

Cálculos de Equilíbrio

Gabriel Braun



3G.1 Os cálculos de equilíbrio

3G.1a O progresso da reação

3G.1b A direção da reação

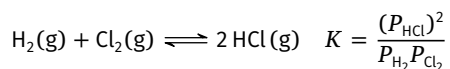
3G.1c Os cálculos com as constantes de equilíbrio

3G.1 Os cálculos de equilíbrio

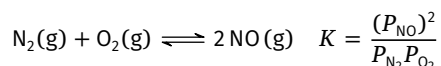
A constante de equilíbrio sumaria a composição de uma mistura de reação que atingiu o equilíbrio. Ela pode ser usada para prever as pressões parciais de cada espécie no equilíbrio ou avaliar as concentrações de reagentes e produtos, conhecendo-se as condições iniciais.

3G.1a O progresso da reação

Quando K é grande, a reação quase se completa antes de atingir o equilíbrio, e a mistura de reação no equilíbrio é formada quase que exclusivamente pelos produtos. Quando K é pequena, o equilíbrio é atingido logo após o início da reação. Por exemplo, considere a reação:



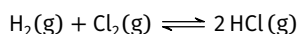
Experimentos mostraram que $K = 4 \times 10^{18}$ em 500 K. Tamanho valor de K indica que, quando o sistema atinge o equilíbrio, a maior parte dos reagentes foi convertida em HCl. Na verdade, a reação praticamente se completa. Agora, imagine o equilíbrio:



Experiências mostram que $K = 3 \times 10^{-21}$ em 800 K. O valor muito pequeno de K nos diz que o sistema atinge o equilíbrio quando uma quantidade muito pequena do produto se formou. Os reagentes N_2 e O_2 permanecem como as espécies dominantes no sistema, mesmo no equilíbrio.

EX. 3G.1 Cálculo da composição de equilíbrio

Em uma mistura em equilíbrio em 500 K contendo HCl, Cl_2 e H_2 , a pressão parcial de H_2 é 4 mPa e a de Cl_2 é 9 mPa. Nessa temperatura, a reação



tem constante de equilíbrio $K = 4 \times 10^{18}$.

Calcule a pressão parcial de HCl no equilíbrio.

Etapa 1. Calcule a pressão parcial do gás no equilíbrio.

$$\text{De } K = (P_{\text{HCl}})^2 / P_{\text{H}_2} P_{\text{Cl}_2}$$

$$P_{\text{HCl}} = ((4 \times 10^{18}) \times (4 \times 10^{-8}) \times (9 \times 10^{-8}))^{1/2} = 120 \text{ bar}$$

Se K é grande, os produtos são favorecidos no equilíbrio; se K é pequeno, os reagentes são favorecidos.

3G.1b A direção da reação

Agora, suponha que o sistema estudado não esteja em equilíbrio. Por exemplo, você tem as concentrações de reagentes e produtos em algum estágio arbitrário de uma reação, mas precisa saber se ela gerará mais produtos ou mais reagentes enquanto avança para o equilíbrio:

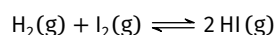
- Se $Q < K$, as concentrações ou pressões parciais dos produtos estão muito baixas em relação às dos reagentes para a reação estar no equilíbrio. Assim, a reação tem a tendência de se processar na direção dos produtos.
- Se $Q = K$, a reação está na composição de equilíbrio e não tem tendência de mudar em nenhuma direção.
- Se $Q > K$, a reação inversa é espontânea, e os produtos tendem a se decompor nos reagentes.

ATENÇÃO

- Observe que o critério de espontaneidade é ΔG , não ΔG° . Se uma reação é espontânea ou não, depende do estágio que ela atinge. Por essa razão, é melhor dizer que $K > 1$ para uma reação com ΔG_r° negativa, não que ela é espontânea.
- Entretanto, no caso de reações com constantes de equilíbrio muito grandes, é pouco provável que a mistura de reagentes preparada no laboratório corresponda a $Q > K$, e é habitual referir-se a essas reações como *espontâneas*.

EX. 3G.2 Predição da direção da reação

Uma mistura de hidrogênio e iodo, ambos em 55 kPa, e iodoeto de hidrogênio, em 78 kPa foi introduzida em um recipiente aquecido até 783 K. Nessa temperatura, a reação



tem constante de equilíbrio $K = 46$.

Avalie se o HI tem tendência a se formar ou a se decompor em H_2 e I_2 .

Etapa 1. Calcule o quociente de reação.

$$\text{De } Q = (P_{\text{HI}})^2 / P_{\text{H}_2} P_{\text{I}_2}$$

$$Q = \frac{(0,78)^2}{(0,55) \times (0,55)} = 2$$

Como $Q < K$, conclui-se que a reação tenderá a formar mais produtos e consumir os reagentes.

Uma reação apresenta tendência a formar produtos se $Q < K$ e a formar reagentes se $Q > K$.

3G.1c Os cálculos com as constantes de equilíbrio

A constante de equilíbrio de uma reação contém informações sobre a composição de equilíbrio em uma determinada temperatura. Entretanto, em muitos casos, só a composição inicial da mistura de reação é conhecida, e você precisa prever a composição em equilíbrio. Se você conhece o valor de K , é possível prever a composição no equilíbrio com base na estequiometria de reação. O procedimento mais fácil é elaborar uma tabela de equilíbrio, isto é, uma tabela que mostra a composição inicial, as mudanças necessárias para atingir o equilíbrio em termos de uma quantidade desconhecida x e a composição final do equilíbrio.

EX. 3G.3 Cálculo da composição no equilíbrio com o uso de uma equação do segundo grau

Em um reator de 500 mL foram colocados 3,12 g de PCl_5 . A amostra atingiu o equilíbrio com os produtos de decomposição PCl_3 e Cl_2 em 250 °C. A reação



tem constante de equilíbrio $K = 80$ em 250 °C.

Calcule a pressão parcial de PCl_5 no equilíbrio.

Etapas 1. Calcule a quantidade inicial de PCl_5 .

De $n = m/M$

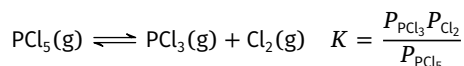
$$n_{\text{PCl}_5, \text{início}} = \frac{3,12 \text{ g}}{208 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,015 \text{ mol}$$

Etapas 2. Calcule a pressão parcial inicial de PCl_5 .

De $PV = nRT$

$$P_{\text{PCl}_5, \text{início}} = \frac{(0,015 \text{ mol}) \times (0,083 \frac{\text{bar L}}{\text{mol K}}) \times (523 \text{ K})}{0,5 \text{ L}} = 1,3 \text{ bar}$$

Etapas 3. Escreva a expressão da constante de equilíbrio



Etapas 4. Elabore uma tabela de equilíbrio.

	PCl_5	PCl_3	Cl_2
início	1,3	0	0
reação	$-x$	$+x$	$+x$
equilíbrio	$1,3 - x$	x	x

Etapas 5. Insira os valores da tabela na expressão da constante de equilíbrio.

$$K = 80 = \frac{x^2}{1,3 - x}$$

Resolvendo a equação do segundo grau para x obtemos

$$x = 1,28 \text{ ou } x = -81$$

Como as pressões parciais têm de ser positivas e como x é a pressão parcial de PCl_3 , selecione $x = 1,28$ como a solução.

Etapas 6. Calcule a pressão parcial de PCl_5 no equilíbrio.

De $P_{\text{PCl}_5} = 1,3 \text{ bar} - x$

$$P_{\text{PCl}_5} = 0,02 \text{ bar}$$

Uma técnica de aproximação pode simplificar muito os cálculos quando a mudança de composição, x , for menor do que cerca de 5% do valor inicial. Para usá-la, suponha que x é desprezível quando adicionado/composição ou subtraído de um número. Assim, todas as expressões da forma $A + x$ ou $A - 2x$, por exemplo, podem ser substituídas por A . Quando x aparece sozinho (quando não é adicionado ou subtraído de outro número), ele não se altera. Por exemplo:

$$(0,1 - 2x)^2 x \approx (0,1)^2 x$$

desde que $2x \ll 0,1$ (especificamente, se $2x < 0,005$).

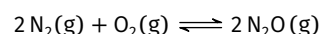
É importante verificar, no final dos cálculos, se o valor calculado de x é realmente inferior a cerca de 5% dos valores iniciais. Se isso não ocorrer, então a equação deve ser resolvida sem a aproximação.

NOTA DE BOA PRÁTICA

Um bom hábito é verificar a resposta, por meio da substituição da composição de equilíbrio na expressão de K .

EX. 3G.4 Cálculo da composição de equilíbrio por aproximação

Uma mistura de 0,5 mol de N_2 e 1,0 mol de O_2 foi transferida para um balão de reação de volume 10 L com formação de N_2O em 800 K. A reação



tem constante de equilíbrio $K = 3 \times 10^{-28}$ em 800 K.

Calcule a pressão parcial de N_2O no equilíbrio.

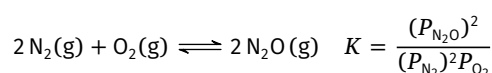
Etapas 1. Calcule as pressões parciais dos reagentes.

De $PV = nRT$

$$P_{\text{N}_2} = \frac{(0,5 \text{ mol}) \times (0,083 \frac{\text{bar L}}{\text{mol K}}) \times (800 \text{ K})}{10 \text{ L}} = 3,3 \text{ bar}$$

$$P_{\text{O}_2} = \frac{(1,0 \text{ mol}) \times (0,083 \frac{\text{bar L}}{\text{mol K}}) \times (800 \text{ K})}{10 \text{ L}} = 6,6 \text{ bar}$$

Etapas 2. Escreva a expressão da constante de equilíbrio.



Etapas 3. Elabore uma tabela de equilíbrio.

	N ₂	O ₂	N ₂ O
início	3,3	6,6	0
reação	-2x	-x	+2x
equilíbrio	3,3 - 2x	6,6 - x	2x

Etapa 4. Insira os valores da tabela na expressão da constante de equilíbrio.

$$K = \frac{(2x)^2}{(3,3 - 2x)^2(6,6 - x)}$$

Etapa 5. Hipótese. 3,3 - 2x ≈ 3,3 e 6,6 - x ≈ 6,6.

Substituindo as hipóteses na expressão da constante de equilíbrio:

$$K = 3 \times 10^{-28} = \frac{(2x)^2}{(3,3)^2(6,6)}$$

Resolvendo a equação para x obtemos

$$x = 7,5 \times 10^{-14}$$

O valor de 2x é muito pequeno quando comparado com 3,3 (muito menor do que 5%), e nossa aproximação é válida.

Etapa 6. Calcule a pressão parcial de PCl₅ no equilíbrio.

De P_{N₂O} = 2x

$$P_{N_2O} = 1,5 \times 10^{-13} \text{ bar}$$

EX. 3G.5 Cálculo da composição no equilíbrio após a adição de um reagente

Em um balão de 500 mL, reação



atingiu o equilíbrio em 250 °C. As pressões parciais dos componentes no equilíbrio são P_{PCl₅} = 0,02 bar, P_{PCl₃} = 1,28 bar e P_{Cl₂} = 1,28 bar. Foram adicionados 0,01 mol de Cl₂ à mistura no equilíbrio, então, o sistema entra em equilíbrio novamente.

Calcule a pressão parcial de PCl₅ no equilíbrio.

Etapa 1. Calcule o aumento de pressão parcial de cloro.

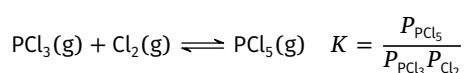
De PV = nRT

$$\Delta P_{\text{Cl}_2} = \frac{(0,01 \text{ mol}) \times (0,083 \frac{\text{bar L}}{\text{mol K}}) \times (523 \text{ K})}{(0,5 \text{ L})} = 0,87 \text{ bar}$$

A pressão parcial total de cloro imediatamente após a adição do gás cloro é, portanto,

$$P_{\text{Cl}_2, \text{início}} = 1,28 \text{ bar} + 0,870 \text{ bar} = 2,15 \text{ bar}$$

Etapa 2. Escreva a expressão da constante de equilíbrio



Etapa 3. Calcule a constante de equilíbrio

De $K = P_{\text{PCl}_5} / P_{\text{PCl}_3} P_{\text{Cl}_2}$

$$K = \frac{(0,02)}{(1,28) \times (1,28)} = 0,012$$

Etapa 4. Elabore uma tabela de equilíbrio.

Etapa 5. Insira os valores da tabela na expressão da constante de equilíbrio.

$$K = 0,012 = \frac{(0,02 + x)}{(1,28 - x) \times (2,15 - x)}$$

Resolvendo a equação do segundo grau para x obtemos

$$x = 0,014 \text{ ou } x = 81$$

Como as pressões parciais têm de ser positivas, selecione x = 0,014 como a solução.

Etapa 6. Calcule a pressão parcial de PCl₅ no equilíbrio.

De P_{PCl₅} = 0,02 + x

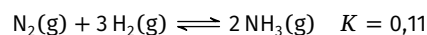
$$P_{\text{PCl}_5} = 0,034 \text{ bar}$$

Para calcular a composição de uma reação em equilíbrio, organize uma tabela de equilíbrio em termos de mudanças nas pressões parciais ou nas concentrações de reagentes e produtos, expresse a constante de equilíbrio conforme essas mudanças e resolva a equação resultante.

Nível 1

3G.01

Um vaso rígido selado foi carregado com 0,02 bar de H₂ e 0,01 bar de N₂. A mistura é aquecida até uma temperatura em que ocorre a reação:

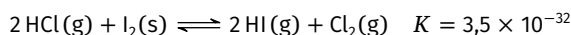


Assinale a alternativa que mais se aproxima da pressão parcial de NH₃ no equilíbrio.

- A** $4,7 \times 10^{-5} \text{ bar}$ **B** $9,4 \times 10^{-5} \text{ bar}$ **C** $1,9 \times 10^{-4} \text{ bar}$
D $3,8 \times 10^{-4} \text{ bar}$ **E** $7,6 \times 10^{-4} \text{ bar}$

3G.02

O gás cloreto de hidrogênio foi introduzido em um balão que continha iodo sólido até que a pressão parcial atingisse 0,012 bar. A mistura é aquecida até uma temperatura em que ocorre a reação:

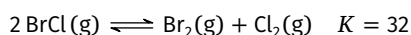


Assinale a alternativa que mais se aproxima da pressão parcial de HI no equilíbrio.

- A** $2,2 \times 10^{-12}$ bar **B** $7,8 \times 10^{-12}$ bar **C** $2,7 \times 10^{-11}$ bar
D $9,7 \times 10^{-11}$ bar **E** $3,4 \times 10^{-10}$ bar

3G.03

Um balão é carregado com 3,3 mbar de monocloreto de bromo, BrCl, e aquecido até 500 K, em que ocorre a reação:

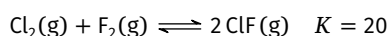


Assinale a alternativa que mais se aproxima da pressão parcial de BrCl no equilíbrio.

- A** 0,23 mbar **B** 0,3 mbar **C** 0,39 mbar
D 0,51 mbar **E** 0,67 mbar

3G.04

Uma mistura de gases inicialmente com $P_{\text{Cl}_2} = 0,2$ bar, $P_{\text{F}_2} = 0,1$ bar e $P_{\text{ClF}} = 0,1$ bar entra em equilíbrio em 2500 K, em que ocorre a reação:

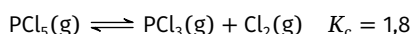


Assinale a alternativa que mais se aproxima da pressão parcial de ClF no equilíbrio.

- A** 0,25 bar **B** 0,33 bar **C** 0,44 bar **D** 0,58 bar **E** 0,76 bar

3G.05

Um balão de 0,5 L é carregado com 750 mmol de PCl_5 e aquecido a 250 °C, em que ocorre a reação:

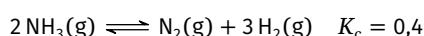


Assinale a alternativa que mais se aproxima da concentração de PCl_5 no equilíbrio.

- A** $0,4 \text{ mol L}^{-1}$ **B** $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ **C** $0,63 \text{ mol L}^{-1}$
D $0,79 \text{ mol L}^{-1}$ **E** 1 mol L^{-1}

3G.06

Uma amostra de 25,6 g de NH_3 é colocada em um reator de 5 L e aquecida até 350 °C, em que ocorre a reação:



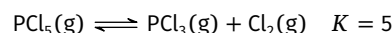
Assinale a alternativa que mais se aproxima da concentração de H_2 no equilíbrio.

- A** $0,19 \text{ mol L}^{-1}$ **B** $0,25 \text{ mol L}^{-1}$ **C** $0,32 \text{ mol L}^{-1}$
D $0,42 \text{ mol L}^{-1}$ **E** $0,54 \text{ mol L}^{-1}$

Nível 2

3G.07

Um reator é carregado com PCl_5 e aquecido até 556 K, onde ocorre a reação:

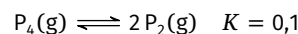


No equilíbrio a pressão total é 15 atm.

Determine o grau de decomposição do PCl_5 no equilíbrio.

3G.08

Um reator é carregado com P_4 e aquecido até 1325 K, onde ocorre a reação:



No equilíbrio a pressão total é 1 atm.

Determine o grau de dissociação de P_4 no equilíbrio.

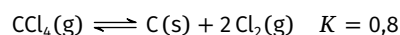
3G.09

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

- a. Determine** a constante de equilíbrio para a dissociação do oxigênio.
b. Determine a pressão em que 95% das moléculas de oxigênio estarão dissociadas em 5000 K.

3G.10

Um reator é carregado com CCl_4 e aquecido até 700 °C, onde ocorre a reação:

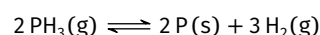


No equilíbrio a pressão total é 1,2 atm.

Determine a pressão inicial de tetracloreto de carbono.

3G.11

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

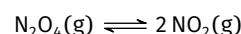


No equilíbrio a pressão total é 0,93 atm.

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

3G.12

Um cilindro é carregado com N_2O_4 . O sistema é mantido em 25 °C e o equilíbrio é estabelecido:



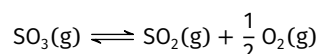
No equilíbrio, 16% do N_2O_4 está dissociado e a pressão total é 1,5 atm.

O volume do cilindro é aumentado até que a pressão total seja 1 atm.

- a. Determine** a constante de equilíbrio da reação.
b. Determine a pressão parcial de NO_2 no equilíbrio.
c. Determine a fração de N_2O_4 dissociado no equilíbrio.

3G.13

Um balão é carregado com 88 g de SO_3 . O sistema é aquecido até 600°C e o equilíbrio é estabelecido:

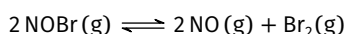


No equilíbrio a densidade da fase gasosa é $1,6 \text{ g L}^{-1}$ e a pressão total é $1,8 \text{ atm}$.

Determine a constante de equilíbrio da reação.

3G.14

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

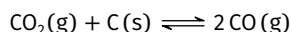


No equilíbrio a densidade da fase gasosa é $4,0 \text{ g L}^{-1}$.

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

3G.15

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

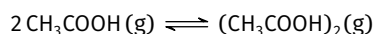


No equilíbrio a densidade da fase gasosa é 14 g L^{-1} . Em 1100 K , a constante de equilíbrio da reação é 22.

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

3G.16

Em fase gasosa, o ácido acético sofre dimerização conforme a reação:

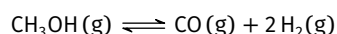


Em um recipiente de 20 mL em 160°C foram coletados 40,7 mg de vapor de ácido acético sob 1 atm. Quando o mesmo experimento foi realizado em 200°C , 33,4 mg de gás foram coletados no mesmo recipiente de 20 mL.

- Determine** a constante de equilíbrio para a dimerização do ácido acético em 160°C .
- Determine** a constante de equilíbrio para a dimerização do ácido acético em 200°C .
- Determine** a entalpia de dimerização do ácido acético.

3G.17

Um balão de 1 L foi carregado com 4,8 g de metanol. O sistema é aquecido até 250°C e o equilíbrio é estabelecido:

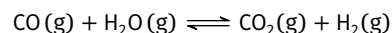


Um frasco é preenchido por um pequeno orifício na lateral do balão. A quantidade de hidrogênio que efunde para o frasco é 32 vezes maior que a quantidade de metanol.

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

3G.18

Um balão de 250 mL foi carregado com 420 Torr de uma mistura equimolar de monóxido de carbono e vapor d'água. O sistema é aquecido até 700°C e o equilíbrio é estabelecido:

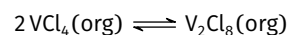


Um frasco é preenchido por um pequeno orifício na lateral do balão. A quantidade de hidrogênio que efunde para o frasco é 2,25 vezes maior que a quantidade de vapor d'água.

- Determine** a razão entre a quantidade de hidrogênio e vapor d'água na mistura em equilíbrio.
- Determine** a constante de equilíbrio para essa reação.

3G.19

Em solução de tetracloreto de carbono, o tetracloreto de vanádio sofre dimerização formando V_2Cl_8 :



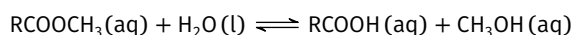
Em um experimento, 6,76 g de VCl_4 foram dissolvidos em 100 g de tetracloreto de carbono em 0°C . Após certo tempo, a mistura alcançou o equilíbrio, sendo a densidade $1,78 \text{ g cm}^{-3}$. O ponto de fusão da solução é -29°C .

A temperatura de congelamento do CCl_4 é -23°C e sua constante do ponto de congelamento é $k_c = 30 \text{ K kg mol}^{-1}$.

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

3G.20

O propionato de metila, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOCH}_3$, sofre hidrólise em solução aquosa formando ácido propanoico e metanol, conforme a reação:



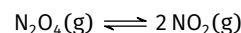
Em um experimento, 880 mg de propionato de metila foram dissolvidos em 100 mL de água em 25°C . Após certo tempo, a mistura alcançou o equilíbrio. O ponto de fusão da solução é $-0,23^\circ\text{C}$. Desconsidere a ionização do ácido carboxílico formado.

A constante crioscópica da água é $k_c = 1,86 \text{ K kg mol}^{-1}$.

- Determine** o grau de hidrólise do éster.
- Determine** a constante de equilíbrio de hidrólise do éster.

3G.21

Em um reator mantido em temperatura constante ocorre a reação:

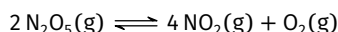


No equilíbrio, a pressão parcial de N_2O_4 era $0,34 \text{ atm}$ e a de NO_2 era 2 atm . O volume do recipiente é duplicado mantendo a temperatura constante e o equilíbrio é reestabelecido.

- Determine** a constante de equilíbrio da reação.
- Determine** a pressão parcial de N_2O_4 no equilíbrio.

3G.22

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

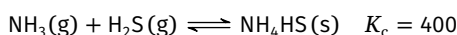


O volume do cilindro é aumentado em dez vezes e o equilíbrio é reestabelecido.

- Determine a pressão parcial de O_2 no equilíbrio.
- Determine a fração de N_2O_5 que sofre decomposição devido ao aumento do volume.

3G.23

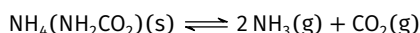
Um reator de 5 L é carregado com 2 mol de NH_3 , 2 mol de H_2S e 2 mol de NH_4HS . O sistema é mantido em 35°C e o equilíbrio é estabelecido:



- Determine pressão parcial de H_2S no equilíbrio.
- Determine a massa de NH_4HS no equilíbrio.

3G.24

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 em 25°C e o equilíbrio é estabelecido:

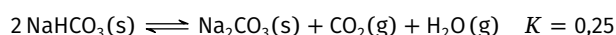


No equilíbrio, a massa de dióxido de carbono é 17,4 mg.

Determine a constante de equilíbrio K_c da reação.

3G.25

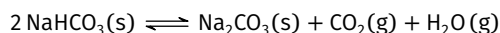
Um reator de 1 L é carregado com 10 g de bicarbonato de sódio. O sistema é aquecido até 125°C e o equilíbrio é estabelecido:



- Determine a pressão parcial de CO_2 no equilíbrio.
- Determine a massa de bicarbonato de sódio no equilíbrio.
- Determine o volume mínimo do reator necessário para a decomposição de todo o bicarbonato.

3G.26

Quando NaHCO_3 sólido é colocado em um recipiente rígido de 2,5 L e aquecido até 160°C o equilíbrio é estabelecido:



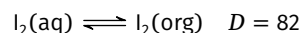
No equilíbrio, a pressão total é 8 bar.

Em um segundo experimento, é adicionada a mesma massa de sólido em um recipiente de mesmo volume com 1 bar de CO_2 .

- Determine a constante de equilíbrio da reação.
- Determine a pressão parcial de CO_2 no equilíbrio no segundo experimento.

3G.27

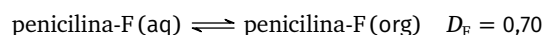
Uma alíquota de 25 mL de uma solução aquosa contendo 2 mg de iodo é agitada com 5 mL de CCl_4 e, em seguida, as soluções se separam. O equilíbrio de partição do iodo entre água e CCl_4 é:



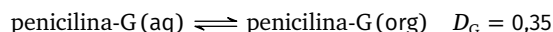
- Determine a quantidade de iodo remanescente na solução aquosa após a extração.
- Determine o número de etapas de extração para que a concentração de iodo na fase aquosa seja inferior a 1 ppm.

3G.28

A penicilina pode ser purificada por extração. O equilíbrio de partição da penicilina-F entre éter isopropílico e uma solução aquosa de fosfato é:



O equilíbrio de partição correspondente para a penicilina-G é:

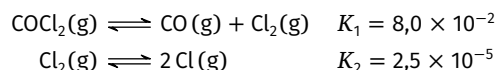


Uma amostra de penicilina-G possui 10% de penicilina-F como impureza. Essa amostra é dissolvida na solução aquosa de fosfato e extraída com o mesmo volume de éter isopropílico. O processo de extração é repetido até que a fração de impureza na penicilina seja inferior a 4%.

- Determine a fração de impureza após a primeira extração.
- Determine o número de etapas de extração realizadas.
- Determine a fração da penicilina-G inicial remanescente na solução aquosa após as extrações.

3G.29

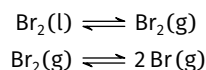
Um reator de 10 L é carregado com 1 atm de gás fosgênio, COCl_2 . O sistema é aquecido até 1000 K e os equilíbrios são estabelecidos:



- Determine a pressão parcial de Cl_2 no reservatório.
- Determine a pressão parcial de Cl no reservatório.

3G.30

Bromo líquido é adicionado a um reservatório. O sistema é mantido em 25°C e os equilíbrios são estabelecidos:



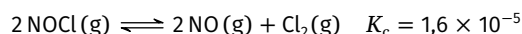
Deseja-se coletar 0,01 mol de bromo gasoso enchendo um frasco sob vácuo com o vapor de bromo do reservatório.

Dados	Br(g)	Br ₂ (g)
$\Delta G_f^\circ / \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$	82,4	3,11

- Determine a pressão parcial do bromo atômico no equilíbrio.
- Determine o volume do frasco necessário para coletar a quantidade de bromo desejada.

3G.31

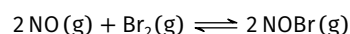
Um reator de 1 L é carregado com 60 g de NO e 71 g de Cl₂. O sistema é aquecido até 35 °C e o equilíbrio é estabelecido:



- Determine a concentração de NOCl no equilíbrio.
- Determine a concentração de NO no equilíbrio.

3G.32

Um balão é carregado com 100 Torr de NO e 40 Torr de Br₂. O sistema é mantido em 300 K e o equilíbrio é estabelecido:



No equilíbrio a pressão total é 110 Torr.

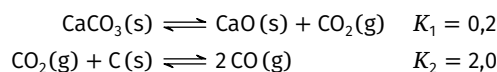
Em outro experimento, 0,6 atm de uma mistura equimolar de NO e Br₂ são carregados em um balão em 300 K.

- Determine a constante de equilíbrio da reação.
- Determine a pressão parcial de NOBr em equilíbrio no segundo experimento.

Nível 3

3G.33

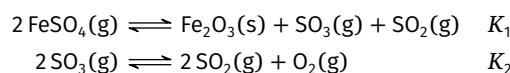
Um reator de 22,4 L é carregado com 100 g de carbonato de cálcio e 12 g de carbono. O sistema é aquecido até 820 °C e os equilíbrios são estabelecidos:



- Determine a quantidade de CO₂ no equilíbrio.
- Determine a quantidade de C no equilíbrio.
- Determine o volume mínimo do reator necessário para a decomposição de todo o carbonato.

3G.34

Um reator é carregado com sulfato de ferro(II), FeSO₄. O sistema é aquecido até 920 K e os equilíbrios são estabelecidos:

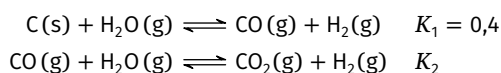


No equilíbrio, a pressão parcial de oxigênio é 0,0275 atm e a pressão total é 0,836 atm.

- Determine a constante de equilíbrio K₁
- Determine a constante de equilíbrio K₂

3G.35

Um reator de 10 L é carregado com 24 g de carbono e 108 g de água. O sistema é aquecido até 215 °C e os equilíbrios são estabelecidos:

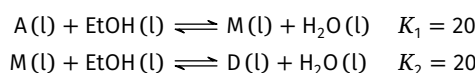


No equilíbrio, a pressão total é 28,8 atm.

- Determine a quantidade de vapor d'água no equilíbrio.
- Determine a constante de equilíbrio K₂.
- Determine o volume mínimo do reator necessário para a decomposição de todo o carbono.

3G.36

Um ácido dicarboxílico, A, é misturado com etanol. O sistema é mantido em 25 °C e os equilíbrios são estabelecidos:



- Determine o rendimento máximo para a conversão do ácido dicarboxílico no monoéster, M.
- Determine a razão entre as frações molares de etanol e do ácido dicarboxílico na mistura inicial para que a fração molar de monoéster no equilíbrio seja máxima.

Gabarito: Nível 1

Gabarito: Nível 2

- 3G.07** 50%
- 3G.08** 16%
- 3G.09** 8,9
0,24 atm
- 3G.10** 0,9 atm
- 3G.11** 720 mg
183
- 3G.12** 0,16
0,33 atm
20%
- 3G.13** 0,66
- 3G.14** $5,47 \times 10^{-3}$
O equilíbrio é deslocado, formando mais produtos.
- 3G.15** 6,25
Endotérmica.
- 3G.16** 0,324
0,095
 -52 kJ mol^{-1}
- 3G.17** 8
423,75
- 3G.18** 0,75
0,5625
- 3G.19** 86%
36
- 3G.20** 20%
0,005
- 3G.21** 11,8
0,11 atm
- 3G.22** 4×10^{-3} atm
2%
- 3G.23** 1,3 atm
192 g
- 3G.24** $1,6 \times 10^{-8}$
- 3G.25** 0,5 atm
7,5 g
3,9 L
- 3G.26** 16
4,5 bar
- 3G.27** 0,11 mg
2 etapas
- 3G.28** 8,1%
5 etapas
22,3%
- 3G.29** 0,25 atm
0,0025 atm
- 3G.30** $3,6 \times 10^{-15}$ atm
846 mL
- 3G.31** $1,95 \text{ mol L}^{-1}$
 $0,05 \text{ mol L}^{-1}$
- 3G.32** 171
0,22 atm

Gabarito: Nível 3

- 3G.33** 0,05 mol
0,92 mol
174 L
- 3G.34** 0,16
0,048
- 3G.35** 3,7 mol
4
70 L
- 3G.36** $\frac{1}{1 + 2\sqrt{\frac{K_2}{K_1}}} = \frac{1}{3}$
 $1 + \frac{1}{\sqrt{K_1 K_2}} = 1,05$