

حالة التوازن لمجموعة كيميائية

I . خارج التفاعل

نعتبر مجموعة كيميائية في محلول مائي خاضعة لتحول كيميائي معادلته:



تعريف

في حالة ما للمجموعة يعرف خارج التفاعل بالكسر التالي:

$$Q_r = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b}$$

مع الاصطلاحات التالية:

- ✓ في تعبير Q_r لا نمثل سوى الأنواع الكيميائية المذابة في المحلول و لا نعتبر الأنواع الصلبة أو الرواسب أو الغازات غير المذابة في المحلول.
- ✓ التراكيز معبر عنها بالوحدة $\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ لكن نعتبر Q_r عددا بدون وحدة.
- ✓ في حالة تدخل الماء (الذي هو المذيب) كمتفاعل أو كنتاج، لا نعتبر تركيزه ضمن تعبير Q_r .

• أمثلة:

خارج التفاعل	معادلة التفاعل
$Q_r = \frac{[\text{CH}_3\text{CO}_2^-] \cdot [\text{NH}_4^+]}{[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}] \cdot [\text{NH}_3]}$	$\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}_{(aq)} + \text{NH}_{3(aq)} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{CO}_2^-(aq) + \text{NH}_4^+(aq)$
$Q_r = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{CH}_3\text{CO}_2^-]}{[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}]}$	$\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}_{(aq)} + \text{H}_2\text{O}_{(aq)} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+(aq) + \text{CH}_3\text{CO}_2^-(aq)$
$Q_r = \frac{[\text{I}_2] \cdot [\text{SO}_4^{2-}]^2}{[\text{I}^-]^2 \cdot [\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]}$	$2\text{I}^-(aq) + \text{S}_2\text{O}_8^{2-}(aq) \rightleftharpoons \text{I}_{2(aq)} + 2\text{SO}_4^{2-}(aq)$
$Q_r = \frac{[\text{Zn}^{2+}]}{[\text{Cu}^{2+}]}$	$\text{Zn}_{(s)} + \text{Cu}^{2+}(aq) \rightleftharpoons \text{Zn}^{2+}(aq) + \text{Cu}_{(s)}$

في المعادلة الكيميائية يشار إلى الحالة الفيزيائية لمكونات المجموعة:

(aq) : مميّه (l) : سائل (s) : صلب (g) : غاز

• يميز خارج التفاعل حالة المجموعة الكيميائية و يتعلق بتقديم التفاعل.

II . ثابتة التوازن

• تعريف ثابتة التوازن

تتغير قيمة خارج التفاعل خلال تطور المجموعة من قيمته البدئية Q_r إلى أن تستقر على قيمة ثابتة $Q_{r_{eq}}$ عند بلوغ المجموعة حالة التوازن .

ثابتة التوازن المقرونة بمعادلة تفاعل كيميائي تساوي القيمة التي يأخذها خارج التفاعل عند حالة التوازن للمجموعة الكيميائية:

$$K = Q_{r_{eq}}$$

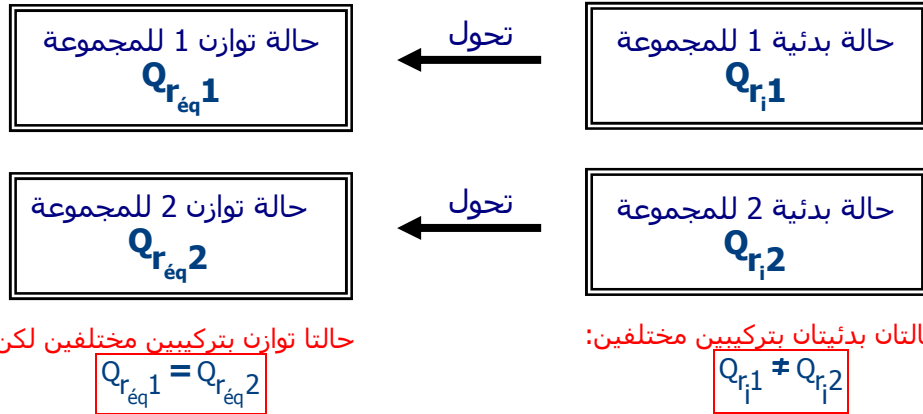
تعريف

إذا كان: $K > 1.10^4$ يعتبر التحول كليا.



• خاصيات

- تتعلق ثابتة التوازن K بمعادلة التفاعل،
- تتعلق ثابتة التوازن K بدرجة الحرارة للخليط التفاعلي،
- لا تتعلق ثابتة التوازن K بالتركيب البدئي للمجموعة الكيميائية.



• تحديد ثابتة التوازن بقياس الموصلية

• تذكير:

يعبر عن موصلية جزء من محلول مائي أيوني بالعلاقة التالية:

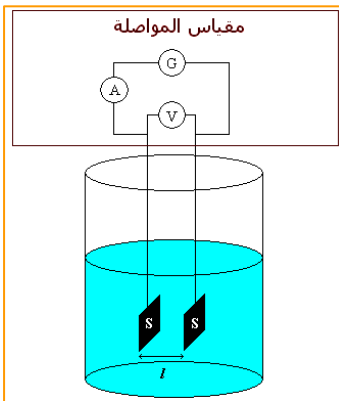
$$G = \sigma \cdot \frac{S}{L}$$

بالنسبة لخلية مقياس الموصلية S تمثل مساحة صفيحة الخلية و L المسافة بين الصفيحتين و σ بالنسبة للمحلول تمثل موصليته.

يمكن كتابة هذه العلاقة على الشكل التالي: $\sigma = k \cdot G$ حيث

$$k = \frac{L}{S} \text{ ثابتة تميز الخلية.}$$

موصلية محلول مائي أيوني تتعلق بنوعية الأيونات و بتركيزها حسب العلاقة التالية:



$$\sigma = \sum \lambda_i [X_i]$$

λ_i تمثل الموصلية المولية الأيونية لأيون و $[X_i]$ تركيزه المولي في المحلول.

الوحدات:

$$\begin{aligned} G & (\text{J}) \\ \sigma & (\text{S.m}^{-1}) \\ [X_i] & (\text{mol.m}^{-3}) \\ \lambda_i & (\text{S.m}^2.\text{mol}^{-1}) \end{aligned}$$

مبدأ الطريقة:

قياس موصلية المحلول عند حالة التوازن يمكن من تحديد تراكيز الأيونات ثم تقدم التفاعل ومنه نستنتج تراكيز باقي الأنواع الكيميائية الأخرى عند حالة التوازن. و بالتالي يمكن تحديد خارج التفاعل عند حالة التوازن.

مثال:

نعتبر تفاعل حمض الإيثانويك مع الماء الذي معادلته:



ننشئ جدول تقدم هذا التفاعل:

معادلة التفاعل			
$\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_3\text{O}^+$			
c.V	وافرة	0	0
c.V - x	وافرة	x	x
c.V - x _{éq}	وافرة	x _{éq}	x _{éq}

$$Q_{\text{réq}} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}} \cdot [\text{CH}_3\text{CO}_2^-]_{\text{éq}}}{[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}]_{\text{éq}}}$$

تعبير خارج التفاعل عند حالة التوازن:

$$\sigma = \lambda(\text{H}_3\text{O}^+) \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}} + \lambda(\text{CH}_3\text{COO}^-) \cdot [\text{CH}_3\text{COO}^-]_{\text{éq}}$$

تعبير موصلية المحلول:

$$[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}} = [\text{CH}_3\text{CO}_2^-]_{\text{éq}} = \frac{x_{\text{éq}}}{V}$$

باعتبار الجدول الوصفي:

$$[\text{CH}_3\text{COOH}]_{\text{éq}} = c - \frac{x_{\text{éq}}}{V}$$

و

$$[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}} = [\text{CH}_3\text{COO}^-]_{\text{éq}} = \frac{\sigma}{\lambda(\text{H}_3\text{O}^+) + \lambda(\text{CH}_3\text{COO}^-)}$$

نستنتج:

$$[\text{CH}_3\text{COOH}]_{\text{éq}} = c - \frac{\sigma}{\lambda(\text{H}_3\text{O}^+) + \lambda(\text{CH}_3\text{COO}^-)}$$

و

يرمز للتراكيز المولية عند التوازن بالرمز التالي: $[X]_{\text{éq}}$

يجوز أيضا استعمال الرمز: $[X]_f$

لأن الحالة النهائية للمجموعة هي حالة التوازن.

III. العوامل المؤثرة على نسبة التقدم النهائي لتفاعل كيميائي

تتعلق نسبة التقدم النهائي $\tau = \frac{X_{\text{éq}}}{X_{\text{max}}}$ بالعاملين التاليين:

خاصية

✓ ثابتة التوازن الموافقة لمعادلة التفاعل،

✓ التركيب البدئي للمجموعة الكيميائية.

تمارين

التمرين 1

أعطى قياس pH محلول مائي لحمض HA تركيزه $c = 2,8 \cdot 10^{-2} \text{ mol.l}^{-1}$ و حجمه $V = 100 \text{ ml}$ النتيجة التالية: $\text{pH} = 2,8$.

- 1- أحسب قيمة تقدم التفاعل عند التوازن.
- 2- أحسب التراكيز المولية لمكونات المجموعة ثم استنتج قيمة ثابتة التوازن.
- 3- ما قيمة ثابتة التوازن بالنسبة لمحلول تركيزه $c' = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.l}^{-1}$ ؟

التمرين 2

يتفاعل $0,1 \text{ mol}$ من حمض الميثانويك HCOOH مع $0,1 \text{ mol}$ من بروبانوات الصوديوم. يمثل أيون البروبانوات القاعدة المرافقة لحمض البروبانويك $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$.

- 1- أكتب معادلة التفاعل.
- 2- أكتب تعبير خارج التفاعل و تعبير ثابتة التوازن.
- 3- عبر عن ثابتة التوازن بدلالة التقدم النهائي للتفاعل.
- 4- علما أن نسبة التقدم النهائي للتفاعل تساوي 76 %، أحسب ثابتة التوازن.

التمرين 3

أعطى قياس مواصلة جزء من محلول مائي لحمض البنزويك $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ تركيزه $c = 5,00 \cdot 10^{-3} \text{ mol.l}^{-1}$ النتيجة التالية

$G = 1,60 \cdot 10^{-4} \text{ S}$. ثابتة خلية مقياس المواصلة تساوي $k = 150 \text{ m}^{-1}$.

- 1- أكتب معادلة تفاعل حمض البنزويك مع الماء.
 - 2- أحسب تراكيز الأنواع الكيميائية في المحلول.
 - 3- أحسب ثابتة التوازن المقرونة بمعادلة هذا التفاعل.
- معطيات: $\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} = 35,0 \text{ mS.m}^2.\text{mol}^{-1}$ و $\lambda_{\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-} = 3,24 \text{ mS.m}^2.\text{mol}^{-1}$

التمرين 4

لمحلول مائي لحمض الفلوريدريك HF تركيزه $c = 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.l}^{-1}$: $\text{pH} = 2,5$. نعتبر الحجم $V = 500 \text{ ml}$ من هذا المحلول.

- 1- أكتب معادلة تفاعل حمض الفلوريدريك مع الماء.
- 2- أنشئ الجدول الوصفي لتقدم التفاعل.
- 3- حدد التركيب المولي للمجموعة الكيميائية في اللحظة التي يكون فيها تقدم التفاعل هو $x = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$.
- 4- حدد خارج التفاعل في نفس اللحظة.
- 5- أحسب ثابتة التوازن.
- 6- هل المجموعة في حالة توازن عندما يكون $x = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$ ؟ علل جوابك.