أكاديمية الوريد للعلوم الفيزيائية

مراقبة تطوّر جملة كيميائية

الدرس الأول

ما يجب أن أعرفه حتى أقول: إني استوعبت هذا الدرس

1 - يجب أن أعرف أن التطوّر التلقائي لتفاعل كيميائي يحدث بدون تأثير خارجي.
2 - يجب أن أعرف أنه يحدث توازن في جملة كيميائية عندما يتواجد في المزيج النواتج والمتفاعلات بنسب ثابتة.
3 - يجب أن أعرف أن التفاعل في جملة كيميائية يتطوّر في الجهة التي تؤدّي إلى $Q_r = K$.

الدرس

1 – التنبّؤ بتطوّر جملة كيميائية

كيف يتغيّر كسر التفاعل Q_r بدلالة التقدّم x؟

في التفاعل بين حمض الإيثانويك وميثانوات الصوديوم CH_3COOH و $(Na^+, HCOO^-)$

$$CH_3COOH + HCOO^- = CH_3COO^- + HCOOH \qquad (1)$$

كسر التفاعل هو $Q_r = \frac{[CH_3COO^-][HCOOH]}{[CH_3COOH][HCOO^-]}$

حتى لا نفقد الثقة في الكيمياء !

في الحقيقة عبارة كسر التفاعل $\alpha A + \beta B = \gamma C + \lambda D$ هي $Q_r = \frac{(a_C)^\gamma \times (a_D)^\lambda}{(a_A)^\alpha \times (a_B)^\beta}$

نسمّي a_X نشاط الفرد الكيميائي X ، وهو مقدار بدون وحدة، وهذا النشاط يساوي تقريبا التركيز المولي $[X]$ للفرد الكيميائي X إذا كان المحلول ممدّدا كثيرا. بالنسبة للأجسام الصلبة يكون $a = 1$ (وليس التركيز المولي هو الذي يساوي 1)، ونفس الشيء بالنسبة للماء عندما يكون حالا. أنت لست مطالبا بهذا

نشئ جدول التقدم للتفاعل (1)، لدينا الأفراد الكيميائية الأربعة: CH_3COOH ، $HCOO^-$ ، CH_3COO^- ، $HCOOH$

كلها في نفس الحجم V الذي يمثّل حجم المزيج، وبالتالي: $Q_r = \frac{\frac{n(CH_3COO^-)}{V} \times \frac{n(HCOOH)}{V}}{\frac{n(CH_3COOH)}{V} \times \frac{n(HCOO^-)}{V}} = \frac{n(CH_3COO^-) \times n(HCOOH)}{n(CH_3COOH) \times n(HCOO^-)}$

من جدول التقدم لدينا عند اللحظة t :

CH_3COOH	+ $HCOO^-$	= CH_3COO^-	+ $HCOOH$
n_1	n_2	0	0
$n_1 - x$	$n_2 - x$	x	x
$n_1 - x_f$	$n_2 - x_f$	x_f	x_f

$n(CH_3COOH) = n_1 - x$
$n(HCOO^-) = n_2 - x$
$n(CH_3COO^-) = x$
$n(HCOO^-) = x$ ، وبالتالي:

$Q_r = \frac{x^2}{(n_1 - x) \times (n_2 - x)}$ ، أما عند نهاية التفاعل يكون $Q_{rf} = \frac{{x_f}^2}{(n_1 - x_f) \times (n_2 - x_f)}$

2 - ما هو الأمر المقصود في هذا الدرس؟

عندما نمزج المتفاعلات مع نواتجها، في أية جهة يتطوّر التفاعل؟

مثلا نشكّل المزيج التالي:

الفرد الكيميائي	CH_3COOH	$HCOO^-$	CH_3COO^-	$HCOOH$
كميّة المادة الابتدائية	1 mol	1 mol	1 mol	1 mol

في أية جهة يتطوّر التفاعل؟

نتبع ما يلي:

- نكتب المعادلة الكيميائية: $CH_3COOH + HCOO^- \underset{2}{\overset{1}{=}} CH_3COO^- + HCOOH$

نسمّي الجهة (1) الجهة المباشرة للتفاعل، أي الجهة (يسار - يمين) الموافقة للشكل الذي كتبنا به المعادلة (يمكنك أن تكتب المعادلة بالشكل العكسي وتسمي الجهة 1 الجهة المباشرة كذلك)، لكن إذا أعطيت لك المعادلة مكتوبة يجب تسمية الجهة (يسار - يمين) بالجهة المباشرة.
لا ننسى أن ثابت التوازن الموافقة للجهة (1) هو مقلوب ثابت التوازن للجهة (2).

- نحسب كسر التفاعل الابتدائي: $Q_r = \frac{[CH_3COO^-]\times[HCOOH]}{[CH_3COOH]\times[HCOO^-]} = \frac{1\times 1}{1\times 1} = 1$ (2)

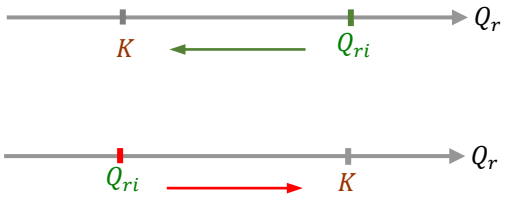
- نحسب ثابت التوازن لهذا التفاعل باحترام نفس جهة التفاعل التي حسبنا من أجلها كسر التفاعل الابتدائي، مع العلم أن:

$$pK_A(HCOOH/HCOO^-) = 3{,}8 \quad ، \quad pK_A(CH_3COOH/CH_3COO^-) = 4{,}8$$

هذا التفاعل عبارة عن تفاعل حمض - أساس: $CH_3COOH + HCOO^- = CH_3COO^- + HCOOH$ (حمض 1، حمض 2)

لدينا $K = \frac{K_{a1}}{K_{a2}} = 10^{(pK_{a2}-pK_{a1})} = 10^{(3{,}8-4{,}8)} = 0{,}1$

توصّلنا إلى أن $Q_{ri} > K$ ، وبالتالي يجب أن يشرع Q_{ri} في التناقص لحظة تشكيل المزيج، ومن أجل هذا يجب أن يزداد المقام وينقص البسط في العبارة (2)، إذن يجب أن تزداد كميتا $HCOO^-$ و CH_3COOH وتنقص كميتا $HCOOH$ و CH_3COO^- وبالتالي **يؤول التفاعل في الجهة 2** (أي الجهة غير المباشرة).



الخلاصة

إذا كان $Q_{ri} < K$ فإن الجملة تتطور في الجهة المباشرة
إذا كان $Q_{ri} > K$ فإن الجملة تتطور في الجهة غير المباشرة
إذا كان $Q_{ri} = K$ فإن الجملة لا تتطور، أي تكون في حالة التوازن

تمارين خفيفة من أجل استيعاب الدرس

التمرين 01

اكتب عبارة كسر التفاعل للتفاعلات التالية:

1 - $NNH_3 + H_2O = NH_4^+ + HO^-$

2 - $CH_3COOH + HO^- = CH_3COO^- + H_2O$

3 - $CO_2 + H_2O = HCO_3^- + H_3O^+$

4 - $S_2O_8^{2-} + 2F_e^{2+} = 2F_e^{3+} + 2SO_4^{2-}$

التمرين 02

نضع في بيشر $V_1 = 40\ mL$ من نترات الفضة (Ag^+, NO_3^-) ذات التركيز المولي $C_1 = 2\times 10^{-2}\ mol/L$.
نضيف لهذا المحلول كمية كتلتها $m = 3\ g$ من خراطة النحاس. نلاحظ تلوّن المحلول بالأزرق دلالة على تشكّل شوارد النحاس II.

1 - اكتب معادلة التفاعل.

2 - اكتب عبارة كسر التفاعل Q_r ، ثم احسب Q_{ri} .

3 - احسب قيمة كسر التفاعل عندما تنقص كمية النحاس بالقيمة $12{,}7\ mg$.

التمرين 03

محلول مائي حجمه V يتكوّن من: $1mmol$ من حمض الميثانويك $HCOOH$ ، $2\ mmol$ من إيثانوات الصوديوم (Na^+, CH_3COO^-)
$1\ mmol$ من ميثانوات الصوديوم $(Na^+, HCOO^-)$ ، $1\ mmol$ من حمض الإثانويك CH_3COOH

1 - اكتب معادلة التفاعل بين حمض الإيثانويك وميثانوات الصوديوم.

2 - احسب ثابت توازن هذا التفاعل.

3 - احسب كسر التفاعل الابتدائي، واستنتج جهة تطوّر التفاعل.

$pK_A(CH_3COOH/CH_3COO^-) = 4,8$ ، $pK_A(HCOOH/HCOO^-) = 3,8$

التمرين 04

يتألف محلول مائي مما يلي:

المركب	الحجم (mL)	التركيز المولي (mol/L)
حمض الميثانويك	$V_1 = 20$	$C_1 = 0,02$
ميثانوات الصوديوم	$V_2 = 25$	$C_2 = 0,03$
كلور الميثيل أمونيوم $(CH_3NH_3^+, Cl^-)$	$V_3 = 30$	$C_3 = 0,02$
الميثان أمين (CH_3NH_2)	$V_4 = 25$	$C_4 = 0,03$

يتفاعل حمض الميثانويك مع الميثان أمين.

1 - اكتب معادلة التفاعل.

2 - احسب ثابت توازن التفاعل.

3 - احسب Q_{ri}

4 - أنشئ جدول تقدم التفاعل.

5 - احسب نسبة التقدّم النهائي.

6 - احسب pH المزيج عند التوازن.

$pK_a(HCOOH/HCOO^-) = 3,75$ ، $pK_a(CH_3NH_3^+/CH_3NH_2) = 10,72$

حلول التمارين

التمرين 01

1 - $Q_r = \frac{[NH_4^+][HO^-]}{[NH_3]}$ ، 2 - $Q_r = \frac{[CH_3COO^-]}{[CH_3COOH][HO^-]}$

3 - $Q_r = \frac{[HCO_3^-][H_3O^+]}{[CO_2(aq)]}$ ، 4 - $Q_r = \frac{[SO_4^{2-}][Fe^{3+}]^2}{[S_2O_8^{2-}][Fe^{2+}]^2}$

ملاحظة: نكتب صيغة حمض الكربون H_2CO_3 في الماء بالشكل (H_2O, CO_2).

التمرين 02

1 - معادلة التفاعل:

المعادلتان النصفيتان للأكسدة - إرجاع هما: $Cu = Cu^{2+} + 2e^-$ ، $2Ag^+ + 2e^- = 2Ag$

وبجمع المعادلتين نجد معادلة الأكسدة - إرجاع: $Cu + 2Ag^+ = Cu^{2+} + 2Ag$

2 - عبارة كسر التفاعل : $Q_r = \frac{[Cu^{2+}]}{[Ag^+]^2}$ ، $Q_{ri} = \frac{0}{[Ag^+]^2} = 0$ (لا توجد شوارد Cu^{2+} قبل بدء التفاعل)

3 - كمية مادة النحاس الابتدائية: $n(Cu) = \frac{3}{63,5} = 4,7 \times 10^{-2}\, mol$

كمية مادة نترات الفضة الابتدائية: $n(AgNO_3) = n(Ag^+) = C_1V_1 = 2 \times 10^{-2} \times 40 \times 10^{-3} = 8 \times 10^{-4}\, mol$

جدول تقدّم التفاعل:

Cu	+	$2Ag^+$	=	Cu^{2+}	+	$2Ag$
4×10^{-2}		8×10^{-4}		0		0
$4 \times 10^{-2} - x$		$8 \times 10^{-4} - 2x$		x		$2x$
$4 \times 10^{-2} - x_f$		$8 \times 10^{-4} - 2x_f$		x_f		$2x_f$

كمية مادة النحاس المتفاعلة هي $n(Cu) = \frac{12,7 \times 10^{-3}}{63,5} = 2 \times 10^{-4} mol$

وهذه الكمية هي قيمة x عند تلك اللحظة.

وبالتالي تكون قيمة كسر التفاعل: $Q_r = \frac{x}{(8\times10^{-4}-2x)} = \frac{2\times10^{-4}}{4\times10^{-4}} = 0,5$

التمرين 03

1 - معادلة التفاعل: $CH_3COOH + HCOO^- = CH_3COO^- + HCOOH$ (1)
حمض 1

2 - ثابت التوازن $K = \frac{[CH_3COO^-][HCOOH]}{[CH_3COOH][HCOO^-]} = \frac{K_{a1}}{K_{a2}} = 10^{(pK_{a2}-pK_{a1})} = 10^{(3,8-4,8)} = 0,1$

3 - كسر التفاعل الابتدائي: $Q_{ri} = \frac{[CH_3COO^-][HCOOH]}{[CH_3COOH][HCOO^-]} = \frac{2\times1}{1\times1} = 2$

لدينا $Q_{ri} > K$ ، فلكي يؤول Q_{ri} نحو K يجب أن يزداد مقام عبارة Q_{ri} وينقص البسط، أي يزداد تركيزا كل من CH_3COOH و $HCOO^-$ وينقص تركيزا كل من CH_3COO^- و $HCOOH$ ، وبالتالي ينزاح التفاعل نحو اليسار في المعادلة (1).

التمرين 04

1 - معادلة التفاعل: $CH_3NH_2 + HCOOH = CH_3NH_3^+ + HCOO^-$
حمض 1

2 - ثابت التوازن: $K = \frac{[CH_3NH_3^+][HCOO^-]}{[CH_3NH_2][HCOOH]} = \frac{K_{a1}}{K_{a2}} = 10^{(pK_{a2}-pK_{a1})} = 10^{(10,72-3,75)} = 9,3\times10^6$

3 - $Q_{ri} = \frac{[CH_3NH_3^+][HCOO^-]}{[CH_3NH_2][HCOOH]} = \frac{\frac{C_2V_2}{V_T}\times\frac{C_3V_3}{V_T}}{\frac{C_4V_4}{V_T}\times\frac{C_1V_1}{V_T}} = \frac{3\times10^{-2}\times25\times2\times10^{-2}\times30}{3\times10^{-2}\times25\times2\times10^{-2}\times20} = 1,5$

4 - جدول التقدّم: لدينا كمية المادة لكل فرد كيميائي هي $n = CV$

بما أن $Q_{ri} < K$ إذن التفاعل يؤول في الجهة المباشرة (نحو اليمين)، أي الجهة التي حسبنا من أجلها K . وبالتالي ننقص x من اليسار ونضيفها لجهة اليمين.

CH_3NH_2	+	$HCOOH$	=	$CH_3NH_3^+$	+	$HCOO^-$
$7,5\times10^{-4}$		4×10^{-4}		6×10^{-4}		$7,5\times10^{-4}$
$7,5\times10^{-2}-x$		$4\times10^{-4}-x$		$6\times10^{-4}+x$		$7,5\times10^{-2}+x$
$7,5\times10^{-2}-x_f$		$4\times10^{-4}-x_f$		$6\times10^{-4}+x_f$		$7,5\times10^{-2}+x_f$
$7,5\times10^{-2}-x_m$		$4\times10^{-4}-x_m$		$6\times10^{-4}+x_m$		$7,5\times10^{-2}+x_m$

السطر الأخير في الجدول: وضعناه باعتبار التفاعل تاما.

التقدم الأعظمي هو $x_m = 4\times10^{-4}$

5 - من أجل حساب x_f نقوم بحل المعادلة $\frac{(6\times10^{-4}+x_f)\times(7,5\times10^{-2}+x_f)}{(7,5\times10^{-2}-x_f)\times(4\times10^{-4}-x_f)} = 9,3\times10^6$

بإهمال بعض الأعداد الصغيرة جدا أما البعض الآخر نحصل على حلّين لهذه المعادلة من الدرجة الثانية.

الحلان هما: $x_{f1} = 7,5\times10^{-4}\,mol$ ، $x_{f2} = 4\times10^{-4}\,mol$

نرفض الحل $x_{f1} = 7,5\times10^{-4}$ لأنه أكبر من التقدّم الأعظمي، وبالتالي تكون نسبة التقدم النهائي $\tau = \frac{x_{f2}}{x_m} = \frac{4\times10^{-4}}{4\times10^{-4}} = 1$

6 - من أجل حساب pH المحلول نستعمل العلاقة $pH = pK_{a2} + Log\frac{[CH_3NH_2]}{[CH_3NH_3^+]}$ ، حيث لدينا من جدول التقدّم:

$$[CH_3NH_2] = (7,5-4)\times10^{-4} = 3,5\times10^{-4}\,mol.L^{-1}$$

$$[CH_3NH_3^+] = (6+4)\times10^{-4} = 1,0\times10^{-3}\,mol.L^{-1}$$

وبالتالي $pH = 10,72 + Log\frac{3,5\times10^{-4}}{10^{-3}} = 10,2$