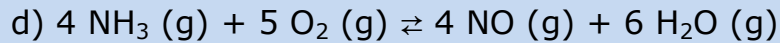
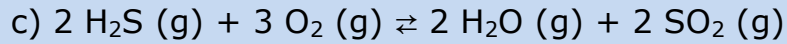
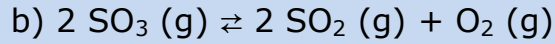
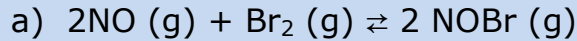


## Problemes resolts del tema EQUILIBRI QUÍMIC (Q2\_B1\_4)

1. Formula l'expressió de  $K_c$  per a les següents reaccions reversibles en l'equilibri:



**Resolució:**

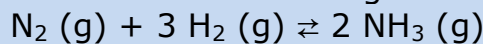
a) 
$$K_c = \frac{[\text{NOBr}]^2}{[\text{NO}]^2 \cdot [\text{Br}_2]}$$

b) 
$$K_c = \frac{[\text{SO}_2]^2 \cdot [\text{O}_2]}{[\text{SO}_3]^2}$$

c) 
$$K_c = \frac{[\text{H}_2\text{O}]^2 \cdot [\text{SO}_2]^2}{[\text{H}_2\text{S}]^2 \cdot [\text{O}_2]^3}$$

d) 
$$K_c = \frac{[\text{NO}]^4 \cdot [\text{H}_2\text{O}]^6}{[\text{NH}_3]^4 \cdot [\text{O}_2]^5}$$

2. Un recipient conté un sistema en equilibri, a 1000 K, format per  $1,03 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  de nitrogen,  $1,62 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  d'hidrogen i una determinada concentració d'amoniac segons:



Calcula la concentració d'amoniac sabent que, a la temperatura donada, la constant  $K_c$  val  $2,38 \cdot 10^{-3}$ .

*Sol.:  $0,102 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$*

**Resolució:**

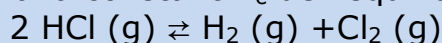
Substituïm els valors de les concentracions en l'expressió de la constant d'equilibri i aïllem la concentració de l'amoniac.

$$K_c = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2] \cdot [\text{H}_2]^3} \Rightarrow [\text{NH}_3] = \sqrt{K_c \cdot [\text{N}_2] \cdot [\text{H}_2]^3}$$

$$[\text{NH}_3] = \sqrt{2,38 \cdot 10^{-3} \frac{\text{L}^2}{\text{mol}^2} \cdot 1,03 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot \left(1,62 \frac{\text{mol}}{\text{L}}\right)^3} = 0,102 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

La concentració de  $\text{NH}_3$  en l'equilibri és  **$0,102 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$**

3. Es col·loquen 104,39 g de clorur d'hidrogen i 2,00 g d'hidrogen en un recipient de 10,0 L. Un cop establert, a una determinada temperatura, l'equilibri de dissociació del HCl, hi queden 1,30 mols de HCl. Calcula la constant  $K_c$  de l'equilibri:



Sol.: 0,82

### Resolució:

Calculem els mols inicials de HCl i de  $\text{H}_2$ :

$$n_0(\text{HCl}) = 104,39 \text{ g HCl} \cdot \frac{1 \text{ mol HCl}}{36,458 \text{ g HCl}} = 2,86 \text{ mol HCl}$$

$$n_0(\text{H}_2) = 2,00 \text{ g H}_2 \cdot \frac{1 \text{ mol H}_2}{2,016 \text{ g H}_2} = 0,99 \text{ mol H}_2$$

Com que han desaparegut  $2,86 - 1,30 = 1,56$  mols de HCl, aleshores, i segons l'estequiometria de la reacció, s'hauran format 0,78 mols de  $\text{H}_2$  i 0,78 mols de  $\text{Cl}_2$ .

	HCl (g)	$\text{H}_2$ (g)	$\text{Cl}_2$ (g)
<b>Mols inicials</b>	2,86	0,99	0
<b>Canvis</b>	- 1,56	+ 0,78	+ 0,78
<b>Mols en l'equilibri</b>	1,30	1,77	0,78

Calculem les concentracions en l'equilibri:

$$[\text{HCl}]_{\text{eq}} = \frac{1,30 \text{ mol}}{10,0 \text{ L}} = 0,13 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$[\text{H}_2]_{\text{eq}} = \frac{1,77 \text{ mol}}{10,0 \text{ L}} = 0,177 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

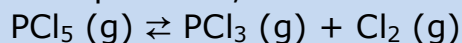
$$[\text{Cl}_2]_{\text{eq}} = \frac{0,78 \text{ mol}}{10,0 \text{ L}} = 0,078 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Substituïm els valors en l'expressió de la constant d'equilibri:

$$K_c = \frac{[\text{Cl}_2] \cdot [\text{H}_2]}{[\text{HCl}]^2} = \frac{0,177 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot 0,078 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}{(0,13 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1})^2} = 0,82$$

El valor de la constant  $K_c$  és **0,82**.

4. A una determinada temperatura, la constant de l'equilibri:



val  $K_c = 0,00793$ . Calcula el grau de dissociació del  $\text{PCl}_5$  a la temperatura donada sabent que inicialment el matràs de reacció d'1,00 L contenia 3,13 g de  $\text{PCl}_5$

Sol.: 0,51

### Resolució:

Calculem els mols inicials de  $\text{PCl}_5$ :

$$n_0(\text{PCl}_5) = 3,13 \text{ g PCl}_5 \cdot \frac{1 \text{ mol PCl}_5}{208,5 \text{ g PCl}_5} = 1,50 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

Si anomenem  $\alpha$  el grau de dissociació del  $\text{PCl}_5$ , la relació molar que s'estableix en l'equilibri és la que s'exposa en la taula:

	$\text{PCl}_5 (\text{g})$	$\text{PCl}_3 (\text{g})$	$\text{Cl}_2 (\text{g})$
<b>Mols inicials</b>	n	0	0
<b>Canvis</b>	$-n\alpha$	$n\alpha$	$n\alpha$
<b>Mols en l'equilibri</b>	$n(1 - \alpha)$	$n\alpha$	$n\alpha$

L'expressió de les concentracions en l'equilibri segons  $\alpha$  és:

$$[\text{PCl}_5]_{\text{eq}} = \frac{n(1 - \alpha)}{V} = \frac{1,50 \cdot 10^{-2}(1 - \alpha)}{1,00} = 1,50 \cdot 10^{-2}(1 - \alpha) \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$[\text{PCl}_3]_{\text{eq}} = \frac{n\alpha}{V} = \frac{1,50 \cdot 10^{-2} \alpha}{1,00} = 1,50 \cdot 10^{-2} \alpha \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$[\text{Cl}_2]_{\text{eq}} = \frac{n\alpha}{V} = \frac{1,50 \cdot 10^{-2} \alpha}{1,00} = 1,50 \cdot 10^{-2} \alpha \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Substituïm valors en l'expressió de la constant d'equilibri i calculem el valor de  $\alpha$ :

$$K_c = \frac{[\text{PCl}_3] \cdot [\text{Cl}_2]}{[\text{PCl}_5]}$$

$$0,00793 = \frac{1,50 \cdot 10^{-2} \alpha \cdot 1,50 \cdot 10^{-2} \alpha}{1,50 \cdot 10^{-2} (1 - \alpha)}$$

$$1,19 \cdot 10^{-4} - 1,19 \cdot 10^{-4} \alpha = 2,25 \cdot 10^{-4} \alpha^2$$

$$\alpha = 0,51$$

El grau de dissociació és:  $\alpha = \mathbf{0,51}$

5. En la reacció  $2 \text{ HF (g)} \rightleftharpoons \text{H}_2 \text{ (g)} + \text{F}_2 \text{ (g)}$ , a una temperatura en la qual  $K_c = 1,0 \cdot 10^{-13}$ , es va analitzar la mescla de reacció i en van resultar aquests valors:

$$[\text{HF}] = 0,45 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}; [\text{H}_2] = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}; [\text{F}_2] = 3,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Calcula el valor del quocient de reacció i prediu si es sistema està en equilibri o bé si progressarà en un sentit determinat per tal d'arribar-hi.

### Resolució:

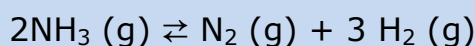
Substituïm els valors en l'expressió de  $K_c$  per tal d'obtenir  $Q_c$ :

$$K_c = \frac{[\text{H}_2]_{\text{eq}} \cdot [\text{F}_2]_{\text{eq}}}{[\text{HF}]_{\text{eq}}^2} \Rightarrow Q_c = \frac{[\text{H}_2] \cdot [\text{F}_2]}{[\text{HF}]^2}$$
$$Q_c = \frac{1,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot 3,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}{(0,45 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1})^2} =$$

$$Q_c = 1,48 \cdot 10^{-5}$$

Com que  $Q_c = 1,48 \cdot 10^{-5} > K_c = 1,0 \cdot 10^{-13}$ , el sistema no està en equilibri i el valor de  $Q_c$  haurà de disminuir per tal d'arribar a ser igual a  $K_c$ . El descens del valor de  $Q_c$  significa que ha d'augmentar el denominador i ha de disminuir el numerador. Per això, el sistema ha de progressar **cap a l'esquerra**, en sentit invers al que indica la reacció, per arribar a l'equilibri. Així doncs, es formarà més HF i desapareixerà  $\text{H}_2$  i  $\text{F}_2$

6. L'amoniac es troba dissociat un 30% a la temperatura de 423 K i a la pressió de 200 atm. Troba els valors de les constants  $K_c$  i  $K_p$  per a l'equilibri de dissociació:



$$\text{Sol.: } K_p = 658,3 ; K_c = 0,55$$

### Resolució:

Suposem que inicialment només hi ha  $\text{NH}_3$ , i anomenem  $n_0$  el nombre de mols inicials (el problema també es pot resoldre més fàcilment matemàticament si suposem que inicialment hi ha 1 mol de  $\text{NH}_3$ , es a dir, si es suposa que  $n_0 = 1$ ).

Confeccionem una taula d'acord amb l'estequiometria de la reacció:

	NH <sub>3</sub> (g)	N <sub>2</sub> (g)	H <sub>2</sub> (g)
<b>Mols inicials</b>	n <sub>0</sub>	0	0
<b>Canvis</b>	- n <sub>0</sub> α	$\frac{1}{2} n_0 \alpha$	$\frac{3}{2} n_0 \alpha$
<b>Mols en l'equilibri</b>	n <sub>0</sub> (1 - α)	$\frac{1}{2} n_0 \alpha$	$\frac{3}{2} n_0 \alpha$

El nombre de mols totals en l'equilibri serà:

$$n_T = n_0(1 - \alpha) + \frac{1}{2} n_0 \alpha + \frac{3}{2} n_0 \alpha = n_0(1 + \alpha)$$

Calculem les fraccions molars de cada substància en l'equilibri (n<sub>0</sub> es simplifica):

$$\chi(\text{NH}_3) = \frac{n_0(1 - \alpha)}{n_0(1 + \alpha)} = \frac{1 - \alpha}{1 + \alpha} = \frac{1 - 0,3}{1 + 0,3} = 0,538$$

$$\chi(\text{N}_2) = \frac{\frac{1}{2} n_0 \alpha}{n_0(1 + \alpha)} = \frac{\alpha}{2(1 + \alpha)} = \frac{0,3}{2(1 + 0,3)} = 0,115$$

$$\chi(\text{H}_2) = \frac{\frac{3}{2} n_0 \alpha}{n_0(1 + \alpha)} = \frac{3\alpha}{2(1 + \alpha)} = \frac{3 \cdot 0,3}{2(1 + 0,3)} = 0,346$$

Calculem les pressions parcials de cada substància:

$$P(\text{NH}_3) = \chi(\text{NH}_3) \cdot P = 0,538 \cdot 200 \text{ atm} = 107,6 \text{ atm}$$

$$P(\text{N}_2) = \chi(\text{N}_2) \cdot P = 0,115 \cdot 200 \text{ atm} = 23,0 \text{ atm}$$

$$P(\text{H}_2) = \chi(\text{H}_2) \cdot P = 0,346 \cdot 200 \text{ atm} = 69,2 \text{ atm}$$

Substituïm aquests valors en l'expressió de K<sub>P</sub> per a determinar-ne el valor:

$$K_P = \frac{P(\text{N}_2) \cdot P^3(\text{H}_2)}{P^2(\text{NH}_3)} = \frac{23,0 \text{ atm} \cdot (69,2 \text{ atm})^3}{(107,6 \text{ atm})^2} =$$

El valor de  $K_p = 658,3$

A partir del valor de  $K_p$ , calculem  $K_c$ , segons l'expressió:

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

En aquest cas:

$$\Delta n = 4 - 2 = 2;$$

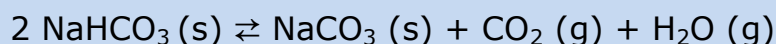
$$T = 423 \text{ K}$$

$$R = 0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{K} \cdot \text{mol}}$$

$$K_c = 658,3 \text{ atm}^2 \cdot \left( 0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \cdot 423 \text{ K} \right)^{-2} = 0,55 \frac{\text{mol}^2}{\text{L}^2}$$

El valor de  $K_c = 0,55$

7. Es va introduir una determinada quantitat de  $\text{NaHCO}_3$  en un recipient buit. A  $120^\circ\text{C}$  es va establir l'equilibri:



quan la pressió en el recipient era de 1720 mm de Hg. Calcular les pressions parcials de  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2\text{O}$  en l'equilibri i els valors de les constants  $K_p$  i  $K_c$ .

*Sol.: 1,13 atm;  $K_p = 1,28$ ;  $K_c = 1,23 \cdot 10^{-3}$*

### Resolució:

Si inicialment només s'hi va introduir  $\text{NaHCO}_3$ , la  $P_T$  en l'equilibri estarà determinada per les pressions parcials del  $\text{CO}_2$  i del vapor d'aigua que, segons l'estequiometria de la reacció, hauràn de ser iguals:  $P(\text{CO}_2) = P(\text{H}_2\text{O})$ . Per tant, tindrem que:

$$P_T = P(\text{CO}_2) + P(\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot P(\text{CO}_2)$$

$$P(\text{CO}_2) = \frac{P_T}{2} = \frac{1720 \text{ mm Hg}}{2} = 860 \text{ mm Hg}$$

Canviem les unitats de pressió a atm:

$$P(\text{CO}_2) = 860 \text{ mm Hg} \cdot \frac{1 \text{ atm}}{760 \text{ mm Hg}} = 1,13 \text{ atm}$$

$$P(\text{H}_2\text{O}) = P(\text{CO}_2) = 1,13 \text{ atm}$$

A partir de les pressions parcials calculem el valor de  $K_p$ :

$$K_p = P(\text{CO}_2) \cdot P(\text{H}_2\text{O}) = 1,13 \text{ atm} \cdot 1,13 \text{ atm} = 1,28$$

El valor  $K_p = 1,28$

A partir del valor de  $K_p$  calculem  $K_c$ , segons l'expressió:

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

En aquest cas:  $\Delta n = 2$ ;  $T = 120 + 273 = 423 \text{ K}$ , i

$$R = 0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{K} \cdot \text{mol}}$$
$$K_c = 1,28 \text{ atm}^2 \cdot \left( 0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \cdot 423 \text{ K} \right)^{-2} =$$
$$= 1,23 \cdot 10^{-3} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$$

Les pressions parcials del  $\text{CO}_2$  i del  $\text{H}_2\text{O}$  són les dues iguals a **1,13 atm**. El valor de les constants d'equilibri és  $K_p = 1,28$  i  $K_c = 1,23 \cdot 10^{-3}$

**8.** Donat el sistema en equilibri:



raona com influiran en el sistema aquests canvis: a) disminuir-hi la temperatura; b) augmentar-hi la pressió; c) augmentar-hi la concentració de  $\text{PCl}_3$ ; d) disminuir-hi la concentració de  $\text{PCl}_5$ ; e) afegir un catalitzador; f) afegir un gas inert que no intervingui en la reacció sense canviar el volum del recipient.

**Resolució:**

a) *Disminuir-hi la temperatura.*

El sistema es desplaçarà de tal manera que contraresti la modificació, és a dir, cedirà calor al medi. Com que la reacció

directa és endotèrmica, l'equilibri es desplaçarà en el sentit de la reacció inversa, és a dir, **cap a l'esquerra**.

b) *Augmentar-hi la pressió.*

El sistema es desplaçarà de tal manera que disminueixi el nombre de molècules per unitat de volum i, per tant, disminueixi la pressió. Per això, el sistema es desplaçarà **cap a l'esquerra**.

c) *Augmentar-hi la concentració de  $[PCl_3]$ .*

El sistema es desplaçarà de tal manera que es consumeixi l'excés de  $PCl_3$ , és a dir, es desplaçarà **cap a l'esquerra**.

d) *Disminuir-hi la concentració de  $[PCl_5]$ .*

El sistema es desplaçarà de tal manera que es produeixi  $PCl_5$ , és a dir, es desplaçarà **cap a l'esquerra**.

e) *Afegir un catalitzador*

**No afecta** l'estat d'equilibri.

f) Afegir un gas inert sense modificar el volum del recipient

**No afecta** l'estat d'equilibri ja que les concentracions (o les pressions parcials) continuaran sent les mateixes i per tant  $Q_c = K_c$ :

$$Q_c = \frac{[PCl_3] \cdot [Cl_2]}{[PCl_5]}$$