ثانوية:	السنة الدراسية: 2026/2027
الفرض الأول: المتابعة الزمنية لتحول كيميائي بقياس الناقلية	
المستوى: السنة الثالثة ثانوي (شعب علمية)	المدة: ساعة واحدة
الاسم واللقب:	القسم: .....

التمرين (20 نقطة)

كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ مركب طبيعي يوجد في الصخور والطباشير والرخام وقشور البيض، ويُستعمل كمكمل غذائي لعلاج نقص الكالسيوم وكمضاد للحموضة، وله أشكال دوائية متنوعة (أقراص، مسحوق...) لعلاج هشاشة العظام وتقوية الأسنان.

يهدف هذا التمرين إلى دراسة حركية التفاعل الحادث بين كربونات الكالسيوم ومحلول حمض كلور الهيدروجين $(H_3O^+ + Cl^-)$، وإلى التحقق من الناقلية النوعية المولية للشاردتين H_3O^+ و Ca^{2+}.

نضع في بيشر حجما $V = 100\ mL$ من محلول حمض كلور الهيدروجين تركيزه المولي $C = 0,1\ mol/L$، ثم نضيف إليه في اللحظة $t = 0$ قرصا من كربونات الكالسيوم كتلته $m = 2\ g$. نتابع التحول بقياس الناقلية G للمزيج التفاعلي باستعمال خلية قياس ثابتها $K = 4\ cm$. نمذج التحول الكيميائي التام الحادث بالمعادلة:

$$CaCO_{3(s)} + 2H_3O^+_{(aq)} \rightarrow Ca^{2+}_{(aq)} + CO_{2(g)} + 3H_2O_{(l)}$$

1- عرّف التحول التام. (1 ن)

2- اذكر الأنواع الكيميائية المسؤولة عن ناقلية المزيج التفاعلي. (1,5 ن)

3- أنشئ جدولا لتقدم التفاعل، ثم عيّن المتفاعل المحد واحسب التقدم الأعظمي x_{max}. (3 ن)

4- اعتمادا على جدول التقدم، بيّن أن عبارة الناقلية G للمزيج التفاعلي بدلالة التقدم x تكتب على الشكل:

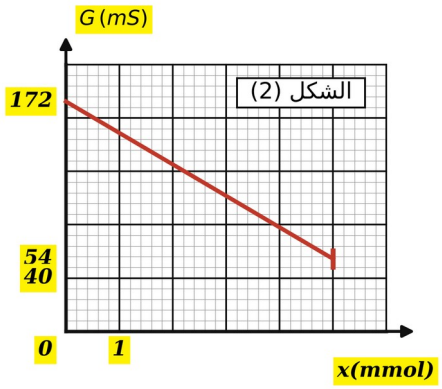
$$G = \frac{K\ (\lambda(Ca^{2+}) - 2\ \lambda(H_3O^+))}{V}\ x + K\ C\ (\lambda(Cl^-) + \lambda(H_3O^+))$$

ثم استنتج عبارة الناقلية الابتدائية G_0. (3 ن)

5- يمثل الشكل (2) منحنى تغيرات الناقلية G بدلالة تقدم التفاعل x:

أ- جد قيمتي الناقلية الابتدائية G_0 والناقلية النهائية G_f للمزيج التفاعلي. (1 ن)

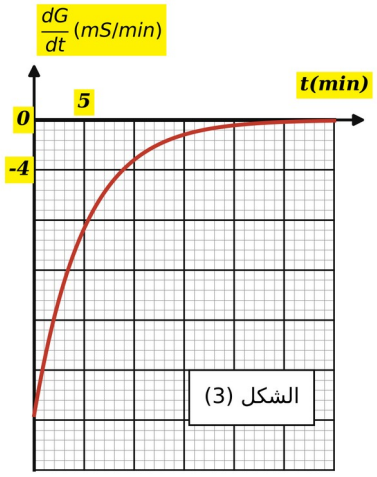
ب- بالاعتماد على البيان، تأكد أن الناقلية النوعية المولية للشاردتين هي: $\lambda(H_3O^+)=35,5\ mS\cdot m^2/mol$ و $\lambda(Ca^{2+})=12\ mS\cdot m^2/mol$. (ن 2,5)



6- يمثل منحنى الشكل (3) تغيرات $\frac{dG}{dt}$ بدلالة الزمن t:

أ- جد عبارة السرعة الحجمية للتفاعل v_{vol} بدلالة $\frac{dG}{dt}$. (ن 1,5)

ب- احسب قيمتها الأعظمية. (ن 2)



7- نعيد نفس التجربة السابقة لكن نستعمل نفس الكتلة من كربونات الكالسيوم على شكل مسحوق:

أ- هل يكون التحول أسرع أم أبطأ؟ برّر. (ن 1,5)

ب- ارسم كيفيا، في نفس المعلم، منحنى تغيرات الناقلية G بدلالة الزمن t للتجربتين معا. (ن 1,5)

ج- نعيد التجربة الأولى (القرص) عند درجة حرارة أعلى. ارسم كيفيا، في معلم واحد، منحني $\frac{dG}{dt}$ بدلالة الزمن t للتجربتين، مع التعليل. (ن 1,5)

المعطيات: $M(CaCO_3)=100\ g/mol$ ؛ $\lambda(Cl^-)=7,6\ mS\cdot m^2/mol$.

بالتوفيق

ثانوية:	السنة الدراسية: 2026/2027
التصحيح النموذجي وسلم التنقيط — الفرض الأول: المتابعة الزمنية لتحول كيميائي بقياس الناقلية	
المستوى: السنة الثالثة ثانوي (شعب علمية)	المدة: ساعة واحدة

التمرين (20 نقطة)

1- التحول التام هو تحول يتوقف عند الاختفاء الكلي للمتفاعل المحد، أي يكون فيه التقدم النهائي مساويا للتقدم الأعظمي: $x_f = x_{max}$. (1 ن)

2- الأنواع الكيميائية المسؤولة عن الناقلية هي الشوارد الموجودة في المزيج: H_3O^+ ، Cl^- و Ca^{2+} . (1,5 ن)

3- كميتا المادة الابتدائيتان: $n_0(H_3O^+) = C\ V = 0,1 \times 0,1 = 1 \times 10^{-2}$ mol (0,5 ن) ، و

$n_0(CaCO_3) = \frac{m}{M} = \frac{2}{100} = 2 \times 10^{-2}$ mol . (0,5 ن)

الحالة	التقدم	$CaCO_3$	H_3O^+	Ca^{2+}	CO_2	H_2O
ابتدائية	0	20	10	0	0	بزيادة
انتقالية	x	$20 - x$	$10 - 2x$	x	x	بزيادة
نهائية	x_{max}	$20 - x_{max}$	$10 - 2x_{max}$	x_{max}	x_{max}	بزيادة

كميات المادة في الجدول مقدرة بـ mmol . (1 ن)

إذا كان H_3O^+ محدا: $1 \times 10^{-2} - 2x_{max} = 0$ ومنه $x_{max} = 5 \times 10^{-3}$ mol ، وإذا كان $CaCO_3$ محدا:

$x_{max} = 2 \times 10^{-2}$ mol . نأخذ القيمة الصغرى: **المتفاعل المحد هو** H_3O^+ و $x_{max} = 5 \times 10^{-3}$ mol = 5 mmol . (1 ن)

4- الناقلية النوعية للمزيج: $\sigma = \lambda(H_3O^+)\ [H_3O^+] + \lambda(Ca^{2+})\ [Ca^{2+}] + \lambda(Cl^-)\ [Cl^-]$ و $G = K\ \sigma$. (0,5 ن)

من جدول التقدم: $[H_3O^+] = \frac{C\ V - 2x}{V}$ ، $[Ca^{2+}] = \frac{x}{V}$ ، $[Cl^-] = C$ (شوارد غير متفاعلة). (1 ن)

بالتعويض: $G = K[\lambda(H_3O^+)(C - \frac{2x}{V}) + \lambda(Ca^{2+})\ \frac{x}{V} + \lambda(Cl^-)\ C]$ ، ومنه: (1 ن)

$$G = \frac{K\ (\lambda(Ca^{2+}) - 2\ \lambda(H_3O^+))}{V}\ x + K\ C\ (\lambda(Cl^-) + \lambda(H_3O^+))$$

عند $t = 0$ يكون $x = 0$ ، ومنه:

$$G_0 = K\ C\ (\lambda(Cl^-) + \lambda(H_3O^+))$$

(ن 0,5)

5- بالاعتماد على الشكل (2):

أ- من البيان: عند $x = 0$: $G_0 = 172\ mS$ ، وعند $x = x_{max} = 5\ mmol$: $G_f = 54\ mS$. **(ن 1)**

ب- الناقلية النوعية المولية لـ H_3O^+ : من $G_0 = K\ C\ (\lambda(Cl^-) + \lambda(H_3O^+))$ (مع $K = 4 \times 10^{-2}\ m$ و $C = 100\ mol/m^3$):

$$\lambda(H_3O^+) = \frac{G_0}{K\ C} - \lambda(Cl^-) = \frac{0,172}{4 \times 10^{-2} \times 100} - 7,6 \times 10^{-3} \approx 35,5 \times 10^{-3}\ S \cdot m^2/mol$$

أي $35,5\ mS \cdot m^2/mol$. **(ن 1,25)**

الناقلية النوعية المولية لـ Ca^{2+} : البيان مستقيم ميله $a = \frac{G_f - G_0}{x_{max}} = \frac{54 - 172}{5} = -23,6\ mS/mmol = -23,6\ S/mol$ ، وبالمطابقة مع العبارة النظرية $a = \frac{K\ (\lambda(Ca^{2+}) - 2\ \lambda(H_3O^+))}{V}$:

$$\lambda(Ca^{2+}) = \frac{a\ V}{K} + 2\ \lambda(H_3O^+) = \frac{-23,6 \times 10^{-4}}{4 \times 10^{-2}} + 2 \times 35,5 \times 10^{-3} = 12 \times 10^{-3}\ S \cdot m^2/mol$$

أي $12\ mS \cdot m^2/mol$ ، وهي القيمة المعطاة. **(ن 1,25)**

6- بالاعتماد على الشكل (3):

أ- السرعة الحجمية للتفاعل: $v_{vol} = \frac{1}{V}\ \frac{dx}{dt}$. **(ن 0,5)**

باشتقاق عبارة G بالنسبة للزمن: $\frac{dG}{dt} = \frac{K\ (\lambda(Ca^{2+}) - 2\ \lambda(H_3O^+))}{V}\ \frac{dx}{dt}$ (ن 0,5) ، ومنه: **(ن 0,5)**

$$v_{vol} = \frac{1}{K\ (\lambda(Ca^{2+}) - 2\ \lambda(H_3O^+))}\ \frac{dG}{dt}$$

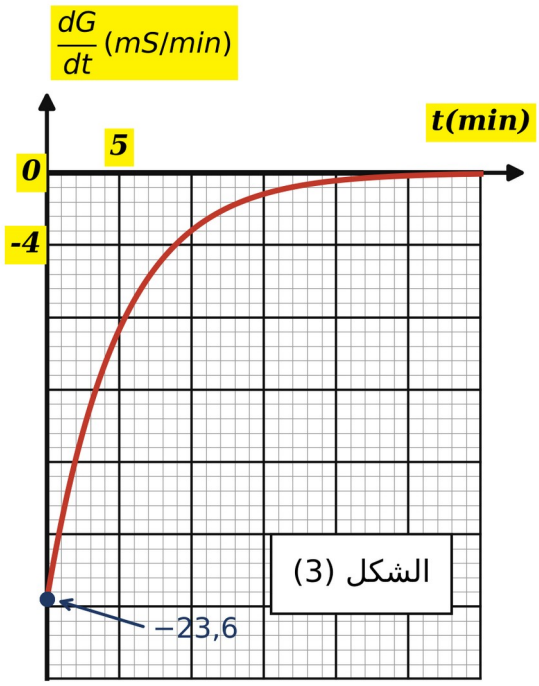
ب- تكون السرعة أعظمية عند $t = 0$ (تتناقص بتناقص تركيز المتفاعل H_3O^+)، ونقرأ من البيان:

$(\frac{dG}{dt})_{t=0} \approx -23,6\ mS/min$. **(ن 0,5)**

إذن: $K\ (\lambda(Ca^{2+}) - 2\ \lambda(H_3O^+)) = 4 \times 10^{-2} \times (12 - 71) \times 10^{-3} = -2,36 \times 10^{-3}\ S \cdot m^3/mol$ **(ن 0,5)**

$$v_{vol,max} = \frac{-23,6 \times 10^{-3}}{-2,36 \times 10^{-3}} = 10\ mol \cdot m^{-3} \cdot min^{-1} = 1 \times 10^{-2}\ mol \cdot L^{-1} \cdot min^{-1}$$

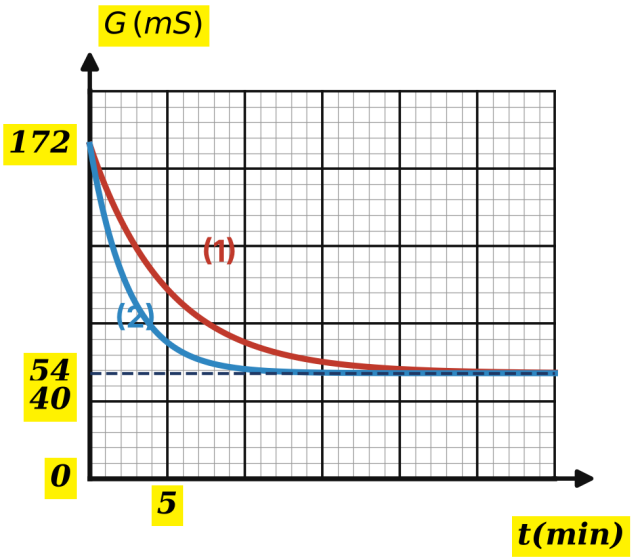
(ن 1)



7- التجربة بالمسحوق:

أ- يكون التحول أسرع، (0,5 ن) لأن مساحة سطح التلامس بين المسحوق والمحلول الحمضي أكبر من مساحة سطح القرص، فيزداد عدد التصادمات الفعالة في وحدة الزمن (سطح التلامس عامل حركي). (1 ن)

ب- المنحنى (1) للقرص والمنحنى (2) للمسحوق: (0,75 ن) نفس الناقلية الابتدائية $G_0=172$ mS ، ونفس الناقلية النهائية $G_f=54$ mS لأن المتفاعل المحد (H_3O^+) هو نفسه فيبقى $x_{max}=5$ mmol ، لكن منحنى المسحوق يبلغ القيمة النهائية في مدة أقصر، وميل مماسه عند المبدأ أكبر بالقيمة المطلقة. (0,75 ن)

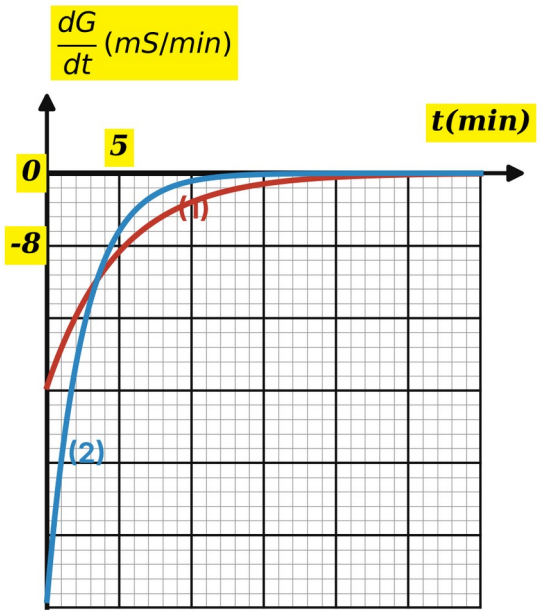


ج- درجة الحرارة عامل حركي: برفعها تزداد سرعة الحركة العشوائية للأفراد الكيميائية فيزداد عدد التصادمات الفعالة في وحدة الزمن، فيكون التحول أسرع. (0,25 ن) المنحنى (1) عند درجة الحرارة الابتدائية والمنحنى (2) عند درجة حرارة أعلى: (0,75 ن)

عند $t=0$ تكون القيمة المطلقة لـ $\frac{dG}{dt}$ أكبر في المنحنى (2)، لأن السرعة الحجمية الابتدائية أكبر ؛

يؤول المنحنى (2) إلى الصفر في مدة أقصر، لأن التحول ينتهي أسرع ؛

المساحة المحصورة بين كل منحنى ومحور الأزمنة هي نفسها: $G_f - G_0 = -118$ mS ، لأن $x_{max}=5$ mmol لا يتعلق بدرجة الحرارة (نهمل تأثير درجة الحرارة على الناقليات النوعية المولية). (0,5 ن)



سلم التنقيط المفصل

السؤال	التوزيع	المجموع
1	تعريف التحول التام	1
2	ثلاث شوارد: $3 \times 0,5$	1,5
3	كميتا المادة: $2 \times 0,5$ ؛ جدول التقدم: 1 ؛ المتفاعل المحد و x_{max} : 1	3
4	عبارتا σ و G : 0,5 ؛ التراكيز: 1 ؛ التعويض والعبارة: 1 ؛ عبارة G_0 : 0,5	3
5 أ	G_0 و G_f : $2 \times 0,5$	1
5 ب	$\lambda(H_3O^+)$: 1,25 ؛ الميل و $\lambda(Ca^{2+})$: 1,25	2,5
6 أ	التعريف: 0,5 ؛ الاشتقاق: 0,5 ؛ العبارة: 0,5	1,5
6 ب	القراءة: 0,5 ؛ الحساب: 0,5 ؛ القيمة: 1	2
7 أ	الجواب: 0,5 ؛ التبرير: 1	1,5
7 ب	الرسم: 0,75 ؛ التعليل: 0,75	1,5
7 ج	الرسم: 0,75 ؛ التعليل: 0,75	1,5
المجموع		20

ملاحظة: تقبل كل طريقة حل صحيحة أخرى، وتقبل القيم المقروءة بيانيا في حدود دقة القراءة.