

ما يجب أن أعرفه حتى أقول : إنني 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 يتطور في الجهة التي تؤدي إلى $Q_r = K$.

الدرس

1 - التنبؤ بتطور جملة كيميائية

كيف يتغير كسر التفاعل Q_r بدلالة التقدم x ؟

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



$$Q_r = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{HCOOH}]}{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{HCOO}^-]} \quad \text{كسر التفاعل هو}$$

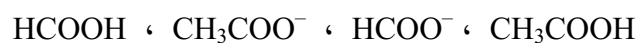
حتى لا نفقد الثقة في الكيمياء !

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

نسمي a_X نشاط الفرد الكيميائي X ، وهو مقدار بدون وحدة ، وهذا النشاط يساوي تقريبا التركيز المولي $[X]$ للفرد الكيميائي X . إذا كان المحلول ممددا 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

ننشئ جدول التقدم للتفاعل (1)

لدينا الأفراد الكيميائية الأربعة :



كلها في نفس الحجم V الذي يمثل حجم المزيج ، وبالتالي :

$$Q_r = \frac{\frac{n_{\text{CH}_3\text{COO}^-}}{V} \times \frac{n_{\text{HCOOH}}}{V}}{\frac{n_{\text{CH}_3\text{COOH}}}{V} \times \frac{n_{\text{HCOO}^-}}{V}} = \frac{n_{\text{CH}_3\text{COO}^-} \times n_{\text{HCOOH}}}{n_{\text{CH}_3\text{COOH}} \times n_{\text{HCOO}^-}}$$

من جدول التقدم لدينا في اللحظة t : $n_{\text{CH}_3\text{COOH}} = n_1 - x$ ، $n_{\text{HCOO}^-} = n_2 - x$ ، $n_{\text{CH}_3\text{COO}^-} = x$ ، $n_{\text{HCOOH}} = x$ ، وبالتالي

$$Q_{rf} = \frac{x_f^2}{(n_1 - x_f)(n_2 - x_f)} \quad \text{أما في نهاية التفاعل يكون} \quad Q_r = \frac{x^2}{(n_1 - x)(n_2 - x)}$$

2 - ما هو الشيء المهم في هذا الدرس ؟

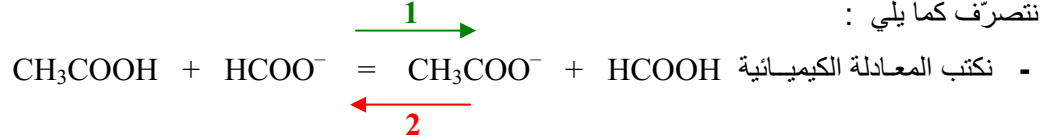
عندما نمزج المتفاعلات مع نواتجها ، في أية جهة يتطور التفاعل ؟

مثلا نشكل المزيج التالي :

الفرد الكيميائي	CH ₃ COOH	HCOO ⁻	CH ₃ COO ⁻	HCOOH
كمية المادة الابتدائية	1 mol	1 mol	1 mol	1 mol

في أية جهة يتطور التفاعل ؟

نتصرف كما يلي :



نسَمي 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 .

$$(1) \quad Q_r = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{HCOOH}]}{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{HCOO}^-]} = \frac{1 \times 1}{1 \times 1} = 1$$

- نحسب كسر التفاعل الابتدائي :

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

$$pK_A(\text{HCOOH} / \text{HCOO}^-) = 3,8 \quad , \quad pK_A(\text{CH}_3\text{COOH} / \text{CH}_3\text{COO}^-) = 4,8$$

$$\text{CH}_3\text{COOH} + \text{HCOO}^- \xrightleftharpoons[\text{حمض 2}]{\text{حمض 1}} \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{HCOOH}$$

$$K = \frac{K_{A1}}{K_{A2}} = 10^{pK_{A2} - pK_{A1}} = 10^{3,8 - 4,8} = 0,1$$

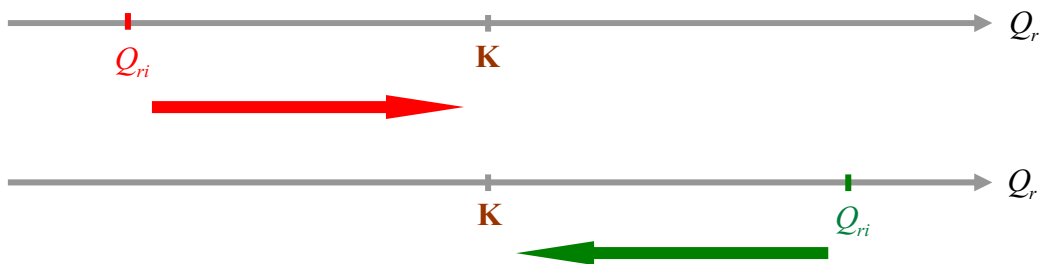
لدينا

توصلنا إلى أن $Q_r > K$ ، وبالتالي يجب أن يشرع Q_r في التناقص لحظة تشكيل المزيج ، ومن أجل هذا يجب أن يزداد المقام وينقص

البسط في العبارة (1) ، 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

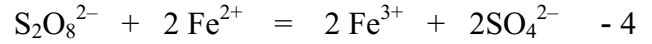
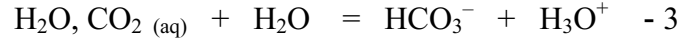
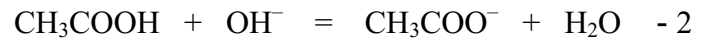
إذا كان $Q_r < K$ فإن الجملة تتطور في الجهة المباشرة
 إذا كان $Q_r > K$ فإن الجملة تتطور في الجهة غير المباشرة
 إذا كان $Q_r = K$ فإن الجملة لا تتطور ، أي تكون في حالة التوازن



تمارين خفيفة من أجل استيعاب الدرس

التمرين 01

اكتب عبارة كسر التفاعل للتفاعلات التالية :



التمرين 02

نضع في بيشر $V_1 = 40 \text{ mL}$ من نترات الفضة ($\text{Ag}^+, \text{NO}_3^-$) ذات التركيز المولي $C_1 = 2 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$.

نضيف لهذا المحلول كمية كتلتها $m = 3 \text{ g}$ من خراطة النحاس . نلاحظ تلون المحلول بالأزرق دلالة على تشكل 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 بـ $12,7 \text{ mg}$.

التمرين 03

محلول مائي حجمه V يتكوّن من :

- 1 mmol من حمض الميثانويك HCOOH

- 2 mmol من إيثانوات الصوديوم ($\text{CH}_3\text{COO}^-, \text{Na}^+$)

- 1 mmol من ميثانوات الصوديوم ($\text{HCOO}^-, \text{Na}^+$)

- 1 mmol من حمض الإيثانويك 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 .

$$pK_A(\text{HCOOH} / \text{HCOO}^-) = 3,8 \quad , \quad pK_A(\text{CH}_3\text{COOH} / \text{CH}_3\text{COO}^-) = 4,8$$

التمرين 04

يتألف محلول مائي مما يلي :

المركب	الحجم (mL)	التركيز المولي (mol.L^{-1})
حمض الميثانويك	$V_1 = 20$	$C_1 = 2 \times 10^{-2}$
ميثانوات الصوديوم	$V_2 = 25$	$C_2 = 3 \times 10^{-2}$
كلور الميثيل أمونيوم ($\text{CH}_3\text{NH}_3^+, \text{Cl}^-$)	$V_3 = 30$	$C_3 = 2 \times 10^{-2}$
الميثان أمين (CH_3NH_2)	$V_4 = 25$	$C_4 = 3 \times 10^{-2}$

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 قيمة 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

$$Q_r = \frac{[CH_3COO^-]}{[CH_3COOH][OH^-]} \quad -2 \quad , \quad Q_r = \frac{[NH_4^+][OH^-]}{[NH_3]} \quad -1$$

$$Q_r = \frac{[SO_4^{2-}][Fe^{3+}]^2}{[S_2O_8^{2-}][Fe^{2+}]^2} \quad -4 \quad , \quad Q_r = \frac{[HCO_3^-][H_3O^+]}{[H_2O, CO_2]} \quad -3$$

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 : $Cu(s) = Cu^{2+}(aq) + 2e^-$



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

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

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

$$\text{كمية مادة نترات الفضة الابتدائية : } n_{AgNO_3} = n_{Ag^+} = C_1 V_1 = 2 \times 10^{-2} \times 40 \times 10^{-3} = 8 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

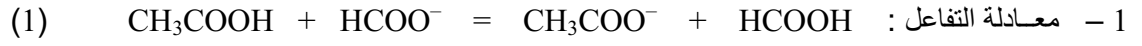
جدول تقدّم التفاعل :

$Cu(s) + 2Ag^+(aq) = Cu^{2+}(aq) + 2Ag(s)$			
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 $n'_{Cu} = \frac{12,7 \times 10^{-3}}{63,5} = 2 \times 10^{-4} \text{ mol}$ ، وهذه الكمية هي قيمة x في تلك اللحظة .

$$\text{وبالتالي تكون قيمة كسر التفاعل : } Q_r = \frac{x}{(8 \times 10^{-4} - 2x)^2} = 50$$

التمرين 03



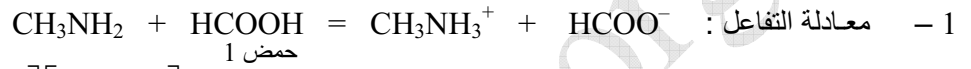
حمض 1

2 - ثابت التوازن : $K = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{HCOOH}]}{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{HCOO}^-]} = \frac{K_{A1}}{K_{A2}} = 10^{pK_{A2}-pK_{A1}} = 10^{3,8-4,8} = 0,1$

3 - كسر التفاعل الابتدائي : $Q_{ri} = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{HCOOH}]}{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{HCOO}^-]} = \frac{2 \times 1}{1 \times 1} = 2$

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



حمض 1

2 - ثابت التوازن : $K = \frac{[\text{CH}_3\text{NH}_3^+][\text{HCOO}^-]}{[\text{CH}_3\text{NH}_2][\text{HCOOH}]} = \frac{K_{A1}}{K_{A2}} = 10^{pK_{A2}-pK_{A1}} = 10^{10,72-3,75} = 9,3 \times 10^6$

3 - $Q_{ri} = \frac{[\text{CH}_3\text{NH}_3^+][\text{HCOO}^-]}{[\text{CH}_3\text{NH}_2][\text{HCOOH}]} = \frac{\frac{C_2V_2}{V_T} \times \frac{C_3V_3}{V_T}}{\frac{C_4V_4}{V_T} \times \frac{C_1V_1}{V_T}} = \frac{3 \times 10^{-2} \times 25 \times 2 \times 10^{-2} \times 30}{3 \times 10^{-2} \times 25 \times 2 \times 10^{-2} \times 20} = 1,5$

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 لليمين .

$\text{CH}_3\text{NH}_2 + \text{HCOOH} = \text{CH}_3\text{NH}_3^+ + \text{HCOO}^-$			
$7,5 \times 10^{-4}$	4×10^{-4}	6×10^{-4}	$7,5 \times 10^{-4}$
$7,5 \times 10^{-2} - x$	$4 \times 10^{-4} - x$	$6 \times 10^{-4} + x$	$7,5 \times 10^{-2} + x$
$7,5 \times 10^{-2} - x_f$	$4 \times 10^{-4} - x_f$	$6 \times 10^{-4} + x_f$	$7,5 \times 10^{-2} + x_f$
$7,5 \times 10^{-2} - x_m$	$4 \times 10^{-4} - x_m$	$6 \times 10^{-4} + x_f$	$7,5 \times 10^{-2} + x_m$

التقدم الأعظمي هو $x_m = 4 \times 10^{-4}$

من أجل حساب x_f نقوم بحل المعادلة $\frac{(6 \times 10^{-4} + x_f) \times (7,5 \times 10^{-2} + x_f)}{(7,5 \times 10^{-2} - x_f) \times (4 \times 10^{-4} - x_f)} = 9,3 \times 10^6$

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

الحلان هما : $x_{f1} = 7,5 \times 10^{-4}$ ، $x_{f2} = 4 \times 10^{-4}$

نرفض الحل $x_{f1} = 7,5 \times 10^{-4}$ لأنه أكبر من التقدم الأعظمي ، وبالتالي تكون نسبة التقدم النهائي $\tau = \frac{x_{f2}}{x_m} = \frac{4 \times 10^{-4}}{4 \times 10^{-4}} = 1$

من أجل حساب pH المحلول نستعمل العلاقة $pH = pK_{A2} + \text{Log} \frac{[CH_3NH_2]}{[CH_3NH_3^+]}$ ، لا نستعمل الثنائية الأخرى لأن الحمض فيها هو

المتفاعل المحد (غير موجود في نهاية التفاعل)

لدينا من جدول التقدّم :

$$[CH_3NH_2] = (7,5 - 4) \times 10^{-4} = 3,5 \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$$

$$pH = 10,72 + \text{Log} \frac{3,5 \times 10^{-4}}{10^{-3}} = 10,2 \quad \text{وبالتالي} \quad , \quad [CH_3NH_3^+] = (6 + 4) \times 10^{-4} = 1,0 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$$

www.guezouri.org