

FÍSICA

TERMODINÂMICA

■ CAPÍTULO 1

DIAGRAMA DE FASES / ESTUDO DOS GASES

Conexões

1. A perda súbita de consciência é o sintoma mais comum; ela pode ou não ser acompanhada por convulsões. Às vezes surgem sintomas como uma confusão ou agitação e até uma paralisia parcial.
- Se os pulmões se insuflarem em excesso, pode acontecer que o ar do seu interior chegue aos tecidos que envolvem o coração (enfisema mediastínico) ou até por baixo da pele (enfisema subcutâneo). Por vezes, os pulmões excessivamente carregados rebentam, liberando ar para o espaço que separa os pulmões da parede torácica (pneumotórax). Como consequência, os pulmões entram em colapso, provocando falta de ar e dor no peito. Os sintomas que indicam que existe uma lesão pulmonar podem ser a expectoração com sangue ou a saída de espuma ensanguentada pela boca.
2. Uma vítima de embolia gasosa deve regressar rapidamente a um ambiente com alta pressão, para que as bolhas se comprimam e se dissolvam no sangue. Alguns centros médicos contam com câmaras de alta pressão (câmaras de recompressão ou hiperbáricas) para esse fim. A pessoa deve ser transportada até à câmara o mais rapidamente possível, enquanto lhe é fornecido oxigénio através de uma máscara facial bem ajustada.

Complementares

9. d
A água líquida proveniente da transpiração, a temperaturas muito baixas, poderia se transformar em gelo, ou seja, solidificar.
10. c
Quanto maior a altitude, menor a pressão atmosférica (veja a tabela). Quanto menor a pressão de vapor, menor a temperatura (veja o gráfico). Assim, quanto maior a altitude, menor a pressão de vapor.
11. c
Observando-se o gráfico, para pressões acima de 5,1 atm e temperaturas inferiores a $-56,6^\circ\text{C}$, pode-se verificar a substância no estado sólido.
12. d
I. Correto. Ocorre a passagem diretamente da fase sólida para a gasosa e vice-versa, portanto: sublimação.
II. Correto. Esta mudança de fase só é possível se a pressão for inferior à pressão do ponto triplo.

III. Incorreto. O gelo sofrerá sublimação quando a temperatura aumentar, porém com pressão abaixo à do ponto triplo.

21. d

Sabendo que a temperatura inicial é $T_0 = 273 + C_0$, em que C_0 é a temperatura inicial na escala Celsius, e a temperatura final é:
 $T = 273 + 2 \cdot C_0$:

$$\frac{P_0 \cdot V_0}{T_0} = \frac{P \cdot V}{T} \Rightarrow \frac{P_0 \cdot V_0}{T_0} = \frac{(3 \cdot P_0) \cdot \left(\frac{V_0}{2}\right)}{T} \Rightarrow 2 \cdot T = 3 \cdot T_0$$

$$2 \cdot (273 + 2 \cdot C_0) = 3 \cdot (273 + C_0) \Rightarrow C_0 = 273^\circ\text{C}$$

$$\text{E, assim, } T_0 = 273 + C_0 = 273 + 273 = 546\text{ K}$$

22. c

A válvula abre quando a pressão do ar na bomba for igual à pressão do ar na bola, sendo a transformação isotérmica:

$$P_1 \cdot V_1 = P_0 \cdot V_0$$

$$\text{E ainda: } V_1 = \frac{2}{3} \cdot V_0 \Rightarrow P_1 \cdot \frac{2}{3} \cdot V_0 = P_0 \cdot V_0 \Rightarrow P_1 = \frac{3}{2} \cdot P_0$$

23. a) De acordo com o estado inicial do gás, temos:

$$p_0 \cdot V_0 = n \cdot R \cdot T_0 \Rightarrow 10^5 \cdot 2 = n \cdot 8,3 \cdot 300 \Rightarrow n = 80,3 \text{ mol}$$

b) Como o processo é isobárico:

$$\frac{V_0}{T_0} = \frac{V}{T} \Rightarrow \frac{V_0}{V} = \frac{T_0}{T} \text{ ou } \frac{V}{V_0} = \frac{T}{T_0} \quad (\text{I})$$

Pela equação que determina o volume final atingido pelo gás, considerando a dilatação sofrida, temos:

$$V = V_0 \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta T) \Rightarrow \frac{V}{V_0} = 1 + \gamma \cdot (T - T_0) \quad (\text{II})$$

Igualando (I) em (II), temos:

$$\frac{T}{T_0} = 1 + \gamma \cdot (T - T_0) \Rightarrow \frac{T}{T_0} - 1 = \gamma \cdot (T - T_0) \Rightarrow \frac{T - T_0}{T_0} = \gamma \cdot (T - T_0) \Rightarrow \gamma = \frac{1}{T_0}$$

24. b

De $p_1 \cdot V = \frac{m_1}{M} \cdot R \cdot T$ e $p_2 \cdot V = \frac{m_2}{M} \cdot R \cdot T$, obtemos:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{m_1}{m_2} \Rightarrow \frac{200}{160} = \frac{m_1}{m_2} \Rightarrow m_2 = 0,8 \cdot m_1 \Rightarrow m_2 = 80\% \cdot m_1$$

Assim, a massa de gás que escapa corresponde a 20% da massa inicial.

Tarefa proposta

1. d

Sublimação: sólido para gasoso.

2. e

Esta substância comporta-se como uma exceção; portanto, quando a pressão aumenta, sua temperatura de fusão diminui.

3. c

A temperatura de mudança de fase de uma substância depende da pressão ambiente em que ela estiver.

4. d

A temperatura de uma mudança de fase de uma substância pura só se altera quando a pressão à qual está submetida varia.

5. Trata-se do processo de sublimação e, portanto, da passagem de água (sólida) para água (vapor), que está representada pela seta c.

6. c

Para que os blocos fiquem grudados é necessário que a água proveniente de sua fusão solidifique, assim é necessária, inicialmente, a fusão de parte do gelo, o que ocorre pelo aumento da pressão, e o regelo acontece porque a temperatura de fusão/solidificação foi diminuída.

7. b

Ao se puxar o êmbolo, há uma diminuição na pressão do ar no seu interior. Com isso, a temperatura de ebulição da água diminui e, por alguns instantes, podemos notar sua ebulição.

8. F – V – V – F

I. De acordo com o gráfico, é possível para valores de pressão bem baixos.

IV. É possível, desde que seja em altas pressões.

9. a

Como a temperatura de fusão diminui com o aumento da pressão, esta substância comporta-se como uma exceção, portanto seu volume aumenta na solidificação e diminui na fusão.

10. a) A 100 °C, a pressão atmosférica é de 10,0 N/cm².

b) A 100 °C, a pressão no interior da panela é de 15,0 N/cm².

$$c) p = \frac{F}{A} \Rightarrow F = p \cdot A = 5,0 \cdot 0,20 \Rightarrow F = 1 \text{ N}$$

11. d

A partir da curva de fusão/solidificação, curva entre as regiões I e II, verifica-se que um aumento na pressão acarreta uma diminuição na temperatura da transição sólido/líquido, ou líquido/sólido, ou seja, uma diminuição da temperatura de fusão.

12. b

O líquido mais volátil se vaporiza à menor temperatura para determinada pressão, portanto, do gráfico a 760 mmHg (1 atm); líquido I, à temperatura de 70 °C.

Logo a mistura menos volátil se vaporiza à maior temperatura, logo, novamente para 760 mmHg: mistura IV, à temperatura de 100 °C.

13. b

Na experiência de Tyndal, o aumento da pressão do arame sobre o gelo provoca a diminuição da temperatura de fusão, fazendo o gelo derreter a temperaturas abaixo de 0 °C. Após a passagem do arame, a pressão volta ao normal e a água proveniente da fusão solidifica.

14. Soma = 45 (01 + 04 + 08 + 32)

(02) Errada. A linha representa o equilíbrio entre os estados sólido e líquido.

(16) Errada. Estão em equilíbrio as fases sólida e líquida.

15. a) Consultando-se a tabela e o gráfico:

$$p = 880 \text{ mmHg} \Rightarrow T = 105 \text{ °C} \Rightarrow t = 20 \text{ min}$$

b) A 800 m de altitude, a pressão diminui em 10 mmHg a cada 100 m, então:

$$p = 760 - 80 = 680 \text{ mmHg} \Rightarrow T = 97 \text{ °C} \Rightarrow t = 60 \text{ min}$$

c) Ao nível do mar, $t = 40 \text{ min}$, então:

$$\bullet t' = 80 \text{ min} \Rightarrow T' = 95 \text{ °C} \Rightarrow p' = 640 \text{ mmHg}$$

$$\bullet p = 760 - 640 = 120 \text{ mmHg} \Rightarrow h = 1.200 \text{ m}$$

16. c

De acordo com o texto e também com o diagrama de fases da água, sua temperatura de ebulição diminui com a diminuição da pressão atmosférica, portanto, diminui com o aumento da altitude. Assim é maior em Santos que em São Paulo.

17. a) Água a 0 °C é menos densa que água a 4 °C e, portanto, na superfície, ela pode congelar antes que nas demais profundidades.

b₁) A temperatura de ebulição em Belo Horizonte é menor do que no Rio de Janeiro, pois do diagrama para pressões inferiores a 1 atm (Belo Horizonte) a água ferve a temperaturas menores do que 100 °C.

b₂) A temperatura de fusão em Belo Horizonte é maior do que no Rio de Janeiro, pois no Rio o gelo se funde a 0 °C e do diagrama para pressões menores do que 1 atm (Rio) a temperatura de fusão do gelo é maior que 0 °C.

18. b

Pelo fato de a pressão no interior da panela ser aumentada durante o aquecimento, a temperatura de ebulição sofre um aumento, permitindo que a água ferva a uma temperatura acima de 100 °C (ponto de ebulição à pressão atmosférica: 1 atm).

19. a) Nos dois procedimentos, temos a evaporação em razão do aumento da área molhada em contato com o ar.

b) Sendo $Q = m \cdot L$ e $d = \frac{m}{V} \Rightarrow m = d \cdot V$, temos:

$$Q = d \cdot V \cdot L = d \cdot A \cdot e \cdot L$$

Assim:

$$Q = 1.000 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 2,3 \cdot 10^6 \Rightarrow Q = 1,15 \cdot 10^6 \text{ J}$$

A sensação de frio que sentimos deve-se à perda de energia do nosso corpo para evaporar a água.

20. c

O texto diz respeito à evaporação: moléculas do líquido adquirem energia suficiente para escapar para a atmosfera.

21. d

$$\frac{P \cdot V}{T} = \frac{P_0 \cdot V_0}{T_0} \Rightarrow \frac{\frac{2}{3} \cdot P_0 \cdot V}{\frac{5}{4} \cdot T_0} = \frac{P_0 \cdot V_0}{T_0} \Rightarrow \frac{V_0}{V} = \frac{\frac{2}{3}}{\frac{5}{4}} = \frac{8}{15}$$

22. b

Como o pistão pode mover-se livremente, a transformação é isobárica, portanto: $p = \text{constante}$.

23. Transformação isométrica: $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$

$$\text{Assim: } \frac{30}{20 + 273} = \frac{35}{T_2} \Rightarrow T_2 = 342 \text{ K}$$

Em °C, temos: 69 °C

24. d

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 \Rightarrow 2,5 \cdot V_1 = 1 \cdot V_2 \Rightarrow V_2 = 2,5 \cdot V_1$$

25. b

Sendo a temperatura constante: $p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$

Como $p_2 < p_1$ (na subida, a pressão diminui), temos: $V_2 > V_1$

26. a

• Transformação XY: isotérmica.

$$p_x \cdot V_x = p_y \cdot V_y \Rightarrow 12 \cdot V_x = 4 \cdot 8 \Rightarrow V_x \approx 2,7 \text{ L}$$

• Transformação YZ: isobárica.

$$\frac{V_y}{T_y} = \frac{V_z}{T_z} \Rightarrow \frac{8}{T_y} = \frac{5}{100} \Rightarrow T_y = 160 \text{ K}$$

Como $T_x = T_y$, temos: $T_x = 160 \text{ K}$

27. d

Processo (I):

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{V_1}{300} = \frac{2 \cdot V_1}{T_2} \Rightarrow T_2 = 600 \text{ K}$$

Processo (II):

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 \Rightarrow 4 \cdot 2V_1 = p_2 \cdot V_1 \Rightarrow p_2 = 8 \text{ atm}$$

28. e

$$p \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T$$

Para a amostra 1:

$$1,0 \cdot 10 = \frac{4,0}{M} \cdot R \cdot 300 \Rightarrow \frac{R}{M} = \frac{1}{120}$$

Para a amostra 2:

$$0,5 \cdot 20,0 = \frac{3,0}{M} \cdot R \cdot T \Rightarrow 10,0 = \frac{3,0}{120} \cdot T \Rightarrow T = 400 \text{ K} \Rightarrow t = 127 \text{ °C}$$

29. d

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow 16,6 \cdot 10^5 \cdot 0,0001 = 1 \cdot 8,3 \cdot T \Rightarrow T = 200 \text{ K}$$

$$F = P \cdot A = 16,6 \cdot 10^5 \cdot 0,01 = 16,6 \cdot 10^3 \text{ N}$$

30. b

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow 3,0 \cdot 2,05 = \frac{6,0}{32} \cdot 0,082 \cdot T \Rightarrow T = 400 \text{ K ou}$$

$t = 127 \text{ °C}$

31. b

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Antes da abertura:

$$4,8 \cdot 4 = n_1 \cdot R \cdot T \Rightarrow n_1 = \frac{4,8 \cdot 4}{R \cdot T}$$

Depois da abertura:

$$2,4 \cdot 10 = n \cdot R \cdot T \Rightarrow n = \frac{2,4 \cdot 10}{R \cdot T}$$

Logo:

$$\frac{n_1}{n} = \frac{\frac{4,8 \cdot 4}{R \cdot T}}{\frac{2,4 \cdot 10}{R \cdot T}} = \frac{4}{5} = 0,8 = 80\%$$

32. b

Considerando que o número de mols é dado por:

$$n = \frac{p \cdot V}{R \cdot T}, \text{ e sendo } R \cdot T \text{ constante, } n \text{ é diretamente proporcional}$$

ao produto $p \cdot V$. Sendo assim, em II, temos o maior produto.

■ CAPÍTULO 2

TRABALHO TERMODINÂMICO

Conexões

1. Função hipérbole equilátera.
2. Hipérbole.
3. Logaritmo na base e , em que e é o número de Euler.

Complementares

9. Soma = 25 (01 + 08 + 16)

(01) Correta. $\zeta = p \cdot \Delta V \Rightarrow \zeta = 4 \text{ atm} \cdot (3 - 1,5) \text{ L} \Rightarrow \zeta = 6 \text{ atm} \cdot \text{L}$

(02) Errada. A transformação BC é isotérmica, e há realização de trabalho, pois há variação de volume.

(04) Errada. Na transformação isométrica não há realização de trabalho, pois o volume é constante.

(08) Correta. Observe que $p_A \cdot V_A = p_D \cdot V_D$ (transformação isotérmica) e, como $p_A \cdot V_A < p_B \cdot V_B$, a temperatura na transformação DA é menor que na transformação BC.

(16) Correta. Na transformação DA, o gás sofre compressão; o trabalho é realizado sobre ele. Em módulo, o trabalho realizado (área delimitada pela linha curva) é menor que a área do trapézio delimitada pelos pontos A e D com o eixo horizontal. Assim:

$$\zeta_{DA} < \frac{4 + 1,5}{2} \cdot 2,5 \Rightarrow \zeta_{DA} < 6,875 \text{ atm} \cdot \text{L}$$

10. a) O trabalho realizado pode ser encontrado por:

$$\zeta = p \cdot (V_2 - V_1) \text{ e com } p = \text{cte}$$

$$\zeta = 1 \cdot 10^5 \cdot (3 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-3}) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \zeta = 2 \cdot 10^2 \text{ J}$$

b) Pela equação da transformação isobárica, temos:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{V_1}{27 + 273} = \frac{3V_1}{T_2} \Rightarrow T_2 = 900 \text{ K}$$

11. a

Expansão isobárica $\Rightarrow p = \text{cte}$

Como volume e temperatura são diretamente proporcionais, a temperatura aumenta.

Como o trabalho foi realizado sobre o sistema, temos $\zeta < 0$. Assim:

$$\zeta = -p \cdot \Delta V = -p \cdot A \cdot h \Rightarrow \zeta = -10^5 \cdot 10 \cdot 10^{-4} \cdot 5 \cdot 10^{-2} \Rightarrow \zeta = -5 \text{ J}$$

12. a) $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$

$$3 \cdot 8 = 1 \cdot 0,082 \cdot T_A$$

$$T_A = \frac{24}{0,082} \Rightarrow T_A \approx 293 \text{ K}$$

b) Sendo a transformação AB isobárica, o trabalho é dado por:

$$\zeta = p \cdot \Delta V = 3 \cdot (10 - 8) \Rightarrow \zeta = 6 \text{ atm} \cdot \text{L} = 600 \text{ J}$$

c) O estado C está na mesma isoterma do estado A. Portanto, temos:

$$T_C = T_A \Rightarrow T_C \approx 293 \text{ K}$$

21. e

$$\zeta = A_{\text{int.}} = \frac{20 \cdot 8 \cdot 10^5}{2} = 8 \cdot 10^6 \text{ J}$$

22. c

Calculando o trabalho por meio da área do ciclo, temos:

$$\zeta \stackrel{N}{=} \text{Área} \Rightarrow \zeta = 3 \cdot 10^{-4} \cdot 4 \cdot 10^5 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \zeta = 12 \cdot 10^1 \Rightarrow \zeta = 120 \text{ J}$$

23. c

A área sob a transformação isotérmica (3) – (1) é maior que a área sob a transformação isobárica (1) – (2), além disso, de (1) para (2) ocorre compressão gasosa; logo, o trabalho é negativo. Na transformação isovolumétrica (2) – (3), o trabalho é nulo.

24. a) Transformação AB: pressão constante, volume aumenta e temperatura aumenta.

Transformação BC: pressão diminui, volume constante e temperatura diminui.

Transformação CA: pressão aumenta, volume diminui e temperatura constante.

b) Como $V_B = 3 \cdot V_A$, temos $T_B = 3 \cdot T_A$. Assim: $T_B = 900 \text{ K}$

A transformação CA é isotérmica. Então: $T_C = T_A = 300 \text{ K}$

c) O trabalho realizado em cada ciclo é:

$$\zeta_{ABC} = \zeta_{AB} + \zeta_{BC} + \zeta_{CA}$$

Como o trabalho na transformação BC é igual a zero, pois o volume é constante, temos:

$$\zeta_{ABC} = \zeta_{AB} + \zeta_{CA} \Rightarrow \zeta_{ABC} = p \cdot \Delta V_{AB} + \zeta_{CA} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \zeta_{ABC} = 3 \cdot 10^5 \cdot (0,6 - 0,2) + (-6,6 \cdot 10^4) \Rightarrow \zeta_{ABC} = 5,4 \cdot 10^4 \text{ J}$$

Tarefa proposta

1. a

$$\zeta = p \cdot \Delta V \Rightarrow \zeta = 2 \cdot 10^5 \cdot 3 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \zeta = 6 \cdot 10^2 = 600 \text{ J}$$

2. a

$$\zeta = p \cdot \Delta V \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 30 = p \cdot (5 - 2) \Rightarrow p = 10 \text{ N/m}^2$$

3. $\zeta_{ABC} = \zeta_{AB} + \zeta_{BC}$

O trabalho na transformação BC é igual a zero, pois o volume é constante. Assim:

$$\zeta_{ABC} = \zeta_{AB} \Rightarrow \zeta_{ABC} = p \cdot \Delta V_{AB} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \zeta_{ABC} = 1 \cdot 10^5 \cdot (7,0 - 2,0) \cdot 10^{-3} \Rightarrow \zeta_{ABC} = 5 \cdot 10^2 \text{ J}$$

4. c

$$\zeta = 5 \cdot 10^5 \cdot (5,0 - 2,0) = 15 \cdot 10^5 = 1,5 \cdot 10^6 \text{ J}$$

5. d

Como $\zeta \stackrel{N}{=} \text{Área}$, temos: $W_I > W_{II} > W_{III}$

6. b

$$\zeta = p \cdot \Delta V = 5 \cdot 10^4 \cdot (7,5 - 5,0) \cdot 10^{-3} = 12,5 \cdot 10^1 = 125 \text{ J}$$

7. $\zeta \stackrel{N}{=} \text{Área} \Rightarrow \zeta = \frac{2p_0 + p_0}{2} \cdot \left(V_0 - \frac{2V_0}{3} \right) \Rightarrow$

$$\Rightarrow \zeta = \frac{3}{2} \cdot p_0 \cdot \frac{1}{3} \cdot V_0 \Rightarrow \zeta = \frac{p_0 \cdot V_0}{2}$$

8. d

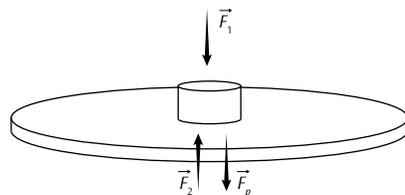
$$\zeta_{ABC} = \zeta_{AB} + \zeta_{BC}$$

No trecho BC, o trabalho é nulo, pois não há variação de volume. Já no trecho AB, temos uma transformação isobárica. Portanto, temos

$$\zeta_{ABC} = p \cdot \Delta V + 0 \Rightarrow \zeta_{ABC} = 50 \cdot (7 - 1) \Rightarrow \zeta_{ABC} = 300 \text{ J}$$

9. Pela lei dos gases: $\frac{p_1 \cdot V_1}{T} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T} \Rightarrow p_2 = \frac{p_1 \cdot h_0}{h}$

No êmbolo, temos:



$$F_1 = p_1 \cdot A$$

$$F_2 = p_2 \cdot A$$

$$p_1 \cdot A + mg = p_2 \cdot A \Rightarrow m = \frac{A \cdot (p_2 - p_1)}{g}$$

$$\Rightarrow m = \frac{p_1 \cdot A}{g} \cdot \left(\frac{h_0}{h} - 1 \right) \Rightarrow m = \frac{10^5 \cdot 20 \cdot 10^{-4}}{10} \cdot \left(\frac{1}{0,8} - 1 \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m = \frac{200}{40} \Rightarrow m = 5 \text{ kg}$$

10. a) $F_{\text{gás}} = F_{\text{emb}} + F_{\text{atm}}$

$$F_{\text{gás}} = m_{\text{emb}} \cdot g + p_{\text{atm}} \cdot A$$

$$F_{\text{gás}} = 0,3 \cdot 10 + 10^5 \cdot 8 \cdot 10^{-4}$$

$$F_{\text{gás}} = 3 + 80 \Rightarrow F_{\text{gás}} = 83 \text{ N}$$

b) Equação de Clapeyron

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$\frac{F_{\text{gás}}}{A} \cdot A \cdot h = n \cdot R \cdot T$$

$$83 \cdot h = 4 \cdot 10^{-3} \cdot 8,3 \cdot 300$$

$$h = 0,12 \text{ m} = 12 \text{ cm}$$

c) Considerando a pressão constante, temos:

$$p \cdot V' = n \cdot R \cdot T'$$

$$\frac{F_{\text{gás}}}{A} \cdot A \cdot h' = n \cdot R \cdot T$$

$$83 \cdot h' = 4 \cdot 10^{-3} \cdot 8,3 \cdot 330$$

$$h' = 0,132 \text{ m} = 13,2 \text{ cm}$$

$$\Delta h = 13,2 - 12 = 1,2 \text{ cm}$$

$$\bar{C}_{\text{gás}} = F_{\text{gás}} \cdot \Delta h = 83 \cdot 0,012 \Rightarrow \bar{C}_{\text{gás}} = 0,996 \text{ J}$$

11. b

Como o trabalho é, numericamente, igual à área, ele é máximo para a maior área. No gráfico, a maior área se obtém na transformação ABC.

12. a) $p_A \cdot V_A = p_B \cdot V_B \Rightarrow p_A \cdot V_A = p_B \cdot 3V_A \Rightarrow p_B = \frac{p_A}{3}$

b) $\bar{C} = p_B \cdot (V_A - 3V_A) = -\frac{p_A}{3} \cdot 2V_A = -\frac{2}{3} p_A \cdot V_A$

13. d

De acordo com a lei geral dos gases, temos:

$$\frac{2p_1 \cdot V_1}{T_a} = \frac{p_1 \cdot 2V_1}{T_c} \Rightarrow T_a = T_c \Rightarrow \begin{cases} \text{I: incorreta} \\ \text{II: correta} \end{cases}$$

$$\frac{2p_1 \cdot 2V_1}{T_b} = \frac{p_1 \cdot V_1}{T_d} \Rightarrow T_b = 4T_d$$

Em relação aos trabalhos, temos:

$$\bar{C}_{AB} = 2p_1 \cdot V_1 \text{ e } \bar{C}_{CD} = -p_1 \cdot V_1$$

Assim, temos: $|\bar{C}_{AB}| > |\bar{C}_{CD}| \Rightarrow \begin{cases} \text{III: incorreta} \\ \text{IV: correta} \end{cases}$

14. b

$$\bar{C} = 4 \cdot 10^5 \cdot (10 - 4) = 24 \cdot 10^5 = 2,4 \cdot 10^6 \text{ J}$$

15. a) Transformação isotérmica:

$$p_0 \cdot V_0 = p_1 \cdot V_1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow p_0 \cdot \cancel{V_0} = p_1 \cdot 2 \cdot \cancel{V_0} \Rightarrow p_1 = \frac{p_0}{2}$$

b) Transformação isobárica:

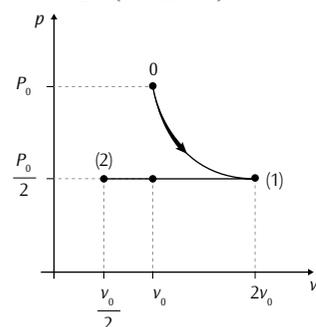
$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{2 \cdot \cancel{V_0}}{T_0} = \frac{\cancel{V_0}}{T_2} \Rightarrow T_2 = \frac{T_0}{4}$$

Assim, temos: $\frac{V_0}{2}$; $\frac{p_0}{2}$ e $\frac{T_0}{4}$

c) $\bar{C} = p_1 \cdot (V_2 - V_1) \Rightarrow \bar{C} = \frac{p_0}{2} \cdot \left(\frac{V_0}{2} - 2 \cdot V_0 \right) \Rightarrow$

$$\Rightarrow \bar{C} = \frac{p_0}{2} \cdot \left(\frac{V_0 - 4 \cdot V_0}{2} \right). \text{ Em módulo: } \bar{C} = \frac{3}{4} \cdot p_0 \cdot V_0$$

d)



16. a) Sendo $\bar{C} = p \cdot \Delta V$, temos variação de volume nas etapas $1 \rightarrow 2$ e $3 \rightarrow 4$. Assim:

$$\bar{C}_{12} > 0; \bar{C}_{23} = 0; \bar{C}_{34} < 0 \text{ e } \bar{C}_{41} = 0$$

b) Na etapa $1 \rightarrow 2$, pois o trabalho é positivo. Na etapa $3 \rightarrow 4$, o trabalho é negativo e, em módulo, menor do que o trabalho na etapa $1 \rightarrow 2$.

17. b

$$\bar{C}_{ABC} = \bar{C}_{AB} + \bar{C}_{BC} \Rightarrow \bar{C}_{ABC} = 2p_0 \cdot (2V_0 - V_0) + 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \bar{C}_{ABC} = 2p_0 \cdot V_0$$

$$\bar{C}_{ADC} = \bar{C}_{AD} + \bar{C}_{DC} \Rightarrow \bar{C}_{ADC} = 0 + p_0 \cdot V_0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \bar{C}_{ADC} = p_0 \cdot V_0$$

Comparando os trabalhos, temos:

$$\bar{C}_{ABC} = 2 \cdot \bar{C}_{ADC}$$

18. b

O trabalho é numericamente igual à área interna ao ciclo:

$$\bar{C} = A = (6,0 - 2,0) \cdot 10^{-6} \cdot (3,0 - 1,0) \cdot 10^5 \cdot \frac{1}{2} \Rightarrow \bar{C} = 4,0 \cdot 10^{-1} \text{ J}$$

19. d

Para a realização de trabalho, é necessário que haja variação de volume. Assim, no ciclo mostrado na figura, temos realização de trabalho nas etapas $2 \rightarrow 3$; $3 \rightarrow 4$ e $5 \rightarrow 1$.

20. e

a) Errada. Processo isotérmico implica temperatura constante.

b) Errada. $\bar{C} \stackrel{N}{=} \text{Área} \Rightarrow \bar{C}_b > \bar{C}_a$

c) Errada. Em II, temos: isobárico e isométrico.

d) Errada. Processo isobárico implica pressão constante.

e) Correta. Como $V_f > V_i$, temos expansão.

21. e

$$\bar{C}_{\text{ciclo}} \stackrel{N}{=} \text{Área do triângulo} \Rightarrow \bar{C}_{\text{ciclo}} = \frac{(1-4) \cdot 20}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \bar{C}_{\text{ciclo}} = -30 \text{ J}$$

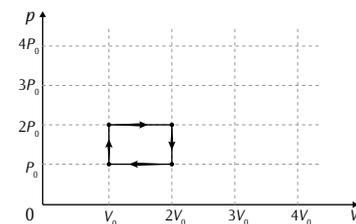
22. c

$$\bar{C}_{\text{ciclo}} \stackrel{N}{=} \text{Área do triângulo}$$

Como o ciclo é no sentido horário, o trabalho é positivo. Assim:

$$\bar{C}_{\text{ciclo}} = \frac{(5-1) \cdot (600-200)}{2} \Rightarrow \bar{C}_{\text{ciclo}} = 800 \text{ J}$$

23. a)



b) $\bar{C} = (2p_0 - p_0) \cdot (2V_0 - V_0) = p_0 \cdot V_0$

24. $\bar{C}_{\text{ciclo}} \stackrel{N}{=} \text{Área do ciclo}$

Assim:

$$\bar{C}_{\text{ciclo}} = \frac{4 \cdot 40}{2} = \frac{160}{2} = 80 \text{ J; ciclo anti-horário:}$$

$$\therefore \bar{C}_{\text{ciclo}} = -80 \text{ J}$$

25. a) $PV = n \cdot R \cdot T \Rightarrow T = \frac{p \cdot V}{R \cdot n} \Rightarrow$
 $\Rightarrow T = \frac{7,2 \cdot 10^3 \cdot 1}{8,3 \cdot 1} \Rightarrow T = 867 \text{ K}$

b) $\bar{C}_T = \bar{C}_{AB} + \bar{C}_{BC} + \bar{C}_{CA} \Rightarrow$
 $\Rightarrow \bar{C}_T = 0 + 7.200 + 2,4 \cdot 10^3 \cdot (1 - 3) \Rightarrow$
 $\Rightarrow \bar{C}_T = 7.200 - 4.800 \Rightarrow \bar{C}_T = 2.400 \text{ J}$

26. b) $\bar{C}_{\text{ciclo}} \stackrel{N}{=} \text{Área do trapézio. Sendo o ciclo horário:}$

$$\bar{C}_{\text{ciclo}} = \frac{(2+1) \cdot 10^5}{2} \cdot 4 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \bar{C}_{\text{ciclo}} = 6 \cdot 10^2 \text{ J}$$

Se a máquina descreve dois ciclos por segundo:

$$\Delta t = T = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ s}$$

Assim, a potência desenvolvida vale:

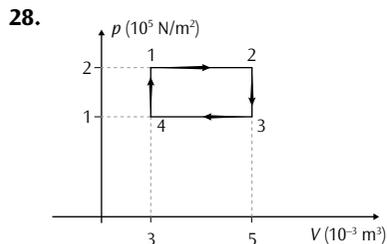
$$\mathcal{P} = \frac{\bar{C}}{\Delta t} \Rightarrow \mathcal{P} = \frac{6 \cdot 10^2}{0,5} \Rightarrow \mathcal{P} = 1.200 \text{ W}$$

27. a) $\bar{C} \stackrel{N}{=} A \Rightarrow \bar{C} = \frac{4 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5}{2} = -0,4 \text{ J}$

Processo 1 - 2: $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{3}{300} = \frac{V_2}{500} \Rightarrow V_2 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$

Processo 2 - 3: $\frac{p_2}{T_2} = \frac{p_3}{T_3} \Rightarrow \frac{2}{500} = \frac{p_3}{250} \Rightarrow p_3 = 1 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Processo 3 - 4: $\frac{V_3}{T_3} = \frac{V_4}{T_4} \Rightarrow \frac{5}{250} = \frac{V_4}{150} \Rightarrow V_4 = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$



$$\bar{C} = (2 - 1)10^5 \cdot (5 - 3) \cdot 10^{-3} = 200 \text{ J}$$

29. a) Sendo $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$, temos: $T = \frac{p \cdot V}{n \cdot R}$
 Portanto, a temperatura é diretamente proporcional ao produto $p \cdot V$. Como $p_L \cdot V_L > p_K \cdot V_K$, temos: $T_L > T_K$. Logo, no estado L.

b) Sim, o trabalho é, numericamente, igual à área do ciclo.

30. a) $\bar{C}_{\text{ciclo}} \stackrel{N}{=} \text{Área. Sendo:}$

$$A_j = 1 \cdot 4 = 4 \text{ J}$$

$$A_j = 2 \cdot 2 = 4 \text{ J}$$

$$A_K = \pi \cdot (1)^2 = 3,14 \text{ J}$$

$$A_L = 4 \text{ J}$$

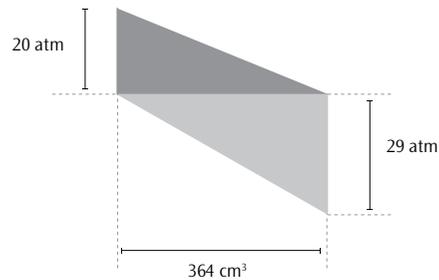
Assim, no processo K, o trabalho é menor.

31. a) $\bar{C} = (0,75 - 0,50)10^5 \cdot (6 - 2) \cdot 10^{-2} \Rightarrow \bar{C} = 1.000 \text{ J}$

b) $\frac{P_B \cdot V_B}{T_B} = \frac{P_D \cdot V_D}{T_D} \Rightarrow \frac{0,75 \cdot 6}{T_B} = \frac{0,50 \cdot 2}{T_D} \Rightarrow \frac{T_B}{T_D} = 4,5$

32. a

Podemos aproximar a área interna ao ciclo pela área do seguinte quadrilátero:



$$\text{área} = \frac{20 \cdot 10^5 \cdot 364 \cdot 10^{-6}}{2} + \frac{29 \cdot 10^5 \cdot 364 \cdot 10^{-6}}{2} = 891,8 \Rightarrow$$

 $\Rightarrow \bar{C} \approx 890 \text{ J}$

■ CAPÍTULO 3 LEIS DA TERMODINÂMICA I

Conexões

1. Gasolina: 20%; álcool: 26%; diesel: 35%.
2. 46%
3. 90%

Complementares

9. b

(I) Isotérmica; (II) Isovolumétrica; (III) Isobárica e (IV) Isovolumétrica:

Gráficos: a e b

Como (I) é isotérmica, nesta transformação $U = \text{constante}$.

10. a) Os estados A e B pertencem a uma mesma isoterma. Portanto, eles apresentam a mesma temperatura e, consequentemente, a mesma energia interna. Isso também acontece com os estados C e D. Contudo, comparando-se as isotermas, temos $T_A = T_B > T_C = T_D$. Assim, a energia interna é maior nos estados A e B.

b) Como o ciclo é horário, o trabalho é positivo. Portanto, ele é realizado pelo gás.

c) As transformações AB e CD são isotérmicas. Portanto, as transformações adiabáticas são BC e DA.

11. a) $\bar{C} = P \cdot \Delta V = 80 \cdot (1 - 8) = -560 \text{ J}$

b) $U = \frac{3}{2} \cdot P \cdot V = \frac{3}{2} \cdot 3.200 \cdot 1 = 4.800 \text{ J}$

12. b

- I. Correta. Ocorre uma expansão devido ao recebimento de calor e consequente trabalho realizado.
- II. Correta. Como de A para C e de B para C a variação de temperatura é a mesma, essas transformações têm a mesma variação da energia interna.
- III. Incorreta. O trabalho é nulo, pois $\Delta V = 0$, porém a temperatura aumenta e, portanto, o sistema recebe calor.

21. De acordo com a primeira lei da termodinâmica ($\Delta U = Q - \zeta$) e com a convenção de sinais, podemos construir a tabela conforme cada uma das afirmativas.

	Calor	Trabalho	Varição da energia interna
(01)	$Q = 0$	$\zeta < 0$	$\Delta U > 0$
(02)	$Q > 0$	$\zeta = 0$	$\Delta U > 0$
(04)	$Q > 0$	$\zeta < 0$	$\Delta U > 0$
(08)	$Q = 0$	$\zeta > 0$	$\Delta U < 0$
(16)	$Q < 0$	$\zeta = 0$	$\Delta U < 0$

Soma = 31 (01 + 02 + 04 + 08 + 16)

22. a) Considerando uma expansão de 1 cm^3 para 1.670 cm^3 sob pressão constante de 1 atm, temos:

$$\zeta = p \cdot \Delta V = 1 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 1.669 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\zeta \approx 167 \text{ J}$$

b) Calor fornecido para a vaporização da água:

$$Q = m \cdot L = 1 \text{ g} \cdot 540 \frac{\text{cal}}{\text{g}} = 540 \text{ cal}$$

$$Q = 540 \cdot 4,2 = 2.268 \text{ J}$$

Aplicando a primeira lei da termodinâmica:

$$\Delta U = Q - \zeta = 2.268 - 167 \Rightarrow \Delta U = 2.101 \text{ J}$$

23. O trabalho realizado pelo gás em um ciclo é, numericamente, igual à área do triângulo ABC. Assim, temos:

$$\zeta_{\text{ciclo}} = \frac{4,0 \cdot 400}{2} \Rightarrow \zeta_{\text{ciclo}} = 800 \text{ J}$$

Na transformação cíclica, a variação da energia interna é zero:

$$\Delta U = 0$$

Assim, o calor absorvido pelo gás é:

$$\Delta U = Q - \zeta \Rightarrow 0 = Q - 800 \Rightarrow Q = 800 \text{ J}$$

24. c

$$V = \text{cte} \Rightarrow \zeta = 0, \text{ então: } \Delta U = Q = 1.250 \text{ J}$$

$$U_1 = 12,5 \cdot 300 = 3.750 \text{ J}$$

$$U_2 = U_1 + \Delta U = 3.750 + 1.250 = 5.000 \text{ J}$$

$$U_2 = 12,5 \cdot T_2 \Rightarrow 5.000 = 12,5 \cdot T_2 \Rightarrow T_2 = 400 \text{ K}$$

Tarefa proposta

1. Como a transformação B – C é isotérmica:

$$U_C = U_B = \frac{3}{2} \cdot P_B \cdot V_B = \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot P_0 \cdot V_0 = 3 \cdot P_0 \cdot V_0$$

2. Sendo $U = \frac{3}{2} \cdot p \cdot V$, temos:

$$U_A = \frac{3}{2} \cdot 4 \cdot p \cdot V \Rightarrow U_A = 6 \cdot p \cdot V$$

$$U_B = \frac{3}{2} \cdot p \cdot 3V \Rightarrow U_B = \frac{9}{2} p \cdot V$$

Assim:

$$\frac{U_A}{U_B} = \frac{6}{\frac{9}{2}} = \frac{12}{9} \Rightarrow \frac{U_A}{U_B} = \frac{4}{3}$$

3. $U_A = \frac{3}{2} \cdot P_A \cdot V_A = \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 2,4 \cdot 10^{-2} = 7,2 \cdot 10^3 \text{ J}$

$$U_D = \frac{3}{2} \cdot P_D \cdot V_D = \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 4,8 \cdot 10^{-2} = 14,4 \cdot 10^3 \text{ J}$$

$$\frac{U_D}{U_A} = \frac{14,4 \cdot 10^3}{7,2 \cdot 10^3} = 2,0$$

4. a

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{\frac{3}{2} \cdot p_1 \cdot V_1}{\frac{3}{2} \cdot p_2 \cdot V_2} = \frac{p \cdot V}{p \cdot 2 \cdot V} \Rightarrow \frac{U_1}{U_2} = \frac{1}{2}$$

5. a

Da equação geral dos gases:

$$\frac{P_A \cdot V_A}{T_A} = \frac{P_B \cdot V_B}{T_B} \Rightarrow \frac{p \cdot V}{T_A} = \frac{2 \cdot p \cdot 2 \cdot V}{T_B} \Rightarrow T_B = 4 \cdot T_A$$

$$\frac{P_C \cdot V_C}{T_C} = \frac{P_B \cdot V_B}{T_B} \Rightarrow \frac{p \cdot 4 \cdot V}{T_C} = \frac{2 \cdot p \cdot 2 \cdot V}{T_B} \Rightarrow T_B = T_C$$

Logo:

a) Correta. De A para B, o gás sofre uma expansão; portanto, realiza trabalho.

b) Incorreta. Como $T_B = T_C \Rightarrow U_B = U_C$.

c) Incorreta. $T_B > T_A$.

d) Incorreta. Justificado em b).

e) Incorreta. $T_B = T_C$.

6. b

A energia cinética média $\langle E_C \rangle$ é proporcional à temperatura absoluta:

$$\langle E_C \rangle = \frac{3}{2} kT$$

Portanto, sendo a temperatura do corredor maior do que a da sala, a energia cinética média das partículas que compõem o ar é maior no corredor. Por sua vez, pela equação de Clapeyron, temos:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow \frac{n}{V} = \frac{p}{R \cdot T}$$

para uma mesma pressão, o número de partículas por unidade de volume é inversamente proporcional à temperatura absoluta. Portanto, a temperatura da sala é menor do que a do corredor, o número de partículas por unidade de volume é maior na sala.

7. Soma = 27 (01 + 02 + 08 + 16)

(01) Correta. De A para B: $\zeta = p \cdot \Delta V = 4 \cdot 10^2 \cdot (1,2 - 0,2) = 4 \cdot 10^2$ J

(02) Correta. De B para C a transformação é isovolumétrica: $\zeta = 0$

(04) Incorreta. De C para D a temperatura diminui; a energia interna diminui.

(08) Correta. Na transformação gasosa o calor é transformado em trabalho.

(16) Correta. $P_{ot} = \frac{\zeta}{\Delta t} = \frac{4 \cdot 2 \cdot 10^2}{1} = 8 \cdot 10^2$ W

8. a

A energia interna é: $U = \frac{3}{2} \cdot p \cdot V$. Dividindo pelo número de partículas (n), obtemos a energia cinética média. Assim:

$$E_{cin.} = \frac{U}{n} \Rightarrow E_{cin.} = \frac{3 \cdot p \cdot V}{2 \cdot n}$$

9. b

$U_C = \frac{3}{2} \cdot p_C \cdot V_C$ e $U_B = \frac{3}{2} \cdot p_B \cdot V_B$, como: $V_B = V_C$, logo:

$$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot (p_C - p_B) \cdot V_C = \frac{3}{2} \cdot (1,0 - 5,0) \cdot 10^6 \cdot 5,0 = -30 \cdot 10^6$$
 J

10. c

O trabalho líquido é igual à área interna ao ciclo.

$$\zeta = \frac{(5,0 - 1,0) \cdot (600 - 200)}{2} = 800 \text{ J, sentido horário} \Rightarrow \text{positivo}$$

11. b

I. $V = \text{constante}$; p diminui $\Rightarrow T$ diminui $\Rightarrow \Delta U < 0$

II. $p = \text{constante}$; V aumenta $\Rightarrow T$ aumenta $\Rightarrow \Delta U > 0$

III. $T = \text{constante} \Rightarrow \Delta U = 0$

12. d

Como a temperatura final é igual à inicial, temos: $\Delta U = 0$
Assim:

$$\Delta U = Q - \zeta \Rightarrow 0 = 1.000 - \zeta \Rightarrow \zeta = 1.000 \text{ J}$$

13. a

Isovolumétrica, $W = 0$, logo:

$$\Delta U = Q$$

14. c

De acordo com a primeira lei, temos:

$$\Delta U = Q - \zeta \Rightarrow \Delta U = 100 - 70$$

$$\Delta U = 30 \text{ J (aumento)}$$

15. e

$$Q = 5,0 \text{ cal} = 21 \text{ J}$$

$W = 13 \text{ J}$, logo:

$$\Delta U = Q - W = 21 + 13 \Rightarrow \Delta U = 34 \text{ J}$$

16. d

$$Q = 50 \text{ cal} \Rightarrow Q = 50 \cdot 4,2 = 210 \text{ J}$$

$$\zeta = 300 \text{ J}$$

$$\text{Como } \Delta U = Q - \zeta \Rightarrow \Delta U = 210 - 300 \Rightarrow \Delta U = -90 \text{ J}$$

17. c

$W = -3.000 \text{ J}$ e $Q = -500 \text{ cal} = -2.100 \text{ J}$, logo:

$$\Delta U = Q - W = -2.100 - (-3.000) \Rightarrow \Delta U = 900 \text{ J}$$

18. b

$$W = p \cdot \Delta V = 4,0 \cdot 1,0 \Rightarrow W = 4,0 \text{ J}$$

$$Q = 20 \text{ J}$$

Logo:

$$\Delta U = Q - W = 20 - 4,0 \Rightarrow \Delta U = 16 \text{ J}$$

19. a)

$$Q = Q_1 + Q_2 \Rightarrow Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta + m \cdot L_v \Rightarrow \\ \Rightarrow Q = 10^{-3} \cdot 4,2 \cdot 10^3 \cdot 10 + 10^{-3} \cdot 2,3 \cdot 10^6 \Rightarrow \\ \Rightarrow Q = 2.342 \text{ J}$$

$$\text{b) } \zeta = p \cdot \Delta V \Rightarrow \zeta = 1 \cdot 10^5 \cdot 1.670 \cdot 10^{-6} \Rightarrow \\ \Rightarrow \zeta = 167 \text{ J}$$

$$\text{c) } \Delta U = Q - \zeta \Rightarrow \Delta U = 2.342 - 167 \Rightarrow \Delta U = 2.175 \text{ J}$$

20. a

• A quantidade de calor recebida pelo gás é:

$$Q = \mathcal{P} \cdot \Delta T \Rightarrow Q = 480 \cdot 300 \Rightarrow Q = 1,44 \cdot 10^5 \text{ J}$$

• O trabalho realizado pelo gás é:

$$\zeta = p \cdot \Delta V. \text{ Sendo } 1 \text{ dm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3, \text{ temos:} \\ \zeta = 10 \cdot 10^5 \cdot 40 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \zeta = 4 \cdot 10^4 \text{ J}$$

• Assim, a variação de energia interna é:

$$\Delta U = Q - \zeta \Rightarrow \Delta U = 1,44 \cdot 10^5 - 4 \cdot 10^4 \Rightarrow \\ \Rightarrow \Delta U = 1,04 \cdot 10^5 \text{ J}$$

• A temperatura no final do processo é:

$$\frac{V_A}{T_A} = \frac{V_B}{T_B} \Rightarrow \frac{20}{127 + 273} = \frac{60}{T_B} \Rightarrow T_B = 1.200 \text{ K} = 927 \text{ }^\circ\text{C}$$

21. a)

O trabalho realizado pelo gás é:

$$\zeta = F \cdot d \cdot \cos 0^\circ = P \cdot h \Rightarrow \zeta = 1,0 \cdot 10 \cdot 1,0 \Rightarrow \zeta = 10 \text{ J}$$

$$\text{b) } \Delta U = Q - \zeta \Rightarrow \Delta U = 6.160 - 10 \Rightarrow \Delta U = 6.150 \text{ J}$$

$$\text{c) } \Delta U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T \Rightarrow 6.150 = \frac{3}{2} \cdot 50 \cdot 8,3 \cdot \Delta T \Rightarrow \\ \Rightarrow \Delta T = 10 \text{ K}$$

22. a

Em qualquer ciclo, o gás sempre volta ao estado inicial, à mesma temperatura ($\Delta T = 0$). Como a variação da energia interna (ΔU) é diretamente proporcional à variação de temperatura

ΔT , pela expressão $\Delta U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T$, a variação da energia interna também é nula.

23. Soma = 7 (01 + 02 + 04)

(08) Errada. Ocorre um aumento de volume, além de ter sua temperatura aumentada.

(16) Errada. Parte é convertida em trabalho e parte aumenta a energia interna do sistema.

24. a)

	Q	W	ΔU
A → B	+	+	+
B → C	+	0	+
C → A	-	-	-

b) $\bar{C}_{\text{ciclo}} \stackrel{N}{=} \text{Área do ciclo} \Rightarrow$
 $\Rightarrow \bar{C}_{\text{ciclo}} = \frac{3 \cdot 30 \cdot 10^5}{2} = \frac{90 \cdot 10^5}{2} = 45 \cdot 10^5$ ou
 $\bar{C}_{\text{ciclo}} = 4,5 \cdot 10^6 \text{ J}$

25. b

Na compressão $W < 0$ e no resfriamento $\Delta U < 0$.
 $\Delta U = Q - W$, então:

$$Q = W + \Delta U < 0$$

O gás cede calor ao meio externo.

26. a) $T = \text{cte} \Rightarrow p_f \cdot V_f = p_i \cdot V_i \Rightarrow p \cdot \frac{V_0}{2} = p_0 \cdot V_0 \Rightarrow$
 $\Rightarrow p_f = 2p_0$

b) $T = \text{cte} \Rightarrow \Delta U = 0 \Rightarrow Q = W$ (área) \Rightarrow
 $\Rightarrow Q = \frac{2p_0 + p_0}{2} \cdot \frac{V_0}{2} = \frac{3p_0 \cdot V_0}{4}$

27. $Q = 40 - 10 = 30 \text{ J}$ e $W = 200 \text{ J}$

$$\Delta U = Q - W = 30 - 200 = -170 \text{ J}$$

Diminui, já que a variação de energia interna será negativa (-170 J).

28. b

$$P = 1,0 \text{ atm} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$\Delta V = 0,084 - 0,062 = 0,022 \text{ m}^3$$

$$W = p \cdot \Delta V = 10^5 \cdot 0,022 = 2.200 \text{ J}$$

$$Q = 1.200 \text{ cal} = 5.040 \text{ J}$$

$$\Delta U = Q - W = 5.040 - 2.200 = 2.840 \text{ J}$$

29. a)

Processo	T	Q	ΔU
M - N	+	+	+
N - S	-	-	0
S - M	0	-	-

b) M - N:

expansão: $T > 0$

$$T_N > T_M \Rightarrow \Delta U > 0$$

$$Q = T + \Delta U > 0$$

30. b

$\Delta U_I = \Delta U_{II} = \Delta U_{III}$ (mesma variação de temperatura nas três transformações)

$$W_I > W_{II} > W_{III} (A_I > A_{II} > A_{III})$$

$$\text{Como: } Q = W + \Delta U \Rightarrow Q_I > Q_{II} > Q_{III}$$

31. Em módulo $Q_a > Q_c$. Utilizando o primeiro princípio da termodinâmica ($Q = \bar{C} + \Delta U$), podemos montar a tabela a seguir.

a)

Q	\bar{C}	ΔU
Q_a	Maior (área maior)	X
Q_c	Menor (área menor)	X

De onde concluímos que $Q_a > Q_c$.

b) No ciclo: $\Delta U = 0$

32. a) $\bar{C} = p \cdot \Delta V \Rightarrow \bar{C} = 6,4 \cdot 10^5 \cdot 2,3 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \bar{C} = 1.472 \text{ J}$

b) $f = 3.000 \text{ rpm} \Rightarrow f = 50 \text{ Hz}$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} \Rightarrow T = 0,02 \text{ s}$$

c) $\mathcal{P} = \frac{\bar{C}}{\Delta t} \Rightarrow \mathcal{P} = \frac{1.472}{0,02} \Rightarrow \mathcal{P} = 73.600 \text{ W}$

Sendo $1,0 \text{ CV} = 736 \text{ W}$, temos: $\mathcal{P} = \frac{73.600}{736} \Rightarrow \mathcal{P} = 100 \text{ CV}$

Assim, a potência é maior que 80 CV.

■ CAPÍTULO 4

LEIS DA TERMODINÂMICA II

Conexões

- James Watt atuou apenas na área de máquinas térmicas e termodinâmica. Carnot estudou gases e processos adiabáticos.
- Carnot atuou como segundo tenente no Regimento de Engenharia de Metz. Nos dois anos seguintes, modificou-se sua função de guarnição a guarnição, inspecionando fortificações e projetando planos e relatórios destinados ao esquecimento burocrático.

Complementares

9. a

Trata-se de uma compressão adiabática na qual todo o trabalho realizado sobre o gás é convertido em aumento de sua energia interna, gerando um aumento de temperatura.

10. Soma = 25 (01 + 08 + 16)

(01) Correta. Processo isobárico com aumento de temperatura.

(02) Errada. Em D, a temperatura será maior que em A e, portanto, sua energia interna sofre variação.

(04) Errada. Processo isotérmico, porém temos $Q = \bar{C}$.

(08) Correta. Como os pontos inicial e final da transformação são iguais, então $\Delta U = 0$ e, assim, $Q = \bar{C}$.

(16) Correta. Expansão isotérmica e, em seguida, uma compressão isotérmica de volta ao mesmo ponto: $\Sigma \bar{C} = 0$

11. c

Transformação adiabática é aquela em que não há troca de calor entre o gás e o meio externo.

12. c

Na transformação I há realização de trabalho e variação de energia interna, já em II apenas variação de energia interna, como: $Q_I = Q_{II}$, então: $\Delta U_I < \Delta U_{II}$, então a temperatura do gás aumenta mais em II.

21. a) $\eta = 1 - \frac{T_f}{T_q} = 1 - \frac{273}{373} = \frac{100}{373} \Rightarrow \eta \approx 0,27$

b) Calor recebido: $Q_{\text{rec}} = 1.000 \text{ cal} = 4.200 \text{ J}$

$$\eta = \frac{\zeta}{Q_{\text{rec}}}$$

$$0,27 = \frac{\zeta}{4.200} \Rightarrow \zeta = 1.134 \text{ J}$$

22. I – IV – V

I. Correta. O trabalho no ciclo é dado pela área do retângulo ABCD:

$$\zeta = 2 \cdot 2 \cdot 10^5 \Rightarrow \zeta = 4 \cdot 10^5 \text{ J}$$

II. Errada. O ciclo de Carnot consiste em duas transformações isotérmicas intercaladas com duas transformações adiabáticas. No ciclo mostrado na figura, as transformações são duas isobáricas e duas isométricas.

III. Errada. A menor temperatura do ciclo ocorre no ponto D. Sendo

$T_B = 500 \text{ K}$, temos:

$$\frac{V_A}{T_A} = \frac{V_B}{T_B} \Rightarrow \frac{3}{T_A} = \frac{5}{500} \Rightarrow T_A = 300 \text{ K}$$

$$\frac{p_D}{T_D} = \frac{p_A}{T_A} \Rightarrow \frac{2}{T_D} = \frac{4}{300} \Rightarrow T_D = 150 \text{ K}$$

IV. Correta. Para o ciclo de Carnot, o rendimento é dado por:

$$\eta = 1 - \frac{T_f}{T_q} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{150}{500} \Rightarrow \eta = 0,7$$

V. Correta. No ciclo: $\Delta U = 0$

23. Soma = 22 (02 + 04 + 16)

(01) Errada. A energia interna aumenta.

(08) Errada. A energia interna permanece constante.

24. a

I. Correto. Toda máquina térmica rejeita calor para a fonte fria.

II. Incorreto. Durante o ciclo, a energia interna e a temperatura variam.

III. Incorreto. Como rejeitam calor para a fonte fria, apenas a diferença entre o calor recebido e o rejeitado é transformada em trabalho.

Tarefa proposta

1. a

Em uma expansão adiabática: $W > 0 \Rightarrow \Delta U < 0$, logo ocorre diminuição da energia interna do gás.

2. c

Transformação isovolumétrica: $W = 0 \Rightarrow \Delta U = Q$

3. a

Em uma transformação isotérmica, temos: $\Delta U = 0$

De acordo com a primeira lei da termodinâmica, vem:

$$\Delta U = Q - \zeta \Rightarrow 0 = Q - 2.100 \Rightarrow Q = 2.100 \text{ J}$$

Como:

$$1 \text{ cal} \text{ ————— } 4,2 \text{ J}$$

$$x \text{ ————— } 2.100 \text{ J}$$

$$x = 500 \text{ cal ou } x = 5,0 \cdot 10^2 \text{ cal}$$

4. a

Em uma compressão, o gás recebe energia sob a forma de trabalho. Como a transformação é adiabática, não há troca de calor com o meio. Portanto, houve aumento da energia interna e aumento da temperatura.

5. d

• No processo isobárico (pressão constante):

$$\Delta U = Q_1 - \zeta \Rightarrow Q_1 = \Delta U + \zeta$$

• No processo isométrico (volume constante):

$$\Delta U = Q_2 - \zeta \Rightarrow Q_2 = \Delta U, \text{ pois } \zeta = 0$$

• Comparando as duas expressões, obtemos:

$$Q_1 > Q_2$$

6. a

I. Correta.

De B para C; $T = \text{cte} \Rightarrow \Delta U = 0$ e V diminui $\Rightarrow W < 0$, logo: $Q < 0$.

II. Incorreta.

De B para C; $T = \text{cte} \Rightarrow \Delta U = 0$

III. Incorreta.

De A para B: $\Delta T > 0 \Rightarrow \Delta U > 0$

IV. Correta.

De A para B: $\Delta U > 0$ e V aumenta $\Rightarrow W > 0$, logo: $Q > 0$.

V. Incorreta.

No ciclo $\Delta U = 0$.

7. c

Trata-se de uma compressão adiabática na qual todo trabalho realizado sobre o gás é convertido em aumento da energia interna e, conseqüentemente, de temperatura.

8. b

I. Errada. O ciclo é composto de quatro transformações, e nenhuma delas é isotérmica.

II. Correta. $\zeta_{\text{ciclo}} = \overset{N}{\Delta} \text{Área} = (10 - 4,0) \cdot (3,0 - 1,0) \Rightarrow \zeta = 12,0 \text{ atm} \cdot \text{L}$

III. Correta. $\Delta U = Q - \zeta \Rightarrow 0 = Q - \zeta \Rightarrow Q = \zeta$

IV. Errada. Veja item III.

9. c

$$W = 1.664 \text{ J e } Q = 0 \Rightarrow \Delta U = -1.664 \text{ J}$$

Como $U = 20,8 \cdot T$, então: $\Delta U = 20,8 \cdot \Delta T$, logo:

$$-1.664 = 20,8 \cdot \Delta T \Rightarrow \Delta T = -80 \text{ K}$$

10. d

$\zeta = P \cdot d \Rightarrow \zeta = 100 \cdot 0,1 = 10 \text{ J}$ (realizado pelo gás e, portanto, positivo)

Como $\Delta U = Q - \zeta \Rightarrow \Delta U = 40 - 10 \Rightarrow \Delta U = 30 \text{ J}$

Assim, a energia interna aumenta 30 J.

11. V – F – F

I. Relação de Mayer: $C_p - C_v = R$

II. Na transformação isocórica: $\zeta = 0$

Não há variação de volume.

III. Transformação adiabática: $Q = 0$. Na compressão: $\zeta < 0$. Assim, de acordo com a primeira lei da termodinâmica:

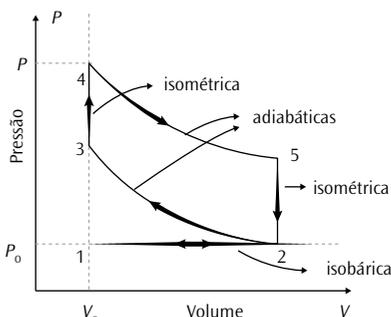
$$\Delta U = Q - \zeta \Rightarrow \Delta U = 0 - (-500) \Rightarrow \Delta U = 500 \text{ J}$$

12. e

- Processo 1 → 2: isotérmico: $\Delta U = 0 \Rightarrow U_1 = U_2$
- Processo 2 → 3: adiabático: $Q = 0 \Rightarrow \Delta U = -\zeta$
Como o gás se expande: $\Delta U < 0 \Rightarrow U_3 < U_2$.
- Processo 3 → 4: isotérmico: $\Delta U = 0 \Rightarrow U_4 = U_3$
Concluimos que: $U_4 < U_1$

Portanto, é possível um processo adiabático entre 4 e 1 (compressão do gás), pois $U_4 < U_1$.

13. a)



b)

Processo	ζ	Q	ΔU
2 → 3	-	0	+
3 → 4	0	+	+
4 → 5	+	0	-
5 → 2	0	-	-

2 → 3: compressão → $\zeta < 0$; adiabática → $Q = 0$.

3 → 4: isométrica → $\zeta = 0$; aumento de temperatura → $\Delta U > 0$.

4 → 5: expansão → $\zeta > 0$; adiabática → $Q = 0$; diminuição de temperatura $\Delta U < 0$.

5 → 2: fornecimento de calor ao meio ambiente $Q < 0$; diminuição de temperatura $\Delta U < 0$.

14. F – V – V – F

I. São iguais, pois seus estados inicial e final são os mesmos.

IV. Não, no trecho AD, o processo é isobárico (p é cte) e, em DC, é isométrico e a temperatura diminui (perde calor).

15. b

Transformando as temperaturas em kelvin:

$$\frac{T - 273}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9} \Rightarrow \frac{T_Q - 273}{5} = \frac{1.160,6 - 32}{9} \Rightarrow T_Q = 900 \text{ K}$$

$$\frac{T_F - 273}{5} = \frac{80,6 - 32}{9} \Rightarrow T_F = 300 \text{ K}$$

Calculando o rendimento de Carnot:

$$\eta = 1 - \frac{T_F}{T_Q} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{300}{900} = 1 - \frac{1}{3} = \frac{2}{3} \Rightarrow \eta \approx 67\%$$

16. d

97 °C = 370 K e 23 °C = 296 K

$$\eta = 1 - \frac{T_f}{T_q} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{296}{370} \Rightarrow \eta = 0,2 = 20\%$$

17. c

O motor desenvolvido pela pessoa transforma em trabalho 20 HP dos 50 HP que recebe da fonte térmica.

Assim, a eficiência térmica desse motor é:

$$\eta = \frac{20}{50} \Rightarrow \eta = 0,4 \text{ (40\%)}$$

Comparado com o motor real a gasolina, que apresenta eficiência de 35%, o motor desenvolvido pela pessoa apresenta 5% a mais de eficiência térmica.

18. b

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{400}{800} \Rightarrow \eta = 0,5 \text{ (50\%)}$$

$$\eta = 1 - \frac{T_F}{T_Q} \Rightarrow 0,5 = 1 - \frac{300}{T_Q} \Rightarrow T_Q = 600 \text{ K}$$

19. e

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_F}{T_Q} \Rightarrow \frac{T_F}{T_Q} = \frac{Q_2}{Q_1} \Rightarrow \frac{300}{400} = \frac{Q_2}{1.200} \Rightarrow Q_2 = 900 \text{ J}$$

20. d

$$\eta = \frac{\zeta}{Q} \Rightarrow 0,3 = \frac{\zeta}{440} \Rightarrow \zeta = 132 \text{ J}$$

$$\mathcal{P} = \frac{\zeta}{\Delta t} \Rightarrow \mathcal{P} = \frac{132}{0,02} = 6,6 \cdot 10^3 \text{ W ou } 6,6 \text{ kW}$$

21. Soma = 11 (01 + 02 + 08)

(04) Errada. Ocorre também a realização de trabalho.

(16) Errada. O rendimento será tanto maior quanto menor for a diferença de temperatura entre a fonte fria e a quente.

22. e

Qualquer máquina dissipa calor e não é isso que impede o moto-contínuo. A construção de uma máquina que produza movimento sem que uma fonte externa forneça energia ou mesmo uma que o perpetue violariam a primeira ou a segunda lei da termodinâmica.

23. e

$$\eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_F}{T_Q} = 1 - \frac{240}{400} \Rightarrow \eta_{\text{Carnot}} = 0,4$$

$$\eta_{\text{turbina}} = 0,8 \cdot 0,4 \Rightarrow \eta_{\text{turbina}} = 0,32 \text{ (32\%)}$$

24. d

$$\eta = \frac{\zeta}{Q_1} = 1 - \frac{T_F}{T_Q} \Rightarrow \frac{\zeta}{1.000} = 1 - \frac{300}{500} \Rightarrow \zeta = 400 \text{ J}$$

25. V – F – V

I. Segunda lei da termodinâmica.

II. É impossível a conversão integral de calor em trabalho.

III. Definição de refrigerador.

26. b

• No ciclo de Carnot, o rendimento é dado por:

$$\eta = 1 - \frac{T_f}{T_q} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{127 + 273}{227 + 273} \Rightarrow \eta = 0,2 = 20\%$$

• Sendo $\eta = \frac{\zeta}{Q_1} \Rightarrow 0,2 = \frac{2.000}{Q_1} \Rightarrow Q_1 = 10.000 \text{ J}$

27. Soma = 44 (04 + 08 + 32)

(01) Errada. Pode também converter em trabalho.

(02) Errada. As trocas de calor permitem a realização de trabalho.

- (16) Errada. É uma máquina térmica e opera em ciclos.
 (64) Errada. Não é possível uma máquina real obter rendimento de 100%.

28. b

- a) Processo irreversível.
 b) Processo reversível.
 c) Processo irreversível.
 d) Processo irreversível.
 e) Processo irreversível.

29. d

Os motores térmicos recebem calor de uma fonte quente, realizam trabalho mecânico e cedem calor a uma fonte fria. Ver exercício 31.

30. b

$$\eta = 1 - \frac{T_f}{T_q} = 1 - \frac{373}{400} \approx 0,068 \Rightarrow \eta = 6,8\%$$

31. c

Um refrigerador: recebe trabalho mecânico, retira calor de uma fonte fria e rejeita calor para uma fonte quente.

32. De acordo com a relação de Mayer, temos:

$$C_p - C_v = R \Rightarrow C_p - 3 \cdot R = R \Rightarrow C_p = 4R$$

Assim, a razão (γ) entre os calores específicos molares é:

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{4R}{3 \cdot R} \Rightarrow \gamma = \frac{4}{3}$$

A pressão a 30 m de profundidade vale:

$$p = p_{\text{atm}} + \mu \cdot g \cdot h \Rightarrow p = 10^5 + 10^3 \cdot 10 \cdot 30 \Rightarrow p = 4 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

Como não há troca de calor (transformação adiabática), a relação entre a pressão e o volume é:

$$p \cdot V^\gamma = p_0 \cdot V_0^\gamma \Rightarrow 10^5 \cdot V^{\frac{4}{3}} = 4 \cdot 10^5 \cdot 10^3 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V^{\frac{4}{3}} = 4 \cdot 10^3 \Rightarrow \left(V^{\frac{4}{3}}\right)^{\frac{3}{4}} = 4^{\frac{3}{4}} \cdot \left(10^3\right)^{\frac{3}{4}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V = \sqrt[4]{(4)^3} \cdot 10 \Rightarrow V = 28,3 \text{ cm}^3$$