الوحدة الأولى سلطان

تطور كميات مادة المتفاعلات والنواتج خلال تحول كيميائي في محلول مائي

الدرس الأول

الكيميـــاء الحركية

1 - تعريف:

الكيمياء الحركية (أو الحركية الكيميائية) هي علم يهتم بدراسة معدّل التغيّر في سرعة التفاعلات الكيميائية والعوامل المؤثرة فيها، مثل الضغط ودرجة الحرارة والتركيز والوسائط.

يمكن لجملة كيميائية أن تتطور تحت تأثير تفاعل أو مجموعة تفاعلات كيميائية، من حالتها الابتدائية إلى حالتها النهائية، حيث يكون هذا التحوّل إما آنيا أو سريعا أو بطيئا أو بطيئا جدّا.

2 - المدة الزمنية لتحول كيميـــائي:

التحوّل الكيميائي السريع: نقول عن تحوّل كيميائي أنه سريع (لحظي) إذا كان تطوّر الجملة الكيميائية سريعا، حيث يتمّ التحوّل مباشرة بعد تلامس المتفاعلات.

التحوّل الكيميائي البطيء: نقول عن تحوّل كيميائي أنه بطيء إذا استغرق عدّة ثوان أو دقائق أو عدّة ساعات.

هناك تفاعلات تصنف على أنها تفاعلات بطيئة جدا، حيث تدوم أياما أو أشهر، وخاصة في البرودة، مثل تفاعل الأسترة العضوية.

مثال 1

ترسيب شوارد الكلور Cl^- بواسطة نترات الفضة (Ag^+, NO_3^-)، حيث أن هذا التفاعل آني، أي يحدث بمجرد تلاقي المتفاعلين $Ag^+ + Cl^- = AgCl$ (الشكل – 1).

الشكل – 1

صورة من Hatier

مثال 2

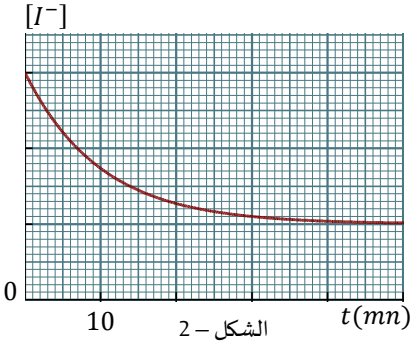
تفاعل محلول حمضي مثل (H_3O^+, Cl^-) مع محلول أساسي مثل (Na^+, HO^-) ، يحدث التفاعل التالي آنيا: $H_3O^+ + HO^- = 2H_2O$

عندما يسألونك: هل هذا التفاعل سريع أم بطيء، يجب:

- أن يقدّموا لك جدولا يحتوي على الزمن وعلى مقدار يتغير أثناء التفاعل، مثلا التركيز المولي لأحد المتفاعلات أو الناقلية النوعية للمزيج المتفاعل وسواء كان الزمن بالثواني أو الدقائق أو الساعات، يجب أن تكون إجابتك: التفاعل بطيء.

مثلا في تفاعل محلول يود البوتاسيوم (K^+, I^-) وبيروكسو ثنائي كبريتات البوتاسيوم $(2K^+, S_2O_8^{2-})$ يُعطى التركيز المولي لثنائي اليود الناتج.

$t(s)$	0	30	60	90	120	180	210	240	270	300	330	390	420	450	480
$I_2(mmol/L)$	0	45	79	114	148	203	227	248	264	273	288	306	312	315	315



الشكل – 2

تكون الإجابة: التفاعل بطيء، حيث يدوم حوالي $450\ s$.

- أن يقدّموا لك تمثيلا بيانيا يشمل على الفواصل الزمن، وعلى التراتيب أحد المقادير سابقة الذكر. مثلا في البيان (الشكل - 2) لدينا تطور التركيز المولي لشوارد اليود في تفاعل محلول يود البوتاسيوم مع الماء الأكسجيني، نقول في إجابتنا: التفاعل بطيء لأنه يدوم حوالي $40\ mn$.

3 - المتابعة الزمنية لتحوّل كيميـائي

3 - 1 - مقدار التقدم (x) في تفاعل كيميائي:

نعتبر تفاعل أكسدة الحديد Fe بواسطة ثنائي الأكسجين O_2. معادلة التفاعل هي: $3\,Fe(s) + 2\,O_2(g) = Fe_3O_4(s)$

من أجل متابعة تطور جملة كيميائية من حالتها الابتدائية إلى حالتها النهائية ننشئ جدول التقدم، حيث في هذا الجدول نستعمل مقدارا يعبّر عن تطوّر التفاعل يسمى تقدّم التفاعل (x) ويقاس بـ (mol) ، ونسمّي أكبر قيمة للتقدّم في التفاعلات التامة التقدم الأعظمي (x_m) .

مثال:

نسخّن كمية من خراطة الحديد كتلتها $m = 3g$ حتى الاحمرار وندخلها في بوتقة تحتوي على حجم قدره $V = 500\,mL$ من غاز ثنائي الأكسجين مقاسا في الشرطين النظاميين لدرجة الحرارة والضغط $V_M = 22{,}4\,L.mol^{-1}$ ، $M(Fe) = 56\,g/mol$.

جدول التقدّم:

معادلة التفاعل	$3\,Fe(s)$	$+\ 2\,O_2(g)$	$= Fe_3O_4(s)$	التقدّم
الحالة الابتدائية	$n_0(Fe)$	$n_0(O_2)$	0	0
الحالة الانتقالية	$n_0(Fe) - 3x$	$n_0(O_2) - 2x$	x	x
الحالة النهائية	$n_0(Fe) - 3x_m$	$n_0(O_2) - 2x_m$	x_m	x_m

3 - 2 - المتفاعل المحدّ:

المتفاعل المحدّ هو المتفاعل الذي تنتهي كمية مادته قبل كل المتفاعلات الأخرى، فمن أجل تحديده نحسب قيم x التي تعدم كمية مادة كل متفاعل. إنّ القيمة الأصغر لـ x تحدد المتفاعل المحدّ، وهذه القيمة هي التقدّم الأعظمي x_m .

نحسب أولا كمية مادة كل متفاعل:

$$n_0(Fe) = \frac{m}{M} = \frac{3}{56} = 0{,}053\,mol \quad ، \quad n_0(O_2) = \frac{V}{V_M} = \frac{0{,}5}{22{,}4} = 0{,}022\,mol$$

نحدّد المتفاعل المحد:

$$n_0(Fe) - 3x_m = 0 \Rightarrow x_m = \frac{0{,}053}{3} = 0{,}017\,mol \quad ، \quad n_0(O_2) - 2x_m = 0 \Rightarrow x_m = \frac{0{,}022}{2} = 0{,}011\,mol$$

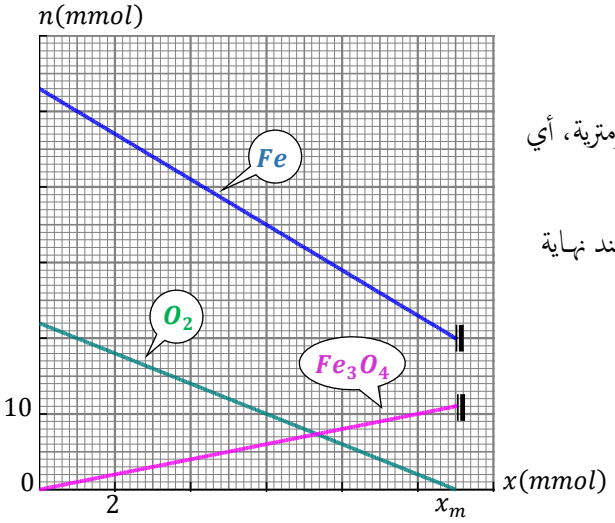
القيمة الأصغر هي $x_m = 0{,}011\,mol$ ، وبالتالي المتفاعل المحدّ هو غاز ثنائي الأكسجين، وقيمة التقدم الأعظمي هي: $x_m = 0{,}011\,mol$

عند الوصول للحالة النهائية يكون لدينا التركيب المولي للمزيج:

Fe	O_2	Fe_3O_4
$20\,mmol$	0	$11\,mmol$

وتكون عند نهاية التفاعل كمية مادة المتفاعل المحد دائما معدومة.

التمثيل البياني لتطور التفاعل $n = f(x)$: الشكل المقابل.



ملاحظة:

يمكن أن نختار كميات مادة المتفاعلين بحيث يكون المزيج في شروط ستوكيومترية، أي لا يوجد متفاعل محدّ، معناه في نهاية التفاعل ينتهي كلا المتفاعلين.

في مثالنا السابق، ما هي كتلة الحديد التي ندخلها في البوتقة حتى لا يبقى عند نهاية التفاعل لا الحديد ولا غاز ثنائي الأكسجين؟

الجواب:

لدينا $x_m = 0{,}011\,mol$

نبحث عن قيمة كمية مادة الحديد التي من أجلها يكون

$$n'(Fe) - 3x_m = 0$$

$$n'(Fe) = 3 \times 0{,}011 = 0{,}033\,mol \quad ، \quad m' = n' \times M = 0{,}033 \times 56 = 1{,}85\,g$$