ثانوية: حمو بوتليليس – وهران	السنة الدراسية: 2026/2027
الفرض الأول للفصل الأول في مادة العلوم الفيزيائية	
المستوى: السنة الثالثة ثانوي (شعبة رياضيات)	المدة: ساعة واحدة
الاسم واللقب:	القسم: .....

الوضعية الإدماجية (20 نقطة)

السياق

يُعتبر منجم «**غار جبيلات**» بولاية تندوف من أكبر مناجم الحديد في الجزائر. تؤكد الدراسات الجيولوجية أن خاماته غنية، إذ تبلغ نسبة الحديد فيها **59 %** (كتلةً). يحتوي الخام على الحديد Fe وعلى شوائب نعتبرها لا تتفاعل ولا تؤثر على تطور التفاعل.

أراد فوج من التلاميذ التأكد من هذه النسبة تجريبيا، وذلك بمتابعة التحول الكيميائي بين الحديد الموجود في عينة من الخام ومحلول حمض كلور الهيدروجين.

المشكلة: هل تؤكد نتائج التلاميذ أن نسبة الحديد في خام غار جبيلات هي فعلا 59 % ؟

السند 1: البروتوكول التجريبي

في اللحظة $t = 0$ ، وضع التلاميذ قطعا صغيرة من خام الحديد كتلتها $m = 1{,}90\ \text{g}$ في دورق يحتوي على حجم $V = 200\ \text{mL}$ من محلول حمض كلور الهيدروجين $(H_3O^+ + Cl^-)$ تركيزه المولي بشوارد الهيدرونيوم $[H_3O^+]_0 = C$ ، ثم جمعوا غاز ثنائي الهيدروجين المنطلق وقاسوا حجمه V_{H_2} تحت ضغط ثابت. نعتبر أن حجم المحلول يبقى ثابتا خلال التحول.

يُنمذج التحول الحادث، وهو تحول تام وبطيء، بالمعادلة:

$$Fe(s) + 2H_3O^+(aq) = Fe^{2+}(aq) + H_2(g) + 2H_2O(l)$$

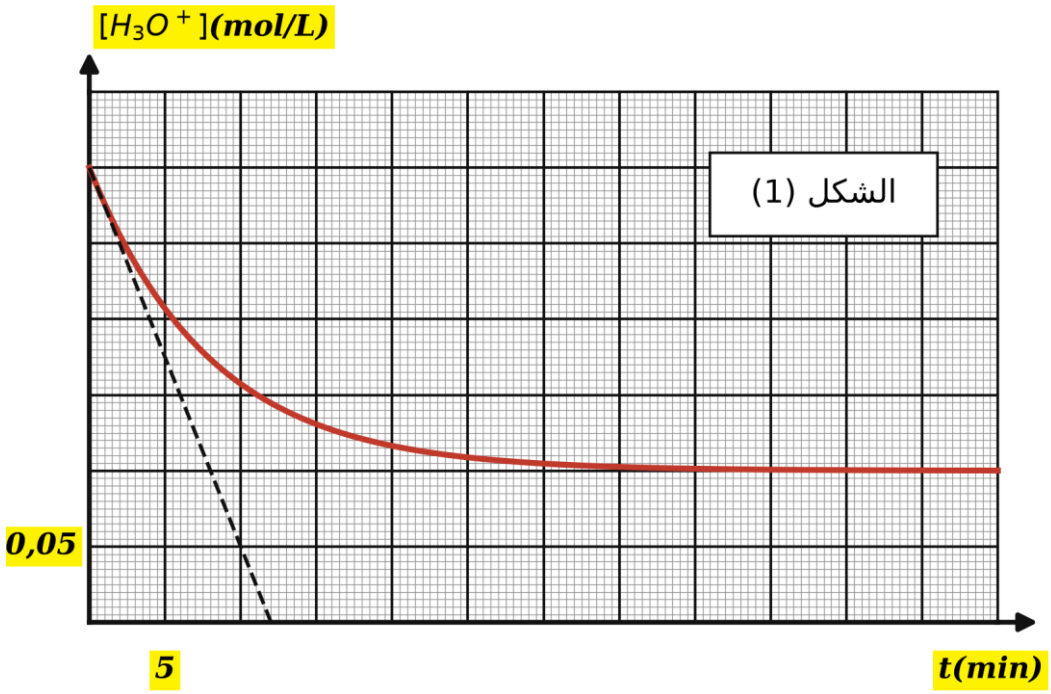
المعطيات: الحجم المولي للغازات في شروط التجربة $V_M = 24\ \text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$ ، $M(Fe) = 55{,}8\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

السند 2: بعض نتائج القياس

t (min)	0	2	4	6	10	20	30	40
V_{H_2} (mL)	0	106	189	253	342	441	469	477

السند 3: منحنى تطور تركيز شوارد الهيدرونيوم

انطلاقا من القياسات، مثّل التلاميذ المنحنى $[H_3O^+] = f(t)$ ، (الشكل 1)، والمستقيم المتقطع هو المماس للمنحنى في اللحظة $t = 0$.



المهام

الجزء الأول: نمذجة التحول ومتابعته

1- اكتب المعادلتين النصفيتين للأكسدة والإرجاع، محددا الثنائيتين (Ox/Red) الداخلتين في التفاعل. (1,5 ن)

2- علّل لماذا يسمح قياس حجم الغاز المنطلق بمتابعة تطور هذا التحول، ثم اقترح طريقة أخرى لمتابعته مع التعليل. (1 ن)

3- أنشئ جدول تقدم التفاعل. (1,5 ن)

4- بيّن أن التركيز المولي لشوارد الهيدرونيوم يُعطى في كل لحظة بالعلاقة:

$$[H_3O^+] = C - \frac{2}{V \cdot V_M} \times V_{H_2}$$

(1 ن)

الجزء الثاني: استغلال النتائج التجريبية

5- باستغلال السندين 2 و 3:

أ- استخرج من المنحنى قيمة التركيز الابتدائي C وقيمة التركيز النهائي $[H_3O^+]_f$. (0,5 ن)

ب- باستعمال العلاقة السابقة، أكمل الجدول التالي، ثم تحقق من توافق النتائج مع المنحنى. (1,5 ن)

t (min)	4	10	20
V_{H_2} (mL)	189	342	441
$[H_3O^+]$ (mol · L^{-1})			

6- حدّد المتفاعل المحد مع التعليل، ثم احسب قيمة التقدم الأعظمي x_{max} ، واستنتج الحجم الأعظمي لغاز ثنائي الهيدروجين $V_{H_2,max}$. (2,5 ن)

7- عرّف زمن نصف التفاعل $t_{1/2}$ ، ثم حدّد قيمته بيانيا موضحا الطريقة. (1,5 ن)

8- بيّن أن التركيز المولي لشوارد الحديد الثنائي عند اللحظة $t_{1/2}$ هو $[Fe^{2+}] = 0{,}05 \text{ mol} \cdot L^{-1}$. (1 ن)

9- السرعة الحجمية للتفاعل:

أ- بيّن أن عبارتها تكتب بالشكل:

$$v_{vol} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{d[H_3O^+]}{dt}$$

(1 ن)

ب- احسب قيمتها عند اللحظة $t = 0$. (1 ن)

ج- كيف تتطور هذه السرعة مع الزمن؟ فسّر ذلك مجهريا مع ذكر العامل الحركي المسؤول. (1 ن)

الجزء الثالث: حل المشكلة

10- احسب كتلة الحديد النقي m_0 الموجودة في العينة، ثم أجب عن المشكلة المطروحة مع التعليل. (3 ن)

11- أعاد فوج آخر التجربة في نفس الشروط، لكن باستعمال نفس الكتلة من الخام على شكل مسحوق. ارسم كيفيا، على نفس الشكل، المنحنى $[H_3O^+] = f(t)$ المتوقع، مع تعليل شكله في البداية وفي النهاية. (2 ن)

بالتوفيق للجميع

ثانوية: حمو بوتليليس – وهران	السنة الدراسية: 2026/2027
التصحيح النموذجي وسلم التنقيط — الفرض الأول للفصل الأول	
المستوى: السنة الثالثة ثانوي (شعبة رياضيات)	المدة: ساعة واحدة

الجزء الأول: نمذجة التحول ومتابعته (5 نقاط)

1- الثنائيتان: (Fe^{2+}/Fe) و (H_3O^+/H_2) . (0,5 ن)

معادلة الأكسدة: $Fe(s) = Fe^{2+}(aq) + 2e^-$ (0,5 ن)

معادلة الإرجاع: $2H_3O^+(aq) + 2e^- = H_2(g) + 2H_2O(l)$ (0,5 ن)

2- غاز H_2 ناتج، وكمية مادته تساوي التقدم: $n(H_2) = x = \frac{V_{H_2}}{V_M}$ ، فقياس حجمه يعطي التقدم في كل لحظة. (0,5 ن)

طريقة أخرى: **قياس الناقلية**، لأن شوارد H_3O^+ ذات الناقلية النوعية الكبيرة تختفي وتعوض بشوارد Fe^{2+} ، فتتغير ناقلية المحلول (تتناقص). تقبل أيضا: **قياس الـ pH** لأن $[H_3O^+]$ يتناقص فيزداد pH. (0,5 ن)

3- جدول التقدم (مع $n_0(Fe)$ كمية مادة الحديد الابتدائية و CV كمية مادة H_3O^+ الابتدائية): (1,5 ن)

الحالة	التقدم	Fe	$2H_3O^+$	Fe^{2+}	H_2	$2H_2O$
ابتدائية	0	$n_0(Fe)$	CV	0	0	بزيادة
انتقالية	x	$n_0(Fe) - x$	$CV - 2x$	x	x	بزيادة
نهائية	x_{max}	$n_0(Fe) - x_{max}$	$CV - 2x_{max}$	x_{max}	x_{max}	بزيادة

4- من جدول التقدم:

$$n(H_3O^+) = CV - 2x \Rightarrow [H_3O^+] = C - \frac{2x}{V}$$

ومن جهة أخرى، كمية مادة الغاز الناتج:

$$x = n(H_2) = \frac{V_{H_2}}{V_M}$$

بالتعويض نجد:

$$[H_3O^+] = C - \frac{2}{V \cdot V_M} \times V_{H_2}$$

(1 ن)

الجزء الثاني: استغلال النتائج التجريبية (10 نقاط)

5- باستغلال السندين 2 و 3:

أ- من المنحنى: $C = 0{,}30\ mol \cdot L^{-1}$ و $[H_3O^+]_f = 0{,}10\ mol \cdot L^{-1}$. (0,5 ن)

ب- مع $V \cdot V_M = 0{,}200 \times 24 = 4{,}8\ L^2 \cdot mol^{-1}$ و V_{H_2} باللتر، مثلا عند $t = 4\ min$:

$$[H_3O^+] = 0{,}30 - \frac{2 \times 0{,}189}{4{,}8} = 0{,}221\ mol \cdot L^{-1}$$

(1 ن)

t (min)	4	10	20
V_{H_2} (mL)	189	342	441
$[H_3O^+]$ $(mol \cdot L^{-1})$	0,221	0,158	0,116

القيم المحسوبة تنطبق على نقاط المنحنى عند نفس اللحظات (0,22 ؛ 0,16 ؛ 0,12 تقريبا)، فالنتائج متوافقة. (0,5 ن)

6- التحول تام، و $[H_3O^+]_f = 0{,}10\ mol \cdot L^{-1} \neq 0$: شوارد H_3O^+ لم تختف كليا، إذن **الحديد هو المتفاعل المحد.** (1 ن)

$$CV - 2x_{max} = [H_3O^+]_f V \Rightarrow x_{max} = \frac{(C - [H_3O^+]_f)V}{2} = \frac{(0{,}30 - 0{,}10) \times 0{,}200}{2}$$
$$= 2{,}0 \times 10^{-2}\ mol$$

(1 ن)

$$V_{H_2,max} = x_{max} \cdot V_M = 2{,}0 \times 10^{-2} \times 24 = 0{,}48\ L = 480\ mL$$

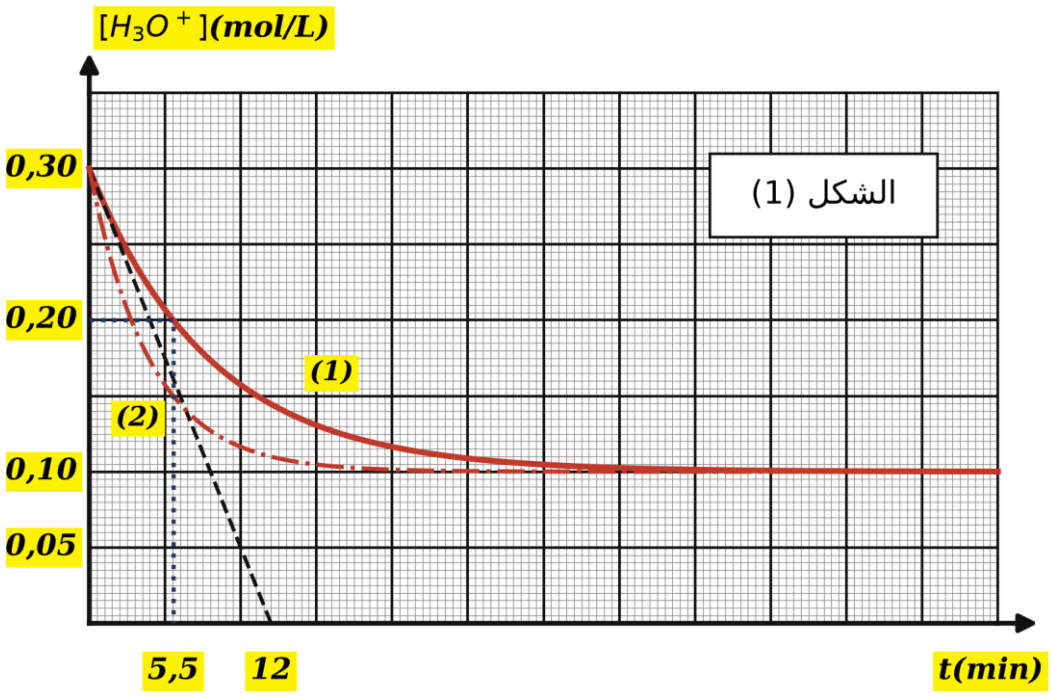
وهو ما يتوافق مع قيم السند 2 التي تقترب من 480 mL . (0,5 ن)

7- **زمن نصف التفاعل** $t_{1/2}$: هو المدة الزمنية اللازمة لبلوغ التقدم نصف قيمته النهائية: $x(t_{1/2}) = \frac{x_f}{2}$. (0,5 ن)

عند $t_{1/2}$:

$$[H_3O^+] = C - \frac{x_{max}}{V} = 0{,}30 - \frac{0{,}020}{0{,}200} = 0{,}20\ mol \cdot L^{-1}$$

نُسقط هذه القيمة على المنحنى فنقرأ: $t_{1/2} \approx 5{,}5\ min$. (1 ن)



8- عند $t_{1/2}$: $x = \frac{x_{max}}{2} = 1{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol}$ ، ومن جدول التقدم : $n(Fe^{2+}) = x$

$$[Fe^{2+}] = \frac{x}{V} = \frac{1{,}0 \times 10^{-2}}{0{,}200} = 0{,}05\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

(1 ن)

9- السرعة الحجمية للتفاعل:

أ- تعريف السرعة الحجمية:

$$v_{vol} = \frac{1}{V} \cdot \frac{dx}{dt}$$

ومن العلاقة السابقة:

$$x = \frac{V}{2}(C - [H_3O^+]) \Rightarrow \frac{dx}{dt} = -\frac{V}{2} \cdot \frac{d[H_3O^+]}{dt}$$

إذن:

$$v_{vol} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{d[H_3O^+]}{dt}$$

(1 ن)

ب- ميل المماس عند $t = 0$ (يمر بالنقطتين $(0\ ;\ 0{,}30)$ و $(12\ ;\ 0)$):

$$\left(\frac{d[H_3O^+]}{dt}\right)_{t=0} = \frac{0 - 0{,}30}{12 - 0} = -2{,}5 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$v_{vol}(0) = -\frac{1}{2} \times (-2{,}5 \times 10^{-2}) = 1{,}25 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$

(1 ن)

ج- تتناقص السرعة الحجمية مع الزمن (ميل المماس يتناقص بالقيمة المطلقة حتى ينعدم)، فقيمتها أعظمية عند $t = 0$. التفسير: يتناقص تركيز المتفاعل H_3O^+ وكمية الحديد، فيقل عدد التصادمات الفعالة في وحدة الزمن. العامل الحركي: **التركيز المولي للمتفاعلات.** (1 ن)

الجزء الثالث: حل المشكلة (5 نقاط)

10- الحديد متفاعل محد، فكميته الابتدائية: $n_0(Fe) = x_{max} = 2{,}0 \times 10^{-2}\ mol$. (0,5 ن)

$$m_0 = n_0(Fe) \times M(Fe) = 2{,}0 \times 10^{-2} \times 55{,}8 = 1{,}116\ g \approx 1{,}12\ g$$

(1 ن)

نسبة الحديد في الخام:

$$p = \frac{m_0}{m} \times 100 = \frac{1{,}116}{1{,}90} \times 100 \approx 58{,}7$$

أي 58,7 % تقريبا. (0,5 ن)

الجواب عن المشكلة: النسبة التجريبية 58,7 % قريبة جدا من 59 % (فرق نسبي أقل من 1 %، يعود إلى دقة القراءة البيانية)، إذن نتائج التلاميذ **تؤكد** أن خام غار جبيلات غني بالحديد بنسبة 59 % تقريبا. (1 ن)

11- المنحنى (2) في الشكل (1) أعلاه: في البداية يكون تحت المنحنى (1) وأكثر انحدارا، لأن المسحوق يزيد **سطح التلامس** بين الحديد والمحلول فتزداد التصادمات الفعالة ويصبح التفاعل أسرع ($t_{1/2}$ أصغر). (1 ن)

في النهاية يؤول إلى نفس القيمة $[H_3O^+]_f = 0{,}10\ mol \cdot L^{-1}$ ، لأن كميات المادة الابتدائية لم تتغير فيبقى التقدم الأعظمي نفسه. (1 ن)

سلم التنقيط المفصل (20 نقطة)

السؤال	التوزيع	المجموع
1	الثنائيتان 0,5 + معادلة الأكسدة 0,5 + معادلة الإرجاع 0,5	1,5
2	تعليل المتابعة بالحجم 0,5 + طريقة أخرى معللة 0,5	1
3	الحالة الابتدائية 0,5 + الانتقالية 0,5 + النهائية 0,5	1,5
4	العبارة من جدول التقدم 0,5 + إدخال الحجم المولي والوصول إلى العلاقة 0,5	1
5	قراءة التركيزين الابتدائي والنهائي 0,5 + حساب القيم الثلاث 1 + التحقق من التوافق 0,5	2
6	المتفاعل المحد معلل 1 + التقدم الأعظمي 1 + الحجم الأعظمي للغاز 0,5	2,5
7	التعريف 0,5 + الطريقة البيانية والقيمة 1	1,5
8	التقدم عند زمن نصف التفاعل 0,5 + حساب التركيز 0,5	1
9	العبارة 1 + القيمة في اللحظة الابتدائية 1 + التطور والتفسير والعامل الحركي 1	3
10	كمية مادة الحديد 0,5 + كتلة الحديد النقي 1 + النسبة 0,5 + الجواب المعلل عن المشكلة 1	3
11	الرسم الكيفي وتعليل البداية 1 + تعليل النهاية 1	2
المجموع		20

ملاحظة: تقبل كل طريقة حل صحيحة أخرى، وتراعى القراءات البيانية في حدود دقة الرسم (مثلا $t_{1/2}$ بين 5 و 6 min).