Universidade Federal de Pelotas
Instituto de Física e Matemática
Departamento de Física

Termodinâmica — **UNIDADE III - Lista 1** — Prof. Alexandre Diehl

Todas as questões foram extraídas do M. W. Zemansky, *Calor e termodinâmica*.

11-1. Demonstre que, para um gás perfeito:

$$\begin{aligned}
\text{(a)}\quad F &= \int C_V\,dT - T\int \frac{C_V}{T}\,dT - nRT\ln V - \text{const}.\,T + \text{const}\\
\text{(a)}\quad G &= \int C_p\,dT - T\int \frac{C_p}{T}\,dT - nRT\ln p - \text{const}.\,T + \text{const}
\end{aligned}$$

(c) Aplique as equações acima a um mol de um gás perfeito monoatômico.

11-2. (a) Definindo a função de Massieu F_M pela equação

$$F_M = -\frac{U}{T} + S\ ,$$

demonstre que

$$dF_M = \frac{U}{T^2}\,dT + \frac{p}{T}\,dV\ .$$

(b) Definindo a função de Planck F_p pela equação

$$F_p = -\frac{H}{T} + S\ ,$$

demonstre que

$$dF_p = \frac{H}{T^2}\,dT - \frac{V}{T}\,dp\ .$$

11-3. Partindo de que dV/V é uma diferencial exata, deduza a relação

$$\left(\frac{\partial \beta}{\partial p}\right)_T = -\left(\frac{\partial \kappa_T}{\partial T}\right)_p\ .$$

11-4. Deduza as seguintes equações

$$\begin{aligned}
\text{(a)}\quad U &= F - T\left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_V = -T^2\left(\frac{\partial F/T}{\partial T}\right)_V\ .\\
\text{(b)}\quad C_V &= -T\left(\frac{\partial^2 F}{\partial T^2}\right)_V\ .\\
\text{(c)}\quad H &= G - T\left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_p = -T^2\left(\frac{\partial G/T}{\partial T}\right)_p\ .\\
\text{(d)}\quad C_p &= -T\left(\frac{\partial^2 G}{\partial T^2}\right)_p\ .
\end{aligned}$$

11-5. Deduza a terceira equação TdS,

$$TdS = C_V\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_V dp + C_p\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_p dV\ ,$$

e demonstre que as três equações TdS podem ser escritas da seguinte maneira:

$$\begin{aligned}
\text{(a)}\quad TdS &= C_V\,dT + \frac{\beta T}{\kappa_T}\,dV\\
\text{(b)}\quad TdS &= C_p\,dT - V\beta T\,dp\\
\text{(c)}\quad TdS &= \frac{C_V\kappa_T}{\beta}\,dp + \frac{C_p}{\beta V}\,dV
\end{aligned}$$

11-6. A pressão sobre 500 g de cobre é aumentada reversível e isotermicamente, a 100 K, a partir de zero até 5000 atm. Considere que a densidade, o coeficiente de dilatação cúbica, o coeficiente de compressibilidade isotérmica e a capacidade calorífica permanecem praticamente constantes. Os valores destas grandezas, a 100 K, são: $\beta = 31.5 \times 10^{-6}\,\mathrm{grau}^{-1}$, $\kappa_T = 0.731 \times 10^{-6}\,\mathrm{atm}^{-1}$, $\kappa_S = 0.728 \times 10^{-6}\,\mathrm{atm}^{-1}$, volume molar $v = 7,01\,\mathrm{cm}^3/\mathrm{mol}$, $c_p = 16.1\,\mathrm{J/mol.grau}$, $c_V = 16.0\,\mathrm{J/mol.grau}$, massa molar do cobre é 63.5 g/mol. Estes valores foram extraídos do quadro 11.6 do Zemansky, página 293.

(a) Qual foi a quantidade de calor transferido durante a compressão?

(b) Qual foi a quantidade de trabalho realizado durante a compressão?

(c) Determine a variação de energia interna.

(d) Qual teria sido a elevação de temperatura se o cobre tivesse sido submetido a uma compressão adiabática reversível?

11-7. A pressão sobre 200 g de água é aumentada reversível e isotermicamente, a 0° C, de 1 até 3000 atm. Os valores das constantes para a água podem ser obtidos do quadro 11.3 do Zemansky, página 277.

(a) Qual foi a quantidade de calor transferido?

(b) Qual foi a quantidade de trabalho realizado?

(c) Calcule a variação da energia interna.

11-12. Demonstre que as diferenciais da três funções termodinâmicas U, H e F podem ser escritas como

$$\begin{aligned} dU &= (C_p - pV\beta)\,dT + V(\kappa_T p - \beta T)\,dp \\ dH &= C_p\,dT + V(1-\beta T)\,dp \\ dF &= -(pV\beta + S)\,dT + pV\kappa_T\,dp \end{aligned}$$

11-13. (a) Deduza a equação

$$\left(\frac{\partial C_V}{\partial V}\right)_T = T\left(\frac{\partial^2 p}{\partial T^2}\right)_V .$$

(b) Prove que, para um gás perfeito, C_V é função somente de T.

(c) No caso de um gás que obedece a equação de estado

$$\frac{pv}{RT} = 1 + \frac{B}{v} ,$$

onde B é uma função somente de T, demonstre que

$$c_V = -\frac{RT}{v}\frac{d^2}{dT^2}(BT) + (c_V)_0 ,$$

onde $(c_V)_0$ é o valor para volumes muito grandes.

9-14. (a) Deduza a equação

$$\left(\frac{\partial C_p}{\partial p}\right)_T = -T\left(\frac{\partial^2 V}{\partial T^2}\right)_p .$$

(b) Prove que, para um gás perfeito, C_p é função somente de T.

(c) No caso de um gás que obedece a equação de estado

$$pv = RT + Bp ,$$

onde B é uma função somente de T, demonstre que

$$c_p = -T\frac{d^2 B}{dT^2}\,p + (c_p)_0 ,$$

onde $(c_p)_0$ é o valor para pressões muito baixas.

11-16. Deduza as seguintes equações:

(a) $C_p = T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_S$

(b) $\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_S = \frac{C_p}{V\beta T}$

(c) $\frac{(\partial p/\partial T)_S}{(\partial p/\partial T)_V} = \frac{\gamma}{\gamma - 1}$