

Introdução à Cinemática Escalar e Movimento Uniforme

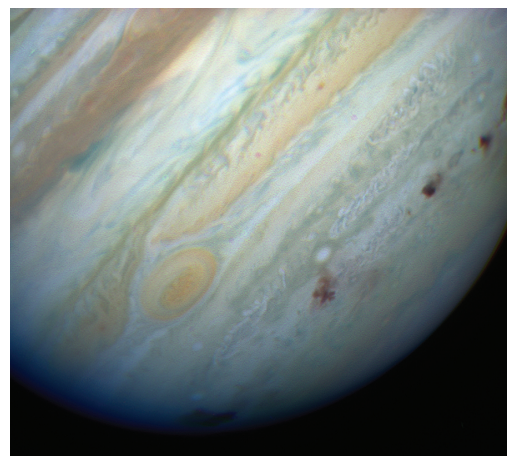
O estudo do movimento pode ser considerado como o ponto de partida para o que chamamos hoje de Ciências da Natureza. Ao voltar seus olhos (e pensamentos) para os céus, os homens, através dos tempos, perceberam que a maioria das luzes formavam figuras nos céus e que estas se mantinham com o mesmo formato ao longo das estações. Porém, algumas poucas luzes (planetas, em grego, “estrelas errantes”) mudavam constantemente de posição, sempre se movendo ao longo de uma estreita faixa no céu, a mesma faixa na qual se moviam o Sol e a Lua. A busca da compreensão desse fenômeno da natureza, com a criação de teorias para as causas desses movimentos e com a previsão do horário e do local de surgimento de determinado astro, marcou o início do árduo esforço do pensamento humano para construir um modelo do mundo onde vivemos. O estudo do movimento dos corpos celestes e, posteriormente, o estudo dos objetos na superfície da Terra deram início à chamada Revolução Científica.

Didaticamente, dividimos o estudo dos movimentos em duas partes, uma associada aos movimentos e suas causas, a Dinâmica, e outra associada à descrição dos movimentos, a Cinemática.

Este módulo é dedicado à descrição dos movimentos mais simples e envolve o estudo de grandezas como posição, velocidade, trajetória, entre outras. Neste módulo, iniciaremos o estudo da Cinemática, abordando o movimento com velocidade constante.

POSIÇÃO E TRAJETÓRIA

Se o planeta Júpiter, mostrado na figura, fosse uma esfera oca, caberiam dentro dele cerca de 1 000 planetas Terra, aproximadamente. Apesar disso, quando visto da Terra, a olho nu, Júpiter não passa de uma bela “estrela” brilhante. Quando a dimensão dos corpos envolvidos na descrição de um movimento (os móveis) não for importante para a análise da situação, esses corpos serão chamados de **pontos materiais**, em oposição ao termo **corpos extensos**. Desse modo, Júpiter é considerado um ponto material quando desejamos prever e observar o instante de seu nascimento no horizonte em um determinado dia. Mas, para entender por que o cometa Shoemaker-Levy 9, em 1994, se desintegrou em vários pedaços antes de colidir com Júpiter (pontos escuros da figura a seguir), temos de considerá-lo como um corpo extenso.



NASA

Júpiter pode ser considerado um ponto material ou um corpo extenso, dependendo da situação que desejamos estudar.

Apresentamos a seguir dois conceitos que estão intimamente associados: posição e trajetória. Ao pensarmos em um dos conceitos, o conectamos imediatamente ao outro. Veja a figura a seguir, que mostra o rastro de aviões de exibição.



©iStock.com / KGrif

A fumaça liberada pelos aviões de exibição pode nos indicar a trajetória deles no ar.

Denominamos de trajetória o conjunto de posições sucessivas ocupadas por um móvel. Para que possamos localizar a posição de um móvel no espaço, podemos utilizar vários métodos. Por exemplo, para localizar a posição de um avião no espaço, podemos utilizar, na torre de comando do aeroporto, um sistema de coordenadas cartesianas, com eixos x , y e z perpendiculares entre si, que nos auxiliarão a localizar as posições ocupadas pelo avião em momentos diferentes de seu movimento.

Iremos considerar um ponto da base da torre de comando como a origem de nosso sistema de coordenadas, usualmente representada pela letra O, e iremos escolher uma unidade de comprimento para a escala dos eixos x, y, z. Utilizando tais convenções, podemos localizar a posição do avião no espaço, em qualquer posição que ele esteja. Observe que, no exemplo apresentado, os valores das posições do avião em relação aos eixos x, y e z podem ser positivos ou negativos.



Tim Roberts Photography / Shutterstock

Eixos cartesianos utilizados para localização de um corpo no espaço.

Um operador de radar que estivesse na base da torre de comando, se preparando para ir trabalhar, ocuparia a posição representada pela letra s, cujas coordenadas seriam $x = 0, y = 0$ e $z = 0$, isto é, $s = (0, 0, 0)$. Já um colega de trabalho que está prestes a ser substituído ocuparia a posição $s' = (0, 0, 60 \text{ m})$, considerando que a sala de comando esteja a 60 m de altura em relação à base da torre (origem do sistema de coordenadas).



PARA REFLETIR

Um caminhão ocupa a posição $s = 450 \text{ km}$ da BR-101, que liga o Rio Grande do Norte ao Rio Grande do Sul. Isso indica que o caminhão percorreu 450 km? Podemos dizer que ele está indo para o Rio Grande do Sul?

REFERENCIAL E A FORMA DA TRAJETÓRIA



Responda rápido: você está em repouso ou em movimento no momento em que está lendo este trecho do texto?

Caso você tenha pensado bem, provavelmente respondeu "depende". A noção de movimento ou de repouso é sempre relativa a outro objeto. Estamos em repouso em relação à cadeira em que estamos sentados, mas estamos em movimento em relação a alguém que se encontra na Lua, em uma estação orbital ou em um carro que passa na rua.

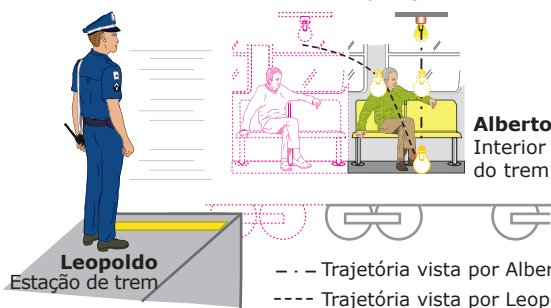
O corpo em relação ao qual identificamos se um objeto se encontra ou não em movimento é denominado **referencial** ou **sistema de referência**. Na maioria dos exemplos citados em nosso curso, e em nosso cotidiano, utilizamos o solo (Terra) como nosso sistema de referência. De tão utilizado como sistema de referência, muitos o consideram como um sistema absoluto, mas isso não é correto. Movimento e repouso são sempre conceitos relativos. Se a posição de um objeto variar em relação a um determinado referencial à medida que o tempo passa, então esse objeto encontra-se em movimento em relação a esse referencial.

Assim como o movimento e o repouso são conceitos relativos, a trajetória observada de um objeto em movimento também o é. O movimento de um corpo, visto por um determinado observador, depende do referencial em que se encontra esse observador. Por exemplo, considere um trem que está passando em uma estação, conforme representado na figura a seguir. Para Alberto, um passageiro do trem, a lâmpada L, fixa no teto do vagão, está parada. Entretanto, essa mesma lâmpada está em movimento para Leopoldo, o guarda que se acha na plataforma.



Para o passageiro, a lâmpada está em repouso, mas, para o guarda, ela está em movimento.

O mesmo raciocínio pode ser usado para o estudo da trajetória de um corpo. Por exemplo, na situação anterior, imagine que a lâmpada se desprenda do teto e caia em direção ao piso do trem. Em relação ao referencial da estação, a lâmpada continuará se movendo para a direita, com a mesma velocidade do trem. Na direção vertical, a velocidade da lâmpada aumentará durante a queda. O resultado dessa composição de movimentos é que Leopoldo enxerga a lâmpada caindo e se deslocando para a direita, segundo uma trajetória curvilínea. Como Alberto, dentro do trem, se movimenta para a direita com a mesma velocidade horizontal da lâmpada e do trem, ele vê a lâmpada caindo verticalmente. Exploraremos situações como essa, de forma mais detalhada, quando abordarmos o estudo da composição de movimentos.



Trajétoria da lâmpada vista por um observador no trem e por um observador na plataforma.



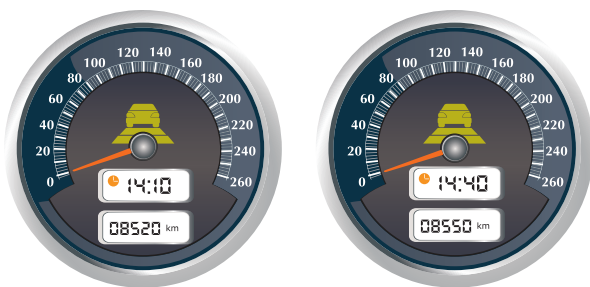
Mudança de referencial

A trajetória de um corpo é relativa, pois depende de onde ela é observada. Não é possível descrever uma trajetória sem especificarmos antes qual é o sistema de referência. Esse simulador transporta você para diferentes referenciais. Aperte o play, abaixo dos balões, para escolher o sistema de referência do qual você deseja observar a trajetória de uma bola lançada verticalmente para cima. Assim, é possível observar as diversas trajetórias de um mesmo movimento. O pássaro e os carros se movimentam em linha reta com velocidade constante e de mesmo valor. Desconsidere a resistência do ar sobre a bola. Boa atividade!



VELOCIDADE ESCALAR MÉDIA

Agora, vamos definir a velocidade escalar média de um corpo em movimento. Esse conceito é muito importante, e iremos utilizá-lo em várias situações. Para entender a ideia de velocidade média, imagine a seguinte situação: em uma manhã, um homem sai de carro para o trabalho e decide registrar o tempo que gasta para chegar a seu destino e também a distância percorrida nesse trajeto. Para isso, ele anota a quilometragem do carro quando sai de casa e também quando chega ao trabalho, bem como os respectivos instantes de tempo (a hora do dia). Para esse fim, utilizou o hodômetro e o relógio do painel do carro, obtendo os valores indicados nas figuras seguintes:

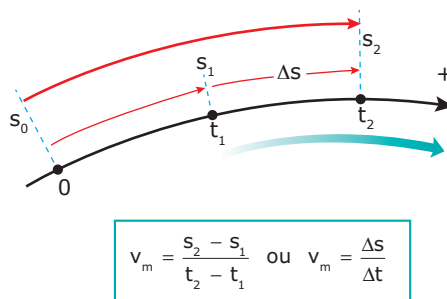


De acordo com as leituras da quilometragem e da hora feitas no painel do carro nos dois momentos, o carro percorreu uma distância de 30 km em um intervalo de tempo igual a 0,5 hora. Isso significa que, nesse mesmo ritmo, em uma hora, ele percorreria 60 km, isto é, sua velocidade escalar média é de 60 km/h. Definimos a velocidade escalar média da seguinte forma:

$$v_m = \frac{\text{distância total percorrida}}{\text{tempo total gasto}}$$

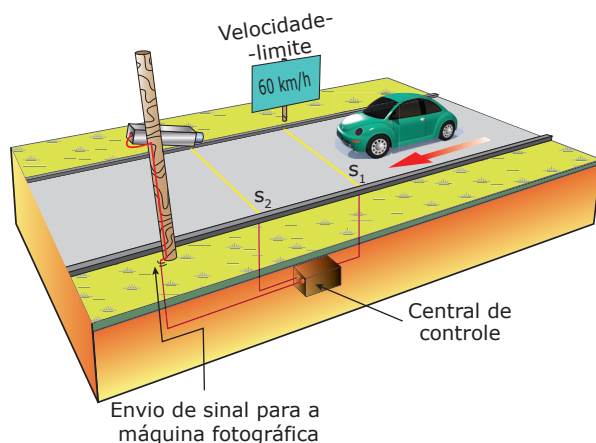
Observe que, se você substituir, nessa equação, a distância percorrida pelo carro e o tempo gasto para percorrê-la, você obterá exatamente o valor da velocidade escalar média que nós havíamos intuído: $v_m = 30 / 0,5 = 60$ km/h. Esse valor não indica que o carro tenha percorrido o trajeto de casa ao trabalho sempre com a velocidade de 60 km/h. Em alguns momentos, o motorista deve ter parado o carro em alguns cruzamentos, em outros, o motorista deve ter aumentado a velocidade de seu carro a um valor acima de 60 km/h para, por exemplo, ultrapassar outro veículo. A interpretação do valor da velocidade média é a seguinte: se o carro se movesse sempre a 60 km/h (situação teórica), ele percorreria a distância em questão no mesmo intervalo de tempo da situação real.

De modo geral, define-se a velocidade escalar média de um ponto material como a razão entre a variação de posição (Δs) e o intervalo de tempo gasto (Δt), como representado na figura a seguir:



VELOCIDADE ESCALAR INSTANTÂNEA

A figura seguinte representa um dispositivo para medir a velocidade de automóveis instalado nas ruas de algumas cidades do Brasil.

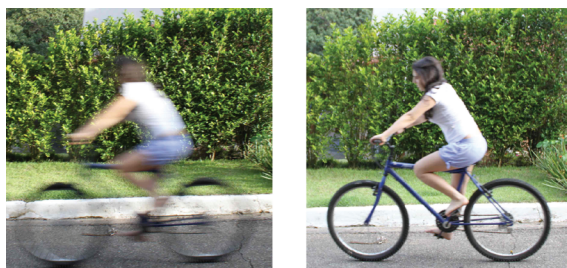


Representação do esquema de um sensor de velocidade utilizado em vias urbanas.

Simplificadamente, os "radares" funcionam da seguinte maneira: dois sensores são instalados na pista, um a poucos metros de distância do outro. Esses sensores detectam a presença de objetos que tenham metal e disparam quando um objeto metálico passa por eles. Dessa forma, quando um automóvel passa sobre o primeiro sensor, este dispara um cronômetro. Quando o automóvel passa sobre o segundo sensor, o cronômetro cessa a medição. Um computador registra o intervalo de tempo decorrido entre esses dois instantes. Sabendo a distância percorrida entre os sensores, fornecida pelos técnicos que instalaram o dispositivo, e o intervalo de tempo gasto para percorrê-la, é possível determinar o ritmo em que as posições do automóvel variaram, isto é, pode-se determinar a velocidade média do carro em um intervalo de tempo muito pequeno, ou seja, podemos determinar a **velocidade escalar instantânea (v)** do automóvel.

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}, \text{ quando } \Delta t \text{ é muito pequeno (tende a zero).}$$

Podemos citar outras situações em que um intervalo de tempo tende a zero. Por exemplo, quando registramos uma cena na qual um objeto se move, utilizando uma máquina fotográfica, podemos obter resultados variados: às vezes, os objetos em movimento aparecem "borrados" na imagem e, outras vezes, aparecem "estáticos". Tudo isso está associado ao intervalo de tempo (Δt) utilizado para registrar a cena. Se o intervalo de tempo é grande, a fotografia dos objetos que se movem aparece "borrada"; caso contrário, a imagem aparece "estática", mesmo que os objetos estejam a grandes velocidades.



Arquivo Bernoulli

As imagens fotográficas são registradas quando uma superfície sensível recebe luz. A primeira imagem foi obtida deixando a luz entrar na máquina durante 1/30 do segundo, já a segunda foto foi obtida de modo mais rápido, 1/300 do segundo, deixando a imagem final estática.

MOVIMENTO UNIFORME

Em certas situações, a posição de um móvel pode variar sempre no mesmo ritmo, isto é, a taxa de variação da posição, em relação ao tempo, é sempre a mesma. Nesse caso, denominamos o movimento do móvel de movimento uniforme (MU). No movimento uniforme, a velocidade escalar instantânea é constante e não nula. Obviamente, nesse caso, a velocidade escalar instantânea iguala-se à velocidade escalar média, isto é:

$$v = v_m \Rightarrow v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

No movimento uniforme, o móvel percorrerá **distâncias iguais em intervalos de tempo iguais**.

O desenvolvimento da equação $v = \Delta s / \Delta t$ resulta em:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s - s_0}{t - t_0}; \text{ assumindo que } t_0 = 0 \text{ s, temos:}$$

$$s = s_0 + vt \text{ (função horária da posição no MU)}$$

Imagine que um carro tenha saído de um posto de gasolina na beira de uma estrada, no qual estava indicada sua posição na estrada, km 781. Considere que essa seja sua posição inicial (s_0). Se a velocidade do carro é constante e igual a 80 km/h, qual será a sua posição após 4 horas de viagem, sabendo que ele se move no sentido crescente da trajetória?

Podemos raciocinar do seguinte modo:

- Um carro viajando a 80 km/h, durante 4 h, percorrerá 320 km.

- Se ele sai do km 781 e percorre mais 320 km no sentido crescente das posições, então ele estará no km 1 101 após 4 h.

Podemos resolver esse problema utilizando a função horária da posição para o MU, $s = s_0 + vt$, que é a expressão matemática do raciocínio usado na resolução anterior.

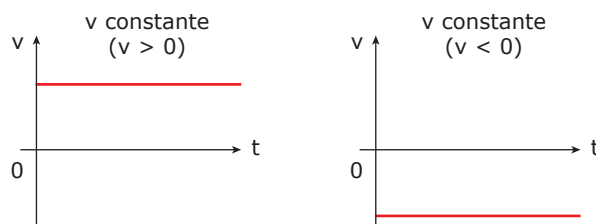
$$s = 781 \text{ km} + 80 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot 4\text{h} = 781 \text{ km} + 320 \text{ km}$$

$$s = 1\,101 \text{ km}$$

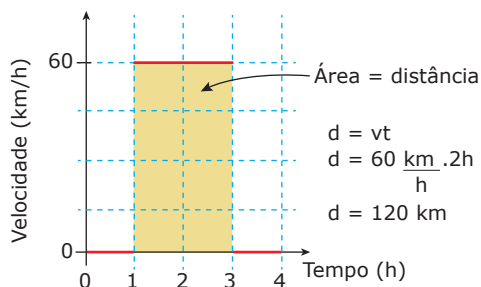
GRÁFICO VELOCIDADE VERSUS TEMPO NO MU

Quando o movimento ocorre no sentido crescente das posições (por exemplo, do km 30 para o km 90), ele é denominado **progressivo**, sendo, nesse caso, o valor da velocidade positivo ($v = \Delta s / \Delta t$ e Δs é positivo). Caso o movimento ocorra no sentido decrescente das posições (do km 90 para o km 30), é denominado **retrógrado**, e o valor da velocidade apresenta sinal negativo, pois Δs é negativo. Desse modo, se alguém lhe disser que a velocidade de um carro é de -70 km/h , isso significa que o carro se move a 70 km/h , no sentido decrescente das posições.

O gráfico da função horária da velocidade, no movimento uniforme, é uma reta horizontal, uma vez que o valor da velocidade é constante, podendo estar acima ou abaixo do eixo do tempo. A figura a seguir mostra o gráfico da velocidade em função do tempo para dois movimentos. No primeiro caso, o movimento é progressivo, v é positivo; no segundo, o movimento é retrógrado, pois o valor da velocidade é negativo.



Veja, na figura seguinte, o diagrama que relaciona a velocidade v com o tempo t , para um automóvel que se move com velocidade constante de $+60 \text{ km/h}$ e que viaja durante 2 horas.



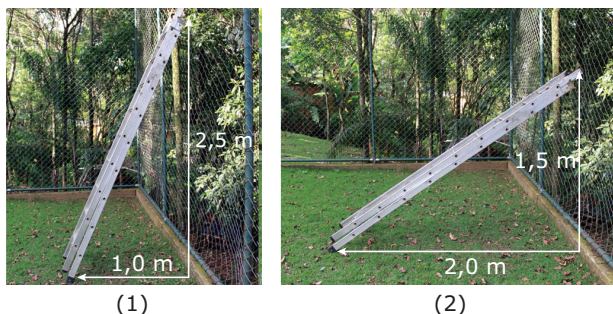
Observe que a área marcada de amarelo é numericamente igual à variação da posição (distância percorrida) do automóvel no intervalo de tempo de 2 h, ou seja, 120 km.

Em qualquer gráfico velocidade *versus* tempo, a área sob a curva do gráfico, para um determinado intervalo de tempo, é numericamente igual à distância percorrida pelo móvel nesse intervalo de tempo.

Lembre-se de que, como a área calculada está na região do gráfico cartesiano em que as ordenadas são positivas, temos que o carro percorreu 120 km no sentido crescente das posições.

GRÁFICO POSIÇÃO *VERSUS* TEMPO NO MU

A função horária da posição no MU é uma função do 1º grau ($y = ax + b$). Isso implica que a relação posição *versus* tempo será representada por uma reta. Uma importante característica dessa reta é a sua **inclinação** ou **declividade**, representada pela letra a . Veja as duas imagens de uma escada que se encontra apoiada em uma tela e cujas distâncias horizontais e verticais ao chão estão indicadas nas imagens.



Observe que a imagem (1) mostra a escada muito inclinada em relação à horizontal, e que a imagem (2) mostra a escada pouco inclinada. Podemos utilizar os números mostrados nas imagens (1) e (2) para definir a inclinação da escada, da seguinte maneira:

$$\text{Inclinação 1} = \frac{\text{distância vertical}}{\text{distância horizontal}} = \frac{2,5 \text{ m}}{1,0 \text{ m}} = 2,5$$

$$\text{Inclinação 2} = \frac{\text{distância vertical}}{\text{distância horizontal}} = \frac{1,5 \text{ m}}{2,0 \text{ m}} = 0,75$$

Para se encontrar a inclinação a de uma reta, utiliza-se o seguinte procedimento:

- Marcam-se dois pontos na reta.
- Determina-se a diferença entre os valores das ordenadas e entre os valores das abscissas desses pontos ($y_2 - y_1 = \Delta y$ e $x_2 - x_1 = \Delta x$).
- Calcula-se a razão entre Δy e Δx .
- Inclinação: $a = \frac{\Delta y}{\Delta x}$.

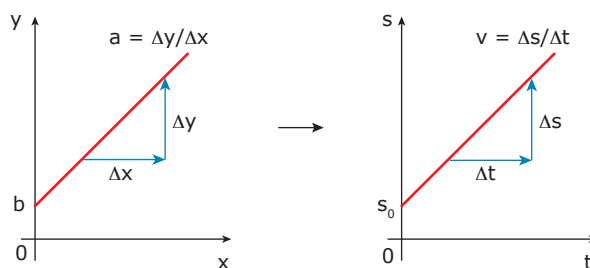
A inclinação de uma reta é um conceito extremamente útil que poderá ser utilizado quando uma reta se fizer presente nas representações gráficas.

Dessa forma, após apresentarmos o conceito de inclinação de uma reta, podemos realizar a seguinte analogia, entre a equação geral de uma reta ($y = b + ax$) e a equação da posição em função do tempo para um objeto em MU ($s = s_0 + vt$):

	Geral	Para o MU
Equações	$y = b + ax$	$s = s_0 + vt$
Eixo das ordenadas	y	s
Eixo das abscissas	x	t
Ponto em que a reta "corta" o eixo das ordenadas	b	s_0
Declividade ou inclinação	a	v

Tabela 1.

Graficamente, a analogia está representada na figura seguinte:



Assim como o valor da inclinação a na equação $y = ax + b$ é constante, o valor da velocidade v no movimento uniforme também o é e pode ser determinado pela inclinação da reta no gráfico de posição *versus* tempo $v = \Delta s / \Delta t$.

OBSERVAÇÕES

1. No Movimento Retilíneo Uniforme, como o movimento ocorre somente em um sentido, o valor da variação das posições será a distância percorrida ($\Delta s = d$).
2. Enquanto Δx e Δy podem assumir tanto valores positivos quanto valores negativos no gráfico de y em função de x , no gráfico posição *versus* tempo, somente os valores de Δs podem ser negativos, pois não há sentido físico para os valores de Δt negativos (o tempo sempre flui para o futuro).



Movimento Uniforme

O Movimento Retilíneo Uniforme é o movimento apresentado por um corpo em linha reta e em velocidade constante. Essa animação interativa mostra passo a passo como se faz um gráfico da posição *versus* tempo de um corpo em Movimento Retilíneo Uniforme. Analise o movimento de subida do elevador e perceba que ele percorre distâncias iguais quando os intervalos de tempo também são iguais. Veja o gráfico correspondente a esse movimento e repare em suas características. Você também pode interagir com o objeto, construindo diferentes gráficos. Boa atividade!



EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

01. Tiago e Paula, estudantes de Engenharia – Tiago estudante do IME (Rio de Janeiro - RJ) e Paula do ITA (São José dos Campos - SP) – partem de carro, simultaneamente, cada um da cidade onde estuda, para se encontrarem.

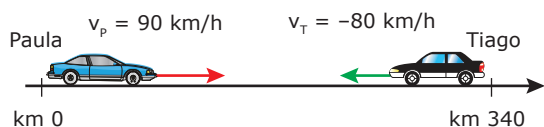
As cidades em questão distam 340 km uma da outra. Considere a velocidade do carro de Tiago constante e igual a 80 km/h e a velocidade do carro de Paula constante e igual a 90 km/h. Considere a posição 0 km (origem do sistema de referência) em São José dos Campos. Determinar

- A) o intervalo de tempo gasto para que os dois estudantes se encontrem;
- B) a posição da estrada em que os estudantes se encontrarão.

Resolução:

1º modo

A) As informações do texto podem ser representadas da seguinte forma:



A partir da figura, temos:

Carro da Paula: $s_0 = 0$ e $v_p = 90$ km/h

Carro do Tiago: $s_0 = 340$ km e $v_t = -80$ km/h

(Veja o sentido crescente das posições na trajetória).

A função horária da posição de cada carro é $s = s_0 + v_t$, movimento uniforme; logo:

$$s_{Paula} = 0 + 90t \text{ e } s_{Tiago} = 340 - 80t$$

No instante em que eles se encontrarem, suas posições serão iguais; logo:

$$s_{Paula} = s_{Tiago} \Rightarrow 0 + 90t = 340 - 80t \Rightarrow 170t = 340 \Rightarrow t = 2 \text{ h (instante do encontro)}$$

B) Para determinarmos a posição do encontro, basta substituímos o valor do instante de encontro, 2 h, na função horária de qualquer um dos dois automóveis:

$$s_{Paula} = 0 + 90t = 90(2) = 180 \text{ km}$$

$$s_{Tiago} = 340 - 80t = 340 - 80(2) = 340 - 160 = 180 \text{ km}$$

Logo, os automóveis se encontram 2 h após a partida, a 180 km da cidade de São José dos Campos (perto de Resende-RJ).

2º modo

Como os dois automóveis apresentam velocidades constantes, os respectivos gráficos de posição *versus* tempo devem ser representados por retas; o carro de Paula sai da origem das posições (km 0) e percorre 90 km a cada hora, e o carro de Tiago sai do km 340 e retrocede 80 km a cada hora. Podemos representar as posições nas quais cada carro se encontra, construindo uma tabela, como mostrado a seguir:

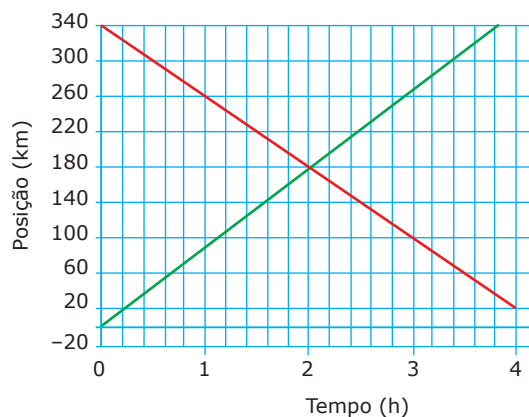
$$v_{Paula} = +90 \text{ km/h (sentido crescente das posições)}$$

$$v_{Tiago} = -80 \text{ km/h (sentido decrescente das posições)}$$

Tempo	Posição Paula	Posição Tiago
0 h	km 0	km 340
1 h	km 90	km 260
2 h	km 180	km 180
3 h	km 270	km 100
4 h	km 360	km 20

Utilizando os dados dessa tabela, podemos representar graficamente a situação.

Gráfico posição versus tempo



— Carro da Paula — Carro do Tiago

O gráfico em questão mostra que Paula e Tiago se encontram na posição 180 km, após 2 h de viagem.

OBSERVAÇÃO

Não importa o modo de resolução (analítico, tabela ou gráfico), desde que a resolução seja coerente e que utilize os princípios físicos corretos.

04. (Mackenzie-SP) Em uma estrada retilínea, um automóvel de 3 m de comprimento e velocidade constante de 90 km/h, alcança uma carreta de 15 m de comprimento e velocidade, também constante, de 72 km/h. O sentido do movimento da carreta é o mesmo que o do carro. A distância percorrida pelo automóvel para ultrapassar completamente a carreta é de

- A) 40 m. C) 75 m. E) 100 m.
 B) 55 m. D) 90 m.

05. (IFPE-2015) Extra oficialmente, o lateral-esquerdo brasileiro Ronny, do Sporting de Lisboa, já deu um chute com velocidade de 222 km/h. Mas o chute, ocorrido em novembro de 2006 durante um jogo contra o Naval pelo campeonato português, não foi medido oficialmente. Chegou-se a essa marca calculando a velocidade média que a bola atingiu para percorrer 16,5 metros em menos de 27 centésimos de segundo. Portanto, como a velocidade foi calculada pela análise do vídeo e não por equipamentos instalados no campo, o recorde não pôde entrar no *Guinness Book*, que segue registrando um chute de "apenas" 126 km/h como o recordista.

Qual o chute mais rápido já dado numa partida de futebol?
 Disponível em: <<http://mundoestranho.abril.com.br/materia/qual-o-chute-mais-rapido-ja-dado-numapartida-de-futebol>>.
 Acesso em: 01 maio 2015.

Considerando-se que o recorde do chute mais rápido numa partida de futebol foi atingido com 126 km/h, qual a distância, expressa em metros, percorrida pela bola, sabendo-se que o tempo decorrido foi de 0,4 segundo e considerando-se que a bola se deslocou com velocidade constante sem resistência do ar e atrito?

- A) 14 m. C) 12 m. E) 17 m.
 B) 15 m. D) 16 m.

06. (UFMG) Uma escola de samba, ao se movimentar numa rua reta e muito extensa, mantém um comprimento constante de 2 km. Se ela gasta 90 minutos para passar completamente por uma arquibancada de 1 km de comprimento, sua velocidade média deve ser

- A) $2/3$ km/h. D) 2 km/h.
 B) 1 km/h. E) 3 km/h.
 C) $4/3$ km/h.

07. (PUC-SP-2015) O trem japonês de levitação magnética "Maglev" bateu seu próprio recorde mundial de velocidade em 21 de abril de 2015, ao alcançar a incrível velocidade de 603 km/h (seu recorde anterior era de 590 km/h). A velocidade recorde foi alcançada numa via de testes de 42 km de extensão, situada na Prefeitura de Yamanashi. A Central Japan Railway (empresa ferroviária operadora do "Maglev") tem intenção de colocá-lo em funcionamento em 2027 entre a estação de Shinagawa, ao sul de Tóquio, e a cidade de Nagoia, no centro do Japão, perfazendo um trajeto de 286 quilômetros. Considere uma situação hipotética em que o "Maglev" percorra a distância de Shinagawa a Nagoia com a velocidade recorde obtida em 21 de abril de 2015, mantida sempre constante.

Então, o tempo da viagem será de, aproximadamente,



Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/mundo/2015/04/1619232-trem-japonesmaglev-bate-outra-vez-recorde-mundial-de-velocidade.shtml>>.
 Acesso em: 27 abr. 2015.

- A) 0,47 min. C) 2,1 h. E) 47 min.
 B) 28 min. D) 21 min.

08. (Unimontes-MG) Numa estrada retilínea, um ônibus viaja em MRU, percorrendo 1,8 km em 2 minutos. Simultaneamente, uma pessoa viajando em MRU, na mesma estrada, no mesmo sentido em que se move o ônibus, gasta 30 minutos para percorrer os mesmos 1,8 km. Baseando-se nos dados anteriores, pode-se afirmar que o módulo da velocidade da pessoa em relação ao motorista do ônibus é

- A) zero. B) 14 m/s. C) 16 m/s. D) 15 m/s.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

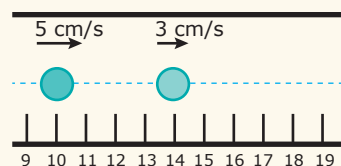


01. (FAMERP-SP-2015) Um candidato sai de sua residência para prestar vestibular pretendendo percorrer a distância total até o local da prova em uma hora, conduzindo seu automóvel com velocidade média de 60 km/h. Após percorrer os primeiros 10 km do percurso em 10 minutos, percebe que esqueceu o documento de identificação e retorna para apanhá-lo. Sua mãe o espera no portão com o documento.

Desprezando-se o tempo para receber o documento e manobrar o carro, para que esse candidato consiga chegar ao local da prova no horário previsto anteriormente, ele deverá desenvolver no percurso de retorno à sua casa e ida até o local da prova uma velocidade média, em km/h, igual a:

- A) 78 C) 90 E) 72
 B) 84 D) 98

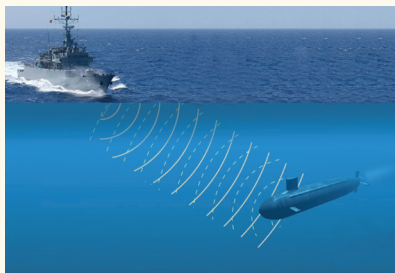
02. (UFMG) Duas esferas se movem em linha reta e com velocidades constantes ao longo de uma régua centimetrada. Na figura, estão indicadas as velocidades das esferas e as posições que ocupavam num certo instante.



As esferas irão colidir na posição correspondente a

- A) 17 cm. C) 20 cm. E) 15 cm.
 B) 18 cm. D) 22 cm.

03. (UERJ-2015) Para localizar obstáculos totalmente submersos, determinados navios estão equipados com sonares, cujas ondas se propagam na água do mar. Ao atingirem um obstáculo, essas ondas retornam ao sonar, possibilitando assim a realização de cálculos que permitem a localização, por exemplo, de um submarino.



Disponível em: <<http://naval.com.br>> (Adaptação).

Admita uma operação dessa natureza sob as seguintes condições:

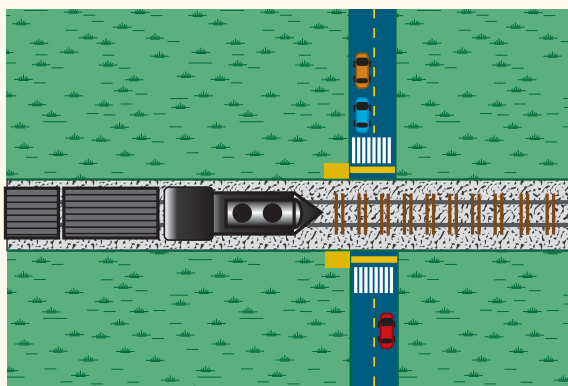
- Temperatura constante da água do mar;
- Velocidade da onda sonora na água igual a 1 450 m/s;
- Distância do sonar ao obstáculo igual a 290 m.

Determine o tempo, em segundos, decorrido entre o instante da emissão da onda pelo sonar e o de seu retorno após colidir com o submarino.

04. (UERJ) Um motorista dirige um automóvel em um trecho plano de um viaduto. O movimento é retilíneo e uniforme. A intervalos regulares de 9 segundos, o motorista percebe a passagem do automóvel sobre cada uma das juntas de dilatação do viaduto.

Sabendo que a velocidade do carro é 80 km/h, determine a distância entre duas juntas consecutivas.

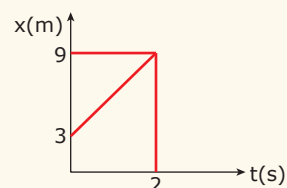
05. (FGV-SP) Em uma passagem de nível, a cancela é fechada automaticamente quando o trem está a 100 m do início do cruzamento. O trem, de comprimento 200 m, move-se com velocidade constante de 36 km/h. Assim que o último vagão passa pelo final do cruzamento, a cancela se abre, liberando o tráfego de veículos.



Considerando que a rua tem largura de 20 m, o tempo que o trânsito fica contido desde o início do fechamento da cancela até o início de sua abertura, é, em s,

- A) 32
- B) 36
- C) 44
- D) 54
- E) 60

06. (Unimontes-MG-2015) O gráfico de posição *versus* tempo, a seguir, representa o movimento unidimensional de uma partícula em um certo intervalo de tempo. A partir do gráfico, a possível função que pode ser usada para descrever a posição da partícula no tempo é:



- A) $x(t) = 3 + t$
- B) $x(t) = 1 + 3t$
- C) $x(t) = 3 + 3t$
- D) $x(t) = 3 + 6t$

07. (FUVEST-SP) Um passageiro, viajando de metrô, fez o registro de tempo entre duas estações e obteve os valores indicados na tabela. Supondo que a velocidade média entre duas estações consecutivas seja sempre a mesma e que o trem pare o mesmo tempo em qualquer estação da linha, de 15 km de extensão, é possível estimar que um trem, desde a partida da Estação Bosque até a chegada à Estação Terminal, leva, aproximadamente,

	Chegada	Partida
Vila Maria	0:00 min	1:00 min
Felicidade	5:00 min	6:00 min



- A) 20 min.
- B) 25 min.
- C) 30 min.
- D) 35 min.
- E) 40 min.

08. (PUC Rio–2015) Uma lebre e uma tartaruga decidem apostar uma corrida de 32 m. Exatamente às 12h, é dada a largada. A lebre dispara na frente, com velocidade constante de 5,0 m/s. A tartaruga “corre” com velocidade constante de 4,0 m/min, sem parar até o fim do percurso. A lebre, percebendo quão lenta se movia a tartaruga, decide descansar após percorrer metade da distância total, e então adormece por 7min55s. Quando acorda, sai correndo com a mesma velocidade inicial, para tentar ganhar a corrida. O fim da história é conhecido. Qual é a vantagem de tempo da tartaruga sobre a lebre, na chegada, em segundos?

- A) 1,4 C) 3,2 E) 6,4
 B) 1,8 D) 5,0

09. (Unesp–2016) Em uma viagem de carro com sua família, um garoto colocou em prática o que havia aprendido nas aulas de Física. Quando seu pai ultrapassou um caminhão em um trecho reto da estrada, ele calculou a velocidade do caminhão ultrapassado utilizando um cronômetro.



Disponível em: <<http://jiper.es>> (Adaptação).

O garoto acionou o cronômetro quando seu pai alinhou a frente do carro com a traseira do caminhão e o desligou no instante em que a ultrapassagem terminou, com a traseira do carro alinhada com a frente do caminhão, obtendo 8,5 s para o tempo de ultrapassagem.

Em seguida, considerando a informação contida na figura e sabendo que o comprimento do carro era 4 m e que a velocidade do carro permaneceu constante e igual a 30 m/s, ele calculou a velocidade média do caminhão, durante a ultrapassagem, obtendo corretamente o valor

- A) 24 m/s. D) 26 m/s.
 B) 21 m/s. E) 28 m/s.
 C) 22 m/s.

10. (FUVEST-SP) Uma moto de corrida percorre uma pista que tem o formato aproximado de um quadrado com 5 km de lado. O primeiro lado é percorrido a uma velocidade média de 100 km/h, o segundo e o terceiro a 120 km/h, e o quarto a 150 km/h. Qual a velocidade média da moto nesse percurso?

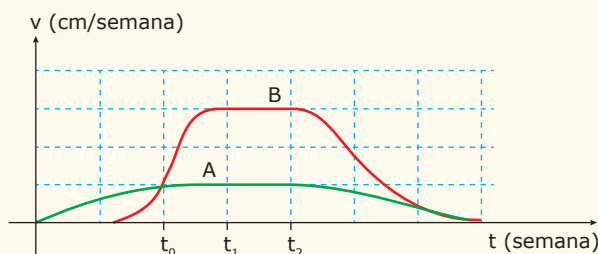
- A) 110 km/h.
 B) 120 km/h.
 C) 130 km/h.
 D) 140 km/h.
 E) 150 km/h.

11. (PUC-Campinas-SP–2015) Em agosto de 2015, realizou-se na China o campeonato mundial de atletismo, no qual um dos eventos mais aguardados era a prova de 100 m masculino, que acabou sendo vencida pelo jamaicano Usain Bolt, com o tempo de 9,79 s. O tempo do segundo colocado, o americano Justin Gatlin, foi de 9,80 s.

A diferença entre os dois atletas na chegada foi de, aproximadamente,

- A) 0,1 mm. C) 1 cm. E) 1 m.
 B) 1 mm. D) 10 cm.

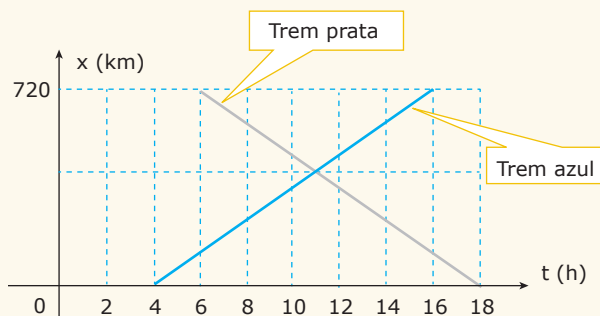
12. (FUVEST-SP) As velocidades de crescimento vertical de duas plantas, A e B, de espécies diferentes, variaram, em função do tempo decorrido após o plantio de suas sementes, como mostra o gráfico.



É possível afirmar que

- A) A atinge uma altura final maior do que B.
 B) B atinge uma altura final maior do que A.
 C) A e B atingem a mesma altura final.
 D) A e B atingem a mesma altura no instante t_0 .
 E) A e B mantêm altura constante entre os instantes t_1 e t_2 .

13. (UFCE) Dois trens partem, em horários diferentes, de duas cidades situadas nas extremidades de uma ferrovia, deslocando-se em sentidos contrários. O trem azul parte da cidade A com destino à cidade B, e o trem prata, da cidade B com destino à cidade A. O gráfico representa as posições dos dois trens em função do horário, tendo como origem a cidade A ($x = 0$).

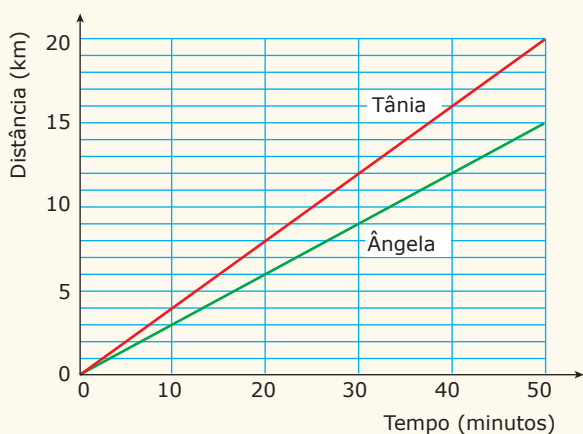


Considerando a situação descrita e as informações do gráfico, assinale a alternativa incorreta.

- A) Os dois trens se encontram às 11 horas, na posição 420 km.
- B) O trem azul partiu às 4 horas da cidade A.
- C) O trem azul move-se com maior rapidez que o trem prata, pois chegou primeiro ao seu destino.
- D) A velocidade média do trem azul é de 60 km/h.

14. V9X0

(UFMG) Ângela e Tânia iniciam, juntas, um passeio de bicicleta em torno de uma lagoa. Neste gráfico, está registrada a distância que cada uma delas percorre, em função do tempo.



Após 30 minutos do início do percurso, Tânia avisa a Ângela, por telefone, que acaba de passar pela igreja.

Com base nessas informações, são feitas duas observações:

- I. Ângela passa pela igreja 10 minutos após o telefonema de Tânia.
- II. Quando Ângela passa pela igreja, Tânia está 4 km à sua frente.

Considerando-se a situação descrita, é correto afirmar que

- A) apenas a observação I está certa.
- B) apenas a observação II está certa.
- C) ambas as observações estão certas.
- D) nenhuma das duas observações está certa.

15. SHTR

(UERJ-2016) A figura a seguir mostra dois barcos que se deslocam em um rio em sentidos opostos. Suas velocidades são constantes e a distância entre eles, no instante t , é igual a 500 m.



Disponível em: <<http://pixabay.com>>.

Nesse sistema, há três velocidades paralelas, cujos módulos, em relação às margens do rio, são:

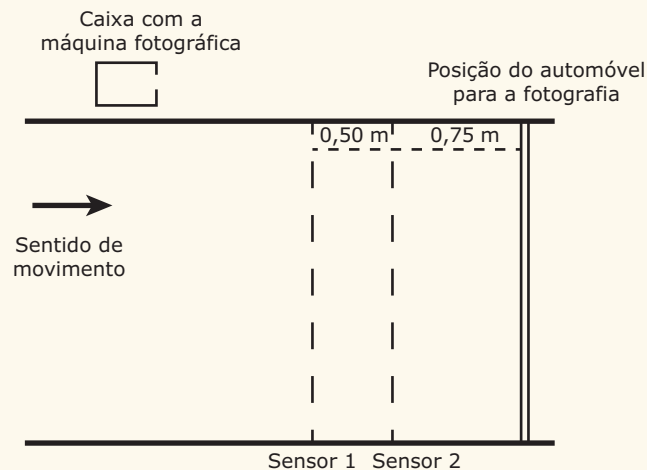
$$|V_{\text{barco 1}}| = |V_{\text{barco 2}}| = 5 \text{ m/s};$$

$$|V_{\text{águas do rio}}| = 3 \text{ m/s}.$$

Estime, em segundos, o tempo necessário para ocorrer o encontro dos barcos, a partir de t .

SEÇÃO ENEM

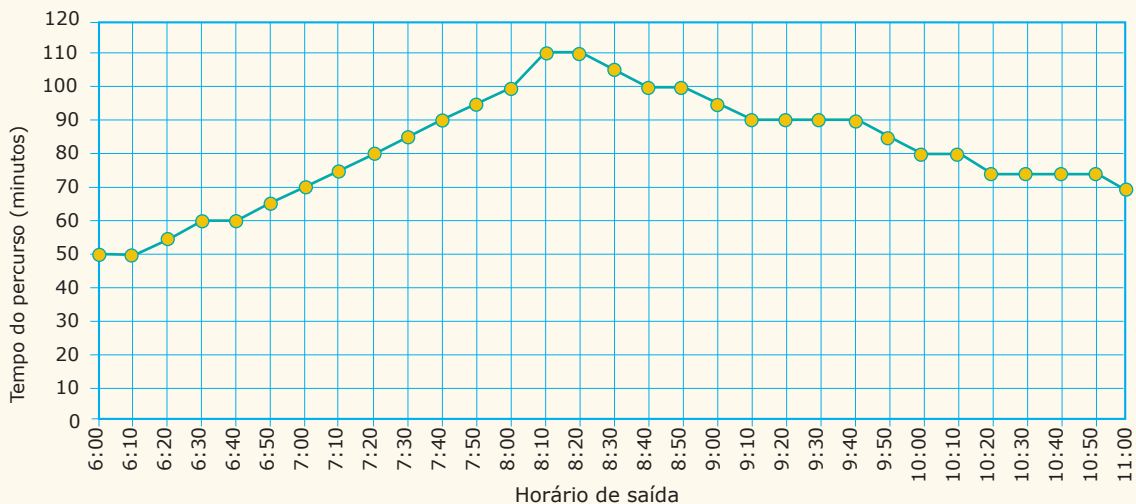
01. (Enem-2017) No Brasil, a quantidade de mortes decorrentes de acidentes por excesso de velocidade já é tratada como uma epidemia. Uma forma de profilaxia é a instalação de aparelhos que medem a velocidade dos automóveis e registram, por meio de fotografias, os veículos que trafegam acima do limite de velocidade permitido. O princípio de funcionamento desses aparelhos consiste na instalação de dois sensores no solo, de forma a registrar os instantes em que o veículo passa e, em caso de excesso de velocidade, fotografar o veículo quando ele passar sobre uma marca no solo, após o segundo sensor. Considere que o dispositivo representado na figura esteja instalado em uma via com velocidade máxima permitida de 60 km/h.



No caso de um automóvel que trafega na velocidade máxima permitida, o tempo, em milissegundos, medido pelo dispositivo, é:

- A) 8,3
- B) 12,5
- C) 30,0
- D) 45,0
- E) 75,0

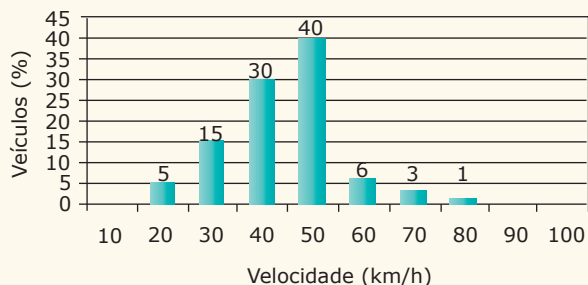
02. (Enem) O tempo que um ônibus gasta para ir do ponto inicial ao ponto final de uma linha varia, durante o dia, conforme as condições do trânsito, demorando mais nos horários de maior movimento. A empresa que opera essa linha forneceu, no gráfico a seguir, o tempo médio de duração da viagem conforme o horário de saída do ponto inicial, no período da manhã.



De acordo com as informações do gráfico, um passageiro que necessita chegar até as 10h30min ao ponto final dessa linha, deve tomar o ônibus no ponto inicial, no máximo, até as

- A) 9h20min.
- B) 9h30min.
- C) 9h00min.
- D) 8h30min.
- E) 8h50min.

03. (Enem) Um sistema de radar é programado para registrar automaticamente a velocidade de todos os veículos que trafegam por uma avenida, onde passam, em média, 300 veículos por hora, sendo 55 km/h a máxima velocidade permitida. Um levantamento estatístico dos registros do radar permitiu a elaboração da distribuição percentual de veículos de acordo com a sua velocidade aproximada.



A velocidade média dos veículos que trafegam nessa avenida é de

- A) 35 km/h.
- B) 44 km/h.
- C) 55 km/h.
- D) 76 km/h.
- E) 85 km/h.

GABARITO

Meu aproveitamento

Aprendizagem

Acertei _____ Errei _____

- 01. C
- 02. E
- 03. E
- 04. D
- 05. A
- 06. D
- 07. B
- 08. B

Propostos

Acertei _____ Errei _____

- 01. B
- 02. C
- 03. $t = 0,4 \text{ s}$
- 04. $d = 200 \text{ m}$
- 05. A
- 06. C
- 07. D
- 08. A
- 09. D
- 10. B
- 11. D
- 12. B
- 13. C
- 14. C
- 15. $t = 50 \text{ s}$

Seção Enem

Acertei _____ Errei _____

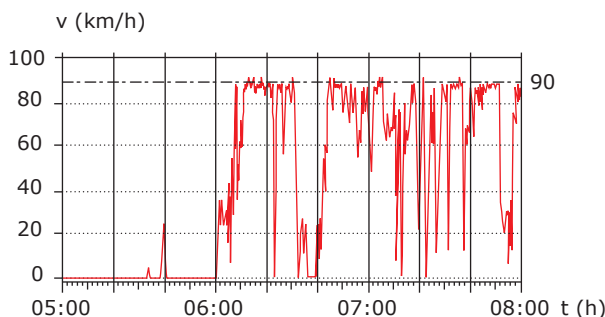
- 01. C
- 02. E
- 03. B



Total dos meus acertos: _____ de _____ . _____ %

Movimento Uniformemente Variado e Movimento Vertical

No módulo anterior, discutimos o conceito de velocidade escalar, isto é, discutimos o ritmo no qual a posição de um móvel varia (taxa de variação da posição em relação ao tempo). Esse conceito nos permitiu descrever as características do movimento uniforme. Contudo, raros são os movimentos nos quais o módulo da velocidade permanece constante. Ao andar de carro, bicicleta ou ônibus, percebemos isso claramente. O módulo da velocidade varia muito, ora aumentando de valor, ora diminuindo. O gráfico de velocidade *versus* tempo a seguir registra essas variações de velocidade em um ônibus de viagem. Esse registro é feito por um aparelho denominado tacógrafo, de uso obrigatório em ônibus e em caminhões. Observe que o valor da velocidade fica constante por curtíssimos intervalos de tempo.



Registro de velocidade de um ônibus utilizando o tacógrafo.

No presente módulo, estudaremos a grandeza que mede a variação da velocidade em relação ao tempo, a **aceleração**. Inicialmente, estudaremos seu conceito, sua definição matemática e suas unidades; depois, passaremos aos movimentos que apresentam variação uniforme de velocidade (MUV) e finalizaremos o módulo com os movimentos de queda livre vertical.

O CONCEITO DE ACELERAÇÃO

Um avião a jato movendo-se retilineamente, com uma velocidade constante de 700 km/h em relação ao solo, não possui aceleração. Um corpo possui aceleração apenas quando o seu vetor velocidade varia no tempo.

Dessa forma, apesar da enorme rapidez com a qual o avião se desloca, este não está acelerado, ou seja, não possui aceleração, pois sua velocidade não varia em relação ao tempo, nem numericamente nem em direção (a trajetória é retilínea). Ao contrário, quando uma composição do metrô inicia um movimento retilíneo, partindo do repouso e atingindo uma velocidade padrão, como 60 km/h, o veículo experimenta uma aceleração de arrancada. Depois que a composição passa a se mover com velocidade constante, a sua aceleração torna-se nula. Naturalmente, uma aceleração voltará a existir quando a composição iniciar o procedimento de parada na próxima estação. Nesse caso, a aceleração é denominada de desaceleração, uma vez que ela é decorrente de uma redução do módulo da velocidade ao longo do tempo.

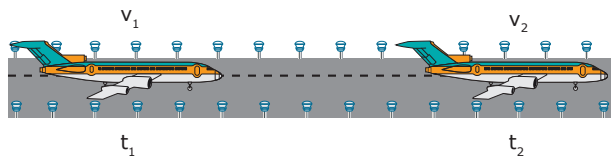
Os exemplos de acelerações citados anteriormente são relativos a variações no valor numérico (módulo) da velocidade. Nesse caso, a aceleração é denominada de **aceleração tangencial**.

Definição matemática da aceleração

Neste módulo, trataremos apenas da variação do valor (módulo) da velocidade em relação ao tempo. O conceito de **aceleração** tratado aqui está associado à variação no módulo da velocidade, que pode aumentar ou diminuir.

Imagine um avião comercial partindo do repouso e atingindo a velocidade necessária para decolagem, de 200 km/h em 40 segundos. Isso significa que, em média, a cada 1 segundo de movimento, a velocidade do avião aumenta de 5 km/h; ao final de 10 s, sua velocidade será de 50 km/h e, ao atingir o final da pista de decolagem, 40 s após o início do movimento, o avião terá a velocidade necessária para decolar, de 200 km/h. O valor da mudança de velocidade em relação ao tempo – **aceleração escalar média** – é de 5 km/h a cada segundo, ou seja, em média, a cada segundo que passa, o avião aumenta sua velocidade em 5 km/h. Matematicamente, podemos representar essa ideia por:

$$\text{Aceleração escalar média (a}_m\text{): } a_m = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$



MOVIMENTO UNIFORMEMENTE VARIADO (MUV)



Uma classe especial de movimentos é aquela cujo valor da velocidade varia sempre no mesmo ritmo, isto é, apresenta variações iguais em intervalos de tempo iguais. Veja a tabela seguinte, que apresenta as variações das velocidades instantâneas de dois carros.

Variação da velocidade de dois veículos

Instante	Velocidade do carro I	Velocidade do carro II
0 s	15 m/s	15 m/s
1 s	17 m/s	17 m/s
2 s	18 m/s	19 m/s
3 s	22 m/s	21 m/s
4 s	25 m/s	23 m/s

Tabela 2.

O primeiro automóvel aumentou o módulo de sua velocidade, e, portanto, dizemos que o seu movimento é um movimento acelerado. O segundo automóvel também aumentou o valor de sua velocidade, logo, este também possui um movimento acelerado.

Porém, o aumento da velocidade do segundo veículo ocorreu sempre no mesmo ritmo, ou seja, o valor de sua velocidade aumentou de forma regular. Seu movimento é, então, denominado movimento uniformemente variado (**MUV**). A cada segundo que passa, o valor da velocidade do carro II aumenta em 2 m/s. Logo, o segundo automóvel apresenta uma aceleração constante de 2 m/s². A constância da aceleração (que, no entanto, não pode ser nula) caracteriza o MUV.

Os movimentos uniformemente variados têm uma enorme importância histórica, uma vez que Galileu “inaugura” a Ciência Moderna com o estudo de questões relativas ao movimento, entre elas o estudo do movimento dos corpos sob a ação da gravidade. O tipo de movimento que ele encontra para o deslocamento dos corpos sob ação da gravidade é o MUV.

Como em um MUV o valor da aceleração é constante, podemos escrever que $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$.

Desenvolvendo a igualdade, teremos:

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} \Rightarrow v_2 - v_1 = a(t_2 - t_1) \Rightarrow v_2 = v_1 + a(t_2 - t_1)$$

Assumindo que $t_1 = 0$, temos que $v_2 = v_1 + at_2$, ou simplesmente:

$$v = v_0 + at \text{ (função horária da velocidade)}$$

No exemplo apresentado, o valor da aceleração seria de 5 km/h por segundo ou $5 \frac{\text{km/h}}{\text{s}}$. O Sistema Internacional de Unidades (SI) não utiliza a unidade anterior, e sim o $\frac{\text{m/s}}{\text{s}} = \text{m/s}^2$ (lê-se metro por segundo ao quadrado), repare que $5 \frac{\text{km/h}}{\text{s}} \cong 1,4 \text{ m/s}^2$.

Dizer que o valor da aceleração de um corpo é de 1 m/s² significa que, a cada segundo que passa, a velocidade do corpo aumenta em 1 m/s.

Quando o valor do intervalo de tempo Δt for muito pequeno (Δt se aproxima de zero), o cálculo do valor da aceleração escalar média nos dá o valor da **aceleração escalar instantânea**, definida por:

Aceleração escalar instantânea (a):

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t}, \text{ quando } \Delta t \text{ tende a zero.}$$

A relação matemática anterior mostra que se o valor da velocidade aumenta, isto é, $v_2 > v_1$, então a variação da velocidade é positiva e a aceleração também é positiva; caso contrário, se o valor da velocidade diminui, isto é, $v_2 < v_1$, então a variação da velocidade é negativa e a aceleração também é negativa. No movimento uniforme, no qual o valor da velocidade não se altera, a aceleração escalar é nula ($v_2 = v_1 \Rightarrow \Delta v = 0 \Rightarrow a = 0$).

A ideia de que a aceleração é positiva em um movimento acelerado, e negativa em um movimento retardado, é correta apenas quando a velocidade é positiva. Quando o móvel apresenta uma velocidade negativa, essa regra é invertida, ou seja, $a < 0$ no movimento acelerado e $a > 0$ no movimento retardado.

Em outras palavras, no movimento acelerado, aceleração e velocidade apresentam sinais idênticos, enquanto, no movimento retardado, os sinais são opostos. A seguir, apresentamos uma tabela resumindo essas convenções de sinais.

Comportamento do módulo da velocidade	Sinal da velocidade	Sinal da aceleração
Crescente	+	+
	-	-
Decrescente	+	-
	-	+

Tabela 1.

Nessa função:

v = velocidade final no instante t ;

v_0 = velocidade inicial;

a = aceleração;

t = instante final.

Esse resultado pode ser corroborado facilmente pelos dados apresentados na tabela anterior para o carro II.

Nela, temos:

$v_0 = 15 \text{ m/s}$ (velocidade no instante inicial);

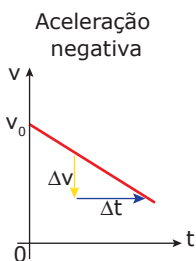
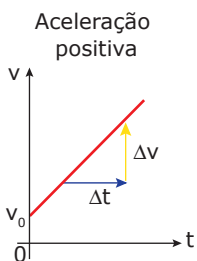
$a = 2 \text{ m/s}^2$.

Dessa maneira, a equação horária da velocidade para o carro II é $v = v_0 + at \Rightarrow v = 15 + 2t$ (v em m/s , a em m/s^2 e t em s). Uma vez obtida a equação horária para a velocidade, podemos calcular o valor dessa em qualquer instante desejado, desde que o valor da aceleração permaneça constante.

Substitua, mentalmente, o valor de $t = 3 \text{ s}$ na equação horária do carro II e você obterá um valor igual a 21 m/s , como mostra a tabela.

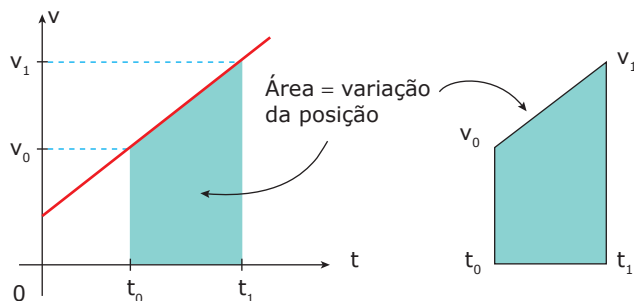
Observe que a função horária da velocidade é uma função do 1º grau. Podemos facilmente estabelecer uma analogia entre a função horária da velocidade e a equação geral da reta, como mostrado a seguir:

$$\begin{array}{ccc} v = v_0 + at & & \\ \updownarrow & \updownarrow & \updownarrow \\ y = b + ax & & \end{array}$$



OBSERVAÇÕES

1. O valor da inclinação da reta do gráfico $v \times t$ nos mostra o ritmo de mudança no valor da velocidade, isto é, a inclinação da reta no gráfico $v \times t$ nos fornece o valor da aceleração. Desse modo, a inclinação é numericamente igual ao valor da aceleração apresentada pelo móvel.
2. No módulo anterior, vimos que a área sob a reta do gráfico $v \times t$ representa a variação da posição (distância percorrida) do móvel em um determinado intervalo de tempo. O mesmo ocorre para o MUV.



Podemos determinar a área sob a reta do gráfico calculando a área do trapézio, cujos vértices apresentam valores numéricos iguais a v_0 , v_1 , t_0 e t_1 . Ao calcular essa área, substituindo v_1 por $v_0 + a\Delta t$, encontramos a função:

$$\Delta s = v_0 \Delta t + \frac{a(\Delta t)^2}{2}$$

Fazendo $t_0 = 0$ e $t_1 = t$, temos:

$$\Delta s = v_0 t + \frac{at^2}{2} \text{ (função horária da posição)}$$

3. Um aluno de Galileu, Evangelista Torricelli, desenvolveu uma equação para o MUV que independe do tempo. Essa relação, denominada equação de Torricelli, foi desenvolvida tendo como base as duas equações anteriormente apresentadas.

$$\left. \begin{array}{l} v = v_0 + at \\ \Delta s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2 \end{array} \right\} \Rightarrow v^2 = v_0^2 + 2a\Delta s \text{ (equação de Torricelli)}$$

4. Imagine um carro que se move com velocidade constante. Em um determinado momento, o motorista pisa no freio, reduzindo a velocidade sempre no mesmo ritmo e, assim que o carro para, engata rapidamente a ré e passa a mover-se para trás, aumentando o módulo da velocidade sempre no mesmo ritmo. Podemos sintetizar essas informações por meio de um gráfico, em que as mesmas informações estarão presentes.

Veja a imagem a seguir:

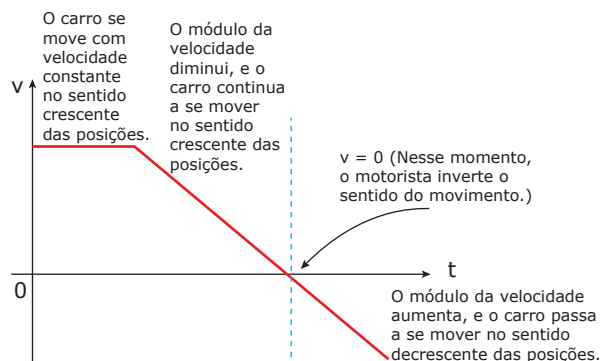


GRÁFICO POSIÇÃO VERSUS TEMPO



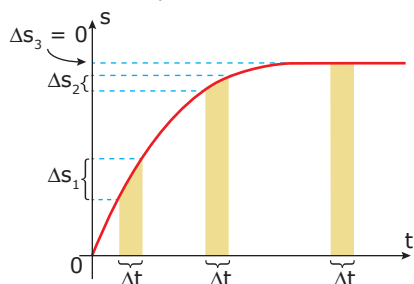
A função horária da posição, para o MUV, é uma função do segundo grau, uma vez que:

$$\Delta s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \text{ ou } s - s_0 = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \Rightarrow$$

$$s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

(equação do 2º grau em função do tempo)

Dessa forma, a posição de um móvel, em MUV, é descrita por uma curva denominada parábola, em um gráfico de posição *versus* tempo. A seguir, apresentamos um gráfico da posição em função do tempo para um móvel em movimento uniformemente retardado, que passou pela posição $s = 0$ no instante $t = 0$. Também representamos alguns instantes após o móvel ter atingido o repouso. Naturalmente, nesse intervalo, a posição é constante, e o gráfico é uma reta paralela ao eixo do tempo.



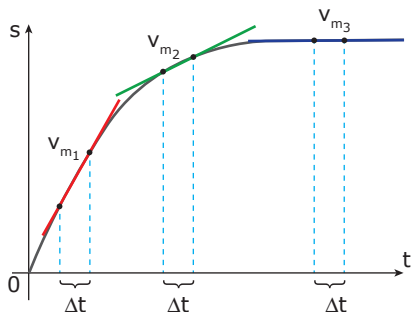
Observe que marcamos três intervalos de tempo iguais em diferentes trechos do gráfico. Observe que, para um mesmo intervalo de tempo, o valor da variação da posição apresentada em cada trecho é diferente:

$$\Delta s_1 > \Delta s_2 > \Delta s_3 = 0$$

Isso nos mostra que a velocidade média do móvel nos trechos 1, 2 e 3 é diferente:

$$v_{m1} > v_{m2} > v_{m3} = 0$$

Logo, podemos inferir que o valor da velocidade do móvel está diminuindo. Outro modo de obter essa conclusão é por meio das retas secantes nos pontos da curva analisados. A figura a seguir representa essas retas secantes nos intervalos de tempo considerados. É fácil perceber que quanto menor a inclinação da reta secante, menor o valor da velocidade média no respectivo trecho.

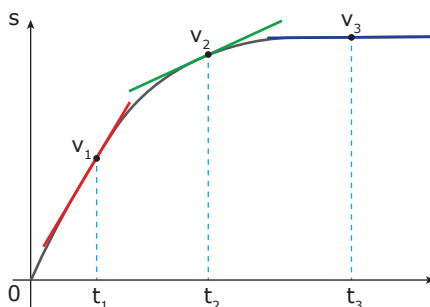


PARA REFLETIR

Se trabalhássemos com um intervalo de tempo muito pequeno ($\Delta t \rightarrow 0$), em que se transformaria a reta secante?

Ao reduzirmos muito o valor de Δt , este tende para o valor zero, isto é, estamos transformando um intervalo de tempo em um instante. Dessa maneira, a reta secante mostrada na figura anterior se transforma em uma reta tangente, e o que antes representava a velocidade média do móvel no trecho, agora representa a velocidade instantânea em certa posição.

A figura seguinte mostra a transformação descrita.



Por esse motivo, no gráfico posição *versus* tempo, o valor da velocidade pode ser determinado por meio da inclinação da reta tangente à curva em um determinado instante, ($v_1 > v_2 > v_3$).

MOVIMENTOS VERTICAIS NA SUPERFÍCIE DA TERRA



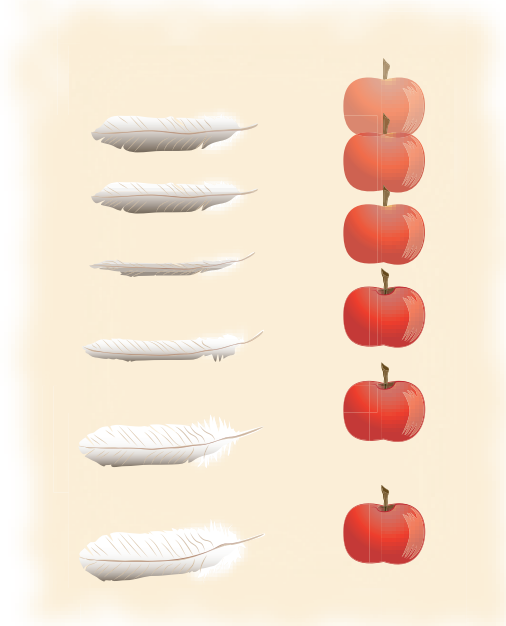
Os movimentos na superfície da Terra foram estudados por muitos motivos, porém, um se destacou: o objetivo militar.

Com o desenvolvimento dos canhões, passou a ser uma necessidade conhecer o movimento dos projéteis lançados sobre a superfície da Terra, para, com isso, conseguir-se uma vantagem sobre o adversário, em caso de conflitos.

A partir do estudo do movimento dos corpos sobre a superfície da Terra, pudemos compreender melhor a força gravitacional, que é uma força fundamental da natureza. A força gravitacional é uma força de atração mútua que se manifesta entre corpos que possuem massa. Sendo a Terra um corpo massivo, ela exerce uma força de atração sobre os objetos que estão sobre sua superfície.

Preocupar-nos-emos agora apenas com os movimentos verticais na superfície da Terra, e mesmo assim com uma classe muito especial: aquela na qual os efeitos da resistência do ar podem ser negligenciados, ou seja, estudaremos o movimento dos corpos que estão em **queda livre**. A imagem seguinte mostra uma pena e uma maçã liberadas em uma região com pouquíssima quantidade de ar (vácuo parcial).

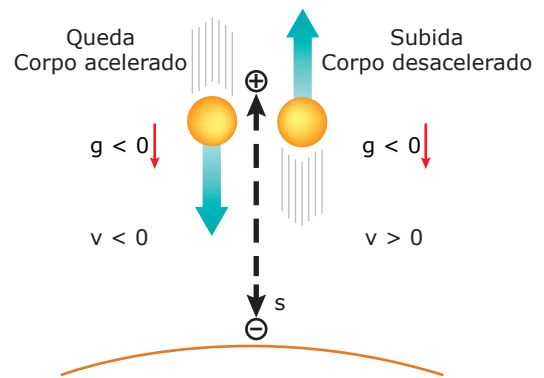
Quando os efeitos da resistência do ar são muito pequenos, objetos abandonados no mesmo instante, e de uma mesma altura, caem simultaneamente. Isso ocorre quando soltamos esferas de metal de diâmetros diferentes de pequenas alturas (por exemplo, 2 m). Apesar de haver resistência do ar, seus efeitos são muito pequenos para curtas distâncias. O mesmo não ocorre, por exemplo, para um paraquedista, para o qual os efeitos da resistência do ar são, no mínimo, vitais.



Representação da queda de dois corpos com massas diferentes em uma situação em que não há resistência do ar.

As sucessivas imagens da maçã e da pena, na figura anterior, representam os corpos em intervalos de tempo iguais. Ao analisar a imagem (realizando medidas, o que não faremos), é possível inferir que

1. o movimento de queda é uniformemente acelerado, e a aceleração, devido à gravidade (g), na superfície da Terra, é aproximadamente $9,8 \text{ m/s}^2$, muitas vezes arredondada para 10 m/s^2 ;
2. se, ao cair, o movimento é uniformemente acelerado, ao subir (sem resistência do ar), o movimento é uniformemente retardado, sendo o módulo da aceleração também igual a $9,8 \text{ m/s}^2$;
3. é muito comum adotarmos um eixo, com o sentido positivo voltado para cima, para definirmos as grandezas cinemáticas de um corpo, a fim de estudarmos os movimentos verticais. Isso implica que a velocidade de um corpo que cai apresenta sinal negativo ($-v$), bem como o valor da aceleração devido à gravidade ($g = -9,8 \text{ m/s}^2$), conforme ilustra a figura seguinte. Mas isso é uma convenção, e você pode alterá-la no momento que desejar.



Em geral, por convenção, grandezas que apontam para cima têm sinal positivo e as que apontam para baixo, sinal negativo.

FUNÇÕES DO MOVIMENTO VERTICAL



O movimento vertical livre é um movimento uniformemente variado (acelerado ou retardado) e, portanto, as funções que o representam são as funções estudadas para o MUV. Alguns textos de Física fazem uma pequena adaptação, substituindo a por g e Δs por h :

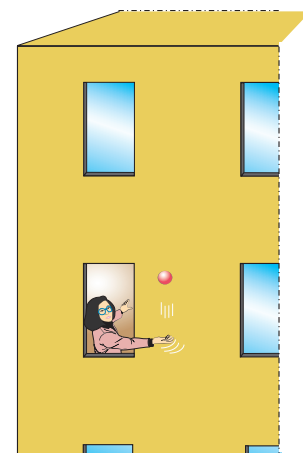
$$v = v_0 + at \Rightarrow v = v_0 + gt$$

$$\Delta s = v_0 t + \frac{at^2}{2} \Rightarrow h = v_0 t + \frac{gt^2}{2}$$

$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta s \Rightarrow v^2 = v_0^2 + 2gh$$

EXERCÍCIO RESOLVIDO

- 01.** Da janela de seu apartamento, Elaine joga uma bola verticalmente para cima ($v_0 = 5 \text{ m/s}$), como mostrado na figura. Despreze a resistência do ar e faça o que se pede.

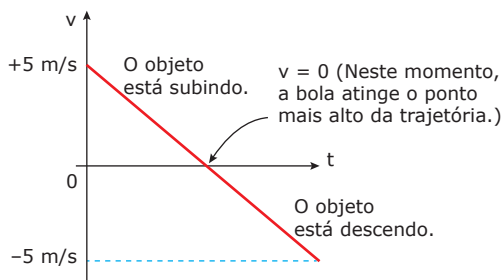


- A) Esboçar o gráfico de velocidade *versus* tempo para o movimento da bola, do instante em que a bola sai da mão de Elaine até o instante em que ela retorna à sua mão.
- B) Esboçar o gráfico de posição *versus* tempo para o movimento da bola, do instante em que ela sai da mão de Elaine até o instante em que ela retorna à sua mão.
- C) Esboçar o gráfico de aceleração *versus* tempo para o movimento da bola, do instante em que a bola sai da mão de Elaine até o instante em que ela retorna à sua mão.
- D) Calcular a distância percorrida pela bola enquanto esta esteve no ar.
- E) Qual o intervalo de tempo em que a bola fica no ar?

Resolução:

- A) Como a bola é jogada para cima, sua velocidade inicial é positiva, considerando que o sentido positivo do eixo vertical é para cima. Logo, as grandezas direcionadas na vertical com sentido para baixo serão consideradas negativas. Sendo o movimento de subida e descida da bola um movimento uniformemente variado, temos que o gráfico de velocidade *versus* tempo desse movimento é representado por uma reta inclinada. O valor da velocidade inicial da bola é de $5,0 \text{ m/s}^2$, e, no ponto mais alto de sua trajetória, a velocidade é nula, momentaneamente. Após esse instante, a bola começa a cair e sua velocidade aumenta, em módulo, mas possui sinal negativo, pois a bola se move no sentido oposto ao convencionado como positivo, até retornar à mão de Elaine com velocidade de mesmo módulo com que foi lançada (essa é uma informação importante e deve ser memorizada).

Sendo assim, o gráfico de velocidade *versus* tempo para esse movimento é mostrado na figura a seguir:



- B) Para estudarmos a variação da posição da bola em função do tempo, precisamos utilizar a função

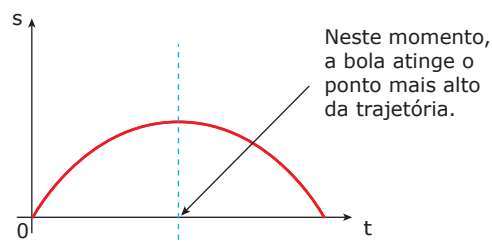
$$s = s_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}$$

Considerando que a bola esteja na origem de nosso sistema de coordenadas no instante inicial, temos que sua posição inicial é $s_0 = 0$.

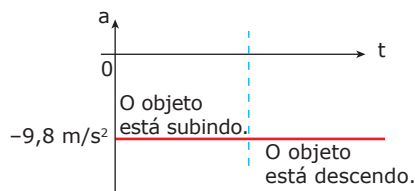
Logo, sua equação de posição em função do tempo será representada por:

$$s = 5t - 5t^2 \text{ (equação horária da posição)}$$

(Lembre-se de que $v_0 = 5 \text{ m/s}$ e $a = g \cong -10 \text{ m/s}^2$). Deve-se trabalhar com uma função do segundo grau. Consequentemente, a representação das posições da bola no gráfico posição *versus* tempo será uma parábola. Como o sentido positivo é para cima e como a bola foi lançada para cima, temos que as posições ocupadas pela bola estão na parte positiva do eixo das posições. Logo, o gráfico de posição em função do tempo, para o movimento da bola, possui a forma mostrada na figura a seguir:



- C) O valor da aceleração não mudou em instante algum, pois permanece constante e igual a $-9,8 \text{ m/s}^2$ durante todo o movimento. Tanto durante a subida quanto durante a descida, a aceleração, devido à gravidade, sempre aponta para baixo. Logo, o gráfico de aceleração *versus* tempo para esse movimento é uma reta paralela ao eixo do tempo, como representado a seguir:



- D) Utilizando a relação $v^2 = v_0^2 + 2a\Delta s$, durante o movimento de subida ($v_0 = 5 \text{ m/s}$ e $v_{\text{final}} = 0 \text{ m/s}$), e atentando para os sinais a serem utilizados para v_0 e g , temos:

$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta s \Rightarrow (0)^2 = (5)^2 + 2(-10)\Delta s$$

$$0 = 25 - 20\Delta s \Rightarrow \Delta s = 1,25 \text{ m (subiu 1,25 m)}$$

Se a bola subiu $1,25 \text{ m}$, ela deverá descer $1,25 \text{ m}$. Logo, a distância percorrida pela bola foi de $2,5 \text{ m}$.

- E) Considerando novamente somente o intervalo de tempo de subida, teremos:

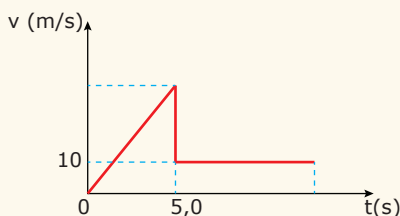
$$v = v_0 + at \Rightarrow 0 = 5 - 10t \Rightarrow t = 0,5 \text{ s}$$

Logo, o intervalo de tempo total em que a bola fica no ar é de 1 s .

EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM



- 01.** (FGV) 7DHA Um paraquedista salta de uma altura de 325 m. Durante os primeiros 5,0 s, ele cai em queda livre, praticamente sem interferência do ar; em seguida, ele abre o paraquedas e seu movimento passa a ser uniforme, após brusca diminuição de velocidade, como indica o gráfico da velocidade, em função do tempo.



- Considere o movimento de queda vertical e retilíneo e a aceleração da gravidade de 10 m/s^2 . O tempo total de movimento, até a chegada do paraquedista ao solo, será de
- A) 20,0 s. C) 28,0 s. E) 35,0 s.
 B) 25,0 s. D) 30,0 s.

- 02.** (UFV-MG) ZHN5 Um veículo, movendo-se em linha reta, desacelera uniformemente, a partir de 72 km/h, parando em 4,0 s. A distância percorrida pelo veículo e o módulo de sua velocidade média durante a desaceleração são, respectivamente,
- A) 40 m e 10 m/s. C) 20 m e 5 m/s.
 B) 80 m e 20 m/s. D) 20 m e 20 m/s.

- 03.** (CEFET-CE) Observe o movimento da moto a seguir, supostamente tomada como partícula.



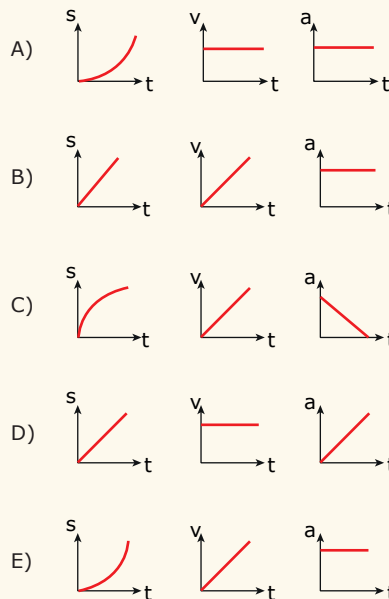
Tempo (s)	0	1	2	3	4	5
Velocidade (m/s)	0	2	4	6	8	10

- Determine
- A) o instante em que sua velocidade será de 20 m/s.
 B) o deslocamento efetuado até esse instante.

- 04.** (Fatec-SP-2016) FQS3 Um motorista conduzia seu automóvel de massa 2 000 kg que trafegava em linha reta, com velocidade constante de 72 km/h, quando avistou uma carreta atravessada na pista. Transcorreu 1 s entre o momento em que o motorista avistou a carreta e o momento em que acionou o sistema de freios para iniciar a frenagem, com desaceleração constante igual a 10 m/s^2 .

- Sabendo-se que o automóvel parou e não colidiu com a carreta, pode-se afirmar que o intervalo de tempo transcorrido desde o instante em que o motorista avistou a carreta até o instante em que o automóvel parou completamente é, em segundos,
- A) 7,2 C) 3,0 E) 2,0
 B) 3,5 D) 2,5

- 05.** (Unisa-SP) Uma bolinha de gude é abandonada de certa altura do solo, em um local onde a aceleração da gravidade é constante e a resistência do ar é desprezível. Nessas condições, os gráficos da distância percorrida s , velocidade v e aceleração a da bolinha durante a queda, em função do tempo, estão corretamente representados por:



- 06.** (UFSJ-MG) MØB7 Um paraquedista salta de um helicóptero que está parado a uma certa altura e cai em queda livre, isto é, com o paraquedas fechado. Depois de 3 segundos de queda, a distância percorrida foi h . Considerando-se que a aceleração da gravidade tem valor constante e desprezando-se a resistência do ar, é correto afirmar que a distância percorrida pelo paraquedista em 6 segundos é de
- A) 4h. B) 9h. C) 3h. D) 12h.

- 07.** (FUVEST-SP-2018) 1FAN Em uma tribo indígena de uma ilha tropical, o teste derradeiro de coragem de um jovem é deixar-se cair em um rio, do alto de um penhasco. Um desses jovens se soltou verticalmente, a partir do repouso, de uma altura de 45 m em relação à superfície da água. O tempo decorrido, em segundos, entre o instante em que o jovem iniciou sua queda e aquele em que um espectador, parado no alto do penhasco, ouviu o barulho do impacto do jovem na água é, aproximadamente,

Note e adote:

Considere o ar em repouso e ignore sua resistência. Ignore as dimensões das pessoas envolvidas.

Velocidade do som no ar: 360 m/s

Aceleração da gravidade: 10 m/s^2

- A) 3,1 C) 5,2 E) 7,0
 B) 4,3 D) 6,2

08. (Unicamp-SP-2016) A demanda por trens de alta velocidade tem crescido em todo o mundo. Uma preocupação importante no projeto desses trens é o conforto dos passageiros durante a aceleração. Sendo assim, considere que, em uma viagem de trem de alta velocidade, a aceleração experimentada pelos passageiros foi limitada a $a_{m\acute{a}x} = 0,09 g$, em que $g = 10 \text{ m/s}^2$ é a aceleração da gravidade. Se o trem acelera a partir do repouso com aceleração constante igual a $a_{m\acute{a}x}$, a distância mínima percorrida pelo trem para atingir uma velocidade de $1\,080 \text{ km/h}$ corresponde a

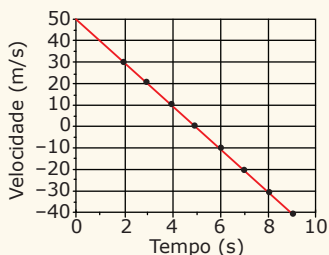
- A) 10 km.
- B) 20 km.
- C) 50 km.
- D) 100 km.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS



01. (PUC Rio) Um objeto é lançado verticalmente para cima a partir do solo.

Sua velocidade é descrita no gráfico a seguir:



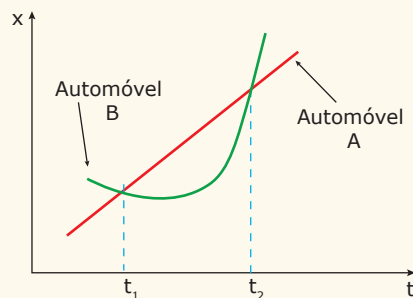
A altura máxima atingida pelo objeto em metros é:

- A) 115
- B) 120
- C) 125
- D) 130
- E) 135

02. (UCS-RS-2015) Uma moça apressada atravessa a rua e vai para a outra calçada. Ao chegar lá e andar com velocidade constante, ela percebe que por coincidência acabou ficando lado a lado com uma pessoa desconhecida que está na mesma velocidade, direção e sentido que ela. Desconfortável com a situação, decide aumentar sua velocidade para que fique à frente da outra pessoa. Assumindo que no início ambas as pessoas estão com a mesma velocidade constante em relação a qualquer objeto fixo da calçada, como um poste da rede elétrica, mas com velocidade nula de uma em relação à outra, qual a aceleração que a moça deve adquirir para que, mantendo o mesmo sentido de deslocamento, fique 2 metros à frente da pessoa desconhecida depois de 4 segundos?

- A) $0,25 \text{ m/s}^2$.
- B) $0,42 \text{ m/s}^2$.
- C) $1,00 \text{ m/s}^2$.
- D) $2,40 \text{ m/s}^2$.
- E) $4,40 \text{ m/s}^2$.

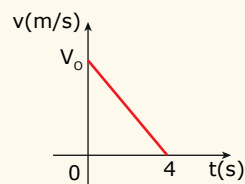
03. (UFJF-MG) O gráfico a seguir representa a variação da posição x versus o tempo t de dois automóveis A e B, registrados por sensores que transferiram os dados para um computador.



Interpretando o gráfico, pode-se afirmar com segurança que

- A) no instante t_1 os dois automóveis têm a mesma velocidade.
- B) no instante t_2 o automóvel B tem velocidade maior que o automóvel A.
- C) o automóvel A tem velocidade maior que o automóvel B em todo o intervalo entre os instantes t_1 e t_2 .
- D) no instante t_2 o automóvel A ultrapassa o automóvel B.
- E) no instante t_1 o automóvel A está um pouco à frente do automóvel B.

04. (UERJ-2015) O gráfico representa a variação da velocidade de um automóvel ao frear.



Se nos 4 s da frenagem o automóvel deslocou 40 m, então a velocidade em que se encontrava no instante em que começou a desacelerar era de

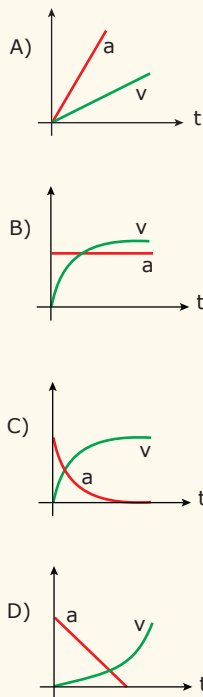
- A) 72 km/h.
- B) 80 km/h.
- C) 90 km/h.
- D) 108 km/h.

05. (Unimontes-MG) De acordo com o Código de Trânsito, atravessar um sinal vermelho constitui falta gravíssima. Ao perceber um semáforo fechado à frente, o motorista de um carro, movendo-se a 20 m/s , freia com aceleração escalar constante de módulo igual a $5,0 \text{ m/s}^2$. A intenção do motorista é parar o veículo antes de atingir a faixa para pedestres, logo abaixo do semáforo.

A distância mínima do carro à faixa, no instante em que se inicia a freada, para não ocorrer a infração, e o tempo gasto durante a freada são, respectivamente, iguais a

- A) 40 m e 4,0 s.
- B) 38,5 m e 4,0 s.
- C) 30 m e 3,0 s.
- D) 45 m e 4,5 s.

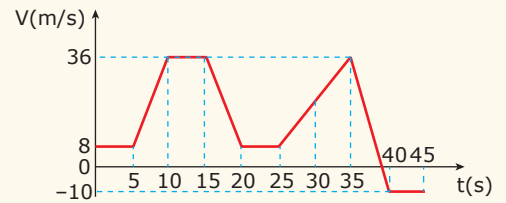
06. (UEG-GO) De uma grande altura e partindo do repouso, uma gotícula de água cai verticalmente. Durante toda a queda, considere a presença de uma força de arrasto (força de resistência do ar) proporcional ao módulo do vetor velocidade da partícula em queda. Qual dos gráficos a seguir poderia melhor representar, sobre um mesmo eixo e em função do tempo, a velocidade e a aceleração da gotícula de água em queda?



07. (IFG-GO-2015) Um motorista trafega em seu veículo em uma via de mão única a uma velocidade constante de 90 km/h. Ao passar por um posto da polícia, o agente de trânsito percebe que o motorista desrespeitou a velocidade máxima permitida na via. Após 4,8 s do instante de passagem, o agente de trânsito parte em seu veículo atrás do infrator. Durante a perseguição, o agente de trânsito imprime em seu veículo uma aceleração constante de 10 m/s^2 até alcançar o infrator. Assinale a resposta que representa a distância percorrida pelo agente de trânsito até alcançar o infrator.

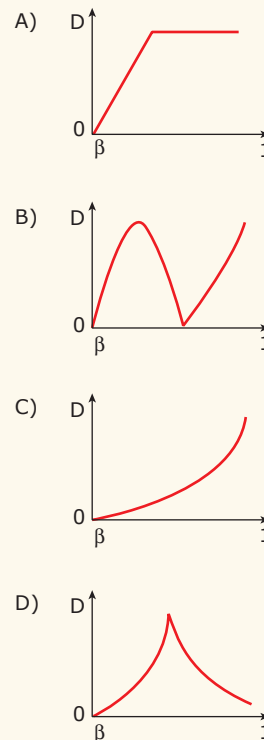
- A) 320 m.
- B) 280 m.
- C) 240 m.
- D) 432 m.
- E) 120 m.

08. (UFPR-2015) Um veículo está se movendo ao longo de uma estrada plana e retilínea. Sua velocidade em função do tempo, para um trecho do percurso, foi registrada e está mostrada no gráfico a seguir. Considerando que em $t = 0$ a posição do veículo s é igual a zero, assinale a alternativa correta para a sua posição ao final dos 45 s.



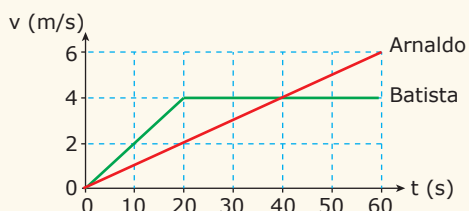
- A) 330 m.
- B) 480 m.
- C) 700 m.
- D) 715 m.
- E) 804 m.

09. (UFV-MG) Dois automóveis encontram-se em um dado instante ($t = 0$) na mesma posição em uma estrada reta e plana. O automóvel A viaja com velocidade constante, enquanto que o automóvel B parte do repouso em $t = 0$ e viaja no mesmo sentido do automóvel A com aceleração constante. Se D é a distância entre esses dois automóveis, dos gráficos seguintes, aquele que representa corretamente o comportamento de D em função do tempo t é:



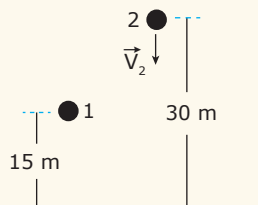
10. (Unesp) O buriti é uma palmeira alta, comum no Brasil central e no sul da planície amazônica. Para avaliar a altura de uma dessas palmeiras, um pesquisador provoca a queda de alguns de seus frutos e cronometra o tempo em que ela ocorre, obtendo valores compreendidos entre 1,9 s e 2,1 s. Desprezando a resistência do ar exercida sobre os frutos em queda, determine as alturas máxima e mínima de onde eles caíram. Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$.

11. (FUVEST-SP) Arnaldo e Batista disputam uma corrida de longa distância. O gráfico das velocidades dos dois atletas, no primeiro minuto da corrida, é mostrado a seguir. Determine



- A) a aceleração a_B de Batista em $t = 10 \text{ s}$;
- B) as distâncias d_A e d_B percorridas por Arnaldo e Batista, respectivamente, até $t = 50 \text{ s}$;
- C) a velocidade média v_A de Arnaldo no intervalo de tempo entre 0 e 50 s.

12. (Unimontes-MG-2015) Duas esferas idênticas, 1 e 2, fazem um movimento vertical em uma região onde o módulo da aceleração da gravidade é $g = 10 \text{ m/s}^2$ (veja a figura). No instante $t = 0$, a esfera 1 está em repouso e a esfera 2 possui velocidade inicial de módulo v_2 . Ambas tocam o solo no mesmo instante. O valor de v_2 , em m/s , é:



- A) $5\sqrt{3}$
- B) $\sqrt{3}$
- C) $15\sqrt{3}$
- D) $10\sqrt{3}$

13. (Mackenzie-SP-2015) Vários corpos idênticos são abandonados de uma altura de 7,20 m em relação ao solo, em intervalos de tempos iguais. Quando o primeiro corpo atingir o solo, o quinto corpo inicia seu movimento de queda livre.

Desprezando a resistência do ar e adotando a aceleração da gravidade $g = 10,0 \text{ m/s}^2$, a velocidade do segundo corpo nessas condições é

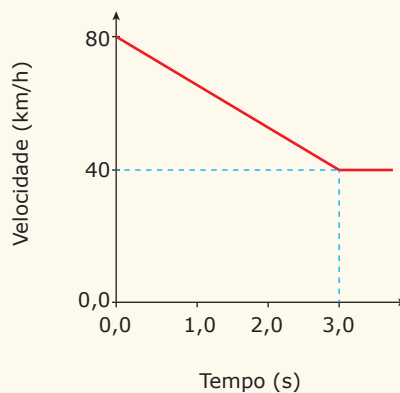
- A) 10,0 m/s.
- B) 6,00 m/s.
- C) 3,00 m/s.
- D) 9,00 m/s.
- E) 12,0 m/s.

14. (FMP-RJ) Em um certo planeta, um corpo é atirado verticalmente para cima, no vácuo, de um ponto acima do solo horizontal. A altura, em metros, atingida pelo corpo é dada pela função $h(t) = At^2 + Bt + C$, em que t está em segundos. Decorridos 4 segundos do lançamento, o corpo atinge a altura máxima de 9 metros e, 10 segundos após o lançamento, o corpo toca o solo.

A altura do ponto de lançamento, em metros, é:

- A) 0
- B) 2
- C) 3
- D) 5
- E) 6

15. (UFPE) Um motorista dirige um carro com velocidade constante de 80 km/h, em linha reta, quando percebe uma "lombada" eletrônica indicando a velocidade máxima permitida de 40 km/h. O motorista aciona os freios, imprimindo uma desaceleração constante, para obedecer à sinalização e passar pela "lombada" com a velocidade máxima permitida. Observando-se a velocidade do carro em função do tempo, desde o instante em que os freios foram acionados até o instante de passagem pela "lombada", podemos traçar o gráfico seguinte. Determine a distância percorrida entre o instante $t = 0$, em que os freios foram acionados, e o instante $t = 3,0 \text{ s}$, em que o carro ultrapassa a "lombada". Dê sua resposta em metros.



SEÇÃO ENEM



- 01.** (Enem-2017) Um motorista que atende a uma chamada de celular é levado à desatenção, aumentando a possibilidade de acidentes ocorrerem em razão do aumento de seu tempo de reação. Considere dois motoristas, o primeiro atento e o segundo utilizando o celular enquanto dirige. Eles aceleram seus carros inicialmente a $1,00 \text{ m/s}^2$. Em resposta a uma emergência, freiam com uma desaceleração igual a $5,00 \text{ m/s}^2$. O motorista atento aciona o freio à velocidade de $14,0 \text{ m/s}$, enquanto o desatento, em situação análoga, leva $1,00$ segundo a mais para iniciar a frenagem.

Que distância o motorista desatento percorre a mais do que o motorista atento, até a parada total dos carros?

- A) $2,90 \text{ m}$.
 B) $14,0 \text{ m}$.
 C) $14,5 \text{ m}$.
 D) $15,0 \text{ m}$.
 E) $17,4 \text{ m}$.
- 02.** (Enem) O trem de passageiros da Estrada de Ferro Vitória-Minas (EFVM), que circula diariamente entre a cidade de Cariacica, na Grande Vitória, e a capital mineira Belo Horizonte, está utilizando uma nova tecnologia de frenagem eletrônica. Com a tecnologia anterior, era preciso iniciar a frenagem cerca de 400 metros antes da estação. Atualmente, essa distância caiu para 250 metros, o que proporciona redução no tempo de viagem.

Considerando uma velocidade de 72 km/h , qual o módulo da diferença entre as acelerações de frenagem depois e antes da adoção dessa tecnologia?

- A) $0,08 \text{ m/s}^2$.
 B) $0,30 \text{ m/s}^2$.
 C) $1,10 \text{ m/s}^2$.
 D) $1,60 \text{ m/s}^2$.
 E) $3,90 \text{ m/s}^2$.
- 03.** (Enem) Para medir o tempo de reação de uma pessoa, pode-se realizar a seguinte experiência:
- I. Mantenha uma régua (com cerca de 30 cm) suspensa verticalmente, segurando-a pela extremidade superior, de modo que o zero da régua esteja situado na extremidade inferior.
 - II. A pessoa deve colocar os dedos de sua mão, em forma de pinça, próximos do zero da régua, sem tocá-la.
 - III. Sem aviso prévio, a pessoa que estiver segurando a régua deve soltá-la. A outra pessoa deve procurar segurá-la o mais rapidamente possível e observar a posição onde conseguiu segurar a régua, isto é, a distância que ela percorre durante a queda. O quadro seguinte mostra a posição em que três pessoas conseguiram segurar a régua e os respectivos tempos de reação.

Distância percorrida pela régua durante a queda (metro)	Tempo de reação (segundo)
0,30	0,24
0,15	0,17
0,10	0,14

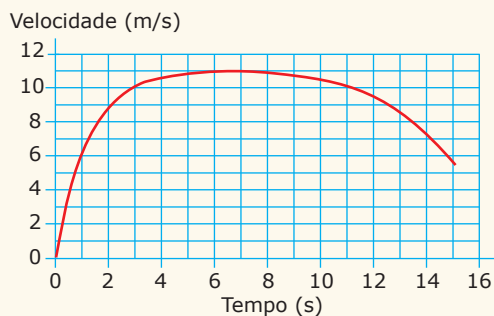
Disponível em: <<http://br.geocities.com>>.
 Acesso em: 01 fev. 2009.

A distância percorrida pela régua aumenta mais rapidamente que o tempo de reação porque a

- A) energia mecânica da régua aumenta, o que a faz cair mais rápido.
 B) resistência do ar aumenta, o que faz a régua cair com menor velocidade.
 C) aceleração de queda da régua varia, o que provoca um movimento acelerado.
 D) força peso da régua tem valor constante, o que gera um movimento acelerado.
 E) velocidade da régua é constante, o que provoca uma passagem linear de tempo.

Instrução: Texto para a questão **04**.

Em uma prova de 100 m rasos, o desempenho típico de um corredor padrão é representado pelo gráfico a seguir:



- 04.** (Enem) Em que intervalo de tempo o corredor apresenta aceleração máxima?
- A) Entre 0 e 1 segundo.
 - B) Entre 1 e 5 segundos.
 - C) Entre 5 e 8 segundos.
 - D) Entre 8 e 11 segundos.
 - E) Entre 9 e 15 segundos.

GABARITO

Meu aproveitamento

Aprendizagem

Acertei _____ Errei _____

- 01. B
- 02. A
- 03.
- A) 10 s
- B) 100 m
- 04. C
- 05. E
- 06. A
- 07. A
- 08. C

Propostos

Acertei _____ Errei _____

- 01. C
- 02. A
- 03. B
- 04. A
- 05. A
- 06. C
- 07. A

- 08. D
- 09. B
- 10. $H_{\min} = 18 \text{ m}; H_{\max} = 22 \text{ m}.$
- 11.
- A) $a_B = 0,2 \text{ m/s}^2$
- B) $d_A = 125 \text{ m}; d_B = 160 \text{ m}.$
- C) $v_A = 2,5 \text{ m/s}$
- 12. A
- 13. D
- 14. D
- 15. $d = 50 \text{ m}$

Seção Enem

Acertei _____ Errei _____

- 01. E
- 02. B
- 03. D
- 04. C



Total dos meus acertos: _____ de _____ . _____ %

Introdução à Cinemática Vetorial

Imagine-se de pé em um ponto da sala em que você está agora e obedecendo ao seguinte comando: dê 3 passos a partir do local em que se encontra; posteriormente, dê mais 4 passos e, por último, mova-se mais 5 passos. Após efetuar esses movimentos, é possível responder a quantos passos você estaria da posição inicial? 12 passos? 2 passos? No mesmo local em que iniciou a caminhada? As opções anteriores são apenas três de inúmeras possíveis respostas para essa situação. Uma resposta seguramente correta só pode ser dada com o conhecimento de uma informação fundamental: **para onde** foram dados os passos? Algumas grandezas físicas, como o deslocamento, somente ficam bem definidas se indicarmos além de seu valor numérico, seguido de sua unidade, sua direção e seu sentido. Se tais indicações não são feitas, a informação é incompleta e, portanto, incorreta.

Este módulo introduzirá uma ferramenta fundamental – o vetor – para o estudo de grandezas físicas que, para ficarem completamente definidas, necessitam que sejam especificados seu módulo (valor numérico com unidade de medida), sua direção e seu sentido. Algumas dessas grandezas físicas você já conhece, como a velocidade, o deslocamento, a aceleração e a força. Outras você verá a conhecer, como o campo elétrico e o campo magnético.

GRANDEZAS ESCALARES E GRANDEZAS VETORIAIS



Existem grandezas na Ciência que ficam bem determinadas apenas com o fornecimento de seu valor numérico e sua respectiva unidade, como o volume, a massa, a temperatura e os intervalos de tempo. Essas grandezas são denominadas **grandezas escalares**.

Outra classe de grandezas, **as grandezas vetoriais**, exige que informemos algo a mais além de seu **módulo**: sua **direção** e seu **sentido**. Quando se pede a uma pessoa para

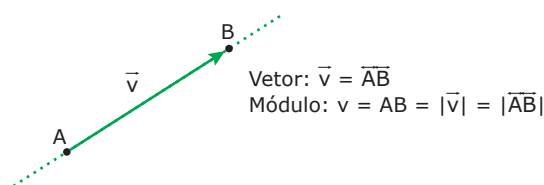
se deslocar 5 passos da posição onde se encontra, faz todo o sentido perguntar: "Para onde?" A pessoa pode dar 5 passos para frente, para trás, para a direita, para a esquerda, etc. A fotografia a seguir mostra uma bala movendo-se na direção horizontal, cujo sentido é da direita para a esquerda, com velocidade instantânea de 100 m/s. Como já dito, as grandezas vetoriais só ficam completamente definidas quando informamos seu módulo, sua direção e seu sentido. Logo, a velocidade da bala está completamente definida.

Vetor

Para representarmos graficamente as grandezas vetoriais, utilizamos os **vetores**, que são segmentos de reta orientados. Na fotografia da bala furando uma lâmpada, a velocidade da bala seria representada pelo vetor a seguir:

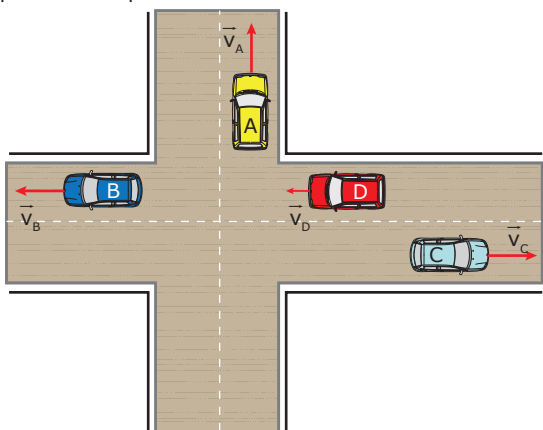


O vetor carrega consigo todas as informações necessárias para definir as grandezas vetoriais: o módulo está associado ao comprimento do segmento de reta (na figura anterior, cada 1 cm representa 50 m/s), a direção do vetor é a direção do segmento de reta (direção horizontal) e o sentido é fornecido pela seta (sentido da direita para a esquerda). Veja a seguir algumas convenções estabelecidas para representar um vetor qualquer.



EXERCÍCIO RESOLVIDO

01. A figura a seguir representa os vetores velocidade de quatro automóveis em uma esquina. Marcar a(s) alternativa(s) que contém apenas afirmativas corretas.



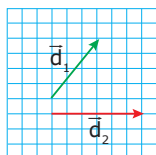
- A) \vec{v}_B e \vec{v}_D têm mesma direção.
- B) \vec{v}_B e \vec{v}_C têm mesma direção.
- C) \vec{v}_B e \vec{v}_D têm mesma direção e sentidos opostos.
- D) \vec{v}_A e \vec{v}_D têm mesmo sentido.
- E) \vec{v}_C e \vec{v}_D têm direção e sentidos opostos.
- F) \vec{v}_A e \vec{v}_C têm módulos diferentes.
- G) \vec{v}_B e \vec{v}_D são iguais.

Resolução:

Dois ou mais vetores possuem a mesma direção quando são paralelos. Logo, apenas os vetores velocidade dos carros B, C e D possuem a mesma direção. Para que dois ou mais vetores tenham o mesmo sentido, esses devem estar na mesma direção e devem estar orientados para o mesmo lado. Assim, temos que apenas os vetores \vec{v}_B e \vec{v}_D possuem o mesmo sentido. Sabemos, também, que dois vetores possuem módulos diferentes quando os segmentos de reta que os representam possuem comprimentos diferentes. Como os vetores \vec{v}_A , \vec{v}_B e \vec{v}_C possuem o mesmo comprimento, as velocidades de \vec{v}_A , \vec{v}_B e \vec{v}_C possuem também o mesmo módulo. Já o vetor \vec{v}_D possui módulo menor que os demais. Dois vetores são iguais quando possuem mesmo módulo, direção e sentido. Tendo em vista os comentários anteriores, temos que as afirmativas corretas são A e B.

Adição vetorial

Assim como as grandezas escalares, as grandezas vetoriais também estão submetidas a regras de operações matemáticas, como adição, subtração, multiplicação, etc. Estudaremos dois processos para a realização de adições vetoriais: o método da poligonal ou o método do paralelogramo. Consideremos dois vetores deslocamento, \vec{d}_1 e \vec{d}_2 , mostrados na figura a seguir:



Vejam, então, os dois processos pelos quais pode ser realizada a soma vetorial dos vetores \vec{d}_1 e \vec{d}_2 .

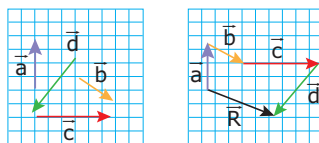
1º método: poligonal

Para realizarmos a soma vetorial $\vec{d} = \vec{d}_1 + \vec{d}_2$, pelo método da poligonal, devemos desenhar a origem do vetor \vec{d}_2 na extremidade do vetor \vec{d}_1 . O vetor soma \vec{d} dos deslocamentos \vec{d}_1 e \vec{d}_2 é o segmento de reta cuja origem é a origem de \vec{d}_1 e cuja extremidade é a extremidade de \vec{d}_2 , como representado na figura a seguir. Ao mover os vetores \vec{d}_1 e \vec{d}_2 , não podemos alterar seus módulos, suas direções, nem seus sentidos.



Para determinarmos o módulo de \vec{d} , devemos utilizar uma escala anteriormente fornecida para os módulos dos vetores \vec{d}_1 e \vec{d}_2 ou aplicar a Lei dos Cossenos. O vetor \vec{d} é denominado vetor resultante ou vetor soma. Posteriormente, serão dados alguns exemplos numéricos.

Esse método de soma vetorial nos permite somar mais de dois vetores ao mesmo tempo. Se tivéssemos quatro vetores, como os representados na figura seguinte, para realizarmos a soma vetorial $\vec{R} = \vec{a} + \vec{b} + \vec{c} + \vec{d}$, bastaria procedermos de forma análoga, isso é, sempre desenhar a origem do vetor seguinte na extremidade do vetor anterior, tomando o cuidado de não alterar os módulos, as direções e os sentidos dos vetores. O vetor resultante dessa operação seria um vetor, cuja origem seria a origem de \vec{a} e cuja extremidade seria a extremidade de \vec{d} , conforme a figura a seguir:



Desafio dos vetores

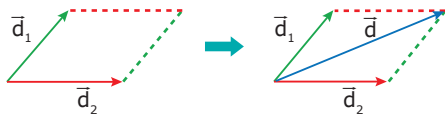
Os vetores são ferramentas matemáticas muito utilizadas em nosso cotidiano. Eles podem ser definidos como segmentos de reta que representam grandezas vetoriais, por exemplo, o deslocamento de um corpo. Esse objeto de aprendizagem é uma excelente estratégia para ajudá-lo a compreender e praticar a regra do polígono para soma de vetores de uma forma divertida e interativa. Fique atento para calcular rapidamente e ganhar mais pontos. Boa atividade!



2º método: paralelogramo

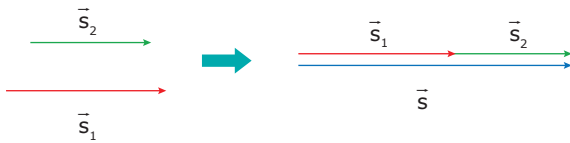
A soma vetorial $\vec{d} = \vec{d}_1 + \vec{d}_2$ realizada pelo método do paralelogramo é feita desenhando os vetores \vec{d}_1 e \vec{d}_2 com a mesma origem e traçando um paralelogramo a partir desses vetores. O vetor soma \vec{d} terá como origem a origem dos vetores \vec{d}_1 e \vec{d}_2 e, como extremidade, a interseção dos dois segmentos paralelos aos vetores \vec{d}_1 e \vec{d}_2 .

Veja a figura a seguir:



Obviamente, os dois métodos de soma vetorial apresentados devem conduzir ao mesmo resultado, isso é, o vetor \vec{d} obtido pelos dois métodos deve ter o mesmo módulo, a mesma direção e o mesmo sentido. Quando desejarmos somar mais de 2 vetores, o método da poligonal deverá ser utilizado, pois o método do paralelogramo somente permite somar 2 vetores de cada vez. Vejamos agora três exemplos numéricos associados à soma de vetores. Sejam os vetores \vec{s}_1 e \vec{s}_2 mostrados a seguir, que representam o deslocamento de uma pessoa, com módulos iguais a $4u$ e $3u$, respectivamente. A escala utilizada para representar os vetores é de $1cm$ para cada $2u$ ($u =$ unidade arbitrária).

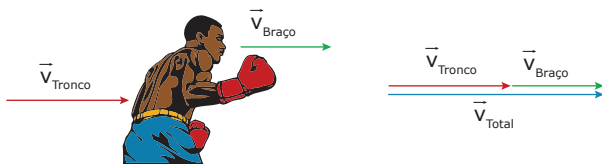
1º exemplo: vetores de mesma direção e de mesmo sentido



Operação: $\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2$

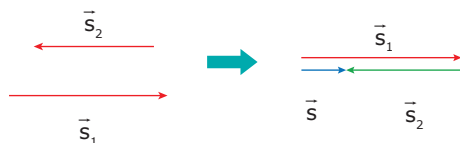
Módulo de $\vec{s} = |\vec{s}| = s = s_1 + s_2 = 4u + 3u = 7u$

Esse exemplo pode ser aplicado em várias situações físicas. Quando um boxeador aplica um soco em seu oponente, ele não move apenas o seu braço, mas também o seu tronco, ou seja, a velocidade do soco aplicado é resultado da soma vetorial da velocidade do tronco com a velocidade do braço. O resultado é... muita dor!



O mesmo processo ocorre quando andamos em uma escada rolante no mesmo sentido do movimento da escada, ou quando um barco desce um rio a favor da correnteza. Nesses casos, devemos somar os módulos das velocidades para encontrar o módulo da velocidade resultante.

2º exemplo: vetores de mesma direção e de sentidos opostos



Operação: $\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2$

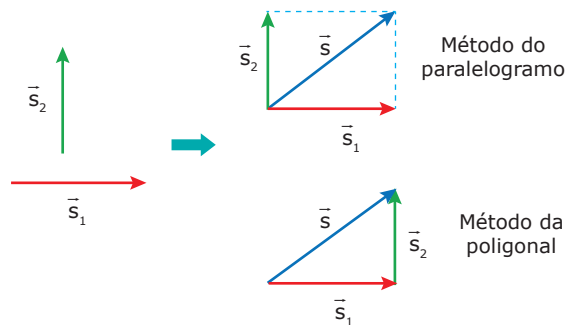
Módulo de $\vec{s} = |\vec{s}| = s = s_1 - s_2 = 4u - 3u = 1u$

Várias são as situações físicas nas quais encontramos uma operação vetorial como a mencionada nesse segundo exemplo. Um barco subindo o rio contra a correnteza, um avião movendo-se no sentido oposto ao do vento ou uma pessoa andando na "contramão" de uma escada rolante são exemplos de situações cotidianas em que a velocidade resultante é obtida por meio da soma de dois vetores velocidade com mesma direção e sentidos opostos.

Suponha que a velocidade de um barco imprimida pelo seu motor seja de 25 km/h , e que o barco se encontra subindo o rio, cuja correnteza apresenta uma velocidade de valor igual a 5 km/h . Uma pessoa na margem do rio observará o barco mover-se a uma velocidade de 20 km/h , uma vez que os vetores velocidade do barco e da correnteza apresentam mesma direção e sentidos opostos. É por isso que em uma viagem de barco entre Manaus e Belém gasta-se, aproximadamente, 4 dias na ida, enquanto que, na volta, gasta-se, aproximadamente, 5 dias de viagem.

3º exemplo: vetores perpendiculares entre si

Considere agora duas pessoas arrastando um objeto por meio de duas cordas que formam um ângulo de 90° entre si, sendo que uma pessoa exerce uma força de 4 N e outra, uma força de 3 N . Qual o valor da força resultante? O diagrama a seguir representa a situação descrita. Utilizando os dois métodos de soma de vetores anteriormente apresentados, temos:

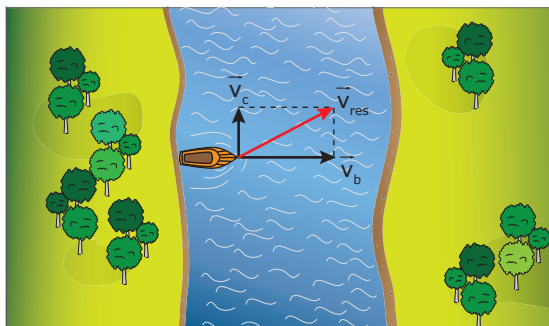


Operação: $\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2$

Módulo de $\vec{s} = |\vec{s}| = s = \sqrt{s_1^2 + s_2^2} = \sqrt{4^2 + 3^2} = 5\text{ N}$

Observe que os dois métodos de soma vetorial conduzem à mesma resposta: o vetor resultante possui o mesmo módulo, a mesma direção e o mesmo sentido, qualquer que seja o processo utilizado para realizar a soma. A soma de dois vetores perpendiculares entre si é um processo muito útil, por exemplo, quando desejamos determinar a velocidade resultante de um barco em relação à margem de um rio, quando o barco pretende atravessar o rio de uma margem a outra.

Considere um barco atravessando um rio, cuja velocidade da correnteza é $v_c = 6 \text{ km/h}$. O barco possui um motor que o impulsiona em uma direção perpendicular às margens do rio, com velocidade de módulo $v_b = 8 \text{ km/h}$, em relação à água, como mostra a figura a seguir:



Para determinarmos o módulo da velocidade resultante do barco em relação à margem, \vec{v}_{res} , basta realizarmos a soma vetorial da velocidade do barco em relação à água, \vec{v}_b , com a velocidade da correnteza em relação à margem, \vec{v}_c . Realizando tal soma vetorial, encontramos a velocidade resultante do barco em relação à água, cujo módulo é de 10 km/h .

Quando desejamos somar dois vetores, cujos ângulos são diferentes de 0° , 180° ou 90° , devemos usar a Lei dos Cossenos, cuja utilização não será descrita neste módulo.



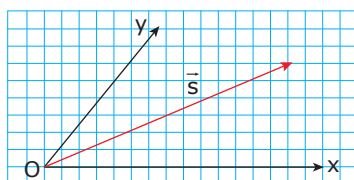
Corrida maluca

Os vetores componentes podem ser analisados de forma independente, mas, quando somados, sempre geram o vetor resultante. Nessa corrida de barcos, já existe um ganhador antes mesmo da largada. Qual deles chega primeiro à margem oposta? Qual é o mais veloz? Qual barco descreve o caminho mais curto até a margem oposta? Tente compreender o porquê da resposta dessas questões. Boa atividade!

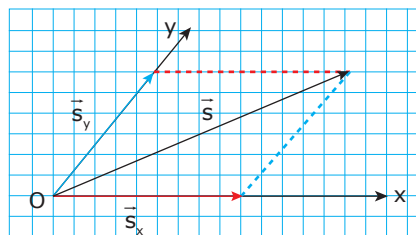


Decomposição de um vetor

Considere o vetor \vec{s} representado a seguir e os eixos x e y , que se cruzam no ponto O , origem do vetor \vec{s} .

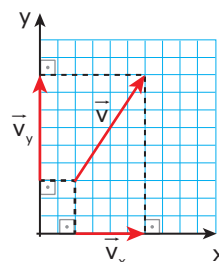


Tendo em vista o método do paralelogramo, podemos supor que o vetor \vec{s} é o resultado da soma vetorial de dois vetores \vec{s}_x e \vec{s}_y , contidos nos eixos x e y , respectivamente.

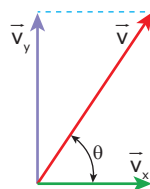


Os vetores \vec{s}_x e \vec{s}_y são denominados componentes do vetor \vec{s} na direção dos eixos x e y , respectivamente. Muitas vezes, é útil decompor um vetor em seus vetores componentes.

Existem vários tipos de decomposição de vetores e, neste módulo, descreveremos a **decomposição ortogonal**, na qual um vetor é decomposto em suas partes constituintes, segundo eixos perpendiculares entre si.



Os vetores \vec{v}_x e \vec{v}_y , resultantes da decomposição do vetor \vec{v} , são denominados componentes ortogonais do vetor \vec{v} ou projeções do vetor \vec{v} nos eixos x e y , respectivamente. É importante ressaltar que, ao decompor o vetor \vec{v} , este deixa de existir. Ou seja, ou temos o vetor \vec{v} , ou temos seus componentes \vec{v}_x e \vec{v}_y . Os módulos dos componentes do vetor \vec{v} podem ser encontrados utilizando-se as relações trigonométricas nos triângulos retângulos:



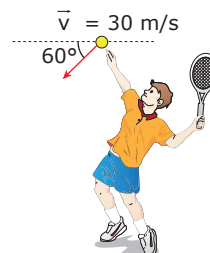
$$\sin \theta = \frac{v_y}{v} \Rightarrow v_y = v \cdot \sin \theta$$

$$\cos \theta = \frac{v_x}{v} \Rightarrow v_x = v \cdot \cos \theta$$

EXERCÍCIO RESOLVIDO

02. Um jogador de tênis efetua um saque, imprimindo na bola uma velocidade de 30 m/s , como ilustra a figura. Calcular a componente da velocidade responsável pelo deslocamento horizontal da bola.

Dados: $\sin 60^\circ = 0,86$ e $\cos 60^\circ = 0,5$.



Resolução:

A componente da velocidade responsável pelo deslocamento horizontal da bola é a projeção do vetor velocidade sobre o eixo horizontal. Seu módulo é determinado pela relação:

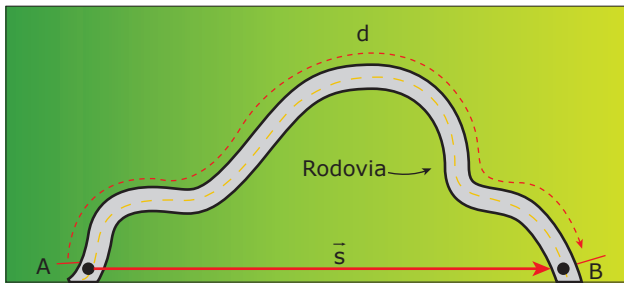
$$v_x = v \cdot \cos 60 = 30 \text{ m/s} \cdot \cos 60^\circ = 30 \text{ m/s} \cdot 0,5 = 15 \text{ m/s}$$

Vimos que as grandezas deslocamento e velocidade, entre outras, são grandezas vetoriais. Vamos agora ampliar nosso entendimento a respeito dessas grandezas.

DESLOCAMENTO VETORIAL

Os conceitos de distância percorrida e de deslocamento são diferentes. Por exemplo, ao realizarmos uma volta completa ao mundo, tendo como ponto de partida e de chegada a mesma posição, nosso deslocamento será nulo, em contrapartida à distância percorrida, que não será nula.

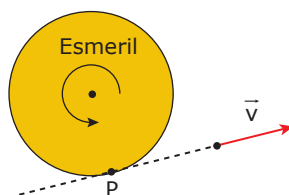
Denominamos de deslocamento vetorial \vec{s} o vetor cuja origem coincide com o ponto de partida do movimento de um corpo, e cuja extremidade coincide com o ponto de chegada do movimento desse. Considere um carro viajando de uma cidade A para outra cidade B, como representado na figura a seguir, em que \vec{s} representa o deslocamento vetorial e d representa a distância percorrida.



Observe que, nessa situação, o módulo do vetor deslocamento \vec{s} é menor que a distância percorrida. Isso evidencia um fato importante: o módulo do deslocamento vetorial nem sempre coincide com o valor da distância percorrida d . Esses só serão coincidentes quando a trajetória for retilínea.

VELOCIDADE VETORIAL

A imagem seguinte mostra um esmeril lançando fagulhas metálicas que se encontram a altas temperaturas. Essas fagulhas são pedacinhos incandescentes que se desprendem tanto do metal lixado quanto do esmeril.



Observe que o esmeril está girando, e a trajetória das fagulhas é tangente à trajetória dos pontos do esmeril, que estão em contato com o metal. Uma fagulha que se solta do esmeril no ponto P apresenta um vetor velocidade com as seguintes características:

Módulo: igual ao módulo da velocidade escalar instantânea do ponto P.

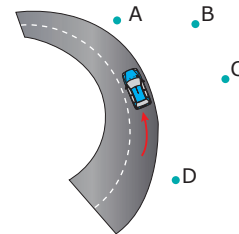
Direção: tangente à trajetória do ponto P.

Sentido: o mesmo sentido do movimento do ponto P.

Tendo em vista as características anteriores, conclui-se um importante fato: o vetor velocidade de um corpo em movimento é sempre tangente à trajetória do corpo.

EXERCÍCIO RESOLVIDO

03. (UFMG)



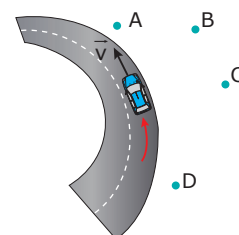
Essa figura mostra um carro que, fazendo uma curva, perde a calota da roda traseira direita. A figura indica essa situação, vista de cima, no instante em que a calota se desprende.

Desprezando-se a resistência do ar, pode-se afirmar que, imediatamente após a calota se soltar, ela se moverá, aproximadamente, em direção ao ponto

- A) A.
- B) B.
- C) C.
- D) D.

Resolução:

Observe que o movimento do carro é um movimento curvilíneo, como aquele mostrado na figura do esmeril. O vetor velocidade do carro é corretamente representado por um vetor que seja tangente à trajetória desse e no mesmo sentido de seu movimento, conforme ilustra a figura a seguir:



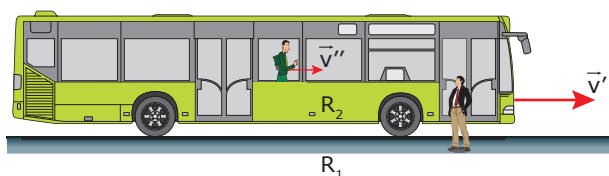
Estando a calota, inicialmente, presa ao carro, temos que o vetor velocidade dela será idêntico ao vetor velocidade do carro, até o momento em que essa se desprenda do carro. Logo, quando a calota se desprender, seu vetor velocidade estará orientado na direção mostrada na figura anterior. Assim, a calota se moverá em direção ao ponto A.

MUDANÇAS DE REFERENCIAL

Durante um longo tempo da história da humanidade, pensou-se que a Terra fosse o centro do Universo. Era natural tomá-la como referência para classificar os objetos como estando em movimento ou em repouso. Hoje, sabemos que a Terra gira ao redor do Sol e que este, por sua vez, arrasta todos os planetas do sistema solar em seu movimento ao redor do centro de nossa galáxia. A nossa galáxia, a Via Láctea, por sua vez, está em movimento em relação a outras galáxias. Enfim, não existe um local, um sistema de referência absoluto, como imaginaram Newton e outros cientistas. No entanto, como usualmente trabalhamos com situações que envolvem pequenos intervalos de tempo (segundos, dias, meses), podemos considerar as estrelas como um sistema de referência inercial.

Ao mudarmos de um sistema de referência para outro, devemos tomar alguns cuidados para que não incorramos em erros. Faremos uma descrição simplificada de alguns aspectos dessa mudança, utilizando situações cotidianas: uma pessoa nas margens de um rio e outra pessoa dentro de um barco medindo a velocidade desse barco; uma pessoa no piso de um *shopping* e outra pessoa na escada rolante observando o deslocamento de uma terceira pessoa que sobe correndo a escada rolante; o piloto de um avião e a torre de comando comunicando-se em um voo, diante de uma forte corrente de ar, etc.

Situações envolvendo mudanças de referencial, de uma forma geral, podem ser descritas da seguinte maneira: Considere um sistema de referência R_1 e outro sistema de referência R_2 , que se move com velocidade v' em relação a R_1 , e um corpo qualquer, que se desloca com velocidade v'' em relação ao referencial R_2 . Qual será a velocidade v do corpo em relação a um observador que se encontra em R_1 ? A figura a seguir representa um exemplo de situações como essa.



Nessa figura, o solo representa o referencial R_1 , o ônibus representa o referencial R_2 e a pessoa dentro do ônibus é o corpo que se move em relação ao ônibus. A velocidade da pessoa em relação ao solo, \vec{v} , pode ser obtida por meio da soma vetorial do vetor velocidade da pessoa em relação ao ônibus, \vec{v}'' , com o vetor velocidade do ônibus em relação ao solo, \vec{v}' . Como esses dois vetores velocidade estão na mesma direção e no mesmo sentido, o módulo dessa soma vetorial é igual à soma dos módulos dos vetores, ou seja:

$$|\vec{v}| = |\vec{v}''| + |\vec{v}'| \Rightarrow v = v'' + v'$$

As situações anteriormente descritas podem ser associadas ao desenho da seguinte maneira:

Observador (em R_1)	R_2	Objeto
Pessoa na margem de um rio	Rio com correnteza	Barco
Pessoa no solo	Corrente de ar	Avião
Pessoa no piso de um <i>shopping</i>	Escada rolante	Pessoa correndo na escada

Tabela 1.

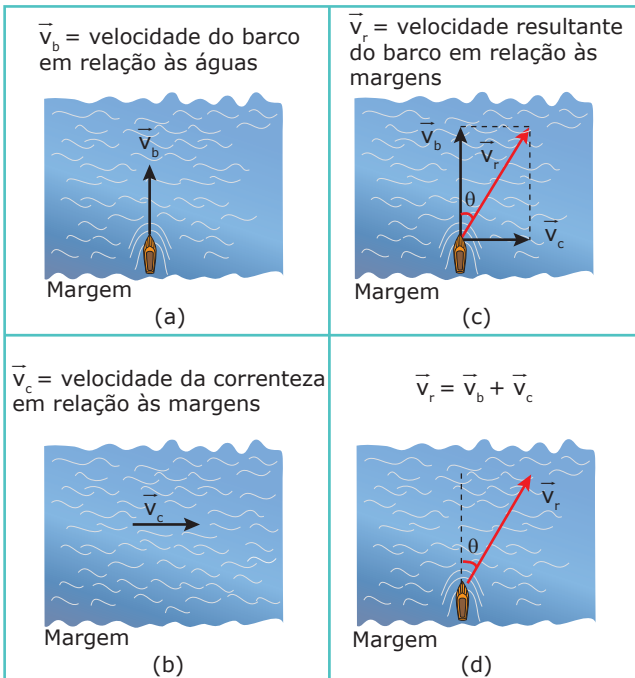
No próximo tópico, apresentaremos alguns exemplos numéricos de situações que envolvem uma mudança de referencial.

COMPOSIÇÃO DE MOVIMENTOS

Existem várias situações cotidianas nas quais um objeto possui uma velocidade resultante, que é a soma vetorial de duas velocidades componentes, como um barco se movendo em um rio, uma pessoa se movendo no interior de um ônibus em movimento, uma pessoa caminhando em uma escada rolante, etc. Vejamos um exemplo numérico de um barco atravessando um rio.

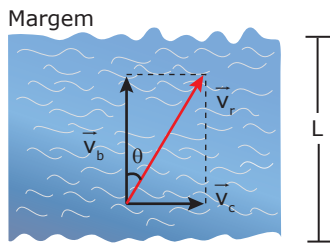
O barco da figura a seguir, orientado perpendicularmente às margens de um rio, é impulsionado pelos motores, que imprimem ao barco uma velocidade $v_b = 4$ km/h (velocidade própria do barco). Simultaneamente, as águas arrastam o barco rio abaixo, com velocidade $v_c = 3$ km/h, em relação às margens (velocidade de arrastamento). O movimento do barco é resultado da superposição de dois movimentos independentes: um, na direção **perpendicular às margens** (direção de \vec{v}_b) e outro, na **direção da correnteza** (direção de \vec{v}_c).

Sendo o movimento do barco o resultado da combinação de dois movimentos retilíneos uniformes perpendiculares entre si, temos que a trajetória resultante é retilínea, já que não há aceleração atuando sobre o barco em nenhuma direção, e oblíqua em relação às velocidades componentes.



Embora o barco se oriente perpendicularmente às margens, a correnteza o arrasta rio abaixo, e a travessia se dará segundo a direção da velocidade resultante.

Como as velocidades \vec{v}_b e \vec{v}_c são perpendiculares entre si, o efeito da correnteza é unicamente deslocar (arrastar) o barco rio abaixo, não afetando o movimento na direção perpendicular à correnteza. De forma análoga, a velocidade de propulsão do barco não modifica o movimento deste rio (direção da correnteza).



$$\vec{v}_r = \vec{v}_b + \vec{v}_c$$

v_b : velocidade do barco em relação às águas (velocidade própria do barco), $v_b = 4$ km/h.

v_c : velocidade da correnteza em relação às margens (velocidade de arrastamento), $v_c = 3$ km/h.

v_r : velocidade resultante do barco em relação às margens, $v_r = 5$ km/h.

A velocidade resultante, \vec{v}_r , tem como componentes \vec{v}_b e \vec{v}_c , perpendiculares entre si. Apenas a componente \vec{v}_b afeta o tempo de travessia do rio. A componente \vec{v}_c determina o deslocamento rio abaixo.

EXERCÍCIO RESOLVIDO

04. Na situação representada na figura anterior, supondo a largura L do rio igual a 2,0 km, determinar
- qual é o tempo de travessia do rio.
 - qual é o deslocamento do barco rio abaixo.
 - qual é a velocidade resultante do barco em relação às margens.

Resolução:

- A) O tempo de travessia do rio é determinado apenas por \vec{v}_b , componente da velocidade do barco perpendicular às margens. Na direção perpendicular às margens, o barco percorrerá uma distância de 2,0 km a uma velocidade de 4 km/h.

Assim:

$$v_b = \frac{L}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{L}{v_b} = \frac{2,0}{4} \therefore \Delta t = 0,5 \text{ h}$$

- B) O deslocamento do barco rio abaixo é determinado por \vec{v}_c , componente da velocidade do barco paralela às margens. Lembre-se de que as duas velocidades atuam simultaneamente sobre o barco durante o tempo $\Delta t = 0,5$ h.

Assim:

$$v_c = \frac{d}{\Delta t} \Rightarrow d = v_c \cdot \Delta t = 3,0 \cdot 0,5 \therefore d = 1,5 \text{ km}$$

- C) A velocidade resultante do barco, em relação às margens, é determinada por meio da soma vetorial da velocidade do barco em relação à correnteza \vec{v}_b , com a velocidade da correnteza em relação à margem \vec{v}_c .

Logo:

$$\vec{v}_r = \vec{v}_b + \vec{v}_c$$

$$v_r^2 = v_b^2 + v_c^2 = 4^2 + 3^2 = 25$$

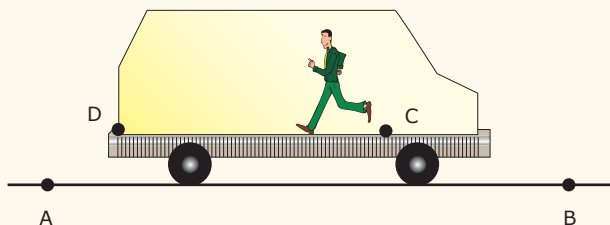
$$v_r = \sqrt{25} \text{ km/h} = 5 \text{ km/h}$$

EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM



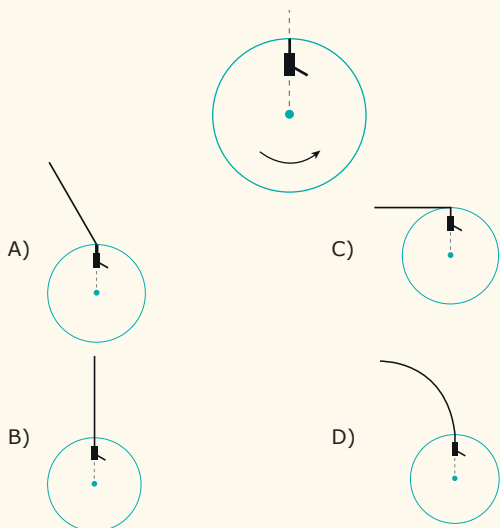
- 01.** (UNITAU-SP) Uma grandeza física vetorial fica perfeitamente definida quando dela se conhecem
- A) valor numérico, desvio e unidade.
 - B) valor numérico, desvio, unidade e sentido.
 - C) desvio, direção, sentido e unidade.
 - D) valor numérico, unidade, direção e sentido.

- 02.** (Mackenzie-SP) Num mesmo plano vertical, perpendicular à rua, temos os segmentos de reta AB e CD, paralelos entre si. Um ônibus se desloca com velocidade constante de módulo v_1 , em relação à rua, ao longo de \overline{AB} , no sentido de A para B, enquanto um passageiro se desloca no interior do ônibus, com velocidade constante de módulo v_2 , em relação ao veículo, ao longo de \overline{CD} , no sentido de C para D. Sendo $v_1 > v_2$, o módulo da velocidade do passageiro em relação ao ponto B da rua é



- A) $v_1 + v_2$.
- B) $v_1 - v_2$.
- C) $v_2 - v_1$.
- D) v_1 .
- E) v_2 .

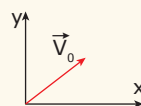
- 03.** (UFV-MG) Um revólver está preso à periferia de um disco, com seu cano apontando radialmente para fora. O disco, que está em um plano horizontal, gira em alta rotação em torno de um eixo vertical que passa por seu centro. A figura a seguir mostra uma visão de cima do disco. No instante mostrado na figura, o revólver dispara uma bala. Considere um observador em repouso em relação ao solo que vê a trajetória da bala de um ponto acima do disco. A alternativa que mostra corretamente a trajetória observada é:



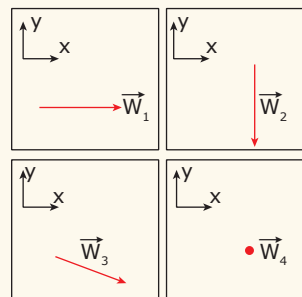
- 04.** (Unimontes-MG) Um homem nada contra a correnteza de um rio que possui velocidade de módulo $V = a$ m/s (a é um número real positivo). Depois de alguns instantes nadando, ele percebe que está exatamente no mesmo ponto de onde partiu. Dessa maneira, decide nadar a favor da correnteza, com o mesmo empenho de antes. Seu deslocamento, após 2 segundos, em metros, será
- A) 4 a.
 - B) $\sqrt{2} a$.
 - C) 2 a.
 - D) a.

- 05.** (FMP-RJ-2016) Um jogador de futebol chuta uma bola sem provocar nela qualquer efeito de rotação. A resistência do ar é praticamente desprezível, e a trajetória da bola é uma parábola. Traça-se um sistema de eixos coordenados, com um eixo x horizontal e paralelo ao chão do campo de futebol, e um eixo y vertical com sentido positivo para cima.

Na figura a seguir, o vetor \vec{v}_0 indica a velocidade com que a bola é lançada (velocidade inicial logo após o chute).



A seguir estão indicados quatro vetores $\vec{w}_1, \vec{w}_2, \vec{w}_3$ e \vec{w}_4 , sendo \vec{w}_4 o vetor nulo.



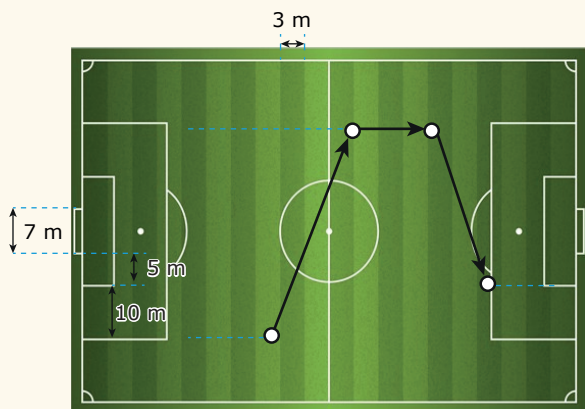
Os vetores que descrevem adequada e respectivamente a velocidade e a aceleração da bola no ponto mais alto de sua trajetória são

- A) \vec{w}_1 e \vec{w}_4 .
- B) \vec{w}_4 e \vec{w}_4 .
- C) \vec{w}_1 e \vec{w}_3 .
- D) \vec{w}_1 e \vec{w}_2 .
- E) \vec{w}_4 e \vec{w}_3 .

- 06.** (UFRGS-RS-2015) Em 2014, comemoraram-se os 50 anos do início da operação de trens de alta velocidade no Japão, os chamados trens-bala. Considere que um desses trens desloca-se com uma velocidade constante de 360 km/h sobre trilhos horizontais. Em um trilho paralelo, outro trem desloca-se também com velocidade constante de 360 km/h, porém em sentido contrário.

04. (ACAFE-SC) A Copa das Confederações é uma competição realizada de quatro em quatro anos organizada pela FIFA (Federação Internacional de Futebol) e terá o Brasil como sede em 2013. Essa competição servirá como teste para a Copa do Mundo em 2014. Imagine que, buscando melhorar as marcações da regra de futebol em um jogo, fosse desenvolvido um *chip* que embutido na bola seria capaz de auxiliar o juiz e ajudar em toda a estatística da partida. Para testar esse *chip* foi, então, realizado um experimento em que quatro jogadores trocaram passes com a bola de um ponto a outro do campo, como mostra a figura seguinte.

(Considere as faixas de grama da mesma largura.)



O jogador de número 8 passou a bola para o de número 5 que, em seguida, passou para o de número 7 e que, finalmente, passou para o de número 9.

O módulo do deslocamento, em m, sofrido pela bola do início ao final do teste é:

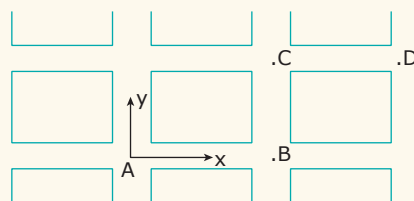
- A) 41 B) 10 C) 34 D) 26

05. (FGV-MG) Um avião decola de um aeroporto e voa 100 km durante 18 min no sentido leste; a seguir, seu piloto aponta para o norte e voa mais 400 km durante 1 h; por fim, aponta para o oeste e voa os últimos 50 km, sempre em linha reta, em 12 min, até pousar no aeroporto de destino. O módulo de sua velocidade vetorial média nesse percurso todo terá sido, em km/h, de, aproximadamente,

- A) 200 C) 270 E) 400
B) 230 D) 300

06. (UFPB) Um presidiário, em liberdade condicional, usando uma tornozeleira eletrônica, apresenta um comportamento suspeito em uma determinada esquina do centro da cidade. Imediatamente, a Central de Polícia passa um rádio para a viatura em diligência no bairro.

A viatura para no ponto A, representado na figura a seguir, e passa a observar o presidiário pelo computador de bordo.



O sinal captado por esse computador mostra que o presidiário saiu do ponto B, foi até a esquina, no ponto C, e depois se deslocou até o ponto D, onde ficou parado. Considere que: as distâncias entre os pontos A e B são iguais a 40 m; entre os pontos B e C são iguais a 30 m e entre os pontos C e D são iguais a 40 m. Adote o referencial, conforme mostrado na figura, cuja origem está na viatura, no ponto A. Em relação ao movimento do presidiário, considerando as distâncias em metros, pode-se afirmar:

- I. O vetor posição do ponto C é $r_C = 30 j$.
- II. O vetor posição do ponto D é $r_D = 80 i + 30 j$.
- III. O módulo do vetor deslocamento entre os pontos C e B é $|r_C - r_B| = 30$.
- IV. O módulo do vetor deslocamento entre os pontos D e B é $|r_D - r_B| = 50$.

Estão corretas apenas:

- A) II e III. D) II, III e IV.
B) I e III. E) I, II e IV.
C) I e IV.

07. (ITA-SP) Um barco leva 10 horas para subir e 4 horas para descer um mesmo trecho do Rio Amazonas, mantendo constante o módulo de sua velocidade em relação à água. Quanto tempo o barco leva para descer esse trecho com os motores desligados?

- A) 14 horas e 30 minutos.
B) 13 horas e 20 minutos.
C) 7 horas e 20 minutos.
D) 10 horas.
E) Não é possível resolver, porque não foi dada a distância percorrida pelo barco.

08. (UEFS-BA-2015) O conceito fundamental da Mecânica é o de movimento, ou seja, da mudança da posição dos corpos ao longo do tempo e em relação a um determinado referencial. Considerando-se uma pedra presa à extremidade de um fio ideal e posta a girar, descrevendo uma circunferência de 50,0 cm de raio em um referencial fixo na mão que segura a outra extremidade do fio, conclui-se que o módulo do deslocamento sofrido pela pedra em 2,25 voltas, em m, é, aproximadamente, igual a:

- A) 0,71 C) 0,57 E) 0,49
B) 0,68 D) 0,53

SEÇÃO ENEM

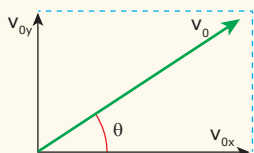
01. A figura a seguir foi retirada de uma página da Internet relacionada ao estudo de conceitos de Física.

$$\begin{aligned} 5 \rightarrow + 5 \rightarrow &= 10 \rightarrow \\ 5 \rightarrow + \leftarrow 5 &= 0 \\ 5 \rightarrow + 10 \rightarrow &= 15 \rightarrow \end{aligned}$$

Pode-se associar a figura com o seguinte tema:

- A) Deslocamentos sucessivos.
 - B) Intervalos de tempo.
 - C) Somatório de volumes.
 - D) Velocidade relativa de veículos.
 - E) Somatório de massas.
02. A utilização dos rios como via de transporte / navegação sempre foi presente na história da humanidade. No Brasil, o transporte fluvial é muito utilizado na região Norte devido ao elevado número de rios e devido à escassez de rodovias. Uma característica positiva desse meio de transporte é o baixo custo e o baixo impacto ambiental. Um dos principais problemas desse tipo de transporte está ligado à irregularidade da superfície (topografia), que deve ser plana, além de levar em conta aspectos de caráter natural, como os períodos de cheias e de vazantes dos rios, ambas relacionadas ao volume de água que sofrem variações e que interferem na navegação. Assim como as estradas, os rios apresentam suas regras de tráfego para os barcos. Barcos que descem o rio o fazem movimentando-se sempre no meio do rio, enquanto que os barcos que sobem o rio o fazem trafegando sempre próximo às margens. A característica dos rios que melhor explica as regras do tráfego descritas é
- A) a diferença do nível de água do rio entre o período de cheias e o período de seca.
 - B) a menor velocidade da água do rio próximo à margem em comparação à posição central.
 - C) o desgaste desigual das margens direita e esquerda dos rios devido à rotação da Terra.
 - D) o desnível das diferentes partes do rio no seu curso superior, intermediário e inferior.
 - E) o fato de os rios apresentarem maior profundidade do seu leito na parte central que nas margens.

03. Durante uma aula de Educação Física, uma bola é chutada obliquamente em relação ao solo. Uma estudante representa vetorialmente a velocidade inicial (v_0) da bola e suas componentes ortogonais. A representação feita por ela é mostrada na figura a seguir:



Ela distribui seu diagrama a 5 colegas de grupo e cada uma das colegas elabora um comentário sobre o esquema.

Carolina: Os módulos dos vetores v_{0x} e v_{0y} podem se tornar maiores que o módulo do vetor v_0 , caso o valor de θ varie.

Marina: A soma dos módulos dos vetores v_{0x} e v_{0y} sempre será igual ao valor do módulo do vetor v_0 .

Fernanda: O vetor v_{0y} pode ser obtido por meio da soma vetorial do vetor v_0 com o vetor v_{0x} .

Isabela: Apesar de o diagrama mostrar três vetores, os vetores v_0 , v_{0x} e v_{0y} não possuem existência concomitante.

Larissa: Esse diagrama não poderia ser utilizado para representar outras grandezas vetoriais.

O comentário correto foi feito pela estudante

- A) Carolina.
- B) Marina.
- C) Fernanda.
- D) Isabela.
- E) Larissa.

GABARITO

Meu aproveitamento

Aprendizagem

Acertei _____ Errei _____

- 01. D
- 02. B
- 03. A
- 04. A
- 05. D
- 06. C
- 07. A
- 08. D

Propostos

Acertei _____ Errei _____

- 01. C
- 02. D
- 03. B
- 04. D
- 05. C
- 06. D
- 07. B
- 08. A
- 09. C
- 10. C
- 11. C
- 12. B

Seção Enem

Acertei _____ Errei _____

- 01. A
- 02. B
- 03. D



Total dos meus acertos: _____ de _____ . _____ %

Termometria

As pessoas usam as palavras “calor” e “temperatura” indistintamente para expressar várias situações do dia a dia. Por exemplo, em um dia quente, costumamos dizer que está fazendo calor, mas também podemos falar que a temperatura está muito alta. A verdade é que, do ponto de vista científico, calor e temperatura são conceitos muito diferentes. A temperatura está associada à matéria, ela mede o grau de agitação das partículas (moléculas, átomos, íons). Já o calor é uma forma de energia em trânsito e que se manifesta quando há uma diferença de temperatura no espaço. Temperatura e calor fazem parte de um escopo maior, a Termodinâmica, ramo da Física que aborda os fenômenos térmicos. O presente módulo marca o início da Termodinâmica, em que vamos introduzir o conceito de temperatura e estudar os termômetros, como o mostrado na figura 1, e as escalas termométricas empregadas na medição da temperatura. O calor e os princípios da Termodinâmica serão estudados posteriormente em outros módulos.



Figura 1. Termômetro de rua registrando a temperatura ambiente em um dia nublado na cidade de São Paulo.

TEMPERATURA

A temperatura de um corpo indica o quão quente ele se acha em relação a um corpo de referência. Por exemplo, com base em nossa experiência diária, sabemos que a água fervente em uma panela está mais quente que a água que sai de uma torneira de jardim. Por isso, a água fervente apresenta uma temperatura maior que a água da torneira.

Uma unidade de temperatura muito utilizada em nosso país é o grau Celsius ($^{\circ}\text{C}$). Convencionou-se que o valor de temperatura da água fervente e a temperatura da água em fusão, ambas sob pressão de 1 atm, valem 100°C e 0°C , respectivamente. Temperaturas ambientes típicas são próximas de 20°C , e a temperatura interna do organismo humano é próxima de 38°C . Alguns corpos são tão frios que apresentam temperaturas muitos graus abaixo de 0°C . Por exemplo, o nitrogênio em liquefação, sob a pressão de 1 atm, apresenta a temperatura de -196°C . Os corpos também podem apresentar temperaturas muito elevadas, como aquelas que ocorrem nas estrelas.

A temperatura é uma grandeza escalar. Basta dizer que um corpo está a 45°C , por exemplo, para você ter uma noção do quão quente ele está. No caso de uma grandeza vetorial, como velocidade e força, você precisa especificar, além do módulo, a direção e o sentido da grandeza para ela ficar bem definida.

As grandezas físicas associadas à matéria dividem-se em duas categorias: as intensivas e as extensivas. O valor de uma grandeza intensiva não se altera pelo fato de a matéria ser dividida em duas ou mais partes. A temperatura é uma grandeza assim. Considere, por exemplo, uma jarra com 1 litro de água a 20°C . Se essa água for repartida em vários copos, a água em cada um continuará a 20°C . Ao contrário, uma grandeza extensiva tem o seu valor alterado pelo fato de a matéria ser dividida. No exemplo dado, a massa de água em cada copo é uma fração da massa da água na jarra. Assim, a massa é uma grandeza extensiva.

O caráter intensivo da temperatura pode ser útil em sua medição. Por exemplo, imagine uma pequena caixa com 100 abelhas. Como podemos medir a temperatura de apenas uma? Se todas as abelhas se acham à mesma temperatura, então a temperatura do grupo é a temperatura individual de uma abelha. Assim, se inserirmos um termômetro por um orifício da caixa, de modo que o instrumento fique bem no meio dos insetos, o valor registrado representará a temperatura de uma abelha.

VISÃO MICROSCÓPICA DA TEMPERATURA



O conceito de temperatura descrito até aqui corresponde a uma visão macroscópica. A temperatura também pode ser explicada do ponto de vista microscópico. A matéria é constituída por átomos e moléculas em constante movimento translacional. Nos sólidos e líquidos, esse movimento corresponde a diminutas oscilações das moléculas em torno de uma posição de equilíbrio. Nos gases, as moléculas percorrem distâncias maiores. A temperatura é uma medida da energia cinética média de translação das moléculas ou dos átomos de um corpo. Além do movimento translacional, moléculas formadas por dois ou mais átomos também podem rodar e vibrar. Contudo, a energia cinética rotacional e a vibracional das moléculas não interferem diretamente na temperatura de um corpo.

Não existe temperatura onde não há matéria. Não faz nenhum sentido perguntar qual é a temperatura do vácuo porque não existem átomos ou moléculas ali. Ao contrário, uma xícara de café quente contém moléculas e apresenta uma temperatura alta. Um *iceberg* possui moléculas menos agitadas, por isso a sua temperatura é baixa. Entretanto, como a massa do *iceberg* é muito grande, a energia cinética total de suas moléculas é maior que a energia cinética total das moléculas na xícara de café quente. Não há nenhuma inconsistência nesse fato, pois a temperatura é uma medida da energia cinética média das moléculas e não da energia cinética total.

O fato de a temperatura ser uma medida da energia cinética média, e não da energia total, está em conformidade com o caráter intensivo da temperatura. Tomemos novamente o exemplo da jarra de água a 20 °C, discutido na seção anterior. As moléculas de água apresentam uma energia cinética translacional média correspondente à temperatura de 20 °C. As moléculas de água no fundo, no meio ou na parte de cima da jarra apresentam exatamente o mesmo valor médio de energia. A divisão dessa água em vários copos não modifica essa energia cinética média, e a temperatura da água é a mesma em cada copo.

MEDINDO UMA TEMPERATURA



A temperatura de um corpo pode ser determinada por meio de instrumentos chamados termômetros. Um termômetro pode ser graduado em diferentes escalas. As mais importantes são as escalas Celsius, Fahrenheit e Kelvin. Existem vários tipos de termômetros e, em todos eles, o registro de temperatura é obtido por meio da medição de uma grandeza física que é função da temperatura. Essa grandeza é chamada de propriedade termométrica. Medindo-se o seu valor e conhecendo a relação matemática dela com a temperatura, esta pode ser determinada facilmente.

O termômetro mais simples utiliza o comprimento de uma coluna de líquido como propriedade termométrica. A figura 2 mostra um termômetro clínico de coluna de mercúrio. Esse instrumento é constituído por um tubo de diâmetro interno muito pequeno (tubo capilar). O tubo é fechado na extremidade superior, enquanto na parte inferior existe um pequeno reservatório metálico, chamado de bulbo, onde o mercúrio é armazenado.

Quando o bulbo do termômetro é posto em contato com o corpo de um paciente, o mercúrio se dilata devido ao aquecimento. A altura da coluna de mercúrio estabiliza-se quando ocorre o equilíbrio térmico entre o bulbo, o mercúrio e o paciente. Nesse momento, todos esses corpos apresentam a mesma temperatura. Assim, a temperatura do paciente pode ser obtida pela leitura direta da altura da coluna de mercúrio.

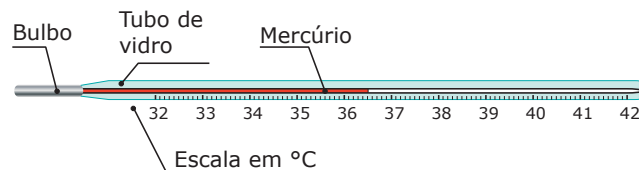


Figura 2. Termômetro clínico de coluna de mercúrio.

O que um termômetro realmente indica é a sua própria temperatura. Por isso, quando usamos um termômetro para medir a temperatura de um corpo, é essencial que a leitura seja feita apenas após o estabelecimento do equilíbrio térmico entre o termômetro e o corpo. Quando dois corpos a temperaturas diferentes são postos em contato, ocorre um fluxo de calor entre eles. Depois de certo tempo, os corpos atingem uma temperatura comum, situada entre as temperaturas iniciais dos corpos. Em geral, a massa do corpo cuja temperatura é medida é muito maior que a massa do termômetro. Por isso, a temperatura de equilíbrio é muito próxima à temperatura inicial do corpo. Em outras palavras, a temperatura do termômetro se aproxima da temperatura do corpo, enquanto esta quase não varia. É exatamente isso que acontece quando um termômetro clínico é colocado em um doente com febre, digamos, de 40 °C. Após poucos minutos, a redução na temperatura da pessoa é desprezível, enquanto a temperatura do termômetro se eleva e se estabiliza em um valor muito próximo a 40 °C.



PARA REFLETIR

Se não há temperatura no vácuo, por que um termômetro registra um valor de temperatura ao ser colocado no espaço entre a Terra e o Sol?

ESCALA CELSIUS



O funcionamento de qualquer termômetro é baseado em alguma propriedade termométrica, de modo que existe uma relação biunívoca entre essa propriedade e a temperatura medida. Como já dito, a temperatura pode ser expressa em várias escalas termométricas, sendo as escalas Celsius, Fahrenheit e Kelvin as mais importantes.

A escala Celsius é usada como padrão para se medir a temperatura em quase todos os países do mundo. Proposta no século XVIII pelo sueco Anders Celsius, essa escala é baseada na convenção de que, sob a pressão de 1 atm, as temperaturas de fusão do gelo e de ebulição da água são iguais a 0 °C e 100 °C, respectivamente. A figura 3 ilustra as marcações desses valores em um termômetro de coluna de líquido.

Nesse termômetro, o espaço entre as marcas de 0 °C e 100 °C deve ser dividido em 100 partes iguais. O intervalo entre duas marcações consecutivas valerá 1 °C, de forma que o termômetro poderá ser usado para medir temperaturas entre 0 °C e 100 °C, como a temperatura do ambiente ou a temperatura de uma pessoa. Se os intervalos de 1 °C forem estendidos abaixo e acima das marcações de 0 °C e 100 °C, o termômetro poderá registrar algumas temperaturas negativas, como a temperatura do interior de uma geladeira, e também temperaturas maiores que 100 °C, como a do óleo quente.

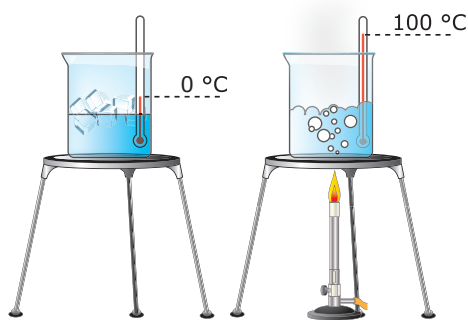


Figura 3. Calibração de um termômetro de coluna de líquido.

ESCALA FAHRENHEIT

A escala Fahrenheit foi proposta pelo cientista alemão Daniel Fahrenheit alguns anos antes de a escala Celsius ter sido criada. Muito popular nos Estados Unidos, a temperatura Fahrenheit é simbolizada por °F. O valor 32 °F corresponde à temperatura de fusão do gelo, e o valor 212 °F, à temperatura de ebulição da água, a 1 atm. Outras correspondências entre as temperaturas Celsius e Fahrenheit podem ser observadas no termômetro de dupla escala mostrado na figura 4. Por exemplo, a temperatura registrada no termômetro, na escala Fahrenheit, é 80 graus, enquanto o valor correspondente na escala Celsius é um pouco maior que 25 graus. Usando a figura, você também pode verificar que uma variação de 1 °C na escala Celsius corresponde a uma variação de 1,8 °F na escala Fahrenheit. Para obter essa relação, basta você dividir 180 °F por 100 °C, que são as diferenças entre as temperaturas de fusão e de ebulição da água nas escalas Fahrenheit (212 °F – 32 °F) e Celsius (100 °C – 0 °C).

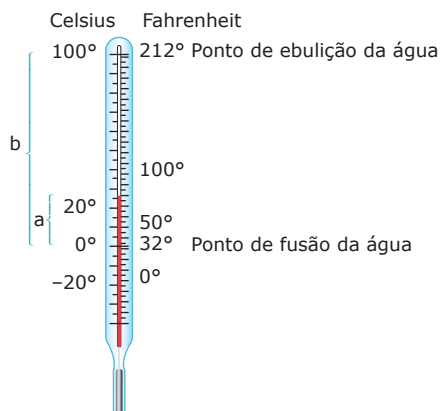


Figura 4. Termômetro graduado nas escalas Celsius e Fahrenheit.

Agora, vamos usar a figura 4 para obter uma equação de recorrência entre as temperaturas Celsius e Fahrenheit. Primeiro, considere os dois segmentos a e b mostrados na figura. Os valores da variação de temperatura dentro desses segmentos são diferentes dependendo de qual escala usamos. Porém, a razão entre eles (a/b) é a mesma, independentemente da escala usada. Chamando a temperatura registrada na escala Celsius de T_C e aquela registrada na escala Fahrenheit de T_F , podemos escrever:

$$\frac{a}{b} = \frac{T_C}{100} = \frac{T_F - 32}{180} \Rightarrow \boxed{\frac{T_C}{5} = \frac{T_F - 32}{9}}$$

Substitua valores para T_C e T_F nessa equação e verifique que eles concordam com os valores mostrados no termômetro da figura 4.

O ZERO ABSOLUTO

Até onde sabemos, não existe um limite superior para a temperatura da matéria. Nas estrelas, a matéria se acha no estado de plasma, e a temperatura pode atingir bilhões de graus. Ao contrário, existe uma temperatura mínima para a matéria. À medida que uma substância é resfriada, a agitação molecular diminui, e, se a temperatura pudesse chegar ao valor $-273,15$ °C ($-459,7$ °F), o movimento molecular cessaria. De fato, não é possível a temperatura abaixar até $-273,15$ °C, embora seja possível aproximar-se desse número indefinidamente. Atualmente, os físicos experimentais conseguem fazer a temperatura descer a valores extremamente próximos a esse limite. Em laboratórios avançados de baixa temperatura, certas substâncias são resfriadas, ficando a décimos de bilionésimo de grau acima da temperatura mínima.

Os físicos do século XIX notaram que havia um limite inferior para a temperatura antes mesmo de terem certeza de que a matéria era formada por átomos, e que o movimento atômico se relacionava com a temperatura dos corpos. Já naquela época, os cientistas conseguiram obter, de forma indireta, o valor $-273,15$ °C, ainda que imprecisamente. O cientista inglês William Thomson (1824-1907), também conhecido como lorde Kelvin, propôs uma escala termométrica na qual a temperatura de $-273,15$ °C fosse igual a zero, valor que passou a ser chamado de zero absoluto. Assim, na escala Kelvin (também conhecida como escala absoluta), a temperatura correspondente ao repouso molecular vale 0 K (nesse caso, falamos zero Kelvin, e não zero grau Kelvin). Uma substância jamais pode ser resfriada até o zero absoluto, embora possa ser aproximada dele indefinidamente.

Em 1995, os físicos obtiveram, pela primeira vez, o quinto estado da matéria (o condensado de Bose-Einstein) ao fazerem a temperatura diminuir até a incrível marca de 70 nanokelvin ($70 \cdot 10^{-9}$ K). Por mais que os cientistas consigam fazer uma substância se aproximar de 0 K, eles jamais atingirão esse valor, tampouco temperaturas Kelvin negativas.

Na escala Kelvin, um intervalo entre duas divisões inteiras e sucessivas tem valor exatamente igual ao valor do intervalo de 1 °C. Por isso, a equação de recorrência entre as escalas Kelvin e Celsius é a seguinte:

$$T = T_c + 273,15$$

Observe que, substituindo $T_c = -273,15$ °C nessa equação, obtemos $T = 0$ K, como esperado. Na maioria dos problemas, podemos arredondar a parcela 273,15 para o valor inteiro 273, sem perder muito a precisão. Assim, o ponto de fusão da água vale 273 K, uma temperatura ambiente de 27 °C vale 300 K, e assim por diante.

A figura a seguir mostra três termômetros graduados nas escalas Fahrenheit, Celsius e Kelvin, marcando a temperatura ambiente. Outras marcações de temperaturas estão indicadas nos termômetros. Usando as equações que você aprendeu, faça alguns cálculos e certifique-se das correspondências entre as temperaturas indicadas nos três instrumentos.

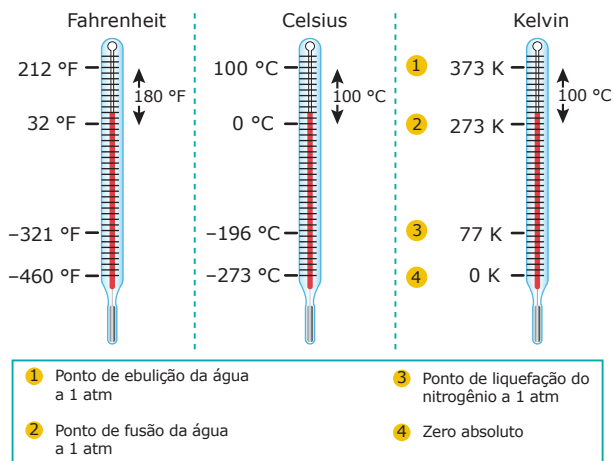


Figura 5. Correspondência entre temperaturas nas escalas Fahrenheit, Celsius e Kelvin.



PARA REFLETIR

Há uma estimativa de que a temperatura inicial do Universo era de 10^{28} graus. Por que, nesse caso, não é importante especificar a unidade da temperatura?



Escala termométrica

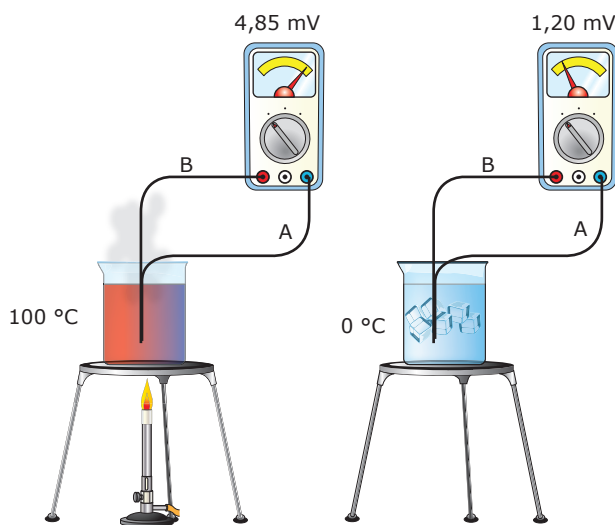
As escalas Celsius e Fahrenheit são popularmente utilizadas para expressar temperaturas medidas cotidianamente, como a temperatura do corpo e do ambiente. Já a escala Kelvin é basicamente usada em situações mais específicas, como em aplicações científicas.



Nesse experimento virtual, você aprenderá os passos mais usuais para definir uma escala termométrica e, também, com base nesses passos, como fazer a conversão entre escalas distintas. Boa atividade!

EXERCÍCIO RESOLVIDO

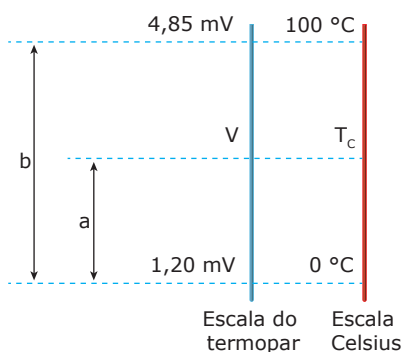
01. Um termopar é constituído por dois fios metálicos diferentes. Quando duas extremidades dos fios são ligadas, aparece uma diferença potencial entre as extremidades livres. A junção dos fios é o bulbo do termômetro, pois a d.d.p. gerada é função da sua temperatura. Em uma feira de ciências, um estudante construiu um termômetro do tipo termopar usando dois fios A e B, conforme mostra a figura. Para calibrar o termômetro, o estudante mergulhou o termopar em água fervente a 100 °C. As outras extremidades dos fios foram conectadas aos *bornes* de um milivoltímetro, que registrou uma tensão de 4,85 mV. Depois, a experiência foi repetida com o termopar mergulhado em gelo fundente. Nesse caso, o aparelho marcou 1,20 mV.



- A) Determinar a equação para converter a leitura do voltímetro em uma temperatura Celsius.
- B) Calcular a temperatura local em °C, considerando que o voltímetro marcou 2,30 mV depois que o termopar foi retirado da água e exposto ao ar livre.

Resolução:

- A) Nesse termômetro, a d.d.p. gerada nos fios A e B representa uma propriedade termométrica. Por isso, é possível converter a leitura do voltímetro (mV) para uma escala de temperatura convencional, como a escala Celsius ($^{\circ}\text{C}$). A equação de conversão pode ser determinada com a ajuda da figura adiante, em que T_c é a temperatura na escala Celsius, e V é a leitura do voltímetro.



Como a relação entre os segmentos a e b é a mesma nas duas escalas, podemos escrever a seguinte igualdade:

$$\frac{a}{b} = \frac{T_c}{100} = \frac{V - 1,20}{4,85 - 1,20} \Rightarrow T_c = \frac{100(V - 1,20)}{3,65}$$

- B) Para o termopar exposto ao ar livre, $V = 2,30$ mV. Substituindo esse valor na equação, obtemos a temperatura ambiente:

$$T_c = \frac{100(2,30 - 1,20)}{3,65} = 30,1^{\circ}\text{C}$$

Comentários:

- As temperaturas 0°C e 100°C não são medidas, mas sim definições. Por isso, não levamos em conta o número de algarismos significativos dessas temperaturas nos cálculos.
- A leitura do voltímetro depende da temperatura de onde a união dos fios A e B (termopar) se encontra imersa, mas também da temperatura das extremidades livres ligadas ao voltímetro. Esse valor é a temperatura ambiente. Por isso, a equação deduzida é válida para um ambiente a $30,1^{\circ}\text{C}$. Se a feira de ciências fosse realizada no inverno, a equação de recorrência obtida seria diferente da que obtivemos, pois os pontos de ebulição (100°C) e de fusão (0°C) da água, em combinação com outra temperatura ambiente, produziriam tensões diferentes de $4,85$ mV e $1,20$ mV.

EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM

- (UFPR-PR) Analise as seguintes afirmações sobre conceitos de Termologia:
 - Calor é uma forma de energia.
 - Calor é o mesmo que temperatura.
 - A grandeza que permite informar se dois corpos estão em equilíbrio térmico é a temperatura.
 Está(ão) correta(s) apenas
 - I.
 - II.
 - III.
 - I e II.
 - I e III.
- (UFLA-MG) Alguns corpos apresentam características físicas que variam com a temperatura, as quais são chamadas de propriedades termométricas. Os termômetros se utilizam dessas propriedades para medir temperatura. Analise as proposições I, II e III a seguir:
 - A pressão de um gás a volume constante é considerada uma propriedade termométrica.
 - A resistência elétrica é considerada uma propriedade termométrica.
 - A massa de um corpo é considerada uma propriedade termométrica.
 - Apenas a proposição I está correta.
 - As proposições I, II e III estão corretas.
 - Apenas as proposições I e II estão corretas.
 - Apenas a proposição II está correta.
 - Apenas a proposição III está correta.
- (UEFS-BA) Pesquisadores sugerem a possibilidade de computação quântica baseada em tecnologias padronizadas de fabricação de microeletrônicos, utilizando um material semicondutor, rênio ou nióbio, sobre uma superfície semicondutora que, quando resfriada próximo do zero absoluto, exhibe comportamento quântico. Dentre os valores, o mais próximo do zero absoluto é
 - 1°C .
 - 31°F .
 - -4 K.
 - 274 K.
 - -270°C .
- (UNIMEP-SP) Mergulham-se dois termômetros na água: um graduado na escala Celsius e o outro na Fahrenheit. Espera-se o equilíbrio térmico e nota-se que a diferença entre as leituras nos dois termômetros é igual a 92. A temperatura da água valerá, portanto,
 - 28°C e 120°F .
 - 32°C e 124°F .
 - 75°C e 167°F .
 - 60°C e 152°F .

05. (UERJ) Observe na tabela os valores das temperaturas dos pontos críticos de fusão e ebulição, respectivamente, do gelo e da água, à pressão de 1 atm, nas escalas Celsius e Kelvin.

Pontos críticos	Temperatura	
	°C	K
Fusão	0	273
Ebulição	100	373

Considere que, no intervalo de temperatura entre os pontos críticos do gelo e da água, o mercúrio em um termômetro apresenta dilatação linear.

Nesse termômetro, o valor na escala Celsius correspondente à temperatura de 313 K é igual a:

- A) 20 B) 30 C) 40 D) 60

06. (UNIFICADO-RJ-2015) Suponha que uma nova escala termométrica, denominada Sextus (S), adote os valores 6 °S e 66 °S, respectivamente, para os pontos do gelo e do vapor. O valor de uma temperatura expressa na escala Kelvin (K), em função da mesma temperatura expressa na escala Sextus (S), é uma função

- A) quadrática, cujo gráfico tem concavidade para cima.
 B) quadrática, cujo gráfico tem concavidade para baixo.
 C) afim, com coeficiente linear igual a -283.
 D) afim, com coeficiente linear igual a 271.
 E) afim, com coeficiente linear igual a 263.

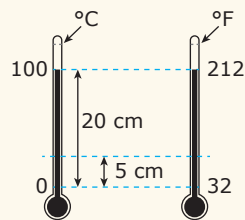
07. (FMTM-MG) Um estudante traduziu um texto, originalmente em língua inglesa, no qual se dizia que no Estado da Califórnia está a região mais quente do planeta, conhecida como "Vale da Morte". Como desejava uma tradução perfeita, também converteu o valor da maior temperatura registrada naquele local, encontrando 57 °C. Supondo-se que a conversão tenha sido feita corretamente, a versão original que estava escrita, na escala Fahrenheit, tinha o valor de:

- A) 13,7 °F. C) 120,6 °F. E) 192,0 °F.
 B) 44,6 °F. D) 134,6 °F.

08. (Fatec-SP) Um cientista coloca um termômetro em um béquer contendo água no estado líquido. Supondo que o béquer esteja num local ao nível do mar, a única leitura que pode ter sido feita pelo cientista é:

- A) -30 K. C) 130 °C. E) 350 K.
 B) 36 K. D) 250 K.

Com base nessas informações e na figura apresentada, podemos afirmar que, a 5,0 cm do ponto de fusão do gelo, os termômetros registram temperaturas iguais a



- A) 25 °C e 77 °F. D) 25 °C e 45 °F.
 B) 20 °C e 40 °F. E) 25 °C e 53 °F.
 C) 20 °C e 45 °F.

02. (UNIFESP) Quando se mede a temperatura do corpo humano com um termômetro clínico de mercúrio em vidro, procura-se colocar o bulbo do termômetro em contato direto com regiões mais próximas do interior do corpo e manter o termômetro assim durante algum tempo, antes de fazer a leitura.

Esses dois procedimentos são necessários porque

- A) o equilíbrio térmico só é possível quando há contato direto entre dois corpos e porque demanda sempre algum tempo para que a troca de calor entre o corpo humano e o termômetro se efetive.
 B) é preciso reduzir a interferência da pele, órgão que regula a temperatura interna do corpo, e porque demanda sempre algum tempo para que a troca de calor entre o corpo humano e o termômetro se efetive.
 C) o equilíbrio térmico só é possível quando há contato direto entre dois corpos e porque é preciso evitar a interferência do calor específico médio do corpo humano.
 D) é preciso reduzir a interferência da pele, órgão que regula a temperatura interna do corpo, e porque o calor específico médio do corpo humano é muito menor que o do mercúrio e do vidro.
 E) o equilíbrio térmico só é possível quando há contato direto entre dois corpos e porque é preciso reduzir a interferência da pele, órgão que regula a temperatura interna do corpo.

03. (UERN-2015) A temperatura interna de um forno elétrico foi registrada em dois instantes consecutivos por termômetros distintos - o primeiro graduado na escala Celsius e o segundo na escala Kelvin. Os valores obtidos foram, respectivamente, iguais a 120 °C e 438 K. Essa variação de temperatura expressa em Fahrenheit corresponde a

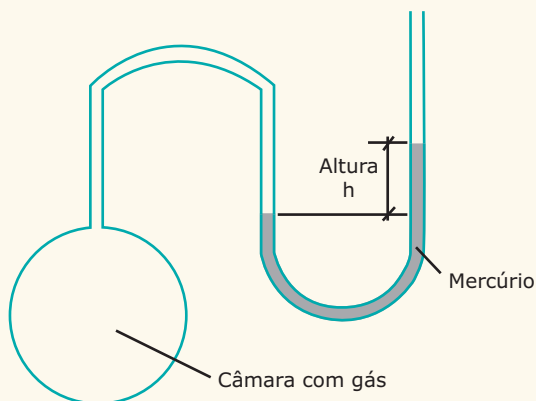
- A) 65 °F. B) 72 °F. C) 81 °F. D) 94 °F.

04. Um estudante monta um dispositivo termométrico utilizando uma câmara, contendo um gás, e um tubo capilar, em formato de "U", cheio de mercúrio, conforme mostra a figura. O tubo é aberto em uma das suas extremidades, que está em contato com a atmosfera.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS



01. (UFJF-MG-2015) Um professor de Física encontrou dois termômetros em um antigo laboratório de ensino. Os termômetros tinham somente indicações para o ponto de fusão do gelo e de ebulição da água. Além disso, na parte superior de um termômetro, estava escrito o símbolo °C e, no outro termômetro, o símbolo °F. Com ajuda de uma régua, o professor verificou que a separação entre o ponto de fusão do gelo e de ebulição da água dos dois termômetros era de 20,0 cm, conforme a figura a seguir.



Inicialmente a câmara é imersa em um recipiente contendo água e gelo em fusão, sendo a medida da altura h da coluna de mercúrio (figura) de 2 cm. Em um segundo momento, a câmara é imersa em água em ebulição e a medida da altura h da coluna de mercúrio passa a ser de 27 cm. O estudante, a partir dos dados obtidos, monta uma equação que permite determinar a temperatura do gás no interior da câmara (θ) em graus Celsius, a partir da altura h em centímetros. (Considere a temperatura de fusão do gelo $0\text{ }^\circ\text{C}$ e a de ebulição da água $100\text{ }^\circ\text{C}$.)

Assinale a alternativa que apresenta a equação criada pelo estudante.

- A) $\theta = 2h$
- B) $\theta = \frac{27h}{2}$
- C) $\theta = 4h - 8$
- D) $\theta = 5h^2 - 20$

05. (UNIBAN-SP) Ao utilizar um termômetro de mercúrio para medir a temperatura de uma pessoa, um médico percebeu que a escala do instrumento estava apagada entre os valores $36,5\text{ }^\circ\text{C}$ e $40\text{ }^\circ\text{C}$. Para saber a temperatura do paciente, o médico mediu o comprimento da escala do instrumento (de $35\text{ }^\circ\text{C}$ a $45\text{ }^\circ\text{C}$), encontrando 5,0 cm. Em seguida, mediu a altura da coluna de mercúrio correspondente à temperatura da pessoa, encontrando 1,5 cm. Qual a temperatura determinada pelo médico?

- A) $18\text{ }^\circ\text{C}$
- B) $26\text{ }^\circ\text{C}$
- C) $24\text{ }^\circ\text{C}$
- D) $30\text{ }^\circ\text{C}$
- E) $38\text{ }^\circ\text{C}$

06. (ESCS-DF) Observe a tabela:

	t_{Rio2016}	t_c	h (mm)
Ponto de gelo	-20	0	10
Ponto de vapor	120	100	210

Não satisfeito com as escalas termométricas existentes, um estudante resolveu adotar uma chamada denominada Rio2016 para medir temperatura, obtendo a tabela anterior. Nessa tabela, estão representados os pontos de gelo e de vapor, os valores adotados para a escala Rio2016 (t_{Rio2016}), os valores conhecidos da escala Celsius (t_c) e as alturas da coluna (h (mm)) do líquido termométrico de determinado termômetro.

A relação entre as temperaturas nas duas escalas, sendo $t_{\text{Rio2016}} = f(t_c)$, é:

- A) $t_{\text{Rio2016}} = 1,4t_c - 10$
- B) $t_{\text{Rio2016}} = 1,4t_c + 20$
- C) $t_{\text{Rio2016}} = 1,4t_c - 20$
- D) $t_{\text{Rio2016}} = 1,2t_c - 20$
- E) $t_{\text{Rio2016}} = 1,2t_c + 20$

07. (UNIUBE-MG) Foram colocados dois termômetros em determinada substância, a fim de medir sua temperatura. Um deles, calibrado na escala Celsius, apresenta um erro de calibração e acusa apenas 20% do valor real. O outro, graduado na escala Kelvin, marca 243 K. A leitura feita no termômetro Celsius é de

- A) 30°
- B) 6°
- C) 0°
- D) -6°
- E) -30°

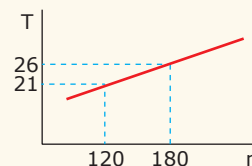
08. (UFTM-MG) Além de painéis solares industrializados, é muito simples construir um painel utilizando para isso materiais de baixo custo. A dificuldade, na realidade, consiste em armazenar a água aquecida por maior tempo possível. Em uma proposta alternativa, um pesquisador introduziu sensores térmicos, daqueles utilizados em carros para saber a temperatura do motor, e associou a cada sensor um ohmímetro sem, no entanto, preocupar-se com a unidade física por ele lida. Assim, observou que:

Temperatura $^\circ\text{C}$	Leitura da escala do ohmímetro
20	34 graduações
46	73 graduações

De acordo com a tabela, uma temperatura ideal para um banho quente equivalente a $35\text{ }^\circ\text{C}$ corresponderá, no medidor improvisado, a um número de graduações aproximadamente igual a:

- A) 45
- B) 49
- C) 53
- D) 57
- E) 61

09. (UFMS) Através de experimentos, biólogos observaram que a taxa de canto de grilos de uma determinada espécie estava relacionada com a temperatura ambiente de uma maneira que poderia ser considerada linear. Experiências mostraram que, a uma temperatura de $21\text{ }^\circ\text{C}$, os grilos cantavam, em média, 120 vezes por minuto; e, a uma temperatura de $26\text{ }^\circ\text{C}$, os grilos cantavam, em média, 180 vezes por minuto. Considerando T a temperatura em graus Celsius e n o número de vezes que os grilos cantavam por minuto, podemos representar a relação entre T e n pelo gráfico a seguir.



Supondo que os grilos estivessem cantando, em média, 156 vezes por minuto, de acordo com o modelo sugerido nesta questão, estima-se que a temperatura deveria ser igual a

- A) $21,5\text{ }^\circ\text{C}$
- B) $22\text{ }^\circ\text{C}$
- C) $23\text{ }^\circ\text{C}$
- D) $24\text{ }^\circ\text{C}$
- E) $25,5\text{ }^\circ\text{C}$

10. (Unifor-CE) Um estudante construiu uma escala de temperatura E atribuindo o valor 0 °E à temperatura equivalente a 20 °C e o valor 100 °E à temperatura equivalente a 104 °F. Quando um termômetro graduado na escala E indicar 25 °E, outro termômetro graduado na escala Fahrenheit indicará:
 A) 85 B) 77 C) 70 D) 64 E) 60

11. (UEFS-BA) Um termômetro graduado em uma escala Y associa os valores 50 °Y e - 30 °Y, quando um outro termômetro graduado em uma outra escala arbitrária W registra 30 °W e - 10 °W, respectivamente.
 Com base nessas informações, é correto afirmar:
 A) As escalas Y e W nunca registrarão um mesmo valor.
 B) A unidade de medida da escala W é menor que a unidade da medida da escala Y.
 C) Qualquer indicação da escala Y será sempre igual ao triplo do valor assinalado pela escala W.
 D) A temperatura de ebulição da água é 30 °W e 50 °Y.
 E) A indicação de 120 °Y corresponde a 65 °W.

12. (UNIFICADO-RJ) Duas escalas termométricas E₁ e E₂ foram criadas. Na escala E₁, o ponto de fusão do gelo sob pressão de 1 atm (ponto de gelo) corresponde a + 12 e o ponto de ebulição da água sob pressão de 1 atm (ponto de vapor) corresponde a + 87. Na escala E₂, o ponto de gelo é + 24. Os números x e y são, respectivamente, as medidas nas escalas E₁ e E₂ correspondentes a 16 °C. Se os números 16, x e y formam, nessa ordem, uma Progressão Geométrica, o ponto de vapor na escala E₂ é:
 A) 120 B) 99 C) 78 D) 64 E) 57

SEÇÃO ENEM

01. (Enem) Nas discussões sobre a existência de vida fora da Terra, Marte tem sido um forte candidato a hospedar vida. No entanto, há ainda uma enorme variação de critérios e considerações sobre a habilidade de Marte, especialmente no que diz respeito à existência ou não de água líquida. Alguns dados comparativos entre a Terra e Marte estão apresentados na tabela.

Planeta	Distância ao Sol (km)	Massa (em relação à terrestre)	Aceleração da gravidade (m/s ²)	Composição da atmosfera	Temperatura média
Terra	149 milhões	1,00	9,8	Gases predominantes: nitrogênio (N) e oxigênio (O ₂)	288 K (+15 °C)
Marte	228 milhões	0,18	3,7	Gás predominante: dióxido de carbono (CO ₂)	218 K (-55 °C)

Com base nesses dados, é possível afirmar que, dentre os seguintes fatores, aquele mais adverso à existência de água líquida em Marte é sua

- A) grande distância ao Sol. C) aceleração da gravidade pequena. E) temperatura média muito baixa.
 B) massa pequena. D) atmosfera rica em CO₂.

GABARITO

Meu aproveitamento

Aprendizagem

Acertei _____ Errei _____

- 01. E
- 02. C
- 03. E
- 04. C
- 05. C
- 06. E
- 07. D
- 08. E

Propostos

Acertei _____ Errei _____

- 01. A
- 02. B
- 03. C
- 04. C
- 05. E
- 06. C
- 07. D
- 08. D
- 09. D
- 10. B
- 11. E
- 12. B

Seção Enem

Acertei _____ Errei _____

- 01. E



Total dos meus acertos: _____ de _____ . _____ %

Dilatometria

Dependendo da temperatura e da pressão, uma substância pode existir na forma sólida, líquida ou gasosa. Em baixas temperaturas, os átomos de um sólido apresentam agitação moderada. Em temperaturas mais elevadas, os átomos oscilam mais rapidamente e tendem a se afastar uns dos outros. O resultado é que os corpos se dilatam quando aquecidos. É por isso que, por exemplo, os cabos da linha de transmissão mostrados na figura 1, aquecidos pela passagem de corrente elétrica, alongam-se significativamente (no verão, esse efeito é ampliado).

Outro exemplo relacionado à dilatação térmica é o termômetro de coluna de líquido. Aquecido por uma fonte de calor, o líquido do termômetro se dilata, e a nova posição da coluna registra a temperatura da fonte. Quase todas as substâncias se dilatam com o aquecimento, sendo a água uma exceção. Entre 0 °C e 4 °C, ela se contrai quando aquecida e se expande quando resfriada.



Figura 1. Os cabos de uma linha de transmissão de alta potência se encurvam, entre outros fatores, devido à dilatação térmica.

Neste módulo, estudaremos a dilatação térmica dos sólidos e dos líquidos. A dilatação irregular da água exerce um papel de destaque na manutenção da vida marinha em regiões mais frias, e parte deste módulo será dedicada ao estudo desse fenômeno. Uma leitura sobre a estrutura molecular e as características mecânicas dos sólidos, líquidos e gases finalizará a teoria do módulo.

DILATAÇÃO TÉRMICA

Um sólido é chamado de cristalino quando suas partículas constituintes se ligam formando uma estrutura organizada, que se repete ao longo do corpo. A figura 2 mostra uma estrutura cristalina cúbica. As partículas, representadas por esferas, ligam-se entre si por meio de forças elétricas. Simbolizamos essas ligações por meio de molas. O aumento da temperatura é acompanhado por uma maior vibração dessas partículas. O resultado é que a distância média entre as partículas também aumenta, e o sólido cresce em todas as direções: no comprimento, na largura e na altura. Quando a temperatura diminui, a vibração e a distância média entre as partículas diminuem, ou seja, a matéria sofre contração. Com raras exceções, as substâncias se dilatam quando a temperatura aumenta e se contraem quando a temperatura diminui.

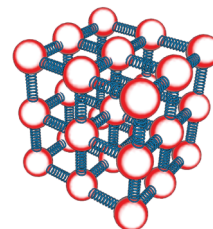


Figura 2. Modelo para um sólido cristalino.

Muitas situações do cotidiano estão relacionadas com a dilatação térmica. Na abertura deste módulo, comentamos sobre a dilatação dos fios em uma linha de transmissão. A junta de dilatação é outro exemplo de dilatação térmica. As juntas são pequenas separações deixadas entre peças adjacentes, permitindo que essas se dilatam livremente. Sem essas folgas, as peças se tocariam em um dia muito quente, gerando esforços de compressão e podendo causar deformações permanentes nas peças. Podemos observar juntas de dilatação em muitos lugares, como nos trilhos de uma estrada de ferro, entre duas lajes de um viaduto e na colocação de pisos e azulejos. A seguir, apresentaremos as equações para calcular a dilatação (ou contração) de sólidos e líquidos quando suas temperaturas são alteradas. A dilatação dos gases fundamenta-se nos mesmos princípios microscópicos que discutimos. Porém, ela possui algumas particularidades que justificam sua apresentação em outro módulo.

DILATAÇÃO LINEAR

Embora os corpos sofram dilatação nas três dimensões, muitas vezes, é interessante analisar a dilatação apenas em uma delas. Por exemplo, quando uma estrada de ferro é construída, os engenheiros devem prever uma folga mínima entre os trilhos para permitir a sua dilatação sem risco de empenamentos. Nesse caso, não é relevante conhecer a dilatação da altura e da largura dos trilhos. A dilatação em apenas uma dimensão, conhecida como dilatação linear, possui muitas aplicações na Física e na Engenharia.

Para calcular a dilatação linear, considere a barra cilíndrica mostrada na figura 3. Inicialmente, ela possui um comprimento L_0 , à temperatura T_0 . A seguir, considere que a barra seja aquecida homogênea e, após alguns minutos, o comprimento da barra passa a ser L , à temperatura T . O aumento no comprimento da barra, ΔL , também está indicado nesta figura.

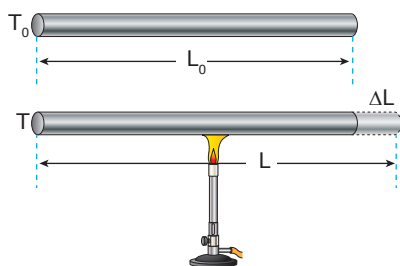


Figura 3. Dilatação linear de uma barra cilíndrica.

Desde que a variação de temperatura não seja muito grande, ΔL é proporcional a ΔT . Assim, no aquecimento mostrado na figura 3, se ΔT fosse o dobro, ΔL também seria o dobro; se ΔT fosse o triplo, ΔL seria o triplo; e assim por diante. Além disso, a dilatação ΔL também é proporcional ao comprimento inicial L_0 . De fato, como ΔL é proporcional a ΔT e a L_0 , significa que ΔL é proporcional ao produto $L_0\Delta T$. Introduzindo uma constante de proporcionalidade α , a equação para calcular a dilatação térmica é a seguinte:

$$\Delta L = L_0\alpha\Delta T$$

Nessa equação, α é chamado de coeficiente de dilatação térmica linear, valor que depende do material da barra. O coeficiente α pode ser considerado constante em uma grande faixa de temperaturas. Podemos estudar melhor o coeficiente α explicitando-o como:

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0\Delta T}$$

Para $\Delta T = 1\text{ }^\circ\text{C}$, teremos $\alpha = \Delta L/L_0$. Essa razão indica o percentual de aumento da barra em relação a seu comprimento inicial para uma variação unitária de temperatura. No Sistema Internacional, α é dado em $1/^\circ\text{C}$ ou $^\circ\text{C}^{-1}$, pois as grandezas L_0 e ΔL aparecem no numerador e no denominador da equação anterior, de modo que as unidades de comprimento se cancelam (desde que L_0 e ΔL sejam medidos em unidades idênticas).

A tabela a seguir contém valores experimentais médios do coeficiente de dilatação linear para sólidos comuns. As variações desses coeficientes com a temperatura são, em geral, desprezíveis comparadas às precisões exigidas nos cálculos em Engenharia.

Coeficientes de dilatação linear

Material	α ($\cdot 10^{-6}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$)
Alumínio	23
Cobre	17
Aço comum	11
Titânio especial	10
Vidro comum	9,0
Vidro pirex	3,0

Tabela 1.

O vidro é um material quebradiço, que se rompe facilmente quando sofre impactos mecânicos e dilatações térmicas bruscas e localizadas. Quando colocamos leite quente em um copo de vidro de paredes grossas, o risco de ruptura do vidro é maior do que em um copo de paredes finas. Neste último, o calor se difunde mais facilmente, e o copo se dilata de forma mais homogênea. O vidro pirex pode ser levado ao forno sem risco de ser quebrado, porque esse material sofre pouca dilatação térmica (observe, na tabela anterior, que o coeficiente de dilatação do pirex é bem menor que o do vidro comum).

Alguns aparelhos elétricos podem ser acionados sob o comando da temperatura. Por exemplo, o circuito elétrico de uma geladeira é desligado sempre que a temperatura interna atinge um valor mínimo capaz de garantir a conservação dos alimentos. Em seguida, quando essa temperatura aumenta um pouco, o circuito é religado. Esse acionamento é feito por um interruptor conhecido por termostato, cujo princípio baseia-se na dilatação térmica. O mais simples dos termostatos é constituído por duas lâminas de metais diferentes (alumínio e cobre, por exemplo), unidas entre si, como ilustra a figura 4. Inicialmente, as lâminas estão à temperatura ambiente. Nessa situação, elas apresentam comprimentos iguais. Quando aquecidas, a lâmina de alumínio dilata mais que a de cobre, pois o coeficiente α do alumínio é maior que o do cobre. Como as lâminas são solidárias (presas entre si), e como o comprimento final da lâmina de alumínio deve ser maior que o da outra, as lâminas se curvam para o lado do cobre. No resfriamento, situação também ilustrada na figura 4, o comportamento da lâmina bimetálica se inverte. A lâmina de alumínio sofre a maior retração, e o sistema se curva para o outro lado.

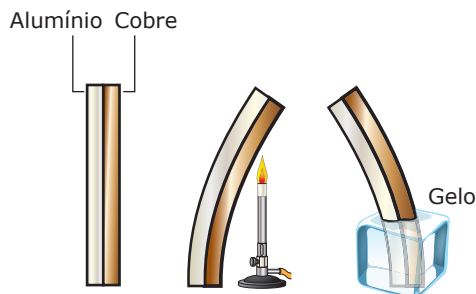


Figura 4. Dilatação de uma lâmina bimetálica.



PARA REFLETIR

Por que o bulbo de uma lâmpada de filamento deve ser de vidro bem fino?

DILATAÇÃO SUPERFICIAL E VOLUMÉTRICA

Considere o sólido mostrado na figura 5. Aquecendo-o, as arestas, as diagonais das faces e as diagonais internas se dilatam. A dilatação térmica ocorre em todas as direções. Por isso, as superfícies desse corpo, assim como seu volume, sofrem dilatações.

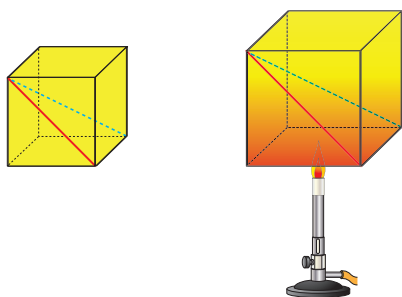


Figura 5. Dilatação de um sólido.

Para muitos materiais, o coeficiente de dilatação linear é igual em todas as direções. Nesses materiais, a dilatação é chamada de isotrópica. A dilatação isotrópica de um sólido acontece de maneira semelhante a uma ampliação fotográfica, à exceção de que a dilatação é tridimensional, enquanto a foto é bidimensional. Cada comprimento unitário de reta ou curva do sólido (interna ou superficial) aumenta de um valor igual ao coeficiente de dilatação linear para cada grau de aumento de temperatura. Por isso, podemos calcular a dilatação térmica da área de uma placa de área inicial A_0 por meio da seguinte equação:

$$\Delta A = A_0 \beta \Delta T$$

sendo $\beta = 2\alpha$

O fator β é chamado de coeficiente de dilatação superficial. O seu valor é, com alta precisão, igual ao dobro do coeficiente de dilatação linear. Isso pode ser justificado pela isotropia do material da placa. Observe a figura 6, que mostra uma placa retangular de base a_0 e altura b_0 . A seguir, a placa é submetida a um aumento de temperatura ΔT . Os cálculos das dilatações da base e da altura estão indicados na figura. A dilatação da placa é representada pela área hachurada. Despreze a área do pequeno retângulo abaixo e à direita da placa (área em duplo hachurado) e calcule a dilatação da placa. Você vai obter exatamente a equação da dilatação superficial apresentada anteriormente.

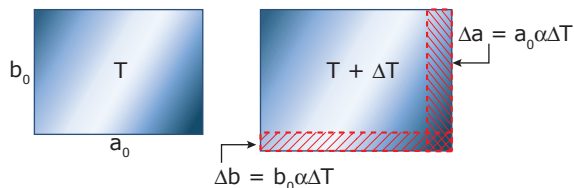


Figura 6. Dilatação isotrópica de uma placa.

Semelhantemente à dilatação superficial, a dilatação volumétrica isotrópica é dada por:

$$\Delta V = V_0 \gamma \Delta T$$

sendo $\gamma = 3\alpha$

O fator γ é o coeficiente de dilatação volumétrica, e vale, com alta precisão, o triplo do coeficiente linear.



ZDD4

Paradoxo da placa furada

A dilatação térmica é um fenômeno bastante comum. Em geral, uma substância (ou um material) se dilata quando recebe calor. Apesar de ser um fenômeno relativamente simples, algumas questões muito interessantes podem surgir. Por exemplo, o que ocorreria ao se aquecer uma chapa metálica com um furo em seu interior? Muitas pessoas acreditam que, com a dilatação da placa, o furo diminuiria de diâmetro. E você, o que acha? A resposta para essa questão se encontra no vídeo, confira!

Obs.: Por questões didáticas, a expansão da chapa foi acelerada e amplificada.

DILATAÇÃO DE SÓLIDOS VAZADOS

Objetos vazados, como anéis e tubos, dilatam-se como se fossem maciços. Isso pode ser comprovado por meio de uma experiência simples. Considere o anel e a esfera, ambos metálicos, mostrados na figura 7. À temperatura ambiente, o diâmetro do furo do anel é ligeiramente menor que o diâmetro da esfera, de modo que ela não pode passar pelo anel. Depois que esse é aquecido, todas as suas dimensões aumentam, inclusive o diâmetro do furo. O resultado é que a esfera pode atravessar o anel quente. Se aguardarmos o seu resfriamento, o anel voltará ao tamanho normal, e a esfera não poderá trespassar o furo novamente. Se a esfera fosse mantida dentro do anel quente, após o resfriamento, ela ficaria presa no anel. Esse tipo de fixação é usado em certos processos de fabricação. Para isso, os engenheiros usam a equação $\Delta d = d_0 \alpha \Delta T$ para avaliar a dilatação do diâmetro do furo, sendo α o coeficiente de dilatação do material da peça vazada.



Figura 7. Montagem para comprovar a dilatação térmica de um anel metálico.

Uma situação interessante relacionada com a dilatação de corpos vazados acontece com vidros de conservas ou doces acondicionados nas geladeiras. Você já deve ter notado que a tampa metálica desses frascos costuma ficar emperrada quando tentamos abri-los logo após a retirada do produto da geladeira. Como o coeficiente de dilatação térmica dos metais é maior que o coeficiente de dilatação do vidro (observe a tabela 1), a tampa metálica se contrai muito mais que a boca do recipiente quando o produto é resfriado (lembre-se de que a contração da boca do recipiente é proporcional ao coeficiente de dilatação do vidro, enquanto a contração da tampa é proporcional ao coeficiente do metal). É por isso que a tampa fica emperrada. Uma maneira fácil de abrir o recipiente consiste em jogar água quente sobre a tampa. Dessa forma, ela se dilata, podendo ser retirada facilmente. Finalizamos aqui a teoria sobre a dilatação de sólidos. A seguir, apresentamos uma pergunta para você refletir e um exercício resolvido.



PARA REFLETIR

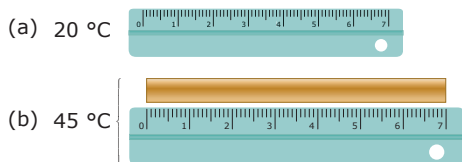
Uma placa metálica possui dois furos. Se a placa for aquecida, a distância entre os furos aumentará ou diminuirá?

EXERCÍCIO RESOLVIDO

- 01.** Uma régua de aço de 7,0 cm foi calibrada a 20 °C. A régua é usada em um ambiente muito quente, onde a temperatura é de 45 °C. Determinar o erro percentual cometido ao se usar a régua nesse ambiente e discutir a viabilidade do uso da régua nesse local.

Resolução:

Na figura (a), a régua encontra-se em um local onde a temperatura é de 20 °C. Nesse local, o comprimento da régua vale, de fato, 7,0 cm. Na figura (b), a régua e uma barra estão a 45 °C. Nessa condição, a régua indica um comprimento de 7,0 cm para a barra. Entretanto, a barra mede mais que isso, pois a régua de cima, a 20 °C, é que fornece a medida correta.



A equação da dilatação linear da régua é dada por:

$$\Delta L = L - L_0 = L_0 \alpha \Delta T$$

Nessa equação, L é o comprimento da barra (comprimento da régua a 45 °C), $L_0 = 7,0$ cm é o comprimento da régua a 20 °C, $\Delta T = 45 - 20 = 25$ °C é a elevação de temperatura e $\alpha = 11 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ é o coeficiente de dilatação linear do aço.

Substituindo esses valores na equação anterior, obtemos:

$$L - 7,0 = 7,0 \cdot 11 \cdot 10^{-6} \cdot 25 \Rightarrow L = 7,001925 \text{ cm}$$

O erro da medição, portanto, é:

$$\text{Erro} = \frac{L - L_0}{L} = \frac{7,001925 - 7,0}{7,001925} = 0,00027 \text{ ou } 0,027\%$$

Comentário:

A régua é graduada em milímetros. Considerando o conceito de algarismos significativos, a medição do comprimento da barra é 70,0 mm (o segundo zero é o algarismo duvidoso). Esse valor coincide com o comprimento corrigido pela dilatação térmica, e dado com 3 algarismos significativos. Portanto, a precisão da régua não é comprometida a 45 °C. De fato, como o coeficiente de dilatação do aço é baixo, réguas de aço são usadas em laboratórios e oficinas de mecânica fina. Réguas de cobre e alumínio não são adequadas, tendo em vista os valores elevados do coeficiente de dilatação desses materiais.

DILATAÇÃO DOS LÍQUIDOS

Nos líquidos, as forças de atração entre as moléculas são fracas, se comparadas às forças de atração das moléculas de um sólido. Por isso, em geral, os líquidos apresentam coeficientes de dilatação térmica maiores que os sólidos. A tabela a seguir mostra valores de coeficientes de dilatação volumétrica de alguns líquidos importantes, valores esses que podem ser considerados constantes em uma grande faixa de temperatura.

Coefficientes de dilatação volumétrica

Material	γ ($\cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)
Álcool etílico	11
Gasolina	9,0
Glicerina	5,0
Mercúrio	2,0

Tabela 2.

Agora, considere um líquido contido em um béquer, como mostra a figura 8. Quando aquecido, o líquido se dilata, mas o béquer também. Por isso, a dilatação que vemos acontecer (volume derramado) não é a dilatação real do líquido, mas sim a sua dilatação aparente.

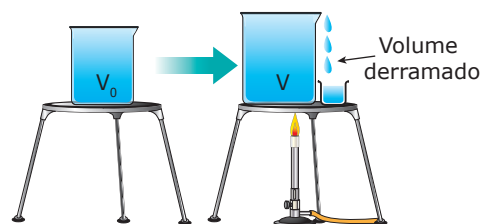


Figura 8. Dilatação aparente de um líquido.

A dilatação aparente do líquido (volume derramado) é a diferença entre a dilatação real do líquido e a dilatação do béquer:

$$\Delta V_{\text{aparente}} = \Delta V_{\text{líquido}} - \Delta V_{\text{béquer}}$$

As dilatações do líquido e do béquer podem ser calculadas pela equação da dilatação volumétrica:

$$\Delta V_{\text{líquido}} = V_0 \cdot \gamma_{\text{líquido}} \cdot \Delta T \quad \text{e} \quad \Delta V_{\text{béquer}} = V_0 \cdot \gamma_{\text{béquer}} \cdot \Delta T$$

O volume inicial do líquido é o mesmo volume da parte interna do béquer. A variação de temperatura é comum ao líquido e ao béquer. Substituindo essas grandezas na equação anterior, obtemos a dilatação aparente do líquido:

$$\Delta V_{\text{aparente}} = V_0 \cdot \gamma_{\text{líquido}} \cdot \Delta T - V_0 \cdot \gamma_{\text{béquer}} \cdot \Delta T$$

Colocando $V_0 \Delta t$ em evidência, obtemos:

$$\Delta V_{\text{aparente}} = V_0 \Delta T (\gamma_{\text{líquido}} - \gamma_{\text{béquer}})$$

O termo entre parênteses (diferença entre os coeficientes de dilatação térmica volumétrica do líquido e do béquer) é denominado coeficiente de dilatação térmica aparente. Esse valor depende do par líquido / recipiente. Por exemplo, para o par mercúrio / vidro pirex, o coeficiente de dilatação aparente vale:

$$\gamma_{\text{aparente}} = \gamma_{\text{mercúrio}} - \gamma_{\text{vidro pirex}} = 2,0 \cdot 10^{-4} - 3,0 \cdot 10^{-6}$$

$$\gamma_{\text{aparente}} = 2,0 \cdot 10^{-4} - 0,030 \cdot 10^{-4} = 1,97 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

A interpretação desse número é a seguinte: uma unidade de volume, como 1 cm^3 de mercúrio, ocupando um volume de 1 cm^3 em um recipiente de vidro pirex, sofre uma dilatação aparente de $0,000197 \text{ cm}^3$ quando a temperatura se eleva de $1 \text{ } ^\circ\text{C}$. Para um volume não unitário e uma variação de temperatura não unitária, a dilatação aparente pode ser calculada pela equação que deduzimos há pouco. Na figura 8, para $V_0 = 1 \text{ 000 cm}^3$ e $\Delta T = 100 \text{ } ^\circ\text{C}$, por exemplo, o volume de mercúrio derramado seria:

$$V_{\text{derramado}} = \Delta V_{\text{aparente}} = V_0 \cdot \gamma_{\text{aparente}} \cdot \Delta T$$

$$V_{\text{derramado}} = 1 \text{ 000} \cdot 1,97 \cdot 10^{-4} \cdot 100 = 19,7 \text{ cm}^3$$

Você também pode obter esse valor calculando a dilatação do líquido, depois a dilatação do béquer e, por último, subtraindo esses dois valores.



PARA REFLETIR

Um termômetro de coluna de mercúrio funcionaria se os coeficientes de dilatação do vidro e do mercúrio fossem iguais?

A DILATAÇÃO DA ÁGUA

A maioria das substâncias sofre expansão quando aquecida e retração quando resfriada. A água, entretanto, apresenta um comportamento invertido entre $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ e $4 \text{ } ^\circ\text{C}$. O gráfico na figura 9 ilustra a dilatação térmica de massas iguais ($1,0 \text{ g}$) de álcool etílico e água, aquecidas a partir de $0 \text{ } ^\circ\text{C}$. Observe o comportamento regular e esperado do álcool, que sofre dilatação durante toda a faixa de elevação da temperatura. O mesmo não ocorre com a água, que tem o volume reduzido entre $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ a $4 \text{ } ^\circ\text{C}$. A partir de $4 \text{ } ^\circ\text{C}$, o comportamento da água é normal. A água, a $4 \text{ } ^\circ\text{C}$, apresenta o menor volume e, consequentemente, densidade máxima.

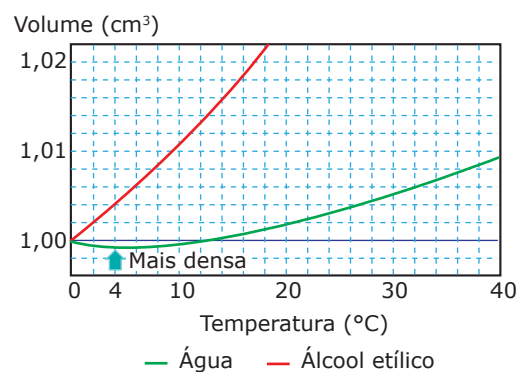


Figura 9. A dilatação regular do álcool e irregular da água.

Em regiões frias, a vida marinha poderia desaparecer caso a água se dilatasse regularmente em toda a faixa de temperaturas. Nesses locais, as camadas superiores de um lago se congelam, mas as camadas inferiores continuam no estado líquido, permitindo a manutenção de plantas e animais aquáticos. Nessas regiões, quando o inverno se inicia, a temperatura ambiente e a temperatura da superfície do lago começam a diminuir. À medida que a água da superfície se resfria, ela sofre contração, torna-se mais densa e afunda, enquanto a água das camadas mais baixas sobe. Essas correntes descendentes e ascendentes (chamadas de correntes convectivas) permitem que a água do lago se resfrie homogeneamente até a temperatura de $4 \text{ } ^\circ\text{C}$. A partir desse ponto, a água da superfície continua se resfriando, pois a temperatura ambiente continua caindo, mas a água se torna menos densa, uma vez que ela sofre expansão quando a temperatura se torna inferior a $4 \text{ } ^\circ\text{C}$. Por isso, a água da superfície flutua sobre as camadas inferiores, que se mantêm a $4 \text{ } ^\circ\text{C}$. A superfície do lago continua resfriando até congelar, a $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ e muitas vezes atingindo temperaturas abaixo de zero.



PARA REFLETIR

Em 2000, o submarino Kursk afundou no mar de Barents, matando os 118 tripulantes. Na ocasião, um jornalista narrou: "O resgate é quase impossível, os mergulhadores enfrentam temperaturas muito abaixo de $0 \text{ } ^\circ\text{C}$." Por que essa temperatura não procede?

ESTRUTURA DA MATÉRIA

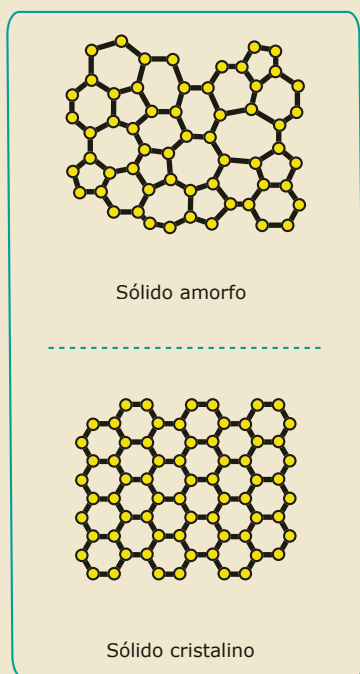
Neste módulo, estudamos a dilatação térmica. Vimos que esse conceito se relaciona diretamente com a estrutura da matéria. Nesta leitura, vamos discutir alguns aspectos da organização das moléculas para entender melhor a dilatação térmica e outros fenômenos ligados à estrutura da matéria.

Os estados da matéria e suas propriedades

A maioria das propriedades físicas depende do estado físico da matéria. A viscosidade, a densidade e o coeficiente de dilatação térmica são exemplos de propriedades que dependem do estado físico. Os sólidos apresentam moléculas, átomos ou íons próximos e fortemente ligados. É por isso que esses corpos apresentam forma e volume definidos. Além disso, a maioria dos sólidos resiste às deformações de tração, compressão e cisalhamento (esforço que ocorre quando uma força age paralelamente à superfície de um corpo, forçando suas camadas internas a deslizarem umas sobre as outras). Os sólidos, em geral, também apresentam baixos coeficientes de dilatação térmica por causa da forte ligação entre suas partículas.

Os sólidos cristalinos, como o diamante e o sal de cozinha, são formados por moléculas ou átomos organizados em uma estrutura que se repete ao longo da matéria.

Nos sólidos amorfos, como vidros e plásticos, as moléculas ou átomos se combinam de uma forma não muito organizada. A figura seguinte mostra uma estrutura amorfa e outra cristalina.

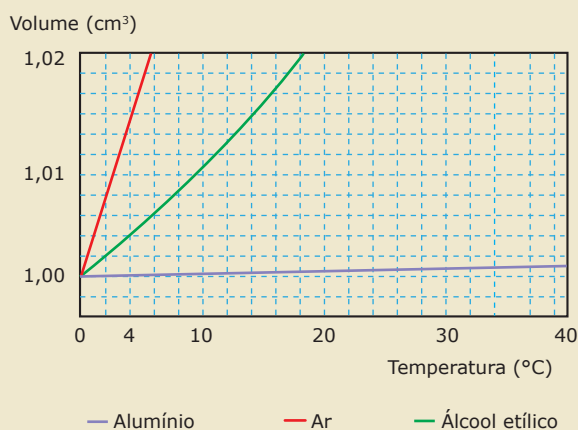


Os líquidos são constituídos por grupos de moléculas afastados uns dos outros, muito mais do que nos sólidos. Nem todas as moléculas de um líquido se acham ligadas, de modo que não há uma rede molecular como aquela existente nos sólidos. As moléculas de um líquido interagem moderadamente umas com as outras. Em função disso, os líquidos não resistem ao cisalhamento e escorrem (alguns líquidos são muito viscosos, como o mel e o óleo de motor, e escorrem com dificuldade).

Alguns sólidos amorfos apresentam estrutura molecular semelhante à dos líquidos. Esse é o caso da manteiga, da borracha e do vidro. Em igrejas centenárias, a base dos vidrais é mais espessa que o topo, revelando que o vidro escorreu lentamente ao longo dos séculos. Outras características marcantes de um líquido são a resistência à compressão e a constância de volume. Quando a água em um copo é jogada em um prato, por exemplo, o volume não se altera, embora a forma se molde ao novo formato do recipiente.

Um gás, por sua vez, é formado por moléculas ou átomos muito separados entre si, e a força de interação entre essas partículas é muito pequena. Por isso, um gás apresenta forma e volume indefinidos. Um gás tende a ocupar o volume que lhe é oferecido e é muito pouco resistente aos esforços mecânicos.

As moléculas de um gás são muito menos agregadas que as moléculas de um líquido, que, por sua vez, são menos agregadas que as moléculas dos sólidos. Por isso, os gases sofrem dilatação térmica com muito mais facilidade que os líquidos, e estes se dilatam mais facilmente que os sólidos. Isso pode ser constatado no gráfico a seguir, que ilustra o aquecimento de amostras de alumínio, álcool etílico e ar, todas ocupando inicialmente 1 cm^3 a $0 \text{ }^\circ\text{C}$.



Em altíssimas temperaturas, um gás vira plasma, o quarto estado da matéria. O plasma é uma espécie de nuvem eletrizada, com muitos elétrons desligados dos núcleos. Por isso, o plasma é um ótimo condutor de eletricidade. A matéria das estrelas é encontrada predominantemente no estado de plasma.

Tensão superficial

A tensão superficial é um efeito que ocorre na superfície livre de um líquido. As moléculas situadas no interior do líquido são atraídas em todas as direções pelas moléculas vizinhas e, por isso, a resultante dessas forças é nula. As moléculas da superfície, porém, sofrem uma força de atração exercida pelas moléculas de líquido situadas em uma posição inferior ou lateral a elas muito mais intensa do que a força de atração exercida pelas moléculas de ar situadas acima da superfície.

Para garantir o equilíbrio, a superfície adquire uma curvatura, comportando-se como uma membrana elástica. A força exercida por essa membrana, somada à força exercida pelas moléculas de ar, equilibra-se com a força de atração exercida pelas moléculas de líquido da parte inferior da superfície.

O conceito de tensão superficial explica muitas situações que você já deve ter visto. Um inseto consegue andar sobre a superfície da água, uma bolha de sabão pode atingir um volume expressivo sem estourar e uma agulha de aço pode flutuar em um copo de água. Tudo isso acontece porque a superfície da água comporta-se como uma membrana elástica.

Quando um líquido entra em contato com um sólido, as partículas do sólido atraem as partículas do líquido. Essas são as forças de adesão. Por sua vez, as partículas do líquido atraem-se uma às outras graças às forças de coesão.

Quando as forças de adesão são maiores que as forças de coesão, o líquido se espalha sobre o sólido. Dizemos, nesse caso, que o líquido molha a superfície. Isso ocorre, por exemplo, quando um suco ou água é derramado sobre uma toalha.

Outros exemplos de forças adesivas maiores que as coesivas são: a tinta usada para cobrir uma parede, a parafina derretida subindo pelo pavio de uma vela e uma esponja que se encharca sobre a superfície úmida.

Quando a força de coesão é maior que a força de adesão, o líquido não molha a superfície. Um exemplo disso ocorre quando um pouco de mercúrio cai sobre o chão.

O mercúrio fragmenta-se em pequenas gotas que não molham o chão. O mercúrio apresenta uma tensão superficial muito alta e não molha a maioria dos sólidos comuns. Quando colocamos água e mercúrio em um tubo capilar, observamos meniscos nas superfícies livres dos líquidos. Como a água molha a parede de vidro, o menisco é côncavo. O mercúrio não molha a parede, e o menisco é convexo. A figura a seguir ilustra essas duas situações.



Mercúrio

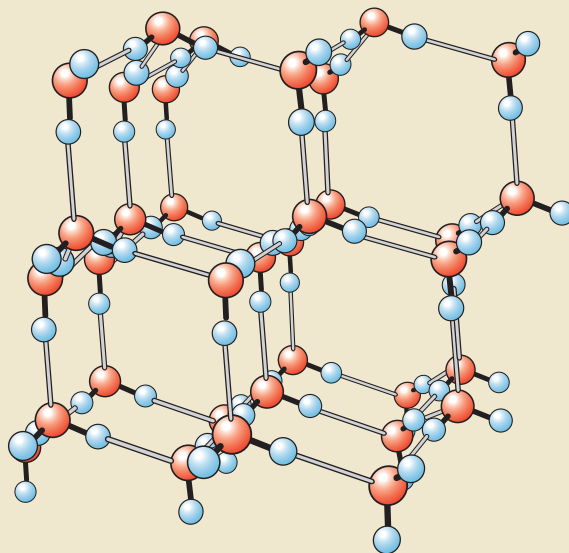


Água

Dilatação anômala da água

No final deste módulo, estudamos a dilatação anômala da água do ponto de vista macroscópico. Agora, vamos explicar esse fenômeno do ponto de vista microscópico. Para isso, observe a figura seguinte, que mostra um esquema da estrutura cristalina do gelo, constituída por estruturas hexagonais. As bolas vermelhas são átomos de oxigênio e as azuis são átomos de hidrogênio, formando moléculas de água (H_2O).

Em cada molécula, a ligação entre os dois átomos de hidrogênio e o átomo de oxigênio é representada por barras curtas e pretas. As moléculas de água unem-se umas às outras por intermédio das ligações indicadas pelas barras longas e cinzas, unindo o oxigênio de cada molécula a um dos átomos de hidrogênio de uma das moléculas vizinhas.



Em geral, a fase líquida de uma substância é menos densa que a fase sólida. No caso da água, existem grandes espaços vazios nos cristais. Quando o gelo se funde, muitas ligações entre as moléculas se rompem, e essas moléculas ocupam tais espaços. Por isso, ao contrário da maioria das substâncias, a fusão da água produz uma redução no volume e um aumento na densidade da fase líquida em relação à fase sólida. Assim, o gelo flutua na água.

Essa redução de volume persiste mesmo quando a fase líquida é aquecida de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para temperaturas maiores, o colapso das estruturas hexagonais continua ocorrendo, porém o aumento da vibração molecular torna-se predominante. Acima de $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, a água se comporta normalmente, dilatando-se com o aquecimento.

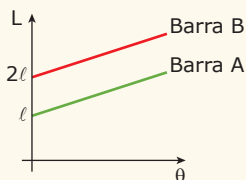
EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM



01. (IFSul-2017) O que aconteceria se o vidro de um termômetro expandisse mais ao ser aquecido do que o líquido dentro do tubo?

- A) O termômetro quebraria.
- B) Ele só poderia ser usado para temperaturas abaixo da temperatura ambiente.
- C) Você teria que segurá-lo com o bulbo para cima.
- D) A escala no termômetro seria invertida, aproximando os valores mais altos de temperatura do bulbo.

02. (EPCAR-MG) No gráfico a seguir, está representado o comprimento L de duas barras A e B em função da temperatura θ .



Sabendo-se que as retas que representam os comprimentos da barra A e da barra B são paralelas, pode-se afirmar que a razão entre o coeficiente de dilatação linear da barra A e o da barra B é:

- A) 0,25
- B) 0,50
- C) 1,00
- D) 2,00

03. (UEFS-BA-2017) Quase todas as substâncias, sólidas, líquidas ou gasosas, se dilatam com o aumento da temperatura e se contraem quando sua temperatura é diminuída, e esse efeito tem muitas implicações na vida diária. Uma tubulação de cobre, cujo coeficiente de dilatação linear é $1,7 \cdot 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ de comprimento igual a 20,5 m é usada para se obter água quente.

Considerando-se que a temperatura varia de 20°C a 40°C , conclui-se que a dilatação sofrida pelo tubo, em mm, é igual a:

- A) 7,43
- B) 6,97
- C) 5,75
- D) 4,86
- E) 3,49

04. (UFRR-2016) Ao se elevar a temperatura de uma substância, ocorre um aumento de seu volume. Considerando que a temperatura da água é aumentada de 0°C a 4°C , é correto afirmar que

- A) o volume aumenta e a densidade diminui e, a partir de 4°C , o volume aumenta e a densidade diminui.
- B) a densidade diminui e o volume também e, a partir de 4°C , tanto a densidade quanto o volume aumentam.
- C) o volume diminui e a densidade aumenta e, a partir de 4°C , o volume aumenta e a densidade diminui.
- D) o volume e a densidade permanecem inalterados, visto que a variação de 0°C a 4°C da temperatura é muito pequena.
- E) o volume diminui e a densidade se mantém constante e, a partir de 4°C , o volume e a densidade aumentam.

05. (Cesesp-PE) O tanque de gasolina de um carro, com capacidade para 60 litros, é completamente cheio a 10°C , e o carro é deixado num estacionamento onde a temperatura é de 30°C . Sendo o coeficiente de dilatação volumétrica da gasolina igual a $1,1 \cdot 10^{-3} / ^\circ\text{C}$ e considerando desprezível a variação de volume do tanque, a quantidade de gasolina derramada é, em litros,

- A) 1,32
- B) 1,64
- C) 0,65
- D) 3,45
- E) 0,58

06. (IFRS-2015) Uma das principais propriedades específicas da matéria é a densidade, que corresponde a uma relação entre massa e volume. No Brasil, a gasolina é vendida em litros. Para reduzir problemas no abastecimento dos automóveis, os tanques de combustíveis, nos postos de abastecimentos brasileiros, são mantidos subterrâneos, de modo a manter a temperatura com mínima variação, uma vez que isso provocaria alteração na densidade da gasolina.

Caso isso não ocorresse, analise as afirmativas a seguir para um motorista que abasteceria seu carro com 40 litros de gasolina e assinale a afirmativa correta.

- A) Se um automóvel fosse abastecido no verão, o motorista levaria vantagem.
- B) Se um automóvel fosse abastecido no inverno, o motorista levaria vantagem, pois estaria abastecendo com maior volume.
- C) Quando o motorista abastecesse seu automóvel no verão, para um mesmo volume, estaria colocando menos combustível.
- D) Como a gasolina é uma mesma substância, independente da estação do ano, não haveria alteração na quantidade de combustível abastecido.

- 07.** (CEFET-MG-2015) A Fig. 1(a) mostra como duas barras de materiais diferentes estão fixas entre si e a um suporte e a Fig. 1(b) mostra essas mesmas barras, após terem sofrido uma variação de temperatura ΔT .



Sabendo-se que os coeficientes médios de expansão linear dessas barras são α_1 e α_2 , é correto afirmar que:

- A) Se $\alpha_1 < \alpha_2$, então $\Delta T > 0$.
 B) Se $\alpha_1 > \alpha_2$, então $\Delta T < 0$.
 C) Se $\alpha_1 > \alpha_2$, então $\Delta T > 0$.
 D) $\Delta T < 0$, independentemente de α_1 e α_2 .
 E) $\Delta T > 0$, independentemente de α_1 e α_2 .

- 08.** (UFV-MG-2015) O conjunto para estudar dilatação volumétrica dos sólidos é constituído de uma esfera metálica, pendurada numa corrente, e uma placa metálica fina, do mesmo material que a esfera, que contém dois furos circulares. O diâmetro dos furos é próximo ao da esfera, um deles sendo ligeiramente menor e o outro um pouco maior que o da esfera, quando a placa e a esfera se encontram em temperatura ambiente. Deseja-se fazer um experimento com este conjunto a fim de que a esfera atravesse ambos os furos da placa metálica.



Três estudantes propuseram soluções para que a esfera atravesse os dois furos da placa metálica:

Marcelo: Resfriar igualmente a placa metálica e a esfera.

Juliano: Resfriar a placa metálica e aquecer a esfera.

Marcos: Resfriar a esfera e aquecer a placa metálica.

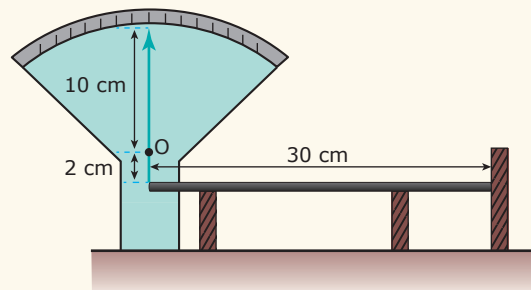
A(s) solução(ões) correta(s) para se obter êxito neste experimento foi(ram) proposta(s) por:

- A) Marcos e Juliano. C) Marcos.
 B) Marcos e Marcelo. D) Juliano.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS



- 01.** (FUVEST-SP)



Para ilustrar a dilatação dos corpos, um grupo de estudantes apresenta, em uma feira de ciências, o instrumento esquematizado na figura anterior. Nessa montagem, uma barra de alumínio com 30 cm de comprimento está apoiada sobre dois suportes, tendo uma extremidade presa ao ponto inferior do ponteiro indicador e a outra encostada num anteparo fixo.

O ponteiro pode girar livremente em torno do ponto O, sendo que o comprimento de sua parte superior é 10 cm e, o da inferior, 2 cm. Se a barra de alumínio, inicialmente à temperatura de 25 °C, for aquecida a 225 °C, o deslocamento da extremidade superior do ponteiro será, aproximadamente, de

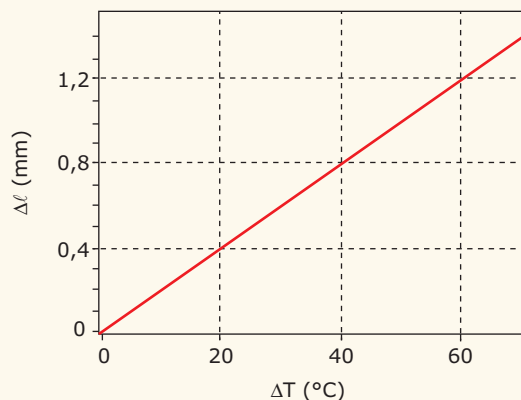
Dado: Coeficiente de dilatação linear do alumínio: $2 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

- A) 1 mm.
 B) 3 mm.
 C) 6 mm.
 D) 12 mm.
 E) 30 mm.

- 02.** (Unifor-CE) Certo líquido está quase transbordando de um béquer de vidro, de capacidade 450 cm³ a 20 °C. Aquecendo-se o conjunto até a temperatura atingir 100 °C, transbordam 9,0 cm³ do líquido. A dilatação real desse líquido, em cm³, é:

- A) Menor que 0,45.
 B) 0,45.
 C) 4,5.
 D) 9,0.
 E) Maior que 9,0.

03. (UFRGS-RS-2018) Uma barra metálica de 1 m de comprimento é submetida a um processo de aquecimento e sofre uma variação de temperatura. O gráfico a seguir representa a variação Δl em mm no comprimento da barra, em função da variação de temperatura ΔT em $^{\circ}\text{C}$.



Qual é o valor do coeficiente de dilatação térmica linear do material de que é feita a barra, em unidades $10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$?

- A) 0,2
- B) 2,0
- C) 5,0
- D) 20
- E) 50

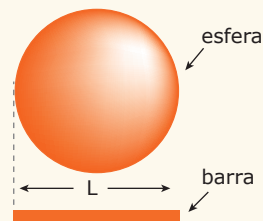
04. (UDESC) Em um dia típico de verão utiliza-se uma régua metálica para medir o comprimento de um lápis. Após medir esse comprimento, coloca-se a régua metálica no congelador a uma temperatura de -10°C e espera-se cerca de 15 min para, novamente, medir o comprimento do mesmo lápis. O comprimento medido nesta situação, com relação ao medido anteriormente, será

- A) maior, porque a régua sofreu uma contração.
- B) menor, porque a régua sofreu uma dilatação.
- C) maior, porque a régua se expandiu.
- D) menor, porque a régua se contraiu.
- E) o mesmo, porque o comprimento do lápis não se alterou.

05. (Mackenzie-SP-2015) Os rebites são elementos de fixação que podem unir rigidamente peças ou placas metálicas. Tem-se uma placa metálica com um orifício de diâmetro 25,00 mm a 20°C . Um rebite de diâmetro 25,01 mm à temperatura de 20°C é fabricado com a mesma liga da placa metálica, cujo coeficiente de dilatação linear médio é $20 \cdot 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$. Deseja-se encaixar perfeitamente esse rebite no orifício da placa. Para tanto, devemos resfriar o rebite à temperatura de, aproximadamente,

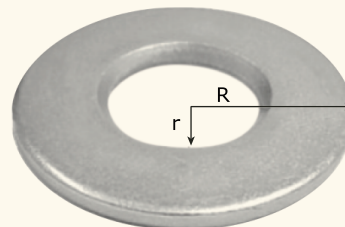
- A) 20°C .
- B) 15°C .
- C) 10°C .
- D) 5°C .
- E) 0°C .

06. (UFV-MG) A figura a seguir ilustra uma esfera maciça de diâmetro L e uma barra de mesmo material com comprimento também igual a L , ambos a uma mesma temperatura inicial. Quando a temperatura dos dois corpos for elevada para um mesmo valor final, a razão entre o aumento do diâmetro da esfera e o aumento do comprimento da barra será:



- A) 9/1
- B) 1/3
- C) 1/9
- D) 1
- E) 3/1

07. (FAMERP-SP-2015) À temperatura de 20°C , uma arruela (disco metálico com um orifício central) tem raio externo R e raio interno r .



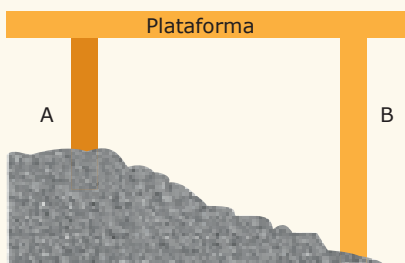
Elevando-se igualmente a temperatura de todas as partes da arruela de um valor $\Delta\theta$, o raio externo dilata-se de um valor ΔR e o raio interno dilata-se de

- A) $(R - r) \cdot \Delta R$
- B) $(R + r) \cdot \Delta R$
- C) $\frac{r}{R} \Delta R$
- D) ΔR
- E) $\frac{R}{r} \Delta R$

08. (UFC-CE) Um triângulo retângulo isósceles é montado com arames de materiais distintos, de modo que nos catetos o material possui coeficiente de dilatação térmica linear $A\sqrt{2} / ^{\circ}\text{C}$, enquanto na hipotenusa o material possui coeficiente de dilatação térmica linear $A / \sqrt{2} / ^{\circ}\text{C}$.

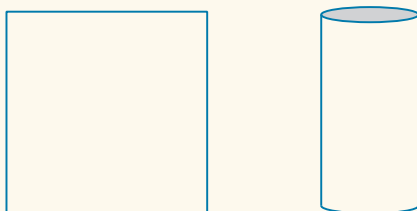
Determine a variação de temperatura para que o triângulo torne-se equilátero.

09. (Uncisal) Em nosso cotidiano existem várias situações que envolvem a dilatação térmica dos materiais. Na Engenharia é muito importante levar em consideração os efeitos da dilatação para evitar fissuras e rachaduras nas estruturas das edificações. A figura a seguir mostra uma plataforma P que é mantida na horizontal por estar apoiada nas colunas A e B de comprimentos iniciais iguais a L_A e L_B , respectivamente. Sabendo que $L_A = (2/3) L_B$, a razão entre os coeficientes de dilatação das colunas, α_A / α_B , a fim de que a plataforma P permaneça horizontal em qualquer temperatura, é igual a:



- A) 2/3
- B) 3/2
- C) 1/3
- D) 4/3
- E) 3/4

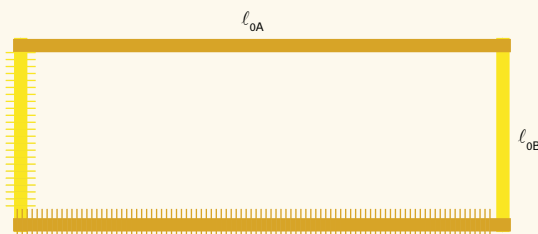
10. (UNIFICADO-RJ) ZCKH



Uma placa metálica quadrada é dobrada de modo a formar um cilindro (sem fundo e sem tampa), como ilustrado. O volume no interior desse cilindro é 18 litros. Ao ter sua temperatura aumentada de 40 °C, a placa dilata de forma que sua área aumenta de 72 mm². Considerando-se $p = 3$, o coeficiente de dilatação linear do material do qual a placa é constituída vale, em °C⁻¹,

- A) $5,0 \cdot 10^{-6}$
- B) $2,5 \cdot 10^{-6}$
- C) $5,0 \cdot 10^{-7}$
- D) $2,5 \cdot 10^{-7}$
- E) $5,0 \cdot 10^{-8}$

11. (UERJ) N65H A figura a seguir representa um retângulo formado por quatro hastes fixas.



Considere as seguintes informações sobre esse retângulo:

- Sua área é de 75 cm² à temperatura de 20 °C.
- A razão entre os comprimentos l_{0A} e l_{0B} é igual a 3.
- As hastes de comprimento l_{0A} são constituídas de um mesmo material, e as hastes de comprimento l_{0B} de outro.
- A relação entre os coeficientes de dilatação desses dois materiais equivale a 9.

Admitindo que o retângulo se transforma em um quadrado à temperatura de 320 °C, calcule, em °C⁻¹, o valor do coeficiente de dilatação linear do material que constitui as hastes menores.

SEÇÃO ENEM



01. (Enem) Durante uma ação de fiscalização em postos de combustível, foi encontrado um mecanismo inusitado para enganar o consumidor.

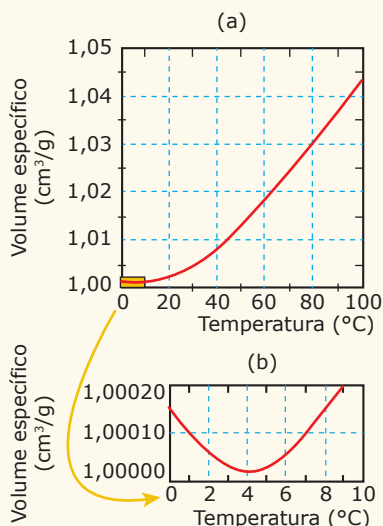
Durante o inverno, o responsável por um posto de combustível compra álcool por R\$ 0,50 / litro, a uma temperatura de 5 °C. Para revender o líquido aos motoristas, instalou um mecanismo na bomba de combustível para aquecê-lo, para que atinja a temperatura de 35 °C, sendo o litro de álcool revendido a R\$ 1,60. Diariamente o posto compra 20 mil litros de álcool a 5 °C e os revende.

Com relação à situação hipotética descrita no texto e dado que o coeficiente de dilatação volumétrica do álcool é de $1 \cdot 10^{-3} \text{ °C}^{-1}$, desprezando-se o custo da energia gasta no aquecimento do combustível, o ganho financeiro que o dono do posto teria obtido devido ao aquecimento do álcool após uma semana de vendas estaria entre

- A) R\$ 500,00 e R\$ 1 000,00.
- B) R\$ 1 050,00 e R\$ 1 250,00.
- C) R\$ 4 000,00 e R\$ 5 000,00.
- D) R\$ 6 000,00 e R\$ 6 900,00.
- E) R\$ 7 000,00 e R\$ 7 950,00.

02.
ZWA9

(Enem) De maneira geral, se a temperatura de um líquido comum aumenta, ele sofre dilatação. O mesmo não ocorre com a água, se ela estiver a uma temperatura próxima a de seu ponto de congelamento. O gráfico a seguir mostra como o volume específico (inverso da densidade) da água varia em função da temperatura, com uma aproximação na região entre 0 °C e 10 °C, ou seja, nas proximidades do ponto de congelamento da água.



HALLIDAY; RESNICK. *Fundamentos de Física: Gravitação, Ondas e Termodinâmica.*

v. 2. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1991.

A partir do gráfico, é correto concluir que o volume ocupado por certa massa de água

- A) diminui em menos de 3% ao se resfriar de 100 °C a 0 °C.
- B) aumenta em mais de 0,4% ao se resfriar de 4 °C a 0 °C.
- C) diminui em menos de 0,04% ao se aquecer de 0 °C a 4 °C.
- D) aumenta em mais de 4% ao se aquecer de 4 °C a 9 °C.
- E) aumenta em menos de 3% ao se aquecer de 0 °C a 100 °C.

03. (Enem) A gasolina é vendida por litro, mas, em sua utilização como combustível, a massa é o que importa. Um aumento da temperatura do ambiente leva a um aumento no volume da gasolina. Para diminuir os efeitos práticos dessa variação, os tanques dos postos de gasolina são subterrâneos. Se os tanques não fossem subterrâneos:

- I. Você levaria vantagem ao abastecer o carro na hora mais quente do dia, pois estaria comprando mais massa por litro de combustível.

- II. Abastecendo com a temperatura mais baixa, você estaria comprando mais massa de combustível para cada litro.
- III. Se a gasolina fosse vendida por kg em vez de por litro, o problema comercial decorrente da dilatação da gasolina estaria resolvido.

Dessas considerações, somente

- A) I é correta.
- B) II é correta.
- C) III é correta.
- D) I e II são corretas.
- E) II e III são corretas.

GABARITO

Meu aproveitamento

Aprendizagem

Acertei _____ Errei _____

- 01. D
- 02. D
- 03. B
- 04. C
- 05. A
- 06. C
- 07. C
- 08. C

Propostos

Acertei _____ Errei _____

- 01. C
- 02. E
- 03. D
- 04. A
- 05. E
- 06. D
- 07. C
- 08. $\Delta T = (1/A) \text{ }^\circ\text{C}$
- 09. B
- 10. B
- 11. $\alpha_B = 1 \cdot 10^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

Seção Enem

Acertei _____ Errei _____

- 01. D
- 02. C
- 03. E



Total dos meus acertos: _____ de _____ . _____ %

Propagação de Calor

Todo corpo possui uma energia interna. Além disso, um corpo pode apresentar energias externas, tais como a energia cinética ou a energia potencial gravitacional. A energia de um sistema pode aumentar ou diminuir por meio da transferência de calor e / ou da realização de trabalho. Por exemplo, você pode aquecer suas mãos e aumentar a energia interna delas esfregando-as uma na outra, ou, ainda, colocando-as debaixo da corrente de água quente que sai de um chuveiro. No primeiro caso, as mãos se aquecem devido ao trabalho realizado pela força de atrito. No outro caso, o aquecimento das mãos se deve à transferência de calor da água quente para as mãos.

Neste módulo, vamos iniciar o estudo sobre o calor, definindo-o e discutindo os três modos pelo qual ele pode se propagar: a condução, a convecção e a radiação. Para cada uma dessas formas de propagação do calor, nós analisaremos o conceito físico envolvido no respectivo processo; também aprenderemos a calcular a quantidade de calor trocada entre sistemas. Ao longo deste estudo, apresentaremos vários exemplos do dia a dia relacionados à propagação do calor, muitos deles envolvendo, combinadamente, duas ou mesmo todas as três formas de propagação do calor.

CONCEITO DE CALOR E OS MODOS DE PROPAGAÇÃO



O calor é uma forma de energia em trânsito que se manifesta devido a uma diferença de temperatura no espaço. Podemos citar inúmeros exemplos relacionados à propagação do calor. O café em uma xícara se resfria ao ar livre porque a bebida, estando a uma temperatura mais elevada que a do ambiente a seu redor, cede calor para o ar ambiente e para a própria xícara. Uma pessoa transfere calor para o ar próximo à sua pele porque seu corpo está mais quente que o ambiente. Por sua vez, essa pessoa se aquece diante de uma lareira porque as chamas apresentam uma temperatura muito maior que a de seu corpo. Em todos esses exemplos, a quantidade de calor cedida pelo corpo ou sistema à temperatura mais alta é igual à quantidade de calor recebida pelo corpo à temperatura mais baixa.

Agora, observe a figura 1. Ela ilustra várias transferências de calor. A chama do gás em combustão está a uma temperatura muito alta. Por isso, ela transfere calor para a bancada de ferro onde se apoiam as duas vasilhas.

A propagação do calor entre a chama e a bancada ocorre principalmente por meio da luz emitida pela chama. Esse modo de propagação do calor é chamado de radiação térmica. Muitas vezes, a radiação térmica ocorre por meio de emissões invisíveis, como a radiação infravermelha emitida pelas paredes de um forno. Naturalmente, a bancada de ferro está mais quente do que o bule e a frigideira. A bancada transfere calor para esses corpos por meio de um processo conhecido como condução térmica. Esse modo de transferência de calor ocorre tipicamente nos meios sólidos, mas também pode se manifestar em líquidos e gases. Outro exemplo de condução térmica, presente nessa figura, é a transferência de calor da frigideira para a mão da pessoa por meio do cabo da vasilha. Por último, o calor se propaga no café dentro do bule por meio de um modo de transferência de calor conhecido como convecção térmica. A convecção envolve o movimento do meio e, por isso, ocorre apenas nos fluidos. O ar sobre a chama e o ar sobre a bancada de ferro também se aquecem por convecção térmica.

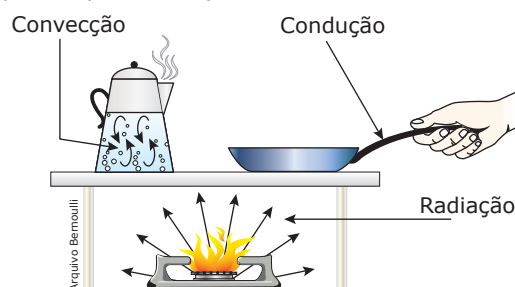


Figura 1. Modos de propagação do calor.

A seguir, vamos estudar, mais detalhadamente, cada um dos três modos de propagação do calor.

CONDUÇÃO TÉRMICA



A condução e a difusão da energia

A transferência de calor por condução está associada às atividades das partículas (moléculas, átomos ou íons) que constituem a matéria. A figura 2 mostra, esquematicamente, as moléculas de um gás confinado em um espaço onde existe o perfil de temperatura, ao longo do eixo x , indicado no gráfico à esquerda do gás. Se a largura do espaço (L) for suficientemente pequena, não haverá movimento global (macroscópico) de massas, e a transferência de calor ocorrerá apenas por condução.

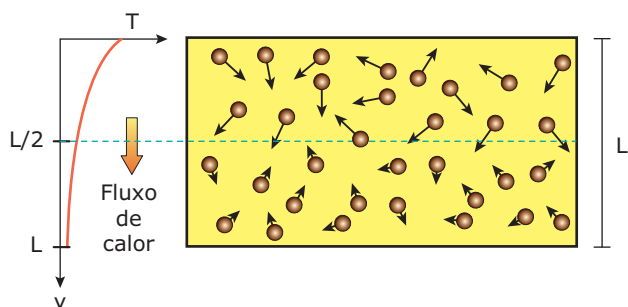


Figura 2. A condução de calor e a difusão da energia molecular.

Como a temperatura do gás diminui de cima para baixo, as moléculas do gás situadas acima do plano de abscissa $x = L/2$ apresentam velocidades médias maiores que as moléculas na parte de baixo. Ainda que algumas moléculas possam atravessar o plano de baixo para cima durante um intervalo de tempo Δt , o número de moléculas que faz o caminho inverso, nesse mesmo intervalo de tempo, é maior. O resultado é que a transferência líquida de moléculas mais energéticas ocorre no sentido positivo do eixo x . Essa transferência de energia é semelhante à difusão de massa que ocorre entre duas soluções de concentrações diferentes, separadas por uma membrana permeável. Por isso, a transferência de calor por condução é interpretada como uma difusão de energia gerada pelo movimento molecular aleatório.

Nos líquidos, as moléculas estão mais próximas do que nos gases, e as interações moleculares são mais fortes e frequentes. Mesmo assim, a condução de calor nos líquidos ocorre de maneira semelhante à dos gases. Nos sólidos, todas as moléculas se acham ligadas (rede cristalina). A condução de calor se manifesta através de ondas de vibração (fônons), que se propagam das partes mais quentes, onde a vibração molecular é mais intensa, em direção às partes mais frias. Nos metais, a taxa de difusão da energia molecular é aumentada expressivamente devido à presença de elétrons livres, pois essas partículas podem sofrer grandes translações. Por isso, em geral, bons condutores de eletricidade são também bons condutores de calor. Nos metais, a contribuição dos deslocamentos dos elétrons livres predomina sobre a contribuição dos fônons, enquanto, nos materiais maus condutores de calor, como a borracha e a madeira, a contribuição dos fônons é a parcela dominante.

A LEI DE FOURIER

Agora, vamos apresentar a Lei de Fourier para calcular a quantidade de calor transferida por condução térmica ao longo de um corpo. Para isso, considere a figura 3, que mostra uma barra feita de um material homogêneo exposta a uma diferença de temperatura entre suas extremidades.

A barra é isolada lateralmente, de maneira que o fluxo de calor ocorre apenas ao longo do comprimento. A temperatura na face esquerda, T_1 , é maior que a temperatura T_2 da outra face. Por isso, o fluxo de calor ocorre da esquerda para a direita, conforme está indicado na figura.

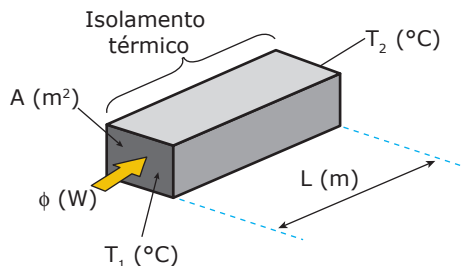


Figura 3. A condução de calor unidirecional ao longo de uma barra isolada lateralmente.

Para condições de fluxo de calor em regime estacionário, o perfil de temperaturas ao longo da barra é constante no tempo. Nesse caso, a taxa de transferência de calor ϕ também é constante no tempo e pode ser calculada utilizando a seguinte equação (a Lei de Fourier):

$$\phi = KA \frac{\Delta T}{L}$$

Nessa expressão, ϕ representa a quantidade de energia calorífica que passa através da barra por unidade de tempo. No Sistema Internacional, ϕ é dado em joules/segundo (watt). A geometria da barra é definida por A e L , que são a área da seção transversal e o comprimento da barra. O termo ΔT é a diferença de temperatura ($T_1 - T_2$) geradora do fluxo de calor. O parâmetro K é a condutividade térmica, uma propriedade física que depende do material da barra. Bons condutores, como os metais em geral, possuem alta condutividade térmica, e bons isolantes de calor são fabricados com materiais de baixa condutividade térmica. Por exemplo, a condutividade térmica do alumínio, a 300 K, vale $293 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$, enquanto a condutividade térmica do papel comum, nessa temperatura, vale $0,18 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$. Assim, uma folha de papel tem um poder de isolamento térmico 1 630 vezes maior que uma folha de alumínio de mesma espessura.

A figura 4 apresenta a condutividade térmica de várias substâncias e estados da matéria em temperaturas e pressões normais. Os gases, em geral, não são bons condutores, apresentando valores baixos de condutividade térmica. É por isso que um edredom (cobertor feito de tecido sintético, entremeado de ar) é um excelente isolante térmico. Os metais sólidos apresentam elevada condutividade térmica e são bons condutores de calor. Por isso, você sente mais frio ao tocar um martelo de ferro do que o seu cabo de madeira, mesmo quando estão, ambos, à temperatura ambiente.

No aquecimento convectivo descrito anteriormente, é essencial que a fonte de calor seja posicionada na parte inferior do sistema. Se a água fosse aquecida por cima, as camadas superiores da água é que ficariam mais quentes e menos densas. Assim, elas fluiriam, e o aquecimento da água ocorreria apenas por condução. Como a água possui baixa condutividade térmica, o aquecimento do líquido aconteceria muito lentamente. Por outro lado, para resfriar um fluido, a fonte usada para absorver o calor deve ser posicionada acima do fluido. É por isso que os congeladores de uma geladeira comum se situam na parte de cima do aparelho. A figura 6 ilustra o movimento de massas de ar dentro de uma pequena geladeira. Lembrando que o ar mais frio apresenta maior densidade, procure entender por que as correntes convectivas apresentam as direções indicadas nessa figura.

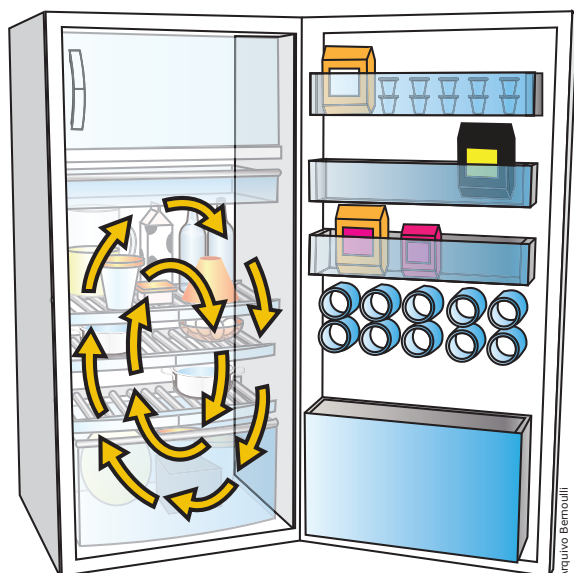


Figura 6. Correntes convectivas no interior de uma geladeira.

Os ventos são movimentos de massas de ar originárias de correntes convectivas na atmosfera da Terra. Essas correntes ocorrem porque algumas partes da superfície terrestre se aquecem diferentemente de outras. Um exemplo são os ventos de beira-mar. Durante o dia, em geral, a superfície costeira se aquece mais que o mar. Por isso, o ar logo acima do solo se acha mais quente e menos denso do que o ar superior. Sobre o mar, ocorre justamente o contrário. O ar sobre a água fria é mais denso que o ar de camadas superiores da atmosfera. O resultado é que o ar quente próximo ao solo se eleva, enquanto o ar frio próximo ao mar se move e o substitui, gerando a circulação de ar mostrada na primeira ilustração da figura 7. A outra ilustração mostra as brisas de beira-mar durante a noite. Nesse caso, o mar se encontra mais quente do que a superfície costeira. O ar logo acima do mar sobe, e uma brisa sopra da costa para o mar, fazendo a substituição do ar ascendente.



Figura 7. As brisas de beira-mar são decorrentes do aquecimento desigual do mar e da costa.

RADIAÇÃO TÉRMICA

A radiação e as ondas eletromagnéticas

A figura 8 mostra uma pessoa se aquecendo próxima ao fogo. Como o ar é um gás, sua condutividade térmica é pequena, e a transferência de calor por condução térmica das chamas às mãos da pessoa é desprezível. Tampouco as mãos se aquecem por convecção, pois o ar quente sobe. As mãos, nesse caso, se aquecem porque elas absorvem parte da radiação emitida pelas chamas. De fato, todos os corpos emitem radiação na forma de ondas eletromagnéticas. Assim, as chamas transmitem radiação para as mãos da pessoa, mas essas também transmitem radiação para as chamas. Como a temperatura das chamas é muito maior que a temperatura das mãos, o fluxo de calor líquido por radiação térmica ocorre das chamas para as mãos.



Figura 8. Propagação do calor por radiação.

As ondas eletromagnéticas podem se propagar em diversos meios, inclusive no vácuo. Assim, enquanto as propagações do calor por condução e por convecção necessitam de um meio material, a propagação do calor por radiação manifesta-se também no vácuo. Na verdade, não havendo a presença de matéria para absorver a energia da onda eletromagnética, a transferência de calor por radiação ocorre com mais eficiência justamente no espaço vazio.

Existem vários tipos de ondas eletromagnéticas, diferenciando-se pela frequência de oscilação da onda. Qualquer corpo emite ondas eletromagnéticas em uma infinidade de frequências. Porém, de acordo com a temperatura, a radiação ocorre predominantemente em certa faixa de frequência, conforme indicado na figura 9.

Por exemplo, o Sol, cuja superfície acha-se aproximadamente a 6 000 K, transmite calor para a Terra por meio de ondas eletromagnéticas predominantemente na faixa da luz visível, enquanto as paredes do forno de um fogão, à temperatura de 500 K, assam os alimentos, predominantemente, por meio de radiação infravermelha, também conhecida como radiação térmica ou onda de calor.

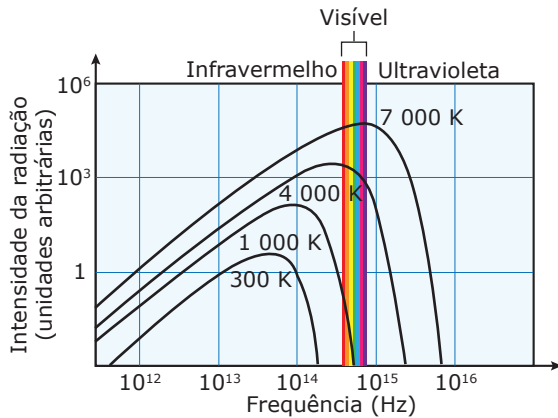


Figura 9. Curvas de radiação para diferentes temperaturas.



Propagação de calor

Nessa animação explicaremos os três modos pelos quais o calor pode se propagar de um ponto a outro. São eles: condução, convecção e radiação. As animações são baseadas em modelos idealizados, e as moléculas estão representadas em tamanho ampliado por questões didáticas. Embora, em geral, mais de uma forma de propagação ocorra simultaneamente, em cada caso, uma forma é predominante. Perceba que cada uma possui características únicas. Boa atividade!



A Lei de Stefan-Boltzmann e as propriedades radiantes da matéria

Uma superfície emissora ideal de radiação é chamada de corpo negro, cuja taxa de emissão de radiação eletromagnética é dada por:

$$\phi_n = \sigma AT^4$$

Nessa equação, ϕ_n é a quantidade de radiação emitida pelo corpo negro por unidade de tempo. No Sistema Internacional, ϕ_n é dado em watt, o fator σ é a constante de Stefan-Boltzmann, que vale $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$, A é a área da superfície emissora em m^2 , e T é a temperatura absoluta da superfície, em Kelvin (K). A taxa de radiação emitida por uma superfície real é menor que aquela emitida por um corpo negro à mesma temperatura, sendo dada por:

$$\phi = \epsilon \sigma AT^4$$

O parâmetro ϵ é uma propriedade radiante da superfície, conhecida como emissividade. A faixa de variação da emissividade é $0 \leq \epsilon \leq 1$. Para um corpo negro, $\epsilon = 1$, e para os corpos reais, $\epsilon < 1$.

A emissividade é uma propriedade da matéria que indica a eficiência com a qual uma superfície real emite radiação em comparação ao corpo negro. Por exemplo, uma superfície com $\epsilon = 0,85$ emite 85% da energia que um corpo negro emitiria à mesma temperatura. A emissividade depende do material da superfície, de seu acabamento e de sua temperatura. A emissividade aumenta com a temperatura e diminui com o grau de polimento. Cobre oxidado à temperatura de 1 000 K apresenta $\epsilon \approx 0,80$. Para o cobre altamente polido e à temperatura de 1 000 K, $\epsilon \approx 0,05$.

Você pode usar a Lei de Stefan-Boltzmann para estimar a temperatura de uma superfície quente. Considere, por exemplo, uma lâmpada incandescente de 100 W com um filamento de tungstênio cuja área da superfície é igual a $1,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$. Como existe um bom vácuo no bulbo da lâmpada, as trocas de calor por convecção e por condução são desprezíveis. Além disso, a temperatura do filamento é muito maior que a temperatura dos objetos em sua volta, de maneira que a radiação proveniente da vizinhança é desprezível. Assim, a taxa de transferência líquida de calor no filamento é praticamente igual à própria taxa de radiação emitida. Tratando o filamento como um emissor ideal ($\epsilon = 1$) e substituindo os valores adequados na Lei de Stefan-Boltzmann, obtemos a temperatura de $2 \cdot 10^3 \text{ K}$. Na verdade, como $\epsilon < 1$, a temperatura real do filamento é maior que o valor estimado.

Além da emissividade, a matéria apresenta outras três propriedades radiantes importantes, que são a absorvidade (α), a refletividade (ρ) e a transmissividade (τ). A faixa de valores dessas propriedades varia de zero a um e indica a porcentagem da radiação incidente que é absorvida, refletida e transmitida por um corpo. Por isso, $\alpha + \rho + \tau = 1$. A figura 10 apresenta valores típicos para a absorção, a reflexão e a transmissão de uma radiação incidente sobre uma placa de vidro.

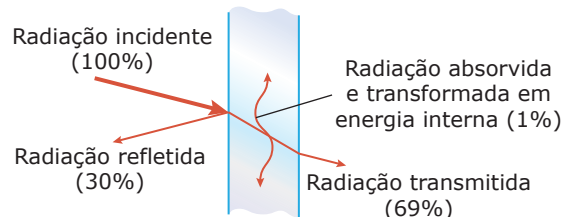


Figura 10. Repartição da radiação incidente em uma placa de vidro.

As propriedades radiantes de uma superfície dependem do material de que ela é feita, de sua cor, de seu acabamento e até de sua temperatura. Em geral, os gases são transparentes a todas as radiações ($\alpha = 0$ e $\rho + \tau = 1$). A transmissividade de alguns sólidos depende do ângulo de incidência da radiação. Quando um raio de luz visível incide perpendicularmente sobre uma placa de vidro, a radiação refletida é pequena e o restante é transmitido quase inteiramente através da placa. Ao contrário, para uma incidência rasante, quase toda radiação é refletida, e muito pouco atravessa a placa.

Corpos escuros apresentam alta absorvidade. Você pode fazer uma experiência muito simples para confirmar isso. Usando uma lupa, concentre os raios solares sobre uma folha de jornal. Você perceberá que, se a luz for concentrada sobre as letras de uma manchete (em tinta negra), a folha se queimará muito mais rapidamente em comparação à incidência de luz sobre uma parte clara do jornal. As placas e os tubos com água de um coletor solar são pintados de preto fosco porque, nesse caso, a absorção da radiação solar é muito maior do que aquela que aconteceria caso os tubos não fossem pintados.

As propriedades radiantes também dependem da natureza da radiação, variando, portanto, com a frequência da onda eletromagnética. Uma superfície quente pode ser um ótimo emissor de radiação visível. Porém, a temperaturas menores, essa superfície pode passar a emitir radiação infravermelha com alta eficiência. O vidro e o dióxido de carbono apresentam elevada transmissividade à luz visível, mas baixa transmissividade e alta refletividade para a radiação infravermelha. Essa diferença de comportamento explica um fenômeno conhecido como efeito estufa, que será discutido no próximo tópico.

BALANÇOS DE ENERGIA E EFEITOS COMBINADOS

A energia interna de um corpo é insensível às radiações refletidas e transmitidas pelo corpo. Contudo, a energia interna tende a aumentar quando o corpo absorve radiação e a diminuir quando o corpo emite radiação. Obviamente, para a energia interna de um corpo não variar, a quantidade de energia recebida deve ser igual à energia cedida. Além da radiação emitida e absorvida, um corpo também pode trocar calor com a vizinhança por meio da convecção e da condução térmica. A seguir, discutiremos dois sistemas em que o equilíbrio térmico é o resultado do balanço de energia envolvendo dois ou três modos de trocas de calor.

O primeiro sistema que vamos analisar é a estufa mostrada na figura 11. O vidro é transparente à luz visível, de modo que a maior parte da radiação solar penetra na estufa e é absorvida pelo solo e pelas plantas. Aquecidos, esses corpos emitem radiação infravermelha. O vidro, que não é transparente a essa radiação, absorve-a e reflete-a, reforçando o aquecimento da estufa. Outra função do vidro é impedir que o ar morno se eleve, transportando calor por convecção para o exterior. A estufa atinge um estado de equilíbrio térmico quando a quantidade de energia solar absorvida pelo interior da estufa é igual à energia liberada pelos vidros aquecidos por meio da emissão de radiação infravermelha e da transferência de calor por convecção.

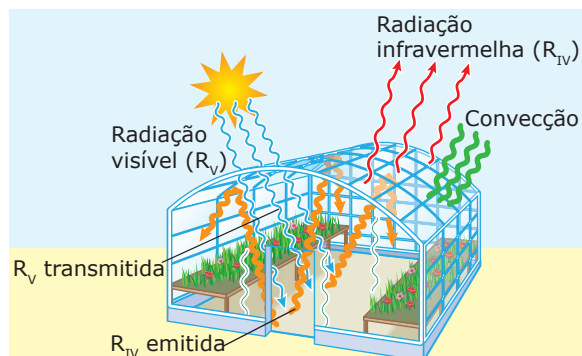


Figura 11. Mecanismos de aquecimento em uma estufa de vidro.

O mecanismo de aquecimento da Terra é semelhante ao de uma estufa. Vapor-d'água, dióxido de carbono e metano são os principais gases estufa na atmosfera. Devido às emissões industriais, a concentração de dióxido de carbono está aumentando, de forma que grande parte da radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre é absorvida e refletida pela atmosfera. Um novo estado de equilíbrio deverá ocorrer, mas com a temperatura do planeta podendo atingir um valor muito alto, de forma a causar o derretimento de geleiras e a elevação do nível dos oceanos.

O outro exemplo que vamos analisar é a garrafa térmica mostrada na figura 12. Nesse caso, o sistema não se acha em equilíbrio térmico, pois o café quente da garrafa sofre um resfriamento lento. Uma garrafa térmica é um reservatório de vidro duplo espelhado e com vácuo entre eles. O vácuo dentro da garrafa, que não é perfeito, dificulta a transferência de calor por condução e por convecção. A parede interna reflete grande parte da radiação infravermelha emitida pelo café, minimizando as perdas de energia. A parede externa reflete a radiação emitida pela parede aquecida, por condução, pelo café. Por fim, a função da tampa é evitar que o ar sobre o café se eleve, transferindo calor por convecção. Sendo feita de um material isolante, a tampa também dificulta a transferência de calor por condução.

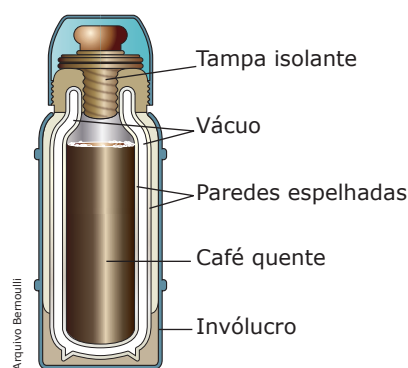


Figura 12. Elementos que impedem a perda de calor dos líquidos em uma garrafa térmica.



PARA REFLETIR

Você enxerga um bolo assando através da janela de vidro de um forno. Se a luz passa por essa janela, por que esta não diminui a eficiência do forno, deixando vaziar a radiação emitida pelas paredes aquecidas?

EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM



01. (CEFET-MG) No senso comum, as grandezas físicas calor e temperatura geralmente são interpretadas de forma equivocada. Diante disso, a linguagem científica está corretamente empregada em:

- A) "Hoje, o dia está fazendo calor".
- B) "O calor está fluindo do fogo para a panela".
- C) "A temperatura está alta, por isso estou com muito calor".
- D) "O gelo está transmitindo temperatura para a água no copo".

02. (UNIFESP) Um termômetro é encerrado dentro de um bulbo de vidro onde se faz vácuo. Suponha que o vácuo seja perfeito e que o termômetro esteja marcando a temperatura ambiente, 25 °C. Depois de algum tempo, a temperatura ambiente se eleva a 30 °C.

Observa-se, então, que a marcação do termômetro

- A) eleva-se também, e tende a atingir o equilíbrio térmico com o ambiente.
- B) mantém-se a 25 °C, qualquer que seja a temperatura ambiente.
- C) tende a reduzir-se continuamente, independente da temperatura ambiente.
- D) vai se elevar, mas nunca atinge o equilíbrio térmico com o ambiente.
- E) tende a atingir o valor mínimo da escala do termômetro.

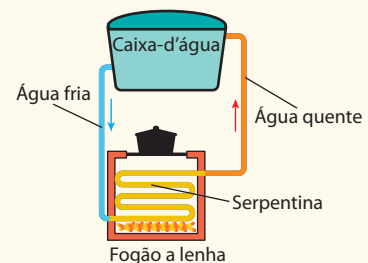
03. (CEFET-MG) As modernas panelas de aço inox possuem cabos desse mesmo material, que é um _____ condutor de calor. Eles não queimam as mãos das pessoas, porque possuem um formato vazado, facilitando a troca de calor por _____ do ar através deles.

A alternativa que completa, correta e respectivamente, as lacunas é:

- A) mau / irradiação
- B) bom / irradiação
- C) bom / convecção
- D) mau / convecção

04.
4XT9

(UFRN) O uso de tecnologias associadas às energias renováveis tem feito ressurgir, em zonas rurais, técnicas mais eficientes e adequadas ao manejo de biomassa para produção de energia. Entre essas tecnologias, está o uso do fogão a lenha, de forma sustentável, para o aquecimento de água residencial. Tal processo é feito por meio de uma serpentina instalada no fogão e conectada, através de tubulação, à caixa-d'água, conforme o esquema mostrado na figura a seguir:



Na serpentina, a água aquecida pelo fogão sobe para a caixa-d'água ao mesmo tempo em que a água fria desce através da tubulação em direção à serpentina, onde novamente é realizada a troca de calor.

Considerando o processo de aquecimento da água contida na caixa-d'água, é correto afirmar que este se dá, principalmente, devido ao processo de

- A) condução causada pela diminuição da densidade da água na serpentina.
- B) convecção causada pelo aumento da densidade da água na serpentina.
- C) convecção causada pela diminuição da densidade da água na serpentina.
- D) condução causada pelo aumento da densidade da água na serpentina.

05.
DQAW

(UFMS-RS) As plantas e os animais que vivem num ecossistema dependem uns dos outros, do solo, da água e das trocas de energia para sobreviverem. Um processo importante de troca de energia é chamado de calor.

Analise, então, as afirmativas:

- I. Ondas eletromagnéticas na região do infravermelho são chamadas de calor por radiação.
- II. Ocorre calor por convecção, quando se estabelecem, num fluido, correntes causadas por diferenças de temperatura.
- III. Calor por condução pode ocorrer em sólidos, líquidos, gases e, também, no vácuo.

Está(ão) correta(s)

- A) apenas I.
- B) apenas II.
- C) apenas III.
- D) apenas I e II.
- E) apenas II e III.

06.
Z9YZ (UFJF-2017) A garrafa térmica de uma determinada marca foi construída de forma a diminuir as trocas de calor com o ambiente que podem ocorrer por três processos: condução, convecção e radiação. Dentre as suas várias características, podemos citar:

- I. a ampola interna da garrafa é feita de plástico.
- II. a ampola possui paredes duplas, e entre essas paredes, é feito vácuo.
- III. a superfície interna da ampola é espelhada.

Assinale a alternativa que corresponde ao processo que se quer evitar usando as características citadas anteriormente.

- A) I – radiação; II – condução e convecção; III – convecção.
- B) I – condução e radiação; II – convecção; III – condução.
- C) I – convecção; II – condução; III – radiação.
- D) I – condução; II – condução e convecção; III – radiação.
- E) I – radiação; II – condução e convecção; III – radiação.

07.
SD4T (Unicamp-SP-2016) Um isolamento térmico eficiente é um constante desafio a ser superado para que o homem possa viver em condições extremas de temperatura. Para isso, o entendimento completo dos mecanismos de troca de calor é imprescindível.

Em cada uma das situações descritas a seguir, você deve reconhecer o processo de troca de calor envolvido.

- I. As prateleiras de uma geladeira doméstica são grades vazadas, para facilitar fluxo de energia térmica até o congelador por [...].
- II. O único processo de troca de calor que pode ocorrer no vácuo é por [...].
- III. Em uma garrafa térmica, é mantido vácuo entre as paredes duplas de vidro para evitar que o calor saia ou entre por [...].

Na ordem, os processos de troca de calor utilizados para preencher as lacunas corretamente são

- A) condução, convecção e radiação.
- B) condução, radiação e convecção.
- C) convecção, condução e radiação.
- D) convecção, radiação e condução.

08.
KHAO (UECE-2015) O uso de fontes alternativas de energia tem sido bastante difundido. Em 2012, o Brasil deu um importante passo ao aprovar legislação específica para micro e minigeração de energia elétrica a partir da energia solar. Nessa modalidade de geração, a energia obtida a partir de painéis solares fotovoltaicos vem da conversão da energia de fótons em energia elétrica, sendo esses fótons primariamente oriundos da luz solar.

Assim, é correto afirmar que essa energia é transportada do Sol à Terra por

- A) convecção.
- B) condução.
- C) indução.
- D) irradiação.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS



01. (UFSCar-SP-2015) A condução e a convecção são dois mecanismos de transferência de calor que só ocorrem através de um meio material. O processo de condução de calor ocorre tanto em materiais sólidos quanto em fluidos, sem que haja transporte de matéria.

A convecção ocorre

- A) unicamente em sólidos e caracteriza-se pelo fato de o calor ser transferido pelo contato entre os corpos envolvidos.
- B) unicamente em fluidos e caracteriza-se pelo fato de o calor ser transferido pelo movimento de partes do próprio fluido.
- C) unicamente em fluidos e caracteriza-se pelo fato de o calor ser transferido pelo contato entre os corpos envolvidos.
- D) tanto em sólidos quanto em fluidos e caracteriza-se pelo fato de o calor ser transferido pelo contato entre os corpos envolvidos.
- E) tanto em sólidos quanto em fluidos e caracteriza-se pelo fato de o calor ser transferido mesmo que os corpos se encontrem separados.

02.
6ZYQ (Fatec-SP) Atualmente, muitas residências estão fazendo uso de energia solar, através de coletores instalados no telhado, para aquecer a água e, assim, contribuir para um menor gasto em energia elétrica em relação aos chuveiros elétricos convencionais.

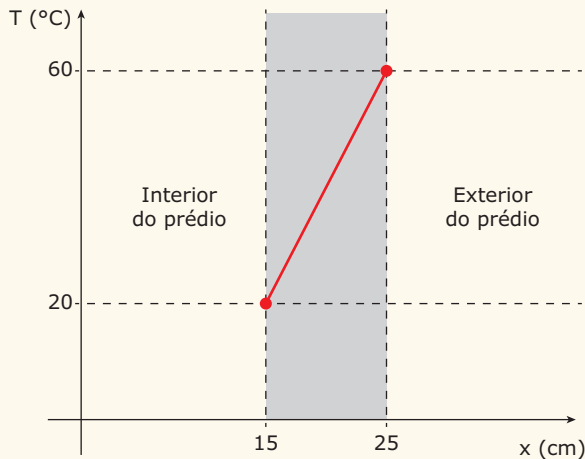
Sobre esses coletores solares são feitas as seguintes afirmativas:

- I. As chapas de alumínio e as tubulações de água devem ser pintadas de preto, pois a cor preta aumenta a absorção da energia radiante do sol incidente, aquecendo mais rapidamente a água.
- II. O processo de transmissão de calor que ocorre das placas quentes para a água é chamado de convecção, ocorrendo devido ao deslocamento de matéria.
- III. As placas de vidro colocadas sobre as tubulações são transparentes à luz, mas boas refletoras de radiação infravermelha e por isso ajudam no aquecimento da água no interior da tubulação.

É correto o que se afirma em

- A) I, apenas.
- B) II, apenas.
- C) I e III, apenas.
- D) II e III, apenas.
- E) I, II e III.

03. (UFSM-2015) Em 2009 foi construído na Bolívia um hotel com a seguinte peculiaridade: todas as suas paredes são formadas por blocos de sal cristalino. Uma das características físicas desse material é sua condutividade térmica relativamente baixa, igual a $6 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$. A figura a seguir mostra como a temperatura varia através da parede do prédio.



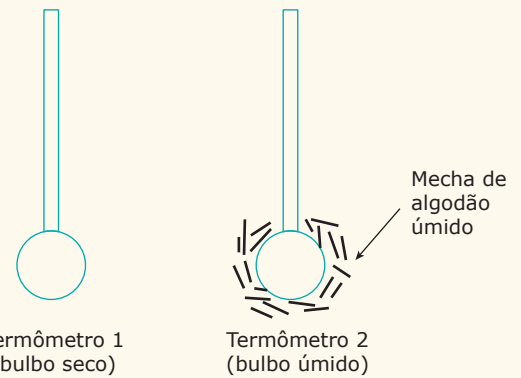
Qual é o valor, em W/m^2 do módulo do fluxo de calor por unidade de área que atravessa a parede?

- A) 125
- B) 800
- C) 1 200
- D) 2 400
- E) 3 000

04. (Unifor-CE) Para diminuir os efeitos da perda de calor pela pele em uma região muito "fria" do país, Gabrielle realizou vários procedimentos. Assinale a seguir aquele que, ao ser realizado, minimizou os efeitos da perda de calor por irradiação térmica.

- A) Fechou os botões das mangas e do colarinho da blusa que usava.
- B) Usou uma outra blusa por cima daquela que usava.
- C) Colocou um gorro, cruzou os braços e dobrou o corpo sobre as pernas.
- D) Colocou um cachecol de lã no pescoço e o enrolou com duas voltas.
- E) Vestiu uma jaqueta *jeans* sobre a blusa que usava.

05. (UFJF-MG) A umidade relativa do ar pode ser avaliada através de medidas simultâneas da temperatura ambiente, obtidas usando dois termômetros diferentes. O primeiro termômetro é exposto diretamente ao ambiente, mas o segundo tem seu bulbo (onde fica armazenado o mercúrio) envolvido em algodão umedecido em água (veja a figura).

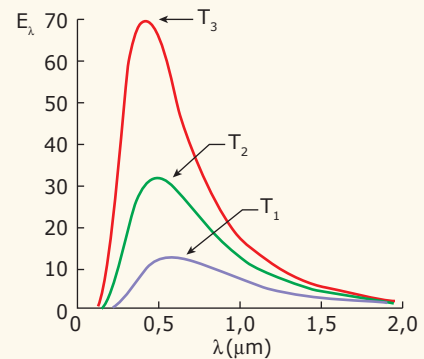


Nesse caso, podemos afirmar que:

- A) Os dois termômetros indicarão sempre a mesma temperatura.
- B) O termômetro de bulbo seco indicará sempre uma temperatura mais baixa que o de bulbo úmido.
- C) O termômetro de bulbo úmido indicará uma temperatura mais alta que o de bulbo seco quando a umidade relativa do ar for alta.
- D) O termômetro de bulbo úmido indicará uma temperatura mais baixa que o de bulbo seco quando a umidade relativa do ar for baixa.

06. (UDESC) A figura 1 mostra o gráfico da intensidade de radiação por comprimento de onda emitida por um corpo negro para diferentes temperaturas.

Figura 1



Com base nas informações do gráfico, analise as afirmativas a seguir:

- I. A temperatura T_1 é maior que a temperatura T_3 .
- II. A intensidade total de radiação emitida é maior para temperatura T_3 .
- III. O comprimento de onda para o qual a radiação é máxima é maior para temperatura T_3 .
- IV. As temperaturas T_1 , T_2 e T_3 são iguais.
- V. As intensidades totais de radiação emitida são iguais para T_1 , T_2 e T_3 .

Assinale a alternativa correta.

- A) Somente as afirmativas I, II e V são verdadeiras.
- B) Somente as afirmativas II e IV são verdadeiras.
- C) Somente a afirmativa I é verdadeira.
- D) Somente as afirmativas III e IV são verdadeiras.
- E) Somente a afirmativa II é verdadeira.

07. (UFRN) O efeito estufa, processo natural de aquecimento da atmosfera, é essencial para a existência de vida na Terra. Em tal processo, uma parcela da radiação solar refletida e da radiação térmica emitida pela superfície terrestre interage com determinados gases presentes na atmosfera, aquecendo-a. O principal mecanismo físico responsável pelo aquecimento da atmosfera devido à ação do efeito estufa resulta da

- A) absorção, por certos gases da atmosfera, de parte da radiação ultravioleta recebida pela Terra.
- B) reflexão, por certos gases da atmosfera, da radiação visível emitida pela Terra.
- C) absorção, por certos gases da atmosfera, de parte da radiação infravermelha proveniente da superfície da Terra.
- D) reflexão, por certos gases da atmosfera, de parte da radiação de micro-ondas recebida pela Terra.

08. (UFPE) Dois cilindros feitos de materiais A e B têm os mesmos comprimentos; os respectivos diâmetros estão relacionados por $d_A = 2 d_B$. Quando se mantém a mesma diferença de temperatura entre suas extremidades, eles conduzem calor à mesma taxa. As condutividades térmicas dos materiais estão relacionadas por:

- A) $k_A = k_B/4$
- B) $k_A = k_B/2$
- C) $k_A = k_B$
- D) $k_A = 2 k_B$
- E) $k_A = 4 k_B$

09. (Unioeste-PR) Num dia de inverno a temperatura no interior de uma casa é 25°C e no exterior é 5°C . A perda de calor, através de uma janela ($k_{\text{vidro}} = 0,2 \text{ cal/s.m.}^\circ\text{C}$) de espessura 2 mm e área $0,5 \text{ m}^2$, em uma hora, é

- A) 3 600 cal.
- B) 3 600 kcal.
- C) 36 kcal.
- D) 360 J.
- E) 3 600 J.

10. (UFC-CE) Uma barra cilíndrica reta metálica, homogênea, de comprimento L, com seção transversal A, isolada lateralmente a fim de evitar perda de calor para o ambiente, tem suas duas extremidades mantidas a temperaturas T_1 e T_2 , $T_1 > T_2$. Considere que o regime estacionário tenha sido atingido.

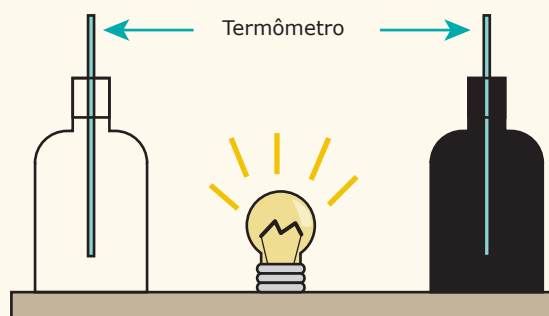
- A) Escreva a expressão do fluxo de calor por condução, sabendo-se que esse fluxo é proporcional à área da seção transversal e à diferença de temperatura entre os extremos da região de interesse ao longo da direção do fluxo e inversamente proporcional à distância entre tais extremos.
- B) Determine a temperatura de um ponto da barra localizado a uma distância $L/3$ da extremidade de maior temperatura em função de T_1 e T_2 .

SEÇÃO ENEM

01. (Enem-2017) É muito comum encostarmos a mão na maçaneta de uma porta e termos a sensação que ela está mais fria que o ambiente. Um fato semelhante pode ser observado se colocarmos uma faca metálica com cabo de madeira dentro de um refrigerador. Após longo tempo, ao encostarmos uma das mãos na parte metálica e a outra na parte de madeira, sentimos a parte metálica mais fria. Fisicamente, a sensação térmica mencionada é explicada da seguinte forma:

- A) A madeira é um bom fornecedor de calor e o metal, um bom absorvedor.
- B) O metal absorve mais temperatura que a madeira.
- C) O fluxo de calor é maior no metal que na madeira.
- D) A madeira retém mais calor que o metal.
- E) O metal retém mais frio que a madeira.

02. (Enem) Em um experimento foram utilizadas duas garrafas PET, uma pintada de branco e a outra de preto, acopladas cada uma a um termômetro. No ponto médio da distância entre as garrafas, foi mantida acesa, durante alguns minutos, uma lâmpada incandescente. Em seguida a lâmpada foi desligada. Durante o experimento, foram monitoradas as temperaturas das garrafas: a) enquanto a lâmpada permaneceu acesa e b) após a lâmpada ser desligada e atingirem equilíbrio térmico com o ambiente.



A taxa de variação da temperatura da garrafa preta, em comparação à da branca, durante todo o experimento, foi

- A) igual no aquecimento e igual no resfriamento.
- B) maior no aquecimento e igual no resfriamento.
- C) menor no aquecimento e igual no resfriamento.
- D) maior no aquecimento e menor no resfriamento.
- E) maior no aquecimento e maior no resfriamento.

03. (Enem)

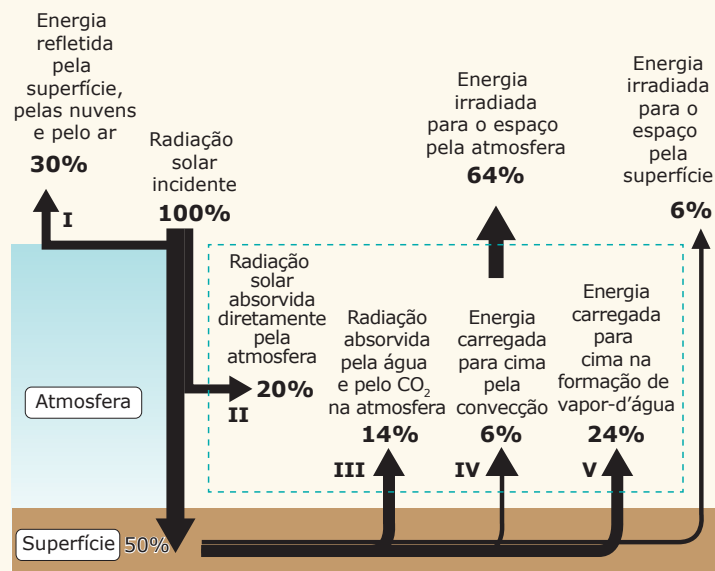


ZIEGLER, M. F. Energia Sustentável. *IstoÉ*. 28 abr. 2010.

A fonte de energia representada na figura, considerada uma das mais limpas e sustentáveis do mundo, é extraída do calor gerado

- A) pela circulação do magma no subsolo.
- B) pelas erupções constantes dos vulcões.
- C) pelo Sol que aquece as águas com radiação ultravioleta.
- D) pela queima do carvão e combustíveis fósseis.
- E) pelos detritos e cinzas vulcânicas.

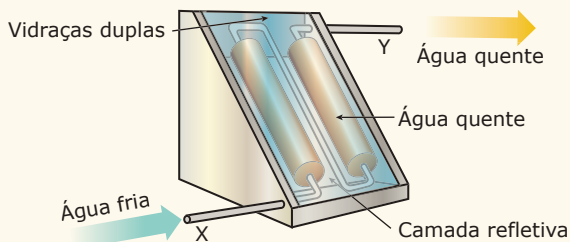
04. (Enem)



Com base no diagrama anterior, conclui-se que

- A) a maior parte da radiação incidente sobre o planeta fica retida na atmosfera.
- B) a quantidade de energia refletida pelo ar, pelas nuvens e pelo solo é superior à absorvida pela superfície.
- C) a atmosfera absorve 70% da radiação solar incidente sobre a Terra.
- D) mais da metade da radiação solar que é absorvida diretamente pelo solo é devolvida para a atmosfera.
- E) a quantidade de radiação emitida para o espaço pela atmosfera é menor que a irradiada para o espaço pela superfície.

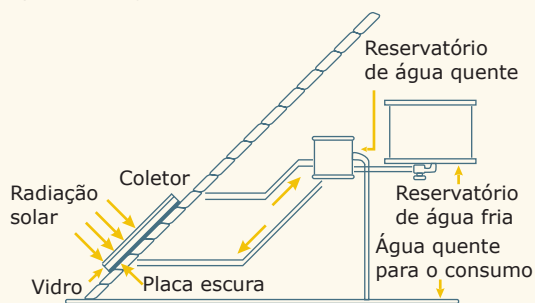
05. (Enem) O uso mais popular de energia solar está associado ao fornecimento de água quente para fins domésticos. Na figura a seguir, é ilustrado um aquecedor de água constituído de dois tanques pretos dentro de uma caixa termicamente isolada e com cobertura de vidro, os quais absorvem energia solar.



Nesse sistema de aquecimento,

- A) os tanques, por serem de cor preta, são maus absorvedores de calor e reduzem as perdas de energia.
- B) a cobertura de vidro deixa passar a energia luminosa e reduz a perda de energia térmica utilizada para o aquecimento.
- C) a água circula devido à variação de energia luminosa existente entre os pontos X e Y.
- D) a camada refletiva tem como função armazenar energia luminosa.
- E) o vidro, por ser bom condutor de calor, permite que se mantenha constante a temperatura no interior da caixa.

06. (Enem) O resultado da conversão direta de energia solar é uma das várias formas de energia alternativa de que se dispõe. O aquecimento solar é obtido por uma placa escura coberta por vidro, pela qual passa um tubo contendo água. A água circula conforme mostra o esquema a seguir:



PALZ, Wolfgang. *Energia solar e fontes alternativas*. Hemus, 1981 (Adaptação).

São feitas as seguintes afirmações quanto aos materiais utilizados no aquecedor solar:

- I. O reservatório de água quente deve ser metálico para conduzir melhor o calor.
- II. A cobertura de vidro tem como função reter melhor o calor, de forma semelhante ao que ocorre em uma estufa.
- III. A placa utilizada é escura para absorver melhor a energia radiante do Sol, aquecendo a água com maior eficiência.

Entre as afirmações anteriores, pode-se dizer que apenas está(ão) correta(s)

- A) I.
- B) I e II.
- C) II.
- D) I e III.
- E) II e III.

GABARITO

Meu aproveitamento

Aprendizagem

Acertei _____ Errei _____

- 01. B
- 02. A
- 03. C
- 04. C
- 05. B
- 06. D
- 07. D
- 08. D

Propostos

Acertei _____ Errei _____

- 01. B
- 02. C
- 03. D
- 04. C
- 05. D
- 06. E
- 07. C
- 08. A
- 09. B
- 10.

- A) $\phi = \frac{KA(T_2 - T_1)}{L}$
- B) $T = \frac{(2T_1 + T_2)}{3}$

Seção Enem

Acertei _____ Errei _____

- 01. C
- 02. E
- 03. A
- 04. D
- 05. B
- 06. E



Total dos meus acertos: _____ de _____ . _____ %

Eletrização

Seria difícil imaginar a vida atual sem a eletricidade, sem a iluminação, o computador e a Internet, o carro e até mesmo sem coisas simples, como o “choque” que você leva ao tocar a maçaneta da porta num dia seco. Para entender a importância de tudo isso, convido você ao “**Mundo da Eletricidade**”.

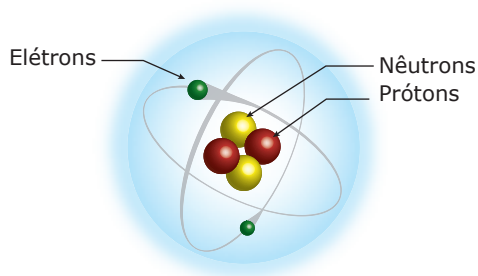
Os primeiros fenômenos elétricos foram observados antes de Cristo. O filósofo grego Tales notou que o âmbar (espécie de resina natural), depois de atritado em tecido, atraía corpos leves.

Aproximadamente dois mil anos depois, cientistas como Coulomb, Ampère e outros descobriram os princípios fundamentais da Eletricidade. Nestes, encontramos a existência da **carga elétrica**, propriedade inerente a algumas partículas, que é a razão de ser da Eletricidade.

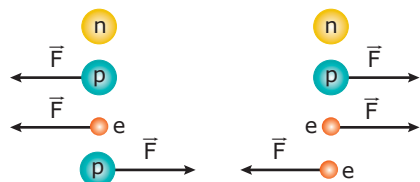
Vamos começar o nosso estudo com a **Eletrostática**, parte da Eletricidade na qual as cargas elétricas não apresentam movimentos ordenados, exceto em um curto intervalo de tempo.

A CARGA ELÉTRICA

Você sabe, com base na Química, que a matéria é formada por átomos. Estes possuem prótons, elétrons e, geralmente, nêutrons. Colocadas próximas umas às outras, as partículas podem interagir ou não entre si. A figura a seguir mostra um átomo de hélio.



O que acontece entre cada par de diferentes partículas, se colocadas a uma mesma distância? Veja:



Observe que surge uma força atuando nos prótons e nos elétrons, mas não nos nêutrons. Observe também que todas as forças da figura anterior têm o mesmo módulo, o que nos permite concluir que

1. os prótons e os elétrons têm alguma propriedade que o nêutron não possui;
2. como as forças entre dois prótons possuem o mesmo módulo das forças entre dois elétrons, a propriedade tem de ter um mesmo valor para ambos.

Tal propriedade é a **carga elétrica** (Q). Como existe repulsão entre partículas de mesmo nome e atração entre próton e elétron, concluímos que suas cargas devem ter alguma diferença. Por isso, os cientistas convencionaram que a carga do próton é **positiva** e a do elétron é **negativa**. Logo, o nêutron não tem carga elétrica.

O próton e o elétron têm cargas de mesmo valor absoluto, o qual chamaremos de **carga elementar** (e).

O valor aproximado da carga elementar é:

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

A unidade de medida de carga elétrica, no SI, é o **coulomb** (**C**), em homenagem ao cientista francês Charles de Coulomb (1736-1806).

Em seu estado natural, os átomos apresentam o mesmo número de prótons e de elétrons. Portanto, a carga total dos átomos é **zero**. Assim, para apresentarem comportamento elétrico, é necessário retirar ou fornecer elétrons a eles. Pode acontecer de o átomo ganhar ou perder prótons, mas, como isso é raro, vamos considerar que os corpos trocam, entre si, apenas elétrons.

Uma constatação importante é a de que só podemos retirar ou fornecer ao átomo (ou a um objeto) um número inteiro de elétrons. Não é possível, por exemplo, retirar $\frac{1}{2}$ elétron ou fornecer $\frac{3}{4}$ de elétrons ao átomo. Assim, dizemos que a carga do átomo ou de qualquer objeto carregado (eletrizado) é **quantizada**. Ou seja, a carga (Q) pode apresentar inúmeros valores distintos, mas todos, sem exceção, são múltiplos inteiros da carga elementar (e).

$$Q = n \cdot e \Rightarrow Q = n \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})$$

$$n = \dots, -2, -1, 0, 1, 2, 3, \dots$$

Sendo que n é o saldo elétrico do objeto, que depende do número de elétrons fornecidos ou retirados desse objeto.

Dois corpos eletrizados com cargas de **sinais opostos** exercem, entre si, forças de **atração**. Quando estão eletrizados com carga de **mesmo sinal**, as forças são de **repulsão**.

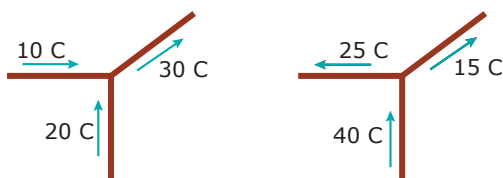
A tabela mostra os valores aproximados da carga, da massa de repouso e da massa relativa do elétron, do próton e do nêutron.

Partículas	Carga elétrica ($\cdot 10^{-19} \text{ C}$)	Carga relativa	Massa (kg)	Massa relativa
Elétron	-1,602	-1	$9,109 \cdot 10^{-31}$	1
Próton	1,602	1	$1,673 \cdot 10^{-27}$	1 840
Nêutron	0	0	$1,675 \cdot 10^{-27}$	1 840

Tabela 1.

Um fato importante que você precisa conhecer é o **Princípio da Conservação das Cargas Elétricas**. Ele estabelece que, num sistema fechado, a soma algébrica das cargas é constante no tempo. Assim, considerando um sistema composto por dois corpos isolados (sistema fechado), se um deles, por algum evento, perde certa quantidade de carga, o outro ganha a mesma quantidade. Ou seja, **a soma total das cargas, antes e depois do evento, é a mesma**.

Considere os fios, que são parte de um circuito elétrico, e através dos quais flui, num certo intervalo de tempo, certa quantidade de carga. Assim, você pode observar, nas figuras a seguir, o Princípio da Conservação das Cargas Elétricas. Observe que a quantidade de carga que entra e que sai do ponto de junção dos fios (nós) é a mesma.



CONDUTORES E ISOLANTES (OU DIELETRICOS)

Um material condutor permite que haja fluxo de cargas através dele sem muita dificuldade. Para isso, ele deve possuir cargas livres em sua estrutura ou ter facilidade de obtê-las.

Os condutores podem ser

- sólidos** (metais e grafite), nos quais as partículas que se deslocam através deles são os **elétrons**;
- líquidos** (soluções iônicas), nos quais os **íons** positivos e os negativos percorrem a solução em sentidos opostos;
- gases** (quando ionizados), nos quais temos movimento de **elétrons** e de **íons** positivos e negativos.

O meio isolante (ou dielétrico), quando tal, impede que um fluxo significativo de cargas passe através da sua estrutura. Ele também pode ser sólido, líquido ou gasoso. A borracha é um exemplo típico de isolante (ou dielétrico). Em condições normais, a borracha e outros isolantes, como o vidro e a madeira, não possuem cargas elétricas livres que possam se deslocar através deles.

A definição de condutor e isolante não é absoluta. É importante que você saiba que todos os isolantes, exceto o **vácuo**, podem conduzir eletricidade dependendo das condições a eles impostas. Isso poderá ser verificado no módulo que abordará o campo elétrico.

ELETRIZAÇÃO

Em seu estado natural, a matéria é neutra, porque ela é formada por átomos neutros. Eletrizar a matéria significa alterar esse equilíbrio de cargas, tornando-a carregada positiva ou negativamente. Esse desequilíbrio é obtido retirando ou fornecendo elétrons aos átomos.

Quando retiramos elétrons de um corpo, ele fica eletrizado (ou carregado) **positivamente**, pois o número de prótons, que não é alterado, fica superior ao número de elétrons. Ao contrário, quando fornecemos elétrons a um corpo, este fica eletrizado **negativamente**, porque o número de elétrons fica superior ao número de prótons.

Um corpo pode ser eletrizado de três maneiras diferentes: por atrito, por contato ou por indução.

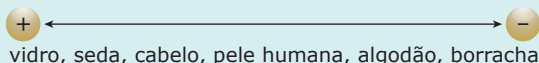
Eletrização por atrito

Quando dois corpos são atritados, essa atividade realiza um trabalho sobre os elétrons, facilitando sua transferência do corpo de menor tendência a atrair elétrons para o corpo de maior tendência a atrair elétrons.

Quando eletrizados por atrito, os corpos ficam carregados com cargas de sinais **opostos**, pois o corpo que **perdeu** os elétrons fica carregado **positivamente**, enquanto o que **ganhou** fica eletrizado **negativamente**. Os **módulos** das cargas adquiridas pelos dois corpos são **iguais**, pois o número de elétrons que um corpo perdeu é igual ao número de elétrons que o outro ganhou.

Conheça cinco observações sobre eletrização por atrito:

- Durante o atrito, apenas elétrons são trocados entre os corpos, continuando os prótons e os nêutrons presos ao núcleo atômico.
- Corpos feitos do mesmo material não se eletrizam por atrito, pois ambos apresentam igual tendência de atrair elétrons.
- Os elétrons que se transferem de um corpo a outro são **apenas** uma pequena parte do total de elétrons que o corpo possui. Na maioria das vezes, o corpo perde poucos dos seus elétrons.
- Um condutor pode ser eletrizado por atrito desde que você o segure com algum material que seja isolante. Se não o fizer, quase a totalidade das cargas que ele adquire vai para o seu corpo e ele fica praticamente descarregado.
- Um mesmo corpo pode ser eletrizado positiva ou negativamente, dependendo do material com o qual foi atritado. A seguir, é apresentada a chamada Série Triboelétrica, que mostra uma sequência de alguns materiais. Qualquer deles, atritado com outro que esteja à sua **esquerda**, ficará **negativamente** eletrizado. Se atritado com um que esteja à sua **direita**, vai se tornar **positivamente** carregado.



Observe, nas figuras a seguir, um bastão de borracha sendo atritado em um tecido de seda. Note que o bastão de borracha ficou eletrizado negativamente e a seda, positivamente.



Muitos fatos do cotidiano são explicados pela eletrização por atrito. Por exemplo, uma blusa de seda, quando usada em um dia seco, se “agarra” à nossa pele ao ser retirada do corpo. De acordo com a Série Triboelétrica, qual o sinal da carga elétrica da blusa de seda? E a da pele de nosso corpo? **Não** é necessário memorizar a sequência da série anterior.

Faça você mesmo a experiência a seguir se o dia não estiver úmido.

Rasgue um punhado de pedacinhos de papel e os coloque sobre uma mesa. Pegue um pente ou uma régua de plástico e esfregue, rápida e vigorosamente, em seus cabelos. Aproxime a régua dos pedacinhos de papel. Você percebeu que eles foram atraídos para a régua?



CURIOSIDADE

Você sabe por que uma faísca elétrica pode, durante uma tempestade, “rasgar” uma árvore ao meio? Fácil! Veja: a faísca transporta, através da árvore, uma grande quantidade de carga elétrica de mesmo sinal, além de muita energia. Assim, a descarga elétrica provoca o aumento da pressão interna da árvore (devido ao aumento de temperatura) e faz com que partes adjacentes da árvore sofram a ação de forças elétricas repulsivas de grande intensidade (devido à grande quantidade de carga elétrica de mesmo sinal que a árvore adquire). Se a árvore não suportar tal força, ela se parte.

Assim, quem tem cabelo comprido deve evitar penteá-lo por muito tempo. O pente e o cabelo ficam eletrizados com cargas de sinais contrários. Porém, os fios de cabelo terão cargas de mesmo sinal e irão se repelir. Isso pode “quebrar” as pontas dos cabelos, da mesma forma que a árvore é “rasgada”.

Um balão de borracha atritado em algodão, por exemplo, fica eletrizado. Observe na fotografia a seguir o que acontece ao aproximarmos um balão eletrizado dos cabelos de uma garota.



Eletrização por contato

A eletrização por contato ocorre, de forma mais eficaz, nos condutores. Neles, as cargas tendem a ficar na superfície externa – posição nas quais elas estão o **mais distante** possível umas das outras.



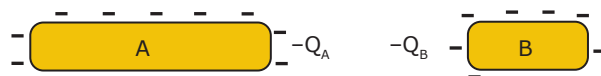
Considere os condutores A e B, da figura anterior, separados e distantes um do outro. O corpo A está eletrizado com carga $-Q$, e o objeto B está neutro. Quando colocados em contato, as cargas ficam na superfície externa do sistema formado por A e B, conforme a figura a seguir. Observe que a carga total do sistema continua igual a $-Q$.



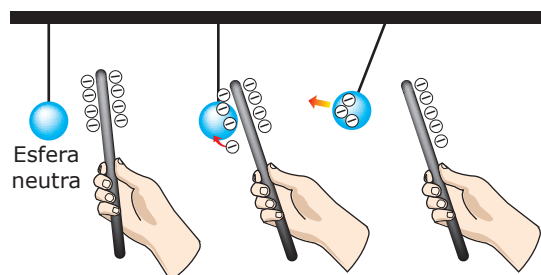
Separando-se os objetos, por uma pequena distância, cada um deles fica com a carga ($-Q_A$ e $-Q_B$) que estava distribuída em sua superfície, conforme mostrado a seguir. Observe que as cargas vão para as extremidades opostas, por causa da repulsão entre elas.



Se os objetos forem colocados bem distantes um do outro, as cargas de cada um distribuem-se pela sua respectiva superfície, de modo, novamente, a ficarem o mais distante possível umas das outras. Veja a seguir:



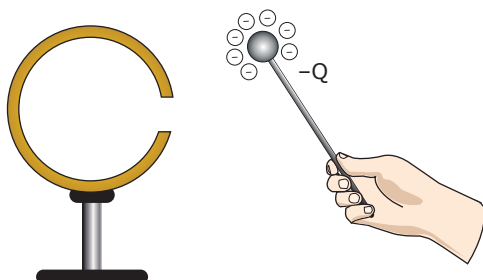
Observe, na figura seguinte, um bastão com cargas negativas que se aproxima de uma bolinha de latão até tocá-la. No contato, ambos ficam eletrizados com carga negativa. Assim, após o contato, a bolinha é repelida pelo bastão.



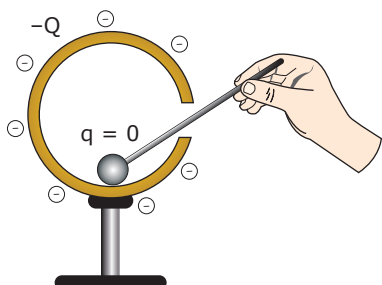
Dois casos, envolvendo contato entre **condutores esféricos**, merecem a sua atenção.

Contato interno

Temos uma esfera metálica, oca, com uma abertura que permite que um objeto seja introduzido em seu interior. Considere, nessa situação, que ela esteja descarregada. Uma pessoa pega uma vareta isolante, que tem na sua extremidade uma esfera condutora carregada com uma carga $(-Q)$, conforme a figura a seguir.



A pessoa leva a esfera eletrizada a tocar o interior da esfera oca, em qualquer lugar desta. Já que as cargas tendem a ficar o mais distante possível umas das outras, **toda** a carga da esfera interior se transfere para o exterior da esfera maior, conforme mostrado adiante.

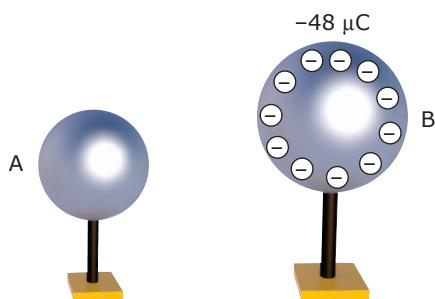


Essa é uma boa forma de você, com certeza, neutralizar totalmente um objeto que estava carregado.

Contato externo

Vamos considerar duas esferas metálicas, A e B, apoiadas sobre suportes isolantes, bem distantes uma da outra, conforme a figura seguinte. O raio da esfera B é o dobro do raio da esfera A. A esfera A está neutra, enquanto a esfera B se encontra eletrizada negativamente com uma carga $Q_B = -48 \mu\text{C}$.

Sendo condutora, é natural que os elétrons em excesso na esfera B estejam uniformemente distribuídos sobre a sua superfície, pois assim eles ficarão com o maior afastamento possível uns dos outros.



Se colocadas em contato, haverá transferência de uma quantidade de elétrons da esfera B para a esfera A, pois os elétrons em excesso encontrarão uma situação de maior afastamento ainda.

Como a esfera B é maior do que a esfera A, ela possui uma maior capacidade de armazenar cargas. Por isso, a carga final na esfera B será maior do que na esfera A.

A carga final de cada corpo, quando forem esféricos, é proporcional ao raio de cada esfera. Após o contato, sendo $R_B = 2R_A$, temos que as cargas de B e A serão $Q_B = -32 \mu\text{C}$ e $Q_A = -16 \mu\text{C}$.

Note que a soma das cargas finais continua igual à carga total inicial $(-48 \mu\text{C})$, ou seja, o Princípio da Conservação das Cargas Elétricas foi respeitado.

Fica evidente que, para esferas do mesmo tamanho, a carga total inicial se divide igualmente entre elas após o contato.

Um fato não tão evidente assim, porém importante, é que a divisão de cargas (citada anteriormente) **não** depende do material do qual as esferas são feitas. Basta que elas sejam condutoras.

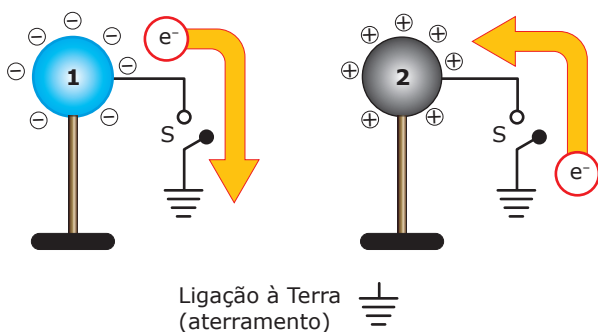
Saiba quatro características da eletrização por contato:

1. Se a esfera B estivesse eletrizada positivamente, as cargas finais de A e B seriam $Q_A = 16 \mu\text{C}$ e $Q_B = 32 \mu\text{C}$. Nesse caso, a esfera A iria transferir uma quantidade de elétrons para a esfera B. A esfera A ficaria com carga positiva por ter perdido esses elétrons.
2. Após o contato entre corpos condutores eletrizados, estes adquirem cargas de mesmo sinal, sendo que o corpo de maior capacidade armazenará a maior carga.
3. Se ambos estão previamente eletrizados, a carga de cada um deles, após o contato, terá o sinal da carga daquele que tiver maior carga inicial em módulo. Se a soma das cargas iniciais for zero, as cargas finais dos corpos serão iguais a zero, independentemente do tamanho deles.
4. A eletrização por contato ocorre também entre corpos dielétricos. Porém, a troca de cargas se faz apenas no ponto onde os corpos se tocam, pois, sendo isolantes, a carga não pode se deslocar ao longo deles.

A combinação dos processos de eletrização por atrito e por contato nos permite compreender mais alguns fatos interessantes observados no dia a dia. Um caminhão em movimento adquire carga elétrica devido ao atrito com o ar. Essa carga se acumula na lataria do caminhão, que está isolada do chão pelos pneus de borracha. Se a quantidade de carga acumulada for elevada, poderá ocorrer uma centelha elétrica entre o caminhão e o ar. Para evitar essa centelha, alguns caminhões arrastam uma corrente pelo chão. O contato da corrente com o chão permite que a carga adquirida pelo caminhão seja transferida para a Terra.

Comparando os tamanhos do caminhão e do planeta Terra, conclui-se que a carga se transfere, **integralmente** (aproximação tão eficiente que pode ser considerada como fato verdadeiro), para a Terra.

A seguir, tem-se dois corpos eletrizados a serem colocados em contato com a Terra.

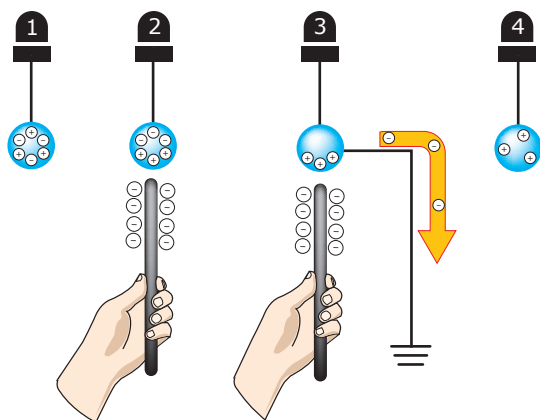


Ligando-se a chave S, haverá um fluxo de elétrons da:

1. Esfera 1 para a Terra, descarregando a esfera.
2. Terra para a esfera 2, neutralizando a sua carga.

Eletrização por indução (ou influência)

Veja a figura a seguir. Ela mostra as etapas da eletrização por indução.



A esfera condutora, conforme a etapa 1, está inicialmente neutra (possui cargas positivas e negativas em quantidades iguais). Um bastão eletrizado negativamente se aproxima da esfera, **sem tocá-la** (etapa 2). Alguns elétrons, repelidos pelo bastão, deslocam-se para a extremidade oposta. Apesar de as cargas positivas e negativas estarem separadas, a esfera continua neutra (carga total zero).

Para, de fato, eletrizar a esfera, vamos ligá-la à Terra por meio de um fio condutor. Os elétrons, repelidos pelo bastão, fluem para a Terra (etapa 3).

Agora, é importante a sequência das operações. Primeiro, desfaz-se a ligação à Terra (os elétrons que fluíram para a Terra não mais podem voltar). Em seguida, afasta-se o bastão (etapa 4).

Veja que a esfera fica eletrizada positivamente, com as cargas distribuídas uniformemente em sua superfície.

Conheça as principais características da eletrização por indução:

1. O corpo que provoca a indução (o bastão, no exemplo anterior) é chamado de **indutor** e sua carga **não** é afetada pelo processo.

2. O objeto que foi eletrizado (a esfera, no caso anterior), chamado de **induzido**, tem sinal de carga final sempre **oposto** ao sinal da carga do indutor.
3. Apenas objetos condutores podem ser eletrizados, de forma efetiva, por indução.
4. Não confundir o simples fenômeno da indução com o processo de eletrização por indução. A esfera do exemplo citado está **induzida** logo que o bastão se aproxima dela – figura 2 (veja que as cargas estão separadas). Ou seja, induzir um objeto é fazer com que haja uma separação de cargas nesse objeto devido à aproximação de um corpo eletrizado.

CONTEÚDO NO Bernoulli Play

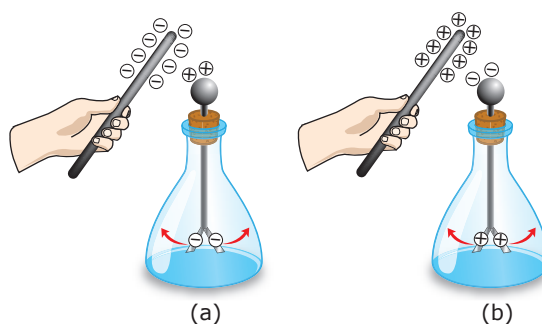
Laboratório de eletrização

O fenômeno pelo qual um corpo neutro passa a ser eletrizado é denominado eletrização. Na bancada do laboratório virtual desse simulador, existem diversos materiais: uma esfera de madeira e duas de metal, um quequer de vidro, um pedaço de seda e papel picado. Você pode eletrizar esses materiais de diversas formas. Divirta-se!



ELETROSCÓPIO DE FOLHAS

O eletroscópio de folhas, cujo princípio de funcionamento se baseia na indução eletrostática, é um aparelho usado para verificar se os objetos estão eletrizados. Ele é constituído de uma esfera metálica, uma haste condutora e duas folhas metálicas leves. As folhas ficam dentro de uma garrafa transparente para se evitar perturbações causadas, por exemplo, pelo vento.

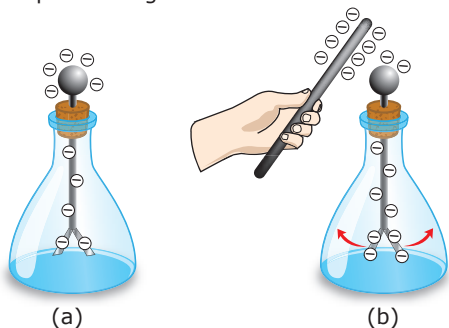


Considere um eletroscópio neutro. Se você aproxima da esfera um bastão eletrizado negativamente, este vai repelir alguns elétrons da esfera, fazendo com que esses elétrons se desloquem para as folhas metálicas. Assim, serão induzidas cargas positivas na esfera e negativas nas folhas, conforme a figura anterior. As folhas, com cargas de mesmo sinal, irão se repelir.

Se o bastão estiver positivo, serão induzidas cargas positivas nas folhas, pois o bastão vai atrair elétrons para a esfera. Da mesma forma que antes, as folhas, agora positivas, vão se abrir devido à repulsão entre elas.

Assim, você pode descobrir se o bastão está ou não eletrizado. Entretanto, não é possível descobrir o sinal de sua carga.

Uma situação diferente ocorre quando o eletroscópio está previamente carregado, com cargas cujo sinal conhecemos, conforme a próxima figura.



Considere, por exemplo, o eletroscópio carregado com cargas negativas – todo o seu corpo (esfera, haste e folhas) está eletrizado negativamente. Assim, as folhas estão abertas.

Vamos aproximar do eletroscópio um bastão carregado negativamente – mesmo sinal de carga do eletroscópio. O bastão irá repelir parte dos elétrons que estão na esfera do aparelho. Assim, devido ao aumento do número de elétrons nas folhas, a abertura destas se torna maior.

Imagine, agora, o bastão carregado positivamente – sinal de carga oposta à do eletroscópio. Assim, o bastão irá atrair parte dos elétrons que estão nas folhas para a esfera, provocando uma diminuição na abertura das folhas ou mesmo o fechamento total delas.

Logo, se o eletroscópio estiver eletrizado, e soubermos o sinal de sua carga, é possível saber o sinal da carga do corpo indutor.

Concluindo:

1. Se o bastão e o eletroscópio têm cargas de **mesmo sinal**, a abertura das folhas **aumenta**.
2. Se o bastão e o eletroscópio têm cargas de **sinais opostos**, as folhas **diminuem** a sua abertura.

POLARIZAÇÃO DE UM ISOLANTE (OU DIELÉTRICO)



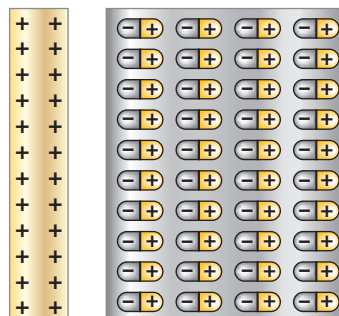
Vimos, na indução, que os elétrons de um condutor, na presença de um corpo eletrizado, deslocam-se para uma das extremidades do objeto, de modo que o condutor fica induzido.

Em um isolante, não existe deslocamento significativo de elétrons ao longo do material. Sabemos, porém, que um objeto carregado (um pente atritado nos cabelos, por exemplo) é capaz de atrair objetos dielétricos (pedacinhos de papel, por exemplo).

Em um dielétrico de moléculas polares (água, por exemplo), sabemos, com base na Química, que existe, em cada uma das moléculas, uma separação natural de cargas. Assim, uma das extremidades da molécula é positiva e a outra, negativa.

Se o isolante apresenta moléculas apolares, a separação citada não existe. Entretanto, se colocado na presença de um corpo eletrizado (positivamente, por exemplo),

as cargas negativas de suas moléculas serão atraídas e as positivas, repelidas pelo corpo. Logo, as suas moléculas vão adquirir uma **polarização**.



Se um corpo eletrizado se aproxima de um dielétrico, seja ele polar ou apolar, haverá um alinhamento das moléculas do dielétrico na direção da força exercida pelo objeto eletrizado. Assim, as extremidades do isolante, que estão na direção do corpo carregado, terão cargas positivas e negativas, conforme mostrado na figura anterior.

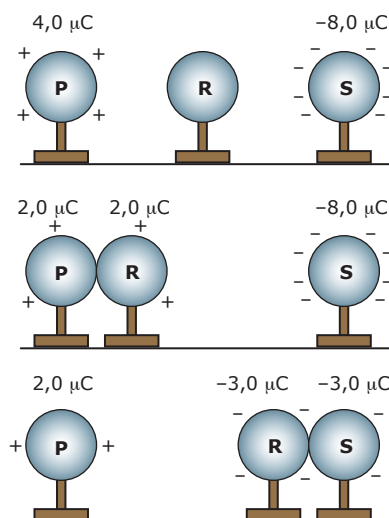
Logo, dizemos que houve uma **polarização** do dielétrico (e não indução, pois não houve deslocamento de cargas).

EXERCÍCIO RESOLVIDO

- 01.** Duas pequenas esferas metálicas idênticas, P e S, estão eletrizadas com cargas $+4,0 \mu\text{C}$ e $-8,0 \mu\text{C}$, respectivamente. Uma terceira esfera R, idêntica às outras duas e inicialmente descarregada, é colocada em contato, primeiro, com a esfera P e, depois, com a esfera S. Todas as esferas estão presas a suportes isolantes. Determinar as cargas finais das esferas P, R e S, respectivamente.

Resolução:

As figuras a seguir mostram as esferas no início e após os referidos contatos. Você deve se lembrar de que as esferas, sendo idênticas, ficam com cargas iguais após cada contato.



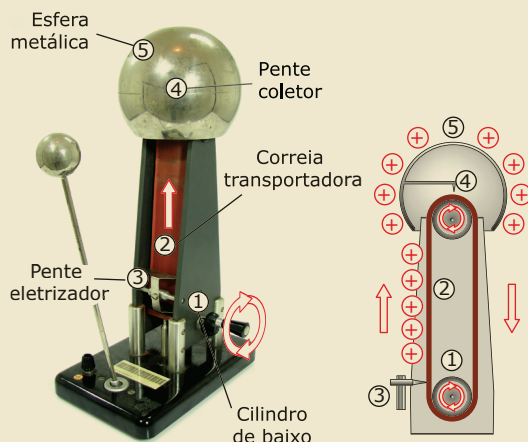
Assim, as cargas finais das esferas são, respectivamente, $Q_P = 2,0 \mu\text{C}$, $Q_R = -3,0 \mu\text{C}$ e $Q_S = -3,0 \mu\text{C}$.

Uma pergunta: você acha que o Princípio da Conservação das Cargas foi observado no contato entre as esferas?

O GERADOR DE VAN DE GRAEFF

O gerador de Van de Graaff é um instrumento muito usado em laboratórios de eletricidade. Ele funciona com base na eletrização por atrito e por contato.

Veja a seguir uma fotografia e um esquema de um gerador de Van de Graaff.



O funcionamento do gerador é simples. Veja:

O cilindro de baixo (1) é posto a girar por uma manivela ou por um motor elétrico. Uma correia transportadora isolante (2) é atritada pelo pente eletrizador (3). Ela se carrega positivamente e transporta as cargas para o pente coletor (4), que é condutor. O pente coletor está em contato interno com a esfera metálica (5).

Você sabe que o pente (4), estando em contato interno com a esfera (5), transfere para ela toda a carga que recebe.

Assim, com o aparelho funcionando por certo tempo, a esfera adquire certa quantidade de carga. Se a esfera tiver raio de 1,0 m e estiver no ar, ela pode apresentar potenciais de até **três milhões** de volts.

Apesar disso, não haverá perigo se alguém tocar a superfície da esfera, pois o potencial é elevado, mas a quantidade de **carga** armazenada é **pequena** (próximo de $3,0 \cdot 10^{-4} \text{ C}$).

Veja como ficam os cabelos da garota em contato com a esfera do gerador.

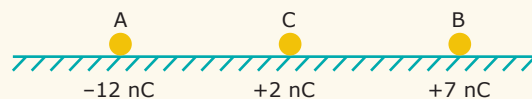


Frank Hoffmann / American Museum of Science and Energy

EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM



01. (UNIFICADO-RJ) A figura a seguir mostra três esferas iguais, A e B, fixas sobre um plano horizontal e carregadas eletricamente com $q_A = -12 \text{ nC}$ e $q_B = +7 \text{ nC}$, e C, que pode deslizar sem atrito sobre o plano, carregada com $q_C = +2 \text{ nC}$ ($1 \text{ nC} = 10^{-9} \text{ C}$). Não há troca de carga elétrica entre as esferas e o plano.



Estando solta, a esfera C dirige-se de encontro à esfera A, com a qual interage eletricamente, retornando de encontro à B, e assim por diante, até que o sistema atinge o equilíbrio, com as esferas não mais se tocando. Nesse momento, as cargas A, B e C, em nC, serão, respectivamente,

- A) $-1, -1$ e -1 .
- B) $-2, -\frac{1}{2}$ e $-\frac{1}{2}$.
- C) $+2, -1$ e $+2$.
- D) $-3, \text{zero}$ e $+3$.
- E) $-\frac{3}{2}, \text{zero}$ e $-\frac{3}{2}$.

02. (UFMG) Duas esferinhas metálicas, P e Q, suspensas por fios isolantes e próximas uma da outra, repelem-se.

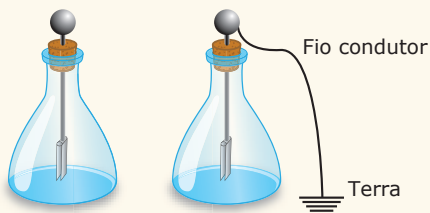
Pode-se concluir, com certeza, que

- A) ambas têm cargas positivas.
- B) ambas têm cargas negativas.
- C) uma tem carga positiva e a outra, negativa.
- D) uma tinha carga negativa e a outra, ao se aproximar dela, adquiriu carga positiva por indução.
- E) ambas têm cargas de mesmo sinal, positivo ou negativo.

03. (UFSCar-SP) Atritando vidro com lã, o vidro se eletriza com carga positiva e a lã, com carga negativa. Atritando algodão com enxofre, o algodão adquire carga positiva e o enxofre, negativa. Porém, se o algodão for atritado com lã, o algodão adquire carga negativa e a lã, positiva. Quando atritado com algodão e quando atritado com enxofre, o vidro adquire, respectivamente, carga elétrica

- A) positiva e positiva.
- B) positiva e negativa.
- C) negativa e positiva.
- D) negativa e negativa.
- E) negativa e nula.

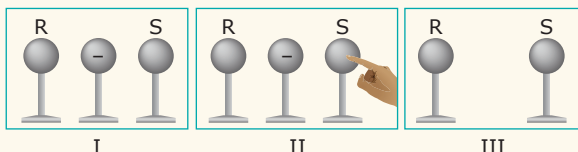
04. (EFOA-MG) As figuras a seguir ilustram dois eletroscópios. O da esquerda está totalmente isolado da vizinhança e o da direita está ligado à Terra por um fio condutor de eletricidade.



Das figuras a seguir, a que melhor representa as configurações das partes móveis dos eletroscópios, quando aproximarmos das partes superiores de ambos um bastão carregado negativamente, é:

- A)
- B)
- C)
- D)
- E)

05. (UFMG) Durante uma aula de Física, o professor Carlos Heitor faz a demonstração de Eletrostática que se descreve a seguir. Inicialmente, ele aproxima duas esferas metálicas – R e S –, eletricamente neutras, de uma outra esfera isolante, eletricamente carregada com carga negativa, como representado na Figura I. Cada uma dessas esferas está apoiada em um suporte isolante. Em seguida, o professor toca o dedo, rapidamente, na esfera S, como representado na Figura II. Isso feito, ele afasta a esfera isolante das outras duas esferas, como representado na Figura III.



Considerando-se essas informações, é correto afirmar que, na situação representada na Figura III,

- A) a esfera R fica com carga negativa e a S permanece neutra.
- B) a esfera R fica com carga positiva e a S permanece neutra.

- C) a esfera R permanece neutra e a S fica com carga negativa.
- D) a esfera R permanece neutra e a S fica com carga positiva.

06. (UECE) Um condutor elétrico metálico, de formato irregular e isolado, está carregado com uma carga positiva total +Q. Pode-se afirmar corretamente que a carga +Q

- A) é a somatória das cargas dos prótons que compõem o condutor.
- B) está distribuída uniformemente por toda a superfície externa do condutor.
- C) está distribuída uniformemente por todo o condutor, exceto pela sua superfície.
- D) é o saldo do balanço entre as cargas dos prótons e dos elétrons que compõem o condutor.

07. (Unicesumar-SP-2016) Um grande pedaço de papel, macio e seco, e uma pequena régua de plástico estão inicialmente separados e eletricamente neutros. Então, atrita-se forte e repetidamente a régua de plástico com o papel. Após o atrito, deve-se observar que



- A) ambos permanecerão neutros, pois são materiais isolantes elétricos.
- B) apenas um deles ficará eletrizado, porém é impossível afirmar qual deles.
- C) a carga elétrica do papel, por ter uma área maior que a da régua, será maior que a carga elétrica da régua.
- D) como o papel tem área maior que a da régua, ele retirará quantidades iguais de cargas elétricas positivas e negativas da régua, ficando, portanto, eletrizado, e a régua permanecendo neutra.
- E) ambos ficarão eletrizados com cargas de sinais opostos, porém de mesmo valor absoluto.

08. (UEM-PR) Um balão de aniversário é atritado com o cabelo de uma pessoa e, então, é aproximado de uma parede. Nota-se que o balão é atraído pela parede. Esse fenômeno se deve

- A) à força eletrostática entre as partículas na superfície do balão.
- B) às forças magnéticas entre as partículas na superfície do balão.
- C) às forças eletrostáticas entre as partículas na superfície do balão e as partículas da parede.
- D) às forças magnéticas entre as partículas na superfície do balão e as partículas da parede.
- E) à força gravitacional entre o balão e a parede.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS



01. (UFSM-RS) Considere as seguintes afirmativas:

- I. Um corpo não eletrizado possui um número de prótons igual ao número de elétrons.
- II. Se um corpo não eletrizado perde elétrons, passa a estar positivamente eletrizado e, se ganha elétrons, negativamente eletrizado.
- III. Isolantes ou dielétricos são objetos que não podem ser eletrizados.

Está(ão) correta(s)

- A) apenas I e II.
- B) apenas II.
- C) apenas III.
- D) apenas I e III.
- E) I, II e III.

02. (UEL-PR) Corpos eletrizados ocorrem naturalmente no nosso cotidiano. Um exemplo disso é o fato de algumas vezes levarmos pequenos choques elétricos ao encostarmos em automóveis. Tais choques são devidos ao fato de estarem os automóveis eletricamente carregados. Sobre a natureza dos corpos (eletrizados ou neutros), considere as afirmativas a seguir:

- I. Se um corpo está eletrizado, então o número de cargas elétricas negativas e positivas não é o mesmo.
- II. Se um corpo tem cargas elétricas, então está eletrizado.
- III. Um corpo neutro é aquele que não tem cargas elétricas.

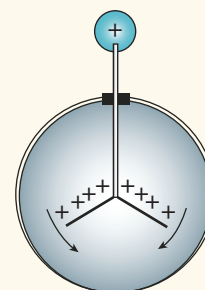
IV. Ao serem atritados, dois corpos neutros, de materiais diferentes, tornam-se eletrizados com cargas opostas, devido ao princípio de conservação das cargas elétricas.

V. Na eletrização por indução, é possível obter-se corpos eletrizados com quantidades diferentes de cargas.

Sobre as afirmativas, assinale a alternativa correta.

- A) Apenas as afirmativas I, II e III são verdadeiras.
- B) Apenas as afirmativas I, IV e V são verdadeiras.
- C) Apenas as afirmativas I e IV são verdadeiras.
- D) Apenas as afirmativas II, IV e V são verdadeiras.
- E) Apenas as afirmativas II, III e V são verdadeiras.

03. (ACAFE-SC-2015) Utilizado nos laboratórios didáticos de física, os eletroscópios são aparelhos geralmente usados para detectar se um corpo possui carga elétrica ou não.



Considerando o eletroscópio da figura anterior, carregado positivamente, assinale a alternativa correta que completa a lacuna da frase a seguir.

Tocando-se o dedo na esfera, verifica-se que as lâminas se fecham porque o eletroscópio _____.

- A) perde elétrons
- B) ganha elétrons
- C) ganha prótons
- D) perde prótons

04. (UERN) Num laboratório de Física, um professor realizou os três processos de eletrização. No final do primeiro processo, os pares de corpos utilizados ficaram eletrizados com cargas de sinais iguais. Já no final do segundo e terceiro processos, os corpos utilizados ficaram com cargas de sinais diferentes. É possível que os processos de eletrização realizados tenham sido, respectivamente:

- A) Indução, contato e atrito.
- B) Contato, indução e atrito.
- C) Indução, atrito e contato.
- D) Atrito, contato e indução.

05. (UFTM-MG) A indução eletrostática consiste no fenômeno da separação de cargas em um corpo condutor (induzido), devido à proximidade de outro corpo eletrizado (indutor). Preparando-se para uma prova de Física, um estudante anota em seu resumo os passos a serem seguidos para eletrizar um corpo neutro por indução, e a conclusão a respeito da carga adquirida por ele.

Passos a serem seguidos:

- I. Aproximar o indutor do induzido, sem tocá-lo.
- II. Conectar o induzido à Terra.
- III. Afastar o indutor.
- IV. Desconectar o induzido da Terra.

Conclusão:

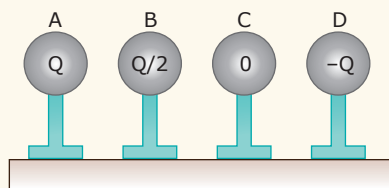
No final do processo, o induzido terá adquirido cargas de sinais iguais às do indutor.

Ao mostrar o resumo para seu professor, ouviu dele que, para ficar correto, ele deverá

- A) inverter o passo III com IV, e que sua conclusão está correta.
- B) inverter o passo III com IV, e que sua conclusão está errada.
- C) inverter o passo I com II, e que sua conclusão está errada.
- D) inverter o passo I com II, e que sua conclusão está correta.
- E) inverter o passo II com III, e que sua conclusão está errada.

06. (PUC-SP) Considere quatro esferas metálicas idênticas, separadas e apoiadas em suportes isolantes. Inicialmente as esferas apresentam as seguintes cargas: $Q_A = Q$, $Q_B = \frac{Q}{2}$, $Q_C = 0$ (neutra) e $Q_D = -Q$. Faz-se, então, a seguinte sequência de contatos entre as esferas:

Distribuição inicial das cargas entre as esferas



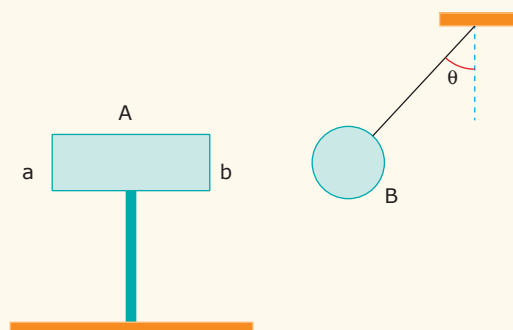
- I. Contato entre as esferas A e B e esferas C e D. Após os respectivos contatos, as esferas são novamente separadas.
- II. A seguir, faz-se o contato apenas entre as esferas C e B. Após o contato, as esferas são novamente separadas.

III. Finalmente, faz-se o contato apenas entre as esferas A e C. Após o contato, as esferas são separadas.

A carga final na esfera C, após as sequências de contatos descritas, é:

- A) $\frac{7Q}{8}$
- B) Q
- C) $\frac{-Q}{2}$
- D) $\frac{-Q}{4}$
- E) $\frac{7Q}{16}$

07. (UFPR) Dois corpos metálicos são aproximados entre si. Um deles (A) tem forma de paralelepípedo e é neutro. O outro (B) é esférico e está carregado eletricamente com carga de módulo Q . Após atingido o equilíbrio, os corpos ficam posicionados conforme ilustrado na figura a seguir. Despreze as interações elétricas com os demais componentes do sistema.



Assinale a alternativa correta.

- A) As faces a e b do corpo A adquirem concentrações de cargas de sinais contrários.
- B) O ângulo θ independe das massas de A e de B.
- C) É possível identificar o sinal da carga elétrica em excesso na esfera.
- D) O ângulo θ independe da carga em excesso contida na esfera.
- E) A única força que atua na esfera é a força elétrica.

08. (UFPE) Duas esferas metálicas iguais, A e B, estão carregadas com cargas $Q_A = +76 \mu\text{C}$ e $Q_B = +98 \mu\text{C}$ respectivamente. Inicialmente, a esfera A é conectada momentaneamente ao solo através de um fio metálico. Em seguida, as esferas são postas em contato momentaneamente. Calcule a carga final da esfera B, em μC .

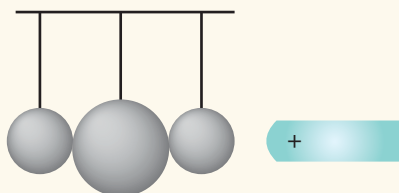
09. (FCM-PB-2016) Um corpo, originalmente neutro, ao ganhar $2 \cdot 10^5$ elétrons, assumirá qual carga?

Dado:

$$e = +/- 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C.}$$

- A) $+3,2 \cdot 10^{-14} \text{ C}$ D) $-3,2 \cdot 10^{-14} \text{ C}$
 B) $-1,25 \cdot 10^{-14} \text{ C}$ E) $-1,25 \cdot 10^{-24} \text{ C}$
 C) $+1,25 \cdot 10^{-14} \text{ C}$

10. (UFJF-MG) Três esferas metálicas neutras, eletricamente isoladas do ambiente, estão encostadas umas nas outras com seus centros alinhados. Carrega-se um dos extremos de um bastão de vidro positivamente. Este extremo carregado é aproximado a uma das esferas ao longo da linha formada por seus centros (veja a figura a seguir para uma ilustração).



Mantendo o bastão próximo, mas sem que ele toque nas esferas, estas são afastadas umas das outras, sem que se lhes toque, continuando ao longo da mesma linha que formavam enquanto estavam juntas. Podemos afirmar que após afastar-se o bastão, as esferas ficam

- A) duas delas com carga positiva e uma com carga negativa.
 B) duas delas neutras e uma com carga positiva.
 C) uma neutra, uma com carga positiva e uma com carga negativa.
 D) duas neutras e uma com carga negativa.

11. (UESPI) Uma pequena esfera condutora A, no vácuo, possui inicialmente carga elétrica Q. Ela é posta em contato com outra esfera, idêntica a ela, porém, neutra, e ambas são separadas após o equilíbrio eletrostático ter sido atingido. Esse procedimento é repetido mais 10 vezes, envolvendo outras 10 esferas idênticas à esfera A, todas inicialmente neutras. Ao final, a carga da esfera A é igual a:

- A) $\frac{Q}{2^9}$
 B) $\frac{Q}{2^{10}}$
 C) $\frac{Q}{2^{11}}$
 D) $\frac{Q}{10}$
 E) $\frac{Q}{11}$

12. (FAMECA-SP) Quatro esferas metálicas idênticas, A, B, C e D, estão inicialmente carregadas com cargas elétricas cujos valores estão indicados na tabela.

Corpo	Carga (C)
A	$-2 \cdot 10^{19} \cdot e$
B	$+6 \cdot 10^{18} \cdot e$
C	$-5 \cdot 10^{18} \cdot e$
D	$-7 \cdot 10^{18} \cdot e$

Realiza-se a seguinte sequência de contatos:

- A toca B, mantendo-se C e D à distância; as esferas são separadas.
- C toca D, mantendo-se A e B à distância; as esferas são separadas.
- A toca C, mantendo-se B e D à distância; as esferas são separadas.

Sendo $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ o valor da carga elétrica elementar, é correto afirmar que após a sequência de contatos indicados, a carga elétrica adquirida pela esfera A, em coulombs, é um valor aproximado de:

- A) -100 D) +10
 B) -1 E) -10
 C) +100

SEÇÃO ENEM

01. Durante o voo, devido ao atrito com o ar, as abelhas se eletrizam positivamente. Ao pousar em uma flor, o corpo de uma abelha induz uma separação de cargas elétricas nos grãos de pólen da flor. Nessa condição, os grãos, apesar de continuarem neutros, são atraídos eletricamente pela abelha, e muitos saltam para o corpo do inseto.

De acordo com o texto anterior, é correto afirmar que os grãos de pólen, depois que chegam à abelha,

- A) se eletrizam negativamente, aderindo ainda mais ao corpo do inseto, que, eletrizado positivamente, aumenta a atração elétrica sobre os grãos.
 B) continuam neutros, com a mesma separação de cargas, de maneira que a força de atração elétrica do inseto sobre os grãos continua existindo.
 C) continuam neutros, mas a separação de cargas desaparece, de maneira que a força de atração elétrica entre o inseto e os grãos desaparece.
 D) se eletrizam positivamente, e são repelidos eletricamente pelo inseto, que os retém através de cerdas que revestem o seu corpo.
 E) se eletrizam positivamente, e são repelidos eletricamente pelo inseto, caindo na terra logo depois que tocam no corpo do inseto.


02. O eletroscópio é um dispositivo usado para detectar se um corpo está eletricamente carregado e, em determinadas situações, pode ser útil para descobrir o sinal da carga desse corpo. O primeiro eletroscópio de que se tem notícia foi inventado por William Gilbert (1544-1603). Atualmente, o eletroscópio de folhas é bastante utilizado. Tal dispositivo consiste, basicamente, de uma esfera condutora presa a uma haste condutora, que tem na extremidade inferior duas folhas metálicas leves e flexíveis.

Considere um eletroscópio previamente eletrizado com carga $-Q$, de forma que todo o seu corpo (esfera, haste e folhas) apresente cargas negativas em excesso. Dessa forma, as folhas do eletroscópio estão afastadas por repulsão elétrica. À medida que um objeto metálico, carregado positivamente, com carga $+Q$, se aproxima da esfera do eletroscópio, sem tocá-la, as suas folhas se fecham cada vez mais. Isso acontece porque

- A) o objeto atrai parte das cargas negativas que estão nas folhas do eletroscópio, essas sobem para a esfera e, dessa forma, a quantidade de cargas negativas nas folhas diminui.
- B) o objeto repele parte das cargas positivas da esfera metálica, essas descem para as folhas e, dessa forma, vão neutralizando as cargas negativas ali existentes.
- C) a carga total do sistema (eletroscópio-objeto) é igual a zero e, pelo Princípio de Conservação das Cargas, a carga do eletroscópio deve tender a zero.
- D) as cargas negativas do eletroscópio vão se transferindo, gradualmente, para o objeto metálico e, dessa forma, a quantidade de cargas nas folhas diminui.
- E) as cargas positivas do objeto metálico vão se transferindo, gradualmente, para o eletroscópio e, dessa forma, vão anulando as cargas contidas nas folhas, que tendem a se fechar.

GABARITO

Aprendizagem

Meu aproveitamento 

Acertei _____ Errei _____

- 01. B
- 02. E
- 03. A
- 04. E
- 05. D
- 06. D
- 07. E
- 08. C

Propostos

Acertei _____ Errei _____

- | | | |
|-----------------------------|--|-----------------------------|
| <input type="radio"/> 01. A | <input type="radio"/> 05. B | <input type="radio"/> 09. D |
| <input type="radio"/> 02. B | <input type="radio"/> 06. E | <input type="radio"/> 10. C |
| <input type="radio"/> 03. B | <input type="radio"/> 07. A | <input type="radio"/> 11. C |
| <input type="radio"/> 04. B | <input type="radio"/> 08. $49 \mu\text{C}$ | <input type="radio"/> 12. B |

Seção Enem

Acertei _____ Errei _____

- 01. D
- 02. A



Total dos meus acertos: _____ de _____ . _____ %

Força Elétrica

Você sabe que é difícil erguer um saco de cimento de 50 kg do chão. Ele é muito “pesado”. Para levá-lo, temos de vencer o seu peso (que é uma força gravitacional).

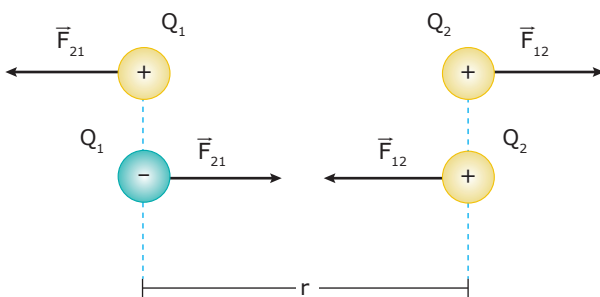
Neste módulo, serão estudadas as forças elétricas. Afinal de contas, quem é maior? As forças elétricas ou as gravitacionais?

Charles de Coulomb foi o primeiro cientista a estabelecer uma relação **quantitativa** para a força elétrica, que atua em corpos eletrizados. Coulomb realizou medições das forças elétricas que atuavam sobre cargas puntiformes, ou pontuais (objetos carregados de tamanhos desprezíveis em comparação à distância entre eles).

Ele conseguiu determinar a relação entre a força elétrica e as demais variáveis devido ao uso de uma balança de alta precisão. Tal instrumento, chamado balança de torção, será explicado mais adiante.

A LEI DE COULOMB

A figura a seguir representa duas cargas pontuais de valores Q_1 e Q_2 , separadas por uma distância r .



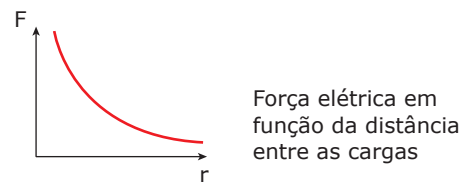
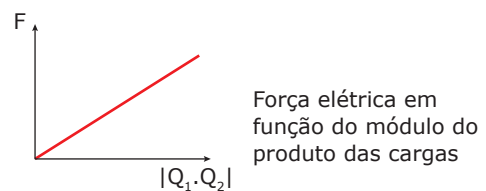
Nela, F_{12} é o módulo da força que a carga Q_1 exerce sobre a carga Q_2 , e F_{21} é o módulo da força que a carga Q_2 exerce sobre a carga Q_1 .

Essas duas forças constituem um par de **ação e reação** e, por isso, apresentam, **sempre**, o mesmo módulo, a mesma direção e sentidos opostos. Observe que a afirmação vale mesmo que as partículas tenham cargas de valores diferentes. Assim, vamos estabelecer que o módulo dessas forças vale F .

Coulomb concluiu que duas cargas puntiformes (ou pontuais) se atraem (ou se repelem) com uma força cujo módulo

1. é diretamente proporcional ao módulo do **produto das cargas**;
2. é inversamente proporcional ao **quadrado da distância** entre elas.

Veja os gráficos a seguir:



Coulomb chegou à seguinte expressão para determinar o módulo da força elétrica:

$$F = K \frac{|Q_1 \cdot Q_2|}{r^2}$$

Na equação, K , que vamos chamar de constante da Lei de Coulomb, depende do meio no qual as cargas se encontram. Naturalmente, esse meio tem de ser dielétrico. Caso contrário, os objetos eletrizados perderiam sua carga elétrica através dele.

O vácuo é o meio que permite a **maior** força elétrica entre duas cargas, e a sua constante, chamada K_0 , vale:

$$K_0 = 9,0 \cdot 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$$

A constante da Lei de Coulomb (K) pode ser escrita em função de outra constante, chamada Permissividade Dielétrica do meio (ϵ), conforme a equação:

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon}$$

A quantidade de carga elétrica contida em objetos eletrizados do nosso cotidiano (por atrito, por contato ou por indução) é muito **pequena**. Ela é da ordem de 10^{-6} C a 10^{-3} C. Por outro lado, a quantidade de carga que passa através de aparelhos elétricos usuais é **enorme**. Um chuveiro elétrico, funcionando durante 20 minutos, é percorrido por uma quantidade de carga que varia de 24 000 C a 60 000 C.

Assim, é usual trabalhar com múltiplos e submúltiplos dessa grandeza. A tabela a seguir fornece os mais usuais deles.

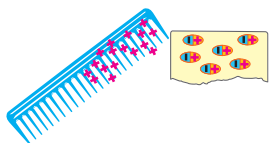
Nome	Potência de 10	Símbolo
mega	10^6	M
quilo	10^3	k
mili	10^{-3}	m
micro	10^{-6}	μ

Tabela 1.

Para se obter uma força elétrica expressa em N (newton), é necessário que os módulos das cargas estejam expressos em C (coulomb).

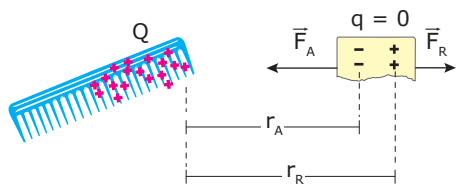
Sabemos que um pente eletrizado pode atrair pedacinhos neutros de papel, por exemplo. Como surge essa atração? Veja a seguir.

Primeiro, o pente polariza o papel, conforme mostrado na figura a seguir (figuras fora de escala).



Assim, duas forças de origem elétrica aparecem no papel:

1. Uma de atração (F_A), na parte mais próxima ao pente.
2. Outra de repulsão (F_R), no lado oposto.



A distância entre o pente e a região de atração é **menor** do que a distância entre o pente e a região de repulsão. Por isso, $F_A > F_R$. Dessa forma, o papel sofre ação de força elétrica resultante de atração para o pente, **mesmo** que a sua carga seja igual a zero. De acordo com a 3ª Lei de Newton (Ação e Reação), sobre o pente também atua uma força elétrica resultante de atração, direcionada para o papel.

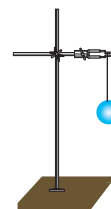
Observe que surgiu uma informação nova: é possível **haver atração** entre um objeto eletrizado e um objeto **neutro** (descarregado).

Agora, podemos falar em pêndulo elétrico, que é um outro tipo de eletroscópio.

O pêndulo elétrico usado em laboratório é formado por

1. uma esfera, de preferência condutora (mas que pode, também, ser isolante), que deve ter **peso pequeno**. Quanto mais leve a esfera, maior a sensibilidade do aparelho;
2. uma haste em forma de L e uma base para apoiá-la com estabilidade;
3. um cordão que prende a esfera à haste, que tem de ser **isolante**.

A figura a seguir mostra um típico eletroscópio de pêndulo. Note que o fio está na **vertical**, o que significa que não existe força horizontal sobre ele.

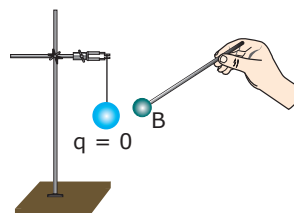


Na sala de aula ou em sua casa, o pêndulo pode ter apenas a esfera e o cordão, que você pode segurar com a mão.

O pêndulo elétrico, conforme mostrado, funciona como eletroscópio em duas situações. Vamos aproximar dele um objeto B, que pode ou não estar eletrizado, e analisar o que acontece com a esfera do pêndulo. A partir daí, você nos ajuda a chegar às conclusões possíveis.

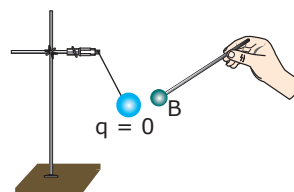
A esfera do pêndulo está descarregada

1ª situação:



Observe que a esfera **não** foi atraída pelo objeto B. Assim, você acha que o objeto está eletrizado? Acho que **não está**, concorda?

2ª situação:

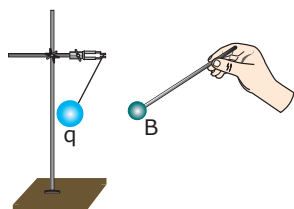


Veja, agora, que a esfera se aproximou do objeto. Isso só pode acontecer se ela, ao ser induzida (ou polarizada), receber uma força de atração maior que a de repulsão.

No segundo caso, podemos concluir que o objeto B está **carregado**, não é mesmo? E qual é o sinal da carga do objeto B? Isso **não é** possível saber. Sendo positivo ou negativo, o objeto provoca uma indução (polarização) na esfera e, assim, surge uma força resultante de atração entre os corpos.

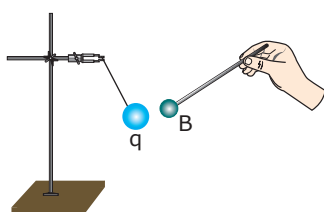
A esfera do pêndulo está eletrizada com uma carga (q) de sinal conhecido

1ª situação:



A esfera foi **repelida** pelo objeto. Isso quer dizer que a esfera e o objeto têm cargas de **mesmo** sinal. Como sabemos o sinal da carga do pêndulo, descobrimos o sinal da carga do objeto.

2ª situação:



A esfera foi atraída pelo objeto. Isso garante que o objeto está carregado com carga de sinal oposto ao da esfera? **Não**, pois ele pode estar descarregado e, ao ser induzido ou polarizado, surge a força de atração entre ele e a esfera. Agora, se você tem certeza de que o objeto **também** está eletrizado, podemos concluir que a sua carga e a do pêndulo são de sinais **contrários**. **Cuidado com a situação da figura anterior.**

A CONSTANTE DIELÉTRICA DO MEIO

Todos os meios **materiais** e **dielétricos** apresentam constante da Lei de Coulomb **menor** que a do vácuo.

Chamamos de **constante dielétrica** do meio (**C**) a razão entre a constante da Lei de Coulomb no vácuo e essa constante no referido meio, ou a razão entre a força elétrica entre duas cargas no vácuo (F_0) e a força elétrica entre essas cargas naquele meio (F), ou seja:

$$C = \frac{K_0}{K} = \frac{F_0}{F}$$

Na tabela a seguir, apresentamos meios dielétricos e a sua constante dielétrica aproximada.

Meio material	Constante dielétrica
Vácuo	1
Ar	1,0005
Vidro	4,5
Glicerina	43
Água	80

Tabela 2.

Note que a constante dielétrica do ar é praticamente igual a 1. Isso indica que as forças elétricas entre cargas no vácuo e no ar têm, praticamente, o mesmo valor.

Observe, ainda, como a constante dielétrica da água é **grande** (80). Isso significa que duas cargas elétricas mergulhadas na água exercem entre si forças elétricas 80 vezes **menores** do que aquelas que seriam exercidas caso as cargas estivessem no vácuo (ou no ar).

Esse é um dos motivos de os compostos iônicos (cujos aglomerados iônicos, ou redes iônicas, são formados por íons, cátions e ânions, unidos por interações eletrostáticas de alta intensidade), de modo geral, serem facilmente dissolvidos em água. Quando colocados nessa substância, a intensidade das forças de ligações internas entre os íons diminui bastante e ocorre a destruição da rede iônica, originando íons livres. Procure o seu professor de Química para mais informações a respeito (forças entre os íons do composto e entre os íons positivos e negativos com as moléculas de água).

A LEI DE COULOMB E A LEI DA GRAVITAÇÃO

A Lei da Gravitação Universal, que você vai estudar mais adiante, foi desenvolvida por Newton um século antes da Lei de Coulomb. Newton percebeu que duas massas (de objetos pontuais ou esféricos) se atraem por uma força que é diretamente proporcional ao produto das massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre seus centros, ou seja:

$$F = G \frac{M_1 M_2}{r^2}$$

A constante (G) tem um valor igual a:

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$$

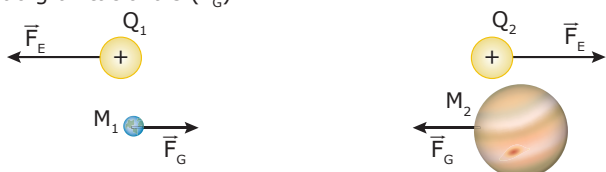
Saiba que os valores dessas constantes **não** precisam ser memorizados por você.

Apesar da **semelhança** estrutural existente entre as leis de Newton e de Coulomb, destacamos aqui duas importantes **diferenças** entre elas:

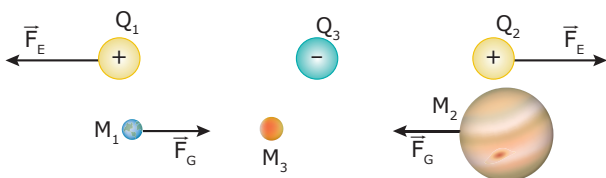
1. A força elétrica pode ser **atrativa** ou **repulsiva**, enquanto a força gravitacional é **sempre atrativa**.
2. A constante **K depende** do meio, enquanto a constante **G é independente** dele, ou seja, o seu valor é o mesmo em qualquer lugar do Universo.

Apesar de tais diferenças, essas forças apresentam uma **semelhança** importante. As forças entre dois corpos, sejam elétricas ou gravitacionais, são **independentes** da existência de outros corpos nas proximidades.

Considere dois objetos exercendo forças entre si. Na primeira situação, os objetos exercem forças elétricas (\vec{F}_E) um sobre o outro. Na segunda situação, as forças exercidas são gravitacionais (\vec{F}_G).



Se uma terceira carga (ou massa) for colocada em qualquer lugar próximo aos objetos, as forças que os dois anteriores exercem, entre si, não serão alteradas.



$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ (módulo da carga do elétron e do próton);
 $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ e $m_p = 1,7 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ (massas do elétron e do próton, respectivamente);
 $r = 5,3 \cdot 10^{-11} \text{ m}$ (distância entre o próton e o elétron).

Resolução:

O valor da força elétrica será:

$$F_E = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{(5,3 \cdot 10^{-11})^2} = 8,2 \cdot 10^{-8} \text{ N}$$

O valor da força gravitacional pode ser calculado como:

$$F_G = 6,7 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 1,7 \cdot 10^{-27}}{(5,3 \cdot 10^{-11})^2} = 3,7 \cdot 10^{-47} \text{ N}$$

Dessa forma, a força elétrica é muitas vezes (cerca de 10^{39}) maior que a força gravitacional entre o próton e o elétron. Você acha que, em seu modelo, Bohr cometeu algum erro relevante ao desprezar a força gravitacional?

- 02.** Duas cargas positivas, $Q_1 = 4,0 \mu\text{C}$ e $Q_2 = 9,0 \mu\text{C}$, encontram-se no vácuo separadas por uma distância r . Calcular a força elétrica que elas exercem entre si para $r = 1,0 \text{ cm}$, $2,0 \text{ cm}$ e $3,0 \text{ cm}$. Utilizar os valores para construir o gráfico da força entre as cargas em função da distância entre elas.

Resolução:

Para $r = 1,0 \text{ cm}$

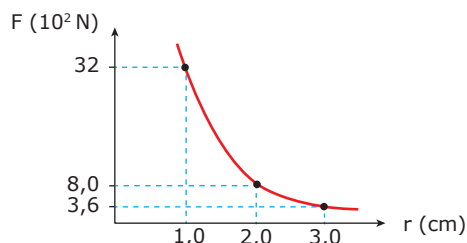
$$F = \frac{9,0 \cdot 10^9 \cdot 4,0 \cdot 10^{-6} \cdot 9,0 \cdot 10^{-6}}{(1,0 \cdot 10^{-2})^2} \Rightarrow$$

$$F = 3,2 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Para $r = 2,0 \text{ cm}$, a força será 4 vezes menor do que a força para $r = 1,0 \text{ cm}$. Assim, $F = 8,0 \cdot 10^2 \text{ N}$.

Para $r = 3,0 \text{ cm}$, a força será 9 vezes menor do que a força para $r = 1,0 \text{ cm}$. Logo, $F = 3,6 \cdot 10^2 \text{ N}$.

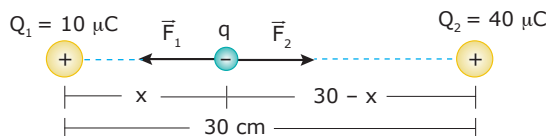
O gráfico F versus r está representado a seguir:



Esse gráfico corresponde a uma curva semelhante a uma **hipérbole**, ($F \propto 1/r^2$).

- 03.** Duas cargas puntiformes positivas, de módulos $Q_1 = 10 \mu\text{C}$ e $Q_2 = 40 \mu\text{C}$, estão fixas e separadas por 30 cm . Determinar a posição, na linha que une essas duas, na qual uma terceira carga q , negativa, deverá ser colocada para ficar em equilíbrio sob as ações das forças elétricas exercidas por Q_1 e por Q_2 .

Resolução:



CONTEÚDO NO Bernoulli Play

Desafio de Millikan

Robert A. Millikan tinha o desafio de equilibrar cuidadosamente as forças elétricas e gravitacionais em minúsculas gotículas de óleo para conseguir medir a carga elementar. Agora é a sua vez! Com esse divertido jogo, você perceberá como ocorre a interação entre um campo elétrico e um corpo carregado eletricamente. Perceba que o objeto "Raio" alterna a carga elétrica da gota de óleo: sempre que você passar por ele, a carga mudará de sinal e, com isso, a força elétrica mudará de sentido. Boa diversão e aprendizagem!



EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

- 01.** Em 1913, Niels Bohr propôs um modelo para o átomo de hidrogênio. No modelo, ele considerou que apenas a força elétrica entre próton e elétron faria o papel de força centrípeta para o elétron. Calcular os valores das forças gravitacional (\vec{F}_G) e elétrica (\vec{F}_E) que existem entre o próton e o elétron no átomo de hidrogênio. Sejam:

O único local possível para o equilíbrio de q é entre as cargas Q_1 e Q_2 . Ela sofrerá forças de atração F_1 de Q_1 e F_2 de Q_2 . Chamando a distância entre q e Q_1 de x , podemos escrever que:

$$F_R = 0 \Rightarrow F_1 = F_2 \Rightarrow \frac{K \cdot Q_1 \cdot q}{x^2} = \frac{K \cdot Q_2 \cdot q}{(30 - x)^2}$$

Simplificando e substituindo os valores, a equação fica:

$$\frac{10}{x^2} = \frac{40}{(30 - x)^2} \Rightarrow 4x^2 = (30 - x)^2$$

A única solução possível para essa equação é $x = 10$ cm.

Fica para tarefa de casa você provar que

- A) se q fosse positiva, a solução seria a mesma;
- B) é impossível q permanecer em equilíbrio do lado direito de Q_2 ou do lado esquerdo de Q_1 .

Conclusão

Você viu que, no caso do exercício resolvido 01, a força elétrica é muito maior do que a força gravitacional. Agora, vamos responder à pergunta do início do módulo.

A constante da Lei de Coulomb (K) é próxima de 10^{10} , e a constante de gravitação (G) é da ordem de 10^{-10} . Então, a razão entre elas é aproximadamente 10^{20} .

Imagine dois objetos eletrizados que possuem massa. Se o produto das suas massas (em kg^2) for **maior** do que 10^{20} vezes o produto de suas cargas (em C^2), a força gravitacional será **maior**. Caso contrário, a força elétrica é a maior delas.

Assim, a força elétrica tende a ser maior do que a gravitacional, a não ser que, pelo menos, uma das massas envolvidas seja **muito** grande. Como a massa da Terra é enorme, o saco de 50 kg é muito pesado.

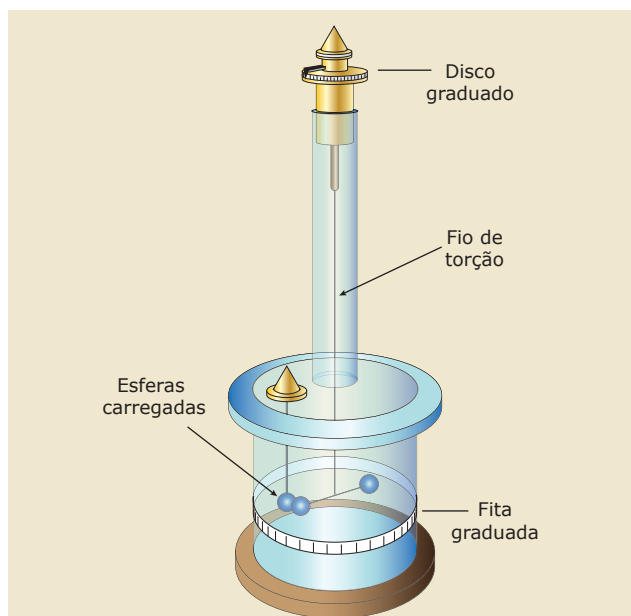
A BALANÇA DE TORÇÃO

As forças elétricas entre os objetos que Coulomb usou, em 1785, para determinar a lei que leva o seu nome eram muito pequenas. Para conseguir medições de valores precisos e confiáveis, ele utilizou uma balança capaz de oferecer a precisão de que necessitava.

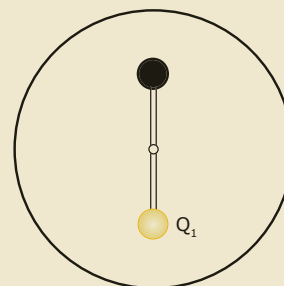
Você estudou, na 1ª série do Ensino Médio, que uma mola, comprimida ou distendida, exerce uma força elástica que é proporcional à sua deformação. O mesmo acontece quando você torce um fio de náilon, por exemplo. Nesse caso, a força exercida pelo fio é proporcional ao ângulo de torção.

A balança utilizada por Coulomb era formada por duas esferas, pequenas, condutoras e de mesma massa, presas a uma haste isolante suspensa, pelo centro, por um fio dielétrico que se prendia à parte superior do instrumento. A haste, o fio e as esferas ficavam dentro de um recipiente (transparente) para evitar que agentes externos influenciassem as medições. Vamos analisar a experiência de forma simplificada.

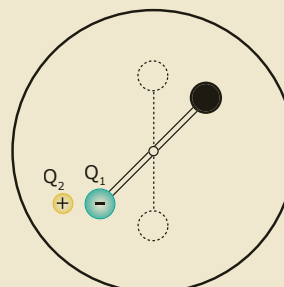
Ele eletrizava uma das esferas, por contato, com um objeto eletrizado, com carga conhecida de valor Q_1 , através de orifícios na parte superior do recipiente.



A figura a seguir mostra a haste e as esferas para o fio sem torção.



Em seguida, ele introduzia a esfera (Q_2) pelo orifício, esperava o sistema entrar em equilíbrio e media o ângulo de torção do fio. A figura seguinte mostra uma situação de equilíbrio.



Variando-se os valores das cargas Q_1 e Q_2 e mantendo sempre a mesma distância entre elas, ele media os novos ângulos de torção. Utilizando o fato de que a força que o fio exerce sobre a haste é proporcional ao ângulo de torção e, observando que essa força possui a mesma intensidade da força elétrica, Coulomb chegou à conclusão de que a força elétrica é proporcional ao módulo do produto das cargas.

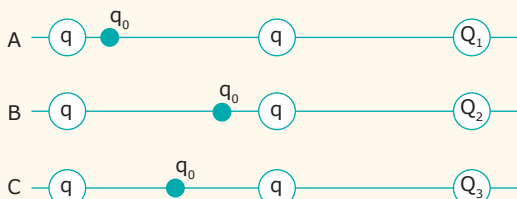
Repetindo-se a experiência para as mesmas cargas, mas variando a distância entre elas, Coulomb também percebeu que a força elétrica é inversamente proporcional ao quadrado da distância.

Simple e, também, interessante. Você não acha?

EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM



01. (UFV-MG) Quatro cargas pontuais estão dispostas ao longo de uma linha nas configurações A, B e C conforme mostra a figura a seguir. Sabe-se que todas as cargas, exceto a carga q_0 , estão fixadas rigidamente por nanoalfinetes neutros e invisíveis e que a carga q_0 é negativa e está em equilíbrio.



Em relação às cargas Q_1 , Q_2 e Q_3 , é correto afirmar que

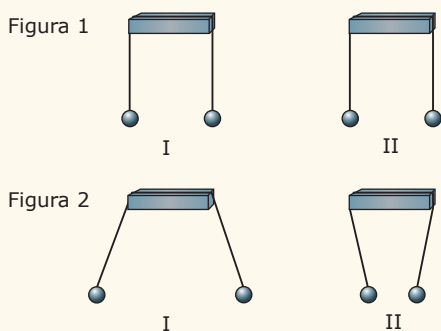
- A) $Q_1 > 0$, $Q_2 > 0$ e $Q_3 > 0$.
- B) $Q_1 < 0$, $Q_2 > 0$ e $Q_3 = 0$.
- C) $Q_1 > 0$, $Q_2 > 0$ e $Q_3 = 0$.
- D) $Q_1 < 0$, $Q_2 < 0$ e $Q_3 > 0$.

02. (UFMG) Em seu laboratório, o professor Ladeira prepara duas montagens – I e II –, distantes uma da outra, como mostrado na figura 1.

Em cada montagem, duas pequenas esferas metálicas, idênticas, são conectadas por um fio e penduradas em um suporte isolante. Esse fio pode ser de material isolante ou condutor elétrico.

Em seguida, o professor transfere certa quantidade de carga para apenas uma das esferas de cada uma das montagens.

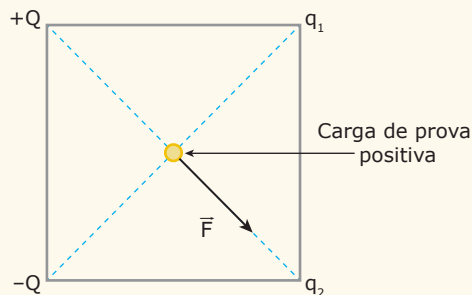
Ele, então, observa que, após a transferência de carga, as esferas ficam em equilíbrio, como mostrado na figura 2.



Considerando-se essas informações, é correto afirmar que, após a transferência de carga,

- A) em cada montagem, ambas as esferas estão carregadas.
- B) em cada montagem, apenas uma das esferas está carregada.
- C) na montagem I, ambas as esferas estão carregadas e, na II, apenas uma delas está carregada.
- D) na montagem I, apenas uma das esferas está carregada e, na II, ambas estão carregadas.

03. (FUVEST-SP) Quatro cargas pontuais estão colocadas nos vértices de um quadrado. As duas cargas $+Q$ e $-Q$ têm mesmo valor absoluto e as outras duas, q_1 e q_2 , são desconhecidas. A fim de determinar a natureza destas cargas, coloca-se uma carga de prova positiva no centro do quadrado e verifica-se que a força sobre ela é \vec{F} , mostrada na figura.



Podemos afirmar que:

- A) $q_1 > q_2 > 0$
- B) $q_2 > q_1 > 0$
- C) $q_1 + q_2 > 0$
- D) $q_1 + q_2 < 0$
- E) $q_1 = q_2 > 0$

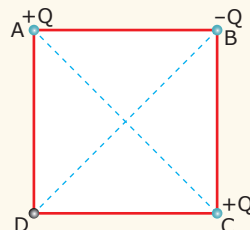
04. (UFU-MG) Duas cargas elétricas, que se encontram separadas por uma distância d em um determinado meio 1, interagem entre si com uma força elétrica F . Quando essas cargas elétricas, à mesma distância d , são introduzidas em um meio 2, elas passam a se interagir com o dobro da força anterior ($2F$). E, quando essas mesmas cargas, à mesma distância d , são introduzidas em um meio 3, elas interagem-se com a metade da força inicial ($F/2$).

Permissividade elétrica do meio ($C^2/N.m^2$)	
Substância	ϵ
Vácuo	1,0
Parafina	2,2
Óleo	4,4
Vidro	8,8

Utilizando a tabela anterior, que fornece a permissividade elétrica desses meios, relativamente ao vácuo, verifica-se que as substâncias que compõem esses meios (meio 1, meio 2 e meio 3) podem ser, respectivamente,

- A) vidro, parafina e óleo.
- B) parafina, vidro e óleo.
- C) óleo, parafina e vidro.
- D) óleo, vidro e parafina.

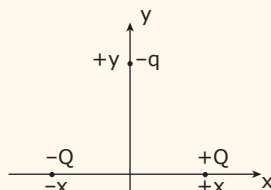
05. (PUC-SP) Três cargas puntiformes $+Q$, $-Q$ e $+Q$ estão fixas nos vértices A, B e C de um quadrado, conforme a figura.



Abandonando uma quarta carga $+Q$ no vértice D, ela

- A) se desloca na direção DC, afastando-se de Q.
- B) se desloca na direção DA, aproximando-se de Q.
- C) permanece em equilíbrio.
- D) se desloca na direção DB, afastando-se de $-Q$.
- E) se desloca na direção DB, aproximando-se de $-Q$.

- 06.** (Mackenzie-SP-2016) Dois corpos eletrizados com cargas elétricas puntiformes $+Q$ e $-Q$ são colocados sobre o eixo x nas posições $+x$ e $-x$, respectivamente. Uma carga elétrica de prova $-q$ é colocada sobre o eixo y na posição $+y$, como mostra a figura a seguir.



A força eletrostática resultante sobre a carga elétrica de prova

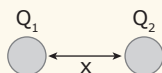
- A) tem direção horizontal e sentido da esquerda para a direita.
- B) tem direção horizontal e sentido da direita para a esquerda.
- C) tem direção vertical e sentido ascendente.
- D) tem direção vertical e sentido descendente.
- E) é um vetor nulo.

- 07.** (UERJ-2015) Em fins do século XVI, foi feita uma das primeiras aplicações práticas de uma pilha: a decomposição da água em oxigênio e hidrogênio, processo denominado eletrólise.

Já naquela época, com base nesse experimento, sugeriu-se que as forças responsáveis pelas ligações químicas apresentam a seguinte natureza

- A) nuclear.
- B) elétrica.
- C) magnética.
- D) gravitacional.

- 08.** (FADI) Duas cargas puntiformes Q_1 e Q_2 de mesmo sinal estão situadas a uma distância x entre si, conforme mostra a figura a seguir:



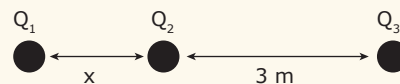
De acordo com a Lei de Coulomb, se a distância x for dobrada, a nova interação entre as cargas Q_1 e Q_2 será de

- A) repulsão, com valor duas vezes menor que a inicial.
- B) repulsão, com valor duas vezes maior que a inicial.
- C) atração, com valor quatro vezes menor que a inicial.
- D) repulsão, com valor quatro vezes menor que a inicial.
- E) atração, com valor dezesseis vezes menor que a inicial.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS



- 01.** (Unimontes-MG-2015) Três cargas $Q_1 = 16 \text{ C}$, $Q_2 = -9 \text{ C}$ e Q_3 estão posicionadas conforme figura a seguir. O valor de x , em metros, para que a força coulombiana resultante em Q_3 seja nula, é de:



- A) 4
- B) 3
- C) 2
- D) 1

- 02.** (UFJF-2017) Duas pequenas esferas condutoras idênticas estão eletrizadas. A primeira esfera tem uma carga de $2Q$ e a segunda uma carga de $6Q$. As duas esferas estão separadas por uma distância d e a força eletrostática entre elas é F_1 . Em seguida, as esferas são colocadas em contato e depois separadas por uma distância $2d$. Nessa nova configuração, a força eletrostática entre as esferas é F_2 .

Pode-se afirmar sobre a relação entre as forças é que:

- A) $F_1 = 3F_2$
- B) $F_1 = F_2/12$
- C) $F_1 = F_2/3$
- D) $F_1 = 4F_2$
- E) $F_1 = F_2$

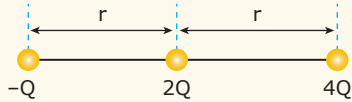
- 03.** (UDESC) Duas cargas puntiformes $+4q$ e $+q$ estão dispostas ao longo de uma linha reta horizontal e separadas por uma distância d . Em que posição x , ao longo da linha horizontal, e em relação à carga $+4q$, deve-se localizar uma terceira carga $+q$ a fim de que esta adquira uma aceleração nula?

- A) $2d/3$
- B) $3d/2$
- C) $5d/4$
- D) $d/3$
- E) $3d/4$

- 04.** (FGV-SP) Sendo k a constante eletrostática e G a constante de gravitação universal, um sistema de dois corpos idênticos, de mesma massa M e cargas de mesma intensidade $+Q$, estarão sujeitos a uma força resultante nula quando a relação $\frac{M}{Q}$ for igual a:

- A) $\frac{k}{G}$
- B) $\frac{G}{k}$
- C) $\sqrt{\frac{k}{G}}$
- D) $\sqrt{\frac{G}{k}}$
- E) $\frac{k^2}{G}$

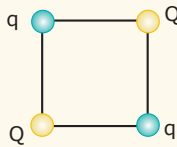
05. (UFF-RJ) Considere o valor F como sendo o módulo da força eletrostática entre duas cargas puntiformes, no vácuo, cada uma com intensidade Q e separadas por uma distância r . A figura a seguir mostra três cargas, no vácuo, de valores $-Q$, $+2Q$ e $+4Q$. A primeira e a segunda, bem como a segunda e a terceira, estão separadas por uma distância r .



A alternativa que representa a força eletrostática resultante que atua em cada carga é:

- | | carga $-Q$ | carga $+2Q$ | carga $+4Q$ |
|----|------------|-------------|-------------|
| A) | | | |
| B) | | | |
| C) | | | |
| D) | | | |

06. (UFPE) Quatro cargas elétricas puntiformes, de intensidades Q e q , estão fixas nos vértices de um quadrado, conforme indicado na figura. Determine a razão Q/q para que a força sobre cada uma das cargas Q seja nula.

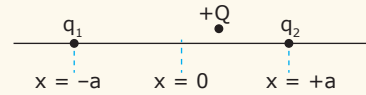


- | | | |
|--------------------------|-----------------|-----------------|
| A) $-\frac{\sqrt{2}}{4}$ | C) $-\sqrt{2}$ | E) $-4\sqrt{2}$ |
| B) $\frac{\sqrt{5}}{5}$ | D) $-2\sqrt{2}$ | |

07. (Mackenzie-SP) Dois pequenos corpos, A e B, distantes 1,00 cm um do outro, interagem entre si com uma força eletrostática de intensidade F_1 . A carga elétrica q_A deve-se a um excesso de n_A prótons em relação ao número de elétrons do corpo, e a carga q_B resulta de um excesso de n_B elétrons em relação ao número de prótons do corpo. Num processo eletrostático, o corpo B perde $2n_B$ elétrons, o corpo A mantém sua carga elétrica inalterada e a distância entre eles também é mantida. A nova força de interação eletrostática entre esses corpos terá intensidade:

- | | |
|--------------------------|-----------------|
| A) $F_2 = \frac{F_1}{4}$ | D) $F_2 = 2F_1$ |
| B) $F_2 = \frac{F_1}{2}$ | E) $F_2 = 4F_1$ |
| C) $F_2 = F_1$ | |

08. (UFC-CE) As cargas mostradas na figura, q_1 e q_2 , tem o mesmo módulo e estão fixas nas posições $x = -a$ e $x = +a$, respectivamente. A carga Q é positiva e está livre.



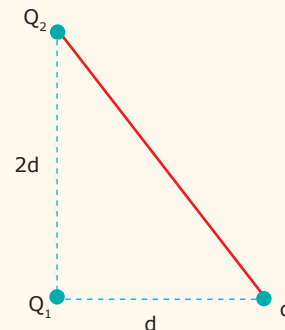
Sobre a condição de equilíbrio para a carga Q podemos afirmar:

- O equilíbrio é possível em qualquer posição sobre o eixo x , dependendo da razão entre os módulos de Q e de q_1 .
- A carga Q ficará em equilíbrio na posição $x = 0$ somente se q_1 e q_2 forem ambas positivas.
- A carga Q ficará em equilíbrio na posição $x = 0$ se q_1 e q_2 forem ambas positivas ou ambas negativas.
- A carga Q ficará em equilíbrio na posição $x = 0$ somente se q_1 e q_2 tiverem sinais contrários.
- Não há condição de equilíbrio sob hipótese alguma.

09. (UERJ) Duas pequenas esferas metálicas iguais, A e B, se encontram separadas por uma distância d . A esfera A tem carga $+2Q$ e a esfera B tem carga $-4Q$. As duas esferas são colocadas em contato, sendo separadas, a seguir, até a mesma distância d . A relação entre os módulos das forças \vec{F}_1 e \vec{F}_2 de interação entre as esferas, respectivamente, antes e depois do contato, é:

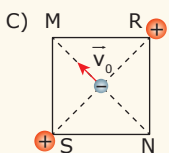
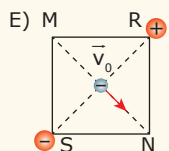
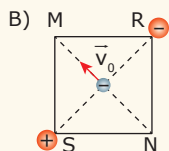
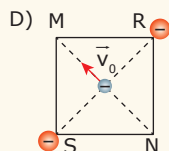
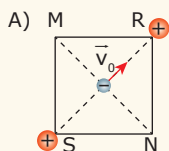
- $|\vec{F}_1| = 8 |\vec{F}_2|$
- $|\vec{F}_1| = 3/2 |\vec{F}_2|$
- $|\vec{F}_1| = 2/3 |\vec{F}_2|$
- $|\vec{F}_1| = 3 |\vec{F}_2|$
- $|\vec{F}_1| = 8/9 |\vec{F}_2|$

10. (CEFET-MG) Três cargas, q , Q_1 e Q_2 , pontuais, tais que $Q_2 = 5Q_1$, estão fixas nos vértices de um triângulo retângulo de catetos d e $2d$, como mostrado na figura a seguir. Sendo F a força exercida por Q_1 em q , então o valor da força de Q_2 em q é expressa por:



- | | |
|---------------------------|---------------------------|
| A) $F \frac{\sqrt{5}}{5}$ | D) $F \frac{\sqrt{3}}{3}$ |
| B) $5F\sqrt{5}$ | E) F |
| C) $F\sqrt{3}$ | |

03. Duas cargas, de mesmo módulo Q , estão fixas nos vértices opostos de um quadrado imaginário e apoiadas sobre uma mesa. Um elétron é lançado da posição central do quadrado com velocidade de módulo v_0 , suficiente para que ele consiga deslocar-se, inicialmente, por uma distância pelo menos igual à metade da diagonal do quadrado. Despreze quaisquer tipos de atrito. A alternativa na qual o elétron pode oscilar em torno de sua posição inicial é:



GABARITO

Aprendizagem

- 01. B
- 02. C
- 03. D
- 04. C
- 05. D
- 06. A

Propostos

- 01. D
- 02. A
- 03. A
- 04. C
- 05. A
- 06. D
- 07. C
- 08. C
- 09. A
- 10. E
- 11. A
- 12. B

Seção Enem

- 01. E
- 02. D
- 03. C

Meu aproveitamento

Acertei _____ Errei _____

- 07. B
- 08. D

Acertei _____ Errei _____

Acertei _____ Errei _____



Total dos meus acertos: _____ de _____ . _____ %

Campo Elétrico

Sabemos que, para puxar uma cadeira ou empurrar uma geladeira, precisamos colocar a "mão na massa". Ou seja, temos de fazer contato físico com o objeto sobre o qual queremos exercer uma força. Atualmente, acredita-se que jamais vamos conseguir puxar a cadeira apenas com o olhar. Então, como podem existir, por exemplo, forças elétricas e forças gravitacionais sem que haja contato entre os objetos?

Veja, neste módulo, como isso acontece.

Primeiramente, devemos nos lembrar de como multiplicar um vetor por um escalar (n). Sempre que isso acontece, obtemos um outro vetor. Se o escalar (n) é

- A) **positivo**, o novo vetor terá a **mesma direção** e o **mesmo sentido** do vetor original.
- B) **negativo**, o vetor obtido estará na **mesma direção**, mas terá **sentido contrário** ao do vetor original.

OS CAMPOS GRAVITACIONAL E ELÉTRICO



É possível falar de campo de forças, gravitacional ou elétrico, de duas formas. Pode ser do ponto de vista do objeto que

1. está produzindo (gerando) o referido campo;
2. quando colocado em uma região onde há um campo de forças, tendo propriedades específicas, sofre a ação desse campo.

Imagine uma região do espaço. Se nela colocarmos um objeto que possua massa ou carga elétrica, esse objeto vai criar, no espaço à sua volta, um campo gravitacional ou um campo elétrico, respectivamente. Ou seja, a simples presença de massa ou de carga elétrica naquela região faz com que nela apareça um campo de forças (1º ponto de vista).

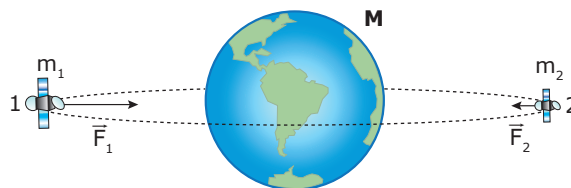
Agora, imagine que, num certo local do espaço, existe um campo de forças e que um objeto foi levado para tal região. Se for um campo gravitacional, um objeto que tem massa vai sofrer, do campo, uma força de origem gravitacional. Sendo o campo elétrico, uma carga elétrica, lá colocada, sofre uma força de origem elétrica (2º ponto de vista).

Ou seja, surgem forças, gravitacionais ou elétricas, entre massas ou cargas elétricas, respectivamente, mesmo a distância, através dos campos de força que elas produzem no espaço em torno delas. Dizemos, então, que existe uma interação entre o campo e o objeto nele colocado. Ou seja, o campo, em contato com o corpo, exerce sobre este uma força.

A DEFINIÇÃO DE CAMPO GRAVITACIONAL



Considere dois satélites (1 e 2), de massas m_1 e m_2 , em órbita ao redor da Terra. Eles têm massas diferentes, mas estão em uma mesma órbita, tendo distâncias iguais ao centro da Terra. Sejam F_1 e F_2 as forças que a Terra exerce sobre eles (e que os mantêm em órbita).



A Terra cria, em torno dela, um campo gravitacional (chamado de gravidade). Qual é o seu valor?

Se o satélite 1 tem massa maior do que o satélite 2, ele receberá, do campo, uma força proporcionalmente maior. Ou seja, dividindo F_1 por m_1 e F_2 por m_2 , encontramos o mesmo número, que é o valor do campo gravitacional (g), no local onde se encontram os satélites:

$$\frac{F_1}{m_1} = \frac{F_2}{m_2} = \text{constante} = g$$

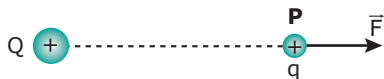
O campo gravitacional criado pela Terra (ou por qualquer outro objeto que tenha massa) pode ser obtido dividindo-se a força que ela exerce sobre um corpo colocado em seu campo gravitacional pela massa desse corpo. Observe que a gravidade **não depende** da massa do corpo que está sofrendo a sua ação (um corpo de massa maior recebe maior força).

Você sabe como determinar a força gravitacional. Então, vamos calcular o campo gravitacional criado por um corpo esférico de massa M em um ponto que está a uma distância r do seu centro:

$$g = \frac{F}{m} = \frac{G \frac{M \cdot m}{r^2}}{m} \Rightarrow g = G \frac{M}{r^2}$$

A DEFINIÇÃO OPERACIONAL DE CAMPO ELÉTRICO

Considere uma carga Q , positiva, criando um campo elétrico na região ao seu redor e uma outra carga q ($q > 0$), colocada em um ponto P desse campo. A força elétrica \vec{F} que atua sobre a carga q será de repulsão, conforme mostra a figura.



Se trocarmos a carga q por uma $2q$, notamos que o módulo de força que atua sobre a carga $2q$ será $2F$. Para uma carga igual a $3q$, o módulo de força será $3F$, e assim sucessivamente.

Então, concluímos que a razão entre o módulo da força elétrica F e a carga q colocada no campo é uma constante, para um dado ponto do campo elétrico.

Podemos escrever que:

$$\frac{F}{q} = \frac{2F}{2q} = \frac{3F}{3q} = \dots = \text{constante} = E$$

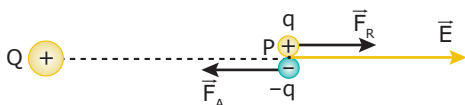
Essa constante representa o valor do campo elétrico \vec{E} no ponto P . O campo elétrico é uma grandeza vetorial. Por isso, a definição operacional de campo elétrico é:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

Destacamos duas observações importantes:

1. A unidade de campo elétrico é o newton por coulomb (N/C). Um campo elétrico de módulo igual a 200 N/C, por exemplo, indica que uma carga de 1 C colocada nesse campo sofre a ação de uma força elétrica de módulo igual a 200 N.
2. O campo elétrico em um ponto depende da carga geradora do campo (carga fonte, Q) e não da carga que sofre a ação desse campo (carga de prova, q), pois, aumentando-se o valor de q , o módulo de \vec{F} também aumenta, e a razão F/q permanece constante.

O campo elétrico é uma grandeza vetorial. Vamos, agora, determinar a sua direção e seu sentido.



Na figura anterior, temos uma carga Q , positiva, criando um campo elétrico \vec{E} no ponto P . Nesse ponto, foram colocadas duas cargas de prova que sofrem a ação do campo gerado por Q .

Naturalmente, a positiva sofre ação de uma força para a direita, e a negativa, de uma força para a esquerda.



Agora, temos uma carga $-Q$, negativa, gerando um campo elétrico E no ponto P . Nele, foram colocadas duas cargas de prova que sofrem a ação do campo criado por $-Q$. Você sabe que a positiva sofre ação de uma força para a esquerda, e a negativa, uma força para a direita.

Da definição de campo, podemos escrever:

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E}$$

Essa é uma multiplicação de um vetor por um escalar. Assim, a força e o campo elétrico têm a mesma direção e, se a

1. carga q é positiva, o **mesmo sentido**.
2. carga q é negativa, **sentidos opostos**.

Concluímos, então, que o campo gerado por uma carga **positiva** Q , em um ponto à sua volta, começa nesse ponto, está na mesma direção da reta que o une à carga Q e aponta em sentido oposto à carga Q . Ou seja, a carga positiva gera um campo que, em cada ponto do espaço, se afasta dela.

Ao contrário, a carga **negativa** $-Q$ gera um campo na mesma direção da reta que a liga ao ponto, começa neste e aponta para a carga geradora. Tomando os exemplos das figuras anteriores e retirando-se as cargas (q e $-q$), o campo no ponto P continua a existir e está representado nas figuras a seguir:



CAMPO ELÉTRICO DE UMA CARGA PUNTIFORME

Considere uma carga Q , pontual, criando um campo elétrico no espaço à sua volta e uma pequena carga q colocada em um ponto P , a uma distância r da carga Q . Como as cargas são puntiformes, o módulo da força elétrica \vec{F} que atua sobre q pode ser calculado pela Lei de Coulomb.

Assim, podemos determinar o módulo do campo elétrico como:

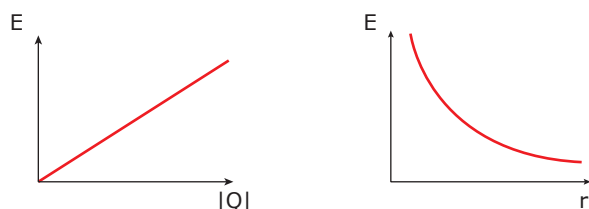
$$E = \frac{F}{|q|} = \frac{k \frac{|Q \cdot q|}{r^2}}{|q|} \Rightarrow E = k \frac{|Q|}{r^2}$$

Essa expressão reforça o fato de que o campo elétrico depende apenas da carga geradora do campo e não da carga de prova.

De fato, em qualquer arranjo de cargas, o campo elétrico depende de três elementos:

1. da(s) carga(s) geradora(s) do campo.
2. do meio onde as cargas se acham (note a constante da Lei de Coulomb (K) na equação).
3. dos aspectos geométricos do campo (veja a presença da distância (r) na equação).

A seguir, estão os gráficos do módulo do campo elétrico em função do módulo da carga Q (carga fonte) e em função da distância do ponto até a carga fonte (r).

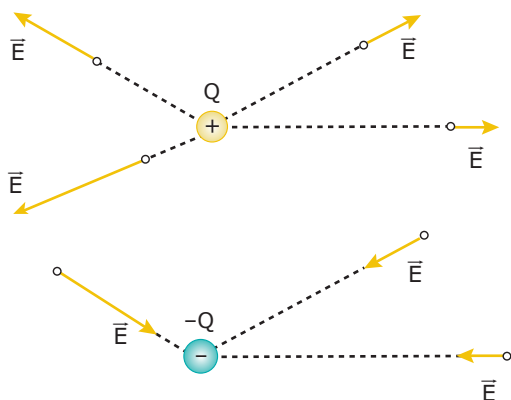


O VETOR CAMPO ELÉTRICO E AS LINHAS DE FORÇA

O campo elétrico criado por uma carga, assim como o campo gravitacional da Terra, não pode ser visto nem tocado. Para representá-lo, ou seja, para permitir uma "visualização" de como ele é, desenhamos

1. o vetor campo elétrico, quando queremos saber como é o campo em um ponto do espaço;
2. as linhas de força do campo elétrico, quando estamos interessados em perceber como é o campo numa região do espaço em torno da carga (diversos pontos ao mesmo tempo).

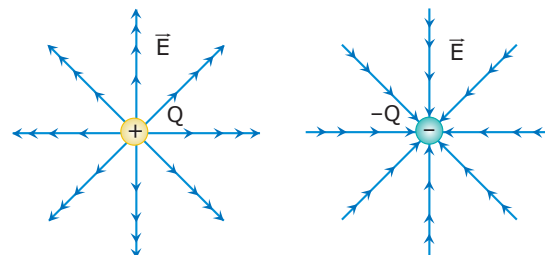
Veja dois exemplos dos vetores campo elétrico em determinados pontos do espaço:



Foi possível notar a influência da distância r no tamanho do vetor campo elétrico, em cada um dos pontos em que foram desenhados?

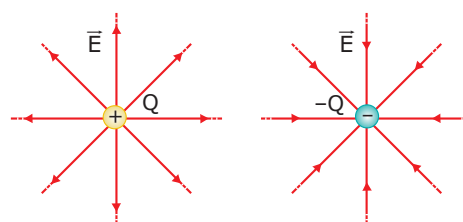
Se a carga é negativa, os vetores, em todos os pontos do espaço em torno dela, começam nesses pontos e apontam para ela.

Um fato importante a ser observado, conforme citado, é que o campo existe, em cada ponto, sem que seja necessário de nele existir uma outra carga. As figuras a seguir mostram os vetores campo elétrico em vários pontos em volta de uma carga positiva e de uma carga negativa, isoladas e muito distantes uma da outra.



As linhas de força do campo elétrico foram propostas por Michael Faraday. Tais linhas dariam uma ideia de como seria o campo elétrico no espaço, como um todo, em volta da carga. Tomando a figura anterior e ligando-se os vetores por uma reta, teremos uma linha de força do campo elétrico.

As figuras a seguir mostram as linhas de força do campo elétrico em torno das cargas pontuais positiva e negativa, isoladas e afastadas uma da outra.



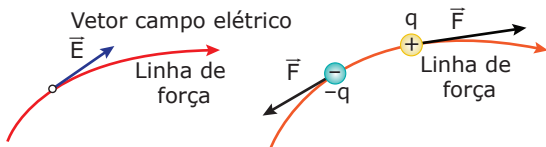
Nelas, as linhas estão no plano do papel. Entretanto, as linhas de força estão presentes em todo o espaço tridimensional em torno da carga. Será que isso lembra algum animal marinho?

Observe que as linhas de força do campo elétrico "divergem" da carga **positiva** e "convergem" para a **negativa**. Isso é um fato verdadeiro, mesmo que a carga não seja puntiforme. Olhando para as linhas de força, notamos os pontos do espaço nos quais o campo elétrico é mais intenso, assim como para onde esse campo aponta.

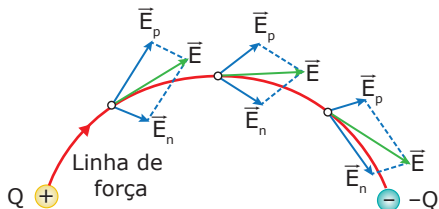
As linhas de força do campo elétrico apresentam cinco propriedades importantes:

1. O campo elétrico é mais intenso na região onde a concentração de linhas de força é mais elevada (maior densidade de linhas). Veja, nas figuras anteriores, que as linhas estão mais próximas junto às cargas, o que significa que aí o campo é mais intenso – inversamente proporcional ao quadrado da distância r .
2. As linhas de força são desenhadas de forma que o vetor campo elétrico \vec{E} , em cada ponto, seja **tangente** e no **mesmo sentido** da linha de força que passa por esse ponto. A força elétrica (\vec{F}) que atua sobre uma carga q , colocada no ponto, também é um vetor tangente à linha de campo elétrico, sendo orientada:

- A. No mesmo sentido da linha de força se $q > 0$.
- B. Em sentido oposto à linha de força se $q < 0$.

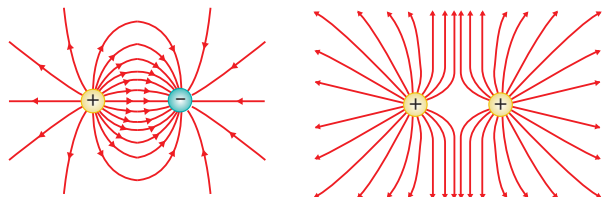


3. Duas ou mais linhas de força **nunca** se cruzam (ou seja, por um ponto do espaço passa uma única linha de campo). Mas, no **mesmo** ponto do espaço, podem haver **vários vetores** campo elétrico, criados por cargas distintas. Se duas cargas estivessem próximas, as linhas de força geradas por cada uma individualmente se "cortariam". Assim, a presença de outras cargas faz com que as linhas de força sofram alterações em relação às linhas criadas por cada uma individualmente. Veja os vetores campo elétrico e uma linha de força gerados por um sistema de duas cargas pontuais, de mesmo módulo, próximas uma da outra, sendo uma positiva e a outra negativa.

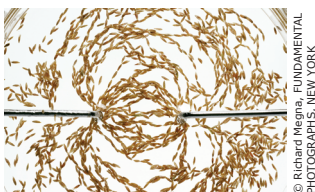


Os vetores **azuis** mostram os campos elétricos criados pelas cargas **positiva, E_p** , e **negativa, E_n** (o tamanho deles é função da distância até cada carga). Os vetores **verdes** (a soma vetorial dos azuis em cada ponto) mostram os campos resultantes em cada posição. O traço vermelho é a linha de força do campo naquela região.

As figuras a seguir mostram como são as linhas de força de um sistema de duas cargas pontuais de mesmo módulo – a figura à esquerda, com cargas de sinais opostos, e a figura à direita, com cargas de mesmo sinal.

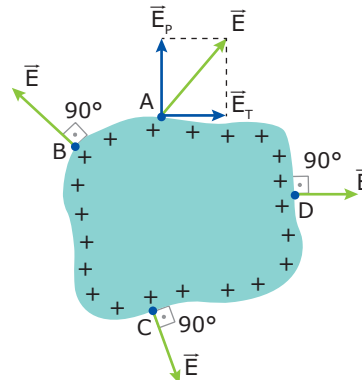


A fotografia seguinte mostra sementes de grama sob a presença de um campo elétrico. Na ponta de cada haste metálica, existe uma carga elétrica pontual. Note que as sementes tendem a se alinhar às linhas de força do campo elétrico.



Tente imaginar, a partir das figuras, como são vistas as linhas de força no espaço tridimensional. Interessante, não?

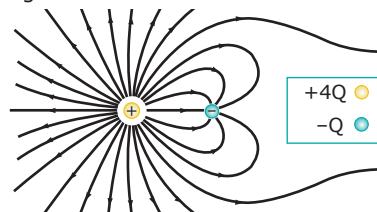
4. O vetor campo elétrico é sempre perpendicular à superfície do objeto eletrizado que o gerou (quando esse objeto se encontra em equilíbrio eletrostático) e, assim, as linhas saem ou chegam ao objeto, sempre perpendicularmente à sua superfície. Veja o campo elétrico no ponto A. Se ele pudesse ser como foi desenhado, haveria uma componente do campo tangente à superfície (E_T).



Essa componente faria as cargas se movimentarem em torno da superfície do condutor. Num corpo em equilíbrio eletrostático, as cargas não se deslocam ao longo dele. Logo, tal componente não existe em um corpo que esteja em equilíbrio eletrostático.

5. O número de linhas que chegam à superfície do objeto, ou que saem dela, é proporcional à quantidade de carga que o corpo possui.

Veja a seguir:



Observe que chegam apenas sete linhas à carga negativa $-Q$, enquanto vinte e oito linhas saem da carga positiva $4Q$.

CONTÉÚDO NO Bernoulli Play

Campos elétricos de cargas pontuais

Esse jogo desafiador permite visualizar o campo elétrico formado por uma ou mais cargas puntiformes. Você deve descobrir qual(is) carga(s) gera(m) o diagrama de campo elétrico apresentado em cada fase arrastando aquela(s) que você julgar ser(em) responsável(is) pela formação do campo para o(s) local(is) tracejado(s).



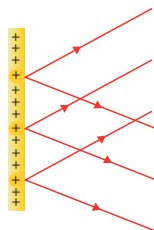
O diagrama tem suas limitações, pois mostra o campo elétrico apenas nas proximidades das cargas e apenas em duas dimensões. Além disso, as forças de interação gravitacional são desconsideradas. Boa atividade!

O CAMPO ELÉTRICO UNIFORME



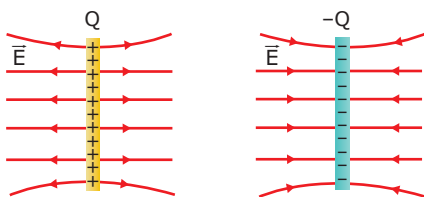
O campo elétrico uniforme é muito importante devido às múltiplas aplicações que ele possui. Ele é produzido por placas planas eletrizadas e extensas.

Considere a figura a seguir:



Veja que as linhas que saem das três cargas positivas destacadas estariam se cruzando e, como sabemos, isso não pode acontecer.

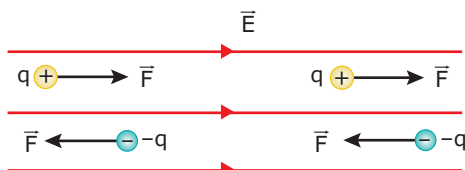
Considere duas placas eletrizadas com cargas de mesmo módulo e bem distantes uma da outra. As linhas dos seus campos de força, que não se cruzam, apresentam o comportamento mostrado a seguir:



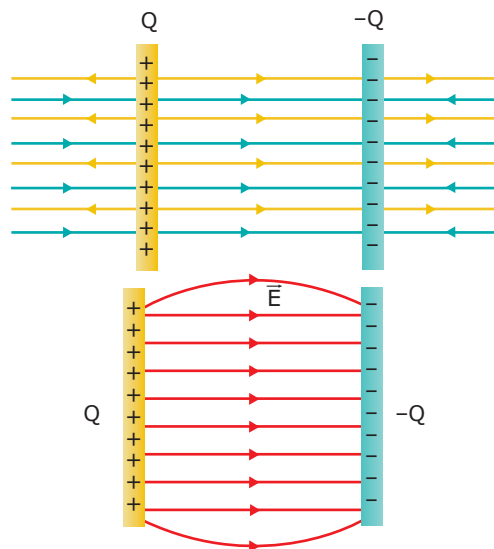
Veja que, próximo às placas, na região central, as linhas são paralelas e igualmente espaçadas. Como sabemos, o valor do campo é representado pela distância entre as linhas de força. Assim, concluímos que, em qualquer ponto dessa região, o campo apresenta o **mesmo valor**, a **mesma direção** e o **mesmo sentido**, ou seja, ele é um **campo uniforme**. Isso significa que o módulo do campo elétrico uniforme **não** varia inversamente com o quadrado da distância à carga fonte. Observe que o campo é uniforme apenas na região central da placa e para pontos próximos a ela (comparados à sua dimensão).

Como o campo tem a mesma intensidade em pontos centrais e próximos às placas, uma carga q receberá forças de mesmo módulo em qualquer um desses pontos em que for colocada. A força que atua na carga positiva tem o mesmo sentido do campo e, na negativa, tem sentido contrário a ele.

Veja a figura a seguir:

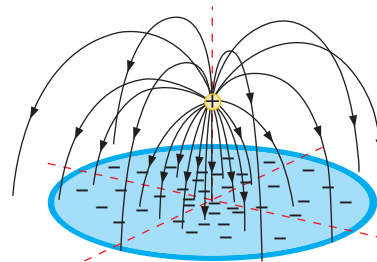
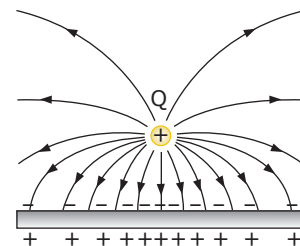


Se tivermos duas placas eletrizadas, com cargas de mesmo módulo e de sinais opostos, próximas uma da outra, os campos dessas irão se somar vetorialmente, de modo que o campo resultante na região externa às placas é nulo e, na região entre as placas, é uniforme e duas vezes mais intenso que o de uma placa isoladamente (apenas na região **central** das placas).

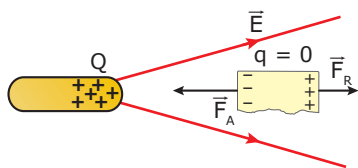


Fica como exercício você provar que, se as placas tivessem cargas de mesmo valor e sinal, o campo existiria apenas na região externa às placas e seria nulo na região entre elas.

As figuras a seguir mostram uma carga puntiforme, positiva, colocada próximo a uma placa condutora, extensa e neutra. A placa ficará induzida. Veja como são as linhas de força do campo elétrico na região entre a carga e a placa em duas e três dimensões, respectivamente.

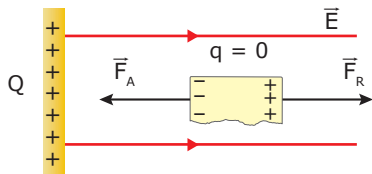


No módulo sobre a Lei de Coulomb, vimos que um dielétrico pode ser atraído por um objeto eletrizado. Vejamos isso do ponto de vista do campo elétrico. Considere um pedacinho de papel próximo a um bastão eletrizado.



A parte do papel que está polarizada negativamente sofre ação de uma força em sentido contrário à linha de força, e a parte que está polarizada positivamente recebe uma força no mesmo sentido dela. Como o campo não é uniforme (mais intenso onde as linhas estão mais próximas), a força na lateral negativa é maior que a força na lateral positiva, gerando uma força resultante de atração.

Mas, o que acontecerá se o papel for colocado próximo a uma placa eletrizada? O papel, apesar de polarizado, não será atraído, nem repelido. O campo, sendo uniforme, tem o mesmo valor em qualquer ponto. Assim, as forças de atração e de repulsão têm o mesmo módulo (produzindo uma força resultante nula) e o pedacinho de papel permanecerá onde foi colocado.



MOVIMENTO DE UMA CARGA ELÉTRICA EM UM CAMPO ELÉTRICO UNIFORME

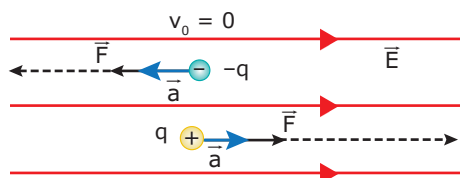


A seguir, discutiremos alguns tipos de movimentos que um objeto eletrizado, de peso desprezível, pode experimentar dentro de um campo elétrico uniforme.

1º caso:

A carga q é colocada em repouso ($v_0 = 0$) dentro do campo.

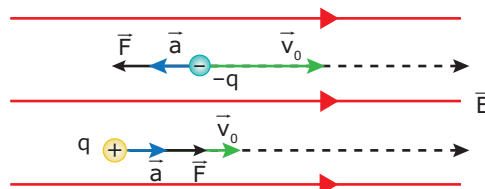
O campo, sendo uniforme, aplica sobre as cargas **forças constantes** e, portanto, as partículas possuem acelerações também constantes. Como foram abandonadas, elas deslocam-se ao longo da linha de força (a positiva, no sentido da linha e a negativa, em sentido oposto), sempre aumentando o módulo de suas velocidades. Cada uma delas estará sujeita a um movimento retilíneo uniformemente acelerado.



2º caso:

A carga q é lançada com uma velocidade \vec{v}_0 paralela à linha de força ($\vec{v}_0 // \vec{E}$).

A situação é idêntica ao caso anterior em termos de forças e acelerações (as forças e as acelerações são constantes). Temos aqui, porém, de considerar o sentido da velocidade inicial em relação ao sentido da aceleração. Observe o que acontece se as cargas são lançadas no mesmo sentido do campo.



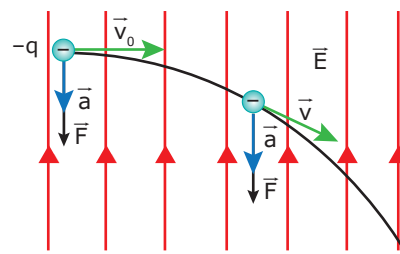
As duas deslocam-se no mesmo sentido da linha de força (sentido da velocidade inicial). As cargas apresentam movimentos com aceleração constante. A positiva, cuja aceleração aponta para o mesmo sentido de \vec{v}_0 , aumenta sua velocidade. A negativa, cuja aceleração está oposta a \vec{v}_0 , tem o módulo de sua velocidade diminuído. Se acontecer de ela atingir o repouso ainda dentro do campo, a situação torna-se idêntica à situação discutida no 1º caso.

Fica para tarefa de casa determinar os movimentos das cargas lançadas em sentido oposto ao campo.

3º caso:

A carga q é lançada com uma velocidade inicial v_0 perpendicular à linha de força ($\vec{v}_0 \perp \vec{E}$).

Considere uma carga negativa. A aceleração e a força que atuam sobre essa carga têm, todo o tempo, sentido oposto ao do campo. A força e a velocidade inicial são perpendiculares entre si. Após o início do movimento, a força continua vertical para baixo, mas a velocidade será tangente à trajetória em cada instante. Logo, a força e a velocidade não são mais perpendiculares. Por isso, o movimento será parabólico, de velocidade de módulo crescente e concavidade em sentido oposto ao campo – igual ao movimento de uma moeda lançada de cima de uma mesa, por exemplo.

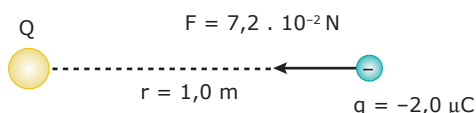


Como exercício, demonstre que uma carga positiva terá movimento parabólico com a concavidade no mesmo sentido do campo.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

01. Uma carga pontual Q exerce sobre uma carga de prova $q = -2,0 \mu\text{C}$ uma força $F = 7,2 \cdot 10^{-2} \text{ N}$, horizontal e voltada para a esquerda, conforme está representado na figura a seguir. As cargas estão no ar e a distância entre elas vale $r = 1,0 \text{ m}$.

- Determinar o sentido e o valor do campo elétrico no ponto onde a carga q se encontra.
- Determinar o sinal e o módulo de Q .
- Construir o gráfico campo elétrico em função da distância até Q ($E \times r$).



Resolução:

- Como $q < 0$, os vetores força e campo elétrico apresentam sentidos opostos. Portanto, o campo elétrico no ponto onde a carga q se encontra é horizontal e voltado para a direita. O valor desse campo é:

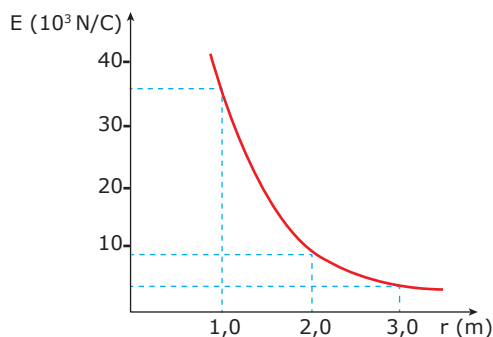
$$E = \frac{F}{q} = \frac{7,2 \cdot 10^{-2} \text{ N}}{2,0 \cdot 10^{-6} \text{ C}} = 3,6 \cdot 10^4 \text{ N/C}$$

- As cargas Q e q possuem sinais opostos, pois a força entre elas é atrativa. Como $q < 0$, concluímos que $Q > 0$. O módulo de Q pode ser calculado a partir da expressão para o cálculo do campo gerado por uma carga pontual:

$$\leftarrow E = \frac{K \cdot Q}{r^2} \Rightarrow 3,6 \cdot 10^4 = \frac{9,0 \cdot 10^9 \cdot Q}{1,0^2} \Rightarrow \leftarrow Q = 4,0 \cdot 10^{-6} \text{ C} = 4,0 \mu\text{C}$$

- O campo de uma carga puntiforme é inversamente proporcional ao quadrado da distância até a carga. Assim, o valor do campo em $r = 2,0 \text{ m}$ ($E = 9,0 \cdot 10^3 \text{ N/C}$) é quatro vezes menor que em $r = 1,0 \text{ m}$ ($36 \cdot 10^3 \text{ N/C}$). Em $r = 3,0 \text{ m}$ ($E = 4,0 \cdot 10^3 \text{ N/C}$), o campo é nove vezes menor que em $r = 1,0 \text{ m}$.

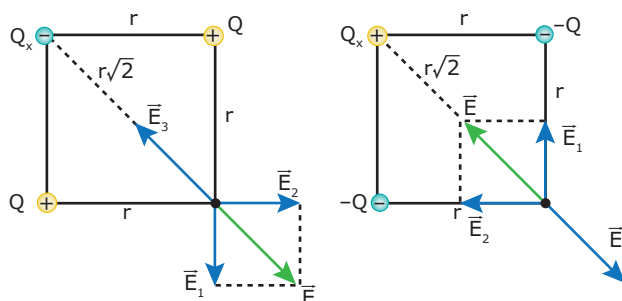
Veja o gráfico a seguir:



02. Duas cargas pontuais de módulos (Q) iguais e de mesmo sinal estão fixas nos vértices opostos de um quadrado. Determinar o módulo e o sinal de uma terceira carga (Q_x) colocada em um dos vértices livres, de modo a fazer com que o campo resultante, no quarto vértice, seja nulo.

Resolução:

As cargas (Q) produzem campos (E_1 e E_2), cada um de valor KQ/r^2 que, somados vetorialmente (diagonal de um quadrado), dão como resultado $E = \sqrt{2}KQ/r^2$.



A terceira carga (Q_x) deve produzir um campo (\vec{E}_3) capaz de anular o campo (E).

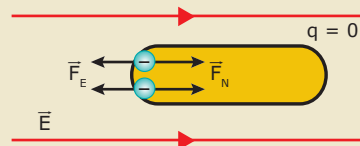
Assim:

$$E_3 = E \Rightarrow K \frac{|Q_x|}{(\sqrt{2}r)^2} = \sqrt{2}K \frac{|Q|}{r^2} \Rightarrow |Q_x| = 2\sqrt{2} |Q| \Rightarrow$$

Observe que, para isso, ela deve ter sinal oposto ao das cargas Q . Portanto, a carga procurada é $Q_x = -2\sqrt{2}Q$.

A RIGIDEZ DIELÉTRICA DE UM ISOLANTE

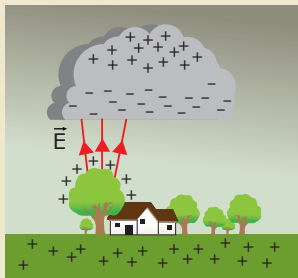
Sabe-se, pelo estudo da eletrização, que um meio dielétrico fica polarizado na presença de um corpo eletrizado. Apesar disso, não há movimento ordenado de cargas através dele. Vale, agora, observar o que acontece à medida que o valor do campo elétrico vai aumentando. Vamos focar a nossa atenção nos elétrons polarizados que estão à esquerda do corpo mostrado na figura a seguir:



Cada um dos elétrons fica sob a ação de duas forças: a força \vec{F}_E , exercida pelo campo elétrico, e a força \vec{F}_N , de atração, exercida pelos núcleos, que é uma força de valor praticamente constante. Se o valor do campo vai aumentando, \vec{F}_E aumenta na mesma proporção. Existe um valor de campo elétrico para o qual $\vec{F}_E = \vec{F}_N = F_{\text{máx}}$ e o material continua a ser isolante. Tal valor é chamado de rigidez dielétrica do isolante. Ele corresponde ao **maior** valor que o campo elétrico ($E_{\text{máx}}$) pode possuir para que o isolante continue com a capacidade de impedir o movimento ordenado de cargas.

Se a intensidade do campo ultrapassar a rigidez do meio, os elétrons são arrancados dos átomos, tornando-se **livres**. Assim, os átomos ficam ionizados e haverá movimento ordenado de cargas através dele, ou seja, o meio, que era isolante, se tornou um **condutor**. Sendo sólido, apenas os elétrons arrancados se deslocam através dele. Se o meio for líquido ou gasoso, além de elétrons, íons positivos e negativos também irão se movimentar.

A rigidez dielétrica do ar, em condições normais, é $3,0 \cdot 10^6$ N/C. Algumas substâncias apresentam rigidez bem superior ao ar, como é o caso da parafina (três vezes maior) e da mica (vinte vezes maior). Se o ar estiver muito úmido, esse valor cai sensivelmente. É o que acontece em dias de tempestade. As nuvens, por razões que não interessam aqui, ficam eletrizadas com cargas positivas ou negativas. Isso induz uma carga de sinal oposto na superfície da Terra. Dessa forma, existe um campo elétrico entre a nuvem e a Terra. O valor do campo aumenta com a quantidade de cargas acumuladas na nuvem.



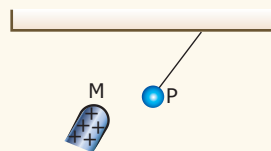
Se o campo ultrapassar o valor da rigidez dielétrica do ar, naquela região e naquele momento, ele se torna um condutor e uma quantidade de carga se desloca entre a nuvem e a Terra. É o famoso (e perigoso) raio ou faísca elétrica, comum em dias de chuva.

É possível calcular a quantidade de carga e de energia que se transfere entre uma nuvem e a Terra durante uma descarga desse tipo. Veremos como fazer isso no estudo dos capacitores.

EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM



- 01.** (UFMG) Um bastão de vidro M, eletrizado positivamente, é colocado nas proximidades de uma pequena esfera metálica P, não eletrizada, suspensa por um fio leve de material isolante. Observa-se que P é atraída por M.



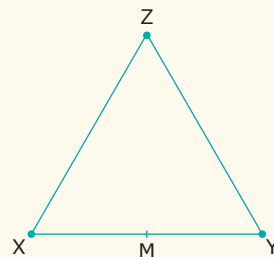
Considere as afirmativas seguintes:

- I. Em virtude da indução eletrostática, na região de P mais próxima de M, aparecerá carga negativa.
- II. A carga positiva e a carga negativa induzidas em P têm o mesmo valor absoluto.
- III. A esfera P é atraída por M porque o campo criado pela carga de M não é uniforme.

Pode-se concluir que

- A) apenas a afirmativa I é correta.
- B) apenas a afirmativa II é correta.
- C) apenas as afirmativas I e II são corretas.
- D) as afirmativas I, II e III são corretas.
- E) apenas as afirmativas II e III são corretas.

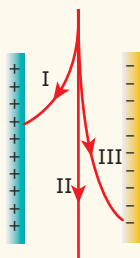
- 02.** (UFF-RJ) Três cargas idênticas estão colocadas nos vértices X, Y e Z de um triângulo equilátero, como mostra a figura.



O módulo do campo elétrico no ponto M, que divide o segmento XY ao meio, vale E. Removendo-se as cargas dos pontos Y e Z, o módulo do campo elétrico no ponto M passará a ser igual a:

- A) $\frac{E}{3}$
- B) $\frac{E}{2}$
- C) E
- D) 2E
- E) 3E

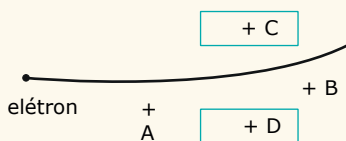
03. (UFOP-MG) Um feixe de partículas constituído de prótons, elétrons e nêutrons penetra em uma região onde existe um campo elétrico uniforme criado por duas placas condutoras eletrizadas como mostra a figura a seguir. Observa-se que o feixe se divide em três: I e II e III.



Os feixes I, II e III correspondem, respectivamente, às partículas

- A) elétron, nêutron e próton.
- B) elétron, próton e nêutron.
- C) próton, nêutron e elétron.
- D) próton, elétron e nêutron.
- E) nêutron, elétron e próton.

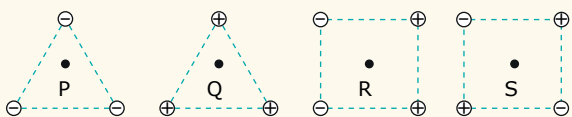
04. (UEM) Um elétron que se move da esquerda para a direita é defletido por duas placas eletricamente carregadas, como ilustra a figura a seguir.



O campo elétrico entre as placas é dirigido de

- A) A para B.
- B) B para A.
- C) C para D.
- D) D para C.
- E) D para B.

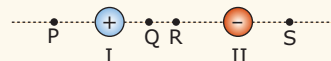
05. (UERN-2015) Os pontos P, Q, R e S são equidistantes das cargas localizadas nos vértices de cada figura a seguir:



Sobre os campos elétricos resultantes, é correto afirmar que

- A) é nulo apenas no ponto R.
- B) são nulos nos pontos P, Q e S.
- C) são nulos apenas nos pontos R e S.
- D) são nulos apenas nos pontos P e Q.

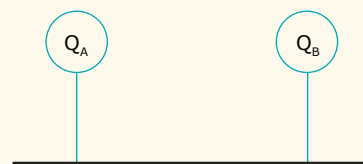
06. (UFMG) Duas pequenas esferas isolantes, I e II, eletricamente carregadas com cargas de sinais contrários, estão fixas nas posições representadas nesta figura:



A carga da esfera I é positiva e seu módulo é maior que o da esfera II. Guilherme posiciona uma carga pontual positiva, de peso desprezível, ao longo da linha que une essas duas esferas, de forma que ela fique em equilíbrio. Considerando-se essas informações, é correto afirmar que o ponto que melhor representa a posição de equilíbrio da carga pontual, na situação descrita, é o

- A) R.
- B) P.
- C) S.
- D) Q.

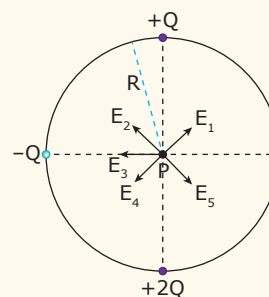
07. (FASM-SP) Duas cargas puntiformes negativas, Q_A e Q_B , estão fixadas a certa distância uma da outra.



Em ambas, os vetores força elétrica e campo elétrico, exercidos mutuamente sobre cada carga, possuem, respectivamente, as características de

- A) repulsão e afastamento.
- B) atração e aproximação.
- C) atração e afastamento.
- D) repulsão e aproximação.
- E) repulsão e inexistente.

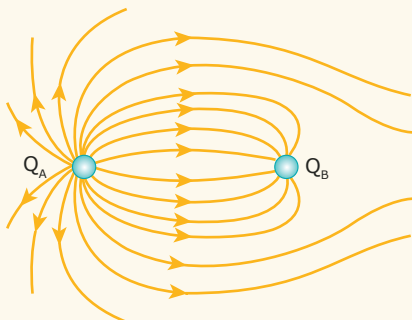
08. (UFRGS-RS) As cargas elétricas $+Q$, $-Q$ e $+2Q$ estão dispostas num círculo de raio R , conforme representado na figura a seguir:



Com base nos dados da figura, é correto afirmar que o campo elétrico resultante no ponto situado no centro do círculo está representado pelo vetor

- A) E_1 .
- B) E_2 .
- C) E_3 .
- D) E_4 .
- E) E_5 .

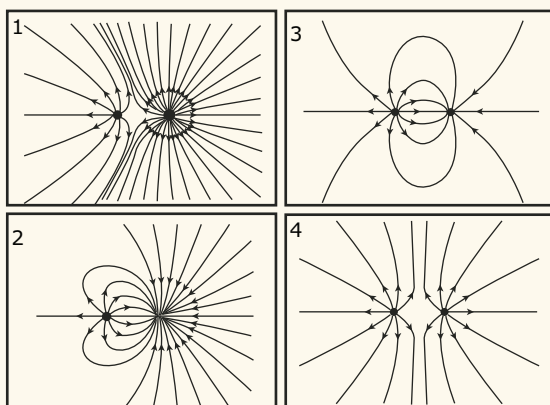
07. (PUC RS-2016) Considere a figura a seguir, que representa as linhas de força do campo elétrico gerado por duas cargas puntuais Q_A e Q_B .



A soma $Q_A + Q_B$ é, necessariamente, um número

- A) par. C) inteiro. E) negativo.
B) ímpar. D) positivo.

08. (UFRGS-RS) Duas cargas elétricas fixas estão separadas por uma distância d conforme mostra o esquema seguinte. Na figura a seguir, está mostrada uma série de quatro configurações de linhas de campo elétrico.

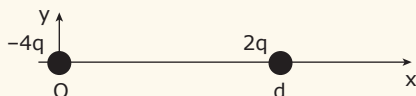


Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas da sentença seguinte, na ordem em que aparecem.

Nas figuras _____, as cargas são de mesmo sinal e, nas figuras _____, as cargas têm magnitudes distintas.

- A) 1 e 4 - 1 e 2 D) 3 e 4 - 2 e 3
B) 1 e 4 - 2 e 3 E) 2 e 3 - 1 e 4
C) 3 e 4 - 1 e 2

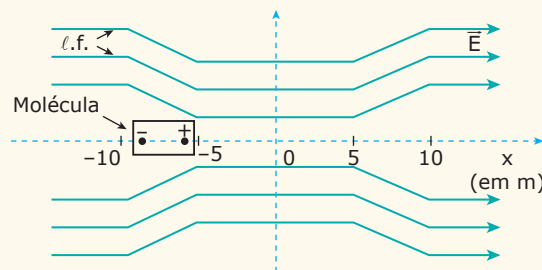
09. (CEFET-MG-2015) Duas cargas elétricas fixas estão separadas por uma distância d conforme mostra o esquema seguinte.



Os pontos sobre o eixo x , onde o campo elétrico é nulo, estão localizados em

- A) $x = (2 - \sqrt{2}) \cdot d$ e $x = (2 + \sqrt{2}) \cdot d$.
B) $x = -(2 - \sqrt{2}) \cdot d$ e $x = -(2 + \sqrt{2}) \cdot d$.
C) $x = -(2 - \sqrt{2}) \cdot d$ e $x = (2 + \sqrt{2}) \cdot d$.
D) $x = (2 - \sqrt{2}) \cdot d$.
E) $x = (2 + \sqrt{2}) \cdot d$.

10. (UFU-MG) A figura representa, numa determinada região, as linhas de campo ou linhas de força (l.f.) de um campo elétrico (com as simetrias da figura). Uma molécula dipolar (representada pelo dipolo $\ominus \oplus$) é abandonada (velocidade nula) na posição da figura. Se apenas esse campo elétrico agir sobre essa molécula, pode-se afirmar que ela



- A) ficará confinada na região $-10 \text{ m} < x < +10 \text{ m}$.
B) permanecerá em repouso na posição em que foi abandonada.
C) descreverá um M.R.U. (Movimento retilíneo Uniforme) na região $x \leq -10 \text{ m}$.
D) descreverá sempre M.R.U. (Movimento Retilíneo Uniforme).
E) realizará um M.C.U. (Movimento Circular Uniforme) em torno da posição em que foi abandonada.

SEÇÃO ENEM

01. (Enem-2017) Um pente plástico é atritado com papel toalha seco. A seguir ele é aproximado de pedaços de papel que estavam sobre a mesa. Observa-se que os pedaços de papel são atraídos e acabam grudando no pente, como mostra a figura.



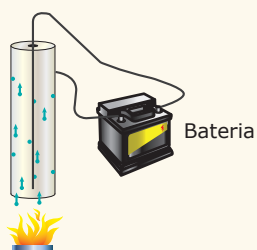
Disponível em: <<http://ogostoamargodometal.wordpress.com>>. Acesso em: 10 ago. 2012.

Nessa situação, a movimentação dos pedaços de papel até o pente é explicada pelo fato de os papeizinhos

- A) serem influenciados pela força de atrito que ficou retida no pente.
B) serem influenciados pela força de resistência do ar em movimento.
C) experimentarem um campo elétrico capaz de exercer forças elétricas.
D) experimentarem um campo magnético capaz de exercer forças magnéticas.
E) possuírem carga elétrica que permite serem atraídos ou repelidos pelo pente.

02. A poluição do ar é um dos mais graves problemas urbanos. Ela resulta do lançamento na atmosfera de uma enorme quantidade de gases, partículas sólidas ou líquidas que provocam impacto ambiental, além de problemas de saúde. Atualmente os principais agentes de poluição atmosférica são a industrialização, veículos movidos a combustíveis fósseis, produção de energia, entre outros fatores.

Um dispositivo capaz de reduzir até 99% das emissões de partículas no ar são os filtros eletrostáticos. O esquema a seguir mostra um filtro eletrostático simples, cujo princípio de funcionamento é o seguinte. A bateria eletriza o cilindro e o fio central, ambos metálicos, com cargas de sinais opostos. Por isso, aparece um campo elétrico entre as paredes internas do cilindro e o fio. O resultado é que as partículas de fumaça são atraídas e retidas pelo sistema da mesma forma como um pente eletrizado atrai pedacinhos de papel.



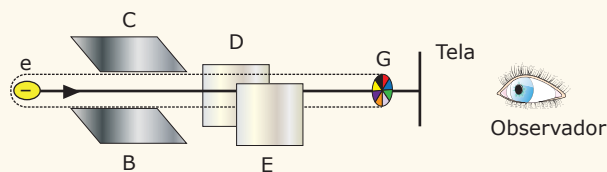
Sobre o campo elétrico no interior do filtro e sobre o movimento das partículas de fumaça, é correto afirmar que

- A) o campo é uniforme, e as partículas são atraídas pelo fio central.
- B) o campo é uniforme, e as partículas serão atraídas pelo cilindro.
- C) o campo é uniforme, e as partículas são atraídas pelo cilindro e pelo fio.
- D) o campo é não uniforme, e as partículas são atraídas pelo fio central.
- E) o campo é não uniforme, e as partículas são atraídas pelo fio e pelo cilindro.

03. Considere um aparelho de iluminação computadorizada hipotético, cujo objetivo é alternar cores diversas em função da música que está tocando no ambiente. Cada cor de luz emitida pelo aparelho é função da posição em que os elétrons (e), ejetados da parte de trás do dispositivo e que se deslocam dentro de um tubo de vidro, atingem o gerador de cores (G), mostrado a seguir. Essa distribuição de cores corresponde ao gerador visto por quem olha pela tela do aparelho. Se o elétron passa pelo interior de qualquer dos setores do gerador, a tela emite luz correspondente à cor do setor. Se o elétron passa exatamente pelo centro do gerador, a tela será iluminada por luz branca. Se o elétron passa na linha que separa dois setores, a luz do aparelho será uma combinação das duas cores desses setores.



Dentro do aparelho, existem dois pares de placas metálicas, CB e DE, entre as quais se estabelece um campo elétrico vertical (E_v) e outro horizontal (E_h), respectivamente. A função desses campos é desviar o elétron para o setor desejado do gerador de cores. Sabe-se que a força elétrica, sobre determinada carga, é proporcional ao módulo do campo elétrico. Veja o esquema do aparelho na figura a seguir:



Num determinado instante, os campos elétricos vertical (E_v) e horizontal (E_h) têm sentidos para baixo e para a esquerda, respectivamente, quando vistos pelo observador. Os módulos desses campos são tais que $E_h > E_v$. Assim, nesse instante, o iluminador estará emitindo luz

- A) vermelha.
- B) amarela.
- C) azul.
- D) verde.
- E) alaranjada.

GABARITO

Meu aproveitamento

Aprendizagem

Acertei _____ Errei _____

- 01. D 03. A 05. B 07. D
- 02. E 04. C 06. C 08. B

Propostos

Acertei _____ Errei _____

- 01. B 04. B 07. D 10. A
- 02. D 05. C 08. A
- 03. B 06. A 09. E

Seção Enem

Acertei _____ Errei _____

- 01. C
- 02. D
- 03. C



Total dos meus acertos: _____ de _____ . _____ %