

Introdução à Cinemática

Conceitos fundamentais

- **Ponto material:** dimensões desprezíveis se comparadas com as dimensões envolvidas no fenômeno.
- **Referencial:** ponto a partir do qual se observa o movimento (ou repouso) de um corpo e sobre o qual é posicionado um sistema de coordenadas para, com base nessa observação, se obter os valores de posição, velocidade e aceleração da partícula como função do tempo.
- **Determinação da posição de um móvel:** fornecida por meio de suas coordenadas em relação ao referencial escolhido.
- **Repouso e movimento:** conceito relativo, pois depende do referencial adotado. Dizemos que um corpo está em repouso quando suas três coordenadas não variam com o tempo no referencial.
- **Trajatória:** conjunto de posições ocupadas no decorrer do tempo.

Espaço de um móvel

- **Espaço:** medido ao longo da trajetória.
- **Função horária do espaço:** relaciona os espaços de um móvel com os correspondentes instantes de tempo.
- **Variação de espaço:** $\Delta s = s_2 - s_1$
- **Distância percorrida:** soma dos módulos de Δs em cada sentido do movimento.

Velocidade

- **Velocidade escalar média:** $v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t}$

- **Velocidade escalar instantânea:**

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} v_m \Rightarrow v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

- **Movimento progressivo:** $\Delta s > 0$ e $v > 0$
- **Movimento retrógrado:** $\Delta s < 0$ e $v < 0$

Exercícios de sala

1. Um parafuso desprende-se do teto de um ônibus que trafega com velocidade constante. Represente a trajetória do parafuso:
 - a) em relação a uma formiga que está no parafuso.
 - b) em relação ao motorista do ônibus.
 - c) em relação a uma pessoa em repouso na superfície da Terra, supondo que o ônibus se desloca para a direita em relação à pessoa.

2. Um carro vai do km 80 (ponto A) de uma rodovia até o km 130 (ponto B) e, depois, retorna ao km 70 (ponto C). Determine a variação de espaço e a distância percorrida:
- a) entre A e B.
 - b) entre B e C.
 - c) entre A e C.

3. Um corredor dá 240 passadas por minuto, cada uma com 1,25 m de extensão. Em quanto tempo ele completa uma prova de 1500 m?

4. Um motorista deseja percorrer um trajeto de 120 km a uma velocidade de 60 km/h. No meio do caminho, recebe um aviso de que precisa chegar 20 min antes do combinado. Qual deve ser a velocidade na metade final do trajeto, em km/h?

5. Um ciclista pedalou durante 2,5 horas a uma velocidade de 40 km/h. Ele descansou por 30 minutos e pedalou outras 2 horas a uma velocidade de 20 km/h. Qual a velocidade média do ciclista, em km/h, no percurso total?

6. Um atleta de triatlo olímpico nadou 1,5 km a uma velocidade de 4,5 km/h, pedalou 40 km a uma velocidade de 40 km/h e correu 10 km a uma velocidade de 15 km/h. Qual foi a velocidade média do atleta, em km/h, no percurso total?

Guia de estudos

Física • Livro 1 • Frente 1 • Capítulo 1

- I. Leia as páginas de **5 a 11**.
- II. Faça os exercícios de **1 a 9** da seção “Revisando”.
- III. Faça os exercícios propostos **1, 4, 5, 10, 13, 19, 22, 29 e 30**.

Movimento uniforme

Movimento uniforme

- A velocidade escalar instantânea é constante e diferente de zero.
- Para intervalos de tempo iguais, o móvel em MU percorre distâncias iguais.
- O movimento é chamado **progressivo** quando o móvel se desloca no mesmo sentido da orientação positiva da trajetória.
- O movimento é chamado **retrógrado** quando o móvel se desloca no sentido contrário ao da orientação positiva da trajetória.

- **Função horária do espaço no MU:**

$$s = s_0 + v \cdot t$$

Na equação anterior:

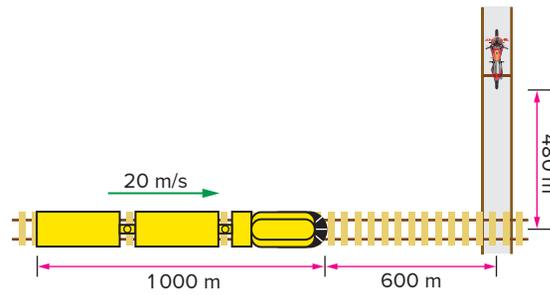
- s é o espaço para um instante qualquer t ;
- s_0 é o espaço para o instante $t = 0$;
- v é a velocidade escalar instantânea e diferente de zero;
- s_0 e v são constantes.

Exercícios de sala

1. Um corpo percorre uma estrada em movimento uniforme, com função horária do espaço dada por $s = 20 - 5t$, em unidades do SI. Determine, para o móvel:
 - a) o espaço inicial.
 - b) a velocidade escalar.
 - c) se o movimento é progressivo ou retrógrado.
 - d) o espaço para $t = 6$ s.
 - e) o instante em que passa pela origem dos espaços.
 - f) o instante em que passa por $s = -20$ m.

2. Um atirador ouve o ruído de um projétil atingindo o alvo 4 s após dispará-lo. Sabendo que o projétil tem velocidade média de 900 m/s e que a velocidade do som no ar é de 300 m/s, determine a distância do atirador ao alvo.

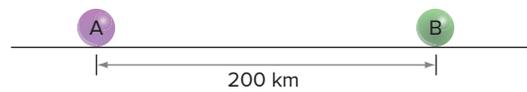
3. Na figura a seguir, uma motocicleta se dirige ao cruzamento de uma linha de trem.



No instante considerado, o trem, de 1000 m de comprimento, está a 600 m do ponto do cruzamento, deslocando-se a 20 m/s. Por sua vez, a moto dista 480 m do cruzamento. Determine:

- a mínima velocidade que a moto deve ter para passar pelo cruzamento antes da passagem do trem.
- a máxima velocidade que a moto deve ter para passar pelo cruzamento após a passagem do trem.

4. Duas partículas, A e B, possuem movimentos uniformes, com velocidades, respectivamente, iguais a 60 km/h e 40 km/h. No instante $t = 0$, as partículas estão nas posições indicadas na figura.



Determine o instante do encontro:

- se ambas se movem para a direita.
- se a partícula A se move para a direita e a partícula B para a esquerda.

5. Dois carros, em um rali, partem do mesmo ponto em movimento uniforme, porém com 5 min de intervalo entre um e outro. O primeiro possui velocidade de 80 km/h, e o segundo de 90 km/h. Quanto tempo, após a partida do segundo, este levará para ultrapassar o primeiro?
6. Dois trens, A e B, de 250 m de comprimento cada, percorrem trajetórias paralelas com velocidades, respectivamente, iguais a 15 m/s e 10 m/s. Determine:
- o tempo que o trem B leva para passar por uma ponte de 200 m de comprimento.
 - o tempo que o trem A leva para ultrapassar o trem B quando se deslocam no mesmo sentido.
 - o tempo que os trens levam para ultrapassar um ao outro quando se deslocam em sentidos opostos.

Guia de estudos

Física • Livro 1 • Frente 1 • Capítulo 2

- Leia as páginas de **25** a **28**.
- Faça os exercícios de **1** a **7** da seção “Revisando”.
- Faça os exercícios propostos **3**, **5**, **8**, de **10** a **12**, **15**, **16**, **24**, **26** e **29**.

FRENTE 1

AULAS 7 A 9

Movimento uniformemente variado

Movimentos variados

- A velocidade escalar instantânea não é constante.

Aceleração

- **Aceleração escalar média:**

$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

- **Aceleração escalar instantânea:**

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} a_m \Rightarrow a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

- **Movimento acelerado:** módulo da velocidade escalar aumenta com o tempo.
 - Acelerado progressivo: $v > 0$ e $a > 0$
 - Acelerado retrógrado: $v < 0$ e $a < 0$
- **Movimento retardado:** módulo da velocidade escalar diminui com o tempo.
 - Retardado progressivo: $v > 0$ e $a < 0$
 - Retardado retrógrado: $v < 0$ e $a > 0$

Movimento uniformemente variado (MUV)

A aceleração escalar instantânea é constante e diferente de zero.

- **Função horária da velocidade no MUV:**

$$v = v_0 + a \cdot t$$

- **Função horária do espaço no MUV:**

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

- **Velocidade escalar média no MUV:**

$$v_m = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

- **Equação de Torricelli:**

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

Nas expressões acima:

- v é a velocidade para um instante qualquer t ;
- v_0 é a velocidade para o instante $t = 0$;
- a é a aceleração escalar instantânea e diferente de zero;
- s é o espaço para um instante qualquer t ;
- s_0 é o espaço para o instante $t = 0$;
- v_1 e v_2 são, respectivamente, as velocidades inicial e final em um trecho de MUV;
- v_m é a velocidade média entre duas posições;
- Δs é a variação de espaço entre o instante $t = 0$ e um instante qualquer t ;
- s_0 , v_0 e a são constantes.

Exercícios de sala

1. Um automóvel percorre uma estrada em movimento uniformemente variado, com função horária do espaço dada por $s = t^2 - 4t + 3$, em unidades do SI. Determine, para o móvel:
 - a) o espaço inicial.
 - b) a velocidade escalar inicial.
 - c) a aceleração.
 - d) os instantes em que passa pela origem dos espaços.
 - e) a função horária da velocidade.
 - f) o instante em que a velocidade se anula.
 - g) a posição no instante em que a velocidade se anula.
 - h) a velocidade média entre 0 e 5 s.
 - i) se o movimento é acelerado ou retardado em $t = 4$ s.

2. Uma bola desce um plano inclinado com aceleração constante. Ao passar por um ponto A, sua velocidade é de 20 m/s. Ao passar por um ponto B, distante 50 m de A, sua velocidade é de 30 m/s. Determine:
- a aceleração da bola.
 - o intervalo de tempo para percorrer o trecho AB.

3. **Famema-SP 2022** Um automóvel, que se deslocava a uma velocidade v_0 , é uniformemente retardado durante 6 s e, após percorrer 105 m, ele para.

A velocidade v_0 do automóvel no instante em que se iniciou o retardamento era de

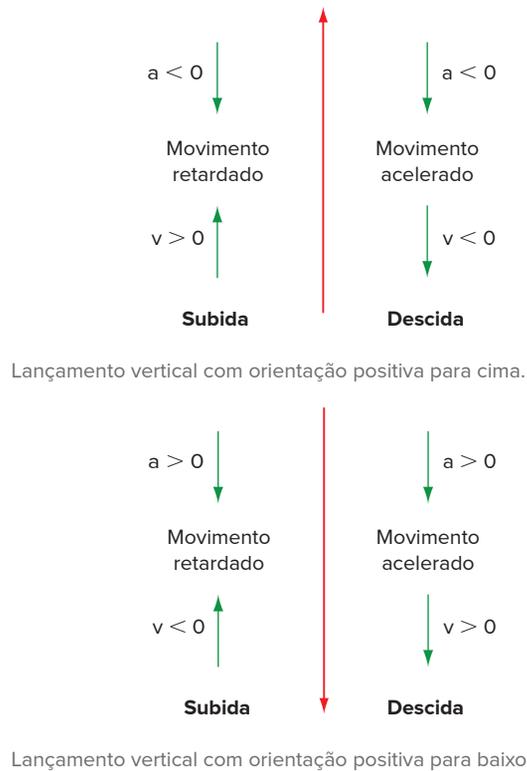
- 42 m/s.
 - 38 m/s.
 - 35 m/s.
 - 28 m/s.
 - 22 m/s.
4. Um móvel A parte do repouso com aceleração constante de 2 m/s^2 . No mesmo instante e 15 m à frente do primeiro, um móvel B inicia um movimento uniforme com velocidade de 2 m/s, no mesmo sentido do movimento de A. Determine:
- o instante do encontro a partir do início do movimento de ambos os corpos.
 - a distância percorrida por A e a distância percorrida por B até o encontro.
 - a velocidade de A no instante do encontro.

Movimento vertical no vácuo

Movimentos sob ação da gravidade

No vácuo, o corpo sofre a ação da aceleração da gravidade, considerada constante, o que torna o lançamento vertical no vácuo um caso particular de movimento uniformemente variado.

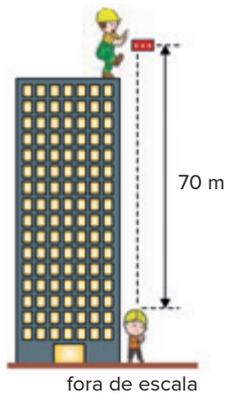
- **Função horária do espaço:** $s = s_0 + v_0 \cdot t + \frac{a}{2} \cdot t^2$
- **Função horária da velocidade:** $v = v_0 + a \cdot t$
- **Equação de Torricelli:** $v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta s$
em que:
 - $a = -g$ quando a trajetória é orientada para cima;
 - $a = +g$ quando a trajetória é orientada para baixo.
- **Altura máxima:** $h_{\text{máx}} = \frac{v_0^2}{2g}$
- **Tempo de subida:** $t_s = \frac{v_0}{g}$
- **Velocidade ao passar por uma altura h qualquer:**
 $v = \pm \sqrt{v_0^2 - 2gh}$
- **Tempo de subida e descida entre dois pontos quaisquer:** $t_s = t_d$



Exercícios de sala

1. **UPE 2022** Do alto de um edifício de altura 20,0 m, deixou-se cair, desde o repouso, uma pequena esfera de aço; ao mesmo tempo no chão desse edifício, na mesma linha imaginária, lançou-se para cima outra esfera de aço com velocidade v_0 . Qual é aproximadamente a velocidade v_0 , em m/s, da segunda esfera para que elas se encontrem na meia altura do edifício?
 - a) 4
 - b) 10
 - c) 14
 - d) 20
 - e) 25

2. **Unifesp 2019** Do alto de um edifício em construção, um operário deixa um tijolo cair acidentalmente, a partir do repouso, em uma trajetória vertical que passa pela posição em que outro operário se encontra parado, no solo. Um segundo depois do início da queda do tijolo, o operário no alto grita um alerta para o operário no solo.



Considerando o dado da figura, a resistência do ar desprezível, $g = 10 \text{ m/s}^2$, a velocidade do som no ar igual a 350 m/s e $\sqrt{1400} = 37$, calcule:

- a distância percorrida pelo tijolo entre os instantes $t = 1 \text{ s}$ e $t = 3 \text{ s}$ após o início de sua queda.
- o intervalo de tempo, em segundos, que o operário no solo terá para reagir e se movimentar, depois de ter ouvido o grito de alerta emitido pelo operário no alto, e não ser atingido pelo tijolo.

3. Uma bola foi arremessada para cima em um planeta de gravidade 8 m/s^2 . Sabendo que essa bola atingiu a altura máxima de 9 m , determine:
- a velocidade com que a bola foi arremessada.
 - o tempo necessário para atingir a altura máxima.

4. Um balão sobe com velocidade constante. Quando está a uma altura de 240 m , um pacote desprende-se do balão e atinge o solo 8 s depois. Considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$, determine:
- a velocidade do balão.
 - a altura máxima atingida pelo pacote em relação ao solo.
 - a velocidade com que o pacote atinge o solo.

5. Um corpo A é arremessado para cima, a partir do solo, com velocidade de 20 m/s. Depois de 1 s, um corpo B é solto do repouso do alto de um prédio de 35 m de altura. Considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$, determine:
- o tempo que o corpo A leva para encontrar B, a partir do arremesso.
 - a altura do encontro.
 - as velocidades de A e de B no instante do encontro.

6. **Unesp 2017** No período de estiagem, uma pequena pedra foi abandonada, a partir do repouso, do alto de uma ponte sobre uma represa e verificou-se que demorou 2,0 s para atingir a superfície da água. Após um período de chuvas, outra pedra idêntica foi abandonada do mesmo local, também a partir do repouso e, desta vez, a pedra demorou 1,6 s para atingir a superfície da água.



(www.folharibeiraopires.com.br. Adaptado)

Considerando a aceleração gravitacional igual a 10 m/s^2 e desprezando a existência de correntes de ar e a sua resistência, é correto afirmar que, entre as duas medidas, o nível da água da represa elevou-se

- 5,4 m.
- 7,2 m.
- 1,2 m.
- 0,8 m.
- 4,6 m.

Guia de estudos

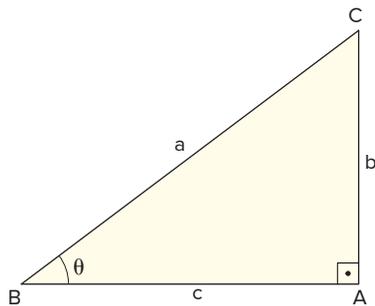
Física • Livro 1 • Frente 1 • Capítulo 3

- Leia as páginas de **46 a 48** e os exercícios resolvidos de **5 a 7** nas páginas **49 e 50**.
- Faça os exercícios de **4 a 6 e 8** da seção “Revisando”.
- Faça os exercícios propostos **20**, de **22 a 24, 27, 28, 35 e 37**.

Análise gráfica de espaço, de velocidade e de aceleração

Introdução

Trigonometria:



Em relação ao ângulo θ , temos:

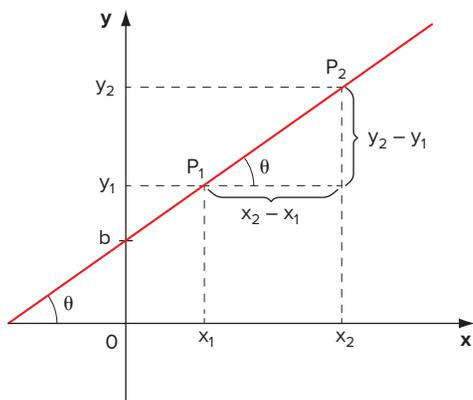
$$\text{sen } \theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{hipotenusa}} \Rightarrow \text{sen } \theta = \frac{b}{a}$$

$$\text{cos } \theta = \frac{\text{cateto adjacente}}{\text{hipotenusa}} \Rightarrow \text{cos } \theta = \frac{c}{a}$$

$$\text{tg } \theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} \Rightarrow \text{tg } \theta = \frac{b}{c}$$

Função do 1º grau:

Representação da função $y = ax + b$ no plano cartesiano:



em que:

- a é o coeficiente angular da reta;
- b é o coeficiente linear da reta.

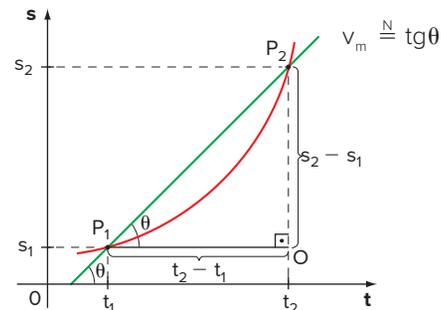
A reta corta o eixo y no ponto $(0; b)$.

Temos que:

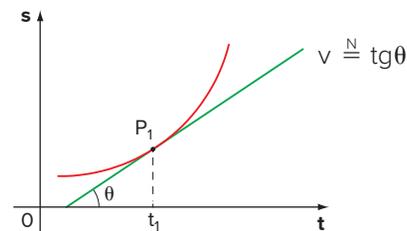
$$a = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}, \text{ com } a \stackrel{N}{=} \text{tg } \theta$$

Gráficos de espaço, velocidade e aceleração

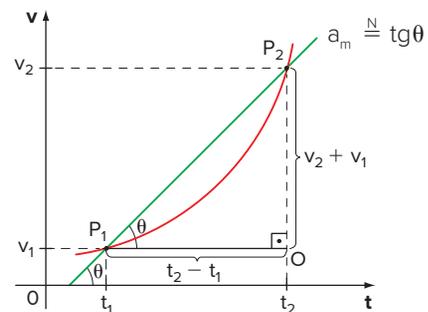
Velocidade média a partir do gráfico $s \ 3 \ t$:



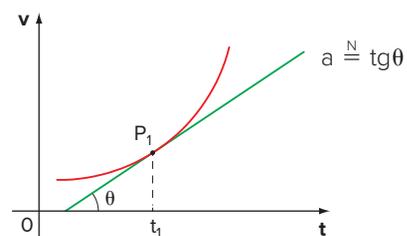
Velocidade instantânea a partir do gráfico $s \ 3 \ t$:



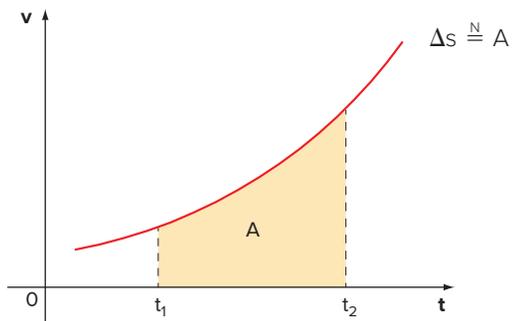
Aceleração média a partir do gráfico $v \ 3 \ t$:



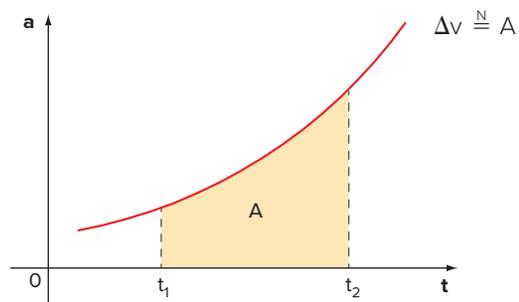
Aceleração instantânea a partir do gráfico $v \ 3 \ t$:



- **Variação de espaço a partir do gráfico $v \times t$:**

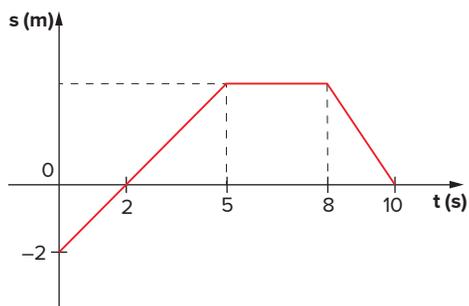


- **Variação de velocidade a partir do gráfico $a \times t$:**



Exercícios de sala

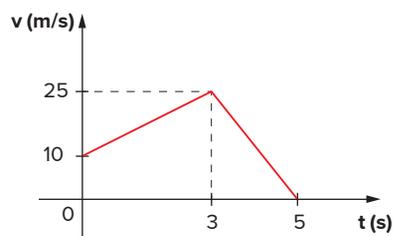
1. O gráfico abaixo representa a posição de um móvel em função do tempo.



Determine:

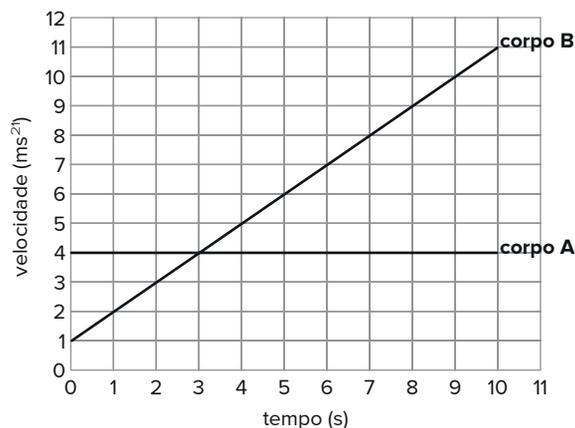
- a) a posição em $t = 5$ s.
- b) o intervalo em que o movimento é progressivo.
- c) o intervalo em que o movimento é retrógrado.
- d) o gráfico $v \times t$.
- e) a velocidade média entre $t = 0$ e $t = 10$ s.

2. Dado o gráfico $v \times t$ a seguir, determine:



- a) o gráfico $a \times t$ para o intervalo de 0 a 5 s.
- b) a aceleração média entre 0 e 5 s.
- c) a velocidade média entre 0 e 5 s.

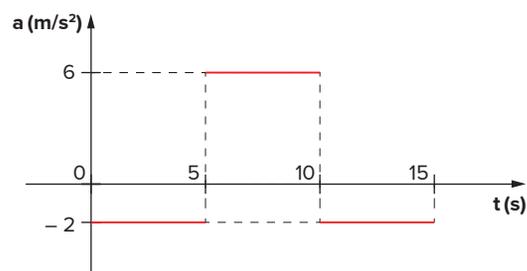
3. **Unisc-RS 2021** Dois corpos, A e B, se movem com velocidades próprias conforme mostra o gráfico. Eles iniciam o movimento com o móvel A estando a 20 m na frente de B. Quanto tempo se passa até o corpo B alcançar o A, considerando o início do movimento $t = 0$ s? Qual a distância percorrida pelo corpo A até que o corpo B o alcance, considerando o início do movimento de ambos, $t = 0$ s?



Assinale a alternativa que apresenta as duas respostas corretas e na ordem que são solicitadas no enunciado.

- a) 3 s e 4 m
- b) 3 s e 12 m
- c) 4 s e 12 m
- d) 10 s e 60 m
- e) 10 s e 40 m

4. Um corpo se move sob a ação de uma aceleração conforme o gráfico a seguir.



Sabendo que a velocidade do corpo vale 20 m/s quando $t = 5$ s, determine:

- a) a sua velocidade inicial.
- b) a sua velocidade para $t = 15$ s.
- c) a aceleração média entre 0 e 10 s.

Guia de estudos

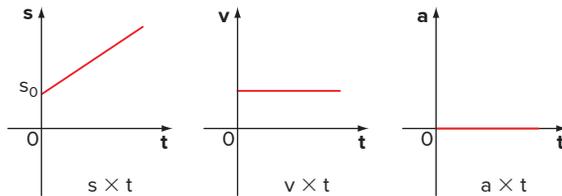
Física • Livro 1 • Frente 1 • Capítulo 4

- I. Leia as páginas de **67 a 71**.
- II. Faça os exercícios **1** e de **4 a 6** da seção “Revisando”.
- III. Faça os exercícios propostos **1, 5, 6, 19, 25, 26, 29** e **51**.

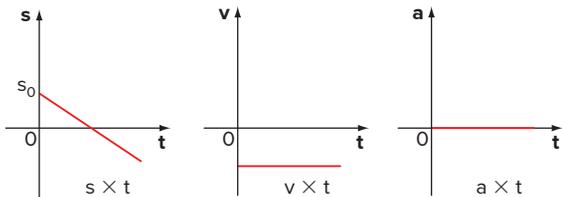
Gráficos do MU e do MUV

Gráficos do movimento uniforme

- Movimento uniforme progressivo ($v > 0$):

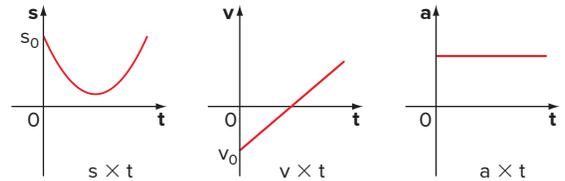


- Movimento uniforme retrógrado ($v < 0$):

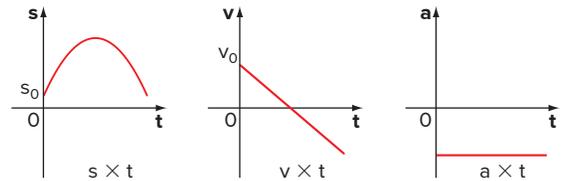


Gráficos do movimento uniformemente variado

- Movimento uniformemente variado ($a > 0$):

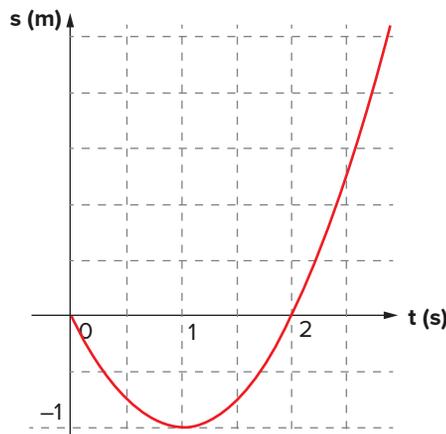


- Movimento uniformemente variado ($a < 0$):



Exercícios de sala

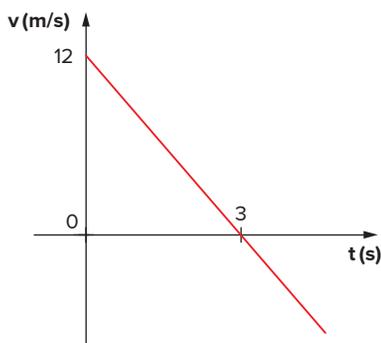
- Um objeto está em movimento sobre uma trajetória orientada. O gráfico das posições do objeto em função do tempo de movimento é um arco de parábola, como se vê na imagem a seguir.



De acordo com as informações e com o gráfico, determine:

- a função horária da posição.
- a função horária da velocidade.
- a aceleração.
- o instante em que o móvel inverte o sentido de sua velocidade.

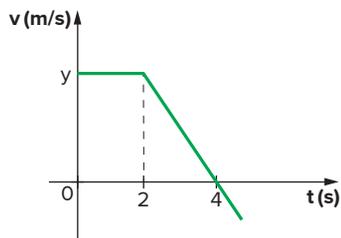
2. O gráfico a seguir representa a velocidade de um móvel em função do tempo.



Sabendo que a posição do móvel é igual a 20 m para $t = 6$ s, determine:

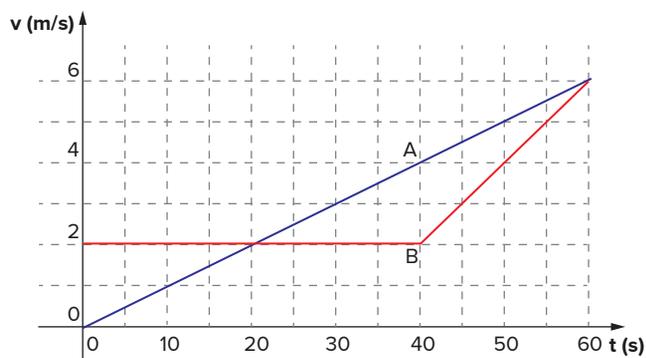
- a função horária da velocidade.
- a função horária da posição.

3. **Unifesp** Em uma manhã de calmaria, um Veículo Lançador de Satélite (VLS) é lançado verticalmente do solo e, após um período de aceleração, ao atingir a altura de 100 m, sua velocidade linear é constante e de módulo igual a 20,0 m/s. Alguns segundos após atingir essa altura, um de seus conjuntos de instrumentos desprende-se e move-se livremente sob ação da força gravitacional. A figura fornece o gráfico da velocidade vertical, em m/s, do conjunto de instrumentos desprendido como função do tempo, em segundos, medido no intervalo entre o momento em que ele atinge a altura de 100 m até o instante em que, ao retornar, toca o solo.



- Determine a ordenada y do gráfico no instante $t = 0$ s e a altura em que o conjunto de instrumentos se desprende do VLS.
- Calcule, através dos dados fornecidos pelo gráfico, a aceleração gravitacional do local e , considerando $\sqrt{2} = 1,4$, determine o instante no qual o conjunto de instrumentos toca o solo ao retornar.

4. O gráfico a seguir representa as velocidades de dois móveis, A e B, que partem da mesma posição inicial.



Determine:

- a função horária do espaço e da velocidade de A.
- aceleração de B em $t = 45$ s.
- a distância entre os móveis no primeiro e no segundo instantes em que eles alcançam a mesma velocidade.
- o instante em que A e B se encontram.

Guia de estudos

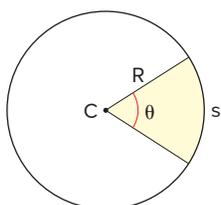
Física • Livro 1 • Frente 1 • Capítulo 4

- Leia as páginas de **71 a 74**.
- Faça os exercícios **2 e 7** da seção “Revisando”.
- Faça os exercícios propostos **10, 11, 14, 16, 20, 24, 41, 44, 52 e 55**.

Grandezas angulares e movimento circular uniforme

Grandezas angulares

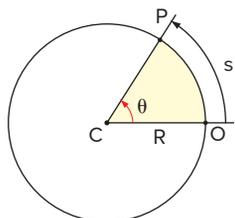
- **Ângulos:**



$$s = \theta \cdot R$$

$$360^\circ = 2\pi \text{ rad}$$

- **Espaço angular:** ângulo medido ao longo da trajetória circular.



- **Velocidade escalar angular média:** $\omega_m = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$

- **Velocidade escalar angular instantânea:**

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \omega_m \Rightarrow \omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

- **Aceleração escalar angular média:** $\gamma_m = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$

- **Aceleração escalar angular instantânea:**

$$\gamma = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \gamma_m \Rightarrow \gamma = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

- **Relação entre grandezas lineares e angulares:**

Grandeza linear	=	Grandeza angular	·	Raio
s (m)	=	θ (rad)	·	R (m)
v (m/s)	=	ω (rad/s)	·	R (m)
a (m/s ²)	=	γ (rad/s ²)	·	R (m)

Período e frequência

- **Período (T):** menor intervalo de tempo para que ocorra uma repetição.
- **Frequência (f):** número de repetições que ocorrem por unidade de tempo:

$$f = \frac{n}{\Delta t} \text{ e } f = \frac{1}{T}$$

Movimento circular uniforme (MCU)

- Movimento uniforme em trajetória circular.
- **Função horária de espaço no MCU:**

$$\theta = \theta_0 + \omega \cdot t$$

em que:

- θ é o espaço angular para um instante qualquer t;
- θ_0 é o espaço angular para o instante t = 0;
- ω é a velocidade escalar angular instantânea e diferente de zero;
- θ_0 e ω são constantes.

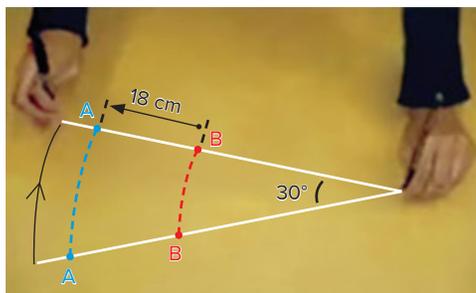
- **Relações importantes:**

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow \omega = 2\pi f \Rightarrow v = 2\pi f \cdot R$$

Exercícios de sala

- Um corpo descreve uma trajetória circular de raio 50 cm com período igual a 2 s. Se o seu espaço angular inicial vale π rad, determine:
 - a frequência, em Hz.
 - a frequência angular, em rpm.
 - a velocidade angular, em rad/s.
 - a velocidade linear, em m/s.
 - a função horária do espaço angular.

2. **Unesp 2022** Durante uma aula de geometria, uma professora improvisa utilizando um pedaço de barbante como um compasso. A figura mostra um arco de circunferência traçado por ela em 3 s, movendo sua caneta com velocidade escalar constante sobre uma superfície plana e mantendo, sempre, o barbante esticado.



(<https://blogped.wordpress.com>. Adaptado.)

Sendo v_A e v_B as velocidades escalares dos pontos A e B do barbante, adotando $\pi = 3$ e considerando as informações da figura e do texto, o valor da diferença $v_A - v_B$ é

- a) 2,4 cm/s. b) 3,6 cm/s. c) 4,0 cm/s. d) 3,0 cm/s. e) 1,8 cm/s.
3. Partindo de um mesmo ponto, dois corredores percorrem uma pista circular com velocidades constantes. Um dos corredores percorre um arco de 30 graus em 10 s, enquanto o outro percorre 15 graus nos mesmos 10 s. Se os dois corredores partem em sentidos opostos, quanto tempo levam para se encontrar pela primeira vez?

4. **Famerp-SP 2021** Em julho de 2020, Estados Unidos, China e Emirados Árabes lançaram missões espaciais não tripuladas a Marte.
- a) Para chegar ao planeta, as naves devem percorrer uma distância aproximada de $4,80 \cdot 10^8$ km em cerca de 200 dias terrestres. Quantas horas demorará a viagem das naves da Terra até Marte? Qual é a velocidade média, em km/h, desenvolvida pelas naves nessa viagem?
- b) O período de translação de Marte em torno do Sol é de 1,9 ano terrestre. Considerando as órbitas no mesmo plano e aproximadamente circulares, e que os planetas se movem no mesmo sentido com velocidades angulares constantes, calcule o menor intervalo de tempo, em meses terrestres, entre dois instantes de máxima aproximação entre Marte e Terra.

Guia de estudos

Física • Livro 1 • Frente 1 • Capítulo 5

- I. Leia as páginas de **107 a 111** e os exercícios resolvidos de **1 a 3 e 5** nas páginas de **112 a 114**.
- II. Faça os exercícios **1, 2, 5 e 6** da seção “Revisando”.
- III. Faça os exercícios propostos **4, 5, 13, 16, 17** e de **24 a 26**.

FRENTE 2

AULAS 1 A 4

Vetores

Considerações iniciais

- **Direção:** definida por uma reta.
- **Sentido:** para cada direção existem dois possíveis sentidos.

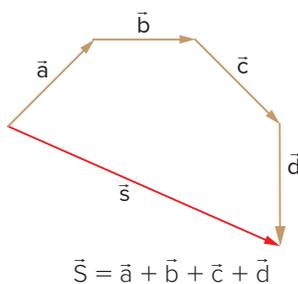
Grandezas escalares e grandezas vectoriais

- **Grandeza escalar:** necessita apenas de um valor numérico e de sua unidade para ficar totalmente determinada.
- **Grandeza vectorial:** necessita, além do valor numérico e da unidade, de uma direção e de um sentido para ficar totalmente determinada.

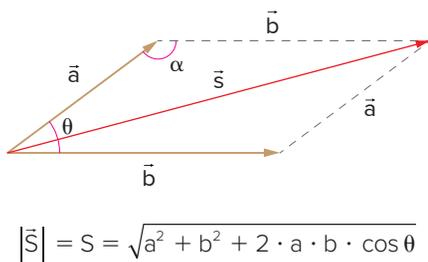
Vetor

- **Definição:** ente matemático que representa todos os segmentos orientados com a mesma direção, mesmo sentido e mesmo módulo.
 - **Vetor oposto:** vetor com mesma direção e mesmo módulo de outro vetor, mas sentido contrário.
 - **Vetor nulo:** vetor com módulo nulo.
 - **Vetor unitário:** vetor com módulo igual a 1.
 - **Vetores iguais:** vetores com mesmo módulo, mesma direção e mesmo sentido.

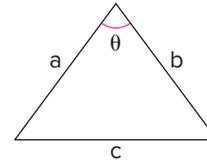
Adição de vetores pela regra da poligonal



Adição de vetores pela regra do paralelogramo

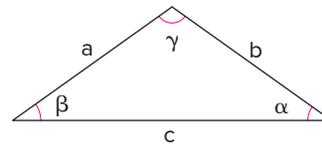


- Lei dos cossenos:



$$c^2 = a^2 + b^2 - 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos \theta$$

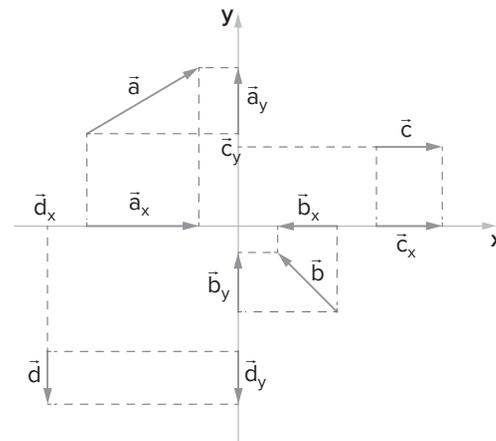
- Lei dos senos:



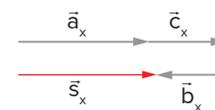
$$\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma}$$

Adição de vetores pelo método da decomposição de vetores

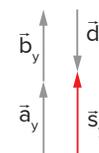
- Decomposição de vários vetores sobre os eixos x e y:



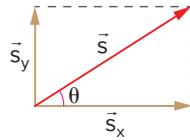
- Soma sobre o eixo x:



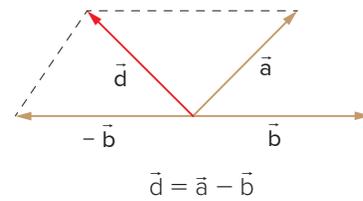
- Soma sobre o eixo y:



– Vetor soma resultante:



- **Subtração de vetores:** idêntica à soma de vetores, apenas tomando $\vec{d} = \vec{a} - \vec{b} = \vec{a} + (-\vec{b})$.

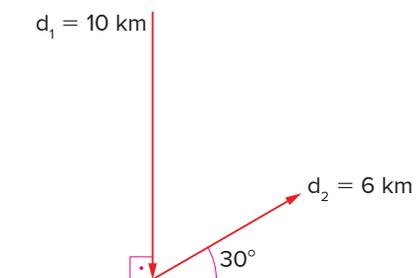


- **Multiplicação de um vetor por um número real:** o produto de n por \vec{a} é dado por $\vec{p} = n \cdot \vec{a}$.

Exercícios de sala

1. **EEAR-SP 2019** Dois vetores V_1 e V_2 formam entre si um ângulo θ e possuem módulos iguais a 5 unidades e 12 unidades, respectivamente. Se a resultante entre eles tem módulo igual a 13 unidades, podemos afirmar corretamente que o ângulo θ entre os vetores V_1 e V_2 vale:
a) 0°
b) 45°
c) 90°
d) 180°

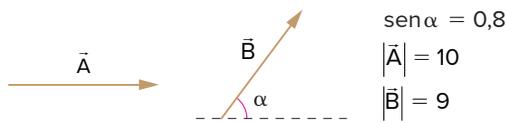
2. **Unesp** Um caminhoneiro efetuou duas entregas de mercadorias e, para isso, seguiu o itinerário indicado pelos vetores deslocamentos \vec{d}_1 e \vec{d}_2 ilustrados na figura.



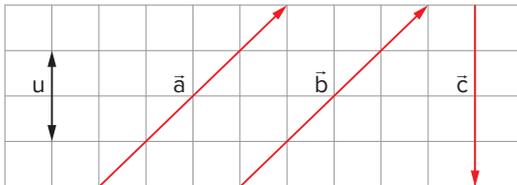
Para a primeira entrega, ele deslocou-se 10 km e, para a segunda entrega, percorreu uma distância de 6 km. Ao final da segunda entrega, a distância a que o caminhoneiro se encontra do ponto de partida é:

- a) 4 km
- b) 8 km
- c) $2\sqrt{19}$ km
- d) $8\sqrt{3}$ km
- e) 16 km

3. Determine o vetor soma $\vec{S} = \vec{A} + \vec{B}$, calculando o seu módulo e o ângulo formado com a horizontal.



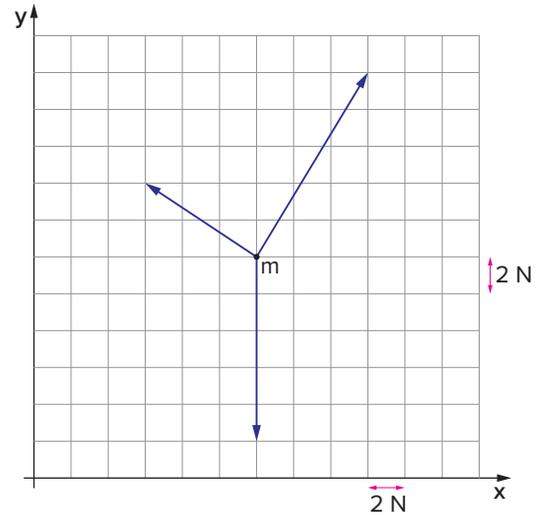
4. **Unifesp** Na figura, são dados os vetores \vec{a} , \vec{b} e \vec{c} .



Seu u a unidade de medida do módulo desses vetores, pode-se afirmar que o vetor $\vec{d} = \vec{a} - \vec{b} + \vec{c}$ tem módulo:

- $2u$, e sua orientação é vertical, para cima.
- $2u$, e sua orientação é vertical, para baixo.
- $4u$, e sua orientação é horizontal, para a direita.
- $\sqrt{2}u$, e sua orientação forma 45° com a horizontal, no sentido horário.
- $\sqrt{2}u$, e sua orientação forma 45° com a horizontal, no sentido anti-horário.

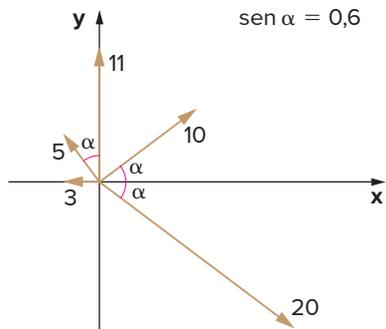
5. **Unesp (Adapt.)** Um corpo é submetido à ação de 3 forças coplanares, como ilustrado na figura.



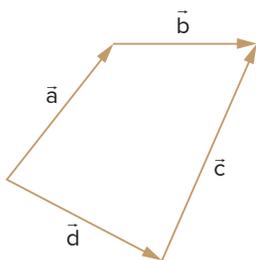
Podemos afirmar que o módulo, a direção e o sentido da força resultante sobre o corpo são, respectivamente:

- 1, paralela ao eixo y e para cima.
- 2, paralela ao eixo y e para baixo.
- 2,5, formando 45° com x e para cima.
- 4, formando 60° com x e para cima.
- 4, paralela ao eixo y e para cima.

6. Determine o vetor soma dos vetores a seguir, calculando o seu módulo e o ângulo formado com a horizontal.



7. UCBA Dados os vetores \vec{a} , \vec{b} , \vec{c} e \vec{d} representados no esquema a seguir, vale a seguinte relação:



- a) $\vec{a} + \vec{b} = \vec{c} + \vec{d}$
 b) $\vec{a} + \vec{b} + \vec{c} + \vec{d} = \vec{0}$
 c) $\vec{a} + \vec{b} + \vec{c} = \vec{d}$
 d) $\vec{a} + \vec{b} + \vec{d} = \vec{c}$
 e) $\vec{a} + \vec{c} = \vec{b} + \vec{d}$

8. UFMS 2019 Em outubro de 2018, na Indonésia, ocorreu um terrível acidente aéreo com um Boeing 737 Max 8 da empresa Lion Air, matando mais de 180 pessoas. O avião decolou do aeroporto com um ângulo de 20° na direção Leste-Oeste, por uma distância de 2 km, e em seguida se deslocou para o norte, por uma distância de 15 km, antes de perder o contato com a torre de comando.

► Dados: $\sin 20^\circ = 0,34$ e $\cos 20^\circ = 0,94$

Nessa situação, a alternativa que dá, respectivamente, os módulos dos vetores deslocamento resultante nas direções vertical e horizontal é:

- a) 0,68 km e 14,32 km.
 b) 0,68 km e 15,12 km.
 c) 1,8 km e 14,32 km.
 d) 1,8 km e 16,64 km.
 e) 1,8 km e 19,25 km.

Guia de estudos

Física • Livro 2 • Frente 1 • Capítulo 6

- I. Leia as páginas de **6 a 12**.
 II. Faça os exercícios de **1 a 4** da seção “Revisando”.

- III. Faça os exercícios propostos de **1 a 12**.

FRENTE 2

AULAS 5 A 8

Carga elétrica e processos de eletrização

Eletrostática

É a parte da elétrica que estuda a carga elétrica (corpo carregado) em repouso, em equilíbrio ou não.

Natureza elétrica da matéria:

	Massa	Carga
Próton	$1836 \cdot m_e$	$+e$
Nêutron	$1836 \cdot m_e$	e
Elétron	m_e	$-e$

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

Quantidade de carga elétrica(Q) em um corpo:

$$Q = \pm n \cdot e$$

Com $n \in \mathbb{N}$, sendo a quantidade de elétrons excedentes ou faltantes.

Prefixo	Símbolo	Valor
coulomb	C	1 C
milicoulomb	mC	10^{-3} C
microcoulomb	μC	10^{-6} C
nanocoulomb	nC	10^{-9} C
picocoulomb	pC	10^{-12} C

! Atenção

- $n_{p^+} = n_{e^-} \Rightarrow$ corpo neutro;
- $n_{p^+} > n_{e^-} \Rightarrow$ corpo carregado positivamente;
- $n_{p^+} < n_{e^-} \Rightarrow$ corpo carregado negativamente.

Princípios da eletrostática

Atração e repulsão: partículas eletrizadas com cargas de sinais iguais se repelem, enquanto partículas eletrizadas com cargas de sinais opostos se atraem.

A carga total se conserva: a soma das cargas elétricas em um sistema eletricamente isolado e constante.

Tipos de materiais

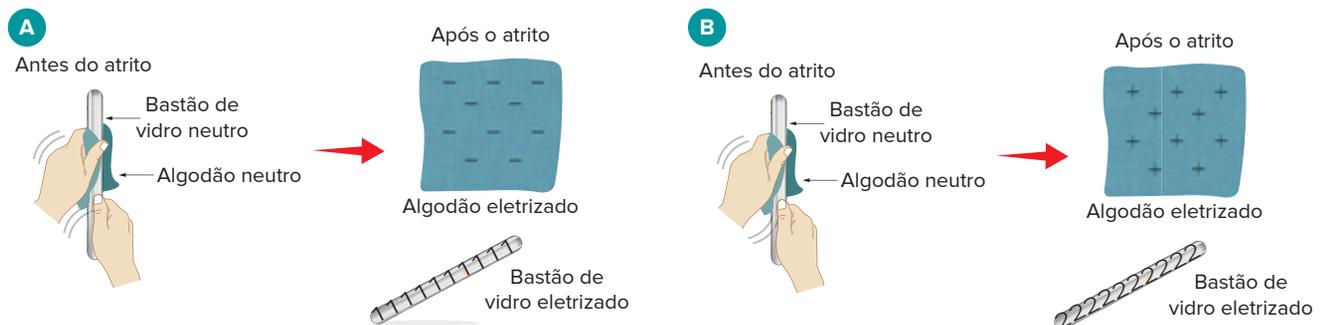
Materiais que permitem o fluxo de cargas elétricas são chamados de condutores, já os materiais que dificultam o fluxo de cargas elétricas são chamados isolantes.

Processos de eletrização

Método pelo qual um corpo neutro fica eletrizado (carregado) com carga negativa ou positiva.

Por atrito

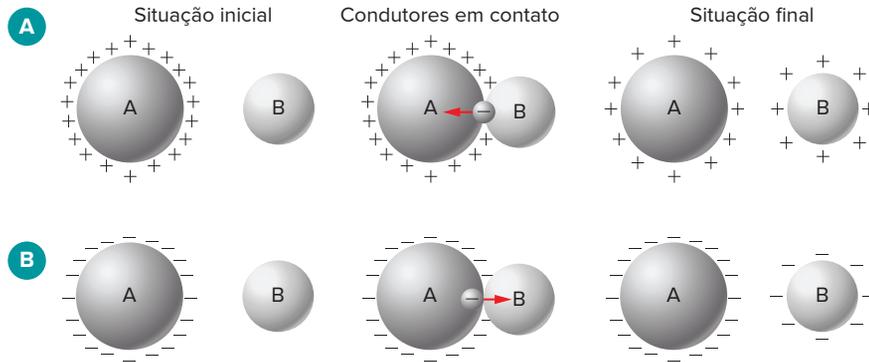
- Materiais com naturezas diferentes.
- No final do processo, temos corpos eletrizados com cargas de mesma quantidade, porém de sinais opostos.
- As cargas em excesso ficam confinadas na região do atrito.
- Os sinais são definidos em uma lista experimental, chamada série triboelétrica.



Representação esquemática de corpos em processo de eletrização por atrito.

Por contato

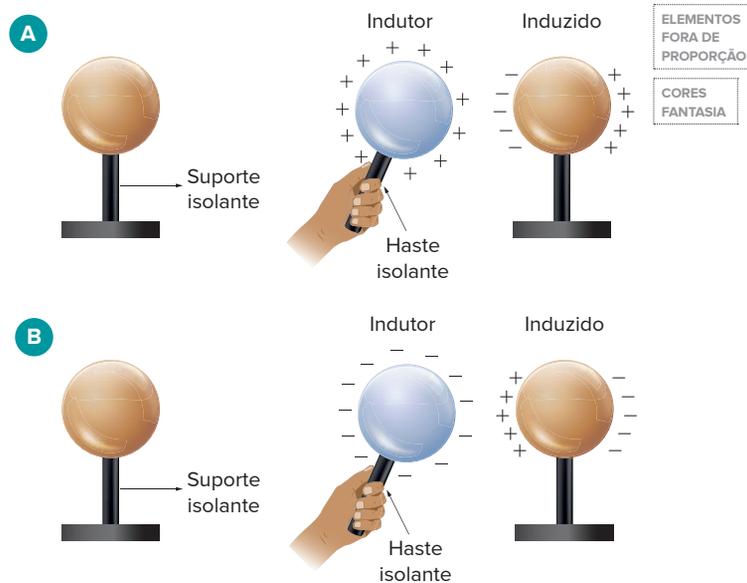
- Pelo menos um dos corpos já eletrizado.
- No final do processo, temos corpos carregados com sinais iguais.
- Para n condutores idênticos, temos: $Q_{\text{final}} = \frac{Q_A + Q_B + \dots + Q_n}{n}$
- Em esferas com raios diferentes, a carga em excesso distribui-se proporcionalmente ao raio.



Representação esquemática de eletrização por contato entre dois condutores esféricos de tamanhos diferentes.

Por indução

- Temos um corpo carregado chamado **indutor** e um corpo neutro chamado **induzido**.
- O processo ocorre sem haver o contato entre os corpos.
- No final, temos corpos com sinais opostos.



Representação da indução eletrostática em condutor eletricamente neutro após se aproximar de um indutor positivamente eletrizado (A) e negativamente eletrizado (B).

ELETROSCÓPIOS

São equipamentos que verificam o estado de eletrização de um corpo (pode ser de pêndulo ou folhas).

QUARKS

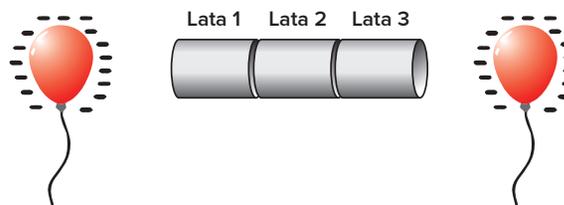
São partículas que ao interagirem manifestam a força nuclear forte e são classificadas pela sua simetria. Essas partículas formam prótons, com dois *quarks up* e um *quark down*, e nêutrons, com dois *quarks down* e um *quark up*.

Exercícios de sala

1. **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
- positiva e positiva.
 - positiva e negativa.
 - negativa e positiva.
 - negativa e negativa.
 - negativa e nula.

2. **EsPCEX-SP 2022** Três esferas condutoras A, B e C, de mesmo raio, possuem cargas elétricas respectivamente iguais a $-2 \mu\text{C}$, $-10 \mu\text{C}$ e $+12 \mu\text{C}$. A esfera A é colocada em contato com a esfera B e, em seguida, as duas são afastadas. Após um intervalo de tempo, a esfera A é posta em contato com a esfera C. Considerando que as esferas trocaram cargas apenas entre si, ao final do processo, a carga elétrica de A será:
- $+6 \mu\text{C}$
 - $+3 \mu\text{C}$
 - $0 \mu\text{C}$
 - $-3 \mu\text{C}$
 - $-6 \mu\text{C}$

3. **Fuvest-SP 2021** Dois balões negativamente carregados são utilizados para induzir cargas em latas metálicas, alinhadas e em contato, que, inicialmente, estavam eletricamente neutras.



Conforme mostrado na figura, os balões estão próximos, mas jamais chegam a tocar as latas. Nessa configuração, as latas 1, 2 e 3 terão, respectivamente, carga total:

► **Note e adote:**

O contato entre dois objetos metálicos permite a passagem de cargas elétricas entre um e outro. Suponha que o ar no entorno seja um isolante perfeito.

- 1: zero; 2: negativa; 3: zero.
 - 1: positiva; 2: zero; 3: positiva.
 - 1: zero; 2: positiva; 3: zero.
 - 1: positiva; 2: negativa; 3: positiva.
 - 1: zero; 2: zero; 3: zero.
4. **FMJ-SP** O cobalto é um elemento químico muito utilizado na medicina, principalmente em radioterapia. Seu número atômico é 27 e cada elétron tem carga elétrica de $-1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$. A carga elétrica total dos elétrons de um átomo de cobalto é, em valor absoluto e em C, igual a
- $1,68 \times 10^{-18}$.
 - $4,32 \times 10^{-19}$.
 - $4,32 \times 10^{-20}$.
 - $4,32 \times 10^{-18}$.
 - $1,68 \times 10^{-19}$.

5. **Unisa-SP 2020** Na eletrização por atrito entre dois corpos, um dos corpos fica carregado com carga elétrica positiva e o outro com carga elétrica negativa. A série triboelétrica apresentada na tabela indica a tendência dos materiais de doar ou receber elétrons.

MATERIAL
Pele humana seca
Couro
Pele de coelho
Vidro
Cabelo humano
Nylon
Papel
Madeira
Borracha
Poliéster
Isopor
Polietileno
PVC
Teflon

(brasile escola.com.br)

De acordo com a tabela, na eletrização por atrito

- entre o papel e o isopor, o papel recebe elétrons e o isopor doa elétrons.
- entre o vidro e a borracha, ambos doam elétrons.
- entre o vidro e o poliéster, o vidro doa elétrons e o poliéster recebe elétrons.
- entre o couro e o vidro, ambos recebem elétrons.
- entre o isopor e o couro, o isopor doa elétrons e o couro recebe elétrons.

6. **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 $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 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

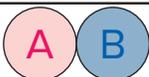
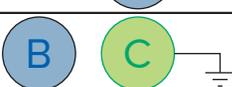
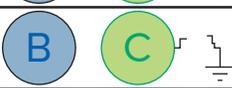
- 100.
- 1.
- +100.
- +10.
- 10.

7. **IFCE** Três esferas metálicas idênticas, A, B e C, se encontram isoladas e bem afastadas uma das outras. A esfera A possui carga Q e as outras estão neutras. Faz-se a esfera A tocar primeiro a esfera B e depois a esfera C. Em seguida, faz-se a esfera B tocar a esfera C. No final desse procedimento, as cargas das esferas A, B e C serão, respectivamente,

- a) $\frac{Q}{2}, \frac{Q}{2}$ e $\frac{Q}{8}$.
 b) $\frac{Q}{4}, \frac{Q}{8}$ e $\frac{Q}{8}$.
 c) $\frac{Q}{2}, \frac{3Q}{8}$ e $\frac{3Q}{8}$.
 d) $\frac{Q}{2}, \frac{3Q}{8}$ e $\frac{Q}{8}$.
 e) $\frac{Q}{4}, \frac{3Q}{8}$ e $\frac{3Q}{8}$.

8. **Unifesp** Em uma atividade experimental de eletrostática, um estudante verificou que, ao eletrizar por atrito um canudo de refresco com um papel-toalha, foi possível grudar o canudo em uma parede, mas o papel-toalha não. Assinale a alternativa que pode explicar corretamente o que o estudante observou.
- a) Só o canudo se eletrizou, o papel-toalha não se eletriza.
 b) Ambos se eletrizam, mas as cargas geradas no papel-toalha escoam para o corpo do estudante.
 c) Ambos se eletrizam, mas as cargas geradas no canudo escoam para o corpo do estudante.
 d) O canudo e o papel-toalha se eletrizam positivamente, e a parede tem carga negativa.
 e) O canudo e o papel-toalha se eletrizam negativamente, e a parede tem carga negativa.

9. **Univag-MT 2021** Dispõe-se de três pequenas esferas condutoras idênticas (A, B e C), que, a princípio, possuem cargas elétricas de valores $Q_A = +6 \text{ C}$, $Q_B = -2 \text{ C}$ e $Q_C = 0 \text{ C}$, sendo que a esfera C está aterrada. A tabela apresenta as ações a que essas esferas, de duas em duas, são submetidas.

1	
2	
3	
4	
5	
6	

As esferas A e B, inicialmente distantes (1) são aproximadas uma da outra até que se toquem (2). Após o toque, as esferas A e B são novamente distanciadas uma da outra (3). Em seguida, aproxima-se a esfera B da esfera C, que está inicialmente aterrada, sem que uma seja encostada na outra (4). Com as esferas B e C ainda próximas, interrompe-se o aterramento da esfera C (5), para finalmente as esferas B e C serem afastadas uma da outra (6). Ao final desses procedimentos, a carga elétrica da esfera C será

- a) -4 C .
 b) 0 C .
 c) $+2 \text{ C}$.
 d) $+4 \text{ C}$.
 e) -2 C .

10. **UFRRJ** Um aluno tem 4 esferas idênticas, pequenas e condutoras (A, B, C e D), carregadas com cargas respectivamente iguais a $-2Q$, $4Q$, $3Q$ e $6Q$. A esfera A é colocada em contato com a esfera B e a seguir com as esferas C e D sucessivamente. Ao final do processo a esfera A estará carregada com carga equivalente a
- $3Q$.
 - $4Q$.
 - $\frac{Q}{2}$.
 - $8Q$.
 - $5,5Q$.

11. **Uerj** Prótons e nêutrons são constituídos de partículas chamadas quarks: os quarks u e d . O próton é formado de 2 quarks do tipo u e 1 quark do tipo d , enquanto o nêutron é formado de 2 quarks do tipo d e 1 do tipo u . Se a carga elétrica do próton é igual a 1 unidade de carga e a do nêutron igual a zero, as cargas de u e d valem, respectivamente:

- $\frac{2}{3}$ e $\frac{1}{3}$
- $-\frac{2}{3}$ e $\frac{1}{3}$
- $-\frac{2}{3}$ e $-\frac{1}{3}$
- $\frac{2}{3}$ e $-\frac{1}{3}$

12. **Unisa-SP 2021** Um eletroscópio de folhas, inicialmente descarregado, tem suas folhas metálicas próximas uma da outra, como mostra a figura 1.

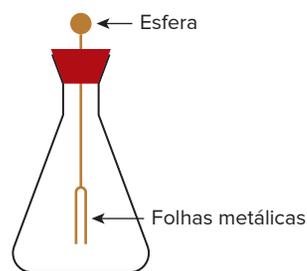


FIGURA 1

Um bastão eletrizado positivamente é aproximado da esfera do eletroscópio, sem entrar em contato com ela, e as folhas do eletroscópio se afastam, como mostra a figura 2.

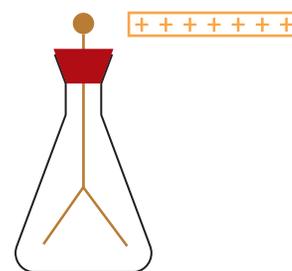


FIGURA 2

Na situação indicada na figura 2,

- a esfera e as folhas estão eletrizadas com cargas negativas.
- a esfera e as folhas estão eletrizadas com cargas positivas.
- a esfera está neutra, assim como as folhas.
- a esfera está eletrizada com carga positiva e as folhas com cargas negativas.
- a esfera está eletrizada com carga negativa e as folhas com cargas positivas.

Guia de estudos

Física • Livro 1 • Frente 2 • Capítulo 1

- Leia as páginas de **134 a 155**.
- Faça os exercícios de **1 a 8 e 10** da seção “Revisando”.
- Faça os exercícios propostos **3, 5, de 7 a 9, 11, de 13 a 15, de 18 a 22, 28 e 31**.

- Faça os exercícios complementares **1, 3, 4, de 8 a 13, 16, 19, 23, 25, 28 e 32**.

FRENTE 2

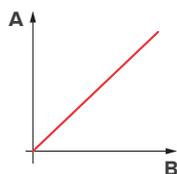
AULAS 9 A 12

Força eletrostática

Grandezas proporcionais

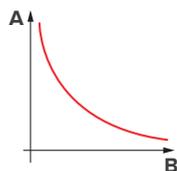
Duas grandezas A e B são **diretamente proporcionais** quando a razão entre suas intensidades é constante, ou seja,

$$\frac{A}{B} = [\text{cte}] = 8 = \frac{8}{1} = \frac{16}{2} = \frac{24}{3} = \frac{32}{4}$$



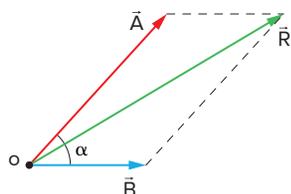
Duas grandezas A e B são **inversamente proporcionais** quando o produto entre suas intensidades é constante, ou seja:

$$A \cdot B = [\text{cte}] = 8 = 8 \cdot 1 = 4 \cdot 2 = 2 \cdot 4 = 1 \cdot 8$$



Operações vetoriais necessárias para o estudo da Eletrostática

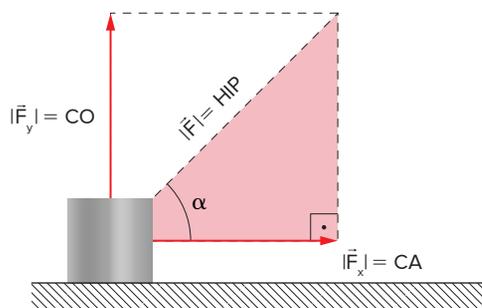
Aplicando na soma vetorial, temos que, para a figura abaixo,



o valor da resultante \vec{R} fica:

$$R^2 = A^2 + B^2 + 2 \cdot A \cdot B \cdot \cos(\alpha)$$

Decomposição de vetores

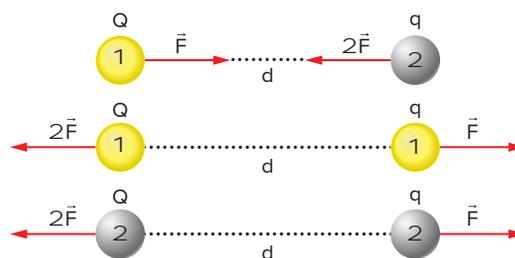


$$CA = HIP \cdot \cos(\alpha) \Rightarrow |\vec{F}_x| = |\vec{F}| \cdot \cos(\alpha)$$

$$CO = HIP \cdot \sin(\alpha) \Rightarrow |\vec{F}_y| = |\vec{F}| \cdot \sin(\alpha)$$

Lei de Coulomb

Esquemáticamente, para duas cargas elétricas Q e q, separadas a uma distância d, temos:



Em que o vetor $-\vec{F}$ é o vetor oposto a \vec{F} .

Considerando as proporções entre as cargas, a força e a distância entre elas, podemos observar:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{F}{Q} = \text{cte} \\ \frac{F}{q} = \text{cte} \\ F \cdot (d)^2 = \text{cte} \end{array} \right\} \text{logo} \Rightarrow \frac{F \cdot (d)^2}{Q \cdot q} = \text{cte}$$

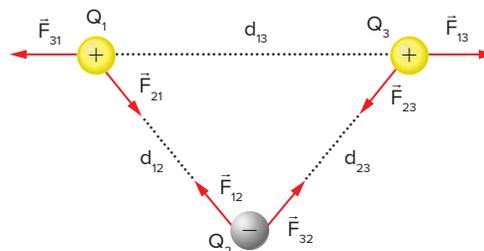
Temos, então:

$$F_{\text{elétrica}} = k_o \cdot \frac{|Q| \cdot |q|}{(d)^2}$$

PARA VÁRIAS CARGAS

O valor da força entre duas cargas, independe da existência de outras cargas no sistema. A resultante da ação de várias cargas sobre uma delas é igual à soma vetorial das ações de cada uma delas sobre a carga estudada.

O cálculo do valor da \vec{F}_R (resultante) em cada uma das cargas em um sistema com várias cargas pode ser feito utilizando-se ferramentas vetoriais, como as apresentadas no início da aula.

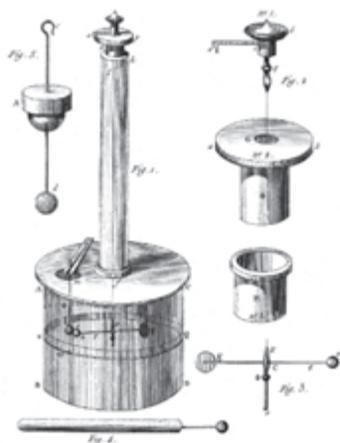


Suponha que foi dado o ângulo α , entre \vec{F}_{13} e \vec{F}_{23} , na figura acima. A expressão para calcular $|\vec{F}_{R_3}|$ ficaria:

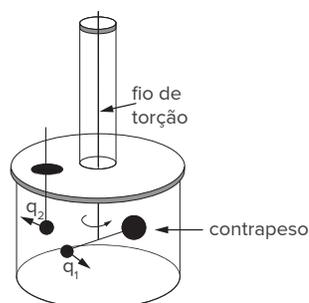
$$|\vec{F}_{R_3}|^2 = |\vec{F}_{13}|^2 + |\vec{F}_{23}|^2 + 2 \cdot |\vec{F}_{13}| \cdot |\vec{F}_{23}| \cdot \cos \alpha$$

Exercícios de sala

1. **UFJF/Pism-MG 2016** Em 1785, Charles Augustin de Coulomb, com um auxílio de uma balança de torção, investigou a interação entre cargas elétricas. A balança é composta por uma haste isolante, com duas esferas em suas extremidades, sendo uma isolante (contrapeso) e outra condutora, como mostram as figuras abaixo. Todo o conjunto é suspenso por um fio de torção. Quando o sistema entra em equilíbrio, a esfera condutora é carregada com uma carga q_1 e outra esfera, com carga q_2 , é aproximada da esfera metálica. O sistema sofre uma torção, que depende do sinal e intensidade das cargas. Com isso, é possível determinar a força de interação entre as esferas carregadas em função do ângulo de rotação. Assim, assinale a alternativa que descreve a Lei de Coulomb.



A balança de torção de Coulomb, *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1784.



Esquema simplificado da balança de torção de Coulomb.

- A força elétrica é proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas.
- A força elétrica é proporcional ao produto das massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas.
- A força elétrica é proporcional ao somatório das cargas e inversamente proporcional à distância entre elas.
- Independentemente dos sinais das cargas, a torsão no fio não irá mudar de direção.
- Quanto maior a massa das esferas, maior a aceleração causada pela força Coulombiana.

2. Uma pequena esfera recebe uma carga de $40\mu\text{C}$ e outra esfera, idêntica, recebe uma carga $-10\mu\text{C}$. As esferas são colocadas em contato e afastadas de 3 cm. Determine a força de interação entre elas.

► **Dados:** módulo da carga elementar $e = 1,6 \times 10^{-19}\text{C}$ e $k = 9,0 \times 10^9\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$

3. Duas cargas elétricas puntiformes positivas e iguais a Q estão situadas no vácuo a 2 m de distância uma da outra. Sabendo que a força de repulsão mútua tem intensidade 0,1 N, calcule o valor de Q . A constante eletrostática no vácuo é $k_0 = 9,0 \times 10^9\text{N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$.

4. **Fatec-SP** Duas pequenas esferas estão, inicialmente, neutras eletricamente. De uma das esferas são retirados $5,0 \cdot 10^{14}$ elétrons que são transferidos para a outra esfera. Após essa operação, as duas esferas são afastadas de 8,0 cm, no vácuo.

► **Dados:** – carga elementar $e = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{C}$
– constante eletrostática no vácuo $k_0 = 9,0 \cdot 10^9\text{N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$

A força de interação elétrica entre as esferas será de

- atração e intensidade $7,2 \cdot 10^5\text{N}$.
- atração e intensidade $9,0 \cdot 10^3\text{N}$.
- atração e intensidade $6,4 \cdot 10^3\text{N}$.
- repulsão e intensidade $7,2 \cdot 10^3\text{N}$.
- repulsão e intensidade $9,0 \cdot 10^3\text{N}$.

5. **Famema-SP 2021** Em determinado meio, uma carga elétrica q é colocada a uma distância de $1,2 \cdot 10^{-2}$ m de outra carga Q , ambas pontuais. A essa distância, a carga q é submetida a uma força repulsiva de intensidade de 20 N. Se a carga q for reposicionada a $0,4 \cdot 10^{-2}$ m da carga Q no mesmo meio, a força repulsiva entre as cargas terá intensidade de

- a) 360 N.
- b) 480 N.
- c) 180 N.
- d) 520 N.
- e) 660 N.

6. Duas cargas elétricas A e B estão distantes entre si uma certa distância d . Se uma das cargas tem seu valor quadruplicado, para quanto deveremos aumentar a distância entre as cargas para manter constante a força entre elas?

7. **EEAR-SP 2017** Duas esferas idênticas e eletrizadas com cargas elétricas q_1 e q_2 se atraem com uma força de 9 N. Se a carga da primeira esfera aumentar cinco vezes e a carga da segunda esfera for aumentada oito vezes, qual será o valor da força, em newtons, entre elas?

- a) 40
- b) 49
- c) 117
- d) 360

8. **UEL-PR** A força de repulsão entre duas cargas elétricas puntiformes, que estão a 20 cm uma da outra, é 0,030 N. Esta força aumentará para 0,060 N se a distância entre as cargas for alterada para

- a) 5,0 cm
- b) 10 cm
- c) 14 cm
- d) 28 cm
- e) 40 cm

9. **IFSul-RS 2015** Considere duas cargas elétricas pontuais, sendo uma delas Q_1 , localizada na origem de um eixo x , e a outra Q_2 , localizada em $x = L$. Uma terceira carga pontual, Q_3 , é colocada em $x = 0,4L$.

Considerando apenas a interação entre as três cargas pontuais e sabendo que todas elas possuem o mesmo sinal, qual é a razão $\frac{Q_2}{Q_1}$ para que Q_3 fique submetida a uma força resultante nula?

- a) 0,44
- b) 1,0
- c) 1,5
- d) 2,25

10. **EsPCEEx-SP 2022** Três cargas elétricas puntiformes Q_A , Q_B e Q_C estão fixas, respectivamente, em cada um dos vértices de um triângulo equilátero de lado L . Sabendo que $Q_A < 0$, $Q_B > 0$, $Q_C = 2Q_B$ e que a constante eletrostática do meio é k , o módulo da força elétrica resultante em Q_A devido à interação com Q_C e Q_B é:

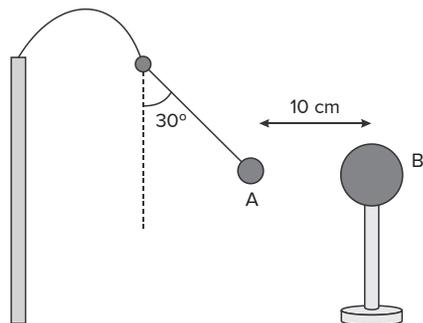
► **Dados:** considere $\sin 60^\circ = \cos 30^\circ = 0,86$ e $\cos 60^\circ = \sin 30^\circ = 0,50$

- a) $\frac{(\sqrt{7}kQ_AQ_C)}{(2L^2)}$
- b) $\frac{(\sqrt{6}kQ_AQ_C)}{(2L^2)}$
- c) $\frac{(\sqrt{5}kQ_AQ_C)}{(2L^2)}$
- d) $\frac{(\sqrt{3}kQ_AQ_C)}{(2L^2)}$
- e) $\frac{(\sqrt{2}kQ_AQ_C)}{(2L^2)}$

11. **Efomm-RJ 2022** A figura abaixo mostra um pêndulo em equilíbrio com outra pequena esfera carregada B. Suponha que a esfera B tenha, em módulo, o dobro de carga que a esfera A, e que a esfera A possua massa $180\sqrt{3} \cdot 10^{-3}$ kg. Qual a carga da esfera A?

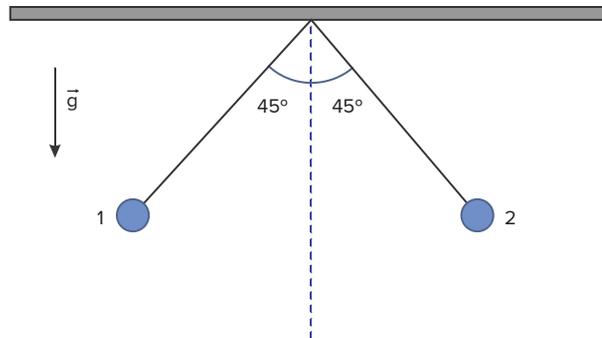
► **Dados:** $k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$; $g = 10 \text{ m/s}^2$;

$$\sin 30^\circ = \frac{1}{2}; \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}; \tan 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{3}.$$



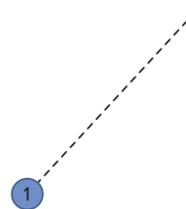
- $1 \mu\text{C}$
- $2 \mu\text{C}$
- $4 \mu\text{C}$
- $6 \mu\text{C}$
- $8 \mu\text{C}$

12. **Fuvest-SP 2022** Duas esferas de massa m , ambas carregadas eletricamente com a mesma carga q , estão localizadas nas extremidades de fios isolantes, de comprimento L , presos ao teto, e formam o arranjo estático mostrado na figura.



► **Note e adote:** Despreze as dimensões das esferas frente ao comprimento dos fios.

- Faça um diagrama de corpo livre da esfera 1, indicando todas as forças que atuam sobre ela.



- Determine a razão $\frac{q^2}{m}$ em termos do comprimento L dos fios, da aceleração da gravidade g e da constante eletrostática do vácuo k .
- Considere que as mesmas esferas são desconectadas dos fios e conectadas às extremidades de uma mola de constante elástica igual a 50 N/m . O conjunto é deixado sobre uma superfície isolante e sem atrito, atingindo o equilíbrio quando a força elétrica entre elas é de $0,1 \text{ N}$. Nessas condições, qual será o valor da energia armazenada na mola?

Guia de estudos

Física • Livro 1 • Frente 2 • Capítulo 2

- Leia as páginas de **174 a 181**.
- Faça os exercícios de **1 a 6** da seção “Revisando”.
- Faça os exercícios propostos de **2 a 5**, de **9 a 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 27** e de **30 a 32**.
- Faça os exercícios complementares **2, 4, 5, 7, 9, 10, 13, 15**, de **17 a 19, 21, 22, 24 e 26**.

Campo elétrico

Campo elétrico

Campo elétrico é uma grandeza vetorial que representa o campo de força gerado por uma carga fonte, ou seja, a força elétrica exercida sobre uma unidade de carga em cada ponto do espaço devido à presença da carga fonte.

Para existir uma força de campo devemos submeter um corpo de prova à presença de um campo, matematicamente, podemos escrever:

$$\text{Força de campo} = \text{corpo de prova} \cdot \text{valor do campo}$$

Assim, em Eletricidade, podemos fazer: $F_E = |q| \cdot E$; tal como em Mecânica fica $P = m \cdot g$.

A partir dessa abordagem, conseguimos obter a definição algébrica de campo elétrico:

$$F_E = |q| \cdot E \Rightarrow E = \frac{F_E}{|q|}$$

de onde temos que, no sistema internacional, a unidade de campo elétrico será dada por:

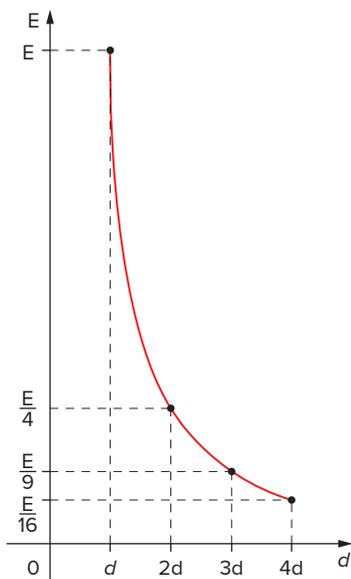
$$[E] = \frac{[F_E]}{[q]} \Rightarrow [E] = \frac{\text{Newton}}{\text{Coulomb}} \Rightarrow [E] = \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

Temos, também:

$$F_E \propto F_E \sim |q| \cdot E \propto k_o \cdot \frac{|Q| \cdot |q|}{d^2}$$

$$|q| \cdot E \propto k_o \cdot \frac{|Q| \cdot |q|}{d^2} \sim E \propto k_o \cdot \frac{|Q|}{d^2}$$

Graficamente, temos:

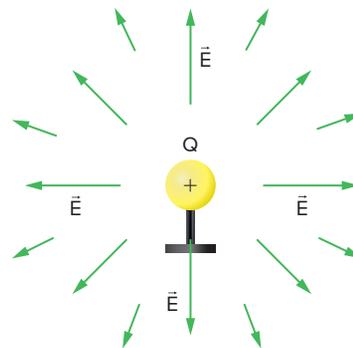


E podemos observar que a intensidade do campo elétrico E, gerado por uma carga fonte Q é inversamente

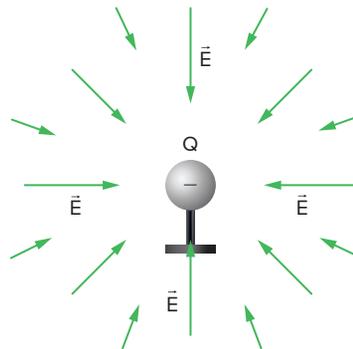
proporcional ao quadrado da distância até o ponto onde se deseja saber a intensidade desse campo.

Vetor campo elétrico

Quando a carga fonte for positiva, o vetor campo elétrico \vec{E} deve ser representado divergindo do ponto no espaço onde a fonte se encontra.

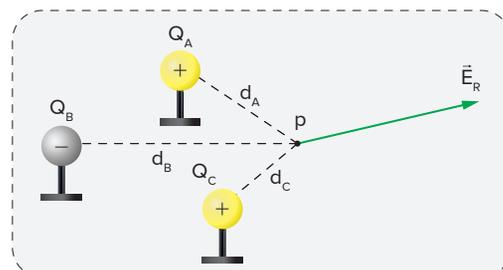


Quando a carga fonte for negativa, o vetor campo elétrico \vec{E} deve ser representado convergindo para o ponto no espaço onde a fonte se encontra.



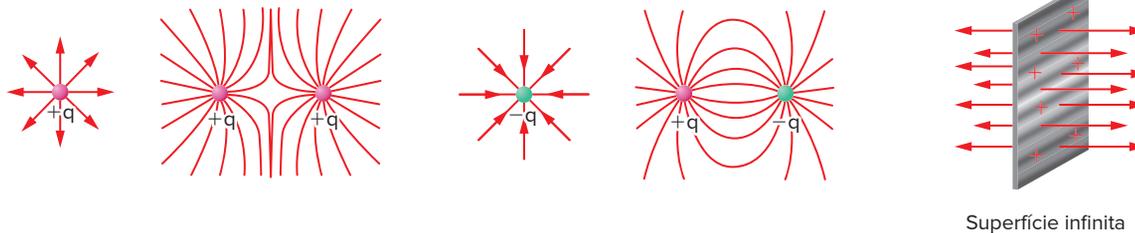
Campo elétrico resultante de várias cargas

Consideremos uma determinada região de um espaço com várias fontes de campo elétrico. Existem interações agindo entre todas elas, duas a duas, como já foi apresentado no final da lei de Coulomb (superposição). Com o cálculo da soma vetorial desses campos, encontraremos o campo resultante no ponto desejado.



Linhas de força (L.F.) ou linhas de campo

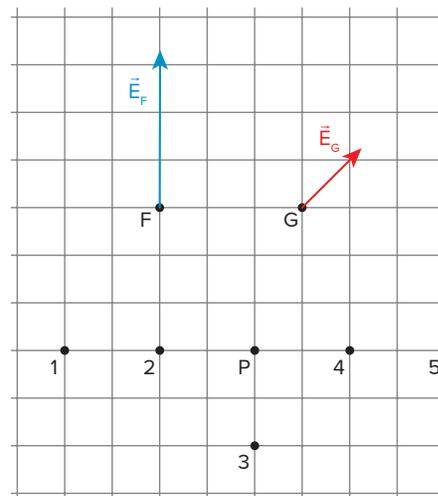
As linhas de força, também conhecidas como linhas de campo, **não são** vetores. São linhas que representam o comportamento do campo elétrico no espaço de forma qualitativa e quantitativa.



Superfície infinita

Exercícios de sala

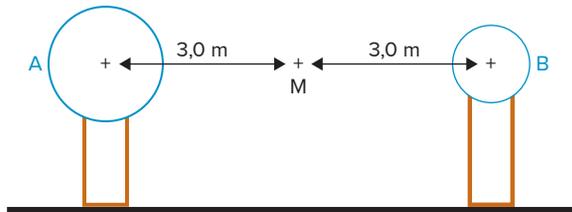
1. Uma carga elétrica puntiforme com $9,0 \mu\text{C}$, que é colocada em um ponto P do vácuo, fica sujeita a uma força elétrica de intensidade $2,7 \text{ N}$. O campo elétrico nesse ponto P tem intensidade de:
 - a) $3,0 \cdot 10^5 \text{ N/C}$
 - b) $2,0 \cdot 10^5 \text{ N/C}$
 - c) $1,2 \cdot 10^5 \text{ N/C}$
 - d) $4,0 \cdot 10^{-6} \text{ N/C}$
 - e) $4,8 \cdot 10^{-6} \text{ N/C}$
2. **Famerp-SP 2016** Uma carga puntiforme Q_1 , positiva, encontra-se fixa no plano cartesiano indicado na figura. Ela gera um campo elétrico ao seu redor, representado pelos vetores \vec{E}_F e \vec{E}_G , nos pontos F e G, respectivamente.



Uma segunda carga puntiforme Q_2 , também positiva, com $Q_1 = Q_2$, deve ser fixa no mesmo plano, de maneira que o campo elétrico resultante no ponto P, devido às presenças de Q_1 e Q_2 , seja nulo. Para que se consiga esse efeito, a carga Q_2 deve ser fixa no ponto:

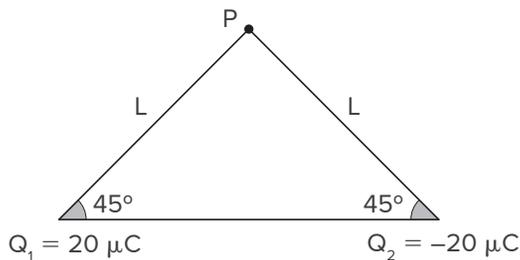
- a) 3.
- b) 4.
- c) 5.
- d) 2.
- e) 1.

3. **Famerp-SP 2019** Duas esferas metálicas de dimensões diferentes, situadas no ar, são eletrizadas e colocadas sobre suportes isolantes com seus centros distando 6,0 metros entre si. As esferas são unidas com um fio condutor até que atinjam o equilíbrio eletrostático, situação em que a esfera A fica eletrizada com carga positiva de valor $8,0 \times 10^{-8}$ C e a esfera B com carga também positiva de valor $5,0 \times 10^{-8}$ C.



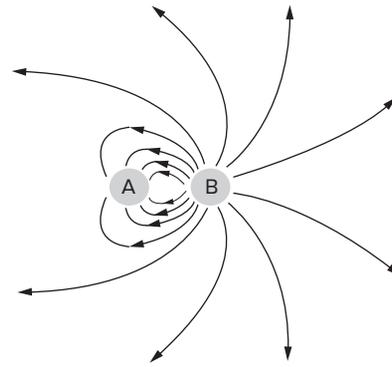
- Considerando que, para atingir o equilíbrio, $2,0 \times 10^{11}$ elétrons foram transferidos entre as esferas, que a carga de cada elétron é, em módulo, $1,6 \times 10^{-19}$ C e que o processo durou $4,0 \times 10^{-6}$ segundos, calcule a intensidade média da corrente elétrica, em ampères, que percorreu o condutor nesse intervalo de tempo.
- Considerando a constante eletrostática do ar igual a $9,0 \times 10^9$ (N · m²)/C², calcule a intensidade do campo elétrico, em N/C, resultante da ação das cargas elétricas das duas esferas no ponto M.

4. **Fatec-SP** Devido à presença das cargas elétricas Q_1 e Q_2 , o vetor campo elétrico resultante no ponto P da figura a seguir é melhor representado pela alternativa:



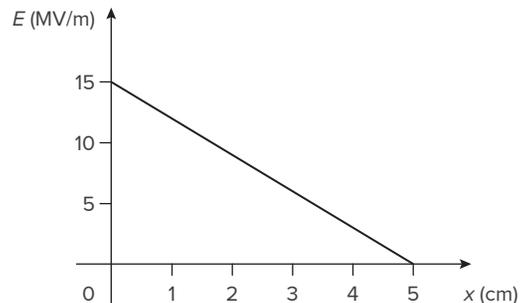
-
-
-
-
-

5. **UEG-GO** A figura a seguir representa as linhas de campo elétrico de duas cargas puntiformes.



Com base na análise da figura, responda aos itens a seguir.

- Quais são os sinais das cargas A e B? Justifique.
 - Crie uma relação entre os módulos das cargas A e B. Justifique.
 - Seria possível às linhas de campo elétrico se cruzarem? Justifique.
6. **UFPR 2022** O comportamento gráfico para o módulo do campo elétrico E numa dada região do espaço, em função da posição x dentro dessa região, é linear e está representado na figura a seguir.



Considerando as informações apresentadas no enunciado e na figura, assinale a alternativa que apresenta corretamente o valor do módulo da força elétrica F produzida por esse campo sobre uma carga $Q = 1,6 \mu\text{C}$ colocada na posição $x = 4$ cm.

- $F = 8,0$ N.
- $F = 6,4$ N.
- $F = 4,8$ N.
- $F = 3,2$ N.
- $F = 1,6$ N.

Guia de estudos

Física • Livro 1 • Frente 2 • Capítulo 2

- Leia as páginas de **181 a 188**.
- Faça os exercícios de **7 a 10** da seção "Revisando".
- Faça os exercícios propostos de **33 a 35, 37, 39, 43, 45 e 48**.
- Faça os exercícios complementares **29, 31, 32, 37, 43** e de **46 a 48**.

FRENTE 2

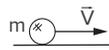
AULAS 15 A 18

Trabalho, energia potencial elétrica, potencial elétrico e linhas equipotenciais

Tipos de energia

Energia cinética

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



Energias potenciais

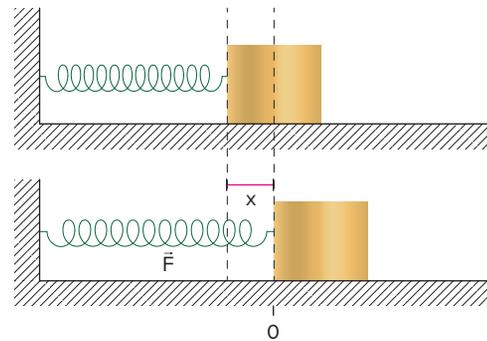
Gravitacional

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



Elástica

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



Energia potencial elétrica

$$E_p = \frac{k \cdot Q \cdot q}{d}$$

Quadro resumo comparativo

	Vetorial	Escalar	
1 carga $Q = n \cdot e$	Campo elétrico $E = \frac{k \cdot Q }{d^2}$ $\left(\frac{N}{C}\right) = \frac{\text{newton}}{\text{coulomb}}$	Potencial elétrico $V = \frac{k \cdot Q}{d}$ $\left(\frac{J}{C}\right) = \frac{\text{joule}}{\text{coulomb}} = (V) = \text{volt}$	
2 cargas	Força elétrica $F = \frac{k \cdot Q }{d^2} \cdot q $ (N) = newton	Energia potencial elétrica $E_p = \frac{k \cdot Q}{d} \cdot q$ (J) = joule	
	Geométrico Orientado por vetores Sem sinal	Algébrico Orientado por sinais Com sinal	

Teoremas

- O teorema da energia cinética diz que o trabalho potente causa aumento da energia cinética de um corpo, enquanto o teorema da energia potencial diz que o trabalho potente consome a energia potencial de um corpo.
- Agrupando os teoremas, temos:

$$+\tau = +\Delta E_c = -\Delta E_p$$

Potencial Elétrico (V)

Conceito

O potencial elétrico (V) é a grandeza física escalar que mostra a capacidade que a carga Q possui de gerar Energia potencial elétrica (E_p) sobre uma carga q em determinada posição do espaço.

Ideia

a) com a carga q:

Existe E_p , uma vez que há uma carga q, logo:

$$E_p = \frac{k \cdot Q \cdot q}{d} \quad (I)$$

b) sem a carga q:

Aqui não há E_p , pois não existe uma carga q, no entanto a região possui potencial para ter E_p .

Este potencial (V) pode ser calculado por:

$$V = \frac{k \cdot Q}{d} \quad (II)$$

Deduções

Substituindo II em I, temos:

$E_{p_{elét.}} = q \cdot V$, ou ainda isolando V, fica $V = \frac{E_{p_{elét.}}}{q}$, que é a definição de **potencial elétrico**.

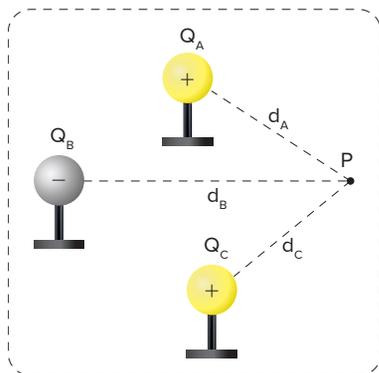
! Atenção

As unidades são do S.I.:

- [τ ou E_p ou E_c] = J (joule)
- [Q ou q] = C (coulomb)
- [V] = $\frac{\text{joule}}{\text{coulomb}} = \frac{J}{C} = V$ (volt).

Potencial elétrico de várias cargas

- O potencial elétrico resultante em um ponto do espaço próximo a um sistema de cargas é dado pela soma algébrica dos potenciais naquele ponto, por exemplo:

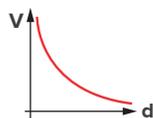


$$\begin{aligned} V_A &= +20 \text{ V} \\ V_B &= -15 \text{ V} \\ V_C &= +30 \text{ V} \end{aligned}$$

Gráfico de potencial elétrico

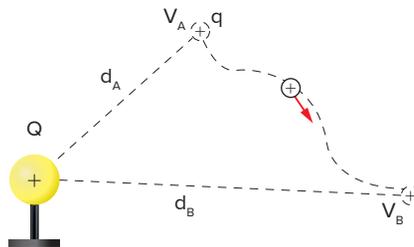
- Como $V = \frac{k \cdot Q}{d}$, para uma mesma carga Q, temos

$V \cdot d = \text{cte}$. Assim, o gráfico $V \times d$ é dado por:



Trabalho e potencial

Considere uma carga q que será deslocada de A até B em uma região perturbada pela presença de Q:



- Em A existe potencial elétrico: $V_A = \frac{k \cdot Q}{d_A}$.
- Em B existe potencial elétrico: $V_B = \frac{k \cdot Q}{d_B}$.
- Ao colocar a carga q em A, ela adquire energia potencial, tal que $E_{p_A} = q \cdot V_A$.
- Ao deslocar a carga q para o ponto B, ela terá outra energia potencial, tal que $E_{p_B} = q \cdot V_B$.
- Como $E_{p_A} \neq E_{p_B}$, podemos concluir que houve trabalho realizado entre A e B. Pelo T.E.P., temos: $\tau_{A \rightarrow B} = E_{p_A} - E_{p_B} \Rightarrow \tau_{A \rightarrow B} = q \cdot V_A - q \cdot V_B \Rightarrow \tau_{AB} = q \cdot (V_A - V_B)$.
- O fator $V_A - V_B$ é chamado de d.d.p. (U); assim: $U_{AB} = V_A - V_B$, logo, $\tau_{AB} = q \cdot U_{AB}$.

! Atenção

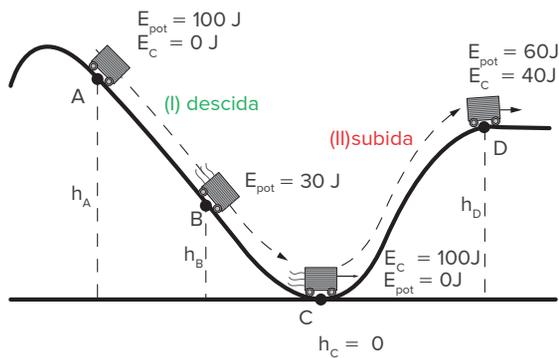
O operador é aquele que realiza trabalho sobre um corpo, transferindo energia para que este sofra um deslocamento ou acumule energia; assim: $\tau_{\text{OPERADOR}} = -\tau_{\text{CORPO}}$

Elétron-Volt

- É uma unidade de medida de energia que pode ser transformada em joule.
- Sua definição é dada pelo trabalho realizado ao se mover um elétron através de uma diferença de potencial de 1 volt: $\tau = q \cdot U \Rightarrow \tau = 1 \text{ e} \cdot 1 \text{ V} \Rightarrow \tau = 1 \text{ eV}$.
- $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \Rightarrow \tau = 1 \text{ e} \cdot 1 \text{ V} \Rightarrow \tau = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1 \text{ V} \Rightarrow \tau = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.
- Então: $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

Análise de sinais

- Quando temos o termo “+Δ” (aumento) referindo-se a uma grandeza, certamente o valor dessa grandeza aumentou, visto que, para $\Delta > 0$, o valor final deve ser maior que o valor inicial. Por outro lado, quando o termo “-Δ” (diminuição) se refere a uma grandeza, o valor dessa grandeza diminuiu, pois $\Delta < 0$ significa que o valor final estará menor do que o valor inicial.



(I) Espontâneo

$$\pm \tau = \pm \Delta E_c = \mp \Delta E_{pot}$$

(II) Forçado

Teorema da
Energia Cinética
T.E.C.

Teorema da
Energia Potencial
T.E.P.

! Atenção

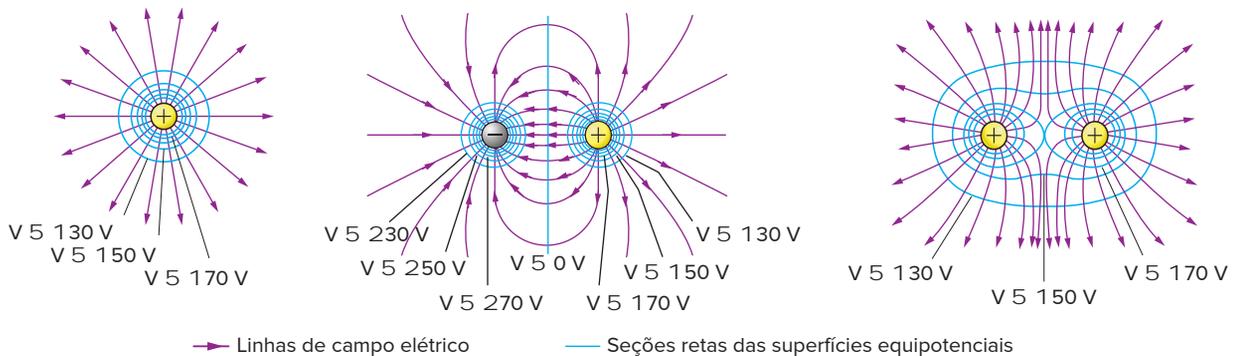
Quando a energia total ou energia mecânica de um sistema depende somente de forças conservativas, essa energia não se altera, nem se dissipa. Por exemplo, em um experimento no qual podemos desprezar o atrito ou até mesmo a resistência do ar, o sistema é chamado conservativo, pois:

$$\Delta E_{Mecânica} = 0$$

Propriedades das superfícies equipotenciais

As superfícies equipotenciais são representações geométricas, qualitativas e quantitativas, do potencial elétrico em uma região no espaço ao redor de corpos eletrizados.

Acompanhe as representações a seguir:



As linhas azuis representam as superfícies equipotenciais e as setas roxas representam as linhas de campo elétrico.

- As linhas de força são orientadas, pois campo elétrico é vetorial, e as equipotenciais não são orientadas, pois potencial é escalar.
- As equipotenciais são sempre perpendiculares às linhas de força.
- No sentido de uma linha de força, o potencial elétrico vai diminuindo de valor (com sinal).
- O deslocamento de uma carga q entre dois pontos de uma mesma superfície equipotencial não realiza trabalho.
- O trabalho para deslocar uma carga q entre duas superfícies equipotenciais distintas independe da trajetória, pois o campo elétrico é conservativo.

Exercícios de sala

1. **Mackenzie-SP** A 40 cm de um corpúsculo eletrizado, coloca-se uma carga puntiforme de $2,0 \mu\text{C}$. Nessa posição, a carga adquire energia potencial elétrica igual a $0,54 \text{ J}$.

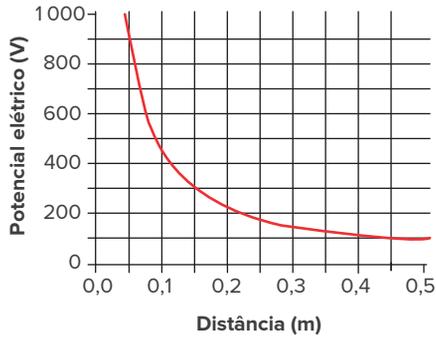
Considerando $k_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$, a carga elétrica do corpúsculo eletrizado é:

- $20 \mu\text{C}$
- $12 \mu\text{C}$
- $9 \mu\text{C}$
- $6 \mu\text{C}$
- $4 \mu\text{C}$

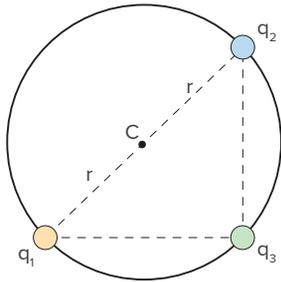
2. **UFPE** O gráfico mostra a dependência do potencial elétrico criado por uma carga pontual, no vácuo, em função da distância à carga. Determine o valor da carga elétrica. Dê a sua resposta em unidades de 10^{-9} C.

▶ **Dado:** constante eletrostática:

$$k_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9,0 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2.$$



3. **Unesp 2017** Três esferas puntiformes, eletrizadas com cargas elétricas $q_1 = q_2 = +Q$ e $q_3 = -2Q$, estão fixas e dispostas sobre uma circunferência de raio r e centro C, em uma região onde a constante eletrostática é igual a k_0 , conforme representado na figura.



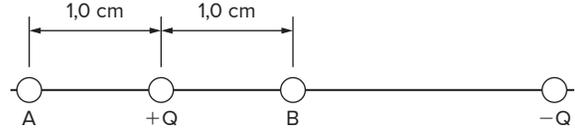
Considere V_C o potencial eletrostático e E_C o módulo do campo elétrico no ponto C devido às três cargas. Os valores de V_C e E_C são, respectivamente,

- zero e $\frac{4k_0Q}{r^2}$
- $\frac{4k_0Q}{r}$ e $\frac{k_0Q}{r^2}$
- zero e zero
- $\frac{2k_0Q}{r}$ e $\frac{2k_0Q}{r^2}$
- zero e $\frac{2k_0Q}{r^2}$

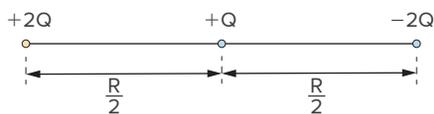
4. **UFPE** Considere duas cargas elétricas puntiformes de mesmo valor e sinais contrários, fixas no vácuo e afastadas pela distância d . Pode-se dizer que o módulo do campo elétrico E e o valor do potencial elétrico V , no ponto médio entre as cargas, são:

- $E \neq 0$ e $V \neq 0$
- $E \neq 0$ e $V = 0$
- $E = 0$ e $V = 0$
- $E = 0$ e $V \neq 0$
- $E = \frac{2V}{d}$

5. **UFPE** Duas cargas elétricas puntiformes, de mesmo módulo Q e sinais opostos, são fixadas à distância de 3,0 cm entre si. Determine o potencial elétrico no ponto A, em volts, considerando que o potencial no ponto B é 60 volts.



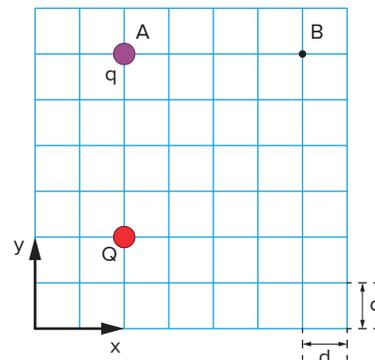
6. **UFRGS** Considere que U é a energia potencial elétrica de duas partículas com cargas $+2Q$ e $-2Q$ fixas a uma distância R uma da outra. Uma nova partícula de carga $+Q$ é agregada a este sistema entre as duas partículas iniciais, conforme representado na figura a seguir. A energia potencial elétrica desta nova configuração do sistema é



- a) zero.
 b) $\frac{U}{4}$.
 c) $\frac{U}{2}$.
 d) U .
 e) $3U$.

7. **Mackenzie-SP** Duas cargas elétricas puntiformes, $q_1 = 3,00 \mu\text{C}$ e $q_2 = 4,00 \mu\text{C}$, encontram-se num local onde $k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$. Suas respectivas posições são os vértices dos ângulos agudos de um triângulo retângulo isósceles, cujos catetos medem $3,00 \text{ mm}$ cada um. Ao colocar-se outra carga puntiforme, $q_3 = 1,00 \mu\text{C}$, no vértice do ângulo reto, esta adquire uma energia potencial elétrica, devido à presença de q_1 e q_2 , igual a
- a) $9,0 \text{ J}$
 b) $12,0 \text{ J}$
 c) $21,0 \text{ J}$
 d) $25,0 \text{ J}$
 e) $50,0 \text{ J}$

8. **Unifesp 2015** Uma carga elétrica puntiforme $Q > 0$ está fixa em uma região do espaço e cria um campo elétrico ao seu redor. Outra carga elétrica puntiforme q , também positiva, é colocada em determinada posição desse campo elétrico, podendo mover-se dentro dele. A malha quadriculada representada na figura está contida em um plano xy , que também contém as cargas.

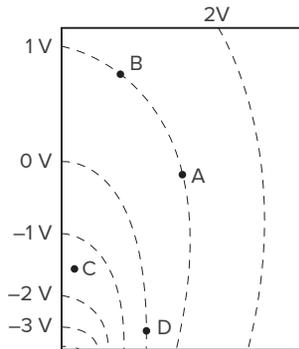


Quando na posição A, q fica sujeita a uma força eletrostática de módulo F exercida por Q

- a) Calcule o módulo da força eletrostática entre Q e q , em função apenas de F , quando q estiver na posição B.
 b) Adotando $\sqrt{2} = 1,4$ e sendo k a constante eletrostática do meio onde se encontram as cargas, calcule o trabalho realizado pela força elétrica quando a carga q é transportada de A para B.

9. **Mackenzie-SP** Um corpúsculo de $0,2 \text{ g}$ eletrizado com carga de $80 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ varia sua velocidade de 20 m/s para 80 m/s ao ir do ponto A para o ponto B de um campo elétrico. A d.d.p. entre os pontos A e B desse campo elétrico é de:
- a) 1500 V
 b) 3000 V
 c) 7500 V
 d) 8500 V
 e) 9000 V

10. **UFRGS 2014** Na figura, estão representadas, no plano XY, linhas equipotenciais espaçadas entre si de 1 V.



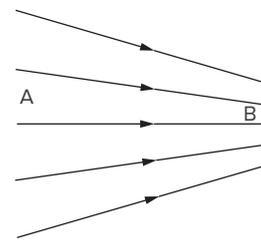
Considere as seguintes afirmações sobre essa situação.

- I. O trabalho realizado pela força elétrica para mover uma carga elétrica de 1 C de D até A é de -1 J.
- II. O módulo do campo elétrico em C é maior do que em B.
- III. O módulo do campo elétrico em D é zero.

Quais estão corretas?

- a) Apenas I.
- b) Apenas II.
- c) Apenas I e II.
- d) Apenas II e III.
- e) I, II e III.

11. **UFSM-RS 2014** A tecnologia dos aparelhos eletroeletrônicos está baseada nos fenômenos de interação das partículas carregadas com campos elétricos e magnéticos. A figura representa as linhas de campo de um campo elétrico.



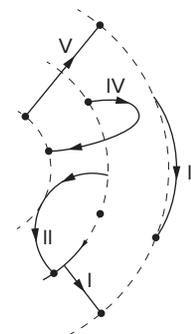
Assim, analise as afirmativas:

- I. O campo é mais intenso na região A.
- II. O potencial elétrico é maior na região B.
- III. Uma partícula com carga negativa pode ser a fonte desse campo.

Está(ão) correta(s)

- a) apenas I.
- b) apenas II.
- c) apenas III.
- d) apenas II e III.
- e) I, II e III.

12. **Unifesp** Na figura, as linhas tracejadas representam superfícies equipotenciais de um campo elétrico; as linhas cheias I, II, III, IV e V representam cinco possíveis trajetórias de uma partícula de carga q , positiva, realizadas entre dois pontos dessas superfícies, por um agente externo que realiza trabalho mínimo.



A trajetória em que esse trabalho é maior, em módulo, é:

- a) I.
- b) II.
- c) III.
- d) IV.
- e) V.

Guia de estudos

Física • Livro 1 • Frente 2 • Capítulo 3

- I. Leia as páginas de **214** a **227**.
- II. Faça os exercícios de **1** a **10** da seção “Revisando”.
- III. Faça os exercícios propostos **2, 3, 6, 10**, de **12** a **16**, de **20** a **22, 24, 26, 28** e **31**.

- IV. Faça os exercícios complementares **1, 3, 4, 6, 7, 9, 11, 13, 14, 18, 23, 28, 30** e **31**.

Temperatura, escalas e conversões

Conceitos iniciais

- **Noção intuitiva de temperatura:** associa-se às sensações de quente e frio e são percebidas inicialmente pelo tato.
- **Sensação térmica:** as sensações de quente e frio se dão por comparação e são mediadas, no corpo humano, pelos termorreceptores, que são terminações nervosas livres capazes de captar informações sobre variação de temperatura na pele.



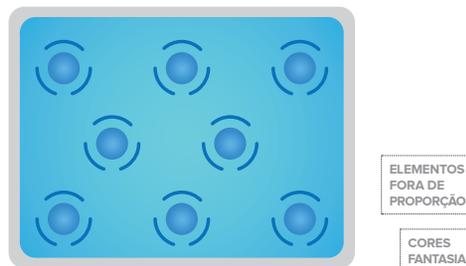
A tigela A contém água com gelo; a tigela B, água a temperatura intermediária e, na tigela C, água aquecida. Ao colocar ambas as mãos simultaneamente na vasilha B, após retirar cada mão de uma das vasilhas laterais, a pessoa terá a sensação de quente ou de frio?

- **Calor:** forma de energia que flui espontaneamente do corpo de maior temperatura ao corpo de menor temperatura.
- **Equilíbrio térmico:** dizemos que os corpos estão em equilíbrio térmico quando apresentam a mesma temperatura.
- **Lei zero da Termodinâmica:** se um corpo A está em equilíbrio térmico com outro corpo, B; e se o corpo B está em equilíbrio térmico com um terceiro corpo, C, então os corpos A e C também estarão em equilíbrio térmico.

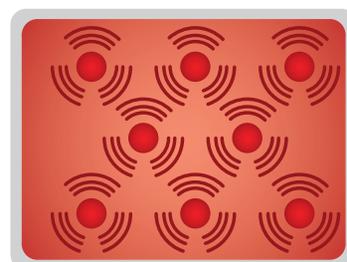
Escalas termométricas

- **Propriedades termométricas:** características dos materiais que se alteram com mudanças de temperatura e podem ser utilizadas indiretamente para mensurar a temperatura. Por exemplo: variação de volume, de pressão, de coloração, de condutibilidade elétrica, de magnetização etc.
- **Termômetros:** instrumentos construídos com substâncias que têm propriedades termométricas, de modo a fornecer informações objetivas e confiáveis acerca da temperatura de um corpo, quantificando-a.

- **Escalas termométricas:** traduzem de forma prática a temperatura de um corpo, mensurada com um termômetro quando eles entram em equilíbrio térmico. Hoje, apenas três escalas encontram-se em utilização: Fahrenheit, Celsius e Kelvin.
- **Conceito moderno de temperatura:** atualmente associamos temperatura à intensidade da agitação das partículas microscópicas que compõem a matéria. Quanto maior a temperatura, maior a agitação microscópica e vice-versa. A escala coerente com essa definição de temperatura é a escala Kelvin, cujo zero corresponde ao estado de menor agitação possível das partículas, não havendo temperatura negativa. Logo, essa escala é chamada de absoluta.



Partículas de um corpo com menor temperatura – por comparação, suas vibrações são menos intensas.

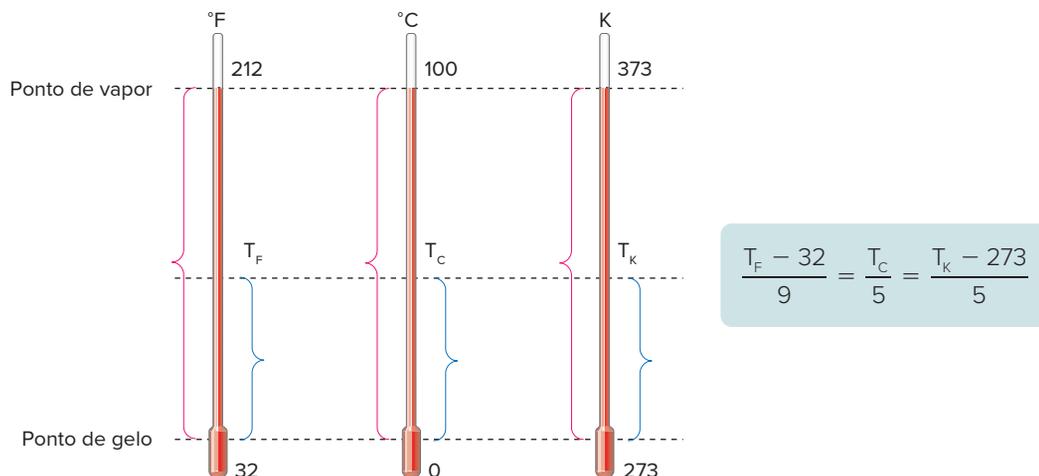


Partículas de um corpo com maior temperatura – por comparação, suas vibrações são mais intensas.

Representação esquemática da vibração das partículas que compõem o mesmo corpo em diferentes temperaturas.

- **Equivalência entre as escalas termométricas e equação de conversão:** as escalas são equivalentes entre si, embora usualmente apresentem para uma mesma temperatura valores diferentes.
- **Pontos fixos:** pontos que servem de referência para determinar os outros valores de temperatura e para que o termômetro possa ser calibrado, de modo que as medidas possam ser reproduzidas. Os pontos fixos comumente utilizados são o ponto de gelo da água (gelo fundente) e o ponto de vapor da água (ponto de ebulição), à pressão normal de 1 atm.

- **Conversão entre as escalas e equações termométricas:** a conversão de temperaturas entre escalas medidas com o uso de um termômetro de coluna líquida, por exemplo, pode ser feita mediante a comparação entre as medidas dos seguimentos de reta, tomando como base os pontos fixos, conforme o esquema abaixo. Raciocínio semelhante pode ser feito com qualquer escala arbitrária diferente dessas.



- **Variações de temperatura nas três escalas:**

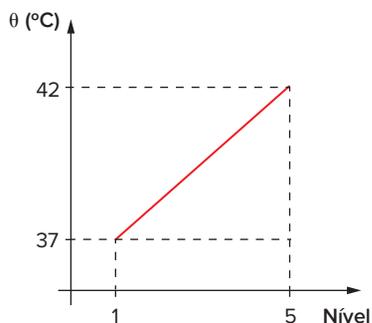
$$\frac{\Delta T_F}{9} = \frac{\Delta T_C}{5} = \frac{\Delta T_K}{5}$$

Exercícios de sala

1. **FICSAE-SP 2021** Um médico criou sua própria escala de temperaturas para classificar a febre de seus pacientes em cinco níveis, de acordo com o quadro.

Nível	Classificação
1	Leve
2	Moderada
3	Alta
4	Preocupante
5	Perigosa

A relação entre as temperaturas de um paciente febril (θ) e o nível de febre, segundo a classificação desse médico, segue um padrão linear e está representada no gráfico.



Um paciente teve sua temperatura corporal medida, obtendo-se o valor $40,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Segundo a classificação criada pelo médico citado, a febre desse paciente será classificada

- a) entre alta e preocupante.
- b) como preocupante.
- c) entre leve e moderada.
- d) como moderada.
- e) entre preocupante e perigosa.



Texto para a questão 2.

Em março de 2020, a Unicamp e o Fermi National Accelerator Laboratory (Fermilab), dos Estados Unidos, assinaram um acordo de cooperação científica com o objetivo de desenvolver tanques para conter argônio líquido a baixíssimas temperaturas (criostatos). Esses tanques abrigarão detectores para o estudo dos neutrinos.

2. **Unicamp-SP 2021** A temperatura do argônio nos tanques é $T_{AR} = -184\text{ }^{\circ}\text{C}$. Usualmente, a grandeza “temperatura” em física é expressa na escala Kelvin (K). Sabendo-se que as temperaturas aproximadas do ponto de ebulição (T_E) e do ponto de solidificação (T_S) da água à pressão atmosférica são, respectivamente, $T_E \cong 373\text{ K}$ e $T_S \cong 273\text{ K}$, a temperatura do argônio nos tanques será igual a
 - a) 20 K.
 - b) 89 K.
 - c) 189 K.
 - d) 457 K.

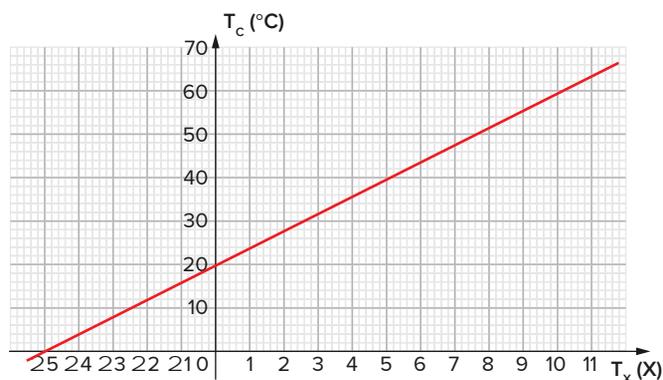
3. Um estudante de gastronomia percebeu que podia controlar a temperatura de seu forno em uma escala de 0 a 5, sendo que essa escala fora criada pela própria empresa que produziu o forno. O estudante sabia que é comum os fornos terem a mínima temperatura de $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ e máxima de $280\text{ }^{\circ}\text{C}$, mas não sabia como fazer a conversão. Qual deveria ser a equação de conversão que lhe permitiria transitar entre essas duas escalas?

4. A amplitude térmica é um dos fatores abióticos mais importantes para a manutenção da vida. Na superfície lunar, por exemplo, a diferença entre as temperaturas máxima e mínima atinge um valor de $300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Obtenha o valor correspondente dessa variação de temperatura na escala Fahrenheit.

5. **Uece 2021** A temperatura de conservação indicada pelos fabricantes de vacina é um fator fundamental para a manutenção da qualidade do produto. A vacina AstraZeneca, por exemplo, requer uma temperatura de conservação que esteja entre $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Um termômetro graduado na escala Fahrenheit foi utilizado para aferir a temperatura de doses dessa vacina acondicionadas em quatro caixas térmicas numeradas 1, 2, 3 e 4, medindo respectivamente os valores de $37,4\text{ }^{\circ}\text{F}$, $44,6\text{ }^{\circ}\text{F}$, $41\text{ }^{\circ}\text{F}$ e $51,8\text{ }^{\circ}\text{F}$. Assinale a opção que corresponde à caixa cujas doses da vacina **NÃO** estão mantidas à temperatura adequada.

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

6. O gráfico a seguir apresenta os valores da temperatura em $^{\circ}\text{C}$ em função de uma escala arbitrária X.



Obtenha a equação termométrica dessas duas escalas.

Guia de estudos

Física • Livro 1 • Frente 3 • Capítulo 1

- I. Leia as páginas de **276** a **282**.
- II. Faça os exercícios **1, 2, 4, 5, 6, 7** e **10** da seção “Revisando”.
- III. Faça os exercícios propostos **1, 3, 6, 8, 11, 12** e **14**.
- IV. Faça os exercícios complementares **2, 3, 5, 7, 13** e **14**.

Dilatação térmica de sólidos e líquidos

Conceitos iniciais

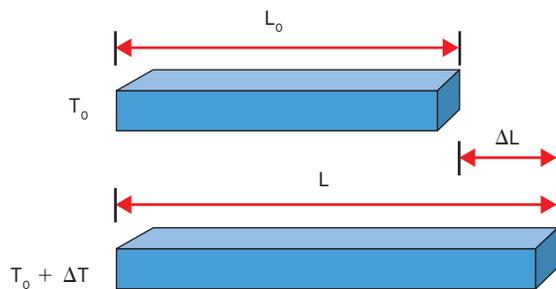
- Grande parte dos materiais, ao serem aquecidos, aumentam suas dimensões; quando resfriados, as diminuem. Chamamos isso de dilatação e contração térmicas. Porém, existem materiais com comportamento oposto, que, ao serem resfriados, dilatam.
- A **dilatação** ou **contração** térmicas sempre alteram o **volume** do corpo.
- A amplitude da dilatação térmica depende em geral da amplitude do aquecimento ou resfriamento ao qual o corpo é submetido. Depende também das dimensões iniciais do corpo e do material que o constitui.

Dilatação de sólidos

- Toda dilatação é volumétrica, isto é, acontece em três dimensões. No entanto, em alguns casos, podemos fazer aproximações bidimensionais (dilatação superficial) ou unidimensionais (dilatação linear), ignorando a(s) dimensão(ões) cuja dilatação é desprezível frente às demais.
- Para a **dilatação linear**, a variação de comprimento (ΔL) é dada por:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T \Rightarrow L = L_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

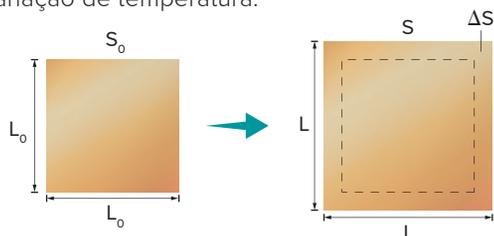
em que L_0 é o comprimento inicial, L é o comprimento final, e ΔT , a variação de temperatura.



- Para a **dilatação superficial**, a variação de área (ΔS) é dada por:

$$\Delta S = S_0 \cdot \beta \cdot \Delta T \Rightarrow S = S_0 \cdot (1 + \beta \cdot \Delta T)$$

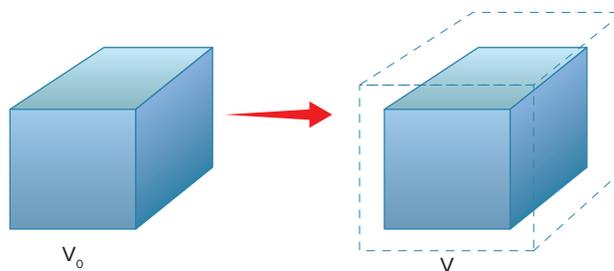
em que S_0 é a área inicial, S é a área final, e ΔT , a variação de temperatura.



- Para a **dilatação volumétrica**, a variação de volume (ΔV) é dada por:

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T \Rightarrow V = V_0 \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta T)$$

em que V_0 é o volume inicial, V é o volume final, e ΔT , a variação de temperatura.

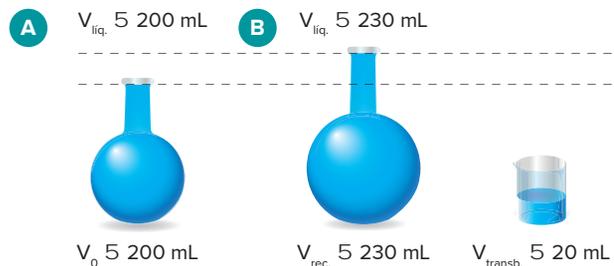


- De forma aproximada, os coeficientes de dilatação térmica para sólidos guardam a seguinte relação entre si:

$$\frac{\alpha}{1} = \frac{\beta}{2} = \frac{\gamma}{3}$$

Dilatação de líquidos

- O estudo da dilatação de um líquido deve levar em consideração a dilatação do recipiente que o contém. Os líquidos em geral apresentam coeficientes de dilatação maiores do que os sólidos.
- A dilatação observada para um líquido é diferente da medida e é chamada de aparente, uma vez que o recipiente que o contém também apresenta dilatação.

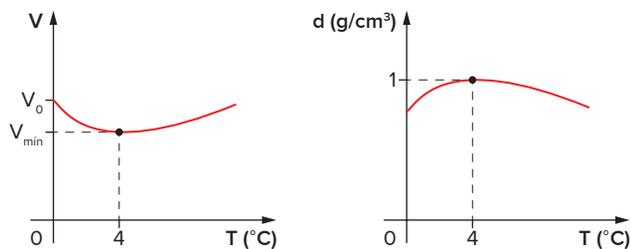


- Para tal, vale a relação entre os coeficientes de dilatação:

$$\gamma_{\text{líq.}} = \gamma_{\text{rec.}} + \gamma_{\text{aparente}}$$

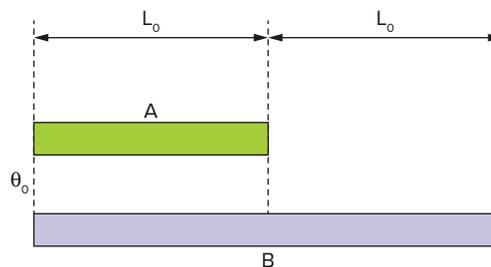
Comportamento anômalo da água

- A água é um líquido que apresenta um **comportamento anômalo**, pois, ao ser aquecida, entre $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, ela se contrai. O aquecimento continuado a partir dessa temperatura provoca a sua expansão.
- Os gráficos abaixo mostram o comportamento do volume e da densidade da água nas proximidades desse intervalo de temperatura.



Exercícios de sala

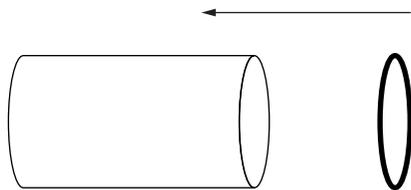
1. Uma barra metálica de 50 cm de comprimento a $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ em Porto Alegre (RS) é levada até Caruaru (PE), onde faz $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sendo o coeficiente de dilatação desse metal igual a $2 \cdot 10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, obtenha:
 - a) o aumento percentual do comprimento da barra;
 - b) o comprimento final da barra.
2. **Uefs-BA 2018** A figura representa duas barras metálicas, A e B, de espessura e largura desprezíveis, que apresentam, à temperatura inicial θ_0 , comprimentos iniciais L_0 e $2L_0$, respectivamente.



Quando essas barras sofrem uma mesma variação de temperatura $\Delta\theta$, devido à dilatação térmica, elas passaram a medir L_A e L_B . Sendo α_A e α_B os coeficientes de dilatação térmica linear, se $\alpha_A = 2\alpha_B$, então:

- a) $L_B - L_A < 0$
- b) $L_B - L_A = 0$
- c) $L_B - L_A = L_0$
- d) $L_B - L_A > L_0$
- e) $L_B - L_A < L_0$

3. **FMP-RJ 2021** Em um equipamento industrial, um anel de alumínio deve ser encaixado em um cano, como mostra a figura abaixo.



Entretanto, à temperatura inicial de $20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, os diâmetros externo do cano e interno do anel são iguais a $30,0\text{ cm}$, o que impossibilita o encaixe. O anel é, então, aquecido, para que ele dilate até que seu diâmetro fique $0,500\text{ mm}$ maior, de forma a permitir o encaixe. Nesse contexto, a temperatura final do anel, em $^{\circ}\text{C}$, que proporcionou essa dilatação é de, aproximadamente,

► **Dado:** coeficiente de dilatação linear do alumínio
 $\alpha = 25,0 \cdot 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

- a) 35,0
- b) 58,0
- c) 62,0
- d) 690
- e) 87,0

4. **FMJ-SP 2021** Uma barra de certo material, de comprimento 80 cm , sofre uma dilatação de $0,1\%$ em seu comprimento quando submetida a uma variação de temperatura de $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para que um bloco de 400 cm^3 do mesmo material sofra uma dilatação de $0,1\%$ de seu volume, ele deve ser submetido a uma variação de temperatura de

- a) $180\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- b) $60\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- c) $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- d) $120\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- e) $30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5. **Fatec-SP 2017** Numa aula de laboratório do curso de Soldagem da Fatec, um dos exercícios era construir um dispositivo eletromecânico utilizando duas lâminas retilíneas de metais distintos, de mesmo comprimento e soldados entre si, formando o que é chamado de “lâmina bimetálica”.

Para isso, os alunos fixaram de maneira firme uma das extremidades enquanto deixaram a outra livre, conforme a figura.



Considere que ambas as lâminas estão inicialmente sujeitas à mesma temperatura T_0 , e que a relação entre os coeficientes de dilatação linear seja $\alpha_A > \alpha_B$. Ao aumentar a temperatura da lâmina bimetálica, é correto afirmar que

- a) a **lâmina A** e a **lâmina B** continuam se dilatando de forma retilínea conjuntamente.
- b) a **lâmina A** se curva para baixo, enquanto a **lâmina B** se curva para cima.
- c) a **lâmina A** se curva para cima, enquanto a **lâmina B** se curva para baixo.
- d) tanto a **lâmina A** como a **lâmina B** se curvam para baixo.
- e) tanto a **lâmina A** como a **lâmina B** se curvam para cima.

6. **Mackenzie-SP 2019** Desertos são locais com temperaturas elevadas, extremamente áridos e de baixa umidade relativa do ar. O deserto do Saara, por exemplo, apresenta uma elevada amplitude térmica. Suas temperaturas podem ir de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ao longo de um único dia.



Imagem de satélite do Saara pelo NASA World Wind.

Uma chapa de ferro, cujo coeficiente de dilatação linear é igual a $1,2 \cdot 10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, é aquecida sendo submetida a uma variação de temperatura, que representa a amplitude térmica do deserto do Saara, no exemplo dado anteriormente.

Considerando sua área inicial igual a 5 m^2 , o aumento de sua área, em m^2 , é de

- a) $2,0 \cdot 10^{-6}$.
- b) $4,0 \cdot 10^{-3}$.
- c) $3,6 \cdot 10^{-3}$.
- d) $7,2 \cdot 10^{-3}$.
- e) $3,6 \cdot 10^{-6}$.

7. Considere o quadro a seguir que apresenta valores dos coeficientes de dilatação linear de alguns materiais.

Material	Coefficiente de dilatação linear ($10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)
Zinco	6,4
Alumínio	2,4
Latão	2,0
Cobre	1,7
Ferro	1,2

Uma placa metálica de 4 m^2 a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ é feita com algum desses materiais e ao se aquecer até $175\text{ }^{\circ}\text{C}$, observou-se que a sua área variou em 144 cm^2 . Com base nessas informações, de qual material a placa é feita?

- a) Zinco
- b) Alumínio
- c) Latão
- d) Cobre
- e) Ferro

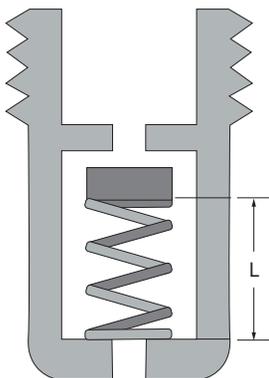
8. Um paralelepípedo reto de dimensões $3\text{ cm} \times 4\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ a $72\text{ }^{\circ}\text{F}$ é feito de um material cujo coeficiente de dilatação superficial vale $4 \cdot 10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Se o objeto é resfriado até $36\text{ }^{\circ}\text{F}$, qual foi a variação da superfície do objeto, em mm^2 ?

9. **Uerj 2022** Em um instituto de análises físicas, uma placa de determinado material passa por um teste que verifica o percentual de variação de sua área ao ser submetida a aumento de temperatura. Antes do teste, a placa, que tem área igual a $3,0 \cdot 10^3\text{ cm}^2$, encontra-se a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$; ao ser colocada no forno, sua temperatura atinge $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sabe-se que o coeficiente de dilatação linear do material que a constitui é igual a $1,5 \cdot 10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Nesse teste, o percentual de variação da área da placa foi de:

- a) 0,16%
- b) 0,12%
- c) 0,8%
- d) 0,6%

10. O alumínio é um metal cuja massa específica é igual a $\mu_{Al} = 2,7 \text{ g/cm}^3$ à temperatura de $0 \text{ }^\circ\text{C}$. Esse mesmo material possui coeficiente de dilatação volumétrica $\gamma_{Al} = 25 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, na faixa entre $100 \text{ }^\circ\text{C}$ e $390 \text{ }^\circ\text{C}$. Com base nessas informações, determine a densidade desse metal à temperatura de $200 \text{ }^\circ\text{C}$.

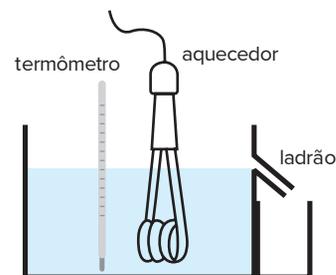
11. IFSul-RS 2017 A cada ano, milhares de crianças sofrem queimaduras graves com água de torneiras fervendo. A figura abaixo mostra uma vista em corte transversal de um dispositivo antiescaldante, bem simplificado, para prevenir este tipo de acidente.



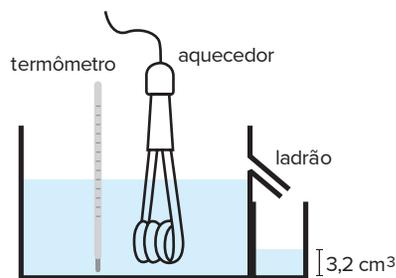
Dentro do dispositivo, uma bola feita com material com um alto coeficiente de expansão térmica controla o êmbolo removível. Quando a temperatura da água se eleva acima de um valor seguro preestabelecido, a expansão da mola faz com que o êmbolo corte o fluxo de água. Admita que o comprimento inicial L da mola não tensionada seja de $2,40 \text{ cm}$ e que seu coeficiente de expansão volumétrica seja de $66,0 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Nas condições propostas o aumento no comprimento da mola, quando a temperatura da água se eleva de $30 \text{ }^\circ\text{C}$, é de

- $1,58 \cdot 10^{-3} \text{ cm}$
- $4,74 \cdot 10^{-3} \text{ cm}$
- $3,16 \cdot 10^{-3} \text{ cm}$
- $2,37 \cdot 10^{-3} \text{ cm}$

12. Uerj 2018 Para uma análise física, um laboratório utiliza um sistema composto por um termômetro, um aquecedor, um recipiente com ladrão e outro recipiente menor acoplado a este. O primeiro recipiente é preenchido até a altura do ladrão com 400 cm^3 de um determinado líquido, conforme ilustrado abaixo.



O sistema, mantido em temperatura ambiente de $25 \text{ }^\circ\text{C}$, é então aquecido até $65 \text{ }^\circ\text{C}$. Como em geral os líquidos se dilatam mais que os sólidos, verifica-se o extravasamento de parte do líquido, que fica armazenado no recipiente menor. Após o sistema voltar à temperatura inicial, o volume extravasado corresponde a $3,2 \text{ cm}^3$. Observe a ilustração:



Sabendo que o coeficiente de dilatação volumétrica do material que constitui o recipiente é igual a $36 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, calcule o coeficiente de dilatação do líquido.

Guia de estudos

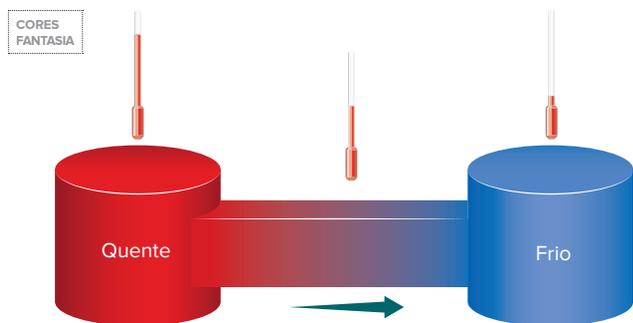
Física • Livro 1 • Frente 3 • Capítulo 2

- Leia as páginas de **294 a 302**.
- Faça os exercícios de **1 a 10** da seção "Revisando".
- Faça os exercícios propostos de **1 a 4, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 15, 17, 20, 22 e 27**.
- Faça os exercícios complementares **1, 2, 4, 5, 8, 9**, de **11 a 13, 15, 16, 19, 20 e 27**.

Calorimetria e sistemas termicamente isolados

Calor

- **Calor** é uma forma de energia que se transfere espontaneamente dos corpos de maior temperatura para os de menor temperatura. O fluxo do calor está esquematizado a seguir:



Representação esquemática da transferência espontânea de calor do corpo mais quente para o mais frio.

- **Efeitos do calor:** corpos que recebem calor podem se dilatar e se aquecer. Esses efeitos podem ser concomitantes. Corpos que perdem calor são capazes de se contrair e também se esfriar, reduzindo sua temperatura.

Calor sensível

- Para determinado corpo em aquecimento, quanto mais calor ele recebe, maior será a sua variação de temperatura. A relação entre essas duas grandezas é sua **capacidade térmica (C)** definida por:

$$Q = C \cdot \Delta T$$

em que Q é a quantidade de calor e ΔT , a variação de temperatura.

A capacidade térmica é uma característica de um determinado corpo ou objeto.

- O **calor específico (c)** é a capacidade térmica por massa unitária, definida por:

$$c = \frac{C}{m}$$

O calor específico é característica de uma substância.

- A **equação fundamental da Calorimetria** relaciona todas as informações associadas ao processo de aquecimento e resfriamento de um corpo e é escrita como:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

- O equivalente em água E de um corpo é a massa de água cuja capacidade térmica é igual à capacidade térmica do corpo.

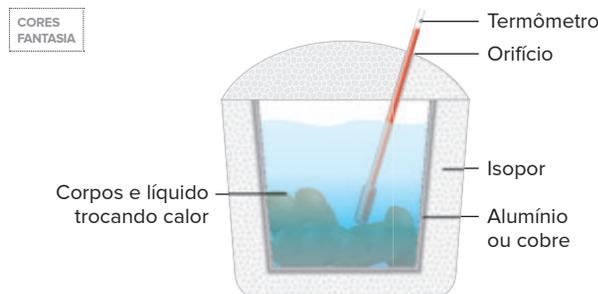
- **Calor perdido e calor recebido:** convenção de sinais: Algebricamente, podemos associar ao calor os sinais:
 - $Q > 0$: calor recebido;
 - $Q < 0$: calor cedido.
- A rapidez com que um corpo ganha ou cede calor é chamada de **potência térmica (P_T)** e é definida como:

$$P_T = \frac{|Q|}{\Delta t}$$

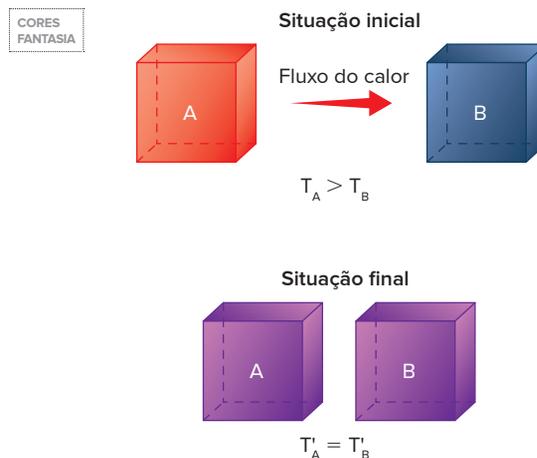
em que Q é a quantidade de calor recebida ou cedida e Δt é o intervalo de tempo associado a essa transferência.

Calorímetros

- **Calorímetro ideal** é o nome dado a um recipiente cuja capacidade é termicamente desprezível e cujas paredes são adiabáticas, constituindo um sistema termicamente isolado.



- Corpos a diferentes temperaturas e colocados em um sistema termicamente isolado trocam calor entre si até atingirem o equilíbrio térmico, quando suas temperaturas se igualam.



Representação esquemática da transferência de calor entre os corpos A e B, até que o equilíbrio térmico seja alcançado.

- O princípio da conservação da energia garante que, em um sistema termicamente isolado, as trocas de calor são apenas internas, de modo que podemos escrever a seguinte relação:

$$\Sigma Q_{\text{recebido}} + \Sigma Q_{\text{cedido}}$$

ou:

$$Q_1 + Q_2 + \dots + Q_N = 0$$

em que N é o enésimo corpo do sistema.

Exercícios de sala

1. Uma refeição característica das feiras livres no Brasil é o pastel. Considere que para fazê-lo, é necessário aquecer 2 litros de óleo a 200 °C. Qual é a quantidade de quilocalorias que se deve fornecer ao óleo para aquecê-lo em um dia que faz 20 °C?

► **Dados:** densidade do óleo = 0,9 g/cm³ e calor específico do óleo = 0,5 cal/g · °C.

- a) 162 kcal.
- b) 180 kcal.
- c) 200 kcal.
- d) 332 kcal.
- e) 360 kcal.

2. A pasteurização do leite é realizada ao aquecê-lo a 74 °C e reduzindo sua temperatura muito rapidamente até -4 °C. Sabendo que o calor específico médio do leite nesta faixa de temperatura vale 0,9 cal/g · °C, qual é a energia retirada nesse processo em um caldeirão contendo 300 kg de leite? Considere somente a troca de calor com o leite.

► **Dado:** considere a densidade do leite igual a 1,0 g/cm³.

3. **Fuvest-SP 2022** Um bom café deve ser preparado a uma temperatura pouco acima de $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para evitar queimaduras na boca, deve ser consumido a uma temperatura mais baixa. Uma xícara contém 60 mL de café a uma temperatura de $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Qual a quantidade de leite gelado (a uma temperatura de $5\text{ }^{\circ}\text{C}$) deve ser misturada ao café para que a temperatura final do café com leite seja de $65\text{ }^{\circ}\text{C}$?

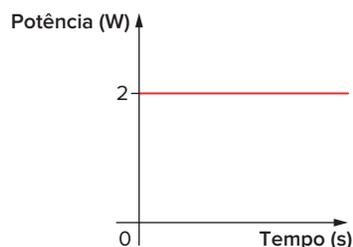
► **Note e adote:** considere que o calor específico e a densidade do café e do leite sejam idênticos.

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

4. Uma engenheira precisa criar uma peça metálica de 200 g cuja capacidade térmica vale $36\text{ cal}/^{\circ}\text{C}$. Sabendo que ela fará essa peça contendo somente cobre e alumínio, obtenha a massa de cada um que será utilizada para conseguir a peça desejada.

► **Dados:** calor específico do cobre = $0,09\text{ cal}/(\text{g} \cdot ^{\circ}\text{C})$ e calor específico do alumínio = $0,21\text{ cal}/(\text{g} \cdot ^{\circ}\text{C})$.

5. **Unesp 2022** Determinada peça de platina de 200 g , sensível à temperatura, é mantida dentro de um recipiente protegido por um sistema automático de refrigeração que tem seu acionamento controlado por um sensor térmico. Toda vez que a temperatura da peça atinge $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, um alarme sonoro soa e o sistema de refrigeração é acionado. Essa peça está dentro do recipiente em equilíbrio térmico com ele a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, quando, no instante $t = 0$, energia térmica começa a fluir para dentro do recipiente e é absorvida pela peça segundo o gráfico a seguir



Sabendo que o calor específico da platina é $0,03\text{ cal}/(\text{g} \cdot ^{\circ}\text{C})$ e adotando $1\text{ cal} = 4\text{ J}$, o alarme sonoro disparará, pela primeira vez, no instante

- a) $t = 8\text{ min.}$
- b) $t = 6\text{ min.}$
- c) $t = 10\text{ min.}$
- d) $t = 3\text{ min.}$
- e) $t = 12\text{ min.}$

6. **Facisb-SP 2021** Um jardineiro construiu um suporte para orquídeas aproveitando galhos obtidos da poda de uma árvore. Usando sua furadeira de 600 W de potência mecânica, fez furos nos galhos para poderem ser colocados alguns parafusos de fixação.

Um dos furos demorou 100 s para ser feito e nesse tempo a temperatura da broca subiu em $800\text{ }^{\circ}\text{C}$. Admita que toda energia mecânica transformada em calor nessa perfuração foi transferida apenas para a broca, sem dissipações para o meio, que o calor específico do aço do qual a broca é feita vale $500\text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ e que a broca tem massa igual a $0,06\text{ kg}$. O percentual da energia mecânica transferida da furadeira para a broca em forma de calor foi de

- a) 25% .
- b) 30% .
- c) 35% .
- d) 45% .
- e) 40% .

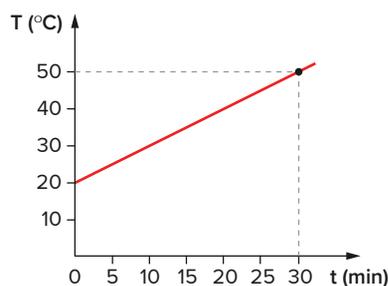
7. **Famema-SP 2021** Sabendo que o calor específico da água tem por definição o valor $1 \text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$, um estudante deseja determinar o valor do calor específico de um material desconhecido. Para isso, ele dispõe de uma amostra de 40 g desse material, de um termômetro na escala Celsius, de um recipiente de capacidade térmica desprezível e de uma fonte de calor de fluxo invariável.

Primeiramente, o estudante coloca 100 g de água no interior do recipiente e observa que, para elevar de 20°C a temperatura dessa quantidade de água, são necessários 5 minutos de exposição à fonte de calor. Em seguida, o estudante esvazia o recipiente e coloca em seu interior a amostra, verificando que, para elevar de 20°C a temperatura da amostra, a exposição à mesma fonte de calor deve ser de 1 minuto apenas.

O valor do calor específico procurado pelo estudante é

- a) $0,6 \text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$.
 - b) $0,5 \text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$.
 - c) $0,1 \text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$.
 - d) $0,2 \text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$.
 - e) $0,4 \text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$.
8. **FCMSCSP 2022** Uma esfera metálica maciça, de massa 600 g e inicialmente a 20°C , encontra-se no interior de um calorímetro de capacidade térmica desprezível. Adiciona-se ao calorímetro certa massa de água a 90°C e, após certo tempo, o sistema atinge o equilíbrio térmico a 70°C .
- a) Sabendo que os calores específicos da água e do material que constitui a esfera são, respectivamente, $1,0 \text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$ e $0,20 \text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$, calcule a quantidade de calor absorvida pela esfera nesse processo, em calorias, e a massa de água adicionada ao calorímetro, em gramas.
 - b) Sabendo que o volume da esfera a 20°C é 200 cm^3 , e que o coeficiente de dilatação linear do metal que a constitui é $2,0 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, calcule a variação do volume da esfera, em cm^3 , entre o início e o fim do processo.

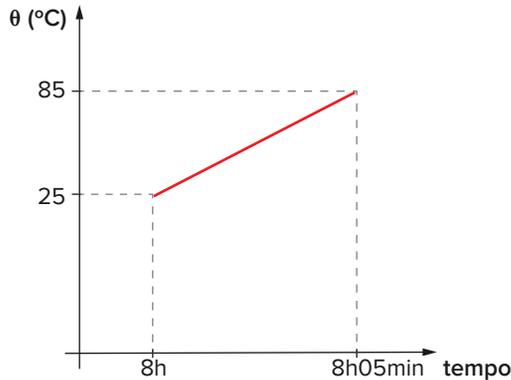
9. **EEAR-SP 2018** Um corpo absorve calor de uma fonte a uma taxa constante de $30 \text{ cal}/\text{min}$ e sua temperatura (T) muda em função do tempo (t) de acordo com o gráfico a seguir.



A capacidade térmica (ou calorífica), em $\text{cal}/^\circ\text{C}$, desse corpo, no intervalo descrito pelo gráfico, é igual a

- a) 1.
- b) 3.
- c) 10.
- d) 30.

10. **Unifesp 2018** Para a preparação de um café, 1 L de água é aquecido de 25 °C até 85 °C em uma panela sobre a chama de um fogão que fornece calor a uma taxa constante. O gráfico representa a temperatura (θ) da água em função do tempo, considerando que todo o calor fornecido pela chama tenha sido absorvido pela água.



Após um certo período de tempo, foram misturados 200 mL de leite a 20 °C a 100 mL do café preparado, agora a 80 °C, em uma caneca de porcelana de capacidade térmica 100 cal/°C, inicialmente a 20 °C. Considerando os calores específicos da água, do café e do leite iguais a 1 cal/(g · °C), as densidades da água, do café e do leite iguais a 1 kg/L, que 1 cal/s = 4 W e desprezando todas as perdas de calor para o ambiente, calcule:

- a) a potência, em W, da chama utilizada para aquecer a água para fazer o café.
 b) a temperatura, em °C, em que o café com leite foi ingerido, supondo que o consumidor tenha aguardado que a caneca e seu conteúdo entrassem em equilíbrio térmico.
11. **Famerp-SP 2018** Em um recipiente de capacidade térmica desprezível, 300 g de água, inicialmente a 20 °C, foram aquecidos. Após 2,0 minutos, quando a temperatura da água era 40 °C, mais 300 g de água a 20 °C foram adicionados ao recipiente. Considerando que não ocorreu perda de calor da água para o meio e que a fonte fornece calor a uma potência constante durante o processo, o tempo decorrido, após a adição da água, para que a temperatura da água atingisse 80 °C foi de
- a) 5,0 min.
 b) 14,0 min.
 c) 10,0 min.
 d) 15,0 min.
 e) 8,0 min.
12. **Famerp-SP 2020** Colocou-se certa massa de água a 80 °C em um recipiente de alumínio de massa 420 g que estava à temperatura de 20 °C. Após certo tempo, a temperatura do conjunto atingiu o equilíbrio em 70 °C. Considerando que a troca de calor ocorreu apenas entre a água e o recipiente, que não houve perda de calor para o ambiente e que os calores específicos do alumínio e da água sejam, respectivamente, iguais a $9,0 \cdot 10^2$ J/(kg · °C) e $4,2 \cdot 10^3$ J/(kg · °C), a quantidade de água colocada no recipiente foi
- a) 220 g.
 b) 450 g.
 c) 330 g.
 d) 520 g.
 e) 280 g.

Guia de estudos

Física • Livro 1 • Frente 3 • Capítulo 3

- I. Leia as páginas de 318 a 324.
- II. Faça os exercícios de 1 a 4 e de 6 a 9 da seção “Revisando”.
- III. Faça os exercícios propostos de 1 a 5, 7, 8, de 10 a 12, 16, 18, 22, 24 e 26.
- IV. Faça os exercícios complementares de 2 a 4, 7, 8, 10, de 12 a 14, 16 e de 18 a 20.

Mudanças de estado físico

Estados da matéria

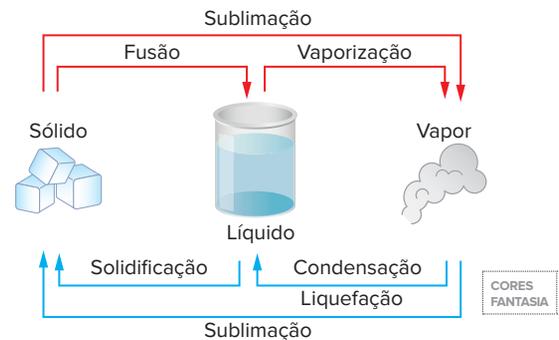
- A matéria pode ser encontrada naturalmente em vários estados físicos. Os mais facilmente identificáveis no cotidiano são o sólido, líquido e gasoso ou de vapor. Uma maneira simples de classificar os materiais está relacionada à forma e volume:

Estado	Forma	Volume
Sólido	Definida	Definido
Líquido	Depende do recipiente	Definido
Gasoso	Depende do recipiente	Depende do recipiente

- Os critérios de forma e volume, no entanto, não funcionam para muitas situações. Uma forma mais complexa e mais adequada de classificar os estados físicos refere-se às forças de ligação entre as partículas que compõem o material e à distância média entre elas e à sua liberdade de movimentação.

Mudanças de estado físico

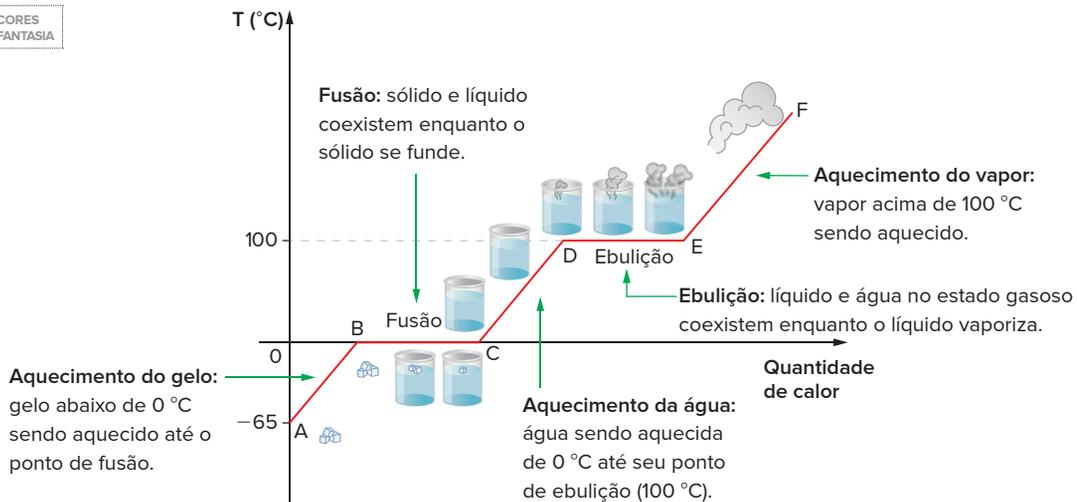
- As substâncias podem ser encontradas em mais de um estado físico e podem mudar de um estado a outro desde que atendidas certas condições de temperatura e pressão. As mudanças de estado físico têm nomes característicos, mostrados no diagrama ao lado, e não dependem da substância.
- É possível mudar de estado entre sólido e gasoso sem que a substância passe pelo estado líquido. Essa transformação é denominada sublimação.
- Uma maneira de realizar mudanças de estado físico é alterando a temperatura dos corpos, mantendo a pressão constante.



Curvas de aquecimento/resfriamento

- Para substâncias puras e cristalinas, a mudança de estado se processa à temperatura constante, característica da substância a uma dada pressão.
- As curvas de aquecimento/resfriamento são gráficos cartesianos que representam o comportamento da temperatura de um corpo ou porção de uma substância em função da quantidade de calor fornecida a ela ou cedida por ela.

CORES FANTASIA



Exemplo de curva de aquecimento para a água sob pressão de 1 atm.

Calor latente

- A quantidade de calor trocada pela substância com o meio externo durante uma mudança de estado é denominada **calor latente** e pode ser calculada por meio da expressão:

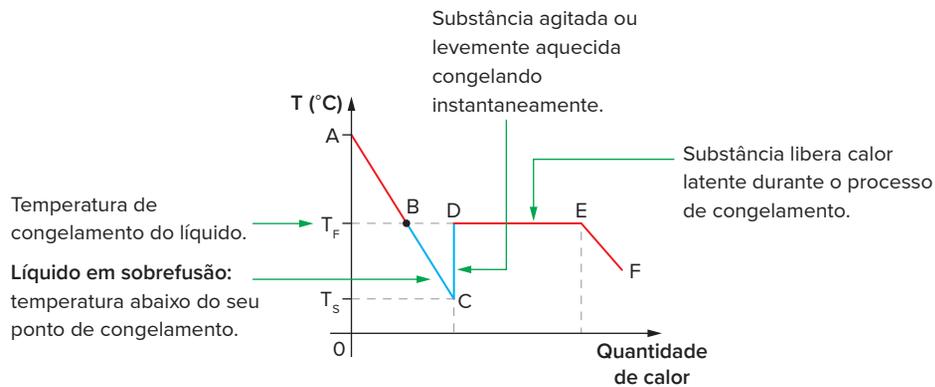
$$Q = m \cdot L$$

em que Q é a quantidade de calor trocada, m é a massa da amostra e L é o calor latente da transformação.

- As mudanças de estado físico são reversíveis de modo que os calores latentes de transformações equivalentes são iguais em módulo. Por exemplo, o calor latente de fusão é igual, em módulo, ao calor latente de solidificação.

Mudanças de estado físico específicas

- Sobrefusão** é a condição na qual uma substância líquida resfriada lentamente pode atingir temperaturas abaixo de seu ponto de congelamento, sem se solidificarem.

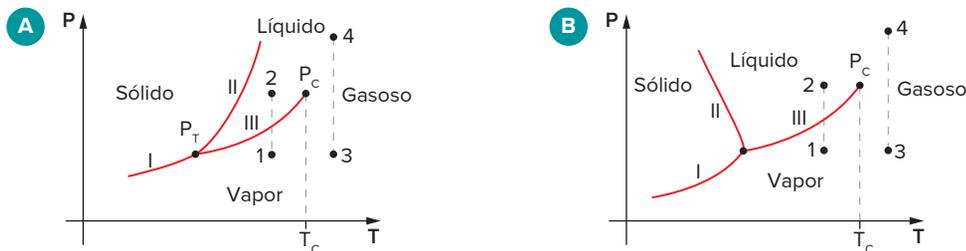


Curva de resfriamento de um líquido com destaque (em azul) para a sobrefusão.

- A adição de impurezas em porções de determinada substância pode alterar seus pontos de fusão e ebulição. A variação da pressão externa sobre a amostra também.
- A **vaporização** é o nome genérico que se dá à passagem do líquido ao gasoso. Devido a diferenças que ocorrem nessa passagem, a vaporização pode ser chamada de:
 - **evaporação**: processo lento e gradual que ocorre na superfície livre do líquido a qualquer temperatura;
 - **ebulição**: processo energético e turbulento que ocorre com toda a massa líquida à temperatura característica daquela substância a uma dada pressão;
 - **calefação**: processo altamente energético que ocorre quando o líquido entra em contato com uma grande quantidade de calor, vaporizando-se quase instantaneamente.
- A **condensação** e a **liquefação** se diferenciam pelo fato de se relacionarem à passagem de um gás à fase líquida ou de vapor à fase líquida, respectivamente.

Diagramas de estado

- Diagramas de estado são gráficos que representam, para uma dada substância, seus estados físicos e as condições de temperatura e pressão para que mudanças entre eles ocorram.



Diagramas de fases para duas substâncias diferentes. (A) Substância que diminui de volume ao se solidificar. (B) Substância que aumenta de volume ao se solidificar.

- No caso da água, em particular, destacamos o ponto crítico (a temperatura a partir da qual um gás não se liquefaz com o simples aumento de pressão) e o ponto triplo (no qual a água coexiste em seus três estados comuns: sólido, líquido e vapor).

Exercícios de sala

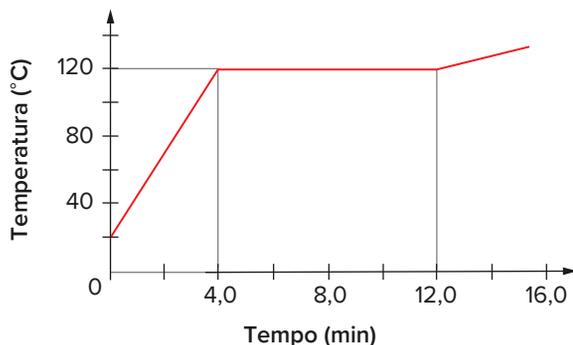
1. **IFSul-RS 2017** Uma das substâncias mais importantes para os seres vivos, a água, está oferecendo preocupação, pois está ameaçada de diminuição na natureza, onde pode ser encontrada nos estados sólido, líquido e vapor. Tendo como referência a água, analise as afirmativas abaixo, indicando, nos parênteses, se é verdadeira ou falsa.

- Para que ocorra a mudança de estado físico da água, à pressão constante, sua temperatura permanecerá constante, e ocorrerá troca de calor com o ambiente.
- Para que ocorra a evaporação da água do suor de nossa pele, deve ocorrer absorção de energia pelo nosso corpo.
- Para que certa quantidade de água entre em ebulição, à temperatura ambiente, é necessário que seja diminuída a pressão sobre ela.

A sequência correta, de cima para baixo, é

- a) F; V; V.
- b) V; V; F.
- c) V; F; V.
- d) F; F; V.

2. **FMABC-SP 2021** O gráfico mostra a temperatura de certa massa de uma substância, inicialmente no estado líquido, em função do tempo, ao receber calor de uma fonte.



Considerando-se que a fonte forneça calor à razão constante de $2,5 \cdot 10^4$ J/min, que o calor específico da substância no estado líquido seja $2,0 \cdot 10^3$ J/(kg \cdot °C) e que não haja perda de calor, o calor latente de vaporização dessa substância é

- a) $4,0 \cdot 10^5$ J/kg.
- b) $2,0 \cdot 10^4$ J/kg.
- c) $6,5 \cdot 10^4$ J/kg.
- d) $2,0 \cdot 10^6$ J/kg.
- e) $4,0 \cdot 10^3$ J/kg.

3. **FMJ-SP 2022** Uma pessoa colocou 4 pedras de gelo, de 15 g cada uma e todas inicialmente a 0°C , em um copo de suco de laranja e observou que todo o gelo derreteu em 20 minutos. Considerando o calor latente de fusão do gelo igual a $3,3 \cdot 10^5$ J/kg e desprezando as perdas de calor, a quantidade de calor absorvido pelas pedras de gelo, por unidade de tempo, foi, em média e aproximadamente, de

- a) $2,5 \cdot 10^2$ J/min.
- b) $1,0 \cdot 10^3$ J/min.
- c) $2,0 \cdot 10^4$ J/min.
- d) $2,5 \cdot 10^4$ J/min.
- e) $1,0 \cdot 10^5$ J/min.

4. **UFJF/Pism-MG 2021** Quando fornecemos calor a um bloco de gelo suas partículas absorvem energia, com consequente aumento de temperatura. Porém, existe uma temperatura em que a estrutura molecular do gelo não consegue manter-se (temperatura de fusão) e ao atingir essa temperatura, a organização molecular modifica-se. O calor recebido nesta fase é usado para realizar a mudança de fase, de sólido para líquido. Após a fusão do gelo, se é fornecido mais calor, a temperatura do líquido aumenta. Um exemplo desse processo é descrito pelo gráfico abaixo. Considere que o calor de fusão do gelo é 80 cal/g e que o calor específico da água é $1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$, determine:

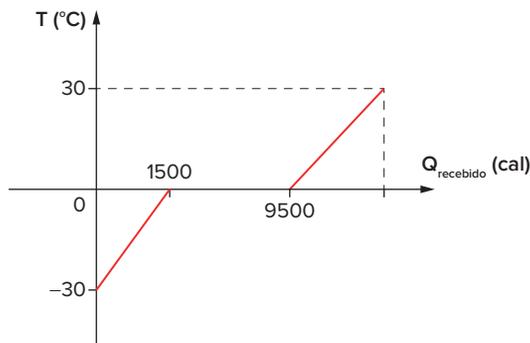


Gráfico: temperatura em função da quantidade de calor recebido.

- Qual a massa de gelo usada no processo?
- Qual o calor específico do gelo?
- Qual a quantidade total de calor usado em todo o processo?

5. **FCMMG 2020** Uma pedra de gelo, inicialmente à -30°C é aquecida, no nível do mar, até atingir 110°C e para isso absorve 1480 Kcal . Considere desprezível a capacidade térmica do recipiente. Sabe-se que os calores específicos da água nas fases sólida, líquida e gasosa são respectivamente $0,5 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$, $1,0 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ e $0,5 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ e que os calores de fusão e vaporização dessa substância são respectivamente 80 cal/g e 540 cal/g .

A massa de gelo envolvida nessa situação é de:

- $2,0 \text{ kg}$.
- $0,020 \text{ kg}$.
- $2,0 \text{ g}$.
- $0,2 \text{ g}$.

6. **Unifesp** Sobrefusão é o fenômeno em que um líquido permanece nesse estado a uma temperatura inferior à de solidificação, para a correspondente pressão. Esse fenômeno pode ocorrer quando um líquido cede calor lentamente, sem que sofra agitação. Agitado, parte do líquido solidifica, liberando calor para o restante, até que o equilíbrio térmico seja atingido à temperatura de solidificação para a respectiva pressão. Considere uma massa de 100 g de água em sobrefusão à temperatura de -10°C e pressão de 1 atm , o calor específico da água de $1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ e o calor latente de solidificação da água de -80 cal/g . A massa de água que sofrerá solidificação se o líquido for agitado será

- $8,7 \text{ g}$.
- $10,0 \text{ g}$.
- $12,5 \text{ g}$.
- $50,0 \text{ g}$.
- $60,3 \text{ g}$.

Guia de estudos

Física • Livro 1 • Frente 3 • Capítulo 4

- Leia as páginas de **338 a 346**.
- Faça os exercícios de **2 a 5, 8 e 9** da seção "Revisando".
- Faça os exercícios propostos **1, 2, 4, 5, 7, 9, 10, 13 e 14**.
- Faça os exercícios complementares **1, 4, 6, 9 e 10**.

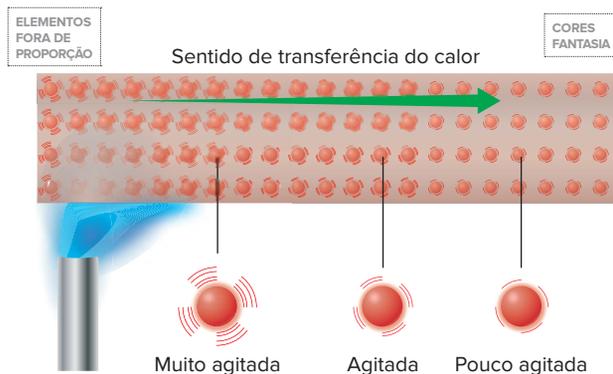
Processos de transferência de calor

Transferência de calor

- O calor se propaga espontaneamente do corpo de maior temperatura para o corpo de menor temperatura.
- Essa transferência pode ocorrer de três maneiras: por condução, por convecção e por irradiação.

Condução térmica

- Na **condução**, o calor é transferido de uma partícula a outra nas suas vizinhanças sem que elas necessariamente se desloquem, ou seja, sem haver transporte de matéria. Por essa razão, esse processo é o mais eficiente em **sólidos**.



O calor recebido da fonte, à esquerda do corpo, vai sendo transferido de partícula a partícula ao longo do objeto. As partículas mais próximas da fonte de calor apresentam maior energia vibracional; as mais distantes, menor.

- A análise da condução em sólidos permite classificá-los em **bons e maus condutores térmicos**. Essa classificação deve ser feita sempre por comparação entre dois materiais diferentes.
- É possível calcular a quantidade de calor transferida durante determinado processo. No caso de materiais sólidos em forma de barras ou chapas, utilizamos o modelo proposto por Joseph Fourier:

$$\phi = \frac{Q}{\Delta t} = k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{L}$$

em que ϕ é o fluxo de calor, Q é a quantidade de calor, Δt é o intervalo de tempo, k é uma constante chamada coeficiente de condutibilidade térmica, A é a área da seção transversal, ΔT é a variação de temperatura, e L é o comprimento da barra ou espessura da chapa.

Convecção térmica

- Na **convecção**, o calor se propaga com deslocamento de porções significativas de material. Por essa razão, esse processo de transferência de calor é muito eficiente em **fluidos** (líquidos e gases).

- Na convecção, a porção do fluido em contato direto com a fonte de calor se aquece mais do que o restante da massa fluídica. Devido a isso, essa porção se expande, diminuindo sua densidade.
- Devido à ação da gravidade, as porções mais frias do fluido (e mais densas) deslocam-se de forma mais eficiente para o fundo do recipiente, deslocando as porções mais quentes para cima.
- Com o contínuo recebimento de calor, essa troca de porções de material devido às diferentes densidades gera as chamadas **correntes de convecção**.



Representação de correntes de convecção na água de uma chaleira. No centro, a água mais quente e menos densa ascende; e a água mais fria e, portanto, mais densa, desce.

- As correntes de convecção estão presentes em diversos fenômenos que envolvem transferência de calor, como as brisas litorâneas, os terremotos, a subida de balões e a ocorrência de chuvas principalmente em regiões montanhosas.

Irradiação térmica

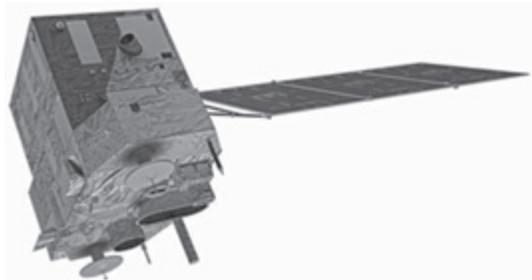
- **Irradiação térmica** é o processo no qual o calor é transferido de uma região a outra por meio de **ondas eletromagnéticas**. Esse é o único processo que pode ocorrer no **vácuo** e também em outros meios materiais.
- É por meio da irradiação que a energia do Sol atinge a Terra, atravessando a atmosfera, aquecendo a crosta terrestre e garantindo condições amenas para as formas de vida conhecidas.
- Parte do calor irradiado de volta pela superfície terrestre é absorvida por gases da atmosfera. Esse é o chamado **efeito estufa**.
- O efeito estufa depende da composição da atmosfera. Alterações significativas em sua composição podem aumentar ou reduzir a retenção do calor, alterando as temperaturas médias do planeta.

Minimização de transferência de calor

- Em algumas situações, desejamos minimizar as transferências de calor. Para tal, devemos utilizar artifícios que reduzam as perdas de calor por condução, convecção e irradiação de forma concomitante.
- O vaso de Dewar é um artefato desenvolvido com essa finalidade: manter materiais líquidos ou gasosos quentes ou frios, razoavelmente isolados do ambiente, pelo maior tempo possível.

Exercícios de sala

1. **CPS-SP 2020** A imagem mostra o satélite brasileiro CBERS-4 utilizado para monitoramento do nosso território e para desenvolvimento científico.



<<https://tinyurl.com/yxcamrb3>>. Acesso em: 10 out. 2019. Original colorido.

Como a maioria dos objetos colocados no espaço, o CBERS-4 é completamente envolvido por uma manta térmica protetora (Isolamento de Múltiplas Camadas, sigla em inglês MLI). Esse material tem como função diminuir o fluxo de calor, que pode ser um grande problema para objetos colocados em órbita, uma vez que facilmente eles podem ser submetidos a temperaturas maiores que $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ e menores que $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

No CBERS-4, com respeito à absorção de energia térmica proveniente do Sol, o revestimento térmico feito com o MLI tem como função inibir a absorção de energia apenas por I, tendo em vista que no espaço não existe ou é muito rarefeita a presença de matéria que poderia auxiliar no processo de troca de calor por II com a transferência do calor de partícula para partícula ou mesmo por III, em que porções de matéria aquecida trocam de posição com porções de matéria contendo menos calor.

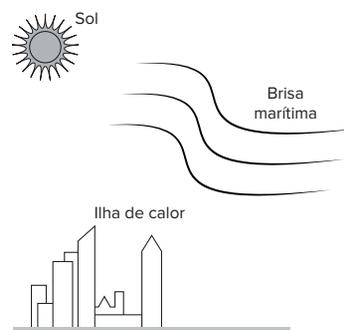
Assinale a alternativa que completa correta e respectivamente as lacunas da frase.

- condução – convecção – irradiação
- condução – irradiação – convecção
- convecção – condução – irradiação
- irradiação – condução – convecção
- irradiação – convecção – condução

2. **FCMSCSP 2021** Os tecidos do corpo humano possuem diferentes capacidades de transmitir calor. O coeficiente de condutibilidade térmica da pele vale $3,8\text{ J}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot ^{\circ}\text{C})$ e o da gordura subcutânea tem valor $1,9\text{ J}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot ^{\circ}\text{C})$. A relação entre a quantidade de calor que flui por 1 cm^2 de pele de espessura $1,0\text{ mm}$ a cada segundo (ϕ_P) e a quantidade de calor que flui por 1 cm^2 de gordura subcutânea de espessura $8,0\text{ mm}$ a cada segundo (ϕ_G), quando submetidos à mesma diferença de temperatura, é

- $\phi_P = 4\phi_G$
- $\phi_P = 16\phi_G$
- $\phi_P = 0,5\phi_G$
- $\phi_P = 2\phi_G$
- $\phi_P = 8\phi_G$

3. **Enem 2021** Na cidade de São Paulo, as ilhas de calor são responsáveis pela alteração da direção do fluxo da brisa marítima que deveria atingir a região de mananciais. Mas, ao cruzar a ilha de calor, a brisa marítima agora encontra um fluxo de ar vertical, que transfere para ela energia térmica absorvida das superfícies quentes da cidade, deslocando-a para altas altitudes. Dessa maneira, há condensação e chuvas fortes no centro da cidade, em vez de na região de mananciais. A imagem apresenta os três subsistemas que trocam energia nesse fenômeno.



No processo de fortes chuvas no centro da cidade de São Paulo, há dois mecanismos dominantes de transferência de calor: entre o Sol e a ilha de calor, e entre a ilha de calor e a brisa marítima.

VIVEIROS, M. **Ilhas de calor afastam chuvas de represas**. Disponível em: www2.feis.unesp.br. Acesso em: 3 dez. 2019 (adaptado).

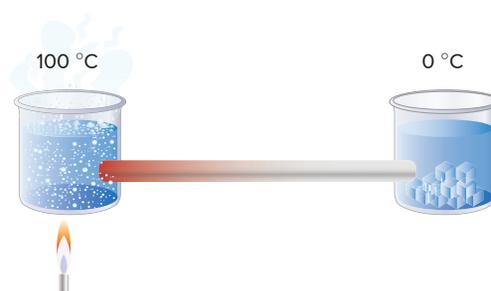
Esses mecanismos são, respectivamente,

- irradiação e convecção.
- irradiação e irradiação.
- condução e irradiação.
- convecção e irradiação.
- convecção e convecção.

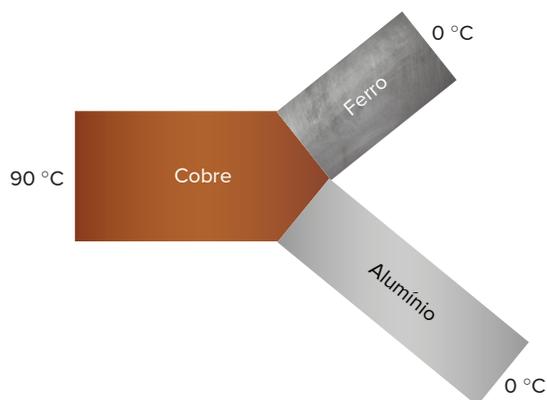
4. Uma barra de ferro com 0,6 m de comprimento e 12 cm^2 de área de seção transversal tem sua extremidade em contato com uma porção de água em ebulição, a $100 \text{ }^\circ\text{C}$, e a outra extremidade em contato com gelo fundente a $0 \text{ }^\circ\text{C}$.

► **Dado:** coeficiente de condutividade térmica do ferro = $0,16 \text{ cal/cm} \cdot \text{s} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$.

- Determine o fluxo de calor (ϕ) ao longo da barra.
- Determine a temperatura em uma seção transversal de barra a 15 cm da extremidade quente ($100 \text{ }^\circ\text{C}$).



5. Considere um dispositivo composto de três barras metálicas, conforme a figura a seguir.



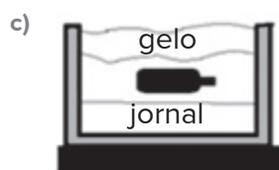
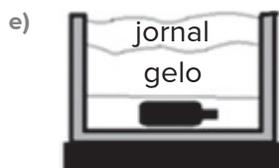
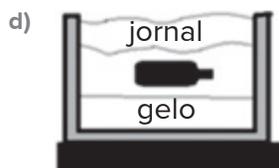
As informações sobre cada barra são dadas no quadro a seguir.

Barra	Comprimento	Área da seção transversal	Condutividade térmica ($\text{J/s} \cdot \text{m} \cdot \text{K}$)
Cobre	2L	2A	400
Ferro	L	A	80
Alumínio	2L	A	240

Sabendo que a superfície livre do cobre está a $90 \text{ }^\circ\text{C}$, enquanto as superfícies livres do ferro e alumínio estão a $0 \text{ }^\circ\text{C}$, obtenha a temperatura na junção das três barras.

► **Dado:** considere o sistema em regime estacionário.

6. **Cefet-MG 2015** Estudantes de uma escola participaram de uma gincana e uma das tarefas consistia em resfriar garrafas de refrigerante. O grupo vencedor foi o que conseguiu a temperatura mais baixa. Para tal objetivo, as equipes receberam caixas idênticas de isopor sem tampa e iguais quantidades de jornal, gelo em cubos e garrafas de refrigerante. Baseando-se nas formas de transferência de calor, indique a montagem que venceu a tarefa.



Guia de estudos

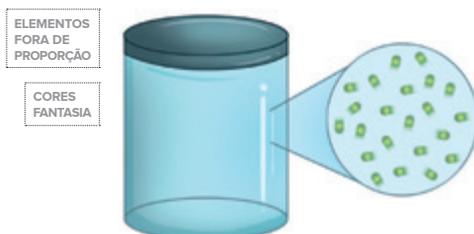
Física • Livro 1 • Frente 3 • Capítulo 5

- I. Leia as páginas de **358 a 366**.
- II. Faça os exercícios de **1 a 3**, de **5 a 7**, **9** e **10** da seção "Revisando".
- III. Faça os exercícios propostos **2, 6, 9, 11, 12** e **14**.
- IV. Faça os exercícios complementares **1, 3, 7, 9, 12** e **14**.

Gases e transformações gasosas

Transformações gasosas

- O **modelo de gás perfeito** ou ideal pressupõe: partículas de tamanho desprezível e pouco numerosas (gás rarefeito); interações somente durante as colisões entre elas ou com as paredes do recipiente; colisões perfeitamente elásticas; não há reação química entre elas.



Representação do modelo de gás ideal.

- **Variáveis de estado de um gás ideal**
 - **pressão (P):** associada ao conjunto das forças aplicadas pelas partículas do gás nas paredes do recipiente;
 - **volume (V):** tomado como sendo o volume do recipiente que contém o gás;
 - **temperatura (T):** associada à energia cinética média das partículas que compõem o gás.
- **Transformações gasosas:** alterações em pelo menos uma das variáveis de estado, levando o gás a um novo estado de equilíbrio.
- **Transformações gasosas especiais:** uma das variáveis de estado permanece constante durante uma transformação gasosa.
 - **Isobárica:** pressão permanece constante;
 - **Isotérmica:** temperatura permanece constante;
 - **Isocórica:** volume permanece constante.
- Equação geral das transformações gasosas:

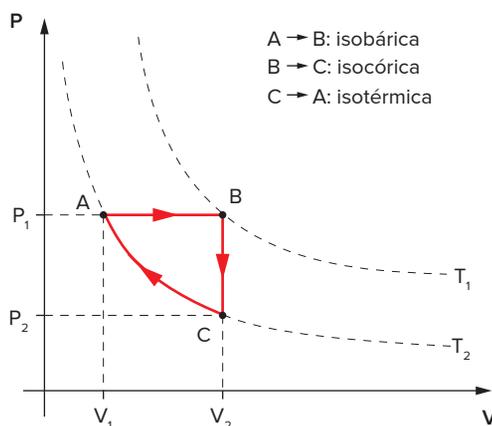
$$\frac{P_i \cdot V_i}{T_i} = \frac{P_f \cdot V_f}{T_f}$$

- Equação de estado ou equação de Clapeyron:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

em que n é número de mols e R é a constante universal dos gases.

- **Importante:** nas equações anteriores, a temperatura sempre deve estar em kelvin.
- **Diagramas PV** (ou diagramas de Clapeyron) para as transformações gasosas:



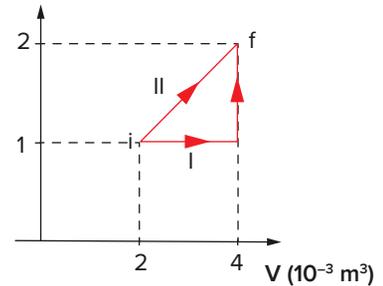
Exercícios de sala

1. **UFRGS 2019** Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas do enunciado abaixo, na ordem em que aparecem.

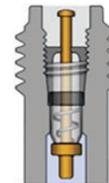
No processo I, o gás sofre duas transformações sucessivas, sendo a primeira _____ e a segunda _____. A variação de energia interna no processo I, ΔU_I , é _____ variação de energia interna no processo II, ΔU_{II} .

- isobárica – isocórica – maior do que a
- isocórica – isotérmica – maior do que a
- isotérmica – isocórica – igual à
- isobárica – isocórica – igual à
- isocórica – isobárica – menor do que a

p (10^4 N/m²)



2. **FICSAE-SP 2018** A bomba de ar para bicicleta da figura possui 50,0 cm de comprimento interno para o deslocamento do pistão. Quando acoplada à câmara de ar totalmente vazia do pneu de uma bicicleta e com o pistão recuado de 45,0 cm, medido a partir da base da bomba, a pressão interna do ar é de 1,0 atm. Quando o ar é injetado sob pressão, em uma válvula tipo Schrader da câmara de ar, a força exercida pelo seu fluxo vence a força de retenção de uma mola, abrindo o obturador e permitindo sua entrada (veja a figura).



Válvula da câmara de ar

<https://www.walmart.com.br/item/4139595>

É necessária uma pressão de 1,2 atm para que o obturador da válvula seja aberto, permitindo a entrada de ar em seu interior. De quantos centímetros deve ser deslocado o pistão para que isso seja possível, sabendo que, ao longo desse deslocamento, a temperatura do sistema não se altera?

- 7,5
- 9,0
- 15,0
- 37,5

3. **FMJ-SP 2022** Um balão meteorológico, preenchido com gás hélio, foi lançado com volume de $3,0 \text{ m}^3$, temperatura de 300 K e pressão interna de $1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Ao atingir certa altitude, o balão explodiu quando a pressão e a temperatura do gás no seu interior eram, respectivamente, $2,0 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ e 220 K . Considerando que o gás hélio se comporte como um gás ideal, o volume do balão no momento da explosão era
- a) 150 m^3 .
 - b) 125 m^3 .
 - c) 180 m^3 .
 - d) 110 m^3 .
 - e) 220 m^3 .
4. **UPF-RS 2019** Considerando que o volume de um gás ideal é $V_1 = 0,5 \text{ m}^3$ na temperatura $T_1 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ e pressão P_1 , podemos afirmar que, na pressão $P_2 = 0,5P_1$ e $T_2 = 10T_1$, o volume do gás, em m^3 , será
- a) 1.
 - b) 5.
 - c) 20.
 - d) 10.
 - e) 0,1.

5. **Unimes-SP 2021** Cadeiras de escritório possuem um sistema de amortecimento a ar. Entre o acento e os pés da cadeira, há um cilindro dotado de um pistão contendo ar em seu interior.



Em uma dessas cadeiras, o volume de ar contido no interior do cilindro é de $2,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$, sendo sua pressão igual a $1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. No momento em que uma pessoa se senta na cadeira, o volume de ar aprisionado passa a ser de $2,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$. Admitindo-se que o ar possa ser considerado um gás ideal, que ele não escape do sistema de amortecimento e que sua temperatura não sofra alteração, o novo valor da pressão do ar aprisionado é de

- a) $1,4 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.
- b) $1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.
- c) $2,2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.
- d) $0,8 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.
- e) $2,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

6. **Unicamp-SP 2020** O CO_2 dissolvido em bebidas carbonatadas, como refrigerantes e cervejas, é o responsável pela formação da espuma nessas bebidas e pelo aumento da pressão interna das garrafas, tornando-a superior à pressão atmosférica. O volume de gás no “pescoço” de uma garrafa com uma bebida carbonatada a 7°C é igual a 24 mL, e a pressão no interior da garrafa é de $2,8 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Trate o gás do “pescoço” da garrafa como um gás perfeito. Considere que a constante universal dos gases é de aproximadamente $8 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$ e que as temperaturas nas escalas Kelvin e Celsius relacionam-se da forma $T (\text{K}) = \theta (^\circ\text{C}) + 273$. O número de moles de gás no “pescoço” da garrafa é igual a

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

Guia de estudos

Física • Livro 1 • Frente 3 • Capítulo 6

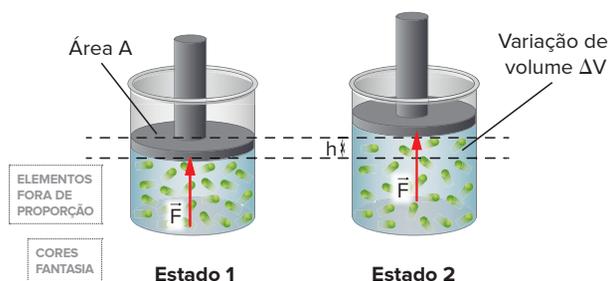
- I. Leia as páginas de **380 a 387**.
- II. Faça os exercícios de **1 a 5** da seção “Revisando”.
- III. Faça os exercícios propostos de **1 a 4, 6, 7, 9 e 10**.
- IV. Faça os exercícios complementares **4, 7, 9, 12, 16 e 17**.

Gases e Termodinâmica

Trabalho de um gás

- O trabalho de um gás a pressão constante é dado por:

$$W_{\text{gás}} = P_{\text{gás}} \cdot \Delta V$$

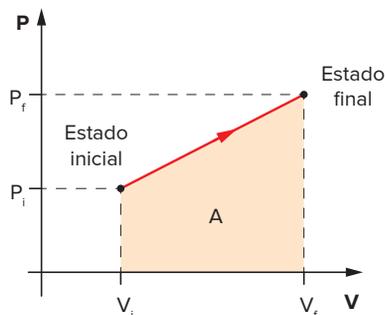


Grandezas envolvidas nas transformações gasosas em um cilindro com êmbolo móvel.

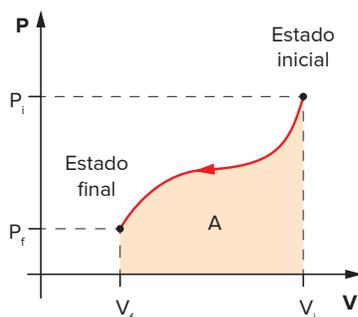
- O trabalho de um gás a pressão variável é numericamente igual à área compreendida entre os volumes inicial e final no eixo horizontal e a curva representada.

$$W_{\text{gás}} \stackrel{N}{=} \text{Área}_{P \times V}$$

- Se ocorre expansão, o volume aumenta e o trabalho é positivo.

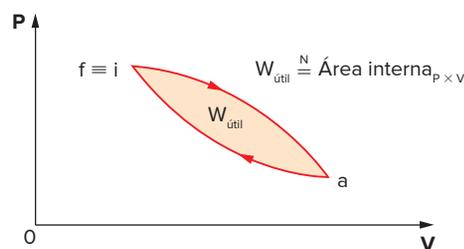


- Se ocorre contração, o volume diminui e o trabalho é negativo.



Transformação adiabática e transformação cíclica

- Transformação adiabática:** aquela que ocorre sem troca de calor com o meio externo.
- Transformações cíclicas:** o gás passa por uma sequência de transformações, retornando ao estado inicial. O gráfico abaixo apresenta um exemplo de transformação cíclica e o cálculo do trabalho em um ciclo.



Ciclo	Horário	$W_{\text{ciclo}} > 0$
	Anti-horário	$W_{\text{ciclo}} < 0$

- A energia interna** de um gás ideal está associada à energia cinética média das partículas que o compõem, podendo, portanto, ser associada diretamente à temperatura do gás. A variação da energia interna, por sua vez, pode ser calculada por meio da equação:

$$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T$$

- Primeira lei da Termodinâmica:**

$$\Delta U = Q - W$$

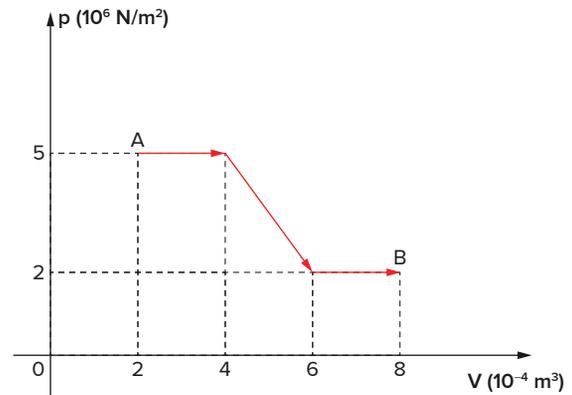
Grandezas termodinâmicas		
Calor (Q)	$Q > 0$ Recebido pelo gás do meio externo.	$Q < 0$ Cedido pelo gás para o meio externo.
Trabalho (W)	$W > 0$ Realizado pelo gás na expansão.	$W < 0$ Recebido pelo gás em sua compressão.
Var. da energia interna (ΔU)	$\Delta U > 0$ Aumento de temperatura no seu aquecimento.	$\Delta U < 0$ Redução de temperatura no seu resfriamento.

- A **relação de Mayer** associa as capacidades térmicas molares a pressão constante (C_p) e a volume constante (C_v):

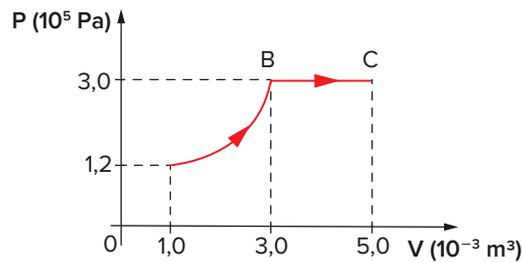
$$C_p - C_v = R$$

Exercícios de sala

1. **Uefs-BA 2016** Um fluido se expande do estado A para o estado B, como indicado no diagrama da figura. Analisando-se essas informações, é correto afirmar que o trabalho realizado nessa expansão, em kJ, é igual a
- a) 2,3.
 - b) 2,2.
 - c) 2,1.
 - d) 2,0.
 - e) 1,9.



2. **FICSAE-SP 2019** Para provocar a transformação gasosa ABC, representada no diagrama $P \times V$, em determinada massa constante de gás ideal, foi necessário fornecer-lhe 1400 J de energia em forma de calor, dos quais 300 J transformaram-se em energia interna do gás, devido ao seu aquecimento nesse processo.



Considerando não ter havido perda de energia, o trabalho realizado pelas forças exercidas pelo gás no trecho AB dessa transformação foi de

- a) 600 J.
- b) 400 J.
- c) 500 J.
- d) 1100 J.
- e) 800 J.

3. **FCMSCSP 2022** Paul Bert (1833-1886), que é considerado o pioneiro do estudo da fisiologia da altitude, montou em seu laboratório, na Universidade de Sorbonne, uma câmara de descompressão grande o suficiente para permitir a um homem sentar-se confortavelmente em seu interior para simular os efeitos da altitude.

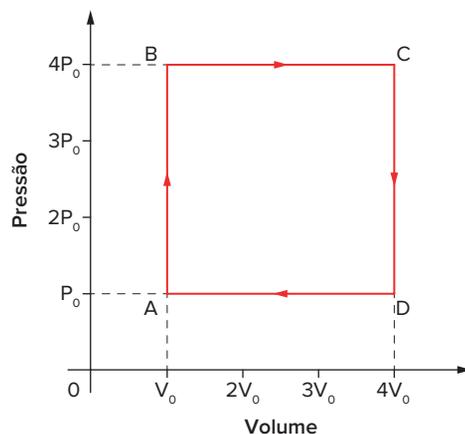


(Frances Ashcroft. A vida no limite, sem data. Adaptado.)

Suponha que, em um de seus estudos, Paul Bert tenha fechado uma pessoa na câmara contendo inicialmente 120 mols de ar e, após fechá-la, reduzido a pressão para 60% do valor inicial, sem que houvesse alteração da temperatura e do volume do ar no interior da câmara. Considerando o ar como um gás ideal, a quantidade de mols de ar retirados da câmara após o seu fechamento foi

- a) 48.
- b) 42.
- c) 36.
- d) 54.
- e) 62.

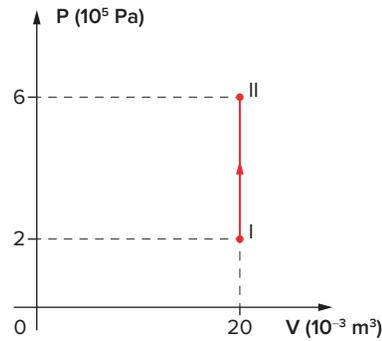
4. **FICSAE-SP 2022** Determinada massa constante de gás ideal sofre a transformação cíclica ABCDA, representada no diagrama Pressão \times Volume.



Sendo T a temperatura absoluta desse gás em cada um dos estados indicados no diagrama, afirma-se que

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

5. **Unesp 2022** Em um recipiente de paredes rígidas, estão confinados 4 mols de um gás monoatômico ideal que, ao absorver determinada quantidade de calor, sofreu uma transformação isovolumétrica entre dois estados, I e II, representada no diagrama $P \times V$.

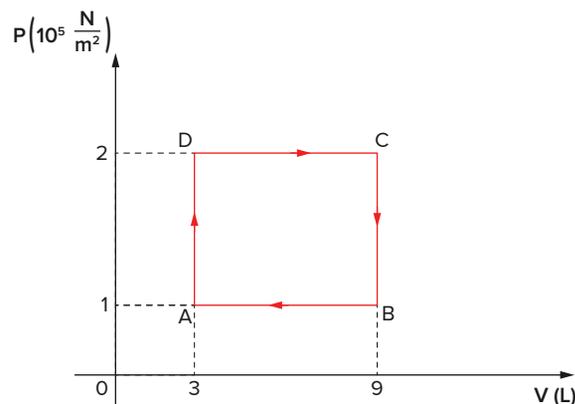


Adotando os valores $R = 8 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$ para a constante universal dos gases e $c_v = 12 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$ para o calor específico molar

desse gás a volume constante, a quantidade de calor absorvida pelo gás para que sofresse tal transformação foi de

- 16 000 J.
- 14 000 J.
- 18 000 J.
- 12 000 J.
- 10 000 J.

6. Seja o ciclo termodinâmico representado abaixo, executado por um gás monoatômico.



Preencha as células vazias do quadro com os valores correspondentes, em unidades do SI.

Transformação	AD	DC	CB	BA	ADCBA
ΔU					
Q					
W					

Guia de estudos

Física • Livro 1 • Frente 3 • Capítulo 6

- Leia as páginas de **387 a 398**.
- Faça os exercícios de **6 a 9** da seção “Revisando”.
- Faça os exercícios propostos de **16 a 20, 23, 24 e 26**.
- Faça os exercícios complementares **18, 19, 24, 25, 30, 32, 35 e 36**.

FRENTE 4

AULAS 1 A 5

Dinâmica I

Definições

- **Massa:** propriedade de um corpo associada a sua inércia.
- **Força:** grandeza vetorial responsável pela aceleração de um corpo.
 - Resultante de forças:

$$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots + \vec{F}_n \text{ ou } \vec{F}_R = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$$

- **Forças de contato:** só existem quando duas superfícies entram em contato.
- **Forças de ação a distância:** existem mesmo que as superfícies dos corpos não estejam em contato.
- **Força externa:** quando um agente externo ao sistema exerce a força sobre uma parte do sistema.
- **Força interna:** quando uma parte do sistema exerce a força sobre outra parte do mesmo sistema.

Leis de Newton

- **Primeira lei de Newton (princípio da inércia):**
Um corpo tende a manter seu estado de repouso ou de movimento retilíneo uniforme se a resultante das forças que agem sobre ele for nula.

- **Segunda lei de Newton (princípio fundamental da Dinâmica):**

$$\vec{F}_R = m \cdot \vec{a}$$

- **Terceira lei de Newton (princípio da ação e reação):**
Se um corpo A exerce uma força sobre outro corpo B, então o corpo B exerce sobre o corpo A uma força de mesmo módulo e mesma direção, mas de sentido contrário.

Principais forças da Mecânica

- **Força peso:** força que a Terra exerce sobre um corpo situado nas suas proximidades; é dada por $\vec{P} = m \cdot \vec{g}$, em que \vec{g} representa o campo gravitacional local, gerado pela Terra.
- **Força normal:** tem direção perpendicular à superfície de contato entre dois corpos; tem sentido do corpo que aplica a força para o corpo que recebe a força.
- **Força de tração em fio:** tem a direção do fio e é orientada no sentido de tracionar o fio, nunca de comprimi-lo; em fios ideais (de massa desprezível, inextensíveis e flexíveis) todos os seus pontos recebem e exercem a mesma força.

Exercícios de sala

Considere, quando necessário, $g = 10 \text{ m/s}^2$.

1. **Fuvest-SP 2021** Considere as seguintes afirmações:

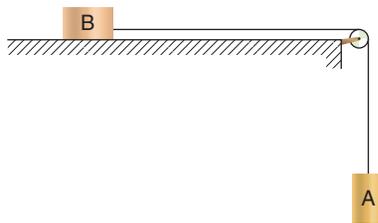
- Uma pessoa em um trampolim é lançada para o alto. No ponto mais alto de sua trajetória, sua aceleração será nula, o que dá a sensação de “gravidade zero”.
- A resultante das forças agindo sobre um carro andando em uma estrada em linha reta a uma velocidade constante tem módulo diferente de zero.

- III. As forças peso e normal atuando sobre um livro em repouso em cima de uma mesa horizontal formam um par ação-reação.

De acordo com as leis de Newton:

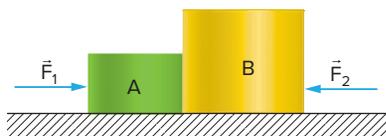
- Somente as afirmações I e II são corretas.
- Somente as afirmações I e III são corretas.
- Somente as afirmações II e III são corretas.
- Todas as afirmações são corretas.
- Nenhuma das afirmações é correta.

2. **Unifesp** Na representação da figura, o bloco A desce verticalmente e traciona o bloco B, que se movimenta em um plano horizontal por meio de um fio inextensível. Considere desprezíveis as massas do fio e da roldana e todas as forças de resistência ao movimento.



Suponha que, no instante representado na figura, o fio se quebre. Pode-se afirmar que, a partir desse instante:

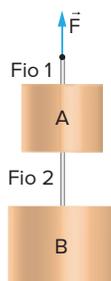
- a) o bloco A adquire aceleração igual à da gravidade; o bloco B para.
 - b) o bloco A adquire aceleração igual à da gravidade; o bloco B passa a se mover com velocidade constante.
 - c) o bloco A adquire aceleração igual à da gravidade; o bloco B reduz sua velocidade e tende a parar.
 - d) os dois blocos passam a se mover com velocidade constante.
 - e) os dois blocos passam a se mover com a mesma aceleração.
3. Na figura, os corpos A e B, de massas $m_A = 2 \text{ kg}$ e $m_B = 4 \text{ kg}$, estão apoiados em uma superfície plana, horizontal e lisa. Ao bloco A é aplicada uma força horizontal $\vec{F}_1 = 25 \text{ N}$ e ao bloco B é aplicada uma força horizontal $\vec{F}_2 = 7 \text{ N}$, conforme a figura.



Determine:

- a) a aceleração do conjunto.
- b) a força resultante em A.
- c) a força que A exerce em B.

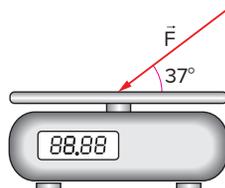
4. Dois blocos, A e B, estão ligados pelo fio 2 e, sobre o fio 1, é aplicada uma força \vec{F} , conforme a figura a seguir. As massas de A e B são, respectivamente, iguais a 3 kg e 2 kg.



Determine:

- as trações em 1 e 2 quando os corpos são mantidos em repouso.
- as trações em 1 e 2 quando os corpos possuem uma aceleração de $3,0 \text{ m/s}^2$, vertical e para cima.
- as trações em 1 e 2 quando os corpos estão em queda livre.

5. **Unifesp** Suponha que um comerciante inescrupuloso aumente o valor assinalado pela sua balança, empurrando sorrateiramente o prato para baixo com uma força \vec{F} de módulo 5,0 N, na direção e sentido indicados na figura.



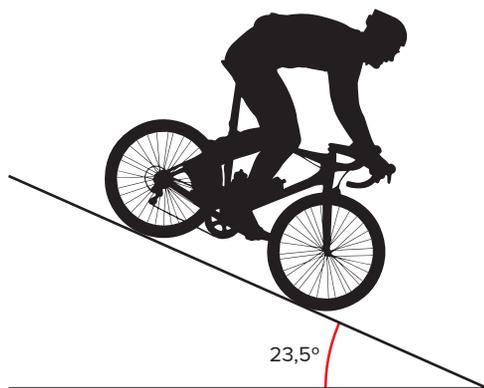
Com essa prática, ele consegue fazer com que uma mercadoria de massa 1,5 kg seja medida por essa balança como se tivesse massa de:

► **Dados:** $\sin 37^\circ = 0,60$; $\cos 37^\circ = 0,80$; $g = 10 \text{ m/s}^2$.

- 3,0 kg
- 2,4 kg
- 2,1 kg
- 1,8 kg
- 1,7 kg

6. Um homem de 90 kg está sobre uma balança graduada em newtons no interior de um elevador. Determine:
- a indicação da balança quando o elevador desce com aceleração constante de 3 m/s^2 .
 - o módulo e o sentido da aceleração do elevador quando a balança marca 1 080 N.

7. **Famerp-SP 2021** Ao descer uma ladeira plana e inclinada $23,5^\circ$ em relação à horizontal, um ciclista mantém sua velocidade constante acionando os freios da bicicleta.

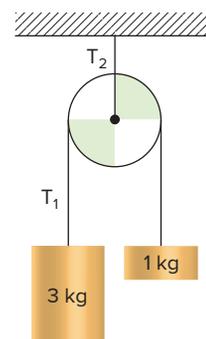


(<https://br.pinterest.com>. Adaptado.)

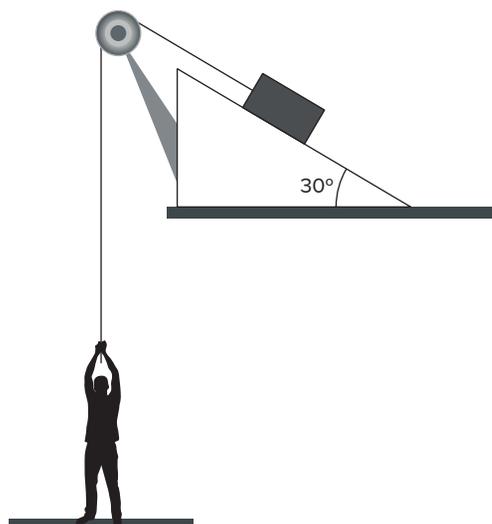
Considerando que a massa do ciclista e da bicicleta, juntos, seja 70 kg, que a aceleração gravitacional no local seja 10 m/s^2 , que $\sin 23,5^\circ = 0,40$ e que $\cos 23,5^\circ = 0,92$, a intensidade da resultante das forças de resistência ao movimento que atuam sobre o conjunto ciclista mais bicicleta, na direção paralela ao plano da ladeira, é

- nula.
- 760 N.
- 280 N.
- 1 750 N.
- 640 N.

8. No arranjo da figura, o fio e a polia têm massas desprezíveis. O fio é inextensível e passa sem atrito pela polia. Determine:
- a aceleração dos corpos.
 - a tração T_1 .
 - a tração T_2 .



9. **Famema-SP 2022** Um bloco de 60 kg é abandonado sobre um plano inclinado em 30° com a horizontal. Para mantê-lo em repouso, o bloco é preso a uma das extremidades de um fio que, após passar por uma roldana fixa, é puxado verticalmente para baixo, na outra extremidade, por um homem de 80 kg que está em repouso, de pé, sobre um piso horizontal, como ilustra a figura.



Considere o fio e a roldana ideais, os atritos desprezíveis, o trecho do fio entre o bloco e a roldana paralelo ao plano inclinado e $g = 10 \text{ m/s}^2$. O módulo da força exercida pelo piso horizontal sobre o homem é

- 800 N.
- 600 N.
- 500 N.
- 300 N.
- 200 N.

Guia de estudos

Física • Livro 2 • Frente 1 • Capítulo 8

- Leia as páginas de **74 a 80**.
- Faça os exercícios de **6 a 10** da seção "Revisando".
- Faça os exercícios propostos **1**, de **3 a 17**, de **19 a 22, 24**, de **27 a 30, 32**, de **34 a 40**, de **42 a 45, 47, 48**, de **50 a 52, 54, 55, 57, 58 e 62**.

Dinâmica II

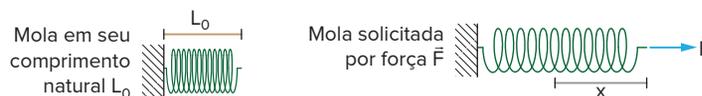
Força elástica

- Força realizada por uma mola na região elástica de deformação. Tem a direção da mola e o sentido de tracionar ou comprimir a mola; o módulo é dado pela lei de Hooke:

$$F = k \cdot x$$

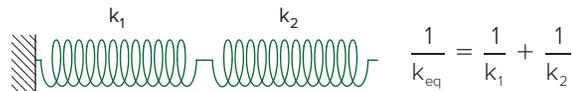
em que:

- k é a constante elástica da mola;
- x é a deformação da mola.



- **Dinamômetro:** instrumento utilizado para medir forças.

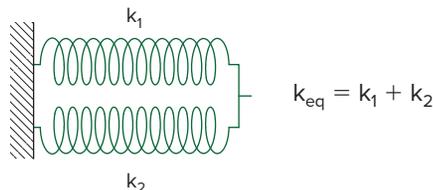
Associação de molas em série



De forma geral, para n molas em série:

$$\frac{1}{k_{eq}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \dots + \frac{1}{k_n}$$

Associação de molas em paralelo

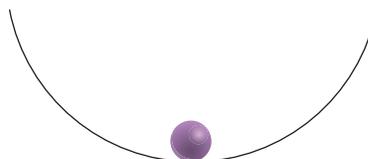


De forma geral, para n molas em paralelo:

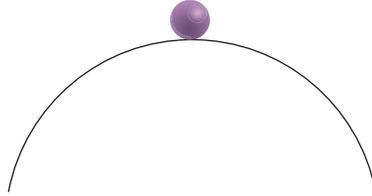
$$k_{eq} = k_1 + k_2 + \dots + k_n$$

Equilíbrio de um corpo

- **Equilíbrio estático:** $\vec{v} = \vec{0}$, corpo em repouso.
- **Equilíbrio dinâmico:** $\vec{v} = \text{constante} \neq \vec{0}$, corpo em MRU.
- **Formas de equilíbrio estático:**
 - **Estável:** deslocando o corpo de sua posição de equilíbrio, ele tende a voltar à sua posição inicial.



- **Instável:** deslocando o corpo de sua posição de equilíbrio, ele tende a se afastar mais ainda de sua posição inicial.



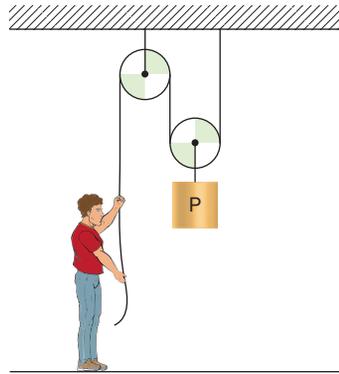
- **Indiferente:** deslocando o corpo de sua posição de equilíbrio, ele fica em equilíbrio na nova posição.



Exercícios de sala

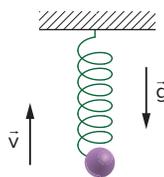
Considere, quando necessário, $g = 10 \text{ m/s}^2$.

- Fuvest-SP (Adapt.)** Considere o esquema representado na figura abaixo. As roldanas e a corda são ideais. O corpo suspenso da roldana móvel tem peso $P = 500 \text{ N}$.

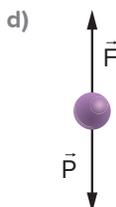
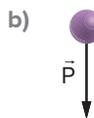
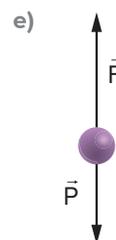
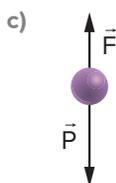
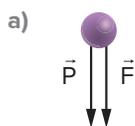


- Qual o módulo da força vertical (para baixo) que o homem deve exercer sobre a corda para equilibrar o sistema?
- Qual a aceleração do corpo quando o homem exerce uma força vertical de 400 N para baixo?
- Para cada 1 metro de corda que o homem puxa, de quanto se eleva o corpo suspenso?

2. **Fuvest-SP** Uma bolinha pendurada na extremidade de uma mola vertical executa um movimento oscilatório. Na situação da figura a seguir, a mola encontra-se comprimida e a bolinha está subindo com velocidade \vec{v} .



Indicando por \vec{F} a força da mola e por \vec{P} a força peso aplicada na bolinha, o único esquema que pode representar tais forças na situação descrita é:



3. **UFRJ** Um trem está se deslocando para a direita sobre trilhos retilíneos e horizontais, em movimento uniformemente variado em relação à Terra.

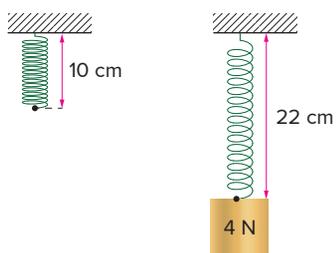
Uma esfera metálica, que está apoiada no piso horizontal de um dos vagões, é mantida em repouso em relação ao vagão por uma mola colocada entre ela e a parede frontal, como ilustra a figura. A mola encontra-se comprimida.



Suponha desprezível o atrito entre a esfera e o piso do vagão.

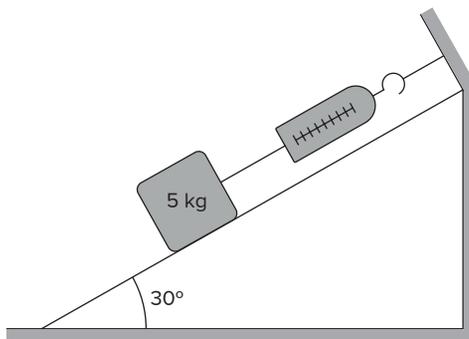
- Determine a direção e o sentido da aceleração do trem em relação à Terra.
- Verifique se o trem está se deslocando em relação à Terra com movimento uniformemente acelerado ou retardado, justificando sua resposta.

4. **Mackenzie-SP** A mola da figura varia seu comprimento de 10 cm para 22 cm quando penduramos em sua extremidade um corpo R de peso 4 N.



O comprimento total dessa mola, quando penduramos nela um corpo de peso 6 N, é:

- a) 28 cm
b) 42 cm
c) 50 cm
d) 56 cm
e) 100 cm
5. **Unisinos-RS 2022** Um bloco de massa 5 kg encontra-se em repouso sobre um plano com inclinação de 30° em relação à horizontal, preso a um dinamômetro, calibrado em newton, posicionado paralelo à superfície do plano, tal como ilustrado na figura abaixo. Não há atrito entre o bloco e a superfície do plano inclinado. Com base nas teorias da dinâmica newtoniana, analise as afirmações a seguir:

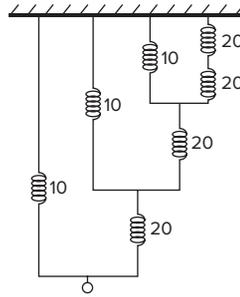


- I. O módulo da força normal que a superfície do plano aplica no bloco é de 50 N.
II. A leitura do dinamômetro indica o valor de 25 N.
III. Caso o dinamômetro seja retirado e o bloco desça o plano, o módulo de sua aceleração será de $\frac{5\sqrt{3}}{2} \text{ m/s}^2$.

Sobre as proposições acima, pode-se afirmar que

- a) apenas I está correta.
b) apenas II está correta.
c) apenas I e III estão corretas.
d) apenas II e III estão corretas.
e) I, II e III estão corretas.

6. **Acafe-SC 2016** Um sistema com molas é montado como na figura abaixo, onde a constante elástica de cada uma delas são alternadamente 10 N/m e 20 N/m. O valor da constante elástica equivalente do sistema, em N/m, é:



- a) 110.
- b) 10.
- c) 30.
- d) 20.

7. **Fuvest-SP** Uma pessoa pendurou um fio de prumo no interior de um vagão de trem e percebeu, quando o trem partiu do repouso, que o fio se inclinou em relação à vertical. Com auxílio de um transferidor, a pessoa determinou que o ângulo máximo de inclinação, na partida do trem, foi 14° . Nessas condições:

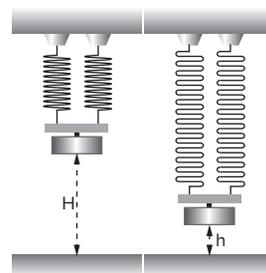
► **Dado:** $\text{tg} 14^\circ = 0,25$.

- a) represente as forças que agem na massa presa ao fio.
- b) indique o sentido de movimento do trem.
- c) determine a aceleração máxima do trem.

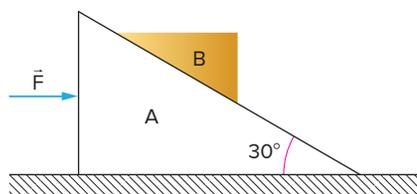
8. **FPP-PR 2016** Uma massa de 0,050 kg está presa na extremidade de um sistema formado por duas molas em paralelo, conforme mostra a figura a seguir. As molas são idênticas, de constante elástica $k = 50 \text{ N/m}$ e massa desprezível. A outra extremidade do sistema está fixa em um apoio de teto de modo que o sistema fica verticalmente posicionado. A massa é lentamente solta da posição de relaxamento do sistema, a uma altura $H = 12 \text{ cm}$ do plano de uma mesa, até que fique em repouso. A que altura h da mesa a mola permanece em seu ponto de repouso?

▶ **Dado:** considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.

- a) 2,0 cm.
- b) 3,0 cm.
- c) 5,0 cm.
- d) 6,0 cm.
- e) 7,0 cm.



9. No sistema representado, não há qualquer atrito entre o plano inclinado A e o plano horizontal nem entre o plano inclinado A e o corpo B.



Sabendo que B não se movimenta em relação a A, que $m_A = 9 \text{ kg}$ e $m_B = 6 \text{ kg}$, determine:

- a) a aceleração do sistema;
- b) a força que A exerce em B;
- c) o módulo da força \vec{F} .

Guia de estudos

Física • Livro 2 • Frente 1 • Capítulo 8

- I. Leia as páginas de **80 a 88**.
- II. Faça os exercícios de **12 a 14 e 16** da seção “Revisando”.
- III. Faça os exercícios propostos **18** e de **64 a 84**.

Frente 1

Aulas 1 a 3

1. a) Ponto.
b) e c)



2. a) $\Delta s = 50$ km e $d = 50$ km.
b) $\Delta s = -60$ km e $d = 60$ km.
c) $\Delta s = -10$ km e $d = 110$ km.
3. 5 min
4. 90 km/h
5. 28 km/h
6. 25,75 km/h

Aulas 4 a 6

1. a) 20 m
b) -5 m/s
c) Retrógrado.
d) -10 m
e) 4 s
f) 8 s
2. 900 m
3. a) 16 m/s
b) 6 m/s
4. a) 10 h
b) 2 h
5. 40 min
6. a) 45 s
b) 100 s
c) 20 s

Aulas 7 a 9

1. a) 3 m
b) -4 m/s
c) 2 m/s²
d) $t = 1$ s e $t = 3$ s
e) $v = 2t - 4$ (SI)
f) 2 s
g) -1 m
h) 1 m/s
i) Acelerado.
2. a) 5 m/s²
b) 2 s
3. C
4. a) $t = -3$ s (não ocorre encontro)
 $t = 5$ s
b) $d_A = 25$ m
 $d_B = 10$ m
c) 10 m/s

5. C
6. a) -3 m/s²
b) $2,4$ m/s²

Aulas 10 a 12

1. C
2. a) 40 m
b) 2,5 s
3. a) 12 m/s
b) 1,5 s
4. a) 10 m/s
b) $\Delta s = 5$ m
 $h_{\text{máx.}} = 245$ m
c) 70 m/s
5. a) 3 s
b) 15 m
c) $v_A = -10$ m/s
Está descendo com velocidade de módulo igual a 10 m/s.
 $v_B = -20$ m/s
Está descendo com velocidade de módulo igual a 20 m/s.
6. B

Aulas 13 e 14

1. a) 3 m
b) $0 \leq t \leq 5$ s
c) $8 \text{ s} \leq t \leq 10$ s
d)
e) 0,2 m/s
2. a) 0 a 3 s: 5 m/s²;
3 s a 5 s: $-12,5$ m/s².
b) -2 m/s²
c) 15,5 m/s
3. E
4. a) 30 m/s
b) 40 m/s
c) 2 m/s²

Aulas 15 e 16

1. a) $s(t) = t^2 - 2t$ (SI)
b) $v(t) = -2 + 2t$ (SI)
c) 2 m/s²
d) 1 s
2. a) $v = 12 - 4t$ (SI)
b) $s(t) = 20 + 12t - 2t^2$ (SI)
3. a) 20 e 140 m.
b) 10 m/s² e 9,6 s.
4. a) $s(t) = 0,05t^2$ (SI)
 $v(t) = 0,1t$ (SI)
b) $0,2$ m/s²
c) $t = 20$ s: $s_B - s_A = 20$ m
 $t = 60$ s: $s_A - s_B = 20$ m
d) 40 s

Aulas 17 e 18

1. a) 0,5 Hz
b) 30 rpm
c) π rad/s
d) $0,5\pi$ m/s
e) $\theta = \pi + \pi t$ (SI)
2. C
3. 80 s
4. a) $4,8 \cdot 10^3$ h e 10^5 km/h.
b) 25,3 meses.

Frente 2

Aulas 1 a 4

1. C
2. C
3. $|\vec{S}| = 17$; $\theta = \arccos \frac{77}{85}$
4. B
5. E
6. $|\vec{S}| = 9\sqrt{5}$; $\theta = \arctg(0,5)$
7. A
8. B

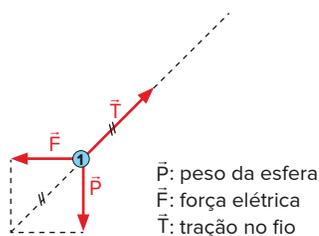
Aulas 5 a 8

1. A
2. B
3. D
4. D
5. B
6. B
7. E
8. B
9. B
10. E
11. D
12. E

Aulas 9 a 12

1. A
2. $2,25 \cdot 10^3$ N
3. $6,7 \cdot 10^{-6}$ C
4. B
5. C
6. O dobro.
7. D
8. C
9. D
10. A
11. A

12. a)



b) $\frac{q^2}{m} = \frac{2L^2 \cdot g}{k}$

c) $1,0 \cdot 10^{-4} \text{ J}$

Aulas 13 e 14

1. A
2. B
3. a) $8 \cdot 10^{-3} \text{ A}$
b) 30 N/C
4. E
5. a) A: negativa; B: positiva.
b) $|Q_B| = 2 \cdot |Q_A|$
c) Não.
6. C

Aulas 15 a 18

1. B
2. $5 \cdot 10^{-9} \text{ C}$
3. E
4. B
5. 90 V
6. D
7. C
8. a) $F' = \frac{F}{2}$
b) $t_{AB} = 7,5 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{k \cdot Q \cdot q}{d}$
9. C
10. C
11. C
12. E

Frente 3

Aulas 1 e 2

1. A
2. B
3. $T_C = 180 + 20X$
4. 540 °F
5. A
6. $T_C = 4T_X + 20$

Aulas 3 a 6

1. a) 0,05%
b) 50,025 cm
2. C
3. E
4. C
5. D
6. D
7. E
8. Diminuirá 7,52 mm².
9. B
10. Aproximadamente 2,68 g/cm³.
11. A
12. $236 \cdot 10^{-6} \text{ °C}^{-1}$

Aulas 7 a 10

1. A
2. $21,06 \cdot 10^6 \text{ cal}$
3. C
4. 50 g de cobre e 150 g de alumínio.
5. E
6. E
7. B
8. a) 6000 cal; 300 g.
b) 0,6 cm³
9. D
10. a) 800 W
b) 35 °C
11. C
12. B

Aulas 11 e 12

1. C
2. A
3. B
4. a) 100 g
b) 0,5 cal/g · °C
c) 12500 cal
5. A
6. C

Aulas 13 e 14

1. D
2. B
3. A
4. a) 3,2 cal/s
b) 75 °C
5. 60 °C
6. E

Aulas 15 e 16

- | | |
|------|------|
| 1. D | 4. D |
| 2. A | 5. A |
| 3. D | 6. D |

Aulas 17 e 18

1. C
2. C
3. A
4. C
5. D
6. $\Delta U_{AD} = 450 \text{ J}$; $Q_{CB} = -1350 \text{ J}$ e $W_{ADCBA} = 600 \text{ J}$.

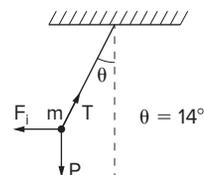
Frente 4

Aulas 1 a 5

1. E
2. B
3. a) 3 m/s²
b) 6 N
c) 19 N
4. a) $T_1 = 50 \text{ N}$; $T_2 = 20 \text{ N}$.
b) $T_1 = 65 \text{ N}$; $T_2 = 26 \text{ N}$.
c) $T_1 = 0$; $T_2 = 0$.
5. D
6. a) 630 N
b) 2 m/s² para cima.
7. C
8. a) 5 m/s²
b) 15 N
c) 30 N
9. C

Aulas 6 a 9

1. a) 250 N
b) 6 m/s²
c) 0,5 m
2. A
3. a) Horizontal, para a esquerda.
b) Movimento retardado.
4. A
5. B
6. D
7. a)



- b) Direita para esquerda.
- c) 2,5 m/s²
8. E
9. a) $\frac{10\sqrt{3}}{3} \text{ m/s}^2$
b) $40\sqrt{3} \text{ N}$
c) $50\sqrt{3} \text{ N}$