

Quarta Lista de Exercícios

CF-370 (Termodinâmica)

Ricardo Luiz Viana

Departamento de Física, Universidade Federal do Paraná

Centro Politécnico - Jardim das Américas - 81531-990 - Curitiba - Paraná - Brasil

M. W. Zemansky, R. H. Dittman, Heat and Thermodynamics, 7th. Ed., McGraw-Hill, 1997.

Capítulo IV: Calor e a Primeira Lei da Termodinâmica

- [4.1] Um gás contido em um cilindro por uma camada de isopor é rapidamente comprimido, e a temperatura sobe várias centenas de graus. Houve transferência de calor? A “quantidade de calor” do gás foi aumentada?
- [4.2] Um experimento de combustão é realizado queimando uma mistura de combustível e Oxigênio em um contêiner a volume constante cercado por uma banheira de água. Durante o experimento, a temperatura da água aumenta. Se o sistema for a mistura de combustível e Oxigênio, responda as seguintes perguntas:
- (a) Há transferência de calor?
 - (b) Há trabalho sendo realizado?
 - (c) Qual é o sinal da Variação da Energia Interna ΔU ?
- [4.3] Um líquido é irregularmente agitado em um recipiente bem isolado e, assim, experimenta um aumento na temperatura. Se o sistema for o líquido, responda as seguintes perguntas:
- (a) Há transferência de calor?
 - (b) Há trabalho sendo realizado?
 - (c) Qual é o sinal da Variação da Energia Interna ΔU ?
- [4.6] Quando uma corrente é estabelecida em uma célula eletrolítica de água levemente ácida, e 1mol é eletrolisado em Hidrogênio e Oxigênio, $2F$ de carga são transferidos através de uma fonte de Força Eletromotriz \mathcal{E} . A variação de energia interna do sistema é de $\Delta U = +286500J$ e $50000J$ de calor são absorvidos. Qual é a Força Eletromotriz \mathcal{E} ? (DADO: $F = 96500 \frac{C}{mol}$).
- [4.7] Um cilindro com paredes rígidas e bem isoladas é dividido em duas partes por uma parede isolante rígida com um pequeno orifício. Um pistão isolado e sem atrito é mantido contra a partição perfurada, evitando que o gás do outro lado escorra pelo furo. O gás é mantido a uma pressão P_i por outro pistão isento de atrito. Imagine que ambos os pistões se movam simultaneamente de tal forma que, quando o gás flui através do orifício, a pressão permaneça no valor constante P_i em um lado da parede divisória e um valor constante inferior P_f no outro lado, até que todo o gás seja forçado através do buraco. (Nota: Este processo é chamado de processo de estrangulamento.) Prove que:

$$U_i + P_i V_i = U_f + P_f V_f$$

[4.8] Um recipiente de volume V contém n mols de gás a alta pressão. Conectado ao recipiente há um tubo capilar através do qual o gás pode escoar lentamente para a atmosfera, onde a pressão é P_0 . Em torno do recipiente e do tubo capilar há um banho de água, em que é imerso um resistor elétrico. O gás pode escoar lentamente através do tubo capilar para a atmosfera enquanto a energia elétrica é dissipada no resistor em tal velocidade que a temperatura do gás, do recipiente, do tubo capilar e da água é mantida igual à do ar do lado de fora. Mostre que, depois que escoou tanto gás quanto possível, durante o intervalo de tempo t , a variação da energia interna é de:

$$\Delta U = \mathcal{E}It - P_0(nv_0 - V)$$

Onde v_0 é o volume molar do gás à pressão atmosférica, \mathcal{E} é a diferença de potencial através do resistor, e I é a corrente no resistor.

[4.10] Escreva a Energia Interna de um sistema Hidrostático como sendo função de T e P e derive as seguintes equações:

$$(a) \quad dQ = \left[\left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_P + P \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P \right] dT + \left[\left(\frac{\partial U}{\partial P} \right)_T + P \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T \right] dP$$

$$(b) \quad \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_P = C_P - PV\beta$$

$$(c) \quad \left(\frac{\partial U}{\partial P} \right)_T = PV\kappa - (C_P - C_V) \frac{\kappa}{\beta}$$

[4.11] Escreva a Energia Interna como sendo função de P e V e derive as seguintes equações:

$$(a) \quad dQ = \left(\frac{\partial U}{\partial P} \right)_V dP + \left[P + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_P \right] dV$$

$$(b) \quad \left(\frac{\partial U}{\partial P} \right)_V = \frac{C_V \kappa}{\beta}$$

$$(c) \quad \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_P = \frac{C_P}{V\beta} - P$$

[4.12] Obtenha as equações listadas na tabela a seguir:

Tabela 1: Capacidades Térmicas

Sistema	Capacidade Calorífica à variável extensiva constante	Capacidade Calorífica à variável intensiva constante
Fio Esticado	$C_L = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_L$	$C_{\mathcal{F}} = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_{\mathcal{F}} - \mathcal{F}L\alpha$
Sólido Paramagnético que obedece a Lei de Curie	$C_{\mathcal{M}} = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_{\mathcal{M}}$	$C_{\mathcal{H}} = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_{\mathcal{H}} + \frac{\mu_0 \mathcal{M}^2}{C_C}$

(NOTA: C_C é a Constante de Curie, não uma Capacidade Calorífica).

- [4.13] Considere usar o aparato da figura abaixo, conhecido como *Roda de Pás de Joule* para determinar o Calor Específico à pressão atmosférica constante.

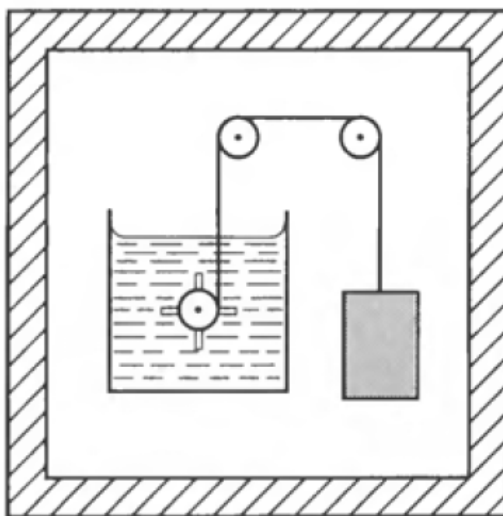


Figura 1: Roda de Pás de Joule.

A Roda de pás é acionada por um bloco caindo lentamente, e ambos têm uma temperatura de $14,5^{\circ}\text{C}$. Como resultado do trabalho realizado pela queda de um bloco de massa $m_0 = 0,427\text{kg}$ a partir de uma altura $h = 1,00\text{m}$, a temperatura de 1kg de água aumentou de 1°C . Obtenha c_P .

- [4.14] Um mol de um Gás de Van der Waals obedece a equação de Van Der Waals:

$$\left(P + \frac{a}{v^2}\right)(b - v) = RT$$

E a Energia Interna Molar $\left(u = \frac{U}{n}\right)$ é dada por:

$$u = \lambda T - \frac{a}{v}$$

Onde a , b , λ , R são constantes, e v é o volume molar $v = \frac{V}{n}$.

Calcule as Capacidades Térmicas Molares c_P e c_V .

- [4.15] A Equação de Estado de um Sólido Monoatômico é dada por:

$$Pv + f(v) = \Gamma u$$

Aqui, v é o volume molar $v = \frac{V}{n}$, Γ é a Constante de Grüneisen, e u é a Energia Interna Molar $\left(u = \frac{U}{n}\right)$ devido às vibrações da grade. Prove que:

$$\Gamma = \frac{\beta v}{\kappa c_V}$$

Onde κ é a Compressibilidade Isotérmica. Esta equação, conhecida como *Relação de Grüneisen*, desempenha um papel muito importante em Física do Estado Sólido.

- [4.16] Para um certo gás, a Capacidade Térmica Molar $c_P = \frac{C_P}{n}$ varia com a temperatura de acordo com a seguinte equação:

$$c_P = \frac{C_P}{n} = a + bT - \frac{\lambda}{T^2}$$

Onde a , b e λ são constantes.

Quanto calor é transferido durante um processo isobárico, onde n mols deste tipo de gás experimentam um aumento de temperatura desde T_i até T_f ?

- [4.18] Suponha que a condução de calor ocorra á taxa constante de $q = \frac{dQ}{dt}$ numa esfera oca com um raio interno r_1 a uma temperatura T_1 e com raio externo r_2 a uma temperatura T_2 . Mostre que, para uma Condutividade Térmica constante K , a diferença de temperatura entre as duas superfícies é dada por:

$$T_2 - T_1 = \frac{dQ}{dt} \left(\frac{1}{4K\pi} \right) \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right) = \frac{q}{4K\pi} \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right)$$

- [4.20] O ar acima de uma superfície de um lago de água doce está a temperatura T_A , enquanto a água do lago está a temperatura de congelamento T_i . Considere $T_A < T_i$. Após um tempo t , ocorre a formação de uma camada de gelo com espessura y . Assumindo que o calor, que é liberado quando a água do lago congela, flui através do gelo por condução e depois no ar por convecção natural, mostre que:

$$\frac{y}{h} + \frac{y^2}{2K} = \left(\frac{T_i - T_A}{\rho l} \right) t$$

Aqui, h é o Coeficiente de Convecção por unidade de área e é assumido constante enquanto o gelo se forma. K é a Condutividade Térmica do gelo, l é o Calor Latente de Fusão do gelo, e ρ é a densidade do gelo. (DICA: A temperatura da superfície superior é variável. Assuma que o gelo tem uma espessura y e imagine que uma espessura infinitesimal dy se forma em um tempo infinitesimal dt).

- [4.22] Uma lata metálica cilíndrica, escurecida do lado de fora, com $0,10m$ de altura e $0,05,m$ de diâmetro contém ${}^4\text{He}$ líquido na sua temperatura de ebulição normal de $4,22K$, em que seu Calor Latente de Vaporização é de $20,4 \times 10^3 \frac{J}{kg}$. A lata está completamente cercada por paredes mantidas à temperatura do Nitrogênio Líquido, que é de $77,35K$, e o espaço intermediário é continuamente evacuado a uma pressão muito baixa. Quanto hélio é perdido por hora?

- [4.25] A *Constante Solar* é a energia incidente por unidade de tempo em uma unidade de área de uma superfície colocada em ângulo reto com um raio de sol fora da atmosfera terrestre. O valor da constante solar é de $1,37 \times 10^3 \frac{W}{m^2}$. A área de uma esfera com raio de 93000000 de milhas é de $2,79 \times 10^{23}m^2$ e a superfície de área do Sol é de $6,09 \times 10^{18}m^2$. Assumindo que o Sol é um Corpo Negro, calcule a temperatura da sua superfície.

- [4.28] No caso específico de um Gás Paramagnético, faça o que se pede.

(a) Obtenha a Equação:

$$dQ = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_{V,\mathcal{M}} dT + \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_{T,\mathcal{M}} + P \right] dV + \left[\left(\frac{\partial U}{\partial \mathcal{M}} \right)_{T,V} - \mu_0 \mathcal{H} \right] d\mathcal{M}$$

(b) Obtenha as expressões para as Capacidades Térmicas $C_{V,\mathcal{M}}$, $C_{V,\mathcal{H}}$, $C_{P,\mathcal{M}}$ e $C_{P,\mathcal{H}}$