Olimpíada Brasileira de Física
Prova Ensino Médio - 1^a e 2^a séries - Nível II
Primeira Fase - 2019

Instituto de Física
Universidade Federal do Rio de Janeiro

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   Vitoria Tavares da Silva

Revisão

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

---

1. "Lançado ao espaço, a partir da Guiana Francesa, o satélite geoestacionário brasileiro que será usado para comunicações e defesa, levando banda larga a todos os municípios do país, além de comunicações estratégicas para as Forças Armadas". (Por: Agência Brasil em 04/05/17).

   (Exclusiva da 1^a série) - Considerando que o conjunto formado pelo satélite e pelo foguete lançador possua massa de $1{,}0 \times 10^3$ kg e seja impulsionado por uma força de $5{,}0 \times 10^7$ N, sendo o sentido de lançamento desse foguete perpendicular ao solo, podemos afirmar acertadamente que a aceleração transmitida ao conjunto pela força resultante, nesse momento inicial de decolagem, vale aproximadamente: (desconsidere a resistência do ar e adote $g = 10\text{m/s}^2$).

   a) 50,0 km/s^2
   b) 29,0 km/s^2
   c) 5,0 km/s^2
   d) 40,0 km/s^2
   e) 4,0 km/s^2

   Resolução

   Seja F_r a força resultante, F a força que impulsiona o conjunto, P o seu peso (todas em N), m a massa em kg e g a aceleração da gravidade em m/s^2. Pela segunda lei de Newton, a aceleração é calculada pela razão entre a força resultante e a massa. Logo, considerando as componentes verticais das forças envolvidas (sentido positivo para cima), obtemos:

   $$F_r = F - mg = (5 \times 10^7 - 1 \times 10^3 \cdot 10)\text{N} \approx 5 \times 10^7 \text{ N}, \tag{1}$$

   em que, na última passagem, desprezamos o fator 10^4 em confronto com 10^7. Aplicando a segunda lei de Newton:

   $$F_r = ma \;\Rightarrow\; a = \frac{F_r}{m} = \frac{5 \times 10^7}{1 \times 10^3} \text{ m/s}^2 = 5 \times 10^4 \text{ m/s}^2 \tag{2}$$

   Agora, basta converter a unidade de m/s^2 para km/s^2. Para isso, basta dividir por 10^3, de forma que $a = 50$ km/s^2

   RESPOSTA: alternativa a)

   ■

2. **(Exclusiva da 1^a série)** - Ainda sobre a questão anterior, podemos afirmar acertadamente que o trabalho realizado, em joules, pela força resultante nos primeiros 2,0 km de sua decolagem, vale aproximadamente: (considere $g = 10$ m/s^2 e despreze todas as resistências existentes e a perda de massa devido à queima de combustível).

   a) $2,0 \times 10^{10}$
   b) $4,0 \times 10^{10}$
   c) $10,0 \times 10^{10}$
   d) $8,0 \times 10^7$

e) $4,0 \times 10^7$

Resolução

Pela questão anterior, a força resultante tem um módulo de aproximadamente 5×10^7 N. O deslocamento vale $d = 2$ km, que torna-se 2000 m ou 2×10^3 m no SI. Desta forma, como a força resultante tem módulo constante e está no mesmo sentido do movimento, o trabalho τ realizado por ela é:

$$\tau = F_r\, d \approx (5 \times 10^7 \text{ N}) \cdot (2 \times 10^3 \text{ m}) \;\Rightarrow\; \tau = 10 \times 10^{10} \text{ J} \tag{3}$$

RESPOSTA: alternativa c)

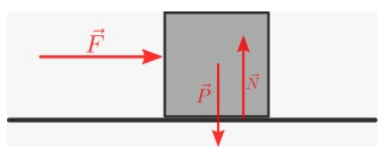
■

3. **(Exclusiva da 1ª série)** - Um corpo com 30,0 N de peso repousa sobre uma superfície lisa e horizontal. Em dado instante, age sobre ele uma única força constante, com direção paralela à superfície. Após 1,5 s de ação da força, o corpo apresenta uma velocidade de 18,0 m/s. Adotando $g = 10$ m/s^2, qual a intensidade dessa força, em newtons:

a) 27,0
b) 18,0
c) 9,0
d) 72,0
e) 36,0

Resolução

Fazendo o diagrama de forças que atuam sobre o corpo:



Como o corpo não se movimenta no eixo vertical, as forças peso e normal se anularão. Logo, a força resultante é composta apenas pela força cuja intensidade queremos descobrir.

Para descobri-la, precisamos achar primeiro a aceleração do corpo. Como essa força é constante, a aceleração do corpo será constante e podemos utilizar a função horária da velocidade:

$$v = v_o + at, \tag{4}$$

onde a velocidade final é dada em m/s e o tempo em s. Substituindo os dados do problema:

$$\begin{gathered} 18 \text{ m/s} = 0 + a \cdot (1{,}5 \text{ s}) \\ a = 12\,\text{m/s}^2 \end{gathered} \tag{5}$$

Como o peso do corpo é 30 N, sua massa vale:

$$P = mg \;\Rightarrow\; 30 \text{ N} = m \cdot (10 \text{ m/s}^2) \;\Rightarrow\; m = 3 \text{ kg}$$

Finalmente, substituindo os valores da massa e da aceleração na segunda lei de Newton, obtemos a intensidade da força:

$$F = ma = (3 \text{ kg}) \cdot (12 \text{ m/s}^2) \;\Rightarrow\; F = 36\,\text{N} \tag{6}$$

RESPOSTA: alternativa e)

■

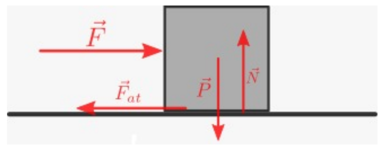
4. **(Exclusiva da 1ª série)** - Para o exemplo anterior, considere que a superfície seja rugosa com um coeficiente de atrito cinético igual a 0,2. Para as mesmas condições de velocidade e tempo, qual a intensidade da força aplicada no corpo, em newtons?

a) 27,0
b) 36,0
c) 72,0
d) 42,0

e) 18,0

Resolução

Agora, a força de atrito contribui para a força resultante. Seu módulo vale μN, sendo μ o coeficiente de atrito cinético entre o corpo e a superfície e N, o módulo da força normal que a superfície exerce sobre o corpo. O novo diagrama de forças é mostrado abaixo:



Note que as forças peso e normal continuam se anulando, pois o corpo não se move na direção vertical. Logo, $N = P = 30$ N. Assim, a força resultante pode ser expressa como:

$$\begin{aligned} F_r &= F - F_{at} \\ &= F - \mu N \\ &= F - 0{,}2 \cdot (30 \text{ N}) \\ &= F - 6{,}0 \text{ N} \end{aligned} \tag{7}$$

Como as condições de velocidade e tempo são as mesmas, a aceleração deve ser a mesma da questão anterior. Naturalmente, a massa do corpo também é a mesma. Portanto, aplicando a segunda lei de Newton:

$$\begin{aligned} F_r &= ma \\ F - 6{,}0 \text{ N} &= (3 \text{ kg}) \cdot (12 \text{ m/s}^2) \\ F &= 42 \text{ N} \end{aligned} \tag{8}$$

RESPOSTA: alternativa d)

■

5. **(Exclusiva da 1^a série)** - Na edição do livro Philosophiae Naturalis Principia Mathematica, em 1687, Isaac Newton lança as leis do movimento, criando uma ciência quantitativa para a dinâmica. Dentre elas, destacamos a terceira lei que diz:

"Para cada ação existe sempre uma reação igual e contrária: ou as ações recíprocas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e dirigidas para partes contrárias".

Para exemplificar essa lei, o Professor Physicson lançou o seguinte desafio imaginário aos seus alunos:

- O homem diz ao seu cavalo atrelado a uma carroça com rodas: "vai, anda..."
- O cavalo responde: "Não posso. A terceira lei de Newton diz que a carroça exercerá uma força sobre mim igual e oposta à força que eu exerço sobre ela, portanto não consigo movimentá-la".

Como você responderia, considerando que o cavalo e a carroça formam um único sistema?

a) Você está errado, pois a força que o solo exerce sobre as patas do cavalo são maiores que a força que o solo exerce sobre as rodas da carroça;
b) Você está errado, pois quem gera seu movimento é a força gravitacional que atua sobre você, favorável ao movimento;
c) Você está errado, pois apesar das forças de ação e reação serem aplicadas em corpos diferentes, elas se anulam;
d) Você está certo, pois apesar das forças de ação e reação serem aplicadas em corpos diferentes, elas se anulam;
e) Você está errado, pois a terceira lei de Newton não se aplica a este caso.

Resolução

Considerando a carroça e o cavalo como um único sistema, podemos desconsiderar as forças que um exerce sobre o outro, já que elas se cancelam como consequência da terceira lei de Newton. A afirmação do cavalo está correta nesse ponto, mas sua conclusão a respeito do movimento do sistema está incorreta. Para analisar o movimento, devemos então olhar para as forças que o chão exerce sobre as patas do

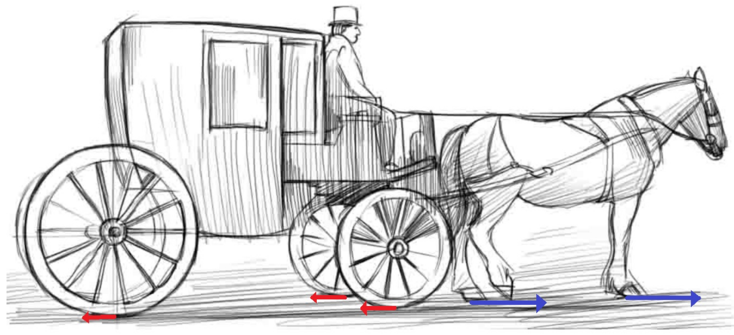


Figura: Forças que o chão exerce sobre as patas do cavalo (azul) e sobre as rodas da carroça (vermelho).

cavalo e sobre as rodas da carroça. Essas forças estão representadas na figura abaixo, supondo que o sistema se desloca para a direita.

Para que haja movimento para a direita, as patas do cavalo devem "empurrar" o chão para a esquerda, de forma que o chão exerça uma força de mesmo módulo e sentido contrário sobre elas, como indicado pelas setas azuis na figura. Dada esta tendência de movimento, o chão exercerá ainda forças de atrito sobre as rodas da carroça que apontam para a esquerda, como indicado pelas setas vermelhas. Quando a força exercida sobre as patas do cavalo supera, em módulo, a força de atrito estático sobre as rodas da carroça, o sistema entra em movimento. Note ainda que é a força de atrito sobre as rodas da carroça que promoverá a rotação delas.

RESPOSTA: alternativa a)

■

6. Um bloco de madeira com massa de 1,0 kg, deslizando sobre uma mesa de madeira plana e horizontal, variou sua quantidade de movimento de 0,40 N.s, durante 0,20 s, devido unicamente à força de atrito entre ele e a superfície. Para essa situação, podemos acertadamente dizer que o valor do coeficiente de atrito cinético existente entre as superfícies de contato, vale: (adote $g = 10$ m/s^2)

a) 0,4
b) 0,2
c) 0,1
d) 0,5
e) 0,8

Resolução

A variação da quantidade de movimento ΔQ de um corpo, também chamada de momento linear, se relaciona com a força resultante F_r e o intervalo de tempo em que ela é aplicada Δt através do teorema impulso - quantidade de movimento:

$$\Delta Q = I = F_r \, \Delta t \tag{9}$$

Assim, podemos encontrar a força resultante (que, no caso, será a própria força de atrito) pela relação:

$$F_r = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{0{,}40 \text{ N.s}}{0{,}20 \text{ s}} = 2{,}0 \text{ N} \tag{10}$$

Como não há movimento vertical, as forças peso e normal se anulam, de modo que $N = P = mg = 10$ N. Dessa forma, podemos encontrar o coeficiente de atrito por:

$$F_r = F_{at} = \mu N \;\Rightarrow\; \mu = \frac{F_r}{N} = \frac{2{,}0 \text{ N}}{10 \text{ N}} = 0{,}2 \tag{11}$$

Note que o coeficiente de atrito é adimensional por ser dado pela razão entre os módulos de duas forças.

RESPOSTA: alternativa b)

■

7. Sobre uma mesa horizontal o Professor Physicson espalhou cinco blocos idênticos de madeira com massa de 500,0 g e espessura de 10,0 cm cada. A partir daí, ele solicitou de uma aluna que empilhasse sobre a mesa todos os blocos, um após o outro. Ao término dessa tarefa, desprezando-se os atritos existentes e que inicialmente não havia nenhuma superposição entre os blocos, perguntou à turma qual foi o trabalho, em joules, realizado pela aluna. Acertadamente, eles responderam: (adote $g = 10$ m/s^2)

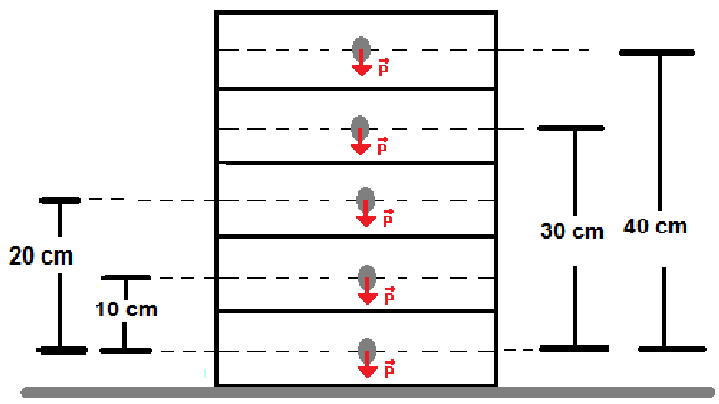
a) 4,0
b) 2,0
c) 3,0
d) 5,0
e) 1,5

Resolução

O primeiro fato a que devemos nos atentar é que, como os blocos são paralelepípedos homogêneos, seus centros de massas serão localizados nos seus centros geométricos. O segundo fato é que a variação de altura que irá importar será aquela relativa a esses centros de massa. Assim, por exemplo:

- O bloco mais baixo não terá sua altura alterada.
- Já o segundo bloco terá uma variação de altura de 10 centímetros em seu centro de massa.

Seguindo essa lógica, teremos a seguinte construção ao final do empilhamento:



O trabalho realizado pela aluna nesta tarefa terá o mesmo módulo do trabalho realizado pela força peso. Uma forma simples de entendermos isso é pelo teorema trabalho-energia cinética:

$$\sum W = \Delta E_c \tag{12}$$

Esse teorema nos diz que o trabalho total, isto é, a soma de todos os trabalhos, será igual a variação da energia cinética. Como nesse caso tanto no início da ação quanto no final os corpos estão em repouso sobre a mesa, podemos afirmar que:

$$\Delta E_c = 0 \;\Rightarrow\; \sum W = 0 \tag{13}$$

Sabemos que duas forças atuaram sobre esses blocos durante o deslocamento: a força realizada pela aluna e a força peso. Portanto, a soma dos trabalhos dessas forças têm que ser igual a zero:

$$W_{Peso} + W_{Aluna} = 0 \tag{14}$$

$$W_{Aluna} = -W_{Peso} \tag{15}$$

Logo, para calcularmos o trabalho realizado pela aluna basta calcularmos o trabalho realizado pela força peso:

$$W_{Peso} = -P\Delta H, \tag{16}$$

onde ΔH é o deslocamento vertical do centro de massa de cada bloquinho e $P = mg = 5,0$N. Note que o trabalho da força peso é negativo porque essa força está no sentido oposto ao movimento, ou seja, ela atua de forma contrária ao deslocamento.

Considerando os deslocamentos dos centros de massa indicados na figura e fazendo as conversões de unidades de massa e comprimento para o SI, calculamos os trabalhos realizados no empilhamento de cada bloco:

$$W_{Peso_1} = -P\Delta H_1 = -(5,0\text{ N}) \times (0,0\text{ m}) = 0{,}0\text{ J}$$
$$W_{Peso_2} = -P\Delta H_2 = -(5,0\text{ N}) \times (0,1\text{ m}) = -0{,}5\text{ J}$$
$$W_{Peso_3} = -P\Delta H_3 = -(5,0\text{ N}) \times (0,2\text{ m}) = -1{,}0\text{ J}$$
$$W_{Peso_4} = -P\Delta H_4 = -(5,0\text{ N}) \times (0,3\text{ m}) = -1{,}5\text{ J}$$

$$W_{Peso_5} = -P\Delta H_5 = -(5,0\text{ N}) \times (0,4\text{ m}) = -2{,}0\text{ J}$$

O trabalho total realizado por essa força é dado pela soma dos trabalhos realizados em cada deslocamento:

$$W_{Peso} = 0 + (-0{,}5) + (-1{,}0) + (-1{,}5) + (-2{,}0) = -5{,}0\text{ J} \tag{17}$$

Portanto, o trabalho total realizado pela aluna será:

$$W_{Aluna} = 5{,}0\text{ J} \tag{18}$$

RESPOSTA: alternativa d)

■

8. Muitos anos antes do nascimento de Isaac Newton (1643 - 1727), o grande pintor e cientista italiano Leonardo da Vinci (1452 - 1519) afirmou: *"Se uma força desloca certo corpo durante um determinado intervalo de tempo a certa distância, esta mesma força deslocará a metade deste corpo nesta mesma distância em duas vezes menos tempo".*

Você concorda com essa afirmação?

a) Não, mas em $\sqrt{2}$ vezes menos tempo;
b) Sim, mas em 0,5 vezes menos tempo;
c) Sim, mas em 4 vezes menos tempo;
d) Não, mas em $\sqrt{2}$ vezes mais tempo;
e) Não, mas em 0,5 vezes mais tempo.

Resolução

Para verificar a afirmação de da Vinci, utilizaremos a segunda lei de Newton considerando uma força constante de módulo F aplicada sobre um corpo de massa m:

$$F = ma \quad \Rightarrow \quad a = \frac{F}{m}. \tag{19}$$

Como a força é constante, a aceleração também será constante. Considerando a velocidade inicial do corpo como nula, a distância ΔS percorrida por ele após um intervalo de tempo t será dada por:

$$\Delta S = \frac{at^2}{2} = \frac{Ft^2}{2m}. \tag{20}$$

Obtendo o intervalo de tempo a partir da equação acima:

$$t = \sqrt{\frac{2m\Delta S}{F}} \tag{21}$$

Para ΔS e F fixos, vemos que t é proporcional a $\sqrt{m}$. Se o corpo é cortado pela metade, sua massa é reduzida pela metade ($m \to m/2$), de forma que o tempo de deslocamento decresce por um fator $\sqrt{2}$.

RESPOSTA: alternativa a)

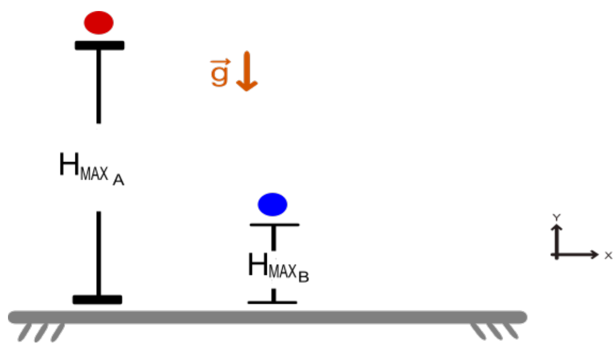
■

9. Dois corpos, A e B, de massas diferentes ($m_A = 3\ m_B$) foram lançados verticalmente para cima com velocidades iniciais diferentes. Um deles (A) atingiu uma altura quatro vezes maior do que o outro (B). Desprezando as resistências impostas ao movimento, quantas vezes foi a sua velocidade inicial superior a do outro?

a) $V_{o(A)} = 2\ V_{o(B)}$
b) $V_{o(A)} = 4\ V_{o(B)}$
c) $V_{o(A)} = V_{o(B)}$
d) $V_{o(B)} = 2\ V_{o(A)}$
e) $V_{o(B)} = 4\ V_{o(A)}$

Resolução

É importante frisar a importância da escolha de um referêncial nesse tipo de questão. Orientando o sentido positivo do eixo y para cima, a componente y da aceleração será negativa, de forma que $a_y = -g$. Sabemos ainda que, ao desprezar a resistência do ar, as massas não irão influenciar nesse problema.



Como os dois lançamentos correspondem a movimentos de aceleração constante, podemos usar a equação de Torricelli. Com a nossa escolha de referencial, podemos reescrevê-la como:

$$V^2 = V_0^2 + 2\ \cancelto{-g}{a}\ \Delta S \quad \Rightarrow \quad V^2 = V_0^2 - 2\ g\ \Delta S \tag{22}$$

Sabemos que no ponto mais alto do lançamento a velocidade de cada corpo deve ser nula, de forma que $V = 0$. Isso ocorre porque no ponto mais alto da trajetória o corpo inverterá o sentido de sua velocidade. Substituindo esse valor na eq. 22, obtemos a altura máxima alcançada por cada corpo:

$$V^2 = V_0^2 - 2\ g\ H_{max} \quad \Rightarrow \quad H_{max} = \frac{V_0^2}{2g} \tag{23}$$

Desta forma, concluímos que a altura máxima é proporcional ao quadrado da velocidade de lançamento. O enunciado do problema nos informa que as alturas máximas de cada lançamento estão relacionadas por:

$$H_{max_a} = 4\ H_{max_b} \tag{24}$$

Assim, concluímos que a velocidade inicial de b deve ser duas vezes maior que a velocidade inicial de a. Ou, de forma mais detalhada:

$$\begin{aligned} H_{max_a} &= 4\ H_{max_b} \\ \frac{V_{a_0}^2}{\cancel{2g}} &= 4\ \frac{V_{b_0}^2}{\cancel{2g}} \\ V_{a_0}^2 &= 4\ V_{b_0}^2 \\ \sqrt{V_{a_0}^2} &= \sqrt{4\ V_{b_0}^2} \end{aligned} \tag{25}$$

Sabemos que as duas velocidades iniciais estão no sentido positivo do eixo y. Portanto:

$$V_{0_a} = 2\ V_{0_b} \tag{26}$$

RESPOSTA: alternativa a)

OBS: Observe que o resultado é independente da massa dos objetos. Isso acontece porque a aceleração da gravidade tem o mesmo valor para todos os corpos próximos à superfície da Terra. Com isso, um papel e uma bola de boliche cairiam ao mesmo tempo se não houvesse resistência do ar!

■

10. Durante uma aula sobre queda livre de corpos próximos à superfície da terra, um dos alunos do Professor Physicson perguntou:

"Professor, qual o peso equivalente que uma pedrinha de massa 0,5 *kg teria ao chegar ao solo, caindo em queda livre do* 5° *andar de um edifício?"*

Para responder a essa pergunta, o Professor escreveu no quadro quatro possíveis respostas:

I. O peso da pedra não varia pelo fato de ela estar em repouso ou caindo;

II. Considerando a altura total igual a 10,0 m, seria de 50,0 N;

III. O peso da pedra varia conforme o solo, se ele é fofo ou duro;

IV. A força que a pedra exerce sobre o solo depende se ele é fofo ou duro.

Analisando as afirmações, podemos acertadamente afirmar que:

a) Somente III e IV estão corretas;
b) Somente II e III estão corretas;
c) Somente I e IV estão corretas;
d) Todas estão corretas;
e) Todas estão erradas.

Resolução

Analisaremos cada uma das proposições separadamente:

I. Verdadeira. O peso de uma pedra de massa m é resultado da força de atração que a Terra exerce sobre ela, sendo seu módulo dado por:

$$P = mg. \tag{27}$$

Observe que o peso não varia de acordo a posição da pedra, uma vez que a massa é constante e a aceleração da gravidade g é aproximadamente constante na vizinhança da superfície da Terra.

II. Falsa. Partindo da resposta anterior, percebe-se que não há sentido nessa afirmação, uma vez que a força peso não depende da altura de queda. Além disso, utilizando a equação acima, vemos que o peso da pedrinha vale $P = 0{,}5 \times 10 = 5{,}0$ N.

III. Falsa. Como já visto, nenhuma condição exceto a massa e a aceleração da gravidade afetam o peso da pedra.

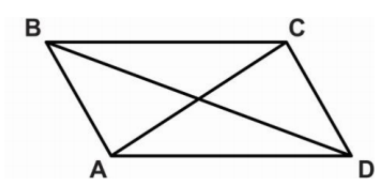
IV. Verdadeira. De fato, um solo mais fofo amortece o impacto da pedra, reduzindo a intensidade da força média que ela exerce sobre o mesmo. Em um solo mais duro, a variação da quantidade de movimento (impulso) para levar a pedra ao repouso é igual, mas ela ocorre em um intervalo de tempo mais curto, de forma que a força média de impacto é mais intensa.

Vemos então que apenas as afirmações I e IV são verdadeiras, de forma que a resposta correta é dada pela alternativa **(c)**.

RESPOSTA: alternativa c)

■

11. Durante as aulas sobre vetores, o Professor Physicson desenhou no quadro a figura exposta abaixo, onde os segmentos de retas AB, BC, CD, DA, AC e BD, representam vetores, de tal forma que prevalece o sentido, ou seja, AB $\neq$ BA. Assim, podemos representar o desenho abaixo pela soma dos vetores, EXCETO em:



a) AB + BC + CA = 0
b) BD = AB + AD
c) AC + CD = AD
d) AB + BD + DC = AC
e) BA + BC = BD

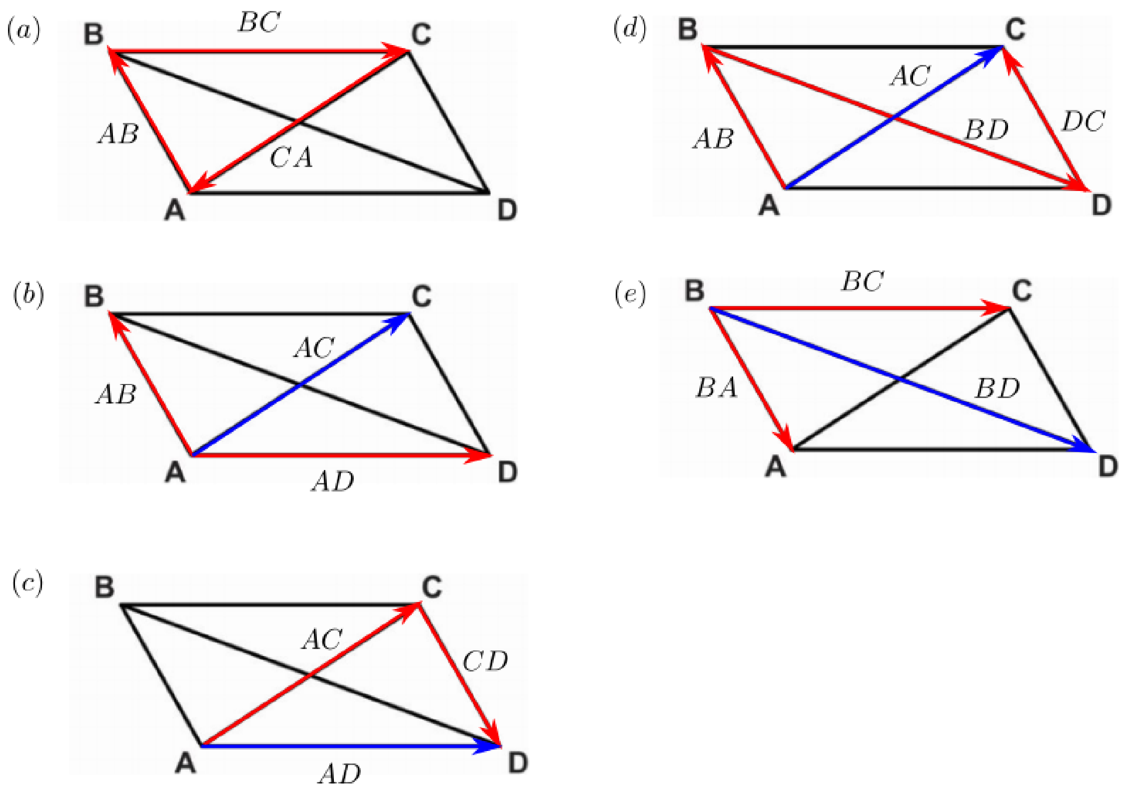
Resolução

A figura abaixo mostra as operações de soma propostas em cada alternativa (vetores vermelhos) e o resultado correto dessas operações (vetor azul). Vamos analisá-las uma a uma:

a) **Correta.** Nesse caso, vemos que os vetores estão ligados de forma sequencial. Como a origem do primeiro vetor coincide com a extremidade do terceiro, a soma deve ser nula.

b) **Errado.** Como vemos na figura, pela regra do paralelogramo, AB + AD tem que formar AC. Lembre que o sentido dos vetores importa para a soma, então BA + AD daria BD.

c) **Correta.** Mais uma vez, os vetores estão ligados de forma sequencial. O resultado da soma deve então ligar a origem do primeiro vetor (A) com a extremidade do segundo (D), formando o vetor AD.



d) **Correta.** Novamente, com a ligação sequencial, a origem do primeiro vetor é A e a extremidade do terceiro é C. Assim, o vetor resultante deve ser AC.

e) **Correta.** Como mostra a figura, a soma está de acordo com a regra do paralelogramo.

RESPOSTA: alternativa b)

■

12. Considere as seguintes situações do cotidiano:

    I. Um carro, subindo uma rua de forte aclive, em movimento retilíneo e uniforme;

    II. Um carro, percorrendo uma pista circular, com movimento uniforme;

    III. Um menino, lançando uma bola vertical para cima e atingindo o ponto mais alto de sua trajetória.

    Analise essas informações e identifique em qual(is) dela(s) a força resultante é nula:

    a) Somente em III;
    b) Somente em II;
    c) Em I e II;
    d) Em I, II e III;
    e) Somente em I;

    Resolução

    Vamos analisar cada situação:

    I. Mesmo que forças atuem sobre o carro, como a força peso, seu movimento é retilíneo e uniforme. Isso implica que não há aceleração, de forma que a força resultante é nula.

    II. Todo corpo em movimento circular uniforme é submetido a uma aceleração centrípeta que, como o nome diz, aponta em direção ao centro da trajetória circular. Assim, a força resultante também é centrípeta (e portanto não nula).

    III. A bola está sempre sob ação da força peso, não importando o ponto de sua trajetória. Portanto, a força resultante é não-nula.

    Portanto, a força resultante é nula apenas na situação I.

    RESPOSTA: alternativa e)

    ■

13. Nas figuras abaixo temos dois tipos de lentes delgadas e polidas, nas quais os erros de formação de imagens ou aberrações são desprezíveis.

    Dentre as lentes citadas, identifique na sequência a lente utilizada para a correção da miopia, lente semelhante ao nosso cristalino e lente usada numa lupa.

a) I, I e I
b) I, I e II
c) II, II e I
d) II, I e II
e) I, II e II

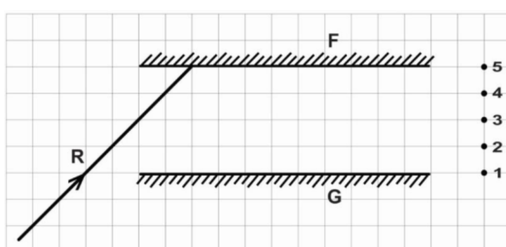
Resolução

Note que a lente I é uma lente divergente por ser mais espessa em suas bordas, enquanto a lente II é convergente por ser mais espessa em sua região central. O cristalino é uma lente convergente, pois sua função é focalizar a imagem (real e invertida) na retina. A lupa também é uma lente convergente, pois esse tipo de lente serve para aumentar o tamanho da imagem. Finalmente, a miopia é uma doença onde a imagem do cristalino é focalizada *antes* da retina, de forma que o cristalino está convergente demais. Para corrigir esse problema, usamos uma lente oposta, a divergente, que "move"o foco da imagem para a retina, corrigindo o problema.

RESPOSTA: alternativa e)

■

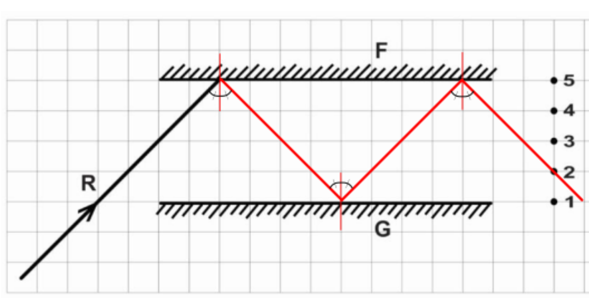
14. Na figura a seguir, F e G são espelhos planos e paralelos entre si e R é um raio de luz coerente que incide sobre o espelho F. Por qual dos pontos 1, 2, 3, 4 ou 5 passa o raio R depois de se refletir em F e G?



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

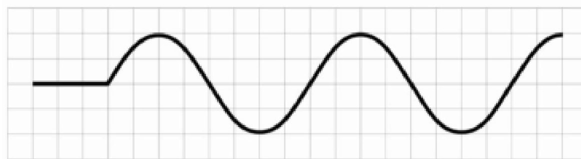
Resolução

A segunda lei da reflexão diz que o ângulo do raio incidente com a reta normal a um espelho é igual ao ângulo do raio refletido. Aplicando esta lei para cada uma das reflexões do raio sobre os espelhos, obtemos a trajetória mostrada na figura abaixo, onde o raio passa pelo ponto 2.



RESPOSTA: alternativa a)

■

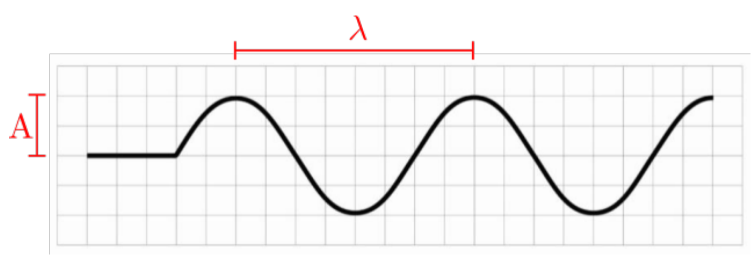


15. Na figura a seguir está representada uma onda periódica que se propaga ao longo de fio preso em uma de suas extremidades. Sendo A sua amplitude e λ seu comprimento de onda, qual é o valor da relação A/λ?

    a) 1
    b) 4
    c) 1/4
    d) 8
    e) 1/8

    Resolução

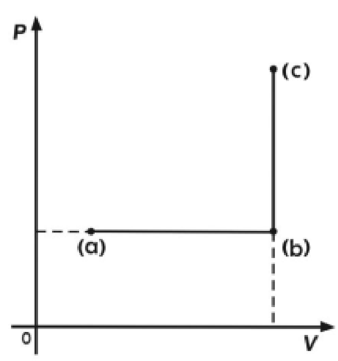
    A amplitude é definida como metade da distância entre uma crista e um vale da onda, como desenhamos na figura. Já o comprimento de onda é a menor distância entre dois pontos em fase (duas cristas ou dois vales, por exemplo). Essas duas quantidades são mostradas na figura abaixo. Usando os quadradinhos da figura como unidade de comprimento (u), obtemos $A = 2$ u e $\lambda = 8$ u. Portanto, $\frac{A}{\lambda} = \frac{1}{4}$.

    RESPOSTA: alternativa c)

    ■

16. O gráfico abaixo representa a pressão (**P**) de uma amostra de um gás ideal em função de seu volume (**V**). As temperaturas absolutas da amostra do gás, correspondentes aos pontos (a), (b) e (c) do gráfico, são, respectivamente, T_A, T_B e T_C. Identifique nas proposições qual das seguintes relações é correta:

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

    Resolução

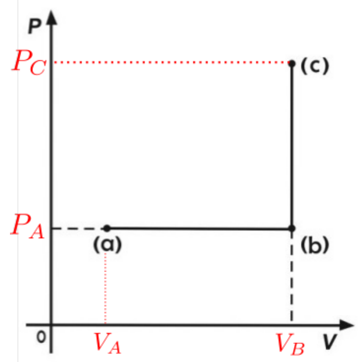
    Como se trata de um gás ideal, podemos usar a relação:

$$PV = nRT, \tag{28}$$

    onde n é o numero de mols do gás e R é uma constante. Como n e R são constantes nesse problema, obtemos:

$$\frac{PV}{T} = nR = \text{constante}. \tag{29}$$

A partir da figura, podemos comparar as temperaturas ao observar as pressões e volumes em cada ponto, representadas por P_A, P_B, P_C, V_A, V_B e V_C.



Essas quantidades devem satisfazer:

$$\frac{P_A V_A}{T_A} = \frac{P_B V_B}{T_B} = \frac{P_C V_C}{T_C}. \tag{30}$$

Note que, pela figura, $P_A = P_B$, e $V_A < V_B$. Dessa forma, a equação 30 dá:

$$\frac{V_A}{T_A} = \frac{V_B}{T_B} \rightarrow T_A < T_B. \tag{31}$$

Da mesma forma, vemos na figura que $V_B = V_C$ e $P_B < P_C$. Portanto:

$$\frac{P_B}{T_B} = \frac{P_C}{T_C} \rightarrow T_B < T_C. \tag{32}$$

Concluímos então que $T_A < T_B < T_C$.

RESPOSTA: alternativa a)

■

17. Em 1860, J. Maxwell (1831 – 1879), físico e matemático escocês, publicou na The Philosophical Magazine 19, um trabalho no qual demonstra a formulação do modelo cinético do calor, partindo da hipótese de que as moléculas não estão em repouso, mas possuem energia cinética, e de que a temperatura absoluta de um corpo é determinada pela energia cinética média de suas moléculas. Assim, de acordo com o texto, julgue as proposições a seguir com (V) verdadeira ou (F) falsa:

I. Para uma mesma temperatura absoluta, independentemente das massas molares de cada gás, as moléculas têm energias cinéticas médias iguais;

II. A energia cinética média das moléculas de um gás depende, apenas e exclusivamente, das massas moleculares desse gás;

III. As moléculas de um gás perfeito possuem movimentos desordenados e, por isso, colidem inelasticamente entre si ou com as paredes do recipiente que as contém.

Assinale a alternativa correta:

a) V, F, V
b) V, F, F
c) F, F. V
d) V, V, F
e) F, V, F

Resolução

Vamos analisar cada proposição separadamente:

I. **Verdadeira.** De acordo com o enunciado, a temperatura depende *exclusivamente* da energia cinética média das moléculas. Dessa forma, se dois gases, A e B, com massas moleculares distintas (um com moléculas mais pesadas que o outro) possuem a mesma temperatura, eles possuem a mesma energia cinética média.

II. **Falsa.** Se lembrarmos da equação da energia cinética de uma partícula,

$$E_c = \frac{mv^2}{2}, \tag{33}$$

vemos que, além da massa, a energia depende também do quadrado da velocidade dessa partícula. Podemos estender esse conceito para um gás e considerar que a sua energia cinética *média* dependerá de sua massa molecular, mas também dependerá da velocidade quadrática *média* (isto é, da média de v^2) de suas moléculas.

III. **Falsa.** A colisão inelástica é um tipo de colisão onde a energia cinética total do sistema *não se conserva*. Se as colisões entre as moléculas de um gás perfeito fossem inelásticas, a energia cinética média do gás diminuiria com o tempo, de forma que a sua temperatura diminuiria. Isso não é condizente com a observação experimental, já que os gases mantém suas temperaturas a menos que ocorra troca de calor e/ou realização de trabalho. Portanto, a energia cinética deve se conservar (em média), e as colisões devem ser elásticas.

RESPOSTA: alternativa b)

■

18. Analise as proposições a seguir relativas à termodinâmica, verificando se há ou não inadequações em seus enunciados, colocando V (adequado) e F (inadequado):

   I. Calor é sinônimo de temperatura;
   II. Calor é energia térmica em trânsito entre dois ou mais corpos;
   III. Sempre que um corpo quente aquece um corpo frio, suas temperaturas variam igualmente;
   IV. Calor específico é uma grandeza que indica o nível de energia das moléculas de um corpo.

   A sequência correta das letras V e F, de cima para baixo é:

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

   Resolução

   Vamos analisar cada proposição separadamente:

   I. **Falsa.** O calor é energia térmica em trânsito entre dois ou mais corpos. Por outro lado, a temperatura está associada à energia média das moléculas ou átomos que compõem um corpo.

   II. **Verdadeira.** Esta pode ser considerada uma definição de calor.

   III. **Falsa.** Para uma determinada quantidade de calor Q trocada entre dois corpos, podemos escrever a relação:

$$Q = mc\,\Delta T$$
$$\Delta T = \frac{Q}{mc}, \tag{34}$$

   onde m é a massa de um dos corpos e c é o seu calor específico. Vemos então que a variação da temperatura de um corpo depende de m e c e pode ser diferente para os dois corpos.

   IV. **Falsa.** Ao olharmos para a eq. 34, vemos que a variação da temperatura de um corpo é inversamente proporcional ao seu calor especifico, ou seja, quanto maior for c, mais difícil será aquecê-lo ou resfriá-lo. Portanto, c atua como uma espécie de inércia térmica de um corpo, em um papel análogo ao desempenhado pela massa na segunda lei de Newton. De fato, a energia média das moléculas ou átomos que compõem um corpo está associada com a sua temperatura, como mencionado na discussão da afirmativa I.

   RESPOSTA: alternativa d)

   ■

19. Um estudante de certo colégio relatou em sala de aula ter realizado uma experiência em casa, que consistiu em colocar um copo de plástico com água sobre a chama de uma vela e, ao final, constatou que o copo só queimou, depois de toda a água ter fervido e evaporado. Intrigados com o fenômeno descrito, seus colegas desejaram saber do professor se o estudante falava a verdade. O professor disse acertadamente que:

   a) Isso é possível, pois a capacidade calorifica da água é maior do que a do plástico;
   b) Isso é impossível de ocorrer, pois o plástico é comburente;
   c) Isso é impossível, pois o plástico tem uma capacidade calorifica maior que a água;
   d) Isso é impossível de ocorrer, pois o plástico se queima antes da água ferver;

e) Isso é possível até certo ponto, pois se a chama fosse mais intensa, o copo derreteria primeiro.

Resolução

Isso é possível de ocorrer pois o calor da chama é conduzido para a água através da fina camada de plástico do copo. A água então dissipa este calor e eleva sua temperatura até alcançar a temperatura de ebulição, quando começa a evaporar a temperatura constante. Como a temperatura de ebulição da água (100 ^{0}C) pode ser menor que a temperatura de derretimento do plástico e a temperatura do copo de plástico não deve ser substancialmente maior que a da água em seu interior, vemos que o plástico não derreterá ou queimará até que toda a água se ferva.

RESPOSTA: alternativa a)

■

20. Os famosos “potes de barro”, são reservatórios feitos de barro cozido e porosos a água, muito usados no interior do nordeste, aonde a energia elétrica ainda não chegou, servindo para manter a água sempre fresca, apesar da alta temperatura ambiente. Esse fato pode ser mais bem explicado devido:

a) Ao processo de evaporação da água residual, via poros, que se acumula na superfície externa do pote, diminuindo a temperatura da água dentro do pote;
b) Ao fato do barro ser isolante e não deixar que o calor penetre para dentro do pote, mantendo sua temperatura;
c) À condensação que a água sofre no interior do pote;
d) Ao processo de liquefação do vapor de água em sua superfície externa, mantendo a água sempre fresca;
e) Ao fato de ocorrer uma evaporação da água em sua superfície, por um processo exotérmico.

Resolução

Apesar de não poderem ser vistos a olho nu, os poros do pote de barro permitem a passagem de gotículas de água, que se acumulam na superfície externa do pote. Daí temos a expressão de que o pote está “suando”. Essa água residual na superfície externa absorve calor da água dentro do pote e evapora (processo endotérmico), mantendo a água de dentro a uma temperatura mais baixa que a ambiente. Isso explica o frescor do pote de barro.

RESPOSTA: alternativa a)

■

21. Imagine que um estudante disponha de dois pêndulos idênticos ($\boldsymbol{P}_1$ e $\boldsymbol{P}_2$), dentro de um sistema de referência inercial, oscilando com a mesma amplitude. $\boldsymbol{P}_1$ está acoplado a um sistema rígido, em repouso, oscilando com um período igual a 1,0 s e $\boldsymbol{P}_2$ está acoplado a um carrinho que se move, em trajetória retilínea, com uma velocidade escalar constante e igual a 2,0 m/s. Qual é, em segundos, o período de oscilação de $\boldsymbol{P}_2$?

a) 2,0
b) Zero
c) 1,0
d) 0,5
e) 4,0

Resolução

Sabemos que um referencial que se move em trajetória retilínea e com velocidade constante com relação a um referencial inercial também é um referencial inercial. Portanto, o referencial acoplado ao carrinho também constitui-se em um referencial inercial (onde o carrinho está em repouso). Como não deve haver diferença no resultado de experimentos idênticos realizados em diferentes referenciais inerciais e os pêndulos oscilam com a mesma amplitude, concluímos que os períodos de oscilação de $\boldsymbol{P}_1$ e $\boldsymbol{P}_2$ devem ser exatamente iguais. Note ainda que o período do pêndulo não depende da sua amplitude de oscilação (para pequenas amplitudes).

RESPOSTA: alternativa c)

■

22. Considerando que um anel de cobre a 25 °C, cujo coeficiente de dilatação térmica linear é constante e igual a 1,6 x 10^{-5} °C^{-1}, possui um diâmetro interno igual a 10,0 cm e externo igual a 12,0 cm, determine a variação entre esses diâmetros quando o anel atingir uma temperatura de 275 °C.

a) 0,208 cm;
b) 0,098 cm;
c) 0,108 cm;
d) 0,008 cm;
e) 1,098 cm.

Resolução

Sabemos que um furo em uma superfície se dilata exatamente como se fosse feito do próprio material. Portanto, basta que calculemos a dilatação dos diâmetros interno e externo do anel separadamente.

A variação de comprimento pode ser calculada por meio da relação:

$$\Delta L = L_0 \alpha \Delta T, \tag{35}$$

onde L_0 é o comprimento inicial e ΔT a variação de temperatura. Como o comprimento de uma circunferência é proporcional ao seu diâmetro, podemos utilizar a mesma relação para obter as variações dos diâmetros, substituindo ΔL e L_0 por ΔD e D_0.

Estamos interessados em encontrar a *variação da diferença* entre os dois diâmetros, que chamaremos de x:

$$\begin{aligned} x &= \Delta D_{ext} - \Delta D_{int} \\ x &= (D_{0,ext}\ \alpha \Delta T) - (D_{0,int}\ \alpha \Delta T) \\ x &= \alpha \Delta T\ (D_{0,ext} - D_{0,int}) \end{aligned} \tag{36}$$

onde $\alpha = 1{,}6 \text{ x } 10^{-5}\,^{\text{o}}\text{C}^{-1}$, $\Delta T = (275 - 25)^{\text{o}}\text{C} = 250^{\text{o}}\text{C}$, $D_{0,ext} = 12$ cm e $L_{0,int} = 10$ cm. Portanto:

$$x = 1{,}6 \cdot 10^{-5}\ ^{\text{o}}\text{C}^{-1} \times 250\ ^{\text{o}}\text{C} \times (12 - 10)\ \text{cm} = 0{,}008\,\text{cm}$$

RESPOSTA: alternativa d)

■

23. Durante uma aula sobre uma colisão frontal entre duas bolas de sinuca (não elásticas), com mesma massa e mesmo tamanho, várias indagações foram feitas pelos alunos. Dentre elas, destacamos quatro:

    I. A soma das energias cinéticas das duas bolas se conserva;

    II. A soma dos módulos das quantidades de movimento das bolas se conserva (isto é, tem o mesmo valor antes e após o choque);

    III. A soma vetorial das quantidades de movimento das duas bolas, assim como a soma das energias cinéticas das mesmas, separadamente se conservam;

    IV. As variações das velocidades das duas bolas são de módulos iguais.

    Analisando as afirmações, podemos acertadamente afirmar que:

    a) Todas são falsas;
    b) Todas estão corretas;
    c) Apenas I, II e III estão corretas;
    d) Apenas II e III estão corretas;
    e) Apenas I e II estão corretas.

Resolução

QUESTÃO ANULADA

■

24. Considere as seguintes informações sobre a segunda lei da Termodinâmica:

    I. A eficiência de uma máquina térmica de Carnot depende somente das duas temperaturas com que ela trabalha;

    II. Numa máquina térmica reversível, a absorção e a liberação de calor devem ser realizadas isotermicamente;

    III. Numa máquina térmica, o calor cedido a um gás pode apenas em parte ser usado para realizar trabalho mecânico.

De acordo com as informações, podemos acertadamente afirmar que:

a) Todas estão falsas;
b) Somente I e II estão corretas;
c) Somente I e III estão corretas;
d) Somente a I está correta;
e) Todas estão corretas.

Resolução

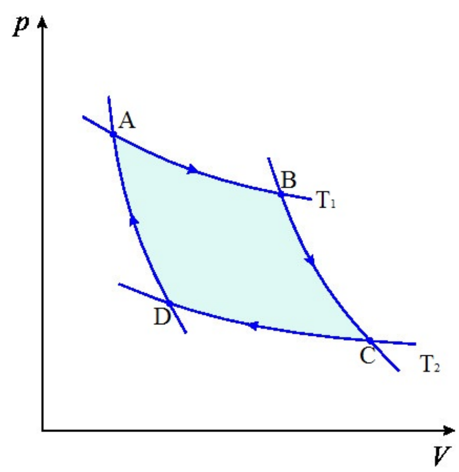
Vamos analisar cada afirmativa separadamente:

I. **Verdadeira.** A eficiência de uma máquina de Carnot pode ser calculada através da seguinte expressão

$$\eta = 1 - \frac{T_F}{T_Q},$$

onde η é a eficiência da máquina, T_F a temperatura da fonte fria e T_Q a temperatura da fonte quente. Portanto, ela depende apenas das temperaturas de operação.

II. **Verdadeira.** Como a condução de calor entre dois meios a temperaturas diferentes é um processo irreversível, qualquer troca de calor reversível realizada pelo sistema deve ser feita isotermicamente. Da mesma forma, qualquer variação de temperatura reversível sofrida pelo sistema deve estar associada a um processo adiabático (sem troca de calor). Portanto, toda máquina térmica reversível segue um ciclo de Carnot, onde os processos $A \to B$ e $C \to D$ são processos isotérmicos e os processos $B \to C$ e $D \to A$ são adiabáticos.



III. **Verdadeira.** Pela segunda lei da Termodinâmica, sabemos que é impossível uma máquina térmica ter 100% de rendimento, ou seja, é impossível produzirmos uma máquina cujo único efeito seja converter todo o calor que recebe em trabalho mecânico.

RESPOSTA: alternativa e)

■

25. Uma determinada grandeza física é definida a partir da seguinte expressão matemática: $S = \frac{P}{AT^4}$, onde (P) é potência térmica do sistema, (A) é a área e (T) é a temperatura absoluta, dada em Kelvin (K). A partir das proposições abaixo, identifique corretamente a unidade de medida da grandeza (S), tomando como referência o sistema internacional de unidades:

a) $\frac{kg}{s^2K^4}$

b) $\frac{kg}{s^3K^4}$

c) $\frac{kg}{K^4}$

d) $\frac{kg}{s^3}$

e) $\frac{kg}{s^4K^4}$

Resolução

Sabemos que, no S.I., potência é medida em watts (W), área em m^2 e temperatura em kelvins (K). Usando o simbolo [] para denotar a unidade de uma grandeza no S.I., vemos que a unidade de S pode ser escrita como:

$$[S] = \frac{W}{m^2 K^4}. \tag{37}$$

Por outro lado, a unidade de potência pode ser obtida a partir das unidades de energia e tempo da seguinte forma:

$$[P] = W = \frac{[\Delta E]}{[\Delta t]} = \frac{J}{s}. \tag{38}$$

Por sua vez, o joule pode ser encontrado, dentre outras maneiras, usando a expressão bem conhecida para o trabalho (força $\times$ deslocamento):

$$\mathrm{J} = [\text{massa}] \cdot [\text{aceleração}] \cdot [\text{comprimento}] = \mathrm{kg} \cdot \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} \cdot \mathrm{m} = \frac{\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2} \tag{39}$$

Portanto,

$$[S] = \frac{\frac{\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2} \cdot \frac{1}{\mathrm{s}}}{\mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{K}^4} = \frac{\mathrm{kg} \cdot \cancel{\mathrm{m}^2}}{\cancel{\mathrm{m}^2} \cdot \mathrm{s}^3 \cdot \mathrm{K}^4} = \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{s}^3 \cdot \mathrm{K}^4} \tag{40}$$

RESPOSTA: alternativa b)

■