



Versão:

A

Seção 1. Múltipla escolha (8×0,625 = 5,0 pontos)

1. Num processo de expansão livre de um gás ideal isolado do ambiente:

- (a) A energia interna do gás aumenta e a entropia fica a mesma.
- (b) A energia interna e a entropia do gás ficam as mesmas.
- (c) A energia interna do gás diminui e a entropia fica a mesma.
- (d) A energia interna e a entropia do gás aumentam.
- (e) A energia interna do gás fica a mesma e a entropia aumenta.
- (f) A energia interna do gás diminui e a entropia aumenta.
- (g) A energia interna e a entropia do gás diminuem.

2. Um cubo de gelo de massa m e calor latente de fusão L_f funde-se à temperatura ambiente T_v de um dia de verão no Rio de Janeiro. A temperatura do gelo é T_0 , constante durante a fusão. Qual a variação de entropia do gelo ao derreter-se? O resultado seria diferente se fosse inverno no Rio com temperatura T_l ? O resultado seria diferente se o cubo derretesse fornecendo-lhe apenas trabalho?

- (a) $\Delta S = mL_f/T_0$. Não, pois a temperatura do gelo continua a mesma. Não, pois a entropia é uma função de estado.
- (b) $\Delta S = mL_f/T_v$. Não, pois a temperatura do gelo continua a mesma. Não, pois a entropia é uma função de estado.
- (c) $\Delta S = mL_f/T_0$. Sim, pois a temperatura externa é T_l . Não, pois a entropia é uma função de estado.
- (d) $\Delta S = mL_f/T_v$. Não, pois a temperatura do gelo continua a mesma. Sim, pois a entropia depende da temperatura.
- (e) $\Delta S = mL_f/T_v$. Sim, pois a temperatura externa é T_l . Sim, pois a entropia depende da temperatura.

3. Das afirmações que seguem, diga quais são verdadeiras: (i) Em um gás ideal o módulo da velocidade de uma molécula é inalterado após uma colisão dessa molécula com as paredes do recipiente que contem o gás. (ii) Num gás ideal não há uma energia potencial de interação entre as suas moléculas. (iii) A energia interna de um gás ideal é proporcional à sua temperatura e inversamente proporcional à sua pressão.

- (a) Apenas (i).
- (b) Apenas (ii).
- (c) Apenas (iii).
- (d) Apenas (i) e (ii).
- (e) Apenas (i) e (iii).
- (f) Apenas (ii) e (iii).
- (g) Todas elas.
- (h) Nenhum delas.

4. Considere um gás ideal que absorve calor Q segundo um dos processos que seguem: (i) a volume constante; (ii) a pressão constante e (iii) a temperatura constante. Para quais desses processos tem-se a variação da energia interna do gás (ΔE_{in}) igual a zero?

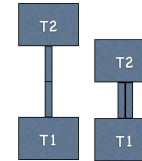
- (a) Apenas (i).
- (b) Apenas (ii).
- (c) Apenas (iii).
- (d) Apenas (i) e (ii).
- (e) Apenas (i) e (iii).
- (f) Apenas (ii) e (iii).
- (g) Todos eles.
- (h) Nenhum deles.

5. Uma certa quantidade de massa m de uma substância que se vaporiza à temperatura T_1 e tem calor latente de vaporização L pode ser completamente vaporizada por dois processos: (i) em contato com um reservatório térmico a temperatura T_1 ; (ii) em contato com um reservatório térmico a temperatura $2T_1$. Considerando-se apenas o processo de vaporização da substância nos processos (i) e (ii), pode-se afirmar que os mesmos são, respectivamente:

- (a) reversível, reversível
- (b) reversível, irreversível
- (c) irreversível, reversível
- (d) irreversível, irreversível
- (e) nada se pode afirmar

6. Dois cilindros longos, finos, sólidos e idênticos são utilizados para conduzir calor de um reservatório quente para outro frio. Sabendo que na configuração à esquerda (na figura abaixo) a taxa de transferência de calor é H_0 , qual o valor da taxa de transferência de calor para a configuração da direita?

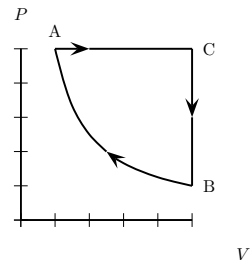
- (a) $4H_0$
- (b) $2H_0$
- (c) $H_0/2$
- (d) $16H_0$
- (e) $8H_0$



Seção 2. Questões discursivas (2×2,5 = 5,0 pontos)

1. [2,5 pontos] Um mol de um gás monoatômico ideal realiza o ciclo mostrado na figura. O processo $B \rightarrow A$ é uma contração isotérmica reversível. São conhecidos P_C e V_C e sabe-se que $P_C = 5P_B$ e $V_C = 5V_A$. Suponha conhecidas as relações entre C_P , C_V , R e o número de graus de liberdade do gás. Calcule, COM JUSTIFICATIVAS, em função apenas de P_C e V_C :

- (a) O trabalho líquido feito SOBRE o gás no ciclo, deduzindo as expressões utilizadas.
- (b) O calor transferido em cada etapa, deixando claro se este foi absorvido pelo gás ou cedido por ele.
- (c) O rendimento do ciclo.



2. [2,5 pontos] Uma máquina térmica opera entre dois reservatórios a $T_Q = 600K$ e $T_F = 350K$. Ela absorve 1200 J de calor do reservatório de temperatura mais elevada e executa 150 J de trabalho durante um ciclo. Encontre COM JUSTIFICATIVAS:

- (a) A variação da entropia da máquina ΔS_M em um ciclo e a variação da entropia do universo ΔS_U para este processo.
- (b) O trabalho feito por uma máquina de Carnot que opera entre esses dois reservatórios absorvendo 1200 J de calor da fonte de temperatura mais elevada.

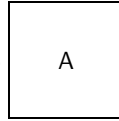
FIM

7. A energia interna de um sistema aumentou 400 J quando absorveu 600 J de calor. Foi realizado trabalho sobre ou pelo sistema? Qual o módulo do trabalho realizado?

- (a) sobre o sistema, 200 J
- (b) pelo sistema, 200 J
- (c) sobre o sistema, 400 J
- (d) pelo sistema, 400 J
- (e) sobre o sistema, 600 J

8. Qual é a origem do fator “3” na equação $v_{rms} = \sqrt{3p/\rho}$?

- (a) Ele é uma aproximação para π .
- (b) Ele é obtido pela comparação das unidades de pressão e de massa específica.
- (c) Ele está relacionado ao número de dimensões do espaço.
- (d) Ele surge da integração de v^2 para obter-se a média
- (e) Nenhuma das respostas anteriores.



Seção 1. Múltipla escolha (8×0,625 = 5,0 pontos)

- | | |
|--------|--------|
| 1. (e) | 5. (b) |
| 2. (a) | 6. (a) |
| 3. (d) | 7. (b) |
| 4. (c) | 8. (c) |

Seção 2. Questões discursivas (2×2,5 = 5,0 pontos)

1. Resolução:

- (a) **(1,0 ponto)** Devemos inicialmente calcular o trabalho realizado sobre o gás em cada um dos três processos termodinâmicos presentes no ciclo.

O processo $C \rightarrow B$ ocorre a volume constante ($dV = 0$), portanto **(0,1 ponto)**

$$W_{C \rightarrow B} = - \int_C^B P dV = 0. \quad (1)$$

O processo $A \rightarrow C$ é realizado a pressão constante, $P = P_C$, de modo que **(0,3 ponto)**

$$W_{A \rightarrow C} = - \int_A^C P dV = -P_C \int_{V_A}^{V_C} dV = -P_C(V_C - V_A) = -\frac{4}{5}P_C V_C. \quad (2)$$

O processo $B \rightarrow A$ isotérmico, ou seja, $PV = P_A V_A = P_B V_B$. Assim **(0,5 ponto)**

$$W_{B \rightarrow A} = - \int_B^A P dV = -P_A V_A \int_{V_B}^{V_A} \frac{dV}{V} = -P_A V_A \ln\left(\frac{V_A}{V_B}\right) = \frac{1}{5}P_C V_C \ln 5. \quad (3)$$

Logo, o trabalho líquido total realizado sobre o gás no ciclo é dado por **(0,1 ponto)**

$$W_{ciclo} = W_{C \rightarrow B} + W_{A \rightarrow C} + W_{B \rightarrow A} = \frac{1}{5}P_C V_C (\ln 5 - 4) < 0. \quad (4)$$

- (b) **(1,2 ponto)**

BA: Como o processo $B \rightarrow A$ é isotérmico ($T = \text{constante}$) e a energia interna de um gás ideal depende apenas de sua temperatura, concluímos que $\Delta E_{B \rightarrow A} = 0$. Logo, segue da 1ª lei da termodinâmica que **(0,3 ponto - incluindo a justificativa)**

$$\Delta E_{B \rightarrow A} = Q_{B \rightarrow A} + W_{B \rightarrow A} = 0 \Rightarrow Q_{B \rightarrow A} = -W_{B \rightarrow A} = -\frac{1}{5}P_C V_C \ln 5 < 0. \quad (5)$$

Como $Q_{B \rightarrow A} < 0$ o calor é rejeitado (cedido) pelo gás no processo $B \rightarrow A$ **(0,1 ponto)**.

CB: O processo $C \rightarrow B$ é isocórico, de modo que

$$Q_{C \rightarrow B} = nC_V(T_B - T_C), \quad (6)$$

Por outro lado, segue da equação de estado dos gases ideais que

$$T_A = T_B = \frac{P_A V_A}{nR} = \frac{P_C V_C}{5nR} \quad \text{e} \quad T_C = \frac{P_C V_C}{nR}. \quad (7)$$

Desta forma **(0,3 ponto - incluindo as passagens anteriores)**

$$Q_{C \rightarrow B} = nC_V \left(-\frac{4}{5} \frac{P_C V_C}{nR} \right) = -\frac{6}{5}P_C V_C < 0 \quad (8)$$

onde utilizamos que para um gás monoatômico $C_V = 3R/2$. Concluímos ainda que, como $Q_{C \rightarrow B} < 0$ o calor é rejeitado (cedido) pelo gás neste processo **(0,1 ponto)**.

AC: O processo $A \rightarrow C$ é isobárico, de forma que **(0,3 ponto)**

$$Q_{A \rightarrow C} = nC_P(T_C - T_A) = n \frac{5R}{2} \left(\frac{4}{5} \frac{P_C V_C}{nR} \right) = 2P_C V_C > 0. \quad (9)$$

Como $Q_{A \rightarrow C} > 0$ concluímos que o calor é absorvido pelo gás nesse processo **(0,1 ponto)**.

- (c) **(0,3 ponto; em caso de erro propagado: 0.1 ponto)** O rendimento do ciclo é dado pela razão entre o módulo do trabalho realizado sobre o sistema e o calor absorvido pelo mesmo. Portanto,

$$\epsilon = \frac{|W_{ciclo}|}{Q_{absorvido}} = \frac{\frac{1}{5}P_C V_C (4 - \ln 5)}{2P_C V_C} = \frac{4 - \ln 5}{10}. \quad (10)$$

■

2. Resolução:

- (a) **[1,2 ponto]**

A variação de entropia em um processo cíclico para uma máquina é:

$$\Delta S_M = 0.$$

(0,2 ponto) por concluir que a variação de entropia no ciclo é nula.

A variação de entropia do universo é a soma das variações de entropia das fontes quente e fria

$$\Delta S_U = \Delta S_Q + \Delta S_F,$$

onde $\Delta S_Q = \frac{-1200 \text{ J}}{600 \text{ K}}$ e $\Delta S_F = \frac{Q_F \text{ J}}{350 \text{ K}}$. Devemos obter o calor trocado na fonte fria $Q_F = Q_Q - W_M = 1200 \text{ J} - 150 \text{ J}$; logo, $\Delta S_F = \frac{1050 \text{ J}}{350 \text{ K}}$.

(0,4 ponto) por encontrar a variação de entropia da fonte quente.

(0,4 ponto) por encontrar a variação de entropia da fonte fria.

Assim, a variação de entropia do Universo é:

$$\Delta S_U = \frac{-1200 \text{ J}}{600 \text{ K}} + \frac{1050 \text{ J}}{350 \text{ K}} = 1 \text{ J/K}.$$

(0,2 ponto) por encontrar a variação de entropia do universo. Em caso de erro propagado: 0,1 ponto

- (b) **[1,3 ponto]**

O rendimento de uma máquina de Carnot

$$\eta = 1 - \frac{T_F}{T_Q} = 1 - \frac{350}{600} = \frac{W_C}{Q_Q} = \frac{W_C}{1200 \text{ J}},$$

(0,8 ponto) por encontrar o rendimento de uma máquina de Carnot.

Isso implica que o trabalho em um ciclo de Carnot seria:

$$W_C = 500 \text{ J}.$$

(0,5 ponto) por encontrar o trabalho líquido de uma máquina de Carnot. Em caso de erro propagado: 0.3 ponto

■



Seção 1. Múltipla escolha ($8 \times 0,625 = 5,0$ pontos)

1. Uma certa quantidade de massa m de uma substância que se vaporiza à temperatura T_1 e tem calor latente de vaporização L pode ser completamente vaporizada por dois processos: (i) em contato com um reservatório térmico a temperatura T_1 ; (ii) em contato com um reservatório térmico a temperatura $2T_1$. Considerando-se apenas o processo de vaporização da substância nos processos (i) e (ii), pode-se afirmar que os mesmos são, respectivamente:

- (a) reversível, reversível
- (b) reversível, irreversível
- (c) irreversível, reversível
- (d) irreversível, irreversível
- (e) nada se pode afirmar

2. A energia interna de um sistema aumentou 400 J quando absorveu 600 J de calor. Foi realizado trabalho sobre ou pelo sistema? Qual o módulo do trabalho realizado?

- (a) sobre o sistema, 200 J
- (b) pelo sistema, 200 J
- (c) sobre o sistema, 400 J
- (d) pelo sistema, 400 J
- (e) sobre o sistema, 600 J

3. Num processo de expansão livre de um gás ideal isolado do ambiente:

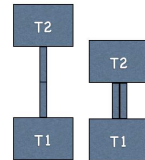
- (a) A energia interna do gás aumenta e a entropia fica a mesma.
- (b) A energia interna e a entropia do gás ficam as mesmas.
- (c) A energia interna do gás diminui e a entropia fica a mesma.
- (d) A energia interna e a entropia do gás aumentam.
- (e) A energia interna do gás fica a mesma e a entropia aumenta.
- (f) A energia interna do gás diminui e a entropia aumenta.
- (g) A energia interna e a entropia do gás diminuem.

4. Um cubo de gelo de massa m e calor latente de fusão L_f funde-se à temperatura ambiente T_v de um dia de verão no Rio de Janeiro. A temperatura do gelo é T_0 , constante durante a fusão. Qual a variação de entropia do gelo ao derreter-se? O resultado seria diferente se fosse inverno no Rio com temperatura T_I ? O resultado seria diferente se o cubo derretesse fornecendo-lhe apenas trabalho?

- (a) $\Delta S = mL_f/T_0$. Não, pois a temperatura do gelo continua a mesma. Não, pois a entropia é uma função de estado.
- (b) $\Delta S = mL_f/T_v$. Não, pois a temperatura do gelo continua a mesma. Não, pois a entropia é uma função de estado.
- (c) $\Delta S = mL_f/T_0$. Sim, pois a temperatura externa é T_I . Não, pois a entropia é uma função de estado.
- (d) $\Delta S = mL_f/T_v$. Não, pois a temperatura do gelo continua a mesma. Sim, pois a entropia depende da temperatura.
- (e) $\Delta S = mL_f/T_v$. Sim, pois a temperatura externa é T_I . Sim, pois a entropia depende da temperatura.

5. Dois cilindros longos, finos, sólidos e idênticos são utilizados para conduzir calor de um reservatório quente para outro frio. Sabendo que na configuração à esquerda (na figura abaixo) a taxa de transferência de calor é H_0 , qual o valor da taxa de transferência de calor para a configuração da direita?

- (a) $4H_0$
- (b) $2H_0$
- (c) $H_0/2$
- (d) $16H_0$
- (e) $8H_0$



6. Qual é a origem do fator “3” na equação $v_{rms} = \sqrt{3p/\rho}$?

- (a) Ele é uma aproximação para π .
- (b) Ele é obtido pela comparação das unidades de pressão e de massa específica.
- (c) Ele está relacionado ao número de dimensões do espaço.
- (d) Ele surge da integração de v^2 para obter-se a média
- (e) Nenhuma das respostas anteriores.

7. Das afirmações que seguem, diga quais são verdadeiras: (i) Em um gás ideal o módulo da velocidade de uma molécula é inalterado após uma colisão dessa molécula com as paredes do recipiente que contem o gás. (ii) Num gás ideal não há uma energia potencial de interação entre as suas moléculas. (iii) A energia interna de um gás ideal é proporcional à sua temperatura e inversamente proporcional à sua pressão.

- (a) Apenas (i).
- (b) Apenas (ii).
- (c) Apenas (iii).
- (d) Apenas (i) e (ii).
- (e) Apenas (i) e (iii).
- (f) Apenas (ii) e (iii).
- (g) Todos elas.
- (h) Nenhum delas.

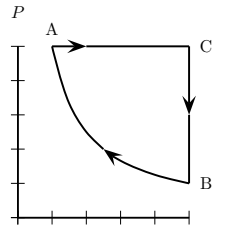
8. Considere um gás ideal que absorve calor Q segundo um dos processos que seguem: (i) a volume constante; (ii) a pressão constante e (iii) a temperatura constante. Para quais desses processos tem-se a variação da energia interna do gás (ΔE_{in}) igual a zero?

- (a) Apenas (i).
- (b) Apenas (ii).
- (c) Apenas (iii).
- (d) Apenas (i) e (ii).
- (e) Apenas (i) e (iii).
- (f) Apenas (ii) e (iii).
- (g) Todos eles.
- (h) Nenhum deles.

Seção 2. Questões discursivas ($2 \times 2,5 = 5,0$ pontos)

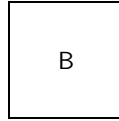
1. [2,5 pontos] Um mol de um gás monoatômico ideal realiza o ciclo mostrado na figura. O processo $B \rightarrow A$ é uma contração isotérmica reversível. São conhecidos P_C e V_C e sabe-se que $P_C = 5P_B$ e $V_C = 5V_A$. Suponha conhecidas as relações entre C_P , C_V , R e o número de graus de liberdade do gás. Calcule, COM JUSTIFICATIVAS, em função apenas de P_C e V_C :

- (Observação: NÃO é necessário calcular valores numéricos para logaritmos.)
- (a) O trabalho líquido feito SOBRE o gás no ciclo, deduzindo as expressões utilizadas.
- (b) O calor transferido em cada etapa, deixando claro se este foi absorvido pelo gás ou cedido por ele.
- (c) O rendimento do ciclo.



2. [2,5 pontos] Uma máquina térmica opera entre dois reservatórios a $T_Q = 600K$ e $T_F = 350K$. Ela absorve 1200 J de calor do reservatório de temperatura mais elevada e executa 150 J de trabalho durante um ciclo. Encontre COM JUSTIFICATIVAS:

- (a) A variação da entropia da máquina ΔS_M em um ciclo e a variação da entropia do universo ΔS_U para este processo.
- (b) O trabalho feito por uma máquina de Carnot que opera entre esses dois reservatórios absorvendo 1200 J de calor da fonte de temperatura mais elevada.



Seção 1. Múltipla escolha (8×0,625 = 5,0 pontos)

- | | |
|--------|--------|
| 1. (b) | 5. (a) |
| 2. (b) | 6. (c) |
| 3. (e) | 7. (d) |
| 4. (a) | 8. (c) |

Seção 2. Questões discursivas (2×2,5 = 5,0 pontos)

1. Resolução:

- (a) **(1,0 ponto)** Devemos inicialmente calcular o trabalho realizado sobre o gás em cada um dos três processos termodinâmicos presentes no ciclo.

O processo $C \rightarrow B$ ocorre a volume constante ($dV = 0$), portanto **(0,1 ponto)**

$$W_{C \rightarrow B} = - \int_C^B P dV = 0. \quad (1)$$

O processo $A \rightarrow C$ é realizado a pressão constante, $P = P_C$, de modo que **(0,3 ponto)**

$$W_{A \rightarrow C} = - \int_A^C P dV = -P_C \int_{V_A}^{V_C} dV = -P_C(V_C - V_A) = -\frac{4}{5}P_C V_C. \quad (2)$$

O processo $B \rightarrow A$ isotérmico, ou seja, $PV = P_A V_A = P_B V_B$. Assim **(0,5 ponto)**

$$W_{B \rightarrow A} = - \int_B^A P dV = -P_A V_A \int_{V_B}^{V_A} \frac{dV}{V} = -P_A V_A \ln\left(\frac{V_A}{V_B}\right) = \frac{1}{5}P_C V_C \ln 5. \quad (3)$$

Logo, o trabalho líquido total realizado sobre o gás no ciclo é dado por **(0,1 ponto)**

$$W_{ciclo} = W_{C \rightarrow B} + W_{A \rightarrow C} + W_{B \rightarrow A} = \frac{1}{5}P_C V_C (\ln 5 - 4) < 0. \quad (4)$$

- (b) **(1,2 ponto)**

BA: Como o processo $B \rightarrow A$ é isotérmico ($T = \text{constante}$) e a energia interna de um gás ideal depende apenas de sua temperatura, concluímos que $\Delta E_{B \rightarrow A} = 0$. Logo, segue da 1ª lei da termodinâmica que **(0,3 ponto - incluindo a justificativa)**

$$\Delta E_{B \rightarrow A} = Q_{B \rightarrow A} + W_{B \rightarrow A} = 0 \Rightarrow Q_{B \rightarrow A} = -W_{B \rightarrow A} = -\frac{1}{5}P_C V_C \ln 5 < 0. \quad (5)$$

Como $Q_{B \rightarrow A} < 0$ o calor é rejeitado (cedido) pelo gás no processo $B \rightarrow A$ **(0,1 ponto)**.

CB: O processo $C \rightarrow B$ é isocórico, de modo que

$$Q_{C \rightarrow B} = nC_V(T_B - T_C), \quad (6)$$

Por outro lado, segue da equação de estado dos gases ideais que

$$T_A = T_B = \frac{P_A V_A}{nR} = \frac{P_C V_C}{5nR} \quad \text{e} \quad T_C = \frac{P_C V_C}{nR}. \quad (7)$$

Desta forma **(0,3 ponto - incluindo as passagens anteriores)**

$$Q_{C \rightarrow B} = nC_V \left(-\frac{4}{5} \frac{P_C V_C}{nR} \right) = -\frac{6}{5}P_C V_C < 0 \quad (8)$$

onde utilizamos que para um gás monoatômico $C_V = 3R/2$. Concluímos ainda que, como $Q_{C \rightarrow B} < 0$ o calor é rejeitado (cedido) pelo gás neste processo **(0,1 ponto)**.

AC: O processo $A \rightarrow C$ é isobárico, de forma que **(0,3 ponto)**

$$Q_{A \rightarrow C} = nC_P(T_C - T_A) = n \frac{5R}{2} \left(\frac{4}{5} \frac{P_C V_C}{nR} \right) = 2P_C V_C > 0. \quad (9)$$

Como $Q_{A \rightarrow C} > 0$ concluímos que o calor é absorvido pelo gás nesse processo **(0,1 ponto)**.

- (c) **(0,3 ponto; em caso de erro propagado: 0.1 ponto)** O rendimento do ciclo é dado pela razão entre o módulo do trabalho realizado sobre o sistema e o calor absorvido pelo mesmo. Portanto,

$$\epsilon = \frac{|W_{ciclo}|}{Q_{absorvido}} = \frac{\frac{1}{5}P_C V_C (4 - \ln 5)}{2P_C V_C} = \frac{4 - \ln 5}{10}. \quad (10)$$

■

2. Resolução:

- (a) **[1,2 ponto]**

A variação de entropia em um processo cíclico para uma máquina é:

$$\Delta S_M = 0.$$

(0,2 ponto) por concluir que a variação de entropia no ciclo é nula.

A variação de entropia do universo é a soma das variações de entropia das fontes quente e fria

$$\Delta S_U = \Delta S_Q + \Delta S_F,$$

onde $\Delta S_Q = \frac{-1200 \text{ J}}{600 \text{ K}}$ e $\Delta S_F = \frac{Q_F \text{ J}}{350 \text{ K}}$. Devemos obter o calor trocado na fonte fria $Q_F = Q_Q - W_M = 1200 \text{ J} - 150 \text{ J}$; logo,

$$\Delta S_F = \frac{1050 \text{ J}}{350 \text{ K}}.$$

(0,4 ponto) por encontrar a variação de entropia da fonte quente.

(0,4 ponto) por encontrar a variação de entropia da fonte fria.

Assim, a variação de entropia do Universo é:

$$\Delta S_U = \frac{-1200 \text{ J}}{600 \text{ K}} + \frac{1050 \text{ J}}{350 \text{ K}} = 1 \text{ J/K}.$$

(0,2 ponto) por encontrar a variação de entropia do universo. Em caso de erro propagado: 0,1 ponto

- (b) **[1,3 ponto]**

O rendimento de uma máquina de Carnot

$$\eta = 1 - \frac{T_F}{T_Q} = 1 - \frac{350}{600} = \frac{W_C}{Q_Q} = \frac{W_C}{1200 \text{ J}},$$

(0,8 ponto) por encontrar o rendimento de uma máquina de Carnot.

Isso implica que o trabalho em um ciclo de Carnot seria:

$$W_C = 500 \text{ J}.$$

(0,5 ponto) por encontrar o trabalho líquido de uma máquina de Carnot. Em caso de erro propagado: 0.3 ponto

■



Versão:

C

Seção 1. Múltipla escolha (8×0,625 = 5,0 pontos)

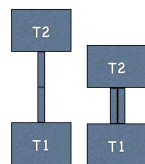
1. Uma certa quantidade de massa m de uma substância que se vaporiza à temperatura T_1 e tem calor latente de vaporização L pode ser completamente vaporizada por dois processos: (i) em contato com um reservatório térmico a temperatura T_1 ; (ii) em contato com um reservatório térmico a temperatura $2T_1$. Considerando-se apenas o processo de vaporização da substância nos processos (i) e (ii), pode-se afirmar que os mesmos são, respectivamente:

- (a) reversível, reversível
- (b) reversível, irreversível
- (c) irreversível, reversível
- (d) irreversível, irreversível
- (e) nada se pode afirmar

3. Das afirmações que seguem, diga quais são verdadeiras: (i) Em um gás ideal o módulo da velocidade de uma molécula é inalterado após uma colisão dessa molécula com as paredes do recipiente que contem o gás. (ii) Num gás ideal não há uma energia potencial de interação entre as suas moléculas. (iii) A energia interna de um gás ideal é proporcional à sua temperatura e inversamente proporcional à sua pressão.

- (a) Apenas (i).
- (b) Apenas (ii).
- (c) Apenas (iii).
- (d) Apenas (i) e (ii).
- (e) Apenas (i) e (iii).
- (f) Apenas (ii) e (iii).
- (g) Todas elas.
- (h) Nenhum delas.

4. Dois cilindros longos, finos, sólidos e idênticos são utilizados para conduzir calor de um reservatório quente para outro frio. Sabendo que na configuração à esquerda (na figura abaixo) a taxa de transferência de calor é H_0 , qual o valor da taxa de transferência de calor para a configuração da direita?



- (a) $4H_0$
- (b) $2H_0$
- (c) $H_0/2$
- (d) $16H_0$
- (e) $8H_0$

2. Um cubo de gelo de massa m e calor latente de fusão L_f funde-se à temperatura ambiente T_v de um dia de verão no Rio de Janeiro. A temperatura do gelo é T_0 , constante durante a fusão. Qual a variação de entropia do gelo ao derreter-se? O resultado seria diferente se fosse inverno no Rio com temperatura T_I ? O resultado seria diferente se o cubo derretesse fornecendo-lhe apenas trabalho?

- (a) $\Delta S = mL_f/T_0$. Não, pois a temperatura do gelo continua a mesma. Não, pois a entropia é uma função de estado.
- (b) $\Delta S = mL_f/T_v$. Não, pois a temperatura do gelo continua a mesma. Não, pois a entropia é uma função de estado.
- (c) $\Delta S = mL_f/T_0$. Sim, pois a temperatura externa é T_I . Não, pois a entropia é uma função de estado.
- (d) $\Delta S = mL_f/T_v$. Não, pois a temperatura do gelo continua a mesma. Sim, pois a entropia depende da temperatura.
- (e) $\Delta S = mL_f/T_v$. Sim, pois a temperatura externa é T_I . Sim, pois a entropia depende da temperatura.

5. Considere um gás ideal que absorve calor Q segundo um dos processos que seguem: (i) a volume constante; (ii) a pressão constante e (iii) a temperatura constante. Para quais desses processos tem-se a variação da energia interna do gás (ΔE_{in}) igual a zero?

- (a) Apenas (i).
- (b) Apenas (ii).
- (c) Apenas (iii).
- (d) Apenas (i) e (ii).
- (e) Apenas (i) e (iii).
- (f) Apenas (ii) e (iii).
- (g) Todos eles.
- (h) Nenhum deles.

6. Qual é a origem do fator “3” na equação $v_{rms} = \sqrt{3p/\rho}$?

- (a) Ele é uma aproximação para π .
- (b) Ele é obtido pela comparação das unidades de pressão e de massa específica.
- (c) Ele está relacionado ao número de dimensões do espaço.
- (d) Ele surge da integração de v^2 para obter-se a média
- (e) Nenhuma das respostas anteriores.

7. Num processo de expansão livre de um gás ideal isolado do ambiente:

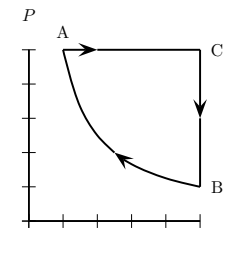
- (a) A energia interna do gás aumenta e a entropia fica a mesma.
- (b) A energia interna e a entropia do gás ficam as mesmas.
- (c) A energia interna do gás diminui e a entropia fica a mesma.
- (d) A energia interna e a entropia do gás aumentam.
- (e) A energia interna do gás fica a mesma e a entropia aumenta.
- (f) A energia interna do gás diminui e a entropia aumenta.
- (g) A energia interna e a entropia do gás diminuem.

8. A energia interna de um sistema aumentou 400 J quando absorveu 600 J de calor. Foi realizado trabalho sobre ou pelo sistema? Qual o módulo do trabalho realizado?

- (a) sobre o sistema, 200 J
- (b) pelo sistema, 200 J
- (c) sobre o sistema, 400 J
- (d) pelo sistema, 400 J
- (e) sobre o sistema, 600 J

Seção 2. Questões discursivas (2×2,5 = 5,0 pontos)

1. [2,5 pontos] Um mol de um gás monoatômico ideal realiza o ciclo mostrado na figura. O processo $B \rightarrow A$ é uma contração isotérmica reversível. São conhecidos P_C e V_C e sabe-se que $P_C = 5P_B$ e $V_C = 5V_A$. Suponha conhecidas as relações entre C_P , C_V , R e o número de graus de liberdade do gás. Calcule, COM JUSTIFICATIVAS, em função apenas de P_C e V_C :

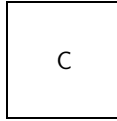


- (Observação: NÃO é necessário calcular valores numéricos para logaritmos.)
- (a) O trabalho líquido feito SOBRE o gás no ciclo, deduzindo as expressões utilizadas.
- (b) O calor transferido em cada etapa, deixando claro se este foi absorvido pelo gás ou cedido por ele.
- (c) O rendimento do ciclo.

2. [2,5 pontos] Uma máquina térmica opera entre dois reservatórios a $T_Q = 600K$ e $T_F = 350K$. Ela absorve 1200 J de calor do reservatório de temperatura mais elevada e executa 150 J de trabalho durante um ciclo. Encontre COM JUSTIFICATIVAS:

- (a) A variação da entropia da máquina ΔS_M em um ciclo e a variação da entropia do universo ΔS_U para este processo.
- (b) O trabalho feito por uma máquina de Carnot que opera entre esses dois reservatórios absorvendo 1200 J de calor da fonte de temperatura mais elevada.

FIM



Seção 1. Múltipla escolha (8×0,625 = 5,0 pontos)

- | | |
|--------|--------|
| 1. (b) | 5. (c) |
| 2. (a) | 6. (c) |
| 3. (d) | 7. (e) |
| 4. (a) | 8. (b) |

Seção 2. Questões discursivas (2×2,5 = 5,0 pontos)

1. Resolução:

- (a) **(1,0 ponto)** Devemos inicialmente calcular o trabalho realizado sobre o gás em cada um dos três processos termodinâmicos presentes no ciclo.

O processo $C \rightarrow B$ ocorre a volume constante ($dV = 0$), portanto **(0,1 ponto)**

$$W_{C \rightarrow B} = - \int_C^B P dV = 0. \quad (1)$$

O processo $A \rightarrow C$ é realizado a pressão constante, $P = P_C$, de modo que **(0,3 ponto)**

$$W_{A \rightarrow C} = - \int_A^C P dV = -P_C \int_{V_A}^{V_C} dV = -P_C(V_C - V_A) = -\frac{4}{5}P_C V_C. \quad (2)$$

O processo $B \rightarrow A$ isotérmico, ou seja, $PV = P_A V_A = P_B V_B$. Assim **(0,5 ponto)**

$$W_{B \rightarrow A} = - \int_B^A P dV = -P_A V_A \int_{V_B}^{V_A} \frac{dV}{V} = -P_A V_A \ln\left(\frac{V_A}{V_B}\right) = \frac{1}{5}P_C V_C \ln 5. \quad (3)$$

Logo, o trabalho líquido total realizado sobre o gás no ciclo é dado por **(0,1 ponto)**

$$W_{ciclo} = W_{C \rightarrow B} + W_{A \rightarrow C} + W_{B \rightarrow A} = \frac{1}{5}P_C V_C (\ln 5 - 4) < 0. \quad (4)$$

- (b) **(1,2 ponto)**

BA: Como o processo $B \rightarrow A$ é isotérmico ($T = \text{constante}$) e a energia interna de um gás ideal depende apenas de sua temperatura, concluímos que $\Delta E_{B \rightarrow A} = 0$. Logo, segue da 1ª lei da termodinâmica que **(0,3 ponto - incluindo a justificativa)**

$$\Delta E_{B \rightarrow A} = Q_{B \rightarrow A} + W_{B \rightarrow A} = 0 \Rightarrow Q_{B \rightarrow A} = -W_{B \rightarrow A} = -\frac{1}{5}P_C V_C \ln 5 < 0. \quad (5)$$

Como $Q_{B \rightarrow A} < 0$ o calor é rejeitado (cedido) pelo gás no processo $B \rightarrow A$ **(0,1 ponto)**.

CB: O processo $C \rightarrow B$ é isocórico, de modo que

$$Q_{C \rightarrow B} = nC_V(T_B - T_C), \quad (6)$$

Por outro lado, segue da equação de estado dos gases ideais que

$$T_A = T_B = \frac{P_A V_A}{nR} = \frac{P_C V_C}{5nR} \quad \text{e} \quad T_C = \frac{P_C V_C}{nR}. \quad (7)$$

Desta forma **(0,3 ponto - incluindo as passagens anteriores)**

$$Q_{C \rightarrow B} = nC_V \left(-\frac{4}{5} \frac{P_C V_C}{nR} \right) = -\frac{6}{5} P_C V_C < 0 \quad (8)$$

onde utilizamos que para um gás monoatômico $C_V = 3R/2$. Concluímos ainda que, como $Q_{C \rightarrow B} < 0$ o calor é rejeitado (cedido) pelo gás neste processo **(0,1 ponto)**.

AC: O processo $A \rightarrow C$ é isobárico, de forma que **(0,3 ponto)**

$$Q_{A \rightarrow C} = nC_P(T_C - T_A) = n \frac{5R}{2} \left(\frac{4}{5} \frac{P_C V_C}{nR} \right) = 2P_C V_C > 0. \quad (9)$$

Como $Q_{A \rightarrow C} > 0$ concluímos que o calor é absorvido pelo gás nesse processo **(0,1 ponto)**.

- (c) **(0,3 ponto; em caso de erro propagado: 0.1 ponto)** O rendimento do ciclo é dado pela razão entre o módulo do trabalho realizado sobre o sistema e o calor absorvido pelo mesmo. Portanto,

$$\epsilon = \frac{|W_{ciclo}|}{Q_{absorvido}} = \frac{\frac{1}{5}P_C V_C (4 - \ln 5)}{2P_C V_C} = \frac{4 - \ln 5}{10}. \quad (10)$$

■

2. Resolução:

- (a) **[1,2 ponto]**

A variação de entropia em um processo cíclico para uma máquina é:

$$\Delta S_M = 0.$$

(0,2 ponto) por concluir que a variação de entropia no ciclo é nula.

A variação de entropia do universo é a soma das variações de entropia das fontes quente e fria

$$\Delta S_U = \Delta S_Q + \Delta S_F,$$

onde $\Delta S_Q = \frac{-1200 \text{ J}}{600 \text{ K}}$ e $\Delta S_F = \frac{Q_F \text{ J}}{350 \text{ K}}$. Devemos obter o calor trocado na fonte fria $Q_F = Q_Q - W_M = 1200 \text{ J} - 150 \text{ J}$; logo, $\Delta S_F = \frac{1050 \text{ J}}{350 \text{ K}}$.

(0,4 ponto) por encontrar a variação de entropia da fonte quente.

(0,4 ponto) por encontrar a variação de entropia da fonte fria.

Assim, a variação de entropia do Universo é:

$$\Delta S_U = \frac{-1200 \text{ J}}{600 \text{ K}} + \frac{1050 \text{ J}}{350 \text{ K}} = 1 \text{ J/K}.$$

(0,2 ponto) por encontrar a variação de entropia do universo. Em caso de erro propagado: 0,1 ponto

- (b) **[1,3 ponto]**

O rendimento de uma máquina de Carnot

$$\eta = 1 - \frac{T_F}{T_Q} = 1 - \frac{350}{600} = \frac{W_C}{Q_Q} = \frac{W_C}{1200 \text{ J}},$$

(0,8 ponto) por encontrar o rendimento de uma máquina de Carnot.

Isso implica que o trabalho em um ciclo de Carnot seria:

$$W_C = 500 \text{ J}.$$

(0,5 ponto) por encontrar o trabalho líquido de uma máquina de Carnot. Em caso de erro propagado: 0.3 ponto

■



Versão:

D

Seção 1. Múltipla escolha ($8 \times 0,625 = 5,0$ pontos)

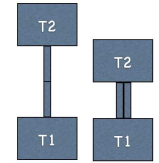
- Qual é a origem do fator “3” na equação $v_{rms} = \sqrt{3p/\rho}$?
 - Ele é uma aproximação para π .
 - Ele é obtido pela comparação das unidades de pressão e de massa específica.
 - Ele está relacionado ao número de dimensões do espaço.
 - Ele surge da integração de v^2 para obter-se a média
 - Nenhuma das respostas anteriores.
- Das afirmações que seguem, diga quais são verdadeiras: (i) Em um gás ideal o módulo da velocidade de uma molécula é inalterado após uma colisão dessa molécula com as paredes do recipiente que contem o gás. (ii) Num gás ideal não há uma energia potencial de interação entre as suas moléculas. (iii) A energia interna de um gás ideal é proporcional à sua temperatura e inversamente proporcional à sua pressão.
 - Apenas (i).
 - Apenas (ii).
 - Apenas (iii).
 - Apenas (i) e (ii).
 - Apenas (i) e (iii).
 - Apenas (ii) e (iii).
 - Todas elas.
 - Nenhum delas.
- Num processo de expansão livre de um gás ideal isolado do ambiente:
 - A energia interna do gás aumenta e a entropia fica a mesma.
 - A energia interna e a entropia do gás ficam as mesmas.
 - A energia interna do gás diminui e a entropia fica a mesma.
 - A energia interna e a entropia do gás aumentam.
 - A energia interna do gás fica a mesma e a entropia aumenta.
 - A energia interna do gás diminui e a entropia aumenta.
 - A energia interna e a entropia do gás diminuem.

- A energia interna de um sistema aumentou 400 J quando absorveu 600 J de calor. Foi realizado trabalho sobre ou pelo sistema? Qual o módulo do trabalho realizado?
 - sobre o sistema, 200 J
 - pelo sistema, 200 J
 - sobre o sistema, 400 J
 - pelo sistema, 400 J
 - sobre o sistema, 600 J
- Considere um gás ideal que absorve calor Q segundo um dos processos que seguem: (i) a volume constante; (ii) a pressão constante e (iii) a temperatura constante. Para quais desses processos tem-se a variação da energia interna do gás (ΔE_{in}) igual a zero?
 - Apenas (i).
 - Apenas (ii).
 - Apenas (iii).
 - Apenas (i) e (ii).
 - Apenas (i) e (iii).
 - Apenas (ii) e (iii).
 - Todos eles.
 - Nenhum deles.
- Uma certa quantidade de massa m de uma substância que se vaporiza à temperatura T_1 e tem calor latente de vaporização L pode ser completamente vaporizada por dois processos: (i) em contato com um reservatório térmico a temperatura T_1 ; (ii) em contato com um reservatório térmico a temperatura $2T_1$. Considerando-se apenas o processo de vaporização da substância nos processos (i) e (ii), pode-se afirmar que os mesmos são, respectivamente:
 - reversível, reversível
 - reversível, irreversível
 - irreversível, reversível
 - irreversível, irreversível
 - nada se pode afirmar

- Um cubo de gelo de massa m e calor latente de fusão L_f funde-se à temperatura ambiente T_v de um dia de verão no Rio de Janeiro. A temperatura do gelo é T_0 , constante durante a fusão. Qual a variação de entropia do gelo ao derreter-se? O resultado seria diferente se fosse inverno no Rio com temperatura T_I ? O resultado seria diferente se o cubo derretesse fornecendo-lhe apenas trabalho?
 - $\Delta S = mL_f/T_0$. Não, pois a temperatura do gelo continua a mesma. Não, pois a entropia é uma função de estado.
 - $\Delta S = mL_f/T_v$. Não, pois a temperatura do gelo continua a mesma. Não, pois a entropia é uma função de estado.
 - $\Delta S = mL_f/T_0$. Sim, pois a temperatura externa é T_I . Não, pois a entropia é uma função de estado.
 - $\Delta S = mL_f/T_v$. Não, pois a temperatura do gelo continua a mesma. Sim, pois a entropia depende da temperatura.
 - $\Delta S = mL_f/T_v$. Sim, pois a temperatura externa é T_I . Sim, pois a entropia depende da temperatura.

- Dois cilindros longos, finos, sólidos e idênticos são utilizados para conduzir calor de um reservatório quente para outro frio. Sabendo que na configuração à esquerda (na figura abaixo) a taxa de transferência de calor é H_0 , qual o valor da taxa de transferência de calor para a configuração da direita?

- $4H_0$
- $2H_0$
- $H_0/2$
- $16H_0$
- $8H_0$

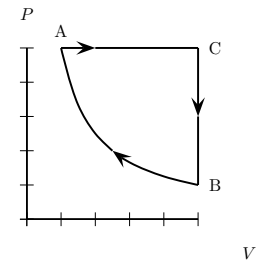


Seção 2. Questões discursivas ($2 \times 2,5 = 5,0$ pontos)

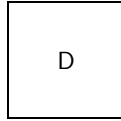
- [2,5 pontos] Um mol de um gás monoatômico ideal realiza o ciclo mostrado na figura. O processo $B \rightarrow A$ é uma contração isotérmica reversível. São conhecidos P_C e V_C e sabe-se que $P_C = 5P_B$ e $V_C = 5V_A$. Suponha conhecidas as relações entre C_P , C_V , R e o número de graus de liberdade do gás. Calcule, COM JUSTIFICATIVAS, em função apenas de P_C e V_C :

(Observação: NÃO é necessário calcular valores numéricos para logaritmos.)

 - O trabalho líquido feito SOBRE o gás no ciclo, deduzindo as expressões utilizadas.
 - O calor transferido em cada etapa, deixando claro se este foi absorvido pelo gás ou cedido por ele.
 - O rendimento do ciclo.
- [2,5 pontos] Uma máquina térmica opera entre dois reservatórios a $T_Q = 600K$ e $T_F = 350K$. Ela absorve 1200 J de calor do reservatório de temperatura mais elevada e executa 150 J de trabalho durante um ciclo. Encontre COM JUSTIFICATIVAS:
 - A variação da entropia da máquina ΔS_M em um ciclo e a variação da entropia do universo ΔS_U para este processo.
 - O trabalho feito por uma máquina de Carnot que opera entre esses dois reservatórios absorvendo 1200 J de calor da fonte de temperatura mais elevada.



FIM



Seção 1. Múltipla escolha (8×0,625 = 5,0 pontos)

- | | |
|--------|--------|
| 1. (c) | 5. (c) |
| 2. (d) | 6. (b) |
| 3. (e) | 7. (a) |
| 4. (b) | 8. (a) |

Seção 2. Questões discursivas (2×2,5 = 5,0 pontos)

1. Resolução:

- (a) **(1,0 ponto)** Devemos inicialmente calcular o trabalho realizado sobre o gás em cada um dos três processos termodinâmicos presentes no ciclo.

O processo $C \rightarrow B$ ocorre a volume constante ($dV = 0$), portanto **(0,1 ponto)**

$$W_{C \rightarrow B} = - \int_C^B P dV = 0. \quad (1)$$

O processo $A \rightarrow C$ é realizado a pressão constante, $P = P_C$, de modo que **(0,3 ponto)**

$$W_{A \rightarrow C} = - \int_A^C P dV = -P_C \int_{V_A}^{V_C} dV = -P_C(V_C - V_A) = -\frac{4}{5}P_C V_C. \quad (2)$$

O processo $B \rightarrow A$ isotérmico, ou seja, $PV = P_A V_A = P_B V_B$. Assim **(0,5 ponto)**

$$W_{B \rightarrow A} = - \int_B^A P dV = -P_A V_A \int_{V_B}^{V_A} \frac{dV}{V} = -P_A V_A \ln\left(\frac{V_A}{V_B}\right) = \frac{1}{5}P_C V_C \ln 5. \quad (3)$$

Logo, o trabalho líquido total realizado sobre o gás no ciclo é dado por **(0,1 ponto)**

$$W_{ciclo} = W_{C \rightarrow B} + W_{A \rightarrow C} + W_{B \rightarrow A} = \frac{1}{5}P_C V_C (\ln 5 - 4) < 0. \quad (4)$$

- (b) **(1,2 ponto)**

BA: Como o processo $B \rightarrow A$ é isotérmico ($T = \text{constante}$) e a energia interna de um gás ideal depende apenas de sua temperatura, concluímos que $\Delta E_{B \rightarrow A} = 0$. Logo, segue da 1ª lei da termodinâmica que **(0,3 ponto - incluindo a justificativa)**

$$\Delta E_{B \rightarrow A} = Q_{B \rightarrow A} + W_{B \rightarrow A} = 0 \Rightarrow Q_{B \rightarrow A} = -W_{B \rightarrow A} = -\frac{1}{5}P_C V_C \ln 5 < 0. \quad (5)$$

Como $Q_{B \rightarrow A} < 0$ o calor é rejeitado (cedido) pelo gás no processo $B \rightarrow A$ **(0,1 ponto)**.

CB: O processo $C \rightarrow B$ é isocórico, de modo que

$$Q_{C \rightarrow B} = nC_V(T_B - T_C), \quad (6)$$

Por outro lado, segue da equação de estado dos gases ideais que

$$T_A = T_B = \frac{P_A V_A}{nR} = \frac{P_C V_C}{5nR} \quad \text{e} \quad T_C = \frac{P_C V_C}{nR}. \quad (7)$$

Desta forma **(0,3 ponto - incluindo as passagens anteriores)**

$$Q_{C \rightarrow B} = nC_V \left(-\frac{4}{5} \frac{P_C V_C}{nR} \right) = -\frac{6}{5} P_C V_C < 0 \quad (8)$$

onde utilizamos que para um gás monoatômico $C_V = 3R/2$. Concluímos ainda que, como $Q_{C \rightarrow B} < 0$ o calor é rejeitado (cedido) pelo gás neste processo **(0,1 ponto)**.

AC: O processo $A \rightarrow C$ é isobárico, de forma que **(0,3 ponto)**

$$Q_{A \rightarrow C} = nC_P(T_C - T_A) = n \frac{5R}{2} \left(\frac{4}{5} \frac{P_C V_C}{nR} \right) = 2P_C V_C > 0. \quad (9)$$

Como $Q_{A \rightarrow C} > 0$ concluímos que o calor é absorvido pelo gás nesse processo **(0,1 ponto)**.

- (c) **(0,3 ponto; em caso de erro propagado: 0.1 ponto)** O rendimento do ciclo é dado pela razão entre o módulo do trabalho realizado sobre o sistema e o calor absorvido pelo mesmo. Portanto,

$$\epsilon = \frac{|W_{ciclo}|}{Q_{absorvido}} = \frac{\frac{1}{5}P_C V_C (4 - \ln 5)}{2P_C V_C} = \frac{4 - \ln 5}{10}. \quad (10)$$

■

2. Resolução:

- (a) **[1,2 ponto]**

A variação de entropia em um processo cíclico para uma máquina é:

$$\Delta S_M = 0.$$

(0,2 ponto) por concluir que a variação de entropia no ciclo é nula.

A variação de entropia do universo é a soma das variações de entropia das fontes quente e fria

$$\Delta S_U = \Delta S_Q + \Delta S_F,$$

onde $\Delta S_Q = \frac{-1200 \text{ J}}{600 \text{ K}}$ e $\Delta S_F = \frac{Q_F \text{ J}}{350 \text{ K}}$. Devemos obter o calor trocado na fonte fria $Q_F = Q_Q - W_M = 1200 \text{ J} - 150 \text{ J}$; logo, $\Delta S_F = \frac{1050 \text{ J}}{350 \text{ K}}$.

(0,4 ponto) por encontrar a variação de entropia da fonte quente.

(0,4 ponto) por encontrar a variação de entropia da fonte fria.

Assim, a variação de entropia do Universo é:

$$\Delta S_U = \frac{-1200 \text{ J}}{600 \text{ K}} + \frac{1050 \text{ J}}{350 \text{ K}} = 1 \text{ J/K}.$$

(0,2 ponto) por encontrar a variação de entropia do universo. Em caso de erro propagado: 0,1 ponto

- (b) **[1,3 ponto]**

O rendimento de uma máquina de Carnot

$$\eta = 1 - \frac{T_F}{T_Q} = 1 - \frac{350}{600} = \frac{W_C}{Q_Q} = \frac{W_C}{1200 \text{ J}},$$

(0,8 ponto) por encontrar o rendimento de uma máquina de Carnot.

Isso implica que o trabalho em um ciclo de Carnot seria:

$$W_C = 500 \text{ J}.$$

(0,5 ponto) por encontrar o trabalho líquido de uma máquina de Carnot. Em caso de erro propagado: 0.3 ponto

■



Versão:

E

Seção 1. Múltipla escolha (8×0,625 = 5,0 pontos)

1. Num processo de expansão livre de um gás ideal isolado do ambiente:

- (a) A energia interna do gás aumenta e a entropia fica a mesma.
- (b) A energia interna e a entropia do gás ficam as mesmas.
- (c) A energia interna do gás diminui e a entropia fica a mesma.
- (d) A energia interna e a entropia do gás aumentam.
- (e) A energia interna do gás fica a mesma e a entropia aumenta.
- (f) A energia interna do gás diminui e a entropia aumenta.
- (g) A energia interna e a entropia do gás diminuem.

2. Uma certa quantidade de massa m de uma substância que se vaporiza à temperatura T_1 e tem calor latente de vaporização L pode ser completamente vaporizada por dois processos: (i) em contato com um reservatório térmico a temperatura T_1 ; (ii) em contato com um reservatório térmico a temperatura $2T_1$. Considerando-se apenas o processo de vaporização da substância nos processos (i) e (ii), pode-se afirmar que os mesmos são, respectivamente:

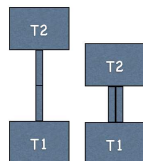
- (a) reversível, reversível
- (b) reversível, irreversível
- (c) irreversível, reversível
- (d) irreversível, irreversível
- (e) nada se pode afirmar

3. Um cubo de gelo de massa m e calor latente de fusão L_f funde-se à temperatura ambiente T_v de um dia de verão no Rio de Janeiro. A temperatura do gelo é T_0 , constante durante a fusão. Qual a variação de entropia do gelo ao derreter-se? O resultado seria diferente se fosse inverno no Rio com temperatura T_I ? O resultado seria diferente se o cubo derretesse fornecendo-lhe apenas trabalho?

- (a) $\Delta S = mL_f/T_0$. Não, pois a temperatura do gelo continua a mesma. Não, pois a entropia é uma função de estado.
- (b) $\Delta S = mL_f/T_v$. Não, pois a temperatura do gelo continua a mesma. Não, pois a entropia é uma função de estado.
- (c) $\Delta S = mL_f/T_0$. Sim, pois a temperatura externa é T_I . Não, pois a entropia é uma função de estado.
- (d) $\Delta S = mL_f/T_v$. Não, pois a temperatura do gelo continua a mesma. Sim, pois a entropia depende da temperatura.
- (e) $\Delta S = mL_f/T_v$. Sim, pois a temperatura externa é T_I . Sim, pois a entropia depende da temperatura.

4. Dois cilindros longos, finos, sólidos e idênticos são utilizados para conduzir calor de um reservatório quente para outro frio. Sabendo que na configuração à esquerda (na figura abaixo) a taxa de transferência de calor é H_0 , qual o valor da taxa de transferência de calor para a configuração da direita?

- (a) $4H_0$
- (b) $2H_0$
- (c) $H_0/2$
- (d) $16H_0$
- (e) $8H_0$



5. Das afirmações que seguem, diga quais são verdadeiras: (i) Em um gás ideal o módulo da velocidade de uma molécula é inalterado após uma colisão dessa molécula com as paredes do recipiente que contem o gás. (ii) Num gás ideal não há uma energia potencial de interação entre as suas moléculas. (iii) A energia interna de um gás ideal é proporcional à sua temperatura e inversamente proporcional à sua pressão.

- (a) Apenas (i).
- (b) Apenas (ii).
- (c) Apenas (iii).
- (d) Apenas (i) e (ii).
- (e) Apenas (i) e (iii).
- (f) Apenas (ii) e (iii).
- (g) Todos elas.
- (h) Nenhum delas.

6. Qual é a origem do fator “3” na equação $v_{rms} = \sqrt{3p/\rho}$?

- (a) Ele é uma aproximação para π .
- (b) Ele é obtido pela comparação das unidades de pressão e de massa específica.
- (c) Ele está relacionado ao número de dimensões do espaço.
- (d) Ele surge da integração de v^2 para obter-se a média
- (e) Nenhuma das respostas anteriores.

7. Considere um gás ideal que absorve calor Q segundo um dos processos que seguem: (i) a volume constante; (ii) a pressão constante e (iii) a temperatura constante. Para quais desses processos tem-se a variação da energia interna do gás (ΔE_{in}) igual a zero?

- (a) Apenas (i).
- (b) Apenas (ii).
- (c) Apenas (iii).
- (d) Apenas (i) e (ii).
- (e) Apenas (i) e (iii).
- (f) Apenas (ii) e (iii).
- (g) Todos eles.
- (h) Nenhum deles.

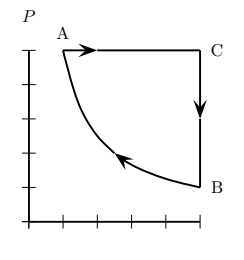
8. A energia interna de um sistema aumentou 400 J quando absorveu 600 J de calor. Foi realizado trabalho sobre ou pelo sistema? Qual o módulo do trabalho realizado?

- (a) sobre o sistema, 200 J
- (b) pelo sistema, 200 J
- (c) sobre o sistema, 400 J
- (d) pelo sistema, 400 J
- (e) sobre o sistema, 600 J

Seção 2. Questões discursivas (2×2,5 = 5,0 pontos)

1. [2,5 pontos] Um mol de um gás monoatômico ideal realiza o ciclo mostrado na figura. O processo $B \rightarrow A$ é uma contração isotérmica reversível. São conhecidos P_C e V_C e sabe-se que $P_C = 5P_B$ e $V_C = 5V_A$. Suponha conhecidas as relações entre C_P , C_V , R e o número de graus de liberdade do gás. Calcule, COM JUSTIFICATIVAS, em função apenas de P_C e V_C :

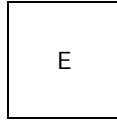
- (a) O trabalho líquido feito SOBRE o gás no ciclo, deduzindo as expressões utilizadas.
- (b) O calor transferido em cada etapa, deixando claro se este foi absorvido pelo gás ou cedido por ele.
- (c) O rendimento do ciclo.



2. [2,5 pontos] Uma máquina térmica opera entre dois reservatórios a $T_Q = 600K$ e $T_F = 350K$. Ela absorve 1200 J de calor do reservatório de temperatura mais elevada e executa 150 J de trabalho durante um ciclo. Encontre COM JUSTIFICATIVAS:

- (a) A variação da entropia da máquina ΔS_M em um ciclo e a variação da entropia do universo ΔS_U para este processo.
- (b) O trabalho feito por uma máquina de Carnot que opera entre esses dois reservatórios absorvendo 1200 J de calor da fonte de temperatura mais elevada.

FIM



Seção 1. Múltipla escolha (8×0,625 = 5,0 pontos)

- | | |
|--------|--------|
| 1. (e) | 5. (d) |
| 2. (b) | 6. (c) |
| 3. (a) | 7. (c) |
| 4. (a) | 8. (b) |

Seção 2. Questões discursivas (2×2,5 = 5,0 pontos)

1. Resolução:

- (a) **(1,0 ponto)** Devemos inicialmente calcular o trabalho realizado sobre o gás em cada um dos três processos termodinâmicos presentes no ciclo.

O processo $C \rightarrow B$ ocorre a volume constante ($dV = 0$), portanto **(0,1 ponto)**

$$W_{C \rightarrow B} = - \int_C^B P dV = 0. \quad (1)$$

O processo $A \rightarrow C$ é realizado a pressão constante, $P = P_C$, de modo que **(0,3 ponto)**

$$W_{A \rightarrow C} = - \int_A^C P dV = -P_C \int_{V_A}^{V_C} dV = -P_C(V_C - V_A) = -\frac{4}{5}P_C V_C. \quad (2)$$

O processo $B \rightarrow A$ isotérmico, ou seja, $PV = P_A V_A = P_B V_B$. Assim **(0,5 ponto)**

$$W_{B \rightarrow A} = - \int_B^A P dV = -P_A V_A \int_{V_B}^{V_A} \frac{dV}{V} = -P_A V_A \ln\left(\frac{V_A}{V_B}\right) = \frac{1}{5}P_C V_C \ln 5. \quad (3)$$

Logo, o trabalho líquido total realizado sobre o gás no ciclo é dado por **(0,1 ponto)**

$$W_{ciclo} = W_{C \rightarrow B} + W_{A \rightarrow C} + W_{B \rightarrow A} = \frac{1}{5}P_C V_C (\ln 5 - 4) < 0. \quad (4)$$

- (b) **(1,2 ponto)**

BA: Como o processo $B \rightarrow A$ é isotérmico ($T = \text{constante}$) e a energia interna de um gás ideal depende apenas de sua temperatura, concluímos que $\Delta E_{B \rightarrow A} = 0$. Logo, segue da 1ª lei da termodinâmica que **(0,3 ponto - incluindo a justificativa)**

$$\Delta E_{B \rightarrow A} = Q_{B \rightarrow A} + W_{B \rightarrow A} = 0 \Rightarrow Q_{B \rightarrow A} = -W_{B \rightarrow A} = -\frac{1}{5}P_C V_C \ln 5 < 0. \quad (5)$$

Como $Q_{B \rightarrow A} < 0$ o calor é rejeitado (cedido) pelo gás no processo $B \rightarrow A$ **(0,1 ponto)**.

CB: O processo $C \rightarrow B$ é isocórico, de modo que

$$Q_{C \rightarrow B} = nC_V(T_B - T_C), \quad (6)$$

Por outro lado, segue da equação de estado dos gases ideais que

$$T_A = T_B = \frac{P_A V_A}{nR} = \frac{P_C V_C}{5nR} \quad \text{e} \quad T_C = \frac{P_C V_C}{nR}. \quad (7)$$

Desta forma **(0,3 ponto - incluindo as passagens anteriores)**

$$Q_{C \rightarrow B} = nC_V \left(-\frac{4}{5} \frac{P_C V_C}{nR} \right) = -\frac{6}{5} P_C V_C < 0 \quad (8)$$

onde utilizamos que para um gás monoatômico $C_V = 3R/2$. Concluímos ainda que, como $Q_{C \rightarrow B} < 0$ o calor é rejeitado (cedido) pelo gás neste processo **(0,1 ponto)**.

AC: O processo $A \rightarrow C$ é isobárico, de forma que **(0,3 ponto)**

$$Q_{A \rightarrow C} = nC_P(T_C - T_A) = n \frac{5R}{2} \left(\frac{4}{5} \frac{P_C V_C}{nR} \right) = 2P_C V_C > 0. \quad (9)$$

Como $Q_{A \rightarrow C} > 0$ concluímos que o calor é absorvido pelo gás nesse processo **(0,1 ponto)**.

- (c) **(0,3 ponto; em caso de erro propagado: 0.1 ponto)** O rendimento do ciclo é dado pela razão entre o módulo do trabalho realizado sobre o sistema e o calor absorvido pelo mesmo. Portanto,

$$\epsilon = \frac{|W_{ciclo}|}{Q_{absorvido}} = \frac{\frac{1}{5}P_C V_C (4 - \ln 5)}{2P_C V_C} = \frac{4 - \ln 5}{10}. \quad (10)$$

■

2. Resolução:

- (a) **[1,2 ponto]**

A variação de entropia em um processo cíclico para uma máquina é:

$$\Delta S_M = 0.$$

(0,2 ponto) por concluir que a variação de entropia no ciclo é nula.

A variação de entropia do universo é a soma das variações de entropia das fontes quente e fria

$$\Delta S_U = \Delta S_Q + \Delta S_F,$$

onde $\Delta S_Q = \frac{-1200 \text{ J}}{600 \text{ K}}$ e $\Delta S_F = \frac{Q_F \text{ J}}{350 \text{ K}}$. Devemos obter o calor trocado na fonte fria $Q_F = Q_Q - W_M = 1200 \text{ J} - 150 \text{ J}$; logo, $\Delta S_F = \frac{1050 \text{ J}}{350 \text{ K}}$.

(0,4 ponto) por encontrar a variação de entropia da fonte quente.

(0,4 ponto) por encontrar a variação de entropia da fonte fria.

Assim, a variação de entropia do Universo é:

$$\Delta S_U = \frac{-1200 \text{ J}}{600 \text{ K}} + \frac{1050 \text{ J}}{350 \text{ K}} = 1 \text{ J/K}.$$

(0,2 ponto) por encontrar a variação de entropia do universo. Em caso de erro propagado: 0,1 ponto

- (b) **[1,3 ponto]**

O rendimento de uma máquina de Carnot

$$\eta = 1 - \frac{T_F}{T_Q} = 1 - \frac{350}{600} = \frac{W_C}{Q_Q} = \frac{W_C}{1200 \text{ J}},$$

(0,8 ponto) por encontrar o rendimento de uma máquina de Carnot.

Isso implica que o trabalho em um ciclo de Carnot seria:

$$W_C = 500 \text{ J}.$$

(0,5 ponto) por encontrar o trabalho líquido de uma máquina de Carnot. Em caso de erro propagado: 0.3 ponto

■