

قياس الناقلية

GUEZOURI A. Lycée Maraval – Oran

1 - الإجابة بصحيح أو خطأ :

- 1 - **خطأ** : الخطأ يكمن فقط في العبارة الأخيرة ، حركة الشوارد الموجبة نحو المهبط والسالبة نحو المصعد .
- 2 - **صحيح**
- 3 - **صحيح**
- 4 - **الخطأ** يكمن فقط في العبارة الأولى ، وهي أن الناقلية النوعية σ تخص كل المحلول وليس جزءا منه .
- 5 - **الخطأ** يكمن فقط في العبارة الأخيرة ، وهو أن λ_i لا علاقة لها بأبعاد الخلية المستعملة (الأبعاد هي L و S)
- 6 - **خطأ** . المقدار $\frac{L}{S}$ هو $\frac{1}{K}$
- 7 - **صحيح**

2 - اختيار الإجابة الصحيحة :

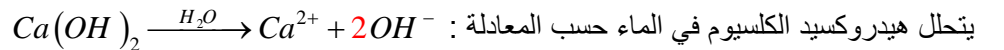
- 1 - يتغير ثابت الخلية إذا : (أ) تغير سطح اللبوسين أو البعد بينهما أو الاثنان معا بشرط أن لا تبقى النسبة $\frac{L}{S}$ في هذه الحالة الأخيرة .
- 2 - (أ) **صحيح** (ب) **صحيح** (ج) **صحيح** (د) **خطأ** ، لأن عندما نقيس ناقلية جزأين مختلفين من المحلول ، فالذي تغير هو K وليس σ .
- العبارات الصحيحة والخاطئة :
- خلية القياس تتكوّن من مصعد ومهبط معدنيين (صحيحة)
 - الناقلية هي مقلوب المقاومة وحدتها Siemens / mètre (الجزء الأول **صحيح** ، لكن الوحدة هي Siemens)
 - للشوارد ذات الشحنة (+ 1) نفس الناقلية النوعية المولية الشاردية . **خطأ**

3 -

المطلوب هو حساب الناقلية النوعية .

$$[KCl] = [K^+] = [Cl^-] = C = 0,0352 \times 10^3 = 35,2 \text{ mol} / \text{m}^3 \quad - \text{كلور البوتاسيوم } (K^+, Cl^-) :$$

$$\sigma = \lambda_{K^+} [K^+] + \lambda_{Cl^-} [Cl^-] = C (\lambda_{K^+} + \lambda_{Cl^-}) = 35,2 \times 10^{-3} (7,35 + 7,63) = 0,527 \text{ S} . \text{m}^{-1}$$

- كلور البوتاسيوم $(Ca^{2+}, 2 OH^-)$:

$$[Ca(OH_2)] = [Ca^{2+}] = C = 0,0268 \times 10^3 = 26,8 \text{ mol} / \text{m}^3$$

$$[OH^-] = 2C$$

$$\sigma = \lambda_{Ca^{2+}} [Ca^{2+}] + \lambda_{OH^-} [OH^-] = C (\lambda_{Ca^{2+}} + 2\lambda_{OH^-}) = 26,8 \times 10^{-3} (11,9 + 39,8) = 1,385 \text{ S} . \text{m}^{-1}$$

- 4

$$K = \frac{S}{L} = \frac{1}{1,5} = 0,67 \text{ cm} \quad \text{- 1 ثابت الخلية :}$$

$$\sigma = \frac{G}{K} = \frac{0,128}{0,67 \times 10^{-2}} = 19,1 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1} \quad \text{- 2}$$

- 5

تمرين ناقص ! (الناقلية النوعية تتعلق بتركيز الجسم المنحل)

النص الجديد للتمرين : نقيس ناقلية جزء من محلول برمغنات البوتاسيوم (K^+ , MnO_4^-) بواسطة خلية ثابتها $K = 4 \text{ cm}$ ، فنجد $G = 5,38 \text{ mS}$. احسب التركيز الكتلي لهذا المحلول .

$$\lambda_{K^+} = 7,35 \text{ m S} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1} \quad , \quad \lambda_{MnO_4^-} = 6,10 \text{ m S} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1} \quad \text{يُعطى :}$$

$$O = 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \quad , \quad Mn = 55 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \quad , \quad K = 39 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

الحل : يتحلل برمغنات البوتاسيوم في الماء حسب المعادلة : $KMnO_4 \xrightarrow{H_2O} K^+ + MnO_4^-$ ، حيث

$$[KMnO_4] = [K^+] = [MnO_4^-] = C$$

$$G = K \sigma = K \left(\lambda_{K^+} [K^+] + \lambda_{MnO_4^-} [MnO_4^-] \right) = KC \left(\lambda_{K^+} + \lambda_{MnO_4^-} \right) \quad \text{ومنهُ :$$

$$C = \frac{G}{K \left(\lambda_{K^+} + \lambda_{MnO_4^-} \right)} = \frac{5,38 \times 10^{-3}}{4 \times 10^{-2} \times 10^{-3} (6,1 + 7,35)} = 10 \text{ mol} / \text{m}^3$$

- 6

يتحلل يود الصوديوم في الماء حسب المعادلة : $NaI \xrightarrow{H_2O} Na^+ + I^-$

1 - التركيز المولي للجسم المنحل (NaI) هو : $[NaI] = C = \frac{C_m}{M}$ ، حيث C_m هو تركيزه الكتلي و M كتلته الجزيئية المولية

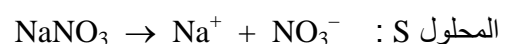
$$C = \frac{2}{150} = 13,3 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \quad \text{وبالتالي ، } M = 23 + 127 = 150 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

2 - الناقلية النوعية للمحلول :

$$\sigma = \lambda_{Na^+} [Na^+] + \lambda_{I^-} [I^-] = C \left(\lambda_{Na^+} + \lambda_{I^-} \right) = 13,3 \times 10^{-3} \times 10^3 \times 10^{-3} (5,01 + 7,7) = 0,169 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$$

- 7

- 1



ناقلية المحلول S₁ :

$$[Na^+] = [Cl^-] = C \quad \text{من معادلة التحلل في الماء نلاحظ أن}$$

$$G_1 = K \sigma = K (\lambda_{Na^+} [Na^+] + \lambda_{Cl^-} [Cl^-]) = KC (\lambda_{Na^+} + \lambda_{Cl^-}) \quad \text{ناقلية الجزء المحصور بين مسريي الخلية هي :}$$

ناقلية المحلول S₂ :

$$[K^+] = [Cl^-] = C \quad \text{من معادلة التحلل في الماء نلاحظ أن}$$

$$G_2 = K \sigma = K (\lambda_{K^+} [K^+] + \lambda_{Cl^-} [Cl^-]) = KC (\lambda_{K^+} + \lambda_{Cl^-}) \quad \text{ناقلية الجزء المحصور بين مسريي الخلية هي :}$$

ناقلية المحلول S₃ :

$$[K^+] = [NO_3^-] = C \quad \text{من معادلة التحلل في الماء نلاحظ أن}$$

$$G_3 = K \sigma = K (\lambda_{K^+} [K^+] + \lambda_{NO_3^-} [NO_3^-]) = KC (\lambda_{K^+} + \lambda_{NO_3^-}) \quad \text{ناقلية الجزء المحصور بين مسريي الخلية هي :}$$

ناقلية المحلول S :

$$[Na^+] = [NO_3^-] = C \quad \text{من معادلة التحلل في الماء نلاحظ أن}$$

$$G = K \sigma = K (\lambda_{Na^+} [Na^+] + \lambda_{NO_3^-} [NO_3^-]) = KC (\lambda_{Na^+} + \lambda_{NO_3^-}) \quad \text{ناقلية الجزء المحصور بين مسريي الخلية هي :}$$

يمكن كتابة هذه الناقلية بالشكل :

$$G = KC (\lambda_{Na^+} + \lambda_{NO_3^-} + \lambda_{K^+} - \lambda_{K^+} + \lambda_{Cl^-} - \lambda_{Cl^-})$$

إضافة وطرح نفس المقدار لا يضر ، لكنه ينفع أحيانا . نظور هذه العلاقة لنكتبها على الشكل :

$$G = KC (\lambda_{Na^+} + \lambda_{Cl^-}) - KC (\lambda_{K^+} + \lambda_{Cl^-}) + KC (\lambda_{K^+} + \lambda_{NO_3^-})$$

$$G = G_1 - G_2 + G_3 \quad \text{وبالتالي :}$$

إذن يمكن أن نستنتج ناقلية المحلول (Na⁺ , NO₃⁻) بواسطة قياس ناقلية المحاليل السابقة بنفس الخلية بشرط أن تكون للمحاليل كلها نفس التركيز المولي للجسم المنحل وفي نفس درجة الحرارة .

$$G = G_1 - G_2 + G_3 = 1,16 - 1,37 + 1,33 = 1,12 \text{ mS} \quad - 2$$

- 8

$$G_1 = K \sigma_1 = \frac{S}{L} (\lambda_{Na^+} [Na^+] + \lambda_{OH^-} [OH^-]) = \frac{S}{L} C (\lambda_{Na^+} + \lambda_{OH^-}) \quad \text{المحلول : (Na}^+, \text{OH}^-) \quad - 1$$

$$G_2 = K \sigma_2 = \frac{S}{L} (\lambda_{Na^+} [Na^+] + \lambda_{Cl^-} [Cl^-]) = \frac{S}{L} C (\lambda_{Na^+} + \lambda_{Cl^-}) \quad \text{المحلول : (Na}^+, \text{Cl}^-)$$

$$G_3 = K \sigma_3 = \frac{S}{L} (\lambda_{K^+} [K^+] + \lambda_{Cl^-} [Cl^-]) = \frac{S}{L} C (\lambda_{K^+} + \lambda_{Cl^-}) \quad \text{المحلول : (K}^+, \text{Cl}^-)$$

2 - يجب أن يكون السؤال كما يلي : بين أنه من القياسات السابقة ، يمكن الحصول على ناقلية جزء من محلول هيدروكسيد البوتاسيوم

(K⁺ , OH⁻) له نفس تركيز المحاليل السابقة وفي نفس درجة الحرارة ، وذلك بنفس خلية القياس .

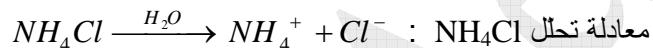
الجواب :

ناقلية محلول هيدروكسيد البوتاسيوم

$$G = \frac{S}{L} \sigma = \frac{S}{L} \times C (\lambda_{K^+} + \lambda_{OH^-}) = \frac{S}{L} \times C (\lambda_{K^+} + \lambda_{OH^-} + \lambda_{Na^+} - \lambda_{Na^+} + \lambda_{Cl^-} - \lambda_{Cl^-})$$

$$G = \frac{S}{L} \times C (\lambda_{K^+} + \lambda_{Cl^-}) + \frac{S}{L} \times C (\lambda_{Na^+} + \lambda_{OH^-}) - \frac{S}{L} \times C (\lambda_{Na^+} + \lambda_{Cl^-}) = G_3 + G_1 - G_2 = 1,85 + 3,19 - 1,56 = 3,48 mS$$

-9



1 - البيان $G = f(C)$ مع تصحيح القياس الرابع لـ G في الجدول :

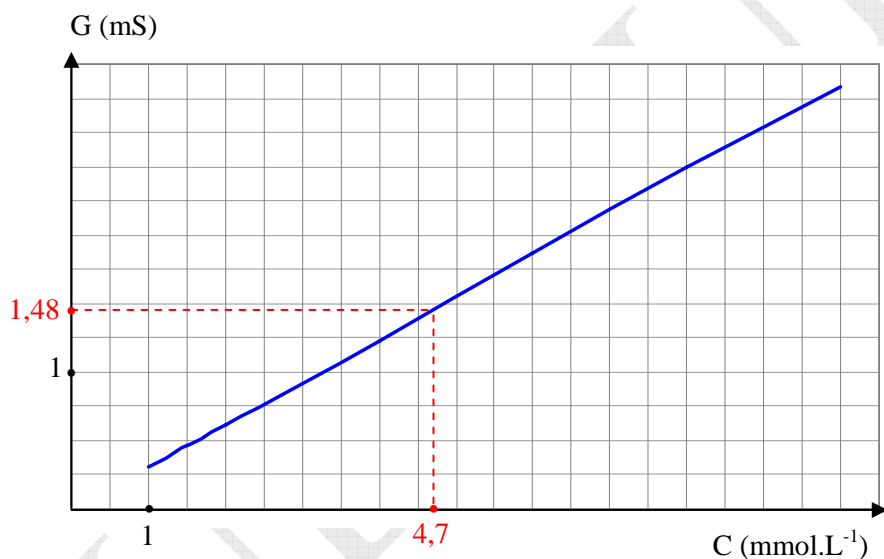
C (mmol.L ⁻¹)	1	2	4	6	8	10
G (mS)	0,31	0,62	1,23	1,87	2,5	3,09

2 - لكي يتسنى لنا استعمال مخطط المعايرة لتحديد التركيز المولي لمحلول كلور الأمونيوم يجب أن يكون تركيزه المولي محصورا بين

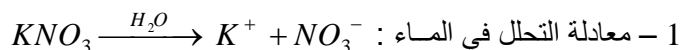
القيمتين الحديتين للتركيز في الجدول ، أي بين 1 mmol.L⁻¹ و 10 mmol.L⁻¹ .

3 - انظر للبيان (نسقط قيمة الناقلية على البيان

ونستنتج التركيز المولي للمحلول).



- 10



2 - **يجب أن نقول** : اشرح كيف نحسب تركيز محلول نترات البوتاسيوم اعتمادا على هذه النتائج .

الجواب : نقيس ناقلية هذا المحلول باستعمال نفس الخلية ، ثم نستعمل بيان المعايرة ونستنتج منه التركيز المولي الموافق لقيمة الناقلية

المقاسة .

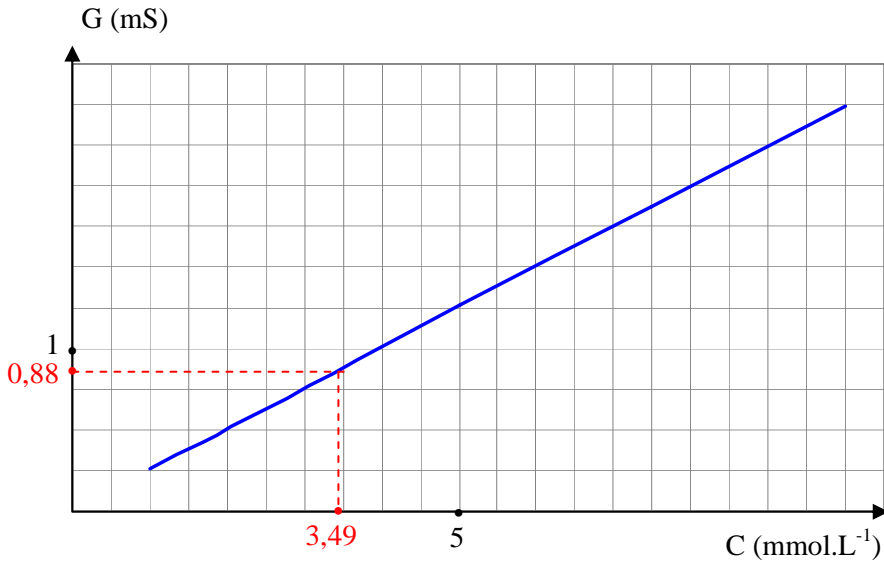
3 - البيان :

4 - نحسب الناقلية :

$$G = \frac{I_{eff}}{U_{eff}} = \frac{0,88 \times 10^{-3}}{1} = 0,88 \times 10^{-3} S$$

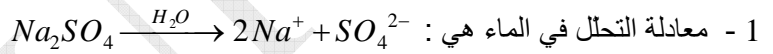
$$G = 0,88 mS$$

نحدّد هذه القيمة على محور الناقلية ونستنتج على محور التركيز المولي قيمة التركيز المولي لمحلول نترات البوتاسيوم .



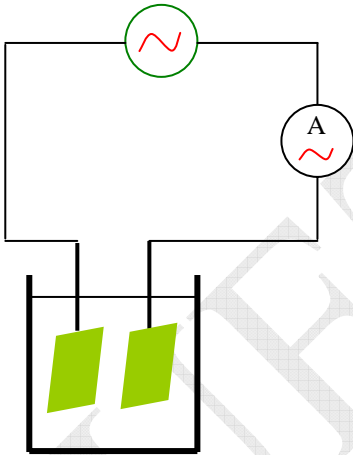
- 11

الصيغة الكيميائية لكبريتات الصوديوم هي Na_2SO_4



2 - مخطط الدارة في الشكل المقابل .

- حيث $G = \frac{I_{eff}}{U_{eff}}$ ، Volt : U_{eff} ، Ampère : I_{eff} ، Siemens : G .



	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆
C (mmol.L ⁻¹)	10,0	7,5	5,0	1,0	0,5	C ₆
U _{eff} (V)	0,904	0,850	0,851	0,851	0,851	0,808
I _{eff} (mA)	2,070	1,485	1,010	0,212	0,125	0,700
G (mS)	2,290	1,747	1,187	0,249	0,147	0,866

- رسم البيان : (في الشكل)

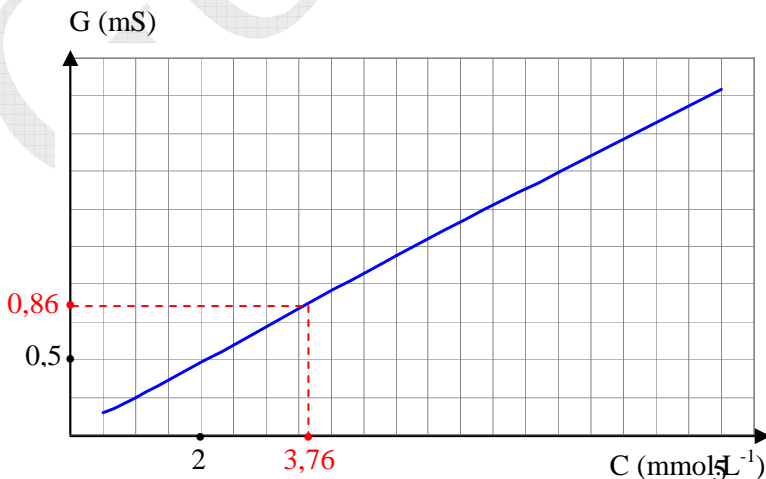
نلاحظ أن الناقلية تتناسب مع التركيز المولي ، لأن البيان عبارة عن خط مستقيم .

- التراكيز المولية للشوارد في المحلول S₆ :

لدينا $C_6 = 3,76 \text{ mmol.L}^{-1}$ ، وحسب معادلة التحلل في الماء

$$[Na_2SO_4] = [SO_4^{2-}] = C = 3,76 \text{ mmol.L}^{-1} \text{ : فإن}$$

$$[Na^+] = 2C = 2 \times 3,76 = 7,52 \text{ mmol.L}^{-1}$$



- 12

- رسم البيان :

- نستنتج من البيان التركيز بعد التخفيف الموافق للناقلية $G = 2,42 \text{ mS}$

قيمة هذا التركيز هي $C' = 4,6 \text{ mmol.L}^{-1}$

التركيز الأصلي هو

$$C = 4,6 \times 100 = 460 \text{ mmol.L}^{-1} = 0,46 \text{ mol.L}^{-1}$$

- كتلة كلور الكالسيوم المحتواة في الحقنة هي 1 g .

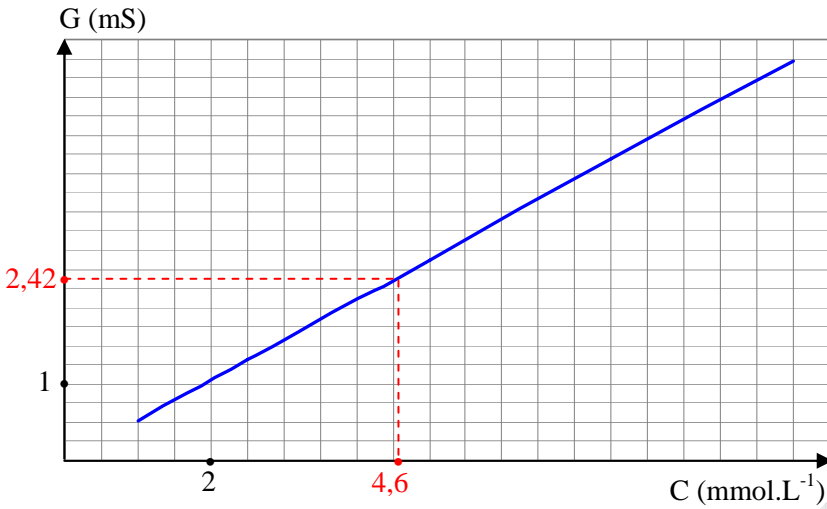
قيمة x :

$$\text{لدينا } C = \frac{m}{MV} \text{ ، ومنه :}$$

$$M = \frac{m}{CV} = \frac{1}{0,46 \times 0,010} = 217,5$$

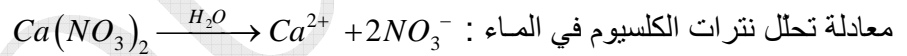
$$x = 6 \text{ ، ومنه } 217,5 = 40 + 71 + 18x$$

ونكتب صيغة كلور الكالسيوم المماهة بالشكل $\text{CaCl}_2, 6\text{H}_2\text{O}$



- 13

- الكتلة المولية لنترات الكالسيوم هي $M = 40 + 124 = 164 \text{ g.mol}^{-1}$



$$\text{وبالتالي : } [\text{Ca}(\text{NO}_3)_2] = C = \frac{C_m}{M} = \frac{1,5}{164} = 9,1 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$$

$$[\text{Ca}^{2+}] = C = 9,1 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$$

$$[\text{NO}_3^-] = 2C = 2 \times 9,1 \times 10^{-3} = 18,2 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$$

- المطلوب الناقلية النوعية للمحلول وليس ناقلية المحلول ، لأن هذه الأخيرة تتعلق بالخلية (وهنا الخلية مجهولة) .

$$\sigma = \lambda_{\text{Ca}^{2+}} [\text{Ca}^{2+}] + \lambda_{\text{NO}_3^-} [\text{NO}_3^-] = C (\lambda_{\text{Ca}^{2+}} + 2\lambda_{\text{NO}_3^-}) = 9,1 \times 10^{-3} \times 10^3 \times (11,9 + 2 \times 7,14) \times 10^{-3} = 0,238 \text{ S.m}^{-1}$$

- 14

$$G_1 = K \sigma_1 = K (\lambda_{\text{Na}^+} [\text{Na}^+] + \lambda_{\text{Cl}^-} [\text{Cl}^-]) = KC (\lambda_{\text{Na}^+} + \lambda_{\text{Cl}^-}) \quad \text{المحلول : } (\text{Na}^+ , \text{Cl}^-)$$

$$G_2 = K \sigma_2 = K (\lambda_{\text{K}^+} [\text{K}^+] + \lambda_{\text{Cl}^-} [\text{Cl}^-]) = KC (\lambda_{\text{K}^+} + \lambda_{\text{Cl}^-}) \quad \text{المحلول : } (\text{K}^+ , \text{Cl}^-)$$

$$G_3 = K \sigma_3 = K (\lambda_{\text{K}^+} [\text{K}^+] + \lambda_{\text{NO}_3^-} [\text{NO}_3^-]) = KC (\lambda_{\text{K}^+} + \lambda_{\text{NO}_3^-}) \quad \text{المحلول : } (\text{K}^+ , \text{NO}_3^-)$$

ناقلية محلول نترات الصوديوم :

$$G = K \sigma = KC (\lambda_{\text{Na}^+} + \lambda_{\text{NO}_3^-}) = KC (\lambda_{\text{Na}^+} + \lambda_{\text{NO}_3^-} + \lambda_{\text{K}^+} - \lambda_{\text{K}^+} + \lambda_{\text{Cl}^-} - \lambda_{\text{Cl}^-})$$

$$G = KC (\lambda_{Na^+} + \lambda_{Cl^-}) + KC (\lambda_{K^+} + \lambda_{NO_3^-}) - KC (\lambda_{K^+} + \lambda_{Cl^-}) = G_1 + G_3 - G_2 = 1,16 + 1,37 - 1,33 = 1,2 mS$$

- المحلول الأكثر ناقلية للتيار الكهربائي هو نترات البوتاسيوم .

- 15

- صيغة فلور الكالسيوم هي CaF_2 ، لكن لا يمكن حساب أي شيء !!

معادلة تحلل فلور الكالسيوم في الماء : $CaF_2 \xrightarrow{H_2O} Ca^{2+} + 2F^-$

$$[F^-] = 2C \quad , \quad [CaF_2] = [Ca^{2+}] = C$$

$$C = \frac{\sigma}{\lambda_{Ca^{2+}} + 2\lambda_{F^-}} = \frac{3,71 \times 10^{-3}}{10^{-3} \times (10,5 + 4,04)} = 0,255 mol / m^3 \quad , \quad \sigma = C (\lambda_{Ca^{2+}} + 2\lambda_{F^-})$$

$$[F^-] = 2C = 2 \times 0,255 \times 10^{-4} = 5,0 \times 10^{-4} mol.L^{-1} \quad \text{و} \quad [Ca^{2+}] = 0,255 mol / m^3 = 2,5 \times 10^{-4} mol.L^{-1}$$

- 16

1 - تخفيف المحلول 200 مرة معناه أن معامل التمديد هو 200 ، أي أن $\frac{V_2}{V_1} = 200$ ، حيث V_2 هو حجم المحلول بعد تخفيفه ، V_1

هو حجم المحلول قبل تخفيفه .

نضع الحجم V_1 في إناء مدرّج ونضيف له الماء المقطر إلى أن يصبح حجمه $V_2 = 200 V_1$.

مثلاً نأخذ $V_1 = 2 mL$ ونضيف له الماء المقطر إلى أن يصبح حجمه $V_2 = 400 mL$ ، أي نضيف له 398 mL من الماء المقطر .

نشرح طريقة المعايرة الحجمية (لأن هذا الدرس سيأتي لاحقاً في برنامج وزارة التربية للجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية)

مثلاً : معايرة محلول حمضي مثل حمض كلور الهيدروجين (H_3O^+ , Cl^-) بواسطة محلول أساسي (قاعدي) مثل (Na^+ , OH^-) .

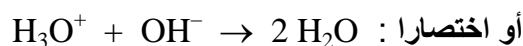
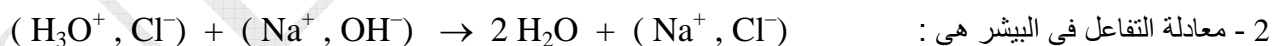
باختصار : الهدف من المعايرة هو تحديد التركيز المولي للمحلول الذي نعايره

نضع حجماً V_a من المحلول الحمضي في بيشر ونضيف له كاشفاً ملوناً مثل أزرق البروموتيمول ، فيتلون في هذه الحالة بالأصفر .

نملأ السحاحة بالمحلول الأساسي ، ثم نشرع في إضافته قطرة بعد قطرة للبيشر . نلاحظ أن لون المزيج في البيشر في لحظة ما ينقلب للون

الأزرق ، حيث أن في تلك اللحظة انتقل المزيج من طبيعة حمضية إلى طبيعة أساسية ، ونسمي حجم المحلول الأساسي الموافق الحجم

اللازم للتكافؤ حمض - أساس .



$$n_{H_3O^+} = n_{OH^-} \quad \text{عند التكافؤ يكون}$$

ويكون حينذاك المزيج معتدلاً ، أي $pH = 7$ (هل تتذكر هذا في أول درس في الكيمياء في السنة الأولى ؟ نعم أتذكره)

هذا يوافق في تمريننا النقطة التي فاصلتها $V_b = 11 mL$.

أي أن لما $V_b \in [0 , 11 mL]$ يكون المزيج في البيشر حامضياً .

لما $V_b = 11 mL$ يكون المزيج معتدلاً .

لما $V_b > 11 mL$ يكون المزيج قاعدياً .

3 - تطور الناقلية خلال المعايرة :

نعلم أن الناقلية تتعلق بالتراكيز المولية للشوارد في المزيج والناقلية النوعية المولية الشاردية لكل شاردة ، وحتى لا نعتد الأمور كثيرا نأخذ حجما كبيرا من المحلول الحمضي في البيشر بالنسبة للحجم الذي نضيفه من السحاحة حتى يتسنى لنا إهمال تغير التراكيز المولية بفعل التمديد .

- قبل $V_b = 11 \text{ mL}$ ، كل ما يحدث هو استبدال شاردة الهيدرونيوم (H_3O^+) بشاردة الصوديوم Na^+ ، لأن H_3O^+ تُستهلك من طرف OH^- .

ونعلم أن الناقلية النوعية المولية الشاردية $\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} > \lambda_{\text{Na}^+}$ ، وبالتالي الناقلية تتناقص .

- عند $V_b = 11 \text{ mL}$ ، لا يوجد في المزيج بصورة محسوسة إلا شوارد الكلور Cl^- وشوارد Na^+ ونعلم أن هاتين الشاردين تملكان ناقلية نوعية مولية شاردية أصغر من شوارد الهيدرونيوم والهيدروكسيد OH^- ، وبالتالي تمر الناقلية بأصغر قيمة لها .

- بعد $V_b = 11 \text{ mL}$ ، تزداد في المزيج شوارد OH^- وشوارد Na^+ ، فتزداد الناقلية وفق منحني ميله أقل من ميل المنحني الموافق لتناقص الناقلية ، لأن هذا يتبع للناقلية النوعية المولية الشاردية لـ OH^- ($\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} > \lambda_{\text{OH}^-}$) .

4 - الحجم المسكوب من المحلول الأساسي هو $V_{b,0} = 11 \text{ mL}$

ليكن التركيز المولي للمحلول الحمضي C_a والتركيز المولي للمحلول الأساسي C_b .

عند التكافؤ يكون لدينا ، كما أشرنا لذلك سابقا : $n_{\text{H}_3\text{O}^+} = n_{\text{OH}^-}$ ، ومنه : $C_a V_a = C_b V_b$ وبالتالي

$$C_a = \frac{C_b V_b}{V_a} = \frac{0,096 \times 11}{100} = 1,056 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$$

التركيز المولي للمحلول الأصلي هو $C'_a = C_a \times 200 = 1,056 \times 10^{-2} \times 200 = 2,112 \text{ mol.L}^{-1}$