

TERMODINÂMICA e ESTRUTURA da MATÉRIA

I Série de Problemas

Prof. Orfeu Bertolami

Instituto Superior Técnico, Departamento de Física

Assunto:

Gás perfeito. Calor e trabalho. Propriedades Termodinâmicas das substâncias. Transições de fase.

Constantes e Unidades

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

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

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

Caloria: $1 cal = 4.19 J$

$1 \mathcal{L} = 0.454 kg$

$1 \text{ pound force} = 4.448 N$

$1 \text{ inch} = 0.0254 m$

$1 \text{ foot} = 0.3048 m$

$1 \text{ yard} = 0.9144 m$

1) Suponha que as moléculas contidas em 2 g de hidrogénio eram convertidas em grãos de areia com cerca de $0.2 mm^3$ de volume e espalhados numa camada uniforme pela Europa. Calcule a altura da camada.

Área da Europa: $10^7 km^2$

R: $12 m$

2) Calcule o número de moléculas existentes em $1 cm^3$ dum gás ideal em condições normais de pressão e temperatura (i.e. o número de *Loschmidt*).

R: 2.687×10^{19}

3) Qual o volume ocupado por uma moléculagrama de um gás perfeito em condições normais de pressão e temperatura, isto é, *PTN* : $p = 1 \text{ atm}$; $T = 0^\circ\text{C}$? E a 20° ?

R: 22.4 dm^3 ; 24.04 dm^3

4) Num dia de calor em que a temperatura era de 30°C , um condutor verificou a pressão dos pneus antes de iniciar uma viagem e obtém 28 psi . No fim da viagem voltou a medir a pressão e obteve 32 psi .

Qual a temperatura do ar no interior dos pneus no fim da viagem? Deve retirar ar dos pneus?

$1 \text{ psi (pound per square inc)} = 6896.6 \text{ Pa}$

R: 73°C . Não deve retirar ar dos pneus.

5) Uma arca frigorífica com capacidade de 120L tem uma porta de 0.8m por altura por 0.5m de largura. Quando se abre a porta, a temperatura no interior da arca sobe até -8°C . Quando a porta é fechada o ar interior arrefece novamente até -10°C . Se a junta da porta fosse completamente hermética, qual seria a força necessária para abrir a porta? Considere a pressão exterior igual à pressão atmosférica.

R: 31.2kgf

6) A temperatura da atmosfera diminui com a altitude, sobretudo devido à existência de correntes de convecção. O ar mais quente expande-se quando se eleva do nível do mar para as regiões superiores onde a pressão é mais baixa (porquê?). Como o ar é mau condutor de calor, a expansão é aproximadamente adiabática e a temperatura diminui quando o ar sobe.

Que variação de volume sofre uma massa de ar se a sua temperatura passa de 20°C para 0°C devido a uma expansão adiabática? (O ar comporta-se nestas condições como um gás perfeito diatômico, com $\gamma = 7/5$)

R: $V_{final} = 1.19V_{inicial}$

7) O som transmite-se num meio material pela alternância de compressões e expansões que dão origem a ondas longitudinais. Nas regiões comprimidas, a temperatura eleva-se, sendo mais baixa nas regiões que sofreram expansão. No entanto, sendo o ar um mau condutor de calor, pode considerar-se desprezável a quantidade de calor trocada entre essas regiões enquanto a onda se propaga, pelo que o processo é aproximadamente adiabático.

a) Calcule a velocidade de propagação das ondas sonoras no ar a $0^{\circ}C$.

Nota: Recorde, da equação das ondas, que a velocidade de propagação do som é $v = \sqrt{\left(\frac{dp}{d\rho}\right)_s}$, em que p é a pressão e ρ é a densidade.

b) Como varia a velocidade com a temperatura? Qual o seu valor a $20^{\circ}C$?

R: a) 330.9m/s (o valor experimental é 332 m/s). b) Varia com \sqrt{T} ; 342.8 m/s (o valor experimental é 344 m/s)

8) O campo gravítico da Terra atrai a atmosfera e provoca assim uma pressão à superfície, suficiente para suportar uma coluna de mercúrio com 76 cm de altura (princípio do barómetro). Considerando que:

raio da Terra	$R = 6400\text{ km}$
densidade do mercúrio	$d_{Hg} = 13.6\text{ g cm}^{-3}$
massa molecular do ar	$\mu = 29\text{ g/mole}$
constante univ. dos gases	$R = 8.312\text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$

e desprezando a variação da atracção gravítica com a altura, determine:

a) a massa total da atmosfera ($M_{atmosfera}$);

b) a pressão que se sentiria à superfície se a massa molecular do ar fosse $\mu = 87\text{ g/mol}$ e tivéssemos o mesmo número de moles;

c) a pressão que um gás com a mesma composição do ar e massa $M_{atmosfera}$ exerceria se estivesse confinado a uma esfera ôca com o mesmo volume que o da terra e a uma

temperatura de $300 \text{ }^\circ\text{K}$, supondo a ausência de efeitos gravíticos.

R: a) $5.3 \times 10^{18} \text{ kg}$ b) 3 atm c) 413.6 Nm^{-2}

9) Considerando a atmosfera da terra como um gás ideal, de massa molecular $\mu = 29 \text{ g/mol}$, sujeito a um campo gravítico uniforme, mostre que:

a) a variação de pressão com a altura h é

$$\frac{dp}{p} = -\frac{\mu g}{RT} dh \quad (1)$$

onde $T = T(h)$ é a temperatura absoluta à altura h .

Curiosidade: O método utilizado nos aviões para determinar a altitude a que se encontram é baseado nesta expressão da variação da pressão atmosférica com a altitude. Daí também a enorme importância de se saber sempre qual a pressão atmosférica ao nível do aeroporto quando um avião se prepara para aterrar.

b) se houver diminuição de temperatura em a) devido à expansão adiabática do ar, então:

$$\frac{dp}{p} = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \frac{dT}{T} \quad (2)$$

onde $\gamma = \frac{c_p}{c_v} = 1.4$. Calcule $\frac{dT}{dh}$ em unidades de K/km e em $^\circ\text{C/km}$.

R: $\frac{dT}{dh} = -\frac{\mu g}{R} \frac{\gamma - 1}{\gamma} = -9.76 \text{ K/km} = -9,76^\circ\text{C/km}$

10) De que altura devem cair dez gramas de água para que a sua temperatura aumente de 1°C ao chocar com o chão? E um litro de água? Admita que toda a energia potencial da água é transformada em energia interna quando a água choca com o chão.

R: $h = 427 \text{ m}$ independentemente da quantidade de água.

11) Um recipiente fechado com $V_a = 2 \text{ l}$ de hélio à temperatura de 50°C é posto em contacto com outro recipiente fechado ($V_b = 3 \text{ l}$ e temperatura 100°C) que contém argon. Em ambos os recipientes a pressão inicial é $p_i = 1 \text{ atm}$. Calcular a temperatura do argon e do hélio no estado final (T_f).

Nota: Só há troca de calor entre as paredes dos dois recipientes que estão em contacto.

R:

$$T_f = \frac{n_a c_V^a T_i^a + n_b c_V^b T_i^b}{n_a c_V^a + n_b c_V^b} \quad (3)$$

onde n_a , c_V^a e T_i^a (n_b , c_V^b e T_i^b) são respectivamente o número de moles, o calor específico molar a volume constante e a temperatura inicial do hélio (argon).

11) Uma nuvem de tempestade está a um potencial eléctrico de 10^7 V em relação ao solo e descarrega-se emitindo um relâmpago que dura 0.2 s, com uma corrente de 10^3 A. Se toda a energia do relâmpago for convertida em energia térmica, qual a quantidade de calor libertada para a atmosfera?

R: 2×10^9 J

13) O pêndulo de um relógio de sala é constituído por uma haste fina de aço com um peso na extremidade. A 20°C a haste tem 1.22 m de comprimento e o relógio está certo.

a) De quanto é que o comprimento da haste varia se a temperatura subir para 40°C ?

b) O relógio passa a adiantar-se ou a atrasar-se?

c) Se o pêndulo tivesse metade do comprimento, qual a variação para o mesmo aumento de temperatura? Atrasava-se ou adiantava-se mais ou menos que no caso anterior?

NOTA: Coeficiente de dilatação linear do aço: $\alpha = 1.27 \times 10^{-5} \text{K}^{-1}$

R: a) 3.10×10^{-4} m; b) *atrasava-se*; c) 1.55×10^{-4} m; *atrasava-se menos*.

14) O comprimento da ponte sobre o Tejo é de cerca de 2 km. Se a amplitude térmica anual média for de 40°C (por exemplo com um valor mínimo de 1°C e um valor máximo de 41°C), qual a variação de comprimento sofrida pela vigas de aço que sustentam as faixas de rodagem?

Nota: Coeficiente de dilatação linear do aço: $\alpha = 1.27 \times 10^{-5} \text{K}^{-1}$

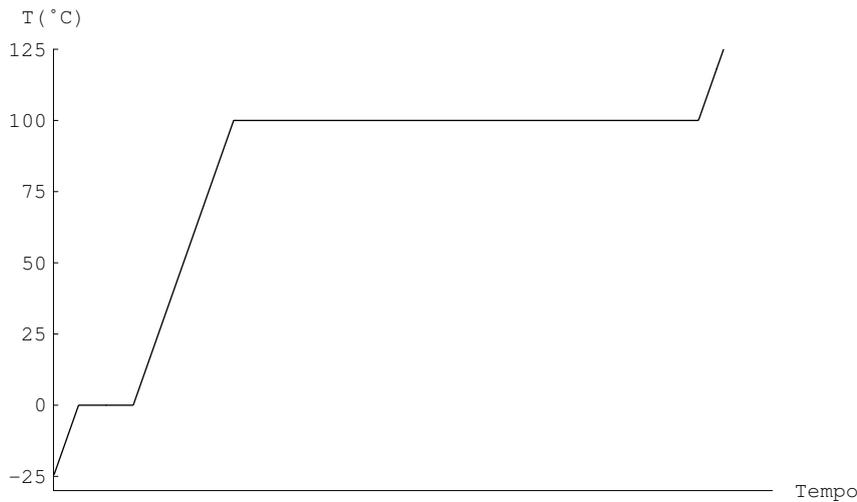


Figure 1: Exercício 16

R: 1 m

15) Um bloco de metal de 50 g é mantido durante algum tempo em água a ferver. Seguidamente o bloco é mergulhado num calorímetro de cobre de massa 100 g, e que contém 200 g de água a 20°C. A temperatura de equilíbrio é de 22°C. Qual o calor específico do metal)

Nota: Calor específico do cobre: $c_p = 0.39 \text{ Jg}^{-1}\text{K}^{-1}$

16)

A figura 1 representa o gráfico da temperatura de uma amostra de 1 kg de água em função do tempo, numa experiência em que esta é aquecida uniformemente. A fonte de calor usada tem um débito constante de 3 kW. A quanto tempo correspondem os patamares A e B?

Calor de fusão do gelo 333 kJ kg^{-1}

Calor de vaporização da água 2255 kJ kg^{-1}

R: A: 1 min 51 s B: 12 min 32 s

17) Qual a energia que é necessário fornecer a 18 g de gelo que se encontra à temperatura de -50°C para que este atinja a temperatura de fusão ($T_{\text{fusão}} = 0^\circ\text{C}$ se

$p = 1 \text{ atm}$). Qual é a energia que é necessário fornecer a essa massa de gelo a 0°C para a fundir se a temperatura final da água for $T = 0^\circ\text{C}$.

calor específico do gelo a pressão constante: $c_p = 0.5 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

calor latente de fusão do gelo: $\lambda_{\text{fusão}} = 80 \text{ cal g}^{-1}$

18) Tanto o Hélio como a água são aproximadamente descritos por uma equação de Van der Waals na transição líquido-vapor:

$$\left(p + \frac{a}{V^2}\right) (V - b) = RT \quad (4)$$

Para o Hélio as constantes são $a = 0.03415 \times 10^6 \text{ atm cm}^6$, $b = 23.71 \text{ cm}^3$ e para a água $a' = 5.468^6 \text{ atm cm}^6$, $b' = 30.52 \text{ cm}^3$.

a) Qual das duas substâncias tem forças de interação molecular mais intensas? Qual a razão entre as intensidades?

b) Qual das duas substâncias tem um ponto de ebulição mais baixo à pressão atmosférica normal? Porquê?

c) Qual das duas substâncias tem moléculas maiores? Estime o raio do átomo de Hélio.

R: a) A água, porque $a' > a$; 160 vezes mais intensas; b) O Hélio (4.1K) porque as forças moleculares são menos intensas; c) a água, porque $b' > b$; $b \sim \frac{4\pi r^3}{3} \times N_A$, pelo que $R \sim 2 \text{ \AA}$ (o valor real é $R = 1.8 \text{ \AA}$).

19.a) O que são as forças de Van der Waals? Explique, em termos gerais, como se obtém a equação de Van Der Waals para os gases.

19.b) Explique as transições de fase com base na teoria corpuscular da matéria e na existência de forças de Van der Waals.

19.c) Como explicar por que motivos os insectos se aguentam à superfície dos líquidos.