

Universidade de São Paulo
Instituto de Física de São Carlos
7600023 - Termodinâmica e Física Estatística - 2022-2

Prof. Leonardo Paulo Maia

Prova 02 - 2022/11/22

1. Um gás ideal de coeficiente adiabático γ descreve um ciclo Joule, composto por dois trechos adiabáticos e dois trechos isobáricos. Determine o rendimento desse ciclo apenas em termos de γ e do fator numérico r , $r > 1$, que relaciona os valores extremos de pressão atingidos pelo gás durante o ciclo (explicitamente, $P_{\max} = rP_{\min}$, mas a resposta não pode depender dessas pressões).

2. *Resfriamento radiativo* - Um motor de Carnot realiza trabalho a uma potência P operando entre uma fonte quente à temperatura T_1 e uma fonte fria à temperatura T_2 . Mas a fonte fria é um corpo finito, que mantém sua temperatura constante (apesar de receber descarte térmico) emitindo radiação eletromagnética a uma taxa $\sigma_B A(T_2)^4$, onde σ_B é uma constante universal e A é a área superficial do corpo.

a. Determine P em termos de σ_B , A , T_1 e T_2 .

b. Pensando na área A como uma função de T_2 (todas as demais variáveis mantidas constantes), qual é a menor área que o corpo frio pode apresentar para viabilizar a operação do motor à potência P ?

3. *Motor térmico com 3 reservatórios* - Em um ciclo, um motor térmico reversível só realiza trocas térmicas quando extrai calor Q_1 de uma fonte quente à temperatura T_1 , quando descarta calor Q_2 em uma fonte fria à temperatura T_2 e quando descarta calor bQ_2 ($b > 0$) em uma segunda fonte fria, à temperatura T_3 , $T_2 \leq T_3 \leq T_1$. Todas as demais etapas do ciclo são adiabáticas. Usando apenas as constantes b , T_1 , T_2 e T_3 , determine a eficiência dessa máquina térmica, definida como o quociente entre o trabalho total realizado pelo sistema e o calor extraído da fonte quente. Mostre também que tanto $b \rightarrow 0$ quanto $T_3 \rightarrow T_2$ levam a um resultado conhecido, que deve ser comentado. *DICA: esse ciclo de 3 reservatórios pode ser decomposto em dois ciclos de Carnot OU, até mais diretamente, você pode escrever a desigualdade de Clausius especializada para este específico processo reversível de 3 estados discretos.*

4.

- a. Mostre que se dois corpos finitos inicialmente em temperaturas distintas T_1 e T_2 , $T_1 > T_2$, forem postos em contato térmico, o calor flui espontaneamente do corpo mais quente para o corpo mais frio em qualquer momento antes do equilíbrio térmico ser alcançado.
- b. Justifique porque dois corpos finitos, de capacidades térmicas C_1 e C_2 , inicialmente em temperaturas T_1 e T_2 , respectivamente, eventualmente alcançam a temperatura comum de equilíbrio

$$T_f = \frac{C_1 T_1 + C_2 T_2}{C_1 + C_2}.$$

- c. Mostre que a variação da entropia do universo na termalização desses dois corpos é

$$\Delta S = \log \left(\frac{T_f^{C_1+C_2}}{T_1^{C_1} T_2^{C_2}} \right).$$

- d. Defina $\lambda \equiv C_1/C_2$ e troque C_2 por λ nas expressões dos dois itens acima. Com base nas expressões $(1+x)^{-1} \approx 1-x$ e $\log(1+x) \approx x$ quando $x \ll 1$, obtenha o termo principal de ΔS quando λ é uma perturbação, $\lambda \ll 1$ (ou seja, determine o termo constante de ΔS como uma série de potências em λ).
- e. Qual é a interpretação de $\lambda \rightarrow 0$ no item anterior? Use a resposta do item anterior para obter uma expressão para o crescimento da entropia do universo quando morre um ser humano, identificando as grandezas envolvidas, mas sem qualquer estimativa numérica.