

٢- تقدم التفاعل المنمذج لتحول كيميائي

مقاربة اولى لمفهوم التقدم لتحول الكيميائي

يريد ميكانيكي أن يجهز عجلات الدراجات بمحابس التثبيت ، فوجد ١٢ محبس لتجهيز ١٣ عجلة .

فيجهز العجلة تلو الاخرى ، ويكرر العملية x مرة . فإذا اعتبرنا عدد العجلات $n_1 = 13$ ، وعدد المحابس $n_2 = 12$ ، سجلنا الملاحظات في الجدول التالي :

	x	n_1 عدد العجلات	n_2 عدد المحابس
الحالة الابتدائية		13	12
	1	$13 - 1 = 12$	$12 - 2 = 10$
	2	$13 - 2 = 11$	$12 - 2 \times 2 = 8$
	3	$13 - 3 = 10$	$12 - 3 \times 2 = 6$
	4	$13 - 4 = 9$	$12 - 4 \times 2 = 4$
	5	$13 - 5 = 8$	$12 - 5 \times 2 = 2$
الحالة النهائية	6	$13 - 6 = 7$	$12 - 6 \times 2 = 0$

نستطيع تحديد الحالة النهائية بـ $x=6$ عجلات مجهزة بالمحابس ، و ٧ عجلات غير مجهزة . العملية توقفت بسبب نقص في المحابس بعد تكرارها x مرة . نسمي x بـ التقدم l'avancement ، فنسجل الملاحظات في الجدول التالي :

	avancement x	عجلة n_1	محبس n_2	n عملية
الحالة الابتدائية	0	13	12	0
أثناء التحول .	x	13 - x	12 - 2 x	x

لنبحث عن الحالة النهائية .

كمية مادة المتفاعلات تتناقص حتى تنعدم إحداها .

إذا انعدم عدد العجلات : $13 - x = 0 \Rightarrow x = 13$

إذا انعدم عدد المحابس : $12 - 2x = 0 \Rightarrow x = 6$ ، ما هي القيمة التي تحقق

المعادلتين ؟

القيمة الأعظمية لـ x حصلنا عليها ، عندما انعدم عدد المحابس ، فنعطيه اسم

المتفاعل المحد Reactif limitant .

و نعين التقدم الأعظمي $x_{\max} = 6$. ونكمل الجدول السابق :

	x التقدم	عجلة n_1	محبس n_2	n عملية
الحالة الابتدائية	0	13	12	0
أثناء التحول	x	13 - x	12 - 2 x	x
الحالة النهائية	$x_{\max} = 6$	7	0	6

أعد التجربة عزيزي التلميذ بمعطيات جديدة (عدد العجلات $n_1 = 6$ ، وعدد المحابيس $n_2 = 12$ ، لاشك أنك تتوصل الى الجدول التالي :

	x	n_1	n_2
الحالة الابتدائية		6	12
	1	$6 - 1 = 5$	$12 - 2 = 10$
	2	$6 - 2 = 4$	$12 - 2 \times 2 = 8$
	3	$6 - 3 = 3$	$12 - 3 \times 2 = 6$
	4	$6 - 4 = 2$	$12 - 4 \times 2 = 4$
	5	$6 - 5 = 1$	$12 - 5 \times 2 = 2$
الحالة النهائية	6	$6 - 6 = 0$	$12 - 6 \times 2 = 0$

ونستطيع تقديم النتائج بشكل آخر :

	التقدم x	n_1	n_2	n
الحالة الابتدائية	0	6	12	0
	x	$6 - x$	$12 - 2x$	x
الحالة النهائية	$x_{\max} = 6$	0	0	6

جميع العجلات جهزت بالمحاسب ، ولم يبق شيء من المتفاعلات ، فنقول أن العملية تحققت في الشروط الستوكيومترية *stoechiométriques* .
نعود الآن إلى تقدم التحول الكيميائي .

من أجل متابعة تحول كيميائي لجملة على المستوى العياني من الحالة الابتدائية إلى الحالة النهائية ، يقترح الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة و التطبيقية IUPAC وسيلة تدعى تقدم التفاعل X ، وسندرس في هذا المستوى التفاعلات التامة و السريعة فقط ، أي لا نتعرض لحالة التوازن الكيميائي .

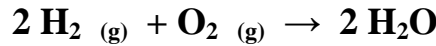
اذن التقدم X يعبر عن تطور الجملة أثناء التحول الكيميائي ، و يتوقف هذا التحول عندما يختفي أحد المتفاعلات ، ويسمى في هذه الحالة المتفاعل المختفي بـ المتفاعل المحد *Reactif Limitant* .

– وحدة التقدم : يعبر عن التقدم بـ المول وهي حدة كمية المادة .

– جدول التقدم : عبارة عن جدول وصفي للجملة ، يوضح حصيلة المادة خلال تحول كيميائي من الحالة الابتدائية إلى الحالة النهائية .

مثال:

١ / اصطناع الماء : أ- انطلاقا من غازتائي الهيدروجين H_2 (٦ مول) و غاز تنائي الأوكسجين O_2 (٣مول) ، يمكن الحصول على الماء H_2O ، معادلة التفاعل المنمذج للتحول هي :



– على المستوى المجهرى : لنفترض أن التفاعل حدث مرة واحدة : يختفي جزيء واحد من $O_2 (g)$ وجزيئين من $H_2 (g)$ ليتشكل جزيئان من H_2O .

- على المستوى العياني : لنفترض أن التفاعل حدث N_A مرة حيث N_A هو عدد أفوقادرو ، إذن يختفي واحد مول من O_2 (g) مع ٢ مول من H_2 (g) ليتشكل ٢ مول من H_2O .

- لنفترض أن التفاعل حدث xN_A مرة ، يختفي x مول من O_2 (g) مع $2x$ مول من H_2 (g) ويتشكل $2x$ مول من H_2O .
نسمي x (مقدرة بالمول) في أية مرحلة من مراحل التحول بـ تقدم التفاعل .
يمكن تقديم حصيلة المادة خلال هذا التحول ، بالجدول التالي :

معادلة التفاعل	O_2	+ 2 H_2	→	$2H_2O$
كمية المادة في الحالة الابتدائية $t=0$	٣	٦		٠
كمية المادة أثناء التحول	$٣-x$	$6-2x$		$2x$

لندرس تطور الجملة الموضحة في الجدول أعلاه ولنعين تقدم التفاعل x :

$$3-x=0 \Rightarrow x=3 \text{ mol} \quad \text{إذا اختفى } O_2 \text{ أولا يكون :}$$

$$6-2x=0 \Rightarrow x=3 \text{ mol} \quad \text{وإذا اختفى } H_2 \text{ أولا يكون :}$$

الملاحظ أن في الحالتين $x=3 \text{ mol}$ ، إذن غازي H_2 ، O_2 يختفيان معا ، إذن تكون الحالة النهائية للتحول هي :

$n(O_2)$	$n(H_2)$	$n(H_2O)$
----------	----------	-----------

.	.	6mol
---	---	-------------

ونسمي في هذه الحالة تقدم التفاعل x بـ تقدم التفاعل الأعظمي ونرمز له بالرمز

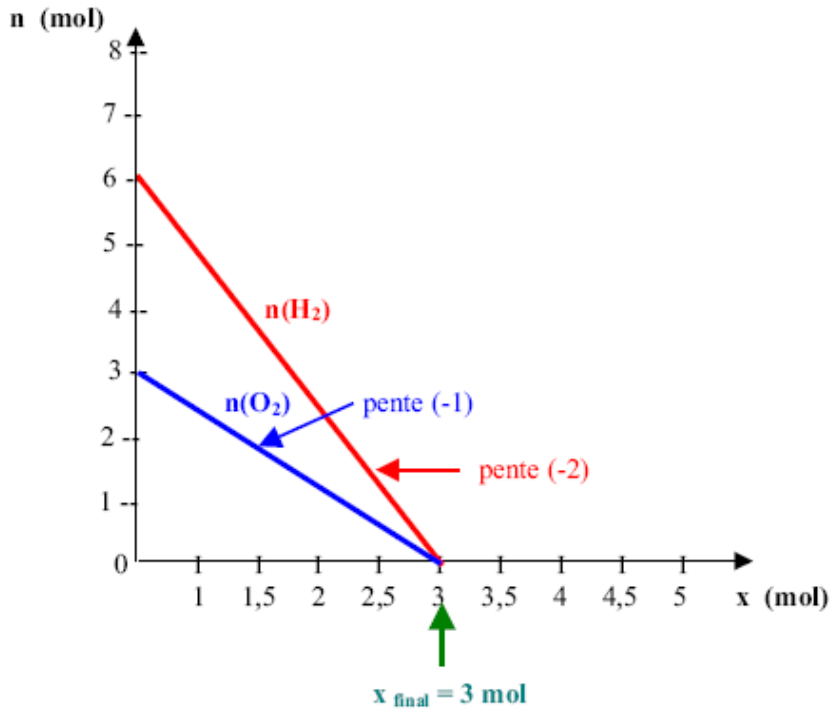
x_{\max} ويمثل في هذه الحالة التقدم النهائي و يرمز له بالرمز x_{fin} :

$$\bullet \quad x_{\max} = x_{\text{fin}} = 3\text{mol}$$

لنرسم المنحنيين :

$$n_{\text{O}_2} = 3 - x$$

$$n_{\text{H}_2} = 6 - 2x$$



نتيجة : في حالة استعمال المعاملات الستوكيومترية ، يكون التقدم X أعظمي .
 ب- لنحقق نفس التجربة ، لكن ليس بمعاملات ستوكيومترية حسب الجدول التالي وهي الحالة المدروسة في تطور جملة كيميائية .

المعادلة الكيميائية	$O_2 +$	$\longrightarrow 2H_2$	$2 H_2O$
كمية المادة في الحالة الابتدائية $t = 0$	γ	ϵ	\cdot
كمية المادة أثناء التحول	$7-X$	$5-2X$	$2X$

إذا اختفى O_2 أولا لدينا :

$$7-X = 0 \Rightarrow X = 7 \text{ mol}$$

إذا اختفى H_2 أولا لدينا :

$$5-2X = 0 \Rightarrow X = 2.5 \text{ mol}$$

في هذه الحالة ، يختفي H_2 أولا، لأن $(X = 2.5 \text{ mol})$ ، وهو المتفاعل الذي يحد من تطور التحول و يسمى بـ المتفاعل المحد .

ويمثل أيضا التقدم الأعظمي الذي يساوي التقدم النهائي:

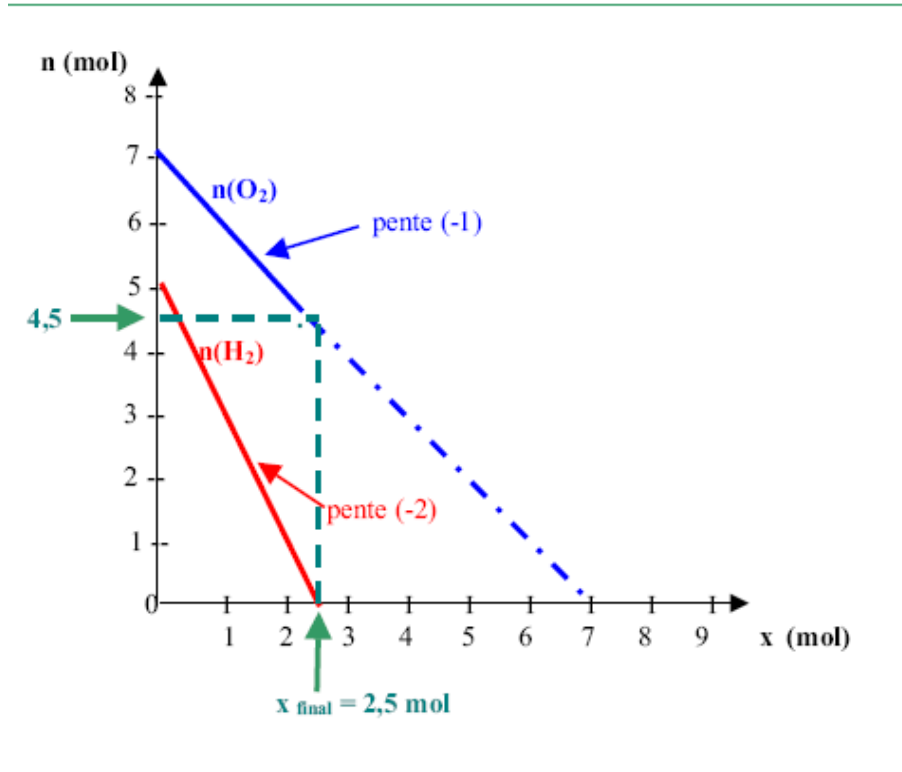
$$X_{\max} = X_{\text{fin}} = 2.5 \text{ mol}$$

وتكون الحالة النهائية :

$n(\text{O}_2)$	$n(\text{H}_2)$	$n(\text{H}_2\text{O})$
4,5	0	5

نرسم المنحنيين : $n_{\text{O}_2} = 7 - x$

$$n_{\text{H}_2} = 5 - 2x$$



نتيجة: تكون التفاعلات بمعاملات ليست استكيومترية بـ متفاعل محد .

تطبيق: تطور جملة كيميائية خلال تحول كيميائي

الوسائل: ٠٣ كؤوس (300 mL)، مخبار مدرج، دوق مخروطي، قمع ورق شفاف.

المحاليل: - محلول كلور الحديد الثلاثي ($Fe^{3+}+3Cl^-$) حيث :

$$[Fe^{3+}] = 0,1 \text{ mol.L}^{-1}$$

- محلول هيدروكسيد الصوديوم (Na^++OH^-) حيث $[OH^-] = 1,5 \text{ mol.L}^{-1}$

- ماء مقطر.

الخطوات التجريبية:

- نضع في كل كأس 50 mL من محلول من محلول كلور الحديد الثلاثي.

- نضيف محلول هيدروكسيد الصوديوم إلى الكؤوس الثلاثة على الترتيب

.15 mL, 10 mL, 5 mL

١- أكمل الجدول التالي:

مظهر الراسب	حجم محول Na^++OH^-	حجم المحلول $Fe^{3+}+3Cl^-$	رقم الكأس
	٥	٥٠	١
	١٠	٥٠	٢
	١٥	٥٠	٣

٢- صف الحالة الابتدائية والحالة النهائية للجملة الكيميائية في كل كأس

$$(n_{OH^-}, n_{Fe^{3+}})$$

٣- أكتب معادلة التفاعل المنمذج للتحويل الكيميائي الذي يحدث في كل كأس مع تطبيق مبدأ إنحفاظ العنصر ومبدأ إنحفاظ الشحنة.

٤- عين جدول التقدم الكيميائي في كل كأس و أرسم البيانيين $n_{Fe^{3+}} = f(x)$ ،

$$n_{OH^-} = g(x)$$

الإجابة:

- ١

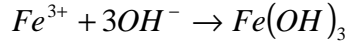
كمية المادة المحتواة في كل كأس و مظهرها في الحالة الابتدائية :

رقم الكأس	n_{OH^-}	$n_{Fe^{3+}}$	مظهر الراسب
الأول	7.5×10^{-3}	5×10^{-3}	صدئي
الثاني	15×10^{-3}	5×10^{-3}	صدئي
الثالث	22.5×10^{-3}	5×10^{-3}	صدئي

أما في الحالة النهائية فيكون محتوى كل كأس :

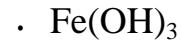
X mol- من الراسب $Fe(OH)_3$ (الناتج) +
كميات من الأفراد الكيميائية المتبقية (OH^- , Fe^{3+}) +
الأفراد الكيميائية التي لم تتدخل في التفاعل .

٢- معادلة التفاعل المنمذج للتحويل في كل كأس :



أما شوارد الكلور Cl^{-} ، وشوارد الصوديوم Na^{+} فتبقى في المحلول ، يمكن الكشف عن وجود Cl^{-} ، بإضافة كمية من محلول نترات الفضة $AgNO_3$.

٣- بعد ترشيح محتوى كل كأس نحصل على راسب هيدروكسيد الحديد الثلاثي



-٤

الكأس الأولى

أ- جدول التقدم: x يمثل تقدم التفاعل.

معادلة التفاعل	$Fe^{+3} + 3OH^{-} \rightarrow Fe(OH)_3$		
الحالة الابتدائية	$5 \cdot 10^{-3}$	7.5×10^{-3}	0
الحالة أثناء التطور	$5 \cdot 10^{-3} - x$	$7.5 \times 10^{-3} - 3x$	x
الحالة النهائية	$5 \cdot 10^{-3} - x_f$	$7.5 \times 10^{-3} - 3x_f$	x_f

إذا اختلف OH^{-} أولا :

$$7.5 \times 10^{-3} - 3X_f = 0 \Rightarrow X_f = 2.5 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

إذا اختلف Fe^{+3} أولا :

$$5 \times 10^{-3} - X_f = 0 \Rightarrow X_f = 5 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

ومنه المتفاعل المحد هو الأقل في عدد المولات أي OH^- ، إذن :

$$X_f = 2.5 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

ب- رسم البيانيين $n_{\text{OH}^-} = g(x)$ ، $n_{\text{Fe}^{+3}} = f(x)$

في الكأس الأولى :

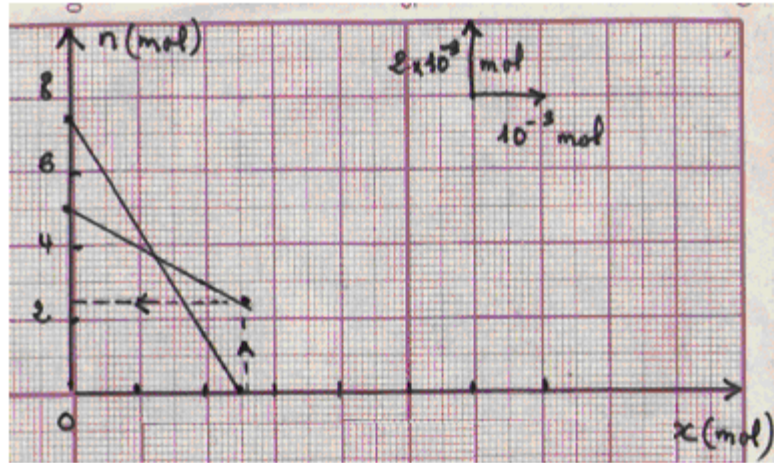
كل من المعادلتين عبارة عن دالة خطية من الدرجة الأولى في المتغير X (بيانها

خط مستقيم) ، من الشكل :

$$Y = m + n X$$

n يمثل معامل توجيه المستقيم ويكون دوما سالب .

m يمثل كمية مادة المتفاعل الابتدائية (قبل التحول) .



في الكأس الأولى:

$$n_{\text{Fe}^{3+}} = n_{0\text{Fe}^{3+}} - X = 5.10^{-3} - X$$

$$n_{\text{OH}^-} = n_{0\text{OH}^-} - 3X = 7,5.10^{-3} - 3X$$

ج- تحليل نتيجة البيانين :

تتناقص كمية مادة كل متفاعل من قيمتهما الابتدائية (5.10^{-3} ، $7,5.10^{-3}$) لشوارد Fe^{+3} . OH^- على الترتيب الى أن تنعدم كمية مادة OH^- ، فيتوقف التحول و تصبح عنده كمية مادة Fe^{+3} ، 2.5×10^{-3} مول المتبقية و التي تساوي في آن واحد المتفاعلة .

إذن OH^- حد من مواصلة التحول لذلك يسمى بالمتفاعل المحد .
و إذا قمنا بحساب ميل كل بيان نجد أن :

$$\frac{\delta n}{\delta X} = \frac{7.5 \times 10^{-3} - 0}{0 - 2.5 \times 10^{-3}} = -3$$

و يمثل (-3) ميل البيان $n_{\text{OH}^-} = g(x)$ ويمثل في آن واحد معامل التقدم X للفاعل في المعادلة .

لنحسب ميل البيان الثاني $n_{\text{Fe}^{+3}} = f(x)$:

$$\frac{\delta n}{\delta X} = \frac{5.10^{-3} - 2.5 \times 10^{-3}}{0 - 2.5 \times 10^{-3}} = -1$$

و يمثل (-1) معامل التقدم X للفاعل في المعادلة .

و الإشارة (-) دلالة على تناقص كمية مادة المتفاعلات أثناء التحول أثناء زيادة التقدم X للفاعل .

٢/ الكأس الثانية :

أ- جدول التقدم (X) للفاعل :

معادلة التفاعل	$Fe^{+3} + 3OH^{-} \rightarrow Fe(OH)_3$		
الحالة الابتدائية	$5 \cdot 10^{-3}$	15×10^{-3}	.
الحالة أثناء التطور	$5 \cdot 10^{-3} - x$	$15 \times 10^{-3} - 3x$	x
الحالة النهائية	$5 \cdot 10^{-3} - X_f$	$15 \times 10^{-3} - 3X_f$	X_f

الملاحظ أن المتفاعلات يختفيان في آن واحد :

$$5 \times 10^{-3} - X_f = 0 \Rightarrow X_f = 5 \times 10^{-3} mol$$

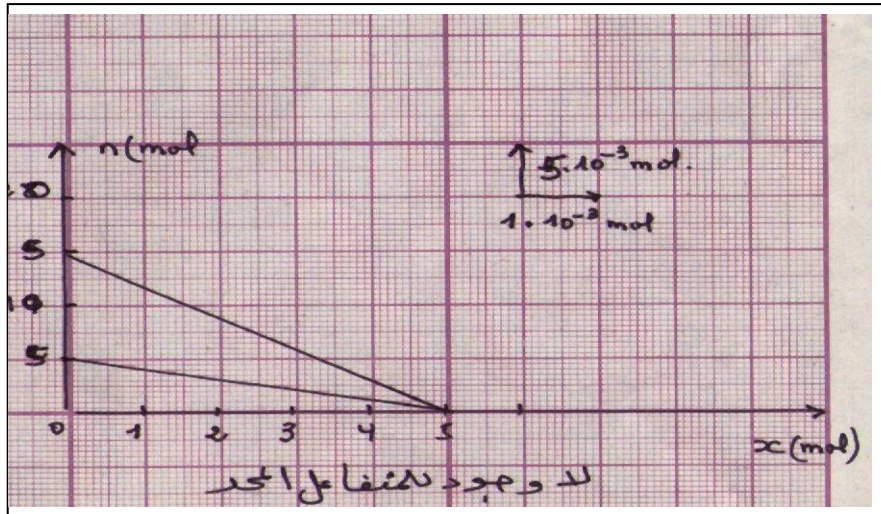
$$15 \cdot 10^{-3} - 3X_f = 0 \Rightarrow X_f = 5 \times 10^{-3} mol$$

إذن المتفاعلات في حالة المعاملات الستوكيومترية ، وتكون الحالة النهائية :

$n_{Fe^{+3}}$	$n_{OH^{-}}$	$n_{Fe(OH)_3}$
.	.	$5 \cdot 10^{-3}$

ليس هناك متفاعل محدد .

ب- رسم البيانيين $n_{Fe^{+3}} = f(x)$ ، $n_{OH^{-}} = g(x)$:



في الكأس الثانية:

$$n_{\text{Fe}^{3+}} = 5.10^{-3} - x$$

$$n_{\text{OH}^-} = 15.10^{-3} - 3x$$

ج- تحليل نتيجة البيانين :

$n_{\text{Fe}^{3+}} = f(x)$ بيانها عبارة عن مستقيم ميله سالب ، فهو يتناقص

من القيمة 5.10^{-3} مول الى أن تختفي كمية المتفاعل . و بنفس الطريقة

المتبعة في حساب الميل يكون :

$$\frac{\delta n}{\delta X} = \frac{5.10^{-3} - 0}{0 - 5.10^{-3}} = -1$$

مع تزايد التقدم في التفاعل (x) .

$n_{\text{OH}^-} = g(x)$ بيانها عبارة عن خط مستقيم ميله سالب ، اذ تتناقص كمية مادة

المتفاعل زيادة التقدم في التفاعل (x) ، من القيمة 15.10^{-3} مول الى أن تختفي

تماما عند نهاية التحول .

ميل المستقيم :

$$\frac{\delta n}{\delta X} = \frac{15.10^{-3} - 0}{0 - 5.10^{-3}} = -3$$

- الإشارة (-) تدل على تناقص عدد المولات مع تزايد التقدم في التفاعل (x) .
و التفاعل يتم بالمعاملات الستوكيومترية ، في هذه الحالة .

٣ / الكأس الثالثة :

أ- جدول التقدم (x) للتفاعل :

معادلة التفاعل	$Fe^{+3} + 3OH^{-} \rightarrow Fe(OH)_3$		
الحالة الابتدائية	$5 \cdot 10^{-3}$	22.5×10^{-3}	.
الحالة أثناء التطور	$5 \cdot 10^{-3} - x$	$22.5 \times 10^{-3} - 3x$	x
			X_f

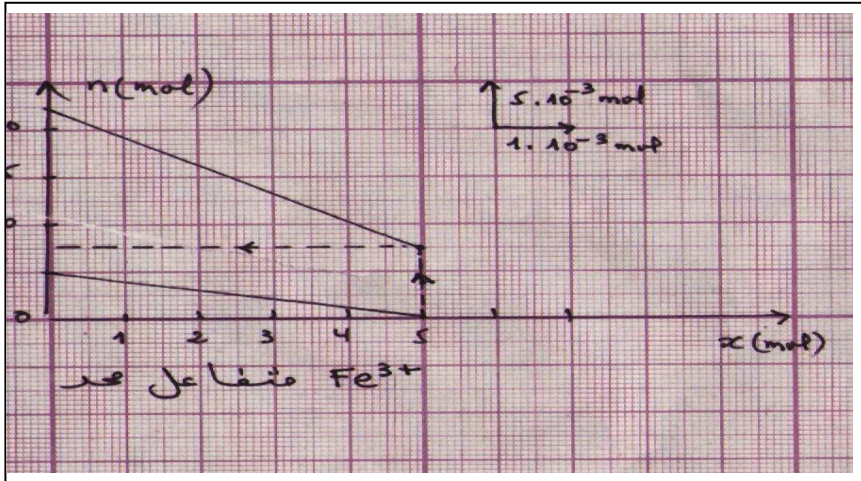
إذا اختفى OH^{-} أولاً:

$$22.5 \times 10^{-3} - 3X_f = 0 \Rightarrow X_f = 7.5 \times 10^{-3} mol$$

وإذا اختفى Fe^{+3} أولاً يكون :

$$X_f = 5 \cdot 10^{-3} mol$$

يختفي Fe^{+3} أولاً ، فيتوقف التحول ، فهو المتفاعل المحد .



في الكأس الثالثة:

$$n_{\text{Fe}^{3+}} = 5.10^{-3} - x$$

$$n_{\text{OH}^-} = 22,5.10^{-3} - 3x$$

تحليل نتائج البيانين :

$n_{\text{Fe}^{3+}} = f(x)$ بيانها عبارة عن مستقيم ميله سالب ، فهو يتناقص من

القيمة 5.10^{-3} مول الى أن تختفي كمية المتفاعل . و بنفس الطريقة

المتبعة في حساب الميل يكون :

$$\frac{\delta n}{\delta X} = \frac{5.10^{-3} - 0}{0 - 5.10^{-3}} = -1$$

، الاشارة (-) تدل على تناقص عدد المولات مع تزايد

التقدم في التفاعل (x) .

$n_{\text{OH}^-} = g(x)$ بيانها عبارة عن خط مستقيم ميله سالب ، اذ تتناقص كمية مادة

المتفاعل مع زيادة التقدم في التفاعل (x) ، من القيمة 22.5×10^{-3} مول الى أن

تبقى 7.5×10^{-3} مول عند نهاية التحول .

ميل المستقيم :

$$\frac{\delta n}{\delta X} = \frac{22.5 \times 10^{-3} - 7.5 \times 10^{-3}}{0 - 5 \times 10^{-3}} = -3$$

٥٠

وتكون الحالة النهائية :

$n_{Fe^{+3}}$	n_{OH^-}	$n_{Fe(OH)_3}$
0	$7,5 \times 10^{-3}$	5.10^{-3}

ملاحظة : من الملاحظ أن ميل البياتين $n_{Fe^{+3}} = f(x)$ ، $n_{OH^-} = g(x)$ ، يبقى ثابتا في الحالات الثلاث ، والقيمة المطلقة لكل منها تمثل معامل التناسب (المعامل الستكيومتري) .

تطبيق - ٢ -

مراقبة تحول كيميائي بواسطة البالون (مقارنة نوعية ثم كمية)

- الهدف : التأكيد على أن التحول الكيميائي يمكن أن يحدث حتى ولو كانت المتفاعلات ليست في الشروط الستكيومترية . متابعة تأثير كمية المتفاعلات على التقدم الأعظمي .

تعيين المتفاعل المحدد . تعيين حسيلة المادة باستعمال جدول التقدم الوصفي لتطور الجملة . مقارنة النتائج التجريبية بالنظرية .

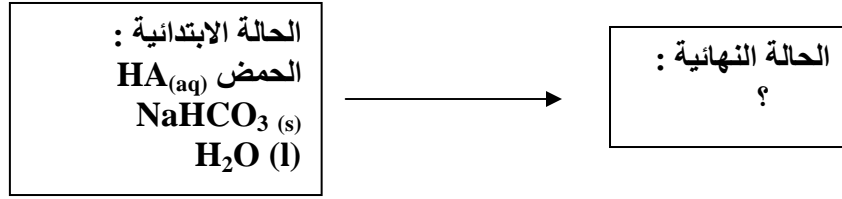
I - المقارنة النوعية : نعود من جديد الى الجملة (حمض الخل و هيدروجينوكربونات الصوديوم) ، و نعالج حالتين :

الحالة الاولى :

10 ml من حمض الخل 6^0 ، يحتوي 100ml من الماء على 6g من

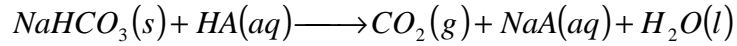
الحمض النقي . ونرمز له بـ $HA(aq)$ ، $H_2O(l)$.

5g من هيدوجينوكربونات الصوديوم الصلبة .



الملاحظات :

- حدوث فوران : ما هي طبيعة الغاز المتشكل ؟
 - أفرغ محتوى البالون في رائق الكلس . يتعكر . الناتج اذن هو غاز $CO_2(g)$
 - يتبقى قليلا من $NaHCO_3 (s)$ الصلبة في الحالة النهائية .
 - وباستعمال ورق الـ pH : نكتشف أن الحمض قد اختفى .
- ما هي الأنواع الكيميائية المتشكلة ؟
- معادلة التفاعل بتطبيق انحفاظ العنصر :

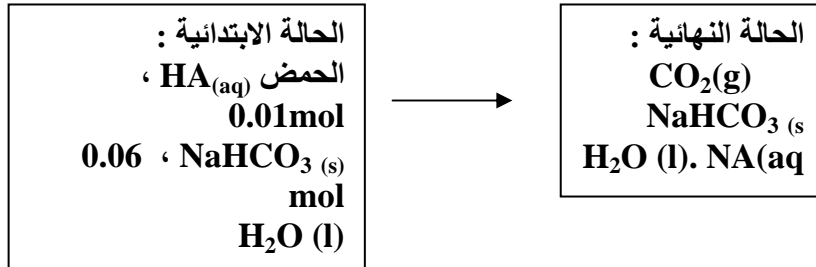


كمية المادة في الحالة الابتدائية :

$$n_{HA} = \frac{0.6}{60} = 0.01mol$$

الكتلة المولية لهيدروجينوكربونات الصوديوم هي : $84 g \cdot mol^{-1}$ ، نأخذ منها

$$n_{NaHCO_3} = \frac{5}{84} = 0.06mol \cdot 5g$$



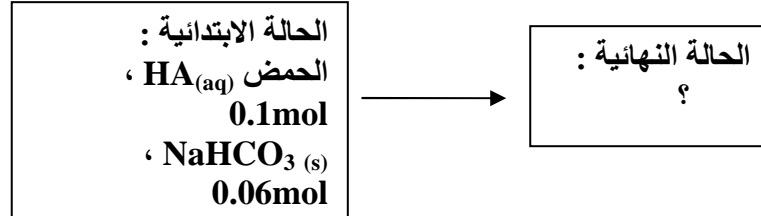
الجدول الوصفي للجملة أثناء التحول :

	$NaHCO_3(s) + HA(aq) \longrightarrow CO_2(g) + NaA(aq) + H_2O(l)$				
الحالة الابتداء ية (mol)	٠,٠٦	٠,٠١	0	0	*
الحالة النهائية (mol)	*	٠	*	*	*

HA(aq) هو المتفاعل المحد .

*تعني وجود النوع الكيميائي .

الحالة الثانية: 100ml من حمض الخل ، 5g من هيدروجينوكربونات الصوديوم.

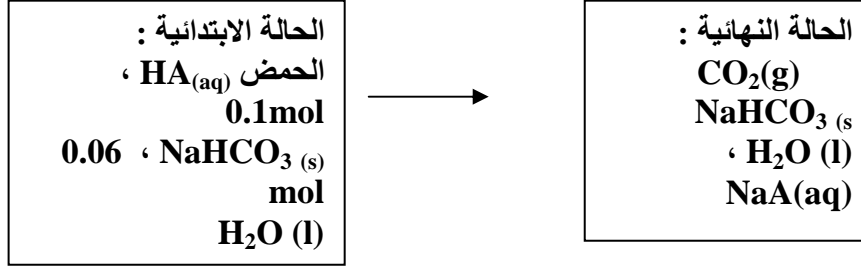


نفس الملاحظات السابقة ما عدا أن :

ورق الـ pH ، يكشف عن بقاء كمية من الحمض ، في الحالة النهائية .
كمية المادة في الحالة الابتدائية :

$$n_{HA} = \frac{6}{60} = 0.1 \text{ mol}$$

$$n_{NaHCO_3} = \frac{5}{84} = 0.06 \text{ mol}$$



الجدول الوصفي للجملة :

	$NaHCO_3(s) + HA(aq) \longrightarrow CO_2(g) + NaA(aq) + H_2O(l)$				
الحالة الابتدائية (mol)	0,06	0,1	0	0	*
الحالة النهائية (mol)	0	*	*	*	*

* $NaHCO_3 (s)$ هو المتفاعل المحد .

* تعني وجود الأنواع الكيميائية .

Π - المقاربة الكمية:

التجربة الأولى :

الحالة الابتدائية

كمية مادة الحمض : 0.01mol

كمية مادة هيدروجينوكربونات الصوديوم : 0.06mol

الحالة النهائية

كمية الحمض : 0.0 mol يختفي نهائيا .

كمية CO₂ النهائية : من قياس قطر البالون تجريبيا ، يمكن الوصول الى أن

كمية مادة الغاز هي : 0.009mol .

	$O_3(s) + HA(aq) \longrightarrow CO_2(g) + NaA(aq) + H_2O(l)$				
الحالة الابتدائية mol	٠,٠٦	٠,٠١	٠	٠	*
الحالة النهائية mol	*	٠	٠,٠٠٩	*	*
أثناء التحول mol	0.06-x	0.01-x	x	x	*

: $0.01 - X_{final} = 0 \Rightarrow X_{final} = 0.01mol$ ومنه تصبح الحالة النهائية :

الحالة النهائية mol	٠,٠٥	٠	٠,٠١	٠,٠١	*
------------------------	------	---	------	------	---

وتظهر هنا مطابقة النتائج النظرية بالتجريبية .

اثبات المعاملات الستكيومترية : من أجل $\text{NaHCO}_3 (s)$ ، و CO_2 فان لهما

نفس المعاملات (متساويان) لان كمية CO_2 الناتج تساوي كمية NaHCO_3

المختفي .