

TERMODINÂMICA e ESTRUTURA da MATÉRIA

II Série de Problemas

Prof. Orfeu Bertolami

Instituto Superior Técnico, Departamento de Física

Assunto:

Entropia e Máquinas Térmicas.

Constantes e Unidades:

Constante universal dos gases: $R = 8.31 JK^{-1} mol^{-1}$

Número de Avogadro: $N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ moléculas mol}^{-1}$

Unidade de massa atómica: u.m.a = $1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$.

Caloria: $1 \text{ cal} = 4.19 J$

1) Calcule o acréscimo de entropia do gelo ocasionado pela fusão de um cubo de gelo de 1 cm de aresta à temperatura ambiente num dia de calor ($30 \text{ }^\circ C$)? Há alguma diferença se for num dia frio? E se o cubo for fundido fornecendo-lhe apenas trabalho (por exemplo esfregando-o sobre a mesa)? Justifique.

Calor de fusão do gelo = 80 cal/g

2) Calcule o acréscimo de entropia ocasionado pela vaporização de 1 cm^3 de água à temperatura de $100 \text{ }^\circ C$.

Calor de vaporização da água = 540 cal/g

R: 1.447 cal/K

3) A seguir a nevar faz menos frio (porquê?). Usando os dados de problemas anteriores calcule a quantidade de calor libertada a congelar 1 kg de água a $0 \text{ }^\circ C$. E ao condensar 1 kg de vapor de água a $100 \text{ }^\circ C$. Em cada um dos casos, a entropia da água aumenta ou diminui? E a do ambiente?

R: 333 kJ; 2255 kJ; a entropia da água diminui, e a do ambiente aumenta.

4) Um meteoro à temperatura de 3000 K enterra-se num *iceberg* que andava a flutuar no mar à temperatura de 0 °C. O meteoro tem uma massa de 10 kg e embate com uma velocidade de 10 km/s. Sabendo que $c_{p,meteoro} = 800 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$, calcule:

4.a) A quantidade de gelo que derrete.

4.b) A variação de entropia do *iceberg*.

R: a) 1558 kg b) $\Delta S_{gelo} = 1.91 \times 10^6 \text{ J K}^{-1}$

5) Uma mole de um gás ideal passa pelo seguinte processo cíclico:

- Expansão isotérmica de V_a para V_b .
- Expansão a pressão constante de V_b para V_c .
- Compressão isotérmica de V_c para V_d .
- Compressão a pressão constante de V_d para V_a .

Sendo $V_b = 2V_a$, e $V_c = 3V_a$.

5.a) Desenhe o processo num diagrama (p , V).

5.b) Determine T_c e V_d em termos das propriedades iniciais.

5.c) Em que fases dos ciclo o sistema absorve calor?

5.d) De que tipo de máquina se trata? Justifique.

R: b) $T_c = \frac{3}{2}T_a$ e $V_d = \frac{3}{2}V_a$ c) Nas fases 1. e 2. d) Frigorífico.

6) O fluído de uma máquina frigorífica opera entre as temperaturas $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ e $+25 \text{ }^\circ\text{C}$. Durante 2 horas o fluído recebe $1.0 \times 10^3 \text{ J}$ do congelador. Qual seria o valor de energia mecânica fornecida à máquina e da energia térmica cedida à fonte quente durante esse intervalo de tempo se a máquina funcionasse reversivelmente?

R: $W = 133 \text{ J}$ e $Q = 1.133 \times 10^3 \text{ J}$.

7) Considere um ciclo Otto - motor automóvel a gasolina - em que uma mole de gás ideal com $C_V = 3R$, é adiabaticamente comprimido de 1 atm e 300 K para

$\frac{1}{8}$ do seu volume inicial, sofrendo posteriormente uma transformação a volume constante que resulta num aumento de temperatura de 1600 K . Em seguida é expandido adiabaticamente até ao seu volume original e finalmente arrefecido até à temperatura inicial.

7.a) Esboce o ciclo no plano (p, V) , e no plano (S, T) .

7.b) Determine as trocas de calor e a variação de entropia em cada fase do ciclo.

7.c) Se a fonte quente estiver a 3000 K e a fonte fria a 300 K , qual a variação de entropia no universo em cada ciclo do motor?

R: b) $Q_{12} = \Delta S_{12} = 0$; $Q_{23} = 4800R$; $\Delta S_{23} = 3.9R$; $Q_{34} = \Delta S_{34} = 0$; $Q_{41} = 2400R$; $\Delta S_{41} = -3.9R$ c) $\Delta S_{Universo} = 6.4R$

8) Um *iceberg* com uma massa de 10^{10} kg encontra-se à deriva na corrente do golfo, que tem uma temperatura de $22\text{ }^\circ\text{C}$. Qual a quantidade máxima de trabalho que poderá ser gerada por uma máquina térmica enquanto o *iceberg* funde? Quantos dias seriam necessários para produzir esse trabalho numa central térmica de 1000 MW ?

Calor de fusão do gelo = 80 cal/g .

$W = 2.5 \times 10^{14}\text{ J}$; Aprox. 3 dias.

9) É possível construir centrais eléctricas aproveitando a diferença de temperatura entre a superfície e o fundo do mar. O calor das águas superficiais é usado para evaporar um flúido muito volátil, como a amónia, que faz mover uma turbina até ser de novo condensado pelo contacto com as águas profundas. Em 1979 foi construído um protótipo no Havai, onde a temperatura à superfície é de $30\text{ }^\circ\text{C}$ e a do fundo $18\text{ }^\circ\text{C}$.

9.a) Se a central funcionasse como um ciclo de Carnot, qual seria o rendimento?

9.b) Qual seria a quantidade de calor extraída, por segundo, das águas superficiais para produzir 500 MW de potência eléctrica?

9.c) Para a máquina térmica poder evaporar amónia esta que coexistir no estado líquido e de vapor, o que, a $30\text{ }^\circ\text{C}$, se dá a uma pressão de cerca de 11 atm (como estaria a amónia a esta temperatura e à pressão atmosférica? Poderia fazer funcionar uma máquina?). Sendo o calor de vaporização da amónia nessas condições 1143.7 kJ/kg , que quantidade de amónia seria vaporizada por unidade de tempo?

9.d) Qual seria nesse caso a quantidade de calor libertada por segundo para as águas profundas?

9.e) Calcule a variação de entropia das águas superficiais, das águas profundas e da central nesse caso ideal?

R: a) 3.9% b) 12820.5 MW c) 11.2 t d) 12320 MW e) $-42.3 \times 10^6 \text{ J K}^{-1}$ (fonte quente); 0 J K^{-1} (central); $+42.3 \text{ J K}^{-1}$ (fonte fria)

10) Uma central nuclear produz 500 MW com um rendimento de 34%. A fonte fria é um rio com um caudal médio de $3 \times 10^4 \text{ l/s}$.

10.a) De quanto se eleva a temperatura da água?

10.b) Se se tratasse de uma central térmica convencional (a carvão ou fuel), com um rendimento de cerca de 40%, de quanto se elevaria a temperatura da água?

10.c) O rendimento ideal de uma central convencional seria 52% e o de uma central nuclear 44%, se funcionassem exactamente como ciclos de Carnot. Qual a temperatura da fonte quente num e noutro caso, supondo que a fonte fria é, em ambos os casos um rio, a 17°C ?

10.d) Porque é que o rendimento da central nuclear não pode ser muito aumentado? (Lembre-se de Tchernobyl!)

R: a) 7.7°C b) 6.0°C c) $T_{\text{térmica}} = 331^\circ\text{C}$; $T_{\text{nuclear}} = 245^\circ\text{C}$ d) *Temperaturas mais elevadas podem fazer fundir os materiais de controlo da reacção nuclear.*

11) A figura representa um diagrama de fase para a água. Que transições de fase se observam se fizermos o sistema evoluir segundo os percursos A, B e C indicados na figura?

R: A: *Sólido-vapor (sublimação em 1)*

B: *Sólido-líquido (fusão) em 2; líquido-vapor (ebulição em 3.*

C: *Não há transição de fase de 4 para 5 (percurso acima do ponto crítico).*

12) Mostre que a taxa de arrefecimento de um refrigerador funcionado segundo um ciclo de Stirling é dada por:

$$\omega = \frac{1}{\frac{T_H}{T_C} - 1}. \quad (1)$$

13) Considere uma mole de gás descrita pela equação de estado de Van der Waals:

$$\left(p + \frac{a}{V^2}\right) (V - b) = RT \quad (2)$$

13.a) Desenhe as curvas isotérmicas no diagrama (V, p) .

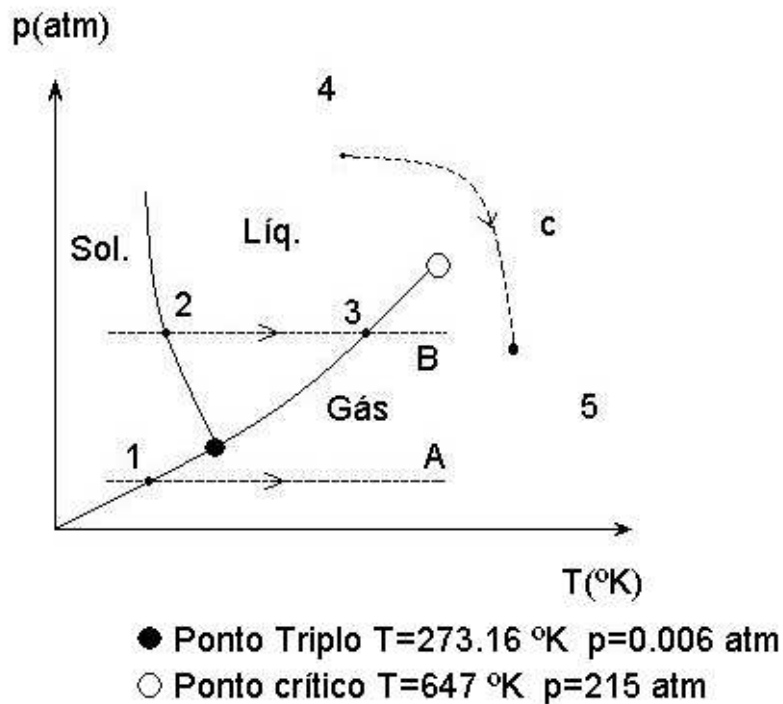


Figura 1: Exercício 11

13.b) Determine o ponto crítico (p_c , V_c , T_c).

13.c) Reescreva a equação de estado em termos das grandezas relativas

$$P = \frac{p}{p_c}, \quad V = \frac{V}{V_c}, \quad \tau = \frac{T}{T_c}, \quad (3)$$

para obter a equação dos estados correspondentes:

$$\left(p + \frac{3}{V^2}\right) \left(V - \frac{1}{3}\right) = \frac{8}{3}\tau. \quad (4)$$

13.d) Mostre que

$$U = C_V T - \frac{a}{V} + U_0 + \text{const.} \quad (5)$$

13.e) Mostre que a entropia do gás é dada por:

$$S = C_V \ln T + R \ln(V - b) + S_0 + \text{const.} \quad (6)$$

13.f) Considere transformações adiabáticas (isentrópicas) e deduza que

$$T(V - b)^{R/C_V} = T(V - b)^{\gamma-1} = \text{const.} \quad (7)$$