

Termodinâmica - 2/2013

LISTA 6

1. O problema 2 da lista 2 focalizou um gás ideal diatômico conduzido num processo cíclico cujo gráfico $P \times V$ era retangular. Considere agora que este ciclo é usado como uma máquina térmica que converte o calor adicionado ao sistema em trabalho mecânico.

(a) Calcule a eficiência desta máquina se $V_2 = 3V_1$ e $P_2 = 2P_1$.

(b) Calcule a eficiência de uma máquina térmica ideal funcionando entre as mesmas temperaturas extremas alcançadas por este ciclo.

2. O uso do gradiente térmico do oceano já foi proposto como elemento motriz de uma máquina térmica. Suponha que em um certo local a temperatura da superfície do oceano seja de 22°C e que a temperatura no fundo seja 4°C .

(a) Qual seria a eficiência máxima possível para uma máquina térmica operando entre estas duas temperaturas?

(b) Se queremos que esta máquina produza 1 GW de potência elétrica, qual o volume mínimo de água que ela deve processar (retirando calor) por segundo?

3. Para obter mais do que uma quantidade infinitesimal de trabalho de uma máquina de Carnot, deveríamos manter a temperatura de sua substância de trabalho abaixo da temperatura da fonte quente e acima da temperatura do reservatório frio por quantidades finitas. Considere, portanto, um ciclo de Carnot no qual a substância de trabalho esteja a uma temperatura T_{qs} enquanto absorve calor da fonte quente e a uma temperatura T_{fs} quando expõe calor para o reservatório frio. Na maior parte das circunstâncias, a taxa de transferência de calor será proporcional às diferenças de temperatura:

$$\frac{Q_q}{\Delta t} = K(T_q - T_{qs}) \quad \text{e} \quad \frac{Q_f}{\Delta t} = K(T_{fs} - T_f).$$

Vamos supor, por simplicidade, que a constante K seja a mesma para os dois processos. Vamos também supor que os dois processos levam o mesmo tempo para ocorrer, de modo que os Δt são os mesmos nas duas equações.

(a) Suponha que nenhuma entropia nova seja criada ao longo do ciclo, exceto durante os dois processos de transferência de calor, e deduza uma equação que relacione as quatro temperaturas T_q , T_f , T_{qs} e T_{fs} .

(b) Supondo que o tempo de duração dos dois processos adiabáticos seja desprezível, escreva uma expressão para a potência desta máquina. Use as leis da Termodinâmica para exprimir esta potência em termos apenas das quatro temperaturas (e da constante K) e elimine T_{fs} usando o resultado do item (a).

(c) Quando o custo de construção de uma máquina é muito maior que o custo do combustível, como é frequente ocorrer, é desejável otimizar a máquina para obter potência máxima, e não eficiência máxima. Mostre que, para T_q e T_f fixados, a expressão encontrada no item (b) tem valor máximo quando $T_{qs} = \frac{1}{2}(T_q + \sqrt{T_q T_f})$. (Sugestão : Você vai ter que resolver uma equação quadrática.) Encontre uma expressão similar para T_{fs} .

(d) Mostre que a eficiência desta máquina é $1 - \sqrt{T_f/T_q}$. Calcule esta eficiência para uma turbina a vapor movida a carvão típica, na qual $T_q = 600^\circ\text{C}$ e $T_f = 25^\circ\text{C}$, e compare o resultado com a eficiência ideal de Carnot para esta faixa de temperaturas. Qual destes valores mais se aproxima

da eficiência observada de uma turbina de geração de eletricidade movida a carvão real, que é de cerca de 40%?

4. Estime o valor máximo possível do coeficiente de desempenho de um aparelho de ar condicionado caseiro. Apoie este cálculo na escolha de valores para as temperaturas dos reservatórios que sejam realistas.

5. Explique porque um ciclo $P \times V$ retangular, como o do problema 1 desta lista, não pode ser usado ao contrário como um refrigerador.

6. Uma **bomba térmica** é um aparelho elétrico que aquece um edifício bombeando para dentro calor do exterior frio. Em outras palavras, é o mesmo que um refrigerador, só que sua finalidade é aquecer o interior, e não resfriar o exterior (embora ela também o faça). Vamos definir alguns símbolos para as quantidades relevantes na análise deste aparelho, todas tomadas como positivas por convenção.

T_q = temperatura dentro do edifício

T_f = temperatura do ambiente

Q_q = calor que entra no edifício ao longo de 1 dia

Q_f = calor retirado do exterior no mesmo período

W = energia elétrica usada pela bomba ao longo de 1 dia

(a) Explique porque o coeficiente de desempenho de uma bomba térmica deve ser definido como Q_q/W .

(b) Que relação entre Q_q , Q_f e W é imposta pela conservação de energia? A conservação de energia permite que o coeficiente de desempenho seja maior que 1?

(c) Use a segunda lei da Termodinâmica para deduzir um limite superior para o coeficiente de desempenho, envolvendo apenas as temperaturas T_q e T_f .

(d) Explique porque uma bomba térmica é melhor que uma fornalha elétrica, que simplesmente converte trabalho elétrico diretamente em calor. Inclua algumas estimativas numéricas como suporte a esta afirmação.

7. Prove que se dispuséssemos de uma máquina térmica com eficiência superior à de uma máquina ideal, poderíamos conjugá-la com um refrigerador de Carnot para obter um refrigerador que funcionaria sem consumo de energia elétrica.

8. Prove que se dispuséssemos de um refrigerador cujo coeficiente de desempenho fosse maior que seu valor ideal, poderíamos conjugá-lo com uma máquina de Carnot para obter uma máquina que não produz calor desperdiçado.

9. Deduza uma expressão para a eficiência do ciclo de Otto.