

Kémiai egyensúly

F118. Állapítsa meg, hogy milyen irányban megy végbe a $2 \text{NH}_3 \rightleftharpoons \text{N}_2 + 3 \text{H}_2$ reakció abban a rendszerben, amelyben az ammónia parciális nyomása 10,0 bar, a nitrogéné és a hidrogéné pedig 20,0-20,0 bar. A reakcióra vonatkozó egyensúlyi állandó $K_p = 4370$.

25 °C hőmérsékleten:

$$\Delta_r G^\ominus = -2T \ln K_p = -8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 298,15 \text{K} \cdot \ln 4370 =$$

$$= -20779 \text{ J/mol}$$

$$\Delta_r G = \Delta_r G^\ominus + 2T \ln Q = \Delta_r G^\ominus + 2T \ln \frac{a(\text{N}_2) \cdot a(\text{H}_2)^3}{a(\text{NH}_3)^2} =$$

$$= -20779 + 8,314 \cdot 298,15 \cdot \ln \frac{20 \cdot 20^3}{10^2} =$$

$$\underbrace{\hspace{10em}}_{1600}$$

$$= -2491 \text{ J/mol} < \phi$$



A felső nyíl irányába tolódik.

Más (tetszőleges) hőmérsékleten:

$$\Delta_r G = -2T \ln K_p + 2T \ln Q = 2T \cdot \ln \frac{20 \cdot 20^3}{10^2 \cdot 4370} < \phi$$

$$\underbrace{\hspace{10em}}_{-1,00476}$$

F119. Számítsa ki a $3 \text{ O}_2 \rightleftharpoons 2 \text{ O}_3$ egyensúlyi reakció 25°C -ra és $1,00 \text{ bar}$ nyomásra vonatkozó egyensúlyi állandóját a következő termodinamikai adatok felhasználásával: az oxigén standard képződéshője 0 kJ mol^{-1} , standard képződési entrópiája $205,1 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$; az ózon standard képződéshője $142,7 \text{ kJ mol}^{-1}$, standard entrópiája $238,9 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

$$T = 298,15 \text{ K}$$

$$\left. \begin{array}{l} \Delta_f H(\text{O}_2) = 0 \text{ kJ/mol} \\ \Delta_f S(\text{O}_2) = 205,1 \text{ J/(mol}\cdot\text{K)} \end{array} \right\} \Delta_f G(\text{O}_2) = \Delta H - T \cdot \Delta S = -61151 \text{ J/mol}$$

$$\left. \begin{array}{l} \Delta_f H(\text{O}_3) = 142700 \text{ J/mol} \\ \Delta_f S(\text{O}_3) = 238,9 \text{ J/(mol}\cdot\text{K)} \end{array} \right\} \Delta_f G(\text{O}_3) = 71472 \text{ J/mol}$$

$$\begin{aligned} \Delta_r G^\ominus &= 2 \cdot \Delta_f G(\text{O}_3) - 3 \cdot \Delta_f G(\text{O}_2) = 326397 \text{ J/mol} = \\ &= -RT \ln K_p \end{aligned}$$

$$\underline{\underline{K_p = 6,52435 \cdot 10^{-58}}}$$

F120. 1,00 liter térfogatú edénybe, amelyből előzőleg a levegőt leszivattyúzták, 1,10 g szilárd NOBr-t helyeznek el $-55\text{ }^\circ\text{C}$ -on, majd $0\text{ }^\circ\text{C}$ -ra melegítik. Az anyag gázzá alakul és a következő egyenletnek megfelelően bomlik: $2\text{ NOBr} \rightleftharpoons 2\text{ NO} + \text{Br}_2$. Az egyensúlyi nyomás mért értéke $3,00 \cdot 10^4$ Pa. Számítsa ki K_x és K_p értékét $0\text{ }^\circ\text{C}$ -ra.

$$\left. \begin{array}{l} V = 0,001 \text{ m}^3 \\ T = 273,15 \text{ K} \end{array} \right\} n_{\text{leveg.}} = \frac{pV}{RT} = 0,0132102 \text{ mol}$$

$$\left. \begin{array}{l} m_{\text{NOBr}}^{\text{eredeti}} = 1,1 \text{ g} \\ M_{\text{NOBr}} = 109,91 \text{ g/mol} \end{array} \right\} n_{\text{NOBr}}^{\text{eredeti}} = \frac{m}{M} = 0,0100081 \text{ mol}$$

$$\Delta n = n_{\text{leveg.}} - n_{\text{NOBr}}^{\text{eredeti}} = 3,20211 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

Ha 2 mol NOBr disszociál $\rightarrow \Delta n = +1 \text{ mol}$

$6,40423 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$ disszociált $\leftarrow \Delta n = 3,20211 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$

$$\begin{array}{ll} n(\text{NOBr}) = 3,60386 \cdot 10^{-3} \text{ mol} & \rightarrow p(\text{NOBr}) = 0,081843 \text{ bar} \\ n(\text{NO}) = 6,40423 \cdot 10^{-3} \text{ mol} & p(\text{NO}) = 0,145438 \text{ bar} \\ n(\text{Br}_2) = 3,20211 \cdot 10^{-3} \text{ mol} & p(\text{Br}_2) = 0,072719 \text{ bar} \end{array}$$

$$K_p = \frac{p(\text{NO})^2 \cdot p(\text{Br}_2)}{p(\text{NOBr})^2} = \underline{\underline{0,22964}}$$

$$K_p = K_x \cdot \left(\frac{p}{p^\ominus} \right)^{3-2} = K_x \cdot p \quad (\text{ha } p \text{ bar-ban van megadva})$$

$$K_x = \frac{K_p}{p} = \frac{0,22964}{0,3} = \underline{\underline{0,7655}}$$

F121. Ha a $2 \text{NOBr} \rightleftharpoons 2 \text{NO} + \text{Br}_2$ reakcióra K_p értéke 25°C -on $0,397$ és 0°C -on $0,230$, mekkora a reakcióhő átlagos értéke a $0\text{-}25^\circ\text{C}$ tartományban?

van't Hoff egyenlet:
$$\frac{d \ln K}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2}$$

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

$$T_1 = 273,15 \text{ K} \quad K_1 = 0,230$$

$$T_2 = 298,15 \text{ K} \quad K_2 = 0,397$$

$$0,545857 = \frac{\Delta H}{8,314} \cdot 3,069757 \cdot 10^{-4}$$

$$\Delta H = \underline{\underline{14,783 \text{ kJ/mol}}}$$

F122. Számolja ki a 25 °C-on végbemenő $A + B \rightleftharpoons C + D$ reakció szabadentalpia-változását, ha a kiindulási rendszerben A és B koncentrációja $0,10-0,10 \text{ mol dm}^{-3}$, C és D koncentrációja pedig $0,50-0,50 \text{ mol dm}^{-3}$. K_c értéke 1000.

$$\begin{aligned}\Delta_r G &= \Delta_r G^\ominus + 2RT \ln Q = -2RT \ln K_c + 2RT \ln Q = \\ &= 2RT \ln \frac{[C][D]}{[A][B] \cdot K_c} = 8,314 \cdot 298,15 \cdot \ln 0,025 = \\ &= \underline{\underline{-9,144 \text{ kJ/mol}}}\end{aligned}$$

F123. A $\text{CO(g)} + \text{H}_2\text{O(g)} \rightleftharpoons \text{CO}_2\text{(g)} + \text{H}_2\text{(g)}$ reakció egyensúlyi állandója 1000 K-en és 102 kPa nyomáson $K_p = 1,39$. Számolja ki az egyensúlyi elegy térfogatszázalékos összetételét, ha sztöchiometrikus összetételű gázelegyből indulunk ki.

Sztöchiometrikus gázelegy: csak CO és H_2O
(keindulási anyagok) 1:1 arányban

Keindulási

$$X_{\text{CO}} = 0,5$$

$$X_{\text{H}_2\text{O}} = 0,5$$

↑
váltottak

Egyensúlyi

$$X_{\text{CO}} = 0,5 - n$$

$$X_{\text{H}_2\text{O}} = 0,5 - n$$

$$X_{\text{CO}_2} = n$$

$$X_{\text{H}_2} = n$$

$$K_p = 1,39 = \frac{n \cdot n}{(0,5 - n)(0,5 - n)} = \frac{n^2}{(0,5 - n)^2}$$

$$n^2 = 0,3475 - 1,39n + 1,39n^2$$

$$0 = 0,39n^2 - 1,39n + 0,3475$$

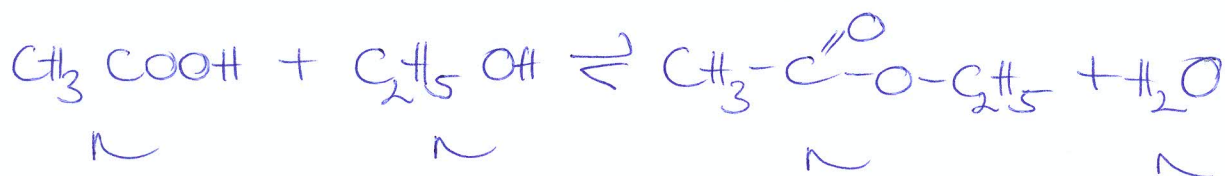
$$n_{1,2} = \frac{1,39 \pm \sqrt{1,39^2 - 4 \cdot 0,39 \cdot 0,3475}}{2 \cdot 0,39} = \begin{cases} 0,270535 \\ 3,2935 \end{cases}$$

3,2935
Kémiailag nem
értelmes meg-
oldás!

$$X_{\text{CO}} = X_{\text{H}_2\text{O}} = 0,5 - n = 0,22946 = \underline{\underline{22,946\%}}$$

$$X_{\text{CO}_2} = X_{\text{H}_2} = n = 0,270535 = \underline{\underline{27,054\%}}$$

F124. Számolja ki az egyes anyagok egyensúlyi anyagmennyiségeit az etilacetát képződési reakciójában ($K_c = 4$), ha 1,00 mol etilalkoholt, 2,00 mol ecetsavat, 3,00 mol etilacetátot és 4,00 mol vizet öntünk össze.



Kezdeti

1 mol $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 2 mol CH_3COOH 3 mol $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$ 4 mol H_2O

Egyensúlyi

 $(1-n)$ mol $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ $(2-n)$ mol CH_3COOH $(3+n)$ mol $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$ $(4+n)$ mol H_2O

$$\frac{(3+n)(4+n)}{(1-n)(2-n)} = 4$$

$$12 + 7n + n^2 = 4 \cdot (2 - 3n + n^2) = 8 - 12n + 4n^2$$

$$0 = 3n^2 - 19n - 4$$

$$n_{1/2} = \frac{19 \pm \sqrt{19^2 + 4 \cdot 3 \cdot 4}}{2 \cdot 3} = \begin{matrix} \nearrow 6,53729 \\ \searrow -0,20395 \end{matrix}$$

Kémiaiilag nem értelmes megoldás

Tehát az egyensúlyi értékekkel:

$$1-n = 1 - (-0,20395) = 1,024 \text{ mol } \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$$

$$2,024 \text{ mol } \text{CH}_3\text{COOH}$$

$$2,796 \text{ mol } \text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$$

$$3,796 \text{ mol } \text{H}_2\text{O}$$

F125. Számítsa ki a 300 °C-on végbemenő metanolszintézis $\text{CO} + 2\text{H}_2 \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}$ nyomásokkal definiált K_p egyensúlyi állandóját, ha sztöichiometrikus mennyiségekből indulunk ki, és a hidrogén 30 %-a reagál el. Az egyensúlyi össznyomás 10 MPa.

Kiindulási	Egyensúlyi	
n mol CO	$0,7n$ mol CO	$\rightarrow 29,16$ bar
$2n$ mol H_2	$1,4n$ mol H_2	$58,3$ bar
	$0,3n$ mol CH_3OH	$12,5$ bar
	<hr/>	<hr/>
	$\sum n = 2,4n$ mol	$\sum p = 100$ bar

$$K_p = \frac{12,5}{29,16 \cdot (58,3)^2} = \underline{\underline{1,2595 \cdot 10^{-4}}}$$

F126. Számítsa ki a $\text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{CO} + 0,5 \text{O}_2$ reakció K_p és K_x egyensúlyi állandóját 3000 K-en, ha tiszta CO_2 -ből kiindulva 1,0 MPa egyensúlyi össznyomás esetén az oxigén móltörtje az elegyben 0,109.

$$X_{\text{O}_2} = 0,109$$

$$X_{\text{CO}} = 2 \cdot X_{\text{O}_2} = 0,218 \quad (\text{A reakció stöchiometriája miatt.})$$

$$X_{\text{CO}_2} = 1 - X_{\text{O}_2} - X_{\text{CO}} = 0,673$$

$$K_x = \frac{X_{\text{CO}} \cdot X_{\text{O}_2}^{1/2}}{X_{\text{CO}_2}} = \underline{\underline{0,10694}}$$

$$K_p = K_x \cdot \left(\frac{p}{p^\circ} \right)^{(1,5-1)} = K_x \cdot \left(\frac{1,0 \text{ MPa}}{0,1 \text{ MPa}} \right)^{0,5} = \underline{\underline{0,338185}}$$

F127. A NO_2 standard képződési szabadentalpiája $51,5 \text{ kJ mol}^{-1}$, a N_2O_4 -é pedig $98,5 \text{ kJ mol}^{-1}$.

Számolja ki K_p értékét a $\text{N}_2\text{O}_4 \rightleftharpoons 2 \text{NO}_2$ reakcióra.

$$\Delta_r G^\ominus = (2 \cdot 51,5) - 98,5 = 4,5 \text{ kJ/mol} =$$

$$= 4500 \text{ J/mol} = -2T \ln K_p = -8,314 \cdot 298,15 \cdot \ln K_p$$

$$\ln K_p = -1,815$$

$$K_p = \underline{\underline{0,16278}}$$

F128. Számítsa ki a $\text{CO} + \text{Cl}_2 \rightleftharpoons \text{COCl}_2$ gázfázisú reakció K_x egyensúlyi állandóját 0,100 MPa nyomáson és 298,15 K hőmérsékleten, ha a felírt reakció standard szabadentalpia-változása $-204,06$ kJ.

$$\Delta G^\ominus = -204060 \text{ J} = -2T \ln K_p$$

$$\ln K_p = 82,32$$

$$K_p = 5,646 \cdot 10^{35}$$

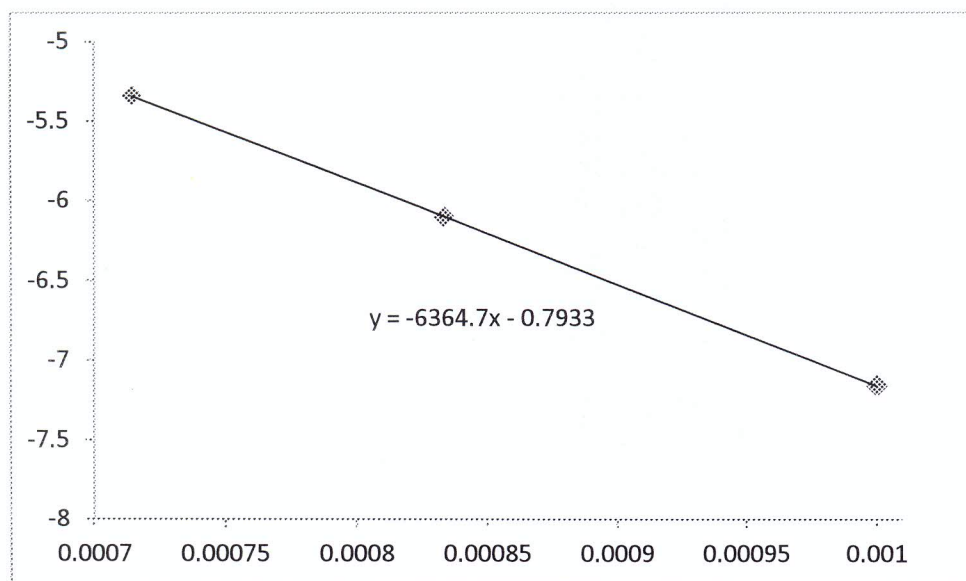
$$K_p = K_x \left(\frac{p}{p^\ominus} \right)^{1-2} = K_x \left(\frac{0,100 \text{ MPa}}{0,100 \text{ MPa}} \right)^{-1}$$

$$K_x = \underline{\underline{5,646 \cdot 10^{35}}}$$

- F129. A $\text{HBr} \rightleftharpoons 0,5 \text{H}_2 + 0,5 \text{Br}_2$ reakció K_p egyensúlyi állandója 1000 K-en $7,80 \cdot 10^{-4}$, 1200 K-en $2,24 \cdot 10^{-3}$, 1400 K-en pedig $4,81 \cdot 10^{-3}$. Határozza meg grafikusan a reakcióhő értékét.

$\ln K$ -t ábrázoljuk $1/T$ függvényében (van't Hoff egyenlet lineárisítása). Egyenest kell kapni, melynek a meredeksége $= -\frac{\Delta H}{R}$:

1/T	0.001	0.000833	0.000714
ln K	-7.15622	-6.10128	-5.33706



$$\text{Meredekség} = -6365 = -\frac{\Delta H}{R}$$

$$\begin{aligned} \Delta H &= 6365 \cdot 8,314 = 52918,61 \text{ J/mol} = \\ &= \underline{\underline{52,9 \text{ kJ/mol}}} \end{aligned}$$

F130. 1000 K hőmérsékleten a $\text{HBr}(g) \rightleftharpoons 0,5 \text{H}_2(g) + 0,5 \text{Br}_2(g)$ reakció parciális nyomásokkal megadott egyensúlyi állandója $7,8 \cdot 10^{-4}$, a $\text{H}_2\text{O}(g) \rightleftharpoons \text{H}_2(g) + 0,5 \text{O}_2(g)$ reakcióé pedig $8,73 \cdot 10^{-11}$. Számolja ki a $2 \text{HBr}(g) + 0,5 \text{O}_2(g) \rightleftharpoons \text{Br}_2(g) + \text{H}_2\text{O}(g)$ reakció parciális nyomásokkal megadott egyensúlyi állandóját.

$$\frac{P_{\text{H}_2}^{1/2} \cdot P_{\text{Br}_2}^{1/2}}{P_{\text{HBr}}} = 7,8 \cdot 10^{-4} = K_{p(1)}$$

$$\frac{P_{\text{H}_2} \cdot P_{\text{O}_2}^{1/2}}{P_{\text{H}_2\text{O}}} = 8,73 \cdot 10^{-11} = K_{p(2)}$$

$$K_{p(3)} = \frac{P_{\text{Br}_2} \cdot P_{\text{H}_2\text{O}}}{P_{\text{HBr}}^2 \cdot P_{\text{O}_2}^{1/2}} = \frac{K_{p(1)}^2}{K_{p(2)}} = \underline{\underline{6969}}$$

F131. 2000 °C-on hőmérsékleten és 0,100 MPa nyomáson a víz 2 %-ban oxigénre és hidrogénre disszociál a következő egyenlet szerint: $2 \text{H}_2\text{O}(g) \rightleftharpoons 2 \text{H}_2(g) + \text{O}_2(g)$.

- Számítsa ki K_p -t.
- Hogyan változik a disszociációfok, ha a nyomás csökken?
- Hogyan változik a disszociációfok, ha 0,100 MPa nyomást tartva a rendszerhez argont adagolunk?
- Hogyan változik a disszociációfok, ha 0,100 MPa állandó nyomást tartva a rendszerhez oxigént adunk?

Közelítő megoldás:

$$p_{\text{H}_2\text{O}} \approx 0,1 \text{ MPa} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$p_{\text{H}_2} \approx 10^5 \cdot \frac{2}{100} = 2 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$

$$p_{\text{O}_2} \approx 10^3 \text{ Pa}$$

$$a) K_p = \frac{p_{\text{H}_2}^2 \cdot p_{\text{O}_2}}{p_{\text{H}_2\text{O}}^2 \cdot p^\ominus} = \frac{(2 \cdot 10^3)^2 \cdot 10^3}{(10^5)^2 \cdot 10^5} = \underline{\underline{4 \cdot 10^{-6}}}$$

$$b-g) K_p = K_x \cdot \frac{p}{p^\ominus} = \text{állandó.}$$

Ha p csökken $\rightarrow K_x$ nő, azaz ugyanazs csökkentés és Ar adagolás hatására nő a disszociációfok.

d) O_2 adagolás \rightarrow a rendszer az O_2 fogyáshoz vagyis a széltelt értékei disszociáció felé tolódik el.

Pontos megoldás:

$$a) p_{\text{H}_2\text{O}} = 0,98 p$$

$$p_{\text{H}_2} = 0,02 p$$

$$p_{\text{O}_2} = 0,01 p$$

$$1,01 p = 10^5 \text{ Pa} = p_{\text{ökl.}}$$

$$p = \frac{10^5}{1,01} = 99009,9009$$

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = 97029,7 \text{ Pa}$$

$$p_{\text{H}_2} = 1980,2 \text{ Pa}$$

$$p_{\text{O}_2} = 990,1 \text{ Pa}$$

$$K_p = \underline{\underline{4,124 \cdot 10^{-6}}}$$

$$b-c) \quad p_{H_2O} = (1-L)p = \frac{(1-L) p_{\text{Örk. - reaktid}}}{1 + \frac{L}{2}}$$

$$p_{H_2} = L \cdot p = \frac{L \cdot p_{\text{Örk. - reaktid}}}{1 + \frac{L}{2}}$$

$$p_{O_2} = \frac{L \cdot p}{2} = \frac{L \cdot p_{\text{Örk. - reaktid}}}{2 + L}$$

$$p_{\text{Örk. - reaktid}} = p \left(1 + \frac{L}{2}\right)$$

$$p^{\circ} K_p = \left(\frac{L \cdot p_{\text{Örk. - reaktid}}}{1 + \frac{L}{2}} \right)^2 \cdot \frac{2L \cdot p_{\text{Örk. - reaktid}}}{2 \left(1 + \frac{L}{2}\right)} \cdot \frac{\left(1 + \frac{L}{2}\right)^2}{(1-L)^2 p_{\text{Örk. - reaktid}}^2} =$$

$$= \frac{2L^3 p_{\text{Örk. - reaktid}}^3 \left(1 + \frac{L}{2}\right)^2}{2 \left(1 + \frac{L}{2}\right)^3 (1-L)^2 p_{\text{Örk. - reaktid}}^2} = \frac{2L^3 p_{\text{Örk. - reaktid}}}{2 \left(1 + \frac{L}{2}\right) (1-L)^2} = \text{all.}$$

$$d) \quad \left. \begin{array}{l} p_{H_2O} = (1-L)p \\ p_{H_2} = L \cdot p \\ p_{O_2} = \frac{Lp}{2} + p_{\text{add}} \end{array} \right\} p_{\text{Örk.}} = 10^5 \text{ Pa} = p \left(1 + \frac{L}{2}\right) + p_{\text{add.}}$$

$$p = \frac{p_{\text{Örk.}} - p_{\text{add.}}}{1 + \frac{L}{2}}$$

$$p_{H_2O} = \frac{(1-L)(p_{\text{Örk.}} - p_{\text{add.}})}{1 + \frac{L}{2}} \quad \leftarrow \text{Ezt behelyettesítve:}$$

$$p_{H_2} = L \frac{p_{\text{Örk.}} - p_{\text{add.}}}{1 + \frac{L}{2}}$$

$$p_{O_2} = \frac{L(p_{\text{Örk.}} - p_{\text{add.}})}{2 \left(1 + \frac{L}{2}\right)} + p_{\text{add.}}$$

$$p^{\circ} K_p = \frac{L^2 (p_{\text{Örk.}} - p_{\text{add.}})^2}{\left(1 + \frac{L}{2}\right)^2} \cdot \left[\frac{L(p_{\text{Örk.}} - p_{\text{add.}})}{2 \left(1 + \frac{L}{2}\right)} + p_{\text{add.}} \right] \cdot \frac{\left(1 + \frac{L}{2}\right)^2}{(1-L)^2 (p_{\text{Örk.}} - p_{\text{add.}})^2} =$$

$$= \frac{L^2}{(1-L)^2} \cdot \frac{L \cdot p_{\text{Örk.}} + 2 \cdot p_{\text{add.}}}{2 + L} = \text{allandó}$$

Önellenőrző (igaz/hamis) tesztkérdések

- T114. A reakció-szabadentalpia: $\Delta_r G = \left(\frac{\partial \Delta G}{\partial \xi} \right)_{p, T, n_j}$, ahol $0 \leq \xi \leq 1$ az ún. reakciókoordináta. h
- T115. A reakció-szabadentalpia: $\Delta_r G = \Delta_r G^\circ - RT \ln Q$, ahol $\Delta_r G^\circ$ a standard reakció-szabadentalpia, Q pedig az ún. reakcióhányos. h
- T116. A kémiai termodinamika alapegyenlete: $\Delta G^\circ = -\frac{R}{T} \ln K_p$, ahol ΔG° a standard reakció-szabadentalpia, K_p pedig a termodinamikai egyensúlyi állandó. h
- T117. Az egyensúlyi állapotot akkor érjük el, ha a rendszer szabadentalpiája minimális, s ekkor a reakció-szabadentalpia: $\Delta_r G = \Delta_r G^\circ + RT \ln K = 0$. i
- T118. A termodinamikai egyensúlyi állandó definíciója gázfázisú reakciók esetében: $K_p = \prod_i \left(\frac{\bar{p}_i}{p^\circ} \right)^{\nu_i}$, ahol \bar{p}_i az i -edik részecske egyensúlyi parciális nyomása, $p^\circ = 1$ bar a standard nyomás, ν_i pedig az i -edik részecske sztöchiometriai együtthatója. i
- T119. A K_p és K_x összefüggése tökéletes gázok reakcióelegyeiben, adott hőmérsékleten és nyomáson: $K_p = K_x (RT)^{-\nu}$, ahol p a teljes nyomás és $\nu = \sum \nu_j$. h
- T120. A van't Hoff-egyenlet szerint $\frac{d \ln K}{dT} = \frac{\Delta H^\circ}{RT^2}$, ahol K az egyensúlyi állandó, ΔH° pedig a standard reakcióentalpia. i
- T121. Az egyensúlyi állandó értéke a következő összefüggéssel számítható át egyik hőmérsékletéről (T_1) a másikra (T_2): $\ln K_2 + \ln K_1 = \left(\frac{\Delta H^\circ}{R} \right) \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$, ahol K_1 és K_2 az egyensúlyi állandó értéke T_1 és T_2 hőmérsékleten, ΔH° pedig a standard reakcióentalpia. h
- T122. Le Chatelier elve szerint az egyensúlyban lévő rendszer a külső megzavarásra úgy válaszol, hogy annak hatásait minimálisra csökkentse. i