

# Equilíbrio Químico

Gabriel Braun

Colégio e Curso Pensí, Coordenação de Química



## 1 Constante de Equilíbrio

1. Atividade Química.
2. Descrição termodinâmica do equilíbrio:

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln Q$$

3. Origem da constante de equilíbrio:

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K$$

4. Expressão da constante de equilíbrio:

$$K = \left\{ \frac{(\text{atividade dos produtos})^{\nu_r}}{(\text{atividade dos reagentes})^{\nu_r}} \right\}$$

5. Equilíbrio homogêneo e heterogêneo.

### 1.0.1 Habilidades

- a. **Determinar** a expressão para a constante de equilíbrio de uma reação.
- b. **Calcular** a constante de equilíbrio em função da energia livre.

## 2 Formas Alternativas da Constante de Equilíbrio

1. Múltiplos da equação química.
2. Composição de equações químicas.
3. Concentração molar de gases:

$$K = K_p = (RT)^{\Delta n} K_c$$

### 2.0.1 Habilidades

- a. **Calcular** a constante de equilíbrio de uma reação manipulada algebricamente.
- b. **Calcular** o  $K_p$  em função do  $K_c$ .

## 3 Cálculos de Equilíbrio

1. Grau de reação.
2. Direção da reação.
3. Quadro de equilíbrio.

### 3.0.1 Habilidades

- a. **Determinar** a composição de equilíbrio para um sistema em que ocorre uma reação química utilizando o quadro de equilíbrio.
- b. **Determinar** a direção de uma reação comparando o quociente reacional à constante de equilíbrio.

## 4 Perturbações no Equilíbrio

1. Efeito da adição ou remoção de reagentes no equilíbrio.
2. Efeito compressão do volume no equilíbrio.
3. Efeito da adição de gás inerte.
4. Efeito da temperatura no equilíbrio.
5. Equação de van't Hoff:

$$\ln \left( \frac{K_2}{K_1} \right) = -\frac{\Delta H}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

### 4.0.1 Habilidades

- a. **Determinar** a nova composição no equilíbrio após uma perturbação
- b. **Calcular** a constante de equilíbrio em uma dada temperatura utilizando a Equação de van't Hoff.

## Nível I

### PROBLEMA 4.1

2G02

Considere as proposições a respeito de uma reação reversível.

1. Uma reação para quando atinge o equilíbrio.
2. Uma reação em equilíbrio não é afetada pelo aumento da concentração de produtos.
3. Se a reação começa com maior pressão dos reagentes, a constante de equilíbrio será maior.
4. Se a reação começa com concentrações maiores de reagentes, as concentrações de equilíbrio dos produtos serão maiores.

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

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

## PROBLEMA 4.2

2G03

Considere as proposições a respeito de uma reação reversível.

1. Em uma reação de equilíbrio, a reação inversa só ocorre quando todos os reagentes tiverem sido convertidos em produtos.
2. As concentrações de equilíbrio serão as mesmas se começarmos uma reação com os reagentes puros ou com os produtos puros.
3. As velocidades das reações direta e inversa são iguais no equilíbrio.
4. Se a energia livre de Gibbs é maior do que a energia livre padrão de reação, a reação avança até o equilíbrio.

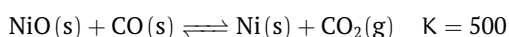
Assinale a alternativa que relaciona as proposições *corretas*.

- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| <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 4.3

2G06

A reação a seguir é conduzida sob 1 atm.



Para a manutenção da temperatura constante até a situação de equilíbrio, devem ser retirados do meio reacional 16,10 kJ de energia por mol de óxido de níquel reagido, na forma de calor.

Assinale a alternativa que mais se aproxima da temperatura em que a reação é conduzida.

- |                 |                 |
|-----------------|-----------------|
| <b>A</b> 1150 K | <b>B</b> 1350 K |
| <b>C</b> 1550 K | <b>D</b> 1750 K |
| <b>E</b> 1950 K |                 |

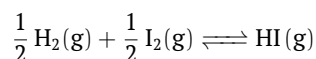
## Dados

- $S^\circ(\text{CO, g}) = 251 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $S^\circ(\text{CO}_2, \text{g}) = 296 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $S^\circ(\text{Ni, s}) = 30 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $S^\circ(\text{NiO, s}) = 38 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

## PROBLEMA 4.4

2G08

Considere a reação a 25 °C.



Assinale a alternativa que mais se aproxima da constante de equilíbrio dessa reação.

- |                             |                             |
|-----------------------------|-----------------------------|
| <b>A</b> $5 \times 10^{-3}$ | <b>B</b> $5 \times 10^{-1}$ |
| <b>C</b> $5 \times 10^1$    | <b>D</b> $5 \times 10^3$    |
| <b>E</b> $5 \times 10^5$    |                             |

## Dados

- $\Delta G_f^\circ(\text{HI, g}) = 1,7 \text{ kJ mol}^{-1}$

## PROBLEMA 4.5

2G07

Considere a reação a 25 °C.



Assinale a alternativa que mais se aproxima da constante de equilíbrio dessa reação.

- |                               |                               |
|-------------------------------|-------------------------------|
| <b>A</b> $1,5 \times 10^{-3}$ | <b>B</b> $1,5 \times 10^{-1}$ |
| <b>C</b> $1,5 \times 10^1$    | <b>D</b> $1,5 \times 10^3$    |
| <b>E</b> $1,5 \times 10^5$    |                               |

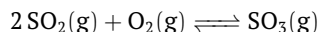
## Dados

- $\Delta H_f^\circ(\text{NO}_2, \text{g}) = 33,2 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{N}_2\text{O}_4, \text{g}) = 9,16 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta S^\circ(\text{NO}_2, \text{g}) = 240 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $\Delta S^\circ(\text{N}_2\text{O}_4, \text{g}) = 304 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

**PROBLEMA 4.6**

2G04

Em um cilindro são adicionados 100 bar de  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_2$  e  $\text{SO}_3$ , respectivamente. O sistema é mantido a  $25^\circ\text{C}$  e ocorre a reação:



**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da energia livre da reação.

- |                                    |                                    |
|------------------------------------|------------------------------------|
| <b>A</b> $-131\text{ kJ mol}^{-1}$ | <b>B</b> $-142\text{ kJ mol}^{-1}$ |
| <b>C</b> $-153\text{ kJ mol}^{-1}$ | <b>D</b> $-164\text{ kJ mol}^{-1}$ |
| <b>E</b> $-175\text{ kJ mol}^{-1}$ |                                    |

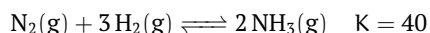
**Dados**

- $\Delta G_f^\circ(\text{SO}_2, \text{g}) = -300\text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta G_f^\circ(\text{SO}_3, \text{g}) = -371\text{ kJ mol}^{-1}$

**PROBLEMA 4.7**

2G05

Em um cilindro são adicionados 4,2 bar, 1,8 bar e 20 bar de  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$  e  $\text{NH}_3$ , respectivamente. O sistema é mantido a 400 K e ocorre a reação:



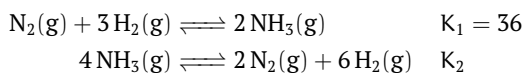
**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da energia livre da reação.

- |                                    |                                    |
|------------------------------------|------------------------------------|
| <b>A</b> $-4,5\text{ kJ mol}^{-1}$ | <b>B</b> $-3,6\text{ kJ mol}^{-1}$ |
| <b>C</b> $-2,7\text{ kJ mol}^{-1}$ | <b>D</b> $-1,8\text{ kJ mol}^{-1}$ |
| <b>E</b> $-0,9\text{ kJ mol}^{-1}$ |                                    |

**PROBLEMA 4.8**

2G09

Considere as reações a 350 K.



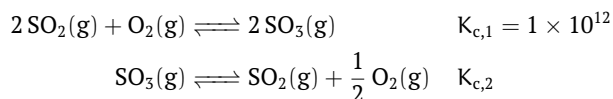
**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da constante de equilíbrio  $K_2$ .

- |               |               |            |
|---------------|---------------|------------|
| <b>A</b> 0,02 | <b>B</b> 0,16 | <b>C</b> 1 |
| <b>D</b> 6    | <b>E</b> 36   |            |

**PROBLEMA 4.9**

2G10

Considere as reações a 350 K.



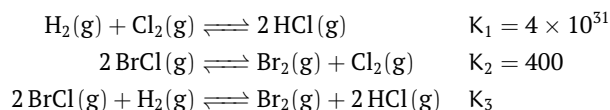
**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da constante de equilíbrio  $K_{c,2}$ .

- |                              |                             |
|------------------------------|-----------------------------|
| <b>A</b> $1 \times 10^{-12}$ | <b>B</b> $1 \times 10^{-9}$ |
| <b>C</b> $1 \times 10^{-6}$  | <b>D</b> $1 \times 10^6$    |
| <b>E</b> $1 \times 10^{12}$  |                             |

**PROBLEMA 4.10**

2G11

Considere as reações a 300 K.



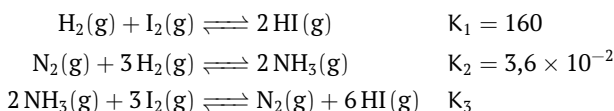
**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da constante de equilíbrio  $K_3$ .

- |                               |                               |
|-------------------------------|-------------------------------|
| <b>A</b> $1,0 \times 10^{29}$ | <b>B</b> $1,6 \times 10^{29}$ |
| <b>C</b> $1,0 \times 10^{34}$ | <b>D</b> $1,6 \times 10^{34}$ |
| <b>E</b> $4,0 \times 10^{34}$ |                               |

**PROBLEMA 4.11**

2G12

Considere as reações a 500 K.



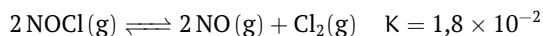
**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da constante de equilíbrio  $K_3$ .

- |                               |                            |
|-------------------------------|----------------------------|
| <b>A</b> $4,4 \times 10^3$    | <b>B</b> $7,1 \times 10^5$ |
| <b>C</b> $1,1 \times 10^8$    | <b>D</b> $3,1 \times 10^9$ |
| <b>E</b> $8,8 \times 10^{10}$ |                            |

**PROBLEMA 4.12**

2G13

Considere a reação a 500 K.



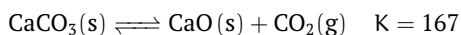
**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da constante de equilíbrio  $K_c$  para essa reação.

- |                               |                               |
|-------------------------------|-------------------------------|
| <b>A</b> $3,2 \times 10^{-5}$ | <b>B</b> $4,3 \times 10^{-4}$ |
| <b>C</b> $5,4 \times 10^{-3}$ | <b>D</b> $6,5 \times 10^{-2}$ |
| <b>E</b> $7,6 \times 10^{-1}$ |                               |

**PROBLEMA 4.13**

2G14

Considere a reação a 1073 K.



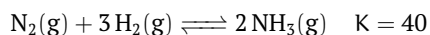
**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da constante de equilíbrio  $K_c$  para essa reação.

- |                               |                               |
|-------------------------------|-------------------------------|
| <b>A</b> $1,9 \times 10^{-2}$ | <b>B</b> $1,9 \times 10^{-1}$ |
| <b>C</b> 1,9                  | <b>D</b> $1,9 \times 10^1$    |
| <b>E</b> $1,9 \times 10^2$    |                               |

**PROBLEMA 4.14**

2G15

Em um recipiente contendo  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$  a 400 K o equilíbrio é estabelecido:



No equilíbrio, as pressões de  $\text{NH}_3$  e  $\text{H}_2$  são 380 Torr e 190 Torr, respectivamente.

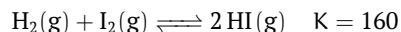
**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da concentração molar de  $\text{N}_2$  no equilíbrio.

- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| <b>A</b> 106 Torr | <b>B</b> 205 Torr |
| <b>C</b> 304 Torr | <b>D</b> 403 Torr |
| <b>E</b> 502 Torr |                   |

**PROBLEMA 4.15**

2G16

Em um recipiente contendo  $\text{HI}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{I}_2$  a 500 K o equilíbrio é estabelecido:



No equilíbrio, as concentrações de  $\text{HI}$  e  $\text{I}_2$  são  $40 \text{ mmol L}^{-1}$  e  $5 \text{ mmol L}^{-1}$ , respectivamente.

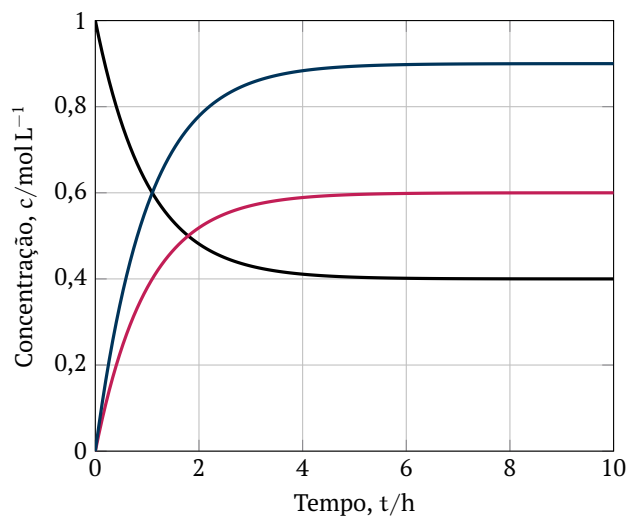
**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da concentração molar de  $\text{H}_2$  no equilíbrio.

- |                                  |                                  |
|----------------------------------|----------------------------------|
| <b>A</b> $1 \text{ mmol L}^{-1}$ | <b>B</b> $2 \text{ mmol L}^{-1}$ |
| <b>C</b> $3 \text{ mmol L}^{-1}$ | <b>D</b> $4 \text{ mmol L}^{-1}$ |
| <b>E</b> $5 \text{ mmol L}^{-1}$ |                                  |

**PROBLEMA 4.16**

2G17

As concentrações dos reagentes e produtos de uma reação foram monitoradas ao longo do tempo.



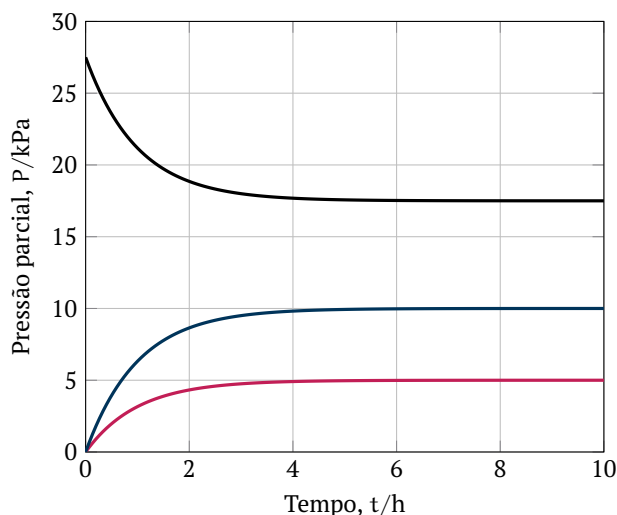
**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da constante de equilíbrio dessa reação balanceada com os menores coeficientes inteiros.

- |               |               |               |
|---------------|---------------|---------------|
| <b>A</b> 1,35 | <b>B</b> 1,64 | <b>C</b> 1,86 |
| <b>D</b> 2,03 | <b>E</b> 2,35 |               |

**PROBLEMA 4.17**

2G18

As pressões parciais dos reagentes e produtos de uma reação foram monitoradas ao longo do tempo.



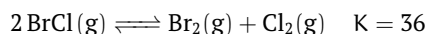
**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da constante de equilíbrio dessa reação balanceada com os menores coeficientes inteiros.

- |                |               |
|----------------|---------------|
| <b>A</b> 0,016 | <b>B</b> 0,29 |
| <b>C</b> 0,46  | <b>D</b> 1,6  |
| <b>E</b> 29    |               |

**PROBLEMA 4.18**

2G19

Em um recipiente são adicionados 3,3 mbar de  $\text{BrCl}$ . O sistema é mantido a 500 K e o equilíbrio é estabelecido:



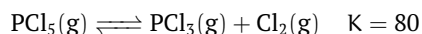
**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da pressão parcial de  $\text{Br}_2$  na mistura em equilíbrio.

- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| <b>A</b> 1,0 mbar | <b>B</b> 1,5 mbar |
| <b>C</b> 2,0 mbar | <b>D</b> 2,5 mbar |
| <b>E</b> 3,0 mbar |                   |

**PROBLEMA 4.19**

2G20

Uma amostra de 3,12 g de  $\text{PCl}_5$ , é adicionada em um recipiente de 500 mL. O sistema é mantido a 250 °C e o equilíbrio é estabelecido:



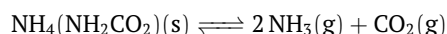
**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da pressão parcial de  $\text{PCl}_5$  na mistura em equilíbrio.

- |                  |                  |
|------------------|------------------|
| <b>A</b> 10 mbar | <b>B</b> 20 mbar |
| <b>C</b> 30 mbar | <b>D</b> 40 mbar |
| <b>E</b> 50 mbar |                  |

**PROBLEMA 4.20**

2G21

Uma amostra de 25 g de carbamato de amônio,  $\text{NH}_4(\text{NH}_2\text{CO}_2)$ , é adicionada em um recipiente de 250 mL. O sistema é mantido a 25 °C e o equilíbrio é estabelecido:



No equilíbrio, a massa de dióxido de carbono é 17,4 mg.

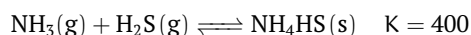
**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da constante de equilíbrio da reação.

- |                               |                               |
|-------------------------------|-------------------------------|
| <b>A</b> $1,6 \times 10^{-8}$ | <b>B</b> $2,3 \times 10^{-8}$ |
| <b>C</b> $1,6 \times 10^{-4}$ | <b>D</b> $2,3 \times 10^{-4}$ |
| <b>E</b> $5,7 \times 10^{-4}$ |                               |

**PROBLEMA 4.21**

2G22

A um recipiente de 5 L são adicionados 2 mol de  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  e de  $\text{NH}_4\text{HS}$ . O sistema é mantido a 35 °C e o equilíbrio é estabelecido:



**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da massa de  $\text{NH}_4\text{HS}$  no equilíbrio.

- |                |                |
|----------------|----------------|
| <b>A</b> 132 g | <b>B</b> 152 g |
| <b>C</b> 172 g | <b>D</b> 192 g |
| <b>E</b> 212 g |                |

## PROBLEMA 4.22

2G23

Quando  $\text{NaHCO}_3$  sólido é colocado em um recipiente rígido de 2,5 L e aquecido a  $160^\circ\text{C}$  o equilíbrio é estabelecido:



No equilíbrio, a pressão total é 8 bar. Em um segundo experimento, é adicionada a mesma massa de sólido em um recipiente de mesmo volume com 1 bar de  $\text{CO}_2$ .

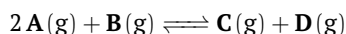
**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da pressão de equilíbrio de  $\text{CO}_2$  no segundo experimento.

- |                  |                  |
|------------------|------------------|
| <b>A</b> 2,5 bar | <b>B</b> 3,5 bar |
| <b>C</b> 4,5 bar | <b>D</b> 5,5 bar |
| <b>E</b> 6,5 bar |                  |

## PROBLEMA 4.23

2G24

Considere reação exotérmica em fase gasosa, inicialmente conduzida a  $400^\circ\text{C}$  sob 200 atm.



Considere as proposições.

1. Conduzir a reação a  $600^\circ\text{C}$  gera uma fração maior de **C** e **D**.
2. Conduzir a reação a  $600^\circ\text{C}$  faz com que o equilíbrio seja alcançado em menos de 60 min.
3. Conduzir a reação a uma pressão de 100 atm gera uma fração menor de **C** e **D**.
4. Remover **C** e **D** do meio reacional após o equilíbrio e então retomar a reação permitem obter uma fração total maior de **C** e **D**.

- |                      |                   |
|----------------------|-------------------|
| <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 4.24

2G25

A amônia é produzida em escala industrial pelo processo Haber-Bosch. A reação de formação exotérmica a partir de hidrogênio e nitrogênio é conduzida a  $450^\circ\text{C}$  sob 200 atm. Considere as proposições:

1. O aumento da pressão no reator, mediante adição de um gás inerte, aumenta o rendimento do processo.
2. O uso de um catalisador mais eficiente aumenta o rendimento do processo.
3. Uma vez atingido o equilíbrio, não ocorrem mais colisões efetivas entre moléculas de hidrogênio e nitrogênio.
4. A redução da temperatura no reator diminui a velocidade da reação, mas favorece a formação de amônia.

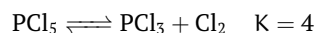
**Assinale** a alternativa que relaciona as proposições *corretas*.

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

## PROBLEMA 4.25

2G26

Em um reator mantido à temperatura constante,  $\text{PCl}_5$  encontra-se em equilíbrio com 1 atm de  $\text{Cl}_2$  e 2 atm de  $\text{PCl}_3$ .



**Assinale** a alternativa que apresenta a nova pressão de equilíbrio de  $\text{PCl}_5$  após adição de mais 2 atm desse gás ao reator.

- |                  |                  |
|------------------|------------------|
| <b>A</b> 1,0 atm | <b>B</b> 1,5 atm |
| <b>C</b> 2,0 atm | <b>D</b> 2,5 atm |
| <b>E</b> 3,0 atm |                  |

## PROBLEMA 4.26

2G27

As pressões parciais de uma mistura de  $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$  e  $\text{NO}_2(\text{g})$  em equilíbrio são 0,34 atm e 1,2 atm. O volume do recipiente é duplicado mantendo a temperatura constante.

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da pressão parcial de  $\text{N}_2\text{O}_4$  na mistura em equilíbrio.

- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| <b>A</b> 0,06 atm | <b>B</b> 0,12 atm |
| <b>C</b> 0,18 atm | <b>D</b> 0,24 atm |
| <b>E</b> 0,30 atm |                   |

**PROBLEMA 4.27**

2G28

Considere a reação de síntese da amônia a 298 K:



**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da constante de equilíbrio da reação a 400 K.

- A**  $5 \times 10^1$       **B**  $5 \times 10^2$       **C**  $5 \times 10^3$   
**D**  $5 \times 10^4$       **E**  $5 \times 10^5$

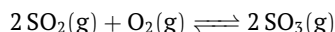
**Dados**

- $\Delta H_f^\circ(\text{NH}_3, \text{g}) = -46,1 \text{ kJ mol}^{-1}$

**PROBLEMA 4.28**

2G29

Considere a reação:



A constante de equilíbrio dessa reação é  $4 \times 10^{24}$  a  $27^\circ\text{C}$  e  $2,5 \times 10^{10}$  a  $227^\circ\text{C}$ .

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da variação de entalpia da reação.

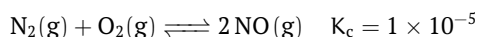
- A**  $-203 \text{ kJ mol}^{-1}$       **B**  $-74 \text{ kJ mol}^{-1}$   
**C**  $-8 \text{ kJ mol}^{-1}$       **D**  $8 \text{ kJ mol}^{-1}$   
**E**  $203 \text{ kJ mol}^{-1}$

## Nível II

**PROBLEMA 4.29**

2G31

Um balão de 10 L é preenchido com 4,5 mol de  $\text{N}_2$  e 0,8 mol de  $\text{O}_2$ . O sistema é mantido a  $1200^\circ\text{C}$  e o equilíbrio é estabelecido:



**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da quantidade de NO no equilíbrio.

- A** 2 mmol      **B** 4 mmol  
**C** 6 mmol      **D** 8 mmol  
**E** 10 mmol

**PROBLEMA 4.30**

2G32

Um balão é preenchido com amônia. O sistema é mantido a  $25^\circ\text{C}$  e o equilíbrio é estabelecido quando 50% da amônia sofreu decomposição:



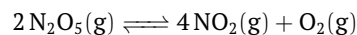
**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da pressão inicial de amônia.

- A** 10 kPa      **B** 20 kPa  
**C** 30 kPa      **D** 40 kPa  
**E** 50 kPa

**PROBLEMA 4.31**

2G33

Sob 1 atm, 0,5% do pentóxido de nitrogênio em um cilindro está decomposto devido a reação:



O volume do cilindro é aumentado em dez vezes.

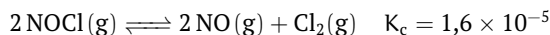
**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da fração de  $\text{N}_2\text{O}_5$  que sofre decomposição devido ao aumento do volume.

- A** 2%      **B** 8%      **C** 14%  
**D** 20%      **E** 26%

**PROBLEMA 4.32**

2G34

Um balão de 1 L é preenchido com 2 mol de NO e 1 mol de  $\text{Cl}_2$ . O sistema é mantido a  $35^\circ\text{C}$  e o equilíbrio é estabelecido:



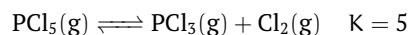
**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da quantidade de NO no equilíbrio.

- A** 10 mmol  $\text{L}^{-1}$       **B** 20 mmol  $\text{L}^{-1}$   
**C** 50 mmol  $\text{L}^{-1}$       **D** 70 mmol  $\text{L}^{-1}$   
**E** 90 mmol  $\text{L}^{-1}$

**PROBLEMA 4.33**

2G35

Um balão é preenchido com  $\text{PCl}_5$ . O sistema é mantido a  $556 \text{ K}$  e o equilíbrio é estabelecido:



No equilíbrio a pressão total é 15 atm.

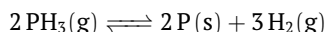
**Assinale** a alternativa que mais se aproxima do grau de decomposição do  $\text{PCl}_5$  no equilíbrio.

- A** 10%      **B** 20%      **C** 30%  
**D** 40%      **E** 50%

## PROBLEMA 4.34

2G36

Um balão de 1 L é preenchido com 0,64 bar de fosfina. O sistema é mantido a 25 °C e o equilíbrio é estabelecido:



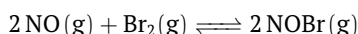
No equilíbrio a pressão total é 0,93 atm.

- Determine a massa de fósforo produzida no equilíbrio.
- Determine a constante de equilíbrio para essa reação.

## PROBLEMA 4.35

2G37

Um balão é preenchido com 100 Torr de NO e 40 Torr de Br<sub>2</sub>. O sistema é mantido a 300 K e o equilíbrio é estabelecido:



No equilíbrio a pressão total é 110 Torr.

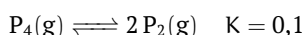
**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da constante de equilíbrio para essa reação.

- |                |               |
|----------------|---------------|
| <b>A</b> 0,225 | <b>B</b> 17,1 |
| <b>C</b> 22,5  | <b>D</b> 171  |
| <b>E</b> 225   |               |

## PROBLEMA 4.36

2G38

Um balão é preenchido com P<sub>4</sub>. O sistema é mantido a 1325 K e o equilíbrio é estabelecido:



No equilíbrio a pressão total é 1 atm.

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima do grau de dissociação de P<sub>4</sub> no equilíbrio.

- |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|
| <b>A</b> 4%  | <b>B</b> 8%  | <b>C</b> 12% |
| <b>D</b> 16% | <b>E</b> 20% |              |

## PROBLEMA 4.37

2G39

A 5000 K e 1 atm, 83% das moléculas de oxigênio em uma amostra estão dissociadas em oxigênio atômico.

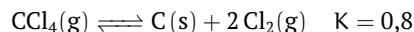
**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da pressão em que 95% das moléculas de oxigênio estarão dissociadas a 5000 K.

- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| <b>A</b> 0,24 atm | <b>B</b> 0,48 atm |
| <b>C</b> 0,72 atm | <b>D</b> 0,96 atm |
| <b>E</b> 1,20 atm |                   |

## PROBLEMA 4.38

2G40

Um balão é preenchido com tetracloreto de carbono. O sistema é mantido a 700 °C e o equilíbrio é estabelecido:



No equilíbrio a pressão total é 1,2 atm.

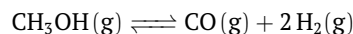
**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da pressão inicial de tetracloreto de carbono.

- |                  |                  |
|------------------|------------------|
| <b>A</b> 0,1 atm | <b>B</b> 0,3 atm |
| <b>C</b> 0,6 atm | <b>D</b> 0,9 atm |
| <b>E</b> 1,2 atm |                  |

## PROBLEMA 4.39

2G41

Um balão de 1 L é preenchido com 4,8 g de metanol. O sistema é mantido a 250 °C e o equilíbrio é estabelecido:



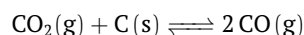
Após o sistema atingir o equilíbrio, um frasco é preenchido por um pequeno orifício na lateral do balão. A quantidade de hidrogênio que efunde para o frasco é 32 vezes mais que a quantidade de metanol.

- Determine a razão entre a quantidade de hidrogênio e metanol na mistura em equilíbrio.
- Determine a constante de equilíbrio para essa reação.

## PROBLEMA 4.40

2G42

Um reservatório de 6 L é preenchido com 79,2 g de gelo seco e 30 g de carvão mineral em pó. O sistema é mantido a 1000 K e o equilíbrio é estabelecido:



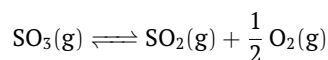
No equilíbrio a densidade da fase gasosa é 14 g L<sup>-1</sup>. A 1100 K a constante de equilíbrio da reação é 22.

- Determine a constante de equilíbrio da reação a 1000 K
- Classifique a reação como endotérmica ou exotérmica.

## PROBLEMA 4.41

2G43

Um balão é preenchido com 88 g de SO<sub>3</sub>. O sistema é mantido a 600 °C e o equilíbrio é estabelecido:



No equilíbrio a densidade da fase gasosa é 1,6 g L<sup>-1</sup> e a pressão total é 1,8 atm.

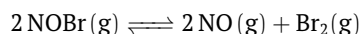
**Determine** a constante de equilíbrio dessa reação.



**PROBLEMA 4.42**

2G44

Um reator equipado com um pistão que se move livremente é preenchido com NOBr. A densidade da gás é  $4,4 \text{ g L}^{-1}$ . O sistema é mantido a  $25^\circ\text{C}$  e o equilíbrio é estabelecido:



No equilíbrio a densidade da fase gasosa é  $4,0 \text{ g L}^{-1}$ .

- Determine** a constante de equilíbrio dessa reação.
- Explique** o efeito da adição de argônio ao reator

**PROBLEMA 4.43**

2G45

Em solução de tetracloreto de carbono, o tetracloreto de vanádio sofre dimerização formando  $\text{V}_2\text{Cl}_8$ . Em um experimento, 6,76 g de  $\text{VCl}_4$  foram dissolvidos em 100 g de tetracloreto de carbono a  $0^\circ\text{C}$ . Após certo tempo a mistura alcançou o equilíbrio, sendo a densidade  $1,78 \text{ g cm}^{-3}$ . O ponto de fusão da solução é  $-30^\circ\text{C}$

- Determine** o grau de dimerização do tetracloreto de vanádio.
- Determine** a constante de equilíbrio de dimerização do cloreto de vanádio.

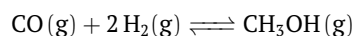
**Dados**

- $k_b(\text{CCl}_4) = 29,8 \text{ K kg mol}^{-1}$
- $T_{\text{fus}}(\text{CCl}_4) = -23^\circ\text{C}$

**PROBLEMA 4.44**

2G46

Um reator para a produção de metanol é preenchido com uma mistura de CO e  $\text{H}_2$  na proporção 1 : 2. O sistema é mantido a 600 K e o equilíbrio é estabelecido:



No equilíbrio a pressão total é 50 atm.

- Determine** a constante de equilíbrio para essa reação.
- Determine** o grau de conversão para a formação de metanol.

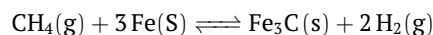
**Dados**

- $\text{Hf}(\text{CH}_3\text{OH}, \text{g})$
- $\text{S}(\text{CH}_3\text{OH}, \text{g})$
- $\Delta H_f^\circ(\text{CO}, \text{g}) = -111 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta S^\circ(\text{H}_2, \text{g}) = 131 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $\Delta S^\circ(\text{CO}, \text{g}) = 198 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

**PROBLEMA 4.45**

2G47

Um reator para a produção de cementita é equipado com um pistão que se move livremente contra pressão de 1 atm. O reator é preenchido com ferro metálico e gás hidrogênio. O sistema é mantido a  $25^\circ\text{C}$  e o equilíbrio é estabelecido:



- Determine** a constante de equilíbrio para essa reação.
- Determine** a fração molar de hidrogênio na fase gasosa no equilíbrio.
- Avalie** a viabilidade do processo para a produção de cementita.

**Dados**

- $S^\circ(\text{Fe}_3\text{C}, \text{s}) = 105 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{Fe}_3\text{C}, \text{s}) = 25,1 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\text{Hf}(\text{CH}_4, \text{g})$
- $\text{S}(\text{CH}_4, \text{g})$
- $\Delta S^\circ(\text{Fe}, \text{s}) = 27,3 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $\Delta S^\circ(\text{H}_2, \text{g}) = 131 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

**PROBLEMA 4.46**

2G48

A constante de equilíbrio, K, para uma reação é 8,84 a  $25^\circ\text{C}$  e  $3,25 \times 10^{-2}$  a  $75^\circ\text{C}$ .

- Determine** a temperatura em que  $K = 1$ .
- Determine** a entropia de reação.

**PROBLEMA 4.47**

2G49

Um reator contém uma mistura dos gases metilpropeno, *cis*-but-2-eno e *trans*-but-2-eno em equilíbrio. **Determine** a fração de cada composto no equilíbrio.

**Dados**

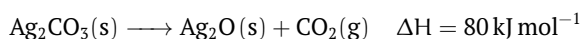
- $\Delta G_f^\circ(\text{cis-but-2-eno}) = 66 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta G_f^\circ(\text{trans-but-2-eno}) = 63 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta G_f^\circ(\text{metilpropeno}) = 58 \text{ kJ mol}^{-1}$

Um reator de 1 L é preenchido com 10 g de bicarbonato de sódio. O sistema é mantido a 125 °C e o equilíbrio é estabelecido:



- Determine a pressão parcial de  $\text{CO}_2$  no equilíbrio.
- Determine a massa de bicarbonato de sódio no equilíbrio.
- Determine o volume mínimo necessário para a decomposição de todo o bicarbonato.

Quando o carbonato de prata hidratado é seco com uma corrente de ar quente, o ar deve ter uma concentração mínima de  $\text{CO}_2$  para evitar a decomposição deste, conforme a reação:



A 25 °C, a pressão mínima de  $\text{CO}_2$  para não haver decomposição é  $6,2 \times 10^{-3}$  Torr.

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da pressão mínima de  $\text{CO}_2$  para não haver decomposição a 110 °C.

- |                    |                    |
|--------------------|--------------------|
| <b>A</b> 2,5 Torr  | <b>B</b> 5,0 Torr  |
| <b>C</b> 7,5 Torr  | <b>D</b> 10,0 Torr |
| <b>E</b> 12,5 Torr |                    |

## Gabarito

### Nível I

- |              |              |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1. <b>B</b>  | 2. <b>C</b>  | 3. <b>A</b>  | 4. <b>B</b>  | 5. <b>B</b>  |
| 6. <b>C</b>  | 7. <b>C</b>  | 8. <b>B</b>  | 9. <b>C</b>  | 10. <b>D</b> |
| 11. <b>D</b> | 12. <b>B</b> | 13. <b>C</b> | 14. <b>C</b> | 15. <b>B</b> |
| 16. <b>B</b> | 17. <b>A</b> | 18. <b>D</b> | 19. <b>D</b> | 20. <b>D</b> |
| 21. <b>D</b> | 22. <b>C</b> | 23. <b>D</b> | 24. <b>B</b> | 25. <b>B</b> |
| 26. <b>B</b> | 27. <b>D</b> | 28. <b>A</b> |              |              |

### Nível II

- C**
- B**
- A**
- C**
- E**
- a. 720 mg  
b. 183
- D**
- D**
- A**
- D**
- a. 8  
b. 423
- a. 6,76  
b. Endotérmica.
- 0,86
- a.  $2,33 \times 10^{-4}$   
b. Não há efeito no equilíbrio.
- a. 85%  
b. 33
- a.  $2,5 \times 10^{-4}$   
b. 28%
- a.  $4,6 \times 10^{-13}$   
b.  $6,8 \times 10^{-7}$   
c. O processo não é viável.
- a. 310 K  
b.  $310 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
- 87% metilpropeno, 3% cis-but-2-eno e 10% trans-but-2-eno.
- a. 0,5 atm  
b. 7,5 g  
c. 3,9 L
- C**