F 320 - Termodinâmica
Instituto de Física Gleb Wataghin - UNICAMP

4ª **Lista de Exercícios.** 2ª **Lei da termodinâmica e entropia**

1. Um ciclo arbitrário, isto é, não necessariamente reversível extrai calor $Q_3 > 0$ de um reservatório de temperatura T_3, extrai calor Q_2 de um reservatório de temperatura T_2, e rejeita calor $Q_1 > 0$ para um reservatório de temperatura T_1. Desenvolva detalhadamente a desigualdade de Clausius.

2. $1 \times 10^{-3}\text{m}^3$ de água é aquecida de 20 a 100°C (a), colocando-a em contato com um grande reservatório a 100°C, (b) colocando-a em primeiro lugar em contato com um grande reservatório a 50°C até atingir essa temperatura, e em seguida, em contato com o reservatório a 100°C, e (c) pela operação de uma máquina térmica reversível entre ela e o reservatório a 100°C. Em cada caso, quais são as mudanças de entropia (i) da água, (ii) dos reservatórios, e (iii) do universo?

3. (5-3 do Sears-Salinger) Encontre a variação de entropia do sistema durante os seguintes processos: (a) 1 kg de gelo a 0°C e a pressão de 1 atm derrete a mesma temperatura e pressão. O calor latente de fusão é 3.34×10^5 Jkg^{-1}. (b) 1 kg de vapor a 100°C e a pressão de 1 atm condensa para água a mesma temperatura e pressão. O calor latente de vaporização é 2.26×10^6 Jkg^{-1}.

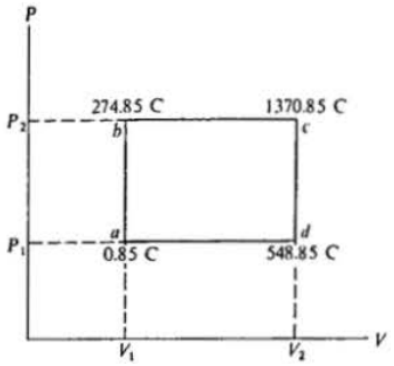

Figure 5–7

4. (5-4 do Sears-Salinger) Um sistema é levado reversivelmente ao longo do ciclo $a-b-c-d-a$ mostrado na figura 5-7. As temperaturas T são dadas em graus Celsius. Assuma que as capacidades caloríficas são independentes da temperatura e que $C_V = 8$ JK^{-1} e $C_P = 10$ JK^{-1}. (a) Calcule o

fluxo de calor $\int dQ$ para o sistema em cada porção do ciclo. De acordo com a primeira lei, qual é o significado da soma desses fluxos de calor? (b) Se $V_1 = 9 \times 10^{-3}$ m^3 e $V_2 = 20 \times 10^{-3}$ m^3, calcule a diferença de pressão $(P_2 - P_1)$. (c) Calcule o valor de $\int \frac{dQ}{T}$ ao longo de cada porção do ciclo. De acordo com a segunda lei, qual é o significado do valor da soma dessas integrais? (d) Suponha que a temperatura T' seja definida como a temperatura em graus Celsius somada a outro valor que não seja 273.15. Seria então verdade que $\oint \frac{dQ}{T'} = 0$? Explique.

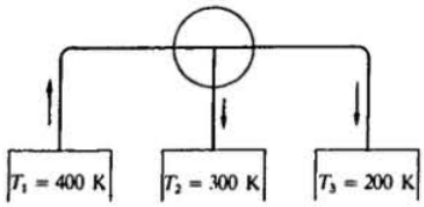

Figure 5–8

5. (5-7 do Sears-Salinger) O círculo mostrado na figura 5-8 representa uma máquina reversível. Durante algum número inteiro de ciclos completos, a máquina absorve 1200 J de um reservatório a 400 K e realiza 200 J de trabalho mecânico. (a) Encontre as quantidades de calor trocadas com os outros reservatórios, e para cada reservatório diga se ele libera ou absorve calor. (b) Encontre a variação de entropia de cada reservatório. (c) Qual é a variação de entropia do universo?

6. (5-9 do Sears-Salinger) Um resistor termicamente isolado de 50 Ω carrega uma corrente de 1 A por 1 s. A temperatura inicial do resistor é 10°C, sua massa é 5 g, e seu calor específico é 850 Jkg^{-1}K^{-1}. (a) Qual é a variação de entropia do resistor? (b) Qual é a variação de entropia do universo?

7. (5-13 do Sears-Salinger) Um sistema é levado reversivelmente ao longo do ciclo $a - b - c - d - a$ mostrado no diagrama $T - S$ da figura 5-9. (a) O ciclo $a - b - c - d - a$ opera como uma máquina térmica ou como um refrigerador? (b) Calcule o calor transferido em cada processo? (c) Encontre a eficiência desse ciclo operando como uma máquina térmica graficamente e por cálculo direto? (d) Qual é o coeficiente de performance desse ciclo operando como um refrigerador?

8. (5-18 do Sears-Salinger) Construa um processo reversível para mostrar expicitamente que a entropia aumenta durante a expansão livre de um gás ideal.

9. (5-19 do Sears-Salinger) Quais são as dificuldades em mostrar explicitamente que a entropia de um gás ideal deve aumentar durante uma compressão adiabática irreversível?

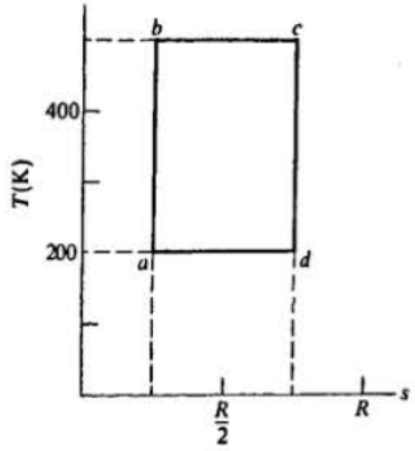

Figure 5–9

10. (5-22 do Sears-Salinger) Um mol de um gás ideal monoatomico inicialmente a temperatura T_i expande adiabaticamente contra um pistão de massa desprezível até que seu volume é dobrado. A expansão não é necessariamente quasistática ou reversível. Pode ser dito, entretanto, que o trabalho realizado, a variação de energia interna, e a variação de entropia do sistema, e a variação de entropia do universo devem estar dentro de certos limites. Avalie os limites para essas quantidades e descreva o processo associado a cada um desses limites.

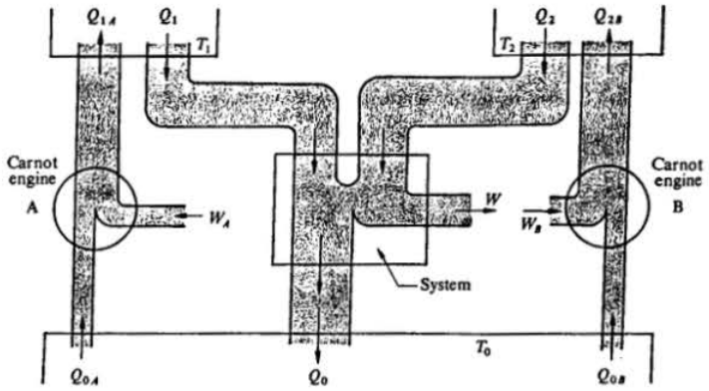

Figure 5–10

11. (5-25 do Sears-Salinger) Use a figura 5-10 para mostrar que sempre que um sistema é levado ao longo de um ciclo fechado, a soma dos fluxos de calor Q_i divididos pelas temperaturas T_i dos reservatórios para cada processo é

menor ou igual a zero; i.e.,

$$\sum_i \frac{Q_i}{T_i} \leq 0.$$

12. (5-27 do Sears-Salinger) Um inventor afirma ter desenvolvido uma máquina que toma 10^7 J a temperatura de 400 K, rejeita 4×10^6 J a temperatura de 200 K, e realiza 3.6×10^6 J de trabalho mecânico. Você aconselharia o investimento de dinheiro para por essa máquina no mercado? Como você descreveria essa máquina?

13. (7-1 do Lemons) Um objeto com capacidade calorífica C absorve calor e tem sua temperatura variada de T_i a T_f. Qual é o aumento de entropia nesse processo?

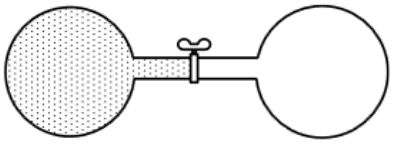

Figura 7-4

14. (7-2 do Lemons) A entropia de cada um dos seguintes sistemas aumenta, diminui, ou permanece constante durante a execução das mudanças de estado especificadas?

    (a) Um grama de água absorve calor suficiente a 373 K e a pressão atmosférica para evaporar.

    (b) Um grama de água congela a temperatura e pressão padrões.

    (c) Um saco de 1 kg de areia cai de uma janela do segundo andar e cai na calçada.

    (d) Um pistão sem atrito comprime de maneira muito devagar um mol de gas contido em um revestimento de paredes adibáticas.

    (e) Um mol de gas é comprimido reversível e isotermicamente.

    (f) Uma torneira de passagem fechada mantém um mol de gas em uma parte de um container de vidro. A outra parte é evacuada e a torneira é aberta.

    (g) O sistema composto é o café quente contido dentro de uma garrafa térmica isolada e um cubo de gelo. O cubo de gelo é colocado dentro da garrafa térmica e a tampa térmica é colocada de volta. O cubo de gelo derrete.

15. (7-3 do Lemons) Calcule a variação de entropia dos sistemas como resultado dos seguintes processos. (Quando necessário, use os dados fornecidos nas tabelas 3.1 e 3.2.) Expresse todas as respostas em unidades do SI.

    (a) 25 g de alumínio derrete.

    (b) 10 g de vapor a 100°C e a pressão atmosférica condensa para água líquida a mesma temperatura e pressão.

    (c) 1 kg de alumínio quente (80°C) é colocado dentro de 2 L de água a 20°C em um recipiente com capacidade calorífica desprezível e paredes adiabáticas. A água e o alumínio chegam ao equilíbrio térmico. Assuma que os calores específicos do alumínio e da água são constantes. [Dica: Primeiro encontre a temperatura do estado de equilíbrio final. Então imagine um processo de fluxo reversível de calor que leva o alumínio e a água de seu estado inicial ao seu estado final e calcule a variação de entropia associada. Como a entropia é variável de estado, o aumento de entropia do processo reversível imaginado deve ser o mesmo aumento de entropia do processo irreversível.]

16. (7-4 do Lemons) Lembre-se que um ciclo de Carnot é um ciclo reversível que extrai calor Q_H de um reservatório quente a temperatura T_H, produz trabalho W, e rejeita calor gasto Q_C para um reservatório frio a temperatura $T_C < T_H$. Ciclos de Carnot são, necessariamente, compostos de quatro partes reversíveis distintas: dois processos isotérmicos e dois processos *isentrópicos* (entropia constante). Por conta dos reservatórios serem de temperatura única e calor ser trocado reversivelmente, a troca de calor ocorre somente nos processos isotérmicos. Como $dS = dQ_{\text{rev}}/T$, os processos reversíveis isentrópicos são, necessariamente, adiabáticos. Expresse o que se segue em termos das temperaturas dos reservatórios de calor, T_H e T_C, e as entropias do sistema, S_1, e $S_2 > S_1$, durante cada processo adiabático.

    (a) O calor absorvido durante o processo isotérmico $(S_1, T_H) \to (S_2, T_H)$;

    (b) O calor reiejtado durante o processo isotérmico $(S_2, T_C) \to (S_1, T_C)$;

    (c) O trabalho total produzido em um ciclo;

    (d) A área total contida pelo ciclo no espaço $S - T$.

17. (7-5 do Lemons) Uma corrente elétrica de 200 mA é mantida por 3 s em um resistor de 20 Ω. A temperatura do resistor permanece constante a 25°C.

    (a) Qual é a variação de entropia do resistor?

    (b) Qual é a variação de entropia das vizinhanças do resistor? [Dica: Considere a similaridade com o gerador de entropia da seção 7.4]

18. (7-6 do Lemons) Considere dois blocos de metal identicos e finitos, cada um com capacidade calorífica constante C. Inicialmente, um está a uma temperatura T_H e o outro está mais frio, com uma temperatura $T_C < T_H$.

(a) Os dois blocos são colocados em contato térmico e deixamos que atinjam equilíbrio. De acordo com o problema 6.8 sua temperatura final é $(T_H + T_C)/2$. Qual é a variação total da entropia dos dois blocos?

(b) Imagine que os dois blocos, novamente a temperaturas T_H e $T_C < T_H$, são permitidos atingir o equilibrio por meio de uma máquina térmica reversível operando entre ambos. De acordo com o problema 6.8 sua temperatura final é $\sqrt{T_H T_C}$. Qual é a variação total de entropia dos dois blocos?

19. (7-7 do Lemons) Um frasco contendo um mol de benzeno líquido em seu ponto normal de solidificação (5.5°C) é colocado em contato térmico com um grande reservatório de água e gelo até que o benzeno tenha se solidificado. O benzeno permanece a 5.5°C. A massa molecular do benzeno é 78.1 g/mol, seu calor de fusão é 30.3 cal/g, e seu calor específico é 0.416 cal/g°C.

    (a) Qual é a queda de entropia do benzeno?

    (b) Qual é o aumento total de entropia do sistema combinado composto pelo benzeno e o reservatório de água e gelo?

Tabelas de dados

TABLE 3.1 Specific heats of common materials at 25°C and atmospheric pressure

Material	Specific heat (cal/g °C)
Aluminum	0.215
Copper	0.093
Gold	0.031
Iron	0.108
Lead	0.031
Mercury	0.033
Silver	0.056
Sodium chloride	0.210
Wood	0.406
Water	1.000

TABLE 3.2 Latent heats of fusion and vaporization and the melting and boiling points for common materials at atmospheric pressure

Substance	Melting point (°C)	Heat of fusion (cal/g)	Boiling point (°C)	Heat of vaporization (cal/g)
Aluminum	660	95.3	2467	2940
Copper	1083	48.9	2567	1147
Gold	1063	48.9	2660	377
Iron	1535	65.6	2750	1503
Lead	328	5.85	1740	208
Mercury	−39	2.82	357	69.3
Nitrogen	−210	6.10	−196	47.8
Oxygen	−219	3.30	−183	50.2
Water	0	80.0	100	539