

IChO 1989

المسائل النظرية والحلول · هاله، جمهورية ألمانيا الديمقراطية · 6 مسائل نظرية مع حلول كاملة

eulersolve.org/icho/1989/

المسألة 1: حاصل الإذابة ليودات النحاس(II) باستخدام المعايرة اليودومترية

لتحديد حاصل الإذابة ليودات النحاس(II)، $\text{Cu}(\text{IO}_3)_2$ ، باستخدام المعايرة اليودومترية في محلول حمضي (25°C)، يلزم 30.00 cm^3 من محلول ثيوكبريتات الصوديوم بتركيز مولاري 0.100 لمعايرة 20.00 cm^3 من محلول مائي مشبع من $\text{Cu}(\text{IO}_3)_2$.

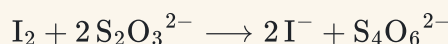
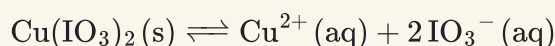
1.1 اكتب تسلسل المعادلات الموزونة للتفاعلات الموصوفة أعلاه.

1.2 احسب التركيز الابتدائي لـ Cu^{2+} وحاصل الإذابة ليودات النحاس(II). يمكن إهمال معاملات النشاط.

نص المسألة مترجم عن النص الإنجليزي الرسمي.

الإجابات

• 1.1



• 1.2

$$[\text{Cu}^{2+}]_0 = 1.15 \times 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$$

$$K_{\text{sp}} = 6.14 \times 10^{-6}$$

حاصل ضرب التراكيز المقابل هو $6.14 \times 10^{-6} \text{ mol}^3 \text{ dm}^{-9}$.

الحل

1.1

ينتج عن ذوبان يودات النحاس(II) أيون نحاس(II) واحد وأيونات يودات لكل وحدة صيغة، كما يوضح الاتزان الأول أعلاه.

لإجراء التقدير اليودومتري، تضاف كمية فائضة من اليوديد إلى العينة المُمخّضة. يحرر كلا المكوّنين الذائبين اليود:

- تؤكسد اليوداتُ اليوديدَ في المحلول الحمضي. وينتج عن كل مول من اليودات ثلاثة مولات من اليود.
- يؤكسد النحاس(II) اليوديدَ أيضاً. ويُختزل النحاس(II) إلى النحاس(I)، الذي يترسب على هيئة يوديد النحاس(I). وينتج عن كل مول من النحاس(II) نصف مول من اليود.

يُعاير اليود المتحرر بعد ذلك بالثيوكبريتات. ويُختزل اليود إلى يوديد، بينما تتأكسد الثيوكبريتات إلى رباعي الثيونات. ويستهلك كل مول من اليود مولين من الثيوكبريتات.

للأنواع الكيميائية المستخدمة في هذه المعادلات الأسماء وتمثيلات SMILES الآتية. تُظهر تمثيلات الأملاح الأيونات المكوّنة لها منفصلةً؛ ولا تصف تمثيلات SMILES شبكتها البلورية أو إماهتها في الماء.

النوع الكيميائي	SMILES
يودات النحاس(II)	$\text{I}(\text{=O})=\text{O} \cdot [\text{O}-] \text{I}(\text{=O})=\text{O} [\text{-O}] \cdot [\text{Cu}+2]$
أيون النحاس(II)	$[\text{Cu}+2]$
أيون اليودات	$\text{I}(\text{=O})=\text{O} [\text{-O}]$
أيون اليوديد	$[\text{-I}]$
أيون الهيدروجين (بروتون)	$[\text{+H}]$
اليود	II
الماء	O
يوديد النحاس(I)	$[\text{-I}] \cdot [\text{+Cu}]$
أيون الثيوكبريتات	$\text{S}(\text{=O})(\text{=O}) [\text{S-}] [\text{-O}]$
أيون رباعي الثيونات	$\text{S}(\text{=O})(\text{=O}) \text{SSS}(\text{=O})(\text{=O}) [\text{O-}] [\text{-O}]$
ثيوكبريتات الصوديوم	$\text{S}(\text{=O})(\text{=O}) [\text{S-}] [\text{-O}] \cdot [\text{+Na}] \cdot [\text{+Na}]$

1.2

لتكن s الذوبانية المولارية ليودات النحاس(II) في المحلول المشبع الأصلي. تعطي النسب الستوكيومترية لذوبانها

$$[\text{Cu}^{2+}]_0 = s, \quad [\text{IO}_3^-]_0 = 2s.$$

لكل مول من يودات النحاس(II) الذائبة:

- ينتج عن أيوني اليودات $6 = 3 \times 2$ مولات من اليود، مما يستهلك 12 مولاً من الثيوكبريتات.
- ينتج عن أيون النحاس(II) مقدار إضافي من اليود يبلغ $\frac{1}{2}$ مول، مما يستهلك 1 مول من الثيوكبريتات.

وعليه،

$$n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = 13 n(\text{Cu}(\text{IO}_3)_2).$$

كمية مادة الثيوكبريتات المستخدمة هي

$$n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = (0.100 \text{ mol dm}^{-3})(30.00 \times 10^{-3} \text{ dm}^3) = 3.00 \times 10^{-3} \text{ mol}.$$

إذن، يحتوي الجزء المأخوذ من المحلول الأصلي، وحجمه 20.00 cm^3 ، على

$$n(\text{Cu}^{2+}) = \frac{3.00 \times 10^{-3}}{13} = 2.30769 \times 10^{-4} \text{ mol}.$$

وبالتالي، فإن التركيز الابتدائي للنحاس(II) فيه هو

$$s = \frac{2.30769 \times 10^{-4} \text{ mol}}{20.00 \times 10^{-3} \text{ dm}^3} = 0.0115385 \text{ mol dm}^{-3},$$

ومن ثم

$$[\text{Cu}^{2+}]_0 = 1.15 \times 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}.$$

باستخدام القيمة غير المقرّبة،

$$[\text{IO}_3^-]_0 = 2s = 0.0230769 \text{ mol dm}^{-3}.$$

حاصل ضرب التراكيز للإذابة هو

$$[\text{Cu}^{2+}]_0 [\text{IO}_3^-]_0^2 = s(2s)^2 = 4s^3,$$

$$4(0.0115385)^3 = \boxed{6.14 \times 10^{-6} \text{ mol}^3 \text{ dm}^{-9}}.$$

بإهمال معاملات النشاط وتطبيق التراكيز بقسمتها على التركيز القياسي $c^\circ = 1 \text{ mol dm}^{-3}$ ، يكون حاصل الإذابة عديم الأبعاد إذن

$$\boxed{K_{\text{sp}} = 6.14 \times 10^{-6}}.$$

تمت مراجعة الحل بمقارنته بالحل الرسمي.

المسألة 2: غاز التخليق: شغل الانضغاط واتزان تحويل CO

يُنتَج مزيج من الغازات يحتوي أساساً على أول أكسيد الكربون والهيدروجين بتفاعل الألكانات مع بخار الماء:



2.1 باستخدام المعادلتين (1) و(2)، اكتب تفاعلاً إجمالياً (3) بحيث يكون صافي التغير في الإنتالبي صفراً.

2.2 يُجرى تخليق الميثانول من أول أكسيد الكربون والهيدروجين إما

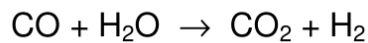
(a) على خطوتين، حيث يُضغَط المزيج الابتدائي الموافق للمعادلة (3) من $0.1 \times 10^6 \text{ Pa}$ إلى $3 \times 10^6 \text{ Pa}$ ، ثم يُضغَط مزيج النواتج الناتج منه مرة أخرى من $3 \times 10^6 \text{ Pa}$ إلى $6 \times 10^6 \text{ Pa}$

أو

(b) على خطوة واحدة، حيث يُضغَط مزيج النواتج الموافق للمعادلة (3) من $0.1 \times 10^6 \text{ Pa}$ إلى $6 \times 10^6 \text{ Pa}$.

احسب شغل الانضغاط، W_a ، وفقاً للتفاعل ذي الخطوتين لكمية حجمها 100 cm^3 من المزيج الابتدائي، واحسب الفرق في شغل الانضغاط بين التفاعلين 1 و2.

افترض في الحسابات أن التفاعل تام ويجري عند ضغط ثابت. تبقى درجة الحرارة ثابتة عند 500 K ، ويُفترض سلوك الغاز المثالي. لإنتاج الهيدروجين اللازم لتخليق الأمونيا، يُوضَع مزيج من 40.0 mol من CO و 40.0 mol من الهيدروجين و 18.0 mol من ثاني أكسيد الكربون و 2.0 mol من النيتروجين في تماس مع 200.0 mol من بخار الماء في مفاعل يتحقق فيه اتزان التحويل.

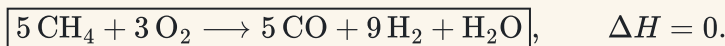


2.3 احسب عدد مولات كل غاز يغادر المفاعل.

نص المسألة مترجم عن النص الإنجليزي الرسمي.

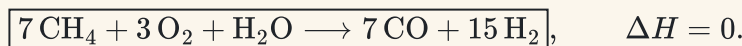
الإجابات

• **2.1** — باستخدام قيم الإنتالبي كما هي مطبوعة تماماً:



هذا هو (2) - (1)6، وهو يتطلب عكس التفاعل (2). لا يوجد تركيب خطي غير صفري للتفاعلين كليهما في الاتجاه الأمامي تكون فيه قيمة الإنتالبي صفراً مع القيم الموجبة المطبوعة.

إذا كان المقصود في المعادلة (1) أن تكون $\Delta H = -36 \text{ kJ mol}^{-1}$:



• 2.2 — انضغاط عكوس متساوي الحرارة، مع اعتبار الشغل موجباً عندما يُبذل على الغاز:

تفسير الإنتالبي	W_a	W_b	الوفر، $W_b - W_a$
القيم كما هي مطبوعة	47.0 J	76.8 J	29.8 J
إذا كانت $\Delta H_1 = -36 \text{ kJ mol}^{-1}$	47.9 J	81.9 J	34.0 J

• 2.3 — لا يمكن تحديد التركيب عددياً من المعطيات المقدمة: ينقص ثابت الاتزان أو معطى مكافئ له. إذا خضعت كمية مقدارها $x \text{ mol}$ للتحويل في الاتجاه الأمامي،

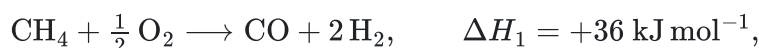
$$\begin{aligned} n_{\text{CO}} &= (40.0 - x) \text{ mol}, \\ n_{\text{H}_2} &= (40.0 + x) \text{ mol}, \\ n_{\text{CO}_2} &= (18.0 + x) \text{ mol}, \\ n_{\text{N}_2} &= 2.0 \text{ mol}, \\ n_{\text{H}_2\text{O}} &= (200.0 - x) \text{ mol}. \end{aligned}$$

الحل

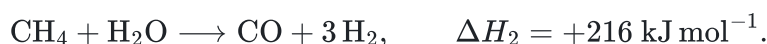
أسماء الجزيئات ورموز SMILES المستخدمة هنا هي: الميثان C؛ الأكسجين الجزيئي O=O؛ أول أكسيد الكربون C[-O+]؛ الهيدروجين [H][H]؛ الماء، بما في ذلك بخار الماء، O؛ الميثانول CO؛ ثاني أكسيد الكربون O=C=O؛ النيتروجين N#N؛ والأمونيا N.

2.1

التفاعلات المعطيان هما



و



لكي يكون الإنتالبي للتركيب الخطي $a(1) + b(2)$ صفراً،

$$36a + 216b = 0.$$

إن $a = -6b$: يجب أن تكون إشارتا المعاملين متعاكستين.

باختيار $a = 6$ و $b = -1$ ، نضرب التفاعل (1) في ستة ونعكس التفاعل (2):



بالجمع وحذف الحدود المشتركة نحصل على



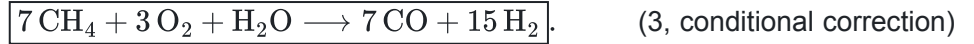
وتكون قيمة الإنتالبي له

$$\Delta H = 6(36) - 216 = 0.$$

إذا كان المقصود أن تكون قيمة الإنتالبي الأولى سالبة، فإن ستة تفاعلات أكسدة جزئية في الاتجاه الأمامي توفر بدلاً من ذلك الحرارة اللازمة لتفاعل واحد من تفاعلات الإصلاح بالبخر في الاتجاه الأمامي:

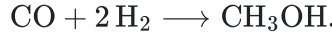
$$6(-36) + 216 = 0.$$

وعندئذ يعطي $6(1) + (2)$



2.2

تفاعل تكوّن الميثانول هو



تشير مقارنة الانضغاط صراحةً إلى مزيجي المتفاعلات والنواتج في التفاعل (3). وبناءً على ذلك:

- في المسار (a)، تُضغَط المتفاعلات إلى $3 \times 10^6 \text{ Pa}$ ، ويُستكمل التفاعل (3) عند ذلك الضغط، ثم تُضغَط نواتجه إلى $6 \times 10^6 \text{ Pa}$.
- في المسار (b)، يُستكمل التفاعل (3) عند الضغط الابتدائي، ثم تُضغَط نواتجه مباشرةً إلى $6 \times 10^6 \text{ Pa}$.

يُقارَن المساران باستخدام الشحنة الابتدائية نفسها من المتفاعلات، وحجمها 100 cm^3 .

في الانضغاط العكوس المتساوي الحرارة لغاز مثالي، يكون الشغل المبذول على الغاز

$$W = - \int_{V_i}^{V_f} p dV = nRT \ln \left(\frac{V_i}{V_f} \right) = nRT \ln \left(\frac{p_f}{p_i} \right).$$

لتكن n_0 كمية المادة الابتدائية، ولتكن $r = n_{\text{products}}/n_0$ نسبة عدد المولات عند تمام التفاعل (3). من الحالة الابتدائية،

$$n_0 RT = p_0 V_0 = (0.1 \times 10^6 \text{ Pa})(100 \times 10^{-6} \text{ m}^3) = 10 \text{ J}.$$

ومن ثم لا يلزم التعويض عن درجة الحرارة المحددة على نحو منفصل.

للمسار (a)،

$$\begin{aligned} W_a &= n_0 RT \ln \left(\frac{3 \times 10^6}{0.1 \times 10^6} \right) + r n_0 RT \ln \left(\frac{6 \times 10^6}{3 \times 10^6} \right) \\ &= (10 \text{ J})[\ln 30 + r \ln 2]. \end{aligned}$$

للمسار (b)،

$$W_b = r n_0 RT \ln \left(\frac{6 \times 10^6}{0.1 \times 10^6} \right) = (10 \text{ J})r \ln 60.$$

لذلك،

$$\boxed{W_b - W_a = (10 \text{ J})(r - 1) \ln 30}.$$

يوفر المسار (a) شغلاً لأن عدداً أقل من المولات يخضع للانضغاط الابتدائي.

باستخدام قيم الإنتالبي المطبوعة، يحوّل التفاعل (3) $5 + 3 = 8$ مولات من المتفاعلات إلى $15 + 9 + 1 = 22$ مولاً من النواتج، لذا

$$r = \frac{15}{8}.$$

وبالتالي،

$$W_a = 10 \left[\ln 30 + \frac{15}{8} \ln 2 \right] \text{ J} = \boxed{47.0 \text{ J}},$$

$$W_b = 10 \left(\frac{15}{8} \right) \ln 60 \text{ J} = 76.8 \text{ J},$$

$$\boxed{W_b - W_a = 29.8 \text{ J}}.$$

مع افتراض الإشارة السالبة لـ ΔH_1 على نحو مشروط، يحوّل التفاعل (3) $7 + 3 + 1 = 11$ مولاً إلى $7 + 15 = 22$ مولاً، مما يعطي $r = 2$. ومن ثم

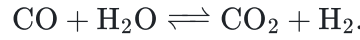
$$\boxed{W_a = 10[\ln 30 + 2 \ln 2] \text{ J} = 47.9 \text{ J}},$$

$$W_b = 20 \ln 60 \text{ J} = 81.9 \text{ J}, \quad \boxed{W_b - W_a = 34.0 \text{ J}}.$$

هذه هي قيم شغل الضواغط؛ وهي لا تشمل شغل التمدد أثناء التفاعل الكيميائي الجاري عند ضغط ثابت.

2.3

اتزان تفاعل إزاحة غاز الماء هو



لتفاعل كمية مقدارها $x \text{ mol}$ في الاتجاه الأمامي. تعطي العلاقات الستوكيومترية:

الغاز	الكمية الابتدائية / mol	التغير / mol	الكمية الخارجة / mol
أول أكسيد الكربون، CO	40.0	$-x$	$40.0 - x$
الهيدروجين، H_2	40.0	$+x$	$40.0 + x$
ثاني أكسيد الكربون، CO_2	18.0	$+x$	$18.0 + x$
النيتروجين، N_2	2.0	0	2.0
بخار الماء، H_2O	200.0	$-x$	$200.0 - x$

تبقى كمية النيتروجين دون تغير. وتبقى كمية الغاز الكلية 300.0 mol ، إذ لا يترتب على التفاعل تغير صافي في عدد مولات الغازات.

بالنسبة إلى الغازات المثالية، يكون شرط الاتزان

$$K_p = \frac{p_{\text{CO}_2} p_{\text{H}_2}}{p_{\text{CO}} p_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{(18.0 + x)(40.0 + x)}{(40.0 - x)(200.0 - x)}.$$

يُختزل الضغط الكلي. وبصورة مكافئة،

$$(1 - K_p)x^2 + (58.0 + 240.0K_p)x + 720.0 - 8000.0K_p = 0.$$

لو أعطيت قيمة K_p ، لأمكن تحديد الجذر المقبول فيزيائياً، بحيث

$$-18.0 < x < 40.0$$

لثابت اتزان موجب ومحدود. وتشير قيمة x السالبة إلى تحويل صافي في الاتجاه العكسي.

لكن المسألة لا تعطي K_p ولا معطيات مكافئة يمكن حسابه منها. إن حاصل التفاعل الابتدائي،

$$Q_{p,0} = \frac{18.0 \times 40.0}{40.0 \times 200.0} = 0.0900,$$

لا يحدد ثابت الاتزان. لذلك، لا يمكن التعبير عن الكميات الخارجة إلا بالصيغة المعتمدة على المتغير المبينة أعلاه. وافترض تمام التفاعل في

2.2 لا يحدد هذا الاتزان المذكور على نحو مستقل.

تمت مراجعة الحل بمقارنته بالحل الرسمي. حيثما يختلف هذا الحل عن الحل الرسمي، يحتوي الحل الرسمي على خطأ أو خطأ مطبعي.

المسألة 3: إزالة ثاني أكسيد الكبريت من غازات مداخن محطات توليد الكهرباء

يُزال ثاني أكسيد الكبريت من الغازات العادمة لمحطات توليد الكهرباء العاملة بالفحم بغسلها بمعلقات مائية من كربونات الكالسيوم أو هيدروكسيد الكالسيوم. وتُسترد البقايا المتكوّنة.

3.1 اكتب جميع التفاعلات في صورة معادلات موزونة.

3.2 كم كيلوغراماً من كربونات الكالسيوم يُستهلك يومياً لإزالة 95 % من ثاني أكسيد الكبريت إذا عولجت كمية من الغاز العادم مقدارها $10000 \text{ m}^3/\text{h}$ (مصحّحة إلى 0°C والضغط القياسي)، تحتوي على ثاني أكسيد الكبريت بنسبة حجمية قدرها 0.15 %؟ وكم كيلوغراماً من الجبس يُسترد بذلك؟

3.3 بافتراض أن ثاني أكسيد الكبريت لا يُزال، وأنه يتوزع بالتساوي في كمية من الماء السائل في الغلاف الجوي حجمها 5000 m³، وتعود هذه الكمية بأكملها إلى الأرض على هيئة مطر، فما الأس الهيدروجيني المتوقع للماء المتكثف؟

3.4 إذا استُخدم محلول كبريتيت الصوديوم للامتصاص، أمكن استرداد ثاني أكسيد الكبريت ومحلول الكبريتيت. اكتب المعادلات الموزونة، وبين الطرق الممكنة لزيادة استرداد ثاني أكسيد الكبريت من محلول مائي.

ملاحظة:

يمكن وصف انتقال البروتون في تفاعل ثاني أكسيد الكبريت في المحاليل المائية بالخطوة الأولى لتفكك حمض الكبريتوز. ثابت التفكك هو $K_{a,1}(\text{H}_2\text{SO}_3) = 10^{-2.25}$.

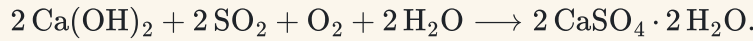
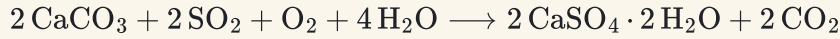
افترض أن الغازات مثالية، وأن درجة الحرارة ثابتة عند 0 °C والضغط قياسي.

$$M(\text{CaCO}_3) = 100 \text{ g mol}^{-1}; M(\text{CaSO}_4) = 172 \text{ g mol}^{-1}$$

نص المسألة مترجم عن النص الإنجليزي الرسمي.

الإجابات

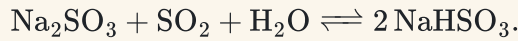
• **3.1** يؤدي الامتصاص إلى تكوين كبريتيت الكالسيوم، الذي يتأكسد ويُسترد على هيئة جبس. والمعادلتان الإجماليتان هما



• **3.2** كربونات الكالسيوم المستهلكة: نحو $1.53 \times 10^3 \text{ kg}$ يوميًا. الجبس المسترد: نحو $2.63 \times 10^3 \text{ kg}$ يوميًا.

• **3.3** لانبعاثات ساعة واحدة دون معالجة، $\text{pH} \approx 3.88$.

• **3.4**



يجري الامتصاص نحو اليمين، ويجري التجديد نحو اليسار. يعزز التسخين وخفض الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكبريت استرداده. ويؤدي التحميض أيضًا إلى تحرير ثاني أكسيد الكبريت، لكن يلزم إجراء تعادل لاحق لاستعادة المادة الماصة.

الحل

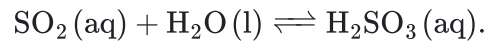
للأنواع الكيميائية المستخدمة أدناه وتمثيلات SMILES الآتية. في حالة الأملاح، تحدد مكونات SMILES غير المتصلة التركيب؛ ولا تصف الشبكة البلورية أو تناسق الماء في الجبس. حمض الكبريتوز هو النوع الكيميائي المائي الصوري المستخدم في نموذج التفكك الوارد في المسألة.

النوع الكيميائي	الاسم	SMILES
SO ₂	ثاني أكسيد الكبريت	O=S=O
H ₂ O	الماء	O
H ₂ SO ₃	حمض الكبريتوز	OS(=O)O
CaCO ₃	كربونات الكالسيوم	C(=O)[O-][O-].[Ca+2]
Ca(OH) ₂	هيدروكسيد الكالسيوم	[OH-].[OH-].[Ca+2]
CaSO ₃	كبريتيت الكالسيوم	S(=O)[O-][O-].[Ca+2]
CO ₂	ثاني أكسيد الكربون	O=C=O
O ₂	الأكسجين	O=O
CaSO ₄	كبريتات الكالسيوم	S(=O)(=O)[O-][O-].[Ca+2]

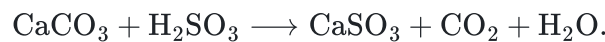
النوع الكيميائي	الاسم	SMILES
CaSO ₄ · 2 H ₂ O	الجبس؛ كبريتات الكالسيوم ثنائية الماء	S(=O)(=O)[O-].[O-].[O-].[Ca+2]
H ₃ O ⁺	أيون الهيدرونيوم	[+OH3]
HSO ₃ ⁻	أيون الهيدروجين كبريتيت؛ أيون البيكبريتيت	OS(=O)[O-]
Na ₂ SO ₃	كبريتيت الصوديوم	S(=O)[O-].[O-].[+Na].[+Na]
NaHSO ₃	هيدروجين كبريتيت الصوديوم؛ بيكبريتيت الصوديوم	OS(=O)[O-].[+Na]

3.1 — الامتصاص وتكوّن الجبس

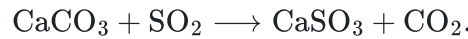
يسلك ثاني أكسيد الكبريت المذاب سلوك حمض، ويُمثّل ذلك صوريًا بالمعادلة



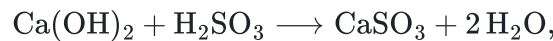
يؤدي التعادل ب كربونات الكالسيوم إلى تحرير ثاني أكسيد الكربون:



وبجمع هذا التفاعل مع خطوة الإماهة الصورية نحصل على



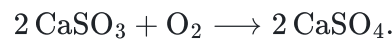
يعطي التعادل بهيدروكسيد الكالسيوم



أو، بعد الجمع مع الإماهة،



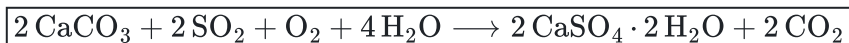
يؤكسد الأكسجين الموجود في غاز المداخل أو في الهواء المزوّد كبريتيت الكالسيوم إلى كبريتات الكالسيوم:



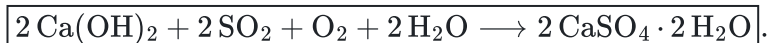
تزداد حالة أكسدة الكبريت من +4 إلى +6. والمادة الصلبة المميّهة المستردة هي الجبس:



إذن، المعادلتان الإجماليّتان هما



و



3.2 — الاستهلاك اليومي لكربونات الكالسيوم واسترداد الجبس

عند 0 °C والضغط القياسي المتعارف عليه، يكون الحجم المولي للغاز المثالي

$$V_m \approx 22.4 \text{ L mol}^{-1} = 22.4 \text{ m}^3 \text{ kmol}^{-1}.$$

حجم ثاني أكسيد الكبريت الداخل في الساعة هو

$$\dot{V}_{\text{SO}_2} = (10000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1})(0.0015) = 15.0 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}.$$

وعليه، فإن الحجم المحتجز يوميًا هو

$$V_{\text{captured}} = (15.0 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1})(24 \text{ h day}^{-1})(0.95) = 342 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}.$$

وكمية مادته هي

$$n_{\text{captured}} = \frac{342 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}}{22.4 \text{ m}^3 \text{ kmol}^{-1}} = 15.27 \text{ kmol day}^{-1}.$$

يوضح التفاعل الإجمالي أن مولاً واحداً من ثاني أكسيد الكبريت المحتجز يستهلك مولاً واحداً من كربونات الكالسيوم وينتج مولاً واحداً من الجبس. ومن ثم

$$m_{\text{CaCO}_3} = (15.27 \text{ kmol day}^{-1})(100 \text{ kg kmol}^{-1}) \approx \boxed{1.53 \times 10^3 \text{ kg day}^{-1}}.$$

الجبس هو $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{ H}_2\text{O}$ ؛ وتطبق الكتلة المولية المعطاة 172 g mol^{-1} على هذا المركب ثنائي الماء. لذلك

$$m_{\text{gypsum}} = (15.27 \text{ kmol day}^{-1})(172 \text{ kg kmol}^{-1}) \approx \boxed{2.63 \times 10^3 \text{ kg day}^{-1}}.$$

3.3 — الأس الهيدروجيني لماء المطر

باتخاذ انبعاثات ساعة واحدة دون معالجة أساساً للحساب، يدخل حجم ثاني أكسيد الكبريت البالغ 15.0 m^3 بأكمله إلى الماء:

$$n_{\text{SO}_2} = \frac{15.0 \text{ m}^3}{22.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}} = 669.6 \text{ mol}.$$

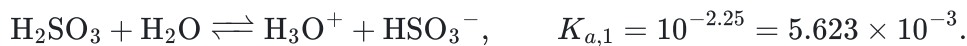
حجم الماء هو

$$5000 \text{ m}^3 = 5.000 \times 10^6 \text{ L}.$$

وبناءً عليه، فإن التركيز التحليلي لثاني أكسيد الكبريت المذاب، معبراً عنه بحمض الكبريتوز، هو

$$C = \frac{669.6 \text{ mol}}{5.000 \times 10^6 \text{ L}} = 1.339 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}.$$

اتزان التفكك المحدد في المسألة هو



بإهمال التآين الذاتي للماء والاقتصار على التفكك الأول المنصوص عليه، لنضع

$$x = [\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{HSO}_3^-], \quad [\text{H}_2\text{SO}_3] = C - x.$$

باستخدام القيم العددية للتركيزات بوحدة mol L^{-1} .

$$K_{a,1} = \frac{x^2}{C - x}.$$

الجزر ذو المعنى الفيزيائي هو

$$x = \frac{-K_{a,1} + \sqrt{K_{a,1}^2 + 4K_{a,1}C}}{2} = 1.309 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}.$$

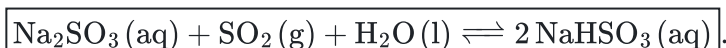
إن

$$\boxed{\text{pH} = -\log_{10}\left(\frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{1 \text{ mol L}^{-1}}\right) = 3.88}.$$

تخضع نسبة تقارب 97.7% للتفكك الأول. ولذلك فإن التقريب المعتاد للحمض الضعيف $C \gg x$ غير ملائم هنا؛ ويلزم حل المعادلة التربيعية.

3.4 — الامتصاص العكوس في كبريتيت الصوديوم

تمتص كبريتيت الصوديوم ثاني أكسيد الكبريت الحمضي لتكوّن هيدروجين كبريتيت الصوديوم:



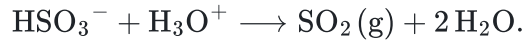
يؤدي التسخين وإزالة الغاز المتصاعد إلى عكس الامتصاص وتجديد كبريتيت الصوديوم:



يبقى الكبريت في حالة الأكسدة +4، مما يتيح الاسترداد من خلال عملية الامتصاص العكوسة هذه.

تزيد التغييرات الآتية من تحرر ثاني أكسيد الكبريت:

- رفع درجة الحرارة. يقلل التسخين ذوبانية الغاز ويعزز التجديد انطلاقاً من هيدروجين كبريتيت الصوديوم.
- خفض الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكبريت فوق المحلول. يعزز التشغيل تحت التفريغ أو الإزالة المستمرة بالبخار أو بغاز حامل عملية نزع الامتصاص، ويزيح اتزان التجديد نحو النواتج.
- تحميص المحلول. تحوّل البروتنة أيون الهيدروجين كبريتيت إلى ثاني أكسيد الكبريت المذاب، الذي يمكن أن ينطلق:

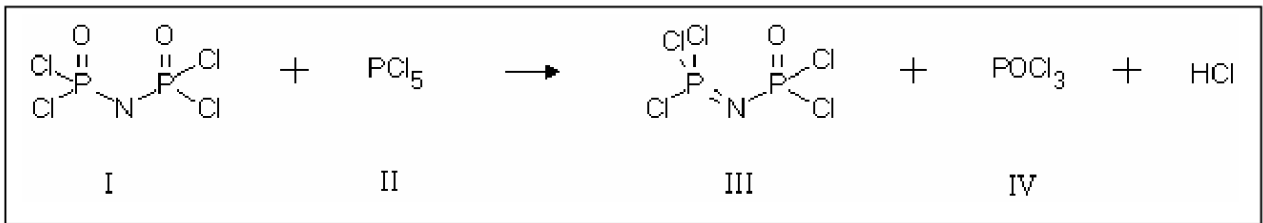


يستهلك ذلك قلوية المادة الماصة، لذا يلزم إجراء تعادل إضافي قبل إمكان إعادة استخدام كبريتيت الصوديوم.

تمت مراجعة الحل بمقارنته بالحل الرسمي.

المسألة 4: PCl_5 الموسوم بـ ^{32}P : آلية التفاعل وذوبانية $\text{Mg}(\text{NH}_4)\text{PO}_4$

يُستخدم خماسي كلوريد الفوسفور الموسوم بـ ^{32}P (عمر النصف $t_{1/2} = 14.3$ يوماً) لدراسة الهجوم الإلكتروني لكتيون PCl_4^+ على النيتروجين أو الأكسجين.



يُجرى التفاعل في CCl_4 ، ويُفصل المذيب والناتج IV بالتقطير. تُحلّ مائياً عينات من III (المتبقي في ورق التقطير)، ومن IV (الموجود في ناتج التقطير)، وعينات من المادة الابتدائية II، وذلك بالتسخين مع محلول مركز من هيدروكسيد الصوديوم. تُرسّب أيونات الفوسفات المتكوّنة على هيئة فوسفات الأمونيوم والمغنيسيوم. ثم تُذاب عينات منقّاة من الرواسب الثلاثة في أحجام معلومة من الماء، ويُقاس النشاط الإشعاعي.

4.1 اكتب المعادلات الموزونة لتفاعل الفوسفور الأحمر الذي يُكوّن PCl_5 .

4.2 اكتب معادلات تفاعلات التحلل المائي الكامل للمركبين II وIII باستخدام هيدروكسيد الصوديوم.

4.3 ما الزمن اللازم لخفض النشاط الإشعاعي الابتدائي إلى 10^{-3} من قيمته الابتدائية؟

4.4 اكتب آليتين بديلتين لتفاعل PCl_4^- الموسوم مع أنيون I.

4.5 بعد التحلل المائي، تُظهر رواسب فوسفات الأمونيوم والمغنيسيوم قيم النشاط الإشعاعي الآتية:

2380 Bq II. لكل 128 mg من $\text{Mg}(\text{NH}_4)\text{PO}_4$

28 Bq III. لكل 153 mg من $\text{Mg}(\text{NH}_4)\text{PO}_4$

2627 Bq IV. لكل 142 mg من $\text{Mg}(\text{NH}_4)\text{PO}_4$

باستخدام هذه البيانات، ماذا يمكنك أن تستنتج بشأن المركز النووي فيلي الذي يهاجمه PCl_4^- ؟

المعطيات: بالنسبة إلى H_3PO_4 : $pK_1 = 2.2$; $pK_2 = 7.2$; $pK_3 = 12.4$

حاصل الإذابة لـ $\text{Mg}(\text{NH}_4)\text{PO}_4$: $pK_s = 12.6$

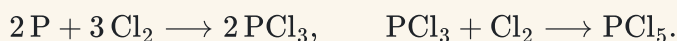
تركيز الاتزان لـ $\text{NH}_4^+ = 0.1 \text{ mol dm}^{-3}$

4.6 احسب ذوبانية $\text{Mg}(\text{NH}_4)\text{PO}_4$ عند أس هيدروجيني يساوي 10 في ظروف مثالية (يمكن إهمال معاملات الفعالية).

نص المسألة مترجم عن النص الإنجليزي الرسمي.

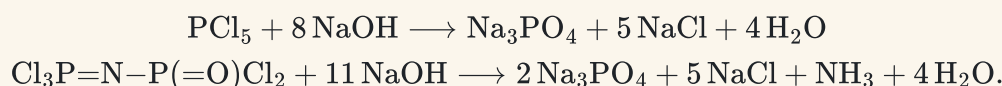
الإجابات

4.1 •



المعادلة الكلية: $2\text{P} + 5\text{Cl}_2 \longrightarrow 2\text{PCl}_5$ ، حيث الفوسفور الأحمر هو المتفاعل العنصري.

4.2 •



$$t = 142.5 \text{ days} \approx \boxed{143 \text{ days}} \quad 4.3 \bullet$$

4.4 • يؤدي الهجوم على النيتروجين إلى إدخال ^{32}P الوارد في III؛ ويؤدي الهجوم على الأكسجين إلى إدخاله في IV، أو أكسي كلوريد الفوسفور. ترد الأليتان البدلتان بالتفصيل أدناه.

4.5 • تحدد القياسات الأكسجين بوصفه المركز النوكليوفيلي الذي يتعرض للهجوم بصورة سائدة.

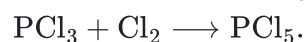
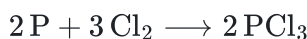
4.6 • الذوبانية المولارية هي

$$\boxed{s \approx 2.5 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}}.$$

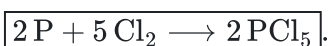
الحل

4.1 — تكون خماسي كلوريد الفوسفور

تنتج الكلورة أولاً ثلاثي كلوريد الفوسفور؛ وتنتج مواصلة الكلورة خماسي كلوريد الفوسفور:



بضرب المعادلة الثانية في اثنين ثم الجمع، نحصل على



الأنواع الكيميائية هي:

النوع الكيميائي	الاسم	SMILES
Cl_2	الكلور	<chem>ClCl</chem>
PCl_3	ثلاثي كلوريد الفوسفور	<chem>ClP(Cl)Cl</chem>
PCl_5	خماسي كلوريد الفوسفور	<chem>ClP(Cl)(Cl)(Cl)Cl</chem>
$^{32}\text{PCl}_5$	خماسي كلوريد الفوسفور الموسوم بالفوسفور-32	<chem>Cl[32P](Cl)(Cl)(Cl)Cl</chem>

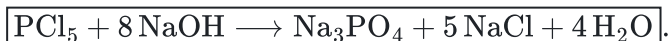
الفوسفور الأحمر تَصل ذو شبكة تساهمية ممتدة، ولذلك لا يوجد له تمثيل جزيئي وحيد ومحدود بصيغة SMILES. يمثل [P] ذرة فوسفور منفردة فقط لأغراض الحساب الستوكيومترى. يتخذ خماسي الكلوريد الجزيئي المتعادل هندسة ثنائي الهرم ثلاثي القاعدة، وهي هندسة لا يحددها تمثيله بصيغة SMILES.

4.2 — التحلل المائي القلوي الكامل

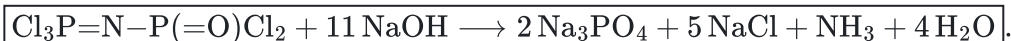
المركب III هو N-(ثنائي كلوروفوسفوريل)ثلاثي كلوروفوسفازين، $\text{Cl}_3\text{P}=\text{N}-\text{P}(=\text{O})\text{Cl}_2$ ، وتمثيله بصيغة SMILES هو O=P(Cl)N=P(Cl)(Cl)Cl.

يحوّل التحلل المائي الكامل كل ذرة فوسفور إلى أورثوفوسفات، وكل ذرة كلور إلى كلوريد. وفي محلول شديد القلوية، يتحول نيتروجين III إلى أمونيا.

بالنسبة إلى II:



بالنسبة إلى III:



تتوازن المعادلة الثانية بوجود ذرتي فوسفور، وخمس ذرات كلور، وذرة نيتروجين واحدة، واثنيتي عشرة ذرة أكسجين، وإحدى عشرة ذرة هيدروجين في كل طرف.

الأنواع الكيميائية الإضافية هي:

النوع الكيميائي	الاسم	SMILES
NaOH	هيدروكسيد الصوديوم	[-OH] . [+Na]
Na ₃ PO ₄	أورثوفوسفات ثلاثي الصوديوم	P (=O) ([O -]) [O -] [-O] . [+Na] . [+Na] . [+Na]
NaCl	كلوريد الصوديوم	[-Cl] . [+Na]
NH ₃	الأمونيا	N
H ₂ O	الماء	O

تصف تمثيلات SMILES الأيونية ذات الأجزاء غير المتصلة الأيونات المكونة، لا شبكات البلورية.

4.3 — الاضمحلال الإشعاعي

يتناسب النشاط الإشعاعي طردياً مع عدد النوى المشعة التي لم تضمحل:

$$\frac{A(t)}{A_0} = 2^{-t/t_{1/2}}.$$

وعليه،

$$10^{-3} = 2^{-t/(14.3 \text{ days})},$$

و

$$t = (14.3 \text{ days}) \frac{\ln(10^3)}{\ln 2} = 142.5 \text{ days}.$$

إذن يلزم نحو عشرة أعمار نصف:

$$t \approx 143 \text{ days}.$$

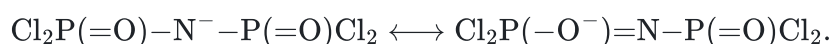
4.4 — الآليات البديلة ومواضع النظير

يُعدّ PCl_4^+ الإلكتروليت المتفاعل، اتساقاً مع المقدمة.

المركب I هو ثنائي(ثنائي كلوروفوسفوريل)أمين، $\text{HN}[\text{P}(=\text{O})\text{Cl}_2]_2$ ، وتمثله بصيغة SMILES هو $\text{O}=\text{P}(\text{Cl})(\text{Cl})\text{NP}(=\text{O})(\text{Cl})(\text{Cl})$. هيدروجين رابطة N-H فيه مُضمَر في المخطط، وهو ما يفسّر تكون كلوريد الهيدروجين ناتجاً ثانوياً.

المركب IV هو أوكسي كلوريد الفوسفور، POCl_3 ، وتمثله بصيغة SMILES هو $\text{O}=\text{P}(\text{Cl})(\text{Cl})\text{Cl}$. تمثيل كلوريد الهيدروجين بصيغة SMILES هو $\text{Cl}[\text{H}]\text{Cl}$ ؛ أما المذيب، رباعي كلوريد الكربون، فتمثله بصيغة SMILES هو $\text{ClC}(\text{Cl})(\text{Cl})\text{Cl}$.

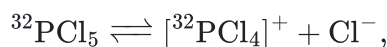
يؤدي فقد بروتون N-H إلى تكون أنيون ثنائي(ثنائي كلوروفوسفوريل)أميد. ويمكن تمثيل شحنته على النيتروجين أو على أيٍّ من ذرتي الأكسجين المتكافئتين:



هاتان صيغتان رنينيتان مساهمتان للأيون نفسه:

- الصيغة المساهمة المتمركزة على $\text{N: O=P(Cl)(Cl)[N-P(=O)(Cl)Cl]}$
- الصيغة المساهمة المتمركزة على $\text{O: [O-P(Cl)(Cl)=NP(=O)(Cl)Cl]}$

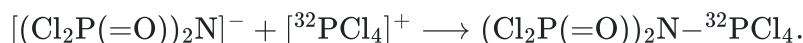
كاتيون رباعي كلوروفوسفونيوم الموسوم هو $[\text{PCl}_4]^+$ ، وتمثيله بصيغة SMILES هو $[\text{+32P}](\text{Cl})(\text{Cl})(\text{Cl})(\text{Cl})$. وهو رباعي السطوح، ويتولد صورياً وفقاً لما يأتي:



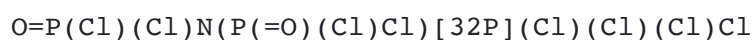
حيث تمثيل الكلوريد بصيغة SMILES هو $[\text{-Cl}]$.

البديل 1: الهجوم على النيتروجين.

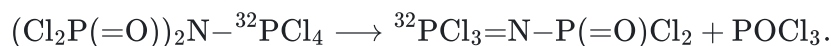
يهاجم زوج إلكترونات النيتروجين الفوسفور الموسوم:



نتج الإضافة المتبادل المرتبط عبر N هو رباعي كلورو[ثنائي(ثنائي كلوروفوسفوريل)أمينو]فوسفوران، الموسوم عند ذرة فوسفور رباعي كلوروفوسفوران فيه:

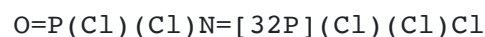


يمكن أن يتفكك على النحو الآتي:



في تفاعل الحذف الصوري هذا، تنتقل ربيطة كلوريد واحدة من الفوسفور الموسوم إلى إحدى ذرات فوسفور ثنائي كلوروفوسفوريل الأصلية. ويتوافق انشطار رابطة الفوسفور-النيتروجين الأصلية تلك مع تكوّن الرابطة المزدوجة $\text{N}=\text{P}$.

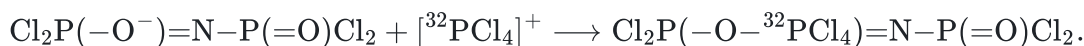
وبناءً على ذلك، تظهر الوسمة الواردة في III، عند ذرة فوسفور ثلاثي كلوروفوسفازين فيه:



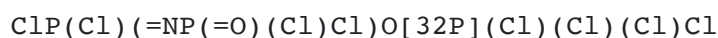
يأتي فوسفور IV من I، ويكون غير موسوم.

البديل 2: الهجوم على الأكسجين.

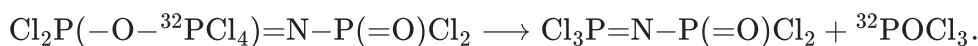
تهاجم الصيغة الرنينية المساهمة المتمركزة على O الفوسفور الموسوم:



نتج الإضافة المرتبط عبر O هو ثنائي كلورو[ثنائي كلوروفوسفوريل]إيمينو[[رباعي كلوروفوسفورانيل(أوكسي)فوسفوران، الموسوم عند ذرة فوسفور رباعي كلوروفوسفورانيل فيه:

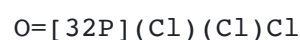


يمكن أن يتفكك وفقاً لما يأتي:



هنا ينتقل الكلوريد من الفوسفور الموسوم إلى الفوسفور الأصلي المرتبط بذرة الأكسجين الجسرية. ويتوافق انشطار رابطة الفوسفور-الأكسجين الأصلية مع تكوّن الرابطة المزدوجة $\text{O}=\text{P}$.

وهكذا يحتفظ III بذرتي الفوسفور الأصليتين غير الموسومتين، بينما تظهر الوسمة الواردة في IV، أوكسي كلوريد الفوسفور الموسوم بالفوسفور-32:



تحدد هذه المخططات بدائل صورية لتدفق الإلكترونات وتتبع مواضع الذرات. وتشفر تمثيلاتها بصيغة SMILES ترابط الذرات ومواضع النظير، لكنها لا تشفر أسهم الأزواج الإلكترونية أو هندسة الحالة الانتقالية.

4.5 — تحديد المركز الذي يتعرض للهجوم

تحتوي كل وحدة صيغة من الراسب على ذرة فوسفور واحدة. ولأن الرواسب الثلاثة جميعها لها التركيب نفسه، فإن النشاط الإشعاعي لكل وحدة كتلة من الراسب يتيح المقارنة المباشرة للنشاط الإشعاعي لكل ذرة فوسفور.

$$\text{نعرف } a_i = A_i/m_i:$$

المصدر	النشاط الإشعاعي النوعي a_i , Bq mg ⁻¹	بالنسبة إلى II
II	2380/128 = 18.6	1
III	28/153 = 0.183	0.00984
IV	2627/142 = 18.5	0.995

تتنبأ الأليتان بتوزيعين مختلفين للنظير:

- **الهجوم على النيتروجين:** تدخل ذرة فوسفور واحدة في كل جزيء من III، الذي يحتوي على ذرتي فوسفور. ولذلك ينبغي أن يكون النشاط الإشعاعي النوعي لراسب الفوسفات الناتج منه نحو نصف النشاط الإشعاعي النوعي للراسب الناتج من II. وينبغي أن يكون IV غير موسوم.
- **الهجوم على الأكسجين:** تدخل ذرة الفوسفور الواردة في IV، ولذلك ينبغي أن يساوي نشاطه الإشعاعي النوعي نشاط II. وينبغي أن يكون النشاط الإشعاعي لـ III ضئيلاً إلى حد يمكن إهماله.

يتطابق النمط المرصود بدرجة كبيرة مع التنبؤ الثاني:

$$a_{IV} \approx a_{II}, \quad a_{III} \ll a_{II}.$$

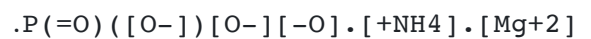
وعليه،

يهاجم الإلكترونات الأكسجين بصورة سائدة

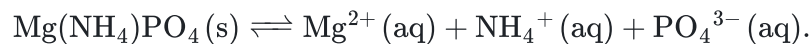
لا يثبت النشاط الإشعاعي المتبقي الضئيل في III، بمفرده، وجود مسار ثانوي مؤكّد للهجوم على النيتروجين.

4.6 — الذوبانية عند أس هيدروجيني 10

تُمثّل فوسفات الأمونيوم والمغنيسيوم بصيغة SMILES الأيونية



اتزان ذوبانها هو



الأيونات وحالات بروتنة الفوسفات المعنية هي:

النوع الكيميائي	الاسم	SMILES
Mg ²⁺	أيون المغنيسيوم	[Mg+2]
NH ₄ ⁺	أيون الأمونيوم	[+NH4]
H ⁺	أيون الهيدروجين	[+H]
H ₃ PO ₄	حمض الفوسفوريك	O=P(O)(O)O
H ₂ PO ₄ ⁻	أيون ثنائي هيدروجين الفوسفات	O=P(O)(O)[O-]
HPO ₄ ²⁻	أيون هيدروجين الفوسفات	O=P(O)([O-])[O-]
PO ₄ ³⁻	أيون الأورثوفوسفات	O=P([O-])([O-])[O-]

لتكن s الذوبانية المولارية. باستخدام الاتزان المعطاة،

$$[Mg^{2+}] = s,$$

ويكون التركيز الكلي للفوسفات المذابة

$$c_P = [\text{H}_3\text{PO}_4] + [\text{H}_2\text{PO}_4^-] + [\text{HPO}_4^{2-}] + [\text{PO}_4^{3-}] = s.$$

يوجد كسر فقط مقداره α_3 من هذه الفوسفات على هيئة PO_4^{3-} . ومن اتزان التفكك الحمضي الثلاثة،

$$\alpha_3 = \frac{[\text{PO}_4^{3-}]}{c_P} = \frac{1}{1 + \frac{[\text{H}^+]}{K_3} + \frac{[\text{H}^+]^2}{K_2 K_3} + \frac{[\text{H}^+]^3}{K_1 K_2 K_3}}.$$

عند أس هيدروجيني 10، يعطي التعويض بقيم pK_i المعطاة

$$\alpha_3 = \frac{1}{1 + 10^{2.4} + 10^{-0.4} + 10^{-8.2}} = 3.959 \times 10^{-3}.$$

وهكذا لا يتجاوز الجزء الموجود على هيئة أورثوفوسفات حرة نحو 0.396% من الفوسفات المذابة؛ أما معظمها فيكون على هيئة هيدروجين الفوسفات.

حاصل الإذابة هو

$$K_s = [\text{Mg}^{2+}][\text{NH}_4^+][\text{PO}_4^{3-}].$$

باستخدام تركيز الأمونيوم المعطى عند الاتزان مباشرةً، والتعبير عن التراكيز عددياً بوحدة mol dm^{-3} ،

$$10^{-12.6} = s(0.1)(\alpha_3 s).$$

وعليه،

$$s = \sqrt{\frac{10^{-12.6}}{0.1(3.959 \times 10^{-3})}} = 2.519 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}.$$

وبعد مناسب من الأرقام المعنوية،

$$\boxed{s = 2.5 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}}.$$

تمت مراجعة الحل بمقارنته بالحل الرسمي.

المسألة 5: أحماض السيكلوبوتان ثنائية الكربوكسيل المتماكية

الأحماض الكربوكسيلية فئة من المركبات العضوية ذات أهمية كيميائية وبيولوجية.

5.1 ارسم الصيغ البنائية (التركيبية) لجميع أحماض السيكلوبوتان ثنائية الكربوكسيل المتماكية، وأعط الأسماء النظامية لهذه المركبات.

5.2 توجد ثلاثة متماكبات فراغية، I و II و III، لحمض السيكلوبوتان-1,2-ثنائي الكربوكسيل. ارسم صيغاً منظورية أو فراغية لكل من I و II و III، موضحاً التهيئة النسبية لكل جزيء.

5.3 أي أزواج المتماكبات الفراغية I و II و III متماكبات فراغية غير مرآتية، وأيها متماكبات مرآتية بعضها لبعض؟

5.4 ما التفاعل الذي يمكن استخدامه لتحديد التهيئة النسبية للمتماكبات الفراغية غير المرآتية؟

5.5 كيف يمكن فصل المتماكين المرآتين لحمض السيكلوبوتان-1,2-ثنائي الكربوكسيل؟

5.6 بين التهيئة المطلقة لكل مركز غير متناظر على بُنى المتماكبات الفراغية I و II و III باستخدام قواعد كان-إنغولد-بريلوغ (نظام (R, S)).

نص المسألة مترجم عن النص الإنجليزي الرسمي.

الإجابات

لا يخصص نص المسألة بُنى محددة للرموز I-III؛ وتُستخدم التعيينات التالية في جميع أجزاء النص.

- 5.1 المتماكبات البنائية الثلاثة هي:
 - حمض السيكلوبوتان-1,1-ثنائي الكربوكسيل: O=C(O)C1(C(=O)O)CCC1
 - حمض السيكلوبوتان-1,2-ثنائي الكربوكسيل: O=C(O)C1C(C(=O)O)CC1
 - حمض السيكلوبوتان-1,3-ثنائي الكربوكسيل: O=C(O)C1CC(C(=O)O)C1
- 5.2 المتماكبات الفراغية الثلاثة لحمض السيكلوبوتان-1,2-ثنائي الكربوكسيل هي:
 - I: سيس، ميزو، (1R, 2S): O=C(O)[C@H]1[C@@H](C(=O)O)CC1
 - II: ترانس، (1R, 2R): O=C(O)[C@H]1[C@H](C(=O)O)CC1
 - III: ترانس، (1S, 2S): O=C(O)[C@@H]1[C@@H](C(=O)O)CC1
- 5.3 II و III متماكان مرآتيان. أما I و II، و III، فهي أزواج من المتماكبات الفراغية غير المرآتية.
- 5.4 استخدم نزع الماء داخل الجزيء لتكوين أنهيدريد حلقي. يُكوّن I بسهولة أنهيدريد سيس-السيكلوبوتان-1,2-ثنائي الكربوكسيل، O=C1OC(=O)[C@H]2CC[C@@H]12، ولا يستطيع II و III تكوين هذا الأنهيدريد مع الاحتفاظ بتهيئتهما.
- 5.5 كوّن أملاحًا متماكة فراغياً غير مرآتية باستخدام قاعدة مناسبة نقية مرآتياً، مثل (S)-1-فينيل إيثان-1-أمين، C[C@H](N)C1CCCC1. افصل الأملاح بالتبلور التجزيئي، ثم حمّض كل جزء لاسترجاع كل متماكب مرآتي للحمض على حدة.
- 5.6 I: 1R, 2S، أو بصورة مكافئة 1S, 2R؛ II: 1R, 2R؛ III: 1S, 2S.

الحل

5.1 — المتماكبات البنائية

ثُبّت إحدى مجموعتي الكربوكسيل عند ذرة الكربون 1 في حلقة سيكلوبوتان. يمكن أن تشغل مجموعة الكربوكسيل الثانية:

1. ذرة الكربون نفسها: حمض السيكلوبوتان-1,1-ثنائي الكربوكسيل.
2. ذرة كربون مجاورة: حمض السيكلوبوتان-1,2-ثنائي الكربوكسيل.
3. ذرة الكربون المقابلة: حمض السيكلوبوتان-1,3-ثنائي الكربوكسيل.

الموضع 4 مكافئ للموضع 2 عند عكس اتجاه ترقيم الحلقة، ولذلك لا يعطي متماكباً بنائياً إضافياً.

لرسم البُنى، ارسم مربعاً يمثل الحلقة المكوّنة من أربع ذرات كربون، واربط مجموعتي C(=O)OH برأس واحد، أو برأسين متجاورين، أو برأسين متقابلين، على الترتيب. ترد تمثيلات SMILES التي تصف اتصال الذرات في الإجابات. وللمركبات الثلاثة جميعاً الصيغة الجزيئية C6H8O4.

5.2 — المتماكبات الفراغية ورسومها

استخدم إسقاطاً مربعاً تكون فيه C1 في أعلى اليسار، وC2 في أعلى اليمين، وC3 في أسفل اليمين، وC4 في أسفل اليسار. ارسم روابط الكربوكسيل متجهة إلى الخارج: نحو أعلى اليسار انطلاقاً من C1، ونحو أعلى اليمين انطلاقاً من C2. يشير الإسفين المصمت نحو القارئ؛ ويشير الإسفين المتقطع بعيداً عنه. ارسم الهيدروجين عند كل مركز فراغي باستخدام نوع الإسفين المعاكس لنوع إسفين مجموعة الكربوكسيل المرتبطة بذلك المركز.

المتماكب	رابطة الكربوكسيل عند C1	رابطة الكربوكسيل عند C2	التهيئة النسبية
I	إسفين مصمت	إسفين مصمت	سيس: المجموعتان على الوجه نفسه

المتماكب	رابطة الكربوكسيل عند C1	رابطة الكربوكسيل عند C2	التهيئة النسبية
II	إسفين مصمت	إسفين متقطع	ترانس: المجموعتان على وجهين متقابلين
III	إسفين متقطع	إسفين مصمت	ترانس: المجموعتان على وجهين متقابلين

تتوافق هذه الأوصاف مع تمثيلات SMILES الفراغية الواردة في الإجابات. يمكن لحلقة السيكلوبوتان الفعلية أن تتجعد؛ ويحدد الإسقاط المربع التهيئات دون تحديد هيئة تجعد بعينها.

يوجد مركزان مولدان للتصاوغ الفراغي، مما يعطي التعيينات المحتملة

$$(R, R), (S, S), (R, S), (S, R).$$

يشغل المركزان موضعين متكافئين من حيث التناظر. وبناءً على ذلك، يصف تعيينا سيس (R, S) و (S, R) مركب الميزو نفسه، ا. ولذلك فإن رسم مجموعتي الكربوكسيل بإسفينين متقطعين يعطي تمثيلاً آخر للمركب ا.

يصف تعيينا ترانس (R, R) و (S, S) مركبين مختلفين كيراليين، هما II و III. ومن ثم توجد ثلاثة متماكبات فراغية تهيئية.

5.3 — العلاقات الفراغية الكيميائية

يعكس الانعكاس المرآتي تهيئتي المركزين الفراغيين كليهما:

$$(1R, 2R) \longleftrightarrow (1S, 2S).$$

لذلك، II و III صورتان مرآتيتان غير قابلتين للتطابق: متماكبان مرآتيان.

يكون الاستبدال في ا من نوع سيس، بينما يكون في II و III من نوع ترانس. ولا يمثل ا الصورة المرآتية لأي من شكلي ترانس. ولذلك:

- I/II: متماكبان فراغيان غير مرآتيين.
- I/III: متماكبان فراغيان غير مرآتيين.

5.4 — تحديد التهيئة النسبية كيميائياً

استخدم تكوين الأنهيدريد الحلقي في ظروف نازعة للماء تحافظ على المركزين الفراغيين.

في الحمض سيس ا، تقع مجموعتا الكربوكسيل على الوجه نفسه، ويمكن أن تخضعاً لنزع الماء داخل الجزيء. وتحتوي حلقة الأنهيدريد الخماسية الناتجة على ذرتي الكربون المتجاورتين في السيكلوبوتان، وذرتي كربون الكربونيل، وذرة الأكسجين الجسرية.

الناتج هو أنهيدريد سيس-السيكلوبوتان-1,2-ثنائي الكربوكسيل، ويُسمى أيضاً سيس-3-أوكسابيسيكلو[3.2.0]هبتان-2,4-ديون، وتمثيله بصيغة SMILES هو O=C1OC(=O)[C@H]2CC[C@@H]12.

معادلة نزع الماء الموزونة هي



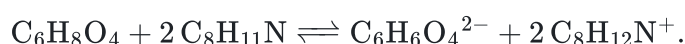
الجزيء المنفصل هو الماء، O.

تقع مجموعتا الكربوكسيل في أحماض ترانس على وجهين متقابلين. ولا يمكن لهذه الأحماض أن تخضع لانغلاق الحلقة المباشر المناظر لتكوين هذا الأنهيدريد ذي الالتحام سيس مع الحفاظ على المركزين الفراغيين كليهما. ومن ثم فإن سهولة تكون الأنهيدريد الحلقي تميز سيس ا عن ترانس II و III. ويجب تجنب الظروف التي تسبب الإبمرة، إذ إن تكون الأنهيدريد بعد الإبمرة لا يثبت التهيئة الابتدائية.

5.5 — فصل المتماكبين المرآتيين

للمركبين II و III خواص فيزيائية متماثلة في بيئة لا كيرالية، بما في ذلك الذوبانية في مذيب لا كيرالي. ولفصلهما، أضف كاشفاً نقياً مرآتياً يحولهما إلى أملاح متماكبة فراغياً غير مرآتية.

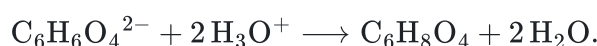
على سبيل المثال، استخدم (S) -1-فينيل إيثان-1-أمين، C[C@H](N)C1CCCCC1، بوصفه القاعدة المستخدمة للفصل. عند استخدام مكافئين من القاعدة لكل مكافئ من الحمض ثنائي الكربوكسيل، تكون معادلة انتقال البروتون الموزونة، المنطبقة على أي من المتماكبين المرآتيين للحمض، كما يلي



الأيون	تمثيل SMILES الفراغي
أيون 1-(S)-فينيل إيثيل أمونيوم	<chem>C[C@H]([NH3+])c1ccccc1</chem>
(1R, 2R)-سيكلوبوتان-1,2-ثنائي الكربوكسيلات	<chem>O=C([O-])[C@H]1[C@H](C(=O)[O-])CC1</chem>
(1S, 2S)-سيكلوبوتان-1,2-ثنائي الكربوكسيلات	<chem>O=C([O-])[C@@H]1[C@H](C(=O)[O-])CC1</chem>

يحتوي كل ملح على كاتيونين من القاعدة المستخدمة للفصل وأنيون واحد ثنائي الشحنة من الحمض. والملحان متمكبان فراغيان غير مرآتيين لأن تهيئة القاعدة تظل ثابتة، بينما تنعكس تهيئتا المركزين الفراغيين للحمض كليهما.

اختر مذبذباً تختلف فيه ذوبانيتها الملحين اختلافاً كافياً، وافصلهما بواسطة التبلور التجزيئي. حمض كل ملح منقى على حدة لاسترجاع المتماكب المرآتي للحمض الموافق له. باستخدام أيون الهيدرونيوم، $[OH_3]^+$ ، تكون المعادلة الأيونية الصافية الموزونة



يؤدي ذلك إلى استرجاع II وIII كل على حدة دون تغيير مركزيهما الفراغيين.

5.6 — التهيئات المطلقة وفق قواعد CIP

عند أي من المركزين الفراغيين، تكون الذرات المرتبطة مباشرة ثلاث ذرات كربون وذرة هيدروجين واحدة. ولذلك تكون للهيدروجين أدنى أولوية. قارن الذرات المرتبطة بكل ذرة كربون متنافسة، مع معالجة الرابطة المزدوجة وفق اصطلاح الذرات المكررة في قواعد CIP:

الأولوية	الذرات المقارنة في المستوى التالي	المجموعة المرتبطة أو الاتجاه على طول الحلقة
1	(O, O, O)	كربون الكربوكسيل
2	(C, C, H)	المسار في الحلقة عبر ذرة الكربون الأخرى الحاملة لمستبدل
3	(C, H, H)	المسار في الحلقة عبر كربون الميثيلين المجاور
4	—	الهيدروجين

إذاً تكون الأولويات كما يلي:

- عند C1: $-COOH > \text{المسار عبر } C2 > \text{المسار عبر } H > C4$.
- عند C2: $-COOH > \text{المسار عبر } C1 > \text{المسار عبر } H > C3$.

عندما تتجه المجموعة ذات الأولوية 4 بعيداً عن القارئ، فإن تتابع 3 → 2 → 1 في اتجاه عقارب الساعة يدل على R، والتتابع في عكس اتجاه عقارب الساعة يدل على S. وإذا اتجهت المجموعة ذات الأولوية 4 نحو القارئ، فاعكس التعيين.

بتطبيق ذلك على الرسوم المحددة في 5.2:

المتماكب	C1	C2	التعيين الكامل
I	R	S	سيس-(1R, 2S)، ميزو
II	R	R	ترانس-(1R, 2R)
III	S	S	ترانس-(1S, 2S)

تمت مراجعة الحل بمقارنته بالحل الرسمي.

المسألة 6: الدهون والأحماض الدهنية والفوسفوليبيدات

تحتوي الدهون (الليبيدات) على مجموعة غير قطبية (كارهة للماء) ومجموعة قطبية (محبّة للماء). وليبيدات غير القابلة للذوبان في الماء وظائف حيوية مهمة.

6.1 ارسم تراكيب حمض Z-أوكتاديس-9-ينويك (حمض الأوليك)، وحمض الأوكتاديكانويك (حمض الستياريك)، وحمض الهكساديكانيك (حمض البالميتيك).

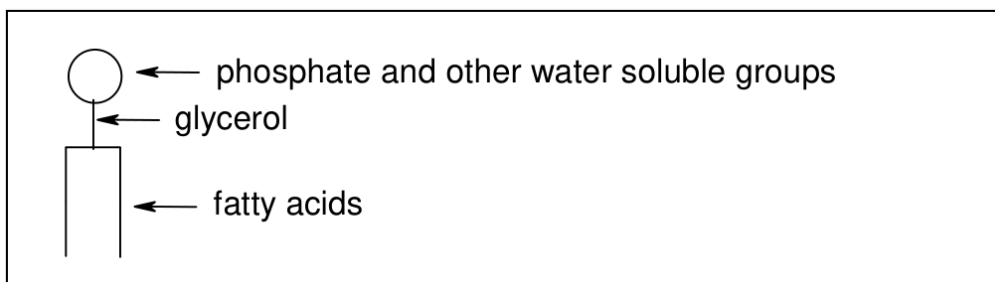
6.2 باستخدام الأحماض الدهنية الثلاثة الواردة في الجزء 6.1، ارسم تركيباً ممكناً واحداً للغليسيريد ثلاثي الأسيل.

6.3 اكتب معادلة تفاعل التحلل المائي للغليسيريد ثلاثي الأسيل الذي اخترته في الجزء 6.2 في محلول مائي من NaOH. بين آلية التحلل المائي لتحرير أحد الأحماض الدهنية من الغليسيريد الذي اخترته.

6.4 أي الأحماض الدهنية الآتية، $C_{21}H_{43}COOH$ أو $C_{17}H_{35}COOH$ أو $C_5H_{11}COOH$ ، هو الأقل ذوباناً في الماء؟

6.5 الفوسفوليبيدات فئة مهمة من المركبات العضوية الحيوية. ارسم تركيب حمض الفوسفاتيديك المشتق من الغليسيريد ثلاثي الأسيل الذي اخترته في الجزء 6.2.

6.6 كثيراً ما تُمثل الفوسفوليبيدات بالمخطط الآتي:



(i) حدّد المجموعات المحبة للماء والكارهة للماء على نسخة من المخطط أعلاه.

(ii) ارسم احتمالين لتجمع ستة جزيئات متماثلة من أحد الفوسفوليبيدات في الماء باستخدام المخطط أعلاه.

(iii) تتكون الأغشية الحيوية من طبقة ثنائية من الفوسفوليبيدات. ارسم نموذجاً من هذا النوع لغشاء باستخدام المخطط أعلاه.

(iv) هذا النموذج (iii) غير مكتمل. ما الجزيئات الحيوية الضخمة الأخرى التي تحتويها هذه الأغشية الحيوية؟

نص المسألة مترجم عن النص الإنجليزي الرسمي.

الإجابات

6.1 •

• حمض الأوليك، حمض (9Z)-أوكتاديس-9-ينويك: CCCCCCCC/C=C\CCCCCCCC(=O)O

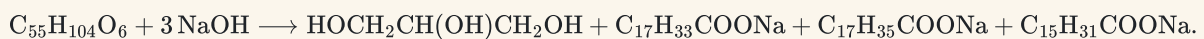
• حمض الستياريك، حمض الأوكتاديكانويك: CCCCCCCCCCCCCCCC(=O)O

• حمض البالميتيك، حمض الهكساديكانيك: CCCCCCCCCCCCCCCC(=O)O

6.2 • أحد التراكيب الممكنة هو 1-أوليويل-2-ستياريول-3-بالميتويل-sn-غليسرول:



6.3 • التحلل المائي القلوي الكامل هو:



النواتج هي:

• الغليسرول: OCC(O)CO

• أوليات الصوديوم: CCCCCCCC/C=C\CCCCCCCC(=O)[O-].[Na+]

• ستيارات الصوديوم: CCCCCCCCCCCCCCCC(=O)[O-].[Na+]

• بالميتات الصوديوم: CCCCCCCCCCCCCCCC(=O)[O-].[Na+]

تتمثل الآلية في إضافة الهيدروكسيد إلى مجموعة كربونيل إسترية، ثم تفكك الوسيط رباعي السطوح مع مغادرة الكوكسيد مشتق من الغليسرول، ثم انتقال بروتون لتكوين الكربوكسيلات.

- **6.4 حمض الدوكسانويك (حمض البيهينيك)،** $C_{21}H_{43}COOH$ ، هو الأقل ذوباناً:
 $O=C(O)CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC$
- **6.5** يؤدي الاحتفاظ بمجموعتي الأولويل والستيارويل إلى الحصول على حمض **1-أوليول-2-ستياريول-sn-**
غليسيرو-3-الفوسفوريك، وهو أحد أحماض الفوسفاتيديك:
 $O=C(O)[C@H](OC(=O)CCCCCCCCCCCCCCCCCCC)OC(=O)/C=C\CCCCCCCC$
- **6.6(i)** الرأس القطبي محب للماء؛ والذيلان الهيدروكربونيان كارهان للماء.
- **6.6(ii)** الترتيبان التخطيطيان هما تجمّع شبيه بالمذيلة، تتجه فيه الرؤوس الستة إلى الخارج والذيل إلى الداخل، وجزء من طبقة ثنائية، يضم ثلاثة جزيئات في كل ورقة من الورقتين المتقابلتين.
- **6.6(iii)** تتجه الرؤوس القطبية في الطبقة الثنائية للغشاء نحو الوسط المائي على الجانبين، وتتراص الذيل الهيدروكربونية معاً في داخلها.
- **6.6(iv)** البروتينات هي الجزيئات الحيوية الضخمة الإضافية الرئيسية. وتحمل الأغشية أيضاً سلاسل كربوهيدراتية مرتبطة بالبروتينات والليبيدات.

الحل

6.1

رقم ذرات كل حمض دهني بدءاً من كربون مجموعة الكربوكسيل، وهو C1.

الحمض الدهني	الصيغة البنائية المكتفة	تفسير البنية
حمض الأوليك	$\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}_3$	ثماني عشرة ذرة كربون، مع رابطة مزدوجة ذات ترتيب Z بين C9 وC10.
حمض الستياريك	$\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_{16}-\text{CH}_3$	ثماني عشرة ذرة كربون، دون روابط مزدوجة بين ذرات الكربون.
حمض البالمتيك	$\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_{14}-\text{CH}_3$	ست عشرة ذرة كربون، دون روابط مزدوجة بين ذرات الكربون.

عند رسم حمض الأوليك، ضع المستبدلين المكوّنين من سلسلتين كربونيتين على **الجانب نفسه** من الرابطة المزدوجة؛ وتكون ذرتا الهيدروجين المرتبطتان بها، تبعاً لذلك، على الجانب الآخر. يحدّد الترميز $\text{C}=\text{C}$ في تمثيله بصيغة SMILES هذا الترتيب الهندسي Z . ولا يحدّد التوافقات الفراغة حول الروابط الأحادية المتبقية.

6.2

في ثلاثي أسيل الغليسول، تكون مجموعات الهيدروكسيل الثلاث في الغليسول مؤسّرة جميعها. استخدم بقية واحدة من كل حمض:

الموضع في الغليسرول	مجموعة الأسيل المرتبطة
C1	أوليويل
C2	ستيارويل
C3	بالميتويل

لرسم التركيب المختار، ضع سلسلة كربون الغليسرول رأسياً، بحيث يكون C1 أعلى C2 وC3 أسفله. ترتبط كل ذرة أكسجين في الغليسرول ببقية الحمض الدهني الخاصة بها عبر رابطة إسترية، $-O-C(=O)-$.

لتحديد المتماكب الفراغي المرمّز في الإجابة، استخدم إسقاط فيشر بحيث تكون ذرة الهيدروجين المركزية على اليمين ومستبدل الستيارويلوكسي المركزي على اليسار. تتجه الروابط الأفقية نحو الناظر، وتتجه الروابط الرأسية بعيداً عنه. حافظ على الترتيب Z للرابطة المزدوجة في الأولويل.

الصيغة الجزيئية الناتجة هي $C_{55}H_{104}O_6$. وتقبل أيضًا ترتيبات أخرى لمجموعات الأسيل الثلاث.

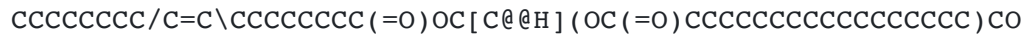
6.3

في الماء، O، يوفر هيدروكسيد الصوديوم، $[Na^+]$ ، أيون الهيدروكسيد المهاجم، $[OH^-]$. تستهلك كل مجموعة إستيرية أيون هيدروكسيد واحدًا، ولذلك يستهلك التحلل المائي الكامل ثلاثة مكافئات.

تنتج المعادلة الموزونة في قسم الإجابات الغليسرول وأملاح الكربوكسيلات الصوديومية الثلاثة. ولا تبقى الأحماض الدهنية الحرة نواتج نهائية في الوسط القلوي المائي.

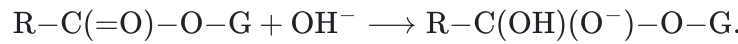
لننظر في شطر إستر البالميتويل عند C3 في الغليسرول. لتوضيح الآلية، لنفترض أن:

- R يرمز إلى السلسلة الهيدروكربونية للبالميتويل، $CH_3(CH_2)_{14}^-$.
- G-OH يرمز إلى 1-أوليويل-2-ستيارويل-sn-غليسرول، وهو الناتج بعد إزالة مجموعة الأسيل عند C3:



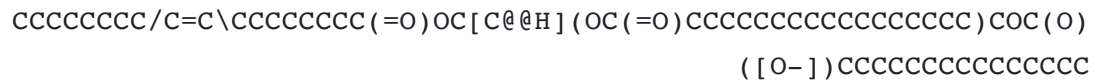
يمكن عندئذ كتابة الإستر المتفاعل على الصورة $R-C(=O)-O-G$.

1. الإضافة النوكليوفيلية



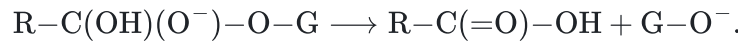
ارسم سهمًا لحركة الإلكترونات من زوج إلكترون حُر على أكسجين الهيدروكسيد إلى كربون الكربونيل، وسهمًا آخر من رابطة π في الكربونيل إلى ذرة الأكسجين فيه.

الوسيط الأوكسيانيوني رباعي السطوح الناتج هو:



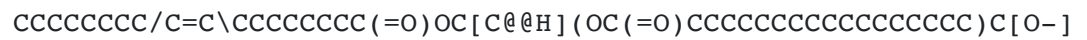
يمكن أن يحدث الهجوم على أيٍّ من وجهي الكربونيل؛ ولا يُحدد ترتيب فراغي عند هذا المركز المؤقت رباعي السطوح.

2. تفكك الوسيط رباعي السطوح

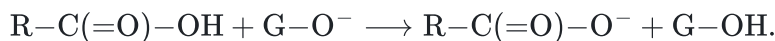


ارسم سهمًا من الزوج الإلكتروني الحر على الأكسجين سالب الشحنة نحو كربون الكربونيل لإعادة تكوين رابطة الكربونيل. وفي الوقت نفسه، انقل إلكترونات الرابطة بين كربون الأسيل وأكسجين الغليسرول إلى ذرة الأكسجين المغادرة.

ينتج عن ذلك حمض البالميتيك، الوارد تمثيله بصيغة SMILES في 6.1، وألكوكسيد 1-أوليويل-2-ستيارويل-sn-غليسرول عند C3:



3. انتقال البروتون



تستقبل ذرة أكسجين الألكوكسيد بروتون الحمض الكربوكسيلي؛ وتبقى إلكترونات رابطة الأكسجين-الهيدروجين في الحمض على ذرة الأكسجين فيه.

ناتجا هذا الشطر هما ثنائي أسيل الغليسرول المعرّف أعلاه وأيون البالميتات:



يجعل تكوّن الكربوكسيلات المثبتة بالزئبق غير عكوس عمليًا في هذه الظروف. ويؤدي الشطر المماثل للمجموعتين الإستيريتين المتبقيتين في النهاية إلى الغليسرول والأوليّات والستيارات. وتوفّر أيونات الصوديوم، $[Na^+]$ ، الأيونات المقابلة.

6.4

باحتمساب كربون الكربوكسيل، تحتوي الأحماض الثلاثة على 22 و 18 و 6 ذرات كربون، على الترتيب. وهي حمض الدوكوسانويك وحمض الستياريك وحمض الهكسانويك، $O(=O)CCCCC$.

تمتلك جميعها مجموعة الكربوكسيل القطبية نفسها، لكن سلاسلها الهيدروكربونية غير القطبية تختلف اختلافاً كبيراً في الطول. وتجعل زيادة طول السلسلة الإمالة أقل ملاءمة. لذلك، فإن الحمض ذا السلسلة الأطول، حمض الدوكوسانويك، $C_{21}H_{43}COOH$ ، هو الأقل ذوباناً في الماء.

6.5

يحتوي حمض الفوسفاتيديك على مجموعتي إستر لأحماض دهنية وإستر فوسفات أحادي واحد على الهيكل الأساسي للجليسرول. بدءاً من ثلاثي أسيل الجليسرول المختار:

- احتفظ بإستر الأوليول عند C1.
- احتفظ بإستر الستيارويل عند C2.
- استبدل إستر البالميتويل عند C3 بإستر فوسفات، بحيث تصبح المجموعة الطرفية $CH_2-O-P(=O)(OH)_2$.

استخدم الترتيب الكيميائي الفراغي نفسه للجليسرول كما في 6.2، وحافظ على الرابطة المزدوجة ذات الترتيب Z في الأوليول. ينتج عن ذلك حمض الفوسفاتيديك الذي يظهر تمثيله بصيغة SMILES في قسم الإجابات. يمثل ترميز SMILES هذا الحمض في صورته كاملة البروتنة. ويمكن لرأسه الفوسفاتي أن يتأين في المحلول المائي.

6.6(i)

على الرمز المعطى:

- ضع على الدائرة، التي تمثل الفوسفات والمجموعات القطبية الأخرى في الرأس، وسم محبة للماء.
- ضع على خطي الذيل الطويلين، اللذين يمثلان الأجزاء الهيدروكربونية من بقايا الأحماض الدهنية، وسم كارهين للماء.

تشكل منطقة الجليسرول والإستر السطح الفاصل بين الرأس القطبي والذيل الهيدروكربونية.

6.6(ii)

صِف الرسمين كما يأتي:

1. ترتيب مذيلي: ضع ست دوائر تمثل الرؤوس على مسافات متساوية حول دائرة. وجّه كلا الذيلين من كل رأس إلى الداخل نحو المنطقة المركزية المشتركة. وهكذا تواجه الرؤوس القطبية الستة جميعها الماء المحيط، بينما تتجمع الذيل في الداخل.
2. جزء من طبقة ثنائية: ضع ثلاث دوائر تمثل الرؤوس في صف أفقي علوي، بحيث تتجه ذيلها إلى الأسفل. وضع ثلاث دوائر أخرى تمثل الرؤوس في صف سفلي، بحيث تتجه ذيلها إلى الأعلى. تلتقي مجموعتا الذيل في الوسط؛ وتلامس مجموعات الرؤوس العلوية والسفلية الماء على جانبيين متقابلين.

هذه تجمعات تخطيطية. وتميل الفوسفوليبيدات ذات الذيلين عموماً إلى تكوين طبقات ثنائية أكثر من تكوين مذيلات كروية صغيرة.

6.6(iii)

مدّد الترتيب الثاني ليشكل وريقتين متصلتين متقابلتين. ينبغي أن يُظهر الرسم، من الأعلى إلى الأسفل:

1. الوسط المائي.
2. صفّاً من الرؤوس القطبية.
3. ذيولاً متجهة إلى الأسفل.
4. ذيولاً من الوريقة المقابلة متجهة إلى الأعلى، تلتقي بمجموعة الذيل الأولى في المنطقة الداخلية الكارهة للماء.
5. صفّاً ثانياً من الرؤوس القطبية.
6. الوسط المائي على الجانب الآخر.

وبذلك يعرض الغشاء سطحين محبين للماء تجاه الحيزين المائيين، ويحصر سلاسله الهيدروكربونية داخل الطبقة الثنائية.

6.6 (iv)

الجزئيات الحيوية الضخمة الرئيسية الغائبة هي البروتينات. تكون البروتينات الغشائية المتكاملة منغرسه في الطبقة الثنائية، ويعبر بعضها هذه الطبقة بالكامل؛ أما البروتينات المحيطية فتترتب بسطحها.

توجد أيضًا سلاسل كربوهيدراتية بوصفها أجزاءً من البروتينات السكرية والليبيدات السكرية، عادةً على السطح غير المواجه للسيتوسول. تصف هذه الأسماء فئات من المواد، لا تراكيب جزيئية محددة، ولذلك لا يمكن إسناد تمثيل SMILES فريد إليها دون معرفة تسلسلاتها وكيفية اتصال مكوناتها.

تمت مراجعة الحل بمقارنته بالحل الرسمي.