ITA FÍSICA 2002

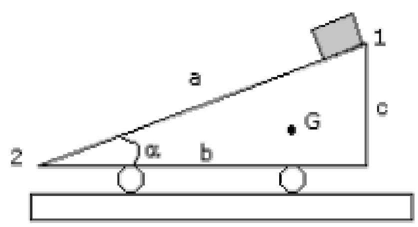
1. A massa inercial mede a dificuldade em se alterar o estado de movimento de uma partícula. Analogamente, o momento de inércia de massa mede a dificuldade em se alterar o estado de rotação de um corpo rígido. No caso de uma esfera, o momento de inércia em torno de um eixo que passa pelo seu centro é dado por $I = (2/5)MR^2$, em que M é a massa da esfera e R seu raio. Para uma esfera de massa M =25,0 kg e raio R =15,0 cm, a alternativa que melhor representa o seu momento de inércia é
a) $22{,}50.10^2$ kg.m^2 b) 2,25 kg .m^2 c) 0,225 kg .m^2 d) 0,22 kg.m^2 e) 22,00 kg.m^2
Solução: aplicando a fórmula dada, sendo a massa em kg e o raio e m, temos $I = (2/5).25.(15.10^{-2})^2 = 2250.10^{-4} = 0{,}225$ kg.m^2. Resposta: letra (c)

---

2. Em um experimento verificou-se a proporcionalidade existente entre energia e a freqüência de emissão de uma radiação característica. Neste caso, a constante de proporcionalidade, em termos dimensionais, é equivalente a
a) Força. b) Quantidade de Movimento. c) Momento Angular. d) Pressão. e) Potência.
Solução: Veja questão nº 01 – prova ITA explicações sobre equações dimensionais.
Considerando as equações dimensionais:
(1) energia $[E] = ML^2T^{-2}$
(2) frequência $f= 1/T$ ➔ $[f] = T^{-1}$
(3) $[k] = [E/f] =$ ML2T-2/T-1 $= ML^2T^{-1}$.
As equações dimensionais das grandezas apresentadas nas opções são:
(4) opção (a) $[F] = [ma] = MLT^{-2}$
(5) opção (b) $[q] = [mv] = MLT^{-1}$
(6) opção (c) $[L] = [rmv] = LM.LT^{-1} = ML^2T^{-1}$
(7) opção (d) $[p] = [F/A] = MLT^{-2}/L^2 = ML^{-1}T^{-2}$
(8) opção (e) $[P] = [W/t] = [Fd/t] = MLT^{-2}.L/T =$ ML2T^{-3}
Portanto, a grandeza que tem mesma dimensão que a razão entre a energia e a freqüência é o Momento Angular.
Resposta: letra (c)

---

3. Uma rampa rolante pesa 120N e se encontra inicialmente em repouso, como mostra a figura. Um bloco que pesa 80N, também em repouso, é abandonado no ponto 1, deslizando a seguir sobre a rampa. O centro de massa G da rampa tem coordenadas: $x_G =2b/3$ e $y_G =c/3$. São dados ainda: a = 15,0m e sen α = 0,6. Desprezando os possíveis atritos e as dimensões do bloco, pode-se afirmar que a distância percorrida pela rampa no solo, até o instante em que o bloco atinge o ponto 2, é



a) 16,0 m b) 30,0 m c) 4,8 m d) 24,0 m e) 9,6 m
Solução: Como as forças externas atuantes no sistema são os pesos dos corpos, a abscissa "x" de centro de massa do sistema não modifica.
Calculando, "b" e "c" temos: $c = a.\text{sen}\ \alpha = 15.0{,}6 = 9$.
Sendo $\text{sen}^2\ \alpha + \cos^2\alpha = 1$, tiramos: $0{,}6^2 + \cos^2\alpha = 1$ ➔ $\cos^2\alpha = 0{,}64$ ➔ $\cos\alpha = 0{,}8$.
Deste modo: $b = a.\cos\alpha$ ➔ $b = 15.0{,}8$ ➔ $b = 12$.
Considerando um sistema de coordenadas onde a origem coincide com o ponto 2, os centros de massas do o bloco e da rampa são:
- Bloco: x = 12 e y = 9.
- Rampa: x = 2b/3 = 2.12/3 = 8 e y = c/3 = 9/3 = 3.
Como interessa apenas a posição horizontal do centro de massa teremos:
Calculando a posição inicial do centro de massa do sistema, teremos:
$x_C = (x_B.P_B + x_R.P_R)/(P_B + P_R)$ ➔ $x_C = (12.80 + 8.120)/(80 + 120) = (960 + 960)/200 = 9{,}6$.
Se d, é a distância percorrida pela rampa, as novas abscissas do centro de massa dos corpos envolvidos são, no final são:
- Bloco: x = d e rampa: 8 + d.
Assim, a abscissa do centro de massa é: $x_C = [d.80 + (8 + d).120]/(80 + 120) =$
$= (200d + 960)/200 = d + 4{,}8$.
Conforme dito acima, a abscissa não modifica pois não há componente horizontal de forças externas. Assim, $d + 4{,}8 = 9{,}6$ ➔ $d = 4{,}8$ m. Resposta: letra (c).

---

4. Um sistema é composto por duas massas idênticas ligadas por uma mola de constante k, e repousa sobre uma superfície plana, lisa e horizontal. Uma das massas é então aproximada da outra, comprimindo 2,0cm da mola.

Uma vez liberado, o sistema inicia um movimento com o seu centro de massa deslocando com velocidade de 18,0cm/s numa determinada direção. O período de oscilação de cada massa é

a) 0,70 s b) 0,35 s c) 1,05 s d) 0,50 s

e) indeterminado, pois a constante da mola não é conhecida.

Comentários: a informação "uma vez liberado o sistema inicia um movimento com o seu centro de massa deslocando" indica que um dos corpos deve estar preso ou impedido de movimentar-se normalmente. Assim, a solução vai depender de alguma hipótese. Isto torna a questão questionável.

Se v_1 e v_2 são as velocidades das massas após soltas, a soma das quantidades de movimento das massas é igual à quantidade de movimento do centro de massa.

Isto leva a $m_1v_1 + m_2v_2 = 0,18.(m_1 + m_2) \Rightarrow mv_1 + mv_2 = 0,18.2m$ (as massas são iguais) $\Rightarrow$

$\Rightarrow v_1 + v_2 = 0,36$.

Pela conservação da energia: $mv_1^2/2 + mv_2^2/2 = kx^2/2 \Rightarrow k/m = (v_1^2 + v_2^2)/x^2$.

Nestas considerações, qualquer um dos valores será possível.

Tomando, por exemplo, T = 0,70 s, teríamos de $T = 2\pi.(m/k)^{1/2} \Rightarrow m/k = (0,7/2\pi)^2 \Rightarrow m/k = 0,012 \Rightarrow k/m = 80$.

Neste caso teríamos o sistema $v_1 + v_2 = 0,36$ e $(v_1^2 + v_2^2)/x^2 = 80 \Leftrightarrow v_1^2 + v_2^2 = 80.(2.10^{-2})^2 \Leftrightarrow$

$\Leftrightarrow v_1^2 + v_2^2 = 3,2$.

Como o sistema é possível determinado, existem valores para v_1 e v_2.

Para que a resposta coincidisse com a dada no gabarito, letra (b), deveríamos considerar uma das massas parada após liberado o sistema. Isto entretanto não é evidenciado no enunciado.

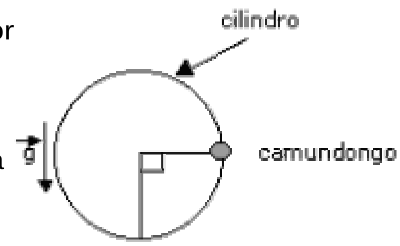
Neste caso, PARTICULAR, $v_2 = 0$, $v_1 = 0,36$.

Pela conservação da energia: $mv_1^2/2 = kx^2/2 \Rightarrow m/k = x^2/v_1^2 = (2.10^{-2})^2/(0,36)^2 \Rightarrow (m/k)^{1/2} = 0,02/0,36 = 1/18$

De $T = 2\pi.(m/k)^{1/2}$, tiramos T = 2.3,14.(1/18) = 0,35 s.

---

5. Um pequeno camundongo de massa M corre num plano vertical no interior de um cilindro de massa m e eixo horizontal. Suponha-se que o ratinho alcance a posição indicada na figura imediatamente no início de sua corrida, nela permanecendo devido ao movimento giratório de reação do cilindro, suposto ocorrer sem resistência de qualquer natureza. A energia despendida pelo ratinho durante um intervalo de tempo T para se manter na mesma posição enquanto corre é



a) $E = (M^2/2m)g^2T^2$ b) $E = Mg^2T^2$ c) $E = (m^2/M^2)g^2T^2$ d) $E = mg^2T^2$ e) nda

Solução: a força aplicada no cilindro pelo rato é igual à força aplicada pelo cilindro sobre o rato (ação e reação).

Como o rato fica sempre na mesma posição a força do cilindro F = ma deve ser igual ao peso do rato P = Mg.

Portanto, $ma = Mg \Rightarrow$ a aceleração tangencial do cilindro é a = Mg/m.

Como o ratinho alcança a posição indicada imediatamente após o início de sua corrida, podemos considerar que em t = 0, a velocidade do cilindro é zero, e que no instante t = T sua velocidade é $v = aT \Rightarrow v = (Mg/m).T$.

A energia adquirida pelo cilindro é igual à energia despendida pelo ratinho. Assim, $E = mv^2/2 - mv_0^2/2 = mv^2/2 = m.[(Mg/m).T]^2/2 = M^2g^2T^2/2m$. Resposta: letra (a)

---

6. Um dos fenômenos da dinâmica de galáxias, considerado como evidência da existência de matéria escura, é que estrelas giram em torno do centro de uma galáxia com a mesma velocidade angular, independentemente de sua distância ao centro. Sejam M_1 e M_2 as porções de massa (uniformemente distribuída) da galáxia no interior de esferas de raios R e 2R, respectivamente. Nestas condições, a relação entre essas massas é dada por

a) $M_2 = M_1$ b) $M_2 = 2M_1$ c) $M_2 = 4M_1$ d) $M_2 = 8M_1$ e) $M_2 = 16M_1$

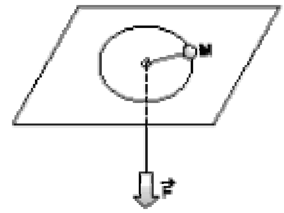
Solução: de acordo com o enunciado, as velocidades angulares ϖ_1 e ϖ_2 são iguais. Como $\varpi = v/R$, podemos escrever: $v_1/R = v_2/2R \Rightarrow v_2 = 2v_1$.

A força gravitacional sobre a estrela é igual à força centrípeta necessária para mantê-la em movimento circular.

Assim, $mv^2/R = GMm/R^2 \Leftrightarrow v = (GM/R)^{1/2}$ sendo M a massa central e m a massa girante. Para v_1, temos $v_1 = (GM_1/R)^{1/2}$ e para v_2 temos $v_2 = (GM_2/2R)^{1/2}$.

Substituindo estes valores na relação entre as velocidades, resultará: $(GM_2/2R)^{1/2} = 2.(GM_1/R)^{1/2}$

$\Leftrightarrow (GM_2/2R) = 4.(GM_1/R) \Leftrightarrow M_2 = 8M_1$. Resposta: letra (a)



7. Um corpo de massa M, mostrado na figura, é preso a um fio leve, inextensível, que passa através de um orifício central de uma mesa lisa. Considere que inicialmente o corpo se move ao longo de uma circunferência, sem atrito. O fio é, então, puxado para baixo, aplicando-se uma força F, constante, a sua extremidade livre. Podemos afirmar que:

a) o corpo permanecerá ao longo da mesma circunferência.
b) a força F não realiza trabalho, pois é perpendicular à trajetória.
c) a potência instantânea de F é nula.
d) o trabalho de F é igual à variação da energia cinética do corpo.
e) o corpo descreverá uma trajetória elíptica sobre a mesa.

Solução: inicialmente o corpo de massa M descreve uma trajetória circular com velocidade constante em módulo. Com a aplicação de F, o corpo passa a descrever uma trajetória com raio menor. Assim ele passa a ter um deslocamento para o centro do círculo. Como a força F que atua nele tem essa direção, um trabalho estará sendo realizado sobre ele e este trabalho é igual à variação da energia cinética do corpo. Resposta: letra (d).

---

8. Uma esfera metálica isolada, de 10,0cm de raio, é carregada no vácuo até atingir o potencial U =9,0 V. Em seguida, ela é posta em contato com outra esfera metálica isolada, de raio R_2 = 5,0cm. Após atingido o equilíbrio, qual das alternativas abaixo melhor descreve a situação física?

É dado que $1/4\pi\varepsilon = 9{,}0 \cdot 10^9$ N.m²/C²

a) A esfera maior terá uma carga de $0{,}66 .\ 10^{10}$ C.
b) A esfera maior terá um potencial de 4,5 V.
c) A esfera menor terá uma carga de $0{,}66 .\ 10^{10}$ C.
d) A esfera menor terá um potencial de 4,5 V.
e) A carga total é igualmente dividida entre as 2 esferas.

Comentários: a solução somente será possível se for fornecida a carga da segunda esfera.
Vamos resolver a questão supondo que a carga desta segunda esfera seja inicialmente nula.
Temos inicialmente: U = kQ/R ➔ $9 = 9.10^9.Q/0{,}1$ ➔ $Q = 1.10^{-10}$ C.
Colocadas as esferas em contato, haverá passagem de cargas da primeira para a segunda até que ambas atinjam a um mesmo potencial. Assim: $U' = KQ_1/0{,}1 = K.Q_2/0{,}05$ ➔ $Q_1 = 2Q_2$.
Como a carga total é 1.10^{-10}C, teremos $Q_1 + 2Q_1 = 1.10^{-10}$ ➔ $Q_1 = 0{,}33.10^{-10}$ C e $Q_2 = 0{,}66.10^{-10}$ C.
O potencial de cada esfera será então: $U' = 9.10^9{,}33.10^{-10}/0{,}1 = 3$ V.
Portanto, a esfera menor terá uma carga de $0{,}66.10^{-10}$ C. Resposta: letra (c)

---

9. Um dispositivo desloca, com velocidade constante, uma carga de 1,5C por um percurso de 20,0cm através de um campo elétrico uniforme de intensidade $2{,}0 \cdot 10^3$ N/C.
A força eletromotriz do dispositivo é

a) $60.\ 10^3$ V b) 40.10^3 V c) 600 V d) 400 V e) 200 V

Solução: como o campo elétrico é uniforme, temos $V = E.d = 2.10^3 \times 0{,}20 = 0{,}4.10^3 = 400$ V.
Resposta: letra (d)

---

10. Sendo dado que 1 J =0,239 cal, o valor que melhor expressa, em calorias, o calor produzido em 5 minutos de funcionamento de um ferro elétrico, ligado a uma fonte de 120 V e atravessado por uma corrente de 5,0 A, é

a) $7{,}0 .10^4$ b) $0{,}70 .10^4$ c) $0{,}070 .10^4$ d) $0{,}43 .10^4$ e) $4{,}3 .10^4$

Solução: $E = P.t = Vi.t = 120.5.(5.60) = 600.300 = 18.10^4$ J $= 18.10^4$ J $.0{,}239 = 4{,}3 \cdot 10^4$ cal.
Resposta: letra (e)

---

11. Para se proteger do apagão, o dono de um bar conectou uma lâmpada a uma bateria de automóvel (12,0V). Sabendo que a lâmpada dissipa 40,0W, os valores que melhor representam a corrente I que a atravessa e sua resistência R são, respectivamente, dados por

a) I =6,6 A e R = 0,36 Ω . b) I =6,6 A e R = 0,18 Ω. c) I =6,6 A e R = 3,6 Ω.
d) I =3,3 A e R = 7,2 Ω. e) I =3,3 A e R = 3,6 Ω.

Solução: a questão consiste na aplicação direta de fórmulas.
P = Vi ➔ 40 = 12i ➔ i = 40/12 = 3,3 A e $R = V^2/P = 122/40 = 144/40 = 3{,}6\ \Omega$. Resposta: letra (e)

---

12. Numa prática de laboratório, um estudante conectou uma bateria a uma resistência, obtendo uma corrente i_1 . Ligando em série mais uma bateria, idêntica à primeira, a corrente passa ao valor i_2. Finalmente, ele liga as mesmas baterias em paralelo e a corrente que passa pelo dispositivo torna-se i_3 . Qual das alternativas abaixo expressa uma relação existente entre as correntes i_1 , i_2 e i_3 ?

a) $i_2i_3 = 2i_1 (i_2 + i_3)$. b) $2i_2i_3 = i_1 (i_2 + i_3)$. c) $i_2i_3 = 3i_1 (i_2 + i_3)$.
d) $3i_2i_3 = i_1 (i_2 + i_3)$. e) $3i_2i_3 = 2i_1 (i_2 + i_3)$
Solução: Seja E a fem e r a resistência interna da bateria.
Temos: (1) $E = (r + R)i_1$; (2) $2E = (2r + R)i_2$; (3) $E = (r/2 + R)i_3 = (1/2).(r + 2R)i_3$.
Calculando:
(1) $i_2.i_3 = [2E/(2r + R)].[2E/(r + 2R) = 4E^2/(2r^2 + 5rR + 2R^2)$ e
(2) $i_1.(i_2 + i_3) = [E/(r + R)].[2E/(2r + R)] + [2E/(r + 2R)] = 2E^2/(r + R).[1/(2r + R) + 1/(r + 2R)] =$
$= 4E^2/(r + R).[(r + 2R + 2r + R) /(2r^2 + 5rR + 2R^2)] = [4E^2/(r + R)].3.(r + R)/(2r^2 + 5rR + 2R^2) =$
$= 3.2E^2/(2r^2 + 5rR + 2R^2) = 3.(1/2)i_2.i_3$.
Das relações obtidas: $(3/2).i_2.i_3 = i_1.(i_2 + i_3) \Rightarrow 3.i_2.i_3 = 2.i_1.(i_2 + i_3)$ Resposta: letra (e).

13. Um capacitor de capacitância igual a $0{,}25.10^6$ .F é carregado até um potencial de $1{,}00.10^5$ V, sendo então descarregado até $0{,}40.10^5$ V num intervalo de tempo de 0,10 s, enquanto transfere energia para um equipamento de raios-X. A carga total, Q, e a energia, ε, fornecidas ao tubo de raios-X, são melhor representadas respectivamente por
a) Q = 0,005 C e ε = 1250 J b) Q = 0,025 C e ε = 1250 J c) Q = 0,025 C e ε = 1050 J
d) Q = 0,015 C e ε = 1250 J e) Q = 0,015 C e ε = 1050 J
Solução: A carga e a energia inicial do capacitor são: $Q = CV = 1.10^5 \times 0{,}25.10^{-6} = 0{,}025$ C e
$E = (1/2).CV^2 = (1/2).0{,}25.10^{-6}.(1.10^5)^2 = 0{,}125.10^4 = 1250$ J.
A carga e energia final do capacitor são:
$Q' = CV' = 0{,}25.10^{-6} \times 0{,}40.10^5 = 0{,}01$ C e $E' = (1/2).CV'^2 = (1/2).0{,}25.10^{-6}.(0{,}4.10^5)^2 = 200$ J.
Portanto a carga fornecida é 0,025 − 0,01 = 0,15 C e a energia fornecida é 1250 − 200 = 1050 J.
Resposta: letra (e).

14. Uma máquina térmica reversível opera entre dois reservatórios térmicos de temperaturas 100 °C e 127 °C, respectivamente, gerando gases aquecidos para acionar uma turbina. A eficiência dessa máquina é melhor representada por
a) 68%. b) 6,8%. c) 0,68%. d) 21%. e) 2,1%.
Solução: o rendimento máximo possível de uma máquina térmica, que ocorre ao funcionar de acordo com o ciclo de Carnot, processo reversível, é $e = 1 - Tf/Tq$, sendo as temperaturas expressas em kelvin.
Temos então: Tf = 100 + 273 = 373 K e Tq = 127 + 273 = 400 K.
Portanto, e = 1 − 373/400 = 27/400 = 0,0675 = 6,75%. Aproximadamente 6,8%. Resposta: letra (b).

15. Um pedaço de gelo flutua em equilíbrio térmico com uma certa quantidade de água depositada em um balde. À medida que o gelo derrete, podemos afirmar que
a) o nível da água no balde aumenta, pois haverá uma queda de temperatura da água.
b) o nível da água no balde diminui, pois haverá uma queda de temperatura da água.
c) o nível da água no balde aumenta, pois a densidade da água é maior que a densidade do gelo.
d) o nível da água no balde diminui, pois a densidade da água é maior que a densidade do gelo.
e) o nível da água no balde não se altera.
Solução: como o gelo flutua na água, sua densidade é menor que a da água. A massa de gelo derretida implica em uma redução do empuxo igual ao peso do gelo derretido. Essa redução do empuxo é igual ao aumento de peso da água deslocado. Portanto, a redução do volume submerso é igual ao aumento de volume da água. Isto implica na manutenção do nível da água. Resposta: letra (e)

16. Um pequeno tanque, completamente preenchido com 20,0 *l* de gasolina a 0 °F,é logo a seguir transferido para uma garagem mantida à temperatura de 70 °F. Sendo $\gamma = 0{,}0012\ ^oC^{-1}$ o coeficiente de expansão volumétrica da gasolina, a alternativa que melhor expressa o volume de gasolina que vazará em conseqüência do seu aquecimento até a temperatura da garagem é
a) 0,507 *l* b) 0,940 *l* c) 1,68 *l* d) 5,07 *l* e) 0,17 *l*
Solução: a variação de 70º F na temperatura implica em uma variação Δt ºC, tal que:
$100/180 = \Delta t/70 \Rightarrow \Delta t = 100.70/180 = 350/9$ ºC.
O aumento do volume é então $\Delta V = 20.\ 0{,}0012.(350/9) = 0{,}93\ l$. Resposta: letra (b)

17. Deseja-se enrolar um solenóide de comprimento z e diâmetro D, utilizando-se uma única camada de fio de cobre de diâmetro d enrolado o mais junto possível. A uma temperatura de 75 °C, a resistência por unidade de comprimento do fio é r. Afim de evitar que a temperatura ultrapasse os 75 °C, pretende-se restringir a um valor P a potência dissipada por efeito Joule. O máximo valor do campo de indução magnética que se pode obter dentro

do solenóide é

a) $B_{max} = \mu_0(P/rDzd)^{1/2}$ b) $B_{max} = \mu_0(\pi P/rDzd)$ c) $B_{max} = \mu_0(2P/\pi rDzd)$
d) $B_{max} = \mu_0(P/\pi rDzd)$ e) $B_{max} = \mu_0(P/\pi rDzd)^{1/2}$

Solução: O campo magnético máximo é dado por $Bmax = \mu_0.n.i_{max}$, onde n é o número de espiras por unidade de comprimento. Como a bobina é enrolada com as espira juntas, no comprimento z teremos z/d espiras. Assim, o número de espiras por unidade de comprimento é n = (z/d)/z = 1/d.

Como a resistência por unidade de comprimento é r, teremos uma resistência total igual a R tal que
$R = Lr = (z/d).2\pi(D/2).r = \pi rDz/d$.

A potência dissipada máxima, deverá ser tal que $P = Ri_{max}^2 \Rightarrow i_{max} = (P/R)^{1/2} = [P/(\pi rDz/d)]^{1/2} =$
$= (Pd/\pi rDz)^{1/2}$.

Substituindo os valores de i_{max} e n na expressão de B_{max}, resulta: $B_{max} = \mu_0.(1/d).[Pd/(\pi rDz)]^{1/2} =$
$= \mu_0.[P/(\pi rDzd)]^{1/2}$. Resposta: letra (e)

---

18. Um pesquisador percebe que a freqüência de uma nota emitida pela buzina de um automóvel parece cair de 284 hz para 266 hz à medida que o automóvel passa por ele. Sabendo que a velocidade do som no ar é 330 m/s, qual das alternativas melhor representa a velocidade do automóvel?

a) 10,8 m/s b) 21,6 m/s c) 5,4 m/s d) 16,2 m/s e) 8,6 m/s

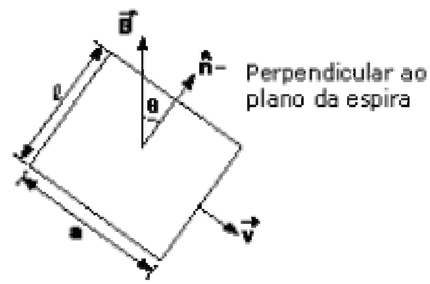
Solução: de acordo com o efeito Doppler, a freqüência percebida pelo observador quando o automóvel se aproxima é $f' = f_0.[v/(v - v_f)]$ e quando se afasta tem-se $f'' = f_0.[v/(v + v_f)]$.

Ao se aproximar temos f′ = 284 e ao se afastar f″ = 266.

Dividindo as duas expressões para f′ e f″, temos: 284/266 = (330 + vf)/(330 − vf) ➔
➔ 266.330 + 266vf = 284.330 − 284vf ➔ vf = (284 − 266).330/(284 + 266) = 18.330/550 = 10,8 m/s.
Resposta: letra (a).

---

19. A figura mostra uma espira condutora que se desloca com velocidade constante v numa região com campo magnético uniforme no espaço e constante no tempo. Este campo magnético forma um ângulo θ com o plano da espira. A força eletromotriz máxima produzida pela variação de fluxo magnético no tempo ocorre quando



a) $\theta = 0º$ b) $\theta = 30º$ c) $\theta = 45º$ d) $\theta = 60º$ e) n.d.a. Solução: a força eletromotriz induzida é determinada por

$\varphi\Delta/\Delta t = \Delta(B.A.\cos\theta)/\Delta t$. Como a espira está inteiramente imersa no campo magnético, todas as grandezas são constantes. Portanto não há fem induzida. Portanto, para nenhum ângulo haverá fem induzida. Resposta: letra (e)

---

20. Um trecho da música "Quanta", de Gilberto Gil, é reproduzido no destaque a seguir.

Fragmento infinitésimo,
Quase que apenas mental,
Quantum granulado no mel,
Quantum ondulado do sal,
Mel de urânio, sal de rádio
Qualquer coisa quase ideal.

As frases "Quantum granulado no mel" e "Quantum ondulado do sal" relacionam-se, na Física, com

a) Conservação de Energia.
b) Conservação da Quantidade de Movimento.
c) Dualidade Partícula-onda.
d) Princípio da Causalidade.
e) Conservação do Momento Angular.

Justificativa. Quantum, cujo plural é quanta, refere-se quantização da matéria explicada na dualidade partícula-onda. Resposta: letra (c).