

## Termodinâmica 2/2015 Trabalho de Casa 6

Entrega até quarta, 01/02, às 18:00.

Você deve exibir todos os detalhes das soluções. Sempre que isto for apropriado, deduza uma expressão algébrica primeiro e só ponha números no último passo.

**1.** O calor latente para a transição água líquida/gelo é  $L = 80.0$  cal/grama, o que significa que devemos adicionar 80 calorias de calor a um grama de gelo a  $T = 0$  °C para liquefazê-lo e transformá-lo em 1 grama de água líquida a  $T = 0$  °C. O calor específico da água líquida é  $c_{liq} = 1.00$  cal/(g · °C). O calor específico do gelo (abaixo do ponto de congelamento) é  $c_{gelo} = 0.49$  cal/(g · °C), o que significa que se temos um grama de gelo à temperatura de  $-15$  °C, digamos, são necessárias 0.49 calorias para aquecer este gelo até  $-14$  °C.

Em geral,  $Q = mL$  (durante uma mudança de fase) ou  $Q = mc\Delta T$  (quando não há mudança de fase)

A) Qual a variação de entropia de um grama de gelo quando se liquefaz, isto é, quando ele se transforma de gelo sólido a  $0$  °C em água líquida a  $0$  °C?

B) Qual a relação entre  $\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_p$  e a capacidade térmica  $C_p$  ?

C) Esboce o gráfico de  $S$  vs.  $T$  para a água, mostrando o jeito da curva nas vizinhanças da transição de liquefação (sólido para líquido). Preste atenção, em particular, ao que ocorre bem perto do ponto de transição, desenhando da forma mais precisa possível a inclinação deste gráfico perto deste ponto. Exponha brevemente mas com clareza o raciocínio que você usou ao fazer o desenho. (*Dica:* Use o resultado do item B.)

**2.** Verifique que a fórmula  $P = T \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_{U,N}$  dá o resultado correto para a pressão de um gás ideal.

Parta da equação de Sackur-Tetrode para a entropia de um gás ideal monoatômico, e calcule a derivada com relação ao volume. (Lembre que  $U$  e  $N$  são mantidos constantes nesta derivação.)

**3.** No Problema 3 da lista 5 você deduziu uma expressão para a capacidade térmica de um sólido de Einstein. Compare sua expressão com os valores experimentais dados na Fig. 1.14 (p.30 do livro texto), e estime o valor do quantum de energia  $\epsilon$  para os três materiais, Pb, Al, e diamante. Dê suas respostas em eV. Explique claramente como você chegou a seus resultados.

**4.** A) Deduza uma expressão para o potencial químico de um sólido de Einstein com  $N$  osciladores e  $q$  unidades de energia. Suponha que  $N, q \gg 1$ .

B) Esboce o gráfico de  $\mu/(kT)$  vs.  $N$  para  $q$  fixo, mostrando o jeito da curva. Faça isso para  $q = 1000$ , e  $N$  variando de 100 a 3000.

**5.** Considere um gás ideal monoatômico a uma altitude  $z$  acima do nível do mar, de modo que cada molécula tem energia potencial  $mgz$  além de sua energia cinética.

A) Mostre que o potencial químico é, neste caso, o mesmo que se o gás estivesse ao nível do mar

mais um termo adicional  $mgz$ : 
$$\mu = -kT \ln \left[ \frac{V}{N} \left( \frac{2\pi m kT}{h^2} \right)^{3/2} \right] + mgz$$

B) Suponha que tenhamos duas amostras de gás hélio, uma ao nível do mar e outra na altitude  $z$ , ambas com mesma temperatura e mesmo volume. Supondo que elas estejam em equilíbrio difusivo, mostre que o número de moléculas na amostra na maior altitude é

$$N(z) = N(0) e^{-mgz/kT}$$
 (Dica para o item A): Note que uma amostra de gás na altura  $z$  tem energia interna  $U(z) = U_0 + Nmgz$ , onde  $U_0$  é a energia interna em  $z = 0$ , e use a relação 
$$\mu = \left( \frac{\partial U}{\partial N} \right)_{S,V}$$

**6.** A) Na vídeo-aula 1.11 eu exibi uma expressão para o potencial químico  $\mu = \mu(N, V, T)$  de um gás ideal monoatômico – ela também aparece no texto do item A) do problema anterior. Reescreva esta expressão como função da pressão  $P$  e da temperatura  $T$ .

B) Faça o gráfico do potencial químico  $\mu$  (in eV) vs. pressão  $P$  (em atmosferas) para o gás hélio a  $T = 300\text{K}$ .

**7.** O paramagneto de 2 estados. Perigo: nós usamos o mesmo símbolo  $\mu$  para o potencial químico e para o momento magnético do spin. Não confunda um com o outro!

A) Começando da equação (3.29) na página 104, complete os detalhes da álgebra que conduz às equações (3.30) e (3.31) para a temperatura e a energia de um paramagneto de 2 estados.

B) Faça o gráfico da magnetização normalizada adimensional ( $M/N\mu$ ) vs. o campo magnético normalizado adimensional ( $\mu B/kT$ ).

**8.** A) No modelo do paramagneto de 2 estados, deduza uma expressão para a “polarização” = fração de momentos paralelos ao campo ( $N_{\text{cima}}/N$ ) como função da temperatura  $T$  e do campo magnético  $B$ .

B) Faça o gráfico desta polarização vs.  $kT/\mu B$ .

C) Para momentos eletrônicos  $\mu = \mu_B = 9.27\text{E}-24$  J/T, qual o campo magnético (em Tesla) necessário para produzir uma polarização de 0.99 à temperatura de  $T = 2$  K?

Problema	Pontos
1	3
2	2
3	2
4	2
5	3
6	2
7	3
8	3
<b>Total</b>	<b>20</b>