Olimpíada Brasileira de Física
Prova Ensino Fundamental - 8^o e 9^o anos - Nível I
Segunda Fase - 2019

Gabarito elaborado pela equipe do projeto de extensão *Elaboração de Material de Preparação para a Olimpíada Brasileira de Física (OBF)*, do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro (IF-UFRJ).

Equipe

Adolpho Fonseca Lisboa Pousa João Octavio Oliveira Cony Lucas Bianchi Marcianesi
Maria Luisa Chaves Lino Sidney Natzuka Junior

Revisão

Prof. Marcos G. Menezes Prof. Rodrigo B. Capaz

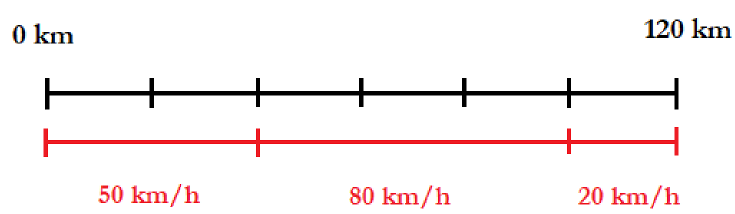
---

1. Um novo modelo de automóvel está sendo submetido a um teste no qual deve percorrer uma distância de 120 km, que é dividida em três trechos sucessivos, cada um caracterizado por uma velocidade escalar média. No primeiro trecho de 2/6 do percurso total sua velocidade escalar média deve ser 50,0 km/h, que é a velocidade máxima recomendada pela OMS (Organização Mundial de Saúde). No segundo trecho, de 3/6 do percurso total, sua velocidade escalar média deve ser 80,0 km/h, que é o limite de velocidade da maioria das vias expressas brasileiras. No trecho restante sua velocidade escalar média deve ser 20,0 km/h, que é uma velocidade escalar média típica de tráfego em vias congestionadas. Qual é a velocidade escalar média do carro considerando o percurso total?

Resolução:

Primeiramente, note que não é possível resolver o problema por uma média aritmética das três velocidades pois o automóvel não percorreu os três trechos em tempos iguais. Portanto, o primeiro passo é achar os tempos decorridos em cada trecho.

Perceba que o percurso total de 120 km foi dividido em 6 partes, então cada 1/6 desse percurso tem 20 km, como mostra a figura abaixo.



Sejam Δx_1, Δx_2 e Δx_3 os tamanhos de cada trecho na ordem informada pelo enunciado. Utilizando as velocidades médias V_{m1}, V_{m2} e V_{m3} informadas, obtemos os tempos decorridos em cada trecho:

$$\Delta x_1 = \frac{2}{6}\,120 \text{ km} = 40 \text{ km}$$
$$V_{m1} = \frac{\Delta x_1}{\Delta t_1}$$
$$\Delta t_1 = \frac{\Delta x_1}{V_{m1}} = \frac{40 \text{ km}}{50{,}0 \text{ km/h}} = 0{,}80 \text{ h} \tag{1}$$

$$\Delta x_2 = \frac{3}{6}\,120 \text{ km} = 60 \text{ km}$$
$$\Delta t_2 = \frac{\Delta x_2}{V_{m2}} = \frac{60 \text{ km}}{80{,}0 \text{ km/h}} = 0{,}75 \text{ h} \tag{2}$$

$$\Delta x_3 = \frac{1}{6}\ 120\ \text{km} = 20\ \text{km}$$

$$\Delta t_3 = \frac{\Delta x_2}{V_{m2}} = \frac{20\ \text{km}}{20{,}0\ \text{km/h}} = 1{,}00\ \text{h} \tag{3}$$

A soma dos tempos encontrados será o tempo total Δt decorrido no percurso. Com isso, podemos achar a velocidade média V_m do percurso completo:

$$\begin{aligned} V_m &= \frac{\Delta x}{\Delta t} \\ &= \frac{120\ \text{km}}{(0{,}80 + 0{,}75 + 1{,}00)\ \text{h}} \\ &= \frac{120\ \text{km}}{2{,}55\ \text{h}} \\ &\approx 47\ \text{km/h} \end{aligned} \tag{4}$$

Portanto, a velocidade média associada ao percurso total é de aproximadamente 47 km/h.

■

2. Satélites geoestacionários estão em órbitas tais que, sob o ponto de vista de um observador na Terra, permanecem fixos. Esses satélites são principalmente utilizados por redes de comunicação que atendem a uma região fixa da Terra. Ligações telefônicas e transmissões televisivas de longa distância, geralmente são feitas por esse tipo de satélite. Suponha dois satélites E e F em órbitas circulares e coplanares, com o satélite E em órbita geoestacionária e o satélite F com órbita de raio 21% maior que o satélite E.

   (a) Qual o período de translação do satélite F em horas?
   (b) Suponha um instante no qual os satélites E e F estão alinhados com um ponto na superfície da Terra e determine o menor intervalo de tempo, em horas, para que isso ocorra novamente.

Resolução:

(a) Para dois corpos A e B que realizam órbitas circulares ao redor de um corpo central, na qual a interação entre os corpos A e B e o corpo central seja uma força central da forma $F(r) = k/r^2$ (como a força gravitacional), é válida a terceira lei de Kepler:

$$\frac{{T_A}^2}{{R_A}^3} = \frac{{T_B}^2}{{R_B}^3}, \tag{5}$$

onde T e R representam os períodos e os raios das órbitas desses corpos, respectivamente.

Seja o corpo A o satélite E, e o corpo B o satélite F. Como o satélite E é geoestacionário:

$$T_E = 1\ \text{dia} \tag{6}$$

Pelo enunciado, como o satélite F tem uma órbita com um raio 21% maior que o da órbita do satélite E:

$$R_F = 1{,}21 R_E \tag{7}$$

Substituindo essas informações na equação (5), temos:

$$\frac{1}{{R_E}^3} = \frac{{T_F}^2}{(1,21R_E)^3} \quad \Rightarrow \quad T_F = (1,21)^{\frac{3}{2}}\ \text{dias} \tag{8}$$

Lembrando que $11^2 = 121$, vemos que $1{,}1^2 = 1{,}21$. Portanto:

$$T_F = 1{,}1^3 = 1{,}33\ \text{dias} \tag{9}$$

O período do satélite F é de 1,33 dias, o que equivale a 32 horas.

■

(b) A função horária $\theta(t)$ de um movimento circular uniforme é dada por:

$$\theta(t) = \theta_0 \pm \frac{2\pi t}{T} \tag{10}$$

Onde o sinal positivo indica uma rotação no sentido anti-horário (trigonométrico) e o negativo no sentido horário. Como os satélites estão alinhados inicialmente, a condição inicial dos dois movimentos é igual, de forma que podemos fixar $\theta_0 = 0$ por simplicidade. Primeiramente, supõe-se que os dois satélites executem o movimento no mesmo sentido (anti-horário). Assim, substituindo os valores dos períodos em horas:

$$\begin{aligned} \theta_E(t) &= \frac{2\pi t}{24} \\ \theta_F(t) &= \frac{2\pi t}{32} \end{aligned} \tag{11}$$

Como o satélite E gira mais rápido que o F, o próximo alinhamento ocorrerá quando ele tiver dado uma volta completa a mais (2π rad) que F, ou seja:

$$\begin{aligned} \theta_E - \theta_F &= 2\pi \\ \frac{2\pi t_*}{24} - \frac{2\pi t_*}{32} &= 2\pi, \end{aligned} \tag{12}$$

onde t_* é o instante de tempo onde os satélites voltam a estar alinhados. Portanto:

$$2\pi t_* \left(\frac{1}{24} - \frac{1}{32}\right) = 2\pi \quad \Rightarrow \quad t_* = \frac{1}{\frac{1}{24} - \frac{1}{32}} = 96 \text{ h} \tag{13}$$

Analogamente, se os satélites girarem em sentidos opostos:

$$\begin{aligned} \theta_E(t) &= \frac{2\pi t}{24} \\ \theta_F(t) &= -\frac{2\pi t}{32} \\ 2\pi &= \theta_E - \theta_F \\ 2\pi &= \frac{2\pi t_*}{24} + \frac{2\pi t_*}{32} \\ t_* &= \frac{96}{7} \text{ h} \approx 13,7 \text{ h} \end{aligned} \tag{14}$$

Os satélites, partindo de uma condição de alinhamento, se orbitarem a Terra no mesmo sentido voltam a se alinhar em 96 h, se orbitarem em sentos opostos voltam em $13,7$ h.

■

3. Em um laboratório didático, uma estudante deve fazer as marcas para a escala linear de um termômetro de mercúrio. O equipamento foi fabricado encerrando-se uma certa quantidade de mercúrio em um recipiente de vidro, de coeficiente de dilatação desprezível, de paredes muito finas e inicialmente vazio (vácuo). A figura abaixo ilustra esquematicamente o recipiente, que é formado por um bulbo esférico ligado a um tubo cilíndrico muito fino (capilar). Ele está acoplado a uma placa fixa sobre a qual devem ser feitas as marcas da escala. Para efeitos de calibração, o equipamento vem com duas marcas já feitas e que correspondem às temperaturas de 20° C e 60° C. A tarefa da estudante é acrescentar duas outras marcas T_m e T_M que devem corresponder, respectivamente, às mínima e máxima temperaturas que esse equipamento pode medir. Considerando ainda que as marcas devem ser feitas para valores inteiros de temperatura na escala Celsius, quais os valores de T_m e T_M que a estudante deve acrescentar à escala?

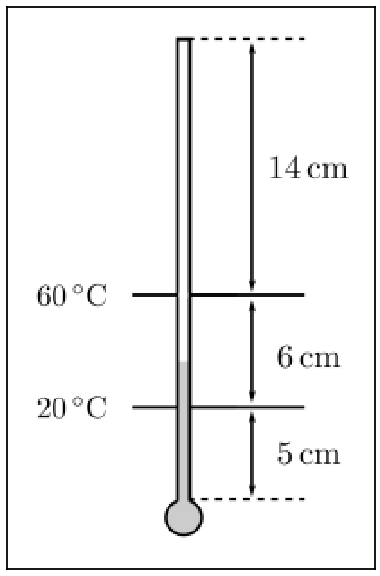
Resolução:

Como a dilatação do recipiente de vidro é desprezível, se a coluna de mercúrio tem um comprimento L_0 em uma temperatura de referência T_0, podemos encontrar o comprimento L em uma temperatura T qualquer por uma proporção direta entre as variações de comprimento e temperatura, ou seja:

$$L - L_0 = k(T - T_0) \tag{15}$$

onde k é uma constante de proporcionalidade positiva. Vamos tomar $T_0 = 20°$ C como temperatura de referência.

Pela ilustração, podemos ver que uma variação de 6 cm na altura da coluna de mercúrio corresponde a uma variação de temperatura de 40°C, de forma que conseguimos estabelecer um valor para k:



$$k = \frac{\Delta L}{\Delta T} = \frac{6 \text{ cm}}{40^\circ \text{ C}} = 0{,}15 \text{ cm}/^\circ\text{C} \tag{16}$$

Para encontrar a temperatura mínima, sabemos que haverá uma variação de comprimento de -5 cm com relação à altura em 20°C. Assim, utilizando a eq. 15 com o valor de k calculado acima:

$$\begin{aligned} -5 \text{ cm} &= (0{,}15 \text{ cm}/^\circ\text{C})\ (\mathrm{T_m} - 20^\circ\text{C}) \\ T_m &\approx -13^\circ\text{C} \end{aligned} \tag{17}$$

Da mesma forma, para achar a temperatura máxima, note que agora a variação da altura será de $6 + 14$ cm = 20 cm com relação à temperatura de referência de 20°C. Assim:

$$\begin{aligned} 20 \text{ cm} &= (0{,}15 \text{ cm}/^\circ\text{C})\ (\mathrm{T_M} - 20^\circ\text{C}) \\ T_M &\approx 153^\circ\text{C} \end{aligned} \tag{18}$$

Portanto, a estudante deve acrescentar à escala os valores $T_m = -13^\circ$C e $T_M = 153^\circ$C.

■

4. A resistência à tração (capacidade de resistir a forças de tração sem se romper) da seda de aranha é comparável com a do aço e vale $R_T = 2000 \times 10^6$ N/m^2. Considerando que um fio de aranha tem o formato cilíndrico, estime seu comprimento máximo impondo a condição que deve ser capaz de sustentar o próprio peso quando pendurado verticalmente. Sabe-se que a densidade da seda de aranha é $\rho = 0{,}200$ g/cm^3. (Em sua resolução, suponha que a seda de aranha é inextensível.)

Resolução

Repare que, como se trata de um fio com massa não-desprezível, a tração irá variar ao longo do seu comprimento, mas a tração máxima irá ocorrer no ponto em que o fio está preso, ou seja, este é o ponto provável de ruptura, onde devemos focalizar nossa análise. Neste sentido, o fio deve sustentar o próprio peso. Assim, o diagrama de forças apropriado será:

Como o sistema está em equilíbrio, $\vec{T}$ e $\vec{P}$ possuem módulos iguais:

$$T = P = mg \tag{19}$$

A resistência à tração é medida em N/m^2, sendo N unidade de força e m^2 unidade de área. Vemos portanto que ela tem unidades de pressão. Como o fio deve ser capaz de sustentar o seu próprio peso, a situação limite deve ocorrer quando a tensão T por unidade de área da seção transversal do fio for igual à resistência R_t:

$$R_t = \frac{T}{A} = \frac{P}{A} = \frac{mg}{A}, \tag{20}$$

onde A é a área da seção transversal.

Podemos achar a massa m do fio através da fórmula da densidade, observando que o volume total do fio corresponde ao produto da área A pelo comprimento L do fio:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{A\ L} \tag{21}$$

de forma que:

$$m = \rho A L \tag{22}$$

Substituindo a equação 22 na equação 20, obtemos:

$$\begin{aligned} R_T &= \frac{mg}{A} \\ &= \frac{\rho A L g}{A} \\ &= \rho L g \end{aligned} \tag{23}$$

Portanto:

$$L = \frac{R_T}{\rho g} \tag{24}$$

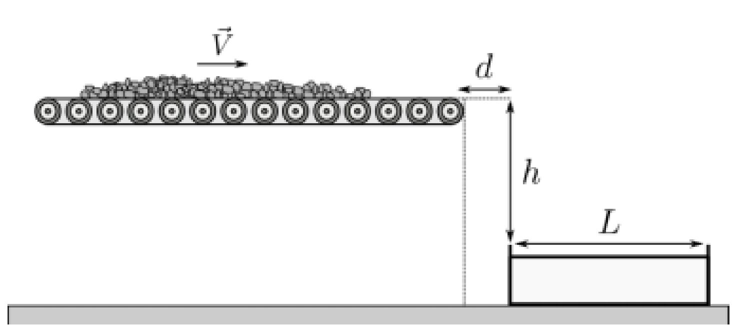
Substituindo os valores informados no enunciado e atentando-se às devidas conversões de unidades para o SI (1 g/cm^3 = 10^3 kg/m^3), obtemos:

$$\begin{aligned} L &= \frac{2000 \times 10^6\ \mathrm{N/m^2}}{0{,}200 \times 10^3\ \mathrm{kg/m^3} \times 10{,}0\ \mathrm{m/s^2}} \\ L &= 10^6\ \mathrm{m} \end{aligned} \tag{25}$$

Portanto, o fio deve ter um comprimento máximo de 10^6 m ou 1.000 km, o que sugere que a teia de aranha é feita de uma material extremamente resistente!

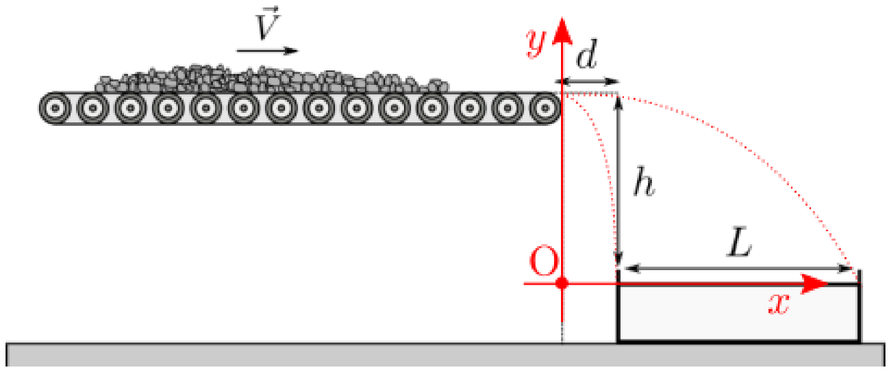
■

5. Uma esteira transporta cascalho até uma caçamba de comprimento L = 2,00 m localizada à sua frente. A figura abaixo, na qual d = 1,50 m e h = 2,50 m, representa esquematicamente a situação de seu funcionamento. Suponha que a esteira se mova com velocidade constante e que o cascalho não rola nem escorrega sobre ela. Desconsiderando as dimensões do cascalho e o efeito resistivo do ar, determine o intervalo de velocidades no qual a esteira pode operar sem que o cascalho caia fora da caçamba.



Resolução:

Trata-se de um lançamento horizontal, ou seja, um movimento bidimensional cuja única força atuante ao longo do movimento do cascalho é a força peso. Vamos adotar um referencial com origem no ponto O indicado na figura, eixo x apontando para a direita e eixo y apontando para cima. Podemos modelar o movimento com duas funções posição que dependem do tempo, $x(t)$ e $y(t)$.



A componente horizontal do movimento, $x(t)$, deve descrever um movimento retilíneo uniforme (MRU), uma vez que a força peso, única força atuante durante o movimento, não tem componente horizontal. A velocidade desse movimento é justamente a velocidade $\vec{V}$ inicial, que não tem componente vertical. Assim:

$$x(t) = Vt \tag{26}$$

A componente vertical desse movimento, $y(t)$ consiste de uma queda livre. De acordo com o referencial adotado, a altura inicial é h, a velocidade inicial é nula (a velocidade inicial $\vec{V}$ não possui componente vertical) e a aceleração tem módulo g e aponta para baixo. Assim:

$$y(t) = h - \frac{gt^2}{2} \tag{27}$$

Para calcular o intervalo de velocidades em que o cascalho cai dentro da caçamba, eliminamos o tempo t do sistema de equações para obtermos a equação da trajetória $y(x)$:

$$y(x) = h - \frac{gx^2}{2V^2}. \tag{28}$$

Estamos interessados nas situações em que $y = 0$ e $x = d$ ou $x = d + L$, que vão determinar se o cascalho cai dentro ou fora da caçamba, de modo que podemos obter a velocidade mínima (para o caso $x = d$):

$$V_{min} = d\sqrt{\frac{g}{2h}} = (1{,}5\ \text{m}) \times (1{,}4\ \text{s}) = 2{,}1\ \text{m/s} \tag{29}$$

E, de forma semelhante, a velocidade máxima V_{max} (para o caso $x = d + L$):

$$V_{max} = (d + L)\sqrt{\frac{g}{2h}} = (3{,}5\ \text{m}) \times (1{,}4\ \text{s}) = 4{,}9\ \text{m/s} \tag{30}$$

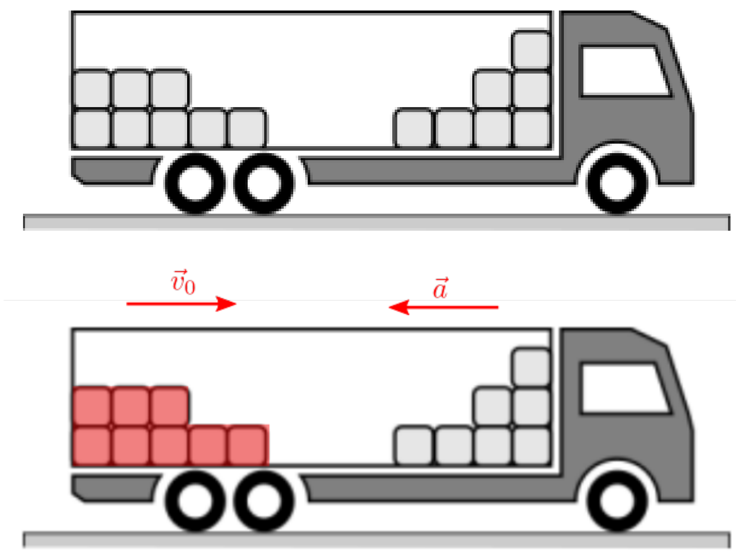
Portanto, o intervalo de velocidades possíveis é:

$$2{,}1\ \mathbf{m/s} \leq V \leq 4{,}9\ \mathbf{m/s}$$

■

6. O transporte de cargas, especialmente aquelas frágeis, exige uma acomodação adequada. Para um carregamento de caixas, é necessário que elas sejam presas ou justapostas a fim de não se movimentarem no interior do compartimento de cargas. Suponha uma situação na qual este cuidado não tenha sido observado e caixas idênticas, de massa $m = 80{,}0$ kg, foram simplesmente empilhadas conforme ilustrado na figura abaixo. Determine a velocidade máxima, em km/h, que este caminhão pode trafegar, sem que as caixas escorreguem no compartimento em eventuais freadas totais que ocorrem em distâncias de no máximo $d = 10{,}0$ m com desaceleração constante. Sabe-se que o menor coeficiente de atrito estático é aquele entre uma caixa e o assoalho do compartimento de carga e vale $\mu_e = 0{,}500$.

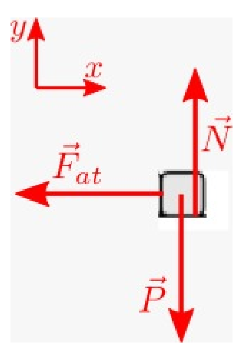
Resolução:



Inicialmente, vamos encontrar a aceleração máxima à qual o caminhão pode ser submetido. No esquema abaixo, estão representadas os vetores da velocidade inicial e da aceleração do movimento. *Note que, como a velocidade está diminuindo, o vetor aceleração tem sentido oposto ao vetor velocidade inicial.*

Segundo a primeira lei de Newton, se um corpo está se movendo em uma trajetória retilínea, ele tende a continuar seu movimento. Na situação da freada, as caixas que podem eventualmente deslizar são aquelas sombreadas em vermelho, pois as outras estarão apoiadas pelas paredes do compartimento. Não sabemos *a priori* qual caixa poderá deslizar primeiro, mas como o coeficiente de atrito estático entre as caixas é maior que o coeficiente entre elas e o assoalho, não é necessário considerar o deslizamento das caixas de cima sobre as de baixo, mas apenas o possível deslizamento das caixas de baixo sobre o assoalho.

Vamos explorar o problema considerando inicialmente o possível deslizamento da caixa vermelha mais à direita na figura. O diagrama de forças que atuam sobre a caixa está representado abaixo:



Note-se que, por ora, não incluímos no diagrama nenhuma força de contato entre a caixa e sua vizinha à esquerda. Tais forças de contato só irão surgir, a partir do repouso, se houver tendência de deslizamento da caixa vizinha à esquerda e não da caixa da direita, uma possibilidade que iremos abordar em breve.

A força resultante na direção vertical deve ser zero pois sabemos que a aceleração vertical é sempre zero. Aplicando a segunda lei de Newton aos vetores verticais, e considerando o sentido positivo do eixo y para cima:

$$
\begin{aligned}
N - P &= F_{R,y} = 0 \\
N &= P \\
N &= mg
\end{aligned}
\tag{31}
$$

Agora, no eixo horizontal:

$$F_{R,x} = -F_{at} = ma_x \tag{32}$$

O sinal negativo é devido à força de atrito estar no sentido negativo do eixo x. A força de atrito estática deve satisfazer a seguinte relação:

$$F_{at} \leq \mu_e N \tag{33}$$

Portanto, para calcular a desaceleração máxima, deve-se usar a força de atrito estática *máxima*, ou seja, $F_{at} = \mu_e N$. Substituindo esse valor e o valor de N na eq. 32, encontramos:

$$
\begin{aligned}
\cancel{m} \cdot a_x &= -\cancel{m} \cdot \mu_e \cdot g \\
a_x &= -0{,}5 \cdot 10\,\mathrm{m/s^2} = -5\ \mathrm{m/s^2}
\end{aligned}
\tag{34}
$$

A aceleração tem sinal negativo, como esperado. No entanto, o que é mais interessante é que *a desaceleração máxima não depende da massa!* Isso quer dizer que há apenas duas situações possíveis: ou todas as caixas irão deslizar (incluindo aquelas que têm outras caixas empilhadas acima delas), se a desaceleração for maior que o valor máximo, ou então nenhuma irá deslizar, se a desaceleração for menor que o valor limite. Desta forma, podemos então descartar a possibilidade de forças de contato laterais entre as caixas, o que justifica o cálculo que realizamos acima.

A partir da aceleração, podemos calcular a velocidade máxima em que o caminhão pode trafegar. Como a aceleração é constante, o caminhão executa um movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV). Como é uma freada, a velocidade final v_f deve ser 0, e como diz o enunciado, a distância percorrida deve ser menor que $d = 10$ m. Como não é dado ou requisitado o tempo decorrido, devemos usar a equação de Torricelli, que depende apenas da aceleração a, a distância d e as velocidades no inicio e no final do movimento:

$$\begin{aligned} v_f^2 &= v_o^2 + 2ad \\ 0 &= v_o^2 + 2 \cdot a \cdot (10\,\text{m}) \end{aligned} \tag{35}$$

A questão pede a velocidade máxima que o caminhão pode trânsitar, ou seja, a velocidade imediatamente antes da freada:

$$\begin{aligned} 0 &= v_o^2 + 2 \cdot (-5\,\text{m/s}^2) \cdot (10\,\text{m}) \\ v_o &= 10\ \text{m/s} = 36\,\text{km/h} \end{aligned} \tag{36}$$

A velocidade máxima que o caminho pode trafegar é 36 km/h.

■

7. Um estudante está investigando o fenômeno de flutuação e dissolução usando provetas graduadas em mililitros (ml), todas elas contendo inicialmente 100 ml de água pura. Ele ainda dispõe de sal de cozinha, limalha de ferro (densidade $\rho_f = 8{,}00$ g/ml) e um ovo de codorna de massa m e densidade $\rho_o = 1{,}05$ g/ml. Ao acrescentar sal de cozinha em uma delas observa que, para quantidades menores que 10,0 g, todo o sal se dissolve e o volume da solução permanece em 100 ml. Ao acrescentar uma massa m de limalha de ferro, igual à massa do ovo de codorna, observa que essa não se dissolve e o volume da água aumenta. Ao acrescentar o ovo de codorna em água pura, ele observa que o ovo afunda e o nível de água da proveta atinge o valor de 112 ml.

(a) Determine a massa m_s, em gramas, do sal de cozinha que o estudante deve acrescentar na proveta com o ovo de codorna para que esse flutue livremente na solução, ou seja, permaneça totalmente submerso sem tocar as paredes do recipiente.

(b) Entre quais marcas está o nível do líquido da proveta na qual foi acrescentada a limalha de ferro?

(c) O que acontece se o ovo de codorna é retirado da proveta com água salgada e colocado na proveta com limalha de ferro? (Considere que o ovo de codorna se mantém inalterado, com volume fixo e sem ganho ou perda de matéria, nas situações experimentais descritas.)

Resolução:

a) Para que o ovo flutue totalmente submerso na solução, sua densidade precisa ser igual à da solução, pois a força de empuxo (que depende da densidade do meio) e a força peso (que depende da densidade do corpo) devem ter o mesmo módulo. *(Se a densidade de um corpo for maior que o meio material em que ele está inserido, ele afunda, caso contrário, ele é empurrado pela força de empuxo para a superfície externa do meio.)*. Assim, a densidade da solução de água e sal ρ_s deve ser igual à densidade do ovo ρ_o.

Podemos calcular a densidade da solução a partir da definição, ou seja, a razão entre a massa da solução e seu volume. Nesse caso, a massa total da solução é a soma da massa da água m_a e do sal adicionado m_s, enquanto o volume total é inalterado pela adição do sal:

$$\rho_S = \rho_o = \frac{m_a + m_s}{V_a} \tag{37}$$

A massa da água vale simplesmente $m_a = \rho_a V_a$, então:

$$\rho_o = \frac{\rho_a V_a + m_s}{V_a} = \frac{\rho_a \cancel{V_a}}{\cancel{V_a}} + \frac{m_s}{v_a} = \rho_a + \frac{m_s}{V_a} \tag{38}$$

Isolando m_s, obtemos:

$$m_s = (\rho_o - \rho_a)V_a = (1{,}05 - 1)\,\text{g/ml} \cdot 100\,\text{ml} = 5\,\text{g} \tag{39}$$

O estudante deve acrescentar 5 g de sal de cozinha.

■

b) É dito no enunciado que a massa de limalha m_f adicionada é igual à massa do ovo $m_0 = \rho_o V_0$. O volume do ovo é de 12 ml, já que a proveta alcança 112 ml quando ele é inserido. Com essas informações, podemos calcular a massa m_f:

$$m_f = m_o = \rho_o V_0 = 1{,}05\,\text{g/ml} \cdot 12\,\text{ml} = 12{,}6\,\text{g} \tag{40}$$

Como $\rho_f = m_f/V_f$, o volume ocupado pela limalha de ferro será:

$$V_f = \frac{m_f}{\rho_f} = \frac{12{,}6\,\text{g}}{8\,\text{g/ml}} \approx 1{,}6\,\text{ml} \tag{41}$$

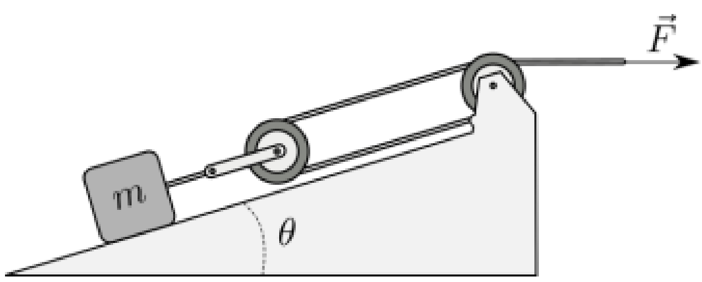
Portanto, o volume total na proveta será $100{,}0 + 1{,}6$ ml $= 101{,}6$ ml, que está situado entre a marcas de 101 ml e 102 ml.

■

c) O ovo continua sendo mais denso que a água, pois a limalha de ferro não altera a densidade dela e ela continua pura. Além disso, o ovo e a limalha não reagem entre si. Portanto, o ovo afunda e o nivel da solução simplesmente aumenta em mais 12 ml, correspondentes ao volume dele.

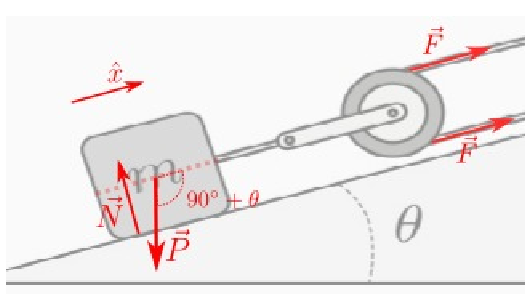
■

8. Uma carga de $m = 5,00$ kg pode deslizar na superfície lisa, sem atrito, de um plano inclinado de $\theta = 30,0°$. A carga está presa por uma corda ao centro de uma polia móvel que por sua vez se acopla a uma polia fixa através de outra corda. Essa tem uma de suas extremidades fixas, enquanto a outra é puxada por uma força horizontal constante $\vec{F}$. Veja figura abaixo. Assuma que as cordas e polias são ideais e que o sentido positivo da aceleração da caixa aponta para cima ao longo do plano inclinado. Determine a aceleração da caixa quando a intensidade da força horizontal aplicada é $F = |\vec{F}| = 10,0$ N.



Resolução:

Como a corda é ideal, a força de módulo F aplicada em sua extremidade é transmitida por todos os seus pontos sob a forma de uma tensão de mesmo módulo. Levando isso em conta e considerando o sistema formado pela polia móvel (ideal) e o bloco, construímos o diagrama de forças abaixo. Adotamos ainda um referencial com eixo x ao longo do plano, orientado para cima.



A força peso tem uma componente x dada por:

$$P_x = P\cos(90^o + \theta) = -mg\ \text{sen}\theta \tag{42}$$

Aplicando a segunda lei de Newton para o movimento ao longo deste eixo, teremos:

$$ma = 2F - mg\ \text{sen}\theta \tag{43}$$

Substituindo os valores informados no enunciado, obtemos finalmente:

$$a = \frac{2 \times 10{,}0 - 5{,}00 \times 10{,}0 \times \frac{1}{2}}{5{,}00} = -1{,}0 \text{ m/s}^2 \tag{44}$$

O sinal negativo indica que a aceleração tem sentido contrário ao adotado como positivo para o referencial, de forma que ela aponta para baixo ao longo do plano.

O bloquinho tem uma aceleração de módulo $1{,}0$ m/s^2 na direção do plano inclinado e sentido para baixo.

■