

# Sétima 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 VII: O Ciclo de Carnot e a Escala Termodinâmica de Temperatura

- [7.1] Considere um gás perfeito monoatômico ( $\gamma = \frac{5}{3}$ ) operando no ciclo de Carnot representado na figura (1). Aqui,  $T_H = 600$  K e  $T_L = 300$  K. O ponto 1, no início da compressão adiabática, tem pressão igual a  $P_1 = P_0$  (Pressão Atmosférica de  $1,01 \times 10^5$  Pa) e volume  $V_1 = 5,00 \times 10^{-2}$  m<sup>3</sup>. O ponto 3 tem volume igual a  $V_3 = 7,50 \times 10^{-2}$  m<sup>3</sup>. Calcule os valores de pressão e volume em todos os quatro pontos, seguindo a sugestão da figura (2a). Ciclos de Carnot podem ser mais facilmente entendidos no diagrama  $TS$ , como mostra a figura (2b).

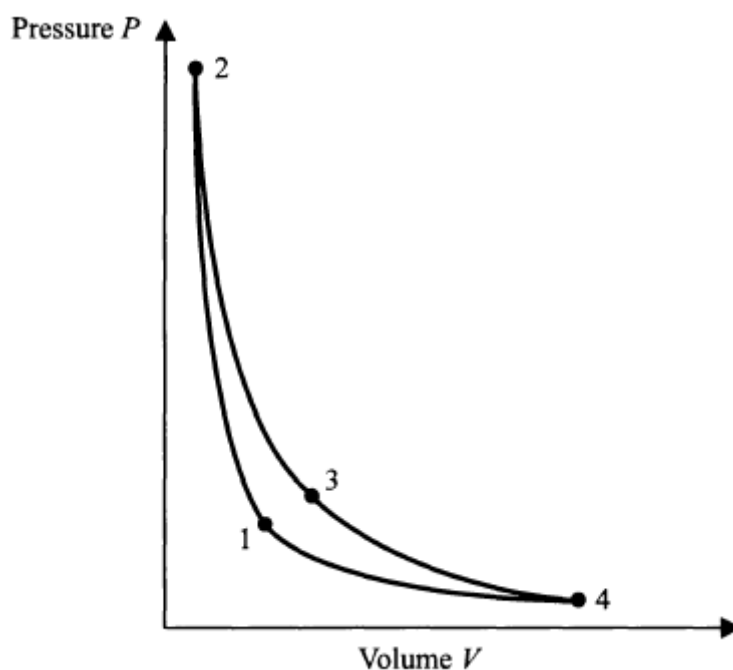
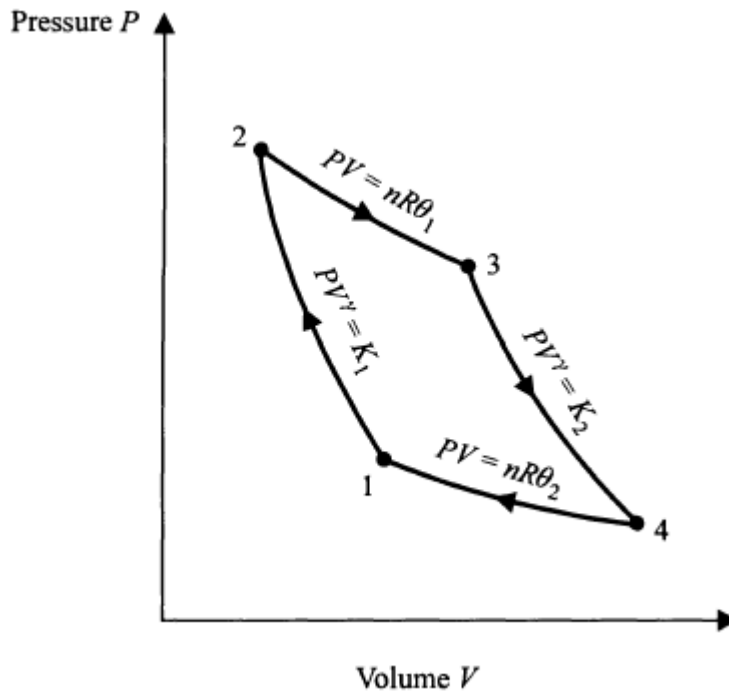
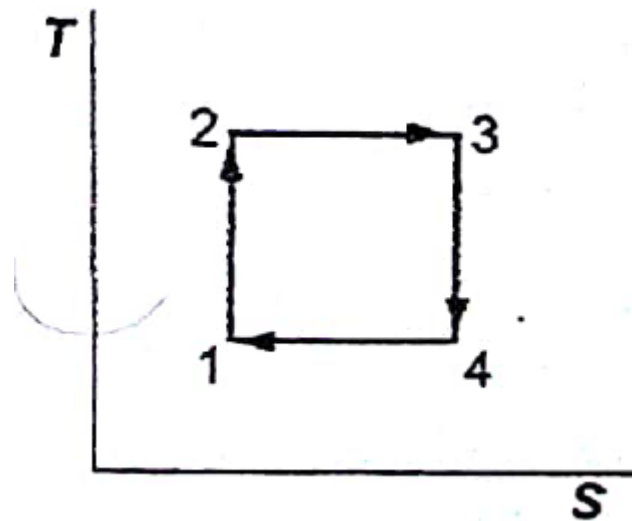


Figura 1: Esquema muito preciso de um Ciclo de Carnot para um gás perfeito com  $\frac{V_3}{V_1} = \frac{3}{2}$  esquematizado no diagrama  $PV$ .



(a) Ciclo de Carnot para um gás perfeito no diagrama  $PV$ . (Nota: Os processos estão esquematizados com linhas espaçadas exageradamente de modo a separar as curvas isotérmicas das curvas adiabáticas.)



(b) Esquema válido para qualquer Ciclo de Carnot no diagrama  $TS$ .

Figura 2: Figuras úteis para a resolução dos problemas [1] e [2].

[7.2] Considere um gás perfeito monoatômico ( $\gamma = \frac{5}{3}$ ) operando no ciclo de Carnot representado na figura (3). Aqui, o ponto 1, no início da compressão adiabática, tem pressão igual a  $P_1 = P_0$  (Pressão Atmosférica de  $1,01 \times 10^5$  Pa), volume  $V_1 = 1,30 \times 10^{-2} \text{ m}^3$  e temperatura  $T_1 = 300$  K. O ponto 3 tem volume igual a  $V_3 = 2,60 \times 10^{-2} \text{ m}^3$  e pressão igual a  $P_3 = 2P_0$ . Calcule os valores de pressão e volume em todos os quatro pontos, seguindo a sugestão da figura (2a). Ciclos de Carnot podem ser mais facilmente entendidos no diagrama  $TS$ , como mostra a figura (2b).

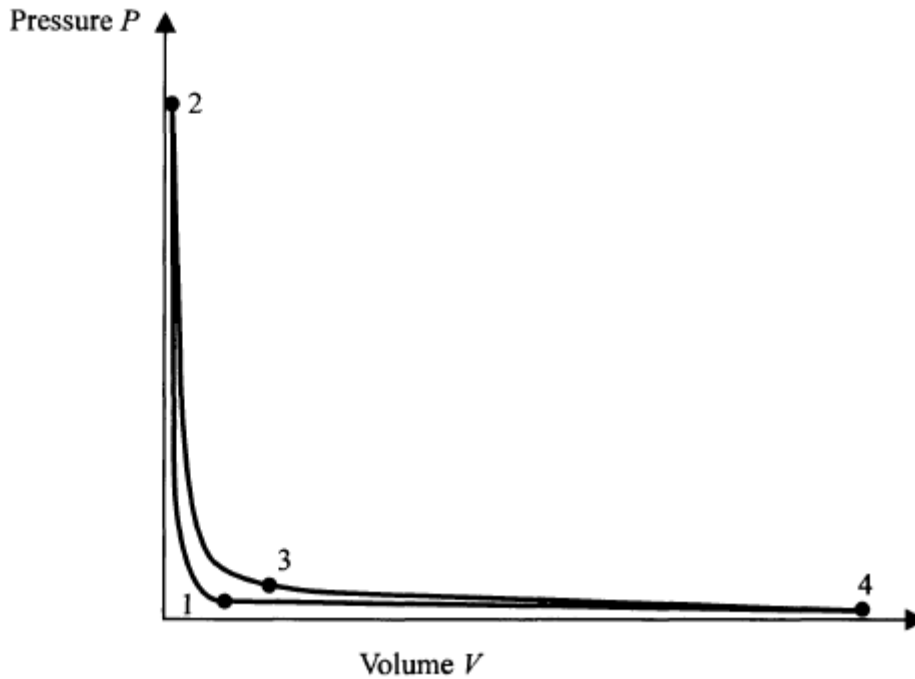


Figura 3: Esquema muito preciso de um Ciclo de Carnot para um gás perfeito com  $\frac{V_3}{V_1} = 2$  esquematizado no diagrama  $PV$ .

- [7.3] Um inventor clama ter desenvolvido um magnífico motor que absorve  $1,05506 \times 10^8$  J de calor a uma temperatura de 400 K, rejeita  $4,220234 \times 10^7$  J de calor a uma temperatura de 200 K, entregando  $5,4 \times 10^7$  J de trabalho. Você investiria seu dinheiro para colocar este motor no mercado?
- [7.4] Um motor operando sob o Ciclo de Carnot (Motor de Carnot) absorve 100 J de calor de um reservatório à temperatura de  $T_H = 373,15$  K e rejeita calor para um reservatório à temperatura de  $T_L = 273,16$  K. Calcule a Eficiência Térmica, o Calor rejeitado e o Trabalho realizado por este motor.
- [7.5] Qual das afirmativas é mais efetiva para aumentar a Eficiência Térmica de um Motor de Carnot: Aumentar  $T_H$  mantendo  $T_L$  constante; Ou diminuir  $T_L$  mantendo  $T_H$  constante? Lembre que:

$$\eta_R = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

- [7.6] Imagine um Motor Irreversível  $I$  e um Motor de Carnot  $R$  operando entre os mesmos reservatórios Quente, com temperatura  $T_H$ , e Frio, com temperatura  $T_L$ . Suponha que eles absorvam diferentes quantidades de calor do Reservatório Quente, entreguem diferentes quantidades de trabalho, mas rejeitem a mesma quantidade de calor para o Reservatório Frio. Prove o *Teorema de Carnot* com a ajuda da Segunda Lei da Termodinâmica no enunciado de *Kelvin-Planck*.
- [7.7] Na seção 7.4, suponha que o o motor  $I$  execute um ciclo irreversível, e assuma que  $\eta_I = \eta_R$ . Mostre que assumir  $\eta_I = \eta_R$  leva a um resultado inconsistente com a irreversibilidade de  $I$ , e que, portanto  $\eta_I \leq \eta_R$ .

- [7.8] Desenhe um diagrama  $PV$  simbólico para um conjunto de Motores de Carnot que possuem as seguintes características: Cada motor absorve o calor rejeitado pelo anterior à temperatura de rejeição, e cada motor entrega a mesma quantidade de trabalho. Mostre que os intervalos de temperatura entre os quais estes motores operam são todos iguais.
- [7.9] Considere um gás, cuja equação de estado é  $P(v-b) = R\Theta$ , e cuja Capacidade Térmica a Volume Constante  $C_V$  é função apenas de  $\Theta$  somente se o gás realiza um Ciclo de Carnot, e prove que  $\Theta = T$ .
- [7.10] O estado inicial de 0,1 mol de um gás perfeito monoatômico ( $\gamma = \frac{5}{3}$ ) é  $P_0 = 32$  Pa e  $V_0 = 8$  m<sup>3</sup>. O estado final é  $P_1 = 1$  Pa e  $V_1 = 64$  m<sup>3</sup>. Suponha que este processo descreva uma *linha reta* no diagrama  $PV$ , descrita pela equação de estado:

$$P = aV + b$$

Onde  $a = -\frac{31}{56} \frac{\text{Pa}}{\text{m}^3}$  e  $b = \frac{255}{7} \text{ Pa}$ .

Desenhe esta reta, em escala, no diagrama  $PV$  e calcule:

- A temperatura  $T$  como função do volume  $V$  ao longo de toda a linha reta, ou seja  $T(V)$ .
  - Os valores de Temperatura Inicial  $T_0$ , Temperatura Final  $T_1$  e Temperatura Máxima  $T_{\text{máx}}$ .
  - O valor de  $V$  quando a temperatura  $T$  é máxima, ou seja  $V(T_{\text{máx}})$ .
  - O Calor Transferido  $Q$  como função do volume  $V$  desde  $V_0$  até qualquer valor arbitrário de volume ao longo de toda a linha reta, ou seja  $Q(V)$ .
  - O Máximo Calor Transferido  $Q_{\text{máx}}$ .
  - O calor transferido de  $V_0$  até  $Q_{\text{máx}}$  e depois de  $Q_{\text{máx}}$  até  $V_1$ .
  - Os valores de Pressão  $P$  e Volume  $V$  quando o calor é máximo, ou seja  $P(Q_{\text{máx}})$  e  $V(Q_{\text{máx}})$ .
- [7.11] Mostre que a curva que descreve os dois estados do problema [10] é uma curva adiabática, ou seja, o processo é adiabático. Um ciclo descrito por J. Willis e D. Kirwan, e chamado de “Ciclo de Carnot Infeliz” ou “Ciclo de Carnot Frustrado”, é obtido procedendo do estado inicial até o estado final ao longo da linha reta especificada no problema [10] e retornando ao estado inicial por outra curva adiabática. Considere o mesmo gás perfeito e estados inicial e final do problema [10] e calcule:
- O trabalho realizado sobre o gás durante os processo adiabático de retorno ao estado inicial.
  - O trabalho realizado em um ciclo.
  - O calor líquido transferido para o gás.
  - A Eficiência Térmica,  $\eta$  do Ciclo de Carnot Frustrado.
  - A Eficiência Térmica de um ciclo de Carnot,  $\eta_C$ , operando entre um reservatório quente cuja temperatura é a Temperatura Máxima do Ciclo de Carnot Frustrado e um reservatório frio cuja temperatura é a Temperatura Mínima do Ciclo de Carnot Frustrado.