تتبـــع تحـــول كيـمـيـــائي
Suivi d'une transformation chimique

I) التقـــدم الأقصـــى لتفـــاعل كيـمـيـــائي.

1) تجربة.

نضـــيف إلى حجـــم $V_1 = 20mL$ من محـــلول S_1 لنتـــرات الكـــالسيوم $(Ca^{2+}_{aq} + 2NO^{-}_{3\,aq})$ تركـــيزه $C_1 = 0.2\ mol/L$, حجمـــا $V_2 = 15mL$ من محلول S_2 لفـــوسفات الصـــوديوم $(3Na^{+}_{aq} + PO^{3-}_{4\,aq})$ تركـــيزه $C_2 = 0.2\ mol/L$. يحـــدث تفـــاعل و يتكـــون راسب أبيـــض هو فـــوسفـــات الكـــالسيوم $Ca_3(PO_4)_2$.

معـــادلة التفـــاعـــل :

$$3Ca^{2+} + 2PO_4^{3-} \longrightarrow Ca_3(PO_4)_2$$

2) الجدول الوصفي. Le tableau descriptif

كمية مـــادة أيونات الكـــالسيوم البدئـــية: $n_i(Ca^{2+}) = C_1.V_1 = 4.10^{-3}\ mol = 4\ mmol$

كمية مـــادة أيونات الفوسفـــات البدئـــية: $n_i(PO_4^{3-}) = C_2.V_2 = 3.10^{-3}\ mol = 3\ mmol$

العـــلاقة بين كميـــات المـــدة المتفـــاعلة وكمـــية المـــادة النـــاتجة هـــي:

$$\frac{n(Ca^{2+})}{3} = \frac{n(PO_4^{3-})}{2} = \frac{n(Ca_3(PO_4)_2}{3} = x$$

يسمى x تقـــدم التفـــاعل و يسمح بتحـــديد كميـــات المـــادة للمتفـــاعلات و النـــواتج.

معـــادلة التفـــاعل		$3Ca^{2+} + 2PO_4^{3-} \longrightarrow Ca_3(PO_4)_2$		
الحـــالة	التقـــدم	$n(Ca_3(PO_4)_2)$	$n(PO_4^{3-})$	$n(Ca^{2+})$
البـــدئية	0	0	3	4
خـــلال التحـــول	x	x	3 – 2x	4 - 3x
النهـــائية	x_{max}	x_{max}	3 – 2 x_{max}	4 – 3x_{max}

3) التقدم الأقصى و المتفاعل المحد. Avancement maximal Réactif limitant.

* **تعـــريف:** نســـمي المتفـــاعل المحـــد, المتفـــاعل الـــذي يختـــفي أولا و يســـبب بذلك في توقـــف التفـــاعل و يأخـــذ x عنـــد نهـــاية التفـــاعل قيـــمته القصـــوية, تســـمى التقـــدم الأقصـــى x_{max}.

تطبـــيق:

باعتبـــار أيونـــات الكالسيوم المتفـــاعل المحـــد يكون: $4 - 3x_{1max} = 0$ و بذلك: $x_{1max} = 1.33\ mmol$

باعتبـــار أيونـــات الفوسفـــات المتفـــاعل المحـــد يكون: $3 - 2x_{2max} = 0$ و بذلك: $x_{2max} = 1.5\ mmol$

يـــوافق التقـــدم الأقصى أصغـــر قيـــمة و بذلك $x_{max} = 1.33\ mmol$ و المتفـــاعل المحـــد هو: Ca^{2+} .

4) الخليط الستوكيومتري. Le mélange stoechiométrique

* **تعـــريف:** يكون الخلـــيط البدئي التفاعلي استوكيومتريا, إذا كانت كميات مـــادة المتفاعلات متـــوفرة حسب المعـــاملات الستوكيومترية لمعـــادلة التفـــاعل, تختـــفي في هذه الحـــالة جمـــيع المتفاعلات عند نهاية التفـــاعل.

تطبيق: لنحسب حجم محلول فوسفات الصوديوم اللازم إضافته ليكون الخليط السابق ستوكيومتريا.

$$\frac{n_i(Ca^{2+})}{3} = \frac{n_i'(PO_4^{3-})}{2} = x_{max}$$

بذلك: $n_i' - 2\,x_{max} = 0$ **و منه:** $n_i' = 2\,x_{max} = 2.66\ mmol$

الحجم اللازم V' **هو:** $\boxed{V' = \frac{n_i'}{C} = 13.3\ mL}$

II) تحديد التقدم الأقصى من خلال ضغط غاز.

*** تجربة:**

ندخل في حوجلة, تحتوي على $20mL$ **من محلول حمض الكلوريدريك تركيزه** $C = 5\ mol/L$ **,**
قطعة من فلز الزنك كتلتها $m = 0.11g$ **. نغلق الحوجلة أثناء التفاعل و نقيس الضغط داخلها.**
الضغط البدئي في الحوجلة هو الضغط الجوي $P_0 = 1025\ hPa$ **و الضغط فيها عند نهاية التفاعل هو** $P_f = 1062\ hPa$ **.**

معادلة التفاعل: $Zn(s) + 2\,H^+ \longrightarrow Zn^{2+} + H_2(g)$

كمية مادة الزنك البدئية: $n_i(Zn) = \frac{m}{M} = 0.11/65.4 = 1.7\ 10^{-3}\ mol$

كمية مادة H^+ **البدئية:** $n_i(H^+) = C.V = 0.1\ mol$

*** الجدول الوصفي للتفاعل:**

معادلة التفاعل		$Zn + 2H^+ \longrightarrow Zn^{2+} + H_2$			
الحالة	التقدم	$n(H_2)$	$n(Zn^{2+})$	$n(H^+)$	$n(Zn)$
البدئية	0	0	0	0.1	$1.7\ 10^{-3}$
خلال التحول	x	x	x	$0.1 - 2x$	$1.7\ 10^{-3} - x$
النهائية	x_{max}	x_{max}	x_{max}	$0.1 - 2x_{max}$	$1.7\ 10^{-3} - x_{max}$

تحديد التقدم الأقصى x_{max} **:**

$n(H_2) = x_{max}$ **و حسب معادلة الحالة للغازات الكاملة:**

$P_0.V = n_0.R.T$ n_0 **كمية مادة الهواء البدئية في الحوجلة.**

و $P_f.V = n_f.R.T$ **بحيث:** $n_f = n_0 + n(H_2) = n_0 + x_{max}$

و بذلك: $\Delta P = P_f - P_0 = x_{max} \cdot \frac{R.T}{V}$

في ظروف التجربة يحتل الغاز المتكون حجما $V = 1.1\ L$ **عند درجة الحرارة** $T = 293\ K$ **.**

بذلك: $x_{max} = \frac{\Delta P \,.\, V}{R \,.\, T} =$