

- 01.** Uma máquina térmica absorve 360 J de um reservatório quente e realiza 25,0 J de trabalho em cada ciclo. Determine:
a) a eficiência da máquina;
b) a energia rejeitada para o reservatório frio em cada ciclo.
- 02.** Uma máquina térmica realiza 200 J de trabalho em cada ciclo e tem uma eficiência de 30,0%. Em cada ciclo, determine:
a) o calor absorvido;
b) o calor rejeitado.
- 03.** Uma máquina térmica tem uma potência útil de 5,00 kW e uma eficiência de 25,0%. A máquina rejeita 8,00 kJ de calor em cada ciclo. Determine:
a) a energia absorvida em cada ciclo;
b) a duração de cada ciclo.
- 04.** (Ufsc 2001) Assinale a(s) proposição(ões) CORRETA(S):
01. Sempre que um gás recebe calor, sua temperatura sofre um acréscimo.
02. Em uma transformação isotérmica o sistema não troca calor com o meio externo.
04. Numa compressão adiabática, a temperatura do sistema aumenta.
08. A variação da energia interna de um sistema termodinâmico é dada pela diferença entre a energia trocada com a vizinhança, na forma de calor, e o trabalho realizado pelo sistema, ou sobre o sistema.
16. O motor de combustão interna de um automóvel não é uma máquina térmica, porque não opera entre uma fonte quente e uma fonte fria e em ciclos.
32. Um refrigerador funciona como uma máquina térmica, operando em sentido inverso, isto é, retira calor da fonte fria e, através de trabalho realizado sobre ele, rejeita para a fonte quente.
64. Uma máquina térmica, operando segundo o Ciclo de Carnot, obtém um rendimento de 100%, isto é, converte todo o calor recebido em trabalho.
- 05.** Uma máquina térmica X retira quatro vezes mais calor de um reservatório quente do que uma outra máquina térmica Y. A máquina X realiza um trabalho duas vezes maior, e rejeita sete vezes mais calor para um reservatório frio do que a máquina Y. Determine a eficiência:
a) da máquina X;
b) da máquina Y.
- 06.** Um motor a gasolina de um avião, operando a 2500 ciclos por minuto, retira $7,89 \cdot 10^3$ J e expele $4,58 \cdot 10^3$ J de energia em cada ciclo.
a) Quantos litros de combustível ele consome em uma hora de operação, sabendo que o calor de combustão é $4,03 \cdot 10^7$ J/L?
b) Qual a potência útil do motor?
c) Qual a taxa com que o calor é expelido do motor?
- 07.** Suponha que uma máquina térmica é ligada a dois reservatórios de energia, sendo um deles uma porção de alumínio fundido (660°C), e o outro um bloco de mercúrio sólido ($-38,9^\circ\text{C}$). A máquina opera congelando 1,00 g de alumínio e derretendo 15,0 g de mercúrio em cada ciclo. Os calores latentes de fusão do alumínio e do mercúrio são, respectivamente, $3,97 \cdot 10^5$ J/kg e $1,18 \cdot 10^4$ J/kg. Qual a eficiência dessa máquina? Dados: o ponto de fusão do mercúrio é $-38,9^\circ\text{C}$ e do alumínio é 660°C .

08. A temperatura do reservatório de exaustão de uma máquina de Carnot é de 300°C . Qual a temperatura do reservatório de absorção se a eficiência dessa máquina é 30,0%?

09. Uma máquina térmica operando entre 800°C e $20,0^\circ\text{C}$ atinge 20% de sua máxima eficiência possível. Quanta energia esta máquina precisa absorver para realizar 10 kJ de trabalho?

10. Um gás ideal é submetido a um ciclo de Carnot. A expansão isotérmica ocorre a 250°C , enquanto a compressão isotérmica ocorre a $50,0^\circ\text{C}$. O gás absorve 1200 J de energia do reservatório quente durante sua expansão isotérmica. Determine:
a) a energia expelida para o reservatório frio em cada ciclo;
b) o trabalho líquido realizado pelo gás em cada ciclo.

11. Uma máquina de Carnot tem uma potência útil de 150 kW. A máquina opera entre dois reservatórios a $20,0^\circ\text{C}$ e 500°C .
a) Quanto de energia essa máquina absorve por hora?
b) Quanto de energia essa máquina rejeita por hora?

12. Foi proposta a construção de uma usina de energia elétrica que faria uso do gradiente de temperatura no oceano. O sistema opera entre $20,0^\circ\text{C}$ (temperatura da superfície da água) e $5,00^\circ\text{C}$ (temperatura da água a uma profundidade de cerca de 1 km).
a) Qual a máxima eficiência de tal sistema?
b) Se a potência útil fornecida pela usina é 75,0 MW, quanto de energia é retirado do reservatório quente por hora?
c) Tendo em vista a parte (a), você acha que tal sistema é viável? Note que o "combustível" é grátis.

13. Uma máquina de Carnot utiliza um vaporizador a 100°C como seu reservatório a alta temperatura. O reservatório a baixa temperatura é o ambiente externo a $20,0^\circ\text{C}$. A energia é expelida para o reservatório a baixa temperatura à taxa de 15,4 W.
a) Determine a potência útil fornecida por essa máquina.
b) Qual a massa de vapor que será condensada no reservatório a alta temperatura em uma hora?

14. Uma máquina térmica real, cuja eficiência é 20,0%, é usada para acelerar um trem a partir do repouso até a velocidade de 5,00 m/s. Sabe-se que uma máquina de Carnot usando os mesmos reservatórios, quente e frio, seria capaz de acelerar esse mesmo trem a partir do repouso até a velocidade de 6,50 m/s, usando a mesma quantidade de combustível. As máquinas utilizam o ar a 300 K como reservatório frio. Encontre a temperatura do vapor que serve como reservatório quente.

15. Num ponto A de um ciclo de Carnot, 2,34 mol de um gás ideal monoatômico estão a uma pressão de 1400 kPa, a um volume de 10,0 L e a uma temperatura de 720 K. Ele se expande isotermicamente até o ponto B, e depois adiabaticamente até o ponto C, onde seu volume é de 24,0 L. Uma compressão isotérmica o leva até o ponto D, onde seu volume é de 15,0 L. Um processo adiabático faz o gás retornar até o ponto A.

a) Preencha a tabela abaixo com os valores que estão faltando:

Estado	Pressão (kPa)	Volume (L)	Temperatura (K)
A	1400	10,0	720
B			
C		24,0	
D		15,0	

b) Determine o calor, o trabalho e a variação de energia interna em cada uma das transformações $A \rightarrow B$, $B \rightarrow C$, $C \rightarrow D$ e $D \rightarrow A$.

c) Calcule a eficiência $W_{\text{CICLO}}/Q_{\text{LÍQUIDO}}$ e verifique que de fato isso é igual ao rendimento do ciclo de Carnot, $1 - T_C/T_H$.

PROFESSOR DANILO

EXERCÍCIOS EXTRAS DE MÁQUINAS TÉRMICAS – SEGUNDO ANO – 15/05/2023

16. Uma fornalha está à temperatura de 750 K, enquanto o ambiente está a 300 K. A eficiência de uma máquina de Carnot realizando 150 J de trabalho, enquanto transporta energia entre esses dois banhos de temperatura constante, é de 60,0%. A máquina de Carnot deve absorver $(150 \text{ J})/(0,600) = 250 \text{ J}$ de energia do reservatório quente e rejeitar 100 J de calor para o ambiente. Suponha que uma outra máquina térmica S pudesse, nessas mesmas condições, ter eficiência de 70%.

- Determine a energia absorvida e a energia rejeitada à medida que essa máquina realiza os 150 J de trabalho.
- Agora faça a máquina S operar como no item (a), e coloque a máquina de Carnot para funcionar no sentido reverso. Determine a energia líquida absorvida pela fornalha enquanto as duas máquinas trabalham acopladas, e a energia líquida rejeitada para o ambiente. Mostre que nesse caso o enunciado de Clausius da Segunda Lei da Termodinâmica é violado.
- Determine a energia absorvida e o trabalho realizado pela máquina S enquanto ela rejeita 100 J de energia.
- Faça a máquina S operar como no item (c), contribuindo com 150 J de trabalho para fazer a máquina de Carnot funcionar em sentido reverso, estando as duas novamente acopladas. Determine a energia líquida que a fornalha absorve em cada ciclo, o trabalho líquido realizado e a energia líquida transferida para o ambiente. Mostre que nesse caso o enunciado de Kelvin-Planck da Segunda Lei da Termodinâmica é violado.
- Determine a variação de entropia do Universo e mostre que o enunciado da entropia da Segunda Lei da Termodinâmica é violado.

17. Uma usina de energia opera numa eficiência de 32,0% durante o verão, quando a água do mar, usada para refrigeração, está à temperatura de 20,0 °C. A usina utiliza vapor a 350 °C para movimentar as turbinas. Se a eficiência da usina muda na mesma proporção que a eficiência máxima, qual seria sua eficiência no inverno, em que a água do mar está a 10,0 °C?

18. Uma das máquinas térmicas mais eficientes já construídas está no vale de Ohio, operando entre 430 °C e 1870 °C com carvão na Virgínia Oeste, para fornecer eletricidade para o Meio Oeste americano.

- Qual sua máxima eficiência teórica?
- A eficiência real dessa máquina é de 42%. Qual a potência útil que essa máquina disponibiliza se ela absorve $1,40 \cdot 10^5 \text{ J}$ de energia por em cada segundo de seu reservatório quente?

19. Argônio entra numa turbina a uma taxa de 80,0 kg/min, à temperatura de 800 °C e à pressão de 1,5 MPa. Ele sofre uma expansão adiabática à medida que pressiona as lâminas da turbina e sai a uma pressão de 300 kPa.

- Calcule sua temperatura de saída.
- Calcule a máxima potência útil que a turbina pode fornecer, sendo a massa molar do argônio igual a 40 g/mol.
- A turbina é um componente de um modelo de máquina térmica que opera em ciclos utilizando esse gás. Calcule a máxima eficiência que essa máquina pode atingir.

**REFRIGERADORES E BOMBA DE CALOR**

20. Qual o coeficiente de performance de um refrigerador de Carnot, que opera num ciclo entre as temperaturas de -3,00 °C e +27,0 °C

21. Qual o trabalho necessário para que um refrigerador de Carnot remova 1,00 J de energia do hélio a 4,00 K e a rejeite para uma sala cuja temperatura é de 293 K?

22. Se uma máquina de Carnot for revertida para ser usada como um refrigerador, qual seria seu coeficiente de performance?

23. Um aquecedor é essencialmente um aparelho de ar-condicionado instalado ao contrário. Ele extrai energia do ar de fora, mais frio, e a deposita no quarto, mais quente. Suponha que a razão entre a energia que entra no quarto e o trabalho realizado pelo motor do aquecedor é 10% da razão máxima teórica. Determine a energia que entra no quarto por joule de trabalho realizado pelo motor, dado que a temperatura interna é de 20,0 °C e a temperatura do ar no exterior é de -5,00 °C.

24. Em 1993 o governo norte-americano instituiu a exigência de que todos os aparelhos de ar-condicionado domésticos vendidos nos Estados Unidos deveriam ter um coeficiente de performance maior ou igual a 10. Nos anos 70, era comum encontrar aparelhos de ar-condicionado com coeficientes de performance menores ou iguais a 5. Compare os custos de funcionamento de dois aparelhos de 10.000 Btu/h cujos coeficientes de performance valem, respectivamente, 5,00 e 10,0.

25. Um refrigerador mantém seu compartimento frio a 0 °C, num quarto a 25,0 °C. Ele remove energia desse compartimento numa taxa de 8000 kJ/h.

- Qual a mínima potência necessária para manter esse refrigerador em funcionamento?
- Qual a taxa com que o refrigerador rejeita calor para o quarto?

26. Um refrigerador tem coeficiente de performance igual a 5,00. Ele retira 120 J de energia de um reservatório frio em cada ciclo. Encontre:

- o trabalho necessário em cada ciclo.
- a energia expelida para o reservatório quente em cada ciclo.

27. Um refrigerador tem coeficiente de performance igual a 3,00. O compartimento que contém gelo está a -20,0 °C e a temperatura ambiente é de 22,0 °C. O refrigerador converte 30,0 g de água a 22,0 °C em 30,0 g de gelo a -20,0 °C em cada minuto. Qual a potência do motor desse refrigerador?

28. Qual o máximo coeficiente de performance de um aquecedor que traz energia de fora a -3,00 °C numa casa a 22,0°C? Note que o trabalho feito para fazer o aquecedor funcionar também fica disponível para aquecer a casa.

29. Suponha que você vá morar em alguma região muito fria e que resolva comprar um aquecedor para o seu quarto. Você irá deixar o aquecedor ligado por 8,00 h toda noite, procurando manter o quarto bem aquecido, uma vez que a temperatura ambiente externa é de -3,00 °C. Vai até uma loja comprar um aquecedor resistivo, que utiliza o efeito joule para aquecer o ambiente, mas acaba sendo atendido por um vendedor que afirma ter outro aquecedor que, segundo ele, é revolucionário, pois gasta bem menos energia para aquecer o ambiente.

Olhando o equipamento de perto, você percebe que ele funciona como um refrigerador de Carnot, porém ligado “ao contrário”, pois você pretende aquecer o ambiente, não resfriá-lo. Pesquisando na internet, você descobre que ele possui coeficiente de performance igual à 82% do esperado para um “aquecedor de Carnot”.

Com base nessas informações:

- em função das temperaturas da fonte quente e da fonte fria, respectivamente T_H e T_C , determine o coeficiente de performance k de um “aquecedor de Carnot”.
- sabendo que a potência do aquecedor resistivo que você iria comprar era de 1000 W e que ele seria capaz de manter o ambiente interno a uma temperatura de 17,0 °C, qual deve ser a potência, do consumo de energia elétrica, do equipamento?
- supondo que o kWh seja de R\$ 0,40, qual a economia mensal ao usar o “aquecedor de Carnot”?
- até quanto o “aquecedor de Carnot” pode custar a mais que o aquecedor resistivo para que o investimento seja pago em um ano?

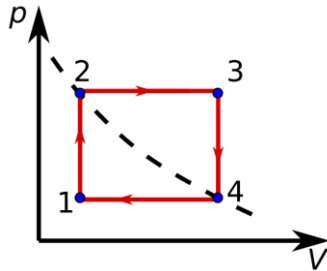
PROFESSOR DANILO

EXERCÍCIOS EXTRAS DE MÁQUINAS TÉRMICAS – SEGUNDO ANO – 15/05/2023

EXTRAS

30. (KÓSEL) Um mol de gás perfeito se encontra em um cilindro, sob o êmbolo, à temperatura T_1 . O gás é aquecido a pressão constante até a temperatura T_2 , logo, a volume constante, se aquece até a temperatura T_3 . Depois o gás se resfria a pressão constante, de maneira que seu volume decresce até o seu valor inicial. Finalmente, a volume constante, o gás volta ao seu estado inicial. Deste modo se consegue que o gás realize um ciclo fechado. Que trabalho realiza o gás durante o ciclo?

31. (KÓSEL) Sobre um mol de gás perfeito se realiza um ciclo fechado consistente em duas isocóricas e duas isobáricas. As temperaturas nos pontos 1 e 3 são iguais respectivamente a T_1 e T_3 . Determinar o trabalho que realiza o gás durante o ciclo sabendo que os pontos 2 e 4 se encontram em uma isoterma.



32. Suponha que você construa um dispositivo utilizando duas máquinas térmicas, de maneira que a energia rejeitada pela primeira é absorvida pela segunda. Dizemos que as duas máquinas estão operando em série. Sejam e_1 e e_2 as eficiências de cada uma delas.

a) A eficiência do dispositivo, como um todo, é definida como o trabalho total realizado, dividido pela energia absorvida como calor pela primeira máquina. Mostre que tal eficiência do dispositivo é dada por: $e = e_1 + e_2 - e_1 \cdot e_2$

b) Assuma que as duas máquinas são máquinas de Carnot. A primeira opera entre as temperaturas T_H e T_M , enquanto a segunda opera entre as temperaturas T_M e T_C . Em termos dessas temperaturas, qual a eficiência do dispositivo como um todo?

c) Qual deve ser o valor da temperatura intermediária T_M para que as duas máquinas em série realizem o mesmo trabalho?

d) Qual deve ser o valor da temperatura intermediária T_M para que as duas máquinas em série tenham a mesma eficiência?

33. Duas máquinas de Carnot têm a mesma eficiência. Uma delas é revertida para ser usada como aquecedor, enquanto a outra é revertida para ser usada como refrigerador. O coeficiente de performance do aquecedor é 1,50 vezes o coeficiente de performance do refrigerador. Determine:

- a) o coeficiente de performance do refrigerador;
- b) o coeficiente de performance do aquecedor;
- c) a eficiência de cada máquina térmica.

34. Um refrigerador ou aquecedor de Carnot é uma máquina de Carnot operando em sentido reverso, isto é, energia Q_C é retirada de um reservatório frio e uma energia Q_H é rejeitada para um reservatório quente.

a) Mostre que o trabalho que deve ser realizado sobre o refrigerador (ou o aquecedor) para que ele funcione é

$$W = \frac{T_H - T_C}{T_C} Q_C.$$

b) Mostre que o coeficiente de performance do refrigerador de Carnot é dado por $k = \frac{T_C}{T_H - T_C}$.

35. (KÓSEL) Uma das causas de que na atmosfera a temperatura decresça ao aumentar a altura é a expansão do ar nos fluxos ascendentes sem trocas de calor com o meio circundante. Considerando o ar com um gás perfeito, encontrar o decréscimo de temperatura para cada $h = 100$ m de altura.

GABARITO

- 01. a) 6,94% b) 335 J
- 02. a) 667 J b) 467 J
- 03. a) 10,7 kJ b) 0,533 s
- 04. Soma = 44
- 05. a) 30,0% b) 60,0%
- 06. a) 29,4 L/h b) 138 kW
- c) 191 kW
- 08. 546 °C
- 09. 197 kJ
- 10. a) 741 J b) 459 J
- 11. a) 869 MJ b) 330 MJ
- 12. a) 5,12% b) $5,27 \cdot 10^{12}$ J
- c) Sim, pois usa energia solar
- 13. a) 4,20 W b) $3,12 \cdot 10^{-2}$ kg
- 14. 453 K
- 15. a)

Estado	Pressão (kPa)	Volume (L)	Temperatura (K)
A	1400	10,0	720
B	875	16,0	720
C	445	24,0	549
D	712	15,0	549

- b)
- Processo Q (kJ) W (kJ) ΔU (kJ)
- A → B 6,58 6,58 0
- B → C 0 4,98 -4,98
- C → D -5,02 -5,02 0
- D → A 0 -4,98 4,98
- c) 23,7%
- 16. a) 214 J e 64,3 J b) -35,7 J e -35,7 J (iguais)
- c) 333 J e 233 J d) 83,3 J, 83,3 J (iguais) e 0 J
- e) -0,111 J/K (negativa!)
- 17. 33,0%
- 18. a) 67,2% b) 58,8 kW
- 19. a) 291 °C b) 212 kW
- c) 47,5%
- 20. 9
- 21. 72,2 J
- 22. $\eta = \frac{T_C}{T_H - T_C}$ onde T_C é a temperatura da fonte fria e T_H é a temperatura da fonte quente.
- 23. 1,17 J
- 24. Bom
- 25. a) 204 W b) 2,43 kW
- 26. a) 24,0 J b) 144 J
- 27. 77,8 W
- 28. 11,8
- 29. a) $k = \frac{T_H}{T_H - T_C}$
- b) $P = 184$ W
- c) Cerca de R\$ 174
- d) Até R\$ 2092 a mais
- 30. $W = W_{12} + W_{34} = -R(T_3 - T_2)(1 - T_1 / T_2)$
- 31. $A = R(T_1 + T_3 - 2\sqrt{T_1 T_3}) = R(\sqrt{T_1} - \sqrt{T_3})^2$
- 32. b) $e = 1 - \frac{T_C}{T_H}$ c) $T_M = \frac{T_H + T_C}{2}$ d) $T_M = \sqrt{T_H \cdot T_C}$
- 33. a) 2,00 b) 3,00 c) 33,3 %
- 34. Demonstração
- 35. $\Delta T = \mu gh / (C_v + R) = \mu gh / C_p \approx 1K$