

الأكاديمية العربية الدولية



الأكاديمية العربية الدولية المقررات الجامعية

الديناميكا الحرارية وسرعة التفاعلات الكيميائية

Thermodynamics & Chemical Reaction Rate



يسبب صدأ الحديد خسائر سنوية هائلة في الدول الصناعية. فما العوامل التي تتحكم في حدوث التغيرات الفيزيائية والكيميائية؟ وما العوامل التي تؤثر على سرعتها؟

يتوقع من الطلبة بعد دراسة هذه الوحدة، والتفاعل مع أنشطتها أن يكونوا قادرين على توظيف دراسة علم الديناميكا الحرارية في التنبؤ بإمكانية حدوث التفاعلات الكيميائية والتغيرات الفيزيائية، ودراسة سرعة التفاعلات الكيميائية، ورتبتها والعوامل المؤثرة فيها من خلال تحقيق الآتي:

- استنتاج المقصود بالعشوائية (S) عملياً.
- إجراء حسابات تتعلق بالتغيير في العشوائية.
- إجراء حسابات تتعلق بالطاقة الحرية (ΔG)، للتنبؤ بإمكانية حدوث التفاعلات.
- توظيف كل من نظرية التصادم ونظرية الحالة الانتقالية لتفسير بعض العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل الكيميائي.
- تحديد رتبة التفاعل وكتابه قانون سرعة التفاعل من خلال بيانات تجريبية.
- تمثيل العلاقة بين التركيز والزمن لتفاعلات ذات رتب مختلفة، بيانيًا.
- اختبار صحة آلية تفاعل مفترضة لتفاعلات كيميائية اعتماداً على معطيات تجريبية.

الديناميكا الحرارية هي إحدى فروع علم الكيمياء الفيزيائية، وتعنى بدراسة التغيرات في الطاقة الحرارية المرافقه للتغيرات الكيميائية والفيزيائية المتنوعة. ويقوم هذا العلم على مجموعة من القوانين، تصف العلاقة بين الطاقة الحرارية والأشكال الأخرى من الطاقة، التي أكدت أن مقدار الطاقة الكلية في الكون ثابت. ولها تطبيقات في مجالات صناعية عديدة، وتهتم بقياس طاقة الأنظمة التي تحوي على عدد كبير من الذرات والجزئيات، حيث تتفاعل بعضها مع بعض بطرق معقدة.

٤:١:١:١ العمليات التلقائية والعمليات غير التلقائية:

Spontaneous and non-spontaneous processes

عند إضافة بلورات السكر إلى الماء الساخن أثناء تحضير مشروب الشاي، يذوب السكر في الماء بشكل تلقائي، ومن الممكن استعادة السكر في صورته الأولية باستخدام مؤثر خارجي، كذلك يحترق البنزين بوجود وفرة من الأكسجين ليعطي غاز ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء، ويصاحب العملية انطلاق كمية كبيرة من الحرارة، ولكن لا يمكن لبخار الماء أن يتحد مع غاز ثاني أكسيد الكربون لتكوين البنزين مرة أخرى بشكل تلقائي. لتعرف العمليات التلقائية والعمليات غير التلقائية نفذ الأنشطة الآتية:

العمليات التلقائية والعمليات غير التلقائية (أ)

نشاط (1-1-4)



المواد والأدوات: كأس زجاجي سعة 100 مل، وماء، وحبر، وقطارة.



خطوات العمـاـ:



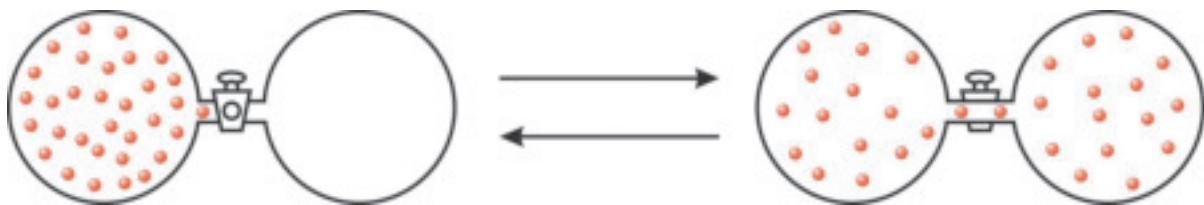
شكل (4-1): انتشار العبر في الماء

1. ضع كمية مناسبة من الماء في الكأس الزجاجي.
 2. أضف قطرة من العبر في الماء باستخدام القطرارة
 3. ماذا حدث لجزئيات العبر؟
 4. هل يمكن استعادة قطرة العبر من دون مؤثر خار-

نشاط (4:1:2)

العمليات التلقائية والعمليات غير التلقائية (ب)

اعتماداً على الشكل (4-2) أجب عن الأسئلة التي تليه:



شكل (4-2): تسرب الغاز في وعاء فارغ

1. ماذا يحدث عند اتصال وعاء مملوء بالغاز مع وعاء آخر مفرغ من الغازات؟

2. ماذا تسمى تلك العملية؟

3. هل يمكن أن تحدث العملية المعاكسة دون مؤثر خارجي؟

لعلك لاحظت أن التغيرات الفيزيائية في النشاطين السابقين تتم من تلقاء نفسها دون مؤثر خارجي، وأن التغير المعاكس لا يتم بشكل تلقائي، فهل ينطبق ذلك على التغيرات الكيميائية؟

تصدأ المعدات المصنوعة من الحديد التي تتوارد في الهواء الرطب مكونة أكسيد الحديد (III) ببطء، ولكن بشكل مستمر، وتكون هذه العملية تلقائية، أما التفاعل المعاكس فهو غير تلقائي في الظروف العادية، حيث يمكن الحصول على الحديد من أكسيد الحديد (III) تحت ظروف خاصة.

يمكنك الاستنتاج أن بعض التغيرات الفيزيائية والكيميائية تتم دون مؤثر خارجي، وتسمى عمليات تلقائية، بينما بعضاً الآخر لا يتم إلا بتأثير خارجي، وتسمى عمليات غير تلقائية.

توصلت من الأنشطة السابقة إلى الحقائق الآتية:

1. إذا كانت العملية تلقائية، فإن العملية المعاكسة لها تكون غير تلقائية في الظروف العادية دون مؤثر خارجي.

2. قد تحدث العملية التلقائية بسرعة، وقد تحدث ببطء شديد.

3. تستمرة العملية تلقائياً في النظام غير المتزن للوصول إلى الاتزان.

تمرين (1): حدد أي العمليات الآتية تلقائية وأيها غير تلقائية.

1. تفاعل محلول حمض HCl مع محلول القاعدة NaOH.

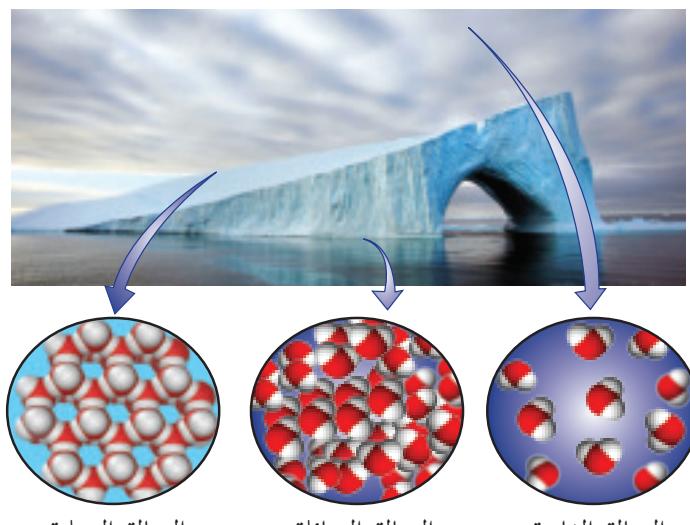
2. انصهار مكعب ثلج عند درجة حرارة (- 10°C).

كيف يمكن تحديد أي التغيرات تلقائية وأيها غير تلقائية؟ وهل هناك معايير يمكن من خلالها تحديد ذلك؟ تتدحرج الكرة من أعلى التل لأنفه تلقائياً، ويجري الماء من المناطق المرتفعة إلى المناطق المنخفضة تلقائياً أيضاً، ويتم ذلك بسبب النقصان في طاقة الوضع، فما الطاقة المقابلة في التغيرات الكيميائية؟ إنها الطاقة الداخلية E (مجموع طاقة الوضع وطاقة الحركة في الجزيئات)، ويتم التعبير عنها بشكل مقبول بالمحظى الحراري H (الإنثالبي، Enthalpy).

افرض تومسون و بيرثلوت (Berthelot و Thomson) عام 1870 أن اتجاه التغير التلقائي هو اتجاه الانخفاض في الإنثالبي ($\Delta H < 0$)، وفي هذه الحالة يكون التغير طارداً للحرارة. وفي الحقيقة يوجد تغيرات طاردة للحرارة تلقائية الحدوث، ويوجد تغيرات طاردة غير تلقائية، كذلك يوجد تغيرات ماصة للحرارة تلقائية الحدوث، وللتتأكد من ذلك تأمل المثالين الآتيين:

1. انصهار الجليد على درجة حرارة الغرفة.
2. تبخر السوائل من كأس مفتوح.

أدت التجارب والدراسات للتوصيل إلى دالة جديدة في الديناميكا الحرارية تسمى العشوائية، فما العشوائية؟



شكل (3-4): حالات المادة الثلاث

Entropy (S) العشوائية (S)

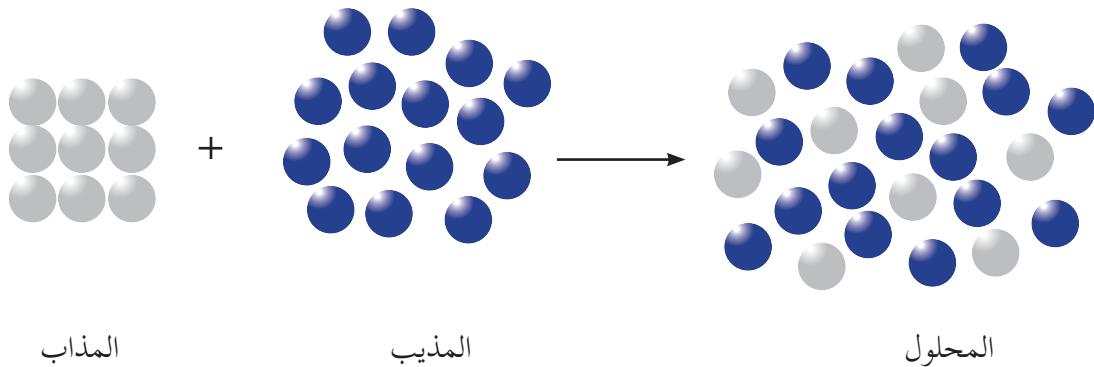
يوضح الشكل (3-4) حالات المادة الثلاث (الصلبة والسائلة والغازية)، حيث يتحول الجليد إلى الحالة السائلة بالتسخين، ويتحول الماء السائل إلى بخار الماء بالتسخين أيضاً.

تكون جزيئات الماء في الحالة الصلبة مرتبة بنظام بلوري، وتتحرك حركة اهتزازية بسيطة، وعندما ينصهر الجليد، تصبح جزيئات الماء أقل ترتيباً وتتحرك بحرية أكبر، أما عندما يتحول الماء إلى بخار فإن جزيئاته تنتشر فتملاً الحيز وتتحرك بحرية أكبر بكثير.

والدالة التي تقيس حالة عدم الترتيب وعدم الانظام للجزيئات داخل أي نظام، تسمى العشوائية.

تمرين (2): رتب حالات المادة الثلاث حسب ترايد العشوائية؟

أما الشكل (4-4) فيوضح ذوبان أحد الأملاح في الماء.



شكل (4-4): ترتيب دقائق المذاب والمذيب والمحلول

لعلك لاحظت أن أيونات المذاب وجزيئات المذيب تكون أقل عشوائية، وعند امتزاجها معًا تتجه نحو عدم الانتظام (العشوائية)، أي أن:

$$\text{عشوائية محلول} < (\text{عشوائية المذاب} + \text{عشوائية المذيب})$$

وتساعدنا قدرتنا على التنبؤ بزيادة أو نقصان العشوائية، في فهم إمكانية حدوث العملية بشكل تلقائي، ويمكن القول إن الحالات الآتية تزيد من العشوائية (تجعل $\Delta S >$ صفر):

1. انصهار المواد الصلبة، وتكوين المحاليل.
2. إنتاج الغازات من المواد الصلبة أو السوائل.
3. زيادة العدد الكلي لمولات الغاز من التفاعلات الكيميائية.
4. ارتفاع درجة حرارة المادة ما يزيد من حركة المكونات.

مثال (1)

أي العمليات الآتية تزداد فيها العشوائية، وأيها تقل فيها، وفي أي العمليات لا نستطيع الحكم مع التفسير؟

1. تفكك نترات الأمونيوم التي تستخدم مخصوصاً زراعياً.
$$2\text{NH}_4\text{NO}_{3(s)} \longrightarrow 2\text{N}_{2(g)} + 4\text{H}_2\text{O}_{(g)} + \text{O}_{2(g)}$$
2. تأكسد غاز ثاني أكسيد الكبريت تمهيداً لتحضير حمض الكبريتيك.
3. استخلاص السكر من محلول عصير قصب السكر.
4. تفاعل أول أكسيد الكربون مع بخار الماء.

الحل:

التفاعل الأول: تم إنتاج كمية كبيرة من الغازات من مادة صلبة، وبالتالي تزداد العشوائية.

التفاعل الثاني: تفاعلت ثلاثة مولات من الغازات لإنتاج مولين من الغاز، وبالتالي تقل العشوائية.

العملية الثالثة: جزيئات السكر أصبحت مقيدة الحركة، وتم ترتيبها في بلورات السكر الصلب، وبالتالي تقل العشوائية.

التفاعل الرابع: عدد مولات الغاز في طرفي التفاعل متساو، وعشوائية الغازات الأربع بالتأكيد مختلفة بسبب اختلاف التركيب الجزيئي للغازات، وبالتالي سوف يحدث تغيير بسيط في العشوائية، ولكن لا نستطيع الحكم بالزيادة أو النقصان.

تمرين (3)

أي العمليات الآتية تزداد العشوائية فيها وأيها تقل فيها؟ وفي أي العمليات لا نستطيع الحكم مع التفسير؟

1. عملية استخلاص الكبريت (بطريقة كلاوس).
$$2\text{H}_2\text{S}_{(g)} + \text{SO}_{2(g)} \longrightarrow 3\text{S}_{(s)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(g)}$$
2. تفكك أكسيد الزئبق(II).
3. تفاعل الخارصين مع أكسيد الفضة.

وتسمى عشوائية مول واحد من المواد النقيمة المقاسة عند درجة حرارة 298 كلفن وضغط 1 جوي بالعشوائية القياسية المولية (S°) Standard Molar Entropy ووحدة قياسها تكون (جول/مول. كلفن)، أما العشوائية المقاسة في ظروف غير القياسية فتسمى بالعشوائية المطلقة (Absolute Entropy). وتكون قيم عشوائية جميع المواد عند درجات حرارة أعلى من صفر كلفن، موجبة دائماً، ويوضح الجدول (1-4) قيم العشوائية القياسية المولية (S°) لعدد من المواد.

المادة	S° (جول/مول. كلفن)	المادة	S° (جول/مول. كلفن)
$\text{Ag}_{(s)}$	42.55	$\text{H}_{2(g)}$	130.6
$\text{AgCl}_{(s)}$	96.2	$\text{H}_2\text{O}_{(g)}$	188.7
$\text{Al}_{(s)}$	28.3	$\text{H}_2\text{O}_{(l)}$	69.9
$\text{Al}_2\text{O}_{3(s)}$	51.0	$\text{HCl}_{(g)}$	186.7
$\text{C}_{(s, \text{جرافيت})}$	5.7	$\text{HNO}_{3(l)}$	155.6
$\text{CO}_{(g)}$	197.9	$\text{H}_2\text{SO}_{4(l)}$	157.0
$\text{CO}_{2(g)}$	213.6	$\text{Hg}_{(l)}$	76.1
$\text{CH}_{4(g)}$	186.2	$\text{K}_{(s)}$	64.18
$\text{CH}_3\text{OH}_{(l)}$	126.8	$\text{KCl}_{(s)}$	82.6
$\text{CO}(\text{NH}_2)_{2(s)}$	104.6	$\text{K}_2\text{SO}_{4(s)}$	176.0
$\text{C}_2\text{H}_{2(g)}$	200.8	$\text{N}_{2(g)}$	191.5
$\text{C}_2\text{H}_{6(g)}$	229.5	$\text{NH}_{3(g)}$	192.5
$\text{Ca}_{(s)}$	41.4	$\text{Na}_{(s)}$	51.46
$\text{CaCO}_{3(s)}$	92.9	$\text{NaCl}_{(s)}$	72.88
$\text{Cl}_{2(g)}$	223.0	$\text{O}_{2(g)}$	205.0
$\text{Fe}_{(s)}$	27.3	$\text{S}_{(s)}$	31.9
$\text{Fe}_2\text{O}_{3(s)}$	87.4	$\text{SO}_{2(g)}$	248.5

جدول (4-1): قيم العشوائية القياسية المولية لبعض المواد

وتعد العشوائية (S°) دالة حالة تعتمد على الحالة الابتدائية للنظام (عشوائية المواد المتفاعلة $S^\circ_{(\text{متفاعلات})}$) والحالة النهائية للنظام (عشوائية المواد الناتجة $S^\circ_{(\text{نواتج})}$).

التغير في العشوائية للتفاعل = عشوائية المواد الناتجة - عشوائية المواد المتفاعلة

$$\Delta S^\circ = S^\circ_{\text{نواتج}} - S^\circ_{\text{متفاعلات}}$$

مثال (2)

احسب التغير في العشوائية القياسية ΔS° لتفاعل الهيدرازين (N_2H_4) وفوق أكسيد الهيدروجين (H_2O_2)، (يتم التفاعل لدفع الصواريخ) حسب المعادلة الآتية:



علمًا بأن :

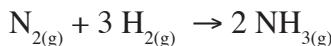
$$188.7 = H_2O_{(g)}, 191.5 = N_{2(g)}, 109.6 = H_2O_{2(l)}, 121.2 = N_2H_{4(l)}$$

الحل :

$$\begin{aligned} S^\circ & \underset{\text{متفاعلات}}{\longrightarrow} \underset{\text{نواتج}}{\longrightarrow} \Delta S^\circ \\ \{N_2H_{4(l)}S^\circ + (H_2O_{2(l)}S^\circ)2\} - \{N_{2(g)}S^\circ + (H_2O_{(g)}S^\circ)4\} & = \Delta S^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \{4 \text{ مول}(188.7 \text{ جول/مول. كلفن}) + 1 \text{ مول}(191.5 \text{ جول/مول. كلفن}) - \{2 \text{ مول}(109.6 \text{ جول/مول. كلفن}) + 1 \text{ مول}(121.2 \text{ جول/مول. كلفن})\} & = \\ 605.9 \text{ جول/كلفن} & = \end{aligned}$$

تمرين (4): بالاعتماد على الجدول (3-1) احسب التغير في العشوائية القياسية لتكون غاز الأمونيا من عناصره الأولية حسب المعادلة الآتية :



3 : 1 : 4 القانون الثاني للديناميكا الحرارية:

تعلمت سابقاً القانون الأول للديناميكا الحرارية (قانون حفظ الطاقة)، اذكر نص هذا القانون.
اما القانون الثاني في الديناميكا الحرارية فينص على «أن العمليات في الكون تحدث تلقائياً، وفي اتجاه واحد، أي أن العشوائية (S) تميل في الكون إلى الزيادة المستمرة».

والصيغة الرياضية لهذا القانون: $\Delta S_{\text{Univ}} > \text{صفر}$ (موجب دائمًا) Univ تعني الكون

ويمكن الحكم على تلقائية أي عملية فيزيائية أو كيميائية في نظام معزول، بحساب التغير في العشوائية على النحو الآتي:

1. تكون العملية تلقائية إذا كان $\Delta S > \text{صفر}$ (موجب).

2. تكون العملية غير تلقائية إذا كان $\Delta S < \text{صفر}$ (سالب).

تبين مما تقدم أن زيادة عشوائية النظام ($\Delta S > \text{صفر}$) وانبعاث الطاقة الحرارية ($\Delta H < \text{صفر}$) تصاحب التغيرات التلقائية غالباً، إلا أن هناك عدداً من التغيرات التلقائية يرافقها إما تناقص في العشوائية ($\Delta S < \text{صفر}$) أو امتصاص طاقة حرارية ($\Delta H < \text{صفر}$)، لذلك فإن تحديد إمكانية حدوث التغير بشكل تلقائي أو عكس ذلك وبشكل دقيق بحاجة إلى دالة أخرى، فما هذه الدالة؟

طاقة جبس الحرارة (Gibbs Free Energy)

4 : 1 : 4

تمكن جبس (J. Willard Gibbs)، خلال القرن التاسع عشر من صياغة علاقة تجمع بين المحتوى الحراري والعشوائية لعملية ما عند درجة حرارة وضغط ثابتين، تسمى هذه العلاقة بطاقة جبس الحرارة، ويرمز لها بالرمز (G).

الطاقة الحرارة = المحتوى الحراري - درجة الحرارة (كلفن) × العشوائية

$$(S \times T) - H = G$$

تمرين (5):

تعتمد الطاقة الحرارة على دالتي حالة (S ، H)، وبالتالي فإنها تعد دالة حالة أيضاً، لا تعتمد على المسار، ولأن التغير في الطاقة الحرارة مرتبط بالتغير في المحتوى الحراري، فإننا لا نستخدم الطاقة الحرارة (G) بل التغير في الطاقة الحرارة (ΔG)، الذي يساوي عند درجة حرارة ثابتة (T):

$$(\Delta S \times T) - \Delta H = \Delta G$$

وفي الظروف القياسية يكون:

ويمكن تلخيص العلاقة بين إشارة (ΔG) ونوع التغير الفيزيائي أو الكيميائي على النحو الآتي:

1. تكون العملية تلقائية إذا كانت $\Delta G <$ صفر (سالبة).

2. تكون العملية غير تلقائية إذا كانت $\Delta G >$ صفر (موجبة).

3. إذا كانت $\Delta G =$ صفرأً، فإن العملية في حالة اتزان.

مثال (3): احسب (ΔG°) لغاز ثاني أكسيد الكربون والذي يتم تحضيره عند درجة حرارة 298 كلفن



مع العلم أن قيمة العشوائية القياسية لغاز الأكسجين = 205، وللكربون الصلب = 5.7 ولغاز ثاني أكسيد الكربون = 213.6 جول / مول. كلفن.

$$\{ (C_{(s)} S^\circ + O_{2(g)} S^\circ) - CO_{2(g)} S^\circ \} = \Delta S^\circ \quad \text{الحل:}$$

$$= \{1 \text{مول} \times 213.6 \text{ جول/مول. كلفن} - \{1 \text{مول} \times 205 \text{ جول/مول. كلفن} + 1 \text{مول} \times 5.7 \text{ جول/مول. كلفن}\} = 2.9 \text{ جول/كلفن} = 0.0029 \text{ كيلو جول/كلفن.}$$

$$(\Delta S^\circ \times T) - \Delta H^\circ = \Delta G^\circ$$

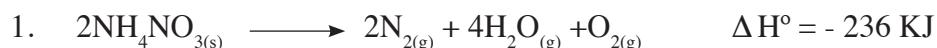
$$= (0.0029 \times 298) - 394 = 394.86 - 394 =$$

ويمكن التنبؤ بتلقائية حدوث التغييرات اعتماداً على الجدول (4-2) الآتي:

مثال	النتيجة	ΔG	ΔS	ΔH	الحالة
$2N_{2(g)} \rightarrow 2N_{2(g)} + O_{2(g)}$	تلقائي عند جميع درجات الحرارة.	-	+	-	1
$3O_{2(g)} \rightarrow 2O_{3(g)}$	غير تلقائي عند جميع درجات الحرارة.	+	-	+	2
$H_2O_{(l)} \rightarrow H_2O_{(s)}$	تلقائي عند درجات الحرارة المنخفضة.	-	-	-	3
	غير تلقائي عند درجات الحرارة المرتفعة.	+			
$2NH_{3(g)} \rightarrow N_{2(g)} + 3H_{2(g)}$	غير تلقائي عند درجات الحرارة المنخفضة.	+	+	+	4
	تلقائي عند درجات الحرارة المرتفعة.	-			

جدول (4-2): الحالات التلقائية وغير التلقائية لحدوث التغييرات الكيميائية

مثال (4): حدد درجة الحرارة المناسبة لجعل التفاعلين الآتيين تلقائيين:



الحل:

في التفاعل الأول: التفاعل طارد للحرارة (ΔH سالب)، ونتج عن التفاعل نواتج غازية (ΔS موجب)، لذلك يكون التفاعل تلقائياً عند جميع درجات الحرارة.

وفي التفاعل الثاني: التفاعل تم فيه كسر رابطة تساهمية، ولم يتم تكوين أي رابطة، فالتفاعل ماص للحرارة (ΔH موجب)، ومول واحد من الغاز نتج عنه مولين غاز (ΔS موجب)، فعند درجات الحرارة المنخفضة يكون ΔH أكبر من $\Delta S \cdot T$. فيكون التفاعل غير تلقائي ، بينما عند درجات الحرارة المرتفعة يكون T أكبر من ΔH ، فيكون التفاعل تلقائياً.

تمرين (6): حدد درجات الحرارة المناسبة لجعل التفاعل الآتي تلقائياً:



أسئلة الفصل

السؤال الأول ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة في كل مما يأتي:

١- ماذا يحدث للعشوائية عندما يتجمد الماء؟

أ. تزداد
ب. تقل
ج. تبقى ثابتة
د. تصبح صفرًا

٢- أي التغيير في الآتية يكون سالباً دائماً عند حدوث التفاعل التلقائي؟

أ. العشوائية
ب. المحتوى الحراري
ج. الطاقة الحرية
د. الطاقة الداخلية

٣- ما الوحدة الصحيحة لقياس العشوائية القياسية؟

أ. كيلو جول / مول
ب. جول / مول
ج. جول . كلفن / مول
د. جول / مول . كلفن

٤- أي الشروط الآتية تجعل العملية تلقائية على جميع درجات الحرارة؟

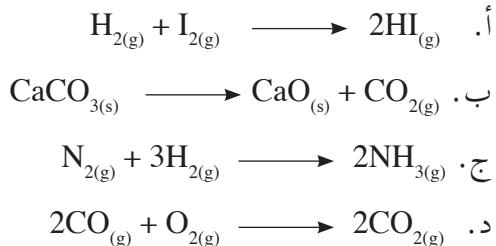
أ. $(\Delta H = 0, \Delta S = 0)$
ب. $(0 > \Delta S, 0 = \Delta H)$
د. $(\Delta H < 0, \Delta S > 0)$
ج. $(\Delta H < 0, \Delta S < 0)$

٥- في عملية ما $\Delta H = 100$ كيلو جول و $\Delta S = 100$ جول/كلفن عند 400 كلفن.

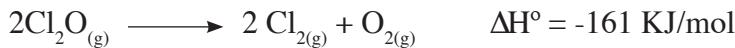
ما قيمة ΔG ؟

أ. صفر
ب. 100 كيلو جول
ج. 50 كيلو جول
د. 60 كيلو جول

٦- أي التغيرات الآتية يصاحبها زيادة في العشوائية؟



٧- أي العبارات الآتية صحيحة فيما يخص التفاعل الآتي؟



- أ. تلقائي عند جميع درجات الحرارة.
 ب. غير تلقائي عند جميع درجات الحرارة.
 ج. تلقائي عند درجات الحرارة المرتفعة، وغير تلقائي عند درجات الحرارة المنخفضة.
 د. غير تلقائي عند درجات الحرارة المرتفعة، وتلقائي عند درجات الحرارة المنخفضة.

السؤال الثاني
احسب التغير في العشوائية القياسية المصاحبة لتحويل غاز أول أكسيد النيتروجين إلى ثاني أكسيد النيتروجين حسب المعادلة الآتية:



علماً أن: $\Delta S^\circ = 210.8 - 240.1 = -29.3 \text{ جول/مole}$ (كلفن)

السؤال الثالث
إذا علمت أن التغير في العشوائية القياسية ΔS° المصاحب لتفكك غاز N_2O_3 يساوي 138.5 جول/كلفن حسب المعادلة:
احسب ΔS° لغاز N_2O_3 ؟

السؤال الرابع
احسب ΔG° عند 298 كلفن للتفاعل الآتي:
 $4\text{Fe}_{(\text{s})} + 3\text{O}_{2(\text{g})} \longrightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{s})}$

علماً بأن: $\Delta H^\circ = -1648 \text{ كيلو جول}$ و $\Delta S^\circ = -549.3 \text{ جول/كلفن}$

Chemical Reaction Rate and its Mechanism

تتفاوت التفاعلات الكيميائية في سرعتها، فبعضها يحدث بسرعة كبيرة مثل تفاعل الحموض مع القواعد، وبعضها يحدث ببطء مثل تفاعل صدأ الحديد، ومن التفاعلات ما يحدث ببطء شديد، حيث يحتاج إلى سنين عديدة. وبسبب هذا التفاوت تكمن أهمية دراسة سرعة التفاعلات الكيميائية وأكيتها (ميكانيكيتها)؛ حتى يتسعى لنا العمل على زيادة سرعة بعضها، وتقليل سرعة بعضها الآخر.

1:2:4 قانون سرعة التفاعل الكيميائي :

تعلمت سابقاً سرعة (معدل) التفاعلات الكيميائية والعوامل المؤثرة فيها، وتعذر نظرية التصادم من أوائل النظريات التي فسرت سرعة التفاعل الكيميائي وأكثرها نجاحاً، وفترض أن التفاعل الكيميائي ينبع عن تصادم بين دقائق المواد المتفاعلة، وتناسب سرعة التفاعل تناوباً طردياً مع عدد التصادمات الكلية التي تحدث في وحدة الحجم في الثانية الواحدة.

وبالرغم من أن عدد التصادمات كبير جداً إلا أن عدداً قليلاً من مجموع التصادمات الكلية يعدّ تصادماً منتجاً ومثمرًا، وهو ما يعرف بالتصادمات الفعالة، وحتى يكون التصادم فعالاً يتشرط فيه:

1- أن تملك الجزيئات المتصادمة حداً أدنى من الطاقة يسمى طاقة التنشيط.

2- أن تكون الجزيئات المتصادمة ذات اتجاه مناسب لتكوين التوازن.

تعلمت سابقاً أن سرعة التفاعل تناسب طردياً مع عدد التصادمات، التي تزداد بزيادة تركيز المواد المتفاعلة، وعليه فإن سرعة معظم التفاعلات تناسب طردياً مع تركيز المواد المتفاعلة.

في التفاعل الافتراضي الآتي: $aA + bB \longrightarrow cC + dD$

يُكتب قانون سرعة التفاعل بالصيغة العامة على النحو الآتي:

$$\text{سرعة التفاعل} = k[A]^a[B]^b$$

حيث k ثابت سرعة التفاعل، وهو يعتمد على درجة الحرارة، وتحتختلف وحده باختلاف رتبة التفاعل.
(س) رتبة التفاعل بالنسبة للمادة A، (ص) رتبة التفاعل بالنسبة للمادة B. ويتم تحديد رتبة التفاعل فقط عملياً (تجريبياً)، وهذا يعني أنه لا يمكن تحديد قيم س و ص من المعاملات في المعادلة الكيميائية الموزونة، إلا في التفاعلات الأولية التي تم في خطوة واحدة.

ويمكن إيجاد رتبة التفاعل وقانون سرعة التفاعل تجريبياً بطريقتين:

- **الطريقة الأولى:** عن طريق قياس سرعة التفاعل الابتدائية لإحدى المواد المتفاعلة عند تراكيز مختلفة للمواد المتفاعلة.

مثال (5): يتفاعل غاز NO مع الهيدروجين عند درجة حرارة 1280 °س، حسب المعادلة الآتية:



من البيانات في الجدول أدناه، اكتب قانون سرعة التفاعل.

سرعة التفاعل الابتدائية (مول / لتر.ث)	[H ₂] _o مول / لتر	[NO] _o مول / لتر	رقم التجربة
0.006	0.01	0.01	1
0.144	0.03	0.02	2
0.012	0.02	0.01	3

$$\text{الحل: سرعة التفاعل} = k[\text{H}_2][\text{NO}]$$

من التجارب 1 ، 3 حيث تركيز NO ثابت، فإنه:

$$\text{من التجربة 1 (سرعة التفاعل)}_1 = k(0.01)^2 \quad (1) \dots \dots \dots$$

$$\text{من التجربة 3 (سرعة التفاعل)}_3 = k(0.01)^2 \quad (2) \dots \dots \dots$$

بقسمة المعادلة رقم (2) على المعادلة رقم (1) نحصل على:

$$\frac{k(0.02)^2}{k(0.01)^2} = \frac{0.012}{0.006}$$

$$= 2 \quad (2) \quad \text{ومنها ص}=1 \quad \text{أي أن رتبة التفاعل بالنسبة للمادة H}_2 = 2$$

وبنفس الطريقة من التجارب 1 ، 2 فإنه:

$$\text{من التجربة 1 (سرعة التفاعل)}_1 = k(0.01)^2 \quad (1) \dots \dots \dots$$

$$\text{من التجربة 2 (سرعة التفاعل)}_2 = k(0.03)^2 \quad (3) \dots \dots \dots$$

بقسمة المعادلة رقم (3) على المعادلة رقم (1) نحصل على:

$$\frac{k(0.03)^2}{k(0.01)^2} = \frac{0.144}{0.006}$$

$$= 24 \quad (3) \quad \text{وعليه فإن س}^1 = 8 = \text{ومنها } (2)^3 = 8$$

قيم س ، ص قد تساوي صفرأً أو عدداً صحيحاً أو كسراً.
ورتبة التفاعل الكلية = س + ص

$$\begin{aligned} \text{أي أن رتبة التفاعل بالنسبة للمادة NO} &= 3 \\ [\text{H}_2]^3[\text{NO}] k &= \\ \text{رتبة التفاعل الكلية} &= \text{س} + \text{ص} = 1 + 3 = 4 \end{aligned}$$

سؤال: في المثال السابق أجب عن الأسئلة الآتية:

1. جد قيمة ثابت سرعة التفاعل k وبيّن وحدته.
2. احسب قيمة سرعة التفاعل إذا كان تركيز $\text{H}_2 = 0.05$ مول / لتر وتركيز $\text{NO} = 0.03$ مول / لتر.
3. هل يتم التفاعل في خطوة واحدة أم أكثر؟ فسر إجابتك.

تمرين (7): تم الحصول على البيانات المبينة في الجدول الآتي للتفاعل:

التجربة	[A] _₀ (مول / لتر)	[B] _₀ (مول / لتر)	السرعة الابتدائية (مول / لتر.ث)
1	0.50	0.20	3×10^{-3}
2	0.25	0.40	1.5×10^{-3}
3	0.25	0.80	3×10^{-3}

1. ما رتبة التفاعل بالنسبة لكل من A وB؟
 2. اكتب قانون سرعة التفاعل.
 3. ما قيمة ثابت سرعة التفاعل k وما وحدته؟
- **الطريقة الثانية:** استخدام علاقة تركيز إحدى المواد المتفاعلة بالزمن خلال سير التفاعل، وتعتمد هذه العلاقة على رتبة التفاعل للمادة المتفاعلة.

1. الرتبة الصفرية:

إذا كان التفاعل من الرتبة الصفرية بالنسبة لمتفاعله ما، فإن سرعة التفاعل لا تعتمد على تركيز ذلك المتفاعله، ويكون قانون السرعة للتفاعل العام الآتي:

$$\text{سرعة التفاعل} = k[A]_₀^{\text{صفر}}$$

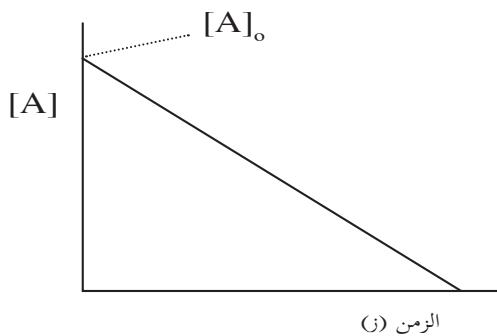
$$\text{سرعة التفاعل} = k$$

ومن تعريف سرعة التفاعل: سرعة التفاعل = $\frac{d[A]}{dt}$
ومنها $-k = \frac{d[A]}{dt}$ أو $d[A] = -k dt$

وبإجراء التكامل لطيفي المعادلة نحصل على:

$$[A]_₀ - [A] = -k t$$

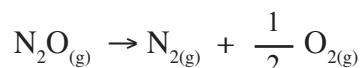
(معادلة خطية بين التركيز والزمن لتفاعلات الرتبة الصفرية)



الشكل (5-4): العلاقة الخطية بين التركيز والزمن للرتبة الصفرية

حيث $[A]$: التركيز عند الزمن t ، $[A]_0$: التركيز الابتدائي، t : الزمن، k : ثابت سرعة التفاعل.
وعليه يكون التفاعل من الرتبة الصفرية إذا حصلنا على خط مستقيم عند رسم $[A]$ مع الزمن، وميل الخط المستقيم يساوي $-k$ وتقاطعه مع المحور الصادي يساوي $[A]_0$ كما في الشكل (5-4).

مثال (6): يتفكك غاز أكسيد النيتروجين (I) بالحرارة حسب المعادلة الآتية:



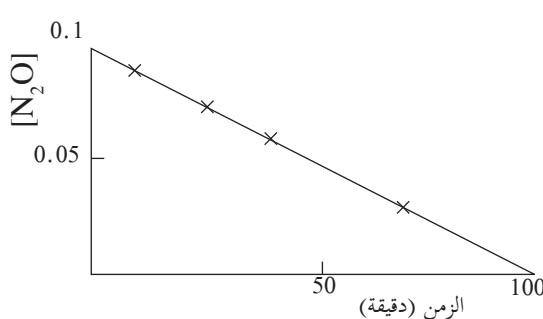
اعتماداً على البيانات الواردة في الجدول الآتي، أجب عن الأسئلة التي تليه:

تركيز N_2O (مول / لتر)	الزمن (دقيقة)
0	100
0.030	70
0.060	40
0.075	25
0.090	10
0.100	0

1. بيّن بالرسم أن التفاعل من الرتبة الصفرية.
2. اكتب قانون سرعة التفاعل.
3. احسب قيمة k وما وحدته؟

الحل: نرسم العلاقة بين تركيز N_2O والزمن.

1. من الشكل (6-4) يتضح أن العلاقة بين تركيز N_2O والزمن هي خطية، لذا فإن رتبة التفاعل تساوي صفرًا.



الشكل (6-4): العلاقة الخطية بين تركيز N_2O والزمن.

$$\text{سرعة التفاعل} = k[N_2O]^{\text{صفر}} = k$$

$$\text{3. ميل الخط المستقيم} = \frac{[N_2O]\Delta}{\Delta \text{ الزمن}}$$

$$0.001 - = \frac{0.1 - 0}{(0 - 100)} =$$

$$0.001 = (0.001) - = - \text{الميل}$$

وحدة k = وحدة سرعة التفاعل = مول / لتر. دقيقة

مثال (7): إذا كان ثابت سرعة تفاعل المادة A يساوي 0.005 مول / لتر.ث، وتركيز A الابتدائي يساوي 0.1 مول / لتر، احسب كلاً من:

1. تركيز A بعد 4 ثوانٍ.
2. مقدار الزمن اللازم لتفاعل نصف كمية A.

الحل: بما أنَّ التفاعل من الرتبة الصفرية فإنَّ:

$$1. \text{ تركيز } A = [A]_0 - (k \cdot t) = 0.1 - (0.005 \times 4) = 0.080 \text{ مول / لتر.}$$

$$2. \text{ عندما يتفاعل نصف كمية } A, \text{ فإن } [A] = \frac{[A]_0}{2} = \frac{0.1}{2} = 0.05 \text{ وعليه فإن:}$$

$$(0.005 \times t) = 0.1 - 0.05 = 0.05 \text{ ثوانٍ.}$$

ويطلق على الزمن اللازم لتفاعل نصف كمية المادة المتفاعلة الأصلية **عمر النصف** ($t_{1/2}$).

$$\text{ويمكن التوصل أن عمر النصف لتفاعلات الرتبة الصفرية } t_{1/2} = \frac{[A]_0}{2k}.$$

تمرين (8):

1. اشتق العلاقة $t_{1/2} = \frac{[A]_0}{2k}$ لتفاعلات الرتبة الصفرية.

2. احسب قيمة عمر النصف $t_{1/2}$ لتفكك N_2O في المثال (7) السابق.

2. الرتبة الأولى:

إذا كان التفاعل من الرتبة الأولى تكون سرعة التفاعل للتفاعل بالصورة العامة:

$$\text{سرعة التفاعل} = k[A]$$

$$\text{ومن تعريف سرعة التفاعل: سرعة التفاعل} = -\frac{d[A]}{dt}$$

$$\text{ومنها} -\frac{d[A]}{dt} = k[A] \text{ ويمكن كتابتها على شكل:}$$

$$\frac{d[A]}{dt} = -k[A]$$

وبأخذ التكامل لطيفي المعادلة والتحويل إلى لوغاریتم الأساس 10 نحصل على:

$$\ln \frac{[A]}{[A]_0} = -kt$$

(معادلة خطية بين لوغاریتم الأساس 10 للتركيز والزمن لتفاعلات الرتبة الأولى).

حيث لو: اللوغاريتم للأساس 10، $[A]$: التركيز عند الزمن t ، $[A]_0$: التركيز الابتدائي، t : الزمن، k : ثابت سرعة التفاعل.

وعليه يكون التفاعل من الرتبة الأولى إذا حصلنا على خط مستقيم عند رسم لو $[A]$ مع الزمن، ويكون ميله يساوي $\frac{k}{2.3}$ ، وتقاطعه مع المحور الصادي يساوي لو $[A]_0$.

مثال (8): يتفكك غاز N_2O_5 إلى غاز أكسيد النيتروجين (I) وغاز الأكسجين، كما في المعادلة الآتية:



اعتماداً على البيانات الواردة في الجدول الآتي، أجب عن الأسئلة التي تليه:

5	4	3	2	1	0	الزمن (دقيقة)
0.173	0.246	0.349	0.497	0.705	1.00	[Mول / لتر] $[N_2O_5]$

2. جد قيمة k ، وما وحده؟

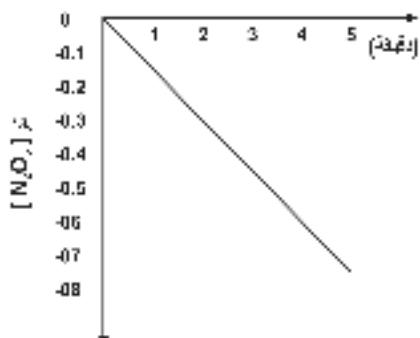
1. ما رتبة التفاعل؟

الحل:

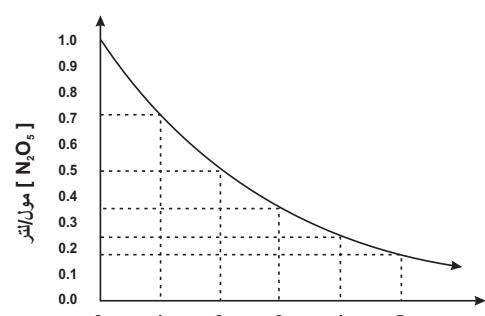
1. نحسب مقدار لو $[N_2O_5]$ عند كل قيمة لتركيز N_2O_5 ، فنحصل على الجدول الآتي:

5	4	3	2	1	0	الزمن (دقيقة)
0.173	0.246	0.349	0.497	0.705	1.00	[Mول / لتر] $[N_2O_5]$
0.762-	0.609-	0.457-	0.304-	0.152-	0.00	لو $[N_2O_5]$

عند رسم $[N_2O_5]$ مع الزمن نحصل على منحنى كما في الشكل (7-4 أ)، بينما عند رسم لو $[N_2O_5]$ مع الزمن، فإننا نحصل على خط مستقيم الشكل (7-4 ب)، وعليه فإن التفاعل من الرتبة الأولى.



الشكل (7-4) ب: العلاقة الخطية بين لو $[N_2O_5]$ والزمن



الشكل (7-4) أ: تمثيل $[N_2O_5]$ مع الزمن

$$2. \text{ ميل الخط المستقيم} = \frac{[N_2O_5]_\Delta}{\Delta \text{ الزمن}}$$

$$0.152- = \frac{0.762-}{5} =$$

$$0.3496 = 2.3 \times (0.152-) = 2.3 \times k \quad \text{ومنه} \quad \text{الميل} = \frac{k}{2.3}$$

$$\text{وحدة } k = (\text{مول}/\text{لتر}) / (\text{مول}/\text{دقيقة})^1$$

تمرين (9):

جد رتبة التفاعل وقيمة ثابت السرعة k للتفاعل $P \rightarrow A_{(g)}$ من البيانات الآتية:

60	40	20	0	الزمن (ثانية)
0.178	0.267	0.400	0.600	تركيز A مول / لتر

• عمر النصف ($t_{1/2}$) لتفاعلات الرتبة الأولى:

$$\frac{0.693}{k} \text{ يمكن التوصل إلى أن } t_{1/2} = \frac{[A]_0}{[A]} \cdot \frac{j k^-}{2.3}$$

سؤال: اشتق العلاقة السابقة لعمر النصف لتفاعلات الرتبة الأولى.

مثال (9):

إذا كان عمر النصف لتفاعل من الدرجة الأولى يساوي 1200 ثانية، احسب ما يأتي:

1. قيمة k للتفاعل ، ووحدته.

$$k = \frac{0.693}{t_{1/2}} = \frac{0.693}{1200} = 5.775 \times 10^{-4} \text{ ث}^{-1}$$

$$k = \frac{0.693}{1200} = 5.775 \times 10^{-4} \text{ ث}^{-1}$$

2. تفاعل 75 % من المادة المتفاعلة يعني أن $[A]_0 = 0.25$.

$$k = \frac{0.693}{t_{1/2}} = \frac{0.693}{2400} = 0.25 \text{ ومنها لو }$$

$$t = 2400 \text{ ث تقريباً.}$$

تمرين (10):

قيمة ثابت السرعة k لتفكك أكسيد الهيدروجين إلى الماء والأكسجين يساوي 0.014 دقيقة⁻¹.



إذا كان تركيز H_2O_2 الابتدائي يساوي 0.5 مول / لتر.

أ. احسب تركيز H_2O_2 بعد 10 دقائق.

ب. ما مقدار الزمن اللازم حتى يصبح تركيز $\text{H}_2\text{O}_2 = 0.1$ مول / لتر؟

ج. ما مقدار الزمن اللازم حتى يتفكك نصف كمية H_2O_2 ؟

٤:٢:٢:٢ أثر درجة الحرارة على سرعة التفاعل

يبين الجدول التالي قيم ثابت سرعة التفاعل عند درجات حرارة مختلفة للتفاعل الآتي:



درجة الحرارة (كلفن)	قيمة k (مول/لتر.ث)
800	23
750	6.0
700	1.3
650	0.22
600	0.028

يتضح من الجدول، أن ثابت سرعة التفاعل يزداد بارتفاع درجة الحرارة، وهذا يؤدي إلى زيادة سرعة التفاعل.

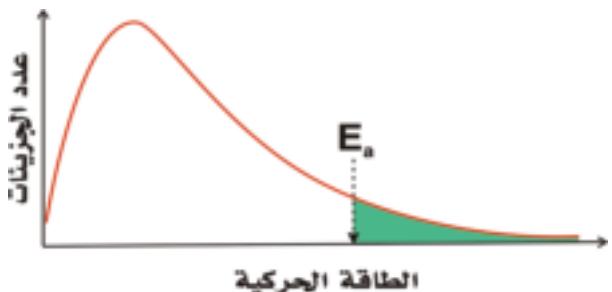
لكن كيف يمكن تفسير هذه الزيادة؟

يكون متوسط الطاقة الحركية لجزيئات المواد المختلفة عند درجة حرارة ثابتة متماثل تماماً حسب نظرية الحركة الجزيئية، وهي تخضع لتوزيع ماكسويل-بولتزمان للطاقة الحركية، كما في الشكل (8-4) الذي يمثل توزيع الطاقة الحركية على الجزيئات، انظر الشكل وأجب عن الأسئلة الآتية:

1. ماذا تمثل المساحة المظللة تحت المنحنى؟

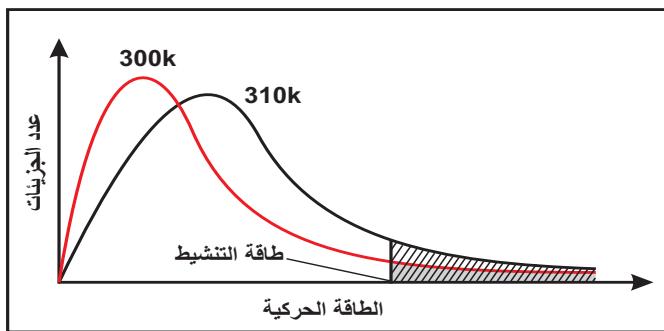
2. ماذا تمثل المساحة غير المظللة تحت المنحنى؟

3. ما نسبة عدد الجزيئات التي طاقتها الحركية مرتفعة بالنسبة لمجموع الجزيئات؟



الشكل (8-4): توزيع الطاقة الحركية على الجزيئات.

لعلك توصلت إلى أنه توجد نسبة قليلة من الجزيئات طاقتها الحركية مرتفعة عند درجة حرارة معينة، وهذا يعني أن عدداً قليلاً من الجزيئات طاقتها الحركية تساوي طاقة التنشيط أو أكبر منها (الم منطقة المظللة في الشكل (8-4)).



الشكل (9-4): توزيع الطاقة الحركية على الجزيئات عند درجتي 300 كلفن و 310 كلفن

ماذا يحدث عند ارتفاع درجة الحرارة؟

انظر الشكل (9-4) الذي يبين توزيع الطاقة الحركية على الجزيئات عند درجتي الحرارة 300 و 310 كلفن، وأجب عن الأسئلة الآتية:

1. ما أثر زيادة درجة الحرارة على متوسط الطاقة الحركية للجزيئات؟

2. هل تتأثر طاقة التنشيط لنفس التفاعل بزيادة درجة الحرارة؟
3. قارن بين عدد الجزيئات التي تملك طاقة التنشيط عند درجتي الحرارة 300 كلفن و 310 كلفن.
4. كيف يمكن تفسير زيادة سرعة التفاعل بارتفاع درجة الحرارة؟

يتضح من الشكل (9-4)، أن طاقة حركة الجزيئات تزداد بارتفاع درجة الحرارة، وبالتالي يزداد عدد الجزيئات التي تملك طاقة التنشيط؛ مما يؤدي إلى زيادة عدد التصادمات الفعالة، وزيادة سرعة التفاعل الكيميائي.

3 : 2 : 4 نظرية الحالة الانتقالية:

ماذا يحدث للجزيئات التي تملك طاقة التنشيط أثناء تصادمها؟ وكيف تتغير الطاقة؟ وما أثر اتجاه الجزيئات المتصادمة؟ للإجابة عن مثل هذه الأسئلة قدم العلماء نظرية الحالة الانتقالية.

وتفترض هذه النظرية أنه عند اقتراب دقائق المواد المتفاعلة بعضها من بعض، يتكون بناءً جديداً كحالة انتقالية بين المواد المتفاعلة والمادة الناتجة يدعى بالمعقد المنشط. ويمثل الشكل (10-4) تكون المعقد المنشط في تفاعل H_2 مع I_2 وتكون HI .

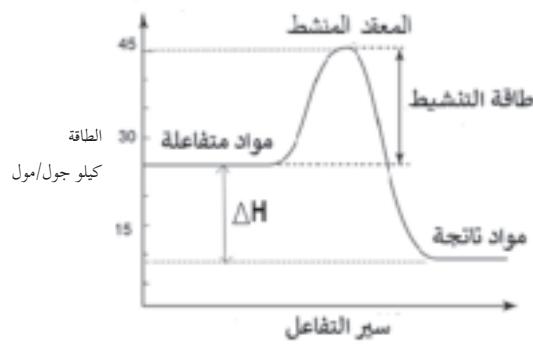


شكل (10-4): تكون المعقد المنشط

ما الفرق بين بناء المعقد المنشط وبين كل من المواد المتفاعلة والناتجة؟ وما التغيير في الطاقة المصاحبة لتكوين المعقد المنشط؟

يتضح أنه عند حدوث تصادم فعال بين جزيئات H - I وجزيئات H - H تبدأ الروابط بين ذراتهما بالتفكك، وتبدأ رابطة I - H بالتكون، ويكون المعقد المنشط، وتكون عندها طاقة الحركة منخفضة وطاقة الوضع عالية؛ مما يجعله غير مستقر، سرعان ما يفكك ليعطي المادة الناتجة أو يعود ليعطي المادة المتفاعلة. ولكي تتحول المادة المتفاعلة إلى المعقد المنشط؛ يجب أن تكتسب المتفاعلات طاقة التنشيط، وعليه فإن:

طاقة التنشيط حسب نظرية الحالة الانتقالية هي الحد الأدنى من الطاقة اللازمة لتكوين المعقد المنشط من المواد المتفاعلة.



الشكل (11-4): الطاقة خلال سير التفاعل.

يبين الشكل (11-4) الطاقة أثناء سير التفاعل لتفاعل طارد للطاقة. حيث يتضح أن المعدّد المنشّط يملك أعلى طاقة وضع. انظر الشكل وحدّد قيمة طاقة كل من:

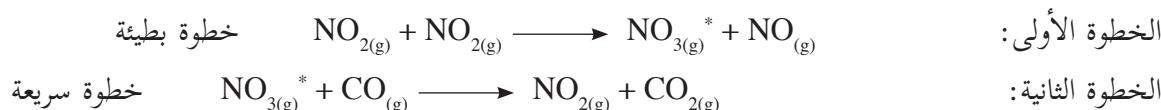
- طاقة التنشيط للتفاعل E_a .
- طاقة المعدّد المنشّط.
- طاقة التفاعل ΔH .

4:2:4 آلية التفاعل Reaction Mechanism

يصاحب حدوث التفاعل الكيميائي عدد من التغيرات، ومن أبرزها عملية تكسير الروابط وتكون روابط أخرى، ومن الصعب غالباً حدوث هذه التغيرات في خطوة واحدة، وإنما تتم في مجموعة من الخطوات التي تصف كيفية حدوث التفاعل، ويطلق على مجموعة هذه الخطوات (آلية التفاعل)، وتسمى كل خطوة فيها بالخطوة الأولية.



حيث وجد تجريبياً أن سرعة التفاعل = $k[\text{NO}_2]^2$ ، وقد تم افتراض الآلية الآتية للتفاعل:



اعتماداً على آلية التفاعل السابقة، أجب عن الأسئلة الآتية:

- 1- ما العلاقة بين مجموع خطوتي التفاعل السابقتين ومعادلة التفاعل الكيميائي الموزونة؟
- 2- ما المادة التي ظهرت في الخطوات الأولية ولم تظهر في معادلة التفاعل الكيميائي الموزونة؟
- 3- هل سرعة الخطوة الأولى تساوي سرعة الخطوة الثانية؟

لعلك توصلت إلى أن الخطوات الأولية في آلية التفاعل يجب أن تعبّر عن التفاعل الكلّي، وتسمى المادة $\text{NO}_{3(g)}^*$ التي لم تظهر في المواد المتفاعلة أو الناتجة، بل ظهرت في الخطوة الأولى، وتم استهلاكها في الخطوة الثانية، بالمادة الوسيطة (Intermediate)، وغالباً ما تكون غير مستقرة، ويستدل عليها عن طريق قياس إحدى خواصها الفيزيائية. ولعلك لاحظت أن الخطوات الأولية متفاوتة في سرعتها، والخطوة الأبطأ في آلية التفاعل هي التي تحدّد سرعة التفاعل؛ لذلك يطلق عليها الخطوة المحددة لسرعة التفاعل (Rate-determining Step).

ويعبّر عن سرعة الخطوة الأولية باستخدام تراكيز الجزيئات المتفاعلة مباشرةً من المعادلة الموزونة اعتماداً على المعاملات. فمثلاً في المثال السابق، سرعة الخطوة الأولى في آلية التفاعل تساوي $k_1 [\text{NO}_2]^2$ حيث k_1 ثابت السرعة للخطوة الأولى.

ولأن الخطوة الأولى هي الخطوة البطيئة والمحددة لسرعة التفاعل؛ فإن سرعة التفاعل تساوي سرعة الخطوة البطيئة $k_1 [NO_2]^2$ وهذا ما يجعل الآية السابقة تتفق مع الجانب التجريبي.

تمرين (11): وجد عملياً أن التفاعل بين المادتين A و B من الرتبة الأولى لكل من المتفاعلين، أي الآيتين الآتتين هي الممكنة؟

الآلية ب	الآلية أ	
$A + B \longrightarrow D + E$	$A \longrightarrow C + D$	الخطوة الأولى: (بطيئة)
	$C + B \longrightarrow E$	الخطوة الثانية: (سريعة)

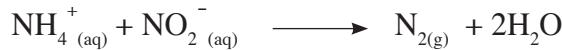
أسئلة الفصل

السؤال الأول

ما المقصود بكل من الآتية: رتبة التفاعل، كثافة التفاعل، التصادم الفعال، طاقة التنشيط.

السؤال الثاني

تم جمع البيانات المدرجة في الجدول أدناه للتفاعل الذي يتم وفق المعادلة الآتية:



ادرس البيانات في الجدول، وأجب عن الأسئلة التي تليه.

رقم التجربة	$[\text{NH}_4^+]_0$ [مول / لتر]	$[\text{NO}_2^-]_0$ [مول / لتر]	السرعة الابتدائية مول / لتر. ث
1	0.1	0.005	7×10^{-4}
2	0.1	0.010	7×10^{-4}
3	0.2	0.010	7×10^{-4}

1. اكتب قانون سرعة التفاعل.

2. احسب قيمة k ، وما وحدته.

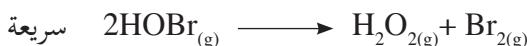
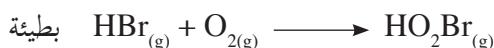
السؤال الثالث

سرعه التفاعل $\text{B}_{(\text{g})} \longrightarrow \text{C}_{(\text{g})}$ ، تساوي 0.005 مول/لتر. ث عندما يكون تركيز B يساوي 0.2 مول/لتر. ما مقدار قيمة ثابت سرعة التفاعل k إذا كانت رتبة التفاعل بالنسبة لـ B من الدرجة:

1. الصفرية 2. الأولى

السؤال الرابع

يتفاعل غاز HBr مع غاز O_2 وفق خطوات الآلية الآتية:



أ. اكتب معادلة التفاعل الموزونة.

ب. ما المادة (المواد) الوسيطة في خطوات التفاعل؟

ج. اكتب قانون سرعة التفاعل.

الكيمياء والتكنولوجيا والمجتمع (للاطلاع)

المحول الحفزي Catalytic Converter

إن الاحتراق غير المثالى للوقود في محركات السيارات يؤدي إلى انبعاث كميات من الغازات



الضارة، من أهمها أول أكسيد الكربون (CO)، وهو غاز سام عديم اللون والرائحة، وعند اشتباقة بكميات كبيرة يسبب الموت السريع، والهيدروكربونات غير المحترقة التي تبخّر بفعل الحرارة العالية، وبتأثير ضوء الشمس تحول إلى مواد شديدة الضرر بالبيئة والهواء، وأكسيد النيتروجين (NO_x) التي تشكل ضباباً خفيفاً، يؤدي إلى تهيج الأغشية المخاطية للإنسان، وتذوب في مياه الأمطار مكونة المطر الحمضي.

ولتقليل نسبة التلوث بعوادم السيارات أصبحت معظم السيارات الحديثة مزودة بعلبة معدنية متصلة بأنبوب طرد الغازات العادمة، تسمى المحول الحفزي، حيث يحتوي على خلايا خزفية، تشبه خلايا التحل الشمعية مطلية بطبقة رقيقة من عناصر البلاتين (Pt)، والبلاديوم (Pd)، والروديوم (Rh)؛ وذلك لعرض أكبر سطح من المادة المحفزة لتيارات الغازات المنبعثة من المحرك، وتوفير أكبر كمية من تلك العناصر الشمينة. ويقوم البلاتين والبلاديوم كمواد حفّازة بأكسدة الهيدروكربونات وأول أكسيد الكربون، ويقوم الروديوم باختزال أكسيد النيتروجين إلى غاز النيتروجين، ويستطيع المحول الحفزي تقليل الغازات الملوثة بنسبة تتراوح من (65 إلى 85 %).

وتفضل شركات السيارات وضع المحول الحفزي أسفل المقعد الأمامي على مسافة مناسبة، حتى يكون بعده عن المحرك مناسباً، والإسراع في عملية معالجة الغازات، لأن فاعليته تزداد وعمره الافتراضي يطول في درجات حرارة معينة.

أسئلة الوحدة

السؤال الأول ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة في كل مما يأتي:

1

أي العمليات الآتية غير تلقائية؟

- ب. ذوبان ملح الطعام في الماء.
- أ. انتشار رائحة العطر في الغرفة.
- د. انصهار الجليد على درجة حرارة الغرفة.
- ج. فصل الهيليوم عن النيون في مزيج غازي.

2

إذا كانت قيمة ثابت سرعة التفاعل k ، للتفاعل $\text{CO}_{(g)} + \text{NO}_{2(g)} \longrightarrow \text{CO}_{2(g)} + \text{NO}_{(g)}$ عند درجة حرارة 400°C تساوي $0.5 \text{ لتر}/\text{مول.ث}$ ، ورتبة التفاعل بالنسبة لكل من CO و NO_2 هي الأولى. ما قيمة سرعة التفاعل عندما يكون تركيز $\text{CO} = 0.025 \text{ مول}/\text{لتر}$ وتركيز $\text{NO}_2 = 0.040 \text{ مول}/\text{لتر}$ ؟

$$4 \times 10^{-4}$$

$$5 \times 10^{-4}$$

$$1 \times 10^{-4}$$

$$2 \times 10^{-3}$$

3

ما رتبة التفاعل P إذا كانت قيمة زمرة $2/1$ للتفاعل لا تعتمد على التركيز الابتدائي للمادة A ؟

أ. الصفرية

ب. الأولى

ج. الثانية

د. الثالثة

4

إذا كان التفاعل $C \longrightarrow 2A + B$ يتم في خطوة واحدة. أي الآتية صحيحة بالنسبة لسرعة التفاعل؟

أ. سرعة التفاعل = $[B]^2[A]k$

ب. سرعة التفاعل = $2[B][A]k$

ج. سرعة التفاعل = $[B][A]k$

د. سرعة التفاعل = $[C]k$

السؤال الثاني

تم الحصول على البيانات الواردة في الجدول أدناه للتفاعل $A_{(g)} \rightarrow B_{(g)}$

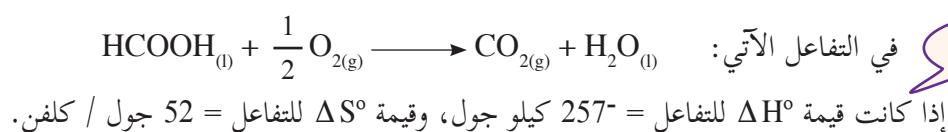
0.02	0.04	0.06	0.08	تركيز A (مول/لتر)
0.001	0.002	0.003	0.004	سرعة التفاعل (مول/لتر.ث)

1. ما رتبة التفاعل؟

2. احسب قيمة k .

3. ما مقدار سرعة التفاعل عندما يكون تركيز A = 0.24 مول/لتر؟

السؤال الثالث



هل التفاعل تلقائي عند الظروف القياسية أم لا؟ مع التفسير.

السؤال الرابع

إذا وجد أن قانون السرعة للتفاعل $:F_2 + 2NO_2 \rightarrow 2NO_2F$

سرعة التفاعل = $[NO_2][F_2]k$ ، هل من الممكن أن تكون الآلية الآتية صحيحة لهذا التفاعل؟

بطيئة



سريعة



السؤال الخامس

يتفكك H_2O_2 إلى H_2O و O_2 بخطوتين كما يأتي:



2. ما المادة (المواد) الوسيطة في خطوات التفاعل؟

1. اكتب معادلة التفاعل الكلية.

السؤال السادس

- قام طالب برسم العلاقة بين لو [A] مع الزمن بوحدة الدقيقة، فحصل على خط مستقيم، ميله يساوي - 0.105 وتقاطعه مع المحور الصادي يساوي 0.1 عند بدء التفاعل، اكتب قانون سرعة التفاعل، ثم احسب كلاً مما يأتي:
- أ. مقدار التركيز الابتدائي للمادة A.
 ب. قيمة ثابت سرعة التفاعل.
 ج. قيمة عمر النصف للتفاعل.

السؤال السابع

فسّر لماذا لا يتحلل الماء إلى عناصره الأولية في الظروف العادية.

السؤال الثامن

- علل كلاً من الآتية:
- أ. تؤدي عملية الانصهار إلى زيادة في العشوائية.
 ب. تعد طاقة جبس الحرارة مؤشراً حقيقياً لتلقائية التفاعلات من عدمها.
 ج. تتناقص سرعة التفاعل الكيميائي مع مرور الزمن.
 د. تزداد سرعة التفاعل عند رفع درجة الحرارة.

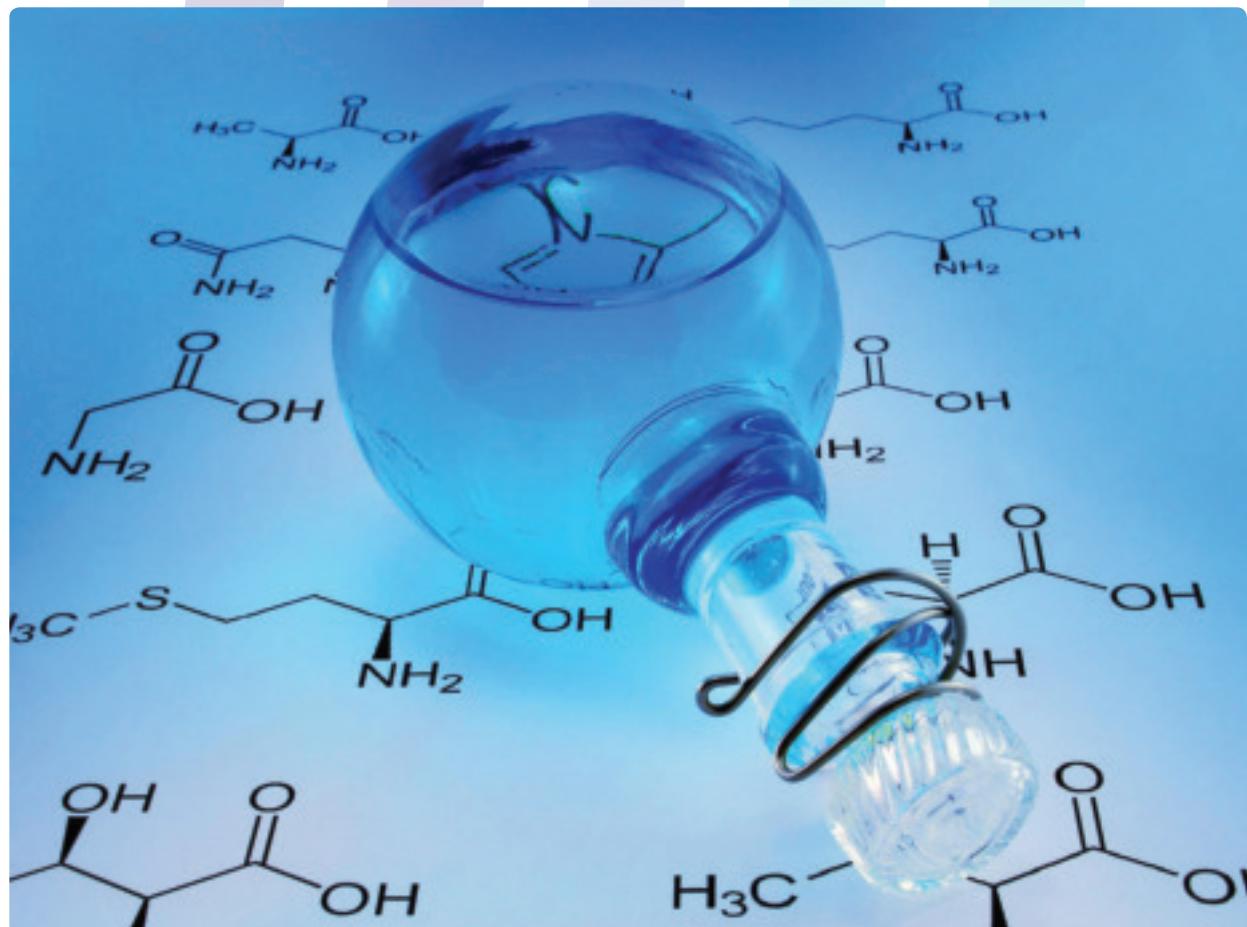
السؤال التاسع

أقِيم ذاتي :

أعبر عن المفاهيم التي تعلمتها خلال دراستي للوحدة بما لا يزيد عن ثلاثة أسطر.

الكيمياء العضوية

Organic Chemistry



توجد الملايين من المركبات العضوية المختلفة، ويعتبر عنصر الكربون أساسياً في تركيبها. ما أهم المركبات العضوية؟ وما خصائصها واستخداماتها؟ وكيف يتم تحضيرها والكشف عنها؟

يتوقع من الطلبة بعد دراسة هذه الوحدة، والتفاعل مع أنشطتها أن يكونوا قادرين على توظيف دراسة التفاعلات الكيميائية في الكيمياء العضوية في تحضير بعض المركبات العضوية والتمييز بينها، من خلال تحقيق الآتي:

- كتابة معادلات كيميائية تمثل تفاعلات المركبات العضوية.
- استنتاج نواتج تفاعلات بعض المركبات العضوية عملياً.
- التمييز مخبرياً بين مركبات المجموعات الوظيفية المختلفة.

المركبات العضوية (Organic Compounds):

اعتقد الكيميائيون حتى بدايات القرن التاسع عشر أن المركبات العضوية تؤخذ من الأجسام الحية فقط، وفي عام 1829م تمكّن فريدريك فوهلر من تحضير البيريا في المختبر، ومنذ ذلك الحين قام الكيميائيون بتحضير ملابس المركبات العضوية، ودراسة خصائصها الكيميائية والفيزيائية، ولقد تعلمت سابقاً بعض المركبات العضوية التي تحوي المجموعات الوظيفية (Functional Groups)، والمجموعة الوظيفية ذرة أو مجموعة من الذرات مرتبطة بطريقة معينة بذرة كربون في المركب العضوي، وتؤثر في كل من الخصائص الفيزيائية والكيميائية لذلك المركب. ولتذكر بعض أنواع هذه المركبات العضوية، نفذ النشاط (1-5).

نشاط (1-5) بعض أنواع المركبات العضوية:

لديك المركبات العضوية الآتية:



أجب عن الأسئلة الآتية:

1. ما المجموعة الوظيفية في كل منها؟ وما نوع هذه المركبات؟
2. سم المركبات حسب النظام العالمي (IUPAC).

وتصنّف أنواع التفاعلات الكيميائية في الكيمياء العضوية إلى الأنواع الآتية:

إضافة، والحدف، والاستبدال، والتآكسد والاختزال، وستتعرف عليها لاحقاً خلال دراستك الخواص الكيميائية لبعض المركبات العضوية.

هاليدات الألكيل (Alkyl Halides)

2-5

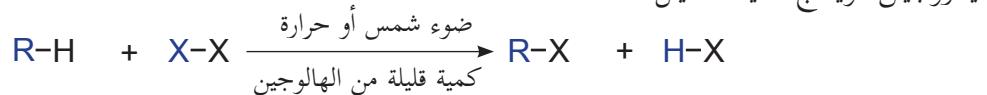
مركيبات عضوية تحوي على ذرة هالوجين أو أكثر، مرتبطة بذرة (ذرات) كربون ، وصيغتها العامة $R-X$ ، وتصنف حسب عدد مجموعات الألكيل (R) المتصلة بذرة الكربون المرتبطة بشكل مباشر مع ذرة الهالوجين (X) إلى: هاليد ميشيل وهاليدات الألكيل أولية، أو ثانوية، أو ثالثية:



١. طرق تحضير هاليدات الألكيل:

يمكن تحضير هاليدات الألكيل بعده طرق منها:

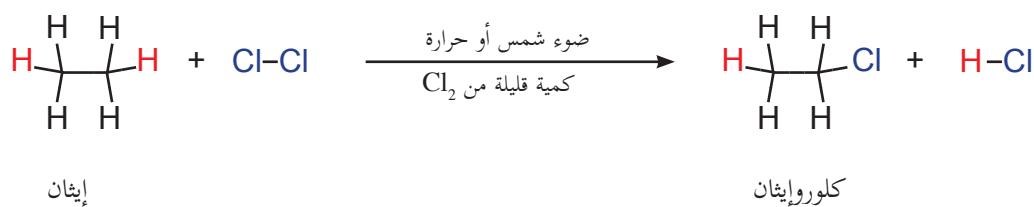
أ. هلجنـة الألـكـانـات: يـتفـاعـلـ الأـلـكـانـ معـ الـهـالـوـجـينـاتـ فيـ وـجـودـ الضـوءـ،ـ فـيـتـمـ اـسـتـبـدـالـ ذـرـةـ هـالـوـجـينـ بـذـرـةـ رـوجـينـ،ـ وـيـتـحـ هـالـيدـ أـلـكـانـ.



حيث $X : Cl$ أو Br أو I

مثال (١): كيف يمكن تحضير كلورو إيثان من الإيثان؟

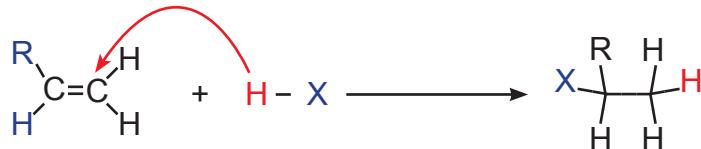
الحل:



وهذه الطريقة غير ملائمة لتحضير هاليدات الألكيل؛ لأنها تعطي مزيجاً من هاليدات الألكيل.

ب. إضافة هاليدات الهيدروجين إلى الألكينات:

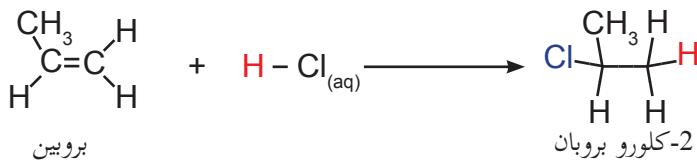
تفاعل الألكينات مع هاليدات الهيدروجين، ويترجع عن ذلك هاليدات الألكيل، وتنتمي هذه التفاعلات وفق قاعدة ماركوفنيكوف (Markovnikov) التي تنص على: عند إضافة هاليدات الهيدروجين إلى ألكين غير متماشل، فإن ذرة الهيدروجين ترتبط بذرة الكربون المشاركة في الرابطة الثنائية، والمرتبطة بأكبر عدد من ذرات الهيدروجين.



اكتب معادلة كيميائية تمثل تفاعل بروبين مع حمض الهيدروكلوريك HCl .

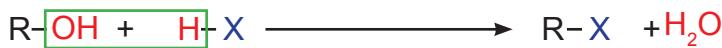
مثال (2):

الحل:



ج. تفاعل هاليدات الهيدروجين مع الكحولات: تفاعل يتم فيه استبدال ذرة هالوجين بمجموعة

هيدروكسيل.

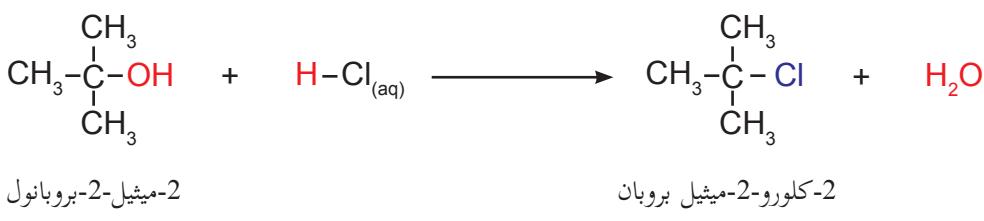


حيث X : I أو Br أو Cl

اكتب معادلة كيميائية تمثل تفاعل 2-ميثيل-2-بروبانول مع حمض الهيدروكلوريك HCl .

مثال (3):

الحل:



2-ميثيل-2-بروبانول

2-كلورو-2-ميثيل بروبان

2. الخواص الكيميائية لهاليدات الألكيل:

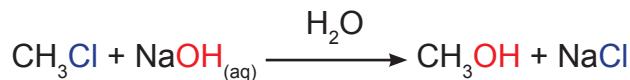
تعتبر تفاعلات هاليدات الألكيل الأولية وهاليد ميثيل مع هيدروكسيدات الفلزات القلوية من أهم خواصها الكيميائية، ويترجع عنها الكحولات المناظرة، إذا تمت التجربة في وسط مائي.



حيث $(\text{Li}, \text{Na}, \text{K}, \dots)$: $\text{M} (\text{Cl}, \text{Br}, \text{I})$: X

مثال (4): اكتب تفاعل كلورو ميثان مع هيدروكسيد الصوديوم المائي.

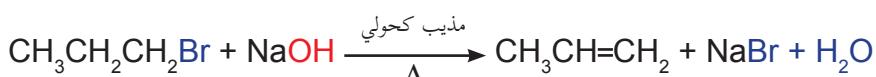
الحل:



كلورو ميثان

ميثانول

أما إذا كان وسط التفاعل كحوليًّا، فإن هاليدات الألكيل الأولية تشجع الألكين المناظر.



1-برومو بروبان

بروبين

تمرين (1): أ. أكمل معادلة تفاعل 1-برومو بروبان مع هيدروكسيد البوتاسيوم المائي.



ب. كيف يمكن تحضير 1-بنتين من 1-برومو بنتان؟

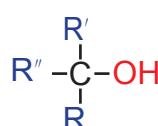
واقتصرنا في هذا البند على دراسة الخصائص الكيميائية لـهاليدات الألكيل الأولية وهاليد ميثيل فقط.

تستخدم هاليدات الألكيل في صناعة المبيدات الحشرية، وفي صناعة بعض أواني الطبخ التي لا يلتصق بها الطعام (مادة التفلون)، وفي مجال الطب في عمليات التخدير، كما تستخدم كغازات في أنابيب التبريد، وفي صناعة المواد البلاستيكية.

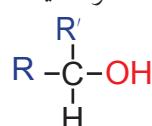
الكحولات (Alcohols)

3-5

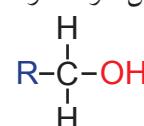
الكحولات مركبات عضوية تحتوي على مجموعة هيدروكسيل واحدة أو أكثر، وصيغتها العامة $\text{R}-\text{OH}$ ، وتصنف حسب عددمجموعات الألكيل (R) المتصلة بذرة الكربون المرتبطة بشكل مباشر مع مجموعة الهيدروكسيل إلى: كحول ميثيل، وكحولات أولية، أو ثانوية، أو ثالثية.



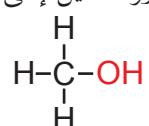
كحول ثالثي (3°)



كحول ثانوي (2°)

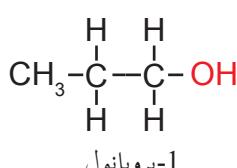


كحول أولي (1°)

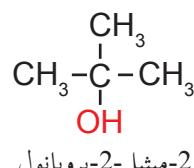


كحول ميثيل

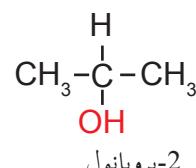
تمرين (2): صنف الكحولات الآتية إلى كحولات أولية، أو ثانوية أو ثالثية.



1-بروبانول



2-ميثيل-2-بروبانول



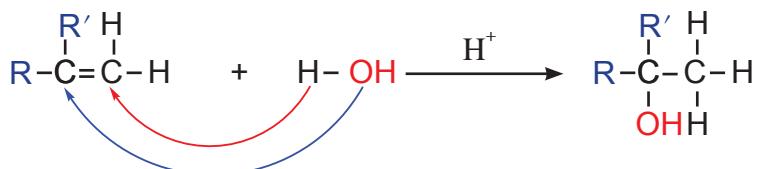
2-بروبانول

1. طرق تحضير الكحولات:

يمكن تحضير الكحولات بعدة طرق منها:

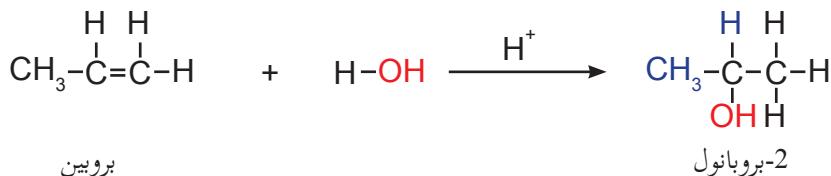
أ. إضافة الماء إلى الألكيات (Hydration) بوجود الحموض المعدنية مثل H_2SO_4 كعوامل مساعدة: وتم

آلية الإضافة وفقاً لقاعدة ماركوفنيكوف:



مثال (5): اكتب معادلة كيميائية تمثل تفاعل البروين مع الماء.

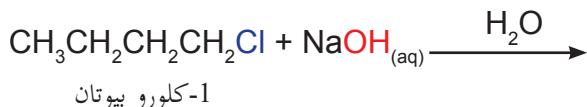
الحل:



تمرين (3): اكتب معادلة تحضير كحول ثالثي يتكون من أربع ذرات كربون بإضافة الماء إلى الألکين المناسب واستخدام العامل المساعد الملائم.

ب. إضافة هيدروكسيدات الفلزات القلوية إلى هاليدات الأولية وهاليد ميشيل في وسط مائي كما مرّ معك سابقاً.

تمرين (4): اكتب نواتج تفاعل 1-كلورو بيوتان مع هيدروكسيد الصوديوم المائي.



2. الخواص الكيميائية للكحولات:

تمتاز الكحولات بالصفات الأمفوتيرية، لأنها تحوي مجموعة الهيدروكسيل، فتسلك كحموض في الوسط القاعدي؛ نظراً لوجود ذرة هيدروجين حمضية متصلة بالأكسجين، وتسلك كقواعد في الوسط الحمضي؛ نظراً لاحتواء ذرة الأكسجين على زوجين من الإلكترونات غير الرابطة قادرة على استقبال بروتون من الحمض.

أ. تفاعل الكحولات كحموض:

تميز الكحولات بخواص حمضية ضعيفة، ويعزى سلوكها الحمضي إلى ارتباط ذرة الهيدروجين بذرة الأكسجين برابطة قطبية تجعل زوج الإلكترونات المشتركة ينحاز قليلاً نحو الأكسجين؛ ولذلك تتفاعل مع الفلزات النشطة، مثل عنصري الصوديوم والبوتاسيوم: Na و K حيث ينتج ألكوكسيد الفلز ويتصاعد غاز الهيدروجين كما في التفاعل العام الآتي:



مثال (٦): اكتب معادلة كيميائية تمثل تفاعل الإيثanol مع عنصر الصوديوم.

الحل:



ويتمكن استخدام هذا التفاعل للتمييز بين الكحولات والألكانات كما سبقت لك عند تنفيذ نشاط (5-2).

التمييز مخبرياً بين الإيثانول والهكسان.

نشاط (2-5)

المواد والأدوات: قطعة صغيرة من الصوديوم، والإيثانول، وهكسان وأنابيب اختبار، وسداد فلّين.



احتياطات السلامة العامة:

يتفاعل الصوديوم مع الماء بشدة؛ ولذلك يجب أخذ الحيطه والحذر عند التعامل مع الصوديوم وأثناء التسخين.

خطوات العمل:



- الحيطة والحزن

 1. ضع في أنبوب اختبار 2 مل من الإيثانول.
 2. أضف إليه قطعة صغيرة جداً من الصوديوم.
 3. أغلق الأنابيب بسداد فلين، ماذا تلاحظ؟
 4. افتح الأنابيب وقرب من فوهرته عود ثقاب مشتعلأً، ماذا تلاحظ؟
 5. اكتب معادلة التفاعل الحاصل. ما اسم المادة الناتجة من التفاعل؟

أعد خطوات النشاط باستخدام الهاكسان بدل الإيثانول، ماذا تلاحظ؟

تمرين (5): كيف يتم التمييز بين الهكسان و-1-هكسانول في المختبر مع كتابة المعادلات؟

ب. تفاعل الكحولات كقواعد:

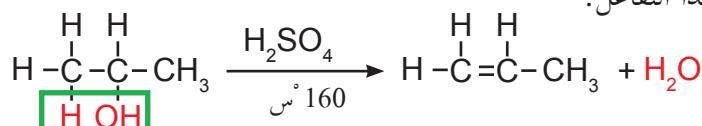
١٤. تفاعل الكحولات مع الحموض الهالوجينية (HX) وينتج عن ذلك هاليدات الألكليل كما مر معك سابقاً.

تمرين (6): أكمل معادلة تفاعل الإيثانول مع حمض الهيدروكلوريك HCl.



2. تفاعل الكحولات مع حمض الكبريتيك المركز (حذف الماء، Dehydration).

وتمثل المعادلة الآتية هذا التفاعل:



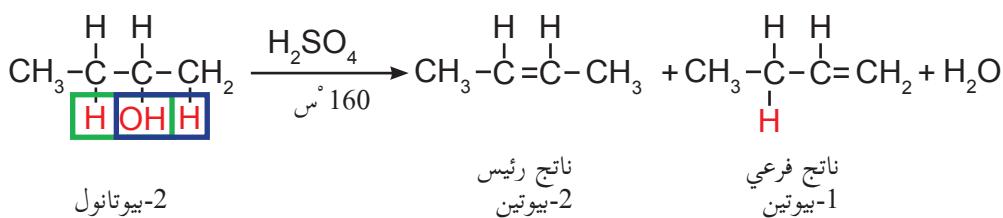
2-بروبانول

بروپیں

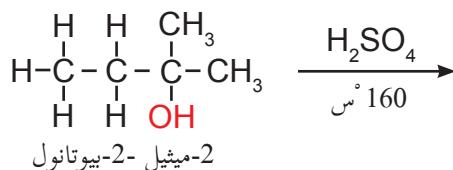
ويتم هذا التفاعل وفق قاعدة زايتسف (Zaitsev's rule)، التي تنص على: ينتج الألكين بكمية كبيرة (الناتج الرئيس) من حذف الماء من الكحول بخروج هيدروجين الماء من ذرة الكربون المجاورة لذرة الكربون التي ترتبط بالهيدروكسيل، وتحوي عدداً أقل من ذرات الهيدروجين.

مثال (7): اكتب معادلة كيميائية تمثل معالجة 2-بيوتانول مع حمض الكبريتيك المركز عند درجة حرارة 160°س.

الحل:



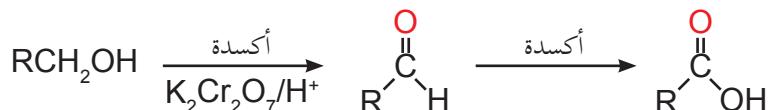
تمرين (7): أكمل التفاعل الآتي، وبيّن الناتج الرئيس:



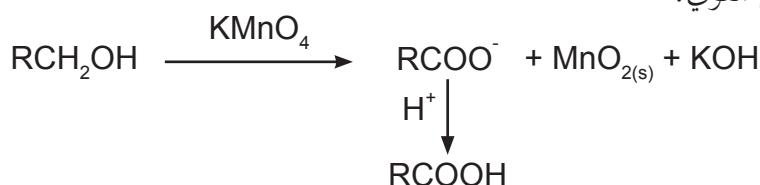
ج. أكسدة الكحولات:

1. أكسدة الكحولات باستخدام دايكلورومات البوتاسيوم أو بيرمنغنات البوتاسيوم في وسط حمضي:

تتأكسد الكحولات الأولية إلى الألدهيدات المناظرة باستخدام العامل المؤكسد القوي دايكلورومات البوتاسيوم في وسط حمضي، وفي حالة بقاء الألدهيد في محلول فإنه يتآكسد بدوره إلى حمض كربوكسيلي. ولا يمكن إيقاف الفاعل عند مرحلة تشكيل الألدهيد، بل يستمر ليعطي الحمض الكربوكسيلي؛ ولذلك لا يمكن تحضير الألدهيدات بهذه الطريقة باستثناء الألدهيدات المتطربة (يكون عدد ذرات الكربون فيها من 1-4) حيث تتبخر قبل تأكسدها.

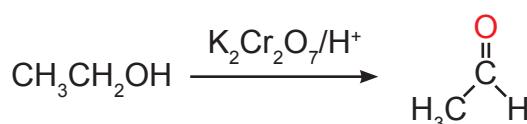


وفي حالة استخدام محلول بيرمنغنات البوتاسيوم المائي، ثم إضافة حمض معدني قوي فإن الكحول الأولي يتآكسد إلى الحمض الكربوكسيلي المناظر، حيث يختفي لون محلول بيرمنغنات البوتاسيوم البنفسجي ويظهر راسب من MnO_2 البني؛ لأن الكحول يختزل أيون البيرمغناط إلى MnO_2 ، ويتم فصل ثاني أكسيد المونغنيز من محلول بالترشيح قبل إضافة الحمض المعدني القوي.



مثال (8): اكتب معادلة كيميائية تمثل أكسدة الإيثanol باستخدام دايكلورومات البوتاسيوم في وسط حمضي.

الحل:



إيثانول

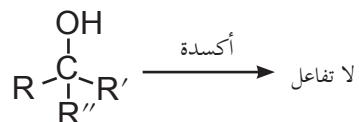
إيثانال

تمرين (8): اكتب معادلة كيميائية تمثل أكسدة 1-بيوتانول باستخدام محلول بيرمنغنات البوتاسيوم، ثم إضافة حمض معدني قوي.

أما الكحولات الثانوية فتتأكسد إلى كيتونات حسب المعادلة العامة الآتية:



وأما الكحولات الثالثية فتقاوم تفاعلات الأكسدة المذكورة في الظروف العادمة.



صمم نشاطاً للتمييز عملياً بين الكحول الأولى والكحول الثالثي؟

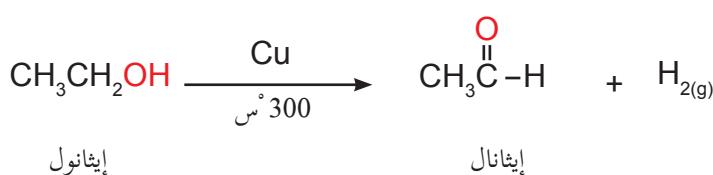
نشاط (3-5):

2. الأكسدة بنزع الهيدروجين من الكحولات عند تمرير أبخرة الكحولات على مسحوق النحاس عند درجة حرارة (400-200°س)، وينتج عن ذلك الألدهيدات إذا كانت الكحولات أولية، بينما تنتج الكيتونات عن طريق أكسدة الكحولات الثانية.

اكتب معادلة كيميائية تمثل أكسدة الإيثانول بتمريره بخاره على مسحوق النحاس عند درجة 300°س.

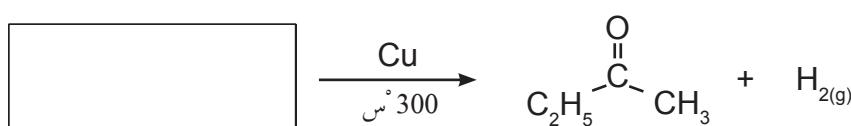
مثال (٩):

الحل:



ما صيغة المادة المتفاعلة في التفاعل الآتي؟

تمرين (٩)



2-بیو تانوں

الألدهيدات والكيتونات (Aldehydes and Ketones)

4-5

تمييز الألدهيدات والكيتونات بوجود مجموعة الكربونيل الوظيفية (-C=O).

والصيغة العامة للألdehydes

ويتم استبدال ذرة هيدروجين بمجموعة ألكيل R في الميثانال، لتصبح HCOH وتكون مجموعة (C=O) في طرف السلسلة.

أما الصيغة العامة للكيتونات فهي $\text{R}-\overset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{R}'$ حيث ترتبط مجموعة الكربونيل في الكيتونات بمجموعتي ألكيل متماضتين أو غير متماضتين (R و R'). وتكون الرابطة الثنائية في مجموعة الكربونيل في كل من الألدهيدات والكيتونات مستقطبة جزئياً، بسبب الفرق في الكهروسالبية بين ذرتي الأكسجين والكربون.

مثال (10)

الحل:



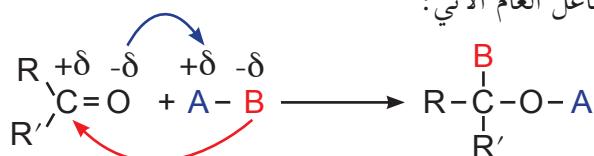
1. طرق تحضير الألدهيدات والكيتونات:

يمكن تحضير الألدهيدات بأكسدة الكحولات الأولية، بينما يمكن تحضير الكيتونات بأكسدة الكحولات الثانية كما مر معك سابقاً.

2. الخواص الكيميائية للألدهيدات والكيتونات:

أ. تفاعلات الإضافة:

تعود تفاعلات الإضافة في الألدهيدات والكيتونات إلى بنية مجموعة الكربونيل غير المشبعة، الحاوية على رابطة تساهمية ثنائية (σ و π)، فهي تستجيب لتفاعلات الإضافة بكسر الرابطة الأضعف (π)، ويتم ذلك بارتباط الجزء السالب من المادة المتفاعلة بذرة كربون مجموعة الكربونيل، كما يرتبط الجزء الموجب من المادة المتفاعلة بذرة أكسجين مجموعة الكربونيل كما في التفاعل العام الآتي:



ومن أهم تفاعلات الإضافة، تفاعل غرينيارد الذي ينتج عنه كحولات، ويعتمد ناتج هذا التفاعل على نوع المركب الكربوني المستخدم.

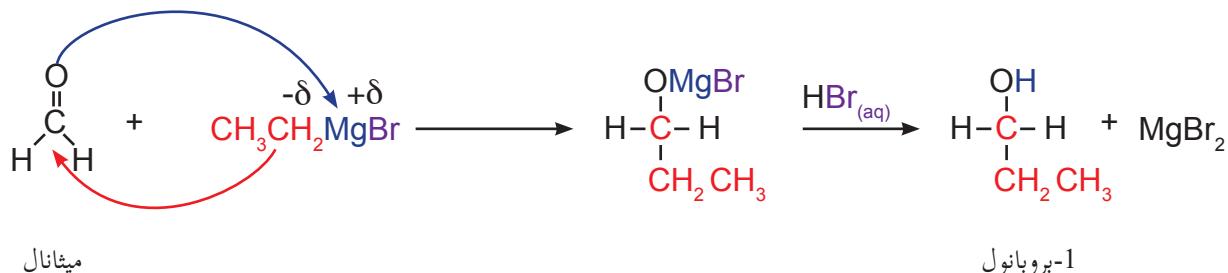
يحضر مركب (كاشف) غرينيارد من تفاعل هاليد الألكيل (R-X) مع معدن المعنيسيوم (Mg) في الإثير.

الجاف ليعطي هاليد ألكيل المعنيسيوم R-MgX :

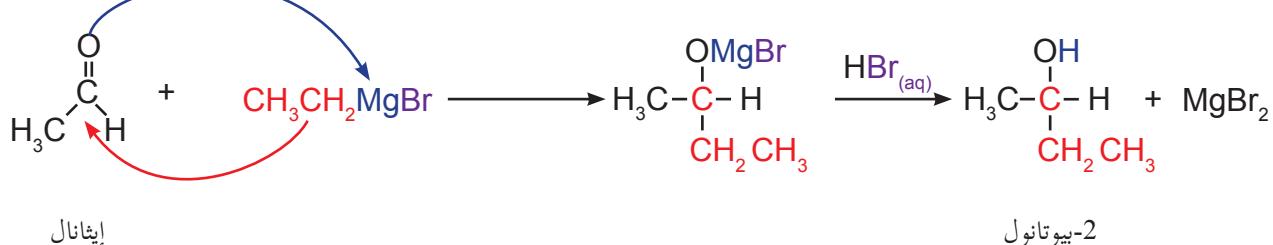


ويتم التفاعل على مرتبتين، تعطي الأولى ناتج إضافة وسطي يتحول في وسط حمضي في المرحلة الثانية إلى كحول، تأمل الأمثلة الآتية:

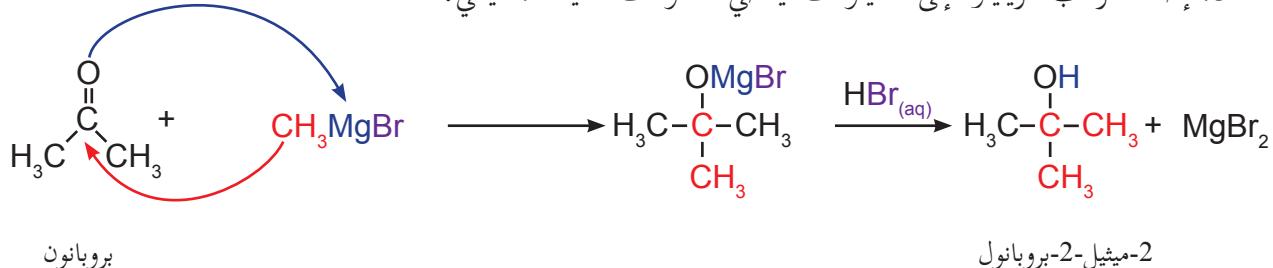
1. إضافة مركب غرينبارد إلى الميثانال ليعطي كحولاً أولياً كما يأتي:



2. إضافة مركب غرينبارد إلى الألدهيدات الأخرى ليعطي كحولات ثانوية كما يأتي:



3. إضافة مركب غرينبارد إلى الكيتونات ليعطي كحولات ثالثية كما يأتي:



ويكون عدد ذرات الكربون في الكحولات الناتجة مساوياً لمجموع عدد ذرات الكربون في الألدهيدات أو الكيتونات وعدد ذرات الكربون في مركب غرينبارد.

ب. تفاعلات الأكسدة:

تتأكسد الألدهيدات بسهولة إلى حموض كربوكسيلية في الظروف العادية بمعظم العوامل المؤكسدة، حتى الضعيفة منها، في حين تقاوم الكيتونات بصورة عامة للأكسدة بالظروف العادية؛ لأنها لا تحوي ذرة هيدروجين مرتبطة بمجموعة الكربونيل. ومن تفاعلات الأكسدة:

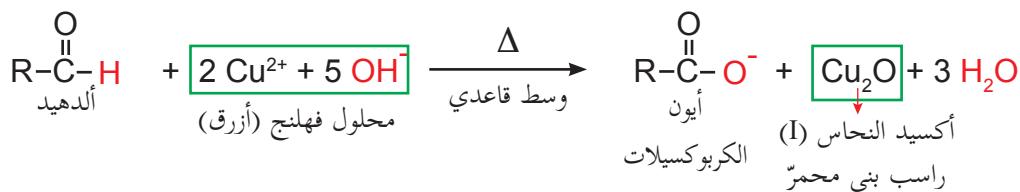
1. الأكسدة بواسطة محلول فهنج (Fehling's solution)

يتكون محلول فهنج A من (كبريتات النحاس المائية $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)، ومحلول فهنج B من (محلول ملح روشنل «ترترات الصوديوم والبوتاسيوم المائية» وهيدروكسيد الصوديوم).



محلول فهنج

العامل المؤكسد الفعال في هذا محلول هو أيون النحاس (II) الأزرق Cu^{2+} الذي يختزل إلى أيون Cu^+ ، ويترسب على شكل مسحوقبني محمراً (أكسيد النحاس I) Cu_2O ، في حين يتآكسد الألدهيد إلى أيون الكربوكسيلات.



يُستخدم هذا التفاعل في المختبرات الطبية للكشف عن الجلوكوز، وتقدير كميته في البول؛ لأن جزيء الجلوكوز يحتوي على مجموعة الألدهيدية تتأكسد، ويستخدم محلول فهنج للكشف عن السكريات الأحادية، والنশاط (4-5) يوضح ذلك.

الكشف عن وجود مجموعة الألدهيد في سكر الجلوكوز بواسطة محلول فهنج

نشاط (4-5):

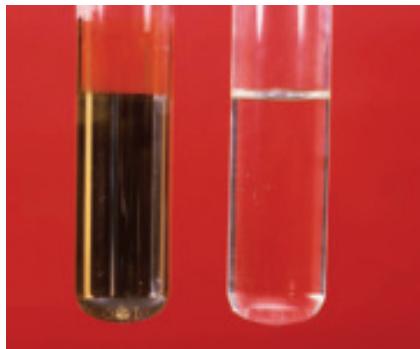
المواد والأدوات: أنابيب اختبار، وحامل أنابيب اختبار، وحمام مائي أو لهب بنسن، وقطارات متوسطة، وجلوكوز، ومحلول فهنج A، ومحلول فهنج B.



خطوات العمل:

- أضف إلى أنابيب اختبار كمية قليلة من محلول السكر الأحادي «جلوكوز».
- أضف بواسطةقطارة (قطارة لكل محلول من المحلولين) حجوماً متساوية من محلولي فهنج ، ثم ضع أنابيب الاختبار في حمام مائي ساخن، ماذا تلاحظ؟

2. الأكسدة بواسطة محلول تولن (Tollen's Solution)



يتالف محلول تولن من محلول نترات الفضة النشادية، وهو معقد لأيون الفضة، والعامل المؤكسد في هذا محلول أيون الفضة، الذي يختزل إلى معدن الفضة، عند تسخين مزيج منه مع الألدهيد، حيث يتربس على جدرانوعاء التفاعل مكوناً مراة فضية، في حين يتآكسد الألدهيد إلى الحمض الكربوكسيلي المناظر:



يستخدم هذا التفاعل في صناعة المرايا، حيث يستخدم الميثانال لترسيب طبقة الفضة على الزجاج، ويمكن التمييز بين الألدهيدات والكيتونات باستخدام محلول تولن أو محلول فهانج؛ لأن الكيتونات لا تتفاعل معهما (لا تستجيب للعوامل المؤكسدة العادية).

ومن أشهر الألدهيدات، الميثانال الذي يستخدم محلوله المائي (40%) «الفورمالين» في حفظ الأنسجة الحية من التحلل، وذلك بسبب قدرته على منع نمو البكتيريا وتكاثرها. ويستخدم في صناعات كثيرة أهمها الميلامين حيث يُكون مبلمراً مع الفينول، كما يعدّ مادة أولية في صناعة بعض المواد البلاستيكية.

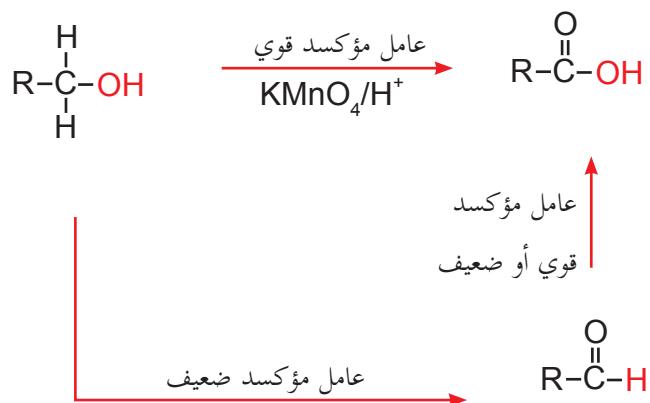
ومن أشهر الكيتونات، البروبانون (الأسيتون) وهو سائل عديم اللون يمتاز بطعم لاذع ورائحة مميزة، ويذوب في الماء بجميع النسب، ويستخدم في إزالة طلاء الأظافر؛ وذلك بسبب قدرته على إذابة الأصباغ الكيميائية المستخدمة في صناعة الطلاء إضافة إلى سرعة تطايره؛ ما يسهل التخلص منه. ويعد المادة الأولية في صناعة المبلمرات البلاستيكية وصناعة الورنيش.

الحموض الكربوكسيلي (Carboxylic Acids)

تميّز الحموض الكربوكسيليّة بوجود مجموعة الكربوكسيل COOH ، التي تتكون من مجموعة الهيدروكسيل -OH والكربونيّل $(\text{C}=\text{O})$ والصيغة العامة لها هي: RCOOH .

1. طرق تحضير الحموض الكربوكسيليّة:

تحضر الحموض الكربوكسيليّة بعدة طرق منها أكسدة الكحولات الأوليّة والألديهيدات كما مرّ معاً، كما هو موضّح في المخطط الآتي:



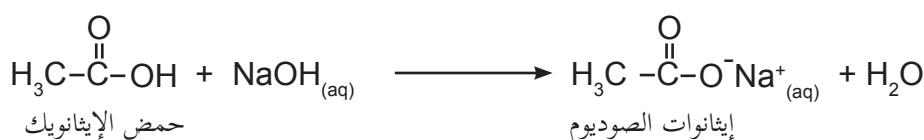
والحموض الكربوكسيليّة قابلية للذوبان في الماء نظراً ل الخاصيّة القطبيّة لها، ولتكنُ روابط هيدروجينيّة بينها وبين جزيئات الماء، ويقل ذوبانها في الماء بازدياد الكتلة المولية ويعود ذلك إلى تناقص تأثير الجزء القطبي (COOH) وزيادة فعالية الجزء غير القطبي (R) في جزيء الحمض حين زيادة طول السلسلة R .

2. الخواص الكيميائيّة للحموض الكربوكسيليّة:

أ- تفاعل الحموض الكربوكسيليّة مع القواعد:

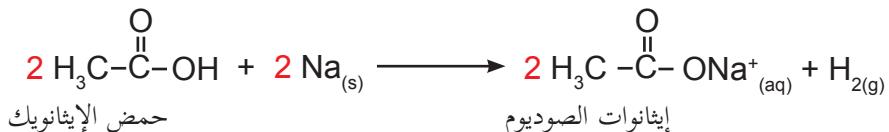
تفاعل الحموض الكربوكسيليّة (جميعها حموض ضعيفة) مع القواعد القوية والضعيفة مكونة أملاحها كما في الأمثلة الآتية:

1. تفاعلاًها مع القواعد القوية:

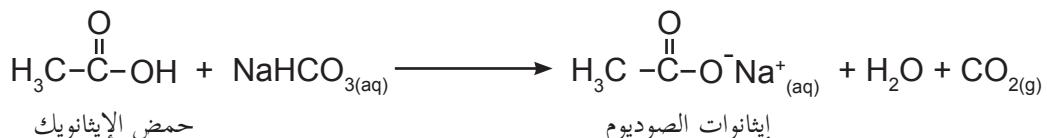


2. تفاعلها مع الفلزات النشطة.

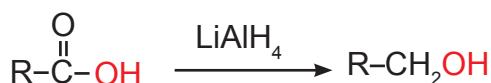
تفاعل الحموض الكربوكسيلي مع الفلزات النشطة مثل الصوديوم، ويعزى ذلك إلى وجود H الحمضية في مجموعة الكربوكسيل، حيث يتتصاعد غاز الهيدروجين كدلالة على حدوث التفاعل.



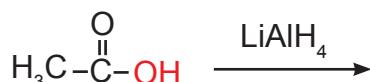
3. تفاعلاها مع الأملاح القاعدية مثل كربونات الصوديوم الهيدروجينية



تُخترل الحموض الكربوكسيلية بسهولة إلى الكحولات الأولية المنشورة مباشرة باستخدام هيدريد ليثيوم ألمانيوم (LiAlH_4) الذي يعد عاملًا مختزلًا قويًا:



تمرين (10): اكتب الناتج العضوي في التفاعل الآتي:



ومن أشهر الحموض الكربوكسيلية حمض الميثانويك، وهو أبسط الحموض العضوية، فهو يحتوي على ذرة كربون واحدة، ويسمى حمض التمليك؛ لأنَّه يوجد في إفرازات غدد بعض أنواع النمل، ويسبب التهيجات التي تحدثها لسعات النمل في الجلد. وهو سائل عديم اللون، له رائحة نفاذة، وطعم لاذع، ويستخدم في صناعة النسيج. وحمض الإيثانويك وهو سائل عديم اللون، رائحته نفاذة، ويُحضر من أكسدة الإيثانول الناتج من عملية التخمر (أو المُصنَّع بطرق أخرى). ويُستعمل في المأكولات وفي حفظ اللحوم والأسماك المعلبة، وفي صناعة دباغة الجلود وصناعة النسيج، وبعض المستحضرات الصيدلانية.

الإسترات (Esters)

الصيغة العامة للإسترات هي: RCOOR' وتعد الإسترات من مشتقات الحموض الكربوكسيلية، حيث يتم استبدال مجموعة الكوكسي ($\text{RO}-$) بمجموعة الهيدروكسيل في الحمض.

1. تسمية الإسترات:

تسمى الإسترات حسب النظام الدولي (IUPAC) كالتالي.

- رقم أطول سلسلة كربونية بدءاً من ذرة الكربون الإسترية.

- نسمي التفرعات مسبوقة بأرقامها إن وجدت.

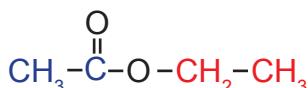
- نضع اسم الألkan المناظر لأطول سلسلة كربونية، ونتبعه باللاحقة (وات)، ثم نتبعه باسم مجموعة الكيل

R' (الجزء الكحولي)، وسيتم توضيح ذلك في المثال الآتي:

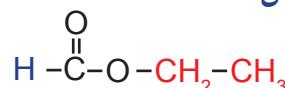
سم الإسترات في الأمثلة الآتية بالطريقة النظامية.

مثال (11)

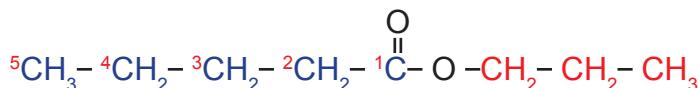
الحل:



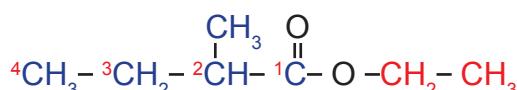
إيثانوات الإيثيل



ميثانوات الإيثيل



بنتانوات عـ بروبيل

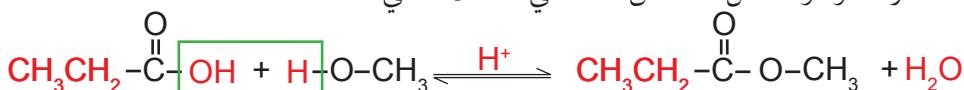


2-ميثيل بيوتانوات الإيثيل

2. طرق تحضير الإسترات:

• **تفاعل الأسترة:** يحدث هذا التفاعل بين الحمض الكربوكسي والمحلول بوجود الحموض المعدنية

كمواد محفزة ، وهو تفاعل منعكس كما في المثال الآتي:



ويُنتج هذا التفاعل إسٹرًا، ولكنه يكون تفاعلاً منعكساً؛ ما يعني تحول الإستر مرة أخرى إلى كحول وحمض

كربوكسيلي، ولكي يسير التفاعل في الاتجاه الأمامي لا بد من امتصاص الماء من وسط التفاعل ، ويتم ذلك باستخدام مادة تعشق الماء ، أو بفصل الإستر الناتج باستمرار طوال سير التفاعل .ولتحضير أحد الإسترات بهذه الطريقة نفذ الشاط (5-5).

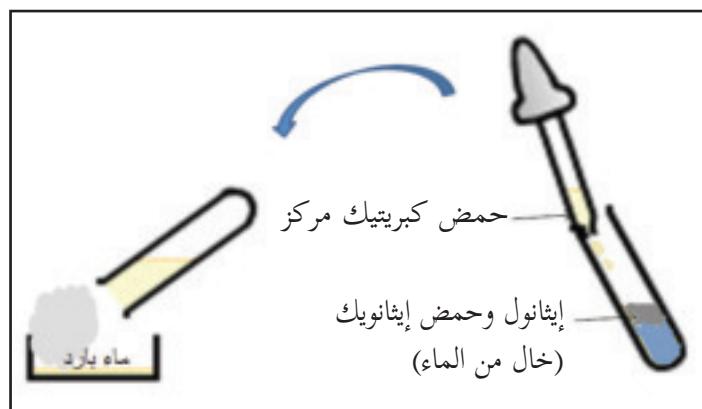
تحضير إيثانوات الإيثيل

نشاط (5-5) :

المواد والأدوات: إيثanol، وحمض الإيثانيك النقى، وماء بارد، وكأس كبيرة، وأنابيب اختبار، وحمض كبريتيك مركز، ولهب بنسن، وقطارات متوسطة.



خطوات العمل:



1. ضع 1 مل من الإيثanol، و1 مل من حمض الإيثانيك النقى (حال من الماء) في أنبوب اختبار.
2. أضف بحرص 2-3 نقط من حمض الكبريتيك المركز.
3. سخن أنبوبة الاختبار قليلاً على لهب بنسن صغير.
4. صب محتويات الأنبوبة في كأس كبيرة، مملوءة بالماء البارد، وشمّ البخار الناتج بحذر عن بعد.



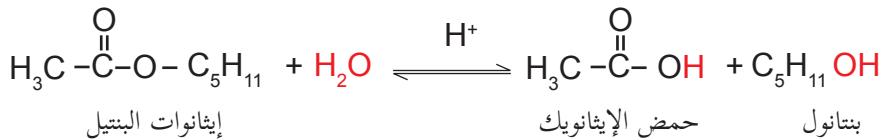
ما الهدف من اضافة حمض الكبريتيك المركز؟

3. الخواص الفيزيائية للإسترات:

الإسترات الأولى (إسترات الميثيل والإيثيل) سوائل رائحتها نفاذة، بينما كثير من الإسترات الأخرى لها رائحة زكية تشبه رائحة الفواكه، وكثير منها يوجد في الفاكهة والزهور، وبعضها يستخدم في صناعة العطور. وترتفع درجات غليانها بارتفاع كتلتها المولية، إلا أنها أقل من درجات غليان الحموض المناظرة، فسر ذلك.

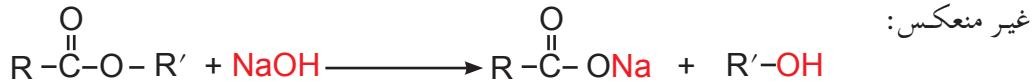
4. الخواص الكيميائية للإسترات:

1. تتفاعل الإسترات مع الماء لتعطي الحموض الكربوكسيلية والكحولات المناظرة، ويتم التفاعل في الوسط المتعادل ببطء، ولكن سرعته تزداد كثيراً بوجود الحموض المعدنية كحفازات، ويجري بالآلية معاكسة تماماً لآلية الأسترة:



2. تفاعل الإسترات مع هيدروكسيدات الفلزات القلوية:

يتفاعل الإستر مع هيدروكسيد الصوديوم أو البوتاسيوم منتجًا الكحول وملح الحمض الكربوكسيلي وهو تفاعل



إيثانوات الإيثيل

إيثانوات الصوديوم

ایشانوں

ويُعد هذا التفاعل أساس صناعة الصابون عندما تكون R سلسلة كربونية طويلة، ولذلك عُرف هذا التفاعل بتفاعل التصّير:

التصبّن: تفاعل هيدروكسيد الصوديوم أو هيدروكسيد البوتاسيوم مع الإسترات الثلاثية (الزيوت أو الدهون)، منتجًاً أملاح الكربوكسيلات الفلزية المنشطة والمتأينة في الماء، حيث يُنتج هيدروكسيد الصوديوم صابوناً صلباً، أما هيدروكسيد البوتاسيوم فيُنتج صابوناً رخواً (على شكل معجون).

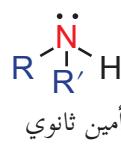
الأمينات (Amines)

7-5

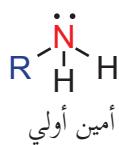
ت تكون الأمينات من مجموعة ألكيل أو أكثر، تحل محل ذرة هيدروجين أو أكثر في الأمونيا، وتصنف الأمينات إلى أمينات أولية، أو ثانوية، أو ثالثية، وذلك حسب عدد مجموعات (-R) المرتبطة مباشرة بذرة النيتروجين، وقد تكون مجموعات (-R) متماثلة أو غير متماثلة.



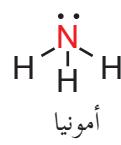
أمين ثالثي



امین ثانوی



أمين أولی



أمونيا

تمرين (11): اكتب مثلاً على كل صنف من أصناف الأمينات.

1. تسمية الأمينات الأولية:

أ. حسب النظام الدولي (IUPAC).

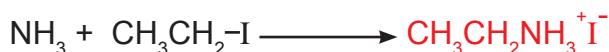
تسمى الأمينات الأولية باعتبارها مشتقات من الهيدروكربونات ذات السلسلة الأطول، ويشار للمجموعة NH_2 باسم أمينو.

ب. التسمية الشائعة: ويتم ذلك بإضافة الكلمة أمين إلى أسماء الجذور الألكيلية المتصلة بالمجموعة الوظيفية، وقد وُضِعَت الأسماء الشائعة ضمن أقواس.

مثال (12). سِمِّ المركبات الآتية:



2. تحضير الأمينات الأولية: يمكن تحضير الأمينات الأولية من تفاعل الأمونيا مع هاليدات الألکيل في مراحلتين، يتم في المرحلة الأولى تكوين ملح الكيل الأمونيوم، بينما يحرر الأمين في المرحلة الثانية، بإضافة قاعدة قوية مثل هيدروكسيد الصوديوم:

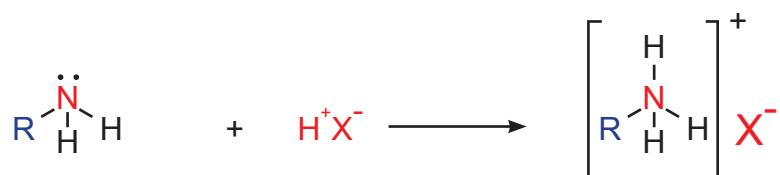


3. الخواص الفيزيائية للأمينات:

- الأمينات الدنيا غازات أو سوائل تمتاز بروائح نشادية نفاذة وأبخرة مميزة.
- تذوب الأمينات في معظم المذيبات العضوية، وتقل قابليتها للذوبان في الماء بازدياد الكتلة المولية للأمين.
- الأمينات الأولية والثانوية مركبات قطبية، تكون روابط هdroجينية بين جزيئاتها بسبب وجود ذرة هيدروجين مرتبطة بذرة النيتروجين، مما يجعل درجة غليانها أعلى من درجة غليان الألكانات المناظرة.
- روائح الأمينات العليا كريهة جداً.

4. الخواص الكيميائية للأمينات الأولية:

الخواص القاعدية وتشكيل الأملاح: تمتاز الأمينات الأولية بخاصية قاعدية ضعيفة كما هو الحال في الأمونيا، لوجود زوج إلكترونات حر على ذرة النيتروجين، ولذلك فهي قادرة على تشكيل الأملاح مع هاليدات الهيدروجين HX .



مثال (13) اكتب معادلة تفاعل ميثيل أمين مع حمض HBr .



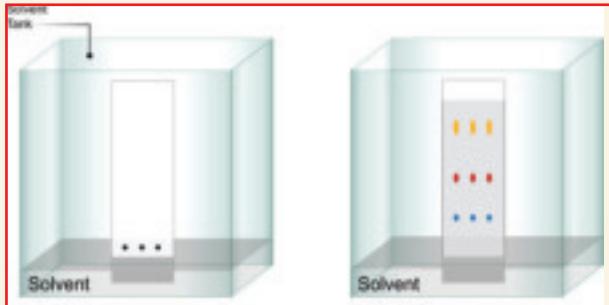
تمرين (12): أكمل الفراغ في معادلة التفاعل الآتية:



الكيمياء والتكنولوجيا والمجتمع

الクロماتوغرافيا (للاطلاع)

توجد عدة طرق لفصل المركبات العضوية والتعرف عليها من أهمها الكروماتوغرافيا: وهي طريقة لفصل



النظام الثنائي إلى عدة أنواع:

1. كروماتوغرافيا سائل-صلب: تستخدم مكوناً صلباً كالسيليكا أو الألومينا والكلس، ومكوناً سائلاً متحرك كأي مذيب كالماء أو المذيبات العضوية المعروفة.
2. كروماتوغرافيا صلب-غاز: تستخدم سائلاً مدمضاً على صلب كمكون ثابت، وأحد الغازات كمكون متحرك مثل غاز الهيليوم والأرجون.
3. كروماتوغرافيا سائل-سائل: حيث يكون النظام الثابت سائلاً والمتحرك سائلاً وهذا النوع يعرف بكروماتوغرافيا الطرد المركزي.

كروماتوغرافيا الطبقة الرقيقة (TLC): تكون من شريحة زجاجية أو معدنية أو بلاستيكية رقيقة نسبياً ومجطاة بطبقة رقيقة من مادة صلبة متماسكة بعضها مع بعض ومع الشريحة. يتم وضع نقطة صغيرة من الخليط في أسفل شريحة، ومن ثم يتم وضع الشريحة في وعاء فيه منسوب من السائل، وعن طريق خاصية الانتشار تبدأ المادة الصلبة بامتصاص السائل الذي ينتشر بالاتجاه العلوي ساحجاً معه المكونة للخليل، فتنفصل المواد المكونة للخليل بعضها عن بعض حسب قوى الترابط بين السائل وهذه المواد، وبين الصلب الثابت والمركبات العضوية التي تعتمد على الصفات القطبية لمكونات النظام.

الクロماتوغرافيا العمودية: يتم فيها وضع المادة الصلبة التي تستخدم لفصل المواد بعضها عن بعض مثل السيليكا جل أو الألومينا مشربة في سائل أو خليط من السوائل، ثم يوضع الخليط المراد فصله داخل الأنابيب على السطح العلوي الصلب، ثم يتم تمرير سوائل معينة، وتبدأ السوائل في دفع المواد للأسفل، ويتم تجميع المواد الخارجة من الأنابيب في أوعية مرقمة حسب خروجها، ومن ثم يتم تحليلها.

أسئلة الوحدة

السؤال الأول ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة في كل مما يأتي:

1 ماذا ينتج عن أكسدة الميثانال في ظروف مناسبة؟

- أ. ميثانول
ب. إيثان
ج. أسيتون
د. حمض المياثانويك

2 ماذا ينتج عن أكسدة الكحولات الأولية باستخدام بيرمنغهات البوتاسيوم، وإضافة حمض معدني قوي؟

- أ. الألدهيد
ب. حمض كربوكسيلي
ج. كيتون
د. هاليد الكليل

3 ما المركب الذي يختزل كاشف تولن؟

- أ. البروبانون
ب. الإيثانال
ج. الإيثانول
د. حمض الإيثانويك

4 ماذا ينتج عن اختزال الكيتونات؟

- أ. الكحولات الأولية
ب. الكحولات الثانوية
ج. الكحولات الثالثية
د. الألدهيدات

5 ما المجموعة التي تميز الألدهيد والكيتون؟

- أ. $\text{C}=\text{O}$
ب. -NH_2
ج. -COOH
د. -OH

6 ما المجموعة الوظيفية في الحموض الكربوكسيلي؟

- أ. -OH
ب. $\text{H}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{C}}{\text{=}}}-$
ج. $\text{-C}(=\text{O})-$
د. -COOH

7 ما المادة التي تختزل الحموض الكربوكسيلي إلى الكحولات الأولية مباشرة؟

- أ. O_2
ب. LiAlH_4
ج. MnO_4^-
د. P_2O_5

8 ما نوع المركب العضوي CH_3COOH ؟

- أ. حمض كربوكسيلي
ب. كحول
ج. إستر
د. كيتون

9 ماذا يسمى تفاعل الإستر مع هيدروكسيد الصوديوم؟

- أ. أكسدة
ب. تصفّن
ج. حذف
د. أسترة

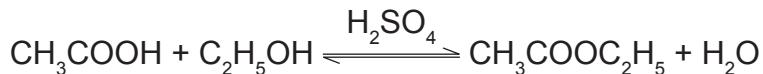
السؤال الثاني

عُبَر بالمعادلات الكيميائية عن كل من التفاعلات الآتية، وسُمِّي المركبات العضوية الناتجة:

1. أكسدة 1- بروبانول باستخدام دايكرومات البوتاسيوم في وسط حمضي.
2. اختزال حمض الإيثانويك باستخدام هيدريد ليفيوم المنيوم (LiAlH_4).
3. تفاعل كلورو إيثان مع NaOH في وسط كحولي.

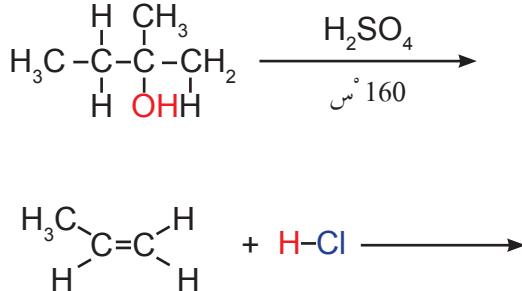
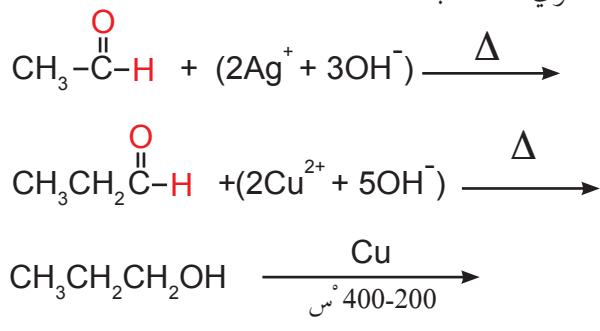
السؤال الثالث

يتفاعل حمض الإيثانويك مع الإيثانول في حمام مائي بوجود حمض الكبريتيك المركز وفق المعادلة الآتية:



السؤال الرابع

أكمل المعادلات الآتية بكتابة الناتج العضوي المناسب:



السؤال الخامس

صنف الأمينات الآتية إلى: أولية - ثانوية - ثالثية.



اكتب نواتج تفاعل يودو إيثان مع الأمونيا وهيدروكسيد الصوديوم.

السؤال السادس

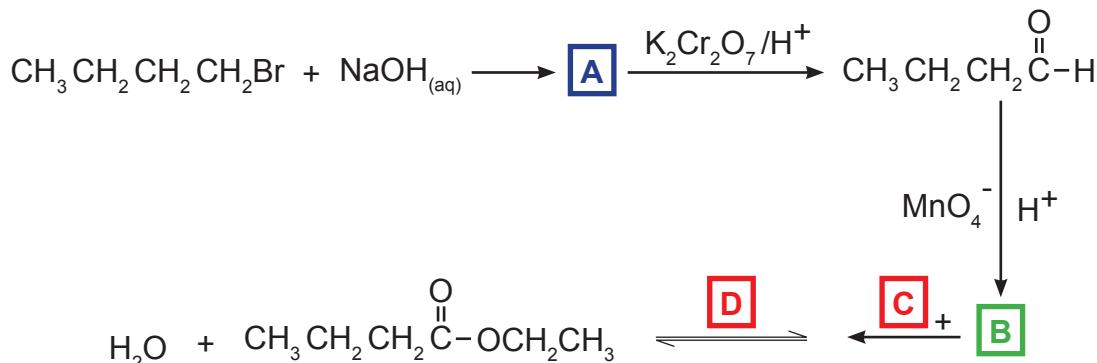
مركب عضوي A له الصيغة العامة $C_5H_{10}O_2$ ينتج من تفاعل حمض كربوكسيلي $RCOOH$ مع كحول أولي مشبع $R'CH_2OH$. وإذا تفاعل هيدروكسيد البوتاسيوم مع المركب العضوي A أعطى ملحاً كتالته $\frac{49}{51}$ من كتلة المركب A، علماً أن الكتلة المولية للبوتاسيوم تساوي 39 غم/مول.

١. اكتب المعادلات الكيميائية المعبرة عن جميع التفاعلات الحاصلة.

2. استنتج صيغة كلٌّ من الحمض والكحول.

ادرس المخطط الآتي، واتكتب صيغ وأسماء المواد المتفاعلة والمواد العضوية الناتجة (والعوامل المساعدة) المشار إليها بالحروف (A,B,C,D) الواردة في المخطط.

السؤال الثامن



أقِيمْ ذاتي :

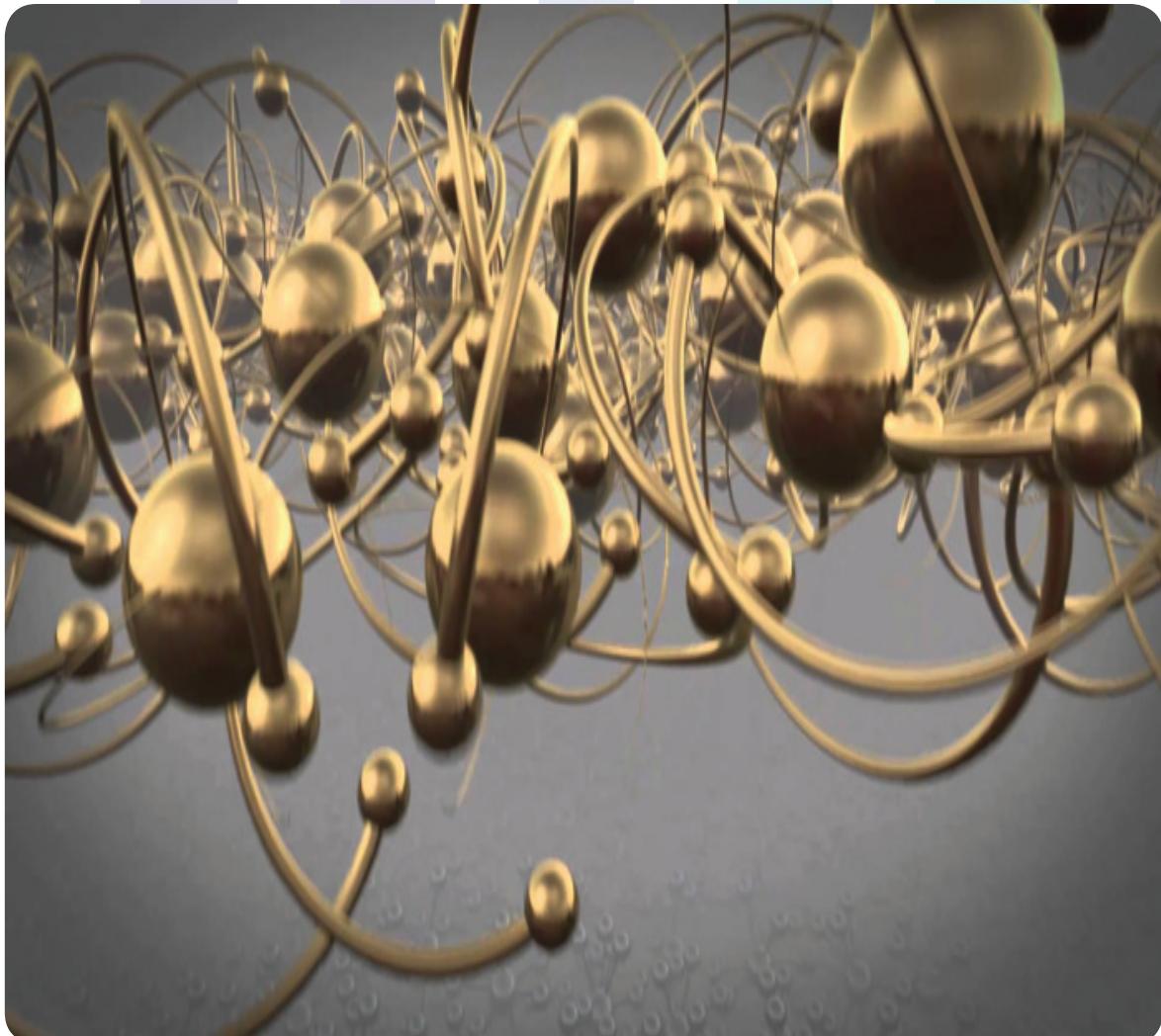
السؤال التاسع

أقرأ كل عبارة من العبارات الآتية، ثم أضع إشارة (✓) في المكان المناسب:

الرقم	العبارة	دائمًا	أحياناً	نادرًاً
1.	أستطيع الربط بين الخواص الكيميائية للمركب العضوي ومجموعته الوظيفية.			
2.	أستطيع أن أتنبأ بنتائج تفاعلات المركبات العضوية.			
3.	أستطيع أن أميز بين المركبات العضوية المختلفة.			

الخلايا الكهروكيميائية

Electrochemical Cells



يحافظ الطلاء الكهربائي على الأجهزة والأدوات المنزلية والصناعية. ماذا ينتج عن تفاعلات التأكسد والاختزال التلقائية؟ وما العمل عندما تكون هذه التفاعلات غير تلقائية؟

يتوقع من الطلبة بعد دراسة هذه الوحدة، والتفاعل مع أنشطتها أن يكونوا قادرين على توظيف دراسة تفاعلات التأكسد والاختزال في تصميم الخلايا الجلفانية وخلايا التحليل الكهربائي، من خلال تحقيق الآتي:

- تصميم خلايا جلفانية بطريقة آمنة، وحساب جدها.
- توظيف السلسلة الكهروكيميائية للتتبؤ بنتائج التحليل الكهربائي لمحاليل المواد الأيونية ومصايرها.
- تصميم خلية تحليل كهربائي لإجراء عملية طلاء كهربائي.
- حساب كمية المواد الناتجة في خلايا التحليل الكهربائي.

الخلايا الجلوفانية (Galvanic cells)

يقوم مبدأ عمل الخلايا الجلوفانية على تفاعلات التأكسد والاختزال، وتنقل الإلكترونات في هذه التفاعلات من العوامل المختلفة إلى العوامل المؤكسدة، ويتم هذا الانتقال إذا احتللت المواد المتفاعلة في وعاء واحد. نفذ النشاط (1-6)، لتتعرف أحد هذه التفاعلات.

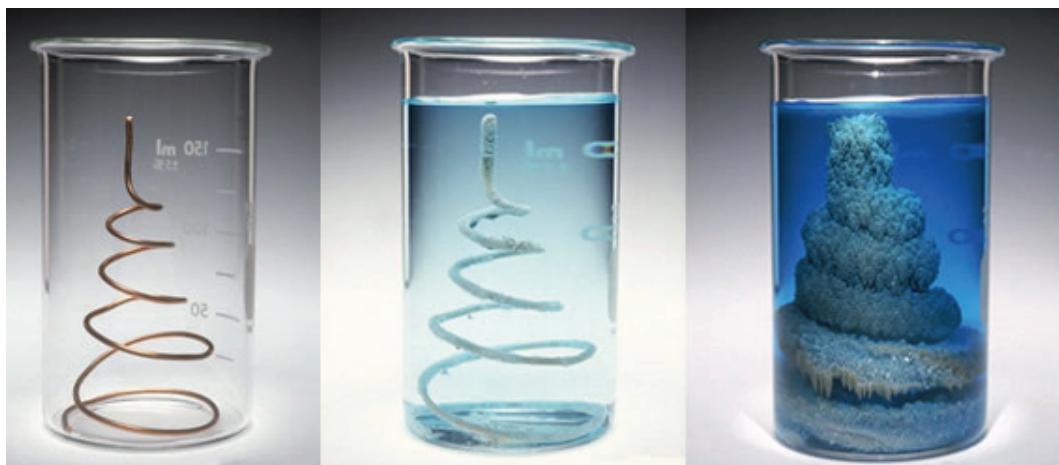
تفاعل النحاس مع محلول نترات الفضة

نشاط (1-6) :

يمثل الشكل (1-6) تفاعل التأكسد والاختزال الذي يتم بين سلك من النحاس ومحلول نترات الفضة، ويمكن التعبير عنه بالمعادلة الكيميائية الآتية:



تأمل الشكل جيداً، وأجب عن الأسئلة التي تليه:



الشكل (1-6): التفاعل التلقائي بين سلك من النحاس ومحلول نترات الفضة

1. اكتب المعادلة الأيونية الصافية التي تمثل التفاعل السابق.
2. ما العامل المختلف؟ وما العامل المؤكسد في التفاعل؟
3. اكتب معادلة نصف تفاعل التأكسد.
4. اكتب معادلة نصف تفاعل الاختزال.
5. اكتب المعادلة الكلية التي تمثل هذا التفاعل.

تبين لك أن كل ذرة من ذرات النحاس فقدت إلكترونيين (تأكسدت)، وتسمى عملاً مختزالاً، وأن أيونات الفضةاكتسب كل منها إلكتروناً واحداً، وترسبت على شكل ذرات من الفضة (احتزلت)، وتسمى نترات الفضة عملاً مؤكسداً.

تركيب الخلايا الجلفانية وعملها

يمكن الحصول على تيار كهربائي من تفاعلات التأكسد والاختزال المشابهة للتفاعل في النشاط (6-1) إذا توفر نظام ملائم، وأمكن فصل نصف تفاعل التأكسد عن نصف تفاعل الاختزال باستخدام وعاءين منفصلين، دون السماح باختلاط المواد المتفاعلة، كما هو مبين في النشاط (6-2).

تركيب الخلايا الجلفانية وعملها:

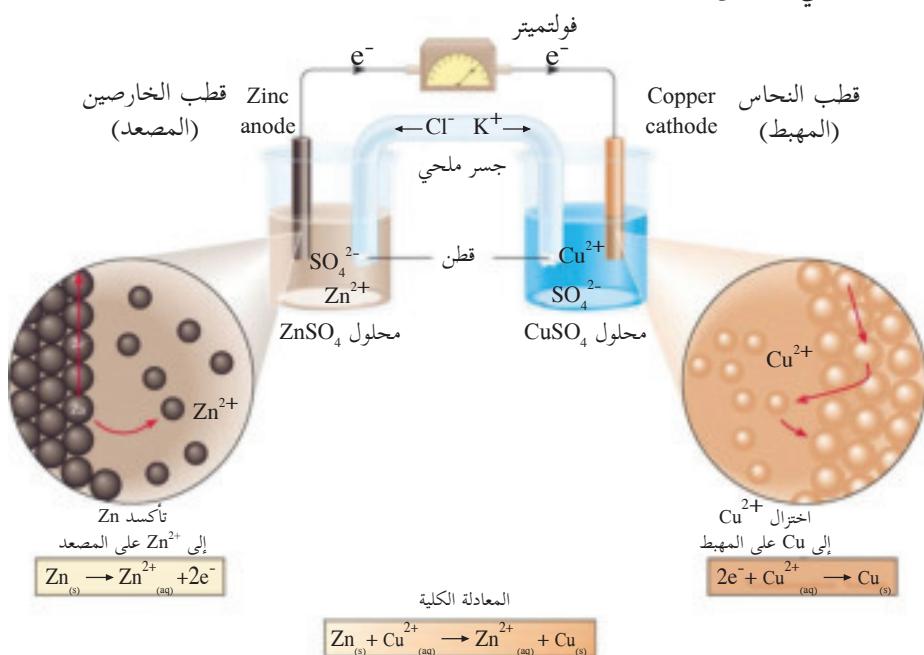
نشاط (6-2):

المواد والأدوات الالزمة: كأس زجاجي سعة 200 مل عدد (2)، ومحلول كبريتات النحاس (II) تركيزه (1 مول / لتر)، ومحلول كبريتات الخارصين تركيزه (1 مول / لتر)، وصفحة من النحاس، وصفحة من الخارصين، وأنبوب على شكل U، ومحلول مشبع من كلوريد البوتاسيوم، وفولتميتر، وأسلاك توصيل، وقطن، ومخبار مدرج.



خطوات العمل:

1. ضع 100 مل من محلول كبريتات النحاس (II) في الكأس الأولى، واغمس بها صفيحة النحاس.
2. ضع 100 مل من محلول كبريتات الخارصين في الكأس الثانية، واغمس بها صفيحة الخارصين.
3. املأ الأنوب على شكل U بمحلول كلوريد البوتاسيوم وسد طرفيه بقطن (تأكد من عدم وجود فقاعات هوائية في الأنوب).
4. ركّب الجهاز كما في الشكل (6-2).



شكل (6-2): تركيب الخلية الجلفانية

5. أغلق الدارة الكهربائية، ثم راقب مؤشر الفولتميتر وسجل قراءته.

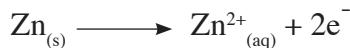
والآن أجب عن الأسئلة الآتية:

1. ما دلالة انحراف مؤشر الفولتميتر؟

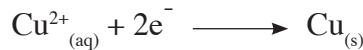
2. ما مقدار القوة الدافعة الكهربائية (الفولتية) التي قاسها الفولتميتر؟

3. قم بإزالة الجسر الملحي، ماذا تلاحظ؟ فسر إجابتك.

يدلّ انحراف مؤشر الفولتميتر على سريان التيار الكهربائي من صفيحة الخارصين نحو صفيحة النحاس عبر أسلاك التوصيل، ويستدل من ذلك أن تفاعل التأكسد الآتي قد حدث على صفيحة الخارصين:



إذ فقدت ذرات الخارصين إلكترونات، وتحولت إلى أيونات موجبة تنتشر في المحلول، وتسمى صفيحة الخارصين (الممعد)، وتكون شحنته سالبة (القطب السالب)، أما على صفيحة النحاس فيتوقع أن يحدث تفاعل الاختزال الآتي:



وتسمى صفيحة النحاس (المهبط)، وتكون شحنته موجبة (القطب الموجب).

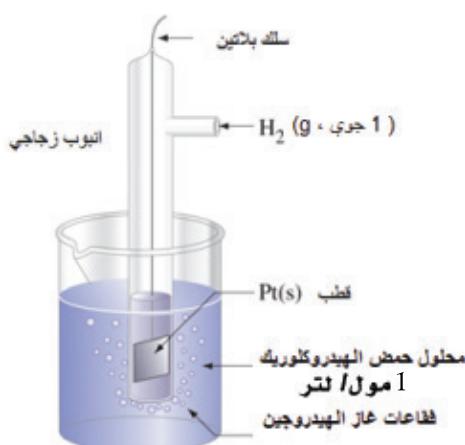
ويقوم الجسر الملحي (القنطرة الملحية) بإغلاق الدارة الكهربائية عبر السماح بانتقال

أيونات الكلور السالبة نحو نصف خلية الخارصين لمعادلة أيونات الخارصين الزائدة هناك، أما أيونات البوتاسيوم فتنقل من الجسر الملحي نحو نصف خلية النحاس لمعادلة أيونات الكبريتات الزائدة، وبذلك يتم الحفاظ على اتزان الخلية الكهربائي، وتكون المعادلة الكلية لتفاعل الذي تم في تلك الخلية الكهروكيميائية:



يسمي هذا النوع من الخلايا الكهروكيميائية الذي تتحول فيه الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية الخلايا الجلفانية أو الخلايا الفولتية. وتمثل قراءة الفولتميتر التي سجلتها جهد الخلية الجلفانية، وهي القوة الدافعة الكهربائية (الفولتية) التي تسبب انتقال الإلكترونات في سلك التوصيل.

سؤال: ماذا يحدث لكل من: كتلة صفيحة الخارصين، وكتلة صفيحة النحاس؟ فسر إجابتك.



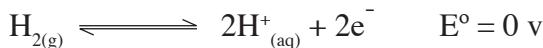
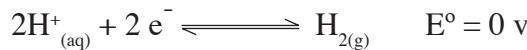
جهد القطب القياسي (E°)

3-6

يقيس جهاز الفولتميتر جهد الخلية الكلي بين قطبي الخلية الجلفانية في النشاط (2-6)، ولا توجد أداة تستطيع قياس جهد الأقطاب مفردة، لذلك لجأ العلماء لاستخدام قطب الهيدروجين القياسي. تمعّن الشكل (3-6) ولاحظ أجزاء القطب القياسي.

شكل (3-6): قطب الهيدروجين القياسي

وأتفق العلماء أن جهد الاختزال وجهد التأكسد القياسي لهذا القطب (ويرمز لهذا الجهد بالرمز E°) يساوي صفرًا في الظروف المعيارية (تركيز 1 مول/لتر للأيونات، و 1 ضغط جوي للغازات ودرجة حرارة 25°C) ، انظر للمعادلتين الآتتين:

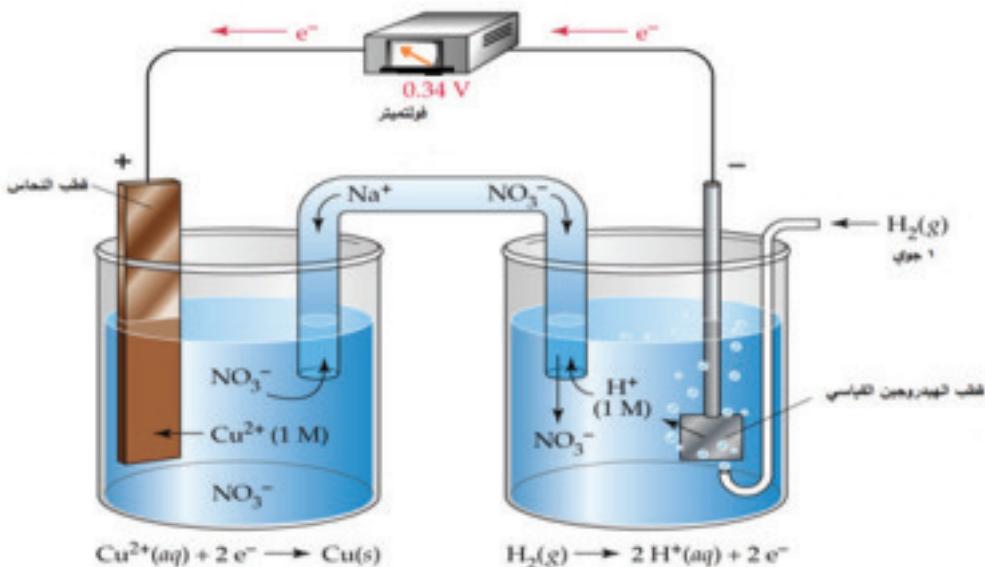


ماذا يحدث عند اقتران قطب الهيدروجين القياسي بنصف خلية نحاس في الظروف القياسية؟
للتعرف على ذلك قم بتنفيذ نشاط (3-6).

قياس جهد اختزال النحاس

نشاط (3-6):

انظر الشكل (6-4) وأجب عن الأسئلة التي تليه:



شكل (6-4): خلية جلفارنية (هيدروجين-نحاس)

1. أي القطبين يمثل المهدّب؟ وأيهما يمثل المصعد؟
 2. ما اتجاه انتقال الإلكترونات في السلك الخارجي؟ وما اتجاه انتقال الأيونات عبر الجسر الملحي؟
- تبين لك من الشكل (6-4) أن الإلكترونات انتقلت من قطب الهيدروجين نحو قطب النحاس، وهذا يعني أن جزيئات الهيدروجين قد تأكسدت (فقدت إلكترونات) على القطب القياسي (المصعد)، بينما اختزلت أيونات النحاس (اكتسبت إلكترونات) على صفيحة النحاس (المهدّب).

ويُستدل من ذلك أن ميل أيونات النحاس Cu^{2+} للاختزال كان أكبر من ميل أيونات الهيدروجين H^+ للاختزال، وبذلك سيكون جهد اختزال أيونات النحاس أعلى من جهد اختزال أيونات الهيدروجين.

ولأن الفولتية المقاسة تساوي 0.34 فولت في الظروف القياسية، وتمثل الفرق بين جهد اختزال أيونات الهيدروجين وجهد اختزال أيونات النحاس، فإن جهد اختزال أيونات النحاس سيكون $+0.34$ فولت.

تمرين (1)

أ. قارن بين ميل كل من النحاس والهيدروجين للتأكسد ، واستنتج من ذلك جهد تأكسد النحاس.

ب. ما العلاقة بين جهد اختزال أيونات النحاس وجهد تأكسد النحاس؟

تمكن العلماء في تجارب مشابهة من حساب جهد الاختزال للعديد من أنصاف التفاعلات في الظروف القياسية، وتم ترتيب أنصاف التفاعلات وجهود اختزالها القياسية في جدول يُعرف باسم (السلسلة الكهروكيميائية)، ويظهر جزء منها في جدول (1-6).

نصف تفاعل الاختزال	(فولت) E°
$F_2 + 2e^- \rightarrow 2F^-$	+2.87
$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow 2H_2O$	+1.78
$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$	+1.51
$PbO_2 + 4H^+ + 2e^- \rightarrow Pb^{2+} + 2H_2O$	+1.46
$Cl_2 + 2e^- \rightarrow 2Cl^-$	+1.36
$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \rightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$	+1.33
$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$	+1.23
$Br_2 + 2e^- \rightarrow 2Br^-$	+1.06
$Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$	+0.80
$I_2 + 2e^- \rightarrow 2I^-$	+0.54
$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$	+0.40
$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$	+0.34
$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$	0.00
$Pb^{2+} + 2e^- \rightarrow Pb$	-0.13
$Sn^{2+} + 2e^- \rightarrow Sn$	-0.14
$Ni^{2+} + 2e^- \rightarrow Ni$	-0.25
$PbSO_4 + 2e^- \rightarrow Pb + SO_4^{2-}$	-0.36
$Fe^{2+} + 2e^- \rightarrow Fe$	-0.44
$Cr^{3+} + 3e^- \rightarrow Cr$	-0.74
$Zn^{2+} + 2e^- \rightarrow Zn$	-0.76
$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$	-0.83
$Mn^{2+} + 2e^- \rightarrow Mn$	-1.03
$Al^{3+} + 3e^- \rightarrow Al$	-1.67
$Mg^{2+} + 2e^- \rightarrow Mg$	-2.38
$Na^+ + e^- \rightarrow Na$	-2.71
$Ca^{2+} + 2e^- \rightarrow Ca$	-2.84
$Ba^{2+} + 2e^- \rightarrow Ba$	-2.90
$K^+ + e^- \rightarrow K$	-2.92
$Li^+ + e^- \rightarrow Li$	-3.05

جدول (1-6): جهود الاختزال القياسية عند درجة حرارة 25 ° س

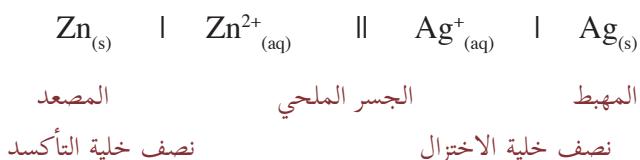
تمرين (2)

1. ارسم خلية جلفانية يقترن فيها قطب الهيدروجين القياسي مع نصف خلية خارصين:

- حدد عليها : المصعد ، والمهبط ، واتجاه سريان التيار الكهربائي في السلك الخارجي .
 - استخدم الجدول (6-1) للتبؤ بقراءة الفولتميتر .
 - اكتب معادلة نصف تفاعل التأكسد ، ومعادلة نصف تفاعل الاختزال .
 - اكتب المعادلة الكلية لتفاعل في الخلية الجلفانية .

2. ارسم خلية جلفانية يكون قطباها من الخارصين والفضة، وحدد على الرسم : المصعد ، والمهبط ، واتجاه سريان التيار الكهربائي فيها.

يستخدم مخطط الخلية الاصطلاحى الآتى للتعبير عن الخلية الجلفانية (خارصين- فضة) التى قمت برسمها :



تمرين (3)

حساب جهد الخلايا الجلفانية E°

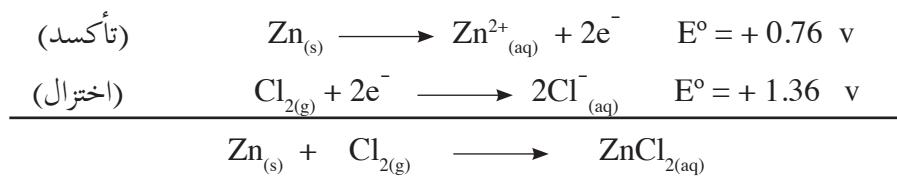
4-6

يمكن حساب جهد الخلية الجلفانية باستخدام جهود الاختزال القياسية، كما هو موضح في الأمثلة الآتية:

مثال (1): يجري حالياً تطوير خلية جلفانية لاستخدامها في السيارات الكهربائية بطارية (خارصين - كلور)، والتفاعل الكلي في الخلية : $Zn_{(s)} + Cl_{2(o)} \longrightarrow ZnCl_{2(aq)}$ ما جهد الخلية القياسي ° E° ؟

الحل:

عرفت من المعادلة الكلية للتفاعل أن الخارصين تأكسد والكلور احتزل ، ومن الجدول (6-1) نأخذ جهد الاختزال للكلور، ونستنتج جهد تأكسد الخارصين.



$$E^\circ_{\text{للحلية}} = \text{جهد اختزال الكلور} + \text{جهد تأكسد الخارصين}$$

$$= 2.12 - 0.76 = 0.76 + 1.36 =$$

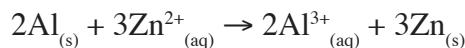
ويمكن إيجاد جهد الخلية بطرح جهد اختزال الخارصين من جهد اختزال الكلور كالتالي:

$$E^\circ_{\text{للحلية}} = \text{جهد اختزال الكلور} - \text{جهد اختزال الخارصين} = 2.12 - 0.76 = 1.36 \text{ فولت}$$

وأيضاً يمكن إيجاد جهد الخلية بطرح جهد تأكسد الكلور من جهد تأكسد الخارصين.

مثال (2): تمثل المعادلة الآتية التفاعل التلقائي الذي يحدث في إحدى الخلايا الجلفانية :

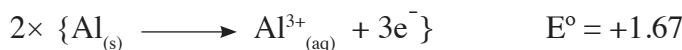
يتوقف جهد القطب على نوع العنصر فقط (صفة نوعية)، ولا يعتمد على كمية المادة (عدد المولات).



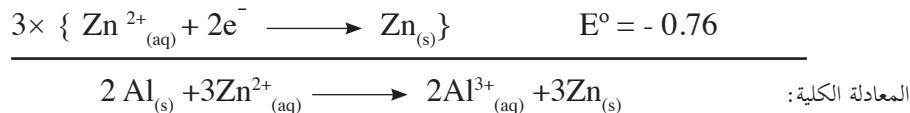
احسب جهد هذه الخلية بالإعتماد على البيانات الواردة في الجدول (1-6).

الحل:

يتأكسد الألمنيوم في الخلية الجلفانية حسب المعادلة الآتية:



أما أيونات الخارصين فإنها تخترل حسب المعادلة الآتية:



$$E^\circ_{\text{للحلية}} = \text{جهد تأكسد الألمنيوم} + \text{جهد اختزال الخارصين} \\ = 0.91 = 0.76 - 1.67 =$$

تمرين (4):

احسب جهد الخلية الجلفانية في الحالتين الآتتين:



لاحظت أن جهد الخلية الجلفانية التي درستها موجب دائماً، ويدل ذلك على أن تفاعلات التأكسد والاختزال التي تتم في الخلية الجلفانية تحدث دائماً بشكل تلقائي.

تمرين (5): اعتماداً على جدول (1-6) أي تفاعلات التأكسد والاختزال الآتية تتم بشكل تلقائي؟

1. تفاعل الخارصين مع كبريتات المغنيسيوم.

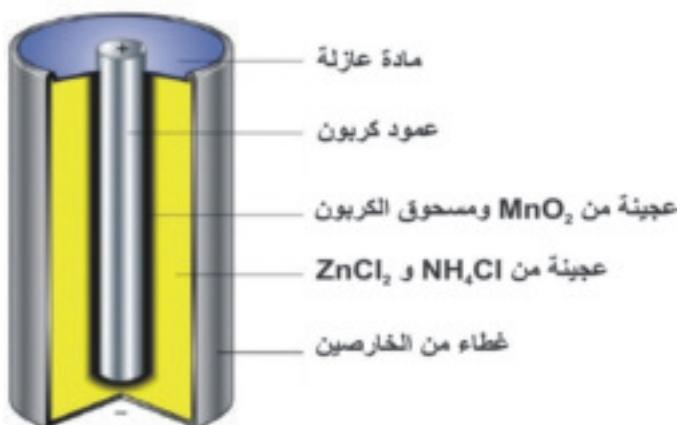
2. تفاعل القصدير مع كبريتات النحاس II.



ل يمكن حفظ محلول كبريتات المغنيسيوم في وعاء من الخارجيين؟

5-6

تسمى الأداة التي تحول فيها الطاقة الكيميائية المخزنة إلى طاقة كهربائية بالبطارية، وتتكون بعض البطاريات من خلية جلفانية واحدة مثل العمود الجاف، وبعضها من عدد من الخلايا الجلفانية متصلة على التوالي مثل بطارية السيارة.



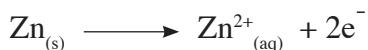
شكل (5-6): العمود الجاف

١. البطريات (الخلايا) الجافة:

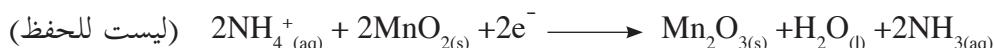
يكون التفاعل الكيميائي فيها غير مععكس فيتوقف سريان التيار الكهربائي عند تحول جميع المواد المتفاعلة إلى مواد ناتجة، ومن أشهر الأمثلة عليها العمود الجاف.

تمّعن الشكل (5-6) الذي يمثل العمود الجاف، ثم لاحظ أجزاءه.

وفي هذه البطارية يحدث تفاعل التأكسد على قطب الخارجيين (المصعد):



أما تفاعل الاختزال فيحدث على قطب الكربون (المهبط) كالتالي:

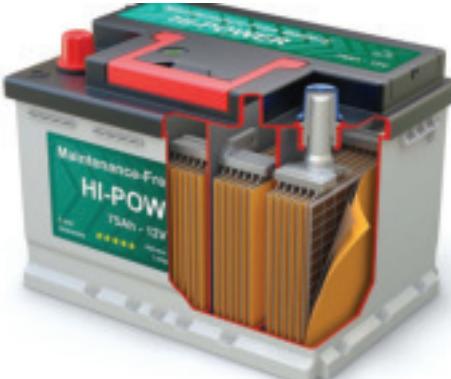


يعطي العمود الجاف قوة دافعة كهربائية مقدارها 1.5 فولت، لكنها تتناقص تدريجياً عند استخدامها، وخاصة في الجو البارد، ويستخدم في مصابيح اليد، وألعاب الأطفال، وغيرها.

استخدم مصادر التعلم المختلفة بما فيها الشبكة العنكبوتية للبحث في تركيب الخلية القاعدية (Alkaline cell) وعملها، التي تم تطويرها للتغلب على عيوب العمود الجاف.



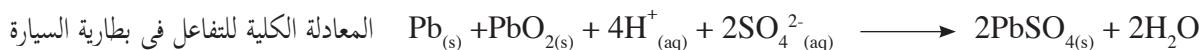
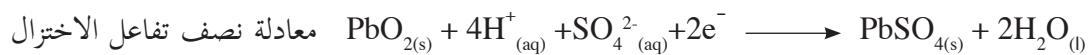
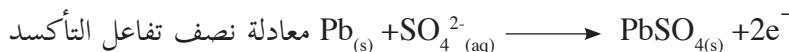
2. خلايا التخزين:



شكل (6-6): بطارية السيارة «المِرْكَم الرصاصي»

يمكن في هذا النوع من الخلايا، عكس التفاعلات الكيميائية التقليدية، بتمرير التيار الكهربائي خلال الخلايا (شحن الخلية)، وبذلك يمكن استخدامها مئات المرات عبر عمليتي (الشحن والتفریغ)، ومن أشهر خلايا التخزين بطارية السيارة (المِرْكَم الرصاصي) التي يمثلها الشكل (6-6).

تصنع الأقطاب في هذه البطارية من سبيكة من الرصاص والأنثيمون، ويعطى المصعد فيها بالرصاص، بينما يعطى المهدب بأكسيد الرصاص البني، وتغمس الأقطاب الموصولة على التوالي في محلول مخفف من حمض الكبريتيك كثافته 1.29 غم / سم^3 وتركيزه 30%. وتحدث التفاعلات الآتية عند تفريغ البطارية:



ووجه هذه الخلية E يساوي 2.0 فولت، فإذا تم وصل 6 خلايا على التوالي كما هي العادة، فإن هذه الخلية تعطي قوة دافعة كهربائية مقدارها 12 فولتاً تقريباً.

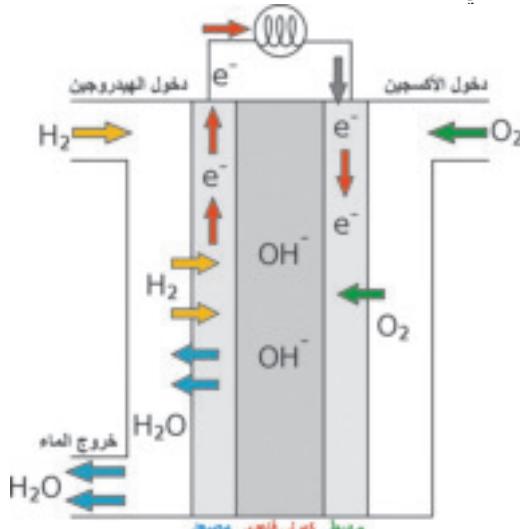
وعندما تكتسي الأقطاب جزئياً بكبريتات الرصاص، ويصبح الحمض مخففاً من الماء الناتج من التفاعل تصبح الخلية غير مشحونة (discharged)، ولإعادة شحنها توصل الخلية بمصدر فرق جهد خارجي أكبر من 12 فولتاً يُجبر التفاعل أن يتم عكس تفاعل عملية التفريغ.

قرضية بحث
ملفت الإنجاز

استخدم مصادر التعلم المختلفة بما فيها الشبكة العنكبوتية للبحث في تركيب وعمل بطارية التخزين الصغيرة (فضة-خارصين).

3. خلايا الوقود:

الخلية الوقود أداة يتم في أشهر أنواعها تفاعل بين الأكسجين والهيدروجين في وسط قاعدي (25% KOH) لإنتاج الكهرباء والماء، كما يظهر في الشكل (7-6).



شكل(7-6): خلية الوقود

استخدمت هذه الخلايا في المركبات الفضائية لتوليد التيار الكهربائي، ويستخدم رواد الفضاء الماء الناتج للشرب، وتمتاز بعدم تلوينها للبيئة، وارتفاع مردود الطاقة الناتج نسبياً.

وتمثل المعادلتان الآتيتان التفاعلات الكيميائية التي تتم في هذه الخلايا:



تمرين (6): اكتب المعادلة الكلية لتفاعل الذي يتم في خلية الوقود.

استخدم مصادر التعلم بما فيها الشبكة العنكبوتية للبحث عن أنواع أخرى من خلايا الوقود.



«تأثير البطاريات على البيئة وإعادة تدويرها»

مشروع
(ملف الإنجاز):

خلايا التحليل الكهربائي

تعلمت تركيب الخلية الجلفانية وعملها في النشاط (6-2)، وكانت المعادلة الكلية لها:



ماذا يحدث لو تم ربط الخلية السابقة بمصدر للقوة الدافعة الكهربائية (بطارية) أكبر من 1.1 فولت بقليل، ثم تم توصيل قطب النحاس بالقطب الموجب للبطارية وقطب الخارصين بالقطب السالب للبطارية؟ لتعرف ذلك نفذ النشاط (6-4).

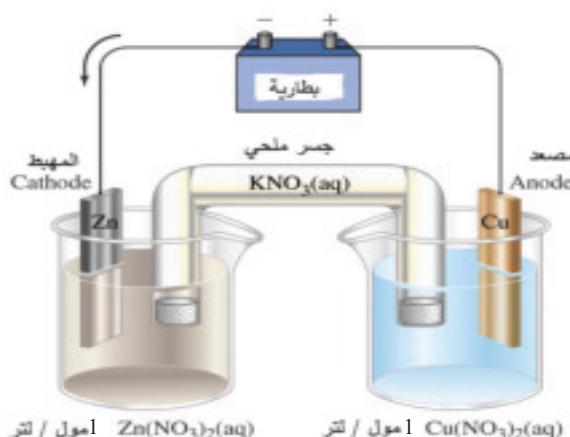
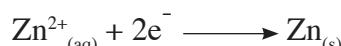
تركيب خلية التحليل الكهربائي

نشاط (6-4):

تمّن الشكل (6-8)، تلاحظ أن التيار الكهربائي قد انتقل من قطب النحاس نحو قطب الخارصين، ويعني ذلك أن ذرات النحاس قد تأكسدت على قطب النحاس حسب المعادلة الآتية:



أما على قطب الخارصين فإن أيونات الخارصين تخترل حسب المعادلة الآتية:



شكل (6-8): خلية تحليل كهربائي

والآن أجب عن السؤالين الآتيين:

1. اكتب المعادلة الكلية لتفاعل الذي يتم في الخلية.
2. احسب جهد الخلية E° .

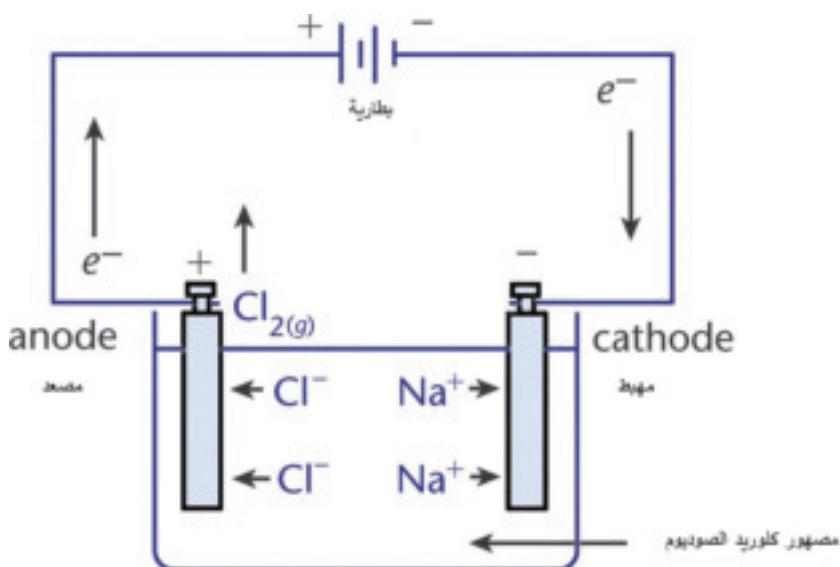
لقد وجدت أن جهد الخلية سالب، ويعني ذلك أن هذا التفاعل لا يتم بشكل تلقائي، وإنما بوجود مصدر للقوة الدافعة الكهربائية يساوي أو أكبر بقليل من جهد الخلية.

تسمى هذه الخلايا خلايا التحليل الكهربائي، ويستفاد منها في تحضير بعض العناصر وعملية الطلاء الكهربائي، وستتعرف على خلايا التحليل الكهربائي لمصاہیر بعض الأملاح ثم لمحاليلها.

7-6

التحليل الكهربائي لمصاہیر المواد الأيونية

تمّن في الشكل (6-9) الذي يمثل خلية تحليل كهربائي لمصهور كلوريد الصوديوم، والأقطاب في هذه الخلية غير نشطة كيميائياً وتصنع من البلاتين أو الكربون، لضمان عدم مشاركتها في التفاعلات، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:



شكل (6-9): التحليل الكهربائي لمصهور كلوريد الصوديوم

- حدّد اتجاه حركة الأيونات في المصهور.
- اكتب معادلة نصف تفاعل التأكسد الذي يحدث على المصعد، ونصف تفاعل الاختزال الذي يحدث على المهبط.
- اكتب المعادلة الكلية لتفاعل، واحسب قيمة جهد الخلية E° .
- ما الحد الأدنى للقوة الدافعة الكهربائية الالزامية لإتمام هذه العملية؟

وتستخدم خلية التحليل الكهربائي، داونز (Downs) لتحضير عنصري الصوديوم والكلور، حيث يوضع كلوريد الصوديوم في الخلية، ويتم تسخينه، فينصدر كلوريد الصوديوم حسب المعادلة الآتية:



ويضاف كلوريد الكالسيوم في الخلية، فينخفض درجة انصهار كلوريد الصوديوم من 800 ° س إلى 540 ° س.

تمرين (7):

التحليل الكهربائي لمحاليل المواد الأيونية

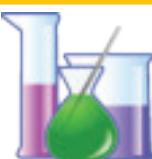
8-6

لتتعرف على نواتج التحليل الكهربائي لمحلول مادة أيونية نفذ النشاط (5-6):

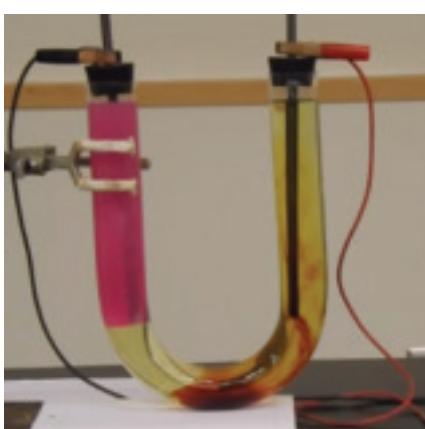
نواتج التحليل الكهربائي لمحلول يوديد البوتاسيوم

نشاط (5-6)

المواد والأدوات اللازمة:



محلول يوديد البوتاسيوم (KI) تركيزه 1 مول / لتر، وأنبوب كبير على شكل U، ومصدر فرق جهد، وأسلاك توصيل، وأقطاب غير نشطة كيميائياً (كربون أو بلاتين)، وفيونلغثالين، وقطارة.



شكل (10-6): التحليل الكهربائي لمحلول KI

خطوات العمل:



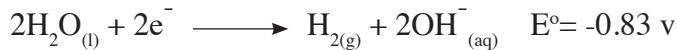
1. ضع 40 مل من محلول يوديد البوتاسيوم في أنبوب على شكل U.
2. ضع قطرتين من الفينولغثالين في محلول.
3. ضع القطبين في محلول كما في الشكل، ثم صل القطب الأول بالقطب الموجب لمصدر فرق الجهد، وصل القطب الثاني بالقطب السالب لمصدر فرق الجهد (6 فولت) كما في الشكل (10-6).

4. انتظر 5 دقائق، ثم ابدأ بتسجيل ملاحظاتك.
5. اكتب معادلة كيميائية تمثل تفكك يوديد البوتاسيوم في الماء.

يتآين يوديد البوتاسيوم في الماء حسب المعادلة الآتية:



لاحظت تلوّن محلول حول المهبط باللون الزهري دلالة على وجود أيونات الهيدروكسيد OH^- ، كيف تفسّر ذلك؟ اتجهت أيونات البوتاسيوم الموجبة نحو القطب السالب المغمور في الماء، وحدث تنافس على الاختزال بين أيونات البوتاسيوم الموجبة وجزيئات الماء، تمعّن في المعادلتين الآتتين:



كما تلاحظ أنّ اختزال جزيئات الماء أكثر سهولة من اختزال أيونات البوتاسيوم في الظروف المعيارية فتم اختزالها ويتصاعد غاز الهيدروجين H_2 ، وينتج عن ذلك أيونات الهيدروكسيد، أما حول المصعد فيتلون محلول بلون عنصر اليود البنّي.

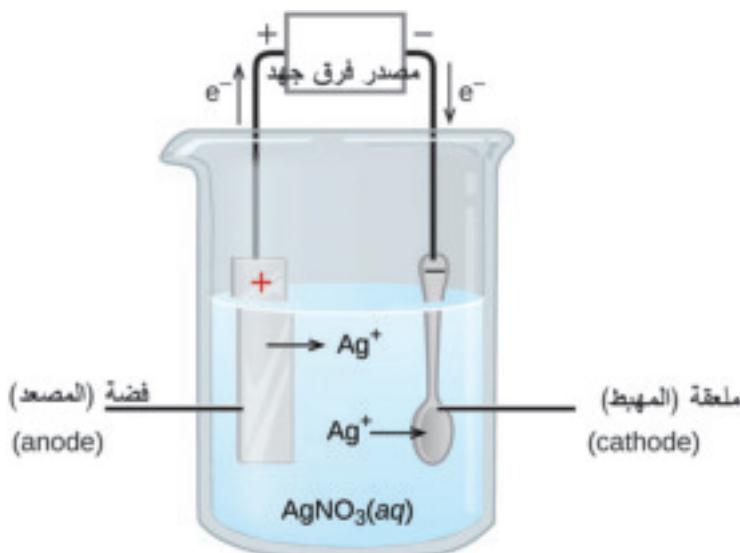
تمرين (8):

استخدم الجدول (6-1) في مقارنة جهد تأكسد الماء وجهد تأكسد أيونات اليود للتأكد من ملاحظاتك. ويفى في محلول أيونات البوتاسيوم وأيونات الهيدروكسيد، وتعدّ هذه طريقة لتحضير هيدروكسيد البوتاسيوم. أما في التحليل الكهربائي لمحلول كلوريد البوتاسيوم، فإن الماء يختزل على المهبط ويطلق غاز الهيدروجين ويتأكسد على المصعد مطلقاً غاز الأكسجين، إذا كان تركيز أيونات الكلور قليلاً، بينما تتأكسد أيونات الكلوريد، إذا كان تركيزها في محلول عالياً وتطلق غاز الكلور، بسبب تقارب جهود تأكسد الماء والكلوريد.

تمرين (9):

- اكتب أنصاف تفاعلات التأكسد المتوقع حدوثها على المصعد في خلية التحليل الكهربائي لمحلول كلوريد البوتاسيوم.
- قارن بين جهد تأكسد الماء وجهد تأكسد أيونات الكلور في الخلية السابقة.
- ما الجهد الكهربائي المطلوب من أجل إجراء عملية التحليل الكهربائي للماء للحصول على غاز الأكسجين وغاز الهيدروجين في الخلية السابقة.

تطبيقات عملية على التحليل الكهربائي



شكل (11-6): عملية الطلاء الكهربائي

4. اكتب معادلات نصف تفاعل التأكسد ونصف تفاعل الاختزال التي تتم في هذه الخلية.

1. ما المحلول المستخدم؟

2. مع أي قطب توصل الملعقة؟

3. ما اسم المادة المكونة للمصدع؟

2. تنقية النحاس من الشوائب

يستخدم النحاس في الصناعات الكهربائية، وبعضها يتطلب أن يكون نقياً جداً، ومن الطرق المستخدمة في تنقية النحاس، التحليل الكهربائي، حيث يوضع النحاس غير النقي كمصدع في خلية تحليل كهربائي تحوي محلولاً من كبريتات النحاس ($\text{CuSO}_4\text{(II)}$)، ويكون المهبط قضيباً من النحاس النقي، وخلال العملية تتأكسد ذرات النحاس في المصدع إلى أيونات النحاس Cu^{2+} التي يتم اختزالها، وتترسب على المهبط، وبعد فترة من استمرار هذه العملية يتضخم المهبط، فيتم وقف العملية، أما الشوائب الموجودة في المصدع والأقل نشاطاً منه، منها ما يبقى ذائباً في المحلول مثل الخارجيين، ومنها مثل الذهب يتجمع في قعر الإناء ويتم فصلها والاستفادة منها.

تمرين (11)

ارسم خلية التحليل الكهربائي المستخدمة لتنقية النحاس، ثم اكتب معادلة نصف تفاعل التأكسد، ومعادلة نصف تفاعل الاختزال لهذه الخلية.

الحسابات الكمية في عملية التحليل الكهربائي

درس العالم فارادي العلاقات الكمية في خلايا التحليل الكهربائي، وتوصل في قانونه الأول إلى أن كمية الكهرباء المارة في خلايا التحليل الكهربائي تتناسب طردياً مع كمية المادة المتكونة عند الأقطاب، وتعتمد كمية الكهرباء المارة في الخلايا على شدة التيار الكهربائي المقاس (بالأمير)، وזמן مرور التيار مقاساً بالثانية.

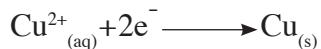
$$\text{كمية الكهرباء (الكولوم)} = \text{شدة التيار (الأمير)} \times \text{الزمن (الثانية)}$$

دعنا ندرس خلية تحليل كهربائي لمحلول نترات الفضة، حيث تتواجد أيونات الفضة Ag^+ ، وتكتسب أيونات الفضة على المهبط إلكترونات حسب المعادلة الآتية:



نجد أن مولاً واحداً من أيونات الفضة اكتسب 1 مول من الإلكترونات لإنتاج مول واحد من ذرات الفضة، وبما أن الإلكترون يحمل شحنة كهربائية مقدارها 1.6×10^{-19} كولوم، فإن مولاً من الإلكترونات يحمل شحنة كهربائية مقدارها $1.6 \times 10^{-19} \times 6.02 \times 10^{23}$ ، وتساوي 96500 كولوم تقريباً، وسميت هذه الكمية بالفارادي تقديراً للعالم فارادي. نستنتج من السابق أن الفارادي يربّب مولاً واحداً من الفضة (108 غرام).

أما في خلية تحليل كهربائي تحوي على كبريتات النحاس (II) فإن أيون النحاس يكتسب إلكترونين ليترسب



وبالتالي فإن مولاً من النحاس يكتسب 2 مول من الإلكترونات، وهذا يكافئ 2 فارادي ليترسب .

مثال (3):

في خلية التحليل الكهربائي لمصهور كلوريد الصوديوم الشكل (9-6) :

- احسب كتلة الصوديوم بالغرام التي يمكن الحصول عليها عند تمرير تيار كهربائي شدته 1.5 أمير لمرة ساعتين.
- احسب حجم غاز الكلور الناتج في الخلية في الظروف المعيارية.

الحل:

أولاً: حساب كتلة الصوديوم

$$\text{كمية الكهرباء المارة في الخلية (كولوم)} = \text{شدة التيار (أمير)} \times \text{الزمن (ثانية)}$$

$$= 1.5 \text{ أمير} \times 2 \times 60 \text{ د/ساعة} \times 60 \text{ ثانية/دقيقة}$$

$$= 10800 \text{ كولوم}$$

وبما أن مولاً من أيونات الصوديوم يكتسب مولاً من الإلكترونات ليتحول إلى ذرات فإن :

$$96500 \text{ كولوم} \leftarrow 1 \text{ مول من الصوديوم}$$

$$? \text{ مول} \leftarrow 10800 \text{ كولوم}$$

عدد مولات الصوديوم الناتجة = $\frac{1 \times 10800}{96500} = 0.11$ مول
 كتلة الصوديوم التي يمكن الحصول عليها = $0.11 \text{ مول} \times 23 \text{ غم/مول} = 2.53 \text{ غرام.}$

ثانياً : حساب حجم غاز الكلور الناتج:

تتأكسد أيونات الكلور في الخلية حسب المعادلة الآتية :



وبذلك فإن مولاً واحداً من غاز الكلور ينتج عن فقد أيونات الكلور 2 مول من الإلكترونات

$$96500 \text{ كولوم} \leftarrow 1 \text{ مول من Cl}_2$$

$$10800 \text{ كولوم} \leftarrow ? \text{ مول}$$

$$\text{عدد مولات الكلور الناتجة} = \frac{1 \times 10800}{96500 \times 2} = 0.06 \text{ مول}$$

حجم الكلور الناتج في الظروف المعيارية = $0.06 \text{ مول} \times 22.4 \text{ لتر/مول} = 1.3 \text{ لتر}$

حجم المول من الغاز في الظروف المعيارية (القياسية) يساوي 22.4 لتر

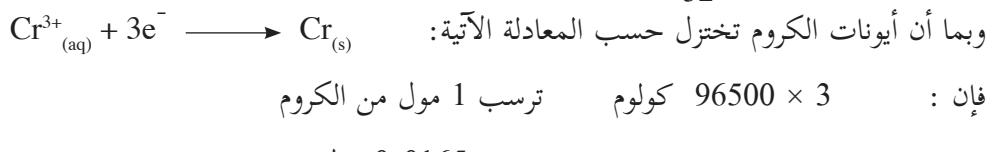
تمرين (12): احسب كمية الفضة المترسبة في خلية الطلاء الكهربائي (الشكل 6-11) إذا مرّ تيار كهربائي شدته 2 أمبير لمدة 10 ساعات.

مثال (4): يقوم مهني بطلاء صنبورٍ للماء بـ 0.86 غرام من الكروم من محلول يحتوي على كبريتات الكروم (III) ، $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ ، ما شدة التيار الكهربائي اللازم لإتمام العملية في 12.5 دقيقة؟

الحل:

$$\text{عدد مولات الكروم} = \frac{0.86}{52} = 0.0165 \text{ مول}$$

و بما أن أيونات الكروم تخترق حسب المعادلة الآتية:



فإن : $96500 \text{ كولوم} \times 3$ ترسب 1 مول من الكروم

ترسب 0.0165 مول ؟

كمية الكهرباء المارة في الخلية = $96500 \times 3 \times 0.0165 = 4777 \text{ كولوم}$

كمية الكهرباء = شدة التيار × الزمن

شدة التيار = $4777 \text{ د} \times 60 \text{ ث}/\text{د}$

شدة التيار الكهربائي المار في الخلية = 6.37 أمبير.

تمرين (13): ما شدة التيار اللازم لترسيب 0.225 غرام من النيكل من محلول NiSO_4 خلال 10 دقائق؟

الكيمياء والتكنولوجيا والمجتمع (للاطلاع) بطاريات (ليثيوم-أيون) (Lithium-ion battery)



نوع من البطاريات التي يمكن إعادة شحنها (الخلايا الثانوية)، وتستخدم في معظم الأجهزة التي نستخدمها كالهاتف النقال، والحواسيب المحمولة وغيرها.

تصنع بطاريات (ليثيوم-أيون) من واحدة أو أكثر من الخلايا، وتتكون كل خلية من ثلاثة مكونات: القطب الموجب، والقطب السالب، ومادة كيميائية كهربائية. يتكون القطب الموجب من مركب أكسيد الليثيوم والكوبالت (II)

LiCoO_2 ، أو فوسفات الليثيوم والحديد (II) LiFePO_4 . ويكون القطب السالب من الكربون (الجرافيت)، ويختلف تركيبه من نوع إلى آخر في البطاريات. تعمل جميع بطاريات (ليثيوم-أيون) بنفس الطريقة، فاثناء شحن البطارية، تنتقل أيونات الليثيوم إلى القطب السالب خلال المادة الكهربائية، وتبقى هناك. وتقوم البطارية بتخزين الطاقة خلال هذه العملية.

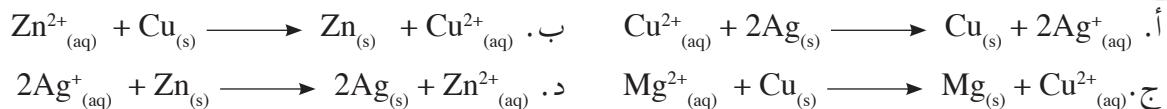
وعند التفريغ، تنتقل أيونات الليثيوم إلى القطب الموجب، وفي كلتا الحالتين تتدفق الإلكترونات في الاتجاه المعاكس لحركة الأيونات في الدارات الخارجية. وعلى عكس البطاريات الأخرى بنيت داخل بطاريات (ليثيوم-أيون) وحدات تحكم إلكترونية تنظم عملية الشحن والتفريغ فيها، حيث تمنع الشحن الزائد وارتفاع درجة الحرارة التي يمكن أن تسبب انفجار البطارية.

تمتاز بطاريات (ليثيوم-أيون) بأنها خفيفة الوزن بالمقارنة مع البطاريات القابلة للشحن الأخرى، ويمكنها تخزين طاقة عالية جداً، فمثلاً تستطيع بطارية ليثيوم-أيون كتلتها 1 كيلو جرام الاحتفاظ بطاقة تصل إلى 1500 واط للساعة، بينما يختزن نوع من بطاريات التخزين، يستخدم فيها معدن النيكل 700 واط للساعة من الطاقة لنفس الكتلة. وبطارية السيارة تخزن 25 واط للساعة، غير أن تكلفة بطارية (ليثيوم-أيون) عالية بالمقارنة مع البطاريات الأخرى، وكذلك فإن فترة حياة البطارية لا يزيد عن 3 سنوات من تاريخ التصنيع والإنتاج، والبطارية حساسة جداً لارتفاع درجات الحرارة، وإذا عملت البطارية في درجات حرارة عالية فإن فترة حياتها تصبح أقل بكثير من الوضع الطبيعي، ولا يمكن الاستفادة من البطارية إذا تعرضت للتلف.

أسئلة الوحدة

السؤال الأول ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة في كل مما يأتي:

1 أي تفاعلات التأكسد والاختزال الآتية تتم بشكل تلقائي؟

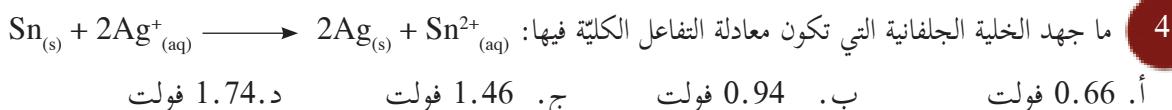


2 أي العبارات الآتية صحيحة فيما يخص المصعد في الخلية الجل凡انية؟

- أ. قطب سالب، ويحدث عنده تفاعل التأكسد.
ب. قطب سالب، ويحدث عنده تفاعل الاختزال.
ج. قطب موجب، ويحدث عنده تفاعل التأكسد.
د. قطب موجب، ويحدث عنده تفاعل الاختزال.

3 أي المواد الآتية تصلح للاستخدام كقطب في قطب الهيدروجين القياسي؟

- أ. البلاتين
ب. الألمنيوم
ج. الخارصين
د. المغنيسيوم



5 أي العبارات الآتية صحيحة فيما يتعلق بخلايا التحليل الكهربائي؟

- أ. جهد خلايا التحليل الكهربائي موجب.
ب. يحدث التأكسد على المهبط.
ج. التفاعل الكيميائي فيها تلقائي.
د. تعمل بفرق جهد خارجي.

6 أي العبارات الآتية المتعلقة بخلية التحليل الكهربائي لمصهور كلوريد البوتاسيوم غير صحيحة؟

- أ. يتم تأكسد أيونات الكلور على المصعد.
ب. يتم اختزال أيونات البوتاسيوم على المصعد.
ج. يتم اختزال أيونات البوتاسيوم على المهبط.
د. جهد الخلية القياسي E° سالب.

7

ماذا ينتج على المهبط من التحليل الكهربائي لمحلول بروميد الصوديوم؟

- أ. الصوديوم ب. الأكسجين ج. الهيدروجين د. البروم

8

ما كمية الكهرباء اللازمة لترسيب 32.5 غم خارصين (الكتلة المولية للخارصين 65 غم / مول)

بالتحليل الكهربائي لمحلول كلوريد الخارصين؟

- أ. 2 فارادي ب. 1 فارادي ج. 0.5 فارادي د. 0.2 فارادي

السؤال الثاني

المصعد، والمهبط ، والقطب القياسي ، والفارادي ، والجسر الملحي .

ب. هل يمكن استبدال الجسر الملحي بموصل فلزي؟ فسر إجابتك.

السؤال الثالث

رسم الخلية الجلفانية التي تعتمد على المعادلة الكيميائية الكلية الآتية :



1. حدد على الرسم : المصعد، والمهبط ، والجسر الملحي ، واتجاه سريان التيار الكهربائي في الدارة الخارجية.

2. اكتب التعبير الاصطلاحي للخلية السابقة.

3. احسب قيمة جهد الخلية القياسي E° .

السؤال الرابع

أ. اكتب معادلة التفاعل الكلية للخلية الجلفانية الآتية :



ب. احسب جهد الخلية الجلفانية السابقة.

السؤال الخامس

علل العبارات الآتية:

1. عدم استخدام محلول كلوريد المغنيسيوم المائي في خلايا التحليل الكهربائي لتحضير عنصر المغنيسيوم.

2. استخدام الأقطاب غير النشطة كيميائياً في خلايا التحليل الكهربائي .

3. استخدام الجسر الملحي في الخلية الجلفانية .

السؤال السادس

قارن بين الخلية الجلفانية وخلايا التحليل الكهربائي ، من حيث:

- أ. تلقائية حدوث التفاعلات ذاتياً.
 ب. تحولات الطاقة في الخلايا.
 د. إشارة كل من المصعد والمهبط.
 ج. إشارة جهد الخلية.

السؤال السابع

- أ. ارسم خلية تحليل كهربائي لمصهور بروميد الصوديوم، واتكتب أجزاءها على الرسم.
- ب. اكتب معادلة نصف التأكسد، ومعادلة نصف الاختزال في خلية التحليل الكهربائي.
- ج. اكتب المعادلة الكلية للتفاعل في الخلية.

السؤال الثامن

تم تحضير عنصر الليثيوم بالتحليل الكهربائي لمصهور كلوريد الليثيوم LiCl ، كم غراماً من الليثيوم يترسب عند تمرير كمية كهرباء مقدارها 5000 كولوم؟

السؤال التاسع

- أ. احسب شدة التيار الكهربائي المار في خلية تحليل كهربائي تحوي على محلول نترات الفضة، علماً أن 365 ملغم من الفضة ترسب خلال 216 ث.

ب. احسب جهد الخلية التي تعتمد على التفاعل الآتي:



وهل الخلية السابقة خلية تحليل كهربائي أم خلية جلفانية؟ فسر إجابتك.

السؤال العاشر

احسب الزمن (ثانية) اللازم لترسيب 65.5 غم من الخارصين على بوابة من الحديد، إذا كانت شدة التيار المار تساوي 21 أمبيراً خلال محلول كبريتات الخارصين ZnSO_4 .

السؤال الحادي عشر
أقيم ذاتي:

أقرأ كل عبارة من العبارات الآتية، ثم أضع إشارة (✓) في المكان المناسب:

الرقم	العبارة	دائماً	أحياناً	نادراً
1.	أستطيع أن أصمم خلايا جلفانية بطريقة آمنة.			
2.	أستطيع أن أصمم خلايا تحليل كهربائي لأغراض مختلفة.			
3.	أستطيع أن أحسب كمية المواد الناتجة في خلايا التحليل الكهربائي.			

المشروع

المشروع: شكل من أشكال منهج النشاط؛ يقوم الطلبة (أفراداً أو مجموعات) بسلسلة من ألوان النشاط التي يمكنون خلالها من تحقيق أهداف ذات أهمية للقائمين بالمشروع. ويمكن تعريفه على أنه: سلسلة من النشاط الذي يقوم به الفرد أو الجماعة لتحقيق أغراض واضحة ومحددة في محیط اجتماعي برغبة ودافية.

ميزات المشروع:

1. قد يمتد زمن تنفيذ المشروع لمدة طويلة ولا يتم دفعه واحدة.
2. ينفعه فرد أو جماعة.
3. يرمي إلى تحقيق أهداف ذات معنى للقائمين بالتنفيذ.
4. لا يقتصر على البيئة المدرسية وإنما يمتد إلى بيئه الطلبة لمنحهم فرصه التفاعل مع البيئة وفهمها.
5. يستجيب المشروع لميول الطلبة واحتاجاتهم ويثير دافعيتهم ورغبتهم بالعمل.

خطوات المشروع:

أولاً: اختيار المشروع: يشترط في اختيار المشروع ما يأتي:

1. أن يتماشى مع ميول الطلبة ويشبع حاجاتهم.
2. أن يوفر فرصة للطلبة للمرور بخبرات متنوعة.
3. أن يرتبط الواقع حياة الطلبة ويكسر الفجوة بين المدرسة والمجتمع.
4. أن تكون المشروعات متنوعة ومتراقبة وتكميل بعضها البعض ومتوازنة، لا تغلب مجالاً على الآخر.
5. أن يتلاءم المشروع مع إمكانات المدرسة وقدرات الطلبة والفئة العمرية.
6. أن يُخطط له مسبقاً.

ثانياً: وضع خطة المشروع:

يتم وضع الخطة تحت إشراف المعلم حيث يمكن له أن يتدخل لتصويب أي خطأ يقع فيه الطلبة.

يقتضي وضع الخطة الآتية:

1. تحديد الأهداف بشكل واضح.
2. تحديد مستلزمات تنفيذ المشروع، وطرق الحصول عليها.
3. تحديد خطوات سير المشروع.
4. تحديد الأنشطة الالازمة لتنفيذ المشروع، (شريطة أن يشتراك جميع أفراد المجموعة في المشروع من خلال المناقشة وال الحوار وإبداء الرأي، بإشراف و توجيه المعلم).
5. تحديد دور كل فرد في المجموعة، ودور المجموعة بشكل كلي.

ثالثاً: تنفيذ المشروع

مرحلة تنفيذ المشروع فرصة لاكتساب الخبرات بالممارسة العملية، وتعدّ مرحلة ممتعة ومثيرة لـما توفره من الحرية، والخلص من قيود الصدف، وشعور الطالب بذاته وقدرته على الإنجاز حيث يكون إيجابياً متفاعلاً خلّاقاً مبدعاً، ليس المهم الوصول إلى النتائج بقدر ما يكتسبه الطالبة من خبرات ومعلومات ومهارات وعادات ذات فائدة تعكس على حياتهم العامة.

دور المعلم:

1. متابعة الطلبة وتوجيههم دون تدخل.
2. إتاحة الفرصة للطلبة للتعلم بالأخطاء.
3. الابتعاد عن التوتر مما يقع فيه الطلبة من أخطاء.
4. التدخل الذكي كلما لزم الأمر.

دور الطلبة:

1. القيام بالعمل بأنفسهم.
2. تسجيل النتائج التي يتم التوصل إليها.
3. تدوين الملاحظات التي تحتاج إلى مناقشة عامة.
4. تدوين المشكلات الطارئة (غير المتوقعة سابقاً).

رابعاً: تقويم المشروع: يتضمن تقويم المشروع الآتي:

1. الأهداف التي وضع المشروع من أجلها، ما تم تحقيقه، المستوى الذي تحقق لكل هدف، العائق في تحقيق الأهداف إن وجدت وكيفية مواجهة تلك العوائق.
2. الخطة من حيث وقتها، التعديلات التي جرت على الخطة أثناء التنفيذ، التقييد بالوقت المحدد للتنفيذ، ومرنة الخطة.
3. الأنشطة التي قام بها الطلبة من حيث، تنوّعها، إقبال الطلبة عليها، توافر الإمكانيات الالزامية، التقييد بالوقت المحدد.
4. تجاوب الطلبة مع المشروع من حيث، الإقبال على تنفيذه بداعية، التعاون في عملية التنفيذ، الشعور بالارتياح، إسهام المشروع في تربية اتجاهات جديدة لدى الطلبة.

يقوم المعلم بكتابة تقرير تقويمي شامل عن المشروع من حيث:

- أهداف المشروع وما تحقق منها.
- الخطة وما طرأ عليها من تعديل.
- الأنشطة التي قام بها الطلبة.
- المشكلات التي واجهت الطلبة عند التنفيذ.
- المدة التي استغرقها تنفيذ المشروع.
- الاقتراحات الالزامية لتحسين المشروع.

المراجع

مراجع عربية مقتربة:

- 1- جيمس برادي، جيرارد هيومستون، **الكيمياء العامة- المبادئ والبنية**، الجزء الثاني، ترجمة سليمان سعسع، ومامون الحلبي، مركز الكتب الاردني، عمان، (1992).
- 2- د. حسن أحمد شحاته، ود. محمد فكري الهادي، **أساسيات الكيمياء الفيزيائية**، الطبعة الثالثة، مكتبة الدار العربية للكتاب، (2011).

مراجع أجنبية مقتربة:

1. Karen C. Timberlake, **Chemistry: An introduction to general, organic, and biological chemistry**, 12th edition, Timberlake, Karen C (2015).
2. Martin S. Silberberg, **Principles of General Chemsitry**, 2nd edition, McGraw-Hill, (2010).
3. Petrucci R., Harwood W., **General Chemistry**, 6th edition, Macmillan Company, (1989).
4. Rymond Chang, **General Chemistry: the essential concepts**, 5th edition, McGraw-Hill Companies, (2008).
5. Raymond Chang, Jason Overby, **General Chemsitry**, 6th edition, McGraw-Hill, (2010).
6. Smith, Janica, **Organic Chemistry**, 4th edition. McGraw-Hill, (2014).
7. Steven D. Gmmon, **General Chemistry**, 9th edition, Houghton Mifflin Company, (2009).
8. Theodore L. Brown, Eugene H. LeMay, Bruce E. Bursten, Catherine J. Murphy, Patrick M. Woodward, Mathew W. Stoltzfus, **Chemsity: The Central Science**, 13th edition. Pearson Education, Inc, (2015).
9. <https://phet.colorado.edu/en/simulations>
10. <https://goo.gl/46L65i>

أنشطة إثرائية

يمكنك تزيل المختبر الافتراضي (تطبيق PHET) من الرابط الآتي:



<https://phet.colorado.edu/en/simulations>

أو رمز QR CODE المجاور على الهاتف الذكي

قم بتنزيل التطبيق وتابع المسار الآتي لتعرف على أشكال بعض الجزيئات

يمكنك تزيل PHET: Chemistry → molecule shapes → real molecules , model



<https://goo.gl/46L65i>

أو رمز QR code على الهاتف.

يمكنك الإفاده من المختبر التفاعلي في رسم منحنى المعايرة بين حمض قوي وقاعدة قوية وتتبع التغير في الرقم الهيدروجيني pH.

Crocodile chemistry → acids, bases and salts → Titration → Titration curves



يمكنك الاستفادة من الرابط الآتي:

<https:// goo.gl/8E8DgF>

أو رمز QR code في التعرف على عملية المعايرة.
مقطع فيديو حول عملية معايرة الحمض مع القاعدة

يمكنك الاستفادة من مقطع الفيديو الذي يوضح طريقة استخدام المختبر الافتراضي CROCODILE

CHEMISTRY

والتعرف على الخلية الكهروكيميائية على الرابط الآتي:

<https:// goo.gl/ro8S8Z>



أو رمز QR code

إجابات أسئلة مختارة من الوحدات

الوحدة الأولى:

$$ت = 10 \times 6.93^{14} \text{ هيرتز}$$

السؤال التاسع: ل = 432.9 نانوميتر

السؤال العاشر: ن = 3

$$ت = 10 \times 7.4^{13} \text{ هيرتز}$$

السؤال الحادي عشر: (10 خطوط)

الوحدة الثالثة:

$$\text{السؤال الخامس: } 10 \times 7.9^4$$

السؤال الرابع: 7

$$\text{السؤال الثامن: } 0.72 \text{ مول / لتر} , 0.4$$

السؤال السادس: 0.45 مول

الوحدة الرابعة

الفصل الأول:

السؤال الثاني: - 146.4 جول / كلفن

السؤال الرابع: - 1484.03 كيلو جول

الفصل الثاني:

$$\text{السؤال الثالث: } 0.025, 0.005$$

$$\text{السؤال الثاني: } 10 \times 2.7^4$$

أسئلة الوحدة:

السؤال الثاني: الأولى، 0.05

الوحدة السادسة:

السؤال الثالث: 0.25 فولت

السؤال التاسع: 1.52 أمبير

السؤال الثامن: 0.36 غرام

السؤال العاشر: 2.5 ساعة

الجدول الدوري للعناصر Periodic Table

	IA		IIA		VIII A																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
1	¹ H 1.008		2	³ Li 6.941	⁴ Be 9.012																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
3	¹¹ Na 22.989	¹² Mg 24.305	¹⁹ K 39.098	²⁰ Ca 40.08	²¹ Sc 44.959	²² Ti 47.88	²³ V 50.941	²⁴ Cr 51.996	²⁵ Mn 54.938	²⁶ Fe 55.845	²⁷ Co 58.933	²⁸ Ni 58.693	²⁹ Cu 63.546	³⁰ Zn 65.39	³¹ Ga 69.723	³² Ge 72.61	³³ As 74.921	³⁴ Se 78.96	³⁵ Br 79.904	³⁶ Kr 83.80	² He 4.002	⁹ F 18.998	¹⁰ Ne 20.179	¹⁶ S 32.066	¹⁷ Cl 35.452	¹⁸ Ar 39.948																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
4	³⁷ Rb 85.467	³⁸ Sr 87.62	³⁹ Y 88.905	⁴⁰ Zr 91.22	⁴¹ Nb 92.906	⁴² Mo 95.94	⁴³ Tc 98	⁴⁴ Ru 101.07	⁴⁵ Rh 102.905	⁴⁶ Pd 106.42	⁴⁷ Ag 107.868	⁴⁸ Cd 112.411	⁴⁹ In 114.818	⁵⁰ Sn 118.710	⁵¹ Sb 121.76	⁵² Te 127.6	⁵³ I 126.904	⁵⁴ Xe 131.29	⁶ C 12.01	⁷ N 14.006	⁸ O 15.999	⁹ F 18.998	¹⁰ Ne 20.179	¹¹ A	¹³ Al 26.981	¹⁴ Si 28.085	¹⁵ P 30.973	¹⁶ S 32.066	¹⁷ Cl 35.452	¹⁸ Ar 39.948																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
5	⁵⁵ Cs 132.905	⁵⁶ Ba 137.33	⁵⁷ La 138.905	⁷² Hf 178.49	⁷³ Ta 180.947	⁷⁴ W 183.85	⁷⁵ Re 186.207	⁷⁶ Os 190.23	⁷⁷ Ir 192.217	⁷⁸ Pt 195.078	⁷⁹ Au 198.966	⁸⁰ Hg 200.59	⁸¹ Tl 204.383	⁸² Pb 207.2	⁸³ Bi 208.980	⁸⁴ Po 209	⁸⁵ At 210	⁸⁶ Rn 222	¹ B 10.81	² He 4.002	³ Li 6.941	⁴ Be 9.012	⁵ B 10.81	⁶ C 12.01	⁷ N 14.006	⁸ O 15.999	⁹ F 18.998	¹⁰ Ne 20.179	¹¹ A	¹³ Al 26.981	¹⁴ Si 28.085	¹⁵ P 30.973	¹⁶ S 32.066	¹⁷ Cl 35.452	¹⁸ Ar 39.948																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
6	⁸⁷ Fr 223	⁸⁸ Ra 226.021	⁸⁹ Ac 227.027	¹⁰⁴ Rf 261	¹⁰⁵ Db 262	¹⁰⁶ Sg 263	¹⁰⁷ Bh 264	¹⁰⁸ Hs 265	¹⁰⁹ Mt 268	¹¹⁰ Ds 271	¹¹¹ Rg 280	¹¹² Cn 285	¹¹³ Nh 286	¹¹⁴ Fl 289	¹¹⁵ Mc 289	¹¹⁶ Lv 293	¹¹⁷ Ts 294	¹¹⁸ Og 294	¹ H 1.008	² He 4.002	³ Li 6.941	⁴ Be 9.012	⁵ B 10.81	⁶ C 12.01	⁷ N 14.006	⁸ O 15.999	⁹ F 18.998	¹⁰ Ne 20.179	¹¹ A	¹³ Al 26.981	¹⁴ Si 28.085	¹⁵ P 30.973	¹⁶ S 32.066	¹⁷ Cl 35.452	¹⁸ Ar 39.948																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
7	⁵⁸ Ce 140.116	⁵⁹ Pr 140.907	⁶⁰ Nd 144.24	⁶¹ Pm 145	⁶² Sm 150.36	⁶³ Eu 151.954	⁶⁴ Gd 157.25	⁶⁵ Tb 158.925	⁶⁶ Dy 162.50	⁶⁷ Ho 164.930	⁶⁸ Er 167.26	⁶⁹ Tm 168.934	⁷⁰ Yb 173.04	⁷¹ Lu 174.967	⁷² Fr 178.49	⁷³ Ra 180.947	⁷⁴ Ac 183.85	⁷⁵ Rf 186.207	⁷⁶ Db 190.23	⁷⁷ Os 192.217	⁷⁸ Ir 195.078	⁷⁹ Pt 198.966	⁸⁰ Hg 200.59	⁸¹ Tl 204.383	⁸² Pb 207.2	⁸³ Bi 208.980	⁸⁴ Po 209	⁸⁵ At 210	⁸⁶ Rn 222	⁸⁷ Fr 223	⁸⁸ Ra 226.021	⁸⁹ Ac 227.027	⁹⁰ Th 232.038	⁹¹ Pa 233.035	⁹² U 238.028	⁹³ Np 237	⁹⁴ Pu 244	⁹⁵ Am 243	⁹⁶ Cm 247	⁹⁷ Bk 247	⁹⁸ Cf 251	⁹⁹ Es 252	¹⁰⁰ Fm 257	¹⁰¹ Md 258	¹⁰² No 259	¹⁰³ Lr 262	⁵⁸ Ce 140.116	⁵⁹ Pr 140.907	⁶⁰ Nd 144.24	⁶¹ Pm 145	⁶² Sm 150.36	⁶³ Eu 151.954	⁶⁴ Gd 157.25	⁶⁵ Tb 158.925	⁶⁶ Dy 162.50	⁶⁷ Ho 164.930	⁶⁸ Er 167.26	⁶⁹ Tm 168.934	⁷⁰ Yb 173.04	⁷¹ Lu 174.967	⁷² Fr 178.49	⁷³ Ra 180.947	⁷⁴ Ac 183.85	⁷⁵ Rf 186.207	⁷⁶ Db 190.23	⁷⁷ Os 192.217	⁷⁸ Ir 195.078	⁷⁹ Pt 198.966	⁸⁰ Hg 200.59	⁸¹ Tl 204.383	⁸² Pb 207.2	⁸³ Bi 208.980	⁸⁴ Po 209	⁸⁵ At 210	⁸⁶ Rn 222	⁸⁷ Fr 223	⁸⁸ Ra 226.021	⁸⁹ Ac 227.027	⁹⁰ Th 232.038	⁹¹ Pa 233.035	⁹² U 238.028	⁹³ Np 237	⁹⁴ Pu 244	⁹⁵ Am 243	⁹⁶ Cm 247	⁹⁷ Bk 247	⁹⁸ Cf 251	⁹⁹ Es 252	¹⁰⁰ Fm 257	¹⁰¹ Md 258	¹⁰² No 259	¹⁰³ Lr 262	⁵⁸ Ce 140.116	⁵⁹ Pr 140.907	⁶⁰ Nd 144.24	⁶¹ Pm 145	⁶² Sm 150.36	⁶³ Eu 151.954	⁶⁴ Gd 157.25	⁶⁵ Tb 158.925	⁶⁶ Dy 162.50	⁶⁷ Ho 164.930	⁶⁸ Er 167.26	⁶⁹ Tm 168.934	⁷⁰ Yb 173.04	⁷¹ Lu 174.967	⁷² Fr 178.49	⁷³ Ra 180.947	⁷⁴ Ac 183.85	⁷⁵ Rf 186.207	⁷⁶ Db 190.23	⁷⁷ Os 192.217	⁷⁸ Ir 195.078	⁷⁹ Pt 198.966	⁸⁰ Hg 200.59	⁸¹ Tl 204.383	⁸² Pb 207.2	⁸³ Bi 208.980	⁸⁴ Po 209	⁸⁵ At 210	⁸⁶ Rn 222	⁸⁷ Fr 223	⁸⁸ Ra 226.021	⁸⁹ Ac 227.027	⁹⁰ Th 232.038	⁹¹ Pa 233.035	⁹² U 238.028	⁹³ Np 237	⁹⁴ Pu 244	⁹⁵ Am 243	⁹⁶ Cm 247	⁹⁷ Bk 247	⁹⁸ Cf 251	⁹⁹ Es 252	¹⁰⁰ Fm 257	¹⁰¹ Md 258	¹⁰² No 259	¹⁰³ Lr 262	⁵⁸ Ce 140.116	⁵⁹ Pr 140.907	⁶⁰ Nd 144.24	⁶¹ Pm 145	⁶² Sm 150.36	⁶³ Eu 151.954	⁶⁴ Gd 157.25	⁶⁵ Tb 158.925	⁶⁶ Dy 162.50	⁶⁷ Ho 164.930	⁶⁸ Er 167.26	⁶⁹ Tm 168.934	⁷⁰ Yb 173.04	⁷¹ Lu 174.967	⁷² Fr 178.49	⁷³ Ra 180.947	⁷⁴ Ac 183.85	⁷⁵ Rf 186.207	⁷⁶ Db 190.23	⁷⁷ Os 192.217	⁷⁸ Ir 195.078	⁷⁹ Pt 198.966	⁸⁰ Hg 200.59	⁸¹ Tl 204.383	⁸² Pb 207.2	⁸³ Bi 208.980	⁸⁴ Po 209	⁸⁵ At 210	⁸⁶ Rn 222	⁸⁷ Fr 223	⁸⁸ Ra 226.021	⁸⁹ Ac 227.027	⁹⁰ Th 232.038	⁹¹ Pa 233.035	⁹² U 238.028	⁹³ Np 237	⁹⁴ Pu 244	⁹⁵ Am 243	⁹⁶ Cm 247	⁹⁷ Bk 247	⁹⁸ Cf 251	⁹⁹ Es 252	¹⁰⁰ Fm 257	¹⁰¹ Md 258	¹⁰² No 259	¹⁰³ Lr 262	⁵⁸ Ce 140.116	⁵⁹ Pr 140.907	⁶⁰ Nd 144.24	⁶¹ Pm 145	⁶² Sm 150.36	⁶³ Eu 151.954	⁶⁴ Gd 157.25	⁶⁵ Tb 158.925	⁶⁶ Dy 162.50	⁶⁷ Ho 164.930	⁶⁸ Er 167.26	⁶⁹ Tm 168.934	⁷⁰ Yb 173.04	⁷¹ Lu 174.967	⁷² Fr 178.49	⁷³ Ra 180.947	⁷⁴ Ac 183.85	⁷⁵ Rf 186.207	⁷⁶ Db 190.23	⁷⁷ Os 192.217	⁷⁸ Ir 195.078	⁷⁹ Pt 198.966	⁸⁰ Hg 200.59	⁸¹ Tl 204.383	⁸² Pb 207.2	⁸³ Bi 208.980	⁸⁴ Po 209	⁸⁵ At 210	⁸⁶ Rn 222	⁸⁷ Fr 223	⁸⁸ Ra 226.021	⁸⁹ Ac 227.027	⁹⁰ Th 232.038	⁹¹ Pa 233.035	⁹² U 238.028	⁹³ Np 237	⁹⁴ Pu 244	⁹⁵ Am 243	⁹⁶ Cm 247	⁹⁷ Bk 247	⁹⁸ Cf 251	⁹⁹ Es 252	¹⁰⁰ Fm 257	¹⁰¹ Md 258	¹⁰² No 259	¹⁰³ Lr 262	⁵⁸ Ce 140.116	⁵⁹ Pr 140.907	⁶⁰ Nd 144.24	⁶¹ Pm 145	⁶² Sm 150.36	⁶³ Eu 151.954	⁶⁴ Gd 157.25	⁶⁵ Tb 158.925	⁶⁶ Dy 162.50	⁶⁷ Ho 164.930	⁶⁸ Er 167.26	⁶⁹ Tm 168.934	⁷⁰ Yb 173.04	⁷¹ Lu 174.967	⁷² Fr 178.49	⁷³ Ra 180.947	⁷⁴ Ac 183.85	⁷⁵ Rf 186.207	⁷⁶ Db 190.23	⁷⁷ Os 192.217	⁷⁸ Ir 195.078	⁷⁹ Pt 198.966	⁸⁰ Hg 200.59	⁸¹ Tl 204.383	⁸² Pb 207.2	⁸³ Bi 208.980	⁸⁴ Po 209	⁸⁵ At 210	⁸⁶ Rn 222	⁸⁷ Fr 223	⁸⁸ Ra 226.021	⁸⁹ Ac 227.027	⁹⁰ Th 232.038	⁹¹ Pa 233.035	⁹² U 238.028	⁹³ Np 237	⁹⁴ Pu 244	⁹⁵ Am 243	⁹⁶ Cm 247	⁹⁷ Bk 247	⁹⁸ Cf 251	⁹⁹ Es 252	¹⁰⁰ Fm 257	¹⁰¹ Md 258	¹⁰² No 259	¹⁰³ Lr 262	⁵⁸ Ce 140.116	⁵⁹ Pr 140.907	⁶⁰ Nd 144.24	⁶¹ Pm 145	⁶² Sm 150.36	⁶³ Eu 151.954	⁶⁴ Gd 157.25	⁶⁵ Tb 158.925	⁶⁶ Dy 162.50	⁶⁷ Ho 164.930	⁶⁸ Er 167.26	⁶⁹ Tm 168.934	⁷⁰ Yb 173.04	⁷¹ Lu 174.967	⁷² Fr 178.49	⁷³ Ra 180.947	⁷⁴ Ac 183.85	⁷⁵ Rf 186.207	⁷⁶ Db 190.23	⁷⁷ Os 192.217	⁷⁸ Ir 195.078	⁷⁹ Pt 198.966	⁸⁰ Hg 200.59	⁸¹ Tl 204.383	⁸² Pb 207.2	⁸³ Bi 208.980	⁸⁴ Po 209	⁸⁵ At 210	⁸⁶ Rn 222	⁸⁷ Fr 223	⁸⁸ Ra 226.021	⁸⁹ Ac 227.027	⁹⁰ Th 232.038	⁹¹ Pa 233.035	⁹² U 238.028	⁹³ Np 237	⁹⁴ Pu 244	⁹⁵ Am 243	⁹⁶ Cm 247	⁹⁷ Bk 247	⁹⁸ Cf 251	⁹⁹ Es 252	¹⁰⁰ Fm 257	¹⁰¹ Md 258	¹⁰² No 259	¹⁰³ Lr 262	⁵⁸ Ce 140.116	⁵⁹ Pr 140.907	⁶⁰ Nd 144.24	⁶¹ Pm 145	⁶² Sm 150.36	⁶³ Eu 151.954	⁶⁴ Gd 157.25	⁶⁵ Tb 158.925	⁶⁶ Dy 162.50	⁶⁷ Ho 164.930	⁶⁸ Er 167.26	⁶⁹ Tm 168.934	⁷⁰ Yb 173.04	⁷¹ Lu 174.967	⁷² Fr 178.49	⁷³ Ra 180.947	⁷⁴ Ac 183.85	⁷⁵ Rf 186.207	⁷⁶ Db 190.23	⁷⁷ Os 192.217	⁷⁸ Ir 195.078	⁷⁹ Pt 198.966	⁸⁰ Hg 200.59	⁸¹ Tl 204.383	⁸² Pb 207.2	⁸³ Bi 208.980	⁸⁴ Po 209	⁸⁵ At 210	⁸⁶ Rn 222	⁸⁷ Fr 223	⁸⁸ Ra 226.021	⁸⁹ Ac 227.027	⁹⁰ Th 232.038	⁹¹ Pa 233.035	⁹² U 238.028	⁹³ Np 237	⁹⁴ Pu 244	⁹⁵ Am 243	⁹⁶ Cm 247	⁹⁷ Bk 247	⁹⁸ Cf 251	⁹⁹ Es 252	¹⁰⁰ Fm 257	¹⁰¹ Md 258	¹⁰² No 259	¹⁰³ Lr 262	⁵⁸ Ce 140.116	⁵⁹ Pr 140.907	⁶⁰ Nd 144.24	⁶¹ Pm 145	⁶² Sm 150.36	⁶³ Eu 151.954	⁶⁴ Gd 157.25	⁶⁵ Tb 158.925	⁶⁶ Dy 162.50	⁶⁷ Ho 164.930	⁶⁸ Er 167.26	⁶⁹ Tm 168.934	⁷⁰ Yb 173.04	⁷¹ Lu 174.967	⁷² Fr 178.49	⁷³ Ra 180.947	⁷⁴ Ac 183.85	⁷⁵ Rf 186.207	⁷⁶ Db 190.23	⁷⁷ Os 192.217	⁷⁸ Ir 195.078	⁷⁹ Pt 198.966	⁸⁰ Hg 200.59	⁸¹ Tl 204.383	⁸² Pb 207.2	⁸³ Bi 208.980	⁸⁴ Po 209	⁸⁵ At 210	⁸⁶ Rn 222	⁸⁷ Fr 223	⁸⁸ Ra 226.021	⁸⁹ Ac 227.027	⁹⁰ Th 232.038	⁹¹ Pa<br