

## ESERCIZIO 1

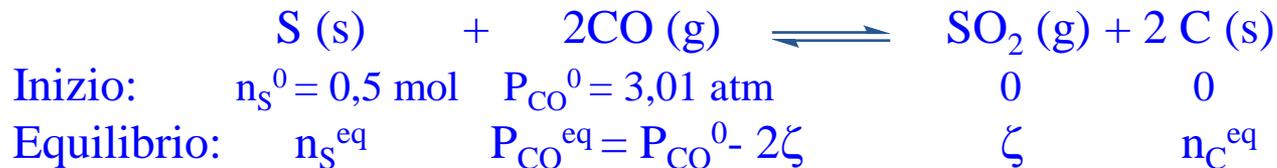
In un recipiente del volume di 1,0 L mantenuto alla temperatura costante di 100°C, sono contenute inizialmente 0,5 moli di zolfo. Nel recipiente viene aggiunto CO alla pressione parziale di 3,01 atm e si stabilisce l'equilibrio:



e la pressione totale vale 1,56 atm.

Trascurando il volume dei solidi rispetto a quello del recipiente, calcolare i grammi di zolfo solido presenti all'equilibrio.

Masse atomiche relative (m.a.r.): S=32,00; R= 0,0821 L atm mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>



$$P_{\text{totale}}^{\text{eq}} = P_{\text{CO}}^{\text{eq}} + P_{\text{SO}_2}^{\text{eq}} = P_{\text{CO}}^0 - 2\zeta + \zeta = P_{\text{CO}}^0 - \zeta = 1,56 \text{ atm}$$

$$\zeta = P_{\text{CO}}^0 - P_{\text{tot}}^{\text{eq}} = 3,01 \text{ atm} - 1,56 \text{ atm} = 1,45 \text{ atm} \Rightarrow P_{\text{SO}_2}^{\text{eq}} = \zeta = 1,45 \text{ atm}$$

Dalla legge dei gas perfetti  $PV = nRT$  si ha:

$$n_{\text{SO}_2}^{\text{eq}} = P_{\text{SO}_2}^{\text{eq}} V / RT = (1,45 \text{ atm} \cdot 1,0 \text{ L}) / (0,0821 \text{ L atm mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 373,15 \text{ K}) = 4,73 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

Per la legge della conservazione della massa si ha:

$$n_{\text{S}}^{\text{eq}} = n_{\text{S}}^0 - n_{\text{SO}_2}^{\text{eq}} = (0,5 - 4,73 \cdot 10^{-2}) \text{ mol} = 0,453 \text{ mol}$$

$$m_{\text{S}}^{\text{eq}} = n_{\text{S}}^{\text{eq}} \cdot m.a.r._{\text{S}} = 0,453 \text{ mol} \cdot 32,00 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{14,496 \text{ g}}$$

## ESERCIZIO 2

Riscaldando a 800°C il bicarbonato di calcio in un recipiente a pareti rigide del volume di 2,5 L si raggiunge il seguente equilibrio:



e si misura una pressione all'interno del recipiente di 2,750 atm.

Calcolare il  $K_p$  della reazione e il numero di moli di  $\text{CO}_2$  da introdurre nel recipiente perché nelle nuove condizioni di equilibrio la pressione dell'acqua venga dimezzata.

$$K_p = (P_{\text{CO}_2}^{\text{eq}})^2 \cdot P_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{eq}} = (2P_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{eq}})^2 \cdot P_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{eq}} = 4(P_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{eq}})^3$$

$$P_{\text{totale}}^{\text{eq}} = P_{\text{CO}_2}^{\text{eq}} + P_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{eq}} = 2P_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{eq}} + P_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{eq}} = 3 P_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{eq}}$$

$$P_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{eq}} = P_{\text{totale}}^{\text{eq}} / 3 = 2,750 \text{ atm} / 3 = 0,9167 \text{ atm}$$

$$K_p = 4(P_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{eq}})^3 = 4 \cdot (0,9167)^3 = \mathbf{3,081}$$

Se si introduce fin dall'inizio  $\text{CO}_2$  nel recipiente, l'espressione del  $K_p$  diventa:

$$K_p = (P_{\text{CO}_2}^{\text{eq}})^2 \cdot P_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{eq}} = (P_{\text{CO}_2}^0 + 2P_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{eq}})^2 \cdot P_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{eq}}$$

Sviluppando l'equazione si ha:

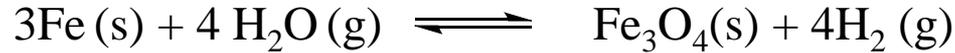
$$P_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{eq}} \cdot (P_{\text{CO}_2}^0)^2 + 4(P_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{eq}})^2 \cdot P_{\text{CO}_2}^0 + 4(P_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{eq}})^3 - K_p = 0 \quad \left\{ \begin{array}{l} K_p = 3,081 \\ P_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{eq}} = 0,9167 \text{ atm} / 2 = 0,45835 \text{ atm} \end{array} \right.$$
$$0,45835 \cdot (P_{\text{CO}_2}^0)^2 + 0,8403 \cdot P_{\text{CO}_2}^0 - 2,6958 = 0$$

$$P_{\text{CO}_2}^0 = \frac{-0,8403 \pm 2,3767}{0,9167} \quad \left\{ \begin{array}{l} x_1 = -3,217 \\ x_2 = 1,676 \end{array} \right.$$

$$n_{\text{CO}_2}^0 = P_{\text{CO}_2}^0 V / RT = 1,676 \text{ atm} \cdot 2,5 \text{ L} / 0,0821 \text{ L atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot 1073,15 \text{ K} = \mathbf{4,755 \cdot 10^{-2} \text{ mol}}$$

### ESERCIZIO 3

Alla temperatura di 1000°C la reazione



è all'equilibrio con un valore del  $K_c = 0,45$ .

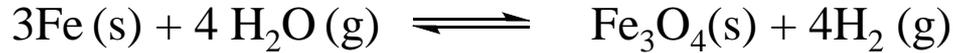
Se si introducono 54,00 g di  $\text{H}_2\text{O}$  e 111,0 g di polvere di Fe in un reattore di 5 litri e si porta la temperatura a 1000°C, calcolare:

- (a) La composizione (in frazione molare) della miscela gassosa all'equilibrio
- (b) La massa (in grammi) di  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  presente all'equilibrio
- (c) La resa della reazione
- (d) La pressione all'equilibrio

m.a.r. H = 1,01; O = 16,00; Fe = 55,85

### ESERCIZIO 3

Alla temperatura di 1000°C la reazione

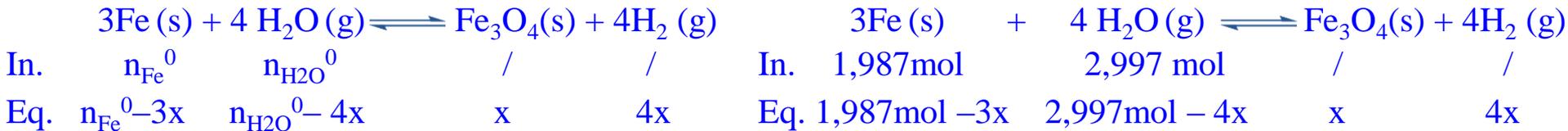


è all'equilibrio con un valore del  $K_c = 0,45$ .

Se si introducono 54,00 g di  $\text{H}_2\text{O}$  e 111,0 g di polvere di Fe in un reattore di 5 litri e si porta la temperatura a 1000°C, calcolare:

(a) La composizione (in frazione molare) della miscela gassosa all'equilibrio

m.a.r. H = 1,01; O = 16,00; Fe = 55,85



$$n_{\text{H}_2\text{O}}^0 = m_{\text{H}_2\text{O}} / \text{P.M.}_{\text{H}_2\text{O}} = 54,0 \text{ g} / 18,02 \text{ g mol}^{-1} = 2,997 \text{ mol} \quad \text{P.M.}_{\text{H}_2\text{O}} = 2 \cdot 1,01 + 16,00 = 18,02$$

$$n_{\text{Fe}}^0 = m_{\text{Fe}} / \text{m.a.r.}_{\text{Fe}} = 111,0 \text{ g} / 55,85 \text{ g mol}^{-1} = 1,987 \text{ mol}$$

$$K_c = \frac{[\text{H}_2]^4}{[\text{H}_2\text{O}]^4} = \frac{(n_{\text{H}_2}^{\text{eq}})^4}{V^4} \cdot \frac{V^4}{(n_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{eq}})^4} = \frac{(n_{\text{H}_2}^{\text{eq}})^4}{(n_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{eq}})^4} \Rightarrow n_{\text{H}_2}^{\text{eq}} = n_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{eq}} \cdot \sqrt[4]{K_c}$$

$$4x = (2,997\text{mol} - 4x) \cdot \sqrt[4]{0,45} \Rightarrow x = \frac{2,997\text{mol} \cdot \sqrt[4]{0,45}}{4(1 + \sqrt[4]{0,45})} = 0,3374 \text{ mol}$$

$$n_{\text{H}_2}^{\text{eq}} = 4x = 1,3496 \text{ mol}$$

$$n_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{eq}} = 2,997 \text{ mol} - 4x = 1,6474 \text{ mol}$$

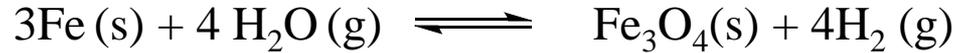
$$n_{\text{totale}}^{\text{eq}} = 2,997 \text{ mol} - 4x + 4x = 2,997 \text{ mol}$$

$$\chi_{\text{H}_2}^{\text{eq}} = n_{\text{H}_2}^{\text{eq}} / n_{\text{totale}}^{\text{eq}} = \mathbf{0,4503}$$

$$\chi_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{eq}} = \mathbf{0,5497}$$

### ESERCIZIO 3

Alla temperatura di 1000°C la reazione

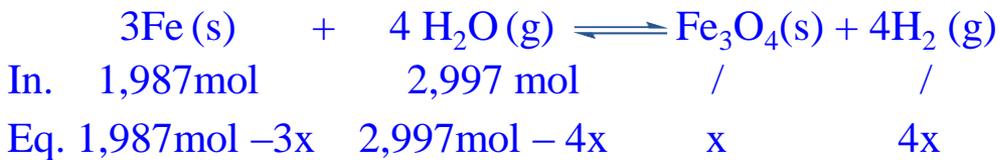


è all'equilibrio con un valore del  $K_c = 0,45$ .

Se si introducono 54,00 g di  $\text{H}_2\text{O}$  e 111,0 g di polvere di Fe in un reattore di 5 litri e si porta la temperatura a 1000°C, calcolare:

(b) La massa (in grammi) di  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  presente all'equilibrio

m.a.r. H = 1,01; O = 16,00; Fe = 55,85



$$x = 0,3374 \text{ mol}$$

$$n_{\text{H}_2}^{\text{eq}} = 4x = 1,3496 \text{ mol}$$

$$n_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{eq}} = 2,997 \text{ mol} - 4x = 1,6474 \text{ mol}$$

$$n_{\text{totale}}^{\text{eq}} = 2,997 \text{ mol} - 4x + 4x = 2,997 \text{ mol}$$

$$n_{\text{Fe}_3\text{O}_4}^{\text{eq}} = x = 0,3374 \text{ mol}$$

$$\text{P.M.}_{\text{Fe}_3\text{O}_4} = 3 \cdot 55,85 + 4 \cdot 16,00 = 231,55$$

$$m_{\text{Fe}_3\text{O}_4}^{\text{eq}} = n_{\text{Fe}_3\text{O}_4}^{\text{eq}} \cdot \text{P.M.}_{\text{Fe}_3\text{O}_4} = 0,3374 \text{ mol} \cdot 231,55 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{78,125 \text{ g}}$$

### ESERCIZIO 3

Alla temperatura di 1000°C la reazione



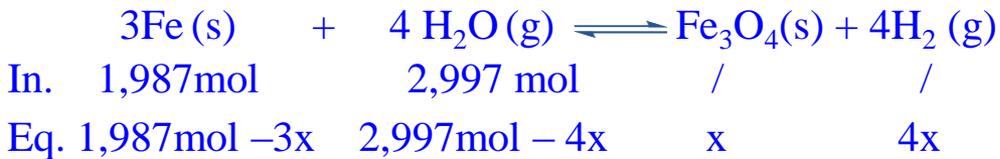
è all'equilibrio con un valore del  $K_c = 0,45$ .

Se si introducono 54,00 g di  $\text{H}_2\text{O}$  e 111,0 g di polvere di Fe in un reattore di 5 litri e si porta la temperatura a 1000°C, calcolare:

(c) La resa della reazione

(d) La pressione all'equilibrio

m.a.r. H = 1,01; O = 16,00; Fe = 55,85



$$x = 0,3374 \text{ mol}$$

$$n_{\text{H}_2}^{\text{eq}} = 4x = 1,3496 \text{ mol}$$

$$n_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{eq}} = 2,997 \text{ mol} - 4x = 1,6474 \text{ mol}$$

$$n_{\text{totale}}^{\text{eq}} = 2,997 \text{ mol} - 4x + 4x = 2,997 \text{ mol}$$

$$n_{\text{Fe}_3\text{O}_4}^{\text{eq}} = 0,3374 \text{ mol}$$

Dalla stechiometria della reazione:

$$n_{\text{Fe stechiometrico}} / n_{\text{H}_2\text{O stechiometrico}} = 3 / 4 = 0,75$$

Nel sistema in esame:

$$n_{\text{Fe}} / n_{\text{H}_2\text{O}} = 1,987 / 2,997 = 0,663$$

$\Rightarrow$  Fe è il reagente in difetto, in base al quale calcolare la resa

Dalla stechiometria della reazione:

$$n_{\text{Fe stechiometrico}} / n_{\text{Fe}_3\text{O}_4 \text{ stechiometrico}} = 3 / 1 \quad \Rightarrow \quad n_{\text{teorico}} = 1,987 \text{ mol} / 3 = 0,6623 \text{ mol}$$

$$\text{Resa \%} = (n_{\text{ottenuto}} / n_{\text{teorico}}) \cdot 100 = (0,3374 / 0,6623) \cdot 100 = \mathbf{50,94 \%}$$

$$P_{\text{totale}}^{\text{eq}} = n_{\text{totale}}^{\text{eq}} RT/V = 2,997 \text{ mol} \cdot 0,0821 \text{ L atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot 1273,15 \text{ K} / 5 \text{ L} = \mathbf{62,653 \text{ atm}}$$

## ESERCIZIO 4

Un vino contiene il 13% in volume di alcol etilico  $C_2H_5OH$ . Assumendo che il vino sia una soluzione acquosa di alcol etilico, verificare se la bottiglia colma fino all'orlo e sigillata in cui è contenuto si rompe quando viene lasciata in un congelatore a  $-10^\circ C$  (considerare additivi i volumi).

$$d_{\text{alcol}} = 0,79 \text{ g / ml} ; d_{\text{acqua}} = 1,00 \text{ g / ml} ; K_{\text{cr}} = 1,86 \text{ }^\circ C \text{ Kg / mol}$$

$$\text{m.a.r. H} = 1,01 ; \text{C} = 12,00 ; \text{O} = 16,00$$

$$\Delta T_{\text{congelamento}} = K_{\text{cr}} \cdot m$$

$$m = n_{\text{etanolo}} / \text{massa}_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$d = \text{massa} / V$$

$$n_{\text{etanolo}} = \text{massa}_{\text{etanolo}} / \text{P.M.}_{\text{etanolo}} \quad \Rightarrow \quad n_{\text{etanolo}} = d_{\text{etanolo}} \cdot V_{\text{etanolo}} / \text{P.M.}_{\text{etanolo}}$$

$$n_{\text{etanolo}} = d_{\text{etanolo}} \cdot 0,13 \cdot V_{\text{totale}} / \text{P.M.}_{\text{etanolo}} \quad \text{P.M.}_{\text{etanolo}} = 2 \cdot 12,00 + 6 \cdot 1,01 + 16,00 = 46,06$$

$$\text{massa}_{\text{H}_2\text{O}} = d_{\text{H}_2\text{O}} \cdot V_{\text{H}_2\text{O}} \quad \Rightarrow \quad \text{massa}_{\text{H}_2\text{O}} = d_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (1 - 0,13) \cdot V_{\text{totale}}$$

$$\text{massa}_{\text{H}_2\text{O}} = d_{\text{H}_2\text{O}} \cdot 0,87 \cdot V_{\text{totale}}$$

$$\Delta T_{\text{congelamento}} = K_{\text{cr}} \cdot m = K_{\text{cr}} \cdot \frac{d_{\text{etanolo}} \cdot 0,13 \cdot V_{\text{totale}}}{\text{P.M.}_{\text{etanolo}} \cdot d_{\text{H}_2\text{O}} \cdot 0,87 \cdot V_{\text{totale}}} = K_{\text{cr}} \cdot \frac{d_{\text{etanolo}} \cdot 0,13}{\text{P.M.}_{\text{etanolo}} \cdot d_{\text{H}_2\text{O}} \cdot 0,87}$$

$$\Delta T_{\text{congelamento}} = 1,86 \text{ }^\circ C \text{ Kg mol}^{-1} \cdot \frac{0,79 \text{ g ml}^{-1} \cdot 0,13}{46,06 \text{ g mol}^{-1} \cdot 1,00 \text{ g ml}^{-1} \cdot 0,87} = 4,766 \text{ }^\circ C$$

$$T_{\text{congelamento}} = -4,766 \text{ }^\circ C \quad \text{A } -10^\circ C \text{ la soluzione acquosa di alcol etilico \u00e8 certamente ghiacciata.}$$

Poich\u00e9 l'acqua, quando ghiaccia, aumenta di volume, la bottiglia colma fino all'orlo si rompe.