2- تقدم التفاعل المنمذج لتحول كيميائي

مقاربة اولى لمفهوم التقدم لتحول الكيميائي

يريد ميكانيكي أن يجهز عجلات الدراجات بمحابس التثبيت ، فوجد 12محبس لتجهيز 13 عجلة .

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

	x	عدد العجلات n_1	عدد المحابس n_2
الحالة الابتدائية		13	12
	1	13 – 1 = 12	12 – 2 = 10
	2	13 – 2 = 11	12 – 2x2 = 8
	3	13 – 3 = 10	12 – 3x2 = 6
	4	13 – 4 = 9	12 – 4x2 = 4
	5	13 – 5 = 8	12 – 5x2 = 2
الحالة النهائية	6	13 – 6 = 7	12 – 6x2 = 0

نستطيع تحديد الحالة النهائية بـ x=6 عجلات مجهزة بالمحابس ، و 7 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	عملية n
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 .

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

اذا 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 :

	التقدم x	عجلة n_1	محبس n_2	عملية n
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 المحابس $n_2 = 12$ ، 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 – 2x2 = 8
	3	6 – 3 = 3	12 – 3x2 = 6
	4	6 – 4 = 2	12 – 4x2 = 4
	5	6 – 5 = 1	12 – 5x2 = 2
الحالة النهائية	6	6 – 6 = 0	12 – 6x2 = 0

ونستطيع تقديم النتائج بشكل آخر :

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

جميع العجلات جهزت بالمحابس ، ولم يبق شيء من المتفاعلات ، فنقول أن العملية تحققت في **الشروط الستكيومترية stoechiometriques** .

نعود الآن إلى تقدم التحول الكيميائي .

من أجل متابعة تحول كيميائي لجملة على المستوى العياني من الحالة الابتدائية الى الحالة النهائية ، يقترح الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة و التطبيقيةIUPAC 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 البتدائية الى الحالة النهائية .

مثال:

1 / اصطناع الماء : أ- انطلاقا من غازثنائي الهيدروجدين H_2 (6 مول) و غاز ثنائي الأكسجين O_2 (3مول) ، يمكن الحصول على الماء **H_2O** ، معادلة التفاعل المنمذج للتحول هي :

$$2\,H_{2\,(g)} + O_{2\,(g)} \rightarrow 2\,H_2O$$

- **على المستوى المجهري** : 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 آفوقادرو ، اذن يختفي واحد مول من $O_{2\,(g)}$ مع 2 مول من $H_{2\,(g)}$ ليتشكل 2 مول من **H_2O** .

- لنفترض أن التفاعل حدث xN_A مرة ، يختفي x مول من $O_{2\,(g)}$ مع 2x مول من $H_{2\,(g)}$و يتشكل 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	3	6		0
كمية المادة أثناء التحول	3– x	6-2x		2 x

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

اذا اختفى O_2 أولا يكون : $3- x = 0 \Rightarrow x = 3\ mol$

واذا اختفى H_2 أولا يكون : $6 – 2x = 0 \quad x = 3mol \Rightarrow$

الملاحظ أن في الحالتين $x = 3mol$ ، اذن غازي H_2 ، O_2 يختفيان معا ، اذن تكون الحالة النهائية للتحول هي :

$n(O_2)$	$n(H_2)$	$n(H_2O)$
0	0	6mol

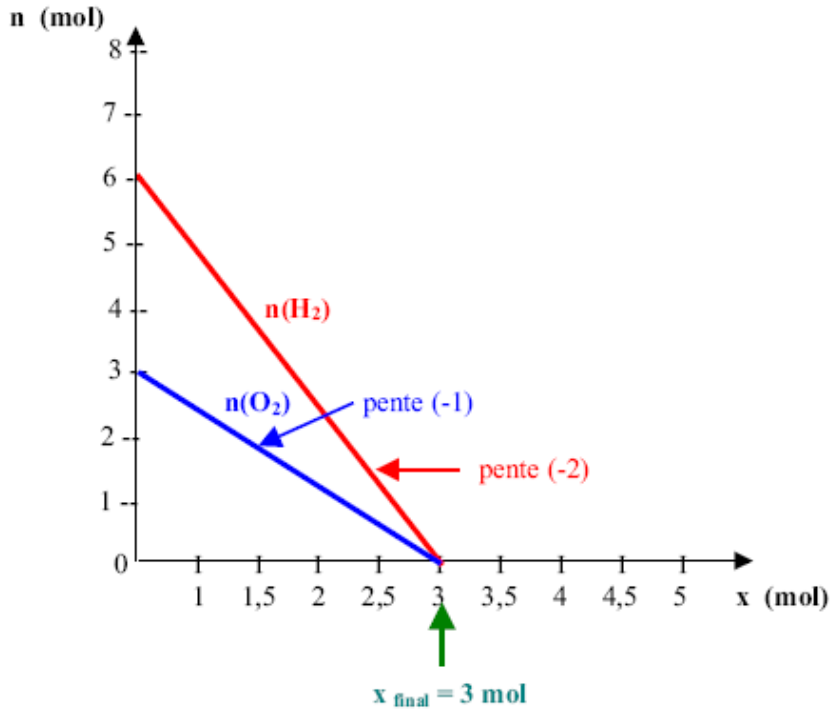
ونسمي في هذه الحالة تقدم التفاعل x بـ تقدم التفاعل الأعظمي ونرمز له بالرمز x_{max} ويمثل في هذه الحالة التقدم النهائي و يرمز له بالرمز x_{fin} :

. $x_{max} = x_{fin} = 3mol$

لنرسم المنحنيين :

$$n_{0_2} = 3 - x$$

$$n_{h_2} = 6 - 2x$$



نتيجة : في حالة استعمال المعاملات الستيكيومترية ، يكون التقدم X أعظمي .

ب– لنحقق نفس التجربة ، لكن ليس بمعاملات ستيكيومترية 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	7	5	0
كمية المادة أثناء التحول	7- X	5-2 X	2 X

إذا اختفى O_2 أولا لدينا :

$$7-X = 0 \quad \Rightarrow \quad X = 7\ mol$$

إذا اختفى H_2 أولا لدينا :

$$X = 2.5\ mol \quad \Rightarrow \quad 5- 2X = 0$$

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

ويمثل أيضا التقدم الأعظمي الذي يساوي التقدم النهائي:

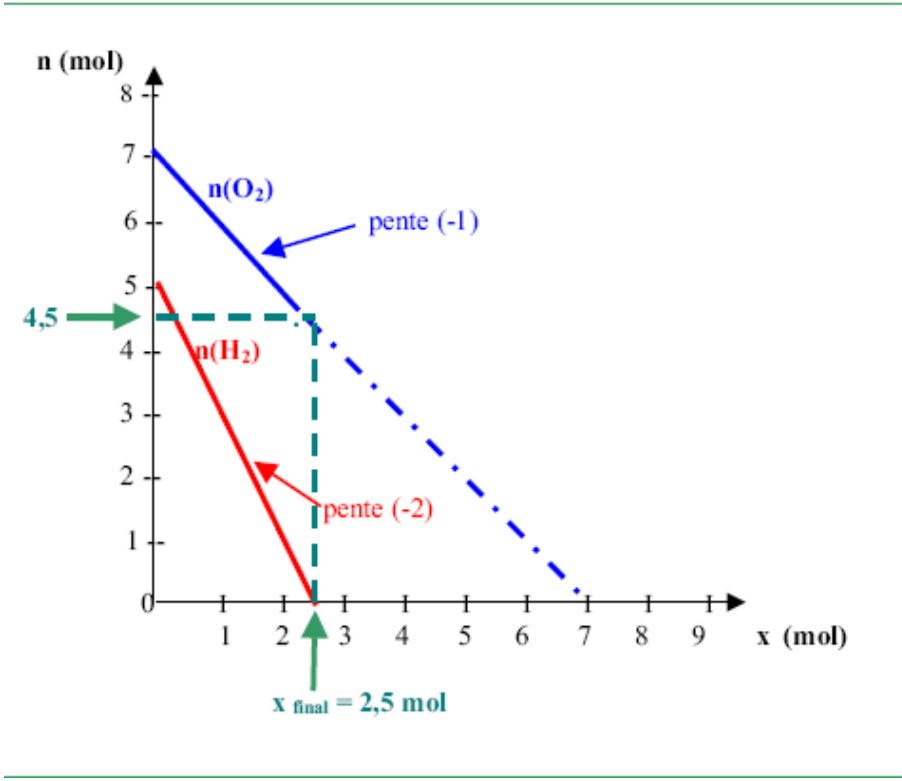
$$X_{max} = X_{fin} = 2.5\ mol$$

وتكون الحالة النهائية :

$n(O_2)$	$n(H_2)$	$n(H_2O)$
4.5	0	5

لنرسم المنحنيين : $n_{O_2} = 7 - x$

$n_{H_2} = 5 - 2x$



نتيجة : **تكون التفاعلات بمعاملات ليست استكيومترية بـ متفاعل محد .**

تطبيق: تطور جملة كيميائية خلال تحول كيميائي

الوسائل: 03 كؤوس (300 mL)، مخبار مدرج، دوق مخروطي، قمع ورق شفاف.

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

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

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

1- أكمل الجدول التالي:

رقم الكأس	حجم المحلول $Fe^{3+}+3Cl^-$	حجم محول $Na^+ + OH^-$	مظهر الراسب
1	50	5	
2	50	10	
3	50	15	

2- صف الحالة الابتدائية والحالة النهائية للجملة الكيميائية في كل كأس (المظهر، $n_{0_{Fe^{+3}}}$ ، $n_{0_{OH^-}}$)

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

4 – عين جدول التقدم الكيميائي في كل كأس و أرسم البيانين $n_{Fe+3} = f(x)$ ، $n_{OH^-} = g(x)$.

الاجابة:

1-

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 .

2- معادلة التفاعل المنمذج للتحول في كل كأس :

$$Fe^{3+} + 3OH^- \rightarrow Fe(OH)_3$$

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

3- بعد ترشيح محتوى كل كأس نحصل على راسب هيدروكسيد الحديد الثلاثي $Fe(OH)_3$.

4-

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	$5 \cdot 10^{-3} - x$	$7.5\times10^{-3} - 3x$	x
الحالة النهائية	$5 \cdot 10^{-3} - x_f$	$7.5\times10^{-3} - 3x_f$	x_f

إذا اختفى OH^- أولا :

$$7.5\times10^{-3} - 3X_f = 0 \Rightarrow X_f = 2.5\times10^{-3} mol$$

إذا اختفى Fe^{+3} أولا :

$$5\times10^{-3} - X_f = 0 \Rightarrow X_f = 5\times10^{-3} mol$$

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

$$X_f = 2.5\times10^{-3} mol$$

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

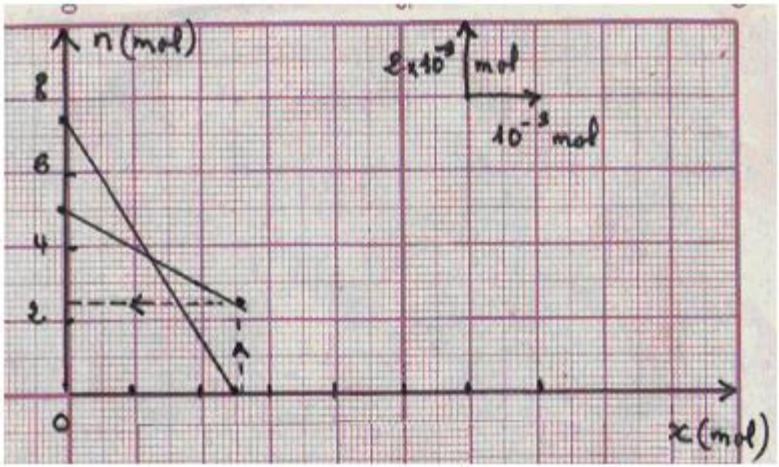
في الكأس الأولى :

كل من المعادلتين عبارة عن دالة خطية من الدرجة الأولى في المتغير X (بيانها خط مستقيم) ، من الشكل :

$Y = m + n X$ ، حيث :

n يمثل معامل توجيه المستقيم ويكون دوما سالب .

m يمثل كمية مادة المتفاعل الابتدائية (قبل التحول) .



في الكأس الأولى:

$n_{Fe3+} = n_{0Fe3+} - x = 5.10^{-3} - x$

$n_{OH-} = n_{0OH-} - 3x = 7{,}5.10^{-3} - 3x$

جـ- تحليل نتيجة البيانين :

تتناقص كمية مادة كل متفاعل من قيمتيهما 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 :

$$\frac{\delta n}{\delta X} = \frac{7.5\times10^{-3} - 0}{0 - 2.5\times10^{-3}} = -3$$

ويمثل (3−) ميل البيان $n_{OH^-} = g(x)$ ويمثل في آن واحد معامل التقدم X للتفاعل في المعادلة .

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

$$\frac{\delta n}{\delta X} = \frac{5.10^{-3} - 2.5\times10^{-3}}{0 - 2.5\times10^{-3}} = -1$$

ويمثل (-1) معامل التقدم X للتفاعل في المعادلة .

و الاشارة (−) دلالة على تناقص كمية مادة المتفاعلات أثناء التحول أثناء زيادة التقدم X للتفاعل .

2/ الكأس الثانية :

أ- جدول التقدم (X) للتفاعل :

معادلة التفاعل	$Fe^{+3} + 3OH^- \rightarrow Fe(OH)_3$		
الحالة الابتدائية	$5 . 10^{-3}$	15×10^{-3}	**0**
الحالة أثناء التطور	$5 . 10^{-3} - x$	$15 \times 10^{-3} - 3x$	x
الحالة النهائية	$5 . 10^{-3} - x_f$	$15 \times 10^{-3} - 3x_f$	x_f

الملاحظ أن المتفاعلان يختفيان في آن واحد :

$$5\times10^{-3} - X_f = 0 \Rightarrow X_f = 5\times10^{-3} mol$$

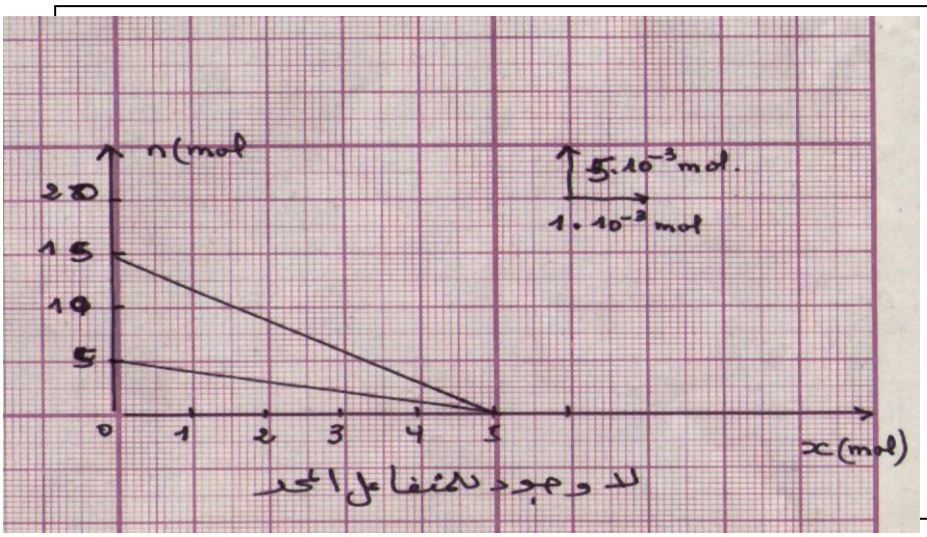
$$15.10^{-3} - 3X_f = 0 \Rightarrow X_f = 5\times10^{-3} mol$$

إذن المتفاعلات في حالة المعاملات الستكيومترية ، وتكون الحالة النهائية :

$\mathbf{n_{Fe^{+3}}}$	$\mathbf{n_{OH^-}}$	$\mathbf{n_{Fe(OH)3}}$
0	**0**	5.10^{-3}

ليس هناك متفاعل محد .

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



في الكأس الثانية:

$n_{Fe3+} = 5.10^{-3} - x$

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

جـ- تحليل نتيجة البيانين :

$n_{Fe^{+3}}=f(x)$ 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)** .

$n_{OH^-}=g(x)$ 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 الستكيومترية ، في هذه الحالة .

3/ الكأس الثالثة :

أ–جدول التقدم (x) للتفاعل :

معادلة التفاعل	$Fe^{+3}+3OH^-\rightarrow Fe(OH)_3$		
الحالة الابتدائية	$5\ .\ 10^{-3}$	22.5×10^{-3}	**0**
الحالة أثناء التطور	$5\ .\ 10^{-3}$ - x	22.5×10^{-3}- 3x	x
			x_f

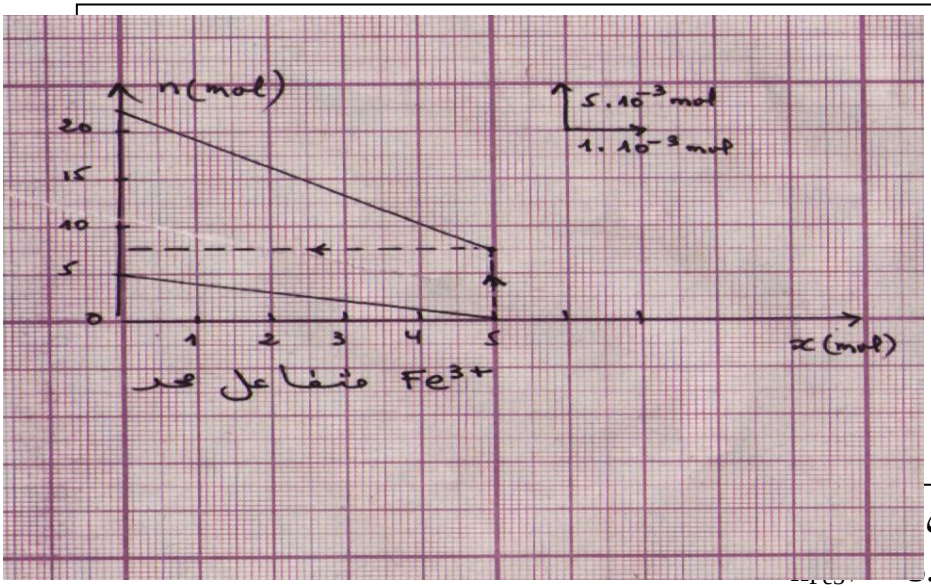
إذا اختفى OH^- أولا:

$$22.5\times10^{-3}-3X_f=0\Rightarrow X_f=7.5\times10^{-3}mol$$

وإذا اختفى Fe^{+3} أولا يكون :

$$X_f=5.10^{-3}mol$$

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



في الكأس

$.10^{-3}$ - x

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

<u>تحليل نتائج البيانين</u> :

n_{Fe+3} = f(x) بيانها عبارة عن مستقيم ميله سالب ، فهو يتناقص من القيمة 5.10^{-3} **<u>مول</u>** 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_{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 :

$$\frac{\delta n}{\delta X} = \frac{22.5\times10^{-3} - 7.5\times10^{-3}}{0 - 5\times10^{-3}} = -3$$

وتكون الحالة النهائية :

n_{Fe}^{+3}	n_{OH^-}	$n_{Fe(OH)3}$
0	**7.5×10^{-3}**	5.10^{-3}

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

تطبيق-2-

مراقبة تحول كيميائي بواسطة البالون (مقاربة 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.

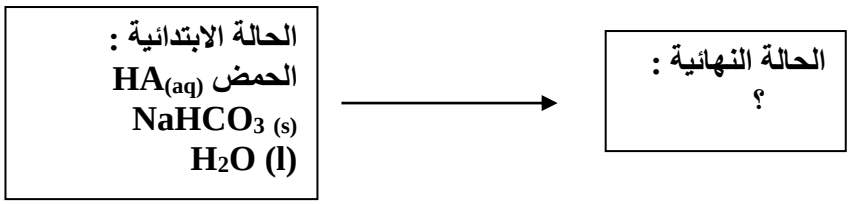
تعيين المتفاعل المحد . تعيين حصيلة المادة باستعمال جدول التقدم الوصفي لتطور الجملة . مقارنة النتائج التجريبية بالنظرية .

I - **المقاربة 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 ؟

افرغ 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 :

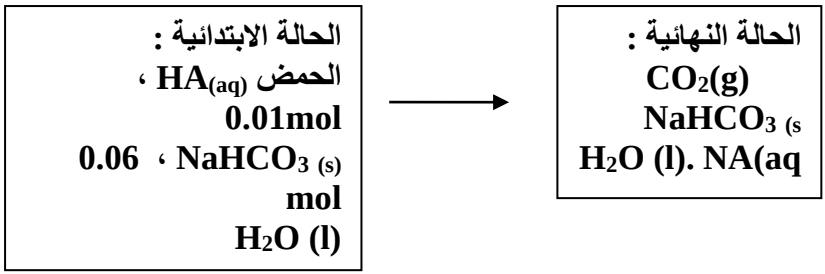
$$NaHCO_3(s)+HA(aq)\longrightarrow CO_2(g)+NaA(aq)+H_2O(l)$$

كمية المادة في الحالة الابتدائية :

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

الكتلة المولية لهيدروجينوكربونات الصوديوم هي : $84\ g.mol^{-1}$ ، ناخذ منها 5 g .

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



الجدول الوصفي للجملة أثناء التحول :

	$NaHCO_3(s)+HA(aq)\longrightarrow CO_2(g)+NaA(aq)+H_2O(l)$				
الحالة الابتدائية (mol)	0.06	0.01	0	0	*
الحالة النهائية (mol)	*	0	*	*	*

HA(aq) هو المتفاعل المحد .

*تعني وجود النوع الكيميائي .

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

الحالة الابتدائية :
الحمض $HA_{(aq)}$ ، 0.1mol
، $NaHCO_{3\,(s)}$ 0.06mol

⟶

الحالة النهائية :
؟

نفس الملاحظات السابقة ما عدا أن :

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

كمية المادة في الحالة الابتدائية :

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

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

الحالة الابتدائية :
الحمض $HA_{(aq)}$ ، 0.1mol
$NaHCO_{3\,(s)}$ ، 0.06 mol
H_2O (l)

⟶

الحالة النهائية :
$CO_2(g)$
$NaHCO_{3\,(s}$
، H_2O (l)
$NaA(aq)$

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 الانواع الكيميائية .

II – **المقاربة الكمية:**

التجربة الاولى :

الحالة الابتدائية

كمية مادة الحمض : 0.01mol

كمية مادة هيدروجينوكربونات الصوديوم : 0.06mol

الحالة النهائية

كمية الحمض : 0.0 mol يختفي نهائيا .

كمية CO_2 النهائية : من قياس قطر البالون تجريبيا ، يمكن الوصول الى أن كمية مادة الغاز هي : 0.009mol. .

	$CO_3(s) + HA(aq) \longrightarrow CO_2(g) + NaA(aq) + H_2O(l)$				
الحالة الابتدائية mol	0.06	0.01	0	0	*
الحالة النهائية mol	*	0	0.009	*	*
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	0.05	0	0.01	0.01	*

وتظهر هنا مطابقة النتائج النظرية بالتجريبية .

اثبات المعاملات الستكيومترية : من أجل **$NaHCO_{3\,(s)}$** ، و **CO_2** فان لهما نفس المعاملات (متساويان) لان كمية **CO_2** الناتج تساوي كمية **$NaHCO_3$** المختفي .