حالة توازن مجموعة كيميائية
Etat d'équilibre d'un système chimique

I ـ خارج التفاعل: Quotient de réaction

1 ـ تعريف

نعتبر التفاعل المحدود المعبر عنه بالمعادلة: $\alpha A_{aq} + \beta B_{aq} \rightleftharpoons \gamma C_{aq} + \delta D_{aq}$

حيث توجد المتفاعلات والنواتج في محلول مائي.

نسمي خارج التفاعل Q_r في حالة معينة، المقدار المعبر عنه بالعلاقة: $Q_r = \dfrac{[C]^{\gamma}.[D]^{\delta}}{[A]^{\alpha}.[B]^{\beta}}$

يمثل $[A],[B],[C],[D]$ تراكيز الأنواع D, C, B, A وحدتها $mo\ell.\ell^{-1}$.

Q_r : مقدار بدون وحدة.

2 ـ أمثلة في حالة وسط متجانس

المحلول المائي خليط متجانس، يلعب فيه الماء دور مذيب. ونأخذ $[H_2O]=1$ في تعبير خارج التفاعل.

❖ تفاعل حمض ـ قاعدة: $CH_3CO_2H_{aq} + H_2O_{(\ell)} \rightleftharpoons CH_3CO_{2aq}^- + H_3O_{aq}^+$

$$Q_r = \frac{[CH_3CO_2^-].[H_3O^+]}{[CH_3CO_2H]}$$

❖ تفاعل أكسدة ـ اختزال: $I_{2aq} + 2S_2O_{3aq}^{2-} \rightleftharpoons 2I_{aq}^- + S_4O_{6aq}^{2-}$

$$Q_r = \frac{[I^-]^2.[S_4O_6^{2-}]}{[I_2].[S_2O_3^{2-}]^2}$$

3 ـ أمثلة في حالة وسط غير متجانس: وجود أجسام صلبة

بالنسبة لتركيز جسم صلب X في محلول، نأخذ $[X]=1$.

❖ معادلة أكسدة فلز الزنك Zn بواسطة أيونات النحاس II: $Zn_{(S)} + Cu_{aq}^{2+} \rightleftharpoons Zn_{aq}^{2+} + Cu_{(S)}$

$$[Zn]=1, \quad [Cu]=1$$

$$Q_r = \frac{[Zn^{2+}]}{[Cu^{2+}]}$$

❖ معادلة تفاعل الترسب: $Fe_{aq}^{3+} + 3HO_{aq}^- \rightleftharpoons Fe(OH)_{3(S)}$

$$[Fe(OH)_3]=1$$

$$Q_r = \frac{1}{[Fe^{3+}].[HO^-]^3}$$

4 ـ خارج التفاعل عند حالة التوازن: $Q_{r,éq}$

أ ـ تعريف

نسمي خارج التفاعل عند التوازن $Q_{r,éq}$ القيمة التي يأخذها خارج التفاعل عندما يتحقق توازن المجموعة الكيميائية.

ب ـ نشاط تجريبي: تحديد قيمة خارج التفاعل بقياس المواصلة.

نغمر خلية قياس المواصلة في حجم V لمحلول (S) لحمض الإيثانويك تركيزه $C = 5.10^{-2} mo\ell.L^{-1}$ ، فنجد أن قيمة موصلية هذا المحلول، عند 25°C هي: $\sigma = 343 \mu S.cm^{-1}$.

استثمار:

1 ـ حدد في حالة التوازن، التراكيز المولية الفعلية للأنواع الكيميائية المذابة.

عند درجة الحرارة 25°C : $\lambda_{H_3O^+} = 35,0 mS.m^2.mo_{\ell}^{-1}$

$\lambda_{CH_3COO^-} = 4,09 mS.m^2.mo_{\ell}^{-1}$

2 ـ استنتج قيمة خارج التفاعل $Q_{r,éq}$ ، عند التوازن. هل يتعلق $Q_{r,éq}$ بالتراكيز البدئية؟

التفاعل حمض ـ قاعدة، سريع ومحدود.

الجدول الوصفي:

المعادلة الكيميائية					
حالة المجموعة	تقدم التفاعل	كميـــــات المـــــادة بالمـــــول			
الحالة البدئية					
الحالة البينية					
الحالة النهائية					

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

II ـ ثابتة التوازن المقرونة بتحول كيميائي (Constante d'équilibre)

1 ـ تعريف ثابتة التوازن K

نقرن بكل معادلة تفاعل ثابتة، تسمى **ثابتة التوازن** رمزها **K** .

في حالة التوازن يأخذ خارج التفاعل $Q_{r,éq}$ قيمة ثابتة التوازن : $Q_{r,éq} = K$

بالنسبة لتفاعل في محلول مائي، المعبر عنه بالمعادلة: $\alpha A_{aq} + \beta B_{aq} \rightleftharpoons \gamma C_{aq} + \delta D_{aq}$

تعبير ثابتة التوازن الموافقة لمعادلة التفاعل: $$K = Q_{r,éq} = \frac{[C]_{éq}^{\gamma} . [D]_{éq}^{\delta}}{[A]_{éq}^{\alpha} . [B]_{éq}^{\beta}}$$

تتعلق قيمة ثابتة التوازن K فقط بطبيعة المتفاعلات وبدرجة الحرارة.

III ـ نسبة التقدم النهائي τ في حالة التوازن (Taux d'avancement final) .

تحسب نسبة التقدم النهائي τ لتفاعل بالعلاقة: $$\tau = \frac{x_{éq}}{x_{max}}$$

1 ـ تأثير الحالة البدئية.

نقيس الموصلية σ لمحاليل حمض الإيثانويك ذات تراكيز مولية مختلفة، عند درجة الحرارة 25°C، وندون النتائج المحصلة في الجدول:

$C\ (mol.L^{-1})$	$1,0.10^{-2}$	$5,0.10^{-3}$	$1,0.10^{-3}$
$\sigma(mS.m^{-1})$	16,2	11,4	4,9

لدينا: $X_{max} = C.V$, $X_{éq} = [H_3O^+]_{éq}.V$ إذن: $\tau = \frac{[H_3O^+]_{éq}}{C}$

نحسب، بالنسبة لمختلف قيم التركيز البدئي C ، نسبة التقدم النهائي، ونملأ الجدول:

المحلول	S_1	S_2	S_3
التركيز $(mol.L^{-1})$	$1,0.10^{-2}$	$2,0.10^{-3}$	$1,0.10^{-3}$
$(mol.L^{-1})[H_3O^+]_{éq}$			
نسبة التقدم النهائي			

نلاحظ بالنسبة لنفس الحمض: .....

تتعلق قيمة نسبة التقدم النهائي بالحالة البدئية للمجموعة، فكلما كانت التراكيز صغيرة، كانت نسبة التقدم النهائي كبيرة.

2 ـ تأثير ثابتة التوازن K على نسبة التقدم.

الحالة النهائية لتحول غير كلي هي حالة التوازن، إذن $x_f = x_{éq}$ و $\tau = \frac{x_{éq}}{x_{max}}$

في حالة تفاعل حمض HA مع الماء:

- نحدد x_{max} انطلاقا من الجدول الوصفي للتفاعل حيث الحمض المتفاعل المحد: $x_{max} = C.V$.
- نحسب $x_{éq}$ انطلاقا من قياس موصلية المحلول عند التوازن $\sigma_{éq}$: $x_{éq} = \frac{\sigma_{éq}.V}{\lambda_{A^-} + \lambda_{H_3O^+}}$

بين أن ثابتة التوازن K تكتب كما يلي: $K = \frac{C.\tau^2}{1-\tau}$

.....

.....

.....

.....

.....

.....

K تميز معادلة تفاعل الحمض مع الماء فإن قيمة نسبة التقدم النهائي للتفاعل τ تتغير مع قيمة ثابتة التوازن .

بصفة عامة، تتعلق نسبة التقدم النهائي للتفاعل بثابتة التوازن K الموافقة لمعادلة التفاعل.

تمرين:

محلول لحمض الأسكوربيك ذي تركيز $C = 2,8.10^{-2} mol.L^{-1}$ وحجم $V = 100m\ell$ ، له $pH = 2,8$ عند $25°C$.

نرمز لحمض الأسكوربيك ب HA .

1 ـ تفاعل حمض الأسكوربيك مع الماء محدود. اكتب معادلة التفاعل وأنشئ الجدول الوصفي الموافق.

2 ـ احسب تقدم التفاعل الأقصى x_{max} .

3 ـ احسب تركيز أيونات الأوكسونيوم عند التوازن.

4 ـ اعط تعبير التقدم عند التوازن $x_{éq}$ ثم احسب قيمته. استنتج قيمة نسبة التقدم τ للتفاعل.

5 ـ جد تعبير ثابتة التفاعل بين حمض الأسكوربيك والماء بدلالة C ، $x_{éq}$ و V . احسب قيمتها.

6 ـ ما قيمة ثابتة التوازن بالنسبة لمحلول تركيزه $C' = 1,00.10^{-2} mol.L^{-1}$.