



الثانية باكالوريا
الكيمياء

حالة توازن مجموعة كيميائية

Etat d'équilibre d'un système chimique

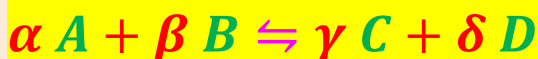
الجزء الثاني :
التحولات غير الكلية
لمجموعة كيميائية
الوحدة 4
س 4 / س 5

1- خارج التفاعل Q_r :

خارج التفاعل Q_r مقدار يميز مجموعة كيميائية في حالة معينة . وبالتالي تتبع تطور المجموعة .

1-1- تعريف :

نعتبر التفاعل المحدود المنمذج بالتفاعل التالي :



حيث توجد المتفاعلات (A و B) والنواتج (C و D) في محلول مائي و α ، β ، γ ، δ معاملات تناسبية .

نسمي **خارج التفاعل Q_r** في حالة معينة للمجموعة الكيميائية ، المقدار المعبر عنه بالعلاقة :

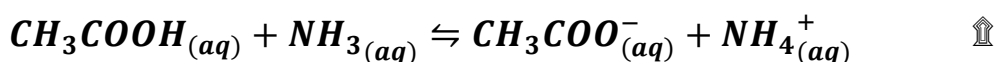
$$Q_r = \frac{[C]^\gamma \cdot [D]^\delta}{[A]^\alpha \cdot [B]^\beta}$$

وهو مقدار بدون وحدة

حيث [X] يمثل العدد الذي يقيس التركيز المولي الفعلي لـ X ، معبر عنه بالوحدة $mol.L^{-1}$. لا تتدخل في تعبير Q_r إلا التراكيز المولية الفعلية لأنواع المذابة فقط .

1-2- أمثلة في حالة وسط متجانس :

المحلول المائي خليط متجانس ، يلعب فيه الماء دور المذيب و نأخذ $[H_2O] = 1 mol.L^{-1}$ في تعبير خارج التفاعل .



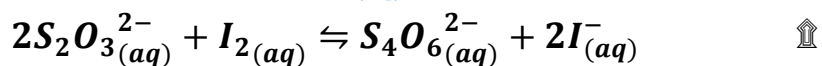
$$Q_r = \frac{[CH_3COO^-_{(aq)}] \cdot [NH_4^+_{(aq)}]}{[CH_3COOH_{(aq)}] \cdot [NH_3_{(aq)}]}$$

خارج التفاعل هو :



$$Q_r = \frac{[HCOO^-_{(aq)}] \cdot [H_3O^+_{(aq)}]}{[HCOOH_{(aq)}]}$$

خارج التفاعل هو :



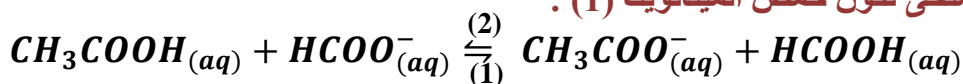
$$Q_r = \frac{[S_4O_6^{2-}_{(aq)}] \cdot [I^-_{(aq)}]^2}{[S_2O_3^{2-}_{(aq)}]^2 [I_2_{(aq)}]}$$

خارج التفاعل هو :

ملحوظة :

نعتبر مجموعة مكونة من حمض الإيثانويك وأيونات الإيثانوات وحمض الميثانويك و أيونات الميثانوات ، يمكن لهذه المجموعة أن تتطور في منحيين :

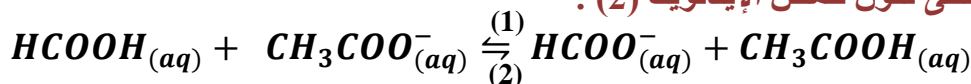
✍ منحنى تكون حمض الميثانويك (1) :



$$Q_{r1} = \frac{[CH_3COO^-_{(aq)}] \cdot [HCOOH_{(aq)}]}{[CH_3COOH_{(aq)}] \cdot [HCOO^-_{(aq)}]}$$

خارج التفاعل هو :

✍ منحنى تكون حمض الإيثانويك (2) :



$$Q_{r2} = \frac{[HCOO^-_{(aq)}] \cdot [CH_3COOH_{(aq)}]}{[CH_3COO^-_{(aq)}] \cdot [HCOOH_{(aq)}]}$$

خارج التفاعل هو :

بصفة عامة ، يتعلق خارج التفاعل بمنحنى كتابة معادلة التفاعل .

بالنسبة لتفاعلين عكوسين ، يساوي خارج تفاعل Q_{r1} لمنحنى معين مقلوب خارج تفاعل Q_{r2}

$$Q_{r1} = \frac{1}{Q_{r2}}$$

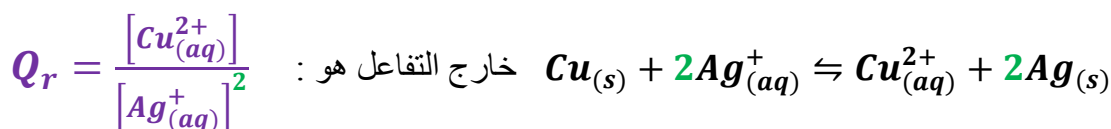
لمنحنى التفاعل المعاكس :

3-1- أمثلة في حالة وسط غير متجانس :

بالنسبة لجسم صلب X في محلول نأخذ اصطلاحا $[X] = 1$ وبالتالي لا يظهر في تعبير Q_r .

مثال :

✍ أكسدة فلز النحاس $Cu_{(s)}$ بأيونات الفضة $Ag^+_{(aq)}$.

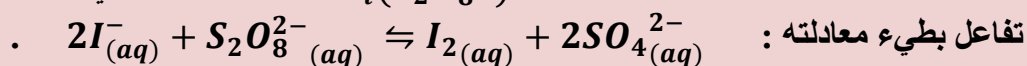


✍ ترسيب فوسفات الكالسيوم $Ca_3(PO_4)_2_{(s)}$.



تطبيق :

تحتوي مجموعة كيميائية ، حجمها $V = 20 \text{ mL}$ في البداية على $n_i(I^-) = 2.10^{-4} \text{ mol}$ من أيونات اليودور و $n_i(S_2O_8^{2-}) = 5.10^{-5} \text{ mol}$ من بيروكسو ثنائي كبريتات ، فيحدث



1- اعط تعبير خارج التفاعل Q_r .

2- عبر عن تراكيز المتفاعلات و النواتج بدلالة تقدم التفاعل x و كميات مادتها البدئية . استنتج تعبير Q_r بدلالة x .

3- احسب $Q_r(t=0)$ و $Q_r(t_{1/2})$ حيث $x(t_{1/2}) = 2,5.10^{-5} \text{ mol}$.

الحل :

$$Q_r = \frac{[I_2(aq)] \cdot [SO_4^{2-}(aq)]^2}{[I^-]_{(aq)}^2 [S_2O_8^{2-}(aq)]} \quad \text{-1 خارج التفاعل}$$

-2

كميات المادة بالمول				معادلة التفاعل	
				التقدم	حالة المجموعة
$2I^-_{(aq)}$	$+ S_2O_8^{2-}_{(aq)}$	\rightleftharpoons	$I_{2(aq)} + 2SO_4^{2-}_{(aq)}$	0	الحالة البدئية
$n_i(I^-)$	$n_i(S_2O_8^{2-})$	0	0	x(t)	خلال التحول
$n_i(I^-) - 2x$	$n_i(S_2O_8^{2-}) - x$	x	2x	x _f	الحالة النهائية
$n_i(I^-) - 2x_f$	$n_i(S_2O_8^{2-}) - x_f$	x _f	2x _f		

لدينا $[I^-] = \frac{n_i(I^-) - 2x}{V}$ و $[S_2O_8^{2-}] = \frac{n_i(S_2O_8^{2-}) - x}{V}$ و $[I_2] = \frac{x}{V}$ و $[SO_4^{2-}] = \frac{2x}{V}$

$$Q_r = \frac{\frac{x}{V} \cdot \left(\frac{2x}{V}\right)^2}{\left(\frac{n_i(I^-) - 2x}{V}\right)^2 \left(\frac{n_i(S_2O_8^{2-}) - x}{V}\right)} = \frac{4x^3}{(n_i(I^-) - 2x)^2 \cdot (n_i(S_2O_8^{2-}) - x)} \quad \text{إن}$$

-3 لدينا $x(t=0) = 0$ إذن $Q_r(t=0) = 0$

$$Q_r(t_{1/2}) = \frac{4x(t_{1/2})^3}{(n_i(I^-) - 2x(t_{1/2}))^2 \cdot (n_i(S_2O_8^{2-}) - x(t_{1/2}))}$$

$$Q_r(t_{1/2}) = \frac{4(2,5 \cdot 10^{-5})^3}{(2 \cdot 10^{-4} - 2 \times 2,5 \cdot 10^{-5})^2 \cdot (5 \cdot 10^{-5} - 2,5 \cdot 10^{-5})} = 0,11$$

4-1- خارج التفاعل عند حالة التوازن :

1-4-1- تعريف :

نسمي خارج التفاعل عند التوازن $Q_{r, \text{éq}}$ ، القيمة التي يأخذها خارج التفاعل عندما تكون المجموعة المدروسة في حالة توازن حيث تبقى التراكيز المولية لجميع الأنواع الكيميائية المكونة لهذه المجموعة ثابتة خلال الزمن .

ملحوظة :

يمكن تحديد هذه التراكيز بواسطة تقنيات مختلفة : قياس الموصلية - قياس pH - المعايرة

2-4-1- تحديد $Q_{r, \text{éq}}$ بواسطة قياس الموصلية :

تذكير : الموصلية G لعمود محلول إلكتروليتي هي $G = \frac{1}{R} = \frac{l}{U}$ و $G = \sigma \cdot \frac{S}{L}$ حيث

S مساحة صفيحة خلية القياس و L المسافة بين صفيحتي الخلية

σ موصلية المحلول مع $\sigma = \sum \lambda_i [X_i]$ و λ_i الموصلية المولية الأيونية

نغمر خلية قياس الموصلية في حجم V لمحلول S لحمض الإيثانويك تركيزه $C = 5,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$

، فنجد قيمة موصلية هذا المحلول ، عند $25^\circ C$ هي : $\sigma = 343 \mu S \cdot \text{cm}^{-1}$.

أ - حدد في حالة التوازن ، التراكيز المولية الفعلية للأنواع الكيميائية المذبابة .

عند $25^\circ C$: $\lambda_{H_3O^+} = 35,0 \text{ mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$ و $\lambda_{CH_3COO^-} = 4,09 \text{ mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$

$CH_3COOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons CH_3COO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$				معادلة التفاعل	
كميات المادة بالمول				التقدم	حالة المجموعة
n_0	بوفرة	0	0	0	الحالة البدئية
$n_0 - x$	بوفرة	x	x	x(t)	خلال التحول
$n_0 - x_f$	بوفرة	x_f	x_f	x_f	الحالة النهائية

لدينا $\sigma = \lambda_{H_3O^+}[H_3O^+] + \lambda_{CH_3COO^-}[CH_3COO^-]$

من خلال الجدول الوصفي لدينا $[H_3O^+]_{\acute{e}q} = [CH_3COO^-]_{\acute{e}q}$

إذن $\sigma = (\lambda_{H_3O^+} + \lambda_{CH_3COO^-})[H_3O^+]_{\acute{e}q}$

وبالتالي $[H_3O^+]_{\acute{e}q} = \frac{\sigma}{\lambda_{H_3O^+} + \lambda_{CH_3COO^-}} = \frac{343.10^{-6}.10^2}{(35+4,09).10^{-3}} = 0,88 \text{ mol. m}^{-3}$

$[CH_3COOH_{(aq)}]_{\acute{e}q} = \frac{n_0 - x_f}{V} = \frac{n_0}{V} - \frac{x_f}{V} = C - [H_3O^+]_{\acute{e}q} = 5.10^{-2} - 8,8.10^{-4}$

$[CH_3COOH_{(aq)}]_{\acute{e}q} = 4,9.10^{-2} \text{ mol. L}^{-1}$

ب - استنتج قيمة خارج التفاعل $Q_{r,\acute{e}q}$ عند التوازن .

إذن $Q_{r,\acute{e}q} = \frac{[H_3O^+]_{\acute{e}q}.[CH_3COO^-]_{\acute{e}q}}{[CH_3COOH_{(aq)}]_{\acute{e}q}} = \frac{8,8.10^{-4} \times 8,8.10^{-4}}{4,9.10^{-2}} = 1,58.10^{-5}$

2- ثابتة التوازن المقرونة بتحول كيميائي :

1-2- تأثير الحالة البدئية على خارج التفاعل في حالة التوازن :

نقيس الموصلية σ لمحاليل حمض الإيثانويك ذات تراكيز مولية مختلفة ، عند

درجة الحرارة $25^\circ C$ ، فجد النتائج التالية

$1,0.10^{-3}$	$5,0.10^{-2}$	$1,0.10^{-2}$	C (mol / L)
4,7	10,7	15,3	σ (mS / m)

أ- حدد التركيز المولي لأيونات الأوكسونيوم في كل محلول ، عند التوازن ، واستنتج قيمة خارج التفاعل $Q_{r,\acute{e}q}$ عند التوازن بالنسبة لكل محلول .

عند $25^\circ C$: $\lambda_{H_3O^+} = 35,0 \text{ mS. m}^2. \text{mol}^{-1}$ و $\lambda_{CH_3COO^-} = 4,09 \text{ mS. m}^2. \text{mol}^{-1}$

لدينا $[H_3O^+]_{\acute{e}q} = [CH_3COO^-]_{\acute{e}q}$ إذن $\sigma = (\lambda_{H_3O^+} + \lambda_{CH_3COO^-})[H_3O^+]_{\acute{e}q}$

وبالتالي $[H_3O^+]_{\acute{e}q} = \frac{\sigma}{\lambda_{H_3O^+} + \lambda_{CH_3COO^-}}$ إذن $Q_{r,\acute{e}q} = \frac{[H_3O^+]_{\acute{e}q}.[CH_3COO^-]_{\acute{e}q}}{[CH_3COOH_{(aq)}]_{\acute{e}q}} = \frac{[H_3O^+]_{\acute{e}q}^2}{C - [H_3O^+]_{\acute{e}q}}$

ندون النتائج في الجدول التالي :

$1,0.10^{-3}$	$5,0.10^{-2}$	$1,0.10^{-2}$	C (mol / L)
4,7	10,7	15,3	σ (mS / m)
$0,12.10^{-3}$	$0,27.10^{-3}$	$0,39.10^{-3}$	$[H_3O^+]_{\acute{e}q}$ (mol / L)
$1,56.10^{-5}$	$1,54.10^{-5}$	$1,58.10^{-5}$	$Q_{r,\acute{e}q}$

ب- ماذا تستنتج ؟

بصفة عامة ، لا تتعلق قيمة خارج التفاعل عند التوازن $Q_{r,\acute{e}q}$ بالحالة البدئية للمجموعة الكيميائية .

2-2- ثابتة التوازن :

نقرن بكل معادلة تفاعل ثابتة تسمى **ثابتة التوازن K**. في حالة التوازن يأخذ خارج التفاعل $Q_{r, \acute{e}q}$ قيمة ثابتة التوازن K أي $K = Q_{r, \acute{e}q}$. بالنسبة لتفاعل في محلول مائي المعبر عنه



$$K = Q_{r, \acute{e}q} = \frac{[C]_{\acute{e}q}^{\gamma} \cdot [D]_{\acute{e}q}^{\delta}}{[A]_{\acute{e}q}^{\alpha} \cdot [B]_{\acute{e}q}^{\beta}} \quad \text{تكتب ثابتة التوازن على الشكل التالي :}$$

تتعلق قيمة ثابتة التوازن K فقط **بطبيعة المتفاعلات و بدرجة الحرارة**.

العلاقة بين ثابتتي التوازن K_1 و K_2 لتفاعلين يحدثان في منحيين متعاكسين هي : $K_1 = \frac{1}{K_2}$

نعتبر التفاعل كلياً إذا كان $K > 10^4$.

3- نسبة التقدم النهائي في حالة التوازن :

1-3- تأثير الحالة البدئية :

نقيس الموصلية σ لثلاث محاليل من حمض الإيثانويك ذات تراكيز مختلفة عند درجة الحرارة 25°C .

$5,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$5,0 \cdot 10^{-2}$	C (mol / L)
10,7	15,3	34,3	σ (mS / m)

ندون النتائج في الجدول :

عند 25°C : $\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} = 35,0 \text{ mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$ و $\lambda_{\text{CH}_3\text{COO}^-} = 4,09 \text{ mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$

أ- أنشئ الجدول الوصفي للتفاعل بين حمض الإيثانويك و الماء .

$\text{CH}_3\text{COOH}_{(aq)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^-_{(aq)} + \text{H}_3\text{O}^+_{(aq)}$				معادلة التفاعل	
كميات المادة بالمول				التقدم	حالة المجموعة
n_0	بوفرة	0	0	0	الحالة البدئية
$n_0 - x$	بوفرة	x	x	x(t)	خلال التحول
$n_0 - x_f$	بوفرة	x_f	x_f	x_f	الحالة النهائية

ب- اعط تعبير τ بدلالة C و σ و $\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+}$ و $\lambda_{\text{CH}_3\text{COO}^-}$.

لدينا $\tau = \frac{x_f}{x_{\text{max}}}$ و من خلال الجدول الوصفي لدينا $[\text{H}_3\text{O}^+]_{\acute{e}q} = [\text{CH}_3\text{COO}^-]_{\acute{e}q} = \frac{x_f}{V}$

إذن $\sigma = (\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} + \lambda_{\text{CH}_3\text{COO}^-}) [\text{H}_3\text{O}^+]_{\acute{e}q}$ وبالتالي $[\text{H}_3\text{O}^+]_{\acute{e}q} = \frac{\sigma}{\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} + \lambda_{\text{CH}_3\text{COO}^-}}$

حمض الإيثانويك هو المتفاعل المحد أي $n_0 - x_{\text{max}} = 0$ و بالتالي $x_{\text{max}} = n_0 = C \cdot V$

إذن $\tau = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_{\acute{e}q} \cdot V}{C \cdot V} = \frac{\sigma}{C \cdot (\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} + \lambda_{\text{CH}_3\text{COO}^-})}$ ندون النتائج في الجدول التالي :

$5,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$5,0 \cdot 10^{-2}$	C (mol / L)
10,7	15,3	34,3	σ (mS / m)
$0,27 \cdot 10^{-3}$	$0,39 \cdot 10^{-3}$	$0,88 \cdot 10^{-3}$	$[\text{H}_3\text{O}^+]_{\acute{e}q}$ (mol / L)
0,054	0,039	0,018	τ

ج- ماذا تستنتج ؟

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

2-3- تأثير ثابتة التوازن :

نأخذ محلولين حمضين (S_1) و (S_2) لهما نفس التركيز $C = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$.
محلول (S_1) لحمض الإيثانويك و محلول (S_2) لحمض الميثانويك .

المحلول	ثابتة التوازن K	الموصلية ($\mu\text{S. Cm}^{-1}$)
S_1	$1,6 \cdot 10^{-5}$	153
S_2	$1,6 \cdot 10^{-4}$	510

عند 25°C : $\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} = 35,0 \text{ mS. m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$ و $\lambda_{\text{CH}_3\text{COO}^-} = 4,09 \text{ mS. m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$

و $\lambda_{\text{HCOO}^-} = 5,46 \text{ mS. m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$

أ- اكتب معادلة تفاعل كل حمض مع الماء .

حمض الإيثانويك $\text{CH}_3\text{COOH}_{(aq)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^-_{(aq)} + \text{H}_3\text{O}^+_{(aq)}$

حمض الميثانويك $\text{HCOOH}_{(aq)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightleftharpoons \text{HCOO}^-_{(aq)} + \text{H}_3\text{O}^+_{(aq)}$

ب- أنشئ الجدول الوصفي للتفاعل بين الحمض HA و الماء .

معادلة التفاعل			
$\text{HA}_{(aq)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightleftharpoons \text{A}^-_{(aq)} + \text{H}_3\text{O}^+_{(aq)}$			
كميات المادة بالمول			
التقدم	حالة المجموعة		
0	الحالة البدئية	0	0
x(t)	خلال التحول	x	x
x _f	الحالة النهائية	x _f	x _f

ج- حدد نسبة التقدم النهائي لكل تفاعل .

لدينا $\tau = \frac{x_f}{x_{max}}$ و من خلال الجدول الوصفي لدينا $[\text{H}_3\text{O}^+]_{\acute{e}q} = [\text{A}^-]_{\acute{e}q} = \frac{x_f}{V}$

إذن $\sigma = (\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} + \lambda_{\text{A}^-})[\text{H}_3\text{O}^+]_{\acute{e}q}$ وبالتالي $[\text{H}_3\text{O}^+]_{\acute{e}q} = \frac{\sigma}{\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} + \lambda_{\text{A}^-}}$

الحمض هو المتفاعل المحد أي $n_0 - x_{max} = 0$ وبالتالي $x_{max} = n_0 = C \cdot V$

وبالتالي $\tau = \frac{n_{\acute{e}q}(\text{H}_3\text{O}^+)}{n_0(\text{HA})} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_{\acute{e}q}}{C} = \frac{\sigma}{C \cdot (\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} + \lambda_{\text{A}^-})}$

في المحلول (S_1) : $\tau_1 = \frac{\sigma_1}{C \cdot (\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} + \lambda_{\text{CH}_3\text{COO}^-})}$ في المحلول (S_2) : $\tau_2 = \frac{\sigma_2}{C \cdot (\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} + \lambda_{\text{HCOO}^-})}$

ندون النتائج في الجدول

نسبة التقدم النهائي τ	الحمض
0,039	حمض الإيثانويك
0,126	حمض الميثانويك

د- ماذا تستنتج ؟

تتعلق نسبة التقدم النهائي τ بثابتة التوازن K ، فكلما كانت ثابتة التوازن كبيرة ، كانت نسبة التقدم النهائي مرتفعة .