(D) 2

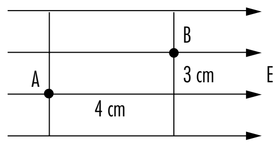
(E) 4

2) (UFRN) Uma das aplicações tecnológicas modernas foi a invenção da impressora a jato de tinta. Esse tipo de impressora utiliza pequenas gotas de tinta, que podem ser eletricamente neutras ou eletrizadas positiva ou negativamente. Essas gotas são jogadas entre as placas defletoras da impressora, região onde existe um campo elétrico uniforme E, atingindo, então, o papel para formar as letras. A figura a seguir mostra três gotas de tinta, que são lançadas para baixo, a partir do emissor. Após atravessar a região entre as placas, essas gotas vão impregnar o papel (o campo elétrico uniforme está representado por apenas uma linha de força). Pelos desvios sofridos, pode-se dizer que a gota 1, a 2 e a 3 estão, respectivamente



(A) carregada negativamente, neutra e carregada positivamente.
(B) neutra, carregada positivamente e carregada negativamente.
(C) carregada positivamente, neutra e carregada negativamente.
(D) carregada positivamente, carregada negativamente e neutra.

3) (ESAM–RN) A figura mostra linhas de força de um campo elétrico uniforme, de $2 \cdot 10^3$ V/m de intensidade, separadas 3 cm uma da outra, e duas superfícies equipotenciais desse campo, distantes 4 cm.

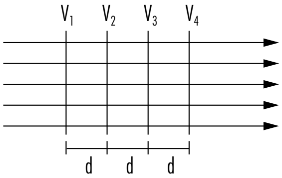


O trabalho realizado pela força do campo para deslocar uma carga elétrica positiva de $6 \cdot 10^{-6}$ C de A até B, em 10^{-4} joules, será:

(a) 3,6
(b) 4,8
(c) 6,0

(d) 7,2
(e) 8,4

4) (UFSM–RS) A figura representa linhas de força de um campo elétrico uniforme e quatro superfícies equipotenciais separadas pela mesma distância d. Uma carga +Q deslocada nesse campo ganhará mais energia potencial eletrostática, ao ser movimentada de:



(A) V_1 para V_3
(B) V_2 para V_4
(C) V_4 para V_2
(D) V_4 para V_1
(E) V_3 para V_1

5) (UFF/2009) Três partículas elementares são aceleradas, a partir do repouso, por um campo elétrico uniforme E. A partícula 1 é um próton, de massa m_P; a partícula 2 é um deuteron, composta por um próton e um nêutron, cuja massa é $m_N = m_P$; a partícula 3 é uma alfa, composta por dois prótons e dois nêutrons.

Desprezando-se a ação da gravidade, as partículas 1, 2 e 3 percorrem, respectivamente, num mesmo intervalo de tempo, as distâncias d_1 , d_2 e d_3 . É correto afirmar que:

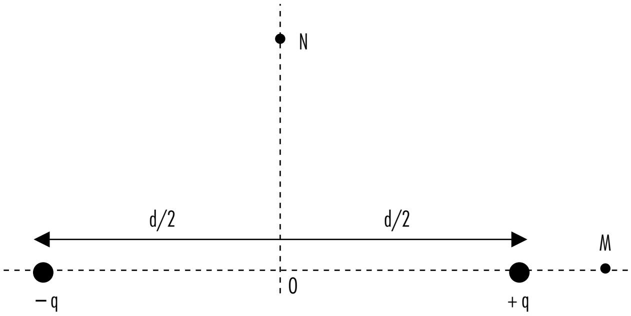
Dica: lembre-se que F = ma, que num campo elétrico F = q • E e que se a força é constante então a aceleração também é, assim temos MUV onde $S = S_0 + V_0t + (½)a \cdot t^2$...

(A) $d_1 > d_2 > d_3$
(B) $d_1 > d_2 = d_3$
(C) $d_1 = d_2 > d_3$
(D) $d_1 < d_2 < d_3$
(E) $d_1 = d_2 = d_3$

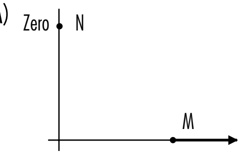
6) (UFJF/2001) Uma gotícula de óleo, de massa $m = 9,6 \times 10^{-15}$ kg e carregada com carga elétrica $q = -3,2 \times 10^{-19}$ C, cai verticalmente no vácuo. Num certo instante, liga-se nesta região um campo elétrico uniforme, vertical e apontando para baixo. O módulo deste campo elétrico é ajustado até que a gotícula passe a cair com movimento retilíneo e uniforme. Nesta situação, qual o valor do módulo do campo elétrico?

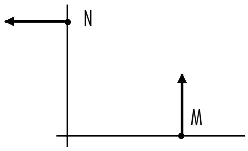
(A) $3,0 \times 10^5$ N/C
(B) $2,0 \times 10^7$ N/C
(C) $5,0 \times 10^3$ N/C
(D) $8,0 \times 10^{-3}$ N/C

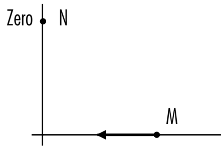
7) (CEDERJ/2002) A figura mostra duas cargas elétricas pontuais, separadas pela distância d, e os pontos M e N situados em eixos perpendiculares, tais que OM = ON

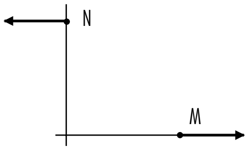


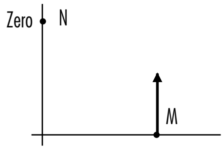
Indique a representação correta do campo elétrico em M e N.

(A)


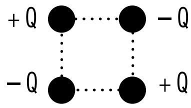
(B)


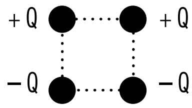
(C)


(D)


(E)


8) Quatro cargas elétricas de módulos iguais estão colocadas nos vértices de um quadrado, como indicam as figuras (I) e (II). Em qual delas no centro do quadrado:

(I)


(II)


a) o potencial é nulo?

b) o campo elétrico é nulo?

3

A CORRENTE ELÉTRICA E A LEI DE OHM

:: Meta ::
Introduzir o conceito de corrente elétrica e a lei de Ohm.

:: Objetivos ::
- *Caracterizar as correntes elétricas;*
- *Resolver exercícios de aplicação da Lei de Ohm em resistores.*

Introdução

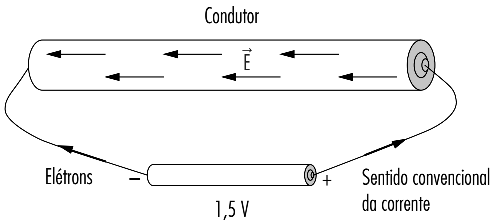
Nos capítulos anteriores vimos o comportamento das cargas elétricas e das forças a que são submetidas quando estão na presença de campos elétricos. Neste capítulo vamos estudar o comportamento das cargas quando se movem em circuitos elétricos. Vamos começar nosso estudo definindo o conceito de corrente elétrica.

Corrente elétrica

No estudo da eletrização já havíamos visto que nos condutores, tais como os metais, como o cobre, o alumínio, o ferro, o ouro, a platina etc., embora os átomos estejam fortemente ligados na estrutura do metal, os elétrons da última camada atômica podem se mover livremente através de todo o metal.

Como fazer com que as cargas se movimentem em um condutor

Se o condutor for submetido a uma diferença de potencial entre suas extremidades, ele ficará sujeito à ação de um campo elétrico. As cargas livres do condutor, interagindo com o campo, poderão mover-se sob a ação dele. Essa diferença de potencial pode ser obtida por meio de uma bateria, como a dos automóveis, ou por uma pilha comum de lanterna, ligada às extremidades do condutor.



A pilha estabelece uma diferença de potencial constante entre as extremidades do condutor

Convenção de Sinal

Nos condutores sólidos, como os metais, são os elétrons que se movimentam (cargas negativas) mas, por convenção, tomamos o sentido da corrente elétrica como sendo o do movimento contrário ao movimento dos elétrons. Isso nos facilitará um pouco na resolução de problemas de circuitos elétricos.

Em algumas soluções líquidas, como nas soluções ácidas ou alcalinas das baterias utilizadas em automóveis, além dos elétrons, os íons positivos e negativos também podem se movimentar, cada um para um lado. Chamamos de corrente elétrica o movimento ordenado de cargas em um condutor. Por convenção o sentido da corrente elétrica é o do movimento que teriam as cargas positivas.

Intensidade de corrente elétrica

Chamamos de intensidade de corrente elétrica à quantidade de cargas que passam pelo condutor por unidade de tempo. Quanto mais cargas passarem tanto maior será a intensidade de corrente elétrica. Designando a intensidade de corrente elétrica pela letra I, podemos escrever:

$\boxed{I = \frac{q}{t}}$ onde I é a intensidade de corrente elétrica; q é a quantidade de carga; t é o tempo.

No Sistema Internacional de Unidades a carga é medida em coulomb e o tempo em segundos. Assim, a unidade de intensidade de corrente elétrica será dada por coulomb/segundo. Essa unidade recebe o nome de ampère e é representada pela letra A.

$$I = \frac{q}{t} \Rightarrow 1\ A = 1\ C/s$$

Corrente alternada (AC) e corrente contínua (CC)

As baterias de automóveis, de telefones celulares, assim como as pilhas comuns de lanterna, fornecem uma corrente contínua (CC). As cargas movimentam-se sempre no mesmo sentido.

A corrente fornecida pelas usinas hidrelétricas ou termoelétricas, que abastecem de energia nossas casas, é alternada (AC). As cargas livres se movimentam ora num sentido ora em outro.

Atividade 1

Exercite seu aprendizado sobre o que estudou até aqui, resolvendo as questões a seguir:

a. Calcular a intensidade de corrente elétrica em um condutor por onde passam 620 C em 124 segundos.

b. Lembrando que 1 coulomb corresponde à carga de 6,25 . 1018 cargas elementares, calcule quantos elétrons passam, por segundo, em um condutor que está conduzindo uma corrente de 2A.

c. Como denominamos as correntes que se movimentam num mesmo sentido e as correntes que andam ora num ora noutro sentido, respectivamente?

d. O que é necessário fazer nas extremidades de um condutor, para que seja estabelecida uma corrente elétrica?

Os Resistores e a Lei de Ohm

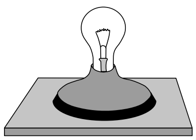
Nos condutores, como vimos anteriormente, as cargas podem movimentar-se livremente. Bons condutores não apresentam quase nenhuma resistência à passagem da corrente. Se ligarmos um fio condutor diretamente aos terminais de uma bateria, ou de uma pilha, isso constituirá um curto-circuito. A corrente será muitíssimo alta e o resultado será um aquecimento muito grande do fio, de modo que ele normalmente derrete.

Os Resistores

Os resistores são dispositivos construídos especialmente para resistirem à passagem da corrente elétrica, sendo utilizados principalmente com as finalidades de controlar a intensidade de corrente, transformar a energia elétrica em energia térmica e luminosa ou produzir uma queda de tensão entre dois pontos de um circuito. Vários dispositivos que utilizamos em nosso dia a dia possuem resistências, por exemplo:

As lâmpadas incandescentes

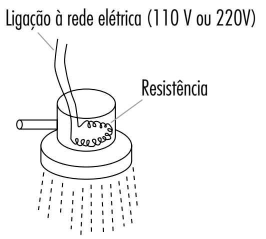
As lâmpadas incandescentes possuem um filamento, consistindo de um fio bem fino de tungstênio, enrolado sob a forma de uma molinha, que quando ligadas, oferecem grande resistência à passagem da corrente elétrica e se aquecem tanto (acima de 1.000º C) que, além de calor, emitem também energia sob a forma de luz.

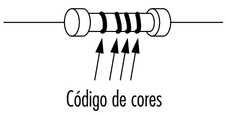


Os chuveiros elétricos

Nos chuveiros (assim como nos ferros de passar roupa) a resistência é utilizada apenas com a finalidade de aquecer.

Nos aparelhos eletrônicos em geral, são utilizados resistores com a finalidade de causar uma diminuição do potencial elétrico entre dois pontos do circuito. Os resistores vendidos nas casas de material eletrônico são, normalmente, construídos com um pequeno cilindro de cerâmica, envolto por um material resistivo à base de carbono. Em suas extremidades, eles têm fios condutores para fazermos a ligação ao circuito. Esses resistores têm a aparência mostrada na figura a seguir. Um código de cores, pintado sobre eles, indicam o valor da resistência.





A Lei De Ohm

Estudando a passagem de corrente em vários tipos de materiais que oferecem alguma resistência, o físico Ohm (George Simon Ohm, 1787–1854) verificou que, para uma mesma temperatura, a diferença de potencial entre os terminais do resistor é proporcional à intensidade de corrente elétrica. Hoje em dia esses resistores são chamados de resistores ôhmicos (em homenagem a Ohm). Podemos então escrever: $V \propto I$ ou $\boxed{V = R \cdot I}$, onde a constante de proporcionalidade, R, é a resistência. Ela nos indica o quanto os átomos dos quais é feito o material do resistor, resistem à passagem da corrente elétrica.

Unidade SI de Medida de Resistência

Como $V = R \cdot I$, podemos escrever $R = V/I$. Sabemos que no SI a ddp (V) é medida em volts e a corrente (I) em ampères. A unidade de resistência será então V/A. A essa unidade chamamos de ohms, e identificamos pela letra grega ômega (Ω). Assim:

$$1\,\text{ohm} = 1\,\Omega = 1\frac{V}{A}$$

Atividade 2

Teste novamente seu conhecimento resolvendo as questões a seguir:

a. Calcule a corrente que passa em um resistor de 4 Ω quando submetido a uma ddp de 12 volts.

b. Que ddp devemos aplicar nos terminais de um resistor de 20 Ω para que se estabeleça uma corrente de 5A?

c. Para que são utilizados os resistores?

A resistência elétrica nos diversos materiais

A resistência elétrica depende não apenas do material de que é feito o resistor, mas também de suas dimensões. Mesmo os materiais ditos condutores, como os fios de cobre, oferecem uma resistência à passagem da corrente, principalmente se forem muito compridos.

De um modo geral a resistência depende principalmente:

- do material
- da temperatura
- do comprimento (L)
- da área da seção reta (A)

Para uma dada temperatura, a resistência é diretamente proporcional ao comprimento (L) e inversamente proporcional à área de seção reta (A). Assim:

$R = \rho \cdot \frac{L}{A}$ onde ρ (letra grega rô) é chamada resistividade do material.

Unidade SI de Resistividade

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A} \Rightarrow \rho = R \cdot \frac{A}{L} \Rightarrow \text{unidade } \rho = \left[\Omega \cdot \frac{m^2}{m} \right] = \Omega \cdot m$$

Vemos que quanto mais fino e comprido, maior será a resistência oferecida por um fio. Para a instalação de um chuveiro, que consome muita energia, devemos colocar um fio mais grosso do que o utilizado para acender uma lâmpada. Do mesmo modo, quando temos que levar a corrente elétrica a uma grande distância, também devemos colocar um fio mais grosso. A seguir temos o valor da resistividade de alguns materiais conhecidos:

Material	Resistividade em Ohm · m e a 20° C
Prata	$1{,}6 \cdot 10^{-8}$
Cobre	$1{,}7 \cdot 10^{-8}$
Alumínio	$2{,}8 \cdot 10^{-8}$
Tungstênio	$5{,}6 \cdot 10^{-8}$
Carbono	$3{,}5 \cdot 10^{-5}$

Veja que a resistividade do cobre é bem pequena, por isso, a maioria dos fios que utilizamos é feita desse material. A resistividade da prata é um pouco menor que a do cobre só que a prata é muito mais cara. Veja também que a resistividade do carbono é cerca de 1.000 vezes maior que a dos outros materiais (olhe para a potência de 10), por isso, o carbono é utilizado na fabricação de certos tipos de resistores.

Exemplo

Os fios para uso residencial são normalmente vendidos em rolos de 100 metros. Vamos calcular as resistências de um fio de cobre (Cu = Cuprum) e de um fio de alumínio (Al) com esse comprimento, e com 3,0 cm^2 de área de seção reta.

Solução

Da tabela anterior temos:
Resistividade do cobre = $\rho_{Cu} = 1{,}7 \times 10^{-8}$
Resistividade do alumínio = $\rho_{Al} = 2{,}8 \times 10^{-8}$
Lembre-se também que: 1 cm $= 10^{-2}$ m $\Rightarrow$ 1 cm^2 = $(10^{-2}\text{ m})^2 = 10^{-4}$ m^2
Logo, 3,0m^2 = $3{,}0 \cdot 10^{-4}$ m^2

Com $R = \rho \cdot \frac{L}{A}$ teremos para o cobre (para 100m):

$$R_{Cu} = 1{,}7 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{100}{10^{-4}} = 1{,}7 \cdot 10^{-8} \cdot 10^{2} \cdot 10^{4} \Rightarrow R_{Cu} = 1{,}7 \cdot 10^{-2}\,\Omega$$

E para o alumínio (para 100m):

$$R_{Al} = 2{,}8 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{100}{10^{-4}} = 2{,}8 \cdot 10^{-8} \cdot 10^{2} \cdot 10^{4} \Rightarrow R_{Al} = 2{,}8 \cdot 10^{-2}\,\Omega$$

Veja que o cobre e o alumínio são bons condutores, pois mesmo com 100 m de comprimento suas resistências são bem pequenas.

Exercícios

1) Deseja-se construir uma resistência de 0,7 Ω com um fio de carbono, cuja área de seção de reta é 0,1 cm^2. Calcule o comprimento que deverá ter a resistência sabendo que a resistividade do carbono $3{,}5 \cdot 10^{-5}\,\Omega$ m (à temperatura ambiente).

2) (PUC–SP) A corrente elétrica através de um fio metálico é constituída pelo movimento de:
(A) cargas positivas no sentido da corrente.
(B) cargas positivas no sentido oposto ao da corrente.
(C) elétrons livres no sentido oposto ao da corrente.
(D) íons positivos e negativos.
(E) nenhuma resposta é satisfatória.

3) (UCS–RS) Pela seção reta de um condutor de cobre passam 320 coulombs de carga elétrica em 20 segundos. A intensidade de corrente elétrica no condutor vale:
(A) 5 A
(B) 8 A
(C) 10 A
(D) 16 A
(E) 20 A

4) (UNEB–BA) Um resistor ôhmico, quando submetido a uma ddp de 40 V, é atravessado por uma corrente elétrica de intensidade 20 A. Quando a corrente que o atravessa for igual a 4 A, a ddp, em volts, nos seus terminais será:
(A) 8
(B) 12
(C) 16
(D) 20
(E) 30

5) (CEDERJ/2003) Uma lâmpada de filamento possui a especificação 3,0 W – 6,0 V.
a. Determine o valor da resistência elétrica do filamento.

b) Uma pessoa, equivocadamente, utiliza essa lâmpada em uma lanterna, submetendo-a a uma ddp de 3,0 V. Determine para essa situação a potência dissipada pela lâmpada.

Obs.: temos de supor que o filamento da lâmpada é um resistor ôhmico, o que não ocorre na prática com as lâmpadas incandescentes comuns. Com a lâmpada "ligada", a resistência do filamento, aquecido a altas temperaturas, é muitíssimo maior do que com a lâmpada desligada (filamento frio). Quando o filamento é submetido a uma ddp menor que a nominal, como no caso, ele não atinge a temperatura (e a resistência) de quando está submetido à ddp nominal.

4

Circuitos elétricos

:: Meta ::
Introduzir os conceitos de corrente e resistência elétricas e os principais elementos dos circuitos elétricos.

:: Objetivos ::
- *Resolver exercícios envolvendo circuitos elétricos em série e em paralelo;*
- *Reconhecer as formas corretas de ligação de lâmpadas, fusíveis, amperímetros e voltímetros, em circuitos simples.*

Introdução

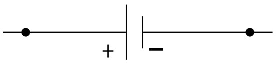
Quando fazemos a ligação de geradores a resistências e a aparelhos elétricos por meio de fios condutores de modo a permitir que a corrente circule por eles, formamos o que chamamos de circuitos elétricos. Vamos estudar agora alguns tipos de circuitos e as características dos principais elementos que normalmente fazem parte deles.

Principais elementos de um circuito elétrico e seus símbolos

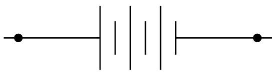
Um fio condutor é representado simplesmente por uma linha. Ele serve para ligar dois elementos do circuito:

O resistor, como vimos, serve para diminuir a corrente, produzir uma queda de potencial entre dois pontos de um circuito, ou para aquecer. Seu símbolo é:

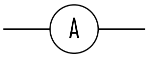
O gerador de corrente contínua (pilha ou bateria) que fornece uma ddp. Por convenção, o lado que tem o traço maior é positivo e o lado com o traço menor é negativo.



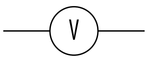
ou



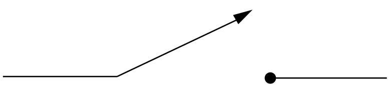
O amperímetro é o aparelho utilizado para medir a corrente elétrica.



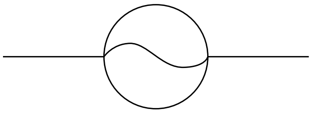
O voltímetro é o aparelho utilizado para medir a ddp entre dois pontos de um circuito.



Uma chave ou interruptor, utilizado para ligar ou desligar um aparelho ou uma parte do circuito



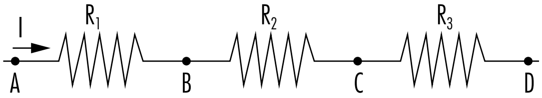
Um fusível que se funde abre quando a corrente ultrapassa um determinado valor não mais permitindo a passagem de corrente e protegendo o circuito.



Associação de resistores

A maioria dos circuitos utiliza um grande número de resistores. Eles podem ser combinados de modo a se obter uma desejada resistência. Vamos ver de que maneira podemos associar os resistores e calcular a resistência equivalente da ligação.

Associação em série



Na associação em série os resistores são ligados uns seguidos dos outros. A corrente elétrica é a mesma em todos eles, mas a ddp em seus terminais são diferentes. A ddp em cada um vale $V = R \cdot I$, segundo a lei de Ohm.

A resistência equivalente (R_{eq}) é uma resistência que sozinha substitui as outras. Na ligação em série ela é dada pela soma de cada uma delas.

A ddp entre os pontos A e D é dada por: $V_{AD} = V_{AB} + V_{BC} + V_{CD}$

Lei da conservação da carga

Note que a corrente que sai em B tem que ser a mesma que entra em A, pois a carga não pode ser criada nem destruída ao passar por resistores ou outros aparelhos. Podemos então aplicar a lei de Ohm ao circuito como um todo e escrever: $V_{AD} = Req \cdot I$

Aplicando a lei de Ohm em cada resistência: $V_{AD} = R_1 \cdot I + R_2 \cdot I + R_3 \cdot I$

Colocando-se a intensidade de corrente (I) em evidência:

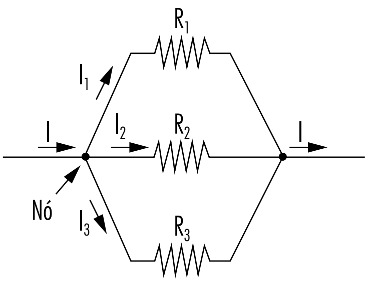
$V_{AD} = (R_1 + R_2 + R_3) \cdot I$

Como $V_{AD} = R_{eq} \cdot I$ vemos que na associação em série:

$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots$

Associação de resistores em paralelo

Na figura a seguir vemos a associação de três resistores em paralelo. Chamamos de nó ao ponto de encontro da ligação de vários elementos do circuito.



Na associação em paralelo a corrente será diferente em cada resistor, mas a ddp (V_{AB}) é comum a todas elas, e podemos também escrever: $V_{AB} = (R_{eq}) \cdot I$ onde:

$$I = \left(\frac{1}{R_{eq}}\right) \cdot V_{AB} \quad (1)$$

Nesse caso a lei da conservação da carga nos diz que, em um nó, a corrente que chega é igual à soma das correntes que saem.

$I = I_1 + I_2 + I_3$ (2) (lei dos nós)

Aplicando-se a lei de Ohm em cada resistor, teremos:

$$V_{AB} = R_1 \cdot I_1 \quad \text{onde} \quad I_1 = \frac{V_{AB}}{R_1}$$

$$V_{AB} = R_2 \cdot I_2 \quad \text{onde} \quad I_2 = \frac{V_{AB}}{R_2}$$

$$V_{AB} = R_3 \cdot I_3 \quad \text{onde} \quad I_3 = \frac{V_{AB}}{R_3}$$

onde $I_1 + I_2 + I_3 = \frac{V_{AB}}{R_1} + \frac{V_{AB}}{R_2} + \frac{V_{AB}}{R_3}$

Usando (2) e colocando V_{AB} em evidência temos: $I = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right) \cdot V_{AB}$

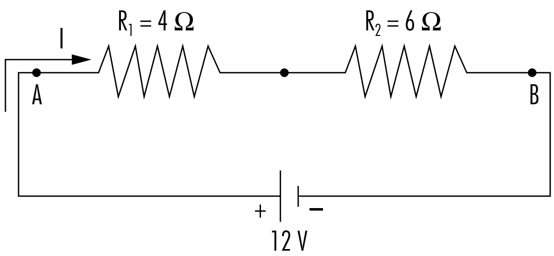
Como por (1) $I = \left(\frac{1}{R_{eq}}\right) \cdot V_{AB}$ temos que, para resistores em paralelo:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots$$

Exemplo

Calcular a resistência equivalente e a corrente que passa em cada resistor nos circuitos esquematizados abaixo.

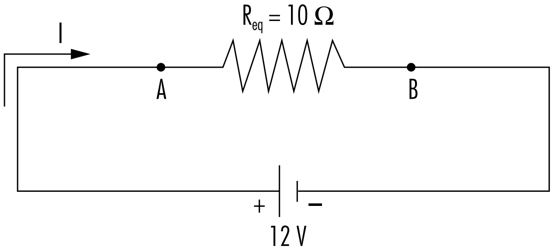
a) Circuito em série



Solução

O circuito é em série, logo a resistência equivalente é dada por: $R_{eq} = R_1 + R_2 = 4 + 6 = 10\ \Omega$.

Portanto o circuito acima pode ser substituído pelo seu equivalente, desenhado a seguir.

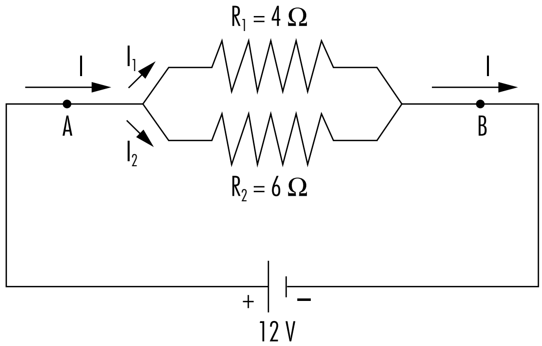


A corrente: nesse caso a corrente é a mesma nos dois resistores e pode ser calculada aplicando-se a lei de Ohm no circuito equivalente.

$$V_{AB} = R_{eq} \cdot I \Rightarrow I = \frac{V_{AB}}{R_{eq}} = \frac{12}{10} = 1{,}2\ A$$

b) Circuito em paralelo

No esquema da figura abaixo, os mesmos resistores de 4 e 6 ohms do exemplo anterior, estão ligadas em paralelo. Vamos calcular a resistência equivalente, a corrente que passa em cada resistor e a corrente total no circuito.



Solução

O circuito é em paralelo, logo a resistência equivalente será dada por:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Rightarrow \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{4} + \frac{1}{6} \Rightarrow R_{eq} = \frac{24}{10}$$

Logo, Req = 2,4 Ω

Cálculo das correntes

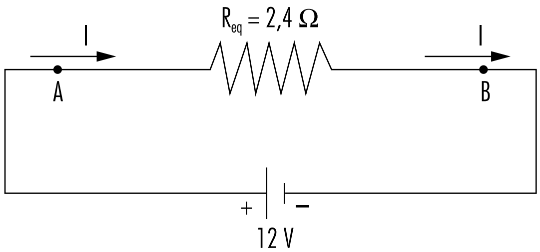
A ddp é a mesma nos dois resistores. Vamos aplicar a lei de Ohm em cada um deles:

$$V_{AB} = R_1 \cdot I_1 \quad \text{onde} \quad I_1 = \frac{V_{AB}}{R_1} = \frac{12}{4} = 3\ A$$

$$V_{AB} = R_2 \cdot I_2 \quad \text{onde} \quad I_2 = \frac{V_{AB}}{R_2} = \frac{12}{6} = 2\ A$$

Pela lei dos nós: $I = I_1 = I_2 = 3 + 2 = 5$ A

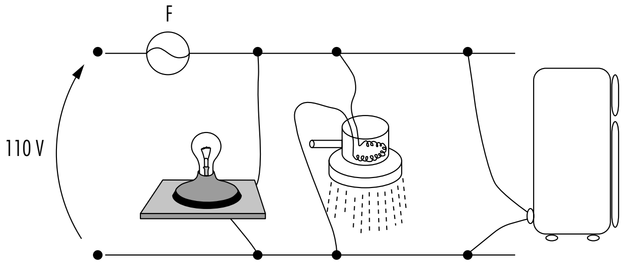
Outro modo de calcular a corrente total: o circuito pode ser substituído pelo seu equivalente.



Aplicando-se a lei de Ohm: $V_{AB} = R_{eq} \cdot I$ onde $I = \frac{V_{AB}}{R_{eq}} = \frac{12}{2{,}4} = 5\ A$

Circuitos residenciais

Nas residências, as lâmpadas e aparelhos eletrodomésticos, como chuveiros e geladeiras, estão ligados em paralelo. Todos estão submetidos à mesma ddp, com exceção do fusível, que deve ser ligado em série com o circuito. Desse modo, a corrente que vai passar pelos aparelhos passará também pelo fusível.



Note que, nas ligações em paralelo, quanto mais aparelhos, ou resistências ligadas tivermos, mais lugares existirão para a corrente passar, e menor será a resistência equivalente. Se ligarmos muitos aparelhos e lâmpadas ao mesmo tempo, a corrente total poderá ser tão grande que podemos sobrecarregar o circuito, queimando o fusível de proteção.

A potência

As lâmpadas e os aparelhos eletrodomésticos não consomem corrente nem carga mas sim, energia elétrica. Nas especificações dos eletrodomésticos aparece sempre a potência consumida e a voltagem a ser aplicada, que nos indica a energia que o aparelho consome por unidade de tempo. A tensão e a potência indicada nos aparelhos são ditas tensão e potência nominais.

Vamos nos lembrar da mecânica, a definição de potência:

$$\text{Potência} = \frac{\text{Energia (ou trabalho)}}{\text{tempo}} \Rightarrow P_{ot} = \frac{E_N}{t}$$

Unidades de potência e de energia elétrica:

$$P_{ot} = \frac{E_N}{t} \Rightarrow \left[\text{unidade de } P_{ot}\right] = \frac{J}{s} = \text{Watt}$$

Como $E_N = P_{ot} \cdot t$ podemos usar a unidade de energia como sendo Watt × segundo (W • s) onde 1 W • s = 1 J (1Joule).

Uma unidade prática de energia usada pelas companhias de eletricidade é o Watt × hora (Wh) e também o seu múltiplo, o kWh (quilowatt-hora). Em nossas residências o consumo de energia é medido em kW e a energia consumida é dada em kWh.

A seguir veja as potências características de alguns aparelhos e equipamentos comuns nas residências:

Aparelho	**Potência em Watt**
Lâmpadas	15; 20; 40; 60; 100; 150 ou 200
Rádios	50 a 100
Televisores	50 a 150
Liquidificadores	200 a 300
Geladeiras	200 a 400
Ferro de passar	600 a 1400
Chuveiros	4000 a 5400

Nos dias de hoje o custo da energia é muito elevado. Devemos economizar energia observando nos próprios aparelhos postos a venda seu consumo, que é costumeiramente divulgado pelo INMETRO (Instituto de Metrologia). Devemos também economizar no uso, não deixando ligadas lâmpadas desnecessariamente e principalmente no uso do ferro de passar roupas e dos chuveiros elétricos, grandes vilões gastadores de energia.

Exemplo

Calcular o consumo e o custo mensal de energia gasto em um chuveiro elétrico de 5.400 W (na posição de inverno), sabendo que ele é utilizado uma hora e meia por dia. Dado: o custo aproximado do kWh de energia é de R$ 0,62.

Solução

Temos: P_{ot} = 5.400 = W = 5,4 kW e = 1,5 h como $P_{ot} = \frac{E}{t}$ teremos $E = P_{ot} \cdot t$ = 5,4 (kW) • 1,5 (h) = 8,1 kWh (gasto por dia).

Em um mês temos 30 dias, logo:

E = 8,1 (kWh) • 30 = 243 kWh (por mês).

O custo mensal: O kWh custa R$ 0,62.

Como foram gastos 243 kWh o custo será:

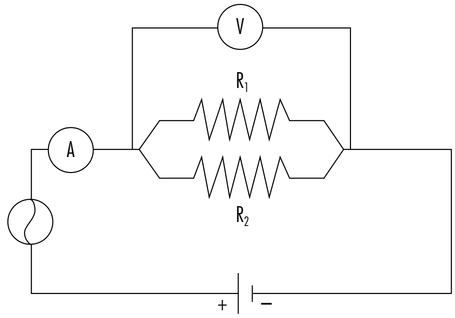
Custo = 243 (kWh) • 0,62 (Reais/kWh) = 151 Reais

Atividade 1

Tente você! As geladeiras têm dispositivos que ligam e desligam o compressor quando a temperatura chega no ponto desejado. Imagine que uma geladeira com 400 W de potência fique metade do tempo ligada e metade do tempo desligada. Qual seria o consumo de energia, e seu custo mensal? (a solução se encontra no gabarito)

O voltímetro e o amperímetro

No circuito representado na figura a seguir vemos uma possível ligação correta do voltímetro e do amperímetro. O voltímetro é um aparelho que, conforme o próprio nome indica, mede a voltagem, isto é, a ddp entre dois pontos do circuito.



Ele deve ser ligado em paralelo com os aparelhos ou resistores do circuito. Para que não se altere a ddp a ser medida, ele não pode roubar corrente do circuito, por isso os voltímetros devem ter uma grande resistência interna. Num voltímetro ideal a resistência interna é infinita e sua ligação é em paralelo.

O amperímetro mede a corrente elétrica que atravessa o circuito e assim deve ser ligado em série com o circuito, no trecho que desejamos medir a corrente. Para que o amperímetro não modifique a corrente a ser medida, ele deve ter uma resistência interna muito pequena. Num amperímetro ideal a resistência interna é nula e deve ser ligado em série.

Na figura acima o amperímetro mede a corrente total que passará pelos dois resistores R_1 e R_2, e o voltímetro medirá a ddp em seus terminais.

Os geradores e a força eletromotriz

Os geradores são aparelhos que realizam trabalho sobre as cargas fazendo com que elas se desloquem pelo circuito (lembre-se que trabalho = força × deslocamento). Isto é, os geradores fornecem energia às cargas.

Denominamos de força eletromotriz à razão entre o trabalho que o gerador realiza sobre a carga e a carga que o atravessa.

$\varepsilon = \dfrac{\tau}{q}$ (designamos a força eletromotriz por *fem* ou por ε = letra grega épsilon)

Os geradores reais, como as baterias ou mesmo o gerador de um automóvel, sempre têm uma resistência interna. Por isso a ddp nos terminais dos geradores são um pouco menores que a fem produzida internamente. Existe uma queda de tensão $V = r \cdot I$, onde r é a resistência interna do gerador e I a corrente que o atravessa. A ddp nos terminais de um gerador real deve então ser escrita:

$\boxed{V_{AB} = \varepsilon - r \cdot I}$

onde:

V_{AB} é a ddp nos terminais do gerador;

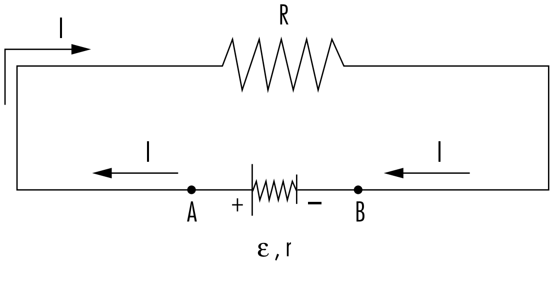
ε é a força eletromotriz do gerador;

r é a sua resistência interna;

I é a corrente que o atravessa.

Exemplo

Suponha que no circuito representado na figura abaixo a ddp nos terminais do gerador seja V_{AB} = 12 V, que sua resistência interna seja r = 1,0 Ω e que o resistor R seja de 4,0 Ω. Vamos calcular a corrente no circuito e a fem do gerador.



Solução

Cálculo da corrente no circuito: aplicando-se a lei de Ohm no resistor $V_{AB} = R \cdot I$ onde

$$I = \frac{V_{AB}}{R} = \frac{12}{4,0} = 3,0 \text{ A}$$

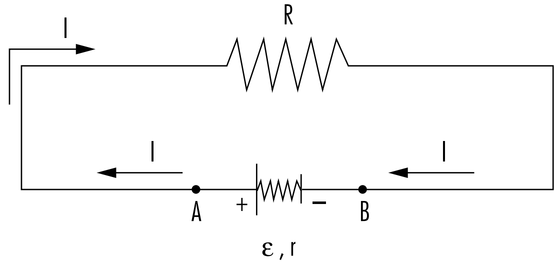
Cálculo da força eletromotriz do gerador:

Temos $V_{AB} = \varepsilon - r \cdot I$ onde $\varepsilon = V_{AB} + r \cdot I$

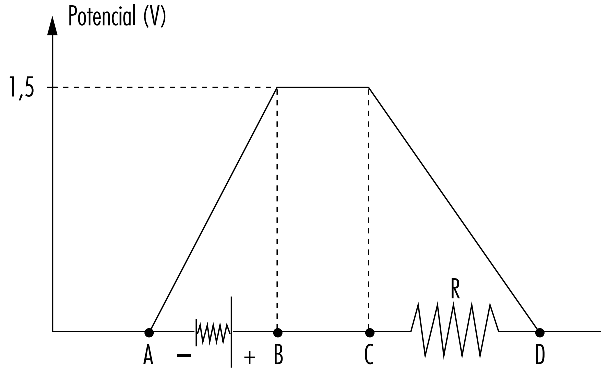
No caso: $\varepsilon = V + r \cdot I = 12 + 1,0 \cdot 3,0 = 15$ V

A função do gerador

Analisemos com mais detalhes o circuito com o gerador. Veja que a corrente (convencional) caminha do polo positivo para o polo negativo, isto é, do potencial mais alto para o potencial mais baixo, como a água escorrendo por um cano, sempre descendo.



Agora repare o que acontece com a corrente ao atravessar o gerador. Ela vai do potencial menor para o potencial maior (vai de B para A). Isso mesmo! O gerador realiza trabalho (fornece energia) sobre a carga, colocando-a num potencial mais alto. Esse é um trabalho análogo ao realizado por uma bomba d'água, quando joga água da cisterna para a caixa, elevando o potencial (gravitacional) da água. Para ilustrar o exposto anteriormente, vamos ver um gráfico do potencial ao longo de um circuito onde uma pilha comum é ligada a um resistor.



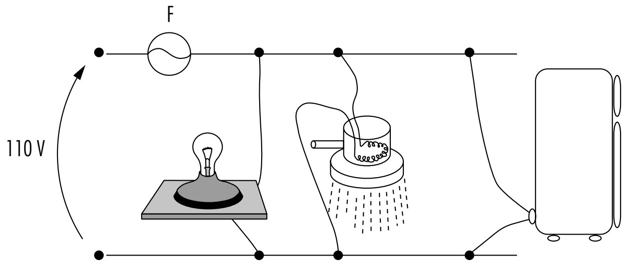
O potencial no fio à esquerda de A é nulo. Quando chega em A é elevado pela fem do gerador, até seu valor máximo. No trecho BC ele permanece constante. Entre C e D o resistor consome energia e o potencial cai novamente a zero. A energia consumida no resistor se dissipa sobre a forma de calor.

Note que num condutor, como no trecho BC do exemplo anterior, o potencial é constante, é o mesmo em qualquer ponto. Isso ocorre porque nos condutores (ideais) não há resistência, não havendo queda de tensão.

EXERCÍCIOS

1) Uma bateria de fem 6,0 V e resistência interna 2,0 Ω está ligada a um resistor de 10 Ω. Determine a intensidade da corrente no circuito.

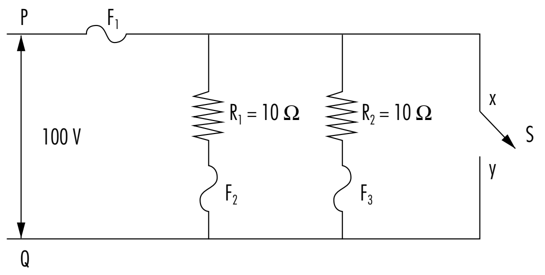
2) Suponha que no circuito esquematizado abaixo a potência nominal da lâmpada seja de 100 W, a do chuveiro 4.400 W e a da gelateira de 330 W. Todos estão lighados e submetidos à ddp residencial de 110 V, conforme indicado. Pede-se calcular:



a. A corrente que atravessa cada aparelho.

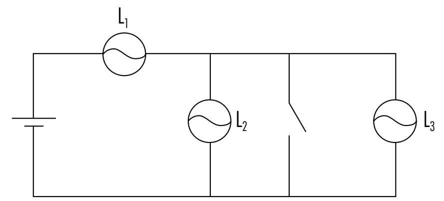
b. O valor mínimo do fusível para que não queime.

3) (UFF) No circuito esquematizado a seguir, F_1 , F_2 e F_3 são fusíveis para 20 A, R_1 e R_2 são resistores e S é uma chave. Estes elementos estão associados a uma bateria que estabelece uma diferença de potencial igual a 100 V entre os pontos P e Q.



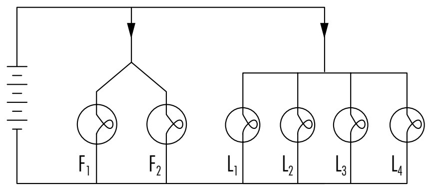
Fechando-se a chave S, os pontos X e Y são ligados em curto-circuito. Nesta situação pode-se afirmar que:
(A) Apenas o fusível F_1 queimará.
(B) Apenas o fusível F_2 queimará.
(C) Apenas o fusível F_3 queimará.
(D) Apenas os fusíveis F_2 e F_3 queimarão.
(E) Os fusíveis F_1 , F_2 e F_3 queimarão.

4) (UFF) Três lâmpadas, L_1 , L_2 e L_3 , são alimentadas por uma bateria, como mostra a figura a seguir.



As três lâmpadas estão acesas. Assinale a opção que indica o que acontece se a chave S é fechada:
(A) L_1 , L_2 e L_3 permanecem acesas
(B) L_1 e L_2 permanecem acesas, mas L_3 se apaga
(C) L_1 permanece acesa, mas L_2 e L_3 se apagam
(D) L_1 , L_2 e L_3 se apagam
(E) L_1 e L_3 se apagam, mas L_2 permanece acesa

5) (UFF) Um motorista acende os dois faróis (F_1 e F_2) e as quatro lanternas (L_1 , L_2 , L_3 e L_4) de um automóvel com o motor desligado. Todos os elementos estão ligados à bateria de 12 V, conforme ilustra o esquema a seguir.



Os valores nominais de potência e ddp das lâmpadas são, para os faróis, respectivamente, 40 W e 12 V e para as lanternas, 6,0 W e 12 V. Nessa situação, determine:
a. intensidade da corrente total que atravessa a bateria.

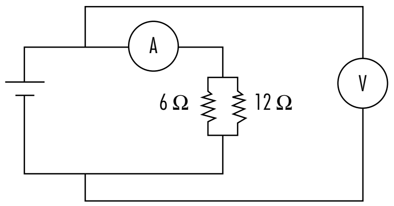
b. as intensidades das correntes que passam no farol F1 e na lanterna L1 .

c. a resistência do farol F1 .

6) (UERJ) Um ventilador dissipa uma potência de 30 W, quando ligado a uma rede elétrica que fornece uma tensão de 120 V. A corrente estabelecida nesse aparelho tem valor igual a:
(A) 150 mA
(B) 250 mA
(C) 350 mA
(D) 450 mA

7) (UFF/2001) Um circuito elétrico é montado com quatro resistores idênticos, em série, alimentados por uma bateria com uma resistência interna não desprezível. Ao se retirar um dos resistores, ocorrerá a seguinte mudança no circuito:
(A) a corrente total no circuito diminuirá.
(B) a resistência total do circuito aumentará.
(C) a potência dissipada em cada um dos resistores não será alterada.
(D) a ddp dentro da bateria aumentará.
(E) a ddp no circuito aumentará.

8) (CEDERJ/2006) No circuito esquematizado na figura, o voltímetro e o amperímetro são ideais.



O voltímetro indica 36 V.
a. Calcule a indicação do amperímetro.

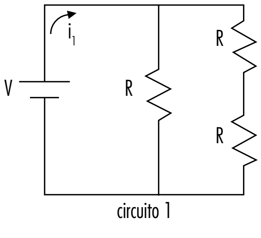
b. Calcule a potência dissipada no resistor de 6 Ω.

9) (CEDERJ/2008) Para alimentar uma lâmpada de 48 W – 12 V dispõem-se de vários geradores que devem ser associados em série. Cada gerador tem força eletromotriz igual a 6 V e resistência interna igual a 0,50 Ω.
Para que a lâmpada funcione de acordo com suas especificações:
a. calcule a intensidade da corrente que a percorre;

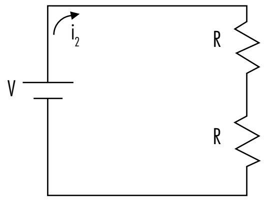
b. calcule quantos geradores devem ser utilizados.

10) (CEDERJ/2008) A figura mostra três circuitos 1, 2 e 3, nos quais as baterias são ideais e mantêm em seus terminais a mesma diferença de potencial V, e todas as resistências são iguais a R.

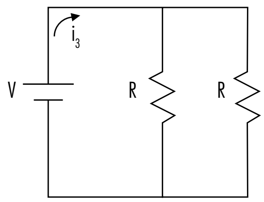
As correntes que passam pelas baterias são, respectivamente, i_1, i_2 e i_3, como indica a figura.



circuito 1



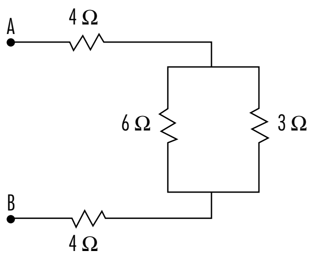
circuito 2



circuito 3

Podemos afirmar que:
(A) $i_1 < i_2 < i_3$
(B) $i_2 < i_1 < i_3$
(C) $i_3 < i_2 < i_1$
(D) $i_2 < i_3 < i_1$
(E) $i_1 = i_2 < i_3$

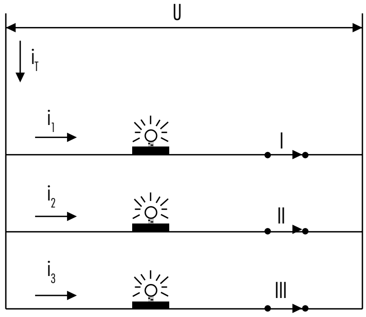
11) (CEDERJ/2007) No trecho de circuito esquematizado na figura a seguir, a resistência equivalente entre A e B vale:



(A) 4 Ω
(B) 10 Ω
(C) 11 Ω
(D) 16 Ω
(E) 17 Ω

12) (CEDERJ/2003) A instalação elétrica das lâmpadas do cômodo de uma residência está esquematizada a seguir, onde I, II e III são interruptores que permitem acendê-las e apagá-las individualmente, e U é a diferença de potencial nos terminais do circuito. Os segmentos retos representam as conexões condutoras entre as lâmpadas.

Quando os três interruptores são ligados, as intensidades de corrente total e em cada uma das lâmpadas são, respectivamente, i_t, i_1, i_2 e i_3, conforme indicações na figura.



Ao desligar o interruptor III, mantendo as outras duas lâmpadas acesas e U constante:

(A) i_T não sofre alteração e i_1 e i_2 aumentam

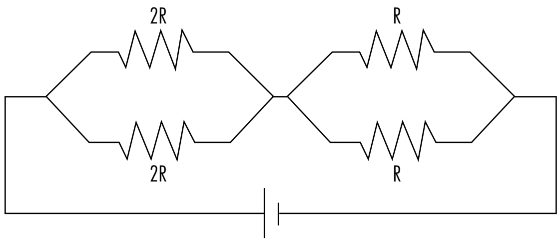
(B) i_T diminui, não ocorrendo alteração em i_1 e i_2

(C) i_T, i_1 e i_2 aumentam

(D) i_T, i_1 e i_2 não sofrem alteração

(E) i_T aumenta, não ocorrendo alteração em i_1 e i_2

13) (CEDERJ/2004) Quatro lâmpadas, duas delas idênticas e de resistência elétrica 2R e as outras duas também idênticas, mas de resistência elétrica R, estão ligadas a uma bateria ideal que mantém em seus terminais uma diferença de potencial constante. O esquema desenhado abaixo indica o modo como foram feitas as ligações desse circuito.



Com as quatro lâmpadas acesas a corrente que sai pelo terminal positivo da bateria vale i_o. Podemos afirmar, então, que:

(A) se queimar apenas uma das lâmpadas, a corrente no circuito será nula.

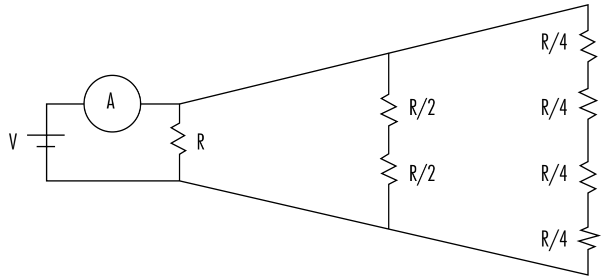
(B) se queimarem apenas duas lâmpadas, de resistências diferentes, a corrente no circuito será nula.

(C) se queimar apenas uma das lâmpadas, de resistência 2R, a corrente no circuito será $3i_o$.

(D) se queimar apenas uma das lâmpadas de resistência R, a corrente que passa pela outra lâmpada de resistência R será (1/2) i_o.

(E) se queimarem apenas duas lâmpadas de resistência diferentes, a corrente no circuito será (1/2) i_o.

14) (CEDERJ/2005) Um circuito elétrico é formado por uma bateria ideal, capaz de manter em seus terminais uma ddp constante igual a V, um amperímetro A, e sete resistores, um com resistência R, dois com resistência R/2 e os quatro restantes com R/4. A montagem do circuito aparece na figura. Nessa situação, a corrente registrada no amperímetro vale i. Num dado instante, um dos resistores de resistência r/4 queima. A partir desse instante, o amperímetro passa a registrar a corrente i'. Podemos afirmar,então que :



(A) i'/i = 1

(B) i'/i = 0

(C) i'/i = 2/3

(D) i'/i = 1/2

(E) i'/i = 3/2

15) A ddp entre os polos de uma pilha quando o circuito está aberto vale 3,6 V. Fechando-se o circuito através de uma lâmpada de resistência 9,0 Ω a ddp passa a ser de 2,7 V. Determine a resistência interna da pilha.

5

Hidrostática

:: Meta ::

Estudar os fluidos em repouso, suas principais propriedades, e os princípios que regem as condições de equilíbrio de um fluido.

:: Objetivos ::

• Reconhecer os conceitos de massa específica, densidade e pressão e aplicar esses conceitos na resolução de problemas de hidrostática;

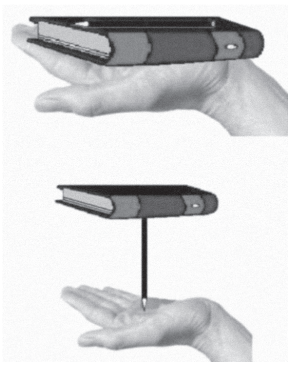
• Resolver problemas envolvendo os princípios de Pascal, de Stevin e de Arquimedes.

Introdução

Os líquidos e os gases são chamados de um modo geral de fluidos. A hidrostática é a parte da física que estuda o comportamento dos fluidos quando estão em repouso. Para começar nosso estudo, vamos primeiramente definir alguns conceitos muito importantes.

Pressão

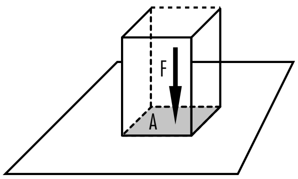
Uma experiência bastante simples que você pode realizar nesse exato momento para verificar (e sentir) o que chamamos de pressão é segurar um livro e um lápis com a palma da mão.



Agora segure novamente o livro e o lápis, mas dessa vez colocando o lápis com a ponta voltada para a palma da mão e o livro na outra extremidade do lápis, deixando o livro se apoiar sobre ele. Faça você essa experiência. Sentiu a diferença?

A força feita pela mão para segurar o livro e o lápis é a mesma nos dois casos, entretanto, ao equilibrar a mesma força com a ponta do lápis, o efeito sobre a mão é muito diferente. O conceito físico envolvido nessa experiência é o conceito de pressão.

A pressão de uma força F, perpendicular a uma superfície, e distribuída igualmente sobre uma área A, é definida como a razão do módulo da força sobre o valor da área.



$$\boxed{p = \frac{F}{A}}$$

A unidade de pressão no SI é dada em Newton / metro quadrado (N/m^2) também chamada pascal (Pa): 1 N/m^2 =Pa

Vamos supor que o bloco da figura anterior exerça uma força de 10 Newtons sobre a superfície, e que essa tenha uma área de 2,5 cm^2. A pressão exercida será então:

$$p = \frac{F}{A} = \frac{10}{2{,}5\ \text{cm}^2} = 4\text{N} / \text{cm}^2$$

Isto é, em cada centímetro quadrado da superfície, atua uma força de 4 Newtons. No caso do lápis colocado de ponta sobre mão, como a área da superfície de contato é muito pequena, a pressão se torna muito grande.

Vimos então que a pressão exercida por uma força depende não apenas da intensidade da força, mas também da área na qual a força está sendo aplicada. Esse é o motivo pelo qual nós afiamos uma faca para que ela corte melhor um pedaço de carne, por exemplo. Ao afiarmos a faca, a superfície de contato com o objeto a ser cortado se torna tão pequena que a pressão fica muito grande. Se, por outro lado, desejarmos que a pressão exercida por uma força se torne menor, devemos arranjar um jeito de que a força seja aplicada em uma área maior. Por esse motivo as pessoas que moram em lugares onde neva, usam uma espécie de "raquete" sob as botas para que os pés não afundem na neve fofa e, ao construirmos uma casa, usamos uma "sapata" mais larga sob as colunas, antes de levantamos as paredes.

A Densidade Absoluta (ou Massa Específica)

Vamos denominar a densidade pela letra grega ρ (rô). A densidade de um corpo é dada pela razão entre a massa do corpo (m) e seu volume (V), ou seja:

$$\boxed{\rho = \frac{m}{V}}$$

Dessa forma, a unidade de densidade (ou massa específica) no sistema internacional será o kg/m^3:

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow \frac{kg}{m^3}$$

Algumas unidades de densidade bastante utilizadas são o g/cm^3; e o kg/litro, onde:

$$1\frac{kg}{m^3} = \frac{1000\ g}{(100\ cm)^3} = \frac{10^3}{10^6}\frac{g}{cm^3} = 10^{3-6}\ \frac{g}{cm^3} \Rightarrow 1\frac{kg}{m^3} = 10^{-3}\ \frac{g}{cm^3}$$

E como 1 m^3 = 1000 l temos:

$$1\frac{kg}{m^3} = \frac{1\ kg}{1000\ l} \Rightarrow 1\frac{kg}{m^3} = 10^{-3}\ \frac{kg}{l}$$

Na natureza os elementos têm densidades bastante diferentes. A tabela a seguir ilustra a densidade de alguns elementos bastante conhecidos.

Elemento	**Densidade em g/cm^3**
Água	1,0
Gelo	0,92
Ar a 20ºC e1 atm	0,00121
Cortiça	0,24
Alumínio	2,7
Ferro	7,6
Chumbo	11,3
Mercúrio	13,6

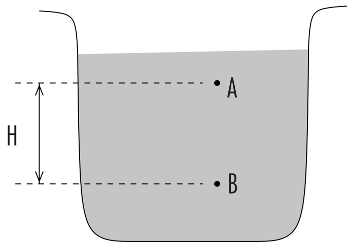
A Densidade da Terra

Uma interessante curiosidade sobre a densidade da Terra é que embora a densidade média das rochas e pedras seja de aproximadamente 3 g/cm^3, a densidade média da Terra é de 5,52 g/cm^3, indicando que o núcleo de nosso planeta contém substâncias muito mais densas que as rochas da crosta terrestre. Na verdade, segundo as teorias mais recentes, a maior parte do núcleo terrestre consiste em ferro. A densidade do núcleo da Terra é de 9,5 g/cm^3.

No universo existem objetos com densidades elevadíssimas. A densidade de nosso Sol é da ordem de 1,5 g/cm^3 e a de um tipo de estrela chamada de "anã branca", que é o estágio final do nosso Sol (daqui a bilhões de anos), é da ordem de 10^7 g/cm^3, isto é, 10.000.000 vezes a densidade da água. Já uma "estrela de nêutrons" tem densidade da ordem de 10^{15} g/cm^3 (uma colher de chá pesa 1 bilhão de toneladas!).

O Princípio Fundamental da Hidrostática

Você já deve ter reparado que ao mergulharmos num rio, num lago ou numa piscina, quanto mais fundo estamos tanto maior a pressão que sentimos. Para uma mesma profundidade, a pressão é a mesma, mas "para dois pontos situados em profundidades diferentes, em um líquido em equilíbrio, a diferença de pressão entre esses dois pontos é igual ao produto da densidade do líquido pela aceleração da gravidade e pela diferença de profundidades entre esses pontos". Esse é o chamado princípio fundamental da hidrostática ou "princípio de Stevin".



Considere um líquido em equilíbrio em um recipiente. Temos, de acordo com o princípio de Stevin:

$\boxed{p_B - p_A = \rho \cdot g \cdot H}$ onde:

p_B é a pressão no ponto B

p_A é a pressão no ponto A

ρ é a densidade do líquido

g é a aceleração da gravidade local

H é a diferença entre as profundidades dos pontos A e B

A pressão atmosférica

Embora a densidade do ar seja muito pequena, não é nula, e, portanto, o ar é atraído pela Terra como qualquer outro corpo. Dessa forma o ar tem peso. Para termos uma ideia, o ar que existe dentro de uma sala de cinema pesa tanto quanto um automóvel. Sendo assim, a atmosfera que envolve a Terra exerce uma pressão sobre nós. No ar, assim como em todos os gases, a pressão varia muito pouco para pequenas alturas pois a densidade dos gases é muito pequena (veja de novo a densidade do ar na tabela dada anteriormente). Entretanto, se subimos numa altura bastante elevada, como numa montanha, já é possível sentir essa diferença de pressão com a altitude. No nível do mar, a pressão da atmosfera é da ordem de $1{,}013 \times 10^{-5}$ N/m^2. Chamaremos a essa pressão de p_a.

Pressão dentro de um líquido

Na superfície livre do líquido a pressão é a pressão atmosférica (p_a) assim, a pressão a uma certa profundidade h em um líquido em equilíbrio é dada, de um modo geral, por: $p = p_a + \rho \cdot g \cdot h$ onde:

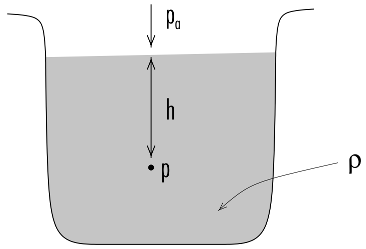
p é a pressão no ponto considerado

p_a é a pressão atmosférica

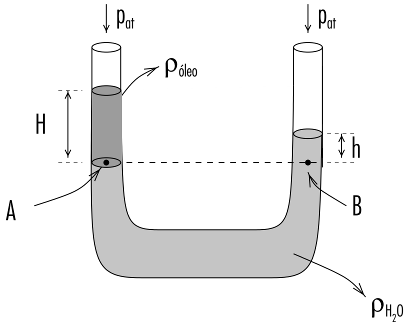
ρ é a densidade do líquido

g é a aceleração da gravidade local

h é a profundidade, medida a partir da superfície livre do líquido



Uma situação bastante interessante é quando temos dois líquidos que não se misturam (imiscíveis), com densidades diferentes, como óleo e água. O óleo tem densidade menor e por isso flutua na água. Consideremos um tubo em forma de U onde colocamos água e óleo, conforme ilustrado ao lado:



A pressão à mesma altura e no mesmo líquido é igual.

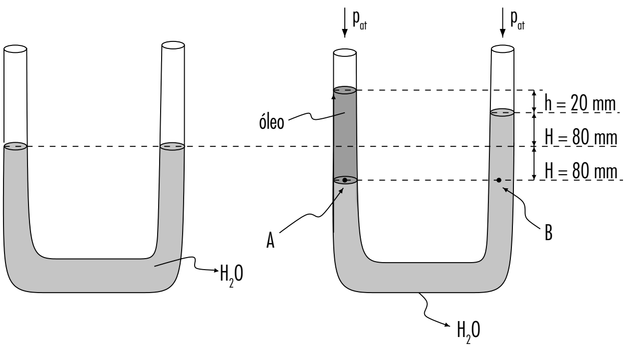
Assim: $p_A = p_B$

$p_{at} + \rho_{óleo} \cdot g \cdot H = p_{at} + \rho_{H_2O} \cdot g \cdot H$

Exemplo 1

Um tubo em forma de U contém água até uma certa altura. Em seguida colocamos óleo em um dos lados do tubo de modo que, após o equilíbrio, a situação é como mostramos a seguir. Vamos calcular a densidade do óleo, sabendo que $\rho_{H_2O} = 1{,}0 \times 10^3$ Kg/m^3

Solução:



A água sobe no lado direito o mesmo que desceu no lado esquerdo. Temos:

$\rho_A = \rho_B$ (mesmo líquido, H_2O e mesma altura) onde:

$p_{at} + \rho_{óleo} \cdot g \cdot (2H + h) = p_{at} + \rho_{H20} \cdot g \cdot (2H)$

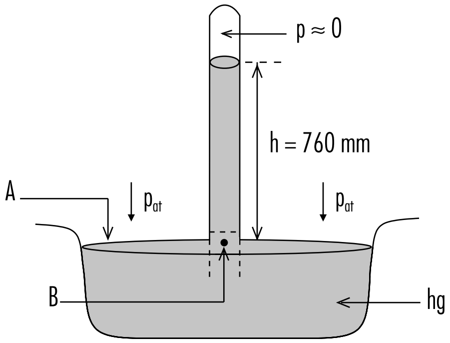
Assim:

$$\rho_{óleo} = \frac{\rho_{H_2O} \cdot (2H)}{2H + h} = \frac{1,0 \cdot 10^3 (kg/m^3) \cdot 2 \cdot 80(mm)}{2 \cdot 80 + 20(mm)} \Rightarrow \rho_{óleo} = \frac{}{180} =$$

$$\rho_{óleo} = \frac{160000}{180} = 889 kg/m^3$$

Medindo a pressão

Em um experimento, Pascal pegou um tubo de vidro fechado em uma de suas extremidades, encheu-o completamente de mercúrio, (o mercúrio, Hg, é um metal liquido à temperatura ambiente) e depois emborcou o tubo em um recipiente também contendo mercúrio. Pascal observou que o nível do mercúrio no tubo desceu até ficar na situação ilustrada na figura seguir.



Na parte superior do tubo, onde havia mercúrio, ficou um espaço vazio e ali a pressão é praticamente zero. A altura da coluna de mercúrio, independentemente do tamanho do tubo fica em torno de 760 mm, ao nível do mar, mas varia de acordo com a pressão atmosférica p_{at} e podemos medir esta pressão em "milímetros de Hg". Assim dizemos que a pressão atmosférica (no nível do mar) vale 760 mmHg (760 milímetros de Hg). Temos, então:

$p_A = p_B$

$p_{at} = \rho_{Hg} \cdot g \cdot h$ (onde $p_A = p_{at}$ pressão atmosférica)

onde:

$\rho_{Hg} = 13,6 \text{ g/cm}^3 = 13,6 \times 10^{-3} \text{ Kg/m}^3$

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$

$h = 760 \text{ mm} = 0,760 \text{ m}$

Assim, a pressão atmosférica vale:

$p_{at} = 13,6 \times 10^{-3} \times 9,8 \times 0,760$

$p_{at} = 1,013 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$

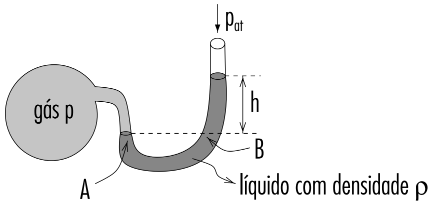
A pressão atmosférica é então:

$\boxed{p_{at} = 1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 1,013 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2}$

Se colocarmos esse sistema inventado por Pascal em um outro lugar, podemos saber o valor da pressão local, pela altura da coluna de mercúrio. Esse sistema funciona como um manômetro, um medidor de pressão.

Outro Manômetro

Um outro tipo de medidor de pressão, utilizado para medir a pressão em um recipiente contendo gás, pode ser construído conforme ilustrado na figura a seguir.



A pressão do gás no interior do recipiente será:

$p_A = p_B$

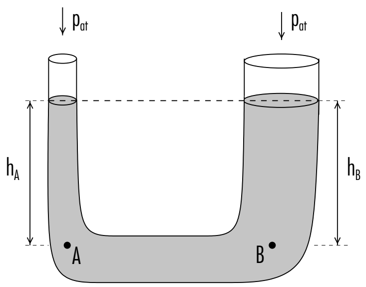
$p = p_{at} + \rho \cdot g \cdot h$ (pois $p_A = p$)

ou a pressão "manométrica" $(p - p_{at})$

$p - p_{at} = \rho \cdot g \cdot h.$

Vasos Comunicantes

Chamamos de vasos comunicantes um sistema composto de recipientes que estão de alguma forma ligados entre si por meio de tubos ou dutos em sua base. O mais simples deles é o representado na figura a seguir. Se colocarmos um líquido qualquer em um dos lados, o outro lado também irá enchendo até que o líquido atinja a mesma altura nos dois vasos. Quando acabar de escorrer líquido de um vaso para o outro, a pressão em (A) será igual à pressão em (B).



Sendo ρ a densidade do líquido temos:

Em A: $p_A = p_{at} + \rho \cdot g \cdot h_A$

Em B: $p_B = p_{at} + \rho \cdot g \cdot h_B$

Como $p_A = p_B$ então $h_A = h_B$ independente do tamanho ou da forma dos recipientes.

Você pode verificar dois pontos de mesma altura em um terreno irregular por meio de uma mangueira transparente contendo água. Nos dois lados da mangueira o nível de água será o mesmo!

O Princípio de Pascal

Vamos considerar um recipiente qualquer, contendo um líquido em equilíbrio, isto é, o recipiente e o líquido estão em repouso e cada ponto do líquido está submetido a uma pressão. "Se, de alguma forma, aumentarmos a pressão em um ponto qualquer do líquido, esse aumento será sentido em todos os pontos do líquido e das paredes do recipiente". Essa propriedade, comum a todos os líquidos, recebe o nome de Princípio de Pascal em homenagem ao seu descobridor.

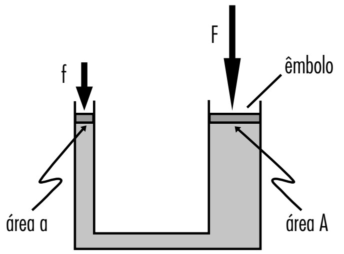
A aplicação mais comum do princípio de Pascal está nas chamadas "máquinas hidráulicas" como a que vemos nos elevadores de automóveis nos postos de gasolina, nos sistemas de freio dos veículos e nos macacos hidráulicos utilizados para levantar os automóveis nas oficinas mecânicas. Com tais máquinas podemos exercer uma força muito grande, por meio de uma outra força muito menor.

Vejamos como funcionam.

Vamos imaginar um sistema de vasos comunicantes em equilíbrio. Em cada um dos vasos, existe um êmbolo, como o de uma seringa de injeção, de modo que podemos pressionar o líquido no interior dos vasos, como ilustra o desenho a seguir. Um dos lados tem uma área pequena (a) e o outro uma área maior (A). No lado menor fazemos uma força f e o lado maior uma força F. Se o sistema está em equilíbrio, teremos:

p (em a) = p (em A)

$$\frac{f}{a} = \frac{F}{A} \Rightarrow f = F\left(\frac{a}{A}\right)$$



Vamos para um exemplo numérico.

Para o mesmo sistema de vasos comunicantes visto anteriormente, vamos supor que o lado maior tem área A = 100 cm^2 e o lado menor tem área a = 1 cm^2. Vamos calcular que força precisamos fazer sobre o êmbolo em a para equilibrar o peso de um automóvel com massa de 1000 kg colocado sobre o êmbolo em A.

$f = F \cdot \frac{a}{A}$ onde F, no caso é igual ao peso do automóvel = $M \cdot g$ = 9800N

$f = M \cdot g \cdot \frac{a}{A} = 1000 \times 9{,}8 \times \frac{1}{100} = 98N$ (veja que f é 100 vezes menor que F)

O Princípio de Arquimedes

Você já deve ter tentado alguma vez afundar uma bola de borracha ou uma rolha dentro d'água e verificado que a água empurra a bola ou a rolha para cima. Essa força que os líquidos fazem em todos os corpos que estão mergulhados neles é chamada de empuxo. Essa força é a mesma que faz com que os corpos mergulhados em líquidos pareçam mais leves. Arquimedes foi o primeiro a verificar experimentalmente a natureza dessa força. Podemos enunciar o chamado "princípio de Arquimedes" do seguinte modo: todo corpo mergulhado em um líquido recebe uma força de empuxo, vertical, dirigida de baixo para cima, igual ao peso do volume de líquido deslocado, isto é,

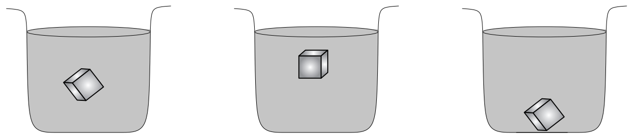
$E = p_{\text{líquido deslocado}} = m \cdot g$, como $\rho = m/V$, isso implica que $m = \rho \cdot V$. Então:

$$\boxed{E = \rho_{\text{líquido}} \cdot V_{\text{deslocado}} \cdot g}$$

Vamos estudar as forças que atuam sobre corpos colocados dentro de um recipiente contendo um líquido de densidade ρ_L, em três situações bastante gerais.

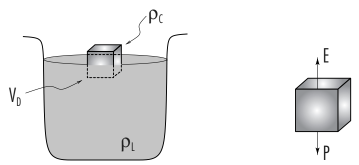
1 - O corpo tem mesma densidade do líquido

Nesse caso, o empuxo é igual ao peso do corpo e ele pode ficar em equilíbrio em qualquer lugar dentro do líquido.



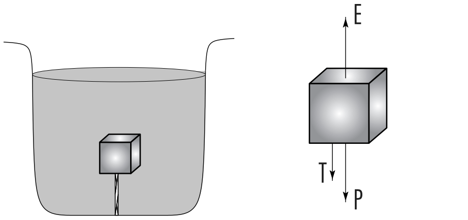
2 - O corpo tem densidade menor que a do líquido

Nesse caso mesmo que você tente afundar o corpo, empurrando-o para dentro do líquido, ao soltá-lo, ele irá subir e ficará flutuando de modo que a parte que estiver mergulhada desloque um volume de líquido que tenha o mesmo peso do corpo.



No equilíbrio temos: $\boxed{p = E \text{ ou } m \cdot g = \rho_L V_D \cdot g \Rightarrow m = \rho_L V_D}$

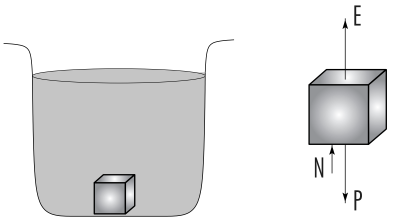
Para que o corpo fique completamente imerso temos que fazer alguma força extra para baixo, por exemplo amarrando-o ao fundo por meio de um fio.



No caso, sendo T a força feita pelo fio, no equilíbrio temos: $\boxed{E = T + P}$

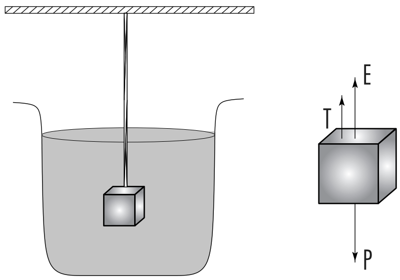
3 - O corpo tem densidade maior que a do líquido:

Nesse caso o peso do corpo é maior que o empuxo e ele tende a afundar. Temos que N é a força normal feita pelo recipiente sobre o corpo.



No equilíbrio temos: $\boxed{P = E + N}$

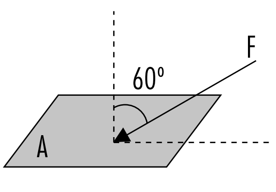
Podemos não deixar o corpo mais denso que o líquido afundar se penduramos por um fio, conforme ilustrado a seguir.



No equilíbrio temos: $\boxed{T + E = P}$

EXERCÍCIOS (as respostas das questões estão no fim do módulo)

1) Sobre uma superfície plana de área A = 10 cm² age, uniformemente, uma força F = 6,0 N, fazendo um ângulo de 60º com a normal à superfície, conforme ilustra a figura a seguir.



Sendo dado que: cos 60º = 0,5 e sen 60º = $\frac{\sqrt{3}}{2}$, podemos afirmar corretamente que a pressão sob a qual a superfície está submetida é de:

(A) $3,0 \times 10^3$ N/m²
(B) $6,0 \times 10^3$ N/m²
(C) $5,2 \times 10^5$ N/m²
(D) $3,0 \times 10^4$ N/m²
(E) $12,6 \times 10^3$ N/m²

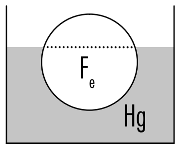
2) Considerando a pressão atmosférica igual a $1,0 \times 10^5$ N/m² e a aceleração da gravidade g = 10 m/s², podemos afirmar corretamente que a pressão absoluta em um ponto situado 20 m abaixo da superfície livre de um lago é de:

(A) 10×10^3 N/m²
(B) $5,0 \times 10^3$ N/m²
(C) $3,0 \times 10^5$ N/m²
(D) $2,0 \times 10^3$ N/m²
(E) $1,0 \times 10^3$ N/m²

3) Uma máquina hidráulica tem para diâmetro dos seus êmbolos 10 cm e 50 cm. Sobre o êmbolo menor está uniformemente distribuída uma força igual a $1,0 \times 10^3$ N. Pode-se afirmar corretamente que o módulo da força transmitida pelo êmbolo maior é igual a:

(A) $5,0 \times 10^2$ N
(B) 10 N
(C) $1,5 \times 10^3$ N
(D) 4,0 N
(E) $2,5 \times 10^4$ N

4) Uma esfera de ferro de massa igual 680 g flutua no mercúrio conforme ilustra a figura a seguir. Determine o volume de ferro submerso.
Dado: densidade do mercúrio, $\rho_{Hg} = 13,6$ g/cm³.



5) Determine a massa de ar no interior de uma sala com 3,0 m de altura e um piso com 20 m² de área. Dados: densidade do ar, $\rho_{AR} = 1,2$ kg/m³ e aceleração da gravidade g = 10 m/s².

6) Enuncie o princípio de Stevin.

7) Enuncie o princípio de Pascal.

8) Enuncie o princípio de Arquimedes.

9) (PUC-SP) Estudando a pressão em fluidos, vê-se que a variação da pressão nas águas do mar é proporcional à profundidade h. No entanto, a variação da pressão atmosférica quando se sobe as montanhas elevadas, não é exatamente proporcional à altura. Isto se deve ao seguinte fato:

(A) A aceleração gravitacional varia mais na água do que no ar.
(B) A aceleração gravitacional varia mais no ar do que na água.
(C) O ar possui baixa densidade.
(D) O ar possui baixa viscosidade
(E) O ar é compressível

10) (UEL-PR) A metade do volume de um corpo é constituída de material de densidade 7,0 g/cm³ e a outra metade, de material de 3,0 g/cm³. A densidade do corpo, em g/cm³, é:

(A)3,5
(B)4,0
(C)4,5
(D)5,0
(E)10

11) (UFMG) Uma coroa contém 579 g de ouro (densidade 19,3 g/cm³), 90g de cobre (densidade 9,0 g/cm³), 105 g de prata (densidade 10,5 g/cm³). Se o volume final dessa coroa corresponder à soma dos volumes de seus três componentes, a densidade dela, em g/cm³, será

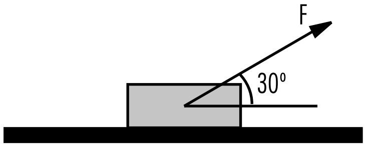
(A) 10,5
(B) 12,9
(C) 15,5
(D) 19,3
(E) 38,8

12) (UFES) Um automóvel de massa 800 kg em repouso apoia-se sobre quatro pneus idênticos. Considerando que o peso do automóvel seja distribuído igualmente sobre os quatro pneus e que a pressão em cada pneu seja de $1,6 \times 10^5$ N/m² (equivalente 24 lbf/pol²) a superfície de contato de cada pneu com o solo é, em centímetros quadrados:

(A) 100
(B) 125
(C) 175
(D) 200
(E) 250

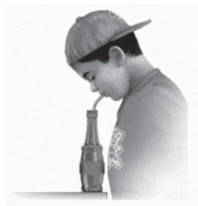
13) (Unitau–SP) O bloco da figura, com massa de 5,0 kg, sujeito à força F de intensidade 20 N, está em equilíbrio, apoiado sobre uma mesa horizontal. Se a área da superfície de contato do bloco com a mesa é de 0,5 m², a pressão exercida pelo bloco sobre a mesa vale:

(A) 40 p_a
(B) 30 p_a
(C) 50 p_a
(D) 80 p_a
(E) 100 p_a

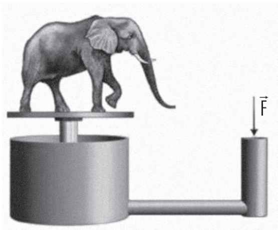


14) (UFU-MG) Um garoto toma refrigerante utilizando um canudinho. Podemos afirmar, corretamente, que ao puxar o ar pela boca o menino:

(A) reduz a pressão dentro do canudinho
(B) aumenta a pressão dentro do canudinho
(C) aumenta a pressão fora do canudinho
(D) reduz a pressão fora do canudinho
(E) reduz a aceleração da gravidade dentro do canudinho



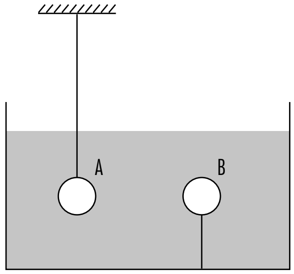
15) (UERJ) Um adestrador quer saber o peso de um elefante. Utilizando uma prensa hidráulica, consegue equilibrar o elefante sobre um pistão de 2000 cm² de área, exercendo uma força vertical F equivalente a 200 N, de cima para baixo, sobre o outro pistão da prensa, cuja área é igual a 25 cm². Calcule o peso do elefante.



16) (UFRJ) Um bloco de gelo em forma de paralelepípedo, com altura h, flutua na água do mar. Sabendo que as bases do bloco permanecem horizontais, que 15 cm de sua altura estão emersos e que as densidades do gelo e do líquido são respectivamente 0,90 e 1,03, em relação à água, o valor de h é:

(A) 62cm
(B) 85cm
(C) 119cm
(D) 133cm
(E) n.d.a.

17) (Cederj/2003) Duas esferas, A e B, de mesmo volume e massas específicas diferentes, estão em equilíbrio, totalmente imersas em água, presas a fios inextensíveis e de massas desprezíveis, conforme ilustrado na figura.
Dado: Massa específica da água = 1,0 g/cm³

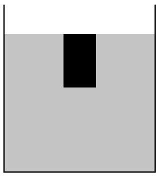


Sabendo que as massas específicas das esferas A e B são, respectivamente, 3,0 g/cm^3 e 0,60 g/cm^3, determine:

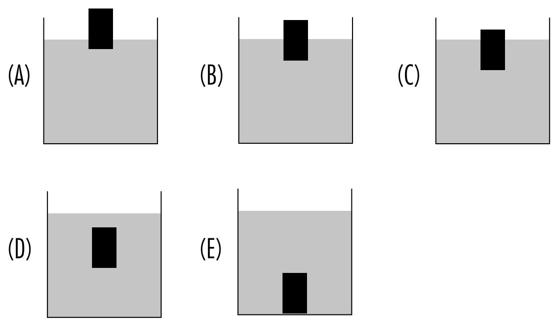
a. a razão entre as intensidades dos empuxos exercidos pelo líquido sobre as esferas A e B.

b. a razão entre as intensidades das forças que os fios exercem sobre as esferas A e B.

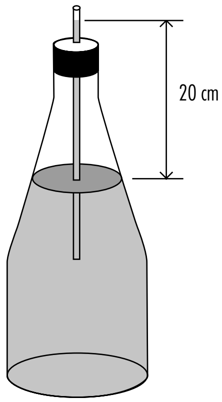
18) (UFF/1999) Um bloco flutua num líquido de massa específica $\rho = 0,75$ g/cm^3. Na situação de equilíbrio, todo o volume do bloco fica submerso, como representado na figura.



Se este bloco for inserido num recipiente com água (massa específica = 1,0 g/cm^3), sua situação de equilíbrio será mais bem representada pela figura:



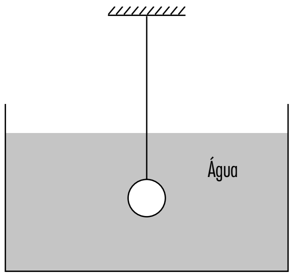
19) (Cederj/2004) Um estudante introduziu um tubo aberto nos dois extremos pela tampa de uma garrafa de água mineral gasosa. A tampa está bem fechada e o furo na tampa, por onde o tubo passa, muito bem vedado, de modo que a única passagem do interior para o exterior da garrafa seja pelo tubo. Num dado instante, o estudante observa que a altura da coluna de água no tubo, medida a partir da superfície da água dentro da garrafa, permanece constante e mede 20 cm.
O estudante sabe que a densidade da água na coluna é 1,0 x 10^3 kg/m^3.



O estudante calculou corretamente a diferença entre a pressão na superfície da água dentro da garrafa e a pressão atmosférica, encontrando o valor:

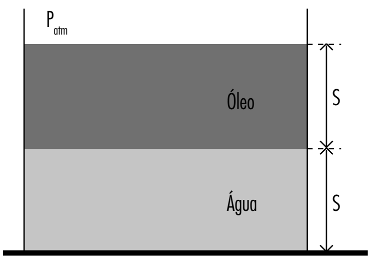
(A) 2,0 x 10^3 N/m^2
(B) 1,0 x 10^5 N/m^2
(C) 2,0 x 10 N/m^2
(D) 1,0 x 10^6 N/m^2
(E) 2,0 x 10^4 N/m^2

20) (Cederj/2006) A figura mostra uma esfera maciça, em repouso, totalmente submersa em água, suspensa por um fio ideal, de espessura desprezível, a um suporte externo.



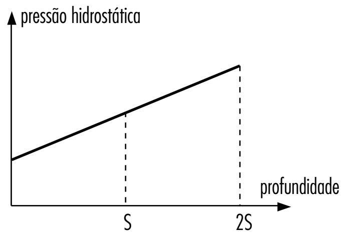
Considere a densidade da água 1 kg/l; g = 10 m/s^2 e o volume da esfera igual a 1 litro. Sendo a tensão no fio igual a 7 N, calcule, em kg/l, a densidade do material da esfera.

21) (Cederj/2001) A figura mostra um recipiente com água e óleo em equilíbrio.

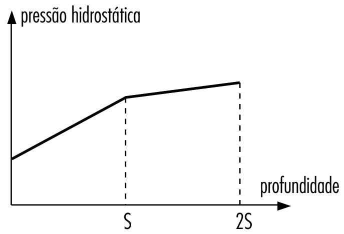


O gráfico que melhor ilustra a variação da pressão hidrostática com a profundidade é:

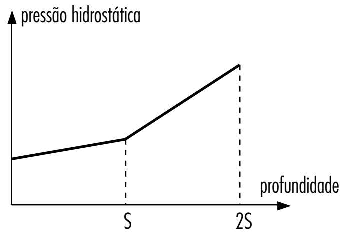
(A)


pressão hidrostática
profundidade
S
2S

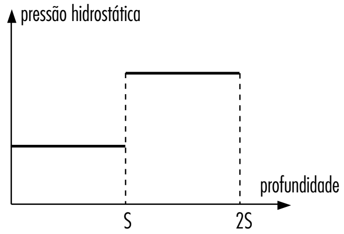
(B)


pressão hidrostática
profundidade
S
2S

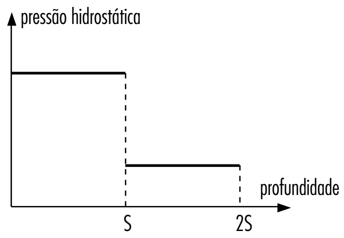
(C)


pressão hidrostática
profundidade
S
2S

(D)


pressão hidrostática
profundidade
S
2S

(E)


pressão hidrostática
profundidade
S
2S

6

Temperatura e calor

:: Meta ::
Introduzir os conceitos de temperatura e calor.

:: Objetivos ::
- *Conceituar corretamente temperatura e calor;*
- *Calcular a leitura de uma determinada temperatura em diferentes escalas termométricas;*
- *Calcular as trocas de calor entre dois ou mais objetos;*
- *Calcular o calor cedido ou recebido durante as mudanças de estado físico de uma certa quantidade de uma substância.*

Introdução

O estudo da termometria envolve uma série de conceitos como os de calor e temperatura, dos quais todos temos uma ideia geral, mas é necessário definir e conceituar de maneira bem clara e precisa, para que possamos trabalhar cientificamente com esses conceitos e entender melhor os fenômenos da natureza que os envolvem.

A energia interna

As moléculas de todos os corpos que nos cercam estão em constante movimento, tanto nos gases como nos sólidos e nos líquidos. Estando em constante movimento, existe uma energia cinética associada a esse movimento molecular que chamamos de energia interna do corpo.

Podemos variar a energia interna da água em uma chaleira colocando-a no fogo. A agitação das moléculas irá aumentar, aumentando a sua energia térmica. Por outro lado, podemos diminuir a energia interna de um refrigerante. Por exemplo, colocando gelo dentro dele, pois a agitação térmica das moléculas do refrigerante irá diminuir à medida que ele esfria.

O calor

Até o século retrasado pensava-se, erroneamente, que o calor era uma espécie de "fluido" chamado "calórico", que cada corpo tinha uma certa quantidade desse fluido em seu interior, e que o mesmo podia passar de um corpo para outro.

No fim do século XVIII, o conde de Rumford na Inglaterra, Benjamim Thompson, observou em uma fábrica de canhões que uma broca meio gasta furando um tarugo de ferro, conseguia aquecer o ferro e as limalhas que caiam durante a perfuração, quase que indefinidamente. Enquanto a broca estivesse girando dentro do ferro, saía "calórico". Thompson aventou então a hipótese de que o calor liberado durante a furação fosse devido, não por causa de calórico, mas sim ao trabalho mecânico realizado pela broca sobre o ferro.

Quem finalmente demonstrou, experimentalmente, que o calor era uma forma de energia e que havia um equivalente mecânico dessa energia, foi James Prescott Joule. Em 1845 Joule apresentou um trabalho na Royal Society da Inglaterra com os resultados de um experimento, onde uma roda contendo várias pás era colocada para girar em um recipiente contendo água. O movimento mecânico das pás dentro do recipiente aumentava a temperatura da água, o que podia ser medido por meio de um termômetro.

Calor é uma forma de energia que passa de um corpo que está a uma temperatura maior, para um outro corpo que está a uma temperatura menor. Calor é uma energia em trânsito.

A caloria

Uma unidade bastante comum para o calor é a caloria: chamamos caloria à quantidade de calor necessária para aumentar a temperatura de um grama de água desde 14,5°C até 15,5°C. No sistema internacional, como sabemos, a unidade de energia é o joule (J) onde: **1 cal = 4,186 J**

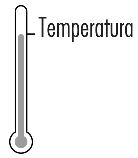
Temperatura

A primeira noção que temos de temperatura é a sensação de "quente" ou "frio", entretanto essa sensação pode nos enganar. Experimente colocar a mão sobre um pedaço de isopor ou de papelão e depois sobre uma chapa de ferro. Mesmo estando o ferro e o isopor à mesma temperatura, a sensação é que o ferro está mais frio. Isso se deve ao fato de que o ferro é um ótimo condutor de calor e, como nossa mão está normalmente a uma temperatura maior que a temperatura ambiente, passa calor, rapidamente, de nossa mão para o ferro. Já o isopor e o papelão são isolantes térmicos e o calor de nossa mão custa mais a passar para esses materiais, nos dando a impressão falsa de que estão a uma temperatura maior que a da chapa de ferro.

A temperatura pode ser definida como sendo uma medida do grau de agitação térmica das moléculas do corpo. Quanto maior essa agitação, tanto maior será a temperatura.

Medindo temperatura Termômetro

Para medirmos a temperatura de um corpo qualquer, fazemos uso de uma grandeza conhecida e que varia conforme a temperatura. O exemplo mais prático, de conhecimento de todos, é o termômetro de mercúrio, constituído de um tubo bem fino de vidro onde se encontra uma coluna de mercúrio (Hg). O comprimento da coluna de mercúrio no tubo varia de acordo com a temperatura: se a temperatura aumenta, o comprimento da coluna aumenta; se a temperatura diminui, o comprimento da coluna diminui. Nesse caso, o comprimento é chamado de grandeza termométrica, isto é, a grandeza que utilizamos, indiretamente, para medir a temperatura.

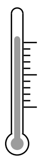


Escalas termométricas

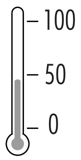
Se nós graduarmos a coluna de mercúrio, atribuindo valores numéricos de temperatura para cada altura da coluna, estaremos construindo uma escala termométrica.

A Escala Celsius

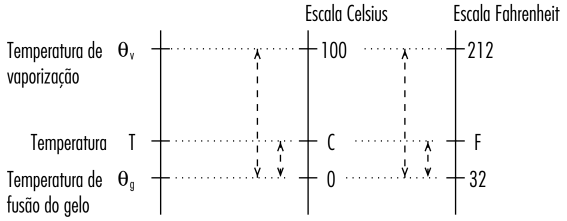
A escala mais comum utilizada no Brasil é a escala Celsius (Anders Celsius 1701–1744). Para construir sua escala, Celsius escolheu dois fenômenos que, sob pressão atmosférica normal, ocorrem sempre à mesma temperatura. São eles: a temperatura de fusão do gelo, que chamaremos Θ_g (teta g), à qual Celsius atribuiu o valor 0°C (zero graus celsius) e a temperatura de ebulição da água também chamada de "ponto do vapor", que chamaremos Θ_v (teta v), a qual foi atribuída valor 100°C (cem graus celsius). Dividindo-se a coluna em cem partes, por exemplo, cada traço corresponderá a um grau Celsius (também chamados de graus centígrados). Note que ao fazermos essa divisão da escala em partes iguais, estamos supondo que a variação no comprimento da coluna é proporcional à variação da temperatura.



Nos países de língua inglesa é muito comum a utilização da escala Fahrenheit (Daniel Fahrenheit 1686–1736), que atribuiu valores fixos diferentes dos de Celsius para estabelecer sua escala. Na escala Fahrenheit os pontos do gelo e do vapor são, respectivamente, Θ_g = 32° F (32 graus fahrenheit) Θ_v = 212° F (212 graus fahrenheit). Podemos estabelecer a relação entre as leituras nas duas escalas do seguinte modo:



Onde chamamos de C a leitura da temperatura T na escala Celsius e de F a leitura correspondente na escala Fahrenheit (as leituras são diferentes mas a temperatura T é a mesma). Uma variação de temperatura deste Θ_g até T corresponderá a uma variação de 0 a C na escala Celsius, (C – 0) e de 32 até F na escala Fahrenheit, (F – 32). Do mesmo modo uma variação de Θ_g até Θ_v corresponderá a uma variação de 0 até 100, (100-0) na escala Celsius e de 32 até 212, (212-32) na escala Fahrenheit. Assim podemos escrever:



Multiplicando-se ambos os membros da igualdade por 20 temos:

$$\frac{C-0}{100-0}=\frac{F-32}{212-32} \quad \text{ou} \quad \frac{C}{100}=\frac{F-32}{180}$$

Obs.: usando esse procedimento você poderá encontrar a relação entre uma escala arbitrária qualquer e a escala Celsius ou outra escala qualquer, desde que conheça três pontos que correspondam à mesma temperatura nas duas escalas (como no exercício proposto número 5).

Escala absoluta

Uma outra escala muito utilizada, principalmente na literatura científica, é a escala Kelvin (Lorde William Thomson Kelvin 1824–1907) onde o 0 K (lê-se zero Kelvin) corresponde ao grau de movimentação nulo das moléculas, daí chamado de "zero absoluto", e o valor de 0°C corresponde ao valor 273K. A relação entre as leituras nas escalas Celsius e Kelvin é dada por:

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

Exemplos

1) Uma pessoa se encontra com uma febre de 40°C. Calcular o valor correspondente a essa temperatura nas escalas Fahrenheit e Kelvin.

Solução

Na escala Fahrenheit:

$$\frac{C}{5}=\frac{F-32}{9} \Rightarrow \frac{40}{5}=\frac{F-32}{9} \Rightarrow 5(F-32)=9 \cdot 40 \Rightarrow 5F-160=360 \Rightarrow F= 360$$

$$\Rightarrow F=\frac{360+160}{5} \Rightarrow F=104°C$$

Na escala Kelvin:

$C = K - 273 \Rightarrow 40 = K - 273 \Rightarrow K = 40 + 273 = 313K$

2) Para a pressão atmosférica normal a temperatura de ebulição do nitrogênio é de – 196° C. Calcular a leitura na escala Kelvin para essa temperatura.

Solução

Temos:

$C = K - 273 \Rightarrow -196 = K - 273 \Rightarrow K = 273 - 196 \Rightarrow K = 77K$

Trocas de calor

O calor como vimos, é uma forma de energia, mas não dizemos que um corpo tem uma certa quantidade de calor. O calor é energia em trânsito, uma energia que passa do corpo que tem maior temperatura para outro, com menor temperatura.

A quantidade de calor Q, cedida ou recebida por um corpo depende de sua massa, da variação de temperatura e da natureza do material que constitui esse corpo. Assim, o principio fundamental da calorimetria pode ser enunciado do seguinte modo:

As quantidades de calor cedidas ou recebidas por um corpo são diretamente proporcionais à sua massa e à variação de temperatura.

Desse modo, a equação fundamental da calorimetria pode ser escrita:

$\boxed{Q = mc\,\Delta\theta}$

onde:

Q = quantidade de calor recebida ou cedida pelo corpo;

c = calor específico, é a constante de proporcionalidade;

m = massa do corpo;

$\Delta\theta = (\theta_{final} - \theta_{inicial})$ = (variação da temperatura)

O calor específico é uma característica do material que constitui o corpo e pode ser visto, aproximadamente como a quantidade de calor que faz variar de 1°C a temperatura de uma massa de um grama (1g) da substância.

Os calores específicos dependem do estado físico da substância, assim, dependendo se a substância está na forma sólida, líquida ou gasosa, seu calor específico será diferente. Veja na tabela abaixo os calores específicos de algumas substâncias conhecidas.

Substância	**Calor específico em (cal/g°C)**
Água líquida	1,00
Vapor d'água	0,48
Gelo	0,50
Ferro	0,11
Latão	0,092
Prata	0,056
Chumbo	0,031

O calor específico da água, na sua forma líquida, é um dos maiores da natureza, dessa forma a água troca grandes quantidades de calor com pouca variação de temperatura. Esse fato torna a água um importante regulador térmico de nosso planeta. Nos lugares onde há abundância de água, como em cidades à beira-mar, a diferença de temperatura entre o dia e a noite é bem pequena. Já nos desertos, as temperaturas chegam a variar de 50°C, durante o dia, para vários graus Celsius negativos à noite.

Exemplo

Um corpo, com 100 gramas de chumbo, tem sua temperatura aumentada de 20°C. Calcular a quantidade de calor absorvida pelo chumbo, lembrando que seu calor específico é de 0,031 cal/g°C.

Solução

$Q_{absorvido} = mc\Delta\theta = 100(g) \cdot 0{,}031\ (cal/g°C) \cdot 20\ (°C) = 3{,}1 \cdot 20 = 62$ cal

Calor Latente L

Quando uma substância muda de fase, por exemplo, de sólido para líquido, de líquido para vapor, ou vice-versa, sua temperatura não varia, mas o corpo deverá receber ou ceder calor para que a mudança ocorra. Por exemplo, imagine um cubo de gelo, 0°C, colocado em uma panela e, em seguida levado ao fogo. Primeiro o gelo vai recebendo calor para derreter, mas mantendo a temperatura de 0°C. Em seguida, após derreter, a água começa a esquentar até chegar a 100°C, aí, ao entrar em ebulição, a temperatura permanecerá novamente constante, agora 100°C, até que toda a água vire vapor. Se continuarmos a aquecer o vapor, esse irá aumentar novamente a temperatura.

Chamamos de calor latente (L), da mudança de fase de uma substância à quantidade de calor que ela cede ou recebe, por unidade de massa, durante a transformação. Durante a mudança de fase não há variação da temperatura do corpo.

A quantidade de calor trocada por um corpo para mudar de fase é dada por

$\boxed{Q = mL}$

Onde

Q = quantidade de calor recebida ou cedida pelo corpo;

m = massa do corpo;

L = calor latente da substância que compõe o corpo.

Por convenção, a quantidade de calor será positiva quando o corpo recebe calor e será negativa quando o corpo cede calor. Assim o calor latente poderá ser positivo ou negativo. Vamos ver o exemplo da água em suas várias fases, sólida, líquida e vapor.

Calor latente de fusão do gelo	$L_{G+} = 80$ cal/g (gelo derretendo 0°C)
Calor latente de solidificação da água	$L_{G-} = -80$ cal/g (água congelando 0°C)
Calor latente de vaporização da água	$L_{V+} = 539$ cal/g (água fervendo 100°C)
Calor latente de condensação do vapor	$L_{V-} = -539$ cal/g (vapor condensando 100°C)

Exemplos

1) Utilizando os valores de calor específico e calor latente dados anteriormente, vamos calcular a quantidade de calor necessária para que 200 g de gelo, inicialmente a –20°C, sejam totalmente transformados em vapor, a 100°C.

Solução

Temos:

$Q_1 = m_g \cdot c_g\,\Delta\theta = 200 \cdot 0{,}50 \cdot [0 - (-20)] = 2.000$ para o gelo esquentar de –20°C até 0°C

$Q_2 = m_g \cdot L_g = 200 \cdot 80 = 1.600$ para o gelo derreter a 0ºC

$Q_3 = m_{H2O} \cdot c_{H2O} \cdot \Delta\theta = 200 \cdot 80 \cdot (100 - 0) = 20.000$ para a água esquentar de 0ºC a 100ºC

$Q_4 = m_{H2O} \cdot L_V = 200 \cdot 539 = 107.800$ para a água vaporizar a 100ºC

Assim:

$Q_{total} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 2.000 + 1.600 + 20.000 + 107.800 = 131.000$ cal

$Q_{total} = 1{,}31 \cdot 10^4$ cal ou 13,1 kcal (quilo-calorias pois quilo = mil)

Nas trocas de calor, de acordo com o princípio geral da conservação da energia, se não houver perdas para o ambiente, podemos fazer:

$$\boxed{Q_{cedido} + Q_{recebido} = 0}$$

2) No interior de um vaso adiabático colocamos 500g de água a 20ºC e 100g de chumbo a 200ºC. A temperatura final de equilíbrio térmico é 21,1ºC. Determine o calor específico do chumbo.

Solução

Temos: $Q_{cedido} + Q_{recebido} = 0$

onde $m_{pb} \cdot c_{pb} \cdot (21{,}1 - 200) + m_{H2O} \cdot c_{H2O} \cdot (21{,}1 - 20) = 0$

ou $100c_{pb} \cdot (-178{,}9) + 500 \cdot 1 \cdot 1{,}1 = 0$

logo $-178.900 \cdot c_{pb} + 550 = 0$

onde $c_{pb} = 0{,}031$ cal/gº C

3) Ao se preparar um banho morno, colocou-se duas panelas de água a 80ºC numa banheira. Quantas panelas de água a 20ºC devem ser misturadas para obter uma temperatura final de equilíbrio térmico igual a 40ºC. Despreze as perdas de calor para o meio ambiente.

Solução

Seja a massa de água em uma panela igual a m_1. Teremos:

$2m_1c\,(40 - 80) + m_2c\,(40 - 20) = 0.$

Logo $m_2 = 4m_1 \cdot$ (quatro panelas).

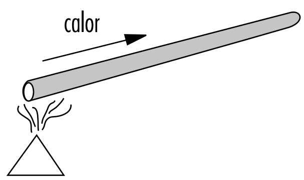
A PROPAGAÇÃO DO CALOR

O calor pode passar de uma parte para outra de um corpo ou de um sistema qualquer, por meio de três processos distintos. São eles: a condução, a convecção e a irradiação. Vamos estudar como se dá o processo de transferência de calor em cada um deles, e também os condutores e isolantes térmicos.

Condução

Vejamos o exemplo, onde uma das extremidades de uma barra metálica é colocada na chama de um fogão.

Podemos perceber que o calor irá rapidamente ser transferido de uma extremidade para a outra. O calor é transferido molécula a molécula do metal até chegar na outra extremidade.

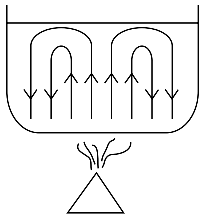


A condução do calor consiste na transferência de energia entre as moléculas que constituem o sistema.

Propagação do calor por convecção

Na convecção, as próprias moléculas do meio se movimentam promovendo transferência do calor. Ela ocorre nos fluidos (líquidos, gases e vapores). Veja o exemplo da água colocada ao fogo.

A parte inferior, mais aquecida, começa a subir, formando o que chamamos de corrente de convecção, e o calor é levado para as partes superiores. Nas geladeiras, o refrigerador é colocado na parte superior. Dessa forma, o ar mais frio desce e o ar mais quente sobe para ser então resfriado. Forma-se também uma corrente de convecção dentro da geladeira. Do mesmo modo, as gaivotas e urubus aproveitam as correntes de convecção que se formam em áreas mais secas e quentes do solo, onde o ar sobe, mantendo-se planando no ar, sem bater asas, por longos períodos.

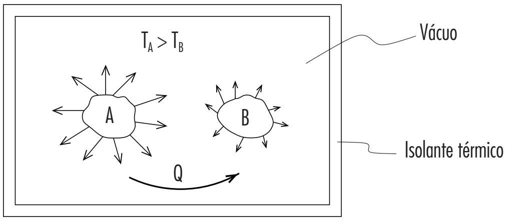


Condução por irradiação

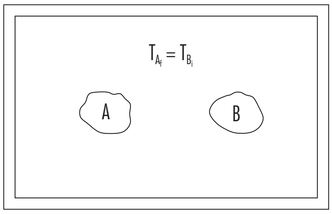
A condução de calor entre dois corpos pode ser realizada mesmo sem contato físico entre eles, por irradiação de energia, sob a forma de ondas eletromagnéticas, principalmente luz infravermelha, invisível para nós, e o calor passa de um corpo para o outro. É pelo processo de irradiação que recebemos calor vindo do Sol. A radiação atravessa até mesmo o vácuo existente entre o Sol e a Terra, não sendo possível, nesse caso, outra forma de condução se não a irradiação. As ondas infravermelhas são invisíveis para os nossos olhos, mas são detectadas, facilmente, pelos filmes fotográficos. Um ferro de passar roupas, aquecido, pode ser fotografado mesmo no escuro. O ferro aquecido transmite grande quantidade de calor para o ambiente, por irradiação.

Exemplo

Consideremos dois corpos A e B dentro de um recipiente que não permite a troca de calor com o meio ambiente (recipiente adiabático) e onde se fez vácuo. O corpo A tem temperatura superior à do corpo B.



Mesmo sem qualquer contato entre os corpos A e B, passa calor de A para B, por irradiação.



Depois de algum tempo, os corpos entram em equilíbrio térmico e $T_{Af} = T_{Bi}$

Condutores e isolantes térmicos

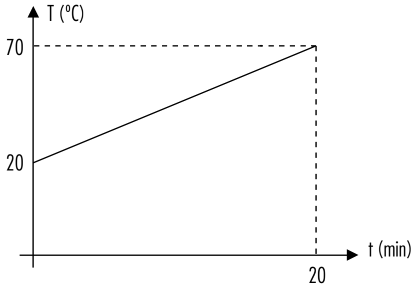
Você deve ter notado que as panelas e frigideiras metálicas têm cabos revestidos de um material plástico, ou mesmo de madeira, para não queimarmos nossas mãos. Materiais tais como os metais, onde a condução se dá muito rapidamente, são chamados de bons condutores de calor, enquanto que materiais tais como madeira, plástico, vidro e isopor, são chamados de isolantes térmicos, pois conduzem mal o calor. Um exemplo interessante do uso de um isolante térmico é o iglu, casa de gelo construída pelos esquimós, pois enquanto a temperatura exterior pode chegar a 30 ou mesmo 40 graus celsius negativos, seu interior fica próximo de zero grau celsius. Bem mais "quentinho". Os agasalhos de lã que usamos no inverno contêm uma quantidade de ar presa no meio da lã fazendo com que o casaco também seja um excelente isolante térmico. Vocês já devem ter notado como os pássaros ouriçam as penas, de modo a formar um "colchão" de ar em torno do corpo para se proteger do frio. O ar (estando parado) é um isolante térmico.

Exercícios

1) Colocamos em um mesmo recipiente três termômetros: um Celsius, um Fahrenheit e um Kelvin. Aquecemos o sistema até que a diferença de leituras entre a temperatura inicial e a temperatura final de equilíbrio térmico fornecida pelo termômetro Celsius seja de 45°C. Determine as diferenças de leituras fornecidas pelos outros termômetros.

2) Dois blocos de chumbo, P e Q, adquirem a mesma variação de temperatura. A massa do bloco P é o dobro da massa do bloco Q. Determine a razão entre a quantidade de calor recebido pelo bloco P e a quantidade de calor recebido pelo bloco Q.

3) Um líquido com massa $4,0 \times 10^2$ g recebe calor de uma fonte à razão de $1,0 \times 10^3$ cal/min. Na figura a seguir está representado o gráfico da temperatura do líquido em função do tempo. Determine o calor específico do líquido.



4) Sobre uma placa de parafina de espessura uniforme são colocadas duas esferas de mesma massa aquecidas até alcançarem a mesma temperatura. Uma esfera é de ferro e a outra é de chumbo. Qual delas fundirá maior quantidade de parafina? Dados os calores específicos: $c_{Fe} = 0,11$ cal/g°C; $c_{Pb} = 0,031$ cal/g°C.

5) Que massas de água a 12°C e 52°C devemos misturar para obter 10 kg de água a 22°C.

6) Dois corpos, A e B, estão à mesma temperatura de 10°C. Cedendo-se a mesma quantidade de calor a cada um deles, obtemos temperaturas diferentes: T_A = 40°C e T_B = 80°C. Nesta nova condição colocamos os dois corpos em contato. Determine a temperatura final de equilíbrio térmico. Despreze as perdas.

7) Coloca-se 200 g de gelo a 0°C e 200 g de água a 5,0°C em um recipiente termicamente isolado. Uma vez atingido o equilíbrio térmico, podemos afirmar corretamente que o recipiente contém:

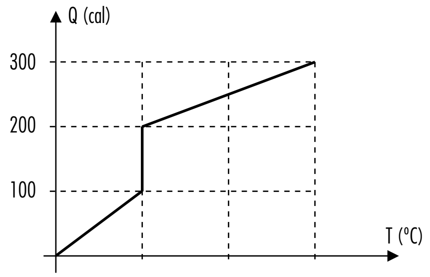
(A) gelo a 0°C
(B) gelo e água a 0°C
(C) água a 2,5°C
(D) água a 5,0°C
(E) gelo e água a 2,0°C

8) Misturamos 1,0 kg de gelo a 0°C com 1,0 kg de vapor d'água a 100°C. Determine a temperatura de equilíbrio térmico. Dados os calores latentes de fusão e de vaporização da água: L_F = 80 cal/g e L_V = 540 cal/g.

9) Um estudante deseja beber café. Então, pega um copo de alumínio de massa $m_{Al} = 1,2 \times 10^2$ g e temperatura 20°C. A seguir, enche o copo com $3,0 \times 10^2$ g de café na temperatura de 70°C. Considerando as perdas desprezíveis, determine a temperatura final de equilíbrio térmico da mistura.
Dados os calores específicos: $c_{Al} = 0,22$ cal/g°C; $c_{café} = 1,0$ cal/g°C.

10) Deseja-se esfriar $2,5 \times 10^2$ g de coca-cola, inicialmente, a 25°C. Então, adiciona-se gelo a –20°C. Determine a massa de gelo necessária para a temperatura final ser 0°C com a fusão de todo gelo. Considere apenas a troca de calor entre o gelo e a coca-cola. Dados os calores específicos e o latente de fusão: $c_{coca} = 1,0$ cal/g°C; $c_{gelo} = 0,50$ cal/g°C; $c_{água} = 1,0$ cal/g°C; $L_F = 80$ cal/g

11) O gráfico da figura a seguir mostra a relação entre o calor recebido por um corpo de massa 10 g, inicialmente na fase sólida, e a sua temperatura.



Pede-se determinar:
a. a temperatura de fusão.

b. o calor latente de fusão.

c. o calor específico da fase sólida.

d. o calor específico da fase líquida.

12) Um corpo está numa temperatura que, em °C, tem metade do valor medido em °F. Determine essa temperatura na escala Fahrenheit.

13) (MACK-SP) O célebre físico irlandês William Thomsom, que ficou mundialmente conhecido pelo título de lorde Kelvin, entre tantos trabalhos que desenvolveu, "criou" a escala termométrica absoluta. Essa escala, conhecida por escala Kelvin, consequentemente não admite valores negativos, e, para tanto, estabeleceu como zero o estado de repouso molecular. Conceitualmente sua colocação é consistente, pois a temperatura de um corpo se refere à medida:

(A) da quantidade de movimento das moléculas do corpo
(B) da quantidade de calor do corpo
(C) da energia térmica associada ao corpo
(D) da energia cinética das moléculas do corpo
(E) do grau de agitação das moléculas do corpo

14) (Unirio) Um pesquisador, ao realizar a leitura da temperatura de um determinado sistema, obteve o valor – 450. Considerando as escalas usuais (Celsius, Fahrenheit e Kelvin), podemos afirmar que o termômetro utilizado certamente não poderia estar graduado:

(A) apenas na escala Celsius
(B) apenas na escala Fahrenheit
(C) apenas na escala Kelvin
(D) nas escalas Celsius e Kelvin
(E) nas escalas Fahrenheit e Kelvin

15) (U.Tocantins – TO) Numa determinada região, registrou-se certo dia a temperatura de X° C. Se a escala utilizada tivesse sido a Fahrenheit, a leitura seria 72 unidades mais alta. Determine o valor dessa temperatura.

(A) 50°C
(B) 72°C
(C) 83,33°C
(D) 150°C
(B) 1220°C

16) Duas esferas de mesma massa, uma de alumínio e outra de cobre, são aquecidas até alcançarem a mesma temperatura (100°C). As esferas são colocadas sobre uma placa de parafina de espessura uniforme. Qual delas fundirá mais parafina? Dados: $c_{Al} = 0,22$; $c_{cu} = 0,092$

17) Que massas de águas a 12°C e 52°C devemos misturar para obter 10 kg de água a 22°C.

18) Dois corpos A e B, se encontram à mesma temperatura (10°C). A seguir, cada um deles recebe a mesma quantidade de calor. As temperaturas atingem os seguintes valores: $T_A = 40$°C e $T_B = 80$°C. Se colocarmos os corpos em contato, qual deverá ser a temperatura de equilíbrio térmico, se desprezarmos todas as perdas?

19) Dispomos de um líquido A a 100°C, um líquido B a 70°C e um líquido C a 30°C. Misturamos massas iguais de A e de B, obtemos uma temperatura final de equilíbrio térmico igual 90°C. Misturamos massas iguais de B e C, obtemos uma temperatura final de equilíbrio térmico igual a 60°C. Determine a temperatura final de equilíbrio térmico se misturarmos massas iguais de A, B e C. Despreze as perdas.

20) Num vaso adiabático misturamos 200g de água a 20°C com 500g de um líquido a 80°C. O calor específico do líquido é 0,40 cal/g°C. Determine a temperatura final de equilíbrio térmico.

21) (Cederj/2002) Um forno de microondas tem potência igual a $1,0 \times 10^3$W. Assinale a opção que informa o tempo necessário para esse forno elevar em 15°C a temperatura de um litro de água.
Dados:
Densidade da água = 1,0 g/cm^3
Calor específico da água = 1,0 cal/g°C
1,0 caloria = 4,18 joules

(A) 23 s
(B) 53 s
(C) 63 s
(D) 72 s
(E) 96 s

22) (Cederj/2003) Calcule corretamente a quantidade de calor necessária para transformar totalmente 1,0 g de gelo, inicialmente à temperatura de – 10°C, em vapor d'água à temperatura de 120°C.
Dados:
Calor específico do gelo = 0,50 cal/g°C.
Calor específico da água = 1,0 cal/g°C.
Calor específico do vapor d'água = 0,50 cal/g°C
Calor latente de fusão do gelo = 80 cal/g.
Calor latente de vaporização da água = 540 cal/g.

23) (Cederj/2004) (química) Pesquisas recentemente publicadas constatam que o aquecimento da Terra provocado pelo efeito estufa está derretendo geleiras na Suíça.
A mudança de estado que a água sofre, nesse processo, chama-se:

(A) condensação
(B) fusão
(C) sublimação
(D) ebulição
(E) evaporação

24) (Cederj/2004) Considere uma piscina de criança, de formato quadrado e com 1,0m^2 de área, que contém em seu interior 180 litros de água a uma certa temperatura. Suponha que a energia solar que incide na superfície da água por unidade de área e por unidade de tempo seja de $2,1 \times 10^2$ joules por metro quadrado e por segundo. Suponha, ainda, que toda essa energia seja utilizada para aquecer a água da piscina.
Calcule o tempo necessário para que essa água aumente sua temperatura de um grau celsius.
Nesta questão, considere 1,0 cal = 4,2 J.

25) (UFF/1999) Assinale a opção que representa a afirmativa correta.

(a) O calor específico de uma substância é sempre constante.
(b) A quantidade de calor necessária para aquecer uma certa massa de água de 0°C a 5°C é igual à quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de uma mesma massa de gelo de 0°C a 5°C.
(c) Massas iguais de água e alumínio ao receberem a mesma quantidade de calor sofrerão a mesma variação de temperatura.
(d) Misturando-se água a 10°C com gelo a 0°C, a temperatura final de equilíbrio térmico será sempre menor que 10°C e maior que 0°C.
(e) Corpos de massas e materiais diferentes podem ter capacidades térmicas iguais.

7

Dilatação térmica

:: Meta ::
Conceituar a dilatação térmica dos sólidos e líquidos, em casos simples, com exemplos da vida cotidiana.

:: Objetivos ::
- *Resolver problemas de dilatação linear, superficial e volumétrica dos sólidos;*
- *Caracterizar a dilatação térmica dos líquidos em geral e da água como um exemplo típico.*

Introdução

Conforme vimos anteriormente, a temperatura pode ser definida como sendo uma medida do grau de agitação térmica das moléculas do corpo. Quanto maior essa agitação, tanto maior será a sua temperatura. Sendo assim, de um modo geral, quanto maior for a temperatura, maior será o volume desse corpo. Se por outro lado, diminuirmos a temperatura de um corpo, na grande maioria dos casos ele sofrerá uma contração, denominada contração térmica.

Para estudarmos a dilatação térmica vamos dividir os assuntos em dois tópicos: o primeiro, a dilatação térmica dos sólidos, subdividido em: dilatação linear, dilatação superficial e dilatação volumétrica; e o segundo, a dilatação térmica dos líquidos.

Os líquidos, como sabemos, não têm forma própria, eles ocupam o espaço com a forma do recipiente que os contém. Sendo assim, apenas a sua dilatação volumétrica terá algum interesse de estudo.

Dilatação Linear

A dilatação de qualquer corpo se dá sempre em três dimensões, entretanto, quando o corpo é comprido, como uma barra de ferro fina, ou mesmo um trilho de trem, seu comprimento passa a ter uma importância especial.

Vejamos um exemplo: se uma barra de ferro com 100 cm de comprimento for aquecida em 10º C, seu comprimento aumentará apenas 0,012 cm. Se a barra tiver 200 cm de comprimento, o dobro da barra anterior, ela irá aumentar 0,024 cm e a dilatação também será o dobro da anterior, pois a dilatação é proporcional ao comprimento.

Se a mesma barra de ferro, com 100 cm de comprimento, for aquecida a 20ºC, em vez dos 10ºC anterior, ela sofrerá um aumento no comprimento de 0,024 cm, pois a dilatação também é proporcional à variação de temperatura.

A dilatação, nos diversos materiais, ocorre da mesma forma que no exemplo anterior. Embora a dilatação (que chamaremos ΔL) seja diferente para cada material, ela é sempre proporcional ao comprimento inicial da barra (que chamaremos L_i) e à variação de temperatura, que chamaremos $\Delta\theta$ (delta teta). Assim:

$\boxed{\Delta L \propto L_i \Delta\theta}$ onde o símbolo $\propto$ significa proporcional.

Podemos retirar o símbolo de proporcionalidade e colocar o de igualdade, se soubermos o valor da constante de proporcionalidade. Cada material tem uma constante de proporcionalidade característica, chamada coeficiente de dilatação linear, que chamaremos genericamente de α (alfa). Assim, temos:

$\boxed{\Delta L = L_i \alpha\, \Delta\theta}$ onde:

$\Delta L = (L_f - L_i)$ = variação no comprimento = (comprimento final – comprimento inicial);

α = coeficiente de dilatação linear, característica de cada material;

$\Delta\theta = (\theta_f - \theta_i)$ = variação na temperatura = (temperatura final – temperatura inicial).

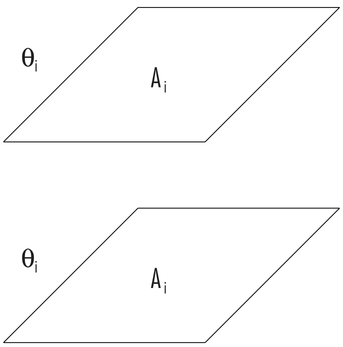
A unidade de medida do coeficiente de dilatação é o inverso do grau. Podendo ser dada em $°C^{-1}$ ou K^{-1}.

Os coeficientes de dilatação têm valores bastante diferentes para as diversas substâncias. A tabela a seguir mostra os coeficientes de dilatação de diversos materiais conhecidos. Note que os metais têm os maiores coeficientes de dilatação.

Substância	Coeficiente de dilatação linear (α) em $°C^{-1}$
Porcelana	$3{,}0 \cdot 10^{-6}$
Vidro pyrex	$3{,}2 \cdot 10^{-6}$
Vidro comum	$9{,}0 \cdot 10^{-6}$
Concreto	$12 \cdot 10^{-6}$
Ouro	$15 \cdot 10^{-6}$
Prata	$19 \cdot 10^{-6}$
Chumbo	$27 \cdot 10^{-6}$

Dilatação superficial

Vamos considerar uma placa que tem área A_i, à temperatura θ_i e área A_f, à temperatura θ_f.



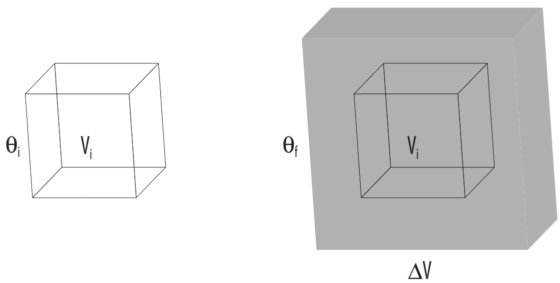
Nesse caso temos $\boxed{\Delta A = \beta \cdot A_i \cdot \Delta\theta}$ onde β (beta) é o coeficiente de dilatação superficial. Seu valor é aproximadamente igual ao dobro do coeficiente de dilatação linear para o mesmo material. Por exemplo:

para a porcelana $\beta = 2 \cdot 3{,}0 \cdot 10^{-6}\ °C^{-1} = 6{,}0 \cdot 10^{-6}\ °C^{-1}$

para o chumbo $\beta = 2 \cdot 27 \cdot 10^{-6}\ °C^{-1} = 54 \cdot 10^{-6}\ °C^{-1}$

Dilatação volumétrica

Vamos considerar um paralelepípedo, com volume V_i, à temperatura θ_i, e volume V_f à temperatura θ_f.



Nesse caso temos que $\boxed{\Delta V = \gamma \cdot V_i \cdot \Delta\theta}$ onde (gama) é o coeficiente de dilatação volumétrica. Seu valor é aproximadamente igual ao triplo do coeficiente de dilatação linear para o mesmo material.

Lembre-se que a dilatação sempre se dá nas três dimensões sendo sempre volumétrica, mas, numa barra comprida, só nos interessa a variação no comprimento, pois as outras dimensões, altura e largura, por serem muito pequenas, terão uma dilatação muito menor. Do mesmo modo, numa placa, sendo sua espessura muito menor que a largura e o comprimento, nos importamos somente com dilatação superficial.

Exemplo

Uma barra de ferro utilizada na construção de navios tem comprimento de 60m, à temperatura ambiente. Vamos calcular a variação do comprimento da barra quando essa for aquecida em 50°C, sabendo-se que o coeficiente de dilatação linear do material de que a barra é feita é: $\alpha = 20 \cdot 10^{-6}\ °C^{-1}$.

Solução

Temos:

$\Delta L = ?$

$\alpha = 20 \cdot 10^{-6}\ °C^{-1}$

$L_i = 60\ m$

$\Delta\theta = 50°\ C$

com $\Delta L = \alpha L_i \Delta\theta$

Substituindo os valores e lembrando-se que $10^{-6}\,°C^{-1} = \dfrac{1}{1000000°C}$ temos:

$$\Delta L = 20 \cdot 10^{-6}\,°C^{-1} \cdot 60m = \frac{20 \cdot 60(m) \cdot 50(°C)}{1000000°C} = \frac{60000}{1000000}(m) = 0{,}06m$$

$= 0{,}06m$

Logo, a barra irá variar seu comprimento em 6,0 cm.

A dilatação dos líquidos

Os líquidos, de um modo geral, seguem as leis de dilatação dos sólidos com $\Delta V = \gamma \cdot V_i \cdot \Delta\theta$. Devemos tomar cuidado com o fato de que os líquidos estarão, necessariamente, dento de algum recipiente, e que esse também é aquecido quando aquecemos o líquido e portanto também se dilatam, dando a impressão de que o líquido dilatou menos que na realidade.

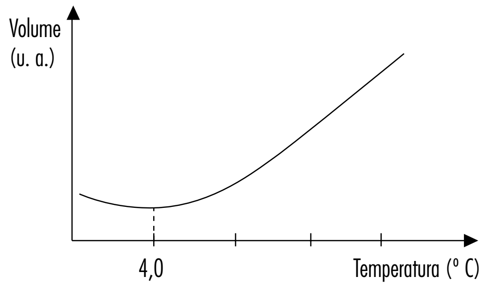
Dilatação aparente dos líquidos

Na maioria das vezes os líquidos se dilatam mais do que os recipientes que os contém. Se tivermos um recipiente completamente cheio de um líquido a uma certa temperatura, ao aquecermos o conjunto recipiente mais líquido, haverá um derramamento de parte do líquido contido no recipiente. Ao volume de líquido derramado chamamos de dilatação aparente do líquido. Na realidade, o líquido se dilata mais que a parte derramada, pois, como o recipiente também se dilata ao ser aquecido, cabe mais líquido nele que originalmente.

O caso da água

A água apresenta uma irregularidade no seu coeficiente de dilatação. Se aquecermos um certo volume de água partir de 0°C, entre a temperatura de 0°C e 4°C a água se contrai, diminui o volume, ficando mais densa. Depois, se continuarmos a aquecer a água, ela vai começar a se dilatar, como fazem, de um modo geral, os outros líquidos os sólidos. À temperatura de 4°C, a água é mais densa, ocupando o menor volume. No gráfico ao lado está representado qualitativamente o volume de uma certa quantidade de água em função da temperatura.

Nas regiões geladas como no Polo Norte da Terra, a água vai congelando na superfície do oceano Ártico, enquanto que a água a 4°C, mais quente que o gelo, afunda, por ser mais densa, permitindo que sob o gelo exista uma grande quantidade de vida marinha, como focas, leões marinhos e outras espécies. O fato de a água possuir um dos maiores calores específicos dentre as substâncias conhecidas e de ser mais densa a 4°C, tem uma importância fundamental no equilíbrio do clima da Terra e, portanto, na sobrevivência de todas as espécies animais que nela vivem, incluindo a nossa.



Exercícios

1) Edificações com grandes extensões horizontais como pontes, linhas ferroviárias e grandes prédios são construídas em módulos, separados por pequenos intervalos denominados "juntas de dilatação". Essas juntas são espaços reservados para o aumento de comprimento dos módulos, devido ao aumento de temperatura a que eles ficam submetidos. Os comprimentos desses intervalos devem ser:

(A) independentes do coeficiente de dilatação linear do material
(B) independentes do comprimento dos módulos
(C) inversamente proporcionais ao coeficiente de dilatação linear do material
(D) inversamente proporcionais ao comprimento dos módulos
(E) diretamente proporcionais ao comprimento dos módulos

2) (Fatec–SP) Uma placa de alumínio tem um grande orifício circular no qual foi colocado um pino, também de alumínio, com grande folga. O pino e a placa são aquecidos em 500°C, simultaneamente. Podemos afirmar que:

(A) a folga irá aumentar, pois o pino, ao ser aquecido, irá contrair-se.
(B) a folga diminuirá, pois, ao aquecermos a chapa, a área do orifício diminui.
(C) a folga diminuirá, pois o pino se dilata muito mais que o orifício.
(D) a folga irá aumentar, pois o diâmetro do orifício aumenta mais que o diâmetro do pino.
(E) a folga diminuirá, pois o pino se dilata, e a área do orifício não se altera.

3) (UEBA) Uma peça de zinco é construída a partir de uma chapa quadrada de lado 30 cm, da qual foi retirado um pedaço de área de 500 cm^2. Elevando-se em 50°C a temperatura da peça restante, sua área final, em centímetros quadrados, será mais próxima de:
(Dado: coeficiente de dilatação linear do zinco = $2{,}5 \cdot 10^{-5}$ $°C^{-1}$)

(A) 400
(B) 401
(C) 405
(D) 408
(E) 416

4) (MACK-SP) Uma placa de aço sofre uma dilatação de 2,4 cm^2, quando aquecida em 100° C. Sabendo que o coeficiente de dilatação linear médio do aço, no intervalo considerado, é $1{,}2 \cdot 10^{-6}$ $°C^{-1}$, podemos afirmar que a área da placa, antes desse aquecimento, era:

(A) 200 m^2
(B) 100 m^2
(C) 2 m^2
(D) 1 m^2
(E) 0,010 m^2

5) (UECE) Uma placa quadrada e homogênea é feita de um material cujo coeficiente superficial de dilatação é $\beta = 1{,}6 \cdot 10^{-4}$ ° C. O acréscimo de temperatura, em graus Celsius, necessário para que a placa tenha um aumento de 10% em sua área é:

(A) 80
(B) 160
(C) 375
(D) 625

6) (Unirio) Um estudante pôs em prática uma experiência na qual pudesse observar alguns conceitos relacionados à "Dilatação térmica dos sólidos". Ele utilizou dois objetos: um fino fio de cobre de comprimento 4L, com o qual montou um quadrado, como mostra a figura I, e uma chapa quadrada, também de cobre, de espessura desprezível e área igual a L^2, como mostra a figura II. Em seguida, o quadrado e a chapa, que se encontravam inicialmente à mesma temperatura, foram colocados num forno até que alcançassem o equilíbrio térmico com este.

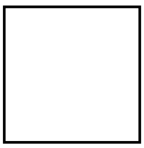


Figura I: Quadrado formado com o fio de cobre

Figura II: Chapa de cobre de área L^2

Assim, a razão entre a área da chapa e a área do quadrado formado com o fio de cobre, após o equilíbrio térmico destes com o forno, é:

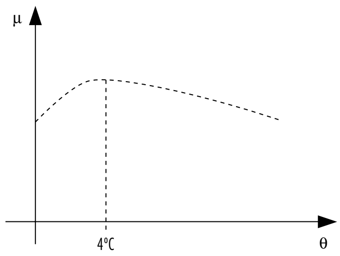
(A) 5
(B) 4
(C) 3
(D) 2
(E) 1

7) (Cederj/2004) Uma barra retilínea de comprimento l = 1,0m tem um terço de seu comprimento constituído por um material cujo coeficiente de dilatação linear é $\alpha = 1{,}0 \times 10^{-5}$ $(°C)^{-1}$ e os outros dois terços, de um material cujo coeficiente de dilatação linear é $\alpha' = 2\alpha$. Determine de quanto varia o comprimento da barra quando a temperatura aumenta 10°C.
Dica: lembre-se que:
$L = L_0 (1 + \alpha\Delta\theta) \Rightarrow L = L_0 + L_0 \cdot \alpha\Delta\theta \Rightarrow \Delta L = L_0 \cdot \alpha\Delta\theta$
Aplique para as duas partes da barra.

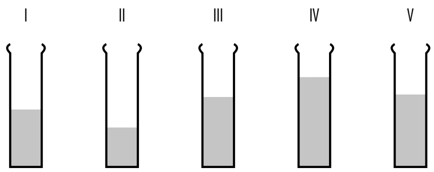
8) (Cederj/2005) Uma esfera sólida de volume 500 cm^3, inicialmente a uma temperatura de 20°C, é colocada dentro de um calorímetro ideal contendo em seu interior 1350 g de água a 80°C. A capacidade térmica dessa esfera é 150 cal/°C e seu coeficiente de dilatação volumétrico é $6{,}0 \times 10^{-5}$ $(°C)^{-1}$. Após reestabelecido o equilíbrio térmico dentro do calorímetro, a afirmação que melhor descreve a variação de volume da esfera é que ela:

(A) se contraiu de 4,8 cm^3.
(B) permaneceu no mesmo volume.
(C) se dilatou de 4,8 cm^3.
(D) se contraiu de 1,6 cm^3.
(E) se dilatou de 1,6 cm^3.

9) (Cederj/2007) A água (líquida, sob pressão normal) tem uma dilatação anormal entre 0°C e 4°C, como ilustra o gráfico mostrado abaixo, que informa como a densidade da água (μ) varia com a temperatura (θ).



Cinco frascos transparentes e termicamente indilatáveis, apoiados numa mesa horizontal, contêm massas iguais de água, a temperaturas diferentes, como ilustram as figuras:



Informa-se que, em um deles, a temperatura da água é de 4°C. O frasco no qual a água está a 4°C é o frasco:

(A) I
(B) II
(C) III
(D) IV
(E) V

8

O Comportamento térmico dos gases

:: Meta ::
Conceituar a dilatação térmica dos sólidos e líquidos, em casos simples, com exemplos da vida cotidiana.

:: Objetivos ::
- *Resolver problemas de dilatação linear, superficial e volumétrica dos sólidos;*
- *Caracterizar a dilatação térmica dos líquidos em geral e da água como um exemplo típico.*

Introdução

As principais características dos gases são suas compressibilidades e suas expansibilidades. Os gases são fluidos e ocupam rapidamente todo o espaço do recipiente no qual os colocamos.

O estado de um gás é caracterizado pelo valor da Pressão (P) a que está submetido, pela sua temperatura (T) e pelo volume (V) que ocupa. Nesse capítulo, vamos estudar as relações entre essas três grandezas, em uma determinada quantidade de um gás. Para tanto vamos nos lembrar de algumas grandezas que são estudadas em Química e estudar a lei geral que rege o comportamento dos gases.

O Mol

Para especificarmos a quantidade de um gás é importante nos lembrarmos do conceito estudado em Química, o mol.

Chamamos de mol a quantidade de matéria que contém um número invariável de partículas. As partículas a que nos referimos podem ser átomos, moléculas ou íons.

O Número de Avogadro

O número característico de partículas contido em um mol de qualquer elemento é o número de Avogadro (NA). Seu valor é: **NA = 6,023 × 1023**

Vamos tomar como exemplo os elementos Oxigênio e Hidrogênio. Temos que um mol de Oxigênio contém $6{,}023 \times 10^{23}$ moléculas de oxigênio; e um mol de Hidrogênio também contém $6{,}023 \times 10^{23}$ moléculas de hidrogênio, assim acontecendo com qualquer outro elemento. Como as massas das moléculas de oxigênio são muito diferentes das massas das moléculas de hidrogênio, um mol dessas substâncias terão massas totais bem distintas. Vamos ver a seguir como determinar o número de mols e a massa total de uma substância.

A molécula-grama

A molécula-grama de uma substância (M) é a massa de um mol da substância.

Com as definições anteriores o número de mols (esse é o plural de mol) contido em uma certa massa m de uma substância é dado por:

$$n = \frac{m}{M}\text{, isto é, número de mols} = \frac{\text{massa}}{\text{molécula-grama}}$$

Exemplo

Se tomarmos, por exemplo, uma massa de 112 g de nitrogênio N_2, cuja molécula-grama vale M = 28 g, teremos:

$$n = \frac{m}{M} \Rightarrow n = \frac{112}{28} = 4$$

Ou seja, 112 gramas de nitrogênio, correspondem a quatro mols. Como cada mol contém o número de Avogadro de moléculas, teremos:

4 × 6,023 × 1023 = 2.409.300.000.000.000.000.000.000 moléculas em 112 gramas de nitrogênio (N2)

A Lei dos Gases Perfeitos

Um sistema com muitas partículas é chamado de gás perfeito ou gás ideal, quando a distância média entre as partículas (moléculas) for muito maior do que tamanho de cada uma delas. Neste caso, admite-se que entre as moléculas não exista qualquer espécie de interação, a não ser durante as colisões. Isto é, a resultante das forças intermoleculares é nula, razão pela qual, os gases ocupam todo volume disponível nos recipientes que os contêm.

Para a maioria dos sistemas com gases submetidos a baixas pressões, isto é, pressões menores que uma atmosfera, considerá-los como gases ideais é uma boa aproximação.

Nos gases ideais a relação $\frac{p \cdot V}{T}$ é diretamente proporcional ao número de mols do gás, isto é:

$$\frac{p \cdot V}{T} = n \cdot R$$

Onde R é uma constante de proporcionalidade, sendo igual para todos os gases ideais.

<u>R é também chamada de constante universal dos gases perfeitos, ou constante de Clapeyron</u>. O valor de R, quando a pressão é dada em atmosfera (atm), o volume é dado em litros (l) e a temperatura em graus Kelvin (K), é:

$$R = 0{,}082 \frac{\text{atm} \cdot \text{l}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

Quando a pressão é dada em N/m² (Pascal), o volume é dado em m³ (metros cúbicos) e a temperatura em graus kelvin (K), seu valor é:

$$R = 8{,}317 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

Note que a expressão da lei dos gases perfeitos pode ser escrita basicamente de três modos:

$$\frac{p \cdot V}{T} = n \cdot R \quad \text{ou} \quad p \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T \quad \text{ou} \quad p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Onde a temperatura T deve ser sempre expressa em kelvin (K).

Como a relação $\frac{p \cdot V}{T}$ é uma constante podemos escrever para dois estados diferentes do mesmo gás:

estado inicial → $(p_o ; V_o ; T_o)$
outro estado qualquer → $(p ; V ; T)$

Aplicando-se a lei geral dos gases perfeitos aos dois estados e dividindo-se as expressões membro a membro, teremos:

$$\frac{P_0 \cdot V_0}{P \cdot V} = \frac{n \cdot R \cdot T_0}{n \cdot R \cdot T}\text{, isto é, } \frac{P_0 \cdot V_0}{T_0} = \frac{P \cdot V}{T}$$

Exercícios

1) Um gás ideal, inicialmente, na temperatura 0°C é aquecido a volume constante. Determine a temperatura capaz de triplicar a pressão.

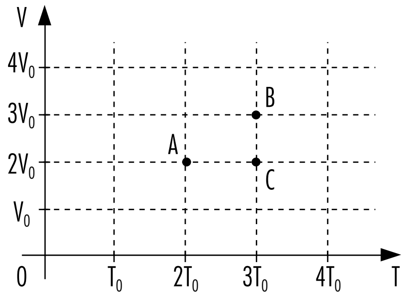
2) Um balão sonda contendo hélio tem volume de $6,0 \times 10^{-2}$ m³ quando a temperatura é 27°C e a pressão é normal. Determine o volume do balão na altitude de1,5 x 10^4 m, onde a pressão é $1,0 \times 10^{-1}$ atm, e, a temperatura é –73°C.

3) Um frasco aberto contém ar a 7,0°C. Determine a temperatura na qual o frasco deve ser aquecido a fim de que escape 1/4 do ar nele contido.

4) Completar corretamente as lacunas.
a. As principais características dos gases em geral são a ____________________ e a ____________________.
b. As ____________________ são desprezíveis entre as moléculas de um gás ideal.
c. O número de moléculas existentes em um mol de qualquer substância é o chamado ______________________________ que corresponde a ____________________ moléculas.
d. A expressão da lei geral dos gases perfeitos, também chamada de equação de Clapeyron é ____________________.

5) Um recipiente contém certo volume de um gás, à temperatura de 273 K e pressão de 2 atm. A temperatura é então elevada para 546 K, sem que o volume varie. Calcular a pressão final a que o gás estará submetido.

6) (UFRGS) Os pontos A, B e C do gráfico, que representa o volume (V) como função da temperatura absoluta (T), indicam três estados de uma mesma amostra de gás ideal. Sendo p_A, p_B e p_C as pressões correspondentes aos estados indicados, podemos afirmar que:



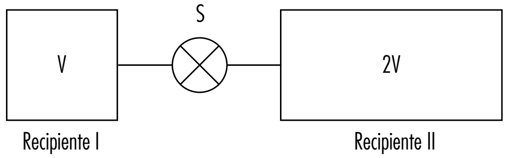
(A) $p_A > p_B > p_C$
(B) $p_A > p_B < p_C$
(C) $p_A = p_B > p_C$
(D) $p_A = p_B < p_C$
(E) $p_A < p_B > p_C$

7) (Fuvest–SP) Um bujão de gás de cozinha contém 13 kg de gás liquefeito, à alta pressão. Um mol desse gás tem massa de, aproximadamente, 52 g. Se todo o conteúdo do bujão fosse utilizado para encher um balão, à pressão atmosférica e à temperatura de 300 K, o volume final do balão seria aproximadamente de:

Constante dos gases R
R = 8,3 J/(mol K) ou R = 0,082 atm • l/(mol • K)
Patmosférica = 1 atm ≅ $1 \cdot 10^5$ P_a (1 Pa = 1N/m²)
1m³ = 1000 l

(A) 13 m³
(B) 6,2 m³
(C) 3,1 m³
(D) 0,98 m³
(E) 0,27 m³

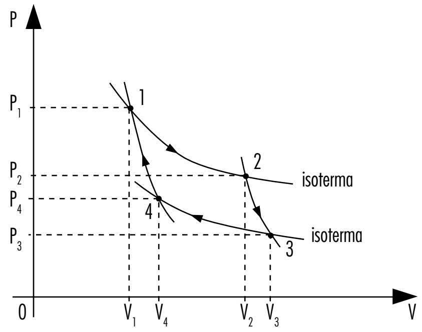
8) (Cederj/2002) Dois recipientes de volumes V e 2V são interligados por um tubo de volume desprezível, provido de uma válvula S, conforme ilustra a figura.



Inicialmente, a válvula está fechada, o recipiente I contém um gás ideal à pressão P e o recipiente II está vazio. A seguir, abre-se a válvula S. Sabendo-se que a temperatura permanece constante, pode-se afirmar que a pressão final do gás no recipiente II será:

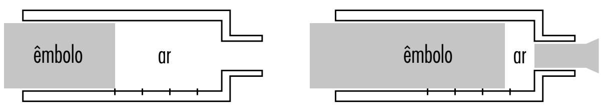
(A) P
(B) P/2
(C) P/3
(D) 2P
(E) 3P

9) (UFF/1999) O diagrama pressão (P) x volume (V), a seguir, representa uma transformação quase estática e cíclica de um gás ideal. Considere o diagrama e assinale a opção correta.



(A) A maior temperatura atingida pelo gás no ciclo ocorre na passagem do estado 3 para o estado 4.
(B) O trabalho realizado pelo gás no ciclo é nulo.
(C) A transformação que leva o gás do estado 2 para o estado 3 é isotérmica.
(D) A variação de energia interna no ciclo é nula.
(E) O gás sofre uma expansão adiabática ao passar do estado 1 para o estado 2.

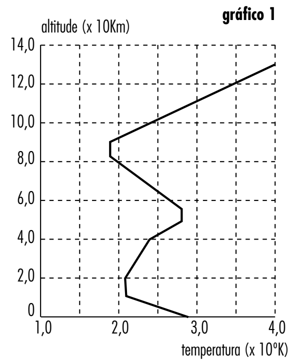
10) (Cederj/2005) Em uma seringa, a extremidade de onde foi retirada a agulha está aberta, de modo que o ar em seu interior ocupe um certo volume inicial e esteja à pressão atmosférica (1 atm = 10^5 N/m^2). A extremidade é então fechada e o êmbolo da seringa é empurrado até que o ar isolado no interior da seringa ocupe um volume igual a 1/4 do volume inicial. A área da seção reta do êmbolo é 3,0 cm^2. Todo o processo entre os estados de equilíbrio inicial e final ocorre à temperatura ambiente constante, com a seringa mantida na horizontal, conforme indica a figura.
Dicas: a) Como o processo é isotérmico, aplique a lei de Boyle; b) Lembre-se da definição de pressão (p=F/A)

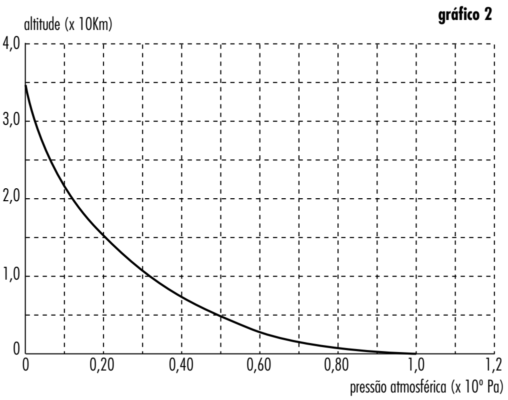


Considerando-se o ar como gás ideal:
a. calcule a pressão do ar no estado final.

b. obtenha a força que o ar na seringa exerce na seção reta do êmbolo.

11) (Cederj/2006) O balão-sonda é utilizado na condução de aparelhos meteorológicos às altas camadas da atmosfera, sendo constituído por uma bola de borracha cheia de gás hélio. No início do seu movimento, ao nível do mar, o balão tem um diâmetro relativamente pequeno, sofrendo variações devido às mudanças nas condições físicas da atmosfera. Sabe-se que o balão atinge altitudes compreendidas entre 15 km e 20 km, onde permanece durante um certo tempo, permitindo a coleta de dados. Adotando o modelo de gás ideal e utilizando os dados dos gráficos 1 e 2 a seguir, é correto afirmar que a razão entre o volume do balão-sonda a uma altitude de 20 km e o seu volume inicial ao nível do mar é, aproximadamente:





(A) 3
(B) 6
(C) 1/3
(D) 1/6
(E) 1

9

A reflexão da luz

:: Meta ::
Introduzir os principais conceitos da óptica geométrica e estudar suas aplicações aos espelhos planos e esféricos.

:: Objetivos ::
• Identificar e enunciar os conceitos da óptica geométrica e aplicar esses conceitos na resolução de problemas;
• Aplicar as leis da reflexão e as equações da ampliação e dos pontos conjugados na solução de problemas envolvendo espelhos planos, côncavos e convexos.

Introdução

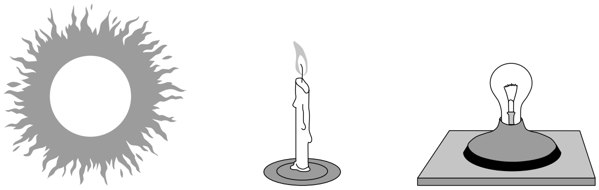
Conceitos fundamentais

O principal objeto de nosso estudo é a luz, assim, vamos primeiramente nos referir às principais características de sua natureza. A luz é uma onda eletromagnética, semelhante às ondas de rádio e de televisão, e que pode se propagar até mesmo no vácuo. Uma característica importante da luz é sua velocidade, sendo um limite de velocidade para qualquer objeto material. A velocidade da luz no vácuo é de 300.000 km/s. No ar também podemos usar esse valor para a velocidade da luz, com boa aproximação. Ao passar de um para outros meios transparentes, como do ar para o vidro ou para a água, sua velocidade se torna menor, como veremos mais adiante.

As fontes de luz

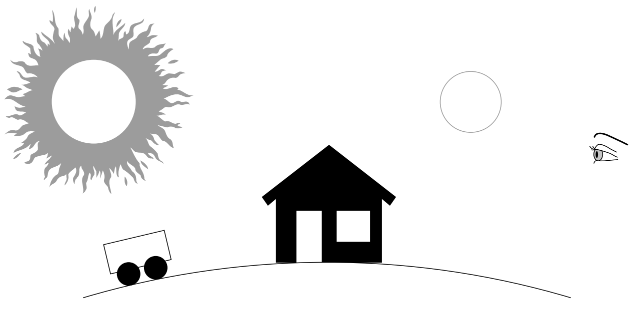
Fonte Primária

Qualquer objeto visível é uma fonte de luz. Quando esses objetos têm luz própria, como o Sol, uma lâmpada ou vela acesas, chamamos de fonte primária.



Fonte Secundária

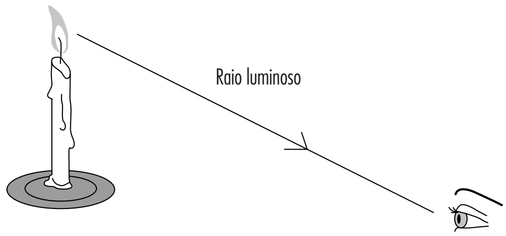
Quando a fonte de luz não tem luz própria mas sim, reflete a luz proveniente de uma outra fonte, chamamos de fonte secundária. A Lua é um bom exemplo de fonte secundária. Nós vemos o luar iluminando a noite, devido à luz do Sol que é refletida pela Lua. Do mesmo modo só podemos ver os objetos, como uma mesa por exemplo, se ela estiver sendo iluminada por uma outra fonte de luz. Num quarto escuro não podemos ver nenhum objeto, a não ser que acendamos a luz, é claro!



O observador pode ver os objetos e a Lua porque eles refletem a luz do Sol em todas as direções.

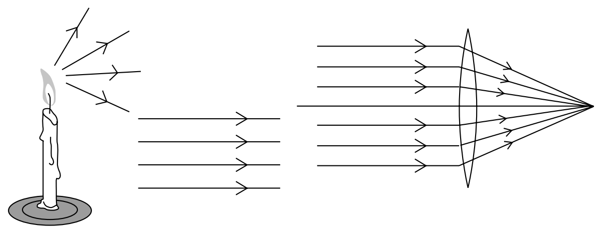
Raio Luminoso

A luz proveniente de uma vela, por exemplo, caminha em todas as direções. Chamamos de raio luminoso o caminho seguido pela luz. Os raios luminosos são representados por linhas, conforme ilustrado a seguir.



Feixe Luminoso

Chamamos de feixe luminoso a um conjunto de raios de luz. Os feixes luminosos podem ser divergentes, convergentes ou paralelos.

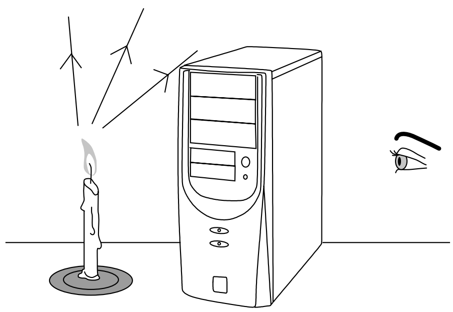


Princípios da óptica geométrica

Para estudarmos a óptica geométrica nos baseamos em três conceitos fundamentais. São eles: o **princípio da propagação retilínea da luz**; o **princípio da independência dos raios luminosos** e o **princípio da reversibilidade**.

Princípio da propagação retilínea da luz

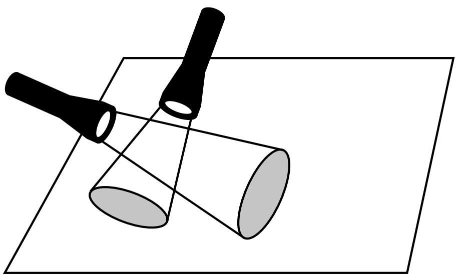
Num meio transparente e homogêneo a luz caminha em linha reta



Nesta situação, o observador não pode ver a vela atrás do computador.

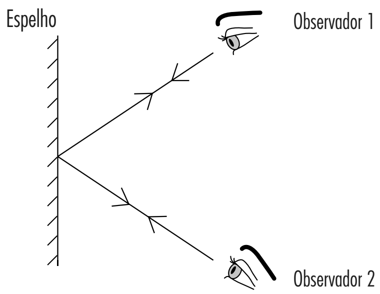
Princípio da independência dos raios luminosos

Quando dois raios ou feixes luminosos se cruzam, cada um deles segue seu caminho, sem alteração, como se não tivessem se cruzado.



Princípio da reversibilidade

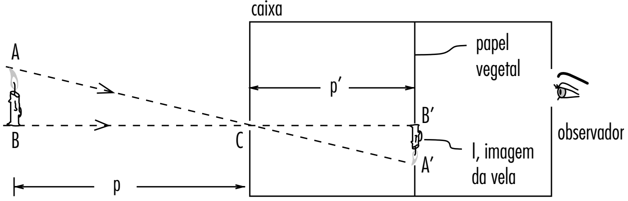
O caminho que um raio luminoso percorre entre dois pontos quaisquer de sua trajetória é o mesmo nos dois sentidos. Vejamos o exemplo de um raio luminoso que se reflete num espelho.



O observador 1 vê o observador 2 e vice-versa

A câmara escura

Uma aplicação interessante do princípio da propagação retilínea da luz é a câmara escura. Ela pode ser feita com uma caixa qualquer, de papelão, onde num dos lados fazemos um pequeno orifício por onde pode passar a luz. No interior dela colocamos uma folha de papel vegetal ou papel "manteiga" onde se formarão as imagens dos objetos colocados à frente da câmara. Na parte posterior, fazemos um orifício, um pouco maior, por onde podemos observar a imagem, conforme ilustrado a seguir.



Podemos usar a semelhança de triângulos para calcular o tamanho da imagem formada. Considerando os triângulos ABC e A BC' temos:

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{CB'}{BC}$$

Sendo

AB = Tamanho do objeto = o

A'B' = Tamanho da imagem = I

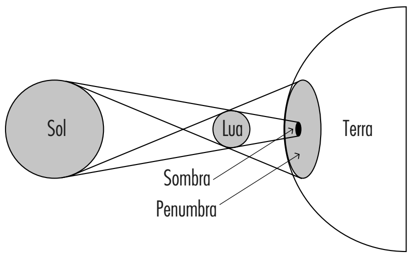
BC = Distância do objeto ao orifício = p

B'C = Distância da imagem ao orifício = p'

Então: $\frac{I}{o} = \frac{p'}{p}$

Sombra e Penumbra

Vamos imaginar um dia em que a lua passa entre a Terra e o Sol, um dia de eclipse solar. A Lua irá projetar uma sombra na superfície terrestre que tem as características ilustradas a seguir.



Exemplos

1) A distância entre a Terra e o Sol é aproximadamente $1{,}5 \times 10^8$ km (cento e cinquenta milhões de km). Pede-se calcular o tempo, em minutos, que a luz proveniente do sol leva para chegar à Terra.

Solução

Como a velocidade é constante, o movimento é uniforme. Logo:

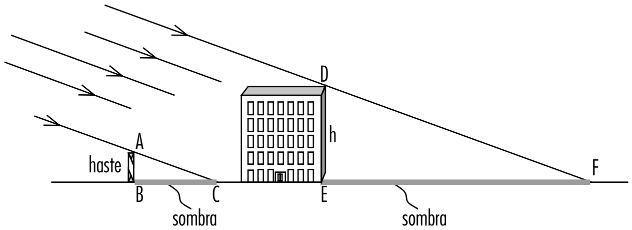
$$S = v \cdot t \Rightarrow t = \frac{s}{v} = \frac{1{,}5 \cdot 10^8 \text{ (km)}}{300000 \text{ (km/s)}} = 500 \text{ s}$$

Como cada minuto tem 60 segundos temos:

$$t = \frac{500 \text{ s}}{60 \text{ s/min}} \approx 8{,}3 \text{ minutos}$$

2) Numa certa hora do dia, um edifício projeta uma sombra de 80 m. Sabendo-se que no mesmo instante, uma haste de 30 cm, colocada na vertical, projeta uma sombra de 100 cm, calcule a altura do edifício.

Solução



Como o sol está muito afastado de nós, seus raios de luz chegam paralelos aqui na Terra. Pela semelhança dos triângulos ABC e DEF temos:

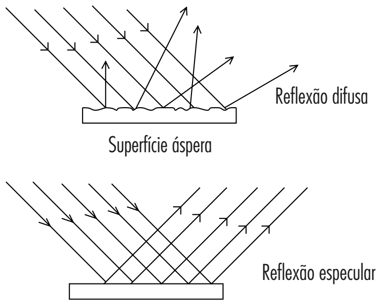
$$\frac{DE}{AB} = \frac{EF}{BC} \Rightarrow \frac{h}{30\ cm} = \frac{80\ m}{100\ cm} \Rightarrow h = \frac{30\ cm \cdot 80\ m}{10\ cm} \Rightarrow h = 24\ m$$

Quando a luz modifica seu trajeto

Nós já vimos que num meio homogêneo e transparente, a luz caminha em linha reta. Entretanto, quando a luz encontra uma superfície de separação entre dois meios diferentes, como entre ar e água ou entre ar e vidro, o caminho seguido pela luz é alterado, conforme veremos a seguir.

A Reflexão da Luz

Consideramos dois tipos de reflexão da luz: a reflexão vítrea (ou especular) e a reflexão difusa.

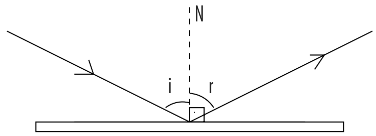


Espelho

Chamamos de espelho a qualquer superfície polida. A superfície da água em uma bacia ou mesmo em um lago, quando a água está bem parada, funciona como um espelho, e podemos ver a imagem dos objetos que se encontram ao redor da superfície.

Para estudarmos as leis que regem o fenômeno da reflexão da luz, vamos primeiramente definir os conceitos de **normal**, **ângulo de incidência** e **ângulo de reflexão**.

Consideremos um raio luminoso que se reflete em um espelho.



Espelho

Temos:

- a normal (N) é uma reta imaginária, perpendicular à superfície (normal significa perpendicular)
- ângulo de incidência (i) é o ângulo que o raio incidente faz com a normal;
- ângulo de reflexão (r) é o ângulo que o raio refletido faz com a normal.

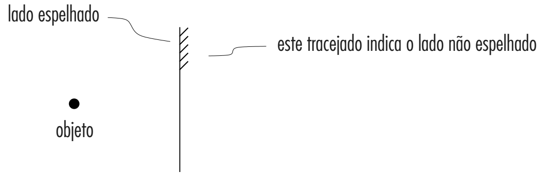
A lei da reflexão

A reflexão se dá de acordo com a seguinte lei: **o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão**, isto é, i = r.

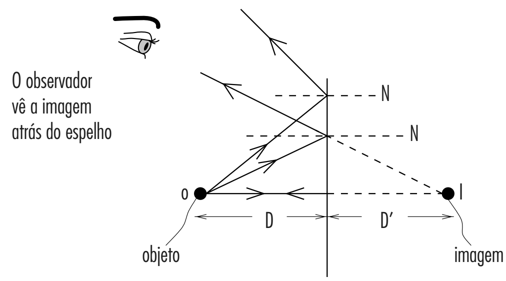
Vamos ver a seguir a aplicação da lei da reflexão no estudo da formação de imagens, nos espelhos planos e nos espelhos esféricos.

Espelhos Planos

Imagine um pequeno objeto colocado a uma distância de um espelho plano.



Usando a lei da reflexão, vamos traçar alguns raios luminosos que partem do objeto e encontram o espelho. Para cada um dos raios fazemos i = r.



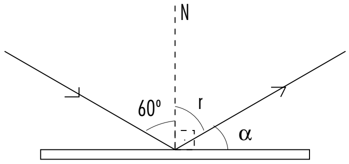
Note que nos espelhos planos a distância da imagem ao espelho (D') é igual à distância do objeto ao espelho: D' = D. Repare também que a imagem está situada atrás do espelho. Ela é formada por prolongamentos dos raios luminosos. Nesse caso chamamos a imagem de imagem virtual.

Faça também um experimento: fique na frente de um espelho e levante a mão direita (mão destra) e veja que sua imagem levantará a mão esquerda. As imagens nos espelhos planos são destrógiras. Se você colocar na frente de um espelho plano uma figura com a letra F , a imagem mostrará a letra com os traços horizontais virados para a esquerda.

Exemplo

Um raio luminoso incide sobre um espelho plano segundo um ângulo de 60°. Pede-se calcular o ângulo α que o raio refletido forma com a superfície do espelho.

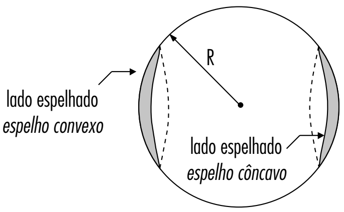
Solução



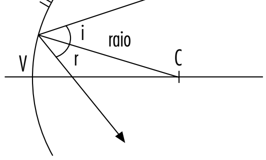
Como i = r, temos:
$r = 60°$. Mas $r + \alpha = 90° \Rightarrow \alpha = 90° - 60° \Rightarrow \alpha = 30°$.

ESPELHOS ESFÉRICOS

Os espelhos esféricos são superfícies polidas e espelhadas, com a forma de uma calota esférica. Se a superfície espelhada é a interior à calota, o espelho é côncavo, se a superfície espelhada for a exterior à calota, o espelho é convexo.



Note que qualquer raio da esfera da qual se originou o espelho, é perpendicular (normal) à superfície do espelho no ponto de contato, e podemos usar a lei da reflexão (i = r) para saber a direção na qual o raio luminoso será refletido. Veja a figura a seguir.



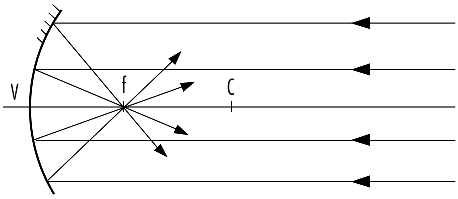
Formação da imagem nos espelhos esféricos

Para estudar a formação de imagens nos espelhos esféricos vamos definir os principais elementos que nos ajudarão a descrever o que acontece. São eles: centro de curvatura; raio de curvatura; eixo principal; vértice e foco. Vejamos:

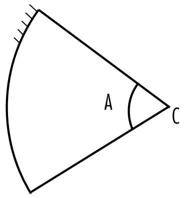
O foco

O foco de um espelho côncavo é o ponto para onde convergem os raios provenientes de objetos muito distantes do espelho (dizemos que os objetos estão no infinito) Nesse caso os raios chegam ao espelho numa direção paralela ao eixo principal do espelho.

A distância focal (f) é igual à metade do raio de curvatura: $f = \frac{R}{2}$

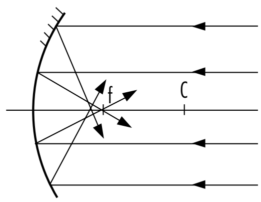


Abertura é o ângulo (A) com lados que passam pelo centro e pelas bordas do espelho.



A abertura e o foco

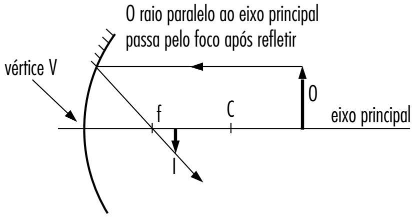
Devemos tomar cuidado pois os espelhos esféricos apresentam um problema quando têm grandes aberturas. Os raios luminosos que estão mais afastados do eixo principal não convergem para o foco, produzindo imagens "borradas", conforme ilustrado a seguir.

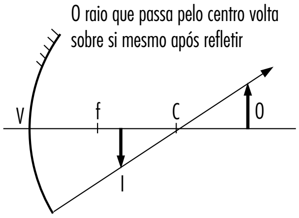


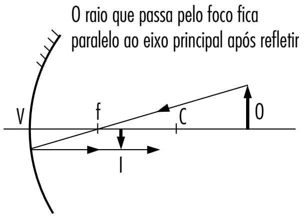
Em nosso estudo vamos considerar apenas os espelhos de pequena abertura e também objetos colocados próximos ao eixo principal pois, caso contrário, a imagem também perderá nitidez e definição.

Raios principais de um espelho côncavo – Eixo principal e vértice

Os raios principais nos ajudam a obter a imagem de um objeto, porque sabemos quais as direções que irão seguir após serem refletidos pelo espelho. Eles estão representados nas figuras a seguir.



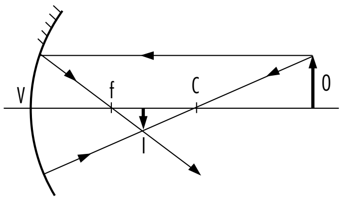




Formação da imagem nos espelhos côncavos

Vamos representar um objeto por uma seta. Isso nos facilita na hora de ver se a imagem é direita, isto é, se tem a mesma orientação do objeto, ou se é invertida em relação ao objeto, pois nesse caso a seta que estará representando a imagem terá sentido inverso à do objeto.

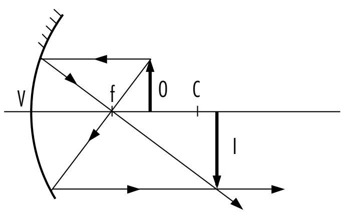
a. Objeto situado além do centro de curvatura (entre o infinito e o centro):



Características da imagem:

- a imagem é real, pois é formada por raios reais;
- a imagem é invertida em relação ao objeto;
- a imagem é menor que o objeto.

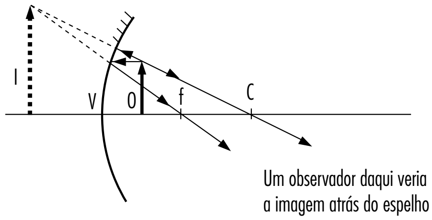
b. Objeto entre o foco e o centro:



Características da imagem:

- a imagem é real, pois é formada por raios reais;
- a imagem é invertida em relação ao objeto;
- a imagem é maior que o objeto.

c. Objeto entre o foco e o vértice:

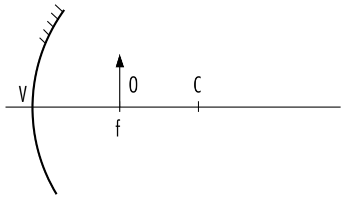


Características da imagem:

- a imagem é virtual, pois é formada pelo prolongamento dos raios;
- a imagem é direita pois tem a mesma orientação do objeto;
- a imagem é maior que o objeto.

Agora trace você os raios principais, utilizando uma régua, completando as figuras a seguir. Descreva também as características da imagem: **natureza** (real ou virtual); **tamanho** (maior, menor ou igual ao objeto); **posição** e se é **invertida ou não**.

d. O objeto está situado sobre o foco



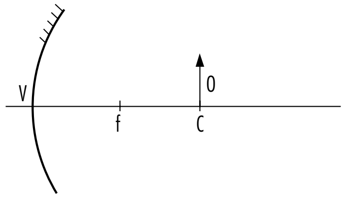
Características da imagem:

____

____

____

e. O objeto está situado sobre o centro de curvatura



Características da imagem:

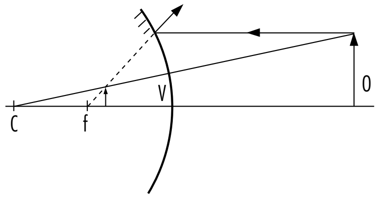
____

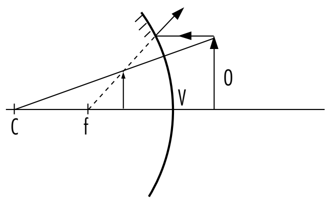
____

____

Formação da imagem nos espelhos convexos

Os raios principais obedecem às mesmas regras vistas anteriormente. Temos que levar em conta apenas que nos espelhos convexos, o foco e o centro de curvatura estão "atrás" do espelho. Analise as figuras a seguir e veja como se formam as imagens de objetos colocados em várias posições com respeito ao espelho.

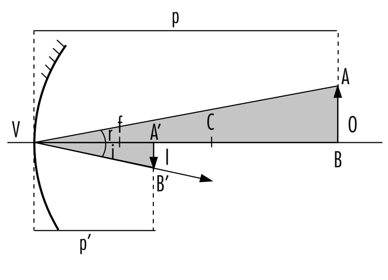




Num espelho convexo, para objetos reais a imagem é sempre: virtual, direita e menor que o objeto.

A Equação da ampliação

Para encontrarmos a equação da ampliação em um espelho esférico vamos traçar a imagem de um objeto usando um raio luminoso que incide no vértice V do espelho. Vamos chamar de p à distância do objeto ao espelho, de p′ à distância da imagem ao espelho e de I e O aos tamanhos da imagem e do objeto, respectivamente. Considere a figura a seguir:



A semelhança entre os triângulos ABV e A′B′V nos mostra diretamente que:

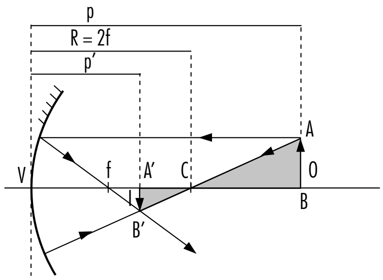
$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{A'V}{BV} \Rightarrow \boxed{\frac{I}{o} = \frac{p'}{p}}$$

Essa é uma relação válida, não apenas para os espelhos esféricos, mas para os instrumentos ópticos em geral, como a câmara escura que estudamos anteriormente.

A equação dos pontos conjugados

A equação da ampliação relaciona os tamanhos da imagem e do objeto (I e O) com as distâncias deles ao espelho (p e p′). A equação dos pontos conjugados relaciona as distâncias p e p′ com a distância focal do espelho, f.

Para obtermos a equação dos pontos conjugados vamos traçar a imagem de um objeto utilizando um raio que passando pelo centro de curvatura é normal ao espelho e, portanto, volta sobre si mesmo.



Novamente temos triângulos semelhantes A′B′C e ABC e podemos escrever:

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{A'C}{BC} \quad \text{onde temos} \quad \frac{A'B'}{AB} = \frac{I}{o} = \frac{p'}{p}$$

(como na equação da ampliação)

E também A′C = 2f – p e BC = p – 2f (veja na figura). Assim:

$$\frac{p'}{p} = \frac{2f - p'}{p - 2f} \Rightarrow p'p - 2fp' = 2fp - pp' \Rightarrow 2p'p = 2fp' + 2fp$$

Dividindo-se ambos os membros por 2fp′p temos:

$$\frac{2p'p}{2fp'p} = \frac{2fp'}{2fp'p} + \frac{2fp}{2fp'p}$$

Finalmente, para qualquer espelho esférico de pequena abertura, temos:

$$\boxed{\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}}$$

Exemplo

Vamos aplicar as equações da ampliação e a equação dos pontos conjugados em um exemplo prático. Um objeto com 10 cm de altura é colocado a 60 cm do vértice de um espelho côncavo de distância focal 20 cm. Determinar todas as características da imagem formada pelo espelho: a posição da imagem; seu tamanho e a sua natureza (se é virtual ou real e se é direita ou invertida)

Solução

Temos: p = 60 cm; f = 20 cm e O = 10 cm.

Para calcular a posição da imagem (p') utilizamos a equação dos pontos conjugados:

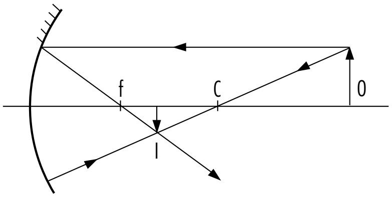
$$\frac{1}{f}=\frac{1}{p}+\frac{1}{p'}\Rightarrow\frac{1}{p'}=\frac{1}{f}-\frac{1}{p}=\frac{p-f}{f\cdot p}$$

Logo, $p'=\dfrac{f\cdot p}{p-f}=\dfrac{20\cdot 60}{60-20}=\dfrac{1200}{40}=30\text{ cm}$

Para calcular o tamanho da imagem (I), utilizamos a equação da ampliação:

$$\frac{I}{o}=\frac{p'}{p}\Rightarrow I=\frac{o-p'}{p}=\frac{10\cdot 30}{60}=\frac{300}{60}=5\text{ cm}$$

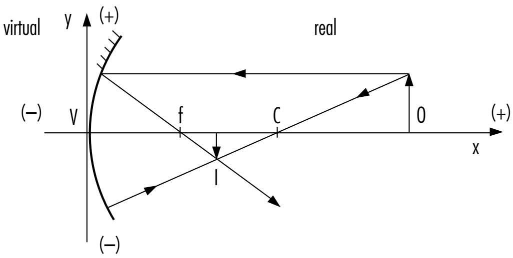
Para determinar a natureza da imagem, vamos fazer sua construção geométrica. No caso, temos o objeto além do centro de curvatura, pois p = 60 cm e o centro está a 2f = 2 × 20 = 40 cm do vértice.



Assim determinamos todas as características da imagem: ela está a 30cm do espelho; seu tamanho é de 5 cm; é real, e invertida como vimos pela construção gráfica.

Convenção de Sinais para a Solução de Problemas

Podemos determinar, por meio de uma convenção de sinais, todas as características da imagem, sem ter que fazer a solução gráfica. As próprias equações da ampliação e dos pontos conjugados podem nos indicar se a imagem é real ou virtual e se é direita ou invertida. Vejamos: vamos estabelecer um critério de sinais, de acordo com a orientação dos eixos x e y, conforme ilustrado na figura a seguir:



Convenção:

• p, p' e f serão positivos quando estiverem à frente do espelho (sendo então, reais);

• os tamanhos do objeto e da imagem serão positivos quando estiverem para cima e negativos quando estiverem para baixo. No caso da figura acima o é positivo e I é negativo.

Devemos escever então $\dfrac{I}{o}=\dfrac{p}{p'}$ com $\dfrac{1}{f}=\dfrac{1}{p}+\dfrac{1}{p'}$

Veja o exemplo a seguir.

Exemplo

Um espelho esférico convexo tem raio de curvatura R = 80 cm. Determine o tamanho, a posição e a natureza da imagem que este espelho fornece de um objeto real, com 10 cm de comprimento, colocado sobre o eixo principal, a 120 cm do espelho.

Solução

Os dados são:

R = 80 cm,

logo f = – R/2 = – 40 cm (sinal negativo pois o espelho é convexo e o raio está atrás do espelho);

p = + 120 cm (sinal positivo pois o objeto é real, está na frente do espelho);

I = + 10 (o sinal positivo indica que o objeto é direito, está de "cabeça para cima").

Pede-se p' e O.

Para calcular p' aplicamos a equação dos pontos conjugados:

1/f = 1/p + 1/p'

1/f – 1/p = 1/p'

1/(– 40) – 1/120 = 1/p'

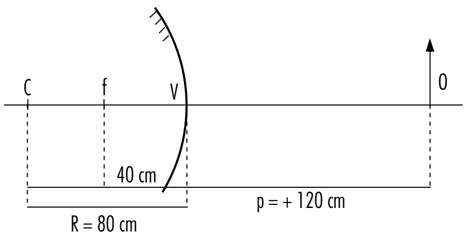
p = –30 cm

O sinal negativo indica que a imagem é virtual. Para o cálculo do tamanho da imagem (O), usamos a equação da ampliação:

$$\frac{I}{o}=-\frac{p}{p'}\Rightarrow o=-\frac{p'\cdot f}{p}=-\frac{(-30)\cdot 10}{120}=+\frac{300}{120}\Rightarrow o=+\ 2{,}5$$

O sinal positivo indica que a imagem tem a mesma orientação que o objeto. A imagem é direita, com respeito ao objeto. Se o objeto estivesse de "cabeça para baixo" a imagem também estaria.

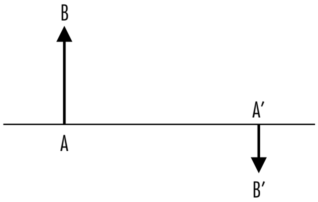
Faça você a solução gráfica, utilizando o desenho abaixo, e confira.



Exercícios

1) Na figura mostramos a posição de um objeto AB e da sua imagem A'B' fornecida por um espelho. Determine o tipo do espelho.

2) Na figura mostramos a posição de um objeto AB e da sua imagem A'B' fornecida por um espelho. Determine o tipo do espelho.



3) Um ponto luminoso se desloca sobre o eixo principal de um espelho esférico côncavo, do infinito até o centro de curvatura. Determine a direção e o sentido do movimento da imagem e suas posições inicial e final.

4) Um espelho esférico côncavo tem raio de curvatura igual a 80 cm. Determine a posição e a natureza da imagem que este espelho fornece de um objeto colocado nas seguintes situações:

a. 120 cm do espelho.

b. 8,0 cm do espelho.

5) Uma vela de 6,0 cm de comprimento é colocada perpendicularmente ao eixo principal de um espelho esférico convexo de raio 60 cm. A distância entre a vela o espelho é igual a 60 cm. Determine a natureza, o tamanho e a posição da imagem da vela fornecida por esse espelho.

6) Um objeto é colocado diante de um espelho esférico de distância focal 30 cm. A altura da imagem é três vezes maior do que a altura do objeto. Determine a distância entre o objeto e o espelho e a natureza da imagem.

7) Um espelho esférico encontra-se a 12 m de uma tela. Coloca-se uma lâmpada diante do espelho. A imagem da lâmpada sobre a tela é quatro vezes maior. Determine:

a. a distância entre a lâmpada e o espelho.

b. o raio de curvatura do espelho.

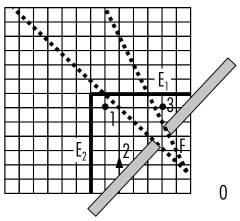
8) Um objeto é colocado a 40 cm de um espelho esférico côncavo de distância focal 30 cm. Determine a distância entre a imagem e o objeto.

9) Um objeto luminoso está a uma distância de 4,0 m de uma parede. Você deve usar um espelho côncavo para projetar a imagem do objeto sobre a parede, de modo que a imagem possua um tamanho 2,25 vezes o tamanho do objeto. Determine:

a. a distância entre o espelho e a parede.

b. o raio de curvatura do espelho.

10) Três objetos 1, 2 e 3 são dispostos à frente dos espelhos planos E_1 e E_2, conforme mostra a figura.



Um observador (O), olhando os espelhos através da fenda (F), tem seu campo visual delimitado pelas linhas tracejadas. É correto afirmar que este observador verá:

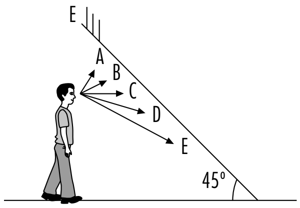
(A) apenas a imagem do objeto 1
(B) apenas a imagem do objeto 2
(C) apenas a imagem do objeto 3
(D) as imagens dos objetos 1 e 2
(E) as imagens dos objetos 2 e 3

11) (UCDB–MS) Uma pessoa está vestindo uma camisa que possui impresso o número 54. Se essa pessoa se olhar em espelho plano, verá a imagem do número como:

(A) 54
(B) ϛᔭ
(C) ᘔ4
(D) ᔭ5
(E) Sᔭ

12) (Fuvest–SP) Um espelho plano, em posição inclinada, forma um ângulo de 45° com o chão. Uma pessoa observa-se no espelho, conforme a figura. A flecha que melhor representa a direção para a qual ela deve dirigir seu olhar, a fim de ver os sapatos que está calçando, é:

(A) A
(B) B
(C) C
(D) D
(E) E



13) Um espelho esférico côncavo tem raio de curvatura R = 80 cm. Determine a ampliação da imagem que este espelho fornece de um objeto real colocado a:

a. 120 cm do espelho

b. 8,0 cm do espelho

14) Um espelho esférico convexo tem raio de curvatura R = 80 cm. Determine a ampliação da imagem que este espelho fornece de um objeto real situado a 120 cm do espelho.

15) Uma vela de 6,0 cm de comprimento é colocada perpendicularmente ao eixo principal de um espelho esférico convexo de raio 60 cm. A distância entre a vela o espelho é de 60 cm. Determine:

a. a posição e a natureza da imagem.

b. a ampliação da imagem.

16) Calcule a que distância de um espelho esférico, de distância focal 30 cm, se deve colocar um objeto real, para que a sua imagem seja três vezes maior.

17) Um espelho esférico encontra-se a 12 cm de uma parede. Pede-se:

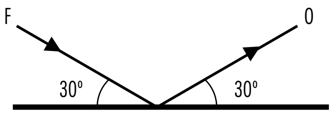
a. Calcule a que distância do espelho devemos colocar uma lâmpada, para que se forme uma imagem quatro vezes maior que o objeto sobre a parede;

b. Determine o raio do espelho.

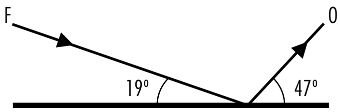
18) (Cederj/2002) Um feixe luminoso, proveniente de uma fonte pontual F, reflete em um espelho plano e chega ao observador O.

Identifique a figura que melhor representa a reflexão.

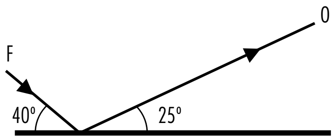
(A)



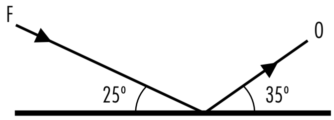
(B)



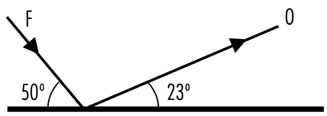
(C)



(D)



(E)



19) (UFPE/2002) Uma criança corre em direção a um espelho vertical plano, com uma velocidade constante de 4,0 m/s. Qual a velocidade da criança, em m/s, em relação à sua imagem?

(A) 1,0
(B) 2,0
(C) 4,0
(D) 6,0
(E) 8,0

20) (UFF/2001) Um rapaz utiliza um espelho côncavo de raio de curvatura igual a 40 cm para barbear-se. Quando o rosto do rapaz está a 10 cm do espelho, a ampliação da imagem produzida é:

(A) 1,3
(B) 1,5
(C) 2,0
(D) 4,0
(E) 40

21) (ITA/2001) Um objeto linear de altura h está assentado perpendicularmente no eixo principal de um espelho esférico, a 15 cm de seu vértice. A imagem produzida é direita e tem altura de h/5. Este espelho é:
(A) côncavo de raio 15 cm
(B) côncavo de raio 7,5 cm
(C) convexo de raio 7,5 cm
(D) convexo de raio 15 cm

22) (CEDERJ/2007) Uma vela de altura h é colocada diante de um espelho côncavo, perpendicularmente a seu eixo principal. Para que a imagem obtida seja invertida e com altura h' > h, a vela deve estar localizada:
(A) entre o vértice e o foco principal.
(B) sobre o foco principal.
(C) entre o foco principal e o centro óptico.
(D) sobre o centro óptico.
(E) além do centro óptico.

10

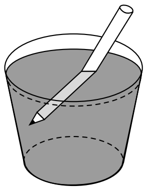
A refração da luz

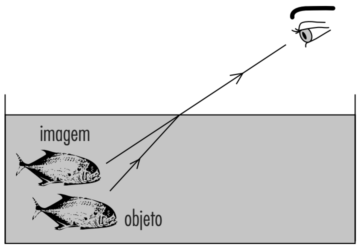
:: Meta ::
Introduzir os conceitos físicos envolvidos nos fenômenos da refração.

:: Objetivos ::
• Aplicar as leis da refração da luz na solução de problemas envolvendo raios que incidem na superfície de separação de dois meios transparentes;
• Resolver problemas de formação de imagens em lentes delgadas e instrumentos ópticos simples.

Introdução

Quando um raio ou um feixe luminoso incide na superfície de um meio transparente ele sofre um desvio em sua trajetória. Isso se deve ao fato de a velocidade da luz ser diferente em meios diferentes, o que causa um atraso ou um adiantamento no feixe luminoso, quando ele incide na superfície de separação dos dois meios. Experimente colocar um lápis, até sua metade, dentro de um copo d'água. Você verá que o lápis parece quebrado, pois a luz proveniente da parte do lápis que está mergulhada desvia de sua trajetória normal ao passar da água para o ar. O mesmo acontece quando observamos qualquer objeto que esteja dentro d'água. Eles parecem estar mais acima do que estão na realidade





Índice de Refração

Cada meio desvia a luz de uma maneira diferente, uns desviam mais, outros desviam menos de acordo com o que chamamos de índice de refração do meio:

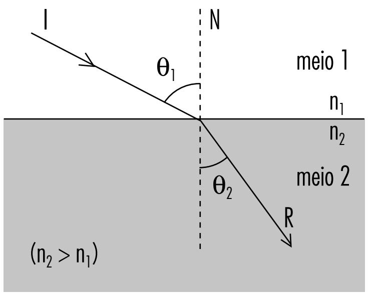
Índice de refração (n) de um meio é a razão entre a velocidade de propagação da luz no vácuo (c) e a velocidade de propagação da luz no meio (v).

$n = \frac{c}{v}$ onde $c = 3{,}0 \times 10^8$ m/s (velocidade da luz no vácuo).

Assim, $n_{vácuo} = 1$

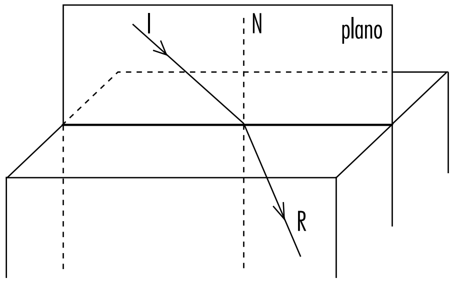
Leis da Refração

Considere um raio luminoso se propagando de um meio (1) para um meio (2) conforme ilustrado na figura abaixo. O raio incidente (I) forma o ângulo θ_1 com a normal à superfície (S) ponto de incidência. Chamamos esse ângulo de ângulo de incidência. Após a refração, o raio refratado (R) forma o ângulo θ_2 com a normal. Chamamos esse ângulo de ângulo de refração.



A refração luminosa é regida por duas leis:

1. O raio incidente I, o raio refratado R, e a normal N, à superfície de separação, estão no mesmo plano.



2. O produto do seno do ângulo que o raio forma com a normal pelo índice de refração do meio em que o raio se encontra é constante. Assim, escrevemos:

$\boxed{n_1 \cdot \text{sen}\ \theta_1 = n_2 \cdot \text{sen}\ \theta_2}$

Essa é a chamada lei de Descartes–Snell.

Exemplo

Numa refração, o raio incidente se propaga no ar e o raio refratado se propaga na água, cujo índice de refração é n = 1,33. O ângulo de incidência é igual a 45°. Determinar o ângulo de refração.

Solução

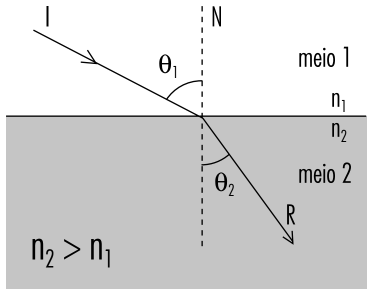
Temos: $\theta_1 = 45°$; $n_1 = 1{,}0$ (índice de refração do ar); $n_2 = 1{,}33$; $\theta_2 = ?$

Aplicando a lei de Descartes–Snell: $n_1 \cdot \text{sen}\ \theta_1 = n_2 \cdot \text{sen}\ \theta_2$; onde:

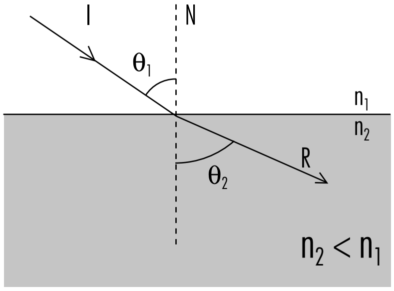
$$1{,}0 \cdot \text{sen}\ 45° = 1{,}33 \cdot \text{sen}\ \theta_2 \Rightarrow 1{,}0 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 1{,}33 \cdot \text{sen}\ \theta_2 \Rightarrow \text{sen}\ \theta_2 = 0{,}53$$

Para conhecermos o ângulo temos que olhar uma tabela de senos ou uma calculadora. No caso: $\theta_2 = 32{,}1°$

Note que o raio refratado aproxima-se da normal pois $\theta_2 < 1$.



Quando o índice de refração do segundo meio é menor que o do primeiro, o raio refratado se afasta da normal:



Ângulo Limite

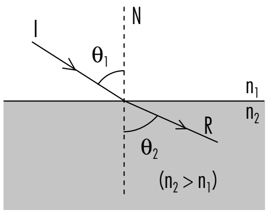
Quando o segundo meio tem um índice de refração menor que o primeiro ($n_2 < n_1$), temos:

$$\frac{\text{sen } \theta_1}{\text{sen } \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} < 1$$

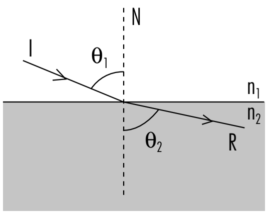
$$\text{sen } \theta_1 < \text{sen } \theta_2 \Rightarrow \theta_1 < \theta_2$$

Portanto, o raio refratado se afasta da normal. Sendo assim, o ângulo θ_2 = 90º corresponde ao maior ângulo de incidência possível. Quando isso acontece, chamamos o ângulo de incidência de ângulo limite θ_L. Veja nas ilustrações a seguir o que acontece quando vamos afastando o raio incidente da normal. O ângulo limite de incidência corresponde a um ângulo de refração de 90º.

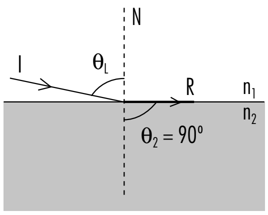
Quando $n_2 < n_1$ e o raio refratado se afasta da normal



Aqui aumentamos o ângulo de incidência

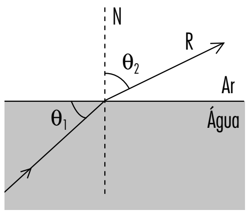


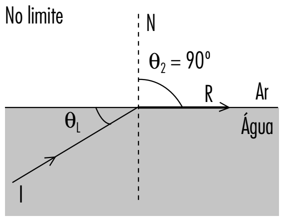
No limite θ_2 = 90º e sen θ_2 = sen 90º = 1
E temos $n_1\text{sen}\theta_1 = n_2$



Exemplo

Vamos calcular o ângulo limite para o caso de um raio que passa da água para o ar, como no exemplo anterior. Temos $n_{ar} = 1$ e $n_{H2O} = 1{,}33$.





Aplicando Descartes–Snell temos:

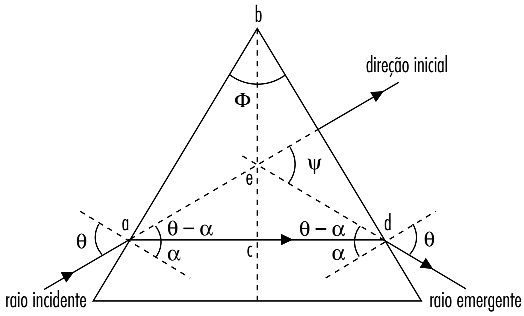
$n_1 \cdot \text{sen } \theta_1 = n_2 \cdot \text{sen } \theta_2$

1,33 sen θ_2 = 1 sen 90º = 1

A refração em um prisma

Em óptica, prisma é qualquer meio transparente limitado por duas superfícies planas não paralelas.

Vamos analisar o trajeto de um raio luminoso que incide sobre a face de um prisma de vidro de índice de refração n imerso no ar. Veja a figura a seguir:



O ângulo de incidência θ é escolhido de tal maneira que o raio emergente também faça um ângulo θ com a normal à outra face. No triângulo abc, o ângulo externo α é igual a $\phi/2$, pois os seus lados são mutuamente perpendiculares. O desvio angular ψ é igual à soma dos ângulos internos opostos do triângulo aed. Logo: $\psi = 2(\theta - \alpha)$.

Substituindo α por $\phi/2$ e resolvendo em relação a θ, temos:

$\theta = (\psi + \phi)/2$

No ponto a, θ é o ângulo de incidência e α é o ângulo de refração. A lei da refração permite escrever:

$\text{sen}\theta = n \cdot \text{sen}\alpha$

Substituindo os valores de θ e de α tem-se:

$\text{sen}[(\psi + \phi)/2] = n \cdot \text{sen}(\phi/2)$

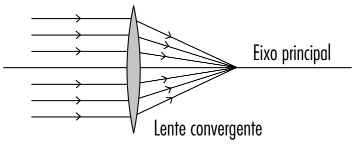
$$\text{Assim: } n = \frac{\text{sen}\left(\dfrac{\psi + \phi}{2}\right)}{\text{sen}\left(\dfrac{\phi}{2}\right)}$$

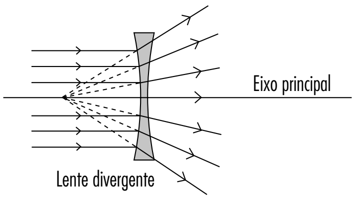
E podemos determinar o índice de refração do vidro. Na condição apresentada, θ é tal que o raio luminoso passa simetricamente pelo prisma. O desvio angular Ψ é mínimo.

FORMAÇÃO DA IMAGEM EM LENTES ESFÉRICAS DELGADAS

Características das Lentes

Uma lente esférica é um objeto transparente com duas superfícies refratoras esféricas. Uma lente é convergente quando transforma um feixe paralelo em um feixe convergente e é divergente quando transforma um feixe paralelo em um feixe divergente, conforme ilustrado a seguir.



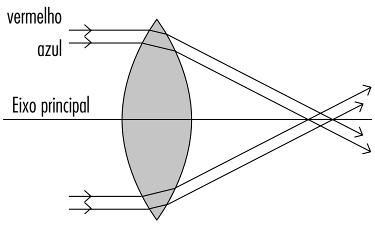


O Foco

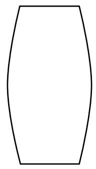
Chamamos de foco ao ponto onde se encontram raios que vêm de objetos muito distantes da lente. Para objetos muito distantes a imagem é formada no foco. Nesse caso, os raios luminosos chegam à lente paralelos ao seu eixo principal, como ilustrado na figura anterior. Como as lentes têm dois lados, também têm dois focos. Chamamos de foco imagem ao foco (f) que fica do lado da lente onde se encontra a imagem e de foco objeto (f') ao que fica do lado do objeto. <u>Numa lente convergente o foco imagem é real.</u> <u>Numa lente divergente o foco imagem é virtual.</u>

Se a lente não for delgada

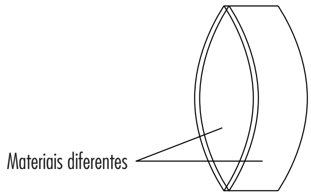
Quando as lentes não são delgadas, ocorre um fenômeno chamado aberração cromática. Os raios de luz de comprimentos de onda menores como a luz azul e violeta se difratam mais que os das outras cores tornando a imagem desfocada (a palavra cromática deriva do cromos = cor).



Para evitar a aberração pode-se fazer:



Tirar as bordas



colocar um sistema de lentes com vidros de materiais diferentes e apropriados

As imagens

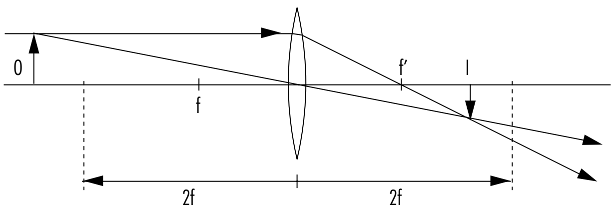
Para obtermos a imagem de um objeto utilizamos raios que sabemos de antemão para onde se dirigirão após atravessar a lente, chamados raios principais. São eles:

- os raios que vêm paralelos ao eixo principal passam pelo foco;
- os raios que passam pelo foco saem paralelos ao eixo principal;
- os raios que passam pelo centro da lente não se difratam. Seguem em linha reta.

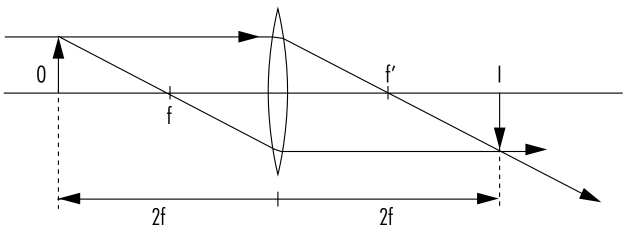
Vamos então fazer a construção geométrica da imagem fornecida por uma lente esférica delgada, para um objeto retilíneo, perpendicular ao eixo óptico da lente

Lentes Convergentes

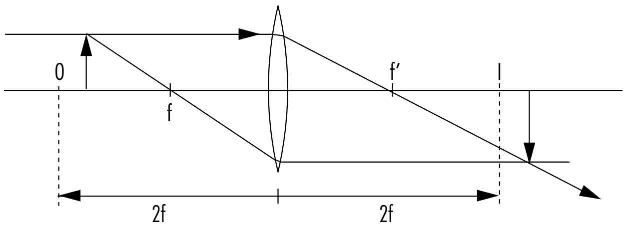
1. Objeto entre o infinito e 2f: a imagem é real, menor e invertida e se forma entre o foco (f) e 2f.



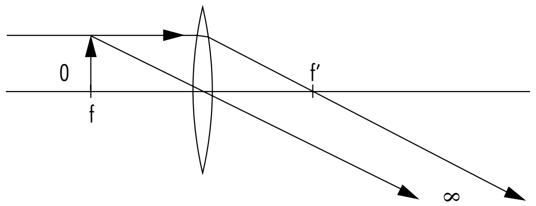
2. O objeto situado a uma distância 2f da lente: a imagem é real, de mesmo tamanho, e invertida. Forma-se também a uma distância 2f da lente.



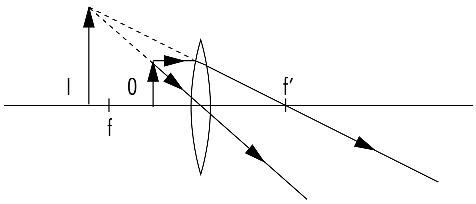
3. Objeto situado entre as distâncias 2f e f da lente: a imagem é real, invertida e maior. Forma-se entre 2f e o infinito.



4. Objeto sobre o foco. A imagem se forma no infinito (imagem imprópria).

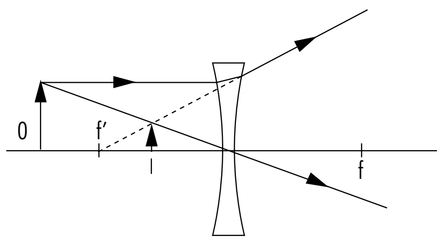


5. O objeto entre o foco e a lente. A imagem é virtual direita e maior.



Lentes divergentes

O objeto entre o infinito e a lente. A imagem é virtual, direita e menor. Forma-se entre a lente e o foco imagem.



A ampliação e a equação dos pontos conjugados

Do mesmo modo que fizemos para os espelhos esféricos, utilizando a semelhança de triângulos, podemos obter as equações da ampliação e dos pontos conjugados das lentes delgadas. Elas são idênticas às dos espelhos esféricos de pequena abertura:

$$\text{Ampliação} = \frac{I}{o} = -\frac{p'}{p} \quad \text{e} \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

Exemplo

Uma lente convergente tem distância focal igual a 40 cm. Determinar a posição e a natureza da imagem que esta lente fornece de um objeto real colocado a:

a) 120 cm da lente;

b) 8,0 cm da lente.

Solução

a) Temos que p = 120 cm; p′ = ? Então:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{40} = \frac{1}{120} + \frac{1}{p'} \Rightarrow p' = 60 \text{ cm}$$

A imagem é real.

b) Temos que p = 8,0 cm; p′ = ? Então:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{40} = \frac{1}{8{,}0} + \frac{1}{p'} \Rightarrow p' = -10 \text{ cm}$$

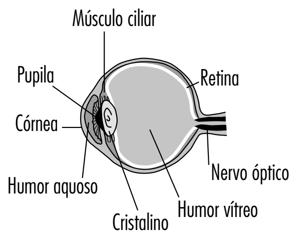
A imagem é virtual.

O olho humano e os instrumentos ópticos

Vamos tomar como exemplo de instrumentos ópticos a lupa, a luneta astronômica, a luneta de Galileu, o microscópio e o telescópio refletor de Newton, nas suas formas mais simples.

O olho humano

Certamente o olho é o principal e mais precioso instrumento óptico de que podemos dispor. A figura a seguir nos mostra as partes que compõem o olho humano. A imagem produzida pelo cristalino, que é uma espécie de lente com foco ajustável por meio dos músculos ciliares, deve ser projetada na retina onde ficam células especiais, detectoras de luz.

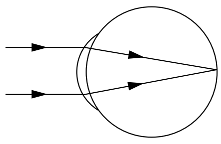


Os defeitos da visão

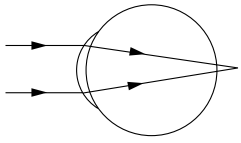
Uma pessoa normal, sem defeitos da visão, pode ver os objetos distantes com a vista relaxada, sem esforço algum. Já pessoas com miopia ou hipermetropia precisam forçar a vista, contraindo ou relaxando o cristalino.

A hipermetropia e a miopia

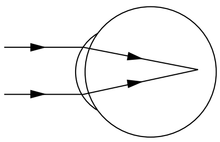
As figuras a seguir nos mostram, esquematicamente, três pessoas olhando para um objeto distante. Para um olho normal a imagem se forma sobre a retina, como em (a). No olho hipermétrope a imagem se forma depois da retina, como na figura (b). No olho míope a imagem se forma antes da retina como na figura (c).



(a) olho normal

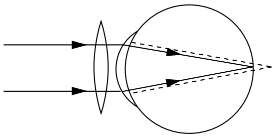


(b) olho hipermétrope

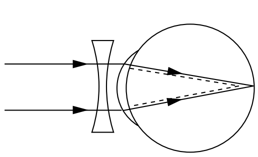


(c) olho míope

É fácil entender que a correção para a hipermetropia deve ser feita com lentes convergentes. Observe na figura a linha tracejada, representando a trajetória dos raios sem os óculos, e a linha contínua, depois de colocada a lente corretora.



E a correção da miopia deve ser feita com lentes divergentes. Aqui também a linha tracejada representa a trajetória dos raios luminosos antes da colocação da lente corretora para a miopia.



Existe um outro defeito de visão, o astigmatismo, que pode ser corrigido com lentes cilíndricas, tendo em vista que o defeito não tem simetria esférica, pois o olho astigmata tem focos diferentes, em planos perpendiculares à retina diferentes.

A lupa

A lupa é simplesmente uma lente convergente que utilizamos para observar os objetos bem de perto e maior. O observador deve colocar a vista bem próximo da lupa.

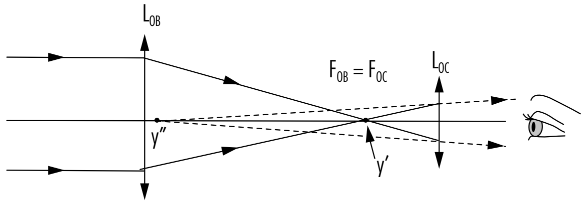
A ampliação angular da lupa é dada por:

$$A = \frac{25\ \text{cm (Distância mínima de visão)}}{\text{f (Distância focal da lupa)}}$$

E quanto menor a distância focal da lupa maior será seu aumento. O problema para a obtenção de uma grande ampliação é que para a lente ter uma pequena distância focal ela tem que ter as faces muito curvadas e isso causa problemas de aberrações, fornecendo imagens distorcidas.

A luneta

A luneta nos permite observar objetos muito distantes. Elas são compostas por duas lentes. Uma chamada de ocular, da qual nós aproximamos o olho, e a outra, chamada de objetiva, com que miramos o objeto que desejamos observar. A objetiva tem uma grande distância focal (F_{OB}) e a ocular tem uma pequena distância focal (F_{OC}). Veja o esquema da luneta a seguir.



Ao fazermos coincidir os focos (F_{OB})e(F_{OC}), os raios emergirão da ocular de modo paralelo e isso nos permite uma observação com a vista relaxada, sem forçar. O comprimento da luneta deverá ter então um comprimento igual a ($F_{OB} + F_{OC}$).

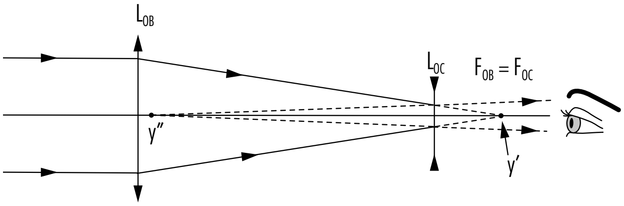
A ampliação angular de uma luneta é dada por:

$$A = \frac{F_{OB}}{F_{OC}} = \frac{\text{Distância focal da objetiva}}{\text{Distância focal da ocular}}$$

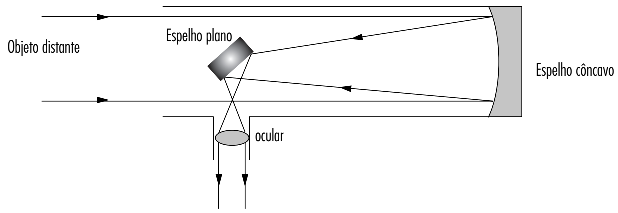
Assim sendo, se você construir uma luneta com F_{OB} = 60 cm e F_{OC} = 3 cm a ampliação dessa luneta será de 60/3 = 20 vezes. O comprimento da luneta deverá ser de no mínimo 60 + 3 = 63 cm.

A luneta de Galileu

A luneta também pode ser construída com a lente ocular divergente, como a luneta construída por Galileu. Isso permite observar uma imagem direita, o que é muito bom para observações terrestres.



O telescópio refletor de Newton

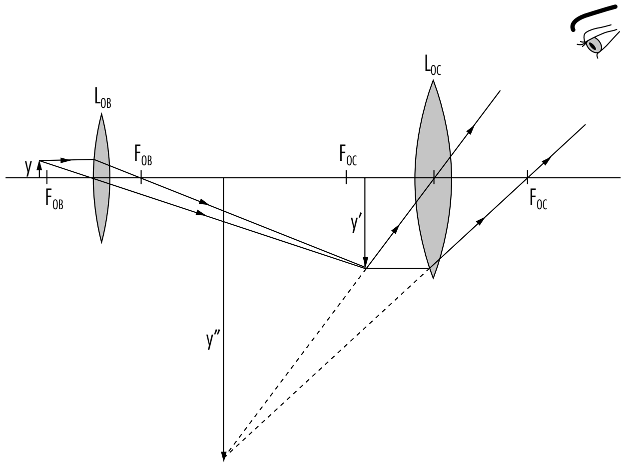


A ampliação também é dada por

$$A = \frac{F_{Espelho}}{F_{Ocular}}$$

O microscópio

Veja o esquema do microscópio na figura a seguir.



Os microscópios mais simples também são construídos com duas lentes, uma objetiva e uma ocular. Nos microscópios a objetiva deve formar uma imagem real e maior possível do objeto, assim devemos colocar o objeto um pouco além do foco da objetiva, dessa forma essa imagem que já é bastante grande pode ser observada através da ocular que a ampliará mais ainda.

A objetiva forma uma imagem y' do objeto y. Essa imagem (y') serve de objeto para a ocular formando a imagem final y'' muito aumentada. Podemos usar $1/f = 1/p + 1/p'$ duas vezes para calcular a posição final da imagem.

Exercícios

1) A luz, propagando-se no ar, incide em um dioptro ar-vidro formando um ângulo de incidência igual a 45°. A velocidade de propagação da luz nesse vidro é $2,13 \times 10^5$ km/s. Determine:

a. o índice de refração do vidro.

b. o ângulo de refração.

2) O índice de refração da água em relação ao ar é 4/3. Determine o índice de refração do ar em relação à água.

3) Determine o ângulo limite para o dioptro água-ar, dado o índice de refração $n_{água} = 4/3$.

4) Uma lente convergente tem distância focal de 40 cm. Um parafuso de comprimento igual a 2,0 cm é colocado perpendicularmente ao eixo principal da lente. Determine a posição, o tamanho e a natureza da imagem do parafuso quando ele se encontra em cada uma das posições relativas ao espelho:

a. p = 120 cm

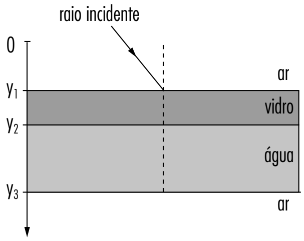
b. p = 80 cm

c. p = 50 cm

d. p = 8,0 cm

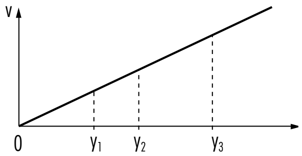
5) Uma lente divergente tem distância focal igual a 25 cm (em módulo). Um objeto de altura igual a 10 cm é colocado perpendicularmente ao eixo principal e a 25 cm da lente. Determine a posição, a altura e a natureza da imagem.

6) (UFF) Um raio de luz monocromática atravessa as superfícies de separação entre os meios ar, vidro e água, iniciando e terminando seu trajeto no ar. Tanto o vidro quanto a água apresentam-se como lâminas de faces paralelas, de espessuras $(y_2 - y_1)$ e $(y_3 - y_2)$, respectivamente, como indica a figura.

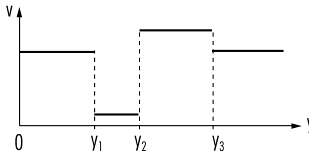


Sabe-se que os índices de refração da luz nos meios citados são: $n_{ar} = 1{,}0$; $n_{vidro} = 1{,}5$; $n_{água} = 1{,}2$. Nessa situação, o comportamento da velocidade da luz (V), ao atravessar esses meios, em função da espessura (y) está mais bem representado pelo gráfico:

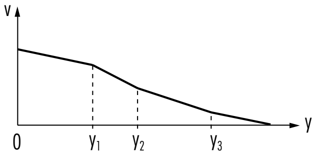
(A)



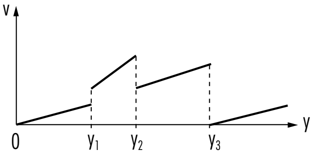
(B)



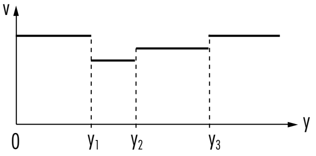
(C)



(D)



(E)



7) (PUC–SP) Os raios de luz provenientes de uma estrela (E), ao atravessar a atmosfera, sofrem desvios, dando-nos a impressão de que a estrela está mais alta (E') do que realmente está (figura 1). Também, por isso, pode-se observar a imagem do Sol (S') mesmo depois que ele (S) se pôs no horizonte ou antes de nascer (figura 2).

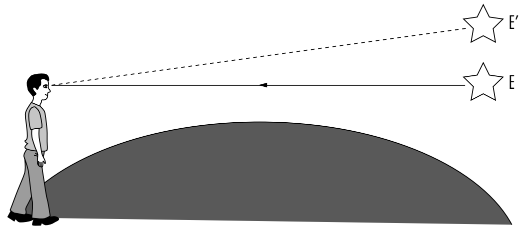


Figura 1

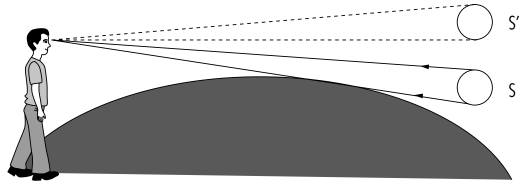


Figura 2

Esses fatos ocorrem, principalmente, devido à:

(A) variação de índice de refração do ar com a altitude
(B) variação de índice de refração do ar com a longitude
(C) variação de índice de refração do ar com a latitude
(D) dispersão da luz ao atravessar a atmosfera
(E) forma esférica da Terra e à atração gravitacional sofrida pela Lua

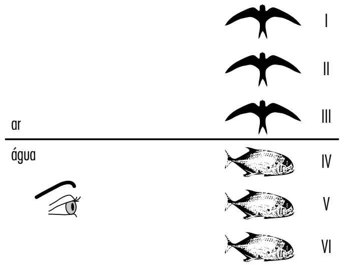
8) Uma lente convergente tem distância focal igual a 40 cm. Determine a ampliação da imagem que esta lente fornece de um objeto real colocado a:

a. 120 cm da lente

b. 8,0 cm da lente

9) (UFOP–MG) A figura mostra o olho de um mergulhador que, quando olha para cima, vê o pássaro na posição II e, quando olha para baixo, vê o peixe na posição V. As posições reais do pássaro e do peixe são:

(A) I e IV
(B) I e V
(C) II e V
(D) II e VI
(E) III e V



10) Em que posição deve ser colocado um objeto real, para que uma lente esférica delgada e convergente forneça imagem:

a. direita e maior?

b. invertida e maior?

c. invertida e menor?

d. invertida e do mesmo tamanho?

11) Em que posição deve ser colocado um objeto real, para que uma lente esférica delgada e convergente forneça imagem:
a. real e maior?

b. real e menor?

c. real e do mesmo tamanho?

d. virtual e maior?

e. virtual e menor?

12) Por que um slide é colocado de cabeça para baixo no projetor?

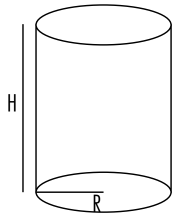
13) Um ponto luminoso se desloca ao longo do eixo principal de uma lente convergente, desde o infinito até o foco. Em que sentido se desloca a imagem?

14) Um objeto real se encontra a 25 cm de uma lente divergente, cuja distância focal é, em valor absoluto, 25 cm. Podemos afirmar corretamente que a imagem desse objeto será:

(A) virtual, direita e reduzida, a 12,5 cm da lente;
(B) real, invertida e do mesmo tamanho, a 25 cm da lente;
(C) real, invertida e ampliada a 12,5 cm da lente;
(D) virtual, direita e ampliada, a 25 cm do objeto;
(E) virtual invertida e reduzida, a 25 cm do objeto.

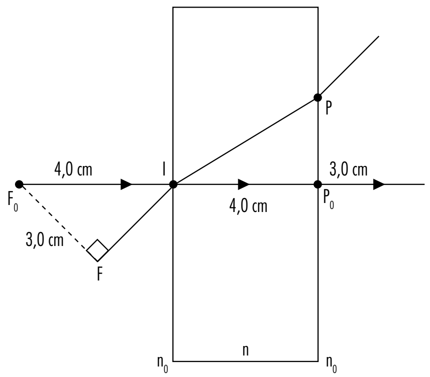
15) (Cederj/2003) Observando-se uma lâmpada que emite luz em todas as direções, situada no fundo de uma piscina, percebe-se a formação de uma área circular luminosa na superfície da água. Esse efeito deve-se à existência de um ângulo limite de incidência de luz na superfície da água, a partir do qual a luz é totalmente refletida.
Determine o seno do ângulo limite em função dos índices de refração da água ($n_{água}$) e do ar (n_{ar}).

16) (Cederj/2008) A figura mostra um cilindro de base circular, de raio R = 30 cm, cujas paredes laterais são opacas. No centro da base há uma fonte luminosa puntiforme que emite luz monocromática. Enche-se o cilindro até a boca com um líquido transparente cujo índice de refração para essa luz é 5/3. Considere o índice de refração do ar igual a 1.



Calcule quanto pode valer, no mínimo, a altura H do cilindro para que todos os raios luminosos emitidos pela fonte que chegam à superfície do líquido consigam emergir para o ar.

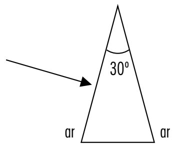
17) (Cederj/2005) Um estudante deseja medir o índice de refração n do material de uma lâmina de espessura 4,0 cm. Ele usa uma fonte de luz localizada em um ponto F_0, a uma distância da lâmina também igual a 4,0 cm. A fonte emite um raio bem colimado que incide perpendicularmente sobre uma das superfícies da placa, em um ponto I, e emerge na superfície oposta em um ponto P_0, conforme indicado na figura. O estudante muda a localização da fonte para um ponto F, distante 3,0 cm do ponto F_0. Agora o raio emitido é perpendicular ao segmento FF_0, incide no mesmo ponto de incidência I do raio anterior. Esse novo raio emerge no outro lado da lâmina em um ponto P localizado a uma distância de 3,0 cm do ponto P_0.



Considere que o meio fora da lâmina tenha índice de refração $n_0 = 1$, calcule o índice de refração n da lâmina.

18) (Cederj/2006) A figura representa a secção principal de um prisma óptico no ar ($n_{ar} = 1$). Um raio luminoso, vindo do ar, incide perpendicularmente a uma de suas faces laterais.

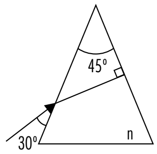
Calcule quanto deve valer, no mínimo, o índice de refração do material do prisma a fim de que esse raio luminoso não consiga emergir pela face lateral oposta à de incidência.



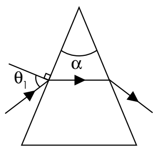
19) (Cederj/2008) Um raio de luz monocromática, vindo do ar (n_{ar} = 1), incide em uma das faces laterais de um prisma, com a qual forma um ângulo de 30°. Esse raio luminoso atinge a face lateral oposta à de incidência perpendicularmente a ela, como mostra a figura.

Sendo o ângulo do prisma igual a 45°, o índice de refração n do material do prisma é:

(A) $\sqrt{6}/2$
(B) $2\sqrt{3}/3$
(C) $3\sqrt{2}/2$
(D) $\sqrt{3}$
(E) $\sqrt{2}$



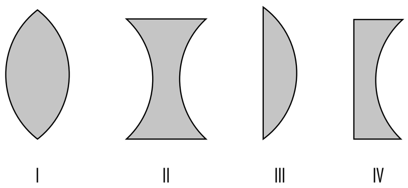
20) (Cederj/2004) Considere um prisma transparente isósceles cujo ângulo entre as faces iguais vale α = 30°. Um raio luminoso, vindo da esquerda, incide sobre uma dessas faces com um ângulo de incidência θ_1 e, após se refratar duas vezes, emerge na outra face, do lado direito do prisma, como indicado na figura. Verifica-se que o raio luminoso dentro do prisma tem direção paralela à base do prisma e ainda que o raio emergente (à direita do prisma) é perpendicular ao raio incidente. Dica: leia o texto sobre prismas.



a. Determine o ângulo entre o raio luminoso que se propaga dentro do prisma e a normal na primeira face, ou seja, determine o ângulo de refração na primeira face.

b. Determine o ângulo de incidência θ_1.

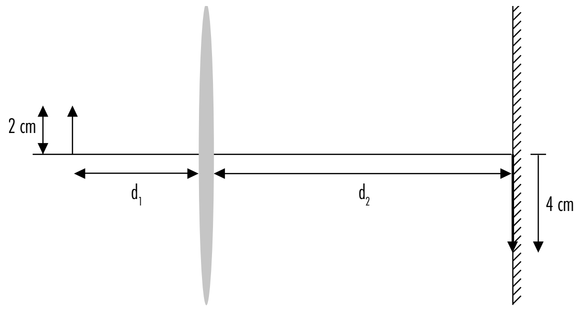
21) (Cederj/2001) Um estudante deseja queimar uma folha de papel, concentrando um feixe de luz solar na superfície da folha por meio de uma lente. Ele dispõe de quatro lentes de vidro, cujos perfis estão representados abaixo:



Para conseguir seu intento, o estudante poderá usar, indistintamente, as lentes:

(A) I ou II
(B) I ou III
(C) I ou IV
(D) II ou III
(E) II ou IV

22) (Cederj/2004) Um objeto linear, uma lente convergente e um anteparo são dispostos como indica a figura, isto é, com o objeto e o anteparo orientados perpendicularmente ao eixo óptico da lente e distantes d_1 e d_2 da mesma, respectivamente. A distância d_1 entre o objeto e a lente é de 12 cm e a distância d_2 entre o anteparo e a lente é escolhida de modo que uma imagem nítida se forme no anteparo. O comprimento do objeto é 2 cm e o comprimento da imagem é 4 cm.



a. De termine a distância focal da lente, e a distância d_2 do anteparo à lente.

b. Se as posições do anteparo e do objeto forem trocadas, a imagem continuará nítida? Em caso afirmativo, calcule o comprimento da nova imagem formada.

23) (Cederj/2003) Um projetor de "slides" deve projetar na tela uma imagem ampliada 24 vezes. A distância entre o "slide" e a tela é de 250 cm. Determine:
a. a distância entre o slide e a lente.

b. a distância focal da lente.

11

Ondas

:: Meta ::

Introduzir o conceito de onda, suas principais propriedades, características e tipos.

:: Objetivos ::

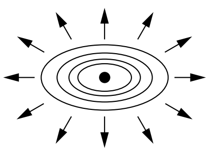
- *Reconhecer os tipos de ondas de acordo com sua natureza;*
- *Resolver problemas envolvendo a velocidade, a frequência e o comprimento de onda.*

Introdução

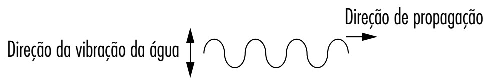
Na natureza podemos observar vários tipos de ondas. Quando jogamos uma pedra em um lago ou num rio de águas calmas, podemos observar a perturbação causada pela pedra se propagando em círculos concêntricos e caminhando em todas as direções da superfície da água. De um modo semelhante podemos produzir uma onda, simplesmente sacudindo a ponta de uma corda onde a outra extremidade esteja presa em algum lugar. Vamos começar nosso estudo a partir desses dois exemplos e estudar os tipos de ondas e suas principais características.

O conceito de onda

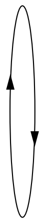
Vejamos nosso exemplo de uma onda produzida por uma pedra jogada na água. Se você prestar atenção em um determinado ponto da agua você verá que ela simplesmente sobe e desce naquele ponto, enquanto a onda caminha. Isso é fácil de ver, se colocamos um pequeno pedaço de rolha, ou qualquer pequeno objeto flutuante no lugar onde está passando a onda. Verifica-se assim que a água não caminha na direção de propagação, apenas a perturbação se propaga. As figuras a seguir ilustram a direção de propagação das ondas na água e a direção do movimento das moléculas de água.



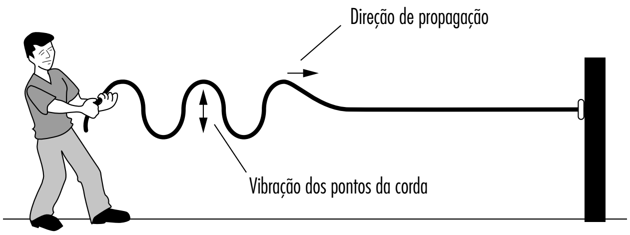
As ondas concêntricas propagam-se em todas as direções



Obs.: se olharmos com mais detalhes o movimento da água durante a passagem das ondas, verifica-se que o movimento não é apenas para cima e para baixo. A água se movimenta também um pouco para frente e para trás. O movimento é aproximadamente como ilustrado a seguir.



Vejamos agora as ondas produzidas numa corda, onde prendemos uma de suas extremidades em uma parede. Sacudindo a corda, para cima e para baixo, podemos observar uma onda se propagando.

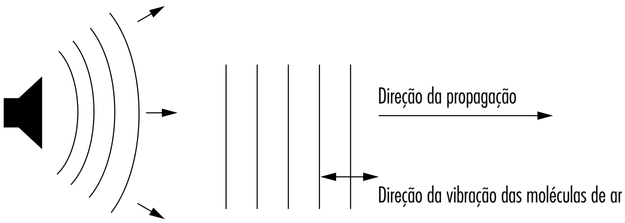


Veja que os pontos da corda vibram numa direção perpendicular à direção de propagação da onda. Esses tipos de ondas são chamados de ondas transversais. Note também que a corda não anda, apenas a perturbação que produzimos se propaga.

Ondas sonoras

Quando falamos, o ar que sai dos pulmões passa pelas chamadas cordas vocais, localizadas em nossa garganta. O ar faz as cordas vibrarem e essa vibração se propaga até os ouvidos das pessoas próximas. Também não é o ar que caminha, apenas a perturbação que produzimos ao falar se propaga em todas as direções em nossa volta.

As figuras a seguir mostram o exemplo de um autofalante, emitindo uma onda sonora que se propaga em todas as direções ao seu redor.



Note que no caso do som a vibração das moléculas de ar tem a mesma direção da propagação da onda. Esses tipos de ondas são chamados ondas longitudinais. Pelo exposto nos exemplos anteriores podemos deduzir uma das mais importantes características de uma onda:

As ondas não transportam matéria. Elas propagam apenas energia.

Classificação das ondas

Ondas transversais e ondas longitudinais

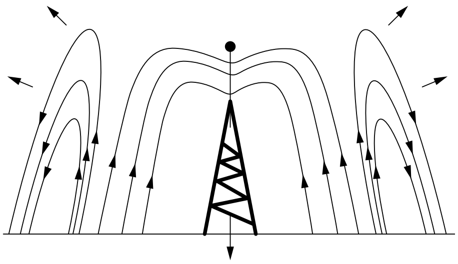
De acordo com a direção de propagação da onda e a direção do movimento vibratório das partículas do meio, nós já classificamos as ondas como transversais, como na corda, e as ondas longitudinais, como a onda sonora: ondas transversais são aquelas em que a direção de propagação é perpendicular à direção da vibração. Ondas longitudinais são aquelas em que a direção de propagação é a mesma da vibração das partículas do meio.

Ondas mecânicas

As ondas sonoras, as ondas na água e as ondas na corda são também chamadas de ondas mecânicas, pois necessitam de um meio material (ar, água e corda) para se propagar.

Ondas eletromagnéticas

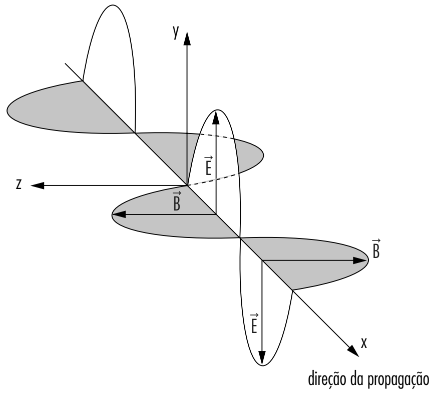
As ondas de rádio, de televisão, assim como as micro-ondas do forno micro-ondas e também as ondas de luz, são ondas eletromagnéticas. Elas são produzidas por meio de uma perturbação do campo elétrico e do campo magnético, simultaneamente. Elas não necessitam de um meio material para se propagar, pois, como já vimos em nossos estudos de óptica, a luz do Sol chega até nós passando por grandes distâncias através do vácuo do espaço sideral. A figura a seguir nos mostra uma visualização de ondas eletromagnéticas emitidas por uma antena transmissora de TV.



Os elétrons do material da antena vibram em altíssimas frequências. A perturbação dos campos elétricos e magnéticos em torno das cargas se propaga na velocidade da luz, $c \approx 300.000$ km/s.

A luz

A luz é produzida pelos átomos. Quando excitamos um elétron do átomo, ele passa para um nível de energia mais alto. Depois de um tempo normalmente muito curto, o elétron volta para o nível em que estava anteriormente, emitindo energia sob a forma de luz. Podemos fazer átomos emitirem luz de muitas maneiras, por exemplo, se pegamos um prego de ferro e colocamos no fogo, a agitação molecular pode chegar a ser tão grande que os elétrons dos átomos se excitam, conforme descrevemos acima, e passam a brilhar, com uma linda luz avermelhada. De modo muito semelhante, a corrente elétrica passando pelo filamento de tungstênio de uma lâmpada incandescente, faz a lâmpada brilhar, emitindo raios luminosos, continuamente, em todas as direções.

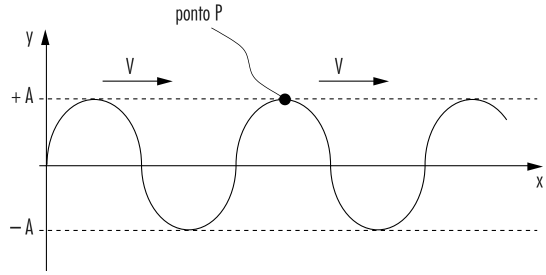


Na ilustração a seguir estão representados o campo elétrico (E) e o campo magnético (B) em uma onda eletromagnética, sob a forma de um raio luminoso.

Note que o campo elétrico é sempre perpendicular ao campo magnético e que ambos são perpendiculares à direção de propagação. <u>As ondas eletromagnéticas são transversais</u>.

Características gerais das ondas

Imagine uma onda se propagando ao longo da direção x como ilustrado na figura a seguir.



Define-se:

Amplitude: a amplitude (A) de uma onda é o deslocamento máximo de um ponto qualquer. Repare que à medida que a onda for caminhando na direção x, o ponto P, tomado como exemplo, se deslocará desde + A até – A e depois até + A de novo.

Velocidade da onda: a velocidade da onda (V) é a velocidade com que a perturbação caminha no meio. Num mesmo meio a velocidade é constante, desde que o meio tenha sempre as mesmas propriedades em todos os pontos (seja homogêneo).

Período: o período (T) é o tempo que cada ponto do meio leva para executar uma oscilação completa. Na figura anterior o ponto P teria se deslocado de + A até – A e voltado a + A, no tempo de um período.

Frequência: a frequência (f) é o número de oscilações que cada ponto do meio executa, por unidade de tempo.

Lembrando que o período é o tempo para uma oscilação completa, teremos:

$$\text{Freqüência} = \frac{\text{número de oscilações}}{\text{tempo}} = \frac{1}{t}, \text{ logo } \boxed{f = \frac{1}{T}}$$

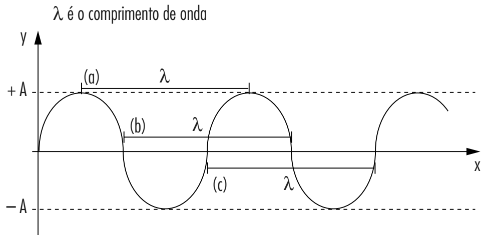
No Sistema Internacional de Unidades a frequência é medida em $1/s$ ou s^{-1} que nós denominamos de Hertz (Hz).

Unidade de frequência

$$f = \frac{1}{T} \Rightarrow [\text{unid. } f] = \frac{1}{[\text{unidade de tempo}]} = \frac{1}{s} = s^{-1} = 1\ \text{Hz}$$

Comprimento de onda

Comprimento de onda (λ) é a distância entre dois pontos da onda que têm as mesmas características (mesma fase). Podemos medir o comprimento da onda, por exemplo, entre duas cristas, ou entre dois mínimos, ou entre dois pontos consecutivos, com mesma fase. Veja a ilustração a seguir.



Em (a), λ foi tomado entre dois máximos; em (b) entre dois mínimos e em (c) entre outros dois pontos consecutivos quaisquer, com a mesma fase.

Repare que quando houver decorrido um tempo igual ao período (T), a onda terá caminhado uma distância igual ao seu comprimento de onda (λ). Assim, como a velocidade da onda é constante nos meios homogêneos, temos:

$$V = \frac{\Delta S}{\Delta t} \Rightarrow \boxed{V = \frac{\lambda}{T}}$$

Como $f = \frac{1}{T}$ temos também $\boxed{V = \lambda \cdot f}$

Exemplos

1) Calcular o comprimento de uma onda de rádio cuja frequência é de 1.500 kHz.

Solução

Temos $f = 1.500 \text{ kHz} = 1.500 \cdot 10^3 \text{ Hz} = 1,5 \cdot 10^6 \text{ Hz}$.

Lembrando que as ondas de rádio são ondas eletromagnéticas e que, portanto, viajam na velocidade da luz = 300.000 km/s. Teremos também:

$V = 300.000 \text{ km/s} = 300.000 \cdot 10^3 \text{ m/s} = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

com $V = \lambda\ .\ f \Rightarrow \frac{V}{f} = \frac{300,000\ .10^3}{1,5\ .10^5} = \frac{30\ .10^7}{15\ .10^5} \quad 2,0\ .10^2$

Logo λ = 200 m

2) As ondas sonoras caminham no ar com velocidade de aproximadamente 340 m/s. Calcule a frequência de uma onda sonora cujo comprimento de onda seja λ =1,7 cm.

Solução

Temos: $V = 340$ m/s e $\lambda = 1,7 \text{ cm} = 1,7 \cdot 10^{-2}$ m

com $V = \lambda\ .\ f \Rightarrow f = \frac{V}{\lambda} = \frac{340}{1,7\ .10^{-2}} = \frac{340}{170\ .10^{-4}} = 2\ .10^4$

Logo, f = 20.000 Hz ou 20 KHz.

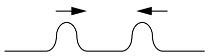
Obs.: Essa é a maior frequência que o ouvido humano normal pode ouvir. Acima de 20 kHz, os chamados ultrassons, nós não podemos ouvir, assim como não podemos ouvir sons com frequências inferiores a 20 Hz, (infrassom).

Atividade 1

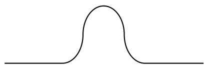
A frequência da nota musical, lá fundamental, é de 440 Hz. Lembrando que a velocidade do som no ar é de, aproximadamente, 340 m/s. Qual o comprimento de onda do lá quando se propaga no ar (a solução se encontra no gabarito).

A superposição de ondas

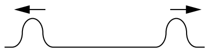
Muitos são os casos em que duas ou mais ondas são emitidas ao mesmo tempo e se encontram em algum ponto do espaço. Quando isso ocorre dizemos que houve uma superposição de ondas. Para ilustrar o que ocorre quando duas ou mais ondas se superpõem em um lugar do espaço, vamos tomar como exemplo pulsos de onda em uma corda. Veja o que ocorre:



Dois pulsos caminham em direções contrárias

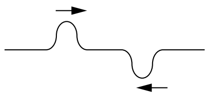


Ao se superporem, o pulso resultante tem a amplitude igual à soma das amplitudes dos dois pulsos



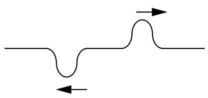
Após se cruzarem, os pulsos continuam caminhando mantendo suas características originais

Veja agora quando os pulsos também caminham na mesma direção e em sentidos opostos, mas um deles tem a fase invertida:



Dois pulsos de fases invertidas caminham em direções opostas

Se os pulsos tiverem a mesma amplitude, acontece a extinção durante o cruzamento



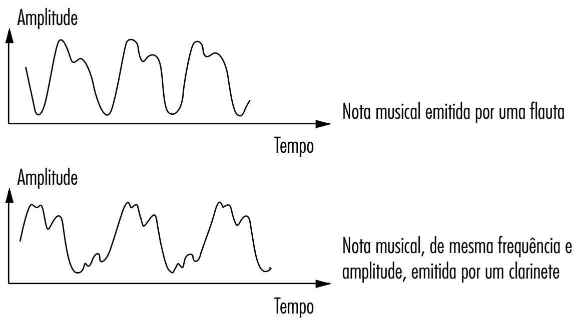
Após a superposição, os pulsos continuam caminhando mantendo suas características originais

Podemos concluir:
Quando duas ou mais ondas se superpõem em um lugar do espaço, o resultado da superposição é a soma algébrica dos efeitos que cada uma delas produziria se passasse sozinha naquele ponto. Após a superposição, cada onda continua a se propagar mantendo suas características originais.

As ondas sonoras

O principal meio de comunicação entre nós é por meio de nossa fala. Não devemos nos esquecer também que entre os animais existe uma grande comunicação por meio de sons. Podemos ouvir os pássaros se comunicando por meio de seu canto, ao amanhecer. Cada pássaro sabe quem é seu par! Vamos estudar mais três importantes características das ondas sonoras: a altura, a intensidade e o timbre. A altura é a qualidade que nos permite distinguir um som grave (de baixa frequência) de um som mais agudo (de mais alta frequência). Ela nos permite distinguir as notas musicais: dó, ré, mi, fá, sol, lá, si, dó. A intensidade nos permite distinguir um som mais intenso (dizemos na prática mais alto) de um som mais baixo. A intensidade está diretamente relacionada com a amplitude e a energia transportada por uma onda. O timbre é a qualidade que nos permite distinguir dois sons, emitidos por fontes diferentes, mesmo que eles tenham a mesma frequência e mesma amplitude. Os sons emitidos por uma fonte, como a voz de uma pessoa em particular ou por um determinado instrumento musical, são normalmente uma mistura de várias ondas mais simples, chamadas harmônicos fundamentais. Esses harmônicos resultam em uma onda por vezes bastante complexa. Cada instrumento, assim como cada pessoa, emite sons com uma característica especial. Cada um tem o seu conjunto de harmônicos fundamentais cuja superposição resulta no seu timbre característico. Todos nós podemos distinguir a voz de Roberto Carlos da voz de Martinho da Vila, mesmo que estejam cantando a mesma música, no mesmo tom e mesma intensidade.

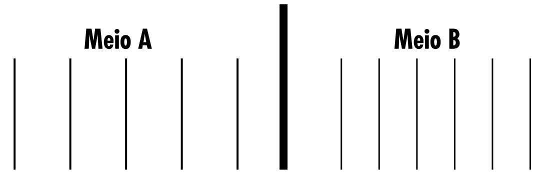
A seguir mostramos como exemplo ondas de mesma altura (mesma frequência) e mesma amplitude (mesma intensidade), emitidas por uma flauta e por um clarinete.



A diferença entre elas está nos harmônicos fundamentais que cada instrumento emite e cuja superposição resulta no som final que ouvimos. A diferença está no timbre!

Exercícios

1) Considere pulsos de ondas planas propagando-se da esquerda para a direita, inicialmente, em um meio A, e, a seguir, em um meio B. Na figura a seguir estão representadas as posições das cristas das ondas em intervalos de tempos consecutivos e iguais a um período. Responda o que se pede:



a) Em qual dos meios a frequência é maior?

b) Em qual dos meios a velocidade de propagação é maior?

c) Em qual dos meios o comprimento de onda é maior?

2) Para se ter a máxima eficiência de transmissão, as antenas das emissoras de rádio são torres verticais de altura aproximadamente igual a um quarto do comprimento de onda correspondente à frequência da emissora. Determine a altura aproximada da torre de uma emissora de rádio de frequência igual a 900 kHz. Dado: a velocidade das ondas de rádio é igual a $3,0 \times 10^8$ m/s.

3) Dê exemplos de ondas transversais e de ondas longitudinais.

4) (PUC–SP) A propagação de ondas envolve, necessariamente:
(A) transporte de matéria e energia
(B) transformação de energia
(C) produção de energia
(D) movimento de matéria
(E) transporte de energia

5) (UFOP–MG) A característica da onda sonora que nos permite distinguir o som proveniente de uma corda de viola do de uma corda de piano é:
(A) o timbre
(B) a frequência
(C) a amplitude
(D) a intensidade
(E) o comprimento de onda

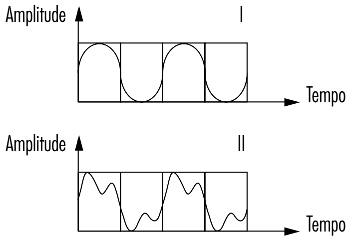
6) (PUC–SP) Para determinar a profundidade de um poço de petróleo, um cientista emitiu com uma fonte, na abertura do poço, ondas sonoras de frequência 220 Hz. Sabendo-se que o comprimento de onda, durante o percurso, é de 1,5 m e que o cientista recebe como resposta um eco após 8 s, a profundidade do poço é:

(A) 2.640m
(B) 1.440m
(C) 2.880m
(D) 1.320m
(E) 330m

7) (UFLA–MG) A pesca industrial moderna se utiliza de sonares para a localização de cardumes. Considerando que a velocidade do som na água é de aproximadamente 1.500 m/s, e que o sonar recebe o som de volta 1 s após a emissão, então a distância do barco ao cardume é de:

(A) 250 m
(B) 500 m
(C) 750 m
(D) 1000 m
(E) 1500 m

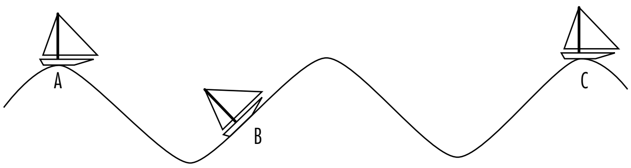
8) (UFF) Ondas sonoras emitidas no ar por dois instrumentos musicais distintos, I e II, têm suas amplitudes representadas em função do tempo pelos gráficos abaixo.



A propriedade que permite distinguir o som dos dois instrumentos é:

(A) o comprimento de onda
(B) a amplitude
(C) o timbre
(D) a velocidade de propagação
(E) a frequência

9) (Cederj/2004) A figura desenhada abaixo mostra três pequenos barcos idênticos A, B e C, enfrentando ondas harmônicas. No instante considerado na figura, o barco B está subindo e a distância entre os barcos A e C, ambos em topos da onda, é de 80 metros. Verifica-se, ainda, que, em suas oscilações verticais, cada barco execute uma oscilação completa em 8,0 segundos.



O sentido de propagação dessa onda e a sua velocidade de propagação são, respectivamente:

(A) para a direita e 10 m/s.
(B) para a esquerda e 5,0 m/s.
(C) para a direita e 2,5 m/s.
(D) para a esquerda e 10 m/s.
(E) para a direita e 5,0 m/s.

10) (FUVEST/2002) Radiações como raio X, luz verde, luz ultravioleta, micro-ondas, ondas de rádio... São caracterizadas pelo seu comprimento de onda (λ) e por sua frequência (f). Quando essas radiações propagam-se no vácuo, todas apresentam o mesmo valor para:

(A) λ
(B) f
(C) λf
(D) λ/f
(E) λ^2/f

12

Ondas Estacionárias
Tubos e Cordas vibrantes

:: Meta ::

Introduzir o conceito de ondas estacionárias e estudar sua formação em cordas vibrantes e tubos sonoros.

:: Objetivos ::

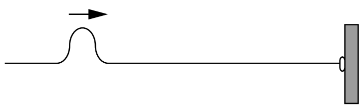
- *Reconhecer os possíveis modos de vibração em ondas estacionárias;*
- *Resolver problemas de ondas estacionárias em cordas vibrantes e em tubos sonoros.*

INTRODUÇÃO

Vamos neste capítulo estender nosso estudo a respeito das ondas. Já estudamos, de um modo geral, as principais características das ondas em uma corda, na água, e das ondas sonoras. Vamos agora estender um pouco nosso estudo com o conceito de ondas estacionárias.

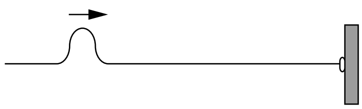
A REFLEXÃO DE PULSOS

Quando um pulso, em uma corda, por exemplo, encontra o ponto onde a corda está fixada à parede, o pulso é refletido. As figuras a seguir nos mostram as duas maneiras possíveis de reflexão, de acordo com a maneira como prendemos a corda na parede.



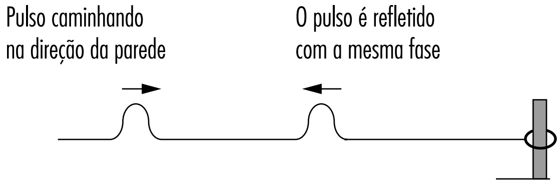
Pulso em uma corda propagando-se na direção da parede

Ao encontrar o ponto onde a corda está presa, o pulso não pode mais subir e é refletido por baixo. O pulso se inverte. O pulso inverte a fase.



Pulso em uma corda propagando-se na direção da parede

Agora vamos supor que a corda está presa à parede por meio de uma argola e uma haste, conforme ilustrado na figura a seguir. Quando o pulso chega na região onde se encontra a haste, ele pode fazer a argola subir e, desse modo, é refletido por cima. O pulso mantém a mesma fase.

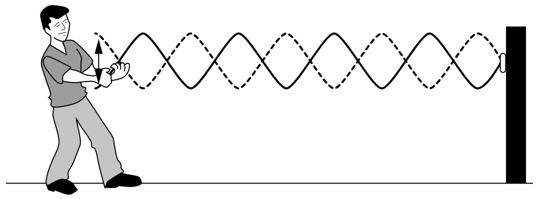


ONDAS ESTACIONÁRIAS

Ondas estacionárias são ondas que não se propagam. Elas ficam vibrando sempre no mesmo lugar. No capítulo anterior vimos o que ocorre quando dois pulsos se encontram em um lugar do espaço, quando ocorre a superposição de pulsos. Caso você não esteja bem lembrado de como ocorre a superposição, faça uma nova leitura desse assunto, antes de prosseguir o estudo, para que possa compreender melhor o que vamos expor a seguir.

Vamos começar nosso estudo pelas ondas estacionárias em uma corda. A figura a seguir ilustra o que acontece quando mantemos a perturbação, continuamente, numa das extremidades de uma corda presa a uma parede.

Fazendo-se a corda vibrar continuamente, as ondas que incidem na parede se superpõem às ondas refletidas, formando uma "onda estacionária"



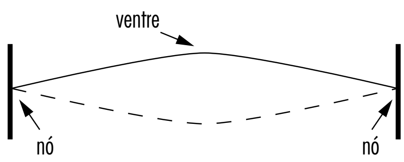
Isso mesmo. A onda estacionária fica restrita entre a parede e a nossa mão. Os pontos da corda oscilam para cima e para baixo, com sua frequência característica, mas a onda fica estacionária. Isso é exatamente o que ocorre quando fazemos vibrar uma corda de violão. As ondas que caminham de um lado para outro na corda se superpõem, e o que vemos é uma onda estacionária.

OS MODOS DE VIBRAÇÃO

Como as ondas estacionárias são sempre obrigadas a oscilar em um mesmo lugar, elas não podem oscilar com qualquer frequência ou comprimento de onda. Apenas algumas frequências ou comprimentos de onda serão possíveis em cada caso. Chamamos de modos de vibração às possíveis frequências (ou comprimentos de onda) permitidas.

O MODO FUNDAMENTAL NAS CORDAS VIBRANTES

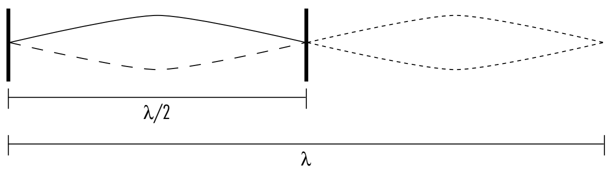
Imagine uma corda, como a de um violão, presa nas suas extremidades. Obrigatoriamente as ondas não poderão vibrar, nas extremidades, porque estão presas em um suporte. O primeiro modo de vibração possível para uma onda desse tipo está ilustrado na figura a seguir.



Esse é o primeiro modo de vibração possível. Ele é chamado de modo fundamental

Veja que cada ponto da corda tem uma amplitude diferente. Nos pontos que chamamos de nó, não há movimento, a amplitude é nula. Naquele ponto que chamamos de ventre (barriga), a amplitude é máxima.

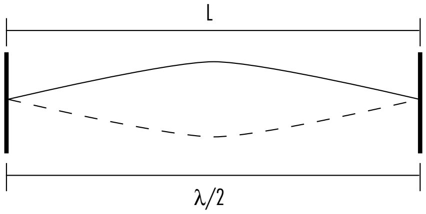
Repare que no modo fundamental de uma corda vibrante não existe uma onda inteira, apenas a metade do comprimento de onda. A onda inteira pode ser representada como na figura ilustrada a seguir:



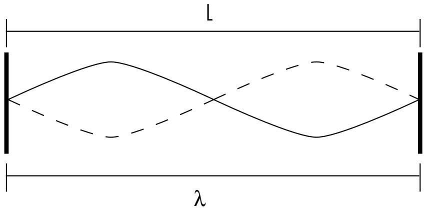
Nesse caso a corda está oscilando com apenas meio comprimento de onda ($\lambda/2$). A parte tracejada, fora do lugar onde está a corda, foi desenhada apenas para que pudéssemos visualizar como "seria" a onda completa.

Vamos agora relacionar o comprimento da corda, L, com o comprimento de onda, λ, para vários modos de vibração. O primeiro modo é chamado de modo fundamental. Os outros modos, depois do primeiro, são chamados de segundo, terceiro etc... Esses modos são chamados harmônicos: primeiro harmônico, segundo harmônico, terceiro harmônico... E assim por diante.

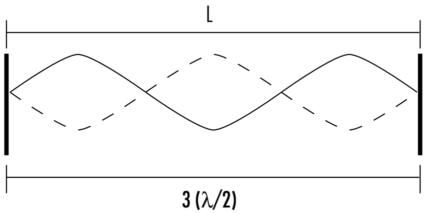
Em cada uma das figuras, repare na relação entre o comprimento da onda, λ, e o comprimento da corda L, para os quatro primeiros modos de vibração em uma corda presa nas extremidades.



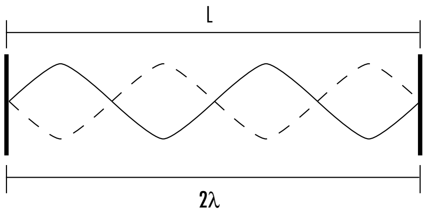
Temos $L = \lambda/2$
logo, $\lambda = 2L$



Temos $L = 2\ (\lambda/2)$
logo, $\lambda = L$



Temos $L = 3\ (\lambda/2)$
logo, $\lambda = 2L/3$

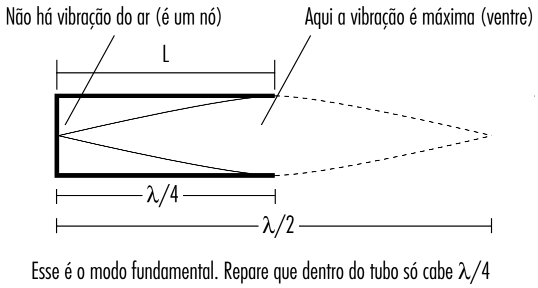


Temos $L = 8\ (\lambda/4)$
logo, $\lambda = L/2$

Veja que temos sempre $L = n\ (\lambda/2)$ onde $n = (1, 2, 3, 4, ...)$ é um número inteiro.

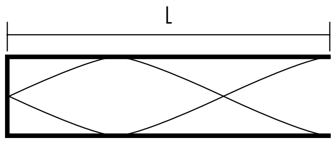
Tubos sonoros

O som também pode produzir ondas estacionárias. Vamos ver como se formam as ondas estacionárias em tubos, chamados tubos sonoros, semelhantes aos tubos dos órgãos a ar, comuns em algumas de nossas igrejas. As figuras a seguir representam tubos, fechados à esquerda e abertos na outra extremidade. Veja em cada um as relações entre o comprimento de onda λ e o comprimento do tubo L:

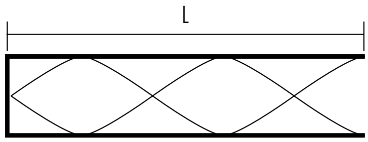


Esse é o modo fundamental. Repare que dentro do tubo só cabe $\lambda/4$

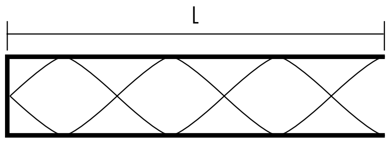
Temos $L = 1\ (\lambda/4)$
logo, $\lambda = 4L$



Temos $L = 3\ (\lambda/4)$
logo, $\lambda = 4/3 \cdot L$



Temos $L = 5\ (\lambda/4)$
logo, $\lambda = 4/5 \cdot L$



Temos $L = 7 \cdot \lambda/4$
logo, $\lambda = 4/7 \cdot L$

Veja que no caso de tubos sonoros, fechados em uma das extremidades, temos sempre $L = m(\lambda/4)$, onde $m = (1, 3, 5, 7, ...)$ é um número ímpar.

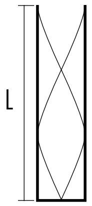
As ondas estacionárias podem se formar em muitos outros lugares. Você já deve ter experimentado cantar no banheiro. Deve ter observado que alguns sons (mais graves) ressoam que é uma beleza! Quando isso ocorre é porque dentro da caixa formada pelas paredes, teto e piso do banheiro, aquele som, com uma frequência característica, tem um comprimento de onda que cabe exatamente na caixa. O som parece bem mais intenso. Formou-se uma onda estacionária no banheiro... Nesses casos dizemos que houve uma ressonância.

Exemplos

1) Uma onda sonora incide sobre um tubo de comprimento L = 42,5 cm, fechado em uma das extremidades, de modo que ele ressoa no segundo modo de vibração. Lembrando que a velocidade do som no ar é de 340 m/s, pede-se calcular o comprimento de onda e a frequência da vibração.

Solução

O segundo harmônico está representado na figura a seguir. Podemos ver que $L = 3 \cdot \lambda/4$. Assim:



$$\lambda = \frac{4L}{3} = \frac{4 \cdot 42,5}{3} \approx 56,7 \text{ cm} \approx 0,567 \text{ m}$$

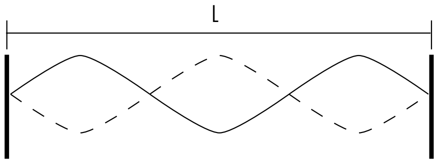
A frequência: Temos:

$$V = \lambda \cdot f \Rightarrow f = \frac{V}{\lambda} = \frac{340}{0,567} = 600 \text{ Hz}$$

2) Uma corda de cavaquinho tem 30 cm de comprimento. Calcular a frequência do terceiro modo de vibração sabendo que a velocidade de propagação de uma onda nessa corda é de 360 m/s.

Solução

O terceiro modo de vibração em uma corda está representado na figura a seguir:



Dados: L = 30 cm e V = 360 m/s. Então:

$$V = \lambda \cdot f \Rightarrow f = \frac{V}{\lambda}$$

Falta o λ.

Cálculo de λ da figura

$$L = 3 \cdot \frac{\lambda}{2}$$

Logo, $\lambda = 2 \cdot \frac{L}{3} = 2 \cdot \frac{30}{3} \text{ cm} = 20 \text{ cm} = 0,20 \text{ m}$

Assim, $f = \frac{360}{0,20} = 1800 \text{ Hz}$

A velocidade da onda numa corda

Você já deve ter reparado que para afinar a corda de um violão, nós temos que apertar ou afrouxar a corda, isto é, temos que aplicar uma força de tração na corda de maneira que ela vibre com a frequência desejada. Devem ter reparado também que as cordas têm espessuras diferentes, quanto mais grossa a corda, mais grave é o som e quanto mais fina, mais agudo ele é. Isto se deve ao fato de que a velocidade de propagação das ondas na corda depende da força aplicada e da densidade linear da corda.

A densidade linear representada por μ (letra grega mi) é definida como:

$\mu = \frac{\text{massa}}{\text{unidade de comprimento}} \Rightarrow \mu = \frac{m}{L}$ cujas unidades são g/cm ou, Kg/m, no SI.

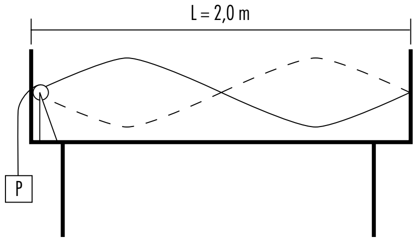
A velocidade das ondas numa corda vibrante é dada pela expressão:

$$V = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

onde F é a força de tração da corda e μ é a densidade linear da corda.

Exemplo

Uma corda vibrante com 2,0 m de comprimento e massa de 4,0 g está presa em uma mesa e, por meio de uma roldana, dependuramos um peso de 16,2 N de modo a tensionarmos a corda, conforme ilustra a figura a seguir.



Calcule:

a) a velocidade das ondas na corda.

b) a frequência da vibração da corda.

Solução

a) A velocidade: a força de tensão na corda é igual ao peso P, que utilizamos para esticar a corda, assim F = 16,2 N. A densidade linear da corda é:

$$\mu = \frac{m}{L} = \frac{4,0 \text{ (g)}}{2,0 \text{ (m)}} = \frac{4,0 \cdot 10^{-3} \text{ (kg)}}{2 \text{ (m)}} = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{kg} / \text{m}$$

Logo, $V = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{16,2}{2,0 \cdot 10^{-3}}} = \sqrt{8,1 \cdot 10^{3}} = \sqrt{8100} = 90 \text{ m} / \text{s}$

b) A frequência: como v = $\lambda \cdot$ f, a frequência de oscilação será f = V/λ.

Repare na figura que a corda está vibrando no seu segundo modo de vibração logo, no caso, L = λ =2,0 m. Assim:

$$f = \frac{V}{\lambda} = \frac{90 \text{ (m / s)}}{2 \text{ (m)}} = 45 \text{ s}^{-1} = 45 \text{ Hz}$$

Exercícios

1) Um fio é esticado de modo que suas extremidades permanecem fixas a uma distância igual a 80 cm. O fio vibra de forma que a frequência do modo fundamental é igual a 60 Hz. Determine a velocidade de propagação da onda transversal produzida no fio.

2) Uma corda de comprimento igual a 1,5 m é esticada entre dois suportes com uma tensão tal que a velocidade da onda transversal produzida na corda é de 48 m/s. Determine o comprimento de onda e a frequência do modo fundamental de vibração da corda.

3) Num laboratório de física, ondas sonoras são enviadas para dentro de um tubo cheio de ar, de 90 cm de comprimento e fechado em uma das extremidades. O tubo entra em ressonância em várias frequências, sendo a mais baixa igual a 95 Hz. Calcule a velocidade do som neste laboratório de física.

4) Considere o tubo sonoro descrito no problema anterior. Determine as frequências para os três primeiros modos de vibração.

5) Determine o menor comprimento de um tubo fechado em uma das extremidades, cheio de ar, que entrará em ressonância com uma fonte sonora de frequência 160 Hz. Considere a velocidade do som no ar igual a 340 m/s.

6) Um oscilador que vibra com frequência de 120 Hz produz ondas em uma corda, com comprimento de onda igual a 31 cm. A tensão provocada na corda é de 12 N. Determine:

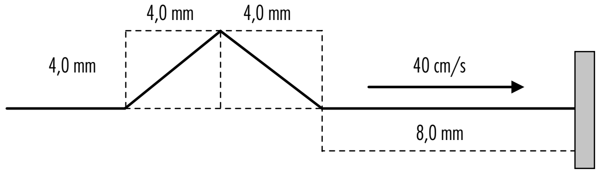
a. a velocidade das ondas na corda.

b. a massa de 50 cm de corda.

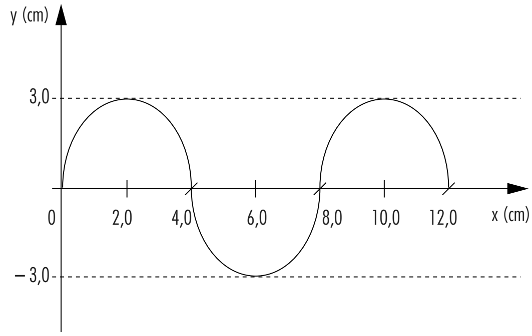
7) A corda mais aguda do violão é afinada em mi (329,6 Hz). Isso significa que quando tocada, ela vibra nesta frequência. O comprimento da corda é 65,5 cm. Determine a velocidade da onda na corda.

8) A corda sol de um violão, quando está pressionada na segunda casa, soa em lá (440 Hz). Determine o comprimento da parte vibrante da corda. Considere a velocidade do som igual a 432 m/s.

9) Um pulso ondulatório triangular se desloca sobre uma corda com extremidade fixa. Veja a figura. Desenhe o pulso ondulatório no instante 20 m/s.



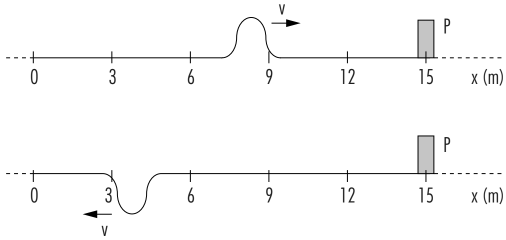
10) (UEL–PR) Numa corda, uma fonte de ondas realiza um movimento vibratório com frequência de 10 Hz. O diagrama mostra, num determinado instante, a forma da corda percorrida pela onda.



A velocidade de propagação da onda, em centímetros por segundo, é de:

(A) 8,0
(B) 20
(C) 40
(D) 80
(E) 160

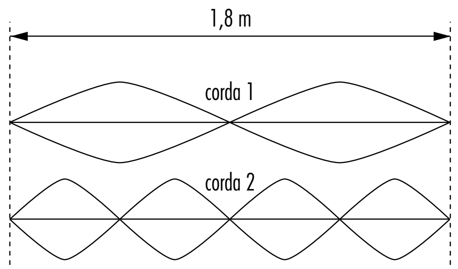
11) (UFCE) A figura mostra duas fotografias de um mesmo pulso que se propaga em uma corda de 15 m de comprimento e densidade uniforme, tensionada ao longo da direção x. As fotografias foram tiradas em dois instantes de tempo, separados de 1,5 segundo. Durante esse intervalo de tempo o pulso sofreu uma reflexão na extremidade da corda que está fixa na parede P.



Observando as fotografias verificamos que a velocidade de propagação do pulso na corda, suposta constante, é:

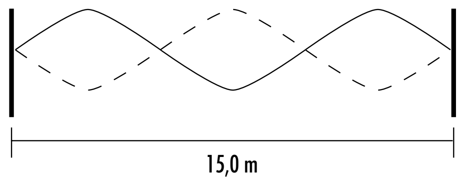
(A) 4 m/s
(B) 6 m/s
(C) 8 m/s
(D) 10 m/s
(E) 12 m/s

12) (PUC–MG) A figura mostra duas cordas idênticas, de comprimento 1,8 m, e submetidas à mesma força de tração. A razão (quociente) entre o comprimento de onda estabelecido na segunda corda λ_2 e o comprimento de onda produzido na primeira λ_1 é:



(A) 0,4
(B) 0,5
(C) 0,25
(D) 2,5
(E) 4

13) Numa corda homogênea, com suas extremidades fixas no laboratório, se estabelece uma onda estacionária. Nessa situação, a corda vibra entre as duas posições externas, indicadas pela linha contínua e pela linha tracejada na figura a seguir.

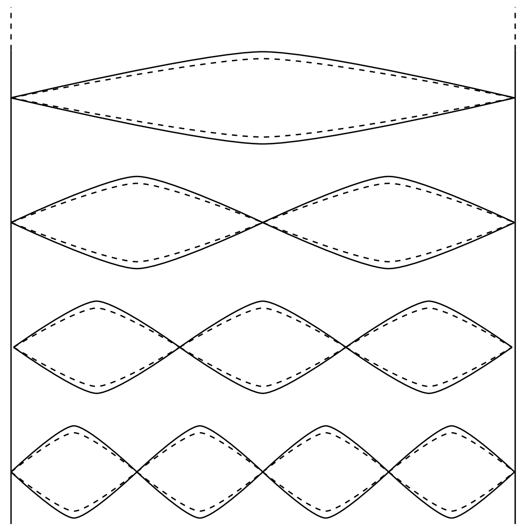


Sabendo que a corda se alterna entre estas duas posições a cada 0,20 s, pede-se:
a. o comprimento da onda estacionária;

b. o período e a frequência de oscilação dos pontos da corda;

c. a velocidade de propagação das ondas ao longo da corda;

14) (Unitau–SP) A figura mostra ondas estacionárias em uma corda de comprimento 1,0 m, vibrando em seu modo fundamental e nos primeiros harmônicos. Supondo que a velocidade de propagação destas ondas seja igual a 500 m/s, as frequências, em hertz, do modo fundamental e dos harmônicos seguintes, valem, respectivamente:



(A) 1000; 750; 500; 250
(B) 1000; 250; 500; 750
(C) 1000, para todos os modos
(D) 250; 500; 750; 1000
(E) 500; 500; 1000; 1000

15) (UEL–PR) A velocidade de propagação V de um pulso transversal numa corda depende da força de tração T com que a corda é esticada e de sua densidade linear μ (massa por unidade de comprimento):

$$V = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Um cabo de aço, com 2,0 m de comprimento e 200 g de massa, é esticado com força de tração de 40 N. A velocidade de propagação de um pulso nese cabo é, em metros por segundo:

(A) 1,0
(B) 2,0
(C) 4,0
(D) 20
(E) 40

13

Atividades complementares

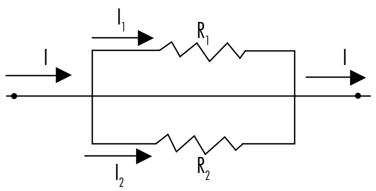
1) Lembrando que a carga elementar em unidades do Sistema Internacional vale $1{,}6 \times 10^{-19}$. Podemos afirmar corretamente que o excesso de elétrons em um corpo com carga negativa de 1,0 C é de:

(A) $3{,}2 \times 10^{19}$
(B) $3{,}2 \times 10^{38}$
(C) $1{,}6 \times 10^{19}$
(D) $6{,}25 \times 10^{-18}$
(E) $6{,}25 \times 10^{18}$

2) Uma partícula de massa m e carga elétrica e é arremessada com uma velocidade horizontal v, em um campo elétrico uniforme, de intensidade E, vertical e orientado para baixo. Podemos afirmar corretamente que os deslocamentos horizontal e vertical, x e y, da partícula, após um intervalo de tempo t valem, respectivamente:

(A) $x = v \cdot t$ e $y = (E \cdot e/2 \cdot m) \cdot t^2$
(B) $x = (1/2) \cdot v \cdot t^2$ e $y = (E \cdot e/2 \cdot m) \cdot t$
(C) $x = 2m \cdot t$ e $y = (E/2m) \cdot t$
(D) $x = v \cdot t$ e $y = (2 \cdot m \cdot e \cdot E) \cdot t^2$
(E) $x = v \cdot t$ e $y = (2 \cdot m/e \cdot E) \cdot t^2$

3) No circuito representado na figura a seguir a corrente I divide-se em I_1 e I_2. Podemos afirmar corretamente que as correntes valem:

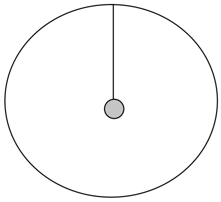


(A) $I_1 = [(R_1 + R_2)/ R_2]\, I$ e $I_2 = [R_1/(R_1 + R_2)]I$
(B) $I_1 = [R_2/(R_1 + R_2)]I$ e $I_2 = [(R_1 + R_2) /R_1]I$
(C) $I_1 = I_2 = [R_1/(R_1 + R_2)]I$
(D) $I_1 = [R_2/(R_1 + R_2)]I$ e $I_2 = [R_1/(R_1 + R_2)]I$
(E) $I_1 = 2\, I_2 = (1/2)\,[R_1/(R_1 + R_2)]I$

4) Uma pequena esfera de raio r é colocada no centro de uma grande esfera, oca, de raio R. As esferas têm cargas (+q) e (+Q) respectivamente. Sendo k a constante dielétrica do meio, podemos afirmar corretamente que os potenciais elétricos na superfície da esfera pequena e na superfície da esfera grande valem, respectivamente:

(A) $k(q/r + Q/R)$ e $k(Q/R + q/R)$
(B) $k(q/R + Q/r)$ e $k(Q/r + q/r)$
(C) $k(q/r + Q/r)$ e $k(Q/R + q/R)$
(D) $k(q/R + Q/R)$ e $k(Q/r + q/r)$
(E) $(1/2)k(q/r + Q/R)$ e $2k(Q/R + q/R)$

5) Uma pequena esfera carregada positivamente e sustentada por um fio isolante é colocada dentro de uma esfera oca metálica e inicialmente neutra, conforme ilustra a figura a seguir. Se eletrizarmos a esfera oca, podemos afirmar corretamente que a pequena esfera:



(A) se moverá ligeiramente para cima
(B) se moverá para a direita
(C) se moverá para a esquerda
(D) permanecerá em repouso
(E) oscila como um pêndulo

6) Um forno a micro-ondas tem potência de $1{,}0 \times 10^3$ W. Supondo que não há perdas para as paredes do forno ou para o ambiente podemos afirmar corretamente que o intervalo de tempo necessário par aumentar de 15°C a temperatura de um litro de água é de:

(Dados: $\rho_{água} = 1{,}0$ g/cm³; $c_{água} = 1{,}0$ cal/g°C; 1 cal = 4,18 J)
(A) 15 s
(B) $1{,}5 \times 10^2$ s
(C) 283 s
(D) $10{,}1 \times 10^2$ s
(E) 63 s

7) Um recipiente adiabático é dividido em duas partes, A e B. Na parte A, o volume é V_A e nela há N_A moléculas de um gás ideal A. Na parte B, o volume é V_B e nela há N_B moléculas de um gás ideal B. A relação entre os volumes e os números de moléculas são, respectivamente: $V_B = 4V_A$, $N_A = 3{,}0 \times 10^2$ e $N_B = 1{,}2 \times 10^3$. O sistema está em equilíbrio térmico.

Um furo é feito na parede de separação, e, então, inicia-se a mistura dos gases. Após um certo intervalo de tempo, a mistura torna-se homogênea. Podemos afirmar corretamente que o número de moléculas da mistura em cada volume será de:

(A) $3{,}0 \times 10^4$ moléculas em V_A e $1{,}2 \times 10^6$ moléculas em V_B
(B) $3{,}0 \times 10^2$ moléculas em V_A e $1{,}2 \times 10^3$ moléculas em V_B
(C) $6{,}0 \times 10^2$ moléculas em V_A e $0{,}6 \times 10^3$ moléculas em V_B
(D) $9{,}0 \times 10^2$ moléculas em V_A e $0{,}4 \times 10^3$ moléculas em V_B
(E) 12700 moléculas em V_A e 6731 moléculas em V_B

8) Em um recipiente termicamente isolado a pressão interna é igual a 1,0 atm. Nele, inicialmente, há 16 g de gelo na temperatura 273 K e 1,0 g de vapor d'água na temperatura 373 K. Finalmente, há gelo e água em equilíbrio térmico. Podemos afirmar corretamente que a massa final de gelo e a massa final de água no recipiente são, respectivamente:

(Dados: $L_F = 80$ cal/g; $L_V = 540$ cal/g; $c_{água} = 1{,}0$ cal/gK)
(A) 10 g de gelo e 6,1 g de água;
(B) 8,0 g de gelo e 9,0 g de água;
(C) 9,0 g de gelo e 7,0 g de água;
(D) 15 g de gelo e 1,28 g de água;
(E) 14 g de gelo e 3,0 g de água.

9) Um objeto está sobre o eixo principal e a 5,0 cm de uma lente convergente de distância focal 7,5 cm. Pode-se afirmar corretamente que a posição e o aumento linear da imagem são, respectivamente:

(A) – 15 cm e 4 vezes
(B) – 17 cm e 3 vezes
(C) – 13 cm e 3 vezes
(D) – 15 cm e 3 vezes
(E) – 15 cm e 2 vezes

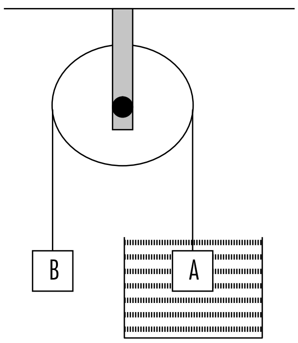
10) Uma vela está a 24 cm de uma lente delgada divergente de distância focal – 24 cm. Com relação à imagem pode-se afirmar corretamente que:

(A) é virtual, direita e menor, a 12 cm da lente;
(B) é real, invertida e do mesmo tamanho, a 24 cm da lente;
(C) é real, invertida e maior, a 12 cm da lente;
(D) é virtual, direita e maior, a 24 cm da lente;
(E) não há formação de imagem.

11) O índice de refração da água em relação ao ar é igual a 4/3. Podemos afirmar corretamente que o índice de refração do ar em relação à água vale:

(A) 1/3
(B) 2/3
(C) 3/2
(D) 4/3
(E) 3/4

12) Dois corpos A e B, de mesma massa e mesmo volume, estão ligados por um fio inextensível que passa por uma roldana. O corpo A está totalmente imerso em água como ilustra a figura a seguir. Com respeito ao movimento subsequente dos dois corpos, podemos afirmar corretamente que:



(A) o corpo A desce.
(B) o corpo B sobe.
(C) o corpo B desce.
(D) o sistema permanece em equilíbrio.
(E) o corpo A e o corpo B movem-se no mesmo sentido.

13) Por meio de um dinamômetro, mediu-se o peso de uma esfera imersa no ar. O valor obtido foi igual a 5,0 N. Quando a mesma esfera está totalmente imersa na água o valor medido é igual a 3,0 N. Sabendo-se que a densidade da água é 1,0 g/cm^3, é correto afirmar que a densidade do material da esfera vale:

(A) 2,5 g/cm^3
(B) 0,40 g/cm^3
(C) 3,0 g/cm^3
(D) 1,5 g/cm^3
(E) 5,0 g/cm^3

14) Considere uma esfera condutora carregada, em equilíbrio eletrostático. É correto afirmar que:

(A) O campo elétrico nos pontos internos é constante e diferente de zero. O potencial elétrico nos pontos internos é nulo.

(B) O campo elétrico nos pontos internos é nulo. O potencial elétrico nos pontos internos é nulo.

(C) O campo elétrico nos pontos internos é constante e diferente de zero. O potencial elétrico nos pontos internos é constante e diferente de zero.

(D) O campo elétrico nos pontos internos é constante e diferente de zero. O potencial elétrico nos pontos internos é variável.

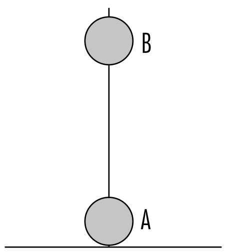
(E) O campo elétrico nos pontos internos é nulo. O potencial elétrico nos pontos internos é constante e diferente de zero.

15) Um circuito elétrico é formado por uma bateria, com resistência interna de 1,0 Ω e f.e.m de 18 V, um resistor de 5,0 Ω e um outro resistor de 12 Ω, sendo todos os elementos ligados em série. Podemos afirmar corretamente que a corrente elétrica que percorre o circuito e a ddp nos terminais da bateria são respectivamente:

(A) 1,0 A e 18 V
(B) 1,0 A e 17 V
(C) 1,1 A e 18 V
(D) 1,0 A e 12 V
(E) 1,0 A e 5V

16) No sistema representado na figura a seguir, há duas esferas metálicas, idênticas, de massas 10 g, eletricamente carregadas com cargas iguais e mergulhadas em um meio de constante eletrostática igual a 9,0 X 10^9 N.m^2/C^2. A esfera A e a haste isolante vertical estão presas ao plano horizontal também isolante. A esfera B pode deslizar sem atrito ao longo da haste, mas se mantém em equilíbrio quando a distância entre as esferas é de 1,0 m. Nessa situação o valor correto da carga elétrica em cada esfera é de:

(A) 1,0 x 10^{-6} C
(B) 2,0 x 10^{-6} C
(C) 4,7 x 10^{-6} C
(D) 3,3 x 10^{-6} C
(E) 5,3 x 10^{-6} C

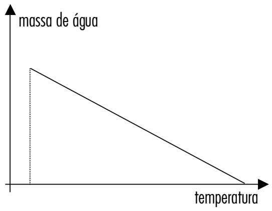


17) Num cilindro com êmbolo (seringa) há gás ideal. Inicialmente, o volume é 200 ml e a temperatura 273°C. A seguir, executa-se uma transformação isobárica. A temperatura final é igual a 0°C. Logo, o volume final é igual a:

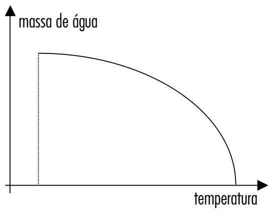
(A) 400 ml
(B) 100 ml
(C) 50 ml
(D) 300 ml
(E) 150 ml

18) Um recipiente com água começa a ser aquecido. A seguir, a água entra em ebulição e permanece assim, até vaporizar toda massa líquida. O gráfico, massa de água versus temperatura, que melhor representa a situação descrita é:

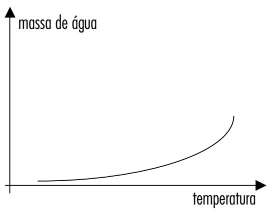
(A)



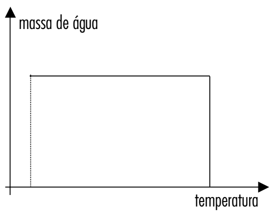
(B)



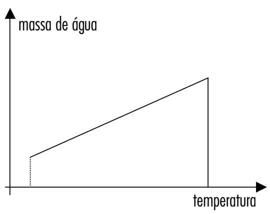
(C)



(D)



(E)



19) Um cubo de ferro tem massa igual a 60 g. Um outro cubo também de ferro, mas com aresta o dobro da do primeiro, terá massa igual a:

(A) 240 g
(B) 120 g
(C) 540 g
(D) 360 g
(E) 480 g

20) Um espelho esférico côncavo tem raio de curvatura igual a 180 cm. Um objeto colocado em frente ao espelho tem sua imagem reduzida à metade. A distância entre o objeto e o espelho, em centímetros, é igual a:

(A) 135 cm
(B) 90 cm
(C) 180 cm
(D) 270 cm
(E) 45 cm

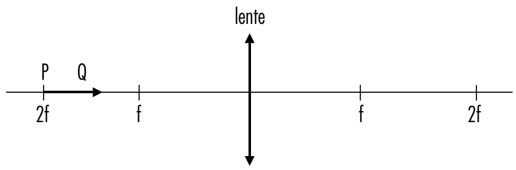
21) Um espelho esférico côncavo tem raio de curvatura R. Um objeto é colocado em frente ao espelho, a uma distância igual a R. Pode-se afirmar corretamente:

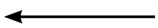
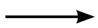
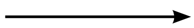
(A) a imagem é real, invertida e de mesmo tamanho.
(B) a imagem é real, invertida e menor.
(C) a imagem é real, invertida e maior.
(D) a imagem é virtual, direita maior.
(E) a imagem é virtual, invertida e maior.

22) Um objeto retilíneo é colocado perpendicularmente ao eixo principal de uma lente delgada divergente. A distância entre o objeto e a lente é igual a 26 cm. A distância focal da lente, em valor absoluto, é 26 cm. Sendo assim, é correto afirmar:

(A) a imagem é virtual, direita, menor, a 26 cm da lente.
(B) a imagem é virtual, direita, maior, a 26 cm da lente.
(C) a imagem é virtual, invertida, menor, a 13 cm da lente.
(D) a imagem é real, invertida, menor, a 13 cm da lente.
(E) a imagem é virtual, direita, menor, a 13 cm da lente.

23) Um objeto PQ é colocado em frente a uma lente convergente delgada e posicionado de acordo com a representação da figura a seguir. Pede-se assinalar a opção que melhor representa a imagem do objeto fornecida pela lente.



(A)  (B)  (C) 

(D)  (E) 

14

Problemas complementares

1) Reflexo é uma resposta motora consequência de um estímulo sensorial. O intervalo de tempo entre o estímulo e a resposta chama-se tempo de reação.
Um motorista conduz o seu automóvel e deseja atingir a velocidade de 80 km/h. No instante t = 0, ele vê a lâmpada vermelha do sinal acender. No instante t = 0,40s o automóvel atinge a velocidade de 60 km/h, e, a partir deste instante, a velocidade mantém-se constante, quando, a partir do instante t = 1,2 s, começa a diminuir.
Veja a tabela a seguir.

t(s)	0	0,40	1,2	2,0	2,6
v (km/h)	30	60	60	30	0

Determine o tempo de reação do motorista:

2) Considere a seguinte situação: um elevador hermeticamente fechado transportando vinte pessoas para entre dois andares. O volume de ar no seu interior é igual a 2,0 m^3. Sabendo-se que 20% do ar é oxigênio e que cada pessoa consome 2,0 x 10^2 ml de oxigênio por minuto, determine o intervalo de tempo necessário para que todo oxigênio contido no elevador seja consumido.

3) Considere a seguinte situação. Um ser vivo ingere diariamente dois tipos de alimentos. O alimento X e o alimento Y. Ele ingere diariamente um total de 9,0g, ou 24,6 kcal.

Determine:

a. a energia potencial por massa (kcal/g) ingerida diariamente.

b. a massa do alimento X e a massa do alimento Y diariamente ingeridos.
Veja tabela.

Alimentos	**kcal/g**
X	2,0
Y	3,0

4) Um casal de estudantes foi comemorar com cerveja o bom resultado na prova de física. O teor alcoólico da cerveja é 4,0 GL (Gay Lussac). Isto é, 4,0% do conteúdo é álcool etílico. A cerveja foi servida em copos de 250 ml. Ele saboreou três copos, ela um copo. Determine a massa de álcool ingerida por cada um deles. Dado: a densidade do álcool é 0,79 g/cm^3; ml = 1 cm^3.

5) Considere um ser humano adulto que alimenta-se apenas de carboidrato e proteína. Ele ingere diariamente massas iguais destes alimentos e engorda 20 g por dia. Determine a massa do excesso de carboidrato e a massa do excesso de proteína absorvido diariamente. Dados: carboidrato = 4,0 kcal/g; proteína = 4,0 kcal/g; lipídio = 9,3 kcal/g

6) Um feixe luminoso de intensidade 1,0 x 10^2 W/m^2 atinge a pupila de uma pessoa. Nestas condições, a pupila tem sua menor abertura, o seu diâmetro vale 2,0 mm. Determine a energia que atinge a pupila em um segundo.

7) O limiar de intensidade luminosa para um ser0 humano com visão normal é de 1,0 x 10–12 W/m^2. Sob esta condição, a pupila está com a máxima abertura, diâmetro de 8,0 mm. Determine a quantidade de energia que atinge a pupila em 1,0 s.

8) A força que um músculo pode exercer depende da área da seção transversal do músculo. Seu valor máximo por unidade de área é aproximadamente igual a 35 N/cm^2. Esse valor independe do tamanho do animal. Isto é, o valor dado, vale para rato, ser humano, elefante...
Um homem de massa 93 kg, quando coloca o antebraço na vertical e o braço na horizontal é capaz de sustentar em equilíbrio na palma da mão um bloco de massa M. Nesta situação, o raio da seção transversal do bíceps é 1,1 cm. Uma mulher de massa 50 kg, sob as mesmas condições, suporta um bloco de massa m e, tem para o raio da seção transversal do bíceps, 0,70 cm. Determine os valores M e m. Dados: g = 10 m/s^2; (a massa do antebraço + a massa da mão) valem 5,9 % da massa corporal.

9) As bebidas alcoólicas provocam inicialmente euforia e liberação. Posteriormente, o efeito mais comum é indisposição com vômitos (ressaca). O metabolismo do álcool ocorre no fígado, onde é oxidado pela ação da enzima alcooldesidrogenase, transformando-o em aldeído e ácido acético. Numa bebida de alto teor alcoólico, igual a 50 GL (Gay Lussac), 50% do conteúdo é álcool.
A percentagem da concentração de álcool no sangue de um adulto após ingerir 60 ml de uma bebida com 50 GL varia segundo a tabela abaixo.

Concentração de álcool no sangue (%)	0,00	0,05	0,04	0,02	0,01	0,03	0,00
Intervalo de tempo (h)	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0

Em uma festa, um jovem adulto decidiu consumir apenas bebidas fortes (50 GL). De hora em hora, ele ingeria em um único gole uma dose de 60 ml. Determine o percentual da concentração de álcool no sangue imediatamente após a quinta dose.

10) Um recipiente adiabático é dividido em duas partes, A e B. Na parte A, o volume é V_A e nela há N_A átomos de hélio. Na parte B, o volume é V_B e nela há N_B átomos de neônio. A relação entre os volumes e os números de átomos são: $V_B = 4V_A$, $N_A = 300$ e $N_B = 1200$.
Um furo é feito na parede de separação. Após um certo intervalo de tempo, os gases formam uma mistura homogênea.
a. Determine o número de átomos da mistura, no volume V_A e no volume V_B.

b. Determine o número de átomos de hélio e de neônio no volume V_A.

11) Uma folha de amendoeira tem em média uma área de 80 cm^2. Para que uma amendoeira produza 1,0 mol de glicose é necessário $3{,}4 \times 10^7$ J de energia luminosa. Determine o intervalo de tempo necessário para que uma amendoeira com $1{,}0 \times 10^3$ folhas produza 1,0 mol de glicose. Considere a intensidade luminosa que atinge a amendoeira igual a $1{,}0 \times 10^2$ W/m^2.

12) Uma lata de cerveja de alumínio tem capacidade de 350 ml e massa de 28g. Em um recipiente termicamente isolado coloca-se uma lata de cerveja na temperatura 22,5°C e uma certa massa de gelo a 0°C. Deseja-se saborear a cerveja na temperatura 0°C. Dados: o calor específico do alumínio é igual a 0,20 cal/g°C; o calor específico da cerveja é igual a 1,01 cal/g°C; a densidade da cerveja é igual 1,02 g/cm^3; o calor latente de fusão do gelo é igual a 80 cal/g
Determine:
a. a massa de cerveja;

b. o calor cedido pela cerveja;

c. o calor cedido pela lata;

d. a massa de gelo necessária para o esfriamento.

13) Um recipiente de 20 litros contém oxigênio a uma pressão de 0,1 atm, na temperatura de 27°C. Um outro recipiente idêntico contém nitrogênio na pressão de 0,2 atm, na temperatura de 27°C. Os dois recipientes são ligados mediante conexão de volume desprezível, e então atinge-se uma mistura homogênea.
a. Determine a pressão da mistura.

b. Determine a pressão parcial de cada elemento da mistura. Dado: R = 8,3 J/mol.K = $8{,}2 \times 10^{-2}$ atm.L/mol.K = 1,99 cal/mol.K.

14) Com uma lente delgada projeta-se numa tela situada a 100 cm da lente a imagem de uma vela de 5,0 cm de altura, colocada a 10 cm da lente. Determine:
a. a distância focal da lente;

b. a ampliação e a altura da imagem.

15) Um objeto de 6,0 cm de altura é colocado perpendicularmente ao eixo principal de uma lente divergente de distância focal –150 cm. A distância entre o objeto e a lente é igual a 300 cm. Determine:
a. a posição da imagem;

b. a altura da imagem e a ampliação.

16) Uma lente convergente fornece de um objeto uma imagem quatro vezes maior. A imagem está projetada sobre uma tela situada a 2,0 m do objeto.
a. Determine a posição da imagem.

b. Determine uma outra posição para a lente, onde a imagem do objeto é nítida.

17) Uma onda harmônica é gerada na extremidade de uma corda horizontal por meio de oscilações verticais. O movimento oscilatório é contínuo e repetido regularmente 125 vezes por segundo. A densidade linear e a força aplicada à corda são, respectivamente, 0,25 kg/m e 90 N. Determine: a velocidade, o período e o comprimento da onda.

18) Um barco de brinquedo flutua na água ($\rho_{água} = 1{,}0$ g/cm^3). O peso da água deslocada é igual a 35 N. A seguir, o barco flutua no álcool ($\rho_{álcool} = 0{,}79$ g/cm^3).
a. Determine o peso do álcool deslocado.

b. O volume do álcool deslocado é maior, menor ou igual ao da água deslocada? Justifique.

19) Uma película de óleo (n = 1,45) flutua sobre a água (n = 1,33). Um raio de luz atinge o óleo com um ângulo de incidência de 40°. Determine o ângulo de refração com a água. Considere o índice de refração do ar $n_{ar} = 1$.

20) Uma lâmpada no fundo de uma piscina de 1,0 m de profundidade, emite raios em todas as direções. Uma área circular de luz é formada na superfície da água (n = 1,33). Determine o raio R da área circular de luz.

21) Em quais posições de um objeto, uma lente convergente, de distância focal 7,5 cm, forma imagens em uma tela localizada a 40 cm do objeto?

22) Uma lente, de distância focal f projeta sobre uma tela a imagem de um objeto aumentada M vezes. Mostre que a distância da lente a tela é igual ao produto f(M + 1).

23) Um forno a micro-ondas tem potência igual a $1{,}0 \times 10^3$ W. Determine o intervalo de tempo necessário para aumentar a temperatura de um litro de água de 15°C. Dados: $\rho_{água} = 1{,}0\ g/cm^3$; $c_{água} = 1{,}0$ cal/g°C; 1 cal = 4,18 J; 1 ml(água) = 1 g.

24) Uma mistura gasosa é composta de oxigênio (O_2) e nitrogênio (N_2). As densidades são respectivamente iguais a 1,28 kg/m³ e 1,68 kg/m³, e, a temperatura é igual a 273 K. Determine:
a. as pressões parciais;

b. as percentagens dos componentes da mistura.
Dados: molécula-grama $M(O_2)$ = 32 g; $M(N_2)$ = 28 g; R = 8,3 J/mol.K

25) Um sistema isolado é composto por dois corpos (A e B). As temperaturas dos corpos são diferentes. Qual o valor do calor do sistema? (Justifique).

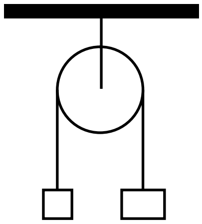
26) Uma força aplicada a um objeto de massa 5,0 kg de massa tem componentes F_x = 20 N e F_y = 30 N. Determine o módulo da aceleração do objeto.

27) Um bloco de peso $2{,}0 \times 10^2$ N está subindo um plano inclinado de 30° e com velocidade constante. A força que puxa o bloco é paralela ao plano. Considere os atritos desprezíveis. Sendo assim, o valor da força que puxa o bloco é igual a:

(A) 50 N
(B) 75 N
(C) $1{,}0 \times 10^2$ N
(D) $1{,}3 \times 10^2$ N
(E) $1{,}5 \times 10^2$ N

28) O sistema representado a seguir chama-se Máquina de Atwood. Consiste em dois corpos presos por uma corda que passa sobre uma roldana. As massas dos corpos são iguais a 7,0 kg e 9,0 kg. Considere os atritos desprezíveis e a aceleração da gravidade local igual a 10 m/s². Neste caso, o valor da aceleração do movimento dos corpos é aproximadamente igual a:

(A) 10 m/s²
(B) 9,8 m/s²
(C) 1,0 m/s²
(D) 1,3 m/s²
(E) 1,5 m/s²



29) Um carrinho de massa 0,20 kg, inicialmente em repouso, desloca-se em uma pista, puxado por uma força de intensidade 1,5 N. A pista e a força são horizontais e alinhadas. Supondo os atritos desprezíveis, a velocidade do carrinho depois de deslocar-se 30 cm é aproximadamente igual a:

(A) 2,1 m/s
(B) 4,5 m/s
(C) 6,7 m/s
(D) 7,5 m/s
(E) 8,5 m/s

30) Um automóvel de massa $9{,}0 \times 10^2$ kg percorre uma estrada horizontal. A seguir, ele é freado e passa a deslizar até parar. O coeficiente de atrito cinemático entre o carro e o asfalto é 0,80. Considere constante a aceleração aplicada ao carro a partir do instante que ele passa a deslizar, e, a aceleração da gravidade local igual a 10 m/s². Sob estas condições, a aceleração aplicada ao carro, a partir do instante que ele passa a deslizar é igual a:

(A) 4,0 m/s²
(B) 9,0 m/s²
(C) 1,0 m/s²
(D) 7,5 m/s²
(E) 8,0 m/s²

31) Uma bola de massa 1,0 kg e velocidade (+12) m/s, colide frontalmente com uma bola de massa 2,0 kg com velocidade (–24) m/s. A colisão é perfeitamente elástica. A velocidade de cada bola, imediatamente após a colisão é igual a:

(A) (+4,0) m/s e (–2,0) m/s
(B) (–36) m/s e zero
(C) (+1,0) m/s e (+48) m/s
(D) (–7,5) m/s e (+30) m/s
(E) (+8,0) m/s e (-16) m/s

32) Uma mola está presa por uma de suas extremidades ao teto de uma sala. A outra extremidade sustenta um bloco de 50g de massa. A cada 21g que são adicionados à extremidade da mola, ela distende-se 7,0 cm. Considere a aceleração da gravidade local igual a 10 m/s². É correto afirmar que a constante elástica da mola é igual a:

(A) 3,0 N/m
(B) 21 N/m
(C) 6,0 N/m
(D) 7,0 N/m
(E) 1,5 N/m

33) Uma corda horizontal está presa pelas extremidades às paredes de uma sala. A seguir, pendura-se um corpo de 50 N no meio da corda. Então, as duas metades passam a formar entre si um ângulo de 120°. Pode-se afirmar corretamente que a tração na corda vale:

(A) 25 N
(B) 98 N
(C) 49 N
(D) 13 N
(E) 50 N

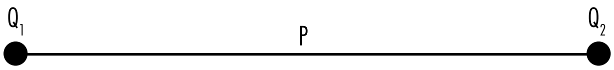
34) Três cargas elétricas $Q_1 = +20$ C, $Q_2 = -20$ C e $Q_3 = -40$ C são colocadas nos vértices de um triângulo equilátero de 10 cm de lado. As cargas encontram-se no vácuo. Sabendo-se que a constante eletrostática do vácuo é igual a $9{,}0 \times 10^9$ Nm^2/C^2, a intensidade da força elétrica resultante na carga Q_3 vale:

(A) $1{,}2 \times 10^{14}$ C^2/m^2
(B) $4{,}0 \times 10^{14}$ C^2/m^2
(C) $7{,}2 \times 10^{14}$ C^2/m^2
(D) $1{,}6 \times 10^{14}$ C^2/m^2
(E) $6{,}4 \times 10^{14}$ C^2/m^2

35) O núcleo do hélio tem carga +2e, o núcleo do neônio tem carga +10e. Suponha-as no vácuo. A força de repulsão entre estes dois núcleos, quando a distância entre eles é 3,0 nm vale aproximadamente: (Dados: $e = 1{,}6 \times 10^{-19}$C; 1 nm = 10^{-9} m; constante eletrostática do vácuo = $9{,}0 \times 10^9$ Nm2/C^2).

(A) $3{,}2 \times 10^{-10}$ N
(B) $5{,}1 \times 10^{-10}$ N
(C) $6{,}4 \times 10^{-10}$ N
(D) $1{,}6 \times 10^{-10}$ N
(E) $2{,}5 \times 10^{-10}$ N

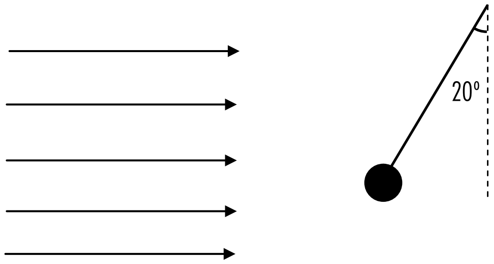
36) Duas cargas elétricas $Q_1 = +20 \times 10^{-8}$ C, $Q_2 = -5{,}0 \times 10^{-8}$ C são colocadas nas extremidades de uma haste de borracha com 10 cm de comprimento. Veja figura a seguir. A intensidade do campo elétrico no ponto médio P é de:



(Dado: constante eletrostática do meio = $9{,}0 \times 10^9$ Nm^2/C^2).

(A) $2{,}5 \times 10^5$ N/C
(B) $6{,}0 \times 10^5$ N/C
(C) $3{,}0 \times 10^5$ N/C
(D) $9{,}0 \times 10^5$ N/C
(E) $5{,}0 \times 10^5$ N/C

37) Na figura a seguir, a bolinha na extremidade do fio tem massa igual a 0,60 g e está em equilíbrio em um campo elétrico horizontal de intensidade $7{,}0 \times 10^2$ N/C. Podemos afirmar corretamente: o módulo e o sinal da carga elétrica da bolinha são iguais a: Dados: aceleração da gravidade = 10 m/s^2; sen(20°) = 0,34; cos(20°) = 0,94.

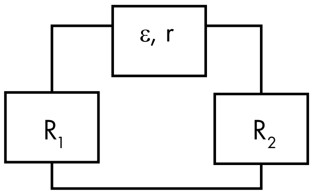


(A) $+3{,}1 \times 10^{-6}$ C
(B) $-3{,}1 \times 10^{-6}$ C
(C) $+6{,}2 \times 10^{-6}$ C
(D) $-6{,}0 \times 10^{-6}$ C
(E) $-5{,}0 \times 10^{5}$ C

38) Três cargas elétricas pontuais são colocadas sobre o eixo x de um sistema de eixos cartesianos. Os valores e as posições das cargas são: $Q_1 = +2{,}0 \times 10^{-6}$ C em $x_1 = +20$ cm, $Q_2 = -3{,}0 \times 10^{-6}$ C em $x_2 = +30$ cm e $Q_3 = -4{,}0 \times 10^{-6}$ C em $x_3 = +40$ cm. As cargas estão imersas em um meio onde a constante eletrostática é igual a $9{,}0 \times 10^9$ Nm^2/C^2. O potencial elétrico na origem (x = 0) vale:

(A) $+90 \times 10^3$ V
(B) $-9{,}0 \times 10^3$ V
(C) $+9{,}0 \times 10^3$ V
(D) -90×10^3 V
(E) -90×10^6 V

39) O circuito elétrico representado na figura a seguir é composto de uma bateria (ε, r) e dois resistores, R_1 e R_2.



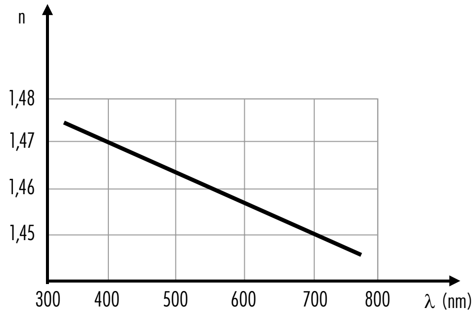
Os valores dos elementos do circuito são: ε = 18 V, r = 1,0 Ω, R_1 = 12 Ω e R_2 = 5,0 Ω. Pode-se afirmar corretamente que a corrente no circuito, a ddp em cada resistor e a ddp nos terminais da bateria são, respectivamente, iguais a:

(A) 1,0 A, 12 V, 5,0 V e 17 V
(B) 1,0 A, 12 V, 2,5 V e 18 V
(C) 2,0 A, 6,0 V, 7,5 V e 18 V
(D) 1,5 A, 9,0 V, 5,0 V e 18 V
(E) 1,0 A, 10 V, 12 V e 18 V

40) Vários resistores de 40 Ω devem ser ligados de tal maneira que uma corrente de 15 A passe pela associação quando esta é ligada em uma fonte de 120 V. É correto afirmar que:

(A) cinco resistores devem ser ligados em série;
(B) quatro resistores devem ser ligados em paralelo;
(C) cinco resistores devem ser ligados em paralelo;
(D) quatro resistores devem ser ligados em série;
(E) seis resistores devem ser ligados em paralelo.

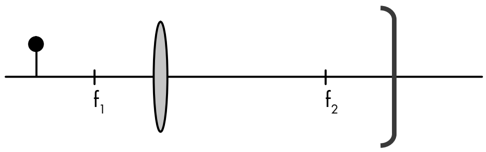
41) A figura a seguir mostra o índice de refração n em função do comprimento de onda λ, para um meio transparente à luz.



Para a luz violeta e para a luz vermelha os valores dos índices de refração são, respectivamente:

(A) 1,45 e 1,47
(B) 1,46 e 1,47
(C) 1,47 e 1,46
(D) 1,48 e 1,44
(E) 1,47 e 1,45

42) Um sistema óptico é composto de uma lente convergente e um espelho côncavo, como representado na figura a seguir. A distância focal da lente é f_1, e a distância focal do espelho é f_2. A distância entre a lente e o espelho é $2(f_1 + f_2)$. Um objeto está a $2f_1$ da lente. Um observador olhando para o espelho através da lente, afirma corretamente:

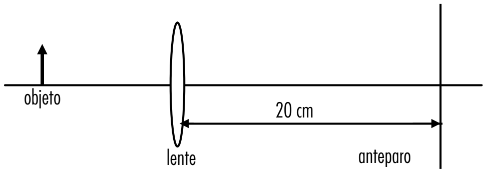


(A) A imagem final é real, invertida, tem a mesma posição do objeto e ampliação 1;
(B) A imagem final é real, invertida, tem a mesma posição do objeto e ampliação 2;
(C) A imagem final é virtual, direita, tem a mesma posição do objeto e ampliação 0,5;
(D) A imagem final é real, direita, tem a mesma posição do objeto e ampliação 1;
(E) A imagem final é real, direita, tem a mesma posição do objeto e ampliação 2;

43) Um objeto de altura h está posicionado perpendicularmente ao eixo principal de um espelho esférico, a 16 cm de seu vértice. A imagem obtida é direita e tem altura h/5. É correto afirmar: este espelho é:

(A) côncavo, de distância focal 4,0 cm;
(B) côncavo, de distância focal 2,7 cm;
(C) convexo, de distância focal 4,0 cm;
(D) convexo, de distância focal 5,0 cm;
(E) convexo, de distância focal –4,0 cm.

44) A figura a seguir mostra um objeto, uma lente convergente e um anteparo. A distância entre a lente e o anteparo é igual a 20 cm. A imagem formada sobre o anteparo é invertida e tem o mesmo tamanho do objeto. A distância focal da lente em centímetros é igual a:



(A) 15 cm;
(B) 7,5 cm;
(C) 10 cm;
(D) 5,0 cm;
(E) 20 cm.

45) Uma lente convergente de distância focal 7,5 cm forma imagens nítidas de um objeto luminoso em uma tela localizada a 40 cm do objeto. As duas posições possíveis para a distância entre o objeto e a lente são:

(A) 11 cm e 29 cm;
(B) 10 cm e 30 cm;
(C) 15 cm e 25 cm;
(D) 12 cm e 28 cm;
(E) 20 cm e 20 cm.

46) Um recipiente com 20,0 g de vapor d'água na temperatura 1,00 x 102° C é colocado em um ambiente onde a temperatura é igual a 20,0° C. O calor cedido ao ambiente é igual a: (Dados: LF = 540 cal/g; c = 1,00 cal/goC)

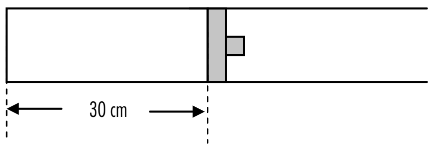
(A) $1{,}24 \times 10^3$ cal;
(B) $9{,}20 \times 10^3$ cal;
(C) $1{,}08 \times 10^4$ cal;
(D) $1{,}24 \times 10^4$ cal ;
(E) $1{,}60 \times 10^3$ cal.

47) Um cubo de gelo de massa 1,0 g e temperatura 0° C transforma-se em água a 0° C. Despreze a pequena variação de volume. É correto afirmar:

(A) a energia interna permaneceu constante;
(B) a energia interna diminuiu;

(C) a energia interna aumentou de 540 cal;
(D) a energia interna diminui de 80 cal;
(E) a energia interna aumentou de 80 cal.

48) Em um laboratório didático há um cilindro com êmbolo móvel contendo gás ideal. Quando a temperatura é 27° C, o êmbolo encontra-se a 30 cm de distância do fundo do cilindro (veja a figura a seguir). Quando a temperatura for igual a 147° C esta distância será igual a:
(Considere o atrito desprezível e a área da base do cilindro igual 1,0 cm^2).



(A) 40 cm;
(B) 42 cm;
(C) 41 cm;
(D) 37 cm;
(E) 25 cm.

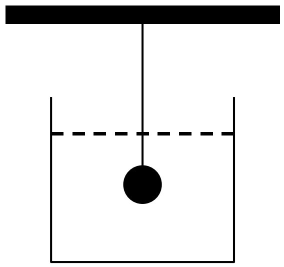
49) Um recipiente adiabático é dividido em duas partes por meio de uma parede. No compartimento da direita há um mol de um gás ideal. No compartimento da esquerda o volume é Z vezes maior do que o da direita e nele também há um mol de um outro gás ideal sob pressão P. O sistema está em equilíbrio térmico. Um furo é feito na parede de separação. Após um certo intervalo de tempo a mistura de gases é homogênea. A pressão final da mistura é:

(A) ZP/(Z+1);
(B) (Z+1)/2ZP;
(C) (Z+1)/ZP;
(D) 2ZP/(Z+1);
(E) 2ZP/Z.

50) Quando um submarino desce a uma profundidade de $1,0 \times 10^2$ m, a sua superfície externa fica sujeita a uma pressão total igual a:
Dados: pressão atmosférica $1,0 \times 10^5$ N/m^2; aceleração da gravidade 10 m/s^2; densidade da água do mar $1,0^3$ g/cm^3.

(A) $1,13 \times 10^6$ N/m^2;
(B) $2,13 \times 10^5$ N/m^2;
(C) $1,13 \times 10^4$ N/m^2;
(D) $3,13 \times 10^3$ N/m^2;
(E) $1,13 \times 10^5$ N/m^2.

51) A figura a seguir mostra uma esfera de massa 25 g em equilíbrio, totalmente imersa na água e presa ao teto por meio de um fio. O valor da tração no fio é igual a:
(Dados: aceleração da gravidade 10 m/s^2; densidade do material da esfera 2,5 g/cm^3; densidade da água 1,0 g/cm^3.)



(A) $2,5 \times 10^{-1}$ N;
(B) $3,5 \times 10^{-1}$ N;
(C) $1,5 \times 10^{-1}$ N;
(D) $3,0 \times 10^{-1}$ N;
(E) $1,3 \times 10^{-1}$ N.

52) Um bote navega com uma velocidade de 8,0 km/h nas águas paradas de um lago. Nas águas correntes de um rio, ele navega a 8,0 km/h em relação às águas do rio. Se a velocidade da correnteza é 3,0 km/h, qual é a velocidade do bote em relação a um observador em repouso na margem do rio, quando ele navega:
a. rio acima?

b. rio abaixo?

53) Uma caixa de massa 70 kg é arrastada pelo assoalho, por meio de uma força horizontal de intensidade 400 N. O coeficiente de atrito cinemático entre a caixa e o assoalho é 0,50. Determine a aceleração da caixa.

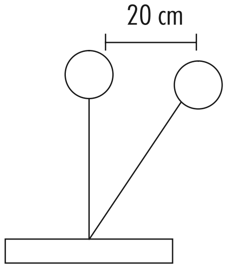
54) Um corpo de massa 3,0 kg é levantado verticalmente 40 cm em movimento uniforme. Determine o trabalho realizado pelo peso.

55) Uma bala de 8,0 g é disparada horizontalmente contra um bloco de madeira de 9,0 kg, e, se encrava nele. O bloco, que pode se mover livremente adquire uma velocidade de 40 cm/s imediatamente após do impacto. Determine a velocidade inicial da bala.

56) O núcleo de um certo átomo tem massa $3,8 \times 10^{-25}$ kg e está em repouso. O núcleo é radioativo e, repentinamente, emite uma partícula de massa $6,6 \times 10^{-27}$ kg e velocidade $1,50 \times 10^7$ m/s. Determine a velocidade de recuo do núcleo.

57) Duas bolas idênticas colidem frontalmente. As velocidades das bolas, imediatamente antes da colisão são + 0,75 m/s e – 43 m/s. A colisão é perfeitamente elástica. Determine a velocidade de cada bola, imediatamente após a colisão.

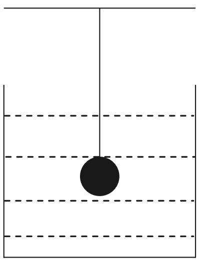
58) Uma lâmina de aço tem uma das extremidades presa a uma superfície horizontal. Na outra extremidade há uma bola de 2,0 kg. Veja a figura a seguir. Uma força de 8,0 N é necessária para deslocar a bola 20 cm na horizontal. Quando a bola é solta ela executa um MHS. Determine:



a. a constante elástica da lâmina;

b. o período de vibração da bola.

59) A figura a seguir mostra uma esfera de massa 86 g em equilíbrio, totalmente imersa na água, e presa ao teto por meio de um fio. O valor da tração no fio é igual a 0,73 N. Determine:
(Dados: aceleração da gravidade 10 m/s^2; densidade da água 1,0 g/cm^3)



a. o volume da esfera;

b. a densidade da esfera.

60) Em um copo com água, coloca-se um cubo de gelo. Determine o percentual do volume do cubo de gelo que ficará acima da superfície da água. Dados: densidade da água 1,0 g/cm^3; densidade do gelo 0,92 g/cm^3.

61) Uma gotícula de mercúrio tem raio de 0,50 mm. Determine o número de átomos de mercúrio existente na gotícula.
Dados: molécula-grama do Hg = 201 g; densidade do Hg = 13,6 g/cm^3

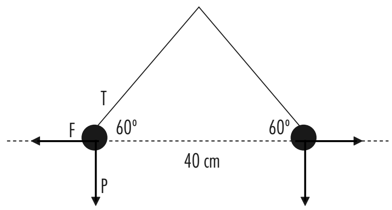
62. Uma garrafa térmica contém 250 g de café a 90 °C. Adiciona-se ao café 20g de leite a 5,0 °C. Determine a temperatura final da mistura. Considere as perdas desprezíveis. Dados: considere o calor específico do café e do leite, ambos iguais a 1,0 cal/g°C.

63) Em um recipiente adiabático, 150g de gelo a 0,0°C é misturado a 300g de água a 50°C. Determine a temperatura final.
Dados: L_F = 80 cal/g; c = 1,0 cal/g°C.

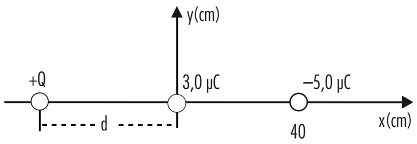
64) Considere um átomo de hidrogênio. Um elétron, carga (– e), em órbita circular em torno de um próton, carga (+ e). O raio da órbita é 5,3 x 10^{11}m.
Dado: carga do próton 1,6 x 10^{-19} C; massa do elétron 9,1 x 10^{-31} kg; constante eletrostática do vácuo 9,0 x 10^9 Nm^2/C^2. Determine:
a. a força centrípeta;

b. a velocidade do elétron.

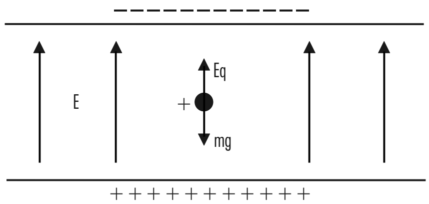
65) Duas bolas idênticas, com carga elétrica idêntica, cada uma com massa 0,10g, estão suspensas por dois fios isolantes de comprimentos iguais. O sistema está em equilíbrio e se posiciona como mostra a figura a seguir. Determine o valor da carga em cada bola. A constante eletrostática do meio é 9,0 x 10^9 Nm^2/C^2.



66) Duas cargas elétricas, q_1 = 3,0 μC e q_2 = –5,0 μC, estão sobre o eixo x, nas posições x_1 = 0 e x_2 = 40 cm. Determine a posição d sobre o eixo x, onde devemos colocar uma terceira carga (+Q), de maneira que a força elétrica sobre ela seja zero. Veja a figura a seguir. Dado: 1μ = 10^{-6}.

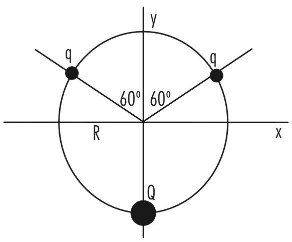


67) Uma partícula de massa $4{,}0 \times 10^{-13}$ kg e carga elétrica de $+ 2{,}4 \times 10^{-18}$ C permanece em repouso entre as placas de um capacitor. A distância entre as placas é 2,0 cm. Determine a diferença de potencial entre as placas do capacitor. Veja a figura a seguir.



68) Um gerador de corrente contínua tem uma fem de 120 V. Isto é, sua voltagem é 120 V quando não há corrente elétrica circulando. Quando uma corrente de 20 A circula, o potencial nos terminais do gerador é 115 V.
a) Determine a resistência interna do gerador.

69) Três cargas elétricas pontuais positivas estão dispostas em posição fixas sobre uma circunferência de raio R, como mostra a figura a seguir. Determine a razão Q/q, que torna o campo elétrico nulo no centro da circunferência.



70) O circuito elétrico representado na figura é composto por uma bateria, um reostato (resistor de resistência variável) e um amperímetro. Para diferentes valores da resistência do reostato, os valores medidos para a diferença de potencial v nos terminais da bateria e para a corrente i no circuito estão indicados na tabela.

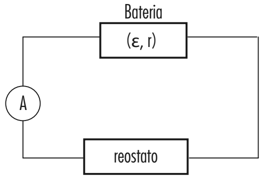


Tabela	
v(Volts)	i(A)
6,0	0,0
4,0	0,4
2,0	0,8

O valor correto da resistência interna da bateria em Ω é igual a:

(A) 2,5 Ω;
(B) 1,5 Ω;
(C) 3,0 Ω;
(D) 5,0 Ω;
(E) 4,0 Ω.

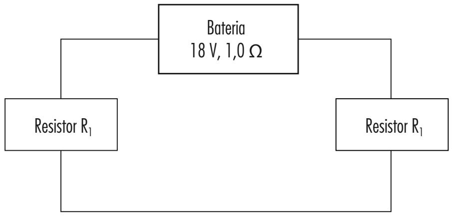
71) Em um sistema isolado há dois corpos: A e B. A temperatura do corpo A é TA e a temperatura do corpo B é TB, (TA > TB). Assinale a afirmação correta:

(A) O calor do corpo A está aumentando.
(B) O calor do corpo B está diminuindo.
(C) O calor do sistema é constante e igual a zero.
(D) O calor do sistema é constante e diferente de zero.
(E) O fluxo de calor se dá de B para A.

72) Um forno elétrico de 8,0 Ω de resistência é percorrido por uma corrente elétrica de 15 A. Determine:
a. a potência do forno;

b. o custo de sua operação mensal, um total de 4,0 h. Considere a tarifa da energia elétrica R$ 0,50/kWh.

73) O circuito representado a seguir é composto de uma bateria (18 V; 1,0 Ω) ligada a dois resistores R1 = 12Ω e R2 = 5,0 Ω.



Determine:

a. a corrente no circuito;

b. a ddp em cada resistor;

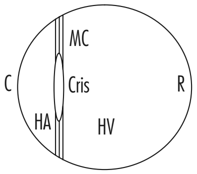
c. a ddp nos terminais da bateria.

74) O circuito elétrico de uma casa opera em 120 V e tem três lâmpadas acesas, com as seguintes potências: 40 W, 60 W e 75 W. Determine a resistência equivalente. Dado: os circuitos domésticos são construídos de maneira que os aparelhos são ligados em paralelo.

75) A imagem de um objeto de altura h formada por uma lente é real, invertida e de altura 2h. A distância entre o objeto e a imagem é igual a 60 cm. Determine: a) a distância entre a imagem e a lente; a distância focal da lente.

76) A imagem de um objeto de altura h formada por uma lente é real, invertida e de altura h/2. A distância entre o objeto e a imagem é igual a 40 cm. Determine: a) a distância entre a imagem e a lente; a distância focal da lente.

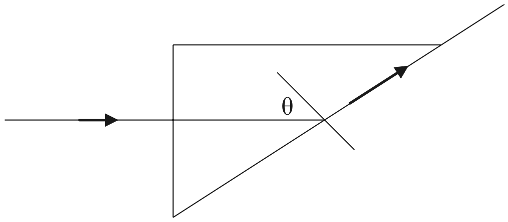
77) A figura a seguir mostra a estrutura básica do olho humano. A luz se refrata inicialmente na córnea (C), e a seguir penetra no olho. O cristalino (Cris) é uma lente convergente flexível, cujo raio de curvatura pode variar através da compressão dos músculos ciliares (MC). Assim, pode-se focalizar objetos desde o infinito até um ponto chamado próximo (posição mais próxima do olho capaz de nos permitir visão nítida). Quando se observa um objeto no infinito, os músculos ciliares estão relaxados. Isto é, a compressão sobre o cristalino é nula. Consequentemente, observação no ponto próximo, dá a maior compressão sobre o cristalino. É desta forma que o olho humano faz o ajuste de focalização.



C: córnea; HA: humor aquoso; MC: músculos ciliares; Cris: cristalino; HV: humor vítreo; R: retina.

Os músculos ciliares ao comprimirem o cristalino, aumentam ou diminuem o seu raio de curvatura? (Justifique).

78) A figura a seguir mostra um prisma triangular de vidro imerso no ar. Veja a figura a seguir. Um feixe luminoso que incide perpendicularmente a uma das faces emerge rasante. Determine o índice de refração do vidro. Dados: considere o índice de refração do ar igual 1; $\theta = 45°$.



79) Um espelho esférico convexo tem raio de curvatura igual a 22 cm. Um objeto colocado a 14 cm do espelho. Determine:

a. a posição da imagem;

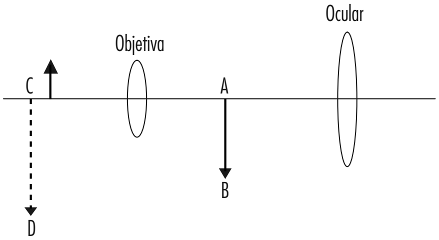
b. a ampliação linear lateral.

80) Uma certa pessoa míope não vê nitidamente objetos além de 80 cm. Determine o tipo e a distância focal das lentes dos óculos que farão esta pessoa ver nitidamente objetos distantes.

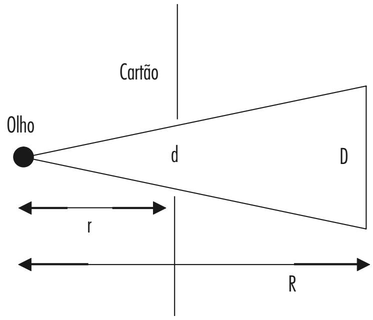
81) Uma certa pessoa hipermétrope não vê nitidamente objetos mais próximos do que 80 cm. Determine o tipo e a distância focal das lentes dos óculos que farão esta pessoa ler uma revista a uma distância de 25 cm.

82) Na figura a seguir está representado o esboço de um microscópio. A objetiva e a ocular têm distâncias focais de 0,80 cm e 2,5 cm, respectivamente. A imagem real AB está a 16 cm da objetiva, a imagem virtual CD está a 25 cm da ocular.

a. Determine a ampliação linear total do microscópio.



83) Um estudante que conhece a distância entre a Terra e a Lua (R = 3,84 x 105 km) decidiu medir o diâmetro da Lua. Assim, durante a lua cheia, pegou um cartão contendo um orifício circular com diâmetro d = 0,50 cm, fechou o olho esquerdo, e afastou o cartão do rosto até ver a Lua preencher perfeitamente o orifício. A seguir, um colega mediu a distância entre o cartão e o olho direito. A medida foi r = 54 cm. Veja a figura a seguir. Determine o valor encontrado para o diâmetro D da Lua. (Justifique).

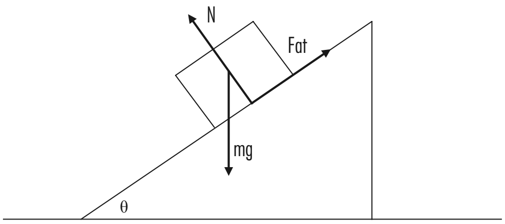


84) Os mares e os oceanos cobrem 70,8% da superfície da Terra, e sua profundidade média é 3,0 km. Estime o número de moléculas de água contido nos mares e oceanos. Dados: raio da Terra = 6,37 x 10^3 km; densidade da água = 1,0 g/cm^3; massa de uma molécula de água = 3,0 x 10^{-26} kg.

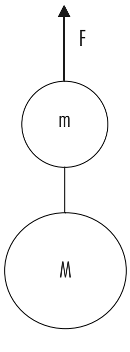
85) Uma caixa com massa 10 kg apoia-se em um piso horizontal. O coeficiente de atrito estático máximo entre a caixa e o piso é igual a 0,65. Determine a força horizontal máxima que se pode aplicar na caixa sem que esta se mova.

86) Uma caixa com massa 10 kg apoia-se em um piso horizontal. O coeficiente de atrito estático máximo entre a caixa e o piso é igual a 0,65. Considere uma força inclinada de 27° com a horizontal aplicada na caixa. Determine o valor máximo da força capaz de manter a caixa em repouso.

87) Um bloco permanece em repouso apoiado sobre um plano inclinado de um ângulo θ. Veja a figura a seguir. O coeficiente de atrito estático máximo entre o bloco e o plano inclinado é μ_e. Determine o ângulo máximo de inclinação do plano tal que o bloco permaneça em repouso.



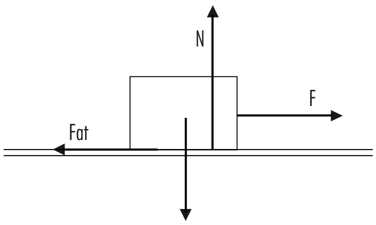
88) Duas esferas ligadas por um fio são puxadas verticalmente para cima, por meio de uma força F, como mostra a figura a seguir. As massas das esferas são m e M. Determine:



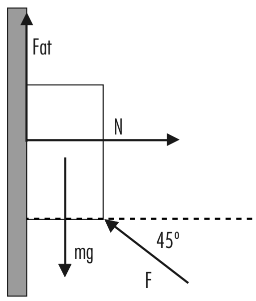
a. a aceleração do movimento;

b. a tensão no fio que une as esferas.

89) Uma caixa com massa m está sobre uma esteira horizontal. Veja a figura a seguir. O coeficiente de atrito estático máximo entre a caixa e a esteira vale μ_e. Determine a aceleração horizontal máxima que a esteira poderá ter sem que a caixa deslize.



90) Determine a intensidade mínima da força inclinada F aplicada ao bloco, capaz de evitar que ele deslize para baixo. Veja a figura a seguir. Dados: a inclinação da força F é 45°; o coeficiente de atrito estático máximo entre o bloco e a parede é μ_e.



91) Um bloco de massa igual a 2,0 kg, movendo-se horizontalmente com velocidade de 4,0 m/s, atinge uma mola horizontal de constante elástica 800 N/m. Determine:

a. a compressão máxima $x_{máx}$ da mola;

b. a velocidade do bloco quando a compressão da mola for $x_{máx}/2$.

92) Uma arma dispara um projétil de massa 230 g, que sai do cano com uma velocidade de 75 m/s. Determine a energia interna liberada nas reações químicas do explosivo. Dado: 90% da energia liberada nas reações químicas do explosivo são aproveitadas pelo projétil.

93) Uma bola de massa m é lançada verticalmente para cima com velocidade v_0. Então, ela sobe, atinge a altura máxima e, retorna ao ponto de partida. Determine:

a. a variação do momento linear na subida.

b. a variação do momento linear na descida.

c. a variação total do momento linear. Despreze a ação dos atritos.

94) Um canhão, juntamente com sua plataforma sobre rodas, tem massa $M = 1,0 \times 10^2$ kg. O canhão atira, horizontalmente, uma bala de massa $m = 1,0$ kg com velocidade $v = 2,97 \times 10^1$ m/s. Determine, imediatamente após o tiro,

a. o valor da velocidade V de recuo do canhão.

b. o valor da velocidade vr da bala em relação ao canhão.

95) O foguete da NASA, Saturno V, tem um empuxo de $3,3 \times 10^7$ N e uma massa inicial de $2,8 \times 10^6$ kg. Imediatamente após ejetar o primeiro estágio, sua massa é $8,1 \times 10^5$ kg.

a. Determine a aceleração inicial do foguete;

b. Determine a aceleração do foguete, imediatamente após ejetar o primeiro estágio.

96) Uma bola A com massa $1,0 \times 10^2$ g é lançada com uma velocidade de 5,0 m/s contra uma bola B de massa $2,5 \times 10^2$ g, inicialmente em repouso. A colisão é frontal, e imediatamente após a colisão, a velocidade da bola B é de 1,6 m/s na mesma direção e no mesmo sentido do movimento inicial da bola A.

a. Determine a velocidade da bola A imediatamente após a colisão.

b. Qual é o tipo da colisão? (Justifique)

97) Uma bola com massa 200 g, e velocidade de 20 m/s, colide frontalmente com outra bola de massa 400 g, em repouso. Na colisão o sistema perde metade da energia cinética. Determine as velocidades das bolas imediatamente após a colisão.

98) Uma bola de massa m e velocidade v colide frontalmente com uma bola em repouso, cuja massa é 2m. Imediatamente após a colisão, a primeira bola recua com velocidade $-v/3$.

a. Determine a velocidade final da segunda bola.

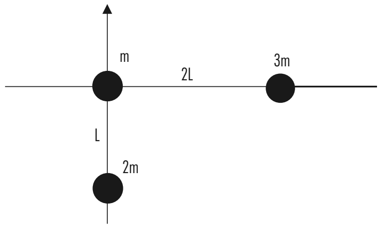
b. A colisão é perfeitamente elástica? (Justifique)

99) Uma bola de massa $m_A = 200$ g e velocidade de $v_A = 10$ m/s colide frontalmente com uma bola em repouso de massa $m_B = 300$ g. Determine a perda de energia, se durante a colisão:

a. as bolas se juntam formando um único corpo;

b. a primeira bola para e lança a segunda para a frente.

100) Um sistema é composto por três corpos. A massa de cada um deles é m, 2m e 3m, veja a figura abaixo. Determine as componentes da força gravitacional sobre a esfera de massa m.



101) Um satélite artificial de massa 200 kg está em repouso na plataforma de lançamento. A seguir é lançado e quando atinge a altitude de 600 km entra em órbita. Determine a variação da energia potencial gravitacional.
Dado: G = 6,67 x 10^{11} Nm^2/kg^2; massa da Terra = 5,97 x 10^{24} kg; raio da Terra = 6,37 x 10^6 m; a energia potencial gravitacional entre dois corpos de massas m_1 e m_2, separados pela distância r é $Ep = -Gm_1m_2/r$

102) O sol está a uma distância de 2,5 x 10^{20} m do centro da galáxia (Via-Láctea), e, gira em torno do centro da galáxia com uma velocidade de 220 km/s. Estime a massa da galáxia. Considere toda massa da galáxia localizada em seu centro. Dado: G = 6,7 x 10^{-11}Nm2/kg^{-2}.

103) O cometa Halley tem período de 76 anos. Determine o valor do raio da sua órbita. Considere sua órbita circular de raio r. Dado: T^2/r^3 = 3,0 x 10^{-25} ano^2/km^3.

104) O valor da pressão atmosférica ao nível do mar é igual a 1,01 x 10^5 N/m^2. Estime o valor da massa da atmosfera terrestre. Dado: o raio da Terra é 6,37 x 10^6 m.

105) O volume de uma canoa, incluindo o volume interno, é igual a 0,90 m^3. Sua massa é de 80 kg. Determine:
a. o volume da água deslocada se a canoa vazia flutua em um lago;

b. a carga máxima que se pode colocar na canoa sem que ela afunde.

106) Um oscilador harmônico é formado por um bloco de massa 0,20 kg e uma mola de constante elástica 0,15 N/cm. O oscilador movimenta-se sem atrito sobre uma superfície horizontal, e com amplitude máxima de 10 cm. Determine:
a. a energia mecânica do oscilador;

b. a velocidade máxima do bloco;

c. a aceleração máxima do bloco.

107) Determine o volume ocupado por um gás ideal, sob pressão de 1,0 atm e na temperatura de 20°C. Dados: 1,0 atm = 1,013 x 10^5 N/m^2; R = 8,31 J/K

108) Um gás ideal está na temperatura de 20° C e sob pressão atmosférica. A seguir, o gás é aquecido até atingir a temperatura de 80° C, e seu volume é reduzido em 30%. Determine a pressão final do gás. Dado: pressão atmosférica é igual a 1,013 x 10^5 N/m^2.

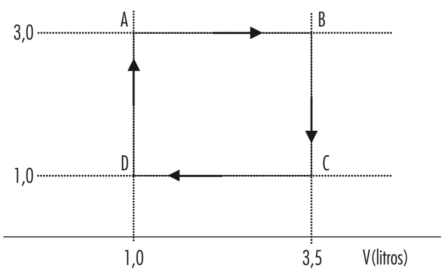
109) Um copo com capacidade de 180 mℓ está cheio de água na temperatura de 20° C. Determine a quantidade de calor que deverá ser cedida à água para colocá-la na temperatura de 90° C. Dados: a densidade da água é 1,0 g/mℓ; o calor específico da água é 1,0 cal/g° C.

110) Um bloco de cobre com massa de 3,0 kg, inicialmente na temperatura de 90°C é colocado em um recipiente contendo 1,0 litro de água na temperatura de 20° C. Determine a temperatura final dentro do recipiente. Considere o recipiente adiabático.
Dados: o calor específico da água é igual 4,18 kJ/kg° C; o calor específico do cobre é igual a 0,385 kJ/kg° C; a densidade da água é igual a 1,0 kg/litro.

111) Uma garrafa de vidro com capacidade de um litro está completamente cheia de álcool, inicialmente na temperatura de 0° C. A seguir, leva-se a garrafa para um ambiente onde a temperatura é igual a 30° C. Determine o volume de álcool que irá transbordar. Dados: coeficiente de dilatação volumétrica do vidro 0,27 x 10^{-4} K^{-1}; coeficiente de dilatação volumétrica do álcool 11 x 10^{-4} K^{-1}; 1 litro = 1,0 x 10^3 cm^3.

112) Numa cachoeira a queda d'água é de 120 m. Determine a variação da temperatura da água devido à queda. Dado: o calor específico da água é igual a 4,18 x 10^3 J/kg° C.

113) Um gás ideal evolui de acordo com a representação vista através do gráfico da figura a seguir. Partindo do ponto A, o gás expande-se isobaricamente até o ponto B. A seguir, o gás evolui isocoricamente até o ponto C, depois é comprimido isobaricamente até o ponto D e, finalmente, completa o ciclo retornando, isocoricamente ao ponto A.



Determine:

a. o trabalho realizado pelo gás durante o ciclo;

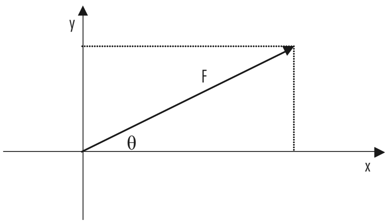
b. o calor recebido pelo gás durante o ciclo.

114) Uma molécula de N_2, com velocidade de 470 m/s colide elasticamente com a parede do recipiente. A direção da velocidade forma um ângulo de 55° com a normal à parede. Determine o impulso transmitido à parede. Dado: a massa da molécula de N_2 é igual a $4,7 \times 10^{-26}$ kg; cos(55°) = 0,574

115) Um cubo com volume igual a 1,0 cm^3 tem nitrogênio em condições normais de temperatura e pressão.

a. Determine o número de moléculas de nitrogênio. Dado: a molécula-grama do nitrogênio M = 28 g; o número de Avogadro $N_A = 6,02 \times 10^{23}$; a constante universal dos gases ideais R = 8,31 J/K.

116) Uma força de $1,0 \times 10^2$ N forma um ângulo Θ com a horizontal. A componente vertical da força tem intensidade de 30 N. Veja figura a seguir.

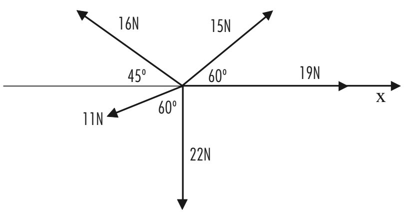


Determine:

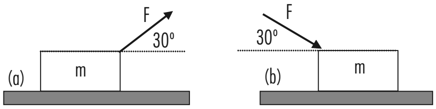
a. a componente horizontal da força;

b. o ângulo Θ.

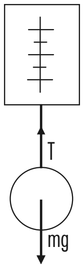
117) Na figura a seguir temos a representação de cinco forças coplanares. Determine a resultante do sistema de forças.



118) Em cada uma das figuras abaixo o bloco m tem massa 5,0 kg e a força F tem intensidade de 20 N. Nos dois casos o bloco está em equilíbrio. Determine a intensidade da força normal à superfície em cada caso. Considere g = 10 m/s^2



119) A figura a seguir mostra uma esfera de 6,0 kg presa a um dinamômetro. Determine a leitura no dinamômetro nos seguintes casos, a aceleração da esfera é:

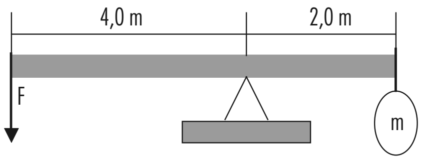


a. zero;

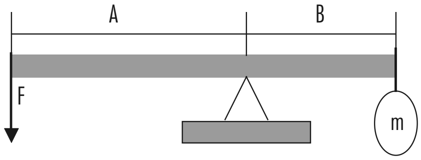
b. 3,0 m/s^2;

c. – 3,0 m/s^2. Considere a aceleração da gravidade 10 m/s^2.

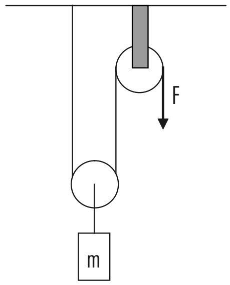
120) O sistema representado na figura abaixo está em equilíbrio. A massa m é igual a 4,0 kg. Determine o valor da força F. Considere g = 10 m/s^2.



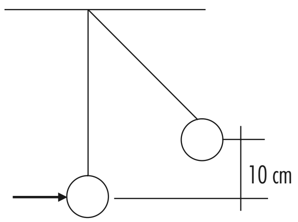
121) O sistema representado na figura abaixo está em equilíbrio. Determine o valor da força F.



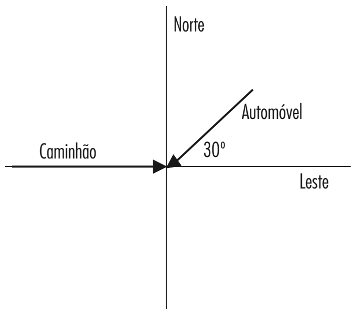
122) O sistema representado na figura a seguir é composto por duas roldanas, uma fixa e outra móvel. Determine o valor da força F capaz de erguer o bloco de massa m. Despreze o atrito e o peso das roldanas.



123) Um projétil de 15 g é disparado horizontalmente contra uma esfera de madeira de 3,0 kg, suspensa por uma corda. Veja a figura a seguir. O projétil encrava-se na esfera e a faz oscilar, atingindo uma altura máxima de 10 cm. Determine o valor da velocidade do projétil imediatamente antes de atingir a esfera. Considere a aceleração da gravidade 10 m/s^2.



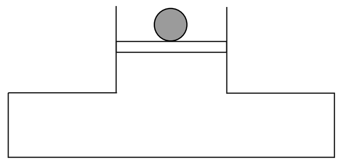
124) Um caminhão de massa 7,5 x 10^3 kg, viaja com uma velocidade de 5,0 m/s na direção leste. A seguir, colide com um automóvel de massa 1,5 x 10^3 kg e velocidade 20 m/s que viaja na direção 30° sudoeste. Veja figura a seguir. Após a colisão, os veículos permanecem juntos. Determine a velocidade (módulo, direção e sentido) que os veículos se movem após a colisão.



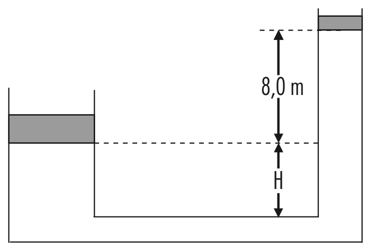
125) Uma mola de constante elástica k está presa ao teto de uma sala. A seguir, prende-se na extremidade da mola uma esfera de massa m e, então, a mola alonga-se 6,0 cm, permanecendo em equilíbrio. Então, puxa-se a esfera verticalmente e ela passa a oscilar. Determine a frequência de oscilação. Considere g = 10 m/s^2.

126) A massa de um litro de leite é igual a 1,032 kg. A nata que ele possui tem uma densidade igual a 865 kg/m^3, e, constitui 4% do volume. Determine a densidade do leite desnatado.

127) Uma esfera sobre um êmbolo mantém um gás comprimido dentro de um recipiente. Veja a figura a seguir. O êmbolo juntamente com a esfera tem massa de 20 kg. A área da seção transversal do êmbolo é igual a 8,0 cm^2. Determine a pressão sobre o gás. Considere g = 10 m/s^2.



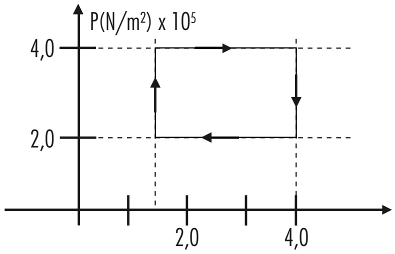
128) Na figura a seguir, o êmbolo da esquerda tem massa 600 kg e seção transversal de 800 cm^2. O êmbolo da direita tem massa m e seção transversal de 25 cm^2. O sistema está cheio de óleo de densidade 0,78 g/cm^3. Determine o valor da massa m capaz de manter o sistema em equilíbrio. Considere g = 10 m/s^2.



129) Para medir o peso de um parafuso de alumínio, utilizou-se um dinamômetro. O valor medido foi 0,67 N. Quando colocamos o parafuso dentro de um recipiente com aguarrás, o valor medido foi 0,45 N. Determine a densidade da aguarrás.
Dados: a densidade do alumínio é 2,7 g/cm^3; g = 10 m/s^2.

130) Deseja-se utilizar uma espuma plástica de densidade 0,58 g/cm^3 como colete salva-vidas. O objetivo é manter 20% do volume de um homem de 80 kg fora d'água. Determine o volume de espuma necessário.
Dados: densidade do homem ρ_H = 1,04 g/cm^3; densidade da água ρ_A = 1,0 g/cm^3

131) Um gás ideal confinado em um cilindro com êmbolo descreve o ciclo representado na figura a seguir. Determine o trabalho realizado:



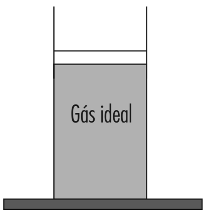
a. na expansão isobárica;

b. na compressão isobárica;

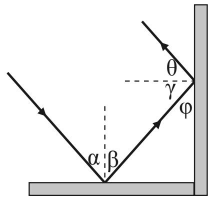
c. nas transformações isométricas;

d. no ciclo.

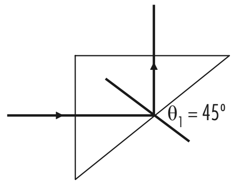
132) Em um cilindro vertical com êmbolo há gás ideal. Veja a figura a seguir. A massa do êmbolo é igual a 8,0 kg e a área da seção transversal é 60 cm^2. Quando o gás é aquecido de 30° C para 100° C, o êmbolo sobe 20 cm. A seguir, trava-se o êmbolo nesta posição. E, então, o gás é esfriado até retornar à temperatura de 30° C. Seja Q_1 o calor recebido pelo gás durante o aquecimento e Q_2 o calor cedido pelo gás durante o esfriamento. Determine a diferença entre Q_1 e Q_2. Considere g = 10 m/s^2; a pressão atmosférica = 1,0 x 10^5 N/m^2.



133) Na figura a seguir, vê-se a representação de dois espelhos planos perpendiculares entre si, onde um feixe luminoso incide sobre o espelho horizontal, de maneira tal, que forma um ângulo α com a normal ao espelho. Determine o ângulo ϕ.



134) Um feixe luminoso monocromático incide sobre um prisma triangular de vidro sendo, então, totalmente refletido. Veja a figura a seguir. O prisma está imerso no ar, e, o ângulo de incidência θ_1 = 45°. O índice de refração do vidro é: maior, menor ou igual a 1,41? (Justifique)



Gabaritos

Capítulo 1

1) A

2) C

3) E

4) 50 cm^3

5) 72 kg

6) Para dois pontos situados em profundidades diferentes, em um líquido em equilíbrio, a diferença de pressão entre esses dois pontos é igual ao produto da densidade do líquido pela aceleração da gravidade e pela diferença de profundidades entre esses pontos.

7) Se, de alguma forma, aumentarmos a pressão em um ponto qualquer do líquido, esse aumento será sentido em todos os pontos do líquido e das paredes do recipiente.

8) Todo corpo mergulhado em um líquido recebe uma força de empuxo, vertical, dirigida de baixo para cima, igual ao peso do volume do líquido deslocado.

9) E

10) D. Dica: densidade é dada por $\rho = \dfrac{\text{massa}}{\text{volume}}$

Como temos dois corpos, a densidade será $\rho = \dfrac{m_1 + m_2}{V_{total}}$.

Encontre m_1 e m_2 em função da densidade de cada corpo e em função do volume total V. Lembre-se que cada corpo tem volume V/2.

11) C. Dica: Como as massas e as densidades são dadas, encontre V_1,V_2 e V_3 e substitua no que é pedido:

$$\rho = \frac{m_1 + m_2 + m_3}{V_1 + V_2 + V_3}$$

12) B. Dica: Para cada pneu, a pressão é p = F/4 onde F é a força feita + por cada pneu sobre o solo, onde:

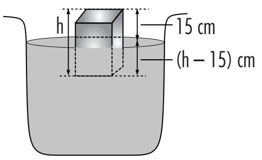
$$F = \frac{\text{peso do carro}}{4}$$

13) D. Dica: Além da definição de pressão, p = F/A onde F é a força perpendicular à superfície, você deve se lembrar que sen 30° =1/2.

14) A. Dica: Observação: A pressão fora do canudinho é constante e igual à pressão atmosférica, portanto, as opções (C) e (D) estão erradas. Em (E) temos um absurdo, pois g não varia dentro do canudinho.

15) F = 1,6 $\times$ 10^4 N. Dica: No equilíbrio, as pressões são iguais nos dois lados dos vasos comunicantes (dê uma olhada na teoria).

16) C. Dica: Faça um desenho, como a seguir, e aplique o Princípio de Arquimedes (E = P , no caso). Lembre-se também que o volume é igual à área da base vezes a altura.



17) a) A razão é igual a 1 pois duas esferas têm o mesmo volume.

b) $(T_A/T_B) = 5$

18) C

19) A

20) ρ = 1,7 kg/l

21) C

Capítulo 2

1) 45 K e 81°F

2) 2

3) 1,0 cal/g°C; (o líquido é a água).

4) A esfera de ferro.

5) 7,5 kg de água a 12°C e 2,5 kg de água a 52°C.

6) 52°C

7) B

8) 100°C

9) 66°C

10) 69 g

11) a) 50°C; b) 10 cal/g; c) 0,20 cal/g°C; d) 0,10 cal/g°C

12) F = 320° F

13) E

14) C

15) 50°

16) A esfera de alumínio.

17) 7,5 kg a 12° e 2,5 kg a 52°

18) 52°

19) 84°

20) 50°

21) C

22) 735 cal

23) B

24) t = 3.600 s

25) E

Capítulo 3

1) E (A dilatação no diâmetro do furo e no pino (ΔL) depende de seu comprimento inicial (L_i), como o diâmetro do furo é maior que o do pino ele se dilatará mais que o pino, aumentando a folga.)

2) D (Temos: $\Delta L = \alpha \cdot L_i \cdot \Delta\theta$, dilatação ($\Delta L$) é diretamente proporcional ao comprimento (L_i).)

3) B

4) D

5) D

6) E (Sendo do mesmo material e com a mesma variação de temperatura, terão a mesma dilatação na largura e na altura. A área no interior do quadrado feito com fio aumenta no mesmo valor que a área da chapa. A razão será 1.)

7) $\Delta L = 1{,}7 \times 10^{-4}$ m

8) E

9) B

Capítulo 4

1) 819 K (546ºC)

2) 4,0 x 10^{-1} m^3

3) 373 K (100ºC)

4) a) compressibilidade e expansibilidade.

b) forças atrativas.

c) número de Avogadro é 6,023 • 10^{23}.

d) p • V = n • R • T.

5) 4,0 atm. Dica: usar (pevete = póvótó) lembrando que, no caso, o volume não varia.

6) D (Dica: como $\frac{pV}{T}$ é uma constante, faça seu cálculo entre os pontos A e B e depois entre A e C, com os valores dados no diagrama.)

7) B (Dica: utilize a equação dos gases perfeitos na forma adequada.)

8) C

9) D

10) a) Como o processo é isotérmico, da lei de Boyle e do fato de que $V_f = \frac{1}{4}V_i$ temos: $P_{atm}V_i = P_f \frac{1}{4}V_i \Rightarrow P_f = 4P_{atm}$

b)A força exercida sobre a seção reta do êmbolo é dada por:

$$F = 4{,}0 \ \frac{N}{m^2} \times 3{,}0 \times 10^{-4} \ (m^2) = 120 \ N$$

(pois pressão = Força/área)

11) B

Capítulo 5

1) Espelho esférico convexo.

2) Espelho esférico côncavo.

3) A imagem se desloca sobre o eixo principal do espelho, do foco até o centro de curvatura.

4) a) 60 cm, imagem real;

b) – 10 cm, imagem virtual.

5) imagem virtual direita, menor, com 2,0 cm de comprimento e se forma a 20 cm do espelho.

6) 20 cm, imagem virtual e direita; ou 40 cm, imagem real e invertida.

7) a) 3,0 m;

b) 4,8 m.

8) 80 cm.

9) a) 7,2 m;

b) 4,4 m.

10) A (Dica: construa na própria figura as imagens dos três objetos, com respeito aos dois espelhos. Veja que apenas a imagem do objeto 1 (redondo) no espelho E_1 (horizontal), estará dentro do campo de visão do observador.)

11) D

12) B

13) a) – 0,50. b) + 1,25.

14) + 0,25.

15) a) – 20 cm, imagem virtual. b) 0,33.

16) 40 cm.

17) a) 3,0 cm. Dica: I = 4 • Op' = 4 • p. b) 4,8 cm. Dica: lembre-se que R = 2 • f.

18) A

19) E

20) C

21) C

22) C

Capítulo 6

1) a) 1,41;

b) 30º

2) 3/4

3) 49º

4) a) p' = 60 cm, comprimento = 1,0 cm, imagem real invertida;

b) p' = 80 cm, comprimento = 2,0 cm, imagem real invertida;

c) p' = 200 cm, comprimento = 8,0 cm, imagem real invertida;

d) p' = 10 cm, comprimento = 2,5 cm, imagem virtual direita.

5) p' = – 12,5 cm, altura = 5,0 cm, imagem virtual e direita.

6) E

7) A

8) a) – 0,50.

b) + 1,25.

9) E

10) a) Entre o foco e o vértice.

b) entre f e 2f.

c) entre 2f e ∞.

d) no ponto 2f.

11) a) Entre f e 2f.

b) entre 2f e ∞.

c) no ponto 2f.

d) entre o foco e o vértice.

e) impossível.

12) Como a imagem se forma sobre uma tela, ela é real. Imagem real de um objeto real é invertida.

13) A imagem se desloca do foco até o infinito.

14) A

15) Pela lei de Descartes-Snell $n_1 \cdot sen\ \theta_1 = n_2 \cdot sen\ \theta_2$. Quando o ângulo de incidência é o ângulo Limite, a refração se dá a 90º logo, entre a água e o ar:

$$n_{Água} sen\theta_L = n_{ar} sen90º \Rightarrow sen\theta_L = \frac{n_{ar}}{n_{Água}} \text{ (pois sen90º = 1).}$$

16) no mínimo H = 40 cm

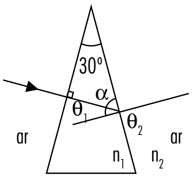
17) Usando a lei de Snell ($n_1 \cdot \text{sen}\,\theta_1 = n_2 \cdot \text{sen}\,\theta_2$) e o fato de que n_o=1, temos $1 \cdot \text{sen}\,\theta_1 = n \cdot \text{sen}\,\theta_2$.

Da figura obtemos:

$$\text{sen}\theta_1 = \frac{3}{4} \text{ e } \text{sen}\theta_2 = \frac{3}{\sqrt{4^2+3^2}} = \frac{3}{5}$$

$$\text{Portanto: } n = \frac{\text{sen}\theta_1}{\text{sen}\theta_2} = \frac{3/4}{3/5} = \frac{5}{4} \Rightarrow n = 1{,}25$$

18) Consideremos a figura:

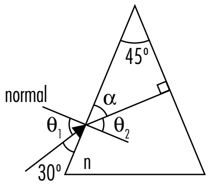


Pela figura vemos que α tem que ter 60º assim θ_1 tem 30º e como o raio não deve sair este é o ângulo limite, logo θ_2 = 90º.

Aplicando-se Snell, $n_1 \cdot \text{sen}\,\theta_1 = n_2 \cdot \text{sen}\,\theta_2$, teremos, no mínimo:

$$n_1 \cdot \text{sen}30^\circ = n_{ar}\text{sen}90^\circ \Rightarrow n_1 = \frac{n_{ar} \cdot \text{sen}90^\circ}{\text{sen}30^\circ} \Rightarrow n_1 = \frac{1 \times 1}{\frac{1}{2}} = 2$$

19) A



Após desenharmos a linha normal no ponto de incidência, pela figura, vemos que o ângulo de incidência, θ_1, é de 60º, o ângulo α é de 45º (a soma dos ângulos no triângulo é 180º) e assim o ângulo de refração será θ_2 = 45º. Aplicando-se Snell, teremos:

$$n_{ar} \cdot \text{sen}60^\circ = n \cdot \text{sen}45^\circ \Rightarrow n = \frac{n_{ar} \cdot \text{sen}60^\circ}{\text{sen}45^\circ}$$

$$\Rightarrow n = \frac{1 \times \frac{\sqrt{3}}{2}}{\frac{\sqrt{2}}{2}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times \frac{2}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{3} \times \sqrt{2}}{\sqrt{2} \times \sqrt{2}} = \frac{\sqrt{6}}{2}$$

20) a) 15º

b) 60º

21) B

22) a) f = 8 cm e d_2 = 24 cm

b) Sim, novo I' = 1 cm

23) a) P = 10 cm

b) f = 9,6 cm

Capítulo 7

1) D

2) A

3) 2,0 x 10^{10}

4) 7,4 x 10^{-7} C

5) 5,1 m

6) 24F

7) 2,0 x 10^{-6} C (2,0 μC)

8) F' = (4/3)F

9) 28 μC, sobre o eixo x e orientada para a esquerda.

10) 2,6 x 10^{-9} N.

11) 3,3 x 10^{-6} C (3,3 μC)

12) 1,3 x 10^{2} N

13) A 30 cm de q_1, ficando q_2 entre q_1 e a terceira carga.

14) a) Ambas são negativas; b) $q_1 = q_3$ = 1,1 x 10^{3} μC

15) 0,19 kg

16) F = 1,8 N. Com a direção da reta que une as cargas e dirigidas nos sentidos de uma carga para a outra (como as cargas são opostas, a força é atrativa).

17) d = 12 m.

18) D (Carga = número inteiro de e (carga do elétron).)

19) C

20) A

21) B

22) q_1/q_2 = 3

23) a) (q + 3q)/2 = 2q

b) antes do contato, $F = k3q^2/d^2$, depois do contato $F' = k4q^2/4d^2 = kq^2/d^2$ logo, (F/F')=3

24) D

25) D

Capítulo 8

1) B

2) C

3) B (Dica: utilize a definição de ddp = $V_{AB} = (\tau/q)$ e $V_{AB} = E \cdot q$.)

4) D

5) B

6) A

7) D

8) a) Em ambas;

b) na figura (I)

CAPÍTULO 9

Atividade 1

a) I = q/t = 620/124 = 5A

b) I = q/t, logo q = I • t = 2(A) • 1 (s) = 2C. Temos que 1 C corresponde a $6{,}28 \cdot 10^{28}$ elétrons e 2 C corresponderá a x elétrons.

Assim, $x = 2 \cdot 6{,}28 \cdot 10^{28} = 12{,}5 \cdot 10^{28}$ elétrons.

c) Corrente contínua e corrente alternada.

d) Estabelecer uma diferença de potencial.

Atividade 2

a) V = R • I, logo I = V/R = 12/4 = 3A.

b) V = R • I = 20 • 5 = 100 V.

c) Para aquecimento, como no chuveiro e no ferro de passar roupas, e para estabelecer uma queda de potencial ou para controlar a corrente elétrica em circuitos.

Exercícios

1) L = 0,2 m = 20 cm. Dica: lembre-se que 1 cm = 10^{-2} m, então 1 cm^2 = 10^{-4} m^2, logo, 0,1 cm^2 = 10^{-5} m^2. Aplique então a equação $R = \rho \cdot L/A$.

2) C

3) D

4) A (Dica: calcule R e depois a ddp para I = 4A.)

5) a) R = 12 ohms; b) P = 0,74 watts

CAPÍTULO 10

Solução da questão proposta

Temos: P_{ot} = 400 W = 0,4 kW e t = 12 horas por dia (metade do tempo). Em um mês teremos: como $P_{ot} = E/t$ onde $E = P_{ot} \cdot t$, teremos em um mês:

$E = P_{ot} \cdot t$ = 0,4 (kW) • 12 (h) • 30 (dias) = 144 kWh (gasto por mês); o custo mensal: o kWh custa R$ 0,62. Como foram gastos 144 kWh o custo será:

Custo = 144 (kWh) • 0,62 (Reais/kWh) = 89. Logo são gastos R$ 89,00 por mês.

1) 0,50 A

2) a) Todos os aparelhos estão submetidos à mesma ddp de 110 V. Para a lâmpada teremos:

$$P_{ot_L} \cdot I_L \quad \text{onde} \quad I_L = \frac{P_{ot_L}}{V} = \frac{100}{110} = 0{,}9 \text{ A}$$

Analogamente para o chuveiro

$$I_C = \frac{P_{ot_C}}{V} = \frac{4400}{110} = 40 \text{ A}$$

e, para a geladeira:

$$I_C = \frac{P_{ot_G}}{V} = \frac{330}{110} = 3{,}0 \text{ A}$$

b) Para que o fusível não queime ele terá que aguentar no mínimo a corrente total no circuito. No caso a corrente é de: $I = I_L + I_C + I_G$ = 0,9 + 40 + 3 = 43,9 A.

3) A (Ao ligarmos em curto-circuito os pontos X e Y, toda a corrente passará pelo ramo externo do circuito, onde a resistência cai a zero e a corrente tende a infinito, queimando, certamente, o fusível F_1. Nessa situação nenhuma corrente passará nos outros ramos, onde estão F_2 e F_3.)

4) C

5) a) Ptotal = V . Itotal (V é o mesmo para todos os elementos). Logo:

$$I_t = \frac{P_t}{V} = \frac{2 \times 40 + 4 \times 6}{12} \cong 8{,}7 \text{ A}$$

b) Farol: $P_F = V \cdot i_F \Rightarrow i_F = \dfrac{40}{12} = 3{,}3$ A

Lanterna: $P_L = V \cdot i_L \Rightarrow i_L = \dfrac{6{,}0}{12} = 0{,}50$ A

c) $V = R_F \cdot i_F \Rightarrow R_F = \dfrac{12}{3{,}3} = 3{,}6\ \Omega$

6) B (Temos: 0,25 A = 250 mA (250 miliampères).)

7) D

8) a) 9,0 A; b) 216 W.

9) a) i = (P/V) = 4,0 A;

b) Número (n) de geradores em série para obtermos 12 V: com $V = \varepsilon - r \cdot i$ e os valores dados temos 12 = n • 6 − n • 0,50 x 4 onde 12 = 4 • n, logo n = 3.

10) B

11) B

12) B

13) E

14) C

15) 3,0 Ω

CAPÍTULO 11

Atividade 1

Temos: V = 340 m/s; f = 440 Hz. Então:

$$V = \lambda \cdot f \Rightarrow \lambda = \frac{V}{f} = \frac{340}{440} = 0{,}77 \text{ m} = 77 \text{ cm}$$

Exercícios

1) a) A frequência é a mesma;

b) No meio A;

c) No meio A.

2) 83 m.

3) Ondas transversais: ondas numa corda, ondas eletromagnéticas. Ondas longitudinais: ondas sonoras.

4) E

5) A

6) D (Dica: repare que a anda tem que percorrer duas vezes o tamanho do poço.)

7) C

8) C

9) B

10) C

Capítulo 12

1) 96 m/s

2) 3,0 m e 16 Hz

3) 342 m/s.

4) 95 Hz, 285 Hz e 475 HZ

5) 0,53 m

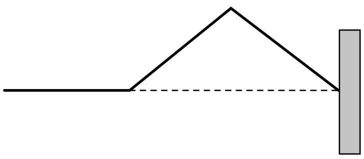
6) a) 37 m/s;

b) 0,43 g

7) 432 m/s

8) 49,1 cm

9)



10) D

11) E

12) B

13) a) Pela figura vemos que:

$$L = 3 \cdot \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \lambda = 2 \cdot \frac{L}{3} = 2 \cdot \frac{15}{3} = \frac{30}{3} = 10 \text{ m}$$

b) Como a cada 2,0 s um ponto móvel da corda desce (ou sobe) isto significa que para um movimento de oscilação completa (num período) T = 2 • 0,2 = 0,4 s. Assim, a frequência será:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}4} = \frac{10}{4} = 2{,}5 \text{ s}^{-1} = 2{,}5 \text{ Hz}$$

c) $V = \lambda \cdot f = 10 \cdot 2{,}5 = 25$ m/s.

14) D

15) D

Capítulo 13

1) E

2) A

3) D

4) A

5) D

6) E

7) B

8) B

9) D

10) A

11) E

12) C

13) A

14) E

15) B

16) D

17) B

18) D

19) E

20) D

21) A

22) E

23) C

Capítulo 14

1) 0,40s

2) Inicialmente, a quantidade de O_2 no elevador é 20% de 2,0 m^3. Isto é, 0,40 m^3. Sabendo-se que 1 ml = 1 cm^3 = 10^{-6} m^3. Assim, cada pessoa consome 2,0 x 10^{-4} m^3/min. Logo, vinte pessoas consomem 4,0 x 10^{-3} m^3/min. Assim temos: (0,40 m^3)/(4,0 x 10^{-3} m^3/min) = 100 min = 1,0 h + 40 min

3) 1 cal = 4,18 J

a) (24,6 kcal)/(9,0 g) = 2,7 kcal/g = 1,1 x 10^4 J/g

b) m(x) + m(y) = 9 g

Ep(x) + Ep(y) = 24,6 kcal

m(x)(2 kcal/g) + m(y)(3 kcal/g) = 24,6 kcal

2m(x) + 3m(y) = 24,6 g

2m(x) + 3[9 – m(x)] = 24,6 g

m(x) = 2,4 g

m(y) = 6,6 g

4) Ele 24 g; ela 7,9 g

5) 20 g de gordura (lipídios) correspondem a 186 kcal.

186 kcal = 93 kcal de carboidrato + 93 kcal de proteína

Assim, carboidrato 23 g e proteína 23 g

6) Área da pupila = πR^2 = 3,14(10^{-3}m)^2

Energia que atinge a pupila por segundo = (10^2 W/m2)3,14(10^{-6} m^2) = 3,1 x 10^{-4} J/s

7) Área da pupila = πR^2 = 3,14(4 x 10^{-3})^2 = 5 x 10^{-5} m^2

Energia que atinge a pupila por segundo = (10^{-12} W/m^2)(5 x 10^{-5} m^2) = 5,0 x 10^{-17} J/s

8) Para o homem:

Massa do antebraço + massa da mão = 5,6 kg

Peso do antebraço + peso da mão = 56 N

Peso total sustentado = (56 + 10M)

Força exercida = $35\pi(1{,}1)^2$ = 133 N

133 = 56 + 10M

$M = 7{,}7$ kg
Para a mulher:
Massa do antebraço + massa da mão = 3,0 kg
Peso do antebraço + peso da mão = 30 N
Peso total sustentado = (30 + 10m)
Força exercida = $35\pi(0{,}7)^2 = 54$ N
$54 = 30 + 10m$
$m = 2{,}4$ kg
9) 0,14%
10) $PA = nRT/V_A$; $P_B = nRT/V_B$; $P_A = P_B$
a) V_A = 300 átomos; V_B = 1200 átomos
b) 60 átomos de hélio e 240 átomos de neônio.
11) Solução
Área de uma folha = 80×10^{-4} m^2
Área total = 8 m^2
Em 1 s, o sol entrega 100 J em 1 m^2. Logo, em 1 s a amendoeira recebe 800 J de energia. Para receber $3{,}4 \times 10^7$ J será necessário $4{,}3 \times 10^4$ s (12 h).
12) a) $m = \rho_v$
$m = 1{,}02 \times 350 = 357$ g
b) $Q_{cedido} = 357 \times 1{,}01(0 - 22{,}5) = -8{,}1 \times 10^3$ cal
c) $Q_{lata} = 28 \times 0{,}2(0 - 22{,}5) = -1{,}3 \times 10^2$ cal
d) $Q_{cedido} + Q_{lata} + Q_{gelo} = 0$
$(-8{,}1) \times 103 + (-1{,}3) \times 10^2 + 80m = 0$
$m = 103$ g
13) Solução
$PV = nRT$
$n(O_2) = (0{,}1 \times 20)/(8{,}2 \times 10^{-2} \times 300) = 0{,}081$ mol
$n(N_2) = (0{,}2 \times 20)/(8{,}2 \times 10^{-2} \times 300) = 0{,}162$ mol
$n(O_2) + n(N_2) = 0{,}243$ mol
a) $P = (0{,}243 \times 8{,}2 \times 10^{-2} \times 300)/40 = 0{,}15$ atm
b) $P(O_2) = (0{,}081 \times 8{,}2 \times 10^{-2} \times 300)/40 = 0{,}049$ atm
$P(N_2) = (0{,}162 \times 8{,}2 \times 10^{-2} \times 300)/40 = 0{,}10$ atm
14) a) $1/f = 1/p + 1/p'$
$1/f = 1/10 + 1/100$
$f = 100/11 = 9{,}1$ cm
b) $A = -100/10 = -10$. A altura da imagem é 50 cm (invertida).
15) a) $1/f = 1/p + 1/p'$
$1/(-150) = 1/(300) + 1/p'$
$p' = (-100)$ cm
b) $A = 1/3$
c) A altura da imagem é igual a 2,0 cm
16) a) $A = p'/p$ (em módulo)
$4 = p'/p$
$p' + p = 2$ m
$p' = 1{,}6$ m e $p = 0{,}4$ m
b) Basta colocar a lente numa posição onde $p = 0{,}4$ m e $p' = 1{,}6$ m.
17) Solução
$v = (F/\mu)1/2 = (90/0{,}25)1/2 = 19$ m/s
$T = 1/f = 1/125 = 8{,}0 \times 10^{-3}$ s
$v = \lambda f$
$\lambda = 19/125 = 0{,}15$ m
18) a) 35 N
b) $35 = \rho Vg$. Logo, $V_{álcool} > V_{água}$.
19) Na interface ar–óleo
$n_{ar}sen(40°) = n_{óleo}sen(\theta óleo)$
Na interface óleo–água
$n_{óleo}sen(\theta\ óleo) = n_{água}sen(\theta\ água)$
Logo:
$n_{ar}sen(40°) = n_{água}sen(\theta\ água)$
θ água = 28,9°
20) $n_{água}sen\theta L = n_{água}sen(90°)$
$sen\theta L = 1/1{,}33$
$\theta L = 49°$
$tg\theta L = R$
$R = 1{,}14$ m
21) $1/f = 1/p + 1/p'$
$p + p' = 40$ cm
$1/7{,}5 = 1/p + 1/(40 - p)$
$p^2 - 40p + 300 = 0$
$p = 10$ cm ou $p = 30$ cm
22) $M = p'/p$
$1/f = 1/p + 1/p'$
$M = p'[(1/f) - (1/p')]$
$M = (p'/f) - 1$
$(M + 1)f = p'$
23) Potência = energia/tempo
Energia necessária para aquecer a água ($m = 10^3$ g)
$Q = 10^3 x1x15 = 15x10^3$ cal $= 63x10^3$ J
$\Delta t = 63$ s
24) a) Número de mols = massa/molécula-grama
$n(O_2) = 40$; $n(N_2) = 60$
$PV = nRT$
$P(O_2) = 40x8{,}3x273 = 9{,}0 \times 10^4$ N/m^2
$P(N_2) = 60x8{,}3x273 = 1{,}4 \times 10^5$ N/m^2
b) O_2 = 40%; N_2 = 60%
25) $Q_A + Q_B = 0$. Logo, o calor do sistema é nulo.
26) $ax = 20/5 = 4$ m/s^2; $a_y = 30/5 = 6$ m/s^2
$a = [(4)2 + (6)2]1/2 = 7{,}2$ m/s^2
27) C
$Psen\theta = F$
$200x(1/2) = F$; $F = 100$ N $= 1{,}0 \times 10^2$ N
28) D
$T - 70 = 7a$
$90 - T = 9a$
$20 = 16a$
$a = 1{,}3$ m/s^2
29) A
$T = \Delta Ec$

$Fd = mv^2/2$

$1{,}5x0{,}3 = 0{,}2.(v^2/2)$

$v = 2{,}1$ m/s

30) E

Fat = ma

$\mu N = ma$

$\mu mg = ma$

$a = 8{,}0$ m/s^2

31) B

$m_A v_A + m_B v_B = m_A v_A' + m_B v_B'$

$12 + 2(-24) = v_A' + 2v_B'$

$-36 = v_A' + 2v_B'$

$v_A - v_B = v_B' - v_A'$

$12 - (-24) = v_B' - v_A'$

$36 = v_B' - v_A'$

$v_B' = 0$; $v_A' = -36$ m/s

32) A

F = kx (em módulo)

$21 \times 10^{-3} \times 10 = k(7 \times 10^{-2})$

$k = 3{,}0$ N/m

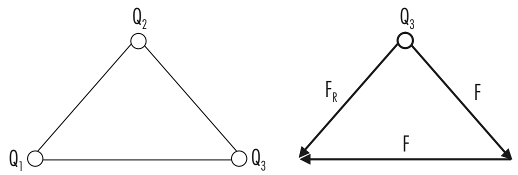
33) E

$2T\cos(60°) = 50$

$2T \times (1/2) = 50$

$T = 50$ N

34) C



Módulo de $F = 9 \times 10^9\ [(20 \times 40)/10^{-2}]\,(C^2/m^2) = 72 \times 10^{13}\ C^2/cm^2$

A soma vetorial das forças determina um triângulo equilátero. Logo, o módulo de $FR = 7{,}2 \times 10^{14}\ C^2/m^2$.

35) B

$F = 9 \times 10^9 \times 2 \times 10 \times [(1{,}6 \times 10^{-19})^2\ ]/(3 \times 10^{-9})^2$

$F = 5{,}1 \times 10^{-10}$ N

36) D

$E_1 = k(20 \times 10^{-8})/(5 \times 10^{-2})^2$

$E_2 = k(5 \times 10^{-8})/(5 \times 10^{-2})^2$

$E_1 + E_2 = 9{,}0 \times 10^5$ N/C

37) B

$T\cos(20°) = mg$; $T(0{,}94) = 0{,}60 \times 10^{-3} \times 10$; $T = 6{,}4 \times 10^{-3}$ N

$T\mathrm{sen}(20°) = qE$

$6{,}4 \times 10^{-2} \times 0{,}34 = q(7{,}0 \times 10^{2})$; $q = -3{,}1 \times 10^{-6}$ C

38) D

$V = k\,\Sigma\,Q_i/r_i$

$V = 9 \times 10^9[(2 \times 10^{-6})/(0{,}20) + (-3 \times 10^{-6})/(0{,}30) + (-4 \times 10^{-6})/(0{,}40)]$

$V = 9 \times 10^9(10 - 10 - 10)10^{-6}$

$V = -90 \times 10^3$ V

39) A

$\varepsilon = (R_1 + R_2 + r)i$

$18 = 18i$; $i = 1{,}0$ A

$V_1 = 12$ V; $V_2 = 5{,}0$ V

$\varepsilon - ri = 18 - 1 = 17$ V

40) C

V = (Req)i; 120 = (Req)i

Req = 8 Ω

(1/Req) = n(1/R); n = 5; ligação em paralelo.

41) E

Violeta 400 nm, n = 1,47

Vermelho 700 nm, n = 1,45

42) A

A posição da imagem e a ampliação produzida pela lente são dadas por:

$1/f_1 = 1/p + 1/p'$

$1/f_1 = 1/2f_1 + 1/p'$

$p' = 2f_1$

$A = -p'/p = 2f_1/2f_1 = -1$ (invertida)

Para o espelho temos:

$p = 2f_2$

$1/f_2 = 1/2f_2 + 1/p'$

$p' = 2f_2$; $A = -1$ (invertida)

43) E

$1/5 = -p'/p$; $p' = -p/5$

$1/f = 1/p + 1/p'$

$1/f = 1/p - 5/p$

$f = -4{,}0$ cm

44) C

$A = -1$

$-p'/p = -1$; $p = p'$

$1/f = 1/p + 1/p'$

$1/f = 1/p + 1/p$

$f = p/2 = 10$ cm.

45) B

$1/f = 1/p + 1/p'$

$1/7{,}5 = 1/p + 1/(40 - p)$

$p2 - 40p + 300 = 0$

$(p - 10)(p - 30) = 0$

p = 10 cm ou 30 cm.

46) D

QL + Q = 20 x 540 + 20 x 1 x 80 = 12.400 cal

O calor cedido ao ambiente é igual $1{,}24 \times 10^4$ cal.

47) E

Para a transição de fase, o gelo recebeu 80 cal. Portanto, a energia interna aumentou de 80 cal.

48) B

$V_1/V_2 = T_1/T_2$

$(1 \times 30)/1x = 300/420$; $x = 42$ cm

49) D

$P(ZV) = RT$

$P_{final} = RT/(Z + 1)V + RT/(Z + 1)V$

$P_{final} = 2RT/(Z + 1)V$

$P_{final} = 2P(ZV)/(Z + 1)V$

$P_{final} = 2ZP/(Z + 1)$

50) A

$Ptotal = Pat + \rho gh$

$Ptotal = 1,0 \times 10^5 + 1030 \times 10 \times 1,0 \times 10^2$

$Ptotal = 1,13 \times 10^6 N/m^2$

51) Resp. C

$\rho = m/V = 2,5 \times 10^3 kg/m^3$

$2,5 \times 10^3 = (25 \times 10^{-3})/V$

$V = 1,0 \times 10^{-5} m^3$

$T = P - E$

$T = mg - \rho_L Vg$

$T = 25 \times 10^{-3} \times 10 - 10^3 \times 10^{-5} \times 10$

$T = 1,5 \times 10^{-1} N$

52) a) Se a água estivesse parada, a velocidade do bote com relação ao observador seria 8,0 km/h. Mas a correnteza carrega o bote, no sentido oposto, a 3,0 km/h. Portanto, a velocidade do bote com relação ao observador é 8,0 – 3,0 = 5,0 km/h.

b) Neste caso, a correnteza carrega o bote no mesmo sentido que ele se move. Portanto, sua velocidade com relação ao observador é 8,0 + 3,0 = 11 km/h.

53) $N = mg = 70 \times 9,8 = 686 N$

$Fat = 0,50 \times 686 = 343 N$

$Resultante = 400 - 343 = 57 N$

$57 = 70a$; $a = 0,81 m/s^2$.

54) Para levantarmos um corpo de 3,0 kg, com velocidade constante, precisamos aplicar nele uma força para cima igual em intensidade ao seu peso, mg = 3 x 9,8 = 29,4 N. O trabalho realizado por esta força é o trabalho contra o peso. Isto é, mgh = 29,4 x 0,40 = 11,8 J. Este resultado poderia ser obtido pela conservação da energia. O trabalho do peso é igual a menos a variação da energia potencial gravitacional.

55) Considere o sistema (bloco + bala). A velocidade, e portanto o momento linear do bloco antes do impacto, é zero. A lei da conservação do momento linear nos diz que: momento linear do sistema antes do impacto é igual ao momento linear do sistema depois do impacto.

(massa) x (velocidade da bala) + zero = (massa) x (velocidade do bloco + bala).

$(0,008 kg)v + 0 = (9,008 kg)(0,40 m/s)$

$v = 450 m/s$

56) A massa do núcleo remanescente é $3,73 \times 10^{-25}$ kg. Pela conservação do momento linear temos.

Momento linear antes = momento linear depois

$0 = (3,73 \times 10^{-25})v + (6,6 \times 10^{-27})(1,5 \times 10^7)$

$v = -2,7 \times 10^5 m/s$

57) momento linear antes = momento linear depois

$m(0,75) = m(-0,43) = mv_1 + mv_2$

$0,32 = v_1 + v_2$

energia cinética antes = energia cinética depois

$[m(0,75)^2]/2 = [m(-0,43)^2]/2 = [mv_1^2]/2 + [mv_2^2]/2$

$0,747 = v_1^2 + v_2^2$

$0,747 = v_1^2 + (0,32 - v_1)^2$

$v_1^2 - 0,32v_1 - 0,32 = 0$; $v_1 = 0,16 \pm 0,59$

$v_1 = +0,75 m/s$; $v_2 = -43 m/s$

$v_1 = -0,43 m/s$; $v_2 = +0,75 m/s$

58) a) $F = kx$, logo, $k = F/x$

$k = 8,0/0,20 = 40 N/m$

b) $T = 2\pi(m/k)^{1/2}$

$T = 2\pi(2/40)^{1/2}$; $T = 1,4 s$

59) a) $T + E = mg$

$0,73 + E = 0,086 \times 10$

$E = 0,13 N$

O empuxo é igual ao peso da água deslocada.

$E = (m_{água})g$

$E = (\rho_{água}v)g$

$0,13 = 103v10$; $v = 1,3 \times 10-5 m^3$

Logo, o volume da esfera é igual a $1,3 \times 10^{-5} m^3$.

b) ρ_{esfera} = massa/volume = $(0,086)/(1,3 \times 10^{-5})$

$\rho_{esfera} = 6,6 \times 10^3 kg/m^3$

60) Peso do gelo = $\rho_{gelo}vg$

Peso da água deslocada = $\rho_{água}v'g$

Peso do gelo = Peso da água deslocada

$\rho_{gelo}vg = \rho_{água}v'g$

$v' = (\rho_{gelo})/(\rho_{água})v$

$v' = 0,92v$. Portanto, o percentual é 8,0 %.

61) Volume da gotícula

$V = 4\pi r^3/3 = 4\pi(5 \times 10^{-4} m)^3/3 = 5,24 \times 10^{-10} m^3$

Massa da gotícula

$m = \rho v$; $m = (13.600kg/m^3)(5,24 \times 10^{-10} m^3) = 7,1 \times 10^{-6} kg$

Massa de um átomo de Hg

$m_{átomo} = 201/6,02 \times 10^{23} = 3,4 \times 10^{-25} kg$

Número de átomos na gotícula

$(m/m_{átomo}) = 7,1 \times 10^{-6}/3,4 \times 10^{-25} = 2,1 \times 10^{19}$

62) $Q_{café} + Q_{leite} = 0$

$250 \times 1 \times (TF - 90) + 20 \times 1 \times (TF - 5) = 0$

$TF = 83,7° C$

63) $(QL)gelo + Q_{gelo}$ derretido $+ Q_{água} = 0$

$mLF + mc(T_F - T0) + mc(T_F - T_0) = 0$

$150 \times 80 + 150 \times 1 \times (T_F - 0) + 300 \times 1 \times (T_F - 50) = 0$

$TF = 6,7° C$

64) a) $F_{centrípeta} = F_{elétrica}$

$F_{elétrica} = kqq/r2 = [9,0 \times 109 \times (1,6 \times 10-19)2]/(5,3 \times 1011)2 = 8,2 \times 10-8 N$

(b) $F_{centrípeta} = mv^2/r$

$8,2 \times 10^{-8} = (9,1 \times 10^{-9}/5,3 \times 1011)v^2$

$v = 2,2 \times 10^6 m/s$

65) Vamos considerar a bola da esquerda. Ela está em equilíbrio sob a ação de três forças: a força elétrica F, a força peso P = mg e a força de tração no fio T. Assim, temos.

$mg = T\mathrm{sen}(60°)$

$1{,}0 \times 10^{-4} \times 9{,}8 = T(0{,}866)$

$T = 1{,}1 \times 10^{-3}$ N

$F = T\cos(60°)$

$F = 1{,}1 \times 10^{-3} \times 0{,}50 = 5{,}5 \times 10^{-4}$ N

$5{,}5 \times 10^{-4} = (9{,}0 \times 10^{9}Q^{2})/(0{,}40)^{2}$

$Q = 1{,}0 \times 10^{-7}$ C

66) Na posição d a resultante das forças é nula. Assim temos,

$kQ(3{,}0 \times 10^{-6})/d^{2} + kQ(-5{,}0 \times 10^{-6})/(0{,}40 + d)^{2} = 0$; equação (1)

$3(0{,}4 + d)^{2} + 5d^{2} = 0$

$d^{2} - 1{,}2d - 0{,}24 = 0$

$d = 0{,}60 \pm 0{,}78$

$d = + 1{,}38$ m ou $d = - 0{,}18$ m

Substituindo os valores na equação (1), conclui-se que o valor de d que satisfaz a condição estabelecida é 1,38 m ou x = –1,38 m (–138 cm).

67) Como a partícula está em equilíbrio, o peso da partícula é igual à intensidade da força elétrica.

$mg = Eq$; $E = mgq$

$E = (4{,}0 \times 10^{-13} \times 9{,}8)/(2{,}4 \times 10^{-18}) = 1{,}63 \times 10^{6}$ V/m

$V = Ed = (1{,}63 \times 10^{6}) \times (0{,}020) = 32{,}7 \times 10^{3}$ V

V = 32,7 kV

68. Solução

$V = \epsilon - ri$

$115 = 120 - r(20)$

r = 0,25 A

69) No centro da circunferência, no eixo y temos:

$2Eq\cos(60°) = EQ$

$2(q/R^{2})(1/2) = Q/R^{2}$

$(Q/q) = 1$

70) D

$V = \epsilon - ri$

$4 = \epsilon - r(0{,}4)$

$2 = \epsilon - r(0{,}8)$

$2 = r(0{,}8 - 0{,}4)$

r = 5,0 A

71) C. Comentário: $Q_A + Q_B = 0$

72) a) $P = Ri^{2}$

$P = 8 \times (15)^{2}$; P = 1800 W = 1,8 kW

b) custo mensal = 1,8kW x 4,0 h x 0,50/kWh = R\$ 3,60

73) a) $\varepsilon = (Req)I$

$Req = 12 + 5{,}0 + 1{,}0 = 18\ \Omega$

$I = (18\ V)/(18\ \Omega) = 1{,}0$ A

b) Resistor R_1

$V_1 = R_1I$

$V_1 = 12 \times 1{,}0 = 12$ V

Resistor R_2

$V_2 = R_2I$

$V_2 = 5{,}0 \times 1{,}0 = 5{,}0$ V

c) $V = (R_1 + R_2)I$

$V = (12 + 5{,}0) \times 1{,}0 = 17$ V

74) Solução 1

$P = V^{2}/R$

Para a lâmpada de 40 W.

$R = (120)^{2}/40 = 360\ \Omega$.

Para as outras lâmpadas temos, respectivamente, 240 Ω e 192 Ω. A resistência equivalente será determinada por:

$(1/Req) = (1/360) + (1/240)\ (1/192)$, $Req = 82\ \Omega$

Solução 2

A potência total extraída da linha é 40 + 60 + 75 = 175 W. Então, $P = V^{2}/Req$

$Req = (120)^{2}/175 = 82\ \Omega$

75) A = 2h/h = p'/p (em módulo)

1/f = 1/p + 1/p'

1/f = 1/p + 1/2p

p' + p = 60 cm

p = 20 cm; p' = 40 cm; f = 13,3 cm

76) A = h/2h = p'/p (em módulo)

1/f = 1/p + 1/p'

1/f = 1/2p' + 1/p'

p' + p = 40 cm

p = 26,7 cm; p' = 13,3 cm; f = 8,9 cm

77) Diminui. Comentário: lembre-se que uma superfície plana tem raio de curvatura infinito.

78) Temos reflexão interna total na interface vidro–ar.

$n \times \mathrm{sen}\theta = 1 \times \mathrm{sen}(90°)$

$n \times \mathrm{sen}(45°) = 1 \times 1$

n = 1/0,71; n = 1,4

79) a) 1/f = 1/p + 1/p'

1/(–11) = 1/14 + 1/p'; p' = –6,2 cm

b) A = – p'/p

A = 6,2/14; A = 0,44

80) 1) O olho míope é um pouco maior do que o olho normal. Assim, a correção é feita com o uso de lentes divergentes. A imagem deve estar entre a lente e o objeto. Portanto, a imagem é virtual (p = –80 cm).

2) Objeto distante, $p \to \infty$, logo, $1/p \to 0$

1/f = 1/p'

1/f = 1/(–80); f = – 80 cm (divergente).

81) 1) O olho hipermétrope é um pouco menor do que o olho normal. Assim, a correção é feita com o uso de lentes convergentes. A imagem deve estar entre a lente e o objeto. Portanto, a imagem é virtual (p = – 80 cm).

2) 1/f = 1/p + 1/p'

1/f = 1/25 + 1/(–80); f = 36,4 cm (convergente).

82) 1) Ampliação linear da objetiva

1/f = 1/p + 1/p'

1/(0,8) = 1/p + 1/16; p = 0,842 cm

A = - p'/p = 16/(0,842) = 19 (em módulo)

2) Ampliação linear da ocular

1/f = 1/p + 1/p'

1/2,5 = 1/p + 1/(–25); p = 2,27

A = – p'/p = – (–25)/2,27 = 11

Ampliação total: 19 x 11 = 20^{9} vezes

83) Por semelhança de triângulos, D/d = R/r

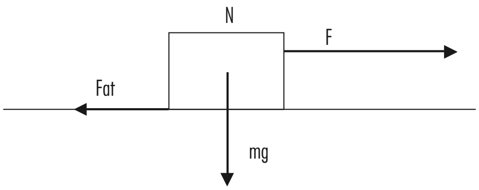
D = (0,50/54) x 3,84 x 105 = 3,6 x 10^{3} km

84) 1) O volume de água nos mares e oceanos é 70,8% da área da superfície da Terra vezes a profundidade média. Isto é, (0,708) x $4\pi R^2$ x 3,0 = 1,0 x 109 km^3.

2) A massa de um metro cúbico de água é 1,0 x 10^{3} kg. Portanto, a massa de água nos mares e oceanos é 1,0 x 10^{21} kg.

3) O número de moléculas de água é (1,0 x 10^{21})/(3,0 x 10^{-26}) = 3,3 x 10^{46}. O número de moléculas é inteiro. Logo, 3,0 x 10^{46}.

85)

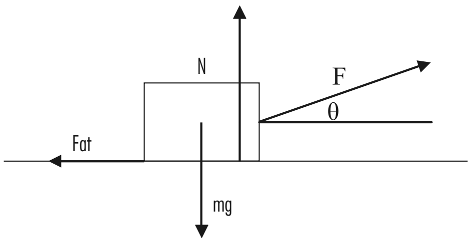


N = mg; Fat(máx) = F

Fat ≤ μ_eN ; Fat(max) = 0,65 x 10 x 9,8 = 64 N

F = 64 N (situação limite).

86)



N + Fsen θ = mg

Fat(máx) = μ_e(mg – Fsen θ)

Fat(máx) = Fcosθ

Fcosθ = $\mu_e$mg – μ_eFsenθ

F(cosθ + $\mu_e$senθ) = $\mu_e$mg

F = $\mu_e$mg/(cosθ + $\mu_e$senθ) = 54 N

87) mgcos θ = N; mgsenθ = Fat

mgsenθ = $\mu_e$mgcosθ

senθ/cosθ = μ_e; tgθ = μ_e

88) a) F – (m + M)g = (m + M)a

a = F/(m + M) – g

b) T – Mg = Ma

T = Mg + M[F/(m + M) – g]

T = FM/(m + M)

89) F = Fat

ma = $\mu_e$mg; a = μ_eg

90) N = Fcos(45°) = (0,71)F

Fat = μ_eN = μ_e(0,71)F

mg = Fat + Fsen(45°)

mg = μ_e(0,71)F + (0,71)F

mg = (μ_e + 1)(0,71)F

F = mg/[(μ_e + 1)(0,71)]

91) a) Inicialmente, a energia do sistema bloco-mola é cinética. A energia cinética do bloco, imediatamente antes do bloco atingir a mola é,

Ec = (1/2)mv^2 = (1/2) x 2 x 16 = 16 J.

Quando a compressão da mola for máxima, a energia do sistema bloco-mola é potencial elástica. Assim, (1/2)k$(x_{máx})^2$ = 16

$x_{máx}$ = $(2 \text{ x } 16/k)^{1/2}$ = 0,20 m (20 cm).

b) Quando a compressão da mola for 0,10 m a energia potencial elástica vale, (1/2)k$(x_{máx}/2)^2$ = (1/2) x 800 x $(0,20/2)^2$ = 4,0 J.

Assim, a energia cinética é igual a 12 J. Logo,

(1/2)mv^2 = 12

v = $(2 \text{ x } 12/2)^{1/2}$ = v = 3,5 m/s.

92) Energia cinética do projétil ao sair do cano da arma,

Ec = (1/2)mv^2 = (1/2) x 0,23 x $(75)^2$ = 647 J.

A energia liberada nas reações químicas do explosivo é E. Assim: Ec = 0,90E. Logo, E = 719 J.

93) $\Delta p = p - p_0$

a) na subida: $\Delta p_s = m(0 - v_0) = - mv_0$

b) na descida: $\Delta p_d = m(- v_0 - 0) = - mv_0$

c) variação total do momento linear: $\Delta p_t = \Delta p_s + \Delta p_d$

$\Delta p_t = - mv_0 + (- mv_0) = - 2mv_0$

94) $P_{antes} = P_{depois}$

a) 0 = MV – mv

V = (m/M)v

V = (1/100) x 297; V = 2,97 m/s

b) v_r = v + V

vr = 297 + 2,97 = 300 m/s

95) a) E – mg = ma

3,3 x 10^{7} – 2,8 x 10^{6} x 9,8 = (2,8 x 10^{6})a

a = 2,0 m/s^2

b) 3,3 x 10^{7} – 8,1 x 10^{5} x 9,8 = (8,1 x 10^{5})a

a = 31 m/s^2.

96) $P_{antes} = P_{depois}$

a) $m_A v_A = mAv'_A + m_B v'_B$

0,1 x 5 = 0,1v'_A + 0,25 x 1,6; v'_A = 1,0 m/s

b) Ec(antes) = (1/2)$m_A v_A^2$ = 1,25 J

Ec(depois) = (1/2)$m_A v'^2_A$ + (1/2)$m_B v'^2_B$ = 0,37 J

O sistema perdeu energia. Logo, a colisão é inelástica.

97) $m_B = 2m_A$

$P_{antes} = P_{depois}$

$mv_A = mv'_A + 2mv'_B$

$v_A = v'_A + 2v'_B$; equação (I)

Ec(depois) = (1/2)Ec(antes)

(1/2)mv'^2_A + (1/2)(2m)v'^2_B = (1/2)(1/2)mv_A^2

$v'^2_A + 2v'^2_B = (1/2)v_A^2$

$v_A^2 = 2v'^2_A + 4v'^2_B$; equação (II)

O quadrado da equação (I) só será igual a equação (II), se $v'_A = 0$. Assim, conclui-se que a bola de massa 200 g, após a colisão permanece em repouso. Logo, $v_B' = 10$ m/s.

98) $P_{antes} = P_{depois}$

$mv = m(-v/3) + 2mv'$; $v' = (2/3)v$

$Ec(antes) = (1/2)mv^2$

$Ec(depois) = (1/2)(1/9)mv^2 + (1/2)^2 m(2/3)^2 v^2$

$Ec(depois) = (1/2)mv^2$

A colisão é perfeitamente elástica.

99) a) Colisão perfeitamente elástica

$P_{antes} = P_{depois}$

$mAv = (m_A + m_B)v'$

$v' = [m_A/(m_A + m_B)]v$

$v' = (0{,}20/0{,}50) \times 10 = 4{,}0$ m/s

$Ec(antes) = (1/2)m_A v^2 = (1/2) \times (0{,}20) \times 100 = 10$ J.

$Ec(depois) = (1/2)(m_A + m_B)v'^2 = (1/2) \times (0{,}50) \times 16 = 4{,}0$ J.

A energia perdida na colisão é igual a 6,0 J.

b) $m_A v = m_B v'$

$v' = (m_A/m_B)v = (0{,}20/0{,}30) \times 10 = 6{,}7$ m/s.

Ec(antes) = 10 J.

$Ec(depois) = (1/2)m_B v'^2 = (1/2) \times 0{,}30 \times 44{,}9 = 6{,}7$ J.

A energia perdida na colisão é igual a 3,3 J.

100) $Fx = G3m^2/4L2$, $Fy = G2m^2/L2$

101) $Ep(inicial) = -GM_T m_S/R_T$

$Ep(final) = -GM_T m_S/(R_T + h)$

$\Delta Ep = Ep(final) - Ep(inicial)$

$\Delta Ep = GM_T m_S h/(RT + h)$

$\Delta Ep = 6{,}67 \times 10^{11} \times 5{,}97 \times 10^{24} \times 200 \times 6{,}0 \times 10^5/[(6{,}37 \times 10^6 + 0{,}60 \times 10^6) \times 6{,}37 \times 10^6]$

$\Delta Ep = 1{,}1 \times 10^9$ J

102) A força gravitacional é igual à força centrípeta. Assim,

$GM_G M_S/r^2 = M_S v^2/r$

$MG = rv^2/G = 2{,}5 \times 10^{20} \times 4{,}8 \times 10^{10}/6{,}7 \times 10^{-11}$

$MG = 1{,}8 \times 10^{41}$ kg

103) $r^3/T^2 = 3{,}3 \times 10^{24}$ km^3/ano^2

$r = (3{,}3 \times 10^{24} \times T^2)^{1/3}$

$r = 3{,}3 \times 10^{24} \times (76)^2 = 2{,}6 \times 10^9$ km

104) O peso da atmosfera ao nível do mar sobre uma área de 1,0 m^2 é $1{,}01 \times 10^5$ N. Logo, a massa desta coluna de ar é:

$m = P/g = 1{,}01 \times 10^5 /9{,}8 = 1{,}03 \times 10^4$ kg. Assim, há $1{,}03 \times 10^4$ kg/m^2.

A superfície da Terra vale $4\pi r^2$. Isto é,

$4\pi(6{,}37 \times 10^6)^2 = 5{,}1 \times 10^{14}$ m^2

Logo, a massa da atmosfera da Terra é

$1{,}03 \times 10^4 \times 5{,}1 \times 10^{14} = 5{,}3 \times 10^{18}$ kg

105) a) peso da canoa = Empuxo

$m_{canoa}g = m_{água}g$

$m_{canoa} = \rho_{água}V$

$V = 80/1{,}0 \times 10^3 = 0{,}080$ m^3

b) Nesta situação limite, a canoa desloca um volume de água igual ao seu próprio volume. O empuxo será igual à soma dos pesos da canoa e da carga.

$(m_{canoa} + m_{carga})g = m_{água}g$

$(m_{canoa} + m_{carga}) = m_{água}$

$(m_{canoa} + m_{carga}) = \rho_{água}V_{canoa}$

$m_{carga} = \rho_{água}V_{canoa} - m_{canoa}$

$m_{carga} = (1{,}0 \times 10^3 \times 0{,}90) - 80$; $m_{carga} = 820$ kg

106) a) A energia mecânica é igual à energia potencial elástica máxima.

$E = (1/2)kx_m^2 = (1/2) \times 15 \times (0{,}10)^2 = 7{,}5 \times 10^{-2}$ J.

b) Na posição x = 0, sua velocidade é máxima, e, a energia mecânica é igual à energia cinética.

$E = (1/2)mv_m^2$

$v_m = (2E/m)1/2 = (2 \times 0{,}075/0{,}20)^{1/2} = 0{,}87$ m/s

c) A aceleração será máxima quando a força for máxima.

$F_{máx} = kx_{Max}$ (em módulo)

$kx_{max} = ma_{máx}$

$a_{máx} = kx_{máx}/m = 15 \times 0{,}10/0{,}20 = 7{,}5$ m/s^2

107) T = 20 + 273 = 293 K

$PV = nRT$

$V = nRT/P$

$V = 1 \times 8{,}31 \times 293/1{,}013 \times 10^5 = 24 \times 10^{-3}$ m^3 (24 litros).

108) $P_0V_0/T_0 = PV/T$

$P = P_0V_0T/T_0V$

$P = (1{,}013 \times 10^5)V_0 \times 353/(293 \times 0{,}70V_0)$

$P = 1{,}7 \times 10^5$ N/m^2

109) $Qrecebido = mc\Delta T$

$Q_{recebido} = 180 \times 1{,}0 \times 70 = 12600$ cal

$Q_{recebido} = 12{,}6$ kcal

110) $Q_{água} + Q_{cobre} = 0$

$1{,}0 \times 4{,}18(T - 20) + 3{,}0 \times 0{,}385(T - 90) = 0$

$T = (4{,}18 \times 1{,}0 \times 20 + 0{,}385 \times 3{,}0 \times 90)/(4{,}18 \times 1{,}0 \times 0{,}385 \times 3{,}0)$

T = 35º C

111) $\Delta V = \gamma V_0 \Delta T$

Para o vidro

$\Delta V_{vidro} = 0{,}27 \times 10^{-4} \times 1{,}0 \times 10^3 \times 30 = 0{,}81$ cm^3

Para o álcool

$\Delta V_{álcool} = 11 \times 10^{-4} \times 1{,}0 \times 10^3 \times 30 = 33$ cm^3

O volume de álcool que transborda é igual à diferença entre os aumentos de volume. Assim, temos $V_{transbordado} = 33 - 0{,}81 = 32$ cm^3

112) Durante a queda a água recebe energia potencial gravitacional Ep = mgh. A energia recebida pela água é na forma de calor. Assim, temos

$Q = mgh$

$mc\Delta T = mgh$

$\Delta T = gh/c = (9{,}8 \times 120)/(4{,}18 \times 10^3) = 0{,}28$º C.

113) a) Durante o processo AB, o gás realiza um trabalho dado por

$W_{AB} = P(V_B - V_A)$

$W_{AB} = 3{,}0(3{,}5 - 1{,}0) = 5{,}0$ atm.litros

No processo BC e DA, o gás não realiza trabalho, pois o volume é constante.

No processo CD, temos

$W_{CD} = P(V_D - V_C)$

$W_{CD} = 1{,}0(1{,}0 - 3{,}5) = -2{,}5$ atm.litros.

O trabalho realizado no ciclo é

$W = W_{AB} + W_{CD} = 5{,}0 + (-2{,}5) = 2{,}5$ atm.litros.

b) pela primeira Lei da Termodinâmica $\Delta U = Q - W$. Assim no ciclo $\Delta U = 0$, então $Q = W = 2{,}5$ atm.litros

114) $v_0x = v_0\cos(55°) = 470 \times 0{,}574 = 270$ m/s. Como trata-se de uma colisão elástica $v_x = v_{x0}$.

O impulso é igual à variação do momento linear. Assim, temos

$I = p - p_0$

$I = mvx - mvx0$

$I = 2mvx = 2 \times 4{,}7 \times 10^{-26} \times 270 = 2{,}5 \times 10^{-23}$ kg.m/s

115) $P = 1{,}013 \times 10^5$ N/m^2; $T = 273$ K.

$PV = nRT$

$PV = (m/M)RT$

$m = PVM/RT$

$m = (1{,}013 \times 10^5 \times 1{,}0 \times 10^{-6} \times 28 \times 10^{-3})/(8{,}31 \times 273)$

$m = 1{,}3 \times 10^{-6}$ kg

Sabemos que numa massa 28 g ($2{,}8 \times 10^{-2}$ kg) de nitrogênio há $6{,}02 \times 10^{23}$ moléculas. Então, numa massa de $1{,}3 \times 10^{-6}$ kg haverá $2{,}8 \times 10^{19}$ moléculas.

116) $F = 100$ N; $F_y = 30$ N

$\text{sen}\theta = 30/100 = 0{,}30$

$\theta = 17{,}5°$

$Fx = F\cos\theta = 100\cos(17{,}5°) = 100 \times 0.95 = 95$ N

117) Soma das componentes em x

$Rx = 19 + 15\cos(60°) - 16\cos(45°) - 11\text{sen}(60°)$

$Rx = 19 + 7{,}5 - 11{,}3 - 9{,}5 = 5{,}7$ N

Soma das componentes em y

$Ry = 15\text{sen}(60°) + 16\cos(45°) - 11\cos(60°) - 22$

$Ry = 13 + 11{,}3 - 5{,}5 - 22 = -3{,}2$ N

Modulo da resultante $R = (Rx^2 + Ry^2)^{1/2} = [(5{,}7)^2 + (3{,}2)^2]^{1/2} = 6{,}5$ N

Direção ϕ da resultante, em relação ao eixo x

$\text{tg}\phi = 3{,}2/5{,}7 = 0{,}56$

$\phi = -29°$

118) Caso a) $mg = N + F\text{sen}(30°)$

$50 = N + 10$

$N = 40$ N

Caso b) $mg + F\text{sen}(30°) = N$

$50 + 10 = N$; $N = 60$ N

119) a) $mg - T = 0$

$60 - T = 0$; $T = 60$ N

b) $T - mg = m \times 3{,}0$

$T = 60 + 18$; $T = 78$ N

c) $T - mg = m \times (-3{,}0)$

$T = 60 - 18$; $T = 42$ N

120) $4F = 2mg$

$F = mg/2$; $F = 20$ N

121) $A \times F = B \times mg$

$F = (Bmg)/A$

122) Na situação limite temos: $F = mg/2$

123) m é a massa do projétil,

M é a massa da esfera mais a massa do projétil,

v é velocidade inicial do projétil,

V é a velocidade da esfera e do projétil imediatamente após a colisão.

Pela conservação do momento linear temos,

Q(antes) = Q(depois)

$mv = MV$

$(0{,}015)v = (3{,}015)V$

Pela conservação da energia temos,

Ec(antes) = Ep(final)

$(1/2)(3{,}015)V^2 = (3{,}015)(10)(0{,}10)$

$V = 1{,}4$ m/s. Logo, $v = 281$ m/s

124) Conservação do momento linear:

Pantes = Pdepois

Na direção leste

$(7{,}5 \times 10^3) \times 5 - (1{,}5 \times 10^3) \times 20\cos(30°) = (9{,}0 \times 10^3)v_L$

$vL = 1{,}28$ m/s

Na direção norte

$(7{,}5 \times 10^3) \times 5 - (1{,}5 \times 10^3) \times 20\text{sen}(30°) = (9{,}0 \times 10^3)v_N$

$vN = -1{,}67$ m/s

O módulo da velocidade é $v = (v_L^2 + v_N^2)^{1/2} = 2{,}1$ m/s. A direção da velocidade é: $\text{tg}\theta = v_L/v_N = (-1{,}67)/1{,}28 = 1{,}30$

$\theta = -53°$

125) $F = kx$ (em módulo)

$k = F/x = mg/0{,}060$

$T = 2\pi(m/k)^{1/2}$

$T = 2\pi[m(0{,}060)/mg]^{1/2} = 0{,}49$ s

126) Volume da nata em 103 cm^3 de leite $= 0{,}04 \times 10^3$ cm^3 $= 40$ cm^3.

Massa de 40 cm^3 de nata $= \rho V = 865 \times 40 \times 10^{-6} = 0{,}0346$ kg

Densidade do leite desnatado $= m/V = (1{,}032 - 0{,}0346)/(1000 - 40) \times 10^{-6} = 1039$ kg/m^3

127) A pressão total no recipiente será a pressão atmosférica mais a pressão exercida pelo êmbolo mais a esfera.

$P\text{total} = 1{,}03 \times 10^5 + (20 \times 10)/(8{,}0 \times 10^{-4})$

$P\text{total} = 3{,}5 \times 10^5$ N/m^2

128) A pressão na altura H é a mesma em todo líquido. Assim, temos

$(600 \times 10)/(800 \times 10^{-4}) = 10m/(25 \times 10^{-4}) + 780 \times 10 \times 8$

$m = 3{,}2$ kg

129) O empuxo E que atua no parafuso é $E = (0{,}67 - 0{,}45) = 0{,}22$ N

Este é também o peso da aguarrás deslocada. O volume V do parafuso é

$V = m/\rho = 0{,}067/2700 = 2{,}5 \times 10^{-5}$ m^3

Este é também o volume da aguarrás deslocada. Assim, a densidade ρ da aguarrás é $\rho = (0{,}022)/(2{,}5 \times 10\text{-}5) = 880$ kg/m^3 $= 0{,}88$ g/cm^3.

130) No equilíbrio, temos Empuxo do homem + empuxo da espuma = peso do homem + peso da espuma

$\rho_A(0{,}80VH)g + \rho_A(V_{espuma})g = \rho_H V_H g + \rho_{espuma} V_{espuma} g$

$(\rho_A - \rho_{espuma})V_{espuma} = (\rho_H - 0{,}80\rho A)V_H$

$(1{,}0 - 0{,}58)V_{espuma} = (1{,}04 - 0{,}80 \times 1{,}0)(80 \times 10^3/1{,}04)$

$V_{espuma} = 44 \times 10^3 \text{ cm}^3 = 0{,}044 \text{ m}^3$

131) a) O trabalho realizado na expansão isobárica é igual à área sob a curva. $4{,}0 \times 10^5 \times (4{,}0 - 1{,}5) \times 10^6 = 1{,}0$ J

b) O trabalho realizado na compressão isobárica é negativo.

$-[2{,}0 \times 10^5 \times (4{,}0 - 1{,}5) \times 10^6] = -(0{,}50)$ J

c) Nas transformações isométricas o volume permanece constante. Logo, não há movimento do êmbolo. Assim, o trabalho realizado é nulo.

d) O trabalho no ciclo é igual a soma dos trabalhos em cada uma transformação. $T_{ciclo} = 1{,}0 + (-0{,}50) = 0{,}50$ J.

132) Primeira lei da termodinâmica $\Delta U = Q - P\Delta V$.

A pressão total sobre o gás é a pressão exercida pelo êmbolo mais a pressão atmosférica. $P = (8 \times 10)/(60 \times 10^4) + 1{,}0 \times 10^5 = 1{,}13 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

Durante a expansão do gás, temos

$\Delta U = Q - P\Delta V$

$\Delta U_1 = Q_1 - (1{,}13 \times 10^5)(60 \times 10^4 \times 0{,}20)$

$Q_1 = \Delta U_1 + 136$ equação (1).

Durante o esfriamento, $\Delta V = 0$. Logo, $\Delta U_2 = Q_2$. A energia interna de um gás ideal é função apenas da temperatura. Como, as temperaturas inicial e final são iguais, logo, $\Delta U_1 = \Delta U_2$. Pela equação (1) temos

$Q_1 = \Delta U_1 + 136$

$Q_1 = Q_2 + 136$

$Q_1 - Q_2 = 136$ J.

133) $\alpha = \beta$; $\gamma = \theta$; $\phi + \gamma = 90°$; $\beta + \gamma = 90°$

$\alpha + \gamma = 90°$; $\phi + \gamma = 90°$

$\alpha = \phi$

134) $n_1 \text{sen}\theta_1 = n_2 \text{sen}\theta_2$

Na situação limite, $\theta_1 = \theta_L$. O raio sai rasante, $\theta_2 = 90°$.

$n_1 \text{sen}\theta_L = 1 \times \text{sen}(90°)$

$n_1 \text{sen}\theta_L = 1 \times 1$

$\text{sen}\theta_L = 1/n_1$

No problema $\theta_1 = 45°$, $\text{sen}(45°) = 0{,}71$

$1/0{,}71 = 1{,}41$

Como, θ_L é menor do que θ_1, então n_1 é maior do que 1,41.