

# Entropia

Gabriel Braun

Colégio e Curso Pensí, Coordenação de Química



## 1 Reversibilidade e Espontaneidade

1. Trabalho de expansão reversível.
2. Teorema do Trabalho Máximo.
3. Reversibilidade e entropia.
4. Definição macroscópica de entropia:

$$\Delta S = \frac{Q_{\text{rev}}}{T}$$

5. Segunda Lei da Termodinâmica.

### 1.0.1 Habilidades

- a. **Calcular** a variação de entropia para uma transformação reversível.

## 2 Entropia

1. Entropia e desordem.
2. Entropia e temperatura:

$$\Delta S = nC_p \ln \left( \frac{T_2}{T_1} \right)$$

3. Entropia e volume de gás ideal:

$$\Delta S = nR \ln \left( \frac{V_2}{V_1} \right)$$

4. Entropia e estado físico: sólido, líquido, gasoso e em solução.
5. Entropia de mudança de fase:

$$\Delta S = \frac{\Delta H}{T}$$

### 2.0.1 Habilidades

- a. **Determinar** qualitativamente o sinal da variação de entropia para uma transformação.
- b. **Calcular** a variação de entropia para aquecimento ou resfriamento de uma substância.
- c. **Calcular** a variação de entropia para um gás ideal em uma transformação isotérmica.
- d. **Calcular** a entropia padrão para transição de fase.

## 3 Entropia Absoluta

1. Interpretação microscópica da entropia.
2. Fórmula de Boltzmann:

$$S = k_B \ln \Omega$$

3. Entropia Residual.
4. Terceira Lei da Termodinâmica.

### 3.0.1 Habilidades

- a. **Calcular** a entropia residual a partir da Fórmula de Boltzmann.

## 4 Entropia de Reação

1. Entropia padrão.
2. Entropia de reação.

### 4.0.1 Habilidades

- a. **Calcular** a variação de entropia para uma reação química.
- b. **Determinar** qualitativamente o sinal da variação de entropia para uma reação química.

## 5 Mudanças Globais de Entropia

1. Variação de entropia da vizinhança:

$$\Delta S_{\text{viz}} = -\frac{\Delta H}{T}$$

2. Variação de entropia do Universo.
3. Equilíbrio.

### 5.0.1 Habilidades

- a. **Calcular** a variação de entropia da vizinhança devido à uma transferência de calor em pressão e temperatura constantes.
- b. **Calcular** a variação de entropia do Universo para um processo.

## Nível I

**PROBLEMA 5.1**
**2B01**

Um sistema **A** transfere, naturalmente, uma determinada quantidade de energia, na forma de calor, para um sistema **B**, que envolve totalmente **A**.

**Assinale** a alternativa *correta*.

- A** A entropia do Universo decrescerá.
- B** A entropia do sistema **A** crescerá.
- C** O aumento da entropia do sistema **B** será maior que o decréscimo da entropia do sistema **A**.
- D** O aumento da entropia do sistema **B** será menor que o decréscimo da entropia do sistema **A**.
- E** O aumento da entropia do sistema **B** será necessariamente igual ao decréscimo da entropia do sistema **A**.

**PROBLEMA 5.2**
**2B02**

O termo *seta do tempo* é usado para distinguir uma direção no tempo nos fenômenos naturais, ou seja, que o estado 2 de um sistema macroscópico ocorre após o estado 1.

**Assinale** a alternativa *correta* a respeito de um processo que ocorre em sistema fechado.

- A**  $S_2$  é igual a  $S_1$ .
- B**  $S_2$  é maior que  $S_1$ .
- C**  $S_2$  é menor que  $S_1$ .
- D**  $S_2$  independe de  $S_1$ .
- E** A relação entre  $S_2$  e  $S_1$  depende do caminho percorrido entre os estados.

**PROBLEMA 5.3**
**2B03**

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da variação de entropia da água quando 100 J são transferidos de forma reversível à água a 25 °C.

- A**  $-0,34 \text{ J K}^{-1}$
- B**  $-0,17 \text{ J K}^{-1}$
- C**  $0,08 \text{ J K}^{-1}$
- D**  $0,17 \text{ J K}^{-1}$
- E**  $0,34 \text{ J K}^{-1}$

**PROBLEMA 5.4**
**2B04**

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da entropia de congelamento do mercúrio.

- A**  $-4,4 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- B**  $-2,2 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- C**  $-1,1 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- D**  $2,2 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- E**  $4,4 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

**Dados**

- $\Delta H_{\text{fus}}^\circ (\text{Hg}) = 2,29 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $T_{\text{fus}} (\text{Hg}) = -38,8^\circ \text{C}$

**PROBLEMA 5.5**
**2B05**

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da variação de entropia do gás quando 1 mol de um gás ideal monoatômico é aquecido reversivelmente de 300 K a 400 K sob pressão constante.

- A**  $-6 \text{ J K}^{-1}$
- B**  $-4 \text{ J K}^{-1}$
- C**  $-2 \text{ J K}^{-1}$
- D**  $4 \text{ J K}^{-1}$
- E**  $6 \text{ J K}^{-1}$

**PROBLEMA 5.6**
**2B06**

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da variação de entropia do gás quando um cilindro de 20 L de gás nitrogênio sob 5,00 kPa é aquecido reversivelmente de 20 °C a 400 °C.

- A**  $-0,7 \text{ J K}^{-1}$
- B**  $-0,5 \text{ J K}^{-1}$
- C**  $0,5 \text{ J K}^{-1}$
- D**  $0,7 \text{ J K}^{-1}$
- E**  $0,9 \text{ J K}^{-1}$

**Dados**

- $C_p (\text{N}_2, \text{g}) = 29,1 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

**PROBLEMA 5.7**
**2B07**

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da variação de entropia do gás quando 1 mol de nitrogênio se expande reversível e isotermicamente de 22 L a 44 L.

- A**  $-6,7 \text{ J K}^{-1}$
- B**  $-4,7 \text{ J K}^{-1}$
- C**  $-2,7 \text{ J K}^{-1}$
- D**  $4,7 \text{ J K}^{-1}$
- E**  $5,7 \text{ J K}^{-1}$

**PROBLEMA 5.8**
**2B08**

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da variação de entropia do gás quando um mol de oxigênio é rapidamente comprimido de 5 L a 1 L por um pistão e, no processo, sua temperatura aumentou de 20 °C para 25 °C.

- |                                   |                                 |
|-----------------------------------|---------------------------------|
| <b>A</b> $-13,4 \text{ J K}^{-1}$ | <b>B</b> $-13 \text{ J K}^{-1}$ |
| <b>C</b> $0,4 \text{ J K}^{-1}$   | <b>D</b> $13 \text{ J K}^{-1}$  |
| <b>E</b> $13,4 \text{ J K}^{-1}$  |                                 |

**Dados**

- $C_p(\text{O}_2, \text{g}) = 29,4 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

**PROBLEMA 5.9**
**2B09**

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da variação de entropia do gás quando a pressão de 1,5 mol de neônio diminui isotermicamente de 15 atm até 0,5 atm.

- |                                |                                |
|--------------------------------|--------------------------------|
| <b>A</b> $12 \text{ J K}^{-1}$ | <b>B</b> $22 \text{ J K}^{-1}$ |
| <b>C</b> $32 \text{ J K}^{-1}$ | <b>D</b> $42 \text{ J K}^{-1}$ |
| <b>E</b> $52 \text{ J K}^{-1}$ |                                |

**PROBLEMA 5.10**
**2B10**

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da variação de entropia do gás quando a pressão de 70,9 g de gás metano aumenta isotermicamente de 7 kPa até 350 kPa.

- |                                  |                                  |
|----------------------------------|----------------------------------|
| <b>A</b> $-288 \text{ J K}^{-1}$ | <b>B</b> $-144 \text{ J K}^{-1}$ |
| <b>C</b> $-72 \text{ J K}^{-1}$  | <b>D</b> $144 \text{ J K}^{-1}$  |
| <b>E</b> $288 \text{ J K}^{-1}$  |                                  |

**PROBLEMA 5.11**
**2B11**

A entalpia de fusão de uma determinada substância é  $200 \text{ kJ kg}^{-1}$ , e seu ponto de fusão normal é 27 °C.

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da variação de entropia do sistema na fusão de 3 kg dessa substância.

- |                                  |                                 |
|----------------------------------|---------------------------------|
| <b>A</b> $-600 \text{ J K}^{-1}$ | <b>B</b> $-2 \text{ kJ K}^{-1}$ |
| <b>C</b> 0                       | <b>D</b> $2 \text{ kJ K}^{-1}$  |
| <b>E</b> $600 \text{ J K}^{-1}$  |                                 |

**PROBLEMA 5.12**
**2B12**

A entalpia de fusão de uma determinada substância é  $6 \text{ kJ mol}^{-1}$ , e seu ponto de fusão normal é  $-183 \text{ °C}$ .

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da variação de entropia do sistema na fusão de 1 mol dessa substância.

- |  |  |
|--|--|
| <b>A</b> $-20 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ | <b>B</b> $-33 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ |
| <b>C</b> $50 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$  | <b>D</b> $67 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$  |
| <b>E</b> $100 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ |  |

**PROBLEMA 5.13**
**2B13**

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima do ponto de ebulição do mercúrio.

- |                           |                          |
|---------------------------|--------------------------|
| <b>A</b> $-272 \text{ K}$ | <b>B</b> $100 \text{ K}$ |
| <b>C</b> $395 \text{ K}$  | <b>D</b> $670 \text{ K}$ |
| <b>E</b> $1500 \text{ K}$ |                          |

**Dados**

- $\Delta H_{\text{vap}}^\circ(\text{Hg}) = 59,3 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta S_{\text{vap}}^\circ(\text{Hg}) = 94,2 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

**PROBLEMA 5.14**
**2B14**

A *Regra de Trouton* estabelece que a entropia molar de vaporização de líquidos em sua temperatura de ebulição é

$$\Delta S_{\text{vap}} \approx 10,5 R = 87,2 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima do ponto de ebulição do éter metílico.

- |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|
| <b>A</b> $200 \text{ K}$ | <b>B</b> $225 \text{ K}$ |
| <b>C</b> $250 \text{ K}$ | <b>D</b> $275 \text{ K}$ |
| <b>E</b> $300 \text{ K}$ |                          |

**Dados**

- $H_{\text{vap}}(\text{CH}_3\text{OCH}_3) = 21,5$

## PROBLEMA 5.15

2B17

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da variação de entropia para a formação da amônia.

- |                                  |                                  |
|----------------------------------|----------------------------------|
| <b>A</b> $-400 \text{ J K}^{-1}$ | <b>B</b> $-200 \text{ J K}^{-1}$ |
| <b>C</b> $100 \text{ J K}^{-1}$  | <b>D</b> $200 \text{ J K}^{-1}$  |
| <b>E</b> $400 \text{ J K}^{-1}$  |                                  |

## Dados

- $\Delta S^\circ (\text{NH}_3, \text{g}) = 192 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $\Delta S^\circ (\text{H}_2, \text{g}) = 131 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $\Delta S^\circ (\text{N}_2, \text{g}) = 192 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

## PROBLEMA 5.16

2B18

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da variação de entropia para a decomposição do clorato de potássio formando perclorato e cloreto de potássio.

- |                                   |                                   |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| <b>A</b> $-36,4 \text{ J K}^{-1}$ | <b>B</b> $-18,2 \text{ J K}^{-1}$ |
| <b>C</b> $-9,1 \text{ J K}^{-1}$  | <b>D</b> $9,1 \text{ J K}^{-1}$   |
| <b>E</b> $36,4 \text{ J K}^{-1}$  |                                   |

## Dados

- $\Delta S^\circ (\text{KClO}_3, \text{s}) = 143 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $\Delta S^\circ (\text{KCl}, \text{s}) = 82,6 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $\Delta S^\circ (\text{KClO}_4, \text{s}) = 151 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

## PROBLEMA 5.17

2B19

Considere os processos:

1. Cristalização de um sal.
2. Sublimação da naftalina.
3. Mistura de água e álcool.
4. Fusão do ferro.

**Assinale** a alternativa que relaciona os processos que ocorrem com aumento de entropia do sistema.

- |                      |                   |
|----------------------|-------------------|
| <b>A</b> 2 e 3       | <b>B</b> 2 e 4    |
| <b>C</b> 3 e 4       | <b>D</b> 2, 3 e 4 |
| <b>E</b> 1, 2, 3 e 4 |                   |

## PROBLEMA 5.18

2B20

Considere as reações:

1.  $\text{Cl}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \longrightarrow \text{HCl}(\text{aq}) + \text{HClO}(\text{aq})$
2.  $\text{Cu}_3(\text{PO}_4)_2(\text{s}) \longrightarrow 3 \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{PO}_4^{3-}(\text{aq})$
3.  $\text{SO}_2(\text{g}) + \text{Br}_2(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \longrightarrow \text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq}) + 2 \text{HBr}(\text{aq})$
4.  $4 \text{NH}_3(\text{g}) + 5 \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 4 \text{NO}(\text{g}) + 6 \text{H}_2\text{O}(\text{g})$

**Assinale** a alternativa que relaciona as reações com variação positiva de entropia.

- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| <b>A</b> 2        | <b>B</b> 4        |
| <b>C</b> 2 e 4    | <b>D</b> 1, 2 e 4 |
| <b>E</b> 2, 3 e 4 |                   |

## Nível II

## PROBLEMA 5.19

2B21

**Assinale** a alternativa *incorreta*.

- |  |
|--|
| <b>A</b> A variação de energia interna é nula na expansão de um gás ideal a temperatura constante. |
| <b>B</b> A variação de energia interna positiva em um processo endotérmico a volume constante.     |
| <b>C</b> A variação de entalpia é nula em um processo cíclico.                                     |
| <b>D</b> A variação de entropia é positiva em um processo endotérmico a pressão constante.         |
| <b>E</b> A variação de entropia é nula quando um gás ideal sofre expansão livre.                   |

## PROBLEMA 5.20

2B23

Considere as proposições:

1. A entropia do HBr é maior que a do HF a 298 K.
2. A entropia da amônia é maior que a do neônio a 298 K.
3. A entropia do ciclopentano é maior que a do pent-1-eno a 298 K.
4. A entropia do ciclobutano é maior que a do cicloexano a 298 K.

**Assinale** a alternativa que relaciona as proposições *corretas*.

- |                      |                   |
|----------------------|-------------------|
| <b>A</b> 1 e 2       | <b>B</b> 1 e 4    |
| <b>C</b> 2 e 4       | <b>D</b> 1, 2 e 4 |
| <b>E</b> 1, 2, 3 e 4 |                   |

## PROBLEMA 5.21

2B24

Considere os processos:

1. Conversão de grafite e diamante
2. Supersaturação de uma solução saturada.
3. Cristalização de um sólido amorfo.
4. Adsorção do nitrogênio em sílica.

**Assinale** a alternativa que relaciona os processos que ocorrem com diminuição de entropia do sistema.

- |                      |                   |
|----------------------|-------------------|
| <b>A</b> 1 e 3       | <b>B</b> 1 e 4    |
| <b>C</b> 3 e 4       | <b>D</b> 1, 3 e 4 |
| <b>E</b> 1, 2, 3 e 4 |                   |

## PROBLEMA 5.22

2B22

Um recipiente de paredes adiabáticas contém duas amostras de água pura separadas por uma parede também adiabática e de volume desprezível. Uma das amostras consiste em 54 g de água a 25 °C e, a outra, em 126 g a 75 °C. A parede que separa as amostras é retirada e que as amostras de água se misturam até atingir o equilíbrio.

Considere as proposições:

1. A temperatura da mistura no equilíbrio é de 323 K.
2. A variação de entalpia no processo é nula.
3. A variação de energia interna no processo é nula.
4. A variação de entropia no processo é nula.

**Assinale** a alternativa que relaciona as proposições *corretas*.

- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| <b>A</b> 2        | <b>B</b> 3        |
| <b>C</b> 2 e 3    | <b>D</b> 1, 2 e 3 |
| <b>E</b> 2, 3 e 4 |                   |

## PROBLEMA 5.23

2B25

Considere as proposições:

1. A variação da entropia independe da quantidade de gás presente no sistema.
2. Se a transformação é isotérmica, a variação da entropia é dada por:  $\Delta S = nR \ln \left( \frac{P_2}{P_1} \right)$
3. Se a transformação é isobárica, a variação de entropia é dada por:  $\Delta S = nC_p \ln \left( \frac{T_2}{T_1} \right)$
4. Se o sistema realiza um processo cíclico, a variação de entropia é positiva.

**Assinale** a alternativa que relaciona as proposições *corretas*.

- |                |                |
|----------------|----------------|
| <b>A</b> 2     | <b>B</b> 3     |
| <b>C</b> 1 e 3 | <b>D</b> 2 e 3 |
| <b>E</b> 3 e 4 |                |

## PROBLEMA 5.24

2B27

Um bloco de gelo a 0 °C é colocado em contato com um recipiente fechado que contém vapor de água a 100 °C e 1 atm. Após algum tempo, separa-se o bloco de gelo do recipiente fechado. Nesse instante 25 g de gelo foram convertidos em água líquida a 0 °C e que no recipiente fechado existe água líquida e vapor em equilíbrio.

**Determine** a variação de entropia do bloco de gelo.

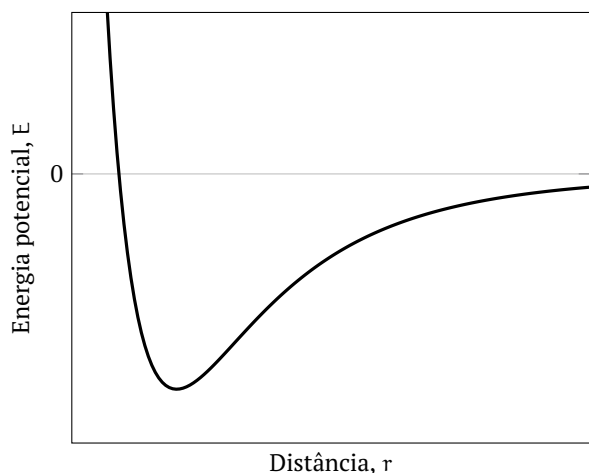
**Dados**

- $\Delta H_{\text{fus}}^\circ (\text{H}_2\text{O}) = 6,01 \text{ kJ mol}^{-1}$

**PROBLEMA 5.25**

2B29

Moléculas diatômicas idênticas, na forma de um sólido cristalino, podem ser modeladas como um conjunto de osciladores.



1. À temperatura de 0 K a maioria dos osciladores estará no estado vibracional fundamental, cujo número quântico vibracional é zero.
2. À temperatura de 0 K todos os osciladores estarão no estado vibracional fundamental, cujo número quântico vibracional é zero.
3. O movimento vibracional cessa a 0 K.
4. O princípio da incerteza de Heisenberg será violado se o movimento vibracional cessar.

**Assinale** a alternativa que relaciona as proposições *corretas*.

- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| <b>A</b> 2        | <b>B</b> 4        |
| <b>C</b> 2 e 4    | <b>D</b> 1, 2 e 4 |
| <b>E</b> 2, 3 e 4 |                   |

**PROBLEMA 5.26**

2B26

Um motor de 3 L contendo 1 mol de gás nitrogênio a  $18,5^\circ\text{C}$  foi comprimido rapidamente até 500 mL por um pistão. A temperatura do gás aumentou para  $28,1^\circ\text{C}$ .

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da variação de entropia do gás.

- |                                   |                                  |
|-----------------------------------|----------------------------------|
| <b>A</b> $-14,3 \text{ J K}^{-1}$ | <b>B</b> $-7,1 \text{ J K}^{-1}$ |
| <b>C</b> 0                        | <b>D</b> $7,1 \text{ J K}^{-1}$  |
| <b>E</b> $14,3 \text{ J K}^{-1}$  |                                  |

**PROBLEMA 5.27**

2B28

Um dispositivo utiliza radiação solar para quantificar variações em propriedades termodinâmicas. Este dispositivo é composto por uma lente convergente e por um porta-amostras. A lente possui área útil de  $80 \text{ cm}^2$ , absortividade,  $\alpha = 20\%$  e transmissividade,  $\tau = 80\%$ . O porta-amostras possui absortividade de 100% e volume variável, operando à pressão constante de 1 atm.

Em um procedimento experimental, injetou-se 0,1 mol de uma substância pura líquida no porta-amostras do dispositivo. Em seguida, mediu-se um tempo de 15,0 min. para a vaporização total da amostra, durante o qual a irradiação solar permaneceu constante e igual a  $750 \text{ W m}^{-2}$ . Nesse processo, a temperatura do porta-amostras estabilizou-se em 351 K.

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da variação de entropia molar de vaporização do líquido.

- |   |   |
|---|---|
| <b>A</b> $2,3 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$  | <b>B</b> $15,4 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ |
| <b>C</b> $123 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$  | <b>D</b> $154 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$  |
| <b>E</b> $90,0 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ |   |

**PROBLEMA 5.28**

2B15

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da entropia residual do monóxido de carbono.

- |   |   |
|---|---|
| <b>A</b> $5,76 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ | <b>B</b> $11,5 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ |
| <b>C</b> $17,2 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ | <b>D</b> $23,1 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ |
| <b>E</b> $28,8 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ |   |

**PROBLEMA 5.29**

2B16

Considere as moléculas:

1.  $\text{CO}_2$
2.  $\text{NO}$
3.  $\text{N}_2\text{O}$
4.  $\text{Cl}_2$

**Assinale** a alternativa que relaciona as moléculas com entropia residual não nula.

- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| <b>A</b> 2        | <b>B</b> 3        |
| <b>C</b> 2 e 3    | <b>D</b> 1, 2 e 3 |
| <b>E</b> 2, 3 e 4 |                   |

## Nível III

### PROBLEMA 5.30

2B30

Considere a vaporização de 1 mol de água a 85 °C e 1 bar.

- Determine a variação de entropia do sistema.
- Determine a variação de entropia da vizinhança.
- Determine a variação entropia do universo.

#### Dados

- $C_p(\text{H}_2\text{O}, \text{l}) = 75,3 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $C_p(\text{H}_2\text{O}, \text{g}) = 33,6 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $\Delta H_{\text{vap}}^\circ(\text{H}_2\text{O}) = 40,7 \text{ kJ mol}^{-1}$

### PROBLEMA 5.31

2B31

Considere a vaporização de 1 mol de acetona a 296 K e 1 bar.

- Determine a variação de entropia do sistema.
- Determine a variação de entropia da vizinhança.
- Determine a variação entropia do universo.

#### Dados

- $C_p(\text{CH}_3\text{COCH}_3, \text{l}) = 125 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $\Delta H_{\text{vap}}^\circ(\text{CH}_3\text{OCH}_3) = 29,1 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $T_{\text{eb}}(\text{CH}_3\text{COCH}_3) = 56,2^\circ \text{C}$

### PROBLEMA 5.32

2B32

Uma amostra de 71 g de cloro, inicialmente a 300 K e 100 atm se expande contra uma pressão constante de 1 atm até o estado de equilíbrio. Como resultado da expansão, 10% da massa de gás é condensada.

- Determine a variação de energia interna do sistema.
- Determine a variação de entropia do sistema.

#### Dados

- $\rho(\text{Cl}_2, \text{l}) = 1,56 \text{ g cm}^{-3}$
- $H_{\text{vap}}(\text{Cl}_2) = 20,42$
- $T_{\text{eb}}(\text{Cl}_2) = -34$
- $C_p(\text{Cl}_2, \text{g}) = 33,9 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

### PROBLEMA 5.33

2B33

Em um calorímetro isolado são misturadas duas amostras de massa  $m$  de um líquido de calor específico  $c$  em temperaturas  $T_1$  e  $T_2$ .

- Determine a variação de entropia de mistura
- Prove que a variação de entropia é sempre positiva.

### PROBLEMA 5.34

2B34

Considere um sistema com  $k$  cilindros, cada um contendo certa quantidade de um gás ideal diferente. Os cilindros são conectados e os gases se misturam isotermicamente. Determine a variação de entropia de mistura. Determine a variação de entropia máxima.

### PROBLEMA 5.35

2B35

A capacidade calorífica de certas substâncias pode ser calculada como:

$$C_p = a + bT + \frac{c}{T^2}$$

Determine a variação de entropia quando o grafite é aquecido de 298 K a 400 K.

#### Dados

- $a(\text{grafita}, \text{s}) = 16,68 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $b(\text{grafita}, \text{s}) = 4,77 \text{ mJ K}^{-2} \text{ mol}^{-1}$
- $c(\text{grafita}, \text{s}) = -854 \text{ kJ K mol}^{-1}$

### PROBLEMA 5.36

2B36

Em baixas temperaturas, a capacidade calorífica um dado material é proporcional a  $T^2$ .

Prove que, para temperaturas muito baixas, a entropia absoluta desse material é igual a metade de sua capacidade calorífica na mesma temperatura.

## Gabarito

### Nível I

- |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1. C  | 2. D  | 3. E  | 4. A  | 5. E  |
| 6. D  | 7. E  | 8. B  | 9. D  | 10. B |
| 11. D | 12. D | 13. D | 14. C | 15. B |
| 16. C | 17. D | 18. C |       |       |

## Nível II

1. **E**
2. **D**
3. **D**
4. **C**
5. **B**
6.  $30 \text{ J K}^{-1}$
7. **C**
8. **A**
9. **C**
10. **A**
11. **C**

## Nível III

1. a.  $111 \text{ J K}^{-1}$   
b.  $-115 \text{ J K}^{-1}$   
c.  $-4 \text{ J K}^{-1}$
2. a.  $98,3 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$   
b.  $-108 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$   
c.  $-10,4 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
3. a.  $-3590 \text{ kJ mol}^{-1}$   
b.  $21,35 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
4. a.  $2mc \ln \left( \frac{T_1 + T_2}{2\sqrt{T_1 T_2}} \right)$   
b. Demonstração.
5. a.  $-nR \sum_{i=1}^k x_i \ln x_i$   
b.  $nR \ln(k)$
6.  $3,31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
7. Demonstração