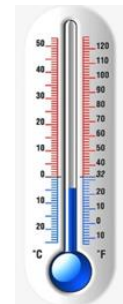


Folha 5 – Térmica. Transferência de calor.

- 1) Em 1994, a temperatura numa aldeia da Sibéria atingiu os 71°C negativos enquanto que na Califórnia os termómetros registavam 134°F ?
- Qual seria a temperatura observada na Sibéria se usássemos um termómetro com a escala em Fahrenheit?
 - Qual a temperatura na escala Celsius na Califórnia?
 - Como registaríamos ambas temperaturas no sistema internacional (SI).



R: -96°F ; $56,7^{\circ}\text{C}$;

- 2) O comprimento dum cilindro metálico aumenta $0,23\%$, quando a temperatura deste aumenta de $0,0^{\circ}\text{C}$ para 100°C , considere que o material é isotrópico.

Substância	α ($10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$)	Substância	α ($10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$)
Gelo (0°C)	51	Aço	11
Chumbo	29	Vidro	9
Alumínio	23	Pyrex	3,2
Latão	19	Diamante	1,3
Cobre	17	Quartzo	0,5

- Qual a variação em termos percentuais da sua massa específica.
- Consultado a tabela seguinte, identifique o metal usado.

R: $-0,69\%$; alumínio

- 3) O comprimento da ponte sobre o Tejo é de cerca de 2 km. Se amplitude térmica anual média for de 40°C (por exemplo, com um valor mínimo de -1°C e um valor máximo de 39°C), qual a variação de comprimento sofrida pelas vigas de aço que sustentam as faixas de rodagem? (coeficiente de dilatação linear do aço: $\alpha = 1,27 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$)

R: 1 m.

- 4) Determine a alteração de volume de um bloco de ferro fundido com $5,0\text{cm} \times 10\text{cm} \times 6,0\text{cm}$, quando a temperatura se altera de 15°C para 47°C . O coeficiente de dilatação linear do ferro fundido é $1,0 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

R: $2,9 \times 10^{-7} \text{ m}^3$

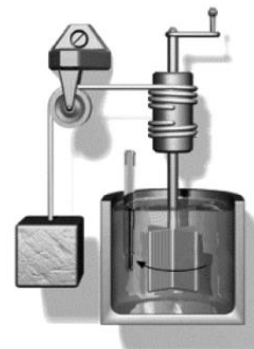
- 5) Uma barra metálica, de $0,05 \text{ kg}$, foi aquecida a 200°C colocada a seguir num recipiente contendo $0,4 \text{ kg}$ de água, inicialmente a 20°C . Se a temperatura final do sistema for $22,4^{\circ}\text{C}$, calcular o calor específico da barra metálica. ($c_{\text{água}} = 4186 \text{ J/(kg } ^{\circ}\text{C)}$)

R: $452,54 \text{ J/(kg } ^{\circ}\text{C)}$

- 6) Que quantidade de calor é necessária para fundir um bloco de gelo de 10 kg que se encontra inicialmente a -10°C ? Nota: $c_{\text{gelo}} = 0,500 \text{ kcal kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$, $L_{\text{fusão do Gelo}} = 79,7 \text{ cal g}^{-1}$.

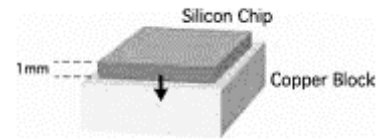
R: 847 kcal.

- 7) No século XIX Joule demonstrou a equivalência entre calor e trabalho: o mesmo efeito (aumento de energia interna) poderia ser conseguido quer fornecendo calor quer fornecendo trabalho. Suponhamos que num laboratório um grupo de alunos pretendeu repetir a experiência de Joule. Para isso deixaram cair uma massa M de $6,0 \text{ kg}$ de uma altura de $2,0 \text{ m}$. Para conseguirem um aumento apreciável da temperatura elevaram e deixaram cair a massa M , 25 vezes sucessivamente. Sabendo que desta forma conseguiram que a massa de 500 g de água aumentasse $1,4^{\circ}\text{C}$, qual o valor que obtiveram para o equivalente mecânico de calor?



R: $1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$.

- 8) Um chip no interior de um computador gera energia quando está em funcionamento (a uma taxa entre 25W e 100W quando processa tarefas complexas). Esta energia deve ser retirada desse elemento para não prejudicar o seu normal funcionamento. Considere que um chip com a espessura de 1,0 mm e uma área 10mm×10mm, cuja condutividade térmica é igual a $150 \text{ W m}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, encontra-se ligado a um bloco de cobre. Se a diferença de temperatura entre estes dois componentes for de $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ qual a taxa de transferência de calor entre eles?



R: 75 W

- 9) Que quantidade de calor perderá, uma pessoa nua, por unidade de tempo, por convecção, sabendo que a temperatura da sua pele é de $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e o ar que o rodeia é de $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$? Suponha que o coeficiente de transferência de calor por convecção de uma pessoa é igual a $1,7 \times 10^{-3} \text{ kcal s}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ K}^{-1}$, e que a área da sua superfície corporal é $1,5 \text{ m}^2$.

R: $7,65 \times 10^{-2} \text{ kcal s}^{-1}$.

- 10) As paredes de um frigorífico são revestidas por um meio cuja condutividade térmica é igual a $10^{-4} \text{ cal s}^{-1} \text{ cm}^{-1} \text{ K}^{-1}$. A área da superfície é de $2,0 \text{ m}^2$ e a sua espessura igual a 5,0 cm. A temperatura exterior é de $20,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e a do interior $5,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Que quantidade de gelo é necessário produzir por hora para se manter a temperatura no interior do frigorífico constante?

Nota: $c_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ cal g}^{-1} \text{ K}^{-1}$, $L_{\text{gelo}} = 79,7 \text{ cal g}^{-1}$.

R: 255,02 g

- 11) Uma parede é composta por duas placas em série constituídas por materiais de diferentes espessuras. A primeira com uma espessura de 2,0 cm possui a condutividade térmica de $0,12 \text{ cal s}^{-1} \text{ cm}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ e a segunda de espessura igual a 7 cm possui a condutividade térmica de $0,49 \text{ cal s}^{-1} \text{ cm}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Se as temperaturas exteriores às placas forem de $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ respetivamente, qual a temperatura na zona de separação das placas?

R: $56,92 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

- 12) O ritmo metabólico de um aluno numa sala de aula é de 100 kcal h^{-1} . Que temperatura alcança a sala supondo que existem 50 alunos no seu interior? Suponha que:

- a sala permite o fluxo de calor apenas por uma parede de vidro com a área de $10,0 \text{ m}^2$ e espessura de 1,0cm;
- a condutividade térmica do vidro é igual a $0,2 \text{ cal K}^{-1} \text{ m}^{-1}$;
- a temperatura exterior à sala é de $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- 50% da energia metabólica é convertida em calor.

R: $18,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$

- 13) Considere um vidro simples e um vidro duplo ambos têm a área de $1,0 \text{ m}^2$, e espessura de 0,5 cm. A caixa de ar que separa o vidro duplo tem um comprimento de 0,15 cm. A condutividade do vidro e do ar é $0,80 \text{ W m}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ e $0,025 \text{ W m}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, respetivamente.

a) De quanto aumenta a resistência térmica se substituir o vidro simples pelo vidro duplo?

b) Sabendo que as espessuras das camadas de ar aderentes à face de cada um dos vidros são de 3,0 mm (interior) e 1,5 mm (exterior), determine a resistência eficaz de cada uma das barreiras (a resistência eficaz é a soma da resistência térmica do vidro com a resistência térmica devido às camadas de ar que se encontram em cada lado do vidro).

R: 12; $0,19 \text{ }^{\circ}\text{C W}^{-1}$ e $0,25 \text{ }^{\circ}\text{C W}^{-1}$.

- 14) O Sol radia energia a uma taxa de $3,9 \times 10^{26}$ W e o seu raio é $7,0 \times 10^8$ m. Assumindo que a emissividade do Sol é igual a 1, qual a temperatura da superfície?

R: $5,8 \times 10^3$ K.

- 15) A Terra absorve a energia emitida pelo Sol, cuja superfície está a uma temperatura de cerca de 6000 K, e emite radiação cujo espectro é determinado pela temperatura à superfície, supondo que esta se comporta como um corpo negro (a emissividade é 1). Em regime estacionário, há um balanço entre a energia absorvida e a energia emitida, caso contrário a temperatura da Terra estaria a aumentar ou a diminuir. Qual a temperatura média da superfície da Terra? Suponha que a emissividade da superfície da Terra também é igual a 1.

Nota: $\text{raio}_{\text{Sol}} = 6,96 \times 10^8$ m; $\text{distância}_{\text{Sol-Terra}} = 1,49 \times 10^{11}$ m.

R: 290 K.

- 16) Um campista decidiu não montar a sua tenda e deitou-se ao relento apenas com calções. A área da pele da parte frontal do corpo é igual a $0,9 \text{ m}^2$ e a sua emissividade é 0,9. A temperatura exterior é de 22°C .

- Se a superfície da pele do campista estava à temperatura de 35°C , calcule o comprimento de onda a que corresponde a intensidade máxima de radiação emitida pelo campista.
- Determine a energia perdida pelo campista por unidade de tempo devido às trocas de calor por radiação entre este e o céu. Suponha que o efeito do céu se traduz por uma fonte à temperatura de -5°C que atua na superfície da pele do campista.
- O metabolismo de uma pessoa em repouso fornece ao corpo uma potência de 50 W. Calcule a temperatura de equilíbrio da pele do campista se desprezar as trocas de calor com o ar e o solo.

R: 9400 nm; 177 W; 8°C .

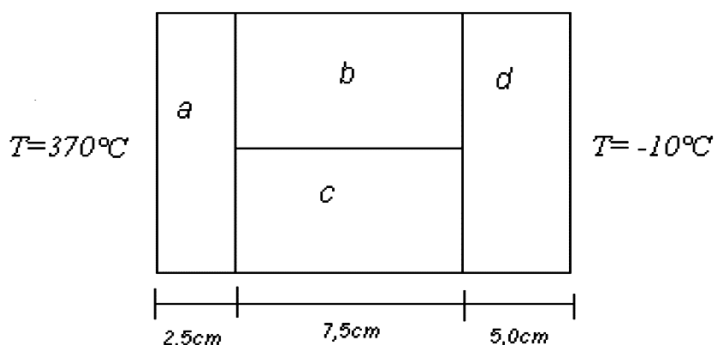
- 17) Na figura, apresenta-se um conjunto que forma uma parede composta plana. As dimensões da parede composta são: $1,5\text{m} \times 1,5\text{m} \times 15,0\text{cm}$. Os materiais *b* e *c* têm exatamente as mesmas dimensões. As superfícies exteriores de *a* e *d* estão às temperaturas indicadas.

$$k_a = 175 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}; \quad k_b = 40 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$k_c = 50 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}; \quad k_d = 80 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

- Qual a resistência térmica da parede composta?
- Calcule o fluxo de calor em regime permanente através da parede composta.
- Determine a temperatura nas interfaces, entre *a-c* e *b-d*.

R: $1,1 \times 10^{-3}$ K/W; $345,45 \times 10^3$ W; $T_{a-c} = 348,06^\circ\text{C}$, $T_{b-d} = 86,03^\circ\text{C}$



- 18) Numa habitação de montanha, as paredes de contacto com o exterior são constituídas por pedra natural com 15 cm de espessura, espuma de poliuretano com 5 cm de espessura e madeira com 2 cm de espessura (a pedra natural encontra-se do lado exterior, a espuma no meio e a madeira está no interior). Considerando que está um dia quente na montanha, com 35°C no ar exterior e 20°C no interior da habitação.

$$k_{\text{pedra natural}} = 3,5 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}; \quad k_{\text{espuma poliuretano}} = 0,025 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}; \quad k_{\text{madeira leve}} = 0,14 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

- Qual a resistência térmica da parede composta?
- Calcule o fluxo de calor em regime permanente, por metro quadrado de superfície, através da parede.
- Determine a temperatura nas interfaces, entre a pedra natural e a espuma e entre a espuma e a madeira.

R: $R_{eq} = 2,18 \text{ K/W}$; $q = 6,88 \text{ W}$; $T_{p-e} = 34,7^\circ\text{C}$, $T_{e-m} = 20,98^\circ\text{C}$

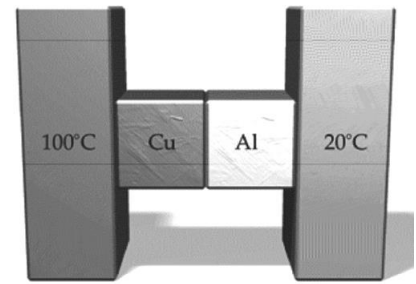
- 19) Dois cubos metálicos, com 3,0 cm de aresta, um é de cobre (Cu) e o outro é de alumínio (Al).

Os cubos são posicionados conforme indica a figura.

$$k_{\text{Cu}} = 401 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}; \quad k_{\text{Al}} = 237 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

- Qual a resistência térmica (do sistema formado pelos dois cubos) que estes oferecem?
- Qual o fluxo de calor que atravessa o sistema em regime permanente?
- Qual a temperatura na zona de interface dos cubos?

R: $223,8 \times 10^{-3} \text{ K/W}$; 357,5 W; 70,3 °C



- 20) Considere uma parede constituída por três materiais. As temperaturas exteriores à parede são de 100 °C e 20 °C. O material com a superfície exterior a 100 °C tem uma espessura de 3 cm e uma condutividade térmica de $50 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$. O material intermédio tem uma espessura de 5 cm e uma condutividade de $30 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, e o material com a superfície exterior a 20 °C tem uma espessura de 7 cm e uma condutividade térmica de $15 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$. Determine:

- A resistência térmica de cada um dos materiais usados na parede.
- O fluxo de calor que atravessa a parede em regime permanente.
- Qual dos materiais provoca o maior gradiente de temperatura. Justifique.

R: $R_1 = 6 \times 10^{-4} \text{ K/W}$, $R_2 = 16,67 \times 10^{-4} \text{ K/W}$, $R_3 = 46,67 \times 10^{-4} \text{ K/W}$; $11,53 \times 10^3 \text{ W}$; 3º material

- 21) Uma caixa, cujas arestas são todas iguais, tem uma área superficial total de $0,75 \text{ m}^2$, é usada para manter bebidas frias. As superfícies exteriores da caixa são de madeira com uma espessura de 1 cm, e internamente revestidas com espuma de poliuretano com uma espessura de 2 cm. A caixa está cheia com gelo, água e latas de refrigerante, mantidas a 0 °C.

O calor de fusão do gelo é de $3,34 \times 10^5 \text{ J/kg}$. A condutividade térmica da madeira é de $0,12 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$. A condutividade térmica da espuma de poliuretano é de $0,10 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$.

- Qual o fluxo de calor através de uma face, sabendo que a temperatura exterior mantém-se a 30 °C?
- Qual a temperatura na zona de interface madeira/espuma?
- Admitindo que só coloca 2,5 kg de gelo na caixa, durante quanto tempo (em horas), o gelo mantém aquela diferença de temperatura?

R: 13,21 K/W; 21,15 °C; ≈ 3 horas

- 22) Um estudante após uma pequena corrida matinal, retira a sua roupa num quarto que se encontra a 22 °C. Considerando que a temperatura da pele do estudante está a 37 °C, e admitindo que a emissividade da pele seja 0,90, e assumindo que o corpo do estudante tem uma área superficial de $1,85 \text{ m}^2$.

- Que quantidade de calor perderá o estudante num quarto de hora, nas condições referidas.
- Admitindo que o estudante, para relaxar, deita-se em cima de uma tábua de madeira de baixa densidade, pousada diretamente no chão, e com uma espessura de 2,5 cm e uma condutividade térmica de $0,13 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$, sendo a área de contacto de $0,80 \text{ m}^2$, qual a resistência térmica que esta tábua de madeira oferece à transferência de calor?
- Admitindo que 45% do calor produzido pelo corpo do estudante, nas condições referidas anteriormente, for transferido à tábua de madeira exclusivamente por contacto, qual a temperatura na interface tábua/chão?

R: $141,40 \times 10^3 \text{ J}$; 0,240 K/W; 20,0 °C