

UNIVERSIDADE DO ALGARVE

EXERCÍCIOS DE BIOFÍSICA

Curso de Radiologia

Nota: Todas as soluções estão em unidades SI, à exceção dos problemas em que é pedido especificamente uma outra unidade.

1. Considere os esquemas da figura 1 onde se encontram representados os ossos da anca, bem como as forças que lhe estão aplicadas quando o indivíduo se mantém apoiado apenas num pé (situação que acontece quando o indivíduo anda vagarosamente).

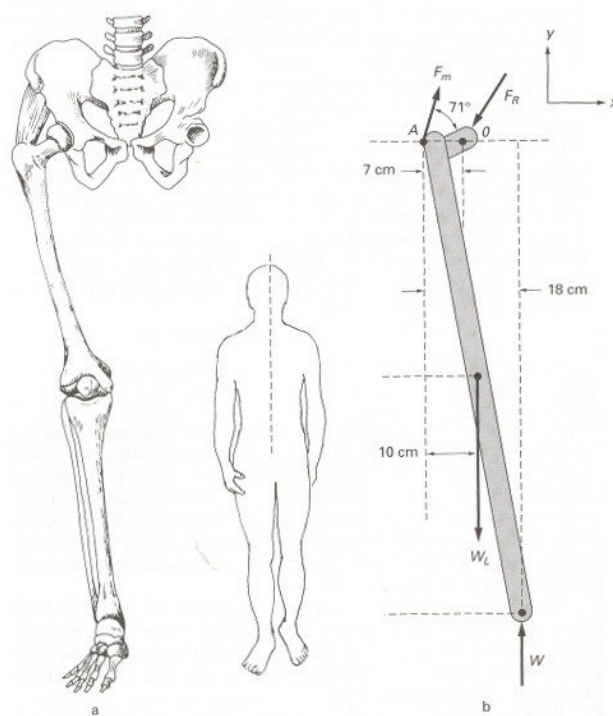


Figura 1

Admita que o peso total do corpo é W e que o peso da perna é cerca de $0.185W$. Use os valores apresentados na figura para calcular a força muscular, \vec{F}_m , e a força na articulação, \vec{F}_R em função do peso total do corpo.

$$(1.59W, 2.36W)$$

2. Responda às seguintes questões:
 - a) Explique porque razão, quando um indivíduo se encontra de pé, a sua estabilidade aumenta quando as pernas se encontram afastadas.
 - b) Calcule qual a força necessária para derrubar um indivíduo de massa 70 kg que se encontre de pé, com os pés afastados de 0.9 m (ver figura 2). Assuma que o indivíduo não escorrega.

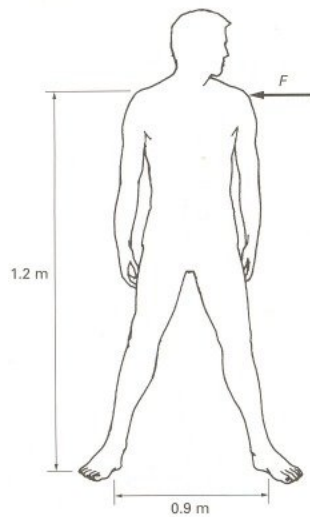


Figura 2

(257)

3. Sabendo que o diâmetro do bíceps é 8 cm e que o músculo pode produzir uma força de 70 N por cada centímetro quadrado de área, determine o peso máximo que o braço suporta na posição da figura 3. (exercício seleccionado)

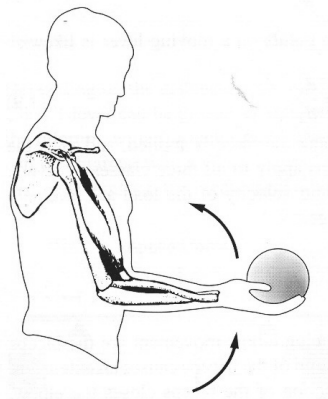


Figura 3

(333)

4. Considere a figura anterior. Imagine-se que a meio do antebraço (a 20 cm do fulcro) se pendura uma massa de 14 kg. Qual será a força exercida pelo bíceps? E qual a força na articulação. (exercício seleccionado)
- (718; 589)
5. Atendendo à figura 4, calcule a força na tíbia e no tendão de Aquiles em função do peso do indivíduo, na circunstância apresentada. Sugestão: considere o fulcro no ponto de contacto da tíbia. (exercício seleccionado)

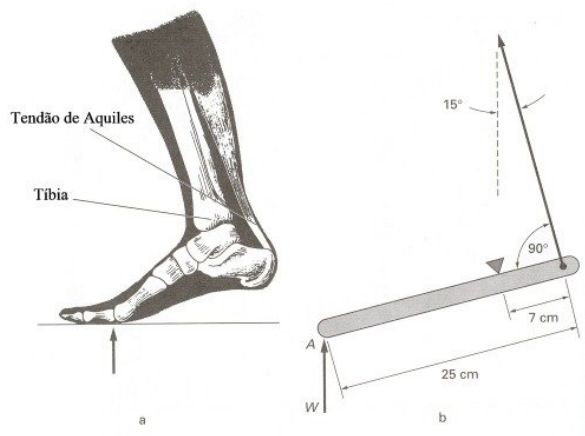


Figura 4

(2543; 1823)

6. Assuma que a pressão de ruptura de compressão dos ossos é $1.00 \times 10^8 \text{ N m}^{-2}$. (exercício seleccionado)

- Qual será a força máxima a que o osso do braço pode ficar sujeito, antes de partir? (Considere que o braço possui 1 m de comprimento e 4 cm^2 de área). Discuta as aproximações feitas para resolver este problema.
- Qual será a compressão máxima desse osso? (Considere o módulo de Young do osso dado por $1.02 \times 10^{10} \text{ N m}^{-2}$)
- Suponha que um atleta de 50 kg de massa se encontra a correr quando cai sobre um dos braços. Se o tempo de impacto for de 10^{-2} s , qual será a velocidade máxima a que o atleta poderá ir, para que não chegue a partir o braço?

(4×10^4 ; 9.8×10^{-3} ; 8)

7. Calcule a altura máxima a que um corpo de 1 kg pode cair sobre a cabeça de um indivíduo para que não cause fractura do crânio. Para resolver o exercício assuma que a área de contacto entre o objecto e a cabeça é de 1 cm^2 e que a duração do impacto é 10^{-3} s . (exercício seleccionado)

(5.1)

8. Analise a tabela 1. Como explica as evidentes diferenças de comportamento face a pressões de compressão manifestadas pelos tecidos moles e pelos ossos.

	Módulo de Young (10^{10} N m^{-2})
Compressão	
osso compacto	1.02
componente mineral	0.64
componente proteica	<0.001
tecidos moles	$10^{-5} - 10^{-4}$

Tabela 1 –Módulo de Young de alguns tecidos biológicos. (Adap. de P. Davidovits, 2001).

9. Os ossos partem mais facilmente quando sujeitos a pressões de compressão ou de distensão? Justifique através dos dados da figura 5.

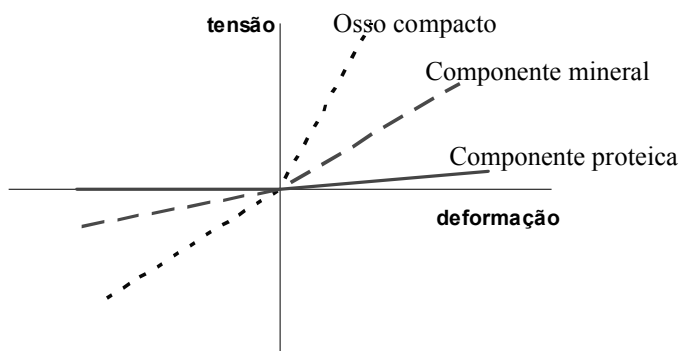


Figura 5

10. Um homem de 75 kg encontra-se a boiar em água, com praticamente todo o seu corpo submerso. Qual será o seu volume?
(75×10^{-3})
11. Existem organismos que vivem no oceano a uma pressão de 1000 atm. A que profundidade se encontrarão estes seres?
(10.1×10^3)
12. Imagine uma sala selada através de uma porta com 2 m de altura e 80 cm de largura. Considere que no interior dessa sala a pressão é 0.3 % superior à pressão atmosférica. (exercício seleccionado)
- Qual será a pressão no interior da sala?
 - Se a porta abrir para dentro. Que força é necessário exercer sobre a porta para a abrir?
 - O que aconteceria se as dimensões da porta fossem menores? Justifique a sua resposta.
 - Imagine que nessa sala se encontra um balão preso com uma corda (evitando, assim, que este desça). Considere que o balão tem um volume de 10 l e está cheio de hélio. Considere que a massa de borracha de que o balão é feito é 20 g. Qual será a tensão na corda que segura o balão?
(1.016×10^5 ; 486; 8.7×10^{-2})
13. Uma forma de calcular a densidade de um animal é medindo a sua massa aparente no ar e dentro de água. Suponha que na primeira medida obtenha o valor 150 kg e na segunda o valor de 25 kg. (exercício seleccionado)
- Qual é a densidade mássica do animal?
 - Que força é necessário exercer para o manter à superfície de água com apenas 10% do seu corpo imerso?
(1.2×10^3 ; 1.35×10^3)
14. Responda às seguintes questões:
- Num recipiente com água a 20 °C é colocado um tubo com 10^{-3} m de raio. A que altura é que a água subirá se o tubo for de vidro? E se o tubo for revestido a parafina?
 - Qual será a diferença de pressão entre o interior e o exterior de uma gota de água a 20 °C com 1 cm de diâmetro?
 - Dê uma explicação para que as gotas de água numa superfície ensaboadas tomem uma forma menos esférica.
(0.015; -4.3×10^{-3} ; 29)

15. Considere que a pressão atmosférica é medida através de uma coluna de mercúrio construída em vidro. (exercício seleccionado)
- Sem considerar os efeitos de capilaridade, calcule a altura dessa coluna.
 - Se pretender que os efeitos de capilaridade sejam menores do que 1% na medida da pressão atmosférica, qual será o raio mínimo que o tubo poderá ter?
 - Explique, ao nível molecular, a origem dos fenómenos de capilaridade. Em que medida esses efeitos estão relacionados com a tensão superficial do líquido? Porque é que os efeitos de capilaridade se revelam em alguns casos fazendo o líquido subir pelas paredes do recipiente e outras vezes descendo?
 - Qual pode ser a densidade máxima de uma agulha com 2 mm de diâmetro e 10 cm de comprimento para que bóie em mercúrio, devido à sua tensão superficial?
- (0.76; 0.74×10^{-3} ; 15.8×10^3)
16. Considere o sangue como um fluido não viscoso para responder às seguintes questões: (exercício seleccionado)
- Qual será a velocidade do sangue na aorta durante a sístole, admitindo que, nessa fase do ciclo cardíaco, o seu raio é 1 cm e que o caudal de sangue que sai do coração é 5 l min^{-1} .
 - Considerando a pressão sistólica aproximadamente $1.6 \times 10^4 \text{ Pa}$ e a pressão diastólica aproximadamente $1.1 \times 10^4 \text{ Pa}$, calcule a velocidade durante a diástole (Admita que o caudal se mantém constante).
 - Que mecanismo é que permitiria, mantendo o caudal de sangue, alterar a sua velocidade?
 - Quando o caudal de sangue na aorta é de 5 l min^{-1} a velocidade do sangue nos capilares é cerca de 0.33 mm s^{-1} . Se o diâmetro médio dos capilares for 0.008 mm, calcule o número de capilares no sistema circulatório.
- (0.265; 3.08; 5.022×10^9)

Interfaces	Ângulo de contacto
Água -vidro (limpo)	0°
Álcool etílico-vidro (limpo)	0°
Mercúrio-vidro	140°
Água-prata	90°
Água-parafina	107°

Tabela 2 -Ângulo de contacto de diversas interfaces líquido-sólido. (Adap. de P. Davidovits, 2001).

Líquidos	Temperaturas (°C)	Tensão Superficial (N m^{-1})
Acetona	20	0.0237
Álcool metílico	20	0.0226
Benzeno	20	0.0288
Clorofórmio	20	0.0271
Glicerol	20	0.0634
Mercúrio	15	0.487
Solução com sabão	20	0.025
Água	0	0.0756
Água	20	0.0728
Água	30	0.0712
Água	100	0.0589

Tabela 3 -Tensão superficial de diversos líquidos. (Adap. de J.B. Marion e W.F. Hornyak, 1985).

17. Considere duas artérias: uma ao nível do braço e outra ao nível da perna. Admita que a artéria que se encontra no braço possui um raio de 0.20 cm e a que se encontra ao nível da perna tem 0.17 cm de raio. Admita ainda que o caudal em ambas é o mesmo e tem o valor de $2.5 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. (exercício seleccionado)
- Indique qual a diferença de pressões existente entre as duas artérias. (Sugestão: comece por dar valores razoáveis às variáveis que desconhece e faça as aproximações que achar convenientes).
 - Admita que, na artéria da perna se depositam gorduras que diminuem o seu raio. Para que valores desse raio o fluxo se torna turbulento? (Suponha, uma vez mais, que o caudal se mantém.)
 - Qual a velocidade máxima do sangue na artéria da perna quando este é considerado viscoso? Onde ocorre essa velocidade máxima?
 - Volte a considerar os dados da alínea anterior e considerando que a artéria em causa mede 5 cm de comprimento, qual será a diferença de pressões entre os seus extremos?
(por exemplo: 6.25×10^3 ; 1.4×10^{-4} ; 0.55; 152.2)

18. Responda às seguintes questões:

- Mostre que se o raio de uma arteríola se reduzir de 0.1 mm para 0.08 mm o caudal de sangue que a atravessa se reduz de um factor superior a 2, desde que a velocidade do sangue se mantenha constante.
- Suponha que o decréscimo pretendido é de 90%. Para quanto é que o raio deveria diminuir?

(1.56; 0.032)

19. Suponha que uma esfera se movimenta no interior de um líquido. Admita que para uma dada velocidade o número de Reynolds é muito superior a 1. Obtenha a expressão da velocidade limite. Dê valores razoáveis às variáveis e calcule-a (o coeficiente C_D poderá ser unitário). (exercício seleccionado)

20. No intervalo de 0 a 660 °C usa-se, para interpolar temperaturas na Escala Internacional Prática, um termómetro de resistência de platina, de características especificadas. A temperatura T é calculada através de uma equação que exprime a variação da resistência em função da temperatura,

$$R = R_0(1 + AT + BT^2)$$

em que R_0 , A e B são constantes determinadas no ponto de congelação e no ponto de ebulição da água e no ponto de fusão do enxofre ($T_f(S)=115^\circ\text{C}$). Se $R=10000 \Omega$ (ohms), no ponto de congelação da água, $R=13946 \Omega$ no ponto de ebulição da água e $R=24817 \Omega$ no ponto de fusão do enxofre, determine R_0 , A e B .

(1.0000×10^4 ; -5.5445×10^{-2} ; 5.9590×10^{-4})

21. Resolva as seguintes questões (exercício seleccionado):

- Nas máquinas de café (expresso) utiliza-se vapor de água para aquecer um líquido. Qual é a massa de vapor de água à temperatura de 130 °C necessária para aquecer uma chávena com 100 g de água, desde $T_i=20^\circ\text{C}$ até $T_f=50^\circ\text{C}$.

(5×10^{-3})

- b) Qual é a temperatura final de equilíbrio quando 10 g de leite a 10 °C são adicionados a 160 g de café a 90 °C? Assuma que $c_{\text{leite}}=c_{\text{café}}=c_{\text{água}}$.
(358.45)

22. Resolva as seguintes questões (exercício seleccionado):

- a) Por vezes, utiliza-se um aparelho eléctrico constituído por uma resistência eléctrica em forma de serpentina para aquecer água. Se o aparelho tiver uma potência de 100W, quanto tempo é necessário esperar para que 250 g de água à temperatura de 20°C aqueça até atingir os 100°C? E quanto tempo seria necessário, em seguida, para que ela evaporasse completamente? (1 W=1 J/s).
(837.2; 5650)

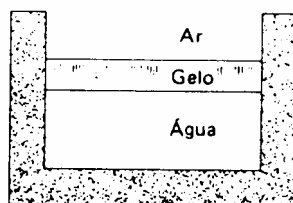
- b) Um atleta dissipa toda a energia da sua dieta, que é de 4000 kcal/dia. Compare este calor, supondo que ele é dissipado a uma taxa constante, com a produção de energia de uma lâmpada de 100 W.

23. A temperatura do ar nas regiões costeiras é influenciada pelo elevado valor do calor específico da água (4,19 kJ/kg °C). Ou seja, quando uma determinada quantidade de água arrefece, é libertada uma grande quantidade de calor. Calcule o volume de ar que aumenta a sua temperatura de 1 °C devido ao arrefecimento de 1 °C de 1 m³ de água. ($C_{\text{ar}} = 1 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$ e $\rho_{\text{ar}}=1,3 \text{ kg/m}^3$).
(3220)

24. Resolva as seguintes questões (exercício seleccionado):

- a) Suponha que a condutividade térmica do cobre é duas vezes a do alumínio e quatro vezes a do latão. Três barras metálicas cilíndricas, feitas de cobre, alumínio e latão têm 15,0 cm de comprimento e 2,5 cm de diâmetro cada uma. As barras são colocadas em fila, de modo a que a de alumínio fique entre as outras duas. Os extremos livres das barras de cobre e latão são mantidos a 100 °C e a 0 °C, respectivamente. Determine as temperaturas de equilíbrio nas superfícies de separação das barras de cobre e de alumínio e nas de alumínio e de latão.
(360.25; 334.55)

- b) Numa região de inverno rigoroso, é deixado um tanque ao ar livre até que se forme sobre a superfície da água uma camada de gelo com espessura igual a 5,0 cm, conforme a figura abaixo. O ar acima do gelo está a -10 °C. Calcule a taxa de formação de gelo, em cm/h, sob a superfície inferior do gelo. Considere a condutividade térmica, a densidade e o calor de fusão do gelo como sendo iguais a 0,004 cal/s cm °C, 0,92 g/cm³ e 80 cal/g, respectivamente. Considere que nenhuma quantidade de calor atravessa a água através das paredes do tanque.



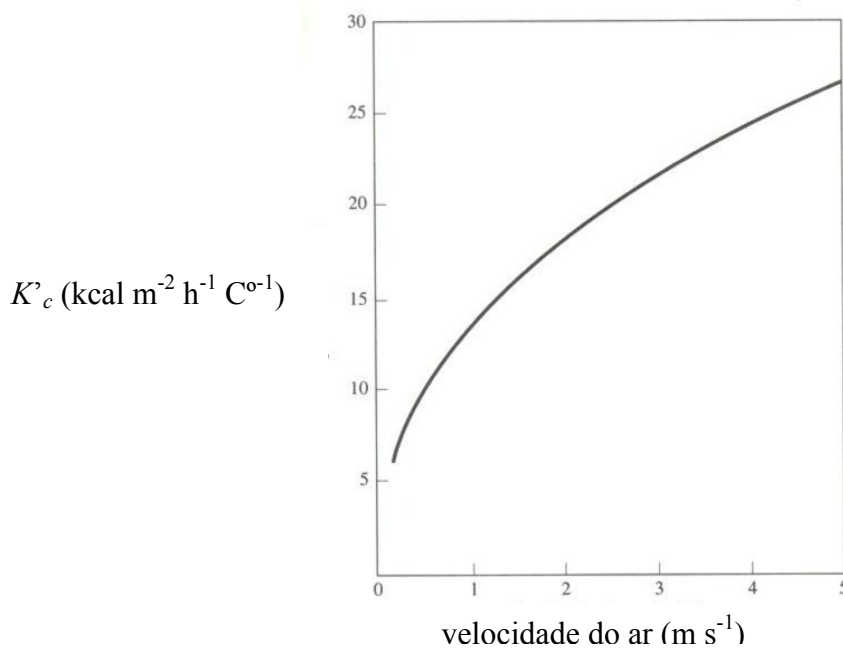
(0.39)

25. Resolva as seguintes questões (exercício seleccionado): (Nota: atente no facto de um indivíduo de estatura média com uma actividade física moderada consumir diariamente cerca de 260 kcal h^{-1} , das quais 208 kcal são convertidas em calor).

a) Considere os seguintes dados: Se não existisse circulação sanguínea, os tecidos humanos, nomeadamente a pele, apresentariam uma condutividade térmica de aproximadamente $18 \text{ kcal cm m}^{-2} \text{ h}^{-1} \text{ C}^{-1}$. A espessura de tecido entre o interior e o exterior do corpo é cerca de 3 cm . Em média, a área através da qual é possível ocorrer condução de calor entre o interior e o exterior do corpo é cerca de 1.5 m^2 . A diferença de temperaturas entre o interior do corpo e a pele é considerada ser de $2 \text{ }^\circ\text{C}$. Qual seria, nessas condições a taxa de calor entre o interior e parte exterior do corpo em kcal h^{-1} ? Que conclusões poderá tirar?

(18)

b) Considere o gráfico seguinte. Admita que a velocidade do ar é cerca de 0.1 m s^{-1} . Qual será a taxa de perda de calor de um indivíduo que se encontre nu. Assuma que a área de exposição ao ar é 1.7 m^2 . Admita ainda que o ar se encontra a uma temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ e que a pele está $2 \text{ }^\circ\text{C}$ abaixo da temperatura que se considera ser a normal para o corpo humano, nas mesmas unidades da alínea anterior. Que comentários lhe apraz fazer?



(102)

c) Use os dados da alínea anterior e admita que o coeficiente de emissividade do corpo humano é aproximadamente 1. Qual será a taxa de perda de calor por radiação, nas mesmas unidades?

(92.4)

26. Resolva as seguintes questões (exercício seleccionado):

a) A partir da Lei de Fick para um fluxo de partículas por unidade de área e de tempo, deduza a mesma lei para um fluxo de massa.
 b) Quanto tempo uma molécula de hemoglobina demora a percorrer 1 cm ? (Considere o coeficiente de difusão da hemoglobina igual a $6.9 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ e o seu livre percurso médio igual a 10^{-2} m).

(7.246×10^5)

c) A velocidade média quadrática de um gás cumpre a expressão:

$$v = \sqrt{\frac{3k_B T}{m}}, \text{ onde } k_B \text{ é a constante de Boltzmann } (1.38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}), T \text{ é}$$

a temperatura absoluta do gás e m a sua massa molecular (recorde-se que uma unidade de massa atômica corresponde a $1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$). Qual será a distância média percorrida, por uma molécula de oxigénio à temperatura de 20°C numa hora (recorde-se que, nos gases, o livre percurso médio é de cerca de 10^{-5} cm)

(0.05)

27. No início da Primavera a seiva das árvores atinge as suas extremidades devido à pressão osmótica que se estabelece entre a solução açucarada (seiva) e a água que se concentra no solo junto das raízes. A massa da seiva é constituída aproximadamente por 1% de sacarose ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) numa solução de água. Resolva as seguintes questões admitindo que a temperatura é de 27°C . (exercício seleccionado)

a) Qual a concentração de sacarose em mol m^{-3} ?

(39)

b) Qual a pressão osmótica?

(9.73×10^4)

c) Qual a altura a que a seiva poderá subir?

(9.93)

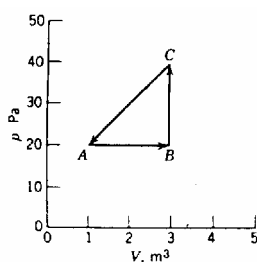
28. Explique por palavras suas o fenómeno da pressão osmótica. Esclareça qual a justificação para este fenómeno ao nível do comportamento das partículas constituintes do fluido.

29. Um sistema termodinâmico é levado do estado inicial A até ao estado B e trazido de volta a A através do estado C, conforme o diagrama p-V da figura (a) abaixo.

a) Complete a tabela da figura (b), atribuindo os sinais + ou - às grandezas termodinâmicas associadas a cada processo.

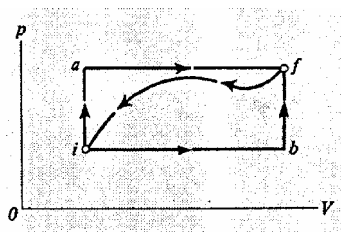
b) Calcule o trabalho realizado pelo sistema para o ciclo completo A-B-C-A.

(20)



	Q	W	ΔU
A \rightarrow B			+
B \rightarrow C	+		
C \rightarrow A			

30. Resolva os seguintes exercícios com base na figura seguinte (exercício seleccionado):



- a) Suponha que a variação de energia interna do sistema seja igual a 230 J para o percurso iaf . Calcule a variação de energia interna para os percursos (i) if ; (ii) ibf e (iii) fi .
- b) Quando um sistema é levado do estado i para o estado f , ao longo do caminho iaf , $Q=50$ cal e $W=20$ cal. Ao longo do caminho ibf , verifica-se que $Q=36$ cal. Resolva:
- (i) Qual é o valor de W para o percurso ibf ? (125.6)
- (ii) Se $W=-13$ cal para o caminho fi , qual é o valor de Q ? (-71.2)
- (iii) Se $U_i=10$ cal, quanto vale U_f ? (113.0)
- (iv) Se $U_b=22$ cal, quanto vale Q , para o processo ib ? E para o processo bf ? (75.3, 20.9)
31. Uma mol de oxigénio é aquecida a pressão constante, a partir de 0 °C. Qual é a quantidade de calor que deve ser adicionada ao gás para que o seu volume aumente para o dobro. (7948)
32. Dez gramas de oxigénio são aquecidos desde 27 °C até 127 °C à pressão atmosférica, considerada constante.
- a) Qual é a quantidade de calor transmitida para o oxigénio? (1.82 x 10³J)
- b) Que fracção desse calor é usada para aumentar a energia interna do oxigénio? O que acontecerá ao restante? (71.4)
33. 5 kg de água a 0 °C são postos em contacto com um grande reservatório de calor a 100 °C (exercício seleccionado)
- a) Quando a água atingir 100 °C, qual terá sido a variação de entropia da água? Do reservatório de calor? Do Universo? (Recorde que a expressão geral da variação de entropia de um sistema que sofre um processo reversível é dada por: $\Delta S = \int \frac{dQ}{T}$) (6529; -5609; 920)
- b) Se a água tiver sido aquecida de 0 °C a 100 °C pondo-a primeiramente em contacto com um reservatório a 10 °C e em seguida com outro a 100 °C, qual terá sido a variação de entropia do Universo? (741)
- c) Explique como a água poderia ser aquecida de 0 °C a 100 °C sem variação de entropia do Universo.
34. Considere o movimento oscilatório representado na fig. 6.
- a) Determine a amplitude, a frequência e o período.
- b) Escreva a equação do movimento na forma $y = y_0 \sin(2\pi\nu t + \theta_0)$ e apresente os valores de y_0 , ν e θ_0 .

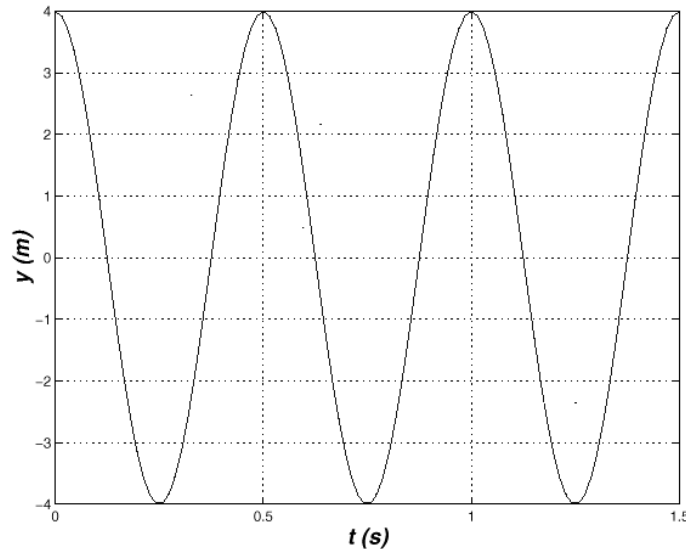


Figura 6

(4; 0.5; 2; 4; 2; $\pi/2$)

35. Para uma onda cuja equação é $y = 5\text{sen}\left[30\pi\left(t - \frac{x}{240}\right)\right]$, em que x e y são dados em centímetros e t em segundos, determine:

- o deslocamento quando $t = 0$ s e $x = 2$ cm.
- o comprimento de onda;
- a velocidade de propagação da onda;
- a frequência.

(-0.035; 0.016; 2.4; 15)

36. Considere uma onda transversal propagando-se à velocidade $v = 2$ m/s. A amplitude da onda é $A = 0.4$ m, a frequência angular $\omega = 0.2$ rad/s e a fase inicial $\phi = 0$ rad. (exercício seleccionado)

- Calcule o período e o comprimento de onda.
- Escreva a equação de propagação da onda.
- Considere 4 pontos cujas posições de equilíbrio distam entre si de $1/6$ do comprimento de onda e marque as suas posições no instante $t = 1$ s.
- Marque as posições que um desses pontos ocupa em instantes intervalados de $1/6$ de período.

(31.4; 62.8)

37. Resolva as seguintes questões:

- Sabendo que dois meios têm uma impedância acústica uma ordem de grandeza de diferença. Calcule que percentagem de um feixe de ultra-sons que incida na fronteira desses dois meios é que é reflectida e qual a que é transmitida.
- Um feixe de ultra-sons atravessa uma fronteira entre meios. Em que circunstância é que metade do feixe é reflectido?
- Considerando o caso da alínea anterior indique em dB a intensidade da onda reflectida relativamente à onda incidente.

(67%; 33%; -3.0)

38. Suponha que se utiliza um feixe de ultra-sons com uma frequência de 2 MHz para estudar o fluxo sanguíneo no interior de uma artéria. Sabendo que a velocidade dos ultra-sons nos tecidos biológicos pode ser aproximada a 1540 m s⁻¹ e que o sangue na artéria em estudo é 0.3 m s⁻¹. Qual será o desvio máximo da frequência do feixe devido ao efeito de Doppler? Em que situações ele ocorrerá? (exercício seleccionado)

(779)

39. Um raio de luz caracterizado por um comprimento de onda de 500 nm propaga-se no ar e incide num material transparente fazendo um ângulo de 40° com a normal à superfície do material. Após sofrer refração, o ângulo que faz com a normal é 30° (exercício seleccionado)

- Qual é o índice de refração do material (o índice de refração do ar é considerado 1.00).
- Qual é a velocidade da luz no interior desse material?
- Nas condições do problema, qual é o ângulo crítico e em que circunstâncias ocorre?

(1.28; 2.3421×10^8 ; 51.4°)

40. Considere uma lente convergente com uma distância focal de 10.0 cm. Se colocar um objecto a uma distância d da lente qual será a distância a que a imagem se forma e quais as suas características, quando: (exercício seleccionado)

- $d = 30.0$ cm;
- $d = 10.0$ cm;
- $d = 5.00$ cm.

(0.15; ∞ ; -0.10)

$$g = 9.8 \text{ m s}^{-2}$$

$$P_{\text{atm}} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa} = 1 \text{ atm}$$

$$\rho_{\text{ág.}} = 1.000 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$$

$$\rho_{\text{ág.mar}} = 1.026 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$$

$$\rho_{\text{sangue}} = 1.0595 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$$

$$\rho_{\text{ar.}} = 1.29 \text{ kg m}^{-3}$$

$$\rho_{\text{hé.}} = 0.178 \text{ kg m}^{-3}$$

$$\rho_{\text{hg.}} = 13.6 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$$

$$\eta_{\text{sangue}} = 4 \times 10^{-3} \text{ Pa s}$$

$$C_{\text{gelo}} = 2090 \text{ J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\lambda_{f,\text{gelo}} = 333 \text{ kJ kg}^{-1}$$

$$C_{\text{água}} = 4186 \text{ J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\lambda_{e,\text{água}} = 2260 \text{ kJ kg}^{-1}$$

$$C_{\text{vapor de água}} = 2010 \text{ J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$v_{\text{luz}} = 2.9979 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

$$R = 8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$